

최 종
연구보고서

Vegetation Filtering System(VFS)을 이용한 하천유역의 환경오염개선 기술개발

Technical development for improving environmental pollution
of rivers basin using vegetation filtering system

연구기관
전북대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “Vegetation Filtering System(VFS)을 이용한 하천유역의 환경오염개선 기술개발에 관한 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 8월 일

주관연구기관명 : 전북대학교
총괄연구책임자 : 서 병 수
세부연구책임자 : 김 계 환
세부연구책임자 : 이 창 현
연 구 원 : 박 종 민
연 구 원 : 이 상 현
연 구 원 : 한 상 섭
연 구 원 : 변 무 섭
연 구 원 : 황 영 희
연 구 원 : 김 상 용
연 구 원 : 박 준 모
연 구 원 : 조 성 종
연 구 원 : 성 은 숙
연 구 원 : 정 향 숙
연 구 원 : 오 현 경
연 구 원 : 오 경 원
연 구 원 : 최 수 민
연 구 원 : 홍 지 숙
연 구 원 : 박 천 일
연 구 원 : 박 성 학
연 구 원 : 김 용 학
연 구 원 : 이 기 열
연 구 원 : 임 종 연

요 약 문

I. 제 목

Vegetation Filtering System(VFS)을 이용한 하천유역의 환경오염개선 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

문명의 발달과 산업화 및 인구의 급격한 증대로 인하여 차츰 자연자원이 고갈될 뿐만 아니라 국토확장의 필요성이 높아지고 있다. 이러한 측면에서 간척사업은 국토확장의 일환으로써 지금까지 우리나라는 리아스식 해안인 서해안을 중심으로 서산지역, 아산만지역, 시화지역 등에서 대규모 간척사업을 해 왔으며, 부분적으로는 소규모 간척사업도 많이 이루어져 왔다.

그러나 간척단지는 바다를 끼고 있는 조건으로서 중화학공업 및 조선소 등 대규모 공업단지가 들어설 수 있으며 이로 말미암아 공업단지로부터 대기오염가스 및 산업폐수가 방출되고 이로 인하여 대기는 물론 수질 및 토양오염이 급격하게 증대되어가고 있는 실정이다. 또한 간척사업으로 인한 담수화는 담수호 자체와 연계되는 수계로부터 큰 영향을 받을 것은 분명한 사실이 될 것이다.

이미 시화지구 간척지의 담수호에서 수질오염으로 인한 심각한 문제가 대두된 바 있고, 현재 추진중인 새만금간척지에 조성될 대규모 담수호의 수질보전 문제가 논란의 대상이 되고 있다. 또한, 각종 용수를 공급하기 위해 축조된 댐호에서도 장기간의 물 저장과 상류 유역의 오염에 따른 수질 유지 관리가 문제시되고 있다.

그런데, 오염된 수질을 정화하는데는 현재 화학적인 방법과 미생물을 이용하는 방법이 주류를 이루고 있으나 이들 방법은 많은 비용과 시설투자를 필요로 할 뿐만 아니라 각종 중금속과 부영양화를 초래하는 질소(N)·인(P)을 제거하는데는 한계가 있으며, 또한 영구적이지 못하다는 단점이 있다. 이러한 문제점 때문에 근래에 들어

서는 식생(vegetation)을 이용한 수질오염과 토양오염, 특히 중금속과 질소 및 인을 저감시키는 방법에 대해 많은 관심과 연구가 증가되고 있는 추세이다.

현재 식물에 의한 수질 및 토양오염을 저감시키는 연구와 시도는 주로 부레옥잠, 부들, 미나리, 갈대 등의 습지 내지 수생 초본식물에 국한되어 수행되고 있으며 수목을 이용한 오염원 저감기술에 관한 연구는 국내에서는 활발하지 못한 실정이다.

따라서 장기적으로 생육하면서 오염 제거 효과와 더불어 수변 공간의 경관 향상과 Biomass 생산 등 다양한 효과를 발휘할 수 있는 식물을 이용한 오염원 제거 기술의 개발이 절실히 필요하다고 본다. 따라서, 본 연구는 새만금간척지의 주요 지류인 만경강과 동진강 영역에 중점을 두어 연구하고자 한다.

1. 기술적 측면

수중이나 토양중의 중금속은 체내에 흡수되어 축적된 후 인체에 해로운 영향을 미칠 뿐 아니라 과도하면 생명에도 위협을 준다. 한편 축산폐수나 식품산업 폐수에 다량 함유될 수 있는 질산염이나 인산염 등은 강, 호수, 바다로 흘러들어 결국 부영양화를 일으켜 적조, 녹조 현상을 유발하게 된다.

이와같이 중금속과 부영양화 물질은 동시에 수질을 오염시키므로 정화처리 또한 동시에 이루어져야 한다. 이러한 관점에서 식생을 이용한 오염물질 처리는 경비가 적게 소요되고 효과가 빠르며, 생물농축이나 생태계 파괴와 같은 2차 오염의 우려가 없기 때문에 아주 효과적인 방법이라 할 수 있다.

2. 경제·산업적 측면

인구가 급증하고 산업이 발달함에 따라 환경은 오염되고 있으며 또한 생산품들의 국제적인 교역이 활발해 짐에 따라 환경을 오염시키는 상품에 대한 교역은 한층 문제화되거나 그에 상응한 경제적 부담을 안아야만 하기도 한다. 즉, 환경오염은 경제적으로나 산업적으로 많은 부담을 주고 있다.

이러한 오염에 대한 부담을 줄이기 위해서는 기술 집약적이거나, 오염물질 배출을 최소화시키는 산업으로의 방향을 선회하고 있다. 그러나 모든 산업을 위와 같은 방법으로 전환시킬 수는 없는 것이 오늘의 현실이다. 어쩔 수 없이 발생하는 오염

물질은 정화가 필수적이라 할 수 있는데 이러한 오염물질 정화에는 효소나 기타 화학물질을 이용하고 있는데 이는 제 2의 오염을 야기시키기도 하며 또한 많은 경제적 부담이 수반된다.

따라서, 식생을 이용한 오염물질 정화는 제 2의 오염을 야기시키지도 않으며 또한 경제적으로도 다른 어떤 방법보다 저렴하다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 식생을 이용한 오염물질 정화는 아주 귀중한 연구라 할 수 있다.

3. 사회·문화적 측면

인간이 계속 편리성을 요구함에 따라 사회는 복잡화되고 사회가 이에 따라 오염물질을 배출하는 산업은 계속 증가할 것으로 예측된다.

인간이 오염물질을 흡수함에 따라 남자 정자수의 감소라든가 기형아의 출산 등 새로운 형태의 이상 증상의 현상이 자주 나타나 인류의 걱정으로 비화되고 있다. 이와 같은 환경오염의 현상때문에 환경에 대한 관심은 높아지고 드디어는 브라질이나 일본에서 세계 정상급 인사들이 모여 환경오염 방지에 대한 논의를 하였으며 앞으로 계속하여 각 나라마다 이에 대한 방지책 등을 강구하기에 이르렀다.

이러한 측면에서 식생은 환경오염을 줄일 수 있는 가장 중요하고 안전한 방안이라 할 수 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

상기의 연구 목적을 달성하기 위하여 다음과 같은 내용의 연구들을 수행하였다.

1. 하천유역 오염지의 식생 및 입지환경 분석

- 만경강, 동진강(상·중·하류)의 하천유역 오염지의 식물상 및 식물군집구조 분석
- 토양 및 수질 분석을 통한 식생의 입지환경 조사

2. 중금속 오염물질이 식물체에 미치는 영향 분석

- 연구대상 지역의 토성과 토양 중 중금속 오염도 분석
- 내침수성 식물종 식재를 통한 식생도입 가능성 파악
- 중금속 농도에 따른 종자 발아와 피해반응 및 묘목의 생육정도 조사
- 식물체의 중금속 흡수능 및 잔류량 조사

3. 오염지에서 식물의 생장과 질소, 인 저감효과 분석

- 오염토양, 슬러지에 식물별로 묘목을 식재하여 질소와 인의 흡수능력 비교 분석
- 식재 pot에 오염수를 관수하여 식물별로 질소와 인의 흡수능력 비교분석
- 오염토양, 슬러지, 오염수 조건에서의 식물별 생육상태 조사분석
- 식물체의 지상부 전정 방법에 따른 질소와 인의 제거효과 비교분석

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 하천유역 오염지의 식생 및 입지환경 분석

가. 관속식물상은 만경강 유역이 69과 210속 274종 38변종 3품종의 총 315분류군, 동진강 유역이 67과 203속 256종 33변종 2품종의 총 291분류군으로 나타났으며, 모두 하류에서 상류로 올라갈수록 식물상이 더 다양하게 나타났다. 만경강과 동진강 유역에 가장 많이 분포하는 분류군은 국화과 55, 벼과 51, 콩과 32분류군의 순이었으며, 귀화식물은 49분류군이 확인되었다.

나. 만경강과 동진강 유역에 각각 30개, 32개의 조사구를 설치하여 식물군집분석을 실시한 결과, 상류에서 하류까지 만경강은 달뿌리풀군락-갈대군락-칠면초군락으로, 동진강은 갈대군락-모새달군락-칠면초군락으로 분류되었다. 종다양성은 하류에서 상류로 올라갈수록, 수변부보다 둔치부(제방사면)가 높아지는 경향을 나타냈다.

다. 만경강과 동진강 유역의 수질과 토양을 분석한 결과, 모두 시기와 장소에 따라 물리·화학적 특성이 다양하게 나타났으며, 이들의 오염이 계속 진행되고 있는

실정이므로 향후 오염방지를 위한 적절한 관리와 지속적인 조사가 필요할 것으로 사료된다.

2. 중금속 오염물질이 식물체에 미치는 영향 분석

가. 강 유역 토양의 물리·화학적 성질 및 식물체 생육상황

토양의 물리적 성질은 만경강이나 동진강유역에서 모두 하류로 내려갈수록 일정한 함량의 변화는 아니지만 일반적으로 모래의 함량이 줄어들고 미사나 점토의 함량이 많아지는 경향이였다. 토양산도에 있어서는 만경강유역보다 동진강 유역이 보다 더 산성화되었음을 알 수 있었다. 토양의 중금속 함량은 침수 비침수 지역간 일정한 관계가 없었다.

중금속에 대한 만경강과 동진강 유역에 대한 조사 결과 카드뮴과 납의 함량은 동진강 유역이 크롬, 비소, 구리의 함량은 만경강유역이 약간 높은 값을 보여 어느 강 유역이 더 오염되었다고 말 할 수 없으며 또한 중금속함량은 5가지 모두 자연상태의 함량에 불과하였다

만경강 동진강 유역의 토양분석용 시료를 채취한 일부지역에서 현지 토양을 포트에 담아 버드나무류를 침수재배시 생존율은 버드나무가 가장 높고 갯버들이 가장 낮았다.

나. 중금속 오염물질이 식물체의 삼목발근 및 종자발아에 미치는 영향

중금속 용액에서의 죽제비싸리 종자의 발아율은 전체적으로 용액의 농도가 높아 질수록 발아율은 떨어지는 경향을 보였으며, 발아율이 급격히 증가하는 시기는 치상 후 12일부터 20일 사이로 나타났다. 한편 중금속간 같은 농도에서 실험한 구리, 납, 아연간의 발아율은 납(38.75%), 아연(32.25%), 구리(31.00%)의 순이었다

중금속 용액에서의 갯버들과 버드나무 삼목실험 결과 갯버들이 버드나무에 비해 전반적으로 생존율이 높았으며, 납 용액에서가 구리나 아연의 용액에서보다 삼수 생존율이 높았다.

다. 식물체의 중금속 흡수능 및 잔류량 조사

대조구의 토양중 중금속 함량은 아연, 납, 구리, 카드뮴의 순으로 높았다. 중금속

용액을 투여한 후 식물체를 식재함으로써 토양내 중금속 함량이 고농도일수록 많이 줄어들었으며, 식재전 토양에 비해 일정기간 식물체를 식재한 후 토양중 중금속 잔류량은 아연이 가장 높았고, 납과 구리는 비슷하였다. 식물체의 중금속 흡수는 토양중 중금속 농도가 높으면서 식물체의 생장에 지장을 초래하지 않는 범위에서 흡수량이 높았다.

일반적으로 버드나무류가 납, 아연, 구리의 흡수량이 노랑꽃창포에 비해 높았으며 카드뮴 흡수량은 노랑꽃창포가 높았다.

버드나무류 중에서는 버드나무가 갯버들에 비해 중금속 흡수가 높았다. 또한 노랑꽃창포, 갯버들, 버드나무 모두 엽·줄기에 비해 뿌리의 중금속 함량이 높았다.

버드나무류 엽수 증가는 신장생장에 비해 고농도에서는 저조하였는데 이는 조기낙엽 때문으로 판단된다.

3. 오염지에서 식물의 성장과 질소, 인 저감효과 분석

가. 식물에 의한 하천토양 내 질소·인 제거효과

각 하천토양의 질소와 유효인산의 함량을 분석한 결과 질소는 B 토양이 가장 많이 함유되어 있었으며, 유효인산은 D 토양이 가장 많이 함유되어 있었고, 두 성분 모두 마사토에서 가장 적은 양이 함유되어 있었다.

하천토양에서 재배된 식물체의 생장은 모든 공시식물에서 질소의 함량이 가장 많은 토양에서 생장이 왕성하였다. 또한 전반적으로 노랑꽃창포가 목본식물에 비해 왕성한 성장을 보여 주었다.

갯버들, 낙우송, 족제비싸리, 왕버들, 노랑꽃창포 모두 하천토양에서 질소와 인의 제거효과가 있었다. 토양 내에서 질소와 유효인산의 감소율은 20 % 미만으로 나타났으며 질소가 인산보다는 약간 많이 제거되었다. 질소와 인 모두 목본식물보다 노랑꽃창포의 재배토양에서 더 많은 감소율을 나타냈다.

식물체의 부위별 질소의 증가율은 노랑꽃창포와 갯버들 두 종 모두 앞에서 가장 많았고, 지하부로 갈수록 증가량이 감소되었다. 유효인산의 함량은 질소와는 반대로 뿌리에서 다른 부위에 비해 월등히 많은 양이 증가되었으며 지상부로 갈수록 증가량이 감소되었다. 또한, 이 두 수종 모두 질소의 함량이 많은 시험토양에서 그 증가량도 많았으며, 인의 함량도 대체적으로 질소와 같은 경향으로 증가하였다.

나. 식물에 의한 하천수 내 질소·인 제거효과

목본식물(갯버들, 버드나무, 왕버들, 낙우송, 족제비싸리)과 초본식물(노랑꽃창포, 창포) 모두 체류 1시간 후에 수중의 질소와 인의 함량을 현저히 감소시켰으나, 2~4시간 후에는 감소율이 극히 낮았다.

모든 공시식물이 수중에 질소와 인의 함량이 많을수록 흡수·제거율이 높았고, 인보다는 질소를 흡수·제거하는 데에 효과적이었다.

노랑꽃창포와 창포는 생장 최성기에 가장 많은 질소와 인을 흡수·제거하였고 다음으로 성장기, 성장 초기의 경향을 나타내었으나, 성장단계간의 차이는 극히 작았다.

공시식물들 사이에 질소와 인을 흡수·제거하는 양에는 약간씩의 차이가 있었으나, 이것은 식물 중에 따른 흡수 특성과 시험개체의 크기 차이가 복합적으로 작용한 결과로 사료된다.

5일 이상 20일까지 장기적으로 체류시킨 결과, 질소와 인산 모두 체류 5일 후에 제거율이 많았고, 그 후에는 제거율이 둔화되는 경향을 나타내었다. 질소의 경우 목본류에서는 갯버들과 능수버들이 시험기간 전반에 걸쳐 질소의 제거량이 가장 많았고, 족제비싸리와 낙우송의 제거량이 가장 적었으며, 초본류에서는 체류 5일 후에는 노랑꽃창포가 3가지 농도에서 모두 가장 많이 제거하였으나, 10일과 20일 체류 후에는 창포와 석창포가 더 많은 질소를 제거하였다. 인산의 경우 목본류에서는 5일과 10일 체류 후에는 왕버들과 용버들이 가장 많은 인산을 제거하였으나, 20일 후에는 왕버들과 버드나무가 비슷하였다. 족제비싸리와 낙우송도 인산 제거효과는 버드나무류에 비해 떨어지지 않았다. 초본류에서는 인산의 3가지 농도와 전체 체류기간에서 전반적으로 노랑꽃창포, 석창포, 창포의 순으로 인산의 제거효과가 좋았다.

다. 전정관리에 따른 하천토양 내 질소·인 제거효과

갯버들에서 전정하지 않고 계속 재배한 것보다 전정을 자주 실시한 것이 하천토양 내 질소와 인의 제거효과가 크게 나타났다.

SUMMARY

1. Vegetation at Polluted Area of Riverside and Its Environmental Analysis

1) There were 315 vascular taxa of 274 species, 38 varieties and 3 forms of 210 genera of 69 families at Mankyong Riverside, and 291 vascular taxa of 256 species, 33 varieties and 2 forms of 203 genera of 67 families at Dongjin Riverside. More plants were found at the upper river area than at down the river. Most frequently found taxa at those riversides were 55 (Compositae), 51 (Gramineae) and 32 (Leguminosae taxa), and 49 naturalized plants were found.

2) Thirty and the other thirty two quadrats were established at Mankyong Riverside and Dongjin Riverside, respectively. As a result of the plant community analysis, *Phragmites japonica* community - *Phragmites communies* community - *Suaeda japonica* community were grouped at Mankyong Riverside and *P. communies* community - *Phacelurus latifolius* community - *Suaeda japonica* community at Dongjin Riverside. The plant species diversity appeared to increase from down the river area to the upper river and from the part close to water to the level-upped riverside.

3) As a result of the waters and vegetation soils analysis at Mankyon Riverside and Dongin Riverside, respectively, the physical and chemical characteristics were various investigated according to the time and site. And because the pollution situation grew worse continually, a pertinent control and continuous investigation will need for the pollution prevention.

2. The heavy metal pollution influence on plants

1) Physical and chemical characteristics of soil at a river basin and

the growth of plants

Generally, clay is gradually added going downstream both in the Mankyung and Dongjin Rivers.

The acidity of the Dongjin River basin is higher than that of the Mankyung River. The content of heavy metal in the soil is not different whether there occurred inundation or not. The content of Cd and Pb in the Dongjin River basin is higher than in the Mankyung River basin. But the content of Cr, As and Cu in Dongjin River basin is lower than that in Mankyung River basin.

The concentration of heavy metals in both the Mankyung and Dongjin Rivers is a natural phenomenon. Namely, they have not been polluted by man.

Salix koreensis has the highest survival rate among *Salix* spp. after inundation of the Mankyung and Dongjin River basins.

2) The influence of heavy metal pollution to the cutting of plant and germination of seed

Generally, the seed germination ratio of *Amorpha fruticosa* gradually decreases as the concentration of heavy metals increase. Seed germination suddenly increases from 12day to 20day after sowing.

On the other hand, seed germination is the highest in Pb solution and second is Zn solution.

In cutting of *Salix gracilistyla* and *Salix koreensis*, the survival rate of *Salix gracilistyla* is higher than *Salix koreensis* in heavy metal solution. The survival rate of *Salix gracilistyla* and *Salix koreensis* in Pb solution is higher than in Cu and Zn solution.

3) Absorption of heavy metal by plants and remaining heavy metals in the soil

The soil heavy metal content for the control is high lead > zinc > copper and cadmium. The concentration of heavy metals decreases after the growth of plants. The remaining concentration of Zn is the highest compared to Pb and

Cu, which are similar. Heavy metal absorption by plants in soil is high when did not hinder their growth.

Absorption of a lead, zinc and copper by *Salix* spp. is higher generally than that of *Iris pseudoacorus*. But cadmium absorption of *Iris pseudoacorus* is higher than that of *Salix* spp.

Heavy metal absorption by *Salix koreensis* is higher than that of *Salix gracilistyla* and between that of *Salix koreensis* and *Salix gracilistyla*.

Heavy metal content in the root is higher than the leaf and stem in *Salix gracilistyla*, *Salix koreensis* and *Iris pseudoacorus*.

In high concentration of heavy metal in the soil, the leaf number does not increase according to growth because of the leaves falling early.

3. Analysis Plant Growth and Removal Effect of Nitrogen and Phosphorus within pollution Areas

1) Removal effect of nitrogen and phosphorus within waterway soils by plant growing

The analysis results of nitrogen and phosphoric contents in each waterway soil showed that soil type B possessed nitrogen with the highest level and soil type D held phosphorus, while these minerals existed with the lowest level in granite.

The growth of experimental plants, which were cultivated in waterway soils, was excellent in soils contained nitrogen highly, and generally the growth of *Iris Pseudoacorus* was better than that of woody plants. Also the experimental plants such as *Salix gracilistyla*, *Taxodium distichum*, *Amorpha fruticosa*, *Salix glandulosa* and *Iris pseudoacorus* possessed ability for removing nitrogen and phosphoric in waterway soils. The rate of decreases nitrogen and phosphoric within the soils was fewer than 20% and the rate of decrease nitrogen was little bit higher than that of phosphoric. The rate of decrease nitrogen and phosphoric in soils that cultivating *Iris Pseudoacorus* was better

than that of woody plants. The rate of increasing nitrogen in *Iris Pseudoacorus* and *Salix gracilistyla* was higher at leaves than root parts, while the rate of increasing phosphoric was opposite direction, which was higher at root parts than leaves. In addition, the contents of nitrogen and phosphoric acid in plants were increase in the soils of higher contents of nitrogen and phosphoric acid.

2) Removal effect of nitrogen and phosphorus within waterway by plants

The content of nitrogen and phosphorus was considerably reduced after an hour existing on the waterway in both woody plants (*Salix gracilistyla*, *Amorpha fruticosa*, *Salix glandulosa* and *Salix koreensis*) and herb plants (*Iris Pseudoacorus* and *Acorus calamus*), while after two–four hours the rate of reduction was extremely low. The removal rate of nitrogen and phosphorus by the experimental plants was higher when these two minerals were remained as high level in the water, and it was more effective for removing nitrogen than phosphorus. And the *Iris Pseudoacorus* and *Acorus calamus* removed the most nitrogen and phosphorus in the optimum growth periods, but this was not clear among growth levels.

There were some differences amounts for removing nitrogen and phosphorus by each experimental plant, because of different absorbable characteristics by plant species and differences of experimental plant sizes.

3) Removal effect of nitrogen and phosphorus within waterway soils by trimming

Salix gracilistyla that was trimmed frequently was more effective to remove nitrogen and phosphorus within waterway soils than *Salix gracilistyla*, which was not trimmed.

CONTENTS

Chapter 1. Synopsis of Research Development Subject -----	15
Chapter 2. State of Research Development ----- in domestic and abroad	20
Chapter 3. Contents and Results of Research ----- Development Accomplishment	25
Section 1. Contents -----	25
(Detail subject 1) -----	25
(Detail subject 2) -----	28
(Detail subject 3) -----	33
Section 2. Results -----	41
(Detail subject 1) -----	41
(Detail subject 2) -----	78
(Detail subject 3) -----	133
Chapter 4. Object Accomplishment and ----- Contribution Degree	188
Chapter 5. Use Plans for Research Development Results -----	191
Chapter 6. Abroad Science Technology Information ----- Collected in Research Development Course	191
Chapter 7. References -----	192

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 -----	15
제2장 국내외 기술개발 현황 -----	20
제3장 연구개발 수행 내용 및 결과 -----	25
제1절 연구개발 수행 내용 -----	25
(제1세부과제) -----	25
(제2세부과제) -----	28
(제3세부과제) -----	33
제2절 연구개발 수행 결과 -----	41
(제1세부과제) -----	41
(제2세부과제) -----	78
(제3세부과제) -----	133
제4장 목표달성도 및 관련분야의 기여도 -----	188
제5장 연구개발결과의 활용계획 -----	191
제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 -----	191
제7장 참고문헌 -----	192

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 목표와 내용

1. 연구개발의 목표

가. 최종목표

Vegetation Filtering System(VFS)을 이용한 하천유역의 환경오염개선 기술개발

나. 세부과제별 목표

- 1). 하천유역 오염지의 식생 및 입지환경 분석
- 2) 중금속 오염물질이 식물체에 미치는 영향 분석
- 3) 오염지에서 식물의 성장과 질소, 인 저감효과 분석

2. 연구개발의 내용

세부과제	연구개발 내용
제 1세부	<ul style="list-style-type: none">○ 만경강, 동진강(상·중·하류) 하천유역 오염지의 식물상 및 식물군집 구조 분석○ 토양 및 수질 분석을 통한 식생의 입지환경 조사
제 2세부	<ul style="list-style-type: none">○ 연구대상 지역의 토성과 토양중 중금속 오염도 분석○ 내침수성 식물종 식재를 통한 식생도입 가능성 파악○ 중금속 농도에 따른 종자 발아와 피해반응 및 묘목의 생육정도 조사○ 식물체의 중금속 흡수능 및 잔류량 조사
제 3세부	<ul style="list-style-type: none">○ 오염토양, 슬러지에 식물별로 묘목을 식재하여 질소와 인의 흡수능력 비교분석○ 식재 pot에 오염수를 관수하여 식물별로 질소와 인의 흡수능력 비교분석○ 오염토양, 슬러지, 오염수 조건에서의 식물별 생육상태 조사분석○ 식물체의 지상부 전정 관리 방법에 따른 질소와 인의 제거효과 비교분석

3. 연차별 연구개발 목표와 내용

구분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1 차 년 도	① 만경강, 동진강 상류 오염지의 식생 및 입지환경 분석 ② 연구대상지의 식생도입 가능성 파악 ③ 오염토양, 오염수에 대한 식물의 내성 분석을 통한 적합 식물종 선정	▶ 상류의 식물상 및 식물군집구조분석 ▶ 토양 및 수질분석 ▶ 토성과 토양중 중금속 오염도 분석 ▶ 연구대상지 지역에 내침수성 식물종 식재, 식생도입 가능성 파악 ▶ 토양과 물의 질소, 인 농도별·식물별 생육 상황 조사 ▶ 토양과 물의 질소, 인 농도별·식물별 식물체내의 질소, 인 함량 측정
2 차 년 도	① 만경강, 동진강 중류 오염지의 식생 및 입지환경 분석 ② 중금속 농도에 따른 종자 발아와 피해반응 및 묘목의 생육 정도 조사 ③ 선정된 식물종의 질소와 인의 흡수저감효과 분석	▶ 중류의 식물상 및 식물군집구조분석 ▶ 토양 및 수질분석 ▶ PbSO ₄ , CuSO ₄ , Cd(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O, ZnSO ₄ 등의 중금속을 농도별로 조제하여 종자 발아시와 생장시 위축, 괴저, 고사 등을 통한 내저항 한계점 파악 ▶ 연구대상지 토양에 내침수성이 강한 식물종을 삼목하여 부정근 발생과 생육상태 조사 ▶ 질소, 인의 농도가 다른 조건에서 재배후 식물별 시험 토양, 물, 식물체내 질소, 인 함량 분석
3 차 년 도	① 만경강, 동진강 하류 오염지의 식생 및 입지환경 분석 ② 식물체의 중금속 흡수능 및 잔류량 조사 ③ 오염지내 식재 식물의 관리기술 개발	▶ 하류의 식물상 및 식물군집구조분석 ▶ 토양 및 수질분석 ▶ 식물체 생육 후 식물체 중 부위별 중금속 흡수 정도 및 조제된 중금속 액체중 농도 변화 조사 ▶ 시험식물의 지상부를 매년 제거한 것과 존치한 것으로 구분하여 재배 ▶ 지상부 관리방법별 총물질생산량, 시험토양, 슬러지, 오염수내 질소, 인 함량 측정 ▶ 지상부 전정 관리 방법에 따른 질소, 인 저감효과 비교분석

제 2 절 연구개발 방법 및 설계

1. 제 1세부과제(하천유역 오염지의 식생 및 입지환경 분석)

만경강과 동진강 유역을 각각 하천 유역의 지형적 특성과 오염 정도의 예측에 따라 임의로 상류(1차년도), 중류(2차년도), 하류(3차년도)로 구분하여 식생조사(식물상 및 식물군집구조)를 실시한다. 식물군집은 만경강(30개 조사구), 동진강(32개 조사구) 유역에 방형구(2m×2m)를 설치하여 Braun-Blanquet(1965)에 의한 방법으로 조사·분석한다. 입지환경 조사는 해당 식생조사구의 토양 시료를 채취하여 농업과학기술연구소의 토양화학분석법(1986)에 의거 분석하며, 수질 시료는 유역 구분이 뚜렷한 곳에서 주기적으로 채수하여 환경부의 수질오염공정시험법(1993)에 의거 분석한다.

2. 제 2세부과제(중금속 오염물질이 식물체에 미치는 영향 분석)

가. 제 1차년도

1) 만경강 및 동진강 수계의 상·중·하류에서 오염의 정도에 따라 임의로 연구 대상지역을 선정하여 토성과 토양중 중금속 오염도를 분석한다.

2) 토양 분석은 농업과학기술연구소의 토양화학분석법(1986)에 따르며, 중금속 함량을 UVI 3000으로 전처리하여 PDV 3000으로 측정한다.

3) 연구 대상 지역에 내침수성 식물을 식재하여 식생도입 가능성을 파악한다.

나. 제 2차년도

1) 토양 중 중금속 함량에 따른 식물 종자의 발아와 유묘의 외형적 피해 반응을 조사하기 위해 $PbSO_4$, $CuSO_4$, $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, $ZnSO_4$ 등의 시약을 농도별로 조제하여 종자 발아 시와 생장 시 피해현상이나 위축현상 또는 고사 등의 피해 반응을 조사하고 내저항 한계점을 파악한다.

2) 연구대상지로부터 오염된 폐수와 슬러지 및 토양을 채취하여 이를 일정량씩 pot에 넣고 여기에 식물 종자를 파종하여 발아상태를 조사한다. 또한 묘목을 식재하여 생육정도 및 중금속 흡수량을 조사한다.

3) 연구대상지로부터 오염된 폐수와 슬러지 및 토양을 채취하여 이를 일정량씩 pot에 넣고 내침수성이 강한 식물종을 삼목하여 부정근 발생과 생육상태를 조사한다.

다. 제 3차년도

1) $PbSO_4$, $CuSO_4$, $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, $ZnSO_4$ 등의 시약을 농도별로 조제하여 일정량을 액체상태로 비이커에 넣은 후 여기에서 삼목실험을 하여 삼수의 발근과 생육상태를 조사하고 일정기간 후 삼수내 부위별 중금속 흡수량 및 농도별로 조제한 비이커내 중금속액의 농도변화를 조사한다.

3. 제 3세부과제(오염지에서 식물의 생장과 질소, 인 저감효과 분석)

가. 제 1차년도

1) 전라북도 전주시, 익산시, 김제시, 완주군을 통과하는 만경강의 상류에서 하류까지 오염 정도에 따라 하상에 퇴적된 슬러지와 토양을 채취하여 질소와 인의 함량을 측정된 뒤 슬러지, 토양을 대형 pot에 일정량씩 채우고 시험 식물종의 묘목을 식재한다.

2) 일정 기간 재배 후 각 시험조건하에서의 시험수종 생존, 고사 여부와 부위별 생장상황을 측정하고, 식물체내의 질소(N)와 인(P)의 함량을 측정한다.

3) 시험 식물종은 이태리포플러, 은사시나무, 왕버들, 갯버들, 능수버들, 낙우송, 노랑꽃창포, 애기부들 등 내습성이 강한 식물종으로 한다.

나. 제 2차년도

1) 대형 pot에 일정량의 균일한 토양을 채우고, 시험 식물종의 묘목을 식재한 다음 질소와 인의 함량을 다르게 조절한 물을 근주 부위가 일부 침수되도록 일정량을 관수하고 재배한다.

2) 재배한 후 식물별, 오염정도별 시험토양내 질소와 인 함량을 측정한다.

3) 식물종별, 오염정도별 시험수 중의 질소와 인 함량을 측정한다.

4) 식물종별, 오염정도별 시험식물체내의 질소와 인 함량을 측정한다.

다. 제 3차년도

1) 2차년도부터 3차년도까지 매년 시험식물의 지상부를 전정제거한 것과 존치한 것으로 구분하여 재배한다.

2) 2년간 지상부 존치한 식물체의 총물질생산량, 시험토양, 슬러지, 오염수 내의 질소와 인 함량을 측정한다.

3) 매년 지상부 전정제거한 식물체의 2년간의 총물질생산량, 시험토양, 슬러지, 오염수내의 질소와 인함량을 측정한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 생물학적 수질정화시스템 도입 사례

1. 미국 Des Plaines River 인공습지

미국 Illinois주 Des Plaines강의 인공습지 시범사업은 습지의 활용을 통해서 하천정비를 위한 기준을 얻고, 계속적인 운영으로 유지관리 지침서를 작성하는 것을 목적으로 하고 있다. 이 시범사업은 대규모 실험시설 설치, 유량과 수위의 조절, 토양조건의 시험, 다양한 자연식생의 도입을 통해서 습지의 기능을 평가하고 있다. Illinois주 Wadsworth 주변에 4개의 습지를 조성하였다. 습지의 규모는 1.9~3.4 ha 이다. 유역은 농업(80%) 및 도시지역(20%)으로 구성되어 있으며, 하천은 토지이용 활동에 따른 비점오염물질과 소규모 가정하수처리장으로 물을 유입하는 것이 더 좋은 방법이지만 본 사업은 부지의 제약과 다양한 수리학적 조건에 대한 실험을 위해서 양수를 통해서 강에서 습지로 물이 유입되도록 하였다.

습지의 체류시간은 평균 6.5일이다. 하천에서 중요한 수질문제는 탁도와 관련되어 있는데, 하천의 SS는 59mg/L정도이다. SS의 처리효율은 86~90%수준이다. 인의 처리효율은 평균 65%인데, 겨울철에는 낮고, 여름철에는 높다. 겨울철에 인의 제거효율이 낮은 것은 하천의 인의 농도가 낮고, 저온으로 습지의 생물학적 처리과정이 낮기 때문이다. 유역 내에서 겨울철에는 얼어붙은 토양이나, 얼음위로 물이 흐르기 때문에 인의 농도가 낮다. 대부분의 인은 광물질의 SS에 붙어 유입되며, 이들 입자들은 빨리 침강된다. 또한 습지 내에서 성장, 사멸, 분해 등의 대규모 생물학적 순환으로 유기성 퇴적물질의 잔재물을 남기게 된다. 이런 순환으로 인한 퇴적이 하천에서 들어오는 입자의 퇴적을 크게 증가한다. 이러한 침강과 생물학적 순환과정으로 인해 본 습지내에서 인이 불활성 되고, 또한 계속 발달되는 생태계의 생물체에 고정되어 인이 제거되어 처리수가 방류되는 것으로 보고 되었다.

질소의 경우 유입수의 유기성 질소는 약 0.6mg/L이며, 암모니아성 질소는 약 0.05mg/L로 매우 낮다. 한편, 질산성 질소는 1.22~2.46mg/L의 분포를 보이며, 처리효율은 61~92%로 나타났다. 질산성 질소의 제거는 탈질작용으로 추정되며, 온도가

높은 계절에 처리효율이 높게 나타났다. 미생물과 관련된 이러한 처리과정은 수리학적 부하량이 낮아 체류시간이 길어지는 조건에서 훨씬 효과적인 것으로 나타나 습지의 전반적인 효과는 충분한 접촉시간이 가능할 때 질산성 질소가 제거되는 것으로 보고하였다.

식생조사결과 14종의 식물이 1989년에는 조사되지 않았으나, 1990년에는 조사되었으며, 홍수 후에는 고지대에 자라는 식물은 고사하였다. 식물성장량은 1989년 200~400 gDM/m²으로 증가하였다. 습지로 조성되기 전에 비해 새들의 개체수는 크게 증가하였다. 물새의 경우는 종류가 500% 증가하였고, 종류별로 개체수는 4,500%가 늘어났다.

2. 일본 土浦(Tsuchiura) Bio-Park(Nazakato, 1998)

土浦 Bio-Park는 가스미가우라 土浦항에 위치하고 있으며, 당초 자갈채취용 콘크리트 시설을 개조하여 1995년에 만들어진 시설로 콘크리트면 위에 수경재배형태로 식물을 재배하고 여기에 호소의 물을 직접 취수하여 처리한 후 다시 호소로 순환시키는 시스템이다. 처리용량은 하루 약 10,000m³의 호소수를 처리하고 있다. 이 시설은 시민이 자유롭게 드나들며 채소와 꽃을 가꾸고 이를 식용으로 이용하거나, 퇴비로 활용하며, 시민의 휴식공간으로 이용되고 있다.

Bio-Park내의 수생식물의 뿌리는 여러 가지 미생물이 서식할 수 있는 매디아의 역할을 하며, 질소·인 및 부유물질을 함유한 호소수가 수생식물의 뿌리에서 식물의 영양분으로 흡수되며, 나머지는 식물성플랑크톤이 섭취하게 되고 이 식물성플랑크톤을 미생물이 섭취하여 성장한다. 질소와 인을 영양소로 섭취한 수생식물을 수확하므로 영양물질을 수계로부터 제거하게 된다.

평균 체류시간은 평균 0.5 시간이며, 유입수의 평균수질은 BOD 6.9mg/l, SS 20.9mg/l, 총질소함량 3.7mg/l, 총인함량 0.12mg/l이며, 평균 처리효율은 BOD 28%, SS 42%, 총질소함량 15%, 총인함량 21%이다. 이 시설의 처리효율이 낮은 것은 평균 체류시간이 0.5 시간이므로 습지의 용량에 비해 유입량이 많기 때문이며, 수질개선은 대부분 식물의 뿌리에 의한 여과효과로 보여 진다. 특히, 질소의 경우는 체류시간이 짧아 탈질반응에 의한 질소제거기능이 거의 없기 때문에 효율이 다른 항목에 비해 크게 낮은 것으로 보여진다.

수생식물체를 이용하는 폐수처리 방법이 아직까지는 영양염류를 함유하고 있는 rural/urban sewage의 처리에 주로 응용되고 있기 때문인데 현재, 일본에서는 부레 옥잠를 비롯한 cress, Chinese-pakbung 등의 엽채, 민트 등의 향초, 꽃창포, 물망초 등의 화초, 여러 근채, 약초 들을 이용하여 물속의 용존 영양염류를 제거하고 이들 식물들을 적절한 시기에 수거하여 여러 가지 목적에 이용할 수 있도록 연못 시스템 내에 여러 가지의 식물체들을 식재하고 있다.

3. 산노가와(山王川) 인공습지

가스미가우라(霞ヶ浦) 유입되는 오염물질 저감을 위하여 생활하수의 유입이 많은 세네가와(山王川) 하구에 식생정화시설을 설치하였다. 본 시설은 1988년 國土交通省關東地方整備局 가스미가우라(霞ヶ浦)공사사무소에서 설치하고, 운영은 주민자치단체인 산노가와 식생정화시설 유지관리회에서 하고 있으며 지역주민의 환경학습장으로 이용하고 있다. 시설물 제원으로 면적은 5,600m²이고 수심 0.1m, 수면적 부하는 0.45m³/m² 이며 취수방식은 고정보를 이용한 취수이다.

평균 체류시간은 평균5~10시간이며, 유입수의 평균수질은 총질소함량 3.4mg/ℓ, 총인함량 0.23mg/ℓ 이며, 평균 처리효율은 총질소함량 32%, 총인함량 39%이다.

우리나라의 하수처리율과 하수도 보급률이 미흡하여 하천의 오염이 심화되는 추세에서 1991년 국립환경연구원이 소규모 하천에 적용하여 수질을 개선하기 위한 기술개발의 일환으로 경기도 고양시 신도읍에 소재한 창능천의 둔치에 유효용량 10.8 m³의 FRP제 폭기식과 비폭기식 자갈층 접촉산화시설을 설치하여 실험· 운전하여 실용화를 시도한 것이 처음이다. 여기에 사용한 자갈층은 자갈의 직경이 10~15cm, 공극율 45%로 구성되었으며, 수리학적 체류시간은 5.8시간으로 운전하였다.

연구결과 유입수의 연평균 BOD농도가 36.3mg/ℓ 였으나, 처리수는 폭기식에서는 평균 15.6mg/ℓ, 비폭기식에서는 25.6mg/ℓ 로 나타났으며, 유입하천수의 농도가 30mg/ℓ 를 초과한 경우에는 폭기가 필수적이라는 결과를 얻었다.

이 후 접촉산화법의 접촉재로 폐콘크리트와 페타이어를 사용한 연구가 진행되었으며, 근래에는 수생식물을 이용한 연구가 활발하게 이루어지고 있고, 최근 호소 내 오염하천 유입부의 식물에 의한 정화처리 연구가 한강 수질 검사소에서 이루어졌다.

폐수처리 방법에서 처리효율이 공인된 폐수처리 공법이 경제적인 것으로 되기 위해서는 우선, 공기오염 같은 2차 환경오염이 없어야 하며 resource/energy recycling이 되어 운전에 소용되는 비용이 저렴하여야 한다.

4. 빈하우젠(Wienhausen, 독일)

독일의 대표적인 생태마을 빈하우젠에서는 생활 오폐수를 3차에 걸쳐 정화시키는 시스템을 각 가구별 설치하였다. 1차는 기계식으로 정화시킨 후 2차 수생식물인 갈대를 작은 입자의 자갈층에 식재하여 정화시스템을 구축하였으며 3차 미적인 요소를 가미한 생태연못을 조성하였다. 이곳에는 부들, 붓꽃류, 박하, 창포 등 갖가지 수생식물과 연못 내에 수련과 부엽식물을 식재하여 물을 정화시키고 조경적인 아름다움을 구현하는 2중 효과를 주었다. 연못 내에는 잉어 등의 물고기가 살고 있어 물의 정화도를 측정할 수 있도록 하였고 물고기가 연못에 유영함으로써 생동감 있는 연못의 모습을 보여주고 있다. 이러한 갈대를 이용한 인공습지의 형태는 둥근형, 직사각형, 삼각형, 타원형, 정사각형의 여러 형태로 조성되었다. 이때 갈대 식재지는 0.5-2.0m의 자갈층으로 하였는데 이 때 작은 자갈(0.5-1.5cm)만을 사용하고 모래나 흙은 전혀 배양토로 사용하지 않았다.

빈하우젠의 86%인 130여 가구에 이러한 시스템을 설치하였으며 이 가구에서는 하수도 요금을 내지 않고 있다.

제 2 절 국내외 기술개발 현황

1990년대 들어 유럽과 북미에서 경제적으로나 환경적으로 중요한 vegetation filter에 대한 관심이 증대되고 있다. 특히 1992년 11월에 개최된 International Energy Agency/ Biomass Agreement (IEA/BA) Task VIII에서 "Biological disposal of waters and sludges"의 주제를 발표하여(Niels Heding, Denmark) 많은 공감을 얻은 바 있다.

그 후 1993년 6월에는 영국에서 vegetation filter annual meeting을 가진 바 있으며, 1994년 6월에는 스웨덴에서 환경폐수와 슬러지에 대한 *Salix*종의 vegetation filter에 관하여 meeting을 가진 바 있다.

우리 나라에서도 일간신문에 은행나무가 오염된 토양에서 카드뮴의 정화효과가 탁월하다는 보고가 있었으며(환경연구원), 조경수목의 대기오염물질에 대한 피해반응(김명희 등, 1993) 등을 보고하였다.

한편 외국에서는 식물체에서 오염된 토양에서 중금속에 대한 용해제로서의 가능성에 대한 보고(Bradshaw and McNeilly, 1982; Barker, 1987; Erst *et al*, 1992; Schnoor *et al.*, 1995; Huang and Cunningham 1996; Boyajian and Carreira, 1997)가 있으며, 최근에는 중금속으로 오염된 토양에서 임목이 생존할 수 있는 적응 결과에 대한 연구 보고(Borgegard and Rydin, 1989; Eltrop *et al*, 1991; Dickinson, 1993; Licht, 1995; Tzfira, 1997) 등이 있다.

지금까지 vegetation filter에 대한 연구는 주로 외국에서만 수행되었을 뿐 국내에서는 아직 이와 같은 연구의 시도는 매우 미미한 실정이다. 따라서 우리 나라의 수질오염 및 토양오염 지역의 환경에 잘 적응하고 또한 오염을 정화하는 향토종의 선발은 매우 큰 의의가 있으리라 사료되며 본 연구에 있어서 다음과 같은 문제점이 있으며 본 연구의 성과가 극대화 될 수 있도록 하기 위해서는 다음과 같은 선행조건이 수반되어야만 한다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 수행 내용

(제 1 세부과제)

※연구과제명 : 하천유역 오염지의 식생 및 입지환경 분석

1. 식물상 및 식물군집 조사

만경강과 동진강 유역을 2001년 9월에 사전 답사를 통하여 하천 유역의 지형적 특성과 오염 정도의 예측에 따라 임의로 상·중·하류로 구분하여(표 1-1) 식생조사 지역을 설정하였다.

식물군집(plant community) 조사를 위해 현지 답사를 실시한 후 일정한 간격과 하천부의 종조성 상태 및 지형적 위치 등을 고려하여 만경강 15개 지역, 동진강 16개 지역에 2m×2m(4m²) 크기의 조사구(Quadrat)를 설치하였다. 또한, 각 지역은 입지에 따라 수변부와 둔치부(제방사면)에 조사구를 각각 설치하여 만경강은 총 30개, 동진강은 총 32개의 조사구를 설치하였다(표 1-4, 1-5). 조사는 2001년 9월부터 2003년 8월에 걸쳐 실시하였다.

표 1-1. 만경강과 동진강 유역의 식생 조사지 구분

구 분	장 소	비고
만경강	전북 완주군 고산면 신당교 ~ 완주군 삼례읍 삼례대교	상류
	전북 완주군 삼례읍 삼례대교 ~ 김제시 백구정 배수갑문	중류
	전북 김제시 백구정 배수갑문 ~ 기수역	하류
동진강	전북 정읍시 칠보면 칠보교 ~ 정읍시 태인면 거산리 거산교	상류
	전북 정읍시 태인면 거산리 거산교 ~ 김제시 부양면 군포교	중류
	전북 김제시 부양면 군포교 ~ 기수역	하류

식물상 조사는 각 조사구와 그 주변에 생육중인 관속식물을 기록하였으며, 조사된 식물은 대한식물도감(이창복, 1989)의 배열순서에 따라 정리하였으며(부록 1), 귀화식물과 귀화율은 박수현 등(2002)에 따랐다. 식물군집구조는 각 조사구의 중간 상대적 우세를 비교하기 위하여 Curtis and McIntosh(1951) 방법으로 상대우점치(I. V. : Importance Value)를 구하였으며, 종 구성 상태의 다양한 정도를 파악하기 위하여 종풍부성지수(Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974)와 Shannon-Wiener의 종 다양도(Pielou, 1975) 그리고 그에 따른 최대다양도(H'_{max}), 균재도(J'), 우점도(D) 등을 구하였다(단, 상대우점치는 피도에 준하여 계산).

2. 수질 및 토양분석

가. 조사 지점

수질 측정을 위한 채수지점은 만경강 및 동진강 가운데 유역 구분이 뚜렷하고, 시료채취의 접근성이 양호한 지역(각각 12개소)을 선정하였으며(표 1-2), 토양은 식생조사지와 동일한 지점에서 채취하였다(표 1-4, 1-9).

나. 시료채취 및 분석 방법

수질시료 2002년 3월에서 2004년 5월에 걸쳐 만경강과 동진강에서 각각 14회에 걸쳐 각 지점당 수심 20 cm 되는 곳에서 폴리에틸렌용기(2ℓ)에 채수하여 Ice box에 보관하였다. 또한 수질시료중 총질소를 측정하기 위하여 H_2SO_4 로 pH를 2 이하로 조정하여 다음 4 ℃이하에서 보관하였으며, 그 밖의 시료보관 및 분석은 환경처의 수질오염공정시험법에 기준하였다. 토양은 만경강 및 동진강 유역의 식생 조사구에서 토양의 최상부층인 A₀층을 걷어내고 표층으로부터 약 10~15cm 깊이의 토양을 채취·혼합하여 실내에서 음건한 뒤 분석 시료로 사용하였다.

수질시료 중 pH는 현장에서 기기(pH-Meter : Mettler-Toledo Ltd)를 이용하여 직접 측정하였으며, 총질소는 Kjeldahl법, 총인은 염화제일주석 환원법, 화학적산소 요구량은(COD) 과망간산칼륨법, Pb, Cu, Zn, Cd와 같은 중금속은 유도결합플라즈마(Inductively coupled plasma, Shimadzu)로 분석하였다. 토양분석 방법에 있어서 토성은 미국농무성법(USDA)을 따랐으며, 토양의 pH는 토양과 증류수를 1:5로 혼합하여 초자전극법으로, 유기물은 Tyurin법으로, 전질소 함량은 microkjeldahl 분해

법으로, 유효인산은 Lancaster법으로, 치환성 양이온은 암모늄아세테이트(CH₃COONH₄)로 침출한 후 Atomic absorption spectrophotometer로 각각 측정하며, 치환용량(C.E.C.)은 암모늄아세테이트(CH₃COONH₄)로 침출하여 각각 분석하였다.

표 1-2. 만경강과 동진강 수질조사 지점

구 분	채수지점	위 치	비고
만경강	신 당 교	전북 완주군 고산면 오산리	상류
	어 우 보	전북 완주군 고산면 어우리	
	봉 동 교	전북 완주군 봉동읍 봉동	
	고 천 보	전북 완주군 봉동읍 고천리	
	삼 레 교	전북 완주군 삼례읍 삼례	
	삼레철교	전북 완주군 삼례읍 삼례	중류
	잠 수 교	전북 익산시 춘포면	
	제 수 문	전북 김제시 백구면 백구정	
	만경1교	전북 김제시 청하면	하류
	공덕배수장	전북 김제시 공덕면	
	청하배수장	전북 김제시 청하면	
	만경대교	전북 군산시 대야면	
동진강	칠 보 교	전북 정읍시 칠보면 방천들	상류
	송 산 교	전북 정읍시 칠보면 송산리	
	무 성 교	전북 정읍시 칠보면 무성리	
	대 철 교	전북 정읍시 산동면 대철리	
	거 산 교	전북 정읍시 태인면 거산리	
	정 우 교	전북 정읍시 신태인읍 신태인	중류
	신태인교	전북 정읍시 신태인읍 신태인	
	군 포 교	전북 김제시 부양면	
	제수문(상)	전북 부안군 백산면	하류
	제수문(하)	전북 부안군 백산면	
	연 포 교	전북 김제시 죽산면	
	동진대교	전북 부안군 동진면	

(제 2 세부과제)

※연구과제명 : 중금속 오염물질이 식물체에 미치는 영향 분석

1. 강 유역 토양의 물리 화학적 성질 및 식물체 생육상황

가. 토성 및 토양 중 중금속 분석

1) 토양시료 채취시기 : 2001년 10월, 2002년 3월

2) 토양시료 채취장소 : 만경강·동진강 수계의 상, 중, 하류의 18개 지역 34개 지점에서 채취

3) 토양시료의 분석

18개 지역 34개 지점에서 채취한 토양의 물리적 성질, 화학적 성질 및 카드뮴, 크롬, 비소, 납, 구리 등의 중금속을 분석하였다.

채취된 토양의 중금속 함량을 측정하기 위해 채취한 토양을 음건시킨 후 2mm의 체로 걸러 시료 2.5g을 취하여 회화용 튜브에 혼합산(질산HNO_3:황산H_2SO_4:70%염소산HClO_4=5:2:1) 30ml 정도를 넣어 2-3시간 동안 흡후드에서 완전히 회화시킨다.

분해된 시료는 Whatman No. 42 filter paper로 여과시킨 후 3차 증류수를 이용하여 100ml로 정량하였다. 이상의 과정을 거쳐 전처리된 토양과 식물체의 시료는 ICPS-7500(Shimadzu)를 이용하여 토양과 식물체 내 Cd, Pb, Cu, Zn 등의 중금속을 정량하였다.

나. 시험용 식물의 준비 및 식재

1) 시험에 사용할 식물인 왕버들, 갯버들, 버드나무 2001년 9월에 묘포장의 비닐하우스 내에 삼목하였다.

2) 현지실험의 실패로 2002년 3월 다시 묘포장의 비닐하우스 내에 삼목 하였다.

3) 시험용 식물을 채취한 현지토양에 침수 재배하여 식생도입 가능성을 조사하였다.

2. 중금속 오염물질이 식물체의 삼목발근 및 종자발아에 미치는 영향

가. 종자발아시험

1) 시험용 종자: 족제비싸리(직접 종자채취)

2) 중금속 종류: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, PbNO_3 , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CdCL}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$

3) 실험방법

종자는 꼬투리와 헹잡물 등을 제거한 다음 수침법으로 정선하였다. 구리, 납, 아연, 카드뮴을 농도별로 조제하기 위해 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, PbNO_3 , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CdCL}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 을 이용하여 구리, 납, 아연은 800ppm, 400ppm, 200ppm, 100ppm, 50ppm으로, 카드뮴은 200ppm, 100ppm, 50ppm, 25ppm, 12.5ppm 등 5단계의 농도로 조제하여 샬레(9cm x 9cm)에 여과지를 깔고 그 위에 농도별로 조제한 중금속 용액을 약 20cc씩 분주하였다.

종자발아 하는데 수분부족을 방지하기 위하여 샬레의 용액이 건조하기 전에 수시로 상기 농도의 중금속 용액을 가하였다. 각 처리구별로 60립씩 4반복하여 치상한 후 온도 $25^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$, 습도 $85\% \pm 5\%$ 의 상태인 성장상에서 30일간 조사하였다.

나. 삼목실험

1) 시험용 삼수 : 버드나무, 갯버들, 낙우송의 1년생지를 비오염 지역에서 채취하여 사용.

2) 실험방법

구리, 납, 아연, 카드뮴을 농도별로 조제하기 위해 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, PbNO_3 , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CdCL}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 을 이용하여 납, 구리, 아연은 800ppm, 400ppm, 200ppm, 100ppm, 50ppm으로, 카드뮴은 200ppm, 100ppm, 50ppm, 25ppm, 12.5ppm 등 5단계의 농도로 조제하여 비이커(500cc)에 농도별로 조제한 중금속 용액을 200cc씩 분주하여 삼수의 기부가 항상 4-5cm 정도 침지되도록 하였다.

비이커 속의 중금속 용액은 삼수 발근에 지장이 없도록 항상 200cc를 유지하도록 증류수를 가하였다.

각 처리구별로 삼수는 길이 $15 \pm 1\text{cm}$ 로 조제하여 30개씩 3반복하여 수경 삼목한 후 온도 $22^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $85\% \pm 5\%$ 의 상태인 성장상에서 30일간 조사하였다.

3. 식물체의 중금속 흡수능 및 잔류량 조사

가. 식물체 식재 및 생육환경

실험대상 식물체는 버드나무, 갯버들, 노랑꽃창포를 이용하였으며, 실험대상 중금속 Pb(납), Cu(구리), Zn(아연), Cd(카드뮴)으로 하였다.

노랑꽃창포는 구입 후 뿌리를 $4\pm 0.5\text{cm}$ 정도로 일정하게 잘라 유리온실에 표 2-2에서와 같은 조건에 존치한 후 새싹이 지상부에 나타날 때 중금속 액을 투여하였으며 2003년 12월 22일부터 2004년 4월 26일까지 생장기간은 110일간이었다.

버드나무와 갯버들은 삼목하여 발근된 묘목을 구입하여 표 2-3에서와 같은 조건의 냉상에서 노랑꽃창포와 같은 방법으로 2004년 3월 20일부터 2004년 6월 29일까지 생장기간은 98일간이었다.

식물체의 생장 조건에서 노랑꽃창포의 생장기간동안의 환경조건은 표 2-2와 같이 월평균 최저기온은 $2.6\text{--}4.2^{\circ}\text{C}$ 이고 월평균 최고기온은 $30.8\text{--}34.8^{\circ}\text{C}$ 이며 일평균기온은 $13.9\text{--}19.5^{\circ}\text{C}$, 습도는 $40.5\text{--}52.3\%$ 인 온실에서 성장하였다.

갯버들과 버드나무의 생장기간동안의 환경조건은 표 2-3과 같이 월평균 최저기온은 $0.5\text{--}11.4^{\circ}\text{C}$ 이고 월평균 최고기온은 $26.0\text{--}38.9^{\circ}\text{C}$ 이며 일평균기온은 $14.3\text{--}25.1^{\circ}\text{C}$, 습도는 $50.9\text{--}69.6\%$ 인 조건의 냉상에서 성장하였다. 한편 식물체 생장기간 동안 전주지역의 기상상황은 표 2-4와 같았다.

나. 중금속 처리 및 수분 공급

공시토양은 표 2-1과 같은 토성의 토양을 이용하였다. 구리, 납, 아연, 카드뮴을 농도별로 조제하기 위해 CuSO_4 , PbNO_3 , ZnSO_4 , $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 을 이용하여 구리, 납, 아연은 800ppm, 400ppm, 200ppm, 100ppm, 50ppm으로, 카드뮴은 200ppm, 100ppm, 50ppm, 25ppm, 12.5ppm 등 5단계의 농도로 조제하여 Pot(30cm x 30cm x 30cm)에 표 2-1과 같은 토성을 가진 토양을 채운 후 식물체 식재 전 대조구와 농도별로 조제한 중금속 액을 Pot내 토양이 충분히 흡수할 수 있을 만큼 약 1.5L를 투여하였다.

식물체가 식재되고 중금속 액이 투여된 후에는 Pot에 투여한 중금속 액이 식물체의 흡수에 의한 손실 외에는 손실되지 않도록 아래에 10L용 대야를 놓고 그 속에 Pot를 존치시켰다.

이후에는 토양에 수분이 충분히 공급될 수 있도록 2-3일 간격으로 대야에 수돗물로 1/3가량을 채웠다가 시료 채취시기에는 토양 중 수분 함량을 식물체 식재 전 상태가 되도록 하였다.

표 2-1. 공시토양의 토성

요소	pH (1:5)	O.M (%)	T.N (ppm)	E.C (ds/m)	Exchangeable(me/100g)		
					K	Ca	Mg
합량	7.8	0.34	42.0	0.22	0.15	10.69	3.15

* O.M. : organic matter, E.C. : electric conductance, T.N. : total nitrate

다. 중금속 분석

각 처리별 토양의 중금속 함량을 측정하기 위해 채취한 토양을 음건시킨 후 2mm의 체로 걸러 시료 2.5g을 취하여 회화용 튜브에 혼합산(질산HNO_3:황산H_2SO_4:70%염소산HClO_4=5:2:1) 30ml 정도를 넣어 2-3시간 동안 흡후드에서 완전히 회화시킨다.

식물체는 뿌리와 잎+줄기 즉, 지상부와 지하부로 양분하여 각 부위별로 70°C 의 건조기에서 48시간 건조시킨 후 2g을 취하여 토양시료의 처리과정과 같은 방법으로 완전히 회화시킨다.

분해된 시료는 Whatman No. 42 filter paper로 여과시킨 후 3차 증류수를 이용하여 100ml로 정량하였다. 이상의 과정을 거쳐 전처리된 토양과 식물체의 시료는 ICPS-7500(Shimadzu)을 이용하여 토양과 식물체 내 Cd, Pb, Cu, Zn등의 중금속을 정량하였다.

표 2-2. 노랑꽃창포 식재지의 환경조건

구분 \ 연월	2004년 1월	2004년 2월	2004년 3월	2004년 4월
최저기온(°C)	3.7	4.2	2.7	2.6
최고기온(°C)	30.8	32.8	33.4	34.8
일평균기온(°C)	13.9	18.1	17.7	19.53
습도(%)	41.4	40.5	47.3	52.3

표 2-3. 갯버들과 버드나무 식재지의 환경조건

구분 \ 연월	2004년 3월	2004년 4월	2004년 5월	2004년 6월
최저기온(°C)	0.5	5.3	4.3	11.4
최고기온(°C)	26.0	31.0	33.1	38.9
일평균기온(°C)	14.3	19.6	21.01	25.1
습도(%)	51.4	50.9	60.7	69.6

표 2-4. 식물체 생장기간 동안 전주지역의 기상상황(전주기상대 2004)

구분 \ 월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
최저기온(℃)	-5	-1.8	1.1	6.5	13.3	18.3	23.3
최고기온(℃)	4.8	9.8	13.7	20.7	24	28.9	31.4
일평균기온(℃)	-0.6	3.6	7	13.5	18.5	23.1	26.9
습도(%)	65.4	59.3	51.4	50.9	64.6	65.7	72.3

(제 3 세부과제)

※연구과제명 : 오염지에서 식물의 성장과 질소, 인 저감효과 분석

1. 식물에 의한 하천토양 내 질소·인 제거효과

질소와 인에 의해 오염정도가 다른 하천토양에 공시종 식물인 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus* L.)와 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.)을 5개월 동안 재배한 후 하천 토양과 공시식물 체내의 질소와 인의 함량, 식물체의 성장특성 등을 조사 분석하였다.

가. 하천토양의 채취 및 질소와 인의 측정

1) 공시토양의 채취

생활하수와 공단폐수 등이 방류되어 오염된 하천토양을 얻기 위해 오염상태가 다른 만경강 상류(A, B), 중류(C, D), 하류(E)에서 5지점을 선택하여 시험토양을 채취하였다. 채취지점은 그림 3-1 및 표 3-1 에 나타난 바와 같다.

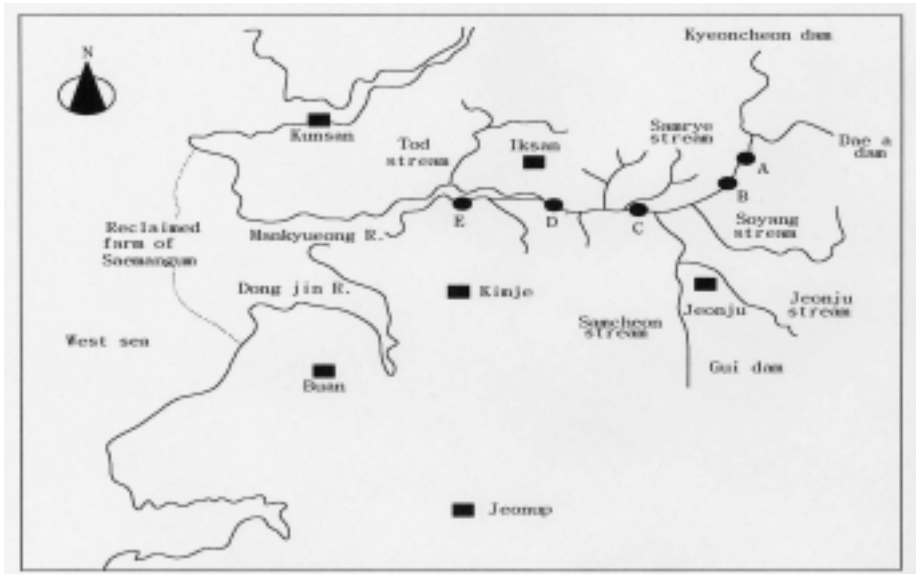


그림 3-1. 시료채취 위치

표 3-1. 시료채취 지점

Waterway Soils	Picking Site	Remark
A	Sindan Bridge	upper
B	Bondong Bridge	upper
C	Samyre Bridge	middle
D	Gocheon water reservoir	middle
E	Gongduk water reservoir	lower

2) 분석시료의 조제

채취방법은 2001년 2월에 하천토양의 표토를 걷어낸 후 각 지점마다 5점을 채취하였다. 각 지점에서 채취한 5점의 토양시료를 혼합한 후, 토양을 실험실로 옮겨 그늘지고 통풍이 잘 되는 곳에서 얇게 펴서 2주간 음건시켰다. 음건 후 덩어리 상태인 토양을 잘게 부순 후 실험체(No. 10)로 쳐서 뿌리 등 이물질이 완전히 제거하여 유리병에 넣어 햇빛이 들지 않는 곳에 보관하여 분석시료로 이용하였다. 대조구 토양은 전북대학교 농과대학 묘포장에서 채취한 화강암질 풍화토(마사토)를 사용하였다.

3) 질소(Total-Nitrogen)함량 측정

식물재배 후 토양시료는 각 포트에서 시료를 채취하여 공시토양과 같은 방법으로 조제하였다. 질소의 함량은 micro Kjeldahl 법에 의하여 음건한 토양 1g을 K_2SO_4 와 $CuSO_4$ 을 7 : 0.8(w/w)의 비로 혼합한 분해촉진제 5g과 진한 H_2SO_4 25ml을 Kjeldahl flask에 넣어 청색이 된 후 30분 정도 더 가열한 후 실온으로 냉각한다. 정용한 시료 10ml과 40% NaOH수용액 10ml을 증류장치에 넣고, 가열하면서 나온 증류액을 4% 붕산 5ml을 넣은, 100ml 삼각 플라스크에 받아 이 증류액을 0.1N 황산으로 적정하여 총질소량을 계산하였다.

4) 유효인산함량 측정

유효인산함량 분석은 Lancaster법으로 하였다. 음건토양 1g을 100ml 분해 flask에 넣고 진한 질산 5ml를 가하여 잘 섞은 후 처음에는 약하게 가열하다가 온도를

올려 180 - 200 °C에서 가열·건고 하였다. 냉각 후 ternary solution 10ml를 가하고 200 °C 가열판에서 분해액이 백색이 되거나 투명하게 되면 분해를 멈추어, 냉각 후 뜨거운 물을 가해 250ml volumetric flask에 여과하고 계속 뜨거운 물로 씻으면서 여과하였다. 냉각 후 눈금을 맞추어, 이 분해액을 분광광도계(UV-1601pc, Shimazu)로 측정하였다.

나. 공시식물의 재배

1) 공시식물

실험에는 목본으로는 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.), 은사시나무(*Populus tomentiglandulosa* T. LEE), 낙우송(*Taxodium distichum*(L.) Richard), 족제비싸리(*Amorpha fruticosa* Linn.), 왕버들(*Salix glandulosa* Seemann)을 초본으로는 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus* L.)를 사용하였다. 이 가운데 갯버들은 2001년 9월에 삼목한 묘목을 2002년에 시험재료로 사용하였고, 나머지 목본식물은 2002년 4월에 삼목하여 2003년에 시험재료로 사용하였다. 시험 시에 목본식물은 모두 뿌리를 10cm로 길이를 일정하게 절단 한 후 사용하였다.

노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus* L.)는 전북대학교 농과대학교 묘포장에 식재되어 있는 실생묘를 캐내어 잎길이 10cm, 수염뿌리 10cm로 맞추어 식재 하였다. 이 때 알뿌리는 발생하지 않는 상태였으므로 수염뿌리만의 길이를 맞추어 식재하였다.

2) 공시식물의 재배

하천토양의 질소와 인 농도에 따른 성장량을 조사하기 위해 식재전에 각각 그 성장상태를 측정하였다. 노랑꽃창포는 식재전의 조건을 엽장 10cm, 수염뿌리 10cm로 맞추어 조건이 동일하게 하였다. 갯버들은 식재전의 가지수, 가지직경, 가지길이의 성장상태를 측정하였고, 식재전에 잎을 모두 제거하였으므로 잎의 수는 측정하지 않았다.

만경강의 5지점에서 채취한 시험토양을 높이 50cm, 직경 30cm의 구멍이 없는 고무통에 20cm정도의 높이로 담았다. 이는 관수시 토양내에 함유되어 있는 질소와 인이 배수구로 빠져나갈 경우를 방지하기 위해 배수구가 없는 고무통을 사용하여 실험하였다. 이러한 방식으로 5지점의 하천토양을 각각 5개의 포트에 담은 후 포트당 4본씩 식재하여 비닐하우스 안에서 실험하였다.

갯버들과 노랑꽃창포는 2002년 5월 21일에 식재하여 2002년 10월 21일 실험을 종료하였고, 은사시나무, 낙우송, 족제비싸리, 왕버들은 2003년 5월 20일에 식재하여 동년 10월 10일에 실험을 종료하였다. 수분공급은 포트에 항상 침수상태의 물이 유지되도록, 수돗물을 관수하였다.

다. 식물체내 질소와 인의 함량분석

1) 질소의 함량분석(Total-Nitrogen)

목본식물중에서는 갯버들을 대상으로 하여 잎과 뿌리·줄기를, 노랑꽃창포는 잎과 뿌리의 질소함량을 조사하였다. 분석을 위하여 실험 종료 후 각 실험구에서 포트당 2개의 개체를 추출하여 건조하였다. 건조한 식물체를 분쇄하여 만든 시료 0.5g을 취해 K_2SO_4 와 $CuSO_4$ 을 7 : 0.8(w/w)의 비로 혼합한 분해촉진제 5g과 진한 H_2SO_4 25ml을 Kjeldahl flask에 넣어 청색이 된 후 30분정도 더 가열한 후 실온으로 냉각하였다. 정용한 시료 10ml과 40% NaOH수용액 10ml을 증류장치에 넣고, 가하면서 나온 증류액을 4% 분산 5ml을 넣은, 100ml 삼각 플라스크에 받아 이 증류액을 0.1N 황산으로 적정하여 총질소량을 계산하였다. 질소의 함량은 micro Kjeldahl 법으로 측정하였다.

2) 인의 함량 분석

질소의 함량분석과 동일한 방법으로 만들어진 시료 0.5g을 도가니에 취하여 전기로에 넣고 온도를 서서히 올려 2시간 동안에 500℃에 이르게 한 후, 전기로의 온도가 500℃에 이르면 4시간 동안 회화하였다. 회화한 후 실온에서 냉각하고, 1.0N HCl 10.0ml를 가하여 약한 열을 가해 잘 용해하였다. 이것을 50ml volumetric flask에 옮기고 이온교환수로 눈금을 맞춘 후, 이와 같은 전처리를 한 분해액을 분광광도계(UV-1601pc, Shimazu)로 측정하였다.

라. 통계처리

식물체의 성장량과 질소·인의 함유량 및 잔존량, 광합성과 엽록소량은 통계 프로그램 SAS 6.12 version을 사용하여 통계검정을 하였다.

2. 식물에 의한 하천수 내 질소·인 제거효과

가. 공시식물

목본식물로는 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.), 버드나무(*Salix koreensis* Andersson), 왕버들(*Salix glandulosa* Seemann), 능수버들(*Salix pseudo-lasiogyne* LÉV.), 용버들(*Salix matsudana* for. *tortuosa* REHDER), 낙우송(*Taxodium distichum*(L.) Richard), 족제비싸리(*Amorpha fruticosa* Linn.)를 사용하였고 초본식물로는 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus* L.), 창포(*Acorus calamus* var. *angustatus*), 석창포(*Acorus gramineus* SOLAND)를 사용하였다.

공시식물 재료는 목본류는 2002년 봄에 삽목하여 육성한 것과 구입묘(갯버들)를 사용하였고, 노랑꽃창포와 창포는 2003년 3월 전문 농장에서 재배한 pot묘를 구입하여 사용하였다.

나. 질소, 인의 농도조절

질소의 농도는 5ppm, 10ppm, 20ppm으로 조절하였고, 인의 농도는 0.5ppm, 1ppm, 2ppm으로 조절하였다. 이는 각각 동진강, 만경강, 도시내 세천인 연화천의 최고 질소, 인 함유농도이다. 농도조절에 사용한 시약은 질소는 KNO_3 , 인산은 K_2HPO_4 이며 농도는 N와 P의 분자량을 기준으로 하였다.

다. 실험시간 구분

실험시간은 1시간, 2시간, 3시간, 4시간의 4단계로 구분하여 시간당 질소, 인의 농도감소를 측정하였다.

하천 내 와류지, 대규모 자연형 수질정화시설 등에서 5일 이상 20일까지 장기적으로 물이 체류할 경우에 식물들이 수중의 질소와 인을 흡수제거하는 효과를 분석하기 위하여, 갯버들, 버드나무, 능수버들, 왕버들, 용버들, 족제비싸리, 낙우송, 노랑꽃창포, 창포, 석창포를 사용하여 시험하였다. 시험방법은 앞의 체류시간에 따른 식물의 질소와 인산 제거효과 시험과 동일하다. 시험기간은 식물을 2004년 3월에 식재하여 성장 최성기인 7월 10일부터 7월 30일 사이에 측정하였고, 체류기간은 5일, 10일, 20일로 구분하였다.

라. 생장시기 구분

노랑꽃창포와 창포의 생육단계를 3단계로 구분하여 시험을 실시하였다. 즉 생장 초기단계인 4월 20일, 생장단계인 5월 20일, 생장최성기인 6월 10일에 각각 시험을 실시하였다. 공시식물의 단계별 초장, 분얼포기수, 엽수는 표 3-2와 같다.

표 3-2. 공시식물의 단계별 초장과 분얼포기수

공시식물	생장 단계	초장(cm)	분얼수	엽수
노랑꽃창포	생장초기	50.8	1	3
	생장기	56.0	3	5
	최성기	60.8	5	7
창포	생장초기	46.1	1	3
	생장기	55.6	3	5
	최성기	63.8	5	7

마. 공시식물의 재배조건

전북대학교 연습림내에서 마사토를 10kg으로 일정하게 담은 후 pot당 3본씩 공시식물을 식재하여 전북대학교 연습림내 비닐하우스에서 재배하였다. pot는 높이 35cm, 직경 30cm 인 구멍이 없는 고무통과 높이 12cm, 직경 40cm인 구멍이 없는 플라스틱 물통을 사용하였다. 시험시 농도조절이 된 물은 3ℓ씩 동일하게 관수하였다. 시험구는 각 요인마다 3반복으로 배치하였다.

바. 질소, 인 분석방법

1) 질소의 함량분석(NO₃-N)

시료 50ml를 분해병에 넣고 알칼리성과 황산칼륨 10ml를 넣어 마개를 닫고 흔들어 섞은 다음 고압증기 멸균기에 넣고 가열하다가 100℃이하로 떨어지면 멸균기를 열어서 분해병을 꺼내어 방냉하는 전처리를 하였다. 실험은 100ml 비이커에 유리섬유여지를 접어놓고 전처리한 시료의 상등액을 비이커에 취하여 여과하고 처음 여액 5~10ml를 버린 후 받은 여액을 25ml 흡피펫에 정확히 취하여 50ml 비이커에 옮기

고 염산 5ml를 넣어 pH 2~3으로 하고 200nm에서 흡광광도기에 찍었다. 바탕시험액은 증류수 50ml를 취하여 시료의 전처리 시험방법에 따라 시험하고 이를 대조액으로 검액의 총질소농도(mg/ℓ)를 산출하였다.

$$\text{총질소(mg N/ℓ)} = a * \frac{60}{25} * \frac{1000}{V}$$

a : 검량선으로부터 구한 질소의 양(mg)

2) 인의 함량분석(PO₄-P)

시료 50ml를 분해병에 넣고 과황산칼륨용액 10ml를 넣어 마개를 닫고 섞은 다음 고압증기멸균기에 넣어 가열하다가 약 120℃가 될 때부터 30분간 가열분해를 계속하고 분해병을 꺼내 방냉하는 전처리를 하였다. 실험은 시료의 상등액을 25ml 메스플라스크에 담고 몰리브덴산암모늄 아스크로 빈산혼액 2ml를 넣어 흔들어서 섞은 다음 20 ~ 40℃에 15분간 방치하였다. 증류수 50ml를 취하여 시료의 시험방법에 따라 바탕시험액으로 하고 710nm파장에서 흡광광도를 찍어 다음 식에 따라 산출하였다.

$$\text{총인(mg P/ℓ)} = a * \frac{60}{25} * \frac{1000}{50}$$

a : 검량선으로부터 구한 인의 양(mg)

3. 전정관리에 따른 하천토양 내 질소·인 제거효과

가. 공시토양

만경강 수계에서 채취한 토양 중에서 질소와 인의 함량이 많은 하천 중류의 D 토양을 사용하였다.

나. 공시식물

갯버들을 시험식물로 사용하였다.

다. 공시식물의 재배

하천토양의 질소·인 제거효과시험에서와 같은 방법으로 식재하여 3년동안 재배하였다.

라. 전정방법

갯버들을 3년간 전정하지 않고 재배한 시험구, 2차년도에 1회 전정한 시험구, 2차년도와 3차년도에 걸쳐 2회 전정한 시험구로 구분하였다.

마. 질소·인 함량분석 시기

3가지 시험구에 대하여 2002년 10월 20일, 2003년 10월 20일, 2004년 8월 20일에 각각 토양을 채취하여 토양 내 질소와 인의 함량을 측정하였다.

제 2 절 연구개발 수행 결과

(제 1 세부과제)

※연구과제명 : 하천유역 오염지의 식생 및 입지환경 분석

1. 식물상 및 식물군집 조사

가. 관속식물상

1) 만경강

가) 상류

만경강 상류 주요 하천변을 중심으로 관속식물상을 파악한 결과, 68과 183속 231종 35변종 2품종의 총 268분류군(taxa)이 분포하는 것으로 조사되었다(부록 1).

이중 목본식물(woody plants)은 왕버들, 닥나무, 좁깨잎나무, 명석딸기, 광대싸리 등의 20과 32속 40종 5변종 1품종의 총 46분류군(17.2%)인 반면 초본식물(herbaceous plants)은 55과 153속 191종 30변종 1품종의 총 222분류군(82.8%)을 차지하였다. 또한, 양치식물은 2과 2속 1종 1변종의 2분류군(0.7%)이었으며, 피자식물 중에는 단자엽식물이 11과 37속 43종 9변종의 총 52분류군(19.4%)이었고, 쌍자엽식물이 55과 144속 187종 25변종 2품종의 총 214분류군으로 전체의 79.9%의 비율을 차지하였다(부록 1).

주요 식물종으로는 환삼덩굴(*Humulus japonicus*), 강아지풀(*Lactuca indica* var. *laciniata*), 왕고들빼기(*Setaria viridis*)는 모든 지역에서 출현하여 만경강 상류 유역에서 가장 출현 빈도가 높은 종으로 나타났다. 그밖에 토끼풀, 쭉, 닭의장풀, 미국가막사리, 돼지풀, 달맞이꽃, 달뿌리풀, 며느리배꼽, 바랭이, 박주가리, 깨풀, 매듭풀, 명아주, 고마리 등도 자주 출현하는 종들이었다. 수생식물(aquatic plants)로는 자라풀, 노랑어리연꽃, 어리연꽃, 붕어마름, 개구리밥, 좁깨구리밥, 수련, 연꽃, 왜개연꽃, 마름, 애기마름 등이 출현하였다.

조사된 식물들 중에서 만경강 상류 유역에 가장 많이 분포하는 분류군(taxa)은 국화과(Compositae) 식물이 38종류로 가장 압도적으로 세력을 유지하고 있었으며, 벼과(Gramineae) 29종류, 콩과(Leguminosae) 27종류, 마디풀과(Polygonaceae) 18종류, 장미과(Rosaceae) 13종류 그리고 사초과(Cyperaceae) 10종류의 순이었다. 귀화

식물(naturalized plants)은 메귀리, 개비름, 미국자리공, 다닥냉이, 개망초 등의 11과 29속 38종 1변종의 총 39분류군(14.6%)이 조사되었다(부록 1).

나) 중류

만경강 중류 주요 하천변을 중심으로 관속식물상을 파악한 결과, 40과 111속 129종 15변종의 총 144분류군(taxa)이 분포하는 것으로 조사되어(부록 1), 만경강 상류(268분류군)에서 중류로 내려 갈수록 식물종이 다소 감소하여 다양한 식물상을 나타내지 못하였다.

이중 목본식물(woody plants)은 왕버들, 갯버들, 명석딸기, 자귀나무, 아까시나무 등의 7과 14속 18종 의 총 18분류군(12.5%)인 반면 초본식물(herbaceous plants)은 28과 84속 111종 15변종의 총 126분류군(87.5%)을 차지하였다. 또한, 양치식물은 1과 1속 1종의 1분류군(0.7%), 나자식물은 1과 1속 1종의 1분류군(0.7%), 피자식물 중에는 단자엽식물이 7과 29속 35종 4변종의 총 39분류군(27.1%)이었고, 쌍자엽식물이 31과 80속 92종 11변종의 총 103분류군으로 전체의 71.5%의 비율을 차지하였다(부록 1).

주요 식물종으로는 갈대, 고마리, 바랭이, 소리쟁이, 쇠무릎, 환삼덩굴, 쇠별꽃, 참새피 등이 대부분 조사구에서 조사되어 만경강 중류 유역에 광범하게 출현하고 있었으며, 그 밖에 돌피, 나도냉이, 방동사니, 가는쑥부쟁이, 쇠뜨기, 줄, 털비름 등도 자주 출현하는 종들이었다.

조사된 식물들 중에서 만경강 중류 유역에 가장 많이 분포하는 분류군은 벼과(Gramineae)와 국화과(Compositae) 식물이 각각 26종류, 25종류로 가장 우세한 세력을 유지하고 있었으며, 콩과(Leguminosae) 16종류, 마디풀과(Polygonaceae) 8종류, 사초과(Cyperaceae) 7종류 그리고 장미과(Rosaceae) 6종류의 순이었다. 귀화식물은 털비름, 개소시랑개비, 아까시나무, 둥근잎유홍초, 족제비싸리, 돼지풀 등의 9과 21속 22종 1변종의 총 23분류군(16.0%)이 조사되었다(부록 1).

다) 하류

만경강 중류 주요 하천변을 중심으로 관속식물상을 파악한 결과, 31과 88속 98종 13변종 1품종의 총 112분류군(taxa)이 분포하는 것으로 조사되어(부록 1), 만경강 상류(268분류군), 중류(144분류군)에서 하류로 내려 갈수록 식물종이 다소 감소

하는 경향을 나타냈다.

이중 목본식물(woody plants)은 해송, 버드나무, 찔레꽃, 아까시나무, 족제비싸리 등의 4과 8속 9종의 총 9분류군(8.0%)인 반면 초본식물(herbaceous plants)은 29과 80속 89종 13변종 1품종의 총 103분류군(92.0%)을 차지하였다. 또한, 양치식물은 1과 1속 1종의 1분류군(0.9%), 나자식물은 1과 1속 1종의 1분류군(0.9%), 피자식물 중에는 단자엽식물이 6과 26속 22종 3변종의 총 25분류군(22.3%)이었고, 쌍자엽식물이 23과 60속 74종 10변종 1품종의 총 85분류군으로 전체의 75.9%의 비율을 차지하였다(부록 1).

주요 식물종으로는 갈대, 칠면초, 쑥, 쇠무릎, 환삼덩굴, 소리쟁이, 쇠별꽃, 망초, 강아지풀, 개망초 등이 대부분 조사구에서 조사되어 만경강 하류 유역에 광범하게 출현하고 있었으며, 그 밖에 갯개미취, 쑥부쟁이, 머느리배꼽, 가는갯능쟁이, 쇠뜨기, 새팔, 세잎양지꽃 등도 자주 출현하는 종들이었다.

조사된 식물들 중에서 만경강 하류 유역에 가장 많이 분포하는 분류군은 국화과(Compositae)와 벼과(Gramineae)와 식물이 각각 22종류, 21종류로 가장 우세한 세력을 유지하고 있었으며, 콩과(Leguminosae) 12종류, 마디풀과(Polygonaceae)와 명아주과(Chenopodiaceae) 각각 7종류의 순이었다. 귀화식물은 소리쟁이, 다닥냉이, 토끼풀, 달맞이꽃, 나팔꽃, 기생초 등의 9과 17속 18종의 총 18분류군(16.1%)이 조사되었다(부록 1).

2) 동진강

가) 상류

동진강 상류 주요 하천변을 중심으로 관속식물상을 파악한 결과, 63과 178속 202종 30변종 1품종의 총 233분류군이 분포하는 것으로 조사되었는데(부록 1), 이는 만경강 상류 유역의 268분류군에 비해 종수가 다양하지 못한 것으로 나타났다.

이중 목본식물은 버드나무, 사위질빵, 찔레꽃, 조록싸리, 까마귀베개 등의 21과 33속 38종 3변종 1품종의 총 42분류군(18.0%)인 반면 초본식물은 53과 148속 164종 27변종의 총 191분류군(82.0%)을 차지하였다. 또한 피자식물 중에는 단자엽식물이 11과 43속 48종 8변종의 총 56분류군(24.0%)이었고, 쌍자엽식물이 50과 133속 153종 21변종 1품종의 총 175분류군으로 전체의 75.1%의 비율을 차지하였다(부록 1).

주요 식물종으로는 갈대(*Phragmites communis*), 개밀(*Agropyron*

tsukushinense var. *transiens*), 환삼덩굴(*Humulus japonicus*), 개망초(*Erigeron annuus*), 소리쟁이(*Rumex crispus*), 쇠별꽃(*Stellaria aquatica*)는 대부분 지역에서 광범하게 출현하여 동진강 상류 유역에서 가장 출현 빈도가 높은 종으로 나타났다. 그밖에 갈퀴나물, 고마리, 닭의장풀, 망초, 미나리, 미국가막사리, 쇠뜨기, 쑥, 왕고들빼기, 이삭사초, 쥐꼬리새풀 등도 자주 출현하는 종들이었다. 수생식물(aquatic plants)로는 개구리밥, 물옥잠, 물닭개비, 붕어마름, 노랑어리연꽃, 물수세미 등이 출현하였다.

조사된 식물들 중에서 동진강 상류 유역에 가장 많이 분포하는 분류군은 벼과(Gramineae)와 국화과(Compositae) 식물이 각각 29종류, 28종류로 압도적인 세력을 유지하고 있었으며, 콩과(Leguminosae) 24종류, 마디풀과(Polygonaceae) 14종류, 사초과(Cyperaceae) 11종류 그리고 장미과(Rosaceae) 10종류의 순이었다. 귀화식물은 진득찰, 돼지풀, 까마중, 애기땅빈대, 나도냉이 등을 포함한 14과 29속 31종 1변종의 총 32분류군(13.7%)이 조사되어 만경강 상류(14.6%)에 비해 귀화율이 낮아 자연식생이 덜 교란되었음을 알 수 있었다(부록 1).

나) 중류

동진강 중류 주요 하천변을 중심으로 관속식물상을 파악한 결과, 39과 115속 124종 16변종의 총 140분류군이 분포하는 것으로 조사되어(부록 1), 동진강 상류(233분류군)에서 중류로 내려 갈수록 현저하게 식물종이 감소하는 현상을 보여주었다. 이중 목본식물은 갯버들, 짚레꽃, 칩, 죽제비싸리, 구기자나무 등의 6과 11속 14종의 총 14분류군(10.0%)인 반면 초본식물은 30과 92속 110종 16변종의 총 126분류군(90.0%)을 차지하였다. 또한, 양치식물은 1과 1속 1종의 1분류군(0.7%), 피자식물 중에는 단자엽식물이 8과 33속 36종 5변종의 총 41분류군(29.3%)이었고, 쌍자엽식물이 30과 80속 87종 1아종 10변종의 총 98분류군으로 전체의 70.0%의 비율을 차지하였다(부록 1).

주요 식물종으로는 갈대, 쑥, 환삼덩굴, 쇠뜨기, 고마리, 쇠무릎, 쇠별꽃, 개밀 등이 대부분 조사구에서 조사되어 동진강 중류 유역에 광범하게 출현하고 있었으며, 그 밖에 줄, 메꽃, 머느리밀씻개, 미나리, 층층이꽃, 소루쟁이, 억새, 닭의장풀, 뚜껍덩굴 등도 자주 출현하는 종들이었다. 귀화식물로는 개망초, 망초, 미국가막사리가 출현 빈도가 매우 높게 나타났다.

조사된 식물들 중에서 동진강 중류 유역에 가장 많이 분포하는 분류군은 벼과(Gramineae)와 국화과(Compositae) 식물이 각각 37종류, 31종류로 전체의 34.3%를 차지하여 압도적인 세력을 유지하고 있었으며, 콩과(Leguminosae) 17종류, 마디풀과(Polyginaceae)와 사초과(Cyperaceae)가 각각 9종류의 순이었다. 귀화식물은 메귀리, 미국개기장, 미국자리공, 다닥냉이, 달맞이꽃, 가시상치, 양미역취, 방가지똥 등을 포함한 8과 23속 23종 1변종의 총 24분류군(17.1%)이 조사되어 동진강 상류(32분류군)에 비해 낮았지만 귀화율(상류지역 14.6%)은 높게 나타났다(부록 1).

다) 하류

동진강 하류 주요 하천변을 중심으로 관속식물상을 파악한 결과, 42과 99속 105종 13변종 1품종의 총 119분류군이 분포하는 것으로 조사되어(부록 1), 동진강 상류(233분류군) 및 중류(140분류군)로 내려 갈수록 현저하게 식물종이 감소하는 경향을 보여주었다.

이중 목본식물은 갯버들, 족제비싸리, 족제비싸리의 2과 3속 3종의 총 3분류군(2.5%)인 반면 초본식물은 41과 96속 102종 13변종 1품종의 총 116분류군(97.5%)을 차지하였다. 또한, 양치식물은 1과 1속 1종의 1분류군(0.9%), 피자식물 중에는 단자엽식물이 4과 25속 27종 3변종의 총 30분류군(25.2%)이었고, 쌍자엽식물이 37과 73속 77종 10변종 1품종의 총 88분류군으로 전체의 73.9%의 비율을 차지하였다(부록 1).

주요 식물종으로는 갈대, 칠면초, 개밀, 모새달, 왕고들빼기, 돌콩, 쇠무릎, 쭉, 갯잔디, 갯개미취 등이 대부분 조사구에서 조사되어 동진강 하류 유역에 광범하게 출현하고 있었으며, 그 밖에 가는갯능쟁이, 강아지풀, 깨풀, 쇠뜨기, 비쭉, 쇠별꽃, 산조풀 등도 자주 출현하는 종들이었다. 귀화식물로는 개망초, 망초, 소리쟁이, 메귀리가 자주 출현하였다.

조사된 식물들 중에서 동진강 하류 유역에 가장 많이 분포하는 분류군은 국화과(Compositae)와 벼과(Gramineae) 식물이 각각 26종류, 19종류로 전체의 37.8%를 차지하여 압도적인 세력을 유지하고 있었으며, 콩과(Leguminosae) 12종류, 명아주과(Chenopodiaceae) 9종류, 마디풀과(Polyginaceae) 8종류의 순이었다. 귀화식물은 메귀리, 취명아주, 줄명아주, 빨이삭풀, 양미역취, 미국미역취 등을 포함한 10과 19속 21종 1변종의 총 22분류군(18.5%)이 조사되어 동진강 상류(32분류군) 및 중류(24분

류군) 에 비해 낮았지만 귀화율(상류 14.6%, 중류 17.1%)은 높게 나타났다(부록 1).

표 1-3. 만경강과 동진강 유역의 관속식물상 현황

분류군	과 (family)		속 (genus)		종 (species)		변종 (variety)		품종 (variety)		계 (taxa)		
	만경	동진	만경	동진	만경	동진	만경	동진	만경	동진	만경	동진	
양치식물	2	2	2	2	1	1	1	1	-	-	2	2	
나자식물	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	
피자식물	단자엽식물	10	9	48	48	58	65	10	10	-	-	68	75
	쌍자엽식물	56	56	159	153	214	190	27	22	3	2	244	212
계(taxa)	69	67	210	203	274	256	38	33	3	2	315	291	

나. 식물군집

1) 만경강

가) 상류

만경강 최상류 유역인 신당교에서 삼례교에 이르기까지 식생군락의 특성은 표 1-4에 나타난 바와 같다. 먼저 수변지역의 주요 식생군락을 살펴보면 달뿌리풀(*Phragmites japonica*)과 갈대(*Phragmites communis*)가 대표적인 식생군락을 형성하고 있으며, 수변 사수지역을 중심으로 세모고랭이(*Scirpus triqueter*)가 출현하고 그 외에 고마리(*Persicaria thunbergii*), 망초(*Conyza canadensis*), 강아지풀(*Setaria viridis*) 등이 주요 식생군락으로 나타나고 있었다. 고수위시 물에 잠기는 자연형 둔치유역에는 망초(*Conyza canadensis*), 달뿌리풀(*Phragmites japonica*), 물억새(*Miscanthus sacchariflorus*), 환삼덩굴(*Humulus japonicus*), 돼지풀(*Ambrosia artemisiifolia* var. *elatior*) 등이 자주 출현하였다. 특히, 달뿌리풀과 갈대는 수변중심에서 둔치 및 제방 유역까지 상당한 세력을 형성하고 있으며, 귀화식물인 망초(*Conyza canadensis*), 돼지풀(*Ambrosia artemisiifolia* var. *elatior*)과 덩굴성 식물

인 환삼덩굴(*Humulus japonicus*) 등은 수변에서 약간 떨어진 자연형 둔치구역에서 큰 군락을 형성하는 식물들이었다.

표 1-4. 만경강 유역의 조사구별 식물군락 분류

Site No.	Quadrat No.	장 소		군 락 명	비고	
St. 1	M1-a	신당교	수변	달뿌리풀 군락	상류	
	M2-b		둔치	망초군락		
St. 2	M3-a	어우보	수변	고마리-세모고랭이 군락		
	M4-b		둔치	돼지풀 군락		
St. 3	M5-a	봉동교	수변	강아지풀-갈대 군락		
	M6-b		둔치	망초-달뿌리풀 군락		
St. 4	M7-a	고천보	수변	달뿌리풀-고마리 군락		
	M8-b		둔치	환삼덩굴-달뿌리풀 군락		
St. 5	M9-a	삼례교	수변	망초 군락		
	M10-b		둔치	물억새-환삼덩굴 군락		
St. 6	M11-a	삼례철교	수변	갈대-쇠별꽃 군락		중류
	M12-b		둔치	환삼덩굴-쇠별꽃 군락		
St. 7	M13-a	고잔배수장	수변	버드나무-갈대 군락		
	M14-b		둔치	환삼덩굴-바랭이 군락		
St. 8	M15-a	잠수교	수변	줄-고마리 군락		
	M16-b		둔치	고마리-바랭이 군락		
St. 9	M17-a	배수갑문	수변	줄-고마리 군락		
	M18-b		둔치	바랭이-강아지풀 군락		
St.10	M19-a	목천교	수변	갈대 군락	하류	
	M20-b		둔치	망초 군락		
St.11	M21-a	송정리	수변	갈대 군락		
	M22-b		둔치	물억새 군락		
St.12	M23-a	지수리	수변	갈대 군락		
	M24-b		둔치	쇠별꽃-갈대 군락		
St.13	M25-a	공덕대교	수변	칠면초 군락		
	M26-b		둔치	갈대-갯개미취 군락		
St.14	M27-a	만경대교	수변	칠면초 군락		
	M28-b		둔치	쇠무릎 군락		
St.15	M29-a	기수역	수변	칠면초 군락		
	M30-b		둔치	갈대 군락		

각 조사구별 평균종수와 종다양도 및 균재도는 표 1-5에 나타난 바와 같다. 전체적인 평균종수는 9.8~14.4로 수변부와 고수위 부지와와의 차이가 크게 나타나지 않았다. Shannon의 종다양도(H')지수에서는 귀화식물인 돼지풀이 큰 군락을 형성한

어우보 둔치유역이 0.83으로 현저히 낮게 나타났을 뿐 그 외의 조사구에서는 비교적 높게 나타나는 경향이였다.

표 1-5. 만경강 유역의 조사구별 종다양성 현황

Site No.	Quadrat No.	평균 종수	종풍부성 (Dr)	종다양도 (H')	최대 종다양도 (H _{max})	균재도 (J)	우점도 (1-J)	비고
St. 1	M1-a	12	2.13	1.58	2.48	0.64	0.36	상류
	M2-b	14	2.70	2.00	2.64	0.76	0.24	
St. 2	M3-a	11	1.97	1.94	2.40	0.81	0.19	
	M4-b	10	1.69	0.83	2.30	0.36	0.64	
St. 3	M5-a	14	2.47	2.05	2.64	0.78	0.22	
	M6-b	12	2.10	1.93	2.48	0.78	0.22	
St. 4	M7-a	12	2.10	2.02	2.48	0.81	0.19	
	M8-b	12	2.22	1.98	2.52	0.80	0.20	
St. 5	M9-a	10	1.81	1.61	2.30	0.70	0.30	
	M10-b	10	1.88	1.77	2.36	0.77	0.23	
St. 6	M11-a	11	1.90	1.06	2.40	0.44	0.56	중류
	M12-b	13	2.23	1.90	2.56	0.73	0.27	
St. 7	M13-a	11	1.83	2.10	2.40	0.89	0.11	
	M14-b	10	1.69	1.82	2.30	0.79	0.21	
St. 8	M15-a	14	2.57	2.03	2.64	0.77	0.23	
	M16-b	13	2.27	1.43	2.48	0.57	0.43	
St. 9	M17-a	8	1.25	1.21	1.95	0.62	0.38	
	M18-b	17	1.02	2.10	3.09	0.67	0.33	
St.10	M19-a	9	0.95	0.50	0.96	0.53	0.47	
	M20-b	16	1.75	0.95	1.20	0.79	0.21	
St.11	M21-a	17	1.90	0.75	1.23	0.61	0.39	하류
	M22-b	15	1.65	1.03	1.18	0.88	0.12	
St.12	M23-a	7	0.72	0.35	0.85	0.41	0.59	
	M24-b	13	1.40	0.86	1.11	0.77	0.23	
St.13	M25-a	3	0.12	0.17	0.48	0.35	0.65	
	M26-b	11	1.15	0.72	1.04	0.69	0.31	
St.14	M27-a	3	1.15	0.17	0.48	0.36	0.64	
	M28-b	14	1.58	0.52	1.15	0.45	0.55	
St.15	M29-a	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	M30-b	2	0.10	0.21	0.30	0.69	0.31	

표 1-6은 만경강 상류유역의 조사구별 주요 식물종에 대한 상대우점치를 나타낸 것이다. Site 1에서는 수변부(M1-a)에 수고 1.6m에 이르는 달뿌리풀(I.V. 46.0%)

군락이 형성되어 있고 하층에 콩제비꽃이 상대우점치(I.V.) 28.7%로 고루 분포되어 있으며, 그 외에 고마리(5.7%)와 쭉(5.7%)이 주요식물군으로 출현하고 있었다. 자연형 고수위부지(M2-b)에는 망초(40.7%)군락으로서 쭉(16.3%)과 갈퀴나물(8.1%) 그리고 비수리(8.1%) 등이 주를 이루며 다양한 식생이 혼생하며 출현하고 있었다.

Site 2에서는 수변부(M3-a) 사수역을 중심으로 고마리(25.0%), 세모고랭이(21.9%)와 달뿌리풀(18.8%)이 주요 식생 상관을 유지하면서 함께 출현하고 있었으며, 고수위부지(M4-b)에는 돼지풀(29.1%)이 주를 이루면서 토끼풀(19.4%), 쭉(17.0%), 바랭이(14.6%) 등이 주요 식생으로 나타나고 있었다.

Site 3에서는 수변부(M5-a)에서 갈대가 상대우점치 26%를 차지하며 수변경관을 이루고 있으며 강아지풀(31.1%)과 고마리(10.4%)가 적절히 혼생하며 그 외에 환삼덩굴, 개여뀌, 새팔이 각각 5.2%의 비율로 함께 출현하고 있었다. 자연형 고수위부지(M6-b)에는 달뿌리풀과 망초가 각각 26.5%의 비율로 서로 혼생하는 양상의 군락을 형성하고 그 외에 강아지풀(13.2%), 쇠뜨기(13.2%), 개피(7.9%) 등이 주요식생으로 나타났다.

Site 4에서는 수변부(M7-a)에 달뿌리풀과 고마리가 혼생하며 각각 21.4%의 상대우점치로 군락을 형성하고 있으며, 그 외에 물억새(16%), 세모고랭이(13.4%), 별개미취(13.4%)가 주요 식생으로 자리잡고 있었다. 한편 자연형 고수위부지(M8-b)에는 달뿌리풀(26.7%)이 수변에서 세력을 확장하여 환삼덩굴(32.1%)과 함께 외부 상관의 주를 이루고 있고 그 외에 수크령(8.0%), 별개미취(5.3%), 며느리배꼽(5.3%), 개기장(5.3%), 왕고들빼기(15.8%) 등이 혼생하며 출현하고 있었다.

Site 5에서는 망초군락이 수변부(M9-a)에 우세를 형성하며 49.6%의 상대우점치로 주요식생으로 출현하고 있고, 그 외에 개기장(19.5%), 금방동사니(8.3%), 기생초(8.3%), 바랭이(8.3%) 등이 나타나 전형적인 수변의 식생군락이 아니고 많이 인위적으로 훼손된 변형군락의 특성을 보여주고 있었다. 한편 고수위부지(M10-b)에는 물억새와 환삼덩굴이 각각 41.7%와 20.8%의 상대우점치로 군락을 형성하고 있으며, 그 외에 수크령(10.4%), 며느리배꼽(6.9%), 왕고들빼기(6.9%)가 주요 식생으로 함께 출현하고 있었다.

나) 종류

만경강 종류로 설정한 삼례교에서 백구정 배수갑문에 이르기까지 식생군락의 특

성은 표 1-4에 나타낸 바와 같다. 중류유역의 토지이용상 특징은 상류유역에서 나타나는 둔치유역이 거의 논으로 경작되고 있었다. 따라서 식생군락의 입지별 특성을 수변지역과 제외지제방을 중심으로 조사하였다. 먼저 수변지역의 주요 식생군락을 살펴보면 갈대(*Phragmites communis*)가 대표적인 식생군락을 형성하고 있으며, 버드나무(*Salix koreesis*), 줄(*Zizania latifolia*), 고마리(*Persicaria thunbergii*), 쇠별꽃(*Stellaria aquatica*) 등이 주요 식생군락으로 나타나고 있었다. 한편 제외지 제방 사면에서는 환삼덩굴(*Humulus japonicus*), 바랭이(*Digitaria sanguinalis*), 고마리, 쇠별꽃등이 자주 출현하였다.

표 1-6. 만경강 상류 유역의 조사구별 주요 식물종 상대우점치(I.V.)

조사구 식물종	M1-a	M2-b	M3-a	M4-b	M5-a	M6-b	M7-a	M8-b	M9-a	M10-b
달뿌리풀	46.0		18.8			26.5	21.4	26.7		
갈대					25.9					
고마리	5.7		25.0		10.4		21.4			
세모고랭이			21.9				13.4			
부들			9.4							
강아지풀					31.1	13.2				
망초		40.7				26.5			49.6	
닭의장풀							5.3			
물억새							16.0			41.7
개발나물			12.5							
환삼덩굴					5.2			32.1		20.8
개여뀌					5.2					
새팻					5.2					
별개미취							13.4			
금방동사니									8.3	
기생초									8.3	
바랭이									8.3	
돼지풀				29.1						
갈퀴나물		8.1								
비수리		8.1								
쭈	5.7	16.3		17.0						
바랭이				14.6						
개피						7.9				
쇠뜨기						13.2				
개기장								5.3	19.5	
머느리배꼽								5.3		6.9
별개미취								5.3		
왕고들빼기								5.3		6.9
수크령								8.0		10.4
토끼풀				19.4						
콩제비꽃	28.7									

각 조사구별 평균종수와 종다양도 및 균재도는 표 1-5에 나타낸 바와 같다. 전체적인 평균종수는 7.8~17.4로 제방유역이 수변지역보다 약간 상회하는 것으로 나타났다. Shannon의 종다양도(H')지수에서는 갈대와 쇠별꽃이 큰 균락을 형성한 삼레철교 수변유역이 1.06으로 약간 낮게 나타났을 뿐 그 외의 조사구에서는 입지에 따라 다양하게 나타나는 경향이였다.

표 1-7은 만경강 중류유역의 조사구별 주요 식물종에 대한 상대우점치를 나타낸 것이다. Site1에서는 수변부(M11-a)에 수고 1.2m에 이르는 갈대(I.V. 33.7%)균락

이 형성되어 있고 하층에 쇠별꽃이 상대우점치(I.V.) 31.1%로 고루 분포되어 있으며, 그 외에 참새피(7.8%), 돌피(5.2%), 나도냉이(5.2%) 등이 주요 식물군으로 출현하고 있었다. 제외지 제방사면(M12-b)에는 환삼덩굴(36.9%)과 쇠별꽃(23.0%)이 주요 우점식생으로 출현하고 있으며 그 외에도 갈퀴덩굴(13.8%), 소리쟁이(6.9%), 바랭이(4.6%) 등이 혼생하며 나타났다.

Site 2에서는 수변부(M13-a)에 버드나무와 갈대군락이 대표적으로 각각 27.7%와 17%의 중요치로서 주요 상관을 나타내고 있으며, 머느리배꼽, 별꽃, 참새피, 쇠별꽃이 골구루 8.5%의 중요도를 나타내고 있다. 제방사면(M14-b)에는 환삼덩굴(34.3%)과 바랭이(24.5%)가 주요 우점식생으로 출현하며, 그 외에 쇠무릎(12.3%), 쇠별꽃(7.4%), 참새피(7.4%), 별꽃(7.4%) 등이 혼생하며 나타났다.

Site 3에서는 수변부(M15-a)에서 줄이 상대우점치 41.1%를 차지하며 수변경관을 이루고 있으며 고마리(12.7%)와 쇠별꽃(9.5%)이 적절히 혼생하며 그 외에 환삼덩굴, 버드나무치수, 참새피가 각각 6.3%의 비율로 함께 출현하고 있었다. 제방사면(M16-b)에는 고마리(62.5%)가 대규모로 군락을 형성하고 있으며 그 외에 바랭이가 11.7%, 환삼덩굴이 7.8%의 우점치로 나타나고 있었다.

Site 4에서는 수변부(M17-a)에 줄과 고마리가 혼생하며 각각 57.4%와 21.4%의 상대우점치로 군락을 형성하고 있으며, 그 외에 환삼덩굴과 바랭이가 각각 8.2%와 4.1%의 중요치로 나타나고 있었다. 한편 제방사면(M18-b)에는 바랭이가 44.9%의 우점으로 주요식생으로 나타나며 그 외에 강아지풀(18.0%), 환삼덩굴(6.0%), 왕고들빼기, 명아주, 쇠무릎, 쇠별꽃, 실새삼 등이 혼생하며 출현하고 있었다.

표 1-7. 만경강 중류 유역의 조사구별 주요 식물종 상대우점치(I.V.)

조사구 식물종	M11-a	M12-b	M13-a	M14-b	M15-a	M16-b	M17-a	M18-b
고마리	7.8		4.3		12.7	62.5	24.6	1.2
줄					41.1		57.4	
바랭이		4.6		24.5	3.2	11.7	4.1	44.9
환삼덩굴		36.9	6.4	34.3	6.3	7.8	8.2	6.0
갈대	33.7		17.0		3.2	1.6		
쇠별꽃	31.1	23.0	8.5	7.4	9.5			3.0
버드나무			27.7		6.3			
쇠무릎			6.4	12.3	1.3	1.6		3.0
강아지풀								18.0
갈퀴덩굴		13.8						
참새피	7.8	2.3	8.5	7.4	6.3			
별꽃			8.5	7.4				
머느리배꼽			8.5					
소리쟁이	2.6	6.9	2.1	2.5	1.3			
돌피	5.2			1.0	3.2	0.8		
나도냉이	5.2					1.6	0.8	
달맞이꽃		4.6						
취							4.1	1.2
가는쭈부쟁이						3.9		1.2
닭의장풀						3.9		
쇠뜨기					3.2			1.2
까마중								3.0
명아주								3.0
실새삼								3.0
왕고들빼기								3.0
미국가막사리	2.6			2.5	1.3			
미나리	2.6							
망초		2.3						1.2
개망초		2.3						
머느리밀씻개			2.1					
금강아지풀						1.6		
바람하늘지기						1.6		
방동사니						1.6	0.8	0.6
물억새					1.3			
다닥냉이								1.2
망초		2.3						1.2
명석딸기								1.2
취꼬리망초								1.2
털비름		0.9						1.2

다) 하류

만경강 하류로 설정한 백구정 배수갑문에서 기수역지 식생군락의 특성은 표 1-4에 나타낸 바와 같다. 먼저 수변지역의 주요 식생군락을 살펴보면 갈대 (*Phragmites communis*)와 염생식물인 칠면초가 대표적인 식생군락을 형성하고 있으며, 제외지 제방사면에서는 망초, 물억새, 쇠별꽃, 쇠무릎 등이 군락을 이루었다.

각 조사구별 평균종수와 종다양도 및 균재도는 표 1-5에 나타낸 바와 같다. 전체적인 평균종수는 1~17로서 제방유역이 수변지역보다 많이 나타나는데 그것은 하류 유역부터 해수 영향으로 수변지역에 갯벌이 형성되어 소수 염생식물만이 생육하고 있기 때문이다. Shannon의 종다양도(H')지수에서는 M21-a 조사구에서 1.90으로 가장 높게 나타났으며, M29-a 지역에서는 단일수종만이 출현하여 0.00으로 나타났다. 그 외의 조사구에서는 입지에 따라 다양하게 나타나는 경향이였다.

표 1-8은 만경강 하류유역의 조사구별 주요 식물종에 대한 상대우점치를 나타낸 것이다. Site1에서는 수변부(M19-a)에 갈대(I.V. 68.7%)군락이 압도적으로 우세하며, 하층에는 쭉(11.5%)과 쭉부쟁이(7.6%) 출현하고 있었다. 제외지 제방사면(M20-b)에는 망초가 35.0%으로 가장 우세한 세력을 유지하면서, 소리쟁이(14.0%), 강아지풀(10.5%) 그리고 개망초, 쭉, 억새가 각각 상대우점치 7.0%로서 고루 혼생하며 분포하고 있다.

Site 2에서는 수변부(M21-a)에 갈대가 57.7%의 상대우점치를 유지하면서 쭉과 세잎양지꽃이 각각 7.7%를 유지하고 있다. 제방사면(M22-b)에는 물억새가 22.6%로 가장 우세하지만 그밖에 개망초(15.0%), 쇠무릎과 쇠별꽃(각각 11.3%), 쇠뜨기와 바랭이(각각 7.5%) 등의 다양한 종들이 함께 서식하고 있다.

Site 3과 4의 수변부(M23-a, M25-a)에서는 갈대가 각각 상대우점치 80.5%, 90.5%로 압도적이며, 제방사면(M24-b, M26-b)에는 갈대, 환산덩굴, 쇠별꽃, 갯개미취, 나도겨풀 등의 여러 종들이 10% 이상의 우점치로 혼생하고 있었다.

Site 5, 6의 수변부(M27-a, M29-a)에는 염생식물인 칠면초가 각각 상대우점치 90.0%, 100%로서 새로이 우점군락으로 나타나고 있으며, 다른 염생식물인 갯개미취와 가는갯능쟁이도 각각 5.0%로서 간혹 출현하였다. 한편, 제방사면의 조사구 M28-b에서는 쇠무릎이 74.6%, M30-6에서는 갈대가 81.8%로서 가장 높은 상대우점치를 나타냈다.

표 1-8. 만경강 하류 유역의 조사구별 주요 식물종 상대우점치(I.V.)

식물종 \ 조사구	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30
	-a	-b	-a	-b	-a	-b	-a	-b	-a	-b	-a	-b
칠면초							90.5		90.0		100	18.2
갈대	68.7		57.7		80.5	22.4	4.8	40.3				81.8
쇠무릎				11.3						74.6		
환삼덩굴						18.7						
망초		35.0										
쇠별꽃				11.3		29.9						
갯개미취								24.2				
물억새				22.6								
강아지풀		10.5						4.0				
개망초		7.0		15.0								
소리쟁이		14.0								4.4		
쭈	11.5	7.0	7.7									
쇠치기풀					8.5							
개구리밥								16.1				
쭈부쟁이	7.6											
억새		7.0										
세잎양지꽃			7.7									
쇠뜨기				7.5								
바랭이				7.5								
새팔					4.2							
머느리배꼽						7.5						
나도겨풀								16.1				
별개미취							4.8		5.0			
가는갯능쟁이									5.0			
살갈퀴										4.4		

2) 동진강

가) 상류

동진강 최상류 유역인 칠보교에서 거산교에 이르기까지 동진강 상류유역의 식생 군락의 특성은 표 1-9에 나타난 바와 같다. 먼저 수변지역의 주요 식생군락을 살펴 보면 갈대(*Phragmites communis*)군락이 6지점의 조사구중 4곳에서 나타나듯이 압도적으로 자주 출현하고 있었다. 그 외에 줄(*Zizania latifolia*)과 고마리(*Persicaria thunbergii*)가 군락을 형성하며 출현하였고, 수변 사수지역을 중심으로 부들(*Typha orientalis*)과 큰고랭이(*Scirpus tabernaemontani*)군락 등이 나타났다. 고수위시에 물에 잠기는 둔치지역은 비교적 다양한 식생군락이 형성되어 있었다. 여기에 출현

하는 주요 식생군락으로는 개밀(*Agropyron tsukushiense* var. *transiens*), 이삭사초 (*Carex dimorpholepis*), 쥐꼬리새풀(*Sporobolus elongatus*), 환삼덩굴(*Humulus japonicus*), 갈대(*Phragmites communis*), 고마리(*Persicaria thunbergii*), 강아지풀(*Setaria viridis*), 갈퀴나물(*Vicia amoena*), 개쑥부쟁이(*Aster ciliatus*), 왕고들빼기(*Lactuca indica* var. *laciniata*), 개망초(*Erigeron annuus*) 등이었다. 특히 갈대와 고마리는 수변지역을 중심으로 자주 출현하지만 둔치구역에도 세력을 확장하여 군락을 형성하고 있었다.

각 조사구별 평균종수와 종다양도 및 균재도는 표 1-10에 나타난 바와 같다. 전체적으로 평균종수에 대한 수변부와 둔치의 차이는 없었으나, 수변부에서의 변이폭(4.4~13.2)이 상대적으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있었다. Shannon의 종다양도(H') 지수는 수변부가 0.43~1.57까지 그리고 둔치구역은 1.19~2.19까지 나타나 대체로 둔치구역이 수변지역보다 종다양성이 높게 나타나고 있었다. 또한 균재도(J')에 있어서도 수변지역(0.28~0.67)은 둔치구역(0.58~0.87)보다 현저하게 낮게 나타나 수변지역의 독특한 서식환경이 식생의 종다양성 및 균재도에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

표 1-11은 동진강 상류구역의 조사구별 주요 식물종에 대한 상대우점치를 나타낸 것이다. Site 1에서는 수변부(D1-a)에 수고 1.8m에 이르는 갈대(I.V. 52.6%)를 중심으로 환삼덩굴(15.2%), 개밀(9.8%), 고마리(6.6%), 소리쟁이(5.9%)가 주요 식물군으로 출현하며, 자연형 고수위부지(D2-b)에는 이삭사초(38.3%), 개밀(18.0%)이 주를 이루며 하변의 갈대(15.7%)가 내부 둔치로 적당히 세력을 확장한 모습으로 출현하고 있었다. 그 외에 물억새(9.2%)와 쑥(6.1%)이 주요 식생으로 나타나고 있었다.

Site 2에서는 수변부(D3-a)에 갈대의 상대우점치(I.V.)가 89.2%를 차지하면서 수변에 울창한 갈대숲의 띠를 형성하고 고마리가 5.3%의 비율로 하층에서 함께 출현하고 있었다. 고수위부지(D4-b)에는 쥐꼬리새풀(53%)을 중심으로 고마리(14.6%)와 갈대(13.2%)가 주요 식생으로 출현하고 있었다.

표 1-9. 동진강 유역의 조사구별 식물군락 분류

Site No.	Quadrat No.	장 소		군 락 명	비고	
St. 1	D1-a	칠보교	수변	갈대 군락	상류	
	D2-b		둔치	이삭사초-개밀 군락		
St. 2	D3-a	무성교	수변	갈대 군락		
	D4-b		둔치	쥐꼬리새풀-고마리 군락		
St. 3	D5-a	행정교	수변	갈대 군락		
	D6-b		둔치	개밀-개쭉부쟁이 군락		
St. 4	D7-a	대철교	수변	부들-큰고랭이 군락		
	D8-b		둔치	쥐꼬리새풀-갈대-왕고들빼기 군락		
St. 5	D9-a	삼리교	수변	줄-고마리 군락		
	D10-b		둔치	개밀-강아지풀 군락		
St. 6	D11-a	거산교	수변	갈대 군락		
	D12-b		둔치	갈퀴나물-개밀 군락		
St. 7	D13-a	정우교	수변	갈대/환삼덩굴 군락		중류
	D14-b		둔치	갈대/억새 군락		
St. 8	D15-a	신태인대교	수변	줄/갈대 군락		
	D16-b		둔치	갈대/개망초 군락		
St. 9	D17-a	만석보	수변	갈대/고마리 군락		
	D18-b		둔치	개망초/환삼덩굴 군락		
St.10	D19-a	원천보	수변	갈대/줄 군락		
	D20-b		둔치	갈대/환삼덩굴 군락		
St.11	D21-a	군포교	수변	갈대/쭉 군락		
	D22-b		둔치	쇠별꽃/강아지풀 군락		
St.12	D23-a	배수갑문	수변	모새달-갈대군락	하류	
	D24-b		둔치	쇠별꽃 군락		
St.13	D25-a	연포교	수변	모새달-갈대 군락		
	D26-b		둔치	환삼덩굴 군락		
St.14	D27-a	고부천	수변	갈대-칠면초-새섬매자기 군락		
	D28-b		둔치	돌콩 군락		
St.15	D29-a	동진대교	수변	갯개미취-갯잔디 군락		
	D30-b		둔치	갈대-억새-돌콩 군락		
St.16	D31-a	기수역	수변	칠면초-갯잔디 군락		
	D32-b		둔치	환삼덩굴 군락		

표 1-10. 동진강 유역의 조사구별 종 다양성 현황

Site No.	Quadrat No.	평균 종수	종풍부성 (Dr)	종다양도 (H')	최대 종다양도 (H _{max})	균재도 (J)	우점도 (1-J)	비고	
St. 1	D1-a	9	1.65	1.43	2.13	0.67	0.33	상류	
	D2-b	8	1.39	1.45	2.00	0.73	0.27		
St. 2	D3-a	4	0.72	0.43	1.41	0.28	0.72		
	D4-b	8	1.52	1.19	2.05	0.58	0.42		
St. 3	D5-a	9	1.67	1.13	2.17	0.52	0.48		
	D6-b	10	2.00	1.87	2.30	0.81	0.19		
St. 4	D7-a	6	1.07	0.91	1.76	0.49	0.51		
	D8-b	11	1.76	1.67	2.25	0.74	0.26		
St. 5	D9-a	8	1.51	1.39	2.11	0.66	0.34		
	D10-b	12	2.32	2.19	2.51	0.87	0.13		
St. 6	D11-a	13	2.46	1.57	2.57	0.61	0.39		
	D12-b	11	1.98	1.60	2.37	0.67	0.33		
St. 7	D13-a	9	1.57	1.52	2.14	0.71	0.29		중류
	D14-b	12	2.22	1.76	2.46	0.71	0.29		
St. 8	D15-a	8	1.48	1.33	2.02	0.64	0.36		
	D16-b	13	2.38	1.89	2.52	0.75	0.25		
St. 9	D17-a	10	1.80	1.61	2.21	0.73	0.27		
	D18-b	13	2.37	1.87	2.52	0.74	0.26		
St.10	D19-a	12	2.26	1.76	2.48	0.71	0.29		
	D20-b	11	2.05	1.83	2.41	0.75	0.25		
St.11	D21-a	13	2.43	1.97	2.58	0.77	0.23		
	D22-b	11	1.99	1.64	2.37	0.70	0.30		
St.12	D23-a	8	1.32	0.96	1.20	0.80	0.20	하류	
	D24-b	11	1.88	1.11	1.36	0.82	0.18		
St.13	D25-a	8	1.72	1.02	1.30	0.78	0.22		
	D26-b	14	2.14	1.24	1.41	0.88	0.12		
St.14	D27-a	5	0.90	0.74	1.04	0.71	0.29		
	D28-b	12	2.13	1.20	1.41	0.85	0.15		
St.15	D29-a	5	0.61	0.86	0.90	0.95	0.05		
	D30-b	10	1.70	1.09	1.30	0.84	0.16		
St.16	D31-a	4	0.64	0.80	0.90	0.89	0.11		
	D32-b	10	1.99	1.14	1.36	0.84	0.16		

Site 3에서는 수변부(D5-a)에 수고 2.3m에 이르는 갈대가 상대우점치 58%를 차지하며 수변경관을 이루고 있으며 그 외에 부들(9.3%)과 고마리(7.0%)가 주요식물군으로 출현하였다. 자연형 고수위부지(D6-b)에는 개밀(26.7%), 개쭈부쟁이(14.1%), 갈대(9.3%), 갈퀴나물(8.2%), 실새풀(6.8%) 그리고 메귀리(5.5%)가 주요 식생으로

혼생하며 나타났다.

Site 4에서는 수변부(D7-a)가 웅덩이나 수변에 사수역 형태를 띠고 있어서 부들(37.7%)과 큰고랭이(19.2%)가 자주 출현하면서 일반 하천유역에는 흔치않은 중요한 비오톱군을 형성하고 있었다. 그 외에도 갈대(16%)와 고마리(13.6%)가 함께 출현하고 있었다. 자연형 고수위부지(D8-b)에는 갈대(22.5%), 왕고들빼기(15.8%), 쭉(14.1%), 쥐꼬리새풀(13.7%), 개밀(7.6%), 고마리(7.4%)를 중심으로 다양한 식생이 혼생하며 함께 출현하고 있었다.

Site 5에서는 수변부(D9-a)에 줄군락이 띠를 형성하며 52.2%의 상대우점치로 주요식생으로 출현하고 있고, 그 외에 고마리(13.1%), 물냉이(8.2%), 참새피(7.3%), 쥐꼬리새풀(7.0%)이 함께 출현하는 주요식생이었다. 이곳의 고수위부지는 논 형태로 이용하는 관계로 제방사면의 식생으로 대치하였다. 제방사면(D10-b)에는 개밀(18.7%), 쭉(13.7%), 쇠뜨기(11.5%), 메귀리(8.5%), 개망초(8.1%), 띠(5.7%), 수영(5.6%)등을 중심으로 다양한 식생이 혼생하고 있었다.

Site 6에서는 수변부(D11-a)에 갈대의 상대우점치(I.V.)가 56.4%를 차지하면서 수변에 갈대숲의 띠를 형성하면서 개망초가 7.8%의 비율로 하층에서 함께 출현하고 있었다. 제방사면부지(D12-b)에는 갈퀴나물 36.8%, 갈대 16.5%, 개밀 6.3%, 억새 5.5% 등이 주요 식생으로 함께 출현하고 있었다.

나) 중류

동진강 중류유역인 정우교에서 거산교에 이르기까지 식생군락의 특성은 표 1-9에 나타낸 바와 같다. 먼저 수변지역의 주요 식생군락을 살펴보면 갈대(*Phragmites communis*)군락이 전 조사구에서 압도적으로 자주 출현하고 있었다. 그 외에 줄(*Zizania latifolia*)과 고마리(*Persicaria thunbergii*)가 군락을 형성하며 나타났다. 한편 둔치지역은 만경강과 비슷하게 거의 농경지로 활용되고 있는 형편이다. 제방사면에는 비교적 다양한 식생군락이 형성되어 있었다. 여기에 출현하는 주요 식생군락으로는 갈대(*Phragmites communis*), 억새(*Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*), 개망초(*Erigeron annuus*), 환삼덩굴(*Humulus japonicus*), 쥐보리(*Lolium multiflorum*), 쇠별꽃(*Stellaria aquatica*), 강아지풀(*Setaria viridis*) 등이었다. 특히 갈대는 수변지역을 중심으로 자주 출현하지만 제방사면유역에도 세력을 확장하여 군락을 형성하고 있었다.

표 1-11. 동진강 상류 유역의 조사구별 주요 식물종 상대우점치(I.V.)

조사구 식물종	D1-a	D2-b	D3-a	D4-b	D5-a	D6-b	D7-a	D8-b	D9-a	D10-b	D11-a	D12-b
갈대	52.6	15.7	89.2	13.2	58.0	9.3	16.0	22.5			56.4	16.5
줄									52.2			
부들					9.3		37.7					
큰고랭이							19.2					
고마리	6.6		5.3	14.6	7.0		13.6	7.4	13.1			
물냉이									8.2			
참새피									7.3			
소리쟁이	5.9											
개밀	9.8	18.0				26.7		7.6		18.7		6.3
취꼬리새풀				53.0				13.7	7.0			
환삼덩굴	15.2											
개망초										8.1	7.8	
이삭사초		38.3										
갈퀴나물						8.2						36.8
왕고들빼기								15.8				
개쭈부쟁이						14.1						
쭈		6.1						14.1		13.7		
쇠뜨기										11.5		
물억새		9.2										
메귀리						5.5				8.5		
실새풀						6.8						
띠										5.7		
수영										5.6		
억새												5.5

각 조사구별 평균종수와 종다양도 및 균재도는 표 1-10에 나타낸 바와 같다. 전체적으로 평균종수에 대한 수변부와 둔치의 큰 차이는 없었으나, 수변부에서의 변이폭(8.0~13.3)이 상대적으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있었다. Shannon의 종다양도(H') 지수는 수변부가 1.33~1.97까지 그리고 제방사면은 1.64~1.89까지 나타나 대체로 제방사면의 변이폭이 낮게 나타났다. 균재도(J')에 있어서 수변지역이나 제방사면에서 0.64-0.75의 값을 보임으로서 동진강 상류에 비해 비교적 높은 종다양성을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

표 1-12는 동진강 중류유역의 조사구별 주요 식물종에 대한 상대우점치를 나타낸 것이다. Site 1에서는 수변부(D13-a)에 수고 1.5m에 이르는 갈대(I.V. 52.0%)를

중심으로 환삼덩굴(11.4%), 산조풀(10.2%), 고마리(9.3%), 개밀(5.0%)이 주요 식물군으로 출현하며, 제외지 제방사면(D14-b)에는 갈대(25.1%), 억새(20.7%), 환삼덩굴(13.9%), 쇠뜨기(9.0%), 쇠별꽃(6.9%)이 주요 식생으로 나타나고 있었다.

Site 2에서는 수변부(D15-a)에 줄과 갈대의 상대우점치(I.V.)가 각각 40.2%와 24.3%를 차지하면서 수변에 두 군락의 연결 띠로서 수변경관을 주도하고 있으며, 고마리가 12.0%의 비율로 하층에서 함께 출현하고 있었다. 여기에는 비교적 흔치 않은 세모고랭이 비오톱이 줄군락과 더불어 나타나고 있었다. 제방사면(D16-b)에는 갈대(35.7%)를 중심으로 쥐보리(13.0%), 개망초(12.7%), 층층이꽃(9.1%), 억새(8.0%), 쇠뜨기(6.0%)가 주요 식생으로 출현하고 있었다.

Site 3에서는 수변부(D17-a)에 수고 1.6m에 이르는 갈대가 상대우점치 44.8%를 차지하며 줄(10.8%)과 함께 수변경관을 이루고 있으며 그 외에 고마리(14.1%)가 주요 식물군으로 출현하고 있었다. 한편 제방사면(D18-b)에는 개망초(22.3%), 환삼덩굴(14.5%), 갈대(14.3%), 쭉(8.0%), 쇠뜨기(6.9%) 등이 주요식생으로 혼생하며 나타났다.

Site 4에서는 수변부(D19-a)에 갈대(27%), 줄(18.6%), 갯버들(6.3%)을 중심으로 군락을 형성하며 나타나고, 사이에 고마리(8.5%)와 쭉(5.8%)이 혼생하며 출현하고 있었다. 그 외에도 세모고랭이 군락도 함께 나타나고 있었다. 한편 제방사면(D20-b)에는 갈대(25.4%), 환삼덩굴(13.5%), 억새(12.1%), 개망초(11.7%), 쇠뜨기(6.1%)를 중심으로 다양한 식생이 혼생하며 함께 출현하고 있었다.

Site 5에서는 수변부(D21-a)에 갈대(32.0%)와 줄(8.8%)의 군락이 부분적인 띠를 형성하며 주요식생으로 출현하고 있고, 하층에 쭉(13.5%), 쇠뜨기(9.8%), 개밀(6.2%), 고마리(5.5%) 등이 혼생하고 있었다. 제방사면(D22-b)에는 쇠별꽃(29.0%), 양미역취(14.1%), 강아지풀(12.8%), 쇠뜨기(9.7%), 쇠무릎(5.5%) 등이 주요 식생으로 함께 출현하고 있었다.

표 1-12. 동진강 증류 유역의 조사구별 주요 식물종 상대우점치(I.V.)

식물종	조사구										
	D13-a	D14-b	D15-a	D16-b	D17-a	D18-b	D19-a	D20-b	D21-a	D22-b	
갈대	52.0	25.1	24.3	35.7	44.8	14.3	27.0	25.4	32.0		
줄			40.2		10.8		18.6		8.8		
쇠별꽃	1.9	6.9	0.9			3.0		3.4	1.1	29.0	
개망초		3.3		12.7		22.3	0.3	11.7	0.7	2.6	
억새		20.7		8.0	2.2	2.0		12.1			
환삼덩굴	11.4	13.9	2.7	1.0	2.5	14.5	4.3	13.5	0.5	2.2	
고마리	9.3	1.0	12.0		14.1	4.0	8.5	0.8	5.5		
양미역취								3.8		14.1	
쭈	1.1	3.4	3.2	3.5	0.9	8.0	5.8	1.5	13.5	1.8	
취보리				13.0							
강아지풀							2.1			12.8	
산조풀	10.2		1.0		3.5						
쇠뜨기	1.1	9.0	6.0	6.0	4.7	6.9	3.8	6.1	9.8	9.7	
층층이꽃		2.3		9.1		2.0		4.5		1.6	
갯버들	3.3						6.3				
개밀	5.0		0.4		2.1	2.0	1.9		6.2	3.8	
쇠무릎	0.3		1.5		0.5	2.1	0.4	1.5	3.0	5.5	
하늘타리										4.8	
여뀌		4.5									
닭의장풀		1.0				3.3		1.2	4.2	0.4	
매꽃	1.1	0.4			2.6	2.3		0.8	2.0	3.8	
미국가막사리	0.3				0.9		3.5		0.3		
며느리밑씻개	1.4	2.0		0.2	0.4	3.3		0.4	0.3		
세모고랭이			3.1				1.8				
참자리피						1.0		3.1		0.9	
실새풀						3.1					
소루쟁이	0.5	0.9		0.2	3.0	0.4		0.4			
다닥냉이			0.5						0.6	3.0	
호밀풀					1.1		0.9		3.0		
토끼풀			0.2	1.0			2.9		0.8		
기름새								2.8			
석잠풀				0.4					2.5		
망초		0.4		0.4	2.2	0.6	1.9	2.5	0.7	0.7	
미나리	0.8	0.2		1.4	2.1	1.0		1.4	1.3	0.9	
새콩				0.4		0.4	2.1		0.4		
뚜껍덩굴	0.4		0.8		0.9		2.0		0.7		
명아주		2.0					0.6				
새팻				1.8							

표 1-13. 동진강 하류 유역의 조사구별 주요 식물종 상대우점치(I.V.)

식물종	조사구										
	D23-a	D24-b	D25-a	D26-b	D27-a	D28-b	D29-a	D30-b	D31-a	D32-b	
모새달	29.7		29.6		5.0	4.7			16.4		
갈대	18.4		18.3		29.1		5.5	14.0	9.1		
큰천일사초	10.6										
산조플	7.1										
쭈	6.4	4.7	5.2	7.1		5.9					
속속이풀	5.7										
뽕쭈	5.0										
망초	4.5					4.9					
환삼덩굴	4.2	13.1		15.9		10.8		12.5		16.9	
쇠별꽃		20.5									
머느리배꼽		11.7									
흰여뀌		9.4									
쇠뜨기		9.4		7.1							
개망초		5.3									
쇠무릎		4.1				5.3					
돌피			10.4								
왕고들빼기			5.2			6.4		8.6		4.2	
사데풀			5.2								
빨이삭풀			5.2							8.4	
개기장				12.4							
좁담의장풀				11.8							
고마리				4.7							
개밀				4.7		7.0		5.5			
익모초				4.1		7.0					
칠면초					26.6		13.8		24.5		
새섬매자기					26.6		11.0		17.3		
갯개미취					4.2		19.3		6.4		
돌콩						17.6		14.0		8.4	
산조플						11.1				10.1	
갯잔디							19.3		21.8		
비쭈							15.8				
통통마디							11.3				
나문재							4.1				
미국미역취								7.8			
담의장풀								5.5		5.1	
억새								14.0			
명아주										12.6	
강아지풀										11.8	

2. 수질 및 토양분석

가. 수질

1) 상류

만경강/동진강 상류 유역의 시기별 및 유역별 수질을 분석한 결과는 표 1-14와 1-15에 나타낸 바와 같다.

가) 수소이온농도(pH)

수소이온농도는 만경강의 고천보 지역에서 3월 중순과 4월 중순에 9.00 이상으로 약간 높게 나타난 것을 제외하고는 거의 모든 지역에서 시기별로 농업용수에 적합한 pH 6.0~8.5의 범위에 있는 것으로 나타났다. 또한, 동진강이 만경강에 비해 약간 높게 나타나는 경향이었지만 시기별 및 유역별로 큰 차이를 나타내지 않았다.

나) 총질소

우리 나라 호소 수질환경 기준에는 1등급이 0.2mg/L, 2, 3등급이 각각 0.4mg/L, 0.6mg/L 이하로 정하고 있는데, 본 조사지역에서는 모두 이 기준치를 초과하는 것으로 조사되었다. 조사결과 만경강의 경우 총질소의 함량은 1.19~10.61mg/L의 범위로 평균 3.33mg/L을 나타내고 있으며, 동진강의 경우는 2.24~4.20mg/L의 범위로 평균 3.09mg/L을 나타내 만경강이 약간 높게 나타났으며, 시기별로는 만경강이 동진강에 비해 변화가 심하게 나타났다. 동진강은 5월하순에 채수한 시료에서 총질소의 함량이 점진적으로 증가하는 추세에 있는데 이는 농경지에 시비된 화학비료가 잦은 강우-유출과정을 통하여 하천수질에 일부 영향을 미쳤기 때문인 것으로 생각된다.

표 1-14. 만경강 상류의 시기별/유역별 수질 분석 현황

일시	지역	pH	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)
2002. 3/16	신당교	6.56	1.85	0.108	0.000	0.010	0.050	0.000
	어우보	7.41	1.19	0.060	0.000	0.000	0.010	0.000
	봉동교	7.50	1.31	0.012	0.000	0.000	0.010	0.000
	고천보	9.10	2.94	0.012	0.000	0.000	0.010	0.000
	삼례교	7.57	10.61	1.140	0.000	0.000	0.170	0.000
2002. 4/12	신당교	7.11	1.98	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
	어우보	7.17	3.30	0.048	0.000	0.000	0.002	0.000
	봉동교	6.73	3.75	0.000	0.000	0.006	0.003	0.000
	고천보	9.05	4.12	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001
	삼례교	8.92	6.87	0.396	0.000	0.002	0.008	0.000
2002. 4/27	신당교	6.47	1.89	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
	어우보	6.61	2.39	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
	봉동교	6.42	2.19	0.324	0.000	0.000	0.002	0.000
	고천보	6.65	2.30	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000
	삼례교	6.87	3.92	0.216	0.000	0.000	0.004	0.000
2002. 5/25	신당교	5.98	1.98	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
	어우보	6.18	2.03	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
	봉동교	6.34	3.75	0.000	0.000	0.005	0.004	0.000
	고천보	6.84	3.32	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000
	삼례교	7.06	4.97	0.432	0.000	0.000	0.005	0.001

다) 총인

총인(T-P)의 함량변화를 조사한 결과 만경강은 0.000~1.140mg/L의 범위로 평균 0.137mg/L을 나타내고 있지만 시기별로 검출되지 않은 경우도 있었다. 동진강은 0.001~0.167mg/L의 범위로 평균 0.036mg/L을 나타내 만경강에 비해 낮게 나타나고 있다. 만경강의 경우 가정하수와 축산폐수의 유입이 이루어지고 있는 가장 하류 지점인 삼례교에서 평균 0.546mg/L으로 가장 높게 나타났으며, 동진강의 경우도 가장 하류 지점인 거산교에서 평균 0.113mg/L으로 가장 높게 나타나고 있다.

라) 중금속 오염물

만경강 하천수에서 조사대상 중금속 가운데 납(Pb)은 전혀 검출되지 않았으며, 카드뮴(Cd)은 최하류 지점인 삼례교에서 2회 극미량(각각 0.001ppm) 검출된 경우를 제외하고는 전혀 검출되지 않았다. 동진강의 경우는 카드뮴은 전혀 검출되지 않았으며, 구리(Cu)와 납(Pb)은 극미량 검출되었다. 식물생육에 필수적인 아연(Zn)의 경

우 두 지역 모두 일반 하천수중에서 검출되는 수준과 거의 유사하게 나타났다. 일본의 수도재배용 농업용수 제한기준은 아연 0.5, 구리 0.02, 카드뮴 0.01ppm에 비하면 본 유역 하천수에서 검출되는 중금속함량은 아직 문제가 되는 수준은 아니었다.(표 1-14)

2) 중류

만경강·동진강 중류 유역의 시기별 및 지역별 수질을 분석한 결과는 표 1-16과 1-17에 나타낸 바와 같다.

가) 수소이온농도(pH)

만경강 중류에서의 전체적인 수소이온농도의 범위는 6.53~7.28로 거의 중성으로 나타났다. 이는 거의 모든 지역에서 시기별로 농업용수에 적합한 pH 6.0~8.5의 범위의 수치였다. 또한 상류지역에서 부분적으로 높게 나타나던 현상이 거의 없이 일정한 범위의 값을 나타내고 있었다. 한편 동진강에서는 6.89~8.13의 범위에서 나타나 만경강에 비해 약간 높게 나타나는 경향이었지만 이 역시 시기별 및 지역별로 큰 차이를 나타내지 않았으며, 농업용수에도 적합한 것으로 판명되었다.

나) 총질소(T-N)

우리 나라 호소에 대한 수질환경 기준에 1등급이 0.2mg/L, 2, 3등급이 각각 0.4mg/L, 0.6mg/L 이하로 정하고 있는데, 본 조사지역에서는 모두 이 기준치를 훨씬 초과하는 것으로 나타났다. 먼저 만경강 중류의 경우 총질소의 함량은 2.78~6.87mg/L의 범위의 수치를 나타내고 있으며, 동진강의 경우는 2.12~5.05mg/L의 범위로 만경강이 약간 높게 나타났다. 시기별로는 총질소의 함량이 양쪽 모두 5월하순에 채수한 시료에서 1-4월에 채수한 시료보다 점진적으로 증가하는 추세에 있는데, 이는 농경지에 시비된 화학비료가 잦은 강우-유출과정을 통하여 하천수질에 일부 영향을 미쳤기 때문으로 파악된다. 만경강에서는 농한기인 1~4월을 중심으로는 중류의 상부인 삼례철교보다 하부의 배수갑문유역이 월등히 높게 나타났지만 농번기가 시작되면서 상·하 현황부 높은 수치를 나타내었다. 한편 동진강에서는 정읍천이 합류하는 군포교에서 상위 두 지점보다 수치가 높게 나타났는데, 이는 정읍천의 생활하수 유입량의 증가에 의한 영향이라고 판단된다.

표 1-15. 동진강 상류의 시기별/유역별 수질 분석

일시	지역	pH	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)
2002. 3/16	칠보교	7.27	3.13	0.061	0.000	0.005	0.008	0.000
	송산교	7.46	3.62	0.007	0.000	0.000	0.007	0.000
	무성교	7.47	3.35	0.017	0.002	0.000	0.002	0.000
	대칠교	7.56	3.17	0.019	0.000	0.000	0.010	0.000
	거산교	7.25	3.23	0.106	0.000	0.002	0.020	0.000
2002. 4/12	칠보교	7.64	2.63	0.018	0.000	0.007	0.071	0.000
	송산교	8.01	3.24	0.023	0.000	0.000	0.062	0.000
	무성교	7.67	2.25	0.016	0.016	0.001	0.029	0.000
	대칠교	7.83	2.79	0.024	0.000	0.000	0.020	0.000
	거산교	7.57	2.68	0.167	0.005	0.003	0.021	0.000
2002. 4/27	칠보교	7.51	2.24	0.011	0.000	0.000	0.002	0.000
	송산교	8.06	2.47	0.019	0.000	0.011	0.003	0.000
	무성교	7.41	2.29	0.019	0.003	0.012	0.008	0.000
	대칠교	7.96	2.60	0.006	0.000	0.001	0.004	0.000
	거산교	7.54	2.64	0.124	0.000	0.002	0.032	0.000
2002. 5/25	칠보교	7.19	4.20	0.032	0.000	0.000	0.015	0.000
	송산교	7.15	3.71	0.012	0.000	0.001	0.002	0.000
	무성교	6.89	3.75	0.030	0.000	0.001	0.007	0.000
	대칠교	7.44	3.83	0.002	0.001	0.005	0.006	0.000
	거산교	7.04	3.98	0.001	0.000	0.000	0.012	0.000

다) 총인(T-P)

총인(T-P)의 함량 변화를 조사한 결과 만경강은 0.002~1.440mg/L, 동진강은 0.054~0.424mg/L의 범위로 비슷하게 나타나고 있다. 만경강의 경우 중류의 상부인 삼례철교에서 하부의 배수갑문 유역에 이르기까지 큰 차이는 없지만 하부로 내려갈수록 증가하는 추세에 있었다. 한편 동진강에서는 총질소와 마찬가지로 정읍천이 합류하는 군포교에서 상위 두 지점보다 수치가 월등히 높게 나타나는 경향을 보여 주었다.

라) 화학적산소요구량(COD)

화학적산소요구량(COD, chemical oxygen demand)은 수중의 오염물질을 이산화

탄소와 물로 산화시키는데 필요한 총 산소의 양으로 환산하여 측정하는 것으로, 우리 나라에서 벼농사의 농수로서 기준을 8mg/L이하로 규정하고 있다. 만경강 중류 수질에서 COD 값의 범위는 1.42~18.35로서 편차가 매우 심한 편인데, 본격적인 농사철로 접어드는 5월에 8.74~18.35의 높은 값을 나타내고 있어 벼농사 농수로서의 이용에 문제점이 야기되고 있다. 따라서 농번기의 수질에 특별한 대책이 요구된다고 할 수 있다. 한편 동진강 중류는 1.89~5.05의 값을 나타내 벼농사 농수로서 적합하게 판정되었다.

마) 중금속 오염물질

만경강 중류의 경우 상류와는 달리 하천오염물질 허용기준치인 납(Pb) 0.1이하와 카드뮴 0.01이하의 기준에는 못 미치는 미량이지만, 뚜렷하게 검출되고 있었다. 동진강의 경우 카드뮴은 전혀 검출되지 않았으나, 아연(Zn), 구리(Cu)와 납(Pb)은 극미량 검출되었다. 일본의 수도재배용 농업용수 제한기준에 의한 아연 0.5ppm, 구리 0.02ppm, 카드뮴 0.01ppm에 비하면, 만경강 및 동진강의 중류 유역 하천수에서 검출되는 중금속 함량은 아직은 미비하지만 지속적인 관심과 조사가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

표 1-16. 만경강 중류의 시기별/유역별 수질 분석 현황

일시	지역	pH	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)
2003. 1/25	삼례철교	7.32	3.72	1.440	4.06	0.018	0.000	0.018	0.002
	잠수교	7.30	4.44	0.832	3.78	0.018	0.000	0.011	0.002
	제수문	7.28	6.87	0.291	3.25	0.017	0.000	0.025	0.002
2003. 2/22	삼례철교	6.60	2.66	0.010	3.05	0.014	0.000	0.020	0.001
	잠수교	6.43	3.03	0.008	2.86	0.007	0.000	0.010	0.001
	제수문	6.55	5.37	0.002	1.42	0.009	0.000	0.011	0.001
2003. 3/22	삼례철교	7.46	2.78	0.074	2.24	0.009	0.000	0.014	0.001
	잠수교	7.27	4.03	0.024	3.05	0.010	0.000	0.012	0.001
	제수문	6.67	5.41	0.367	5.49	0.011	0.000	0.016	0.001
2003. 4/26	삼례철교	6.53	2.56	0.043	4.53	0.008	0.000	0.021	0.001
	잠수교	6.49	2.69	0.038	5.48	0.006	0.000	0.019	0.001
	제수문	6.46	3.07	0.264	5.95	0.015	0.000	0.028	0.001
2003. 5/24	삼례철교	7.21	7.20	0.602	11.03	0.000	0.000	0.019	0.000
	잠수교	6.99	5.36	0.445	8.74	0.002	0.000	0.007	0.000
	제수문	7.07	6.78	0.696	18.35	0.000	0.000	0.008	0.000

표 1-17. 동진강 중류 유역의 시기별/유역별 수질 분석 현황

일시	지역	pH	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)
2003. 1/25	정우교	6.92	3.02	0.056	1.89	0.010	0.002	0.019	0.000
	신태인대교	7.03	2.67	0.062	2.54	0.012	0.001	0.007	0.000
	군포교	7.29	3.33	0.077	2.46	0.014	0.001	0.021	0.000
2003. 2/22	정우교	7.04	2.52	0.072	2.46	0.009	0.000	0.010	0.000
	신태인대교	7.12	2.12	0.054	3.48	0.011	0.000	0.006	0.000
	군포교	7.36	3.76	0.117	4.01	0.023	0.004	0.015	0.000
2003. 3/22	정우교	7.27	3.50	0.184	5.07	0.004	0.004	0.010	0.000
	신태인대교	7.64	3.55	0.179	4.26	0.000	0.007	0.005	0.000
	군포교	7.58	2.64	0.309	3.99	0.000	0.004	0.013	0.000
2003. 4/26	정우교	7.51	2.73	0.170	4.06	0.000	0.004	0.014	0.000
	신태인대교	7.71	3.27	0.214	4.36	0.000	0.003	0.022	0.000
	군포교	7.18	3.76	0.290	4.77	0.000	0.008	0.006	0.000
2003. 5/24	정우교	7.19	4.81	0.222	4.06	0.000	0.001	0.007	0.000
	신태인대교	6.89	4.56	0.394	5.07	0.000	0.001	0.010	0.000
	군포교	8.13	5.05	1.424	4.88	0.000	0.004	0.001	0.000

3) 하류

만경강·동진강 하류 유역의 시기별 및 지역별 수질을 분석한 결과는 표 1-18과 1-19에 나타낸 바와 같다.

가) 수소이온농도(pH)

만경강 하류에서의 전체적인 수소이온농도의 범위는 6.83~7.46으로 나타나 중류 유역(pH 6.53~7.28)과 비슷하였으며, 시기별로 농업용수에 적합한 pH 6.0~8.5의 범위의 수치였다. 한편 동진강에서는 6.33~8.20의 범위에서 나타나 만경강에 비해 약간 높게 나타나는 경향이었지만 농업용수에는 적합한 것으로 판명되었다.

나) 총질소(T-N)

만경강 하류의 경우 총질소의 함량은 2.56~8.89mg/L의 범위의 수치를 나타내고 있으며, 동진강의 경우는 1.44~7.25mg/L의 범위로 모두 시기별, 장소별로 뚜렷한 경향이 없이 다양하게 나타났다. 시기별로는 1월과 5월에 채수한 시료가 약간 높은 수치를 나타냈다.

다) 총인(T-P)

총인(T-P)의 함량 변화를 조사한 결과 만경강은 0.012~1.127mg/L, 동진강은 0.054~1.482mg/L의 범위로 비슷하게 나타나고 있지만 모두 중류에 비해 약간씩 높아지는 경향이였다. 동진강의 경우 여러 지천의 합류 지점인 동진대교(2004년 3월 27일)에서는 1.482mg/L로서 가장 많은 인함량이 검출되기도 하였다.

라) 화학적산소요구량(COD)

화학적산소요구량(COD)은 만경강 중류 수질에서 COD 값의 범위는 6.62~60.13로서 편차가 매우 심한 편인데, 시기별, 장소별로 대부분 8.0 이상의 값을 나타내 벼농사 농수로서의 이용에 문제점이 야기되고 있는 실정이다. 한편 동진강 중류는 3.56~59.58의 값을 나타내 만경강 하류에 비해 양호한 편이지만 모든 지역에서 평균적으로 높은 값을 나타내 농수로서 부적합한 것으로 판정되었다.

마) 중금속 오염물질

만경강, 동진강 하류의 수질에서 검출되는 중금속 오염물질은 3월과 5월에는 거의 검출되지 않았지만 11월과 1월에는 여러 종류의 중금속이 검출되었다. 만경강 경우 공덕배수장(2003.11.22)에서 4종류의 중금속이 모두 가장 높은 수치를 나타내 시기별로는

매우 우려되는 실정이므로 지속적인 관리가 필요할 것으로 사료된다. 동진강의 경우 아직은 만경강에 비해 미비하지만 체계적인 관심과 조사가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

표 1-18. 만경강 하류의 시기별/유역별 수질 분석 현황

일시	지역	pH	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)
2003. 9/27	만경1교	7.02	4.32	0.746	7.59	0.001	0.000	0.000	0.000
	공덕배수장	7.04	4.95	0.437	9.89	0.004	0.000	0.004	0.000
	청하배수장	7.05	4.49	0.133	21.97	0.000	0.000	0.023	0.000
	만경대교	6.90	2.56	0.072	60.13	0.001	0.000	0.001	0.000
2003. 11/22	만경1교	7.26	5.24	0.627	6.62	0.000	0.008	0.021	0.001
	공덕배수장	7.15	6.09	0.646	8.02	0.011	0.523	0.174	0.009
	청하배수장	7.40	5.06	0.012	27.68	0.000	0.000	0.014	0.001
	만경대교	7.43	6.23	0.627	8.83	0.001	0.000	0.015	0.001
2004. 1/31	만경1교	7.35	8.01	1.127	10.79	0.000	0.000	0.010	0.000
	공덕배수장	7.41	8.02	1.054	9.39	0.000	0.000	0.016	0.000
	청하배수장	7.44	7.49	1.014	9.63	0.000	0.000	0.004	0.000
	만경대교	7.51	7.11	0.740	8.99	0.000	0.000	0.011	0.000
2004. 3/27	만경1교	7.27	6.90	0.796	12.84	0.000	0.000	0.000	0.000
	공덕배수장	7.31	6.62	0.690	11.23	0.000	0.000	0.000	0.000
	청하배수장	7.37	6.72	0.645	11.43	0.000	0.000	0.000	0.000
	만경대교	7.46	6.31	0.890	13.24	0.000	0.000	0.000	0.000
2004. 5/29	만경1교	6.99	8.57	0.619	13.27	0.000	0.000	0.000	0.000
	공덕배수장	6.83	5.60	0.186	11.43	0.000	0.000	0.000	0.000
	청하배수장	6.91	6.92	0.750	15.51	0.000	0.000	0.000	0.000
	만경대교	7.06	8.89	0.416	15.92	0.000	0.000	0.000	0.000

표 1-19. 동진강 하류의 시기별/유역별 수질 분석 현황

일시	지역	pH	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)
2003. 9/27	제수문(상)	6.98	2.56	0.206	3.56	0.003	0.000	0.000	0.000
	제수문(하)	6.60	2.40	0.265	4.59	0.002	0.000	0.000	0.000
	연 포 교	7.00	2.38	0.219	15.58	0.000	0.000	0.007	0.000
	동진대교	7.36	1.53	0.159	47.67	0.000	0.000	0.001	0.000
2003. 11/22	제수문(상)	6.96	4.89	0.604	8.43	0.000	0.000	0.013	0.001
	제수문(하)	7.34	4.17	0.191	10.43	0.000	0.000	0.011	0.007
	연 포 교	7.35	2.61	0.840	59.58	0.000	0.000	0.011	0.000
	동진대교	7.73	1.83	0.110	55.57	0.000	0.000	0.005	0.000
2004. 1/31	제수문(상)	7.33	6.81	0.895	8.99	0.000	0.000	0.007	0.000
	제수문(하)	7.35	6.82	0.815	8.19	0.000	0.000	0.005	0.000
	연 포 교	7.47	6.02	0.479	14.64	0.000	0.000	0.000	0.000
	동진대교	6.33	5.13	0.230	29.16	0.000	0.000	0.000	0.000
2004. 3/27	제수문(상)	8.20	4.31	0.290	10.23	0.000	0.000	0.000	0.000
	제수문(하)	7.82	4.75	0.286	19.06	0.000	0.000	0.000	0.000
	연 포 교	7.97	1.86	0.186	64.99	0.000	0.000	0.000	0.000
	동진대교	8.06	1.44	1.482	59.38	0.000	0.000	0.000	0.000
2004. 5/29	제수문(상)	6.61	4.28	0.242	7.55	0.000	0.000	0.000	0.000
	제수문(하)	6.61	5.60	0.151	7.76	0.000	0.000	0.000	0.000
	연 포 교	6.44	7.25	0.205	10.82	0.000	0.000	0.000	0.000
	동진대교	6.84	3.29	0.167	20.41	0.000	0.000	0.000	0.000

나. 토양

1) 상류

만경강 및 동진강 상류 유역의 방형구별 토양의 이·화학적 성분 분석 결과는 표 1-20과 1-21에 나타난 바와 같다. 각 조사구 번호는 식생조사구와 일치한다(표 1-4, 1-9 참조).

만경강 상류유역 하천변의 토성은 사토(S)가 대부분이고 사양토(SL)와 미사질양토(SCL)로 나타났고, 고수위부지는 사토(S), 양질사토(LS), 사양토(SL) 및 미사질양토(SCL)로 다양하게 구성되어 있었다. 토양의 수소이온농도(pH)는 5.6~7.3에 이르는 약 산성에서 중성을 나타냈다. 유기물함량(OM)은 0.8~2.6%로서 산림토양에 비해 하천변에서 물의 수위에 따라 쉽게 유실되고 있음을 알 수 있다. 전질소(T-N)의 함량은 하천변에서 4.3~5.8%, 고수위부지에서 4.7~7.6%로 거의 비슷하게 나타났다. 유효인산(P_2O_5)의 함량은 하천변과 고수위부지에서 24~361ppm까지 다양하게 나타났는데, 특히 전주천이 유입되는 삼례교에서 다른 조사구에 비해 10배 정도 높게 나타나 세제의 과다사용 등으로 인한 생활폐수의 영향이 크게 작용되었으리라 추측된다.

토양의 양이온치환용량(CEC)은 고수위부지에서 12.6~35.5me/100g으로 하천변의 7.31~24.4me/100g보다 일반적으로 높게 나타났으며, 전체 평균적으로는 우리나라 산림 토양의 평균치인 11.38me/100g보다 약간 높게 나타났다. 치환성염기인 K^+ 과 Na^+ 은 하천변에서 각각 0.8~1.9me/100g와 0.4~0.6me/100g로서 고수위부지의 0.2~1.6과 0.1~0.4보다 일반적으로 높게 나타났으나, Ca^{++} 은 반대로 고수위부지가 4.3~6.2me/100g로서 하천변의 2.5~4.2me/100g보다 높게 나타났다. Mg^{++} 의 함유량은 0.3~1.9me/100g으로 나타났다.

동진강 상류유역 하천변의 토성은 모두 모래의 함유비율이 90%를 넘는 사토(S)로 나타났고 고수위부지는 양질사토(LS)와 사토(S)로 구성되어 있었다. 토양의 수소이온농도(pH)는 전반적으로 약산성이었으며, 하천변이 pH 5.6~6.5, 고수위부지가 5.1~6.0의 범위이었다. 유기물함량(OM)은 0.8~2.9%로서 만경강 상류와 거의 비슷하게 나타났다. 전질소(T-N)의 함량은 하천변이 4.2~5.3%으로 고수위부지 3.3~4.3%보다 약간 높게 나타났고, 유효인산(P_2O_5)의 함량도 역시 하천변이 40~70ppm으로 고수위부지의 33~46ppm보다 약간 높게 나타났다. 이는 축산 및 생활폐수의 오염이 하천변에서 더욱 많은 영향을 받고 있다고 사료된다.

토양의 양이온치환용량(CEC)은 고수위부지가 9.54~22.1me/100g으로 하천변의 6.08~10.9me/100g보다 월등히 높게 나타났다. 치환성염기인 K^+ 과 Na^+ 은 하천변에서 각각 0.5~

1.7me/100g와 0.4~0.7me/100g로서 고수위부지의 0.2~0.6me/100g과 0.1~0.2보다 높게 나타났다으나, Ca^{++} 은 반대로 고수위부지가 2.3~6.2me/100g로서 하천변의 2.1~4.2me/100g보다 높게 나타났다. Mg^{++} 의 함유량은 0.3~0.9me/100g으로 나타났다. 우리 나라 화성암 산림 토양의 평균치인 0.24(K^+), 1.84(Ca^{++}), 0.26(Na^+), 1.48(Mg^{++})me/100g과 비교해보면 K^+ 와 Na^+ 는 하천변에서 상대적으로 높은 값을 나타내고, Ca^{++} 는 고수위 부지에서 높은 값을 나타낸 반면 Mg^{++} 는 모두에서 낮은 값을 나타냈다.

2) 중류

만경강 및 동진강 중류 유역의 조사구별 토양의 이·화학적 성분 분석 결과는 표 1-20과 1-21에 나타난 바와 같다. 각 조사구 번호는 식생조사구와 일치한다(표 1-4, 1-9 참조).

만경강 중류유역 하천변 및 제방사면의 토성은 사토(S), 사양토(SL), 사질식양토(SCL)가 고루 나타났다. 토양의 수소이온농도(pH)는 5.6~7.3에 이르는 약산성에서 중성을 나타냈다. 유기물함량(OM)은 1.4~2.7%로서 산림토양에 비해 현저히 낮은 수치를 보여주나 일반적으로 상류유역(0.8~2.6%)과 비슷하게 나타났다. 전질소(T-N)의 함량은 하천변에서 5.8~7.8%, 제방사면에서 4.1~5.5%로 하천변이 약간 높게 나타났다. 유효인산(P_2O_5)의 함량은 하천변과 제방사면에서 37~140ppm까지 다양하게 나타났는데, 특히 전주천이 유입되는 삼례철교 지점에서 다른 조사구에 비해 높은 수치를 보여주고 있다. 또한 하천변이 제방사면보다 뚜렷하게 높게 나타나 하천변이 생활폐수의 영향권에 있음을 알 수 있었다.

토양의 양이온치환용량(CEC)은 제방사면에서 18.1~30.4me/100g으로 하천변의 9.74~24.4me/100g보다 일반적으로 높게 나타났으며, 전체 평균적으로는 우리 나라 산림 토양의 평균치인 11.38me/100g보다 약간 높게 나타났다. 치환성염기인 K^+ 과 Na^+ 은 하천변에서 각각 0.5~1.1me/100g와 0.6~0.7me/100g로서 제방사면의 0.2~1.6과 0.1~0.4보다 일반적으로 높게 나타났으나, Ca^{++} 은 반대로 제방사면이 2.3~5.9me/100g로서 하천변의 2.1~2.8보다 높게 나타났다. Mg^{++} 의 함유량은 0.3~1.2me/100g으로 나타났다.

동진강 중류유역 하천변의 토성은 사토(S), 양질사토(LS), 사질식양토(SCL)가 고루 나타났다. 제방사면은 사양토(SL)와 사질식양토(SCL)로 구성되어 있었다. 토양의 수소이온농도(pH)는 4.6~6.2에 이르는 약산성이 대부분이었다. 유기물함량(OM)은 1.4~2.9%로서 상류유역과 비슷한 경향을 나타냈다. 전질소(T-N)의 함량은 하천변이 5.2~6.9%로 제방사면의 3.2~5.3%보다 높게 나타났고, 유효인산(P_2O_5)의 함량도 역시 하

천변이 26~170ppm으로 제방사면의 22~42ppm보다 높게 나타났다. 이는 축산 및 생활 폐수의 오염이 하천변에서 더욱 많은 영향을 받고 있다고 사료된다. 특히 정읍천의 유입되는 신태인대교 부근은 하천변에서 170ppm의 높은 수치를 나타내고 있다.

토양의 양이온치환용량(CEC)은 제방사면이 11.5~16.7me/100g으로 하천변의 10.5~15.1me/100g보다 높게 나타났다. 치환성염기인 K^+ 과 Na^+ 은 하천변에서 각각 0.6~1.3me/100g와 0.2~0.4me/100g로서 제방사면의 0.2~0.4me/100g과 0.5~0.9me/100g보다 높게 나타났으나, Ca^{++} 은 반대로 제방사면에서 2.4~5.4me/100g로서 하천변의 1.3~4.2보다 높게 나타났다. Mg^{++} 의 함유량은 0.3~1.0me/100g으로 나타났다.

3) 하류

만경강 및 동진강 하류 유역의 조사구별 토양의 이·화학적 성분 분석 결과는 표 1-20과 1-21에 나타난 바와 같다. 각 조사구 번호는 식생조사구와 일치한다(표 1-4, 1-9 참조).

만경강 하류유역 하천변 및 제방사면의 토성은 사토(S), 양질사토(LS), 사양토(SL), 미사질양토(SiL) 및 사질식양토(SCL)가 다양하게 나타났다. 토양의 수소이온농도(pH)는 6.0~7.2에 이르는 약산성에서 중성을 나타냈으며, 유기물함량(OM)은 1.2~2.8%의 범위로서 상류와 중류 유역과 비슷하게 나타났다. 전질소(T-N)의 함량은 하천변에서 2.7~4.2%, 제방사면에서 4.1~6.2%로 중류와 달리 제방사면쪽이 약간 높은 경향이였으며, 유효인산(P_2O_5)의 함량은 하천변과 제방사면에서 18~60ppm까지 다양하게 나타났다. 토양의 양이온치환용량(CEC)은 6.2~52.4me/100g의 범위였으며, 이들중 염생식물이 군락을 형성하는 조사구에서는 현저하게 높게 나타났다. 치환성염기는 표에서 보는 바와 같이 하천과 제방사면을 가리지 않고 다양하게 검출되었다.

동진강 하류유역 하천변 및 제방사면의 토성은 사토(S), 양질사토(LS), 사양토(SL) 및 미사질양토(SiL)가 다양하게 나타났는데 염생식물이 분포하는 수변지역에서는 모두 미사질양토를 나타냈다. 토양의 수소이온농도(pH)는 5.8~7.2에 이르는 약산성에서 중성을 나타냈으며, 유기물함량(OM)은 0.9~2.1%의 범위로서 상류와 중류 유역과 비슷하게 나타났다. 전질소(T-N)의 함량은 하천변에서 2.1~4.2%, 제방사면에서 2.1~5.5%이었는데 제방사면쪽이 약간 높은 경향이였으며, 유효인산(P_2O_5)의 함량은 하천변과 제방사면에서 18~50ppm까지 다양하게 나타났는데, 만경강과 비슷한 경향이였다. 토양의 양이온치환용량(CEC)은 6.2~56.4me/100g의 범위였으며, 이들중 염생식물이 군락을 형성하는 조사구에서는 다소 높게 나타났다. 치환성염기는 표에서 보는 바와 같이 하천과 제방사면을 가리지 않고 다양하게 검출되었다.

표 1-20. 만경강 유역 각 식생조사구별 토양의 물리·화학적 특성

Quad. No.	입도조성(%)			토성	EC (dS/m)	pH (1:5)	OM (%)	T-N (%)	Avil. P ₂ O ₅ (ppm)	CEC (me/100g)	치환성염기(me/100g)			
	Clay	Silt	Sand								K	Ca	Na	Mg
M1-a	6.4	4.4	89.2	S	0.36	6.5	1.3	4.8	24	9.8	1.5	3.6	0.4	0.6
M2-b	7.2	10.3	82.5	LS	0.72	7.3	1.6	6.9	33	35.5	0.6	4.3	0.1	0.5
M3-a	4.5	4.4	91.1	S	0.25	6.4	0.8	5.2	25	7.3	0.8	2.5	0.4	0.3
M4-b	8.4	10.4	81.2	LS	0.21	6.6	2.2	4.9	12	12.6	0.2	5.5	0.1	0.4
M5-a	13.4	15.6	71.0	SL	0.56	5.8	2.6	5.8	48	10.8	1.7	4.2	0.5	0.7
M6-b	26.0	5.2	68.8	SCL	0.21	6.2	1.9	4.7	14	14.8	0.3	6.2	0.1	0.7
M7-a	26.1	21.8	52.1	SCL	0.97	6.2	1.6	4.3	64	24.4	1.9	3.7	0.6	1.9
M8-b	18.8	18.8	62.4	SL	1.13	7.3	1.9	7.6	116	30.4	1.6	4.5	0.1	1.4
M9-a	3.5	4.5	92.0	S	0.71	5.6	1.4	4.9	131	9.7	1.7	4.2	0.6	0.6
M10-b	8.3	0.0	91.7	S	0.51	6.5	1.8	5.3	361	19.4	0.2	5.4	0.4	1.0
M11-a	26.1	21.8	52.1	SCL	1.13	6.2	1.6	7.8	140	24.4	0.5	2.1	0.6	0.4
M12-b	18.8	18.8	62.4	SL	0.97	7.3	1.9	5.3	51	30.4	0.3	5.9	0.1	0.9
M13-a	3.5	4.5	92.0	S	0.71	5.6	1.4	6.2	72	9.7	1.1	2.1	0.6	0.3
M14-b	8.3	0.0	91.7	S	0.51	6.5	1.8	5.5	37	19.4	0.2	3.8	0.4	0.5
M15-a	20.5	20.4	59.1	SL	0.71	6.1	2.6	5.8	84	16.9	0.7	2.5	0.7	0.6
M16-b	21.5	23.9	54.6	SCL	0.51	6.0	1.8	4.3	56	18.2	0.3	2.3	0.2	0.5
M17-a	15.0	19.7	65.3	SL	0.56	6.0	1.3	4.2	44	14.2	0.5	2.8	0.7	1.2
M18-b	17.0	13.3	69.7	SL	0.67	5.9	2.7	4.1	42	18.1	0.6	3.1	0.2	0.6
M19-a	8.0	60.2	31.8	SiL	0.24	7.0	2.1	4.0	50	10.4	0.8	1.8	0.1	0.7
M20-b	11.4	2.3	86.3	LS	0.52	6.1	1.4	4.2	28	11.0	1.4	1.0	0.4	0.4
M21-a	27.5	6.0	66.5	SCL	0.72	6.0	2.1	3.7	49	15.1	0.1	2.4	0.8	0.6
M22-b	18.3	5.7	76.0	SL	0.64	7.2	2.8	4.1	38	16.2	0.3	5.4	0.5	0.6
M23-a	5.0	4.2	90.8	S	0.18	6.5	1.2	2.8	18	12.2	0.9	2.0	0.2	0.9
M24-b	8.2	61.4	30.4	SiL	0.54	6.1	1.8	4.0	60	10.4	1.2	3.8	0.1	0.4
M25-a	18.8	74.1	7.1	SiL	0.92	7.0	1.9	3.4	23	22.9	1.2	2.3	1.0	0.4
M26-b	6.0	3.1	90.9	S	0.42	6.2	2.0	6.2	44	13.2	0.5	1.8	0.7	1.3
M27-a	19.8	75.0	5.2	SiL	0.83	7.1	2.3	4.2	24	37.8	1.2	3.1	1.2	1.0
M28-b	3.0	4.9	92.1	S	0.14	6.3	2.1	5.3	30	6.2	1.2	2.1	0.9	0.2
M29-a	24.3	73.4	2.3	SiL	0.76	6.9	2.7	2.7	32	52.4	1.4	2.5	0.9	1.2
M30-b	3.1	2.4	94.5	S	0.21	6.0	1.2	5.4	40	6.9	0.5	1.2	0.7	0.4

표 1-21. 동진강 유역 각 식생조사구별 토양의 물리·화학적 특성

Quad. No.	입도조성(%)			토성	EC (dS/m)	pH (1:5)	OM (%)	T-N (%)	Avil. P ₂ O ₅ (ppm)	CEC (me/100g)	치환성염기(me/100g)			
	Clay	Silt	Sand								K	Ca	Na	Mg
D1-a	3.0	2.5	94.5	S	0.25	6.4	1.0	5.3	40	6.1	0.5	2.1	0.7	0.4
D2-b	2.8	15.5	81.7	LS	0.31	5.9	2.9	4.3	33	15.5	0.3	5.9	0.2	0.9
D3-a	2.5	5.4	92.1	S	0.15	6.5	1.2	4.2	60	8.2	1.1	2.1	0.6	0.3
D4-b	2.3	2.3	95.4	S	0.15	6.0	1.6	3.4	45	9.6	0.2	3.8	0.2	0.5
D5-a	3.4	1.1	95.5	S	0.36	6.5	1.3	4.8	64	7.7	0.7	2.5	0.4	0.6
D6-b	1.7	12.6	85.7	LS	0.26	5.1	0.8	3.3	46	9.5	0.3	2.3	0.1	0.5
D7-a	7.0	1.9	91.1	S	0.66	5.6	2.2	6.9	44	13.6	1.5	3.6	0.5	0.6
D8-b	8.0	60.2	31.8	SiL	0.46	5.9	2.9	4.8	31	22.1	0.6	4.3	0.2	0.5
D9-a	15.0	1.8	83.2	LS	0.86	5.0	1.2	6.2	170	10.9	0.8	2.5	0.5	0.3
D10-b	9.4	17.5	73.1	SL	0.46	5.5	2.2	5.5	43	15.9	0.2	5.5	0.2	0.4
D11-a	5.6	15.5	78.9	LS	1.12	4.5	2.0	5.8	58	10.8	1.7	4.2	0.5	0.7
D12-b	22.6	9.0	68.4	SCL	0.72	5.1	2.9	4.7	30	14.3	0.3	6.2	0.2	0.7
D13-a	28.4	6.3	65.3	SCL	2.03	6.0	1.4	6.9	26	15.1	1.3	4.2	0.8	0.6
D14-b	18.4	5.3	76.3	SL	0.46	5.7	2.8	5.3	22	16.7	0.2	5.4	0.2	1.0
D15-a	1.6	12.1	86.3	LS	0.16	5.0	0.4	3.2	38	10.5	0.6	1.3	0.5	0.3
D16-b	6.0	2.9	91.1	S	0.43	4.6	2.3	6.5	42	14.6	0.5	3.4	0.4	0.7
D17-a	9.0	64.4	26.6	SiL	0.35	6.1	2.2	4.7	33	12.5	0.4	2.3	0.2	0.7
D18-b	12.0	1.8	86.2	LS	0.56	7.0	1.6	5.2	160	11.5	0.9	2.4	0.9	0.6
D19-a	2.1	13.4	84.5	LS	0.32	6.2	1.0	2.8	30	10.1	0.1	1.0	0.6	0.1
D20-b	27.2	6.0	66.8	SCL	1.00	6.1	2.0	4.1	21	15.0	0.9	3.3	0.7	0.4
D21-a	4.0	3.2	92.8	S	0.20	5.9	1.4	3.0	20	14.2	0.3	2.0	0.3	0.8
D22-b	7.2	60.1	32.7	SiL	0.45	6.1	2.0	4.8	14	10.8	0.8	4.2	0.1	0.4
D23-a	17.2	78.5	4.3	SiL	0.84	7.0	1.5	3.0	30	21.0	0.8	3.0	1.2	1.0
D24-b	9.3	15.7	75.0	SL	0.37	6.4	2.1	5.5	40	10.8	0.2	6.2	0.2	0.6
D25-a	15.9	80.7	3.4	SiL	0.90	6.9	1.8	2.1	28	34.2	1.0	2.6	1.0	0.4
D26-b	12.1	1.9	86.0	LS	0.50	5.8	2.1	3.1	20	10.9	1.0	5.1	0.1	0.4
D27-a	18.2	73.4	8.4	SiL	0.82	7.0	2.0	4.2	50	56.4	1.2	2.2	0.9	0.6
D28-b	3.1	4.2	92.7	S	0.14	6.0	1.2	5.3	30	6.2	1.1	2.1	0.8	0.9
D29-a	20.2	70.6	9.2	SiL	0.67	7.1	1.2	2.2	33	23.2	0.2	2.8	1.1	0.4
D30-b	8.1	59.4	32.5	SiL	0.38	6.2	1.2	4.3	20	20.4	1.3	1.8	0.2	0.3
D31-a	18.0	77.9	4.1	SiL	1.00	7.2	1.3	3.1	29	32.1	0.6	3.4	1.2	0.5
D32-b	13.4	2.4	84.2	LS	0.21	6.2	0.9	2.1	18	8.1	0.6	4.3	0.1	0.4

(제 2 세부과제)

※연구과제명 : 중금속 오염물질이 식물체에 미치는 영향 분석

1. 강 유역 토양의 물리·화학적 성질 및 식물체 생육상황

가. 토양분석 현황

1) 토양의 물리적 성질

표 2-5에서 보는 바와 같이 토양의 물리적 성질은 만경강이나 동진강유역에서 모두 하류로 내려갈수록 일정한 함량의 변화는 아니지만 일반적으로 모래의 함량이 줄어들고 미사나 점토의 함량이 많아지는 경향이였다.

표 2-5. 만경강 · 동진강 유역 토양 물리적 성질 분석

지역	Site No.	기계적 조성(%)			
		점토	미사	모래	토성*
동진강	1a*	3.0	2.5	94.5	S
	1b*	2.8	15.5	81.7	LS
	2a	2.5	5.4	92.1	S
	2b	2.3	2.3	95.4	S
	3a	3.4	1.1	95.5	S
	3b	1.7	12.6	85.7	LS
	4a	17.0	1.9	91.1	SL
	4b	8.0	60.2	31.8	SiL
	5a	15.0	1.8	83.2	SL
	5b	9.4	17.5	73.1	SL
	6a	5.6	15.5	78.9	LS
	6b	22.6	9.0	68.4	SCL
	7a	28.4	6.3	65.3	SCL
	7b	18.4	5.3	76.3	SL
	8a	1.2	78.7	20.1	SiL
	8b	10.6	9.6	79.8	SL
	9a	11.3	45.2	43.5	L
	만경강	10a	6.4	4.4	89.2
10b		7.2	10.3	82.5	LS
11a		4.5	4.4	91.1	S
11b		8.4	10.4	81.2	LS
12a		13.4	15.6	71.0	SL
12b		26.0	5.2	68.8	SCL
13a		26.1	21.8	52.1	SCL
13b		18.8	18.8	62.4	SL
14a		3.5	4.5	92.0	S
14b		8.3	0.0	91.7	S
15a		20.5	20.4	59.1	SL
15b		21.5	23.9	54.6	SCL
16a		15.0	19.7	65.3	SL
16b		17.0	13.3	69.7	SL
17a		7.4	0.5	92.1	S
17b		15.0	5.8	79.2	SL
18a		18.7	3.3	78.0	SL

* a = 침수 지역 b = 비침수 지역

* S = 사토, LS = 양질사토, SL = 사양토, SiL = 미사질양토, SCL = 사질식양토
L = 양토

2) 토양의 화학적 성질

토양의 화학적 성질은 표 2-6에서 보는 바와 같이 토양 산도는 침수나 비침수 지역이 일정한 경향이 없이 동진강유역에서는 최고 pH4.5와 최저 pH 6.7 및 평균 pH 5.8을 만경강유역에서는 최고 pH5.6과 최저 pH 7.4 및 평균 pH 6.4를 나타내 만경강유역보다 동진강 유역이 보다 더 산성화되었음을 알 수 있었다.

유기물 함량은 16개 지역 중 3, 12, 15 지역을 제외하고는 13개 지역에서 비침수 지역이 침수지역보다 높게 나타났는데 이는 침수지역에서 유기물이 용탈되기 때문인 것으로 사료된다.

전기 전도도에 있어서는 16개 지역 중 16번 지역을 제외하고는 15개 지역에서 침수 지역이 비침수 지역보다 높게 나타났다.

그리고 양이온 치환용량(CEC)은 16개 지역 중 8번 지역을 제외하고는 15개 지역에서 비침수 지역이 침수지역보다 높게 나타났으나 상·하류에 따른 일정한 경향은 없었으며 최저 6.08, 최고 38.1을 보였는데 이는 우리나라 논토양의 전체 평균이 11.0, 밭토양의 전체 평균이 10.3(심상철, 1991)에 비해 높은 편이었다.

한편 나트륨 이온(Na)의 함량은 전지역에서 침수지역이 비침수지역에 비해 높게 나타났으며 일반적으로 하류로 갈수록 높아짐을 보였다.

표 2-6. 만경강 · 동진강유역 토양의 화학적 성질분석

지역	Site No.	pH (H ₂ O)	O.M (%)	EC (dS/m)	CEC (cmol ⁺ /kg)	Na (cmol ⁺ /kg)
동진강	1a*	6.4	10	0.31	6.08	0.64
	1b*	5.9	29	0.25	15.5	0.16
	2a	6.5	12	0.15	8.18	0.63
	2b	6.0	16	0.15	9.55	0.17
	3a	6.5	13	0.36	7.69	0.40
	3b	5.1	8	0.26	9.54	0.10
	4a	5.6	22	0.66	13.6	0.49
	4b	5.9	29	0.46	22.1	0.15
	5a	5.0	12	0.86	10.9	0.45
	5b	5.5	22	0.46	15.9	0.15
	6a	4.5	20	1.12	10.8	0.54
	6b	5.1	29	0.72	14.3	0.15
	7a	6.0	14	2.03	15.1	0.79
	7b	5.7	28	0.46	16.7	0.19
	8a	6.7	16	2.16	38.1	0.91
	8b	5.7	19	2.14	14.9	0.81
	9a	6.7	16	2.02	32.1	0.87
	mean	5.8	18.53	0.86	15.4	0.45
	만경강	10a	6.5	13	0.72	9.83
10b		7.3	16	0.36	35.5	0.13
11a		6.4	8	0.25	7.31	0.39
11b		6.6	22	0.21	12.6	0.14
12a		5.8	26	0.56	10.8	0.49
12b		6.2	19	0.21	14.8	0.13
13a		6.2	16	1.13	24.4	0.56
13b		7.3	19	0.97	30.4	0.14
14a		5.6	14	0.71	9.74	0.58
14b		6.5	18	0.51	19.4	0.42
15a		6.1	26	0.71	16.9	0.74
15b		6.0	18	0.51	18.2	0.24
16a		6.0	13	0.56	14.2	0.68
16b		5.9	27	0.67	18.1	0.18
17a		6.9	8	2.09	25.5	0.92
17b		6.1	22	0.31	14.6	0.27
18a		7.4	7	2.04	24.0	0.89
mean		6.4	17.18	0.74	18.0	0.43

* a = 침수 지역, b = 비침수 지역

3) 토양의 중금속 함량

토양의 중금속 함량은 표 2-7에서 보는 바와 같이 카드뮴(Cd)의 함량은 1, 7, 8, 10, 11, 12번 지역은 비침수 지역이 침수지역에 비해 높게 나타난 반면 나머지 10개 지역에서는 반대로 침수 지역이 비침수지역에 비해 높게 나타나 침수 비침수 지역 간 일정한 관계가 없었다. 한편 동진강유역에서의 최고 함량은 5번 침수지역이 0.098ppm이었고 최저함량은 1번 침수지역의 0.055ppm이었으며 만경강 유역에서는 최고 함량이 10번 비침수지역이 0.102ppm이었고 최저함량은 14번 비침수지역의 0.026ppm이었다. 각 강 유역별 평균치는 만경강 유역이 0.069ppm으로 동진강유역의 0.075ppm보다 약간 낮은 값을 보였다.

크롬(Cr)의 함량은 5, 6, 7, 12, 13번 지역은 침수 지역이 비침수지역에 비해 높게 나타난 반면 나머지 11개 지역에서는 반대로 비침수지역이 침수지역에 비해 높게 나타나 침수 비침수지역간 일정한 관계가 없었다. 한편 동진강유역에서의 최고 함량은 2번 비침수지역이 0.236ppm이었고 최저함량은 1번 침수지역의 0.044ppm이었으며 만경강 유역에서는 최고 함량이 15번 비침수지역이 0.408ppm이었고 최저함량은 11번 침수지역의 0.081ppm이었다. 각 강 유역별 평균치는 만경강 유역이 0.177ppm으로 동진강유역의 0.138ppm보다 약간 높은 값을 보였다.

비소(As) 함량은 2, 3, 5, 7, 11, 13, 16번 지역은 비침수 지역이 침수지역에 비해 높게 나타난 반면 나머지 9개 지역에서는 반대로 침수지역이 비침수지역에 비해 높게 나타나 침수 비침수지역간 일정한 관계가 없었다. 한편 동진강유역에서의 최고 함량은 8번 침수지역이 0.346ppm이었고 최저함량은 4번 비침수지역의 0.029ppm이었으며 만경강 유역에서는 최고 함량이 12번 침수지역이 0.428ppm이었고 최저함량은 13번 침수지역의 0.016ppm이었다. 각 강 유역별 평균치는 만경강 유역이 0.220ppm으로 동진강유역의 0.185ppm보다 약간 높은 값을 보였다.

납(Pb)의 함량은 6, 16번 지역을 제외한 13개 전 지역에서 비침수 지역이 침수지역에 비해 높게 나타나 일반적으로 납의 함량은 강 유역에 있어서는 비침수 지역 침수지역에 비해 높은 함량을 나타내는 경향이였다. 한편 동진강유역에서의 납의 최고 함량은 8번 비침수지역이 6.17ppm이었고 최저함량은 2번 침수지역의 2.02ppm이었으며 만경강 유역에서는 최고 함량이 17번 비침수지역이 5.76ppm이었고 최저함량은 16번 침수지역의 1.92ppm이었다. 각 강 유역별 평균치는 만경강 유역이 3.92ppm으로 동진강유역의 4.09ppm보다 약간 낮은 값을 보였다.

표 2-7. 만경강 · 동진강 유역 토양 중금속 분석

지역	* Site	중금속함량 (mg/kg)				
	No.	Cd	Cr	As	Pb	Cu
동진강	1a	0.055	0.044	0.187	4.10	1.86
	1b	0.067	0.138	0.104	6.13	3.98
	2a	0.087	0.106	0.227	2.02	2.04
	2b	0.075	0.236	0.242	3.54	5.86
	3a	0.086	0.141	0.106	3.61	4.02
	3b	0.061	0.161	0.224	3.78	3.89
	4a	0.076	0.066	0.236	4.08	2.19
	4b	0.048	0.107	0.029	3.64	2.24
	5a	0.098	0.177	0.106	3.17	6.62
	5b	0.059	0.145	0.174	3.29	2.83
	6a	0.082	0.131	0.272	4.51	4.29
	6b	0.066	0.102	0.185	3.17	3.85
	7a	0.084	0.170	0.103	3.12	5.68
	7b	0.085	0.092	0.237	5.99	4.69
	8a	0.074	0.178	0.346	3.63	3.31
	8b	0.087	0.193	0.138	6.17	3.76
	9a	0.077	0.159	0.236	5.53	3.84
		mean	0.075	0.138	0.185	4.09
만경강	10a	0.098	0.148	0.471	3.41	6.02
	10b	0.102	0.241	0.193	5.38	3.42
	11a	0.073	0.081	0.043	3.41	3.81
	11b	0.079	0.238	0.089	3.67	2.25
	12a	0.054	0.189	0.428	4.14	4.53
	12b	0.057	0.145	0.126	5.32	3.38
	13a	0.086	0.182	0.016	3.18	3.59
	13b	0.069	0.177	0.136	4.26	3.98
	14a	0.062	0.139	0.252	3.18	4.44
	14b	0.026	0.162	0.248	3.78	5.81
	15a	0.098	0.236	0.373	5.56	5.21
	15b	0.041	0.408	0.174	3.61	4.01
	16a	0.076	0.107	0.032	1.92	5.19
	16b	0.044	0.111	0.246	3.08	3.20
	17a	0.065	0.104	0.306	3.16	3.59
	17b	0.053	0.182	0.292	5.76	2.64
	18a	0.083	0.153	0.314	3.82	1.98
		mean	0.069	0.177	0.220	3.92

* a = 침수 지역, b = 비침수 지역.

구리(Cu)의 함량은 1, 2, 4, 8, 13, 14번 지역은 비침수 지역이 침수지역에 비해 높게 나타난 반면 나머지 10개 지역에서는 반대로 침수지역이 비침수지역에 비해 높게 나타나 침수 비침수 지역간 일정한 관계가 있다고 말할 수는 없었다. 한편 동진강유역에서의 최고 함량은 5번 침수지역이 6.62ppm이었고 최저함량은 1번 침수지역의 1.86ppm이었으며 만경강 유역에서는 최고 함량이 가장 상류인 1번 침수지역이 6.02ppm이었고 최저함량은 가장 하류지점인 18번 침수지역의 1.98ppm이었다. 각 강 유역별 평균치는 만경강 유역이 3.94ppm으로 동진강유역의 3.82ppm보다 약간 높은 값을 보였다.

이상 5개 중금속에 대한 만경강과 동진강 유역에 대한 조사 결과 카드뮴과 납의 함량은 동진강 유역이, 크롬, 비소, 구리의 함량은 만경강유역이 약간 높은 값을 보였는데 이 결과로서는 어느 강 유역이 더 오염되었다고 말할 수 없으며 또한 중금속함량은 5가지 모두 자연상태의 함량에 불과하였다.

나. 묘목생육 현황

1) 침수 재배 현황

현지 실험은 만경강과 동진강 유역으로 이 지역은 대부분이 강 고수부지나 제방 근처인데 이는 거의가 논이나 밭 등의 두렁(가장자리)이었다. 2001년 9월 침수에 강한 수종인 버드나무류를 삼목하여 한달 후 발근한 묘목을 현지에서 식재실험을 시도하였으나 사람이나 동물에 의해 식물체가 손상을 입거나 제거되었으며 특히 11월부터는 논·밭두렁 태우기가 많은 부분에서 이루어져 식재한 식물체가 불에 타 없어져 현지 식재실험에 의한 정확한 자료를 얻을 수가 없었다. 따라서 가능한 현지 실험과 유사한 자료를 구하기 위해 현지 토양을 채취하여 캠퍼스 내 묘포장에서 포트실험을 실시하였다.

실험기간동안 버드나무류 3수종 침수재배 지역 현황은 표 2-8과 같다. 동진강에서 No.1, No.3. 지점은 상류지역, No.5, No.6 지점은 중류지역, No.8 지점은 하류지역이다. 만경강에서 No.10. 지점은 상류지역, No.13, No.14, No.16 지점은 중류지역, No.17 지점은 하류지역으로 분류하였다.

표 2-8. 침수재배 위치 현황

구분	* Site No.	위치	수종
동진강	1	칠보교 상부 300m 지점	왕버들 갯버들 버드나무
	3	거산교 하부 300m 지점	
	5	신태인대교 하부 30m 지점	
	6	정읍천 합류지점	
	8	배수갑문과 서해안 고속도로 중간지점	
만경강	10	신당교 하부 50m 지점	왕버들 갯버들 버드나무
	13	봉동교 상부 500m 지점	
	14	삼례교와 삼례철교 중간지점	
	16	백구 배수장 앞	
	17	공덕 배수장 앞	
	18	기수역	

* Pot 실험은 침수토양을 사용함.

2) 생존율

만경강 동진강 유역의 토양분석용 시료를 채취한 일부지역에서 현지 토양을 포트에 담아 버드나무류를 2개월간 침수재배시 생존율은 표 2-9에서 보는 바와 같이 버드나무가 가장 높고 갯버들이 가장 낮았다.

표 2-9. 동진강, 만경강 유역 왕버들, 갯버들, 버드나무 생존율 현황 (단위 : %)

지역	Site No.*	조사일**	왕버들		갯버들		버드나무	
			고사율	생존율	고사율	생존율	고사율	생존율
동진강	1	1차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	1	2차	16.67	83.33	0.00	100	0.00	100
	1	3차	16.67	83.33	0.00	100	0.00	100
	3	1차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	3	2차	9.00	91.00	16.67	83.33	0.00	100
	3	3차	9.00	91.00	16.67	83.33	9.00	91.00
	5	1차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	5	2차	25.00	75.00	9.00	91.00	0.00	100
	5	3차	25.00	75.00	9.00	91.00	0.00	100
	6	1차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	6	2차	25.00	75.00	33.34	66.66	0.00	100
	6	3차	25.00	75.00	33.34	66.66	0.00	100
	8	1차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	8	2차	9.00	91.00	16.67	83.33	0.00	100
8	3차	9.00	91.00	16.67	83.33	0.00	100	
만경강	10	1차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	10	2차	0.00	100	33.34	66.66	9.00	91.00
	10	3차	0.00	100	33.34	66.66	0.00	100
	13	1차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	13	2차	0.00	100	16.67	83.33	0.00	100
	13	3차	0.00	100	16.67	83.33	0.00	100
	14	1차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	14	2차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	14	3차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	16	1차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	16	2차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	16	3차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	17	1차	0.00	100	0.00	100	0.00	100
	17	2차	0.00	100	16.67	83.33	0.00	100
17	3차	0.00	100	16.67	83.33	0.00	100	

* No.1, No.3, No.5, No.6, No.8은 동진강 유역을 표시함.

* No.10, No.13, No.14, No.16, No.17은 만경강 유역을 표시함.

** 조사일시: 1차(2002.5.2), 2차(2002.5.24), 3차(2002.6.17)

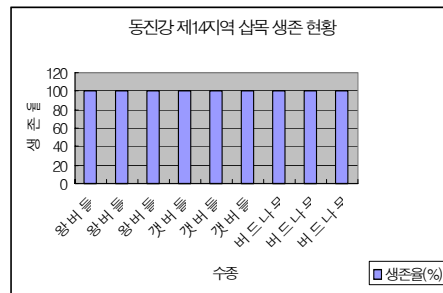
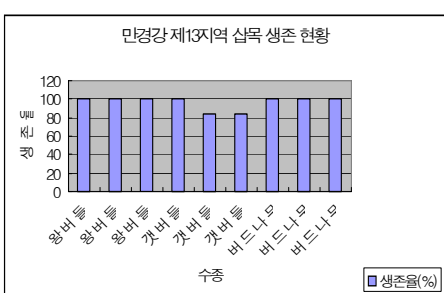
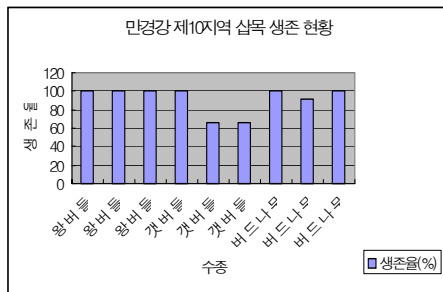
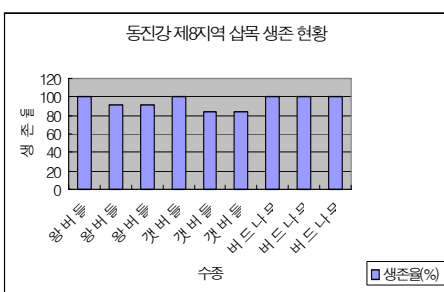
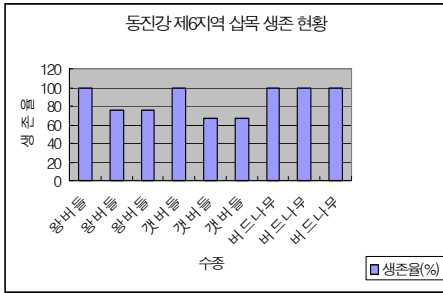
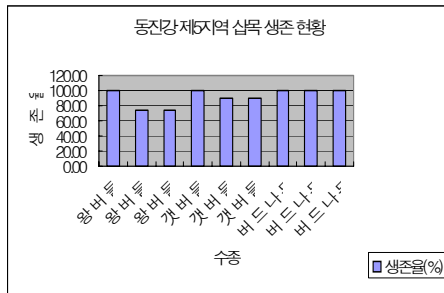
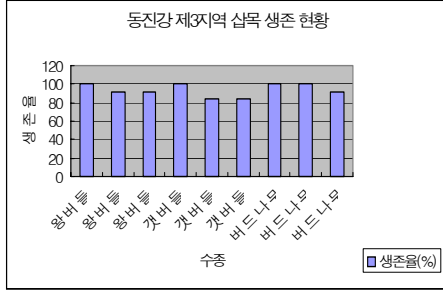
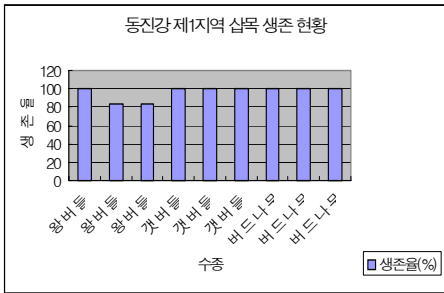


그림 2-1. 동진강, 만경강 유역 왕버들, 갯버들, 버드나무 생존율(계속)

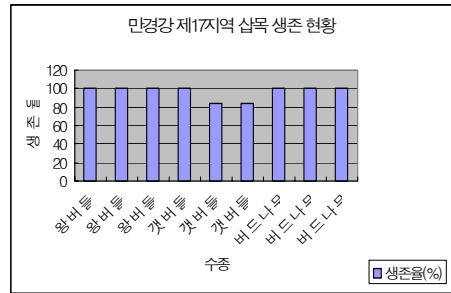
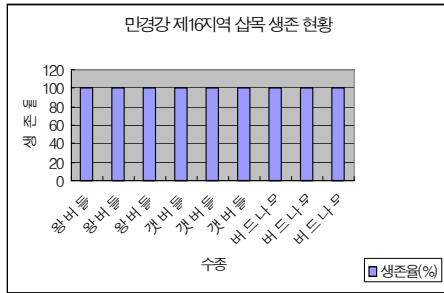


그림 2-1. 동진강, 만경강 유역 왕버들, 갯버들, 버드나무 생존율

2. 중금속 오염물질이 식물체의 종자발아 및 삼목발근에 미치는 영향

가. 종자발아시험

중금속(납, 아연, 구리) 용액을 각각 800ppm, 400, 200, 100, 50ppm으로, 카드뮴은 200ppm, 100, 50, 25, 12.5ppm으로 조제하여 성장상에서 발아시험 한 결과 표 2-10~2-13에 나타난 바와 같다.

대조구에서 죽제비싸리 종자의 발아율은 샬레에 치상한지 4일 후부터 발아하기 시작하여 30일이 경과하면 발아가 거의 정지상태에 이르렀다. 따라서 치상 후 30일이 경과할 때까지의 종자발아 상태를 조사하였다. 한편 중금속 용액의 농도가 높아질수록 죽제비싸리 종자의 발아율은 떨어졌으며 대조구의 발아율도 46.25%로 50%에도 미치지 않았다.

표 2-10과 그림 2-2는 구리 용액에서의 발아율을 나타낸 것으로 800ppm과 400ppm에서는 발아율이 30%에도 미치지 못하였으며 50ppm에서는 36.25%를 보였다.

표 2-11과 그림 2-3은 납 용액에서의 죽제비싸리 종자의 발아율을 나타낸 것으로 전반적으로 구리용액에서와 비슷한 경향이었으나 발아율은 약간 높아졌다. 한편 100ppm용액과 50ppm용액에서의 발아율은 거의 비슷하였다.

표 2-12와 그림 2-4에서 보는 바와 같이 아연용액에서의 죽제비싸리 종자의 발아 결과는 농도가 낮아질수록 발아율은 점점 증가하는 결과를 보였다. 농도 800ppm에서의 발아율은 22.91%로서 농도 50ppm에서의 발아율 40.41%에 비해 발아율이 약 57%에 머물렀으며 대조구에 비해서는 50%에도 미치지 못하였다.

표 2-13과 그림 2-5는 카드뮴 용액에서의 발아율을 나타낸 것으로 12.5ppm과 대조구의 발아율이 같은 결과를 보여 카드뮴 12.5ppm은 죽제비싸리 종자가 발아하는데 큰 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 또한 50ppm과 25ppm에서의 결과도 발아율이 같게 나타난 것이 특이하였다.

이상의 결과를 종합해 보면 중금속 용액에서의 죽제비싸리 종자의 발아율은 전체적으로 용액의 농도가 높아질수록 발아율은 떨어지는 경향을 보였으며, 발아율이 급격히 증가하는 시기는 치상 후 12일부터 20일 사이로 나타났다. 한편 농도별 중금속 용액의 같은 농도에서 실험한 구리, 납, 아연의 전체 평균의 발아율은 납(38.75%), 아연(32.25%), 구리(31.00%)의 순이었다. 카드뮴 용액은 다른 용액에 비해 농도는 1/4이었으나 전체적인 발아율은 농도의 비율만큼 발아율이 높아지지 않았으나 39.41%의 발아율로 다른 중금속에 비해 상대적으로 높은 발아율을 보였다.

표 2-10. 구리 용액에서 죽제비싸리 종자의 발아상황

농도 경과	800(ppm)		400		200		100		50		계		control	
	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율
4	3	1.25	2	0.83	6	2.50	7	2.91	7	2.91	25	2.08	3	1.25
6	6	2.50	6	2.50	11	4.58	11	4.58	12	5.00	46	3.83	8	3.33
8	10	4.16	13	5.41	16	6.66	17	7.08	19	7.92	75	6.25	14	5.83
10	14	5.83	22	9.16	27	11.25	29	12.08	27	11.25	119	9.91	21	8.75
12	21	8.75	35	14.58	38	15.83	37	15.41	37	15.41	168	14.00	28	15.67
14	25	10.41	36	15.00	49	20.41	50	20.08	50	20.80	210	17.50	46	19.17
16	28	11.66	39	16.25	55	22.91	57	23.75	59	24.58	238	19.83	65	27.08
18	37	15.41	48	20.00	61	25.41	64	26.66	67	27.91	277	23.08	85	35.42
20	41	17.08	53	22.08	66	27.50	69	28.75	71	29.58	300	25.00	98	40.83
22	45	18.75	58	24.16	68	28.33	75	31.25	76	31.66	322	26.83	106	44.17
24	52	21.66	63	26.25	71	29.58	79	32.91	80	33.33	345	28.75	108	45.00
26	57	23.75	64	26.66	72	30.00	82	34.16	84	35.00	359	29.91	110	45.83
28	61	25.41	64	26.66	73	30.00	85	35.41	86	35.83	369	30.75	111	46.25
30	62	25.83	64	26.66	73	30.00	86	35.83	87	36.25	372	31.00	111	46.25

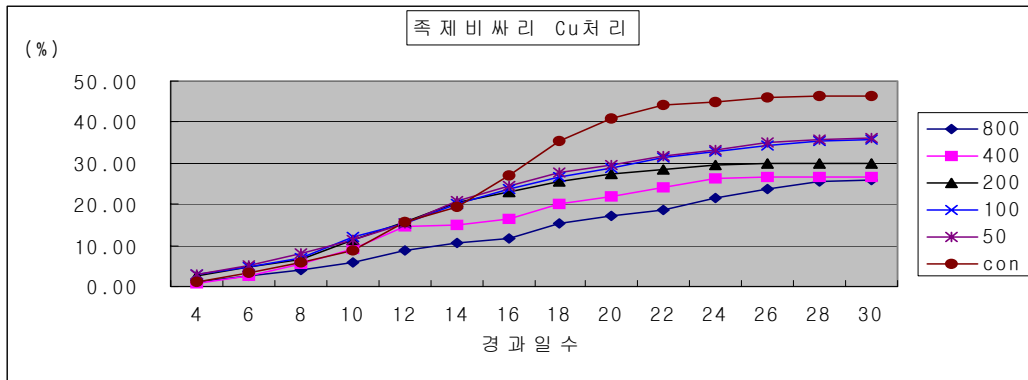


그림 2-2. 구리 용액에서의 족제비싸리 종자의 발아과정

표 2-11. 납 용액에서 족제비싸리 종자의 발아상황

경과	800(ppm)		400		200		100		50		계		control	
	발아수	발아율	발아수	발아율	발아수	발아율	발아수	발아율	발아수	발아율	발아수	발아율	발아수	발아율
4	0	0.00	0	0.00	2	0.83	1	0.41	1	0.41	4	0.33	3	1.25
6	0	0.00	0	0.00	3	1.25	4	1.66	8	3.33	15	1.25	8	3.33
8	2	0.83	2	0.83	9	3.75	10	4.16	10	4.16	33	2.75	14	5.83
10	9	3.75	11	4.58	14	5.83	14	5.83	14	5.83	63	5.25	21	8.75
12	17	7.08	18	7.50	27	11.25	28	11.66	26	10.83	116	9.66	28	15.67
14	28	11.66	27	11.25	38	15.83	38	15.83	37	15.41	168	14.00	46	19.17
16	40	16.66	44	18.33	51	21.25	56	23.30	58	24.16	249	20.75	65	27.08
18	52	21.66	52	21.66	61	25.41	69	28.75	69	28.75	303	25.25	85	35.42
20	62	25.83	65	27.08	73	30.42	83	34.58	86	35.83	369	30.75	98	40.83
22	68	28.30	74	30.83	81	33.75	93	38.75	94	39.16	410	34.16	106	44.17
24	72	30.00	79	32.91	87	36.25	99	41.25	99	41.25	436	36.33	108	45.00
26	75	31.25	84	35.00	92	38.33	100	41.66	100	41.66	451	37.58	110	45.83
28	76	31.66	86	35.83	97	40.41	102	42.50	102	42.50	463	38.58	111	46.25
30	76	31.66	87	36.25	97	40.41	103	42.91	102	42.50	465	38.75	111	46.25

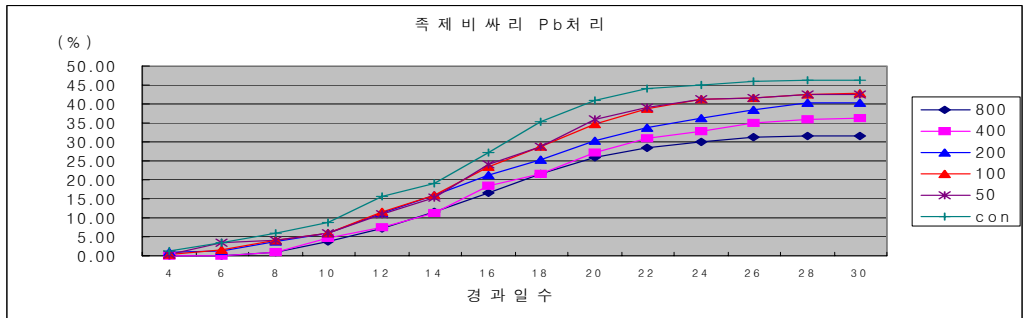


그림 2-3. 납 용액에서의 족제비싸리 종자의 발아과정

표 2-12. 아연 용액에서 족제비싸리 종자의 발아상황

농도 경과	800(ppm)		400		200		100		50		계		control	
	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율
4	0	0.00	3	1.25	3	1.25	4	1.66	6	2.50	16	1.33	3	1.25
6	2	0.83	9	3.75	8	3.33	9	3.75	10	4.16	38	3.16	8	3.33
8	10	4.16	17	7.08	16	6.66	17	7.08	19	7.92	79	6.58	14	5.83
10	14	5.83	24	10.00	24	10.00	26	10.83	33	13.75	121	10.08	21	8.75
12	19	7.91	36	15.00	35	14.58	36	15.00	44	18.33	170	14.16	28	15.67
14	33	13.75	50	20.80	52	21.66	53	22.08	62	25.83	250	20.83	46	19.17
16	36	15.00	60	25.00	61	25.41	62	25.83	73	30.42	292	24.33	65	27.08
18	40	16.60	63	26.25	66	27.50	69	28.75	80	33.33	318	26.50	85	35.42
20	46	19.16	67	27.91	70	29.16	74	30.83	86	35.83	343	28.58	98	40.83
22	49	20.41	68	28.30	73	30.42	79	32.91	91	37.91	360	30.00	106	44.17
24	52	21.66	70	29.16	75	31.25	81	33.75	94	39.16	372	31.00	108	45.00
26	53	22.08	71	29.58	77	32.08	82	34.16	95	39.58	378	31.50	110	45.83
28	55	22.91	73	30.42	77	32.08	83	34.58	97	40.41	385	32.08	111	46.25
30	55	22.91	74	30.83	78	32.50	83	34.58	97	40.41	387	32.25	111	46.25

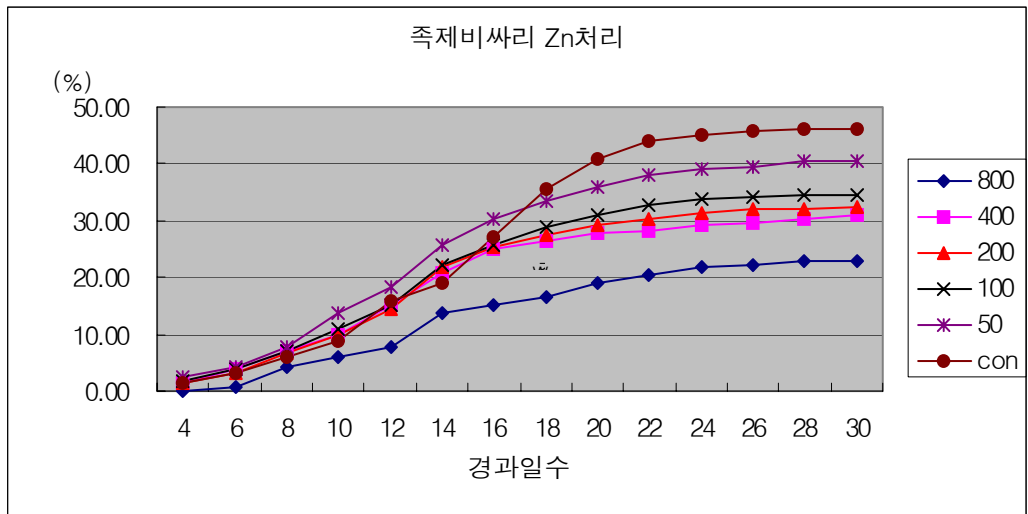


그림 2-4. 아연 용액에서의 족제비싸리 종자의 발아과정

표 2-13. 카드뮴 용액에서 족제비싸리 종자의 발아상황

농도 경과	200(ppm)		100		50		25		12.5		계		control	
	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율	발아 수	발아율
4	2	0.83	1	0.41	4	1.66	4	1.66	6	2.50	17	1.41	3	1.25
6	4	1.66	4	1.66	8	3.33	8	3.33	12	5.00	36	3.00	8	3.33
8	9	3.75	12	5.00	13	5.41	14	5.83	20	8.33	68	5.66	14	5.83
10	14	5.83	23	9.58	25	10.41	26	10.83	29	12.08	117	9.75	21	8.75
12	24	10.00	33	13.75	38	15.83	38	15.83	50	20.83	183	15.25	28	15.67
14	36	15.00	46	19.16	53	22.08	53	22.08	68	28.33	256	21.33	46	19.17
16	46	19.16	60	25.00	69	28.75	71	29.58	81	33.75	327	27.25	65	27.08
18	54	22.50	66	27.50	82	34.16	84	35.00	93	38.75	379	31.58	85	35.42
20	59	24.58	72	30.00	90	37.50	91	37.91	99	41.25	411	34.25	98	40.83
22	63	26.25	78	32.50	94	39.16	95	39.58	103	42.91	433	36.08	106	44.17
24	65	27.08	84	35.00	98	40.83	99	41.25	107	44.58	454	37.83	108	45.00
26	66	27.50	90	37.50	101	42.08	102	42.50	108	45.00	469	39.08	110	45.83
28	67	27.91	91	37.91	102	42.50	102	42.50	110	45.83	473	39.41	111	46.25
30	67	27.91	91	37.91	102	42.50	102	42.50	111	46.25	473	39.41	111	46.25

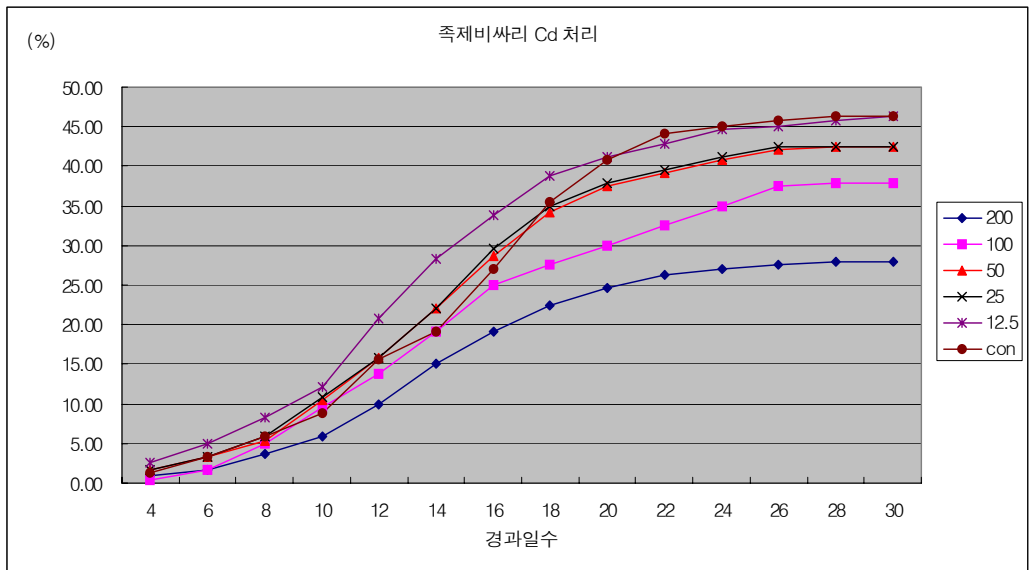


그림 2-5. 카드뮴 용액에서의 족제비싸리 종자의 발아과정

나. 삼목실험

1) 갯버들의 삼목실험

중금속 용액에서의 삼목실험 결과 갯버들의 경우 표 2-14에 나타난 바와 같이 대조구에서는 90.7%의 생존율, 평균 9.7개의 잎, 평균 6.5cm의 줄기길이, 평균 4.7개의 뿌리 수의 결과로써 잎과 뿌리의 상태가 양호한 모습을 보였다.

그런데 중금속 용액에서는 중금속의 종류와 농도에 따라 차이를 나타내고 생존율을 비롯한 잎과 줄기의 상태도 대조구에 비해 훨씬 떨어졌다.

구리 800ppm용액에서 생존율은 15.6%인 반면 50ppm용액에서는 46.7%로 약 3배 가량 차이가 있었다. 또한 800ppm용액에서 생존하고 있는 삼수는 50ppm용액에서 생존하고 있는 삼수에 비해 잎과 뿌리의 상태가 아주 불량함을 보였다(그림 2-6).

납 800ppm용액에서 생존율은 41.3%인 반면 50ppm용액에서는 81.3%로 약 2배 가량 차이가 있었으며 생존율이 다른 중금속 처리구에 비해 상당히 높은 편이었다. 또한 800ppm용액에서 생존하고 있는 삼수는 50ppm용액에서 생존하고 있는 삼수에 비해 잎과 뿌리의 상태가 약간 불량함을 보였다(그림 2-7).

아연 800ppm용액에서 생존율은 36.7%인 반면 50ppm용액에서는 58.8%로 다른 중금속 처리구에 비해 차이가 적었다(그림 2-8).

카드뮴 200ppm용액에서 생존율은 17.8%인 반면 12.5ppm용액에서는 71.1%로 약 4배 가량 차이가 있었으며 다른 중금속 처리구에 비해 농도간 생존율의 차이가 가장 컸다. 특히 카드뮴 200ppm용액에서는 30일이 지나도록 잎은 나 있음에도 불구하고 전혀 발근되지 않음을 보였다(그림 2-9).

2) 버드나무의 삼목실험

중금속 용액에서의 삼목실험 결과 버드나무의 경우 표 2-15에 나타난 바와 같이 대조구에서는 88.7%의 생존율, 평균 8.3개의 잎, 평균 5.7cm의 줄기길이, 평균 4.0개의 뿌리 수의 결과로서, 갯버들의 결과보다 전체적인 측면에서 삼수의 생육상태가 떨어진 것으로 보아 갯버들이 버드나무에 비해 수경삼목이 잘 됨을 볼 수 있었다.

한편 갯버들의 삼목실험에서와 마찬가지로 중금속 용액에서는 중금속의 종류와 농도에 따라 차이를 나타내고 생존율을 비롯한 잎과 줄기의 상태도 대조구에 비해

훨씬 떨어졌다.

구리 800ppm과 400ppm용액에서는 30일이 경과한 후에는 전혀 삽수가 생존하지 못했으며, 200ppm에서는 22.2%, 50ppm용액에서는 40.2%로 생존율이 다른 중금속 용액 처리구에 비해 저조하였다. 또한 삽수의 잎과 뿌리의 상태도 아주 불량함을 보였다(그림 2-10).

납 800ppm용액에서 생존율은 33.3%인 반면 50ppm용액에서는 60.3%로 약 2배 가량 차이를 나타냈다. 또한 800ppm용액에서 생존하고 있는 삽수는 50ppm용액에서 생존하고 있는 삽수에 비해 잎과 뿌리의 상태가 불량함을 보였다(그림 2-11).

아연 800ppm용액에서 생존율은 31.1%인 반면 50ppm용액에서는 57.3%로 갯버들에서와 마찬가지로 다른 중금속 처리구에 비해 농도간 생존율의 차이가 적었다(그림 2-12).

카드뮴 200ppm용액에서 생존율은 40.0%인 반면 12.5ppm용액에서는 76.8%로 약 2배 가량 차이가 있었으며, 갯버들의 결과와는 달리 농도간 생존율의 차이가 크지 않았다. 특히 카드뮴 200ppm용액에서는 갯버들의 결과와 마찬가지로 30일이 지나도록 잎은 나 있음에도 불구하고 전혀 발근되지 않음을 보였다(그림 2-13).

이상의 결과를 종합해 보면 중금속 용액에서의 갯버들과 버드나무 삼목실험 결과 카드뮴 용액을 제외한 다른 용액에서는 갯버들이 버드나무에 비해 전반적으로 발근 및 생육상태가 좋았다. 특히 구리 800ppm과 400ppm용액에서 버드나무 삽수는 전혀 생존하지 못하는 결과를 보였다. 그러나 침수토양 재배시는 버드나무가 갯버들에 비해 생존율이 높게 나타난 것으로 보아 토양재배와 수경삼목시 버드나무와 갯버들간에는 생존 및 생육에 차이를 보여 환경조건에 따라 수종별 생육상태가 다른 것을 알 수 있었다.

한편 카드뮴 용액에서는 버드나무가 갯버들에 비해 삽수의 생육상태가 양호한 것으로 나타나 중금속의 종류에 따라 일률적으로 같은 결과를 나타내는 것이 아니고 식물의 종에 따라 중금속에 대한 내성이 다르다는 것을 알 수 있었다.

3) 낙우송의 삼목실험

갯버들과 버드나무에서와 마찬가지로 중금속 용액과 증류수에 前年生의 熟枝를 이용한 낙우송의 수경삼목을 실시하였으나 30일이 지나도록 대조구를 비롯한 모든 처리구에서 발근이 거의 되지 않고 고사되어 숙지를 이용한 낙우송은 수경삼목이

어려운 것으로 판단되었다. 따라서 낙우송 삼목에 대한 결과를 얻을 수 없었다.

표 2-14. 중금속 용액에서 갯버들의 삼목발근

중금속 처리구		생존율(%)	평균 잎수	줄기길이 평균 (cm)	뿌리평균갯수	뿌리최대길이 평균(cm)
Cu	800ppm	15.6	0.8	0.1	0.1	0.5
	400	17.8	2.1	0.9	0.9	0.7
	200	23.3	2.4	1.4	2.4	1.0
	100	32.2	2.6	2.8	3.0	1.2
	50	46.7	3.7	3.8	3.2	1.7
Pb	800	41.3	4.3	1.8	0.8	0.8
	400	50.7	5.0	2.5	1.0	1.2
	200	59.5	5.3	3.2	1.4	1.7
	100	71.7	6.0	3.7	2.3	2.3
	50	81.3	6.7	4.0	3.2	2.7
Zn	800	36.7	2.2	1.2	0.4	0.4
	400	50.2	2.5	1.5	1.1	0.8
	200	51.3	2.9	1.6	2.5	1.5
	100	52.7	4.0	2.1	2.7	1.8
	50	58.3	5.3	3.4	3.6	2.5
Cd	200	17.8	2.3	1.2	0.0	0.0
	100	31.1	3.3	1.9	0.1	0.2
	50	33.3	4.0	2.4	0.4	0.5
	25	61.1	4.5	2.7	1.7	1.2
	12.5	71.1	5.7	3.3	1.9	2.3
con.		90.7	9.7	6.5	4.7	3.6

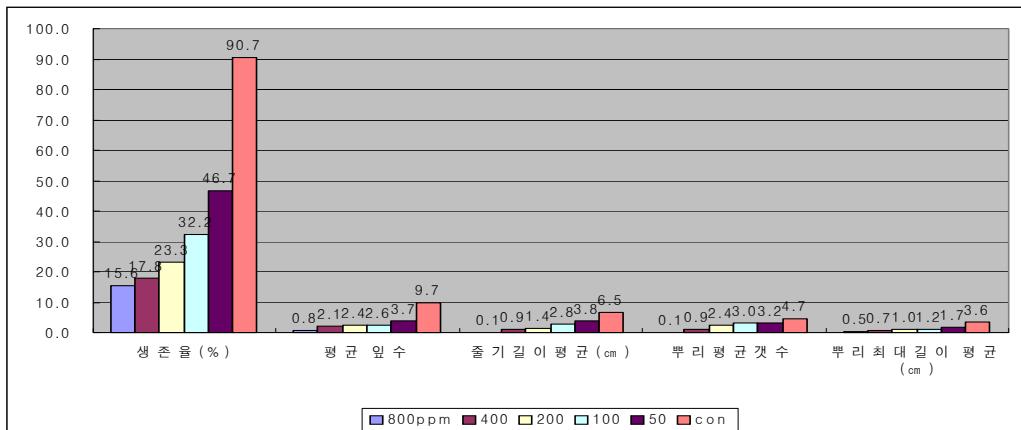


그림 2-6 . 구리용액에서의 갯버들의 삼목발근 현황

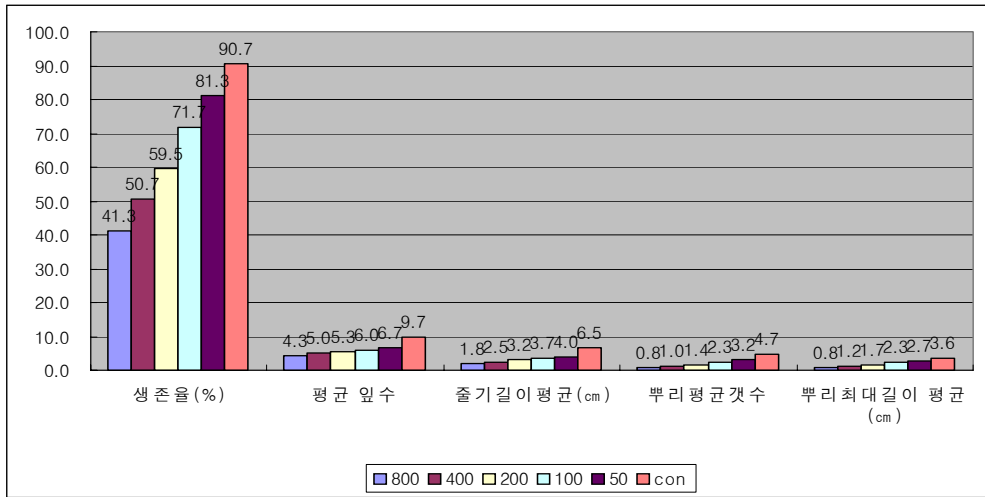


그림 2-7. 납 용액에서의 갯버들의 삼목발근 현황

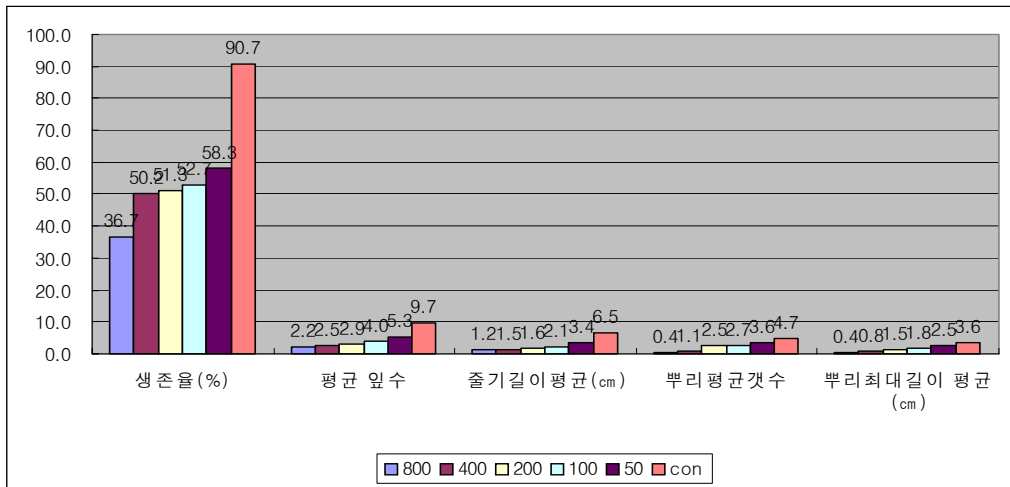


그림 2-8. 아연 용액에서의 갯버들의 삼목발근 현황

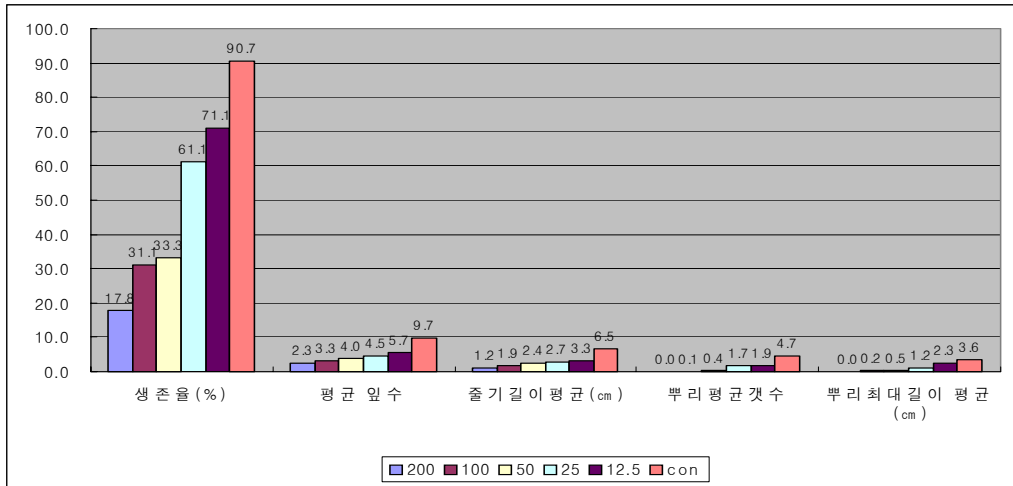


그림 2-9. 카드뮴 용액에서의 갯버들의 삼목발근 현황

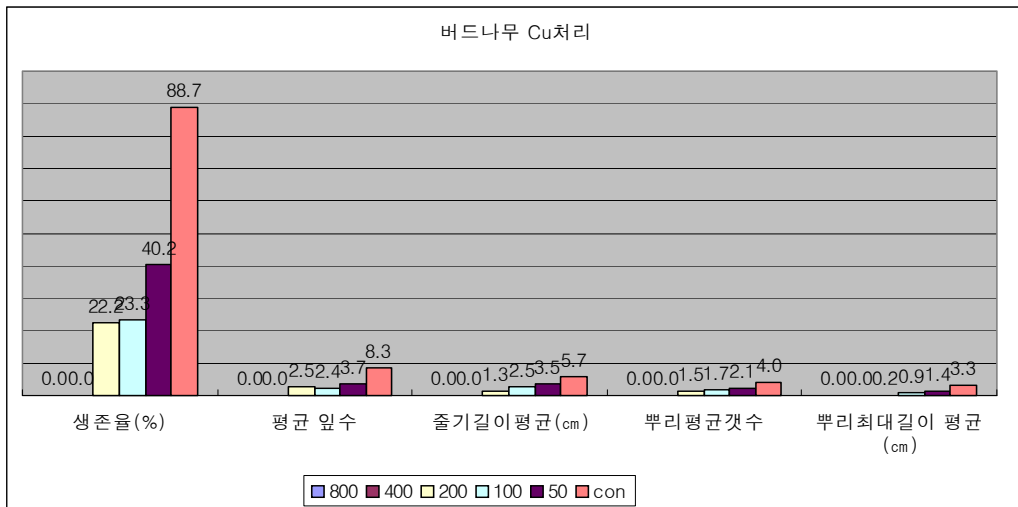


그림 2-10. 구리 용액에서의 버드나무의 삼목발근 현황

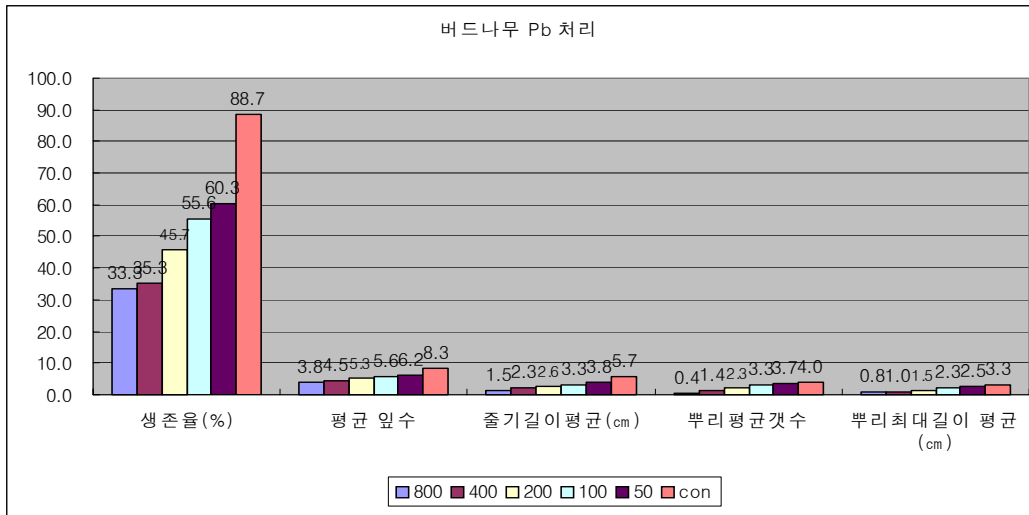


그림 2-11. 납 용액에서의 버드나무의 삼목발근 현황

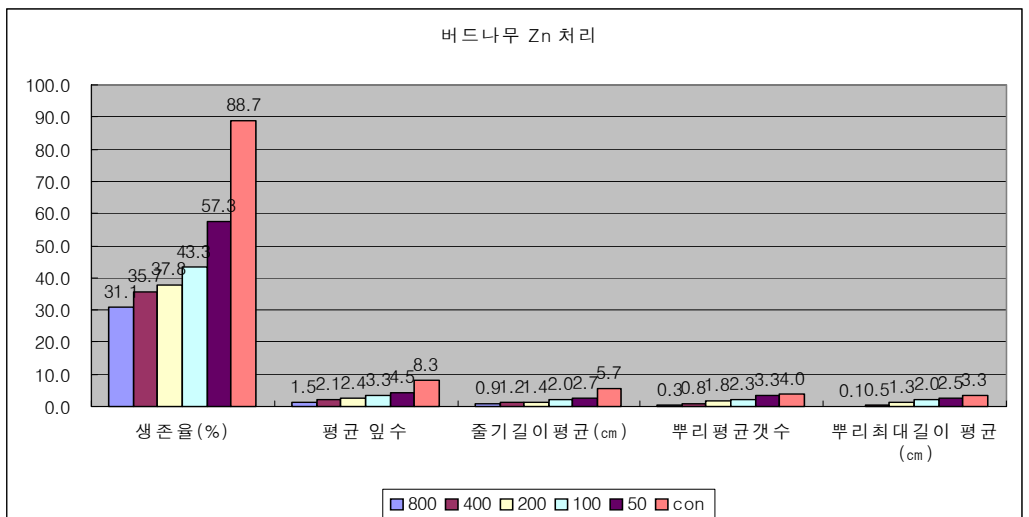


그림 2-12. 아연 용액에서의 버드나무의 삼목발근 현황

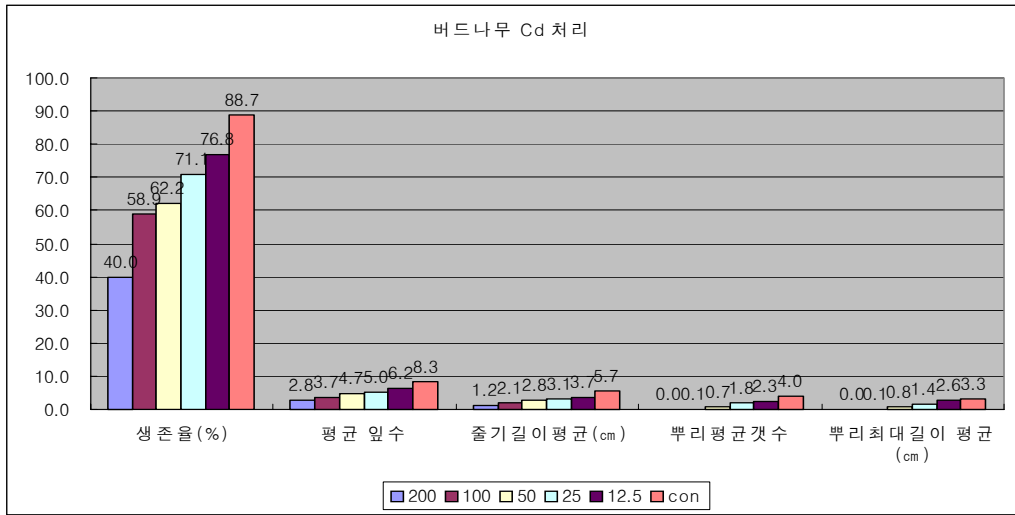


그림 2-13. 카드뮴 용액에서의 버드나무의 삼목발근 현황

3. 식물체의 식재 전 토양의 중금속 함량

가. 식물체의 식재 전 토양의 중금속 함량

토양에 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, PbNO_3 , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 을 이용하여 구리, 납, 아연은 800ppm, 400ppm, 200ppm, 100ppm, 50ppm으로, 카드뮴은 200ppm, 100ppm, 50ppm, 25ppm, 12.5ppm 등 5단계의 농도로 조제하여 Pot(30cm x 30cm x 30cm)에 희석하여 노랑꽃창포를 식재하기 전에 토양을 채취한 것과 중금속을 희석하지 않은 토양(대조구)의 중금속을 분석한 결과 표 2-16에서 보는바와 같다.

대조구의 Pb 함량은 5.83ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 57.88ppm이었고, Zn의 경우는 대조구는 25.08ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 293.03ppm이었으며 Cu의 경우는 대조구는 3.03ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 204.47ppm이었으며, Cd의 경우는 대조구의 함량은 0.46ppm인데 200ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 73.73ppm으로 나타나 중금속 용액의 농도가 높을수록 희석된 토양의 농도도 높아졌다. 그런데 중금속 용액의 농도 차에 따른 희석토양의 중금속 함량은 납의 경우가 가장 편차가 적었다. 한편 우리나라 산림토양의 평균 중금속 함량은 납:2.59ppm, 아연: 4.30ppm, 구리: 5.43ppm, 카드뮴:0.13ppm이라 했는데(환경부, 1997), 보 실험에 이용된 토양은 구리를 제외한 3가지 중금속 함량은 우리나라 평균 산림토양보다 높았다.

나. 식물체 식재 토양의 중금속 잔류 함량

1) 노랑꽃창포의 중금속 흡수

가) 노랑꽃창포 식재 후 토양 중 중금속 함량

중금속 용액을 농도별로 시험토양에 희석하여 노랑꽃창포를 일정기간(110일) 생장시킨 후 토양중 중금속 잔류량을 분석한 결과 표 2-17에 나타난 바와 같이 대조구의 Pb 함량은 5.76ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 38.92ppm이었으며, Zn의 경우는 대조구는 25.19ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 68.48ppm이었으며 Cu의 경우는 대조구는 2.82ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 36.50ppm이었고, Cd의 경우 대조구는 0.42ppm인데 200ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 49.61ppm이었다.

표 2-16과 2-17을 비교해보면 토양에 노랑꽃창포를 식재하기 전에 비해 노랑

꽃창포를 생육시킨 후에 중금속 함량은 감소한 것을 볼 수 있었다. 이때 대조구의 감소량은 극히 미미한 반면 중금속 용액 희석 토양은 크게 감소하였는데 그중 구리와 아연의 감소율이 높았다.

표 2-16. 식물체 식재 전 토양의 중금속 농도

중금속 농도처리	Pb	Zn	Cu	Cd
Con	5.83	25.08	3.03	0.46
50(12.5)	16.21	62.91	28.76	9.74
100(25)	28.78	79.82	60.94	11.18
200(50)	35.60	108.91	112.14	19.70
400(100)	45.16	173.38	131.63	45.17
800(200)	57.88	293.03	204.47	73.73

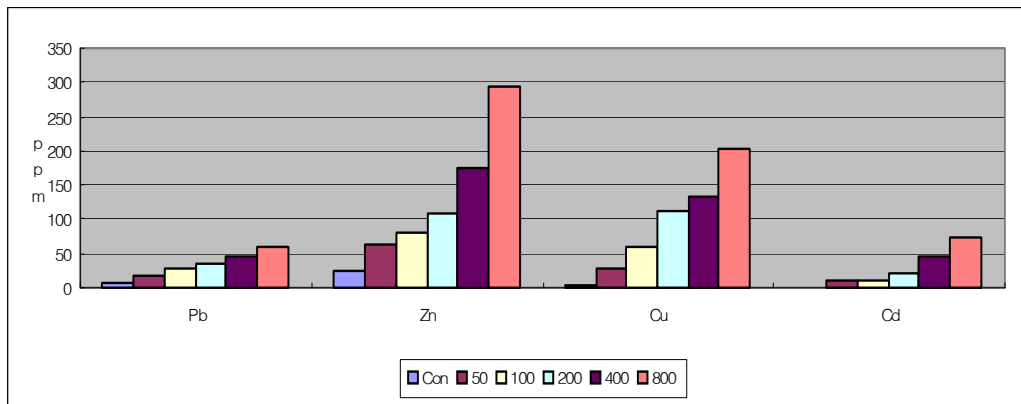


그림 2-14. 식물체 식재 전 토양의 중금속 농도

표 2-17. 노랑꽃창포 110일간 성장 후 토양의 중금속 함량

(단위:ppm)

중금속 농도처리	Pb	Zn	Cu	Cd
Con	5.76	25.19	2.82	0.42
50(12.5)	13.07	25.44	12.91	5.09
100(25)	16.61	28.91	17.85	9.56
200(50)	19.58	46.58	19.87	16.28
400(100)	28.62	48.75	22.56	21.08
800(200)	38.92	68.48	36.50	49.61

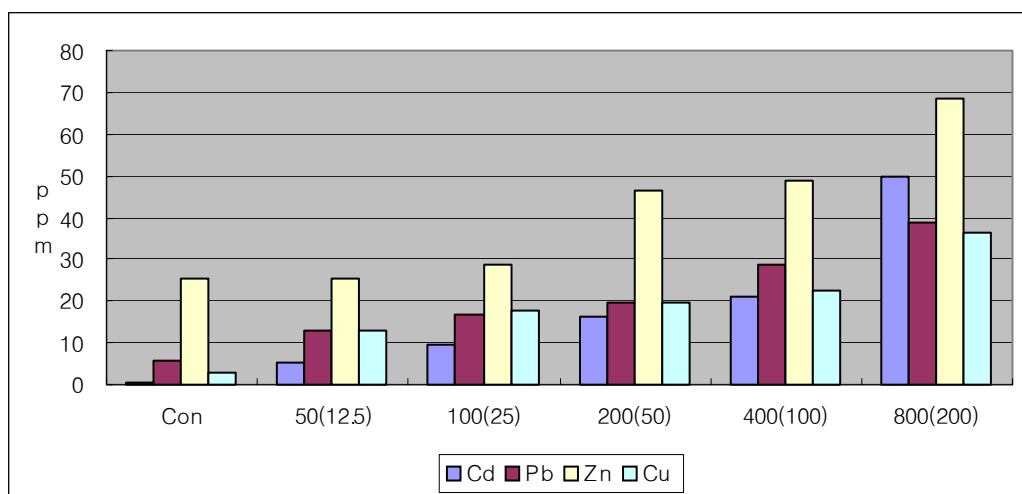


그림 2-15. 노랑꽃창포 성장 후 토양 중금속 함량

나) 노랑꽃창포 엽 내 중금속 함량

노랑꽃창포의 중금속 흡수량 분석은 잎과 뿌리로 양분하여 분석한 결과 잎 내 중금속 함량은 표 2-18에 나타난 바와 같다.

대조구에 있어서는 식물체 식재 전 토양의 중금속 함량에 비해 노랑꽃창포의 잎 내 함량은 약간 감소하였으며 토양 중 중금속 함량이 높을수록 엽 내 함량도 약간 높게는 나타났으나 비례하지는 않았는데, 납과 구리 및 카드뮴은 800(200)ppm 처리한 토양에서보다 400(100)ppm 처리한 토양 내에서 자란 노랑꽃창포 엽 내 중금속 함량이 높게 나타나 중금속이 다량 함유된 토양일수록 식물체가 많이 흡수하는 것은 아닌 것으로 판단된다.

표 2-18. 노랑꽃창포 110일간 성장 후 엽 내 중금속 농도

(단위:ppm)

중금속 농도처리	Pb	Zn	Cu	Cd
Con	4.23	12.47	2.77	0.19
50(12.5)	4.10	23.18	5.17	3.80
100(25)	4.18	24.67	5.46	5.01
200(50)	5.24	33.54	6.30	7.80
400(100)	4.59	45.54	7.06	15.48
800(200)	4.32	58.54	6.62	13.68

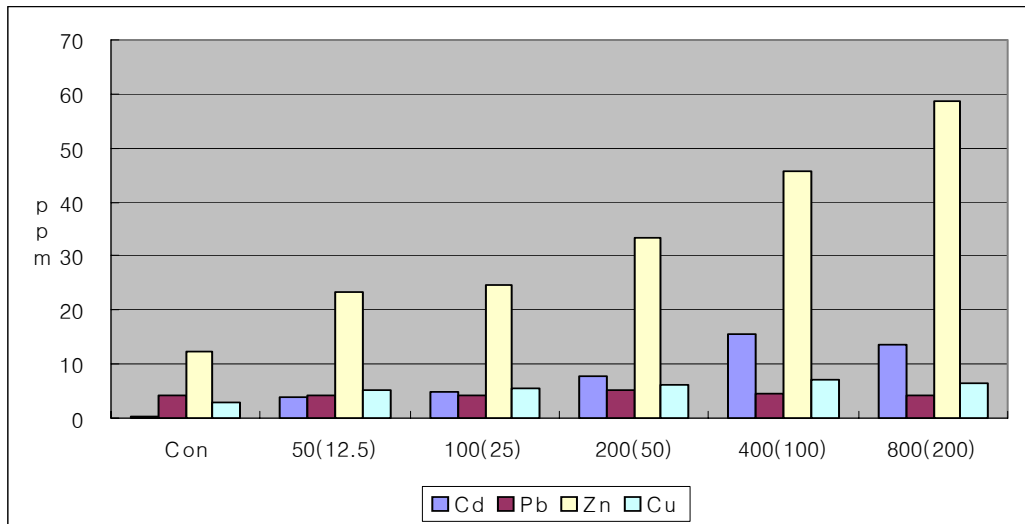


그림 2-16. 노랑꽃창포 줄기 내 중금속 함량

다) 노랑꽃창포 뿌리 내 중금속 함량

노랑꽃창포 잎 내 중금속 함량과 마찬가지로 뿌리에 있어서도 표 2-19에서 보는 바와 같이 대조구에 있어서는 식물체 식재 전 토양의 중금속 함량에 비해 노랑꽃창포의 뿌리 내 함량은 약간 감소하였다 그러나 잎 내 함량보다 약간 높았으며, 토양 중 중금속 함량이 높을수록 뿌리 내 함량도 약간 높게는 나타났으나 비례하지는 않았는데, 납과 구리 및 카드뮴은 800(200)ppm 처리한 토양에서보다 400(100)ppm 처리한 토양 내에서 생육한 노랑꽃창포 뿌리 내 중금속 함량이 높게 나타나 중금속이 다량 함유된 토양일수록 식물체가 많이 흡수하는 것은 아니며 식물체의 중금속 흡수력은 식물체가 성장가능하면서도 토양 중 중금속량이 너무 높지 않은 곳이어야만 높은 흡수력을 가지는 것으로 판단된다. 한편 일반적으로 잎 내

중금속함량에 비해 뿌리 내 함량이 높게 나타났다.

표 2-19. 노랑꽃창포 110일간 성장 후 뿌리 내 중금속 농도

중금속 농도처리	Pb	Zn	Cu	Cd
Con.	5.04	15.02	2.47	0.25
50(12.5)ppm	6.02	31.66	3.88	5.40
100(25)	6.56	43.98	4.66	10.48
200(50)	6.90	50.58	5.44	12.60
400(100)	6.10	77.46	5.96	16.68
800(200)	5.98	122.44	4.98	15.76

*()안은 카드뮴의 농도

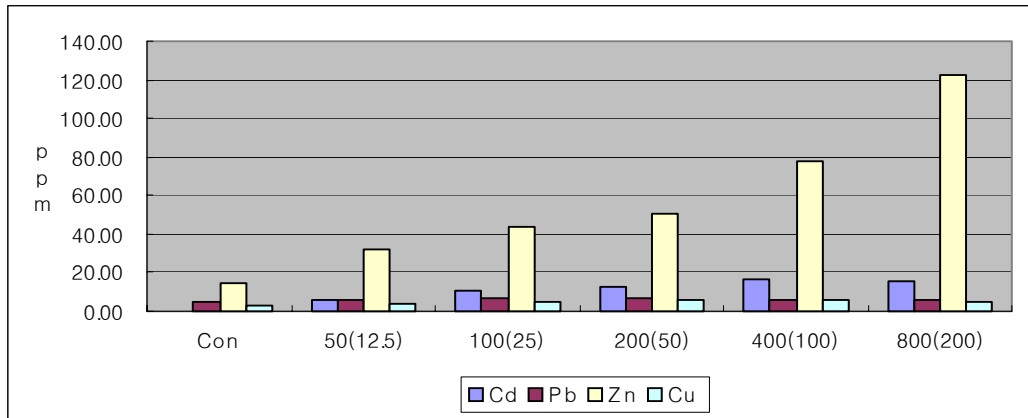


그림 2-17. 노랑꽃창포 뿌리 내 중금속 함량

2)갯버들의 중금속 흡수

가) 갯버들 식재 후 토양 중 중금속 함량

중금속 용액을 농도별로 시험토양에 희석하여 갯버들을 일정기간(98일) 성장시킨 후 토양 중 중금속 잔류량을 분석한 결과 표 2-20에 나타난 바와 같이 대조구의 Pb 함량은 5.83ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 25.84ppm이었으며, Zn의 경우는 대조구는 25.08ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 73.45ppm이었으며, Cu의 경우는 대조구는 3.03ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 41.11ppm이었고, Cd의 경우 대조구는 0.46ppm인데 200ppm의 용액

을 희석한 토양의 농도는 20.58ppm이었다.

표 2-16과 2-20를 비교해보면 토양에 갯버들을 식재하기 전에 비해 갯버들을 생육시킨 후에 중금속 함량은 상당량 감소한 것을 볼 수 있었다. 이때 노랑꽃창포에서와 마찬가지로 대조구의 감소량은 극히 미미한 반면 중금속 용액의 희석 토양은 크게 감소하였는데 그중 구리와 아연의 감소율이 높았고 납과 카드뮴도 50% 이상 감소하였다.

나) 갯버들의 잎·줄기 내 중금속 함량

갯버들의 중금속 흡수량 분석을 잎·줄기와 뿌리로 양분하여 분석한 결과 잎·줄기 내 중금속 함량은 표 2-21에 나타난 바와 같다.

대조구에 있어서는 식물체 식재 전 토양의 중금속 함량에 비해 갯버들의 잎·줄기 내 함량은 약간 감소하였으며, 토양 중 중금속 함량이 높을수록 잎·줄기 내 함량도 약간 높게는 나타났으나 비례하지는 않았는데, 납과 구리 및 카드뮴은 800(200)ppm 처리한 토양에서보다 400(100)ppm과 200(50)ppm을 처리한 토양 내에서 자란 갯버들 잎·줄기 내 중금속 함량이 높게 나타나 노랑꽃창포와 마찬가지로 중금속이 다량 함유된 토양일수록 식물체가 많이 흡수하는 것은 아닌 것으로 판단된다. 그러나 아연 처리구에서는 식재 전 토양의 농도가 높을수록 갯버들의 잎·줄기 내 함량도 높아졌다.

다) 갯버들의 뿌리 내 중금속 함량

갯버들의 잎·줄기 내 중금속 함량과 마찬가지로 뿌리에 있어서도 대조구에 있어서는 식물체 식재 전 토양의 중금속 함량에 비해 뿌리 내 함량은 약간 감소하였다. 그러나 잎·줄기 내 함량보다 약간 높았으며, 토양 중 중금속 함량이 높을수록 뿌리 내 함량도 약간 높게 나타났으나 비례하지는 않았는데, 납과 구리 및 카드뮴은 800(200)ppm 처리한 토양에서보다 400(100)ppm 처리한 토양 내에서 자란 갯버들의 뿌리 내 중금속 함량이 높게 나타나 중금속이 다량 함유된 토양일수록 식물체가 많이 흡수하는 것은 아니며 식물체의 중금속 흡수력은 식물체가 생장가능하면서도 토양 중 중금속량이 너무 높지 않은 곳이어야만 높은 흡수력을 가지는 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 보면 일반적으로 잎·줄기 내 중금속함량에 비해 뿌리 내 함량

이 높게 나타났는데, 이 결과는 김과 이(1998)가 보고한 금소리쟁이가 지상부에 비해 지하부에 훨씬 높은 카드뮴과 아연을 축적했다는 결과와 유사한 경향을 보였다. 한편 갯버들의 체내 중금속 흡수량은 납, 구리, 카드뮴의 경우는 50(12.5), 100(25)ppm이나 800(200)ppm에서보다 200(50)ppm이나 400(100)ppm처리구에서 흡수량이 높았다.

3) 버드나무의 중금속 흡수

가) 버드나무 식재 후 토양 중 중금속 함량

중금속 용액을 농도별로 시험토양에 희석하여 버드나무를 일정기간(98일) 생장시킨 후 토양중 중금속 잔류량을 분석한 결과 표 2-23에 나타난 바와 같이 대조구의 Pb 함량은 5.83ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 23.81ppm이었으며, Zn의 경우는 대조구는 25.08ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 73.48ppm이었으며 Cu의 경우는 대조구는 3.03ppm인데 800ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 16.17ppm이었고, Cd의 경우 대조구는 0.46ppm인데 200ppm의 용액을 희석한 토양의 농도는 19.77ppm이었다. 이는 대부분이 갯버들의 경우보다 약간 낮게 나타났다.

표 2-16과 2-23을 비교해보면 토양에 버드나무를 식재하기 전에 비해 버드나무를 생육시킨 후에 중금속 함량은 상당량 감소한 것을 볼 수 있었다. 이때 갯버들에서와 마찬가지로 대조구의 감소량은 극히 미미한 반면 중금속 용액 희석 토양은 크게 감소하였다.

나) 버드나무의 잎·줄기 내 중금속 함량

갯버들과 마찬가지로 버드나무의 중금속 흡수량 분석을 잎·줄기와 뿌리로 양분하여 분석한 결과 잎·줄기 내 중금속 함량은 표 2-24에 나타난 바와 같다.

대조구에 있어서는 식물체 식재 전 토양의 중금속 함량에 비해 버드나무의 잎·줄기 내 함량은 약간 감소하였으며 토양 중 중금속 함량이 높을수록 잎·줄기 내 함량도 약간 높게는 나타났으나 비례하지는 않았는데, 아연을 제외한 납과 구리 및 카드뮴은 처리구에서는 800(200)ppm 처리한 토양에서보다 400(100)ppm과 200(50)ppm을 처리한 토양 내에서 자란 버드나무의 잎·줄기 내 중금속 함량이 높게 나타나 갯버들과 마찬가지로 중금속이 다량 함유된 토양일수록 식물체가 많이

흡수하는 것은 아니며 식물체의 생육상태와 토양중 중금속량이 적절한 관계가 되어야만 식물체의 중금속 흡수량이 높은 것으로 판단된다. 그러나 아연 처리구에서는 800ppm 처리까지는 식재전 토양의 농도가 높을수록 버드나무의 잎·줄기 내 함량도 높아졌다.

다) 버드나무의 뿌리 내 중금속 함량

버드나무의 잎·줄기 내 중금속 함량과 마찬가지로 뿌리에 있어서도 대조구에 있어서는 식물체 식재 전 토양의 중금속 함량에 비해 뿌리 내 함량은 약간 감소하였다(표2-25). 그러나 대부분의 경우 잎·줄기 내 함량보다 약간 높았으며, 토양 중 중금속 함량이 높을수록 뿌리 내 함량도 약간 높게는 나타났으나 비례하지는 않았는데, 갯버들의 경우와 비슷한 경향으로 납과 구리 및 카드뮴은 800(200)ppm 처리한 토양에서보다 400(100)ppm과 200(50)ppm을 처리한 토양 내에서 자란 버드나무의 뿌리 내 중금속 함량이 높게 나타나 중금속이 다량 함유된 토양일수록 식물체가 많이 흡수하는 것은 아니며 식물체의 종에 따라서도 흡수력이 다를수도 있는데 (Huang, J.W. and S.D. Cunningham. 1996.) 식물체의 중금속 흡수력은 토양 중 중금속 함량이 많지만 식물체의 생장에 지장을 초래하지 않을 정도이어야만 높은 흡수력을 가지는 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 보면 버드나무의 중금속 흡수는 일반적으로 잎·줄기 내 중금속함량에 비해 뿌리 내 함량이 높게 나타났으며 버드나무의 체내 중금속 흡수량은 갯버들과 마찬가지로 납, 구리, 카드뮴의 경우는 50(12.5), 100(25)ppm이나 800(200)ppm에서보다 200(50)ppm이나 400(100)ppm처리구에서 흡수량이 높았다.

표 2-20. 갯버들이 98일 성장한 후 토양 중 중금속 함량

중금속 농도처리	Pb	Zn	Cu	Cd
Con	5.83	25.08	3.03	0.46
50(12.5)	11.79	37.62	4.84	4.95
100(25)	12.42	41.19	5.57	9.84
200(50)	16.64	48.98	5.82	10.7
400(100)	25.22	55.74	16.31	14.04
800(200)	25.84	73.45	41.11	20.58

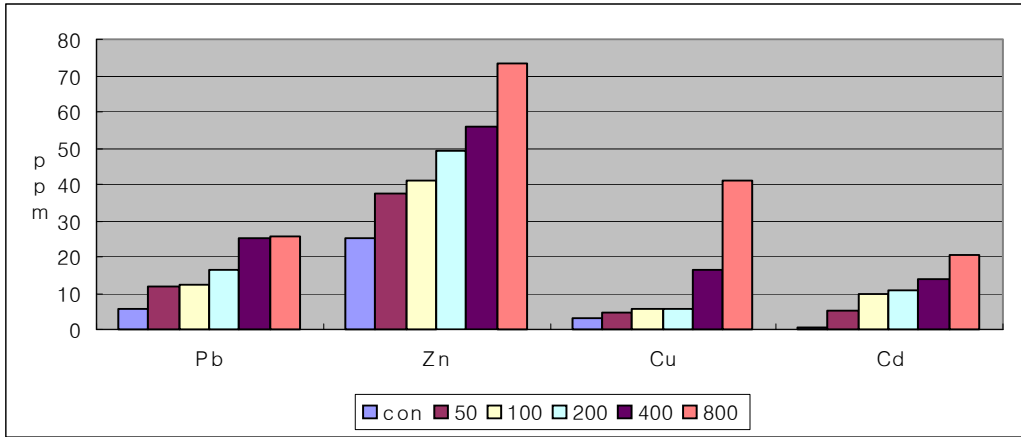


그림 2- 18. 갯버들 성장 후 토양 중 중금속 함량

표 2-21. 갯버들이 98일 성장한 후 엽·줄기 내 중금속 함량

중금속 농도처리	Pb	Zn	Cu	Cd
Con.	4.6	53.39	3.71	0.44
50(12.5)	4.94	66.87	4.41	4.16
100(25)	6.74	69.88	5.23	8.03
200(50)	7.02	82.03	8.05	8.98
400(100)	8.18	101.59	10.31	10.43
800(200)	6.9	118.74	7.52	8.21

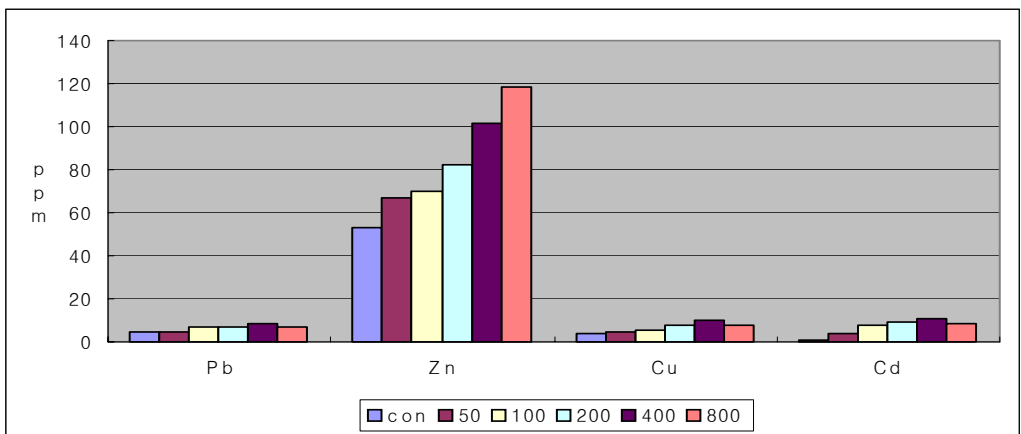


그림 2-19. 갯버들 성장 후 잎·줄기 내 중금속 함량

표 2-22. 갯버들이 98일 성장한 후 뿌리 내 중금속 함량

중금속 농도처리	Pb	Zn	Cu	Cd
Con.	3.28	23.03	3.94	0.41
50(12.5)	5.47	34.85	4.65	4.58
100(25)	6.79	46.63	5.74	9.42
200(50)	8.54	57.05	9.19	11.33
400(100)	9.71	71.38	11.8	12.58
800(200)	8.15	92.83	8.25	9.67

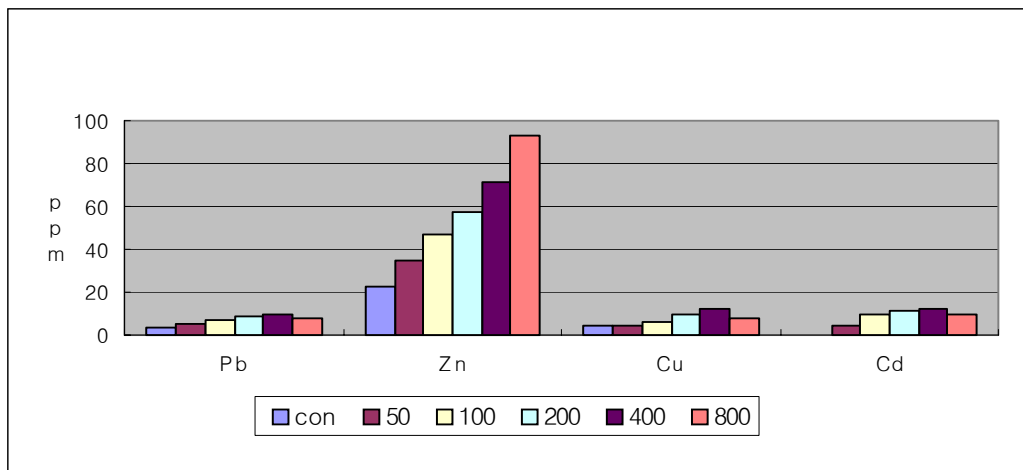


그림 2-20. 갯버들 성장 후 뿌리 내 중금속 함량

표 2-23. 버드나무가 98일 성장한 후 토양 중 중금속 함량

중금속 농도처리	Pb	Zn	Cu	Cd
Con	5.83	25.08	3.03	0.46
50(12.5)	8.18	35.03	4.44	3.73
100(25)	10.39	42.63	5.63	3.96
200(50)	11.29	48.03	7.72	6.55
400(100)	14.54	53.66	9.78	14.91
800(200)	23.81	73.38	16.17	19.77

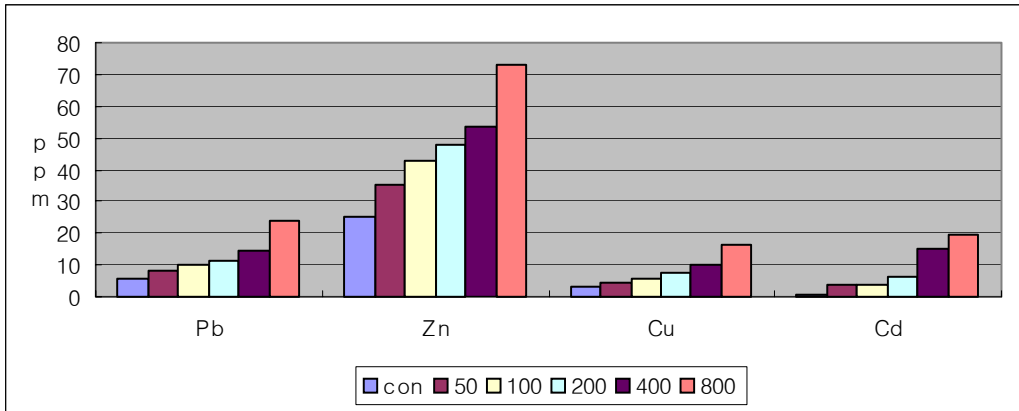


그림 2-21. 버드나무 성장 후 토양 중 중금속 함량

표 2-24. 버드나무가 98일 성장한 후 엽·줄기 내 중금속 함량

중금속 농도처리	Pb	Zn	Cu	Cd
Con.	2.32	30.37	3.66	0.42
50(12.5)	4.18	57.5	3.35	4.63
100(25)	5.89	69.83	3.89	8.73
200(50)	7.03	76.47	6.23	9.51
400(100)	8.25	84.8	6.57	12.08
800(200)	6.24	112.02	5.49	9.08

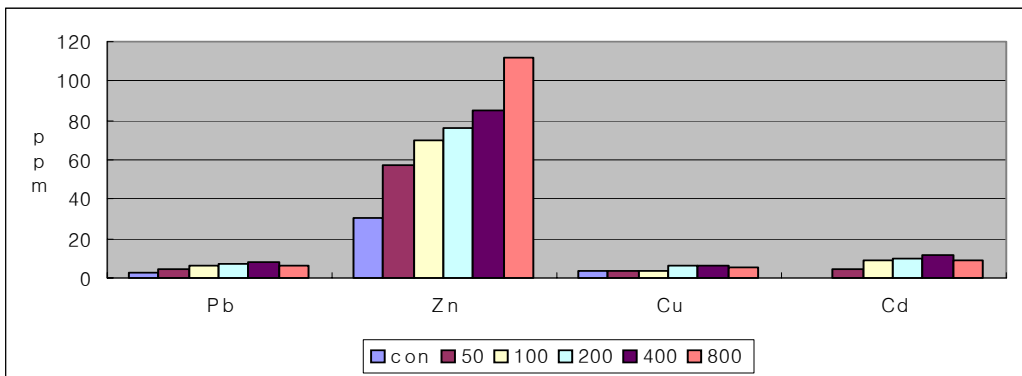


그림 2-22. 버드나무 성장 후 잎·줄기 내 중금속 함량

표 2-25. 버드나무가 98일 성장한 후 뿌리 내 중금속 함량

중금속 농도처리	Pb	Zn	Cu	Cd
Con.	2.97	31.61	3.54	0.4
50(12.5)	5.14	51.43	4.14	4.12
100(25)	6.16	76.35	5.65	8.97
200(50)	8.97	86.19	7.17	10.82
400(100)	9.07	98.45	7.29	11.98
800(200)	7.88	136.64	5.98	9.56

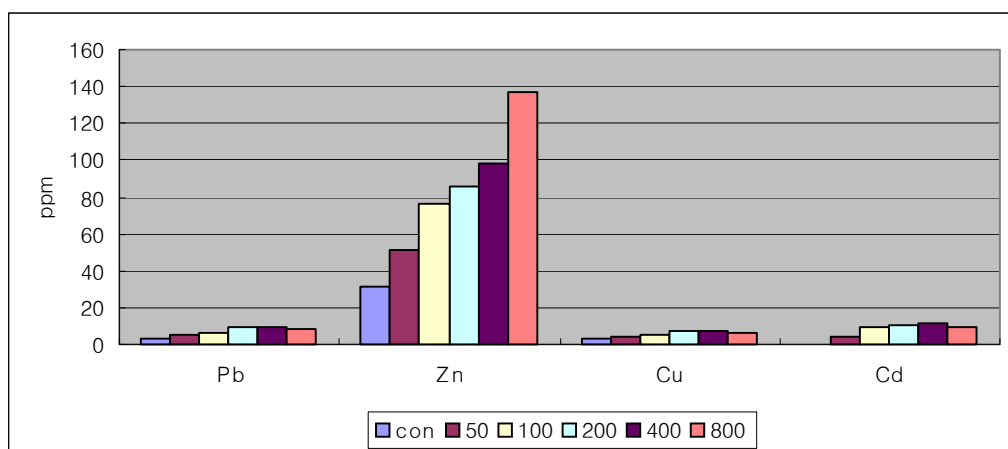


그림 2-23. 버드나무 성장 후 뿌리 내 중금속 함량

다. 식물체의 성장

1) 노랑꽃창포

노랑꽃창포는 유리온실에서 표 2-2의 조건 하에서 대조구와 납용액을 희석한 토양에서 110일간 성장한 결과 표 2-26에 나타난 바와 같이 대조구에서는 28일 경과 시 4.77cm, 56일 경과 시 7.60cm, 110일 경과 시 30.98cm를 보였다. 그런데 납용액 50ppm처리구에서는 28일 경과 시 6.29cm, 56일 경과 시 15.76cm, 110일 경과 시 39.95cm를 보였으며, 100ppm 처리구에서는 28일 경과 시 5.04cm, 56일 경과 시 14.60cm, 110일 경과 시 37.56cm를 보이는 등 납용액의 400ppm 희석 토양까지는 대조구보다 성장량이 더 좋았으며, 800ppm 처리구에서도 초기에는 대조구보다 성장량이 더 좋았으나 후기에는 점차 성장속도가 감소되는 경향이였다. 이는 납용액을 조제할 때 사용한 시약이 $PbNO_3$ 로써 용액 중 질소성분이 함유되었기 때문으로

판단된다.

표 2-26. Pb 처리에 의한 노랑꽃창포의 성장량의 변화

경과일 농도처리	28	35	42	49	56	63	74	82	88	98	110
800ppm	3.6	3.8	4.97	6.32	9.96	12.29	19.04	23	24.93	26.52	28.04
400	3.93	4.17	5.08	7.74	10.45	12.81	20.31	24.53	26.9	30.24	34.73
200	4.83	5.16	5.58	8.17	10.73	13.1	21.19	25.57	28.28	32.12	35.4
100	5.04	5.64	6.76	8.24	14.6	17.14	25.92	30.85	32.5	35.76	37.56
50	6.29	6.45	7.65	12.61	15.76	19.9	28.35	32.62	34.19	37.54	39.95
con	4.77	5.04	5.64	6.67	7.6	9.4	12.79	16.17	20.45	24.76	30.98

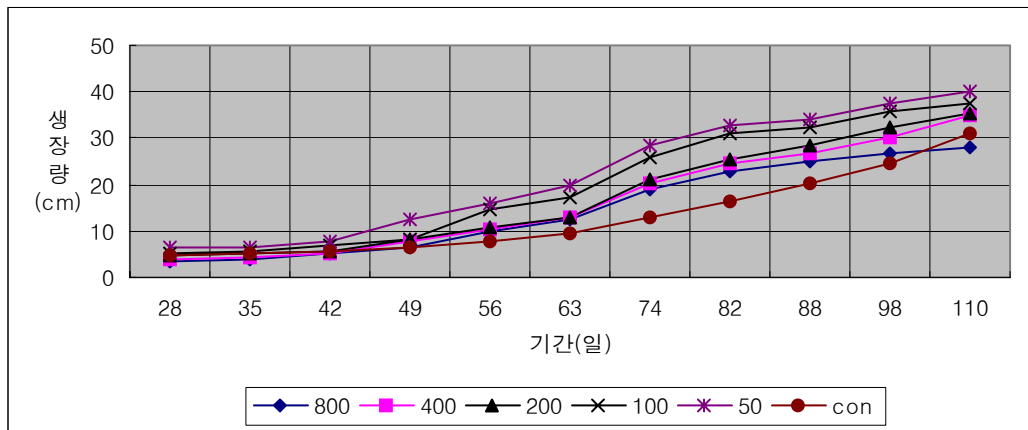


그림 2-24. Pb 처리에 의한 노랑꽃창포의 성장량의 변화

아연용액을 처리한 후 110일간 성장한 노랑꽃창포의 경우 표 2-27에 나타난 바와 같이 전체적으로 200ppm-800ppm처리구에서는 대조구에 비해 성장기간 내내 성장량이 저조하였다 그러나 50ppm과 100ppm 처리구에서는 초기에는 대조구와 비슷하거나 오히려 빠른 성장량을 보이다가 110일이 다가오면서 성장량이 급격히 감소되는 경향을 보였다. 한편 노랑꽃창포의 성장량은 납용액 처리구에서는 대조구에 비해 성장량이 컸으나 아연용액 처리구에서는 대조구에 비해 저조한 성장을 보였는데 이는 납용액과는 달리 아연용액 조제시 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 를 이용하여 용액중 질소 성분이 없기 때문으로 판단된다.

표 2-27. Zn 처리에 의한 노랑꽃창포의 성장량의 변화

일자 농도	28	35	42	49	56	63	74	82	88	98	110
800ppm	2.51	2.95	3.5	3.94	6.4	8.32	13.26	16.65	21.63	25.77	27.88
400	4.33	4.73	5.63	6.03	7.87	10.74	16.39	19.65	24.02	26.8	29.86
200	4.76	5.33	5.86	6.61	9.4	13.07	19.09	23.08	26.99	28.03	31.62
100	3.58	3.75	4.2	5.12	7.32	8.91	13.87	17.98	22.02	26.8	29.57
50	2.34	2.41	3.02	3.78	5.5	7.3	12.24	16.15	19.83	22.84	25.55
con	4.77	5.04	5.34	6.37	7.6	9.4	12.79	16.17	20.45	24.76	30.98

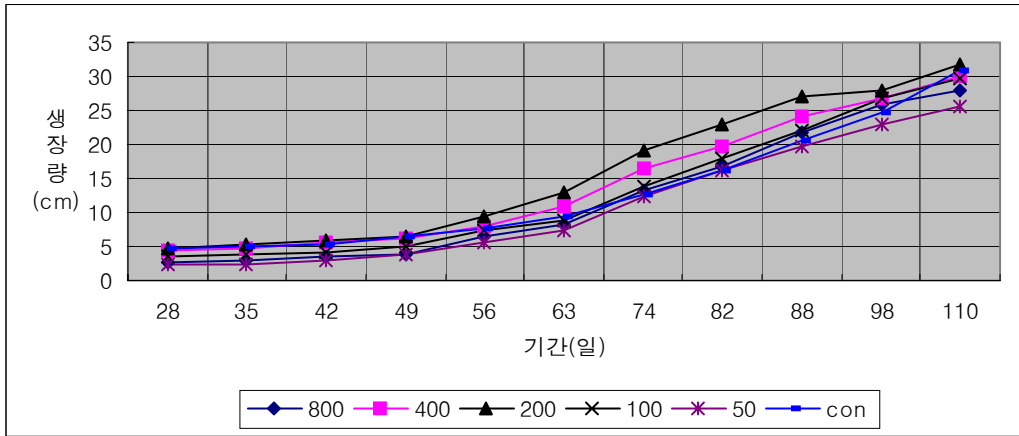


그림 2-25. Zn 처리에 의한 노랑꽃창포의 성장량의 변화

구리용액을 처리한 후 110일간 성장한 노랑꽃창포의 경우 표 2-28에 나타난 바와 같이 전체적으로 100ppm-800ppm처리구에서는 대조구에 비해 성장기간 내내 성장량이 저조하였으나 50ppm 처리구에서는 오히려 대조구에 비해 성장량이 크게 나타났다. 이는 저농도의 구리 오염은 노랑꽃창포의 성장에 크게 지장을 초래하지 않기 때문이라 판단된다.

한편 200ppm-800ppm처리구에서는 대조구나 50-100ppm처리구에 비해 완만한 성장속도를 보였다. 즉, 고농도일 경우는 아연의 경우와 비슷한 경향으로 110일이 다가오면서 성장량이 급격히 감소되는 경향을 보였다. 한편 구리용액 처리시 노랑꽃창포의 성장량은 납용액과는 달리 대조구에 비해 저조한 성장을 보였는데 이는 납용액과는 달리 구리용액 조제시 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 를 이용하여 용액중 질소 성분이 없기 때문으로 판단된다.

표 2-28. Cu 처리에 의한 노랑꽃창포의 성장량의 변화

경과일 농도처리	28	35	42	49	56	63	74	82	88	98	110
800ppm	3.69	4.47	4.67	5.07	6.97	8.42	11.8	15.57	17.82	20.98	22.3
400	3.79	4.63	4.7	5.21	7.61	8.56	12.13	15.98	18.05	21.26	24.23
200	4.17	4.8	5.05	5.54	7.92	9.14	12.96	16.99	19.09	22.3	25.51
100	4.32	4.87	5.41	6.18	8.28	10.42	15.9	19.17	22.88	25.87	28.4
50	5.08	5.55	5.97	6.83	9.03	11.11	16.15	19.45	23.59	28.4	32.5
con	4.77	5.04	5.34	6.37	7.6	9.4	12.79	16.17	20.45	24.76	30.98

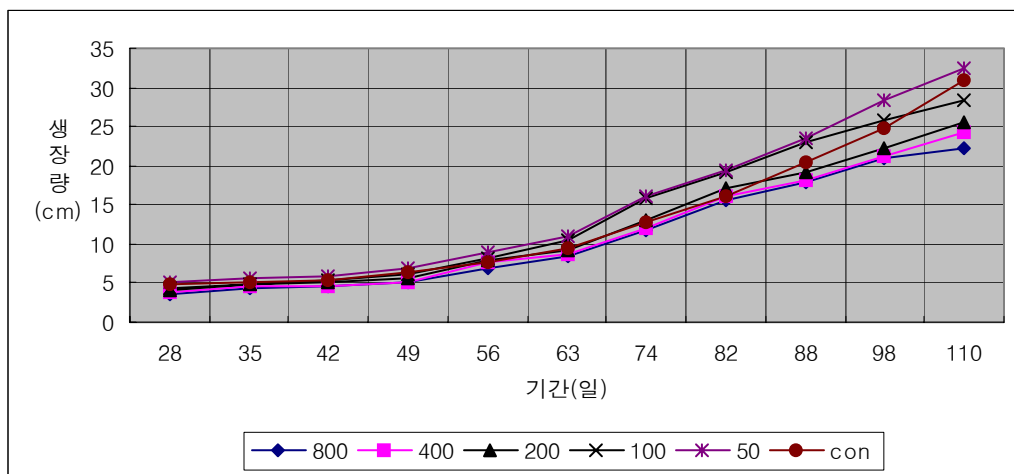


그림 2-26. Cu 처리에 의한 노랑꽃창포의 성장량의 변화

카드뮴용액을 처리한 후 110일간 성장한 노랑꽃창포의 경우 표 2-29에 나타난 바와 같이 전체적으로 모든 카드뮴 처리구에서 대조구에 비해 성장기간 내내 성장량이 저조하였다.

특히 100ppm-200ppm처리구에서는 대조구에 비해 현저히 성장량이 감소하였다. 이상의 결과에서 노랑꽃창포의 경우 납용액 처리구에서는 대조구에 비해 성장량이 증대되었으나 아연, 구리, 카드뮴 처리구는 대조구보다 성장량이 감소했는데 특히 카드뮴 처리구에서 성장량이 크게 감소하는 경향을 보였다.

표 2-29. Cd 처리에 의한 노랑꽃창포의 성장량의 변화

경과일 농도처리	28	35	42	49	56	63	74	82	88	98	110
200ppm	3.44	3.96	4.1	4.63	5.4	6.61	9	10.28	11.87	13.55	15.24
100	3.75	4.13	4.76	4.94	5.61	6.72	9.41	11.23	12.96	14.39	15.93
50	3.98	4.59	4.96	5.47	5.81	7.45	11.14	12.68	15.63	18.23	19.92
25	4.33	4.6	5.17	6.2	7.24	8.53	11.97	14.07	17.08	19.06	22.88
12.5	4.77	5.04	5.34	6.37	7.6	9.4	12.79	15.72	18.52	21.42	23.98
con	4.77	5.04	5.34	6.37	7.6	9.4	12.79	16.17	20.45	24.76	30.98

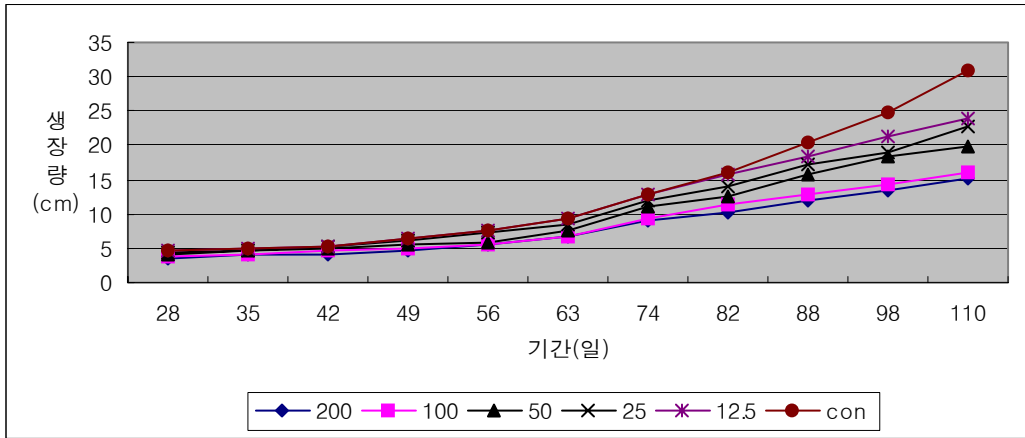


그림 2-27. Cd 처리에 의한 노랑꽃창포의 성장량의 변화

2) 갯버들

갯버들은 전북대학교 묘포장의 냉상에서 표 2-3의 조건 하에서 대조구와 납용액을 희석한 토양에서 98일간 성장한 결과 표 2-30에 나타난 바와 같이 대조구에서는 65일 경과시 6.15cm, 84일 경과시 9.02cm, 98일 경과시 11.80cm를 보였다.

그런데 납용액 50ppm처리구에서는 65일 경과시 6.33cm, 84일 경과시 9.02cm, 98일 경과시 11.98cm를 나타내 대조구에 비해 성장량이 컸으며, 400ppm 처리구에서는 65일 경과시 9.70cm, 84일 경과시 13.86cm, 98일 경과시 16.89cm를 보였다 그러나 800ppm처리구에서는 65일 경과시는 6.73cm로 대조구보다 컸으나 이후에는 성장속도가 현저히 떨어지는 현상을 나타내 98일 경과시에는 오히려 대조구보다 생장이 저조하였는데 전동싸리 유묘에서 Pb의 농도가 높을수록 신장생장이 억제되었다는 보고와 비슷한 경향을 보였다. 한편 납용액처리는 50-400ppm까지는 오히려 대조구보다 성장량이 더 컸음을 볼 수 있었는데 이는 노랑꽃창포에서와 마찬가지로

납용액을 조제할 때 사용한 시약이 $PbNO_3$ 로써 용액 중 질소성분이 함유되었기 때문으로 판단된다.

표 2-30. Pb 처리에 의한 갯버들의 신장 성장량의 변화

기간 농도	65	70	77	84	91	98
800	6.73	7.09	7.46	7.86	8.21	8.73
400	9.70	10.44	11.33	13.86	15.27	16.89
200	7.40	8.22	9.08	10.25	11.44	13.54
100	6.78	7.35	8.33	9.76	10.86	12.22
50	6.33	7.24	8.05	9.60	10.66	11.98
con	6.15	7.43	8.33	9.02	10.05	11.80

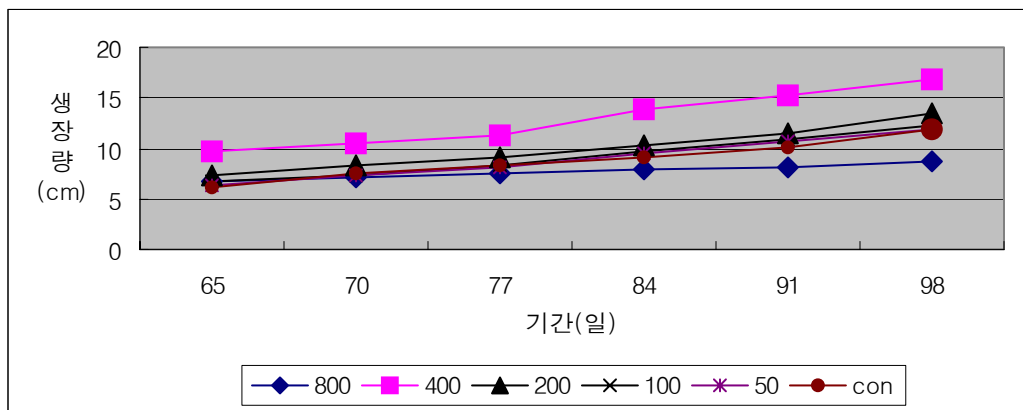


그림 2-28. Pb 처리에 의한 갯버들의 신장 성장량의 변화

아연용액을 처리한 후 98일간 성장한 갯버들의 경우 표 2-31에 나타난 바와 같이 중금속용액을 처리한 전체 처리구에서 대조구에 비해 성장기간 내내 성장량이 저조하였으며 중금속 농도가 높을수록 성장량은 더욱 저조하였다. 한편 갯버들의 성장량이 납용액 처리구에서는 대조구에 비해 성장량이 컸으나 아연용액 처리구에서는 대조구에 비해 저조한 성장을 보였는데 이는 납용액과는 달리 아연용액 조제 시 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 를 이용하여 용액중 질소 성분이 없을 뿐 아니라 중금속이 갯버들의 성장을 억제하는 역할을 했기 때문으로 판단된다.

표 2-31. Zn 처리에 의한 갯버들의 신장 성장량의 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
800	3.7	4.2	5.2	6.1	6.9	7.45
400	4.68	5.13	6.22	7.45	8.05	8.69
200	4.94	5.3	6.37	7.88	8.45	8.96
100	5.61	6.33	7.05	8.15	8.76	9.71
50	6.27	6.73	7.36	8.54	9.27	10.51
con	6.15	7.43	8.33	9.02	10.05	11.8

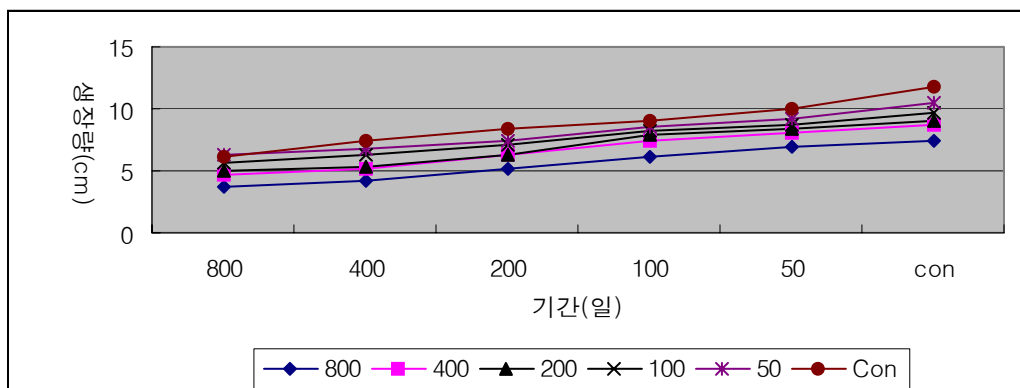


그림 2-29. Zn 처리에 의한 갯버들의 신장 성장량의 변화

구리용액을 처리한 후 98일간 성장한 갯버들의 경우 표 2-32에 나타난 바와 같이 전체 중금속 처리구에서 대조구에 비해 성장기간 내내 성장량이 저조하였다. 구리의 농도가 높을수록 성장속도는 감소하는 경향이었는데 특히 400ppm-800ppm처리구에서 더욱 감소하였다.

한편 구리용액 처리시 갯버들의 성장량은 납용액과는 달리 대조구에 비해 성장량이 크게 저조하였는데 이는 납용액과는 달리 아연처리와 마찬가지로 구리용액 조제시 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 를 이용하여 용액 중 질소 성분이 없기 때문으로 판단된다.

표 2-32. Cu 처리에 의한 갯버들의 신장 성장량의 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
800	2.3	2.7	3.25	3.8	4.15	4.7
400	2.74	3.6	4.22	4.7	5.02	5.8
200	5.2	5.8	6.27	7.2	8.38	8.65
100	5.17	5.73	6.33	7.23	8.43	8.97
50	5.21	5.88	7.56	8.76	9.53	10.23
con	6.15	7.43	8.33	9.02	10.05	11.8

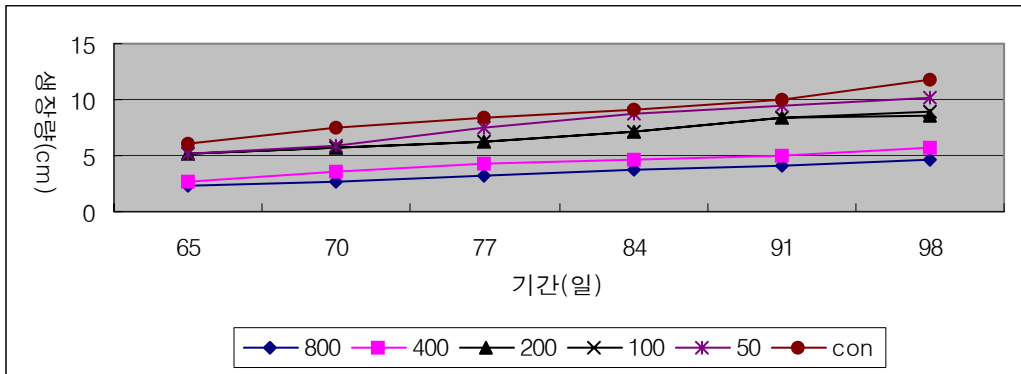


그림 2-30. Cu 처리에 의한 갯버들의 신장 성장량의 변화

카드뮴용액을 처리한 후 98일간 성장한 갯버들의 경우 표 2-33에 나타난 바와 같이 전체적으로 모든 카드뮴 처리구에서 대조구에 비해 성장기간 내내 성장량이 저조하였다.

특히 200ppm처리구에서는 대조구에 비해 현저히 성장량이 감소하였다. 이상의 결과에서 갯버들의 경우 납용액 처리구에서는 대조구에 비해 성장량이 증대되었으나 아연, 구리, 카드뮴 처리구는 대조구보다 성장량이 3가지 중금속 모두 비슷한 감소량을 보였다.

표 2-33. Cd 처리에 의한 갯버들의 신장 성장량의 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
200	3.60	4.00	4.50	5.00	5.00	5.10
100	4.78	5.93	7.25	8.20	8.76	9.02
50	4.89	6.05	7.56	8.52	8.98	9.33
25	5.65	6.22	7.86	8.76	9.01	10.04
12.5	6.10	7.33	8.03	8.88	9.56	10.88
con	6.15	7.43	8.33	9.02	10.05	11.80

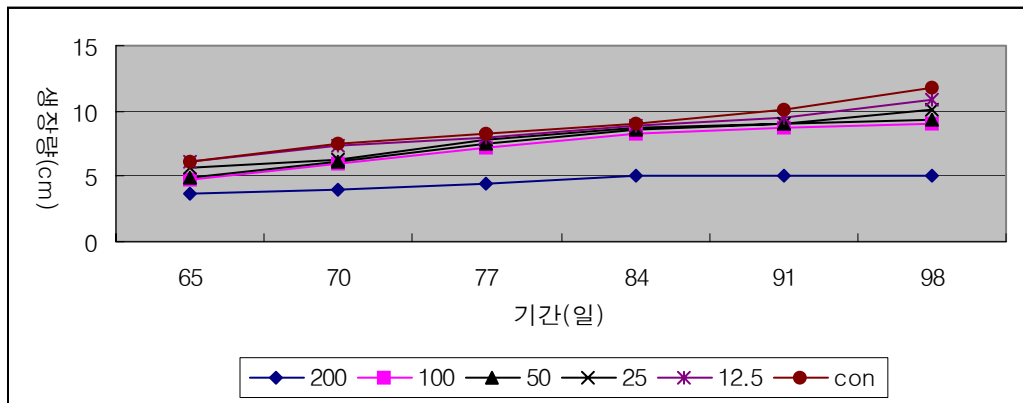


그림 2-31. Cd 처리에 의한 갯버들의 신장 성장량의 변화

갯버들을 98일간 성장하는 동안 엽수의 변화를 조사한 결과 표 2-34에 나타난 바와 같이 대조구에서는 65일 경과시 8.00개, 84일 경과시 10.5개, 98일 경과시 12.89개를 보였다. 그런데 납용액 50ppm처리구에서는 65일 경과시 8.44개, 84일 경과시 9.22개, 98일 경과시 10.06개를 나타내 대조구에 비교하면 초기에는 50ppm, 100ppm처리구에서 비슷하였으나 후기에는 그 수의 증가량이 대조구보다 적었다. 그러나 성장량이 가장 컸던 200ppm-400ppm처리구에서는 초기부터 끝까지 대조구의 엽수보다 많았다. 반면 800ppm처리구에서는 처음부터 끝까지 대조구보다 엽수가 적었다.

이는 표 2-30의 납 용액 처리구에서의 신장성장량에 나타난 바와 같이 200ppm-400ppm처리구에서 대조구 보다 훨씬 컸기 때문으로 사료되며 특이한 것은 800ppm처리구에서는 경과일이 증가하여도 고농도의 납 성분이 독성으로 작용하여 신생잎이 난다 하더라도 조기낙엽 때문에 엽수는 증감을 반복하기도 하였다.

표 2-34. Pb 처리에 의한 갯버들의 엽수의 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
800	7.50	7.00	7.25	7.33	7.50	8.00
400	12.78	13.39	13.22	13.72	14.06	15.17
200	11.61	11.00	11.72	11.17	12.00	12.22
100	8.70	8.98	9.00	9.25	9.86	10.39
50	8.44	8.56	8.44	9.22	9.56	10.06
con	8.00	8.56	9.06	10.50	11.22	12.89

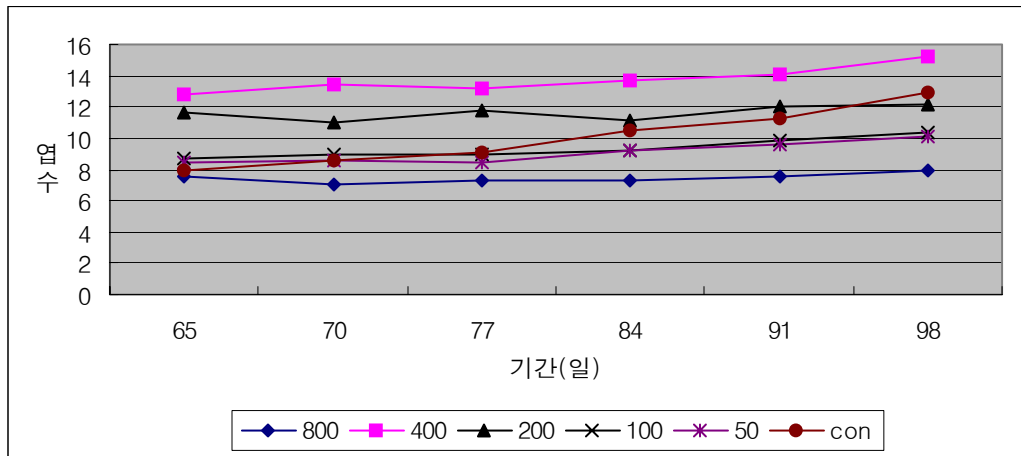


그림 2-32. Pb 처리에 의한 갯버들의 엽수의 변화

아연용액을 처리한 후 갯버들의 엽수의 변화는 표 2-35에 나타난 바와 같이 중금속용액을 처리한 전체 처리구에서 대조구에 비해 엽수는 일반적으로 생장기간 내내 저조하였으며 중금속 농도가 높을수록 엽수는 더욱 적었다. 한편 대조구와 50ppm처리구에서는 경과일수가 증가할수록 엽수도 감소됨이 없이 계속적으로 증가하였으나 100-800ppm처리구에서는 경과일수가 증가하여도 엽수는 증감을 반복하는 경우가 있었는데 이는 아연용액의 독성 때문에 부분적으로 조기 낙엽이 되기 때문으로 사료된다.

표 2-35. Zn 처리에 의한 갯버들의 엽수의 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
800	7.01	8.00	7.03	8.00	8.00	8.00
400	6.50	7.75	8.00	7.58	7.88	8.67
200	8.00	8.87	9.22	8.89	9.22	9.87
100	8.50	8.33	8.67	8.83	9.33	10.50
50	8.00	8.69	9.31	10.00	10.19	11.75
con	8.00	8.56	9.06	10.5	11.22	12.89

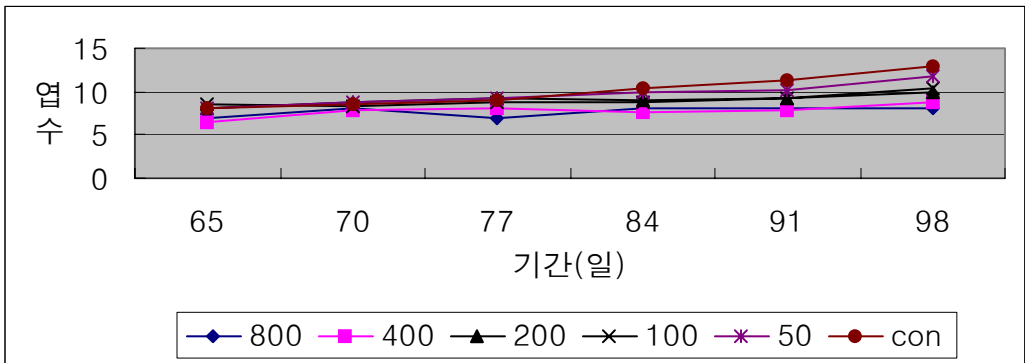


그림 2-33. Zn 처리에 의한 갯버들의 엽수의 변화

구리용액을 처리한 후 갯버들의 엽수의 변화는 표 2-36에 나타난 바와 같이 아연처리구와 비슷한 경향으로 구리용액을 처리한 전체 처리구에서 대조구에 비해 엽수는 일반적으로 성장기간 내내 저조하였으며 중금속 농도가 높을수록 엽수는 더욱 적었다. 아연처리구와 비교하면 구리처리구의 엽수가 약간 적게 나타났다.

표 2-36. Cu 처리에 의한 갯버들의 엽수의 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
800	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	8.00
400	5.50	7.00	8.00	8.00	8.00	9.00
200	8.33	8.67	8.00	8.33	9.00	9.33
100	8.00	9.00	9.00	9.33	9.63	9.87
50	8.50	9.50	8.75	9.00	9.25	10.00
con	8.00	8.56	9.06	10.50	11.22	12.89

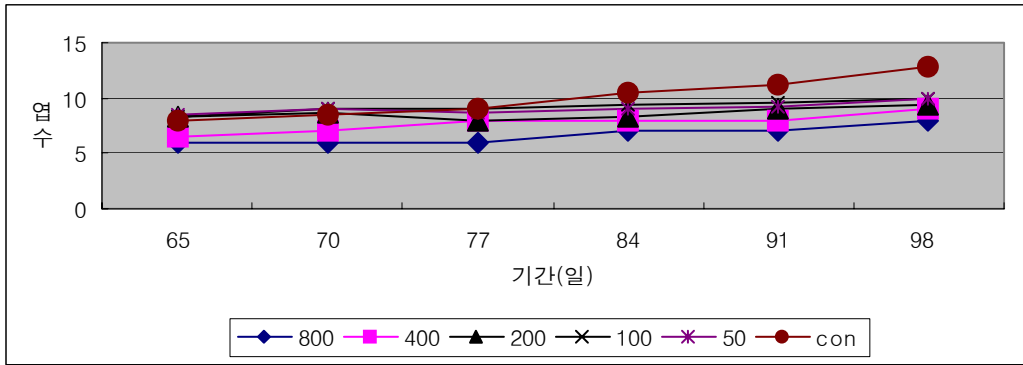


그림 2-34. Cu 처리에 의한 갯버들의 엽수의 변화

카드뮴용액을 처리한 후 갯버들의 엽수 변화는 표 2-37에 나타난 바와 같이 아연이나 구리처리구와 비슷한 경향으로 카드뮴용액을 처리한 전체 처리구에서 대조구에 비해 엽수는 일반적으로 성장기간 내내 저조하였으며 중금속 농도가 높을수록 엽수는 더욱 적었다.

이상의 갯버들의 성장과 엽수와의 관계를 보면 납용액을 처리한 경우는 대조구에 비해 성장량에서는 800ppm을 제외하고는 대조구보다 성장량이 컸으나 엽수에서는 400ppm처리의 경우만 대조구 보다 엽수가 많아 성장량과 엽수가 비례관계를 보이지 않았다. 그러나 아연, 납, 카드뮴 처리구에서는 전체적으로 대조구에 비해 엽수가 적었으며 성장량에 따라 엽수의 증가량은 대조구에서는 지속적으로 증가하였으나 중금속 처리구에서는 증감을 반복하는 경우가 많았다. 이는 중금속이 식물체 내에서 부작용으로 작용했기 때문에 부분적으로 조기 낙엽이 되기 때문으로 사료된다.

표 2-37. Cd 처리에 의한 갯버들의 엽수의 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
200	5.00	5.50	6.00	6.00	6.50	7.00
100	5.00	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
50	7.00	7.50	7.00	7.50	7.00	8.50
25	7.00	8.00	8.25	8.75	8.50	9.00
12.5	7.01	8.00	8.50	10.00	10.25	10.50
con	8.00	8.56	9.06	10.50	11.22	12.89

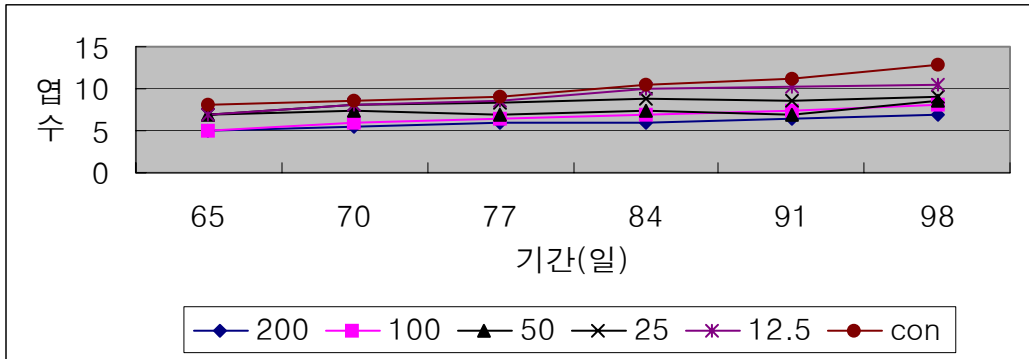


그림 2-35. Cd 처리에 의한 갯버들의 엽수의 변화

3) 버드나무

버드나무는 갯버들과 마찬가지로 전북대학교 묘포장의 냉상에서 표 2-3의 조건 하에 98일간 성장한 결과 표 2-38에 나타난 바와 같이 대조구에서는 65일 경과 시 16.76cm, 84일 경과 시 23.93cm, 98일 경과 시 26.80cm를 보였다. 그런데 납용액 50ppm처리구에서는 65일 경과 시 17.62cm, 84일 경과 시 23.98cm, 98일 경과 시 27.31cm를 나타내 대조구에 비해 성장량이 컸으며, 400ppm 처리구에서는 65일 경과 시 24.66cm, 84일 경과 시 29.08cm, 98일 경과 시 33.08cm를 보였다 그러나 800ppm처리구에서는 65일 경과 시는 18.26cm로 대조구보다 컸으나 이후에는 성장 속도가 현저히 떨어지는 현상을 나타내 98일 경과 시는 23.12cm로 저조한 성장을 보였다. 납용액처리는 50-400ppm까지는 오히려 대조구보다 성장량이 더 컸음을 볼 수 있었는데 이는 갯버들에서와 마찬가지로 납 용액을 조제할 때 사용한 시약이 $PbNO_3$ 로써 용액 중 질소성분이 함유되었기 때문으로 판단된다.

표 2-38. Pb 처리에 의한 버드나무의 신장생장량의 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
800	18.26	19.92	21.36	21.93	22.73	23.12
400	24.66	26.40	27.66	29.08	30.95	32.08
200	19.60	21.33	22.79	23.51	25.10	27.39
100	18.48	19.48	21.52	22.63	25.14	26.80
50	17.62	18.58	20.31	21.92	24.08	25.31
con	16.76	19.01	21.56	23.93	24.65	26.80

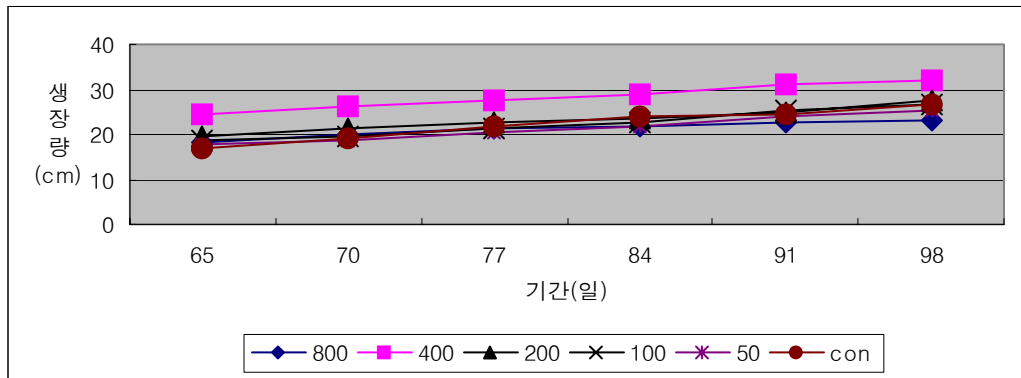


그림 2-36. Pb 처리에 의한 버드나무의 신장생장량의 변화

아연용액을 처리한 후 98일간 성장한 버드나무의 경우 표 2-39에 나타난 바와 같이 중금속용액을 처리한 전체 처리구에서 대조구에 비해 성장기간 내내 성장량이 저조하였으며 중금속 농도가 높을수록 성장량은 더욱 저조하였다. 한편 버드나무의 성장량이 납용액 처리구에서는 대조구에 비해 성장량이 컸으나 아연용액 처리구에서는 대조구에 비해 저조한 성장을 보였는데 이는 갯버들의 경우와 마찬가지로 납용액과는 달리 아연용액 조제시 $ZnSO_4$ 를 이용하여 용액중 질소 성분이 없을 뿐 아니라 아연성분이 버드나무의 성장을 억제하는 역할을 했기 때문으로 판단된다.

표 2-39. Zn 처리에 의한 버드나무의 신장 성장량의 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
800	10.57	12.08	13.41	14.87	16.18	17.34
400	10.99	12.25	14.09	16.01	17.99	19.39
200	12.48	15.02	16.19	17.86	19.33	21.56
100	12.71	14.01	17.45	17.99	20.21	23.81
50	14.49	16.48	19.50	22.13	24.57	25.92
con	16.76	19.01	21.56	23.93	24.65	26.80

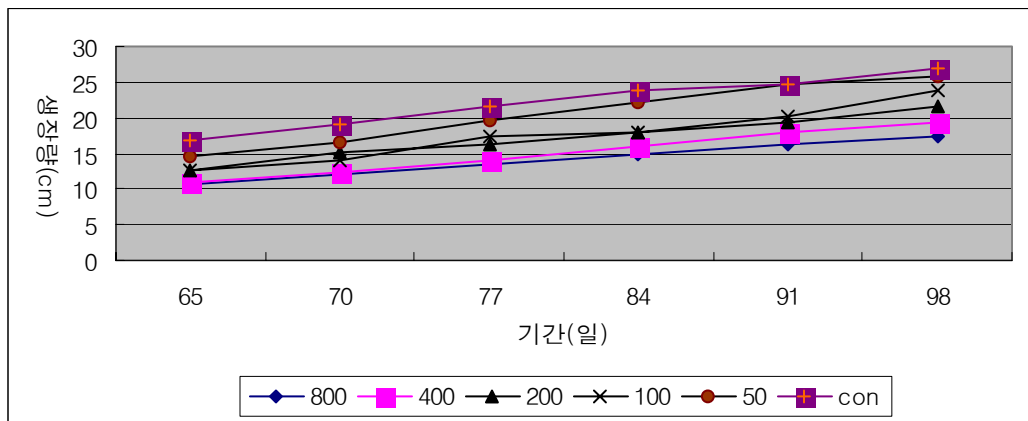


그림 2-37. Zn 처리에 의한 버드나무의 신장 성장량의 변화

구리용액을 처리한 후 98일간 성장한 버드나무의 경우 표 2-40에 나타난 바와 같이 아연처리구와 마찬가지로 50ppm 처리구를 제외한 전체 중금속 처리구에서 대조구에 비해 성장기간 내내 성장량이 저조하였다. 특이한 사항은 갯버들 구리용액 처리구와는 달리 구리용액 50ppm 처리구에서는 오히려 대조구보다 성장량이 큰 결과를 보였다. 이는 구리 50ppm 정도는 버드나무의 성장에 전혀 지장을 초래하지 않은 것으로 판단된다.

한편 50ppm 이상의 구리용액 처리시 버드나무의 성장량은 납용액과는 달리 대조구에 비해 성장량이 크게 저조하였는데 이는 납용액과는 달리 아연처리와 마찬가지로 구리용액 조제시 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 를 이용하여 용액 중 질소 성분이 없기 때문으로 판단된다.

표 2-40. Cu 처리에 의한 버드나무의 신장생장량의 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
800	7.77	8.74	11.47	12.17	13.51	14.72
400	10.08	11.20	12.08	12.87	13.81	14.83
200	13.34	14.54	15.94	16.86	17.57	19.01
100	11.08	13.00	15.37	18.12	21.38	23.47
50	17.12	18.34	21.88	23.99	24.93	27.64
con	16.76	19.01	21.56	23.93	24.65	26.80

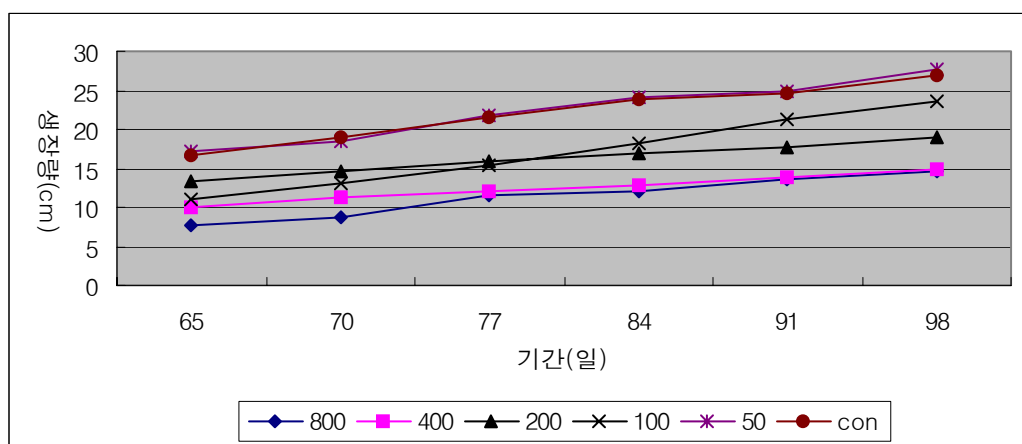


그림 2-38. Cu 처리에 의한 버드나무의 신장생장량의 변화

카드뮴용액을 처리한 후 98일간 성장한 버드나무의 경우 표 2-41에 나타난 바와 같이 전체적으로 모든 카드뮴 처리구에서 대조구에 비해 성장기간 내내 성장량이 저조하였다.

특히 200ppm처리구에서는 대조구에 비해 현저히 성장량이 감소하였으며 12.5-25ppm 처리구에서는 초기생장은 오히려 대조구보다 컸으나 시간이 지날수록 성장속도가 대조구에 비해 떨어지는 경향을 나타냈다.

이상의 결과에서 버드나무는 갯버들에 비해 성장속도가 빠른 것을 알수 있었으며, 납용액 처리구에서는 갯버들과 비슷한 경향으로 버드나무에 있어서도 대조구에 비해 성장량이 증대되었으나 아연, 구리, 카드뮴 처리구는 대조구보다 성장량이 감소하였는데 갯버들과 마찬가지로 3가지 중금속 모두 비슷한 감소량을 보였다.

표 2-41. Cd 처리에 의한 버드나무의 신장생장량의 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
200	12.71	13.78	14.84	15.91	17.32	18.33
100	15.02	16.06	17.38	18.90	20.39	21.31
50	15.75	16.86	18.04	19.56	20.96	22.38
25	17.33	18.56	20.12	21.88	23.14	24.56
12.5	17.38	19.03	20.88	22.48	24.57	26.88
con	16.76	19.01	21.56	23.93	24.65	26.80

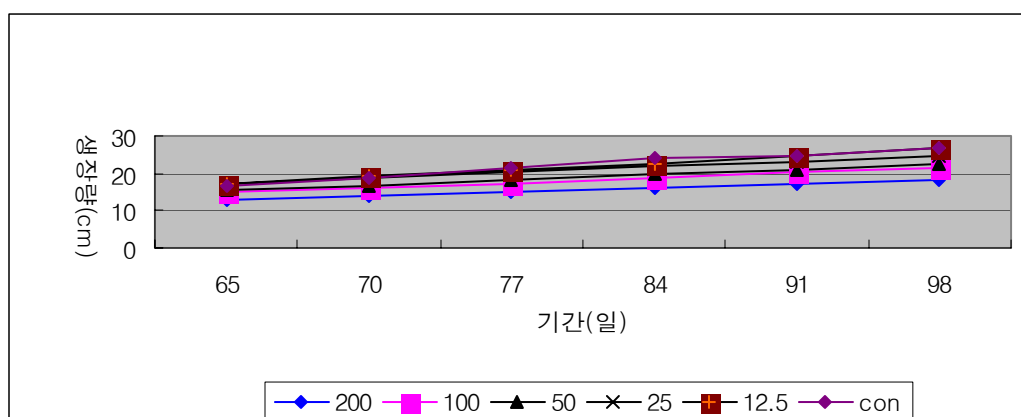


그림 2-39. Cd 처리에 의한 버드나무의 신장생장량의 변화

버드나무를 98일간 성장하는 동안 엽수의 변화를 조사한 결과 표 2-42에 나타난 바와 같이 대조구에서는 65일 경과시 13.44개, 84일 경과시 15.33개, 98일 경과시 17.04개를 보였다. 납용액 400ppm처리구에서는 65일 경과시 14.33개, 84일 경과시 15.97개, 98일 경과시 17.50개를 나타내 대조구에 비교하면 많은 엽수를 나타냈고, 200ppm 처리구에서도 대조구 보다 엽수가 많았다. 한편 50-100ppm처리구에서는 처음부터 91일까지는 대조구보다 많거나 비슷하였으나 그 이후에는 대조구가 많아지기 시작하였다. 이는 표 2-38에서 납처리구가 신장생장이 대조구에 비해 컸기 때문으로 판단된다. 반면 농도가 높은 800ppm처리구에서는 잎의 발생과 낙엽이 반복되면서 처음부터 끝까지 대조구보다 엽수가 적었다.

표 2-42. Pb 처리에 의한 버드나무의 엽수 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
800	12.12	12.33	12.78	12.75	13.12	12.94
400	14.33	14.76	15.03	15.97	16.88	17.5
200	14.27	14.56	14.97	15.88	16.76	17.22
100	14.25	14.5	14.77	15.56	16.17	16.83
50	13.67	14.01	14.77	15.43	16.02	16.67
con	13.44	13.98	14.28	14.88	15.72	17.04

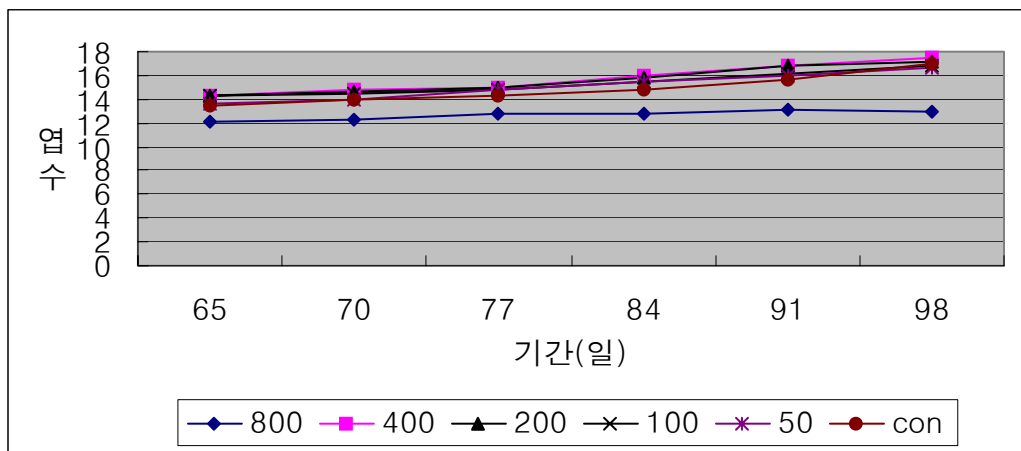


그림 2-40. Pb 처리에 의한 버드나무의 엽수 변화

아연용액을 처리한 후 버드나무 엽수의 변화는 표 2-43에 나타난 바와 같이 중금속용액을 처리한 전체 처리구에서 대조구에 비해 엽수는 일반적으로 생장기간 내내 저조하였으며 중금속 농도가 높을수록 엽수는 더욱 적었다. 한편 대조구와 50ppm 및 100ppm처리구에서는 엽수는 경과일수가 증가할수록 엽수가 감소됨이 없이 계속적으로 증가하였으나 고농도의 아연용액 처리구에서는 경과일수가 증가하여도 엽수는 증감을 반복하는 경우가 있었는데 이는 아연용액의 독성 때문에 부분적으로 조기 낙엽이 되기 때문으로 사료된다.

표 2-43. Zn 처리에 의한 버드나무의 엽수 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
800	11.83	12.02	12.33	12.06	12.78	12.22
400	12.33	12.92	12.56	13.33	13.76	14.56
200	13.08	13.67	14.12	13.98	14.33	14.87
100	13.33	13.87	14.33	14.87	14.67	15.33
50	14.50	14.98	15.33	15.78	16.05	16.56
con	13.44	13.98	14.28	14.88	15.72	17.04

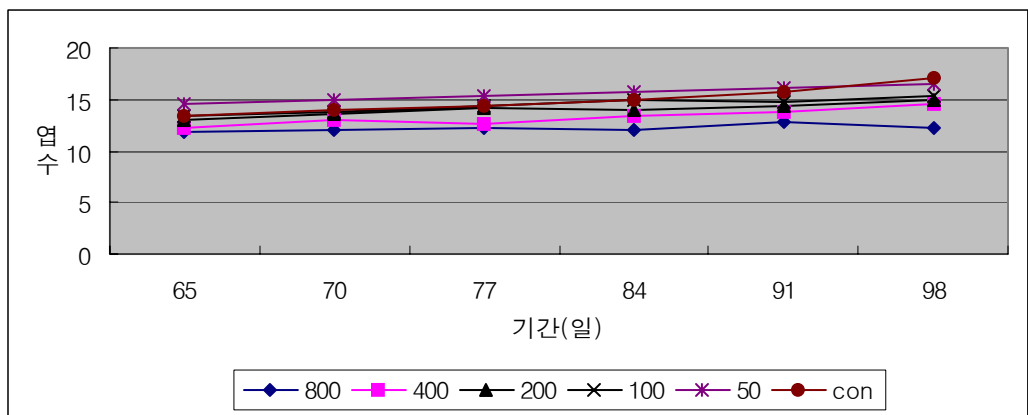


그림 2-41. Zn 처리에 의한 버드나무의 엽수 변화

구리용액을 처리한 후 버드나무의 엽수의 변화는 표 2-44에 나타난 바와 같이 아연처리구와 비슷한 경향으로 구리용액을 처리한 전체 처리구에서 대조구에 비해 엽수는 일반적으로 생장기간 내내 저조하였으며 98일 후 대조구에서는 17.04개인 반면 50ppm-800ppm처리구에서는 15.33-12.05개로 중금속 농도가 높을수록 엽수는 더욱 적었다. 구리용액처리구에서는 아연용액처리구 보다 엽수가 약간 적었다.

표 2-44. Cu 처리에 의한 버드나무의 엽수 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
800	10.39	10.44	11.00	11.22	11.94	12.05
400	12.33	12.76	12.56	13.33	13.76	13.88
200	12.76	13.43	14.03	14.50	14.45	14.56
100	13.00	13.67	14.27	14.88	14.67	15.01
50	13.67	14.22	14.47	15.01	14.76	15.33
con	13.44	13.98	14.28	14.88	15.72	17.04

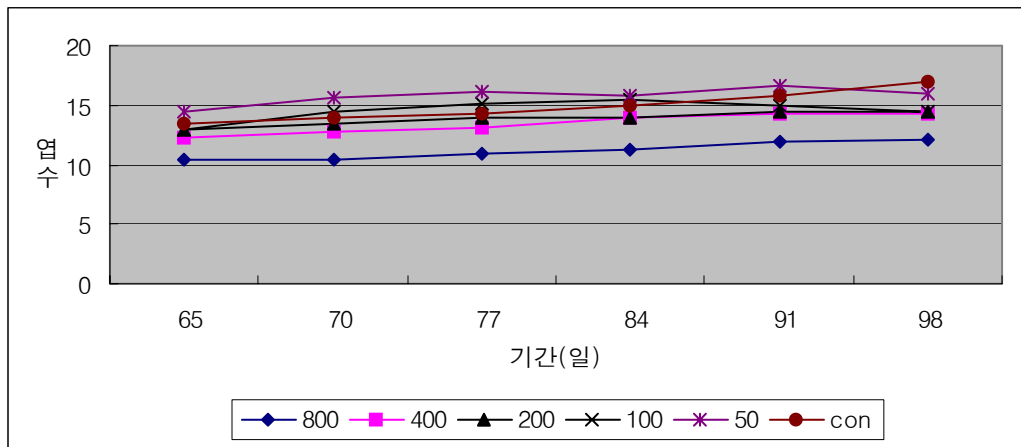


그림 2-42. Cu 처리에 의한 버드나무의 엽수 변화

카드뮴용액을 처리한 후 버드나무의 엽수의 변화는 표 2-45에 나타난 바와 같이 아연이나 구리용액처리구와 비슷한 경향으로 카드뮴용액을 처리한 전체 처리구에서 대조구에 비해 엽수는 일반적으로 생장기간 내내 저조하였으며 농도가 높을수록 엽수는 더욱 적었다. 아연처리구이나 구리처리구와 비교하면 카드뮴처리구의 엽수가 약간 적게 나타났다.

이상의 버드나무의 성장과 엽수와의 관계를 보면 납용액을 처리한 경우는 대조구에 비해 성장량에서는 800ppm을 제외하고는 대조구보다 성장량이 컸으나 엽수에서는 200ppm과 400ppm처리의 경우만 대조구 보다 엽수가 많아 성장량과 엽수가 비례관계를 보이지 않았다. 그러나 아연, 납, 카드뮴 처리구에서는 전체적으로 대조구에 비해 엽수가 적었으며 성장량에 따라 엽수의 증가량은 대조구에서는 지속적인

로 증가하였으나 중금속 처리구에서는 증감을 반복하는 경우가 많았다. 이는 중금속이 식물체내에서의 부작용으로 인하여 조기낙엽이 되기 때문으로 사료된다.

표 2-45. Cd 처리에 의한 버드나무의 엽수 변화

경과일 농도처리	65	70	77	84	91	98
200	10.05	10.67	11.33	10.83	10.67	11.33
100	11.17	11.71	12.03	11.98	12.33	12.56
50	12.63	13.08	13.08	13.56	13.67	13.58
25	12.87	13.33	13.83	13.88	14.01	14.22
12.5	13.33	13.56	13.88	14.08	14.28	14.76
con	13.44	13.98	14.54	15.33	16.43	17.04

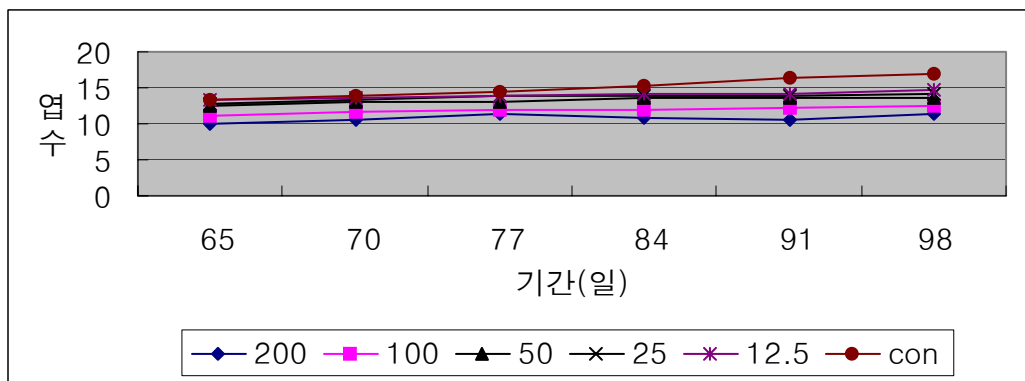


그림 2-43 Cd 처리에 의한 버드나무의 엽수 변화

라. 버드나무류의 생존율

버드나무류를 식재한 98일 후의 중금속 종류에 따른 생존율은 표 2-46에서 보는 바와 같이 중금속의 종류에 관계없이 농도가 높을수록 버드나무와 갯버들 모두 생존율이 저조하였으며, 수종별로 보면 버드나무가 갯버들에 비해 생존율이 높았다. 즉, 800ppm처리구에서는 남처리구에서 가장 높았고 구리 처리구에서 가장 낮았으나 50ppm처리구에서는 남처리구에서 비교적 높았으나 다른 중금속에서는 뚜렷한 차이가 없었다. 특히 갯버들의 경우 카드뮴 처리구에서는 가장 낮았으며 남 처리구에서 가장 높았다.

그러나 앞에 기술한 삼목실험에서는 중금속 용액 속에서의 삼목 발근은 갯버들

이 버드나무에 비해 발근율이 높았는데 이 결과로 보아 수경삼목에서는 갯버들이 발근율과 생존율이 높은 반면 토양중에서의 생존율은 버드나무가 갯버들보다 높았음을 알 수 있었다.

표 2-47. 식재 98일 후 버드나무류의 생존율

중금속 수종 농도	Cu		Zn		Pb		Cd	
	버드나무	갯버들	버드나무	갯버들	버드나무	갯버들	버드나무	갯버들
800(200)ppm	33.3%	6.7%	40.0%	6.7%	60.0%	40.0%	40.0%	6.7%
400(100)	46.7%	26.7%	66.7%	33.3%	60.0%	40.0%	53.5%	6.7%
200(50)	46.7%	33.3%	66.7%	33.3%	86.7%	53.3%	80.0%	13.3%
100(25)	86.7%	40.0%	73.3%	46.7%	93.3%	53.3%	86.7%	26.7%
50(12.5)	92.0%	53.3%	93.3%	60.0%	92.0%	66.7%	100.0%	40.0%

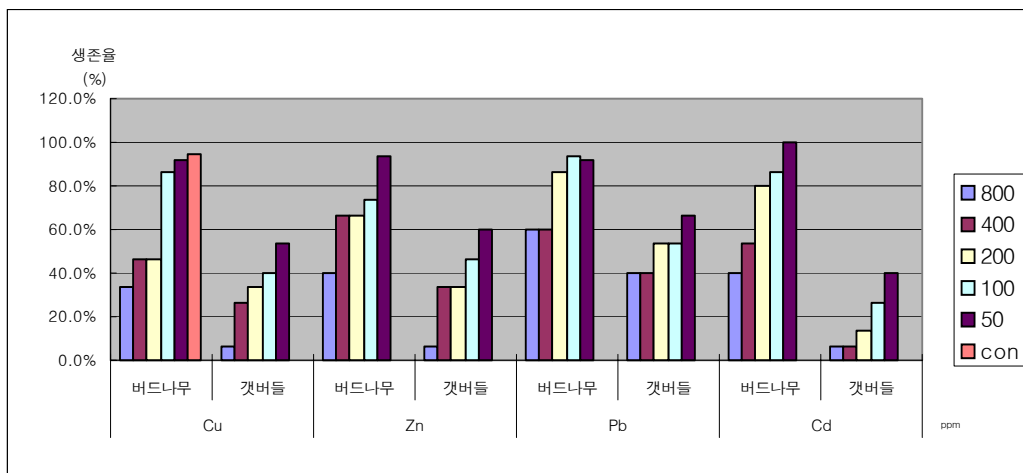


그림 2-44. 버드나무류의 생존율

(제 3 세부과제)

※연구과제명 : 오염지에서 식물의 성장과 질소, 인 저감효과 분석

1. 식물에 의한 하천토양 내 질소·인 제거효과

가. 하천토양의 채취 위치별 질소와 인 농도 분석

하천에서 채취한 토양의 질소와 유효인산의 함량을 분석한 결과는 그림 3-2와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 총 질소의 함량은 봉동교 하류쪽인 B 지점의 하천토양이 1260 ppm으로 가장 많이 함유하고, 다음으로는 1060 ppm로 D 지점의 하천토양에 함유되어 있었으며, 삼례철교쪽인 C와 신당교 근처 하천토양인 A, 공덕배수장 근처 하천토양인 E 조사구에서 각각 770, 660, 510 ppm을 함유하고 있었다. (이하 각 실험구에서 채취된 하천토양을 A, B, C, D, E, 토양이라 함) 대조구인 마사토는 200 ppm 으로 가장 적은 질소가 함유되어 있었다.

유효인산의 함량은 D 지점의 하천토양에서 123 ppm으로 가장 많았고, 다음으로는 B, C, E, A 하천토양에서 각각 82.57, 74.83, 39.99, 24.51 ppm 순이었다. 대조구인 마사토는 22.79 ppm으로 가장 적었다.

전체적으로 질소의 농도는 B 지점, 유효인산은 D 지점에서 가장 많은 함유량을 나타내었고, 질소와 인 모두 대조구인 마사토에서 가장 적게 함유되어 있었다. 대체적으로 질소의 함량이 많은 시험토양에서 유효인산의 함량 또한 많은 것으로 나타났다. 질소와 유효인산의 함량으로 하천별 오염도를 알 수 있는데, 가장 오염이 심한 하천토양은 질소와 인의 총량이 가장 많은 D 토양으로 나타났으며, 그 다음으로는 B, C, E, A 순의 오염도를 나타냈다.

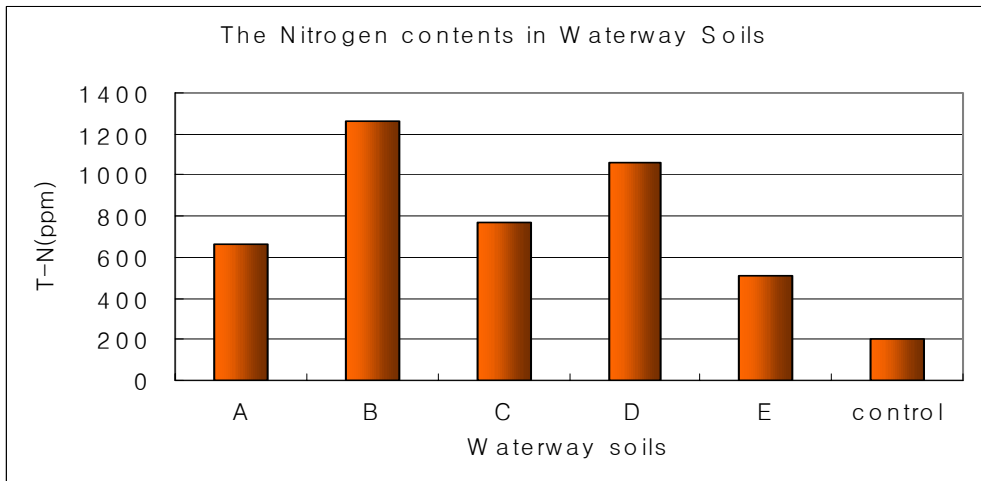
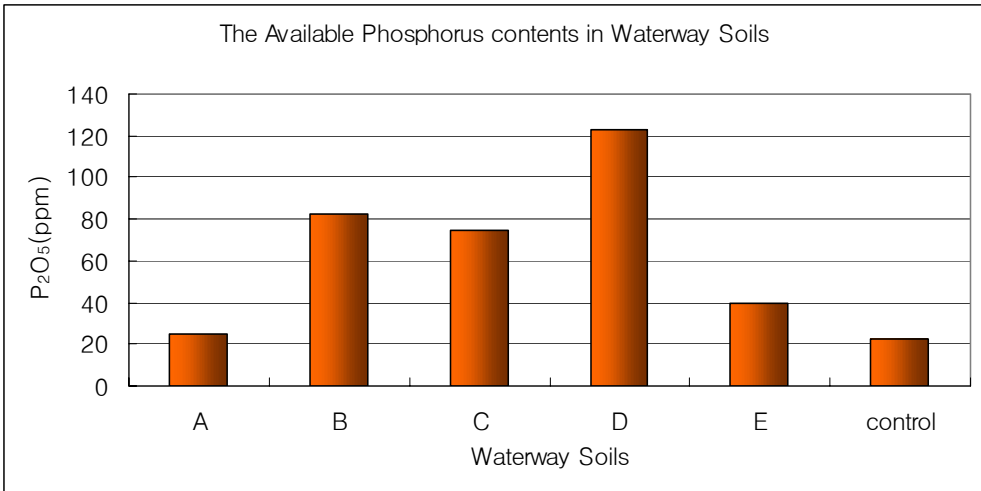


그림 3-2. 하천토양 내 질소와 유효인산의 함량분석

나. 하천토양별 공시식물의 성장량 비교

질소와 인의 농도가 각각 다른 공시토양에 갯버들과 노랑꽃창포를 재배하여 성장상태를 조사한 결과 그림 3-3과 그림 3-4와 같이 나타났다. 실험 후 조사된 수치는 각 하천토양별로 5개의 포트에 4본씩 식재된 20개체의 성장상태를 조사하여 평균치를 나타낸 값이다. 하천토양별 갯버들의 성장상태를 조사한 결과는 그림 3-3과 같다. 가지직경은 B 토양에서 식재 후 1.72 cm가 성장하여 79.26 %의 가장 왕성한 성장을 보여주었다. 다음으로는 D 토양에서 1.43 cm(72.58 %), C 토양이 1.3 cm(69.89 %)의 성장을 기록하였으며, A 토양에서 1.1 cm(55 %), E 토양에서는 0.86 cm(42.78 %)가 성장하였고, 대조구인 마사토에서 0.7 cm(30.43 %)로 성장하였다. 각 하천토양에서 성장상태는 모두 1 %의 유의차가 있었다(T Prob> | T | =0.0006). 신초의 길이는 B 토양에서 30.38 cm로 초기의 측정값보다는 2배 이상(215%)으로 가장 많이 성장하였으며, D토양과 A, C, 토양에서 각각 27.1(202%), 27.13(192%), 23.52(192%)cm의 순의 성장을 나타냈다. E 토양에서는 22.49 cm(170 %)의 성장을 하였으며, 마사토에서는 20 cm(138 %)로 성장을 하였다. 뿌리길이는 D 토양에서 16.92 cm로 가장 많은 성장을 하였으며, B 토양은 16.92 cm, A 에서 15.71 cm로 측정이 되었으며, E 토양에서는 13.92 cm, 마사토가 12.81 cm로, C 토양에서는 10.27 cm로 가장 적게 성장을 하였다. 신초의 길이와 뿌리길이 모두 1 % 유의차가 있었다(T Prob> | T | =0.0001). 식재 직전에 모두 제거한 갯버들에서 발생한 잎의 수를 측정된 결과 B 토양이 약 23개로 가장 많은 잎이 발생했고, D 토양에서 18개의 잎이, A와 C 토양에서 15개의 잎이 발생했으며, E 토양과 마사토에서는 각각 13개와 12개의 잎이 발생하여 1 %의 유의차가 있었다(T Prob> | T | =0.0002). 대조구를 포함한 6개 실험구 토양에서 갯버들의 성장을 조사한 결과, B 토양에서 뿌리길이를 제외한 나머지 부위의 생장이 가장 왕성했으며, 대조구인 마사토에서 생장이 저조하였다. B 토양에서는 그림 3-2에서 알 수 있듯이 질소가 1260 ppm으로서 다른 토양에 비해 현저히 많은 양을 포함하고 있었으며, 유효인산은 82.569 ppm을 포함하는 하천토양이다. 따라서 질소의 함량이 다량 포함되어 있던 B 에서 갯버들의 생장이 높았다. 우 등(2001)은 BOD와 NO₃⁻의 농도가 높은 침출수가 증가할수록 이태리 포플러와 자작나무의 수고와 근원경이 촉진되어 침출수의 높은 농도 질소성분이 수목의 수고와 직경생장을 촉진했을 가능성을 보고한 바 있는데, 이는 본 연구의

결과와 일치하였다.

각각의 공시토양에 은사시나무, 낙우송, 족제비싸리, 왕버들을 재배한 후 성장량을 측정한 결과 은사시나무는 침수피해를 입어 시험도중에 많은 개체가 고사하여 시험결과를 도출할 수 없었다. 낙우송, 족제비싸리, 왕버들의 성장량을 측정한 결과는 표 3-3에서 3-5와 그림 3-4에서 3-6에 나타난 바와 같다. 이 수종들의 전반적인 성장량은 갯버들과 같은 경향을 나타내었다. 다만, 낙우송은 삼목증식한 묘목이 충실하지 못하여 시험기간 중에 고사한 개체들이 발생하였고, 식물체의 성장도 다른 수종들에 비해 저조하였다.

각각의 공시토양에 노랑꽃창포를 재배한 후 성장량을 측정한 결과는 그림 3-7과 같이 나타났다. 뿌리길이는 B 토양에서 22.95 cm로 가장 왕성한 성장력을 보여주었고, 다음으로 D와 C 토양이 각각 22.15 cm, 21.85 cm의 순으로 성장하였으며 A 토양은 21.1 cm, E 토양에서 18.61 cm가 성장을 하였다. 그리고 대조구인 마사토에서 15.95 cm의 성장을 나타냈다. 잎길이는 뿌리와 마찬가지로 B 토양에서 60.55 cm로 가장 왕성한 성장을 보여주었고, 다음으로 D와 C 토양에서 59.55 cm, 53.1 cm로 성장을 하였으며, 마사토에서 35.2 cm로 가장 저조한 성장을 보여주었다. 뿌리와 잎의 길이로 본 노랑꽃창포의 전체적인 성장상태는 갯버들과 마찬가지로 질소의 함량이 가장 많았던 B 토양에서 왕성한 성장을 보여주었고 마사토에서 가장 저조한 성장을 보여주었다. 뿌리길이와 잎길이 모두 1%의 유의 차가 있었다($T \text{ Prob} > |T| = 0.0001$ 과 $T \text{ Prob} > |T| = 0.0002$).

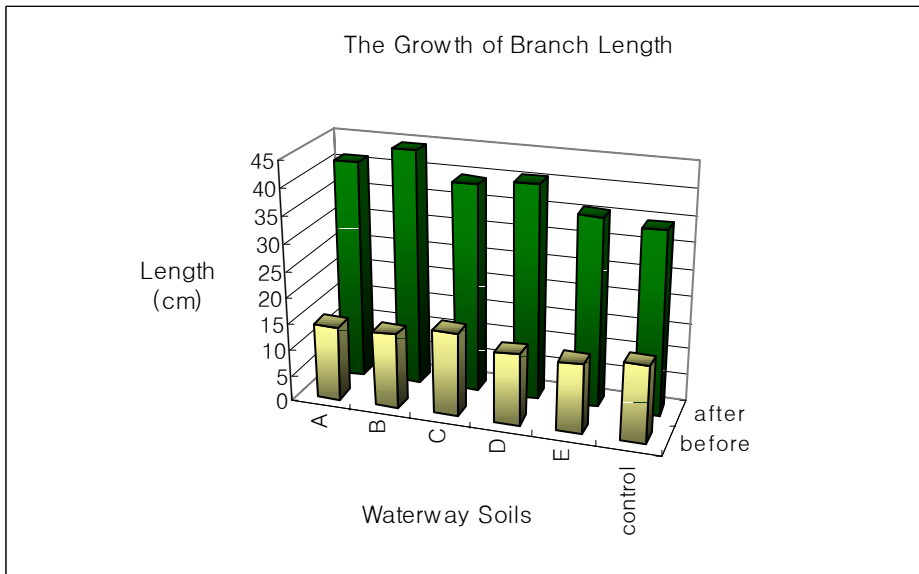
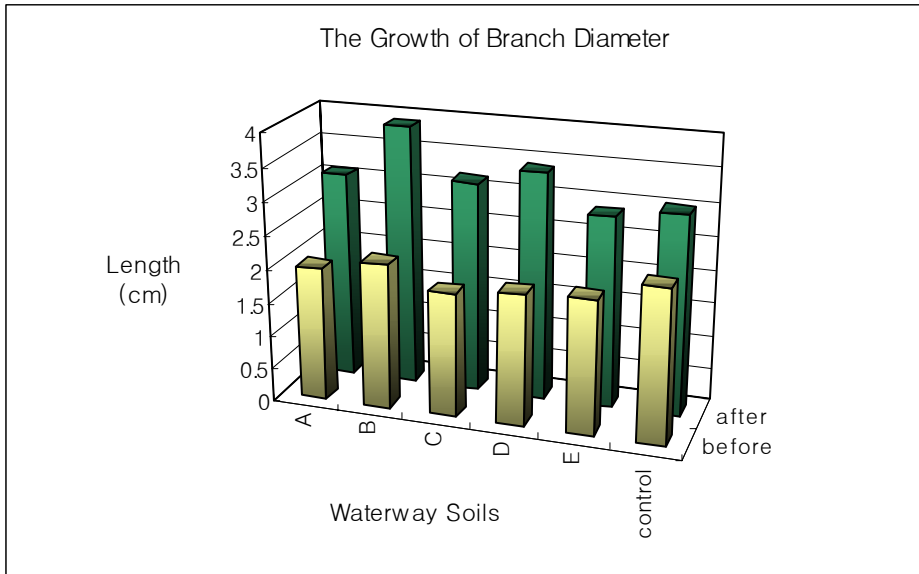


그림 3-3. 갯버들의 부위별 성장량

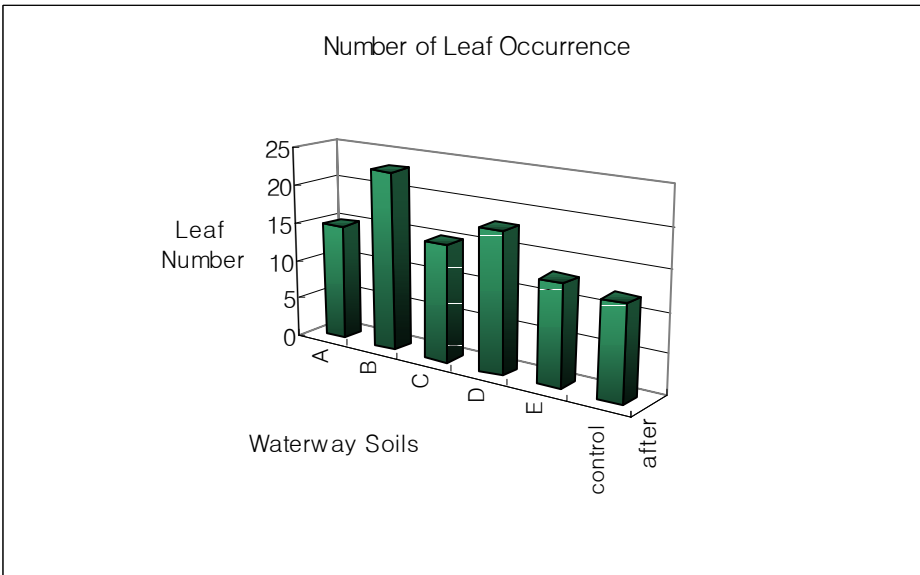
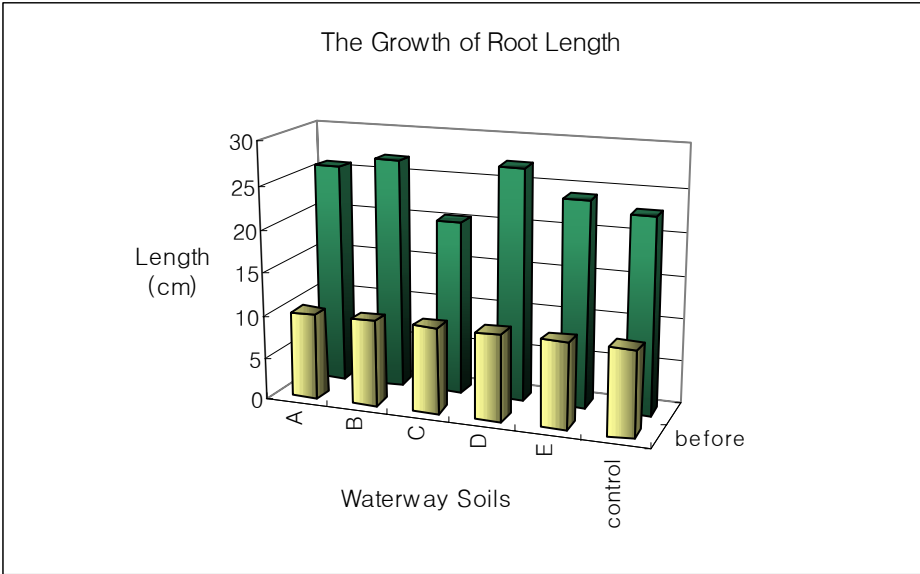


그림 3-3. 갯버들의 부위별 성장량(계속)

표 3-3. 시험토양별 낙우송의 성장량

토양 시료	가지직경		가지길이		뿌리길이		잎수	
	before	after	before	after	before	after	before	after
A	1	1.45	5.32	8.97	10	13.65	0	4
B	1.2	2.05	5.13	8.67	10	14.26	0	5
C	0.8	1.34	5.29	8.84	10	15.36	0	3
D	1.3	1.25	4.98	8.15	10	14.98	0	4
E	1.5	1.26	4.76	8.06	10	13.67	0	3
control	1.4	1.34	5.58	8.96	10	14.98	0	3

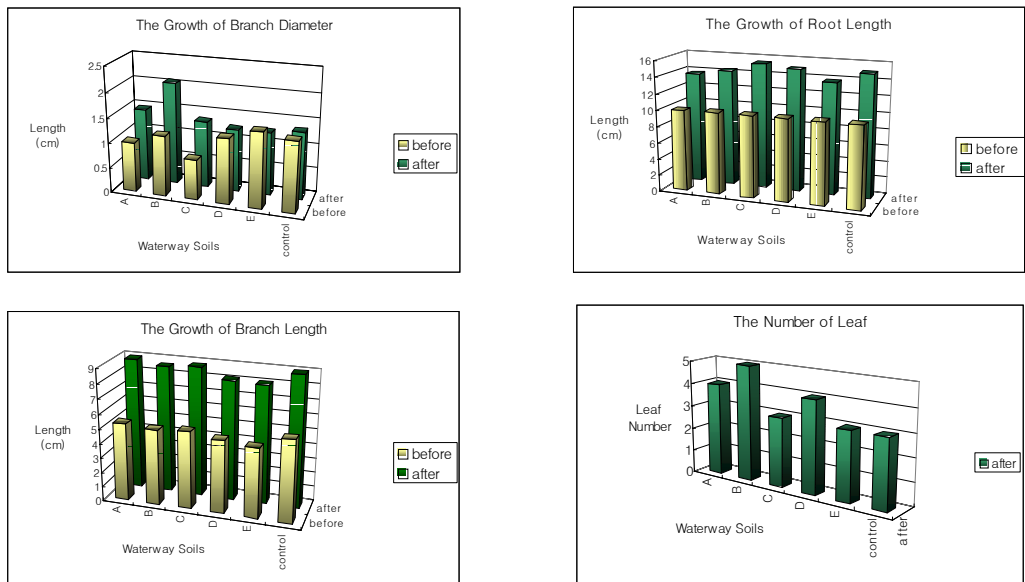


그림 3-4. 낙우송의 부위별 성장량

표 3-4. 시험토양별 죽제비싸리의 성장량

토양 시료	가지직경		가지길이		뿌리길이		잎수	
	before	after	before	after	before	after	before	after
A	1.69	2.94	14.03	42.36	10	29.65	0	16
B	2.13	3.26	14.23	43.21	10	28.64	0	26
C	2.01	3.12	15.69	41.26	10	27.16	0	19
D	1.87	3.36	13.98	43.25	10	29.31	0	17
E	1.79	2.98	14.26	41.03	10	28.64	0	16
control	2.03	3.14	14.36	39.64	10	27.13	0	18

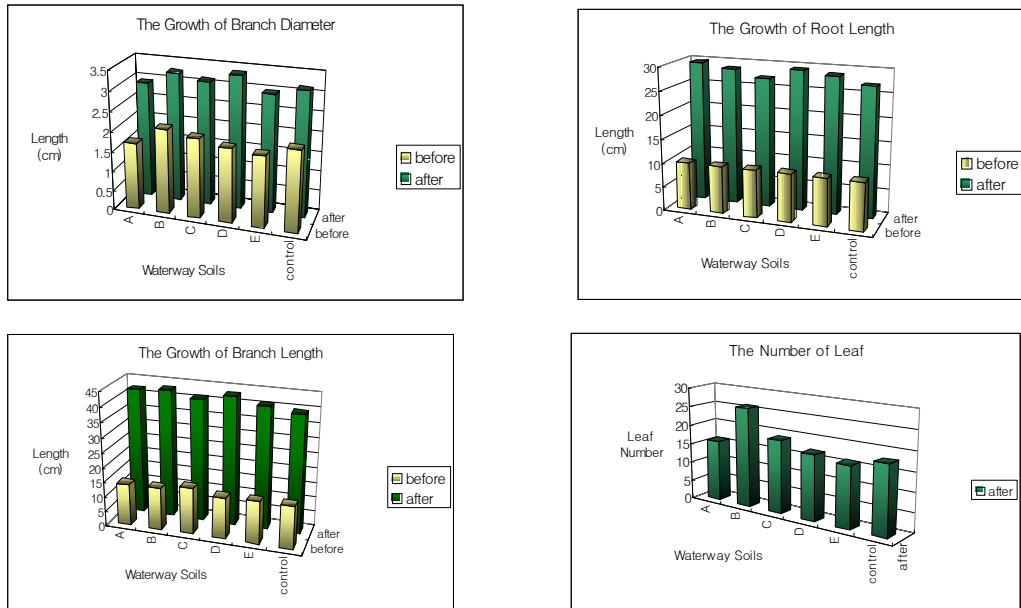


그림 3-5. 죽제비싸리의 부위별 성장량

표 3-5. 시험토양별 왕버들의 성장량

토양 시료	가지직경		가지길이		뿌리길이		잎수	
	before	after	before	after	before	after	before	after
A	2.12	3.26	16.32	44.65	10	30.65	0	19
B	2.64	3.97	16.21	46.32	10	28.69	0	22
C	2.54	3.16	15.98	42.36	10	22.64	0	16
D	2.98	3.56	15.32	43.65	10	29.13	0	21
E	2.34	3.14	16.1	41.32	10	26.39	0	16
control	2.26	3.1	15.69	40.21	10	27.16	0	18

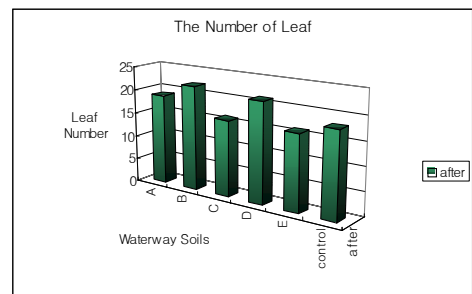
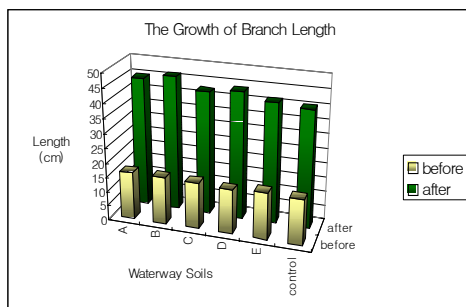
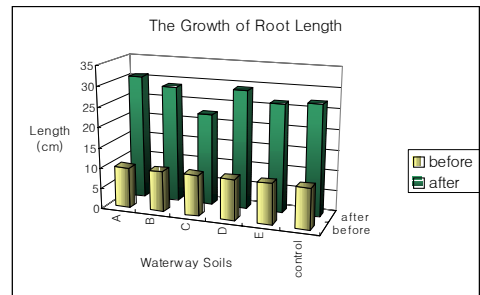
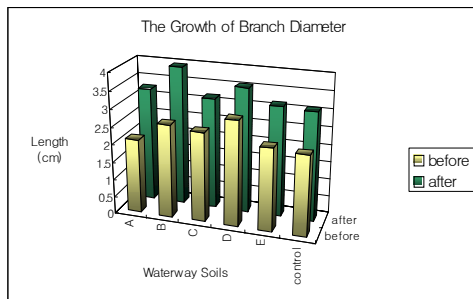


그림 3-6. 왕버들의 부위별 성장량

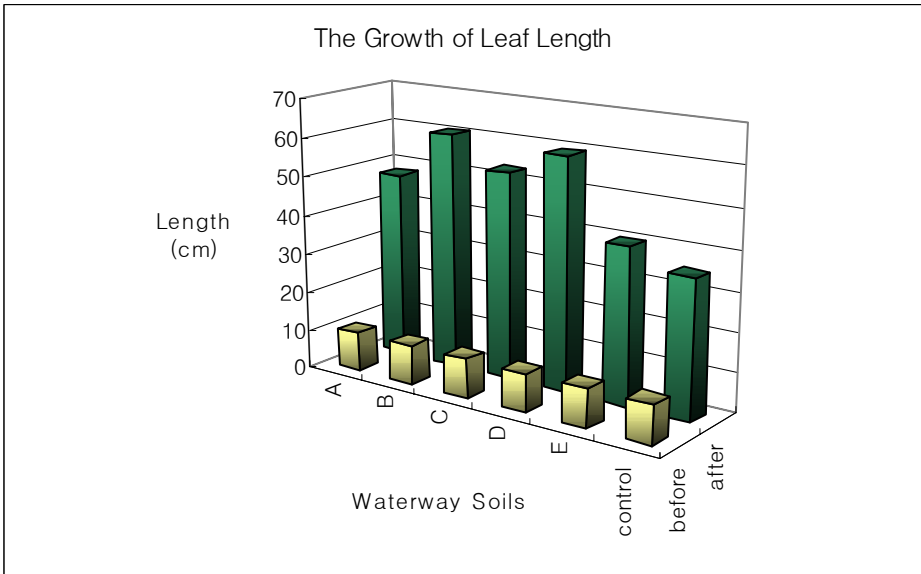
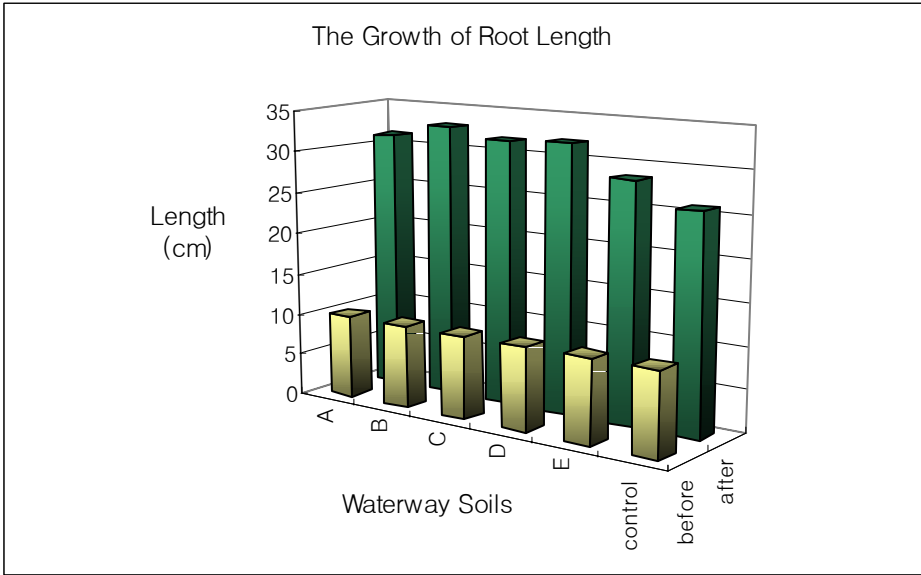


그림 3-7. 노랑꽃창포의 부위별 성장량

전반적으로 갯버들과 노랑꽃창포는 부위별 성장형태가 유사한 경향을 보였다. 뿌리의 길이보다는 잎의 길이 생장이 더 높았으며, 총 질소의 함량이 높았던 하천토양에 재배한 개체의 생장이 더 왕성한 것으로 나타났다. 또한, 대조구인 마사토에서 생장이 모두 가장 저조하였다.

다. 공시식물의 하천토양내 질소, 인의 제거능

1) 하천토양내 질소와 인의 제거량

각기 다른 양의 질소와 인을 함유하고 있는 하천토양이 담긴 포트에 갯버들과 노랑꽃창포를 재배하여 이 두 종의 식물체들이 토양내의 질소와 인을 어느 정도 제거하였는지 분석한 결과 표 3-6과 그림 3-8, 그림 3-9와 같다. 갯버들은 B 토양의 경우 질소함량이 1260 ppm에서 1069 ppm으로 감소되어 하천에 포함되어 있는 전체 질소에 대해 가장 많은 15.15%가 제거되었음을 알 수 있었고, D와 C 토양에서 각각 15 %, 14.80 %의 감소율이 나타났다. A와 E 토양에서는 14.39 %와 14.11 %로 거의 비슷한 수준의 감소율을 나타내었으며, 대조구인 마사토에서는 13.5 %로 가장 적게 제거되었다. 오염된 하천토양에 갯버들을 재배하여 공시토양의 질소함량에 대한 제거율은 각처리구 사이에 1 %수준의 유의차가 있었다($T \text{ Prob} > | T | = 0.0062$).

노랑꽃창포에서는 갯버들과 마찬가지로 B 토양에서 질소의 함량이 1260 ppm였던 것이 실험 후에는 990 ppm으로 21.4 %가 감소되어 시험토양 중 가장 많이 감소되었다. 다음으로 D와 C, A, E 토양에서 각각 20 %, 19.74 %, 19.39 %, 19.21 %의 감소율을 나타냈다. 대조구인 마사토에서는 200 ppm에서 162 ppm으로 19 %의 질소의 감소율을 나타내어 다른 토양에 비해 가장 적게 제거되었다. 노랑꽃창포도 각 처리구 사이에 1 % 수준의 유의차가 나타나($T \text{ Prob} > | T | = 0.0067$), 질소의 제거에 효과적이었음을 알 수 있었다. 하천토양내의 질소의 제거에서 갯버들과 노랑꽃창포 두 종 모두 실험 전의 질소의 함량이 가장 많았던 B 토양에서 가장 많이 감소되었으며, 질소의 함량이 가장 적었던 마사토에서 가장 적게 제거되었음을 알 수 있었다.

각 하천토양에서 갯버들과 노랑꽃창포의 질소제거 경향은 거의 비슷하게 나타났으나, 갯버들은 감소율이 15~13 %의 범위에서 나타났고, 노랑꽃창포는 21~19 %의 범위내에서 감소율이 분포되었다. 이는 하천토양내에서 질소를 흡수·제거하는

것은 갯버들보다 노랑꽃창포가 더 효과적이었음을 보여주고 있다.

유효인산의 제거량을 조사한 결과 갯버들을 재배한 하천토양에서는 D 토양에서 123 ppm에서 109.23 ppm으로 11.19 %의 감소율을 보여 가장 많은 제거량을 보였다. 다음으로 B와 C 토양에서 10.83 %, 10.54 %의 감소율이 나타났으며, E토양과 A 토양은 9.75 %, 9.35 % 씩 제거되었다. 마사토에서는 22.79 ppm에서 20.696 ppm로 2.094ppm(9.18 %)가 제거되었으며, 이는 다른 하천토양에 비해 가장 적게 제거되었다.

표 3-6. 공시식물의 하천토양 내 질소·인의 제거량

Test soils	<i>Iris pseudoacorus</i> L.				<i>Salix gracilistyla</i> Miq.			
	T-N(ppm)		P ₂ O ₅ (ppm)		T-N(ppm)		P ₂ O ₅ (ppm)	
	before	after	before	after	before	after	before	after
A	660	532	24.51	21.275	660	565	24.51	22.216
B	1260	990	82.57	70.846	1260	1069	82.57	73.62
C	770	618	74.83	64.429	770	656	74.83	66.936
D	1060	848	123	104.673	1060	901	123	109.23
E	510	412	39.99	34.554	510	438	39.99	36.096
Control	200	162	22.79	19.828	200	173	22.79	20.696

노랑꽃창포도 D 토양에서는 14.9 %로 다른 하천토양보다 가장 많은 제거율을 나타냈으며, B와 C 토양에서는 각각 14.19 %, 13.89 %씩 감소하였다. E와 A 토양에서는 각각 13.39 %, 13.19 %가 제거되었고, 마사토는 22.79 ppm에서 19.828ppm으로 2.962ppm(12.9%)이 제거되어 가장 적은 제거량을 나타냈다. 갯버들과 노랑꽃창포의 유효인산의 제거효과는 각 처리구 사이에 5%수준의 유의차를 보였다. 이는 버드나무와 포플러를 식재 하여 침출수를 관수시 침출수내의 질소와 인이 높게 제거(J. Kutera and Soroko, M. 1994; H. Obarska-Pempkowiak, 1994)다는 보고와 유

사한 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

질소의 감소경향과 마찬가지로 유효인산의 감소경향도 인의 함량이 많은 시험토양에서 가장 많은 제거량을 나타내었고, 유효인산의 함량이 적은 토양에서 가장 적은 제거량을 나타내었다. 갯버들은 노랑꽃창포보다는 유효인산의 감소율이 적게 나타났는데, 이는 질소의 경우와 마찬가지로 유효인산의 제거 또한 갯버들 보다는 노랑꽃창포가 더 효과적이었음을 알 수 있다.

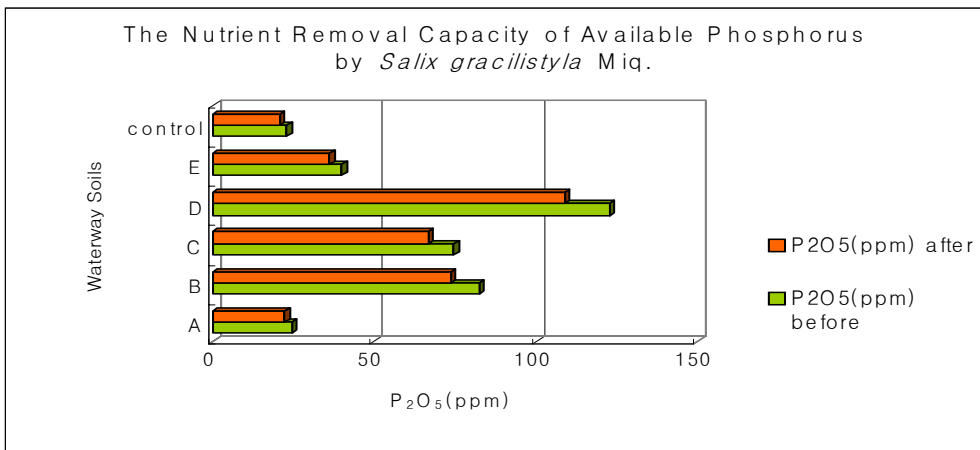
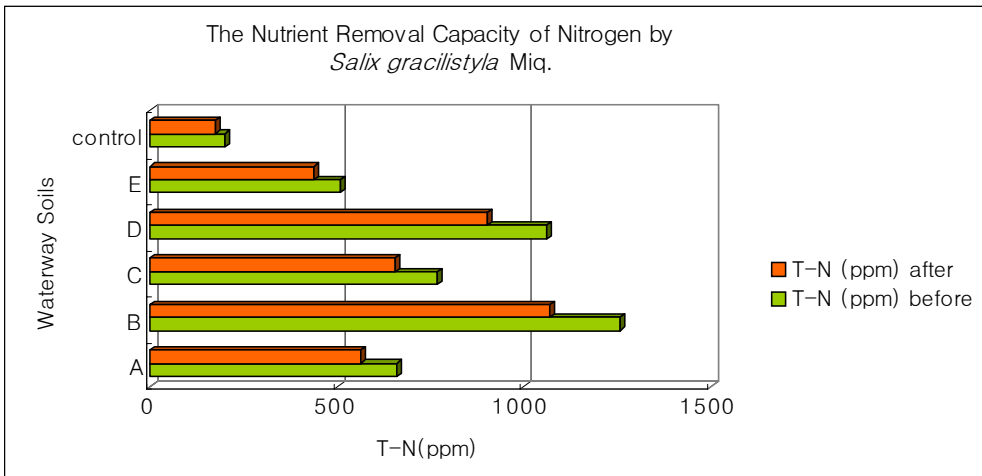


그림 3-8. 갯버들의 하천토양 내 질소와 인의 제거량

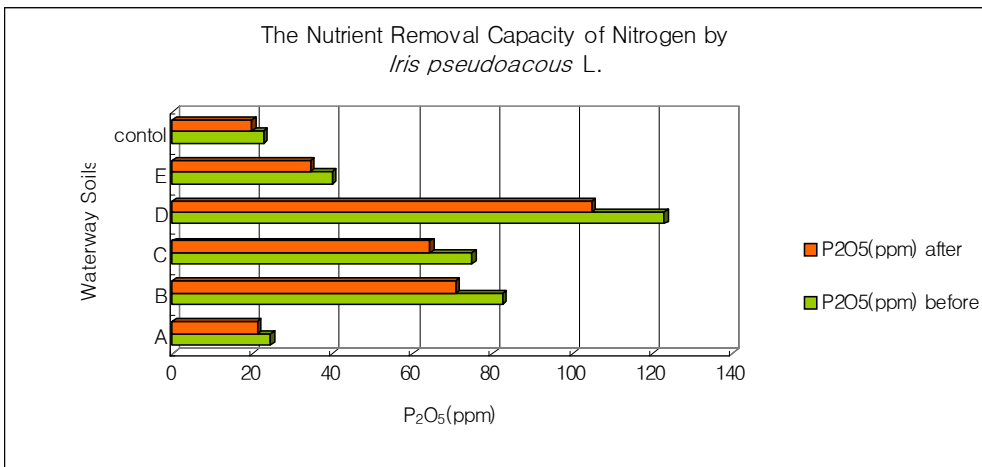
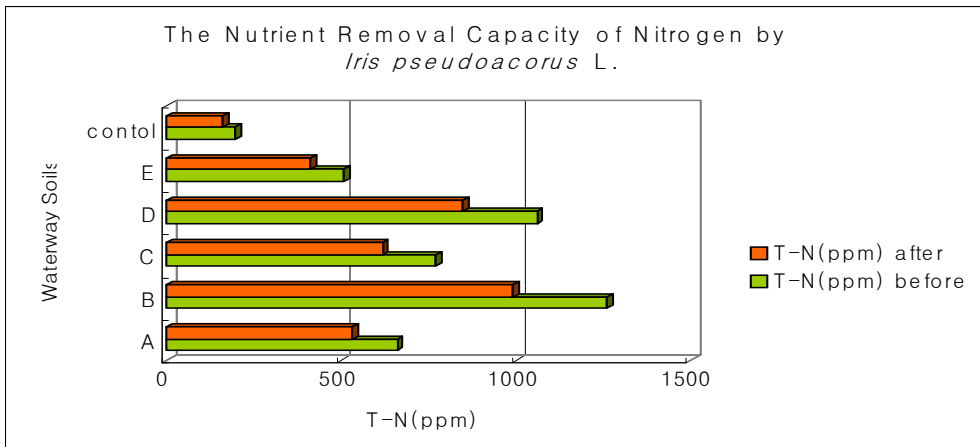


그림 3-9. 노랑꽃창포의 하천토양 내 질소와 인의 제거량

한편, 낙우송, 족제비싸리, 왕버들의 하천토양 내 질소와 인 제거량은 표 3-7에 나타난 바와 같다. 각 수종마다 질소와 인의 제거량은 차이가 있으나 경향은 갯버들과 노랑꽃창포와 비슷하였다. 3가지 수종 중에서 낙우송의 질소·인 제거효과가 가장 낮게 나타났는데, 이것은 시험기간 중에 고사한 식물체가 있었고 묘목의 크기가 다른 수종때문인 것으로 추정된다.

수종별 개체의 크기가 다르기 때문에 수종들 사이에 제거능을 비교하기는 관란할 것으로 사료된다.

표 3-7. 낙우송, 족제비싸리, 왕버들의 하천 토양내 질소·인 제거량

시료명	T-N (ppm)				P2O5(ppm)			
	before	after			before	after		
		낙우송	족제비싸리	왕버들		낙우송	족제비싸리	왕버들
A	660	612	560	570	24.513	23.887	22.014	23.698
B	1260	1108	1058	1082	82.569	77.252	72.653	75.623
C	770	719	630	698	74.828	69.956	68.698	66.258
D	1060	975	889	921	122.993	112.34	108.63	108.26
E	510	503	420	465	39.994	38.317	35.695	37.236
control	200	193	168	182	22.792	21.986	20.459	21.569

2) 하천토양의 질소함량에 따른 식물체내 부위별 질소의 함량

농도가 다른 질소를 함유한 각각의 하천토양에 갯버들과 노랑꽃창포를 재배하여 식물체내의 질소함량변화 상태를 조사한 결과 그림 3-10, 그림 3-11과 같이 나타났

다. 갯버들은 잎과 뿌리, 줄기로 나누어 그 부위별 질소의 함량을 분석하였다. 갯버들 잎의 질소함량은 B 토양에서 1.8940 ppm에서 18998.15 ppm으로 질소의 함량이 0.3 %가 증가하여 다른 시험토양에 비해 많이 증가하였다. 다음으로 D, C, A, E 토양에서 각각 질소함량이 0.28 %, 0.18 %, 0.013 %, 0.10 %씩 증가하였다. 대조구인 마사토에서는 0.05 %로 가장 적은 양이 증가하였다. 뿌리에서는 B 토양이 4200 ppm에서 4210.56 ppm으로 0.25 %가 증가하여 가장 많은 질소함량이 늘어났으며, 반면 E 토양에서는 4200ppm였던 질소가 4199ppm으로 0.023%가 감소 한 것으로

나타났다. 갯버들의 줄기에서는 B 토양에서 13430 ppm에서 13456.4 ppm으로 약 0.17 %가 증가하여 다른 시험토양에 비해 많은 양이 증가된 것으로 나타났다. 하지만, 뿌리에서의 E 토양에서 경우와 마찬가지로 마사토에서는 13430 ppm에서 13428 ppm으로 아주 미량이지만 0.014 %가 감소하였다. 갯버들에 의한 각 하천토양의 질소의 증가율은 뿌리의 마사토와 줄기의 E 토양을 제외하고는 모두 소량씩 증가한 것으로 나타났다. 토양의 경우와 마찬가지로 질소의 함량이 많았던 시험토양에서 질소의 증가율도 높았음을 알 수 있었다. 갯버들의 이러한 질소의 증가량은 각각 있는 갯버들의 질소의 제거효과는 1 % 유의수준($T \text{ Prob} > |T| = 0.0063$)에서, 줄기와 뿌리는 각각 5 % 유의수준에서($T \text{ Prob} > |T| = 0.0323$, $T \text{ Prob} > |T| = 0.0208$) 질소의 제거에 효과적임을 알 수 있었다. 이러한 결과는 이전의 다른 연구에서 양분(질소와 인등)의 유효도를 증가시킬수록 식물체 내 양분의 농도가 증가한 것(Malik, 1998; Sung S.S, 1997)과 유사하게 나타났다. 갯버들의 식물체 부위별 질소의 흡수율은 잎이 가장 높았으며 다음로는 줄기, 뿌리의 순으로 나타났다.

노랑꽃창포는 잎과 뿌리의 질소의 함량을 분석하였다. 먼저 잎의 질소의 함량은 B 토양에서 17810 ppm에서 17950.3 ppm으로 0.79 %가 증가하여 다른 하천토양에 비해 많은 흡수를 하였고 다음으로 D, C, A, E 토양에서 각각 0.58 %, 0.29 %, 0.23 %, 0.0.19 %의 증가를 하였다. 마사토에서는 17810 ppm에서 17820.73 ppm으로 질소의 함량이 0.06 % 증가하여 다른 5개의 시험토양에 비해 증가량이 낮은 것으로 나타났다. 뿌리에서도 마찬가지로 B 토양에서 4760 ppm에서 4806 ppm으로 질소의 함량이 0.97%의 증가율을 나타내어 다른 토양에 비해 많은 증가를 하였고, 마사토에서는 4760ppm에서 4768ppm으로 약 0.17%의 적은 증가율을 나타내었다. 노랑꽃창포의 잎은 5 % 유의수준($T \text{ Prob} > |T| = 0.0245$)에서, 뿌리는 1 % 유의수준($T \text{ Prob} > |T| = 0.0032$)에서 질소의 제거에 효과적임을 알 수 있었다. 노랑꽃창포도 갯버들과 마찬가지로 질소의 함량이 많았던 토양에서 질소의 증가량이 높았으며, 반면에 가장 적었던 토양에서 자란 식물체들의 증가량은 적게 나타났다. 부위별 질소의 증가율은 뿌리보다 잎이 높았다.

갯버들과 노랑꽃창포를 질소의 함량이 다른 하천토양에 식재한 후 재배하여 식물체의 질소함량을 비교한 결과 두 종 모두 미량이 증가한 경향을 나타내었다. 갯버들은 토양내에서 감소된 질소의 함량에 대해 대체로 40 ~ 50 %의 흡수율을 나타내고, 노랑꽃창포는 50 ~ 60 % 흡수율을 보이는 것으로 보아 노랑꽃창포가 갯

버들 보다 질소의 흡수에 더 효과적이라고 사료된다.

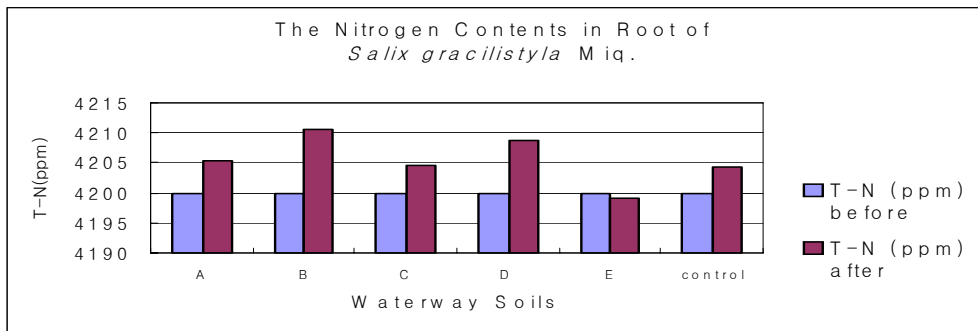
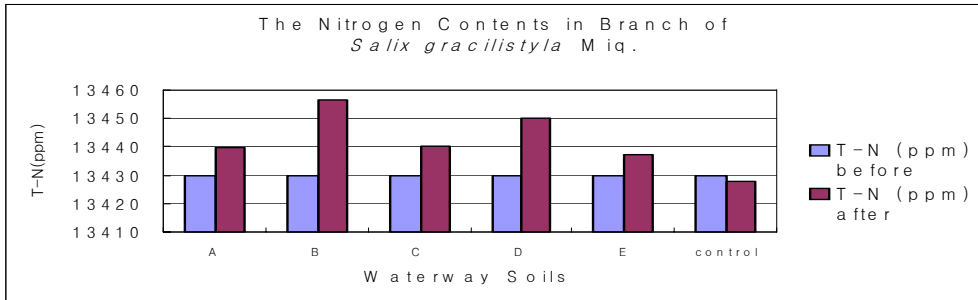
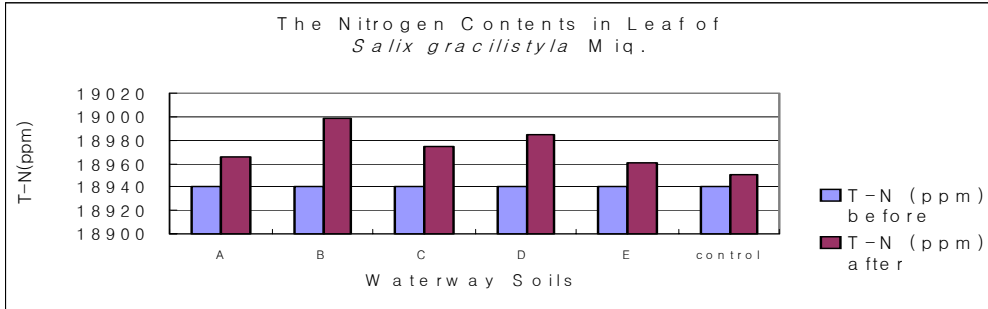


그림 3-10. 갯버들의 부위별 질소함량변화

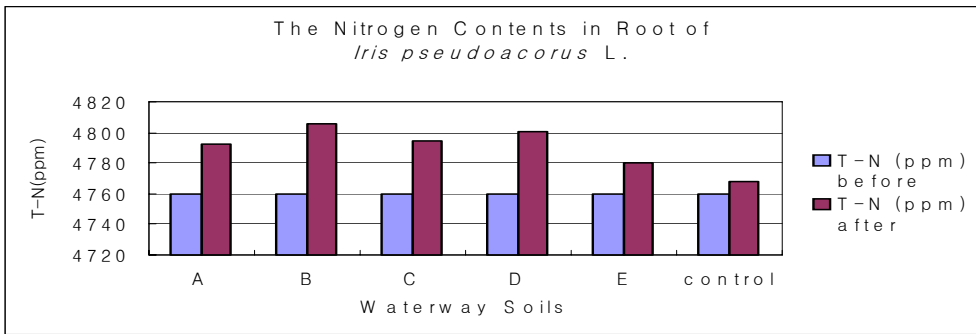
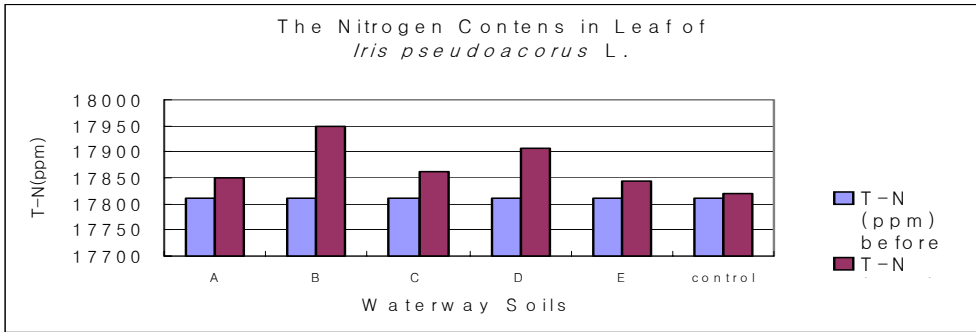


그림 3-11. 노랑꽃창포의 부위별 질소함량변화

3) 하천토양의 유효인산함량에 따른 식물체내 유효인산 함량변화

농도가 다른 유효인산을 함유한 각각의 하천토양에 갯버들과 노랑꽃창포를 재배하여 식물체내 유효인산 함량의 변화상태를 조사한 결과는 그림 3-12와 그림 3-13과 같이 나타났다.

그림에서 보는 바와 같이 갯버들의 잎에서 유효인산은 D 토양에서 2724.31 ppm에서 2724.58 ppm으로 약 0.009 %의 증가율을 나타내 다른 시험토양보다 비교적 많은 양이 증가되었다. 다음으로 B에서 증가율이 0.008 %, A와 E 토양에서 각각 0.007 %, 0.003 %의 증가율을 나타내었다. 마사토에서는 2724.31 ppm에서 2724.37 ppm으로 0.002 %의 증가율이 나타나 6개의 토양 중에서 적은 증가를 하였음을 알 수 있었다. 뿌리에서는 다른 부위에 비해 많은 양이 증가하였는데, D 토양이 5014.31 ppm에서 5019.4 ppm으로 0.092 %가 증가하여 다른 시험토양에 비해 많은 증가량을 보였다. 다음으로 A와 B 토양에서 0.06 %로 비슷하게 증가를 하였고,

마사토에서는 5014.31에서 5014.75 ppm으로 0.008 %가 증가하여 다른 토양에 비해 아주 적은 양이 증가하였다. 줄기에서도 D 토양이 2882.24 ppm에서 2882.84 ppm로 증가율 0.02 %만큼 유효인산의 양이 증가되었다. 다음으로 B, A 와 E, C 토양순으로 증가했으며, 마사토에서는 2882.24 ppm에서 2882.36 ppm으로 가장 적은 0.004 %의 증가율을 보여주었다. 깻버들의 잎과 줄기에서는 각각 1 %의 유의수준($T \text{ Prob} > |T| = 0.0034$ 와 $T \text{ Prob} > |T| = 0.005$)에서, 뿌리는 5 %의 유의수준($T \text{ Prob} > |T| = 0.0146$)에서 보았을 때 하천토양에 대해 유효인산의 제거에 효과적임을 알 수 있었다. 깻버들의 부위별 초기 유효인산의 양은 뿌리>줄기>잎 의 순으로 나타났으며, 그 증가량을 분석한 결과 뿌리에서 잎과 줄기에 비해 많은 양이 증가한 것으로 나타났다. 또한 대체적으로 유효인산의 함량이 많은 토양인 D, B, C 토양에서 식물체내의 증가량 또한 많음을 알 수 있었다.

노랑꽃창포의 경우 잎에서는 D 토양이 4382.59 ppm에서 4384.88 ppm으로 0.052 %의 증가를 나타냈으며, 다음으로 B 토양과 C 토양이 거의 비슷하게 약 0.045 %의 증가율을 나타냈다. 다음으로 마사토와 E토양 순으로 증가하였으며, A 토양에서 4382.59 ppm에서 4383.25 ppm으로 증가율 0.015 %를 나타냈다. 뿌리는 D 토양에서 6988.45 ppm에서 6995.32 ppm으로 0.098 %의 증가율을 보여 다른 토양에 비해 많은 양이 증가되었다. 다음으로 B토양과 C 토양 순으로 증가하였으며, A 토양에서는 6988.45 ppm에서 6989.18 ppm으로 0.01 %의 적은 양이 증가되었다. 이것은 잎과 뿌리가 각각 5 %의 유의수준($T \text{ Prob} > |T| = 0.0109$ 와 $T \text{ Prob} > |T| = 0.03$)에서 보았을 때 하천토양에 대한 유효인산의 제거에 효과적임을 알 수 있었다. 노랑꽃창포도 깻버들과 마찬가지로 잎에 비해 뿌리의 유효인산 증가량이 많음을 알 수 있었다. 또한 유효인산의 함량이 많은 토양인 D, B, C 토양에서 그 증가율도 높음을 알 수 있었다.

유효인산의 농도가 각기 다른 하천토양에서 깻버들과 노랑꽃창포를 재배하여 식물체내 유효인산 함량의 변화를 분석한 결과 두 종 모두 다른 부위에 비해 뿌리에서 많은 양이 증가되었고, 지상부로 갈수록 그 증가량이 감소됨을 알 수 있었다. 본 연구의 이러한 결과는 장기재배 시험에 의한 중금속 오염토양의 식물정화효과 연구(정구복 등, 2002)에서 공시종들이 모든 부위 중 뿌리에서 중금속함량이 가장 많았던 것으로 측정된 사실과 일치하였다.

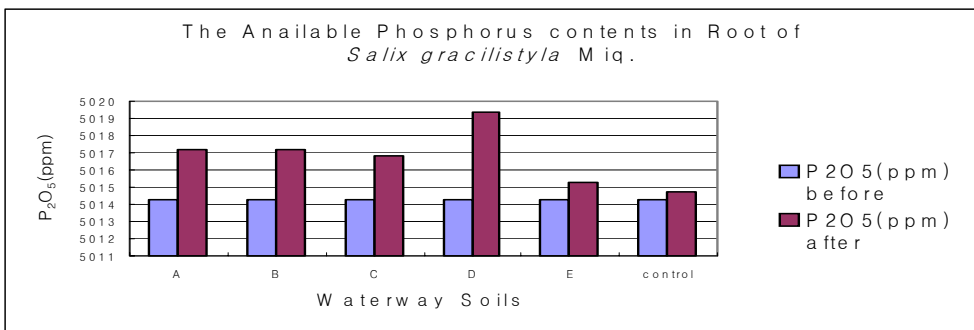
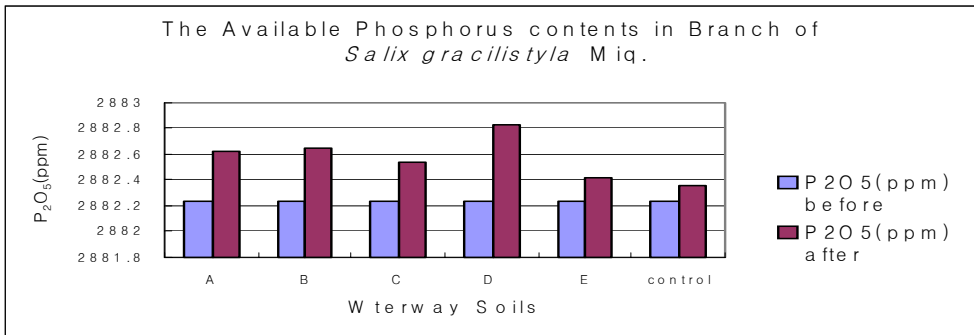
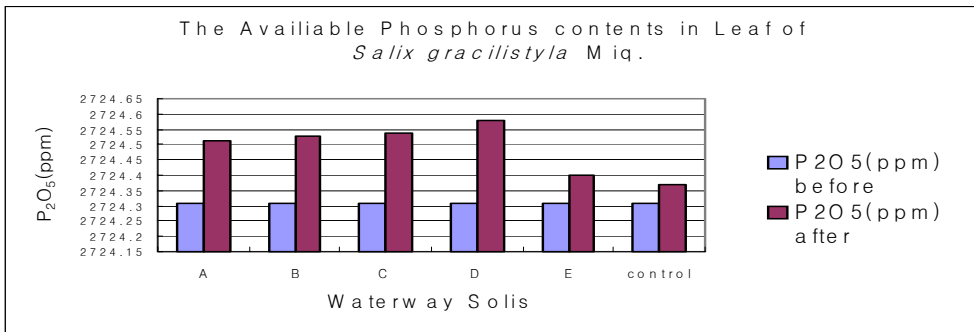


그림 3-12. 갯버들의 부위별 유효인산 함량변화

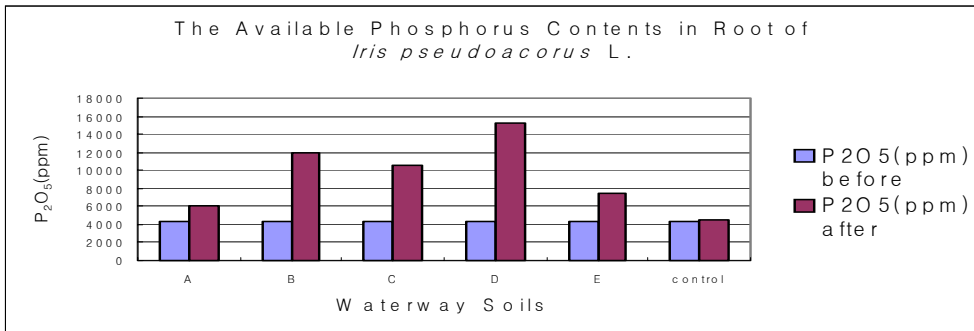
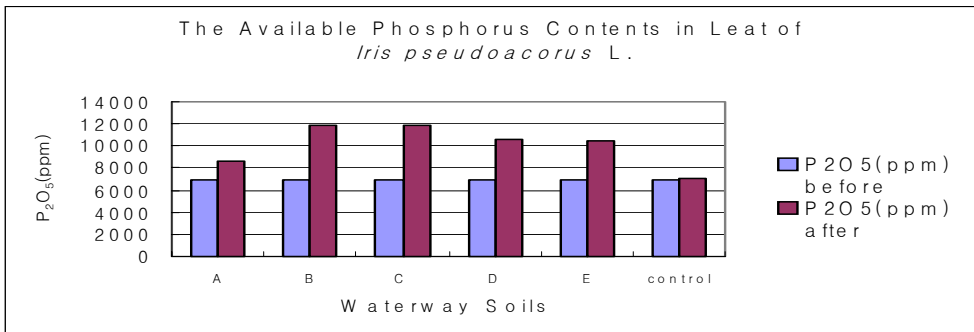


그림 3-13. 노랑꽃창포의 부위별 유효인산 함량변화

2. 식물에 의한 하천수 내 질소·인 제거효과

가. 체류시간에 따른 초본식물의 질소·인 제거효과

1) 노랑꽃창포

가) 질소 제거 효과

노랑꽃창포를 생장기 별로 체류시간 경과에 따른 수중 질소 함량을 분석한 결과는 표 3-8~10 및 그림 3-14~16에 나타난 바와 같다.

노랑꽃창포를 생장기 별로 나누어 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)의 함량을 5ppm, 10ppm, 20ppm으로 조절하여 시간별로 조사한 결과 모든 농도와 생장시기에서 체류 후 1시간 후에 가장 많은 감소율을 보였고 2시간, 3시간, 4시간이 경과하면서 감소율은 극히 조금씩 증가하였다. 이는 노랑꽃창포가 물과 함께 양분을 흡수하는 시간이 단시간에 이루어진 것으로 판단된다. 최성기 20ppm의 경우 시간에 따라 8.74ppm, 7.26ppm,

7.06ppm, 7.02ppm으로 감소율은 56.30%, 63.70%, 64.70%, 64.90% 로 가장 많은 감소율을 보였다.

농도별 흡수·제거율을 보면 시험이 종료된 4시간 후까지 모든 성장단계에서 공통적으로 고농도 시험구일수록 질소의 잔존량이 많았지만, 동시에 고농도일수록 흡수·제거율도 높게 나타났다.

표 3-8. 노랑꽃창포 성장초기의 질소감소량

시간	NO ₃ -N 5ppm	감소율 (%)	NO ₃ -N 10ppm	감소율 (%)	NO ₃ -N 20ppm	감소율 (%)
0	5.00	0.00	10.00	0.00	20.00	0.00
1	4.16	16.80	6.22	37.80	8.95	55.25
2	4.12	17.60	6.03	39.70	8.66	56.70
3	3.97	20.60	6.01	39.90	8.59	57.05
4	3.87	22.60	5.93	40.70	8.49	57.55

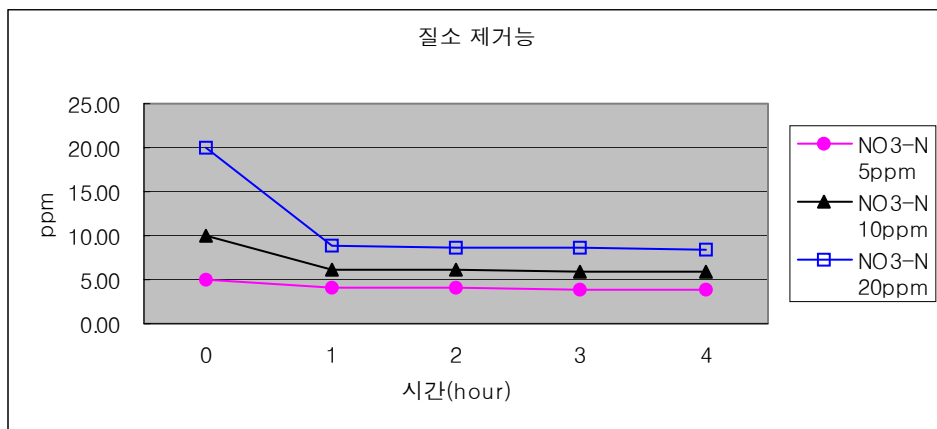


그림 3-14. 노랑꽃창포 성장초기의 질소감소량

표 3-9. 노랑꽃창포 성장기의 질소감소량

시간	NO ₃ -N 5ppm	감소율 (%)	NO ₃ -N 10ppm	감소율 (%)	NO ₃ -N 20ppm	감소율 (%)
0	5.00	0.00	10.00	0.00	20.00	0.00
1	3.96	20.80	6.20	38.00	8.42	57.90
2	3.89	22.20	6.00	40.00	8.57	57.15
3	3.74	25.20	5.95	40.50	8.51	57.45
4	3.61	27.80	5.91	40.90	8.46	57.70

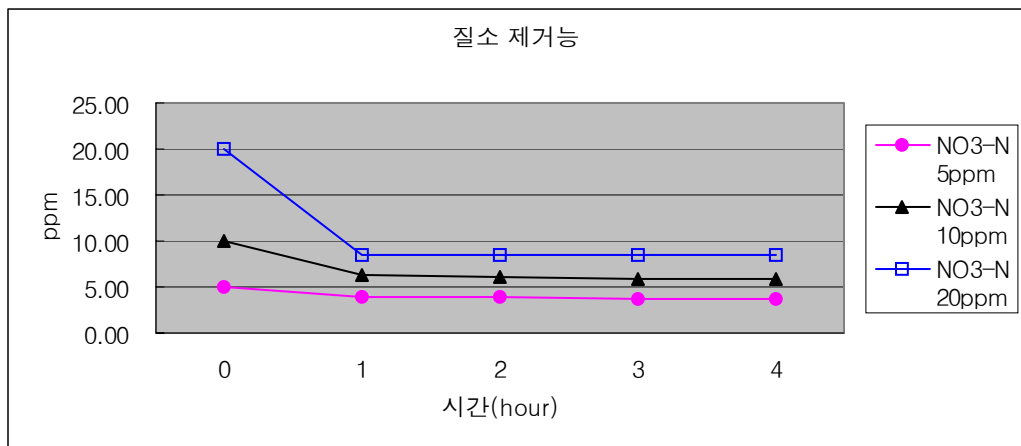


그림 3-15. 노랑꽃창포 성장기의 질소감소량

표 3-10 노랑꽃창포 최성기의 질소감소량

시간	No ₃ -N 5ppm	감소율 (%)	No ₃ -N 10ppm	감소율 (%)	No ₃ -N 20ppm	감소율 (%)
0	5.00	0.00	10.00	0.00	20.00	0.00
1	3.87	22.60	6.15	38.50	8.74	56.30
2	3.72	25.60	5.92	40.80	7.26	63.70
3	3.59	28.20	5.94	40.60	7.06	64.70
4	3.56	28.80	5.81	41.90	7.02	64.90

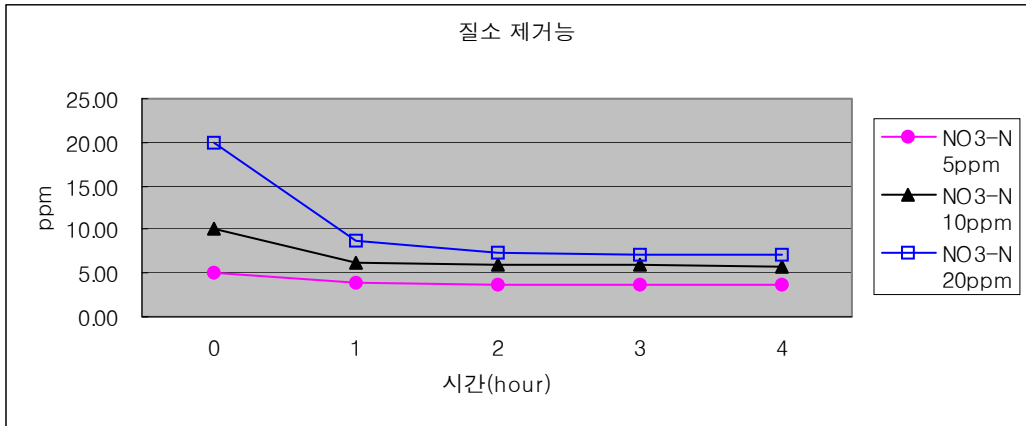


그림 3-16. 노랑꽃창포 최성기의 질소감소량

나) 인 제거 효과

노랑꽃창포의 생장시기별로 체류시간 경과에 따른 인 함량을 분석한 결과는 표 3-11~13 및 그림 3-17~19에 나타난 바와 같다.

노랑꽃창포를 생장기 별로 나누어 인 함량을 0.5ppm, 1ppm, 2ppm으로 조절하여 시간별로 조사한 결과 질소와 마찬가지로 체류 1시간 후에 가장 많은 감소율을 보였고 2시간, 3시간, 4시간이 경과하면서 감소율은 극히 조금씩 증가하였다.

인도 질소와 마찬가지로 단시간 내에 흡수되는 것으로 판단되며 최성기 2ppm의 경우 시간에 따라 1.623ppm, 1.542ppm, 1.470ppm, 1.398ppm으로 감소율은 18.85%, 22.90%, 26.50%, 30.10%로 가장 많은 감소율을 보였다. 그러나 같은 농도, 시간에서 감소율이 56.30%, 63.70%, 64.70%, 64.90%인 질소에 비하면 인의 감소율은 더 작았다.

농도별 흡수·제거율을 보면 질소의 경우와 마찬가지로 고농도 시험구일수록 인의 잔존량이 많았지만, 동시에 고농도일수록 흡수·제거율도 높게 나타났다.

표 3-11. 노랑꽃창포 성장초기의 인감소량

시간	T-P 0.5ppm	감소율 (%)	T-P 1ppm	감소율 (%)	T-P 2ppm	감소율 (%)
0	0.500	0.00	1.000	0.00	2.000	0.00
1	0.442	11.60	0.870	13.00	1.742	12.90
2	0.432	13.60	0.852	14.80	1.691	15.45
3	0.426	14.80	0.841	15.90	1.682	15.90
4	0.422	15.60	0.836	16.40	1.660	17.00

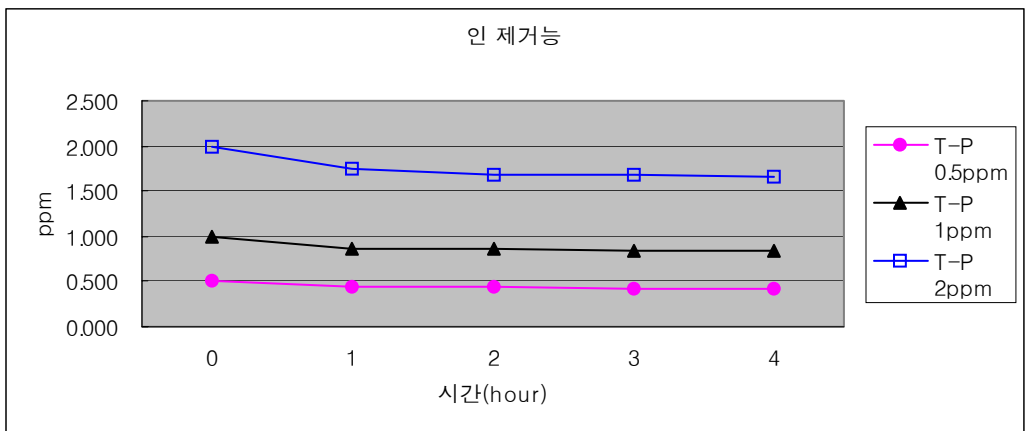


그림 3-17. 노랑꽃창포 성장초기의 인감소량

표 3-12. 노랑꽃창포 성장기의 인감소량

시간	T-P 0.5ppm	감소율 (%)	T-P 1ppm	감소율 (%)	T-P 2ppm	감소율 (%)
0	0.500	0.00	1.000	0.00	2.000	0.00
1	0.411	17.74	0.823	17.70	1.625	18.75
2	0.408	18.40	0.814	18.60	1.544	22.80
3	0.401	19.80	0.798	20.20	1.470	26.50
4	0.391	21.80	0.765	23.50	1.401	29.95

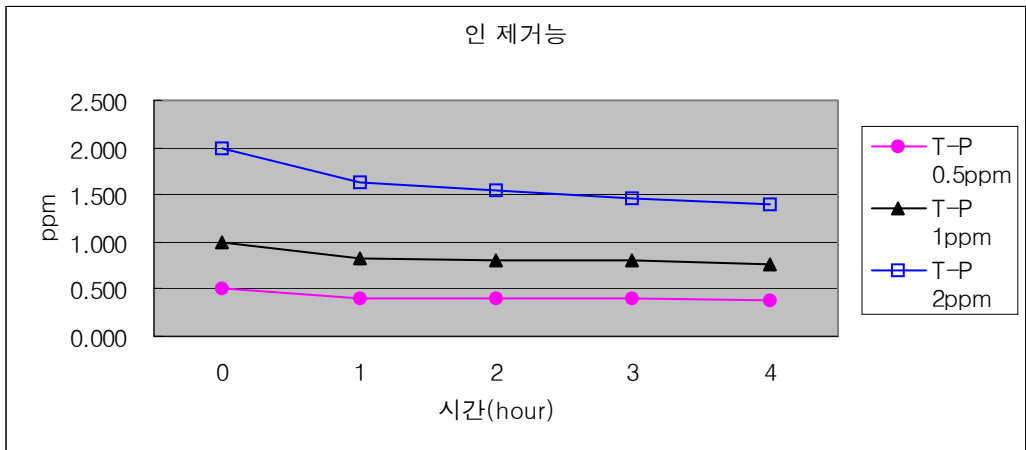


그림 3-18. 노랑꽃창포 성장기의 인감소량

표 3-13. 노랑꽃창포 최성기의 인 감소량

시간	T-P 0.5ppm	감소율 (%)	T-P 1ppm	감소율 (%)	T-P 2ppm	감소율 (%)
0	0.500	0.00	1.000	0.00	2.000	0.00
1	0.410	18.00	0.822	17.80	1.623	18.85
2	0.407	18.60	0.814	18.60	1.542	22.90
3	0.400	20.00	0.797	20.30	1.470	26.50
4	0.390	22.00	0.763	23.70	1.398	30.10

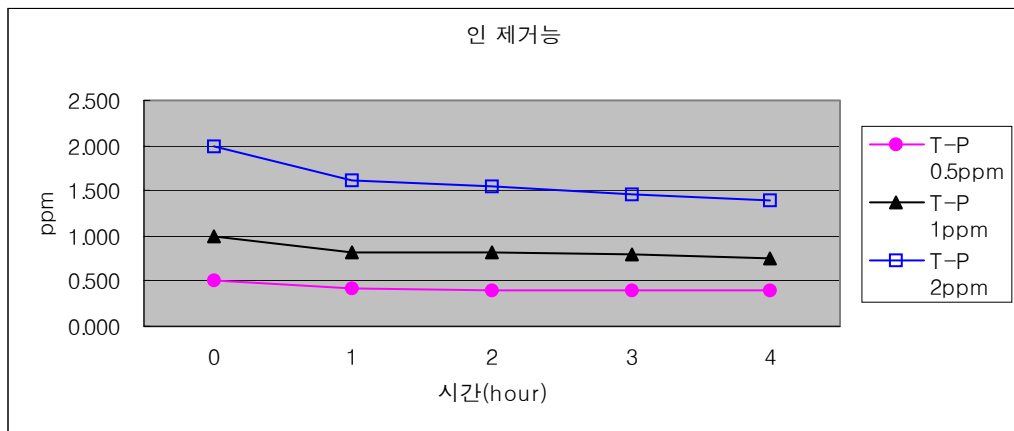


그림 3-19. 노랑꽃창포 최성기의 인감소량

2) 창포

가) 질소 제거효과

창포의 성장시기별로 체류시간 경과에 따른 질소 함량을 분석한 결과는 표 3-14~16 및 그림 3-20~22에 나타난 바와 같다.

창포를 성장기 별로 나누어 질소의 함량을 5ppm, 10ppm, 20ppm으로 조절하여 시간별로 조사한 결과 모든 농도와 성장시기에서 체류 1시간 후에 가장 많은 감소율을 보였고 2시간, 3시간, 4시간이 경과하면서 감소율은 극히 조금씩 증가하였다. 이는 노랑꽃창포와 같은 경향이라 판단된다. 창포는 최성기 20ppm의 경우 시간에 따라 9.28ppm, 8.64ppm, 8.44ppm, 8.39ppm으로 감소율은 53.60%, 56.80%, 57.80%, 58.05%로 가장 많은 감소율을 보였다.

농도별 흡수·제거율을 보면 시험이 종료된 4시간 후까지 모든 성장단계에서 공통적으로 고농도 시험구일수록 질소의 잔존량이 많았지만, 동시에 고농도일수록 흡수·제거율도 높게 나타났다. 이것은 노랑꽃창포와 같은 경향이였다.

표 3-14. 창포 성장초기의 질소 감소량

시간	NO ₃ -N 5ppm	감소율 (%)	NO ₃ -N 10ppm	감소율 (%)	NO ₃ -N 20ppm	감소율 (%)
0	5.00	0.00	10.00	0.00	20.00	0.00
1	4.06	18.80	6.33	36.70	9.52	52.40
2	3.85	23.00	6.15	38.50	8.98	55.10
3	3.71	25.80	6.11	38.90	8.97	55.15
4	3.69	26.20	6.01	39.90	8.94	55.30

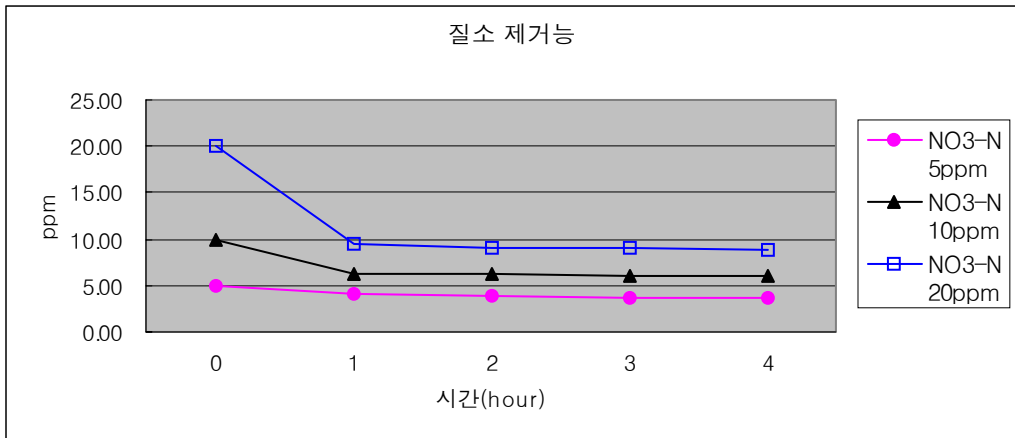


그림 3-20. 창포 성장초기의 질소감소량

표 3-15. 창포 성장기의 질소 감소량

시간	NO ₃ -N 5ppm	감소율 (%)	NO ₃ -N 10ppm	감소율 (%)	NO ₃ -N 20ppm	감소율 (%)
0	5.00	0.00	10.00	0.00	20.00	0.00
1	4.01	19.80	6.27	37.30	9.43	52.85
2	3.84	23.20	6.10	39.00	8.75	56.25
3	3.72	25.60	6.05	39.50	8.71	56.45
4	3.69	26.20	6.02	39.80	8.63	56.85

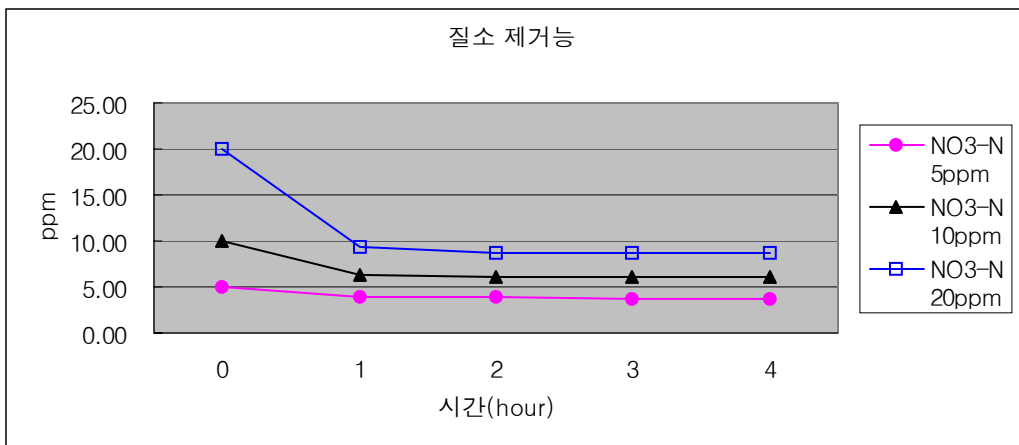


그림 3-21. 창포 성장기의 질소감소량

표 3-16. 창포 최성기의 질소 감소량

시간	NO ₃ -N 5ppm	감소율 (%)	NO ₃ -N 10ppm	감소율 (%)	NO ₃ -N 20ppm	감소율 (%)
0	5.00	0.00	10.00	0.00	20.00	0.00
1	3.90	22.00	6.20	38.00	9.28	53.60
2	3.77	24.60	6.05	39.50	8.64	56.80
3	3.67	26.60	5.99	40.10	8.44	57.80
4	3.64	27.20	5.97	40.30	8.39	58.05

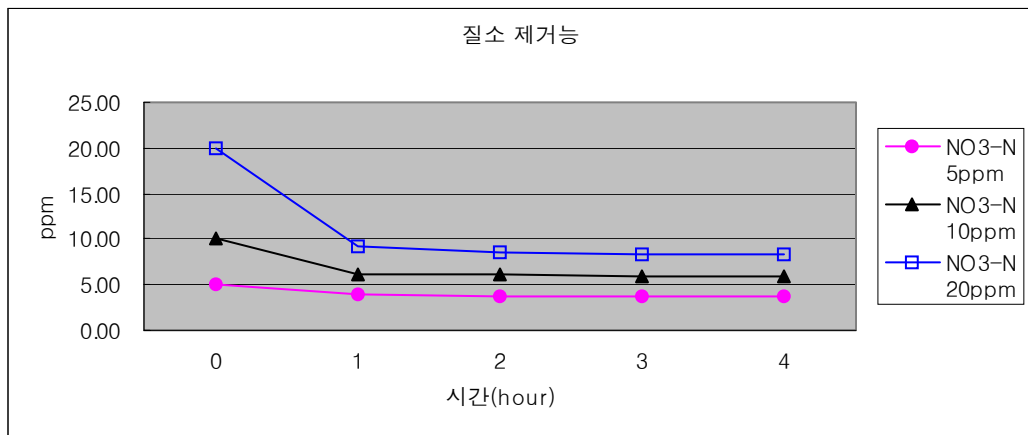


그림 3-22. 창포 최성기의 질소감소량

나) 인 제거효과

창포의 성장시기별로 시간 경과에 따른 인 함량을 분석한 결과는 표 3-17~19 및 그림 3-23~25에 나타난 바와 같다.

창포를 성장기 별로 나누어 인의 함량을 0.5ppm, 1ppm, 2ppm으로 조절하여 시간별로 조사한 결과 모든 농도와 성장시기에서 채류 1시간 후에 가장 많은 감소율

을 보였고 2시간, 3시간, 4시간이 경과하면서 감소율은 극히 조금씩 증가하였다. 이는 노랑꽃창포와 같은 경향이었고 창포는 최성기 20ppm의 경우 시간에 따라 1.623ppm, 1.542ppm, 1.470ppm, 1.398ppm으로 감소율은 18.85%, 22.90%, 26.50%, 30.10%로 가장 많은 감소율을 보였다. 창포도 최성기, 20ppm에서 질소의 감소율인 53.60%, 56.80%, 57.80%, 58.05%에 비하여 낮았다.

농도별 흡수·제거율을 보면 질소의 경우와 마찬가지로 고농도 시험구일수록 인의 잔존량이 많았지만, 동시에 고농도일수록 흡수·제거율도 높게 나타났다. 이것은 노랑꽃창포와 같은 경향이였다.

표 3-17. 창포 성장초기의 인 감소량

시간	T-P 0.5ppm	감소율 (%)	T-P 1ppm	감소율 (%)	T-P 2ppm	감소율 (%)
0	0.500	0.00	1.000	0.00	2.000	0.00
1	0.450	10.00	0.897	10.30	1.791	10.45
2	0.439	12.20	0.875	12.50	1.712	14.40
3	0.432	13.60	0.869	13.10	1.710	14.50
4	0.430	14.00	0.859	14.10	1.706	14.70

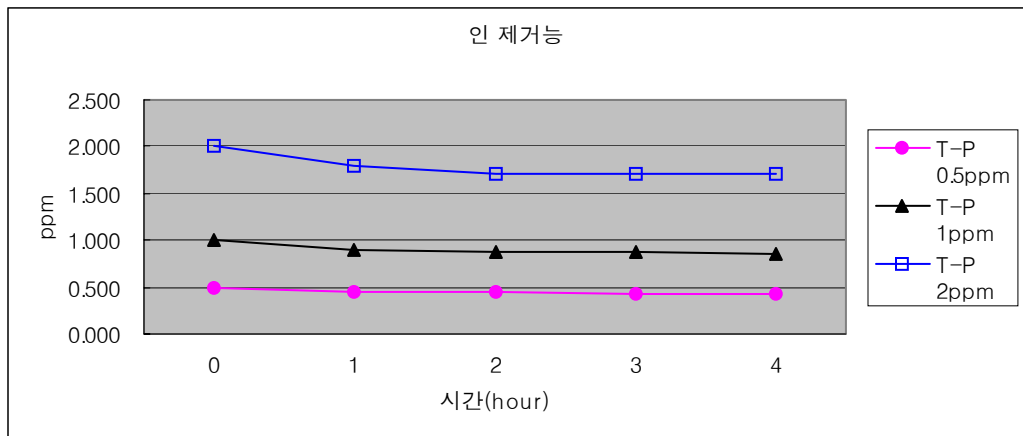


그림 3-23. 창포 성장초기의 인 감소량

표 3-18. 창포 성장기의 인 감소량

시간	T-P 0.5ppm	감소율 (%)	T-P 1ppm	감소율 (%)	T-P 2ppm	감소율 (%)
0	0.500	0.00	1.000	0.00	2.000	0.00
1	0.441	11.80	0.849	15.10	1.719	14.05
2	0.430	14.00	0.824	17.60	1.623	18.85
3	0.425	15.00	0.819	18.10	1.589	20.55
4	0.421	15.80	0.815	18.50	1.506	24.70

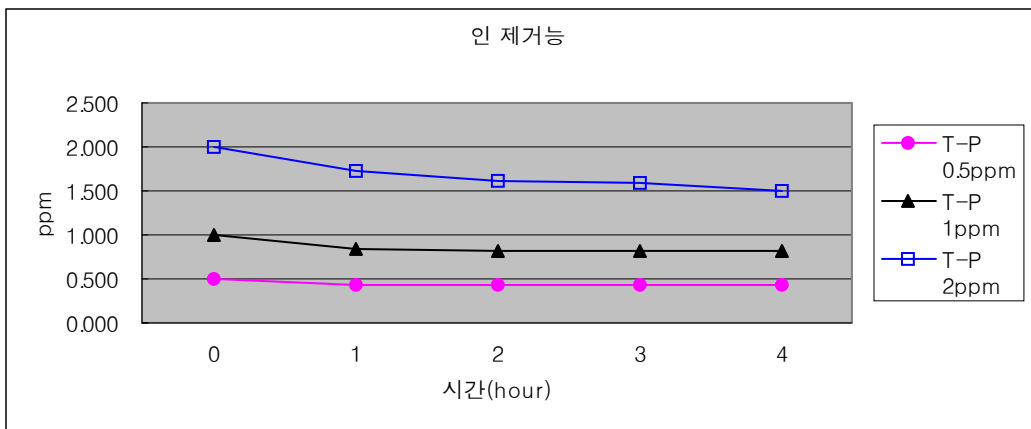


그림 3-24. 창포 성장기의 인 감소량

표 3-19. 창포 최성기의 인 감소량

시간	T-P 0.5ppm	감소율 (%)	T-P 1ppm	감소율 (%)	T-P 2ppm	감소율 (%)
0	0.500	0.00	1.000	0.00	2.000	0.00
1	0.429	14.20	0.835	16.50	1.765	11.75
2	0.421	15.80	0.817	18.30	1.659	17.05
3	0.416	16.80	0.805	19.50	1.542	22.90
4	0.411	17.80	0.801	19.90	1.499	25.05

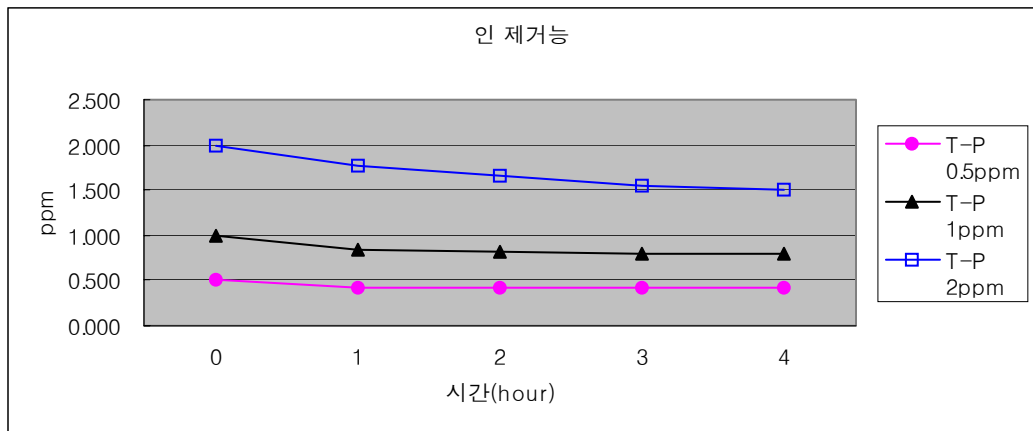


그림 3-25. 창포 최성기의 인 감소량

나. 초본식물의 성장단계에 따른 질소·인 제거효과

1) 노랑꽃창포

가) 질소 제거효과

노랑꽃창포의 성장단계별 질소의 감소율을 보면 큰 차이는 없으나 성장초기에서 생장기, 최성기로 갈수록 감소율은 증가하고 있으며 4시간이 경과한 후의 잔류량도 최성기로 갈수록 적었다. 이는 생장이 계속될수록 초장과 엽수, 그리고 분얼포기수가 증가하여 개체 전체의 엽면적이 증가하므로 흡수할 수 있는 능력이 커지기 때문인 것으로 추정된다. 또한 질소함량이 가장 많은 20ppm의 시험구에서 생장 최성기

때의 흡수효과가 큰 것으로 나타났다(그림 3-26~28 참조).

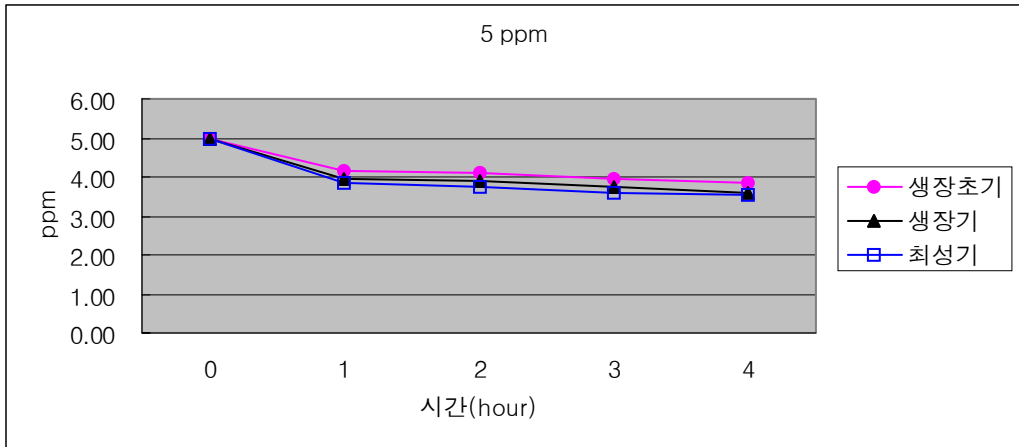


그림 3-26. 노랑꽃창포의 성장단계별 질소 감소량(5ppm)

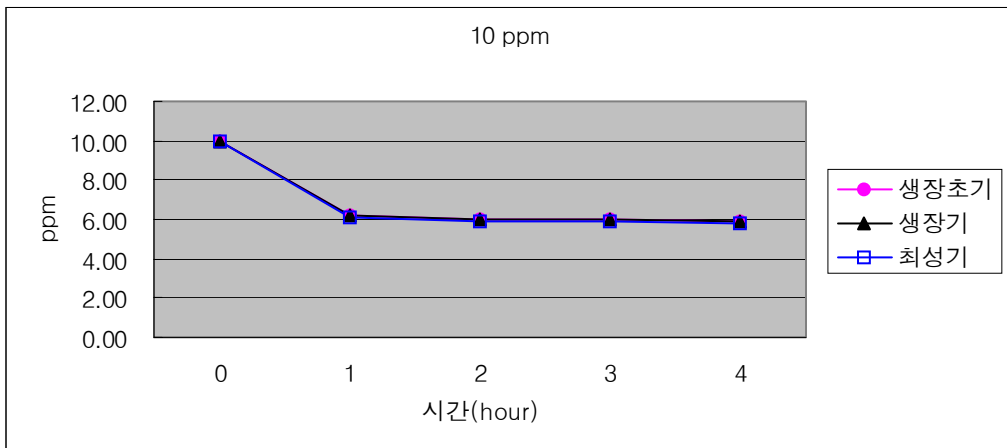


그림 3-27. 노랑꽃창포의 성장단계별 질소 감소량(10ppm)

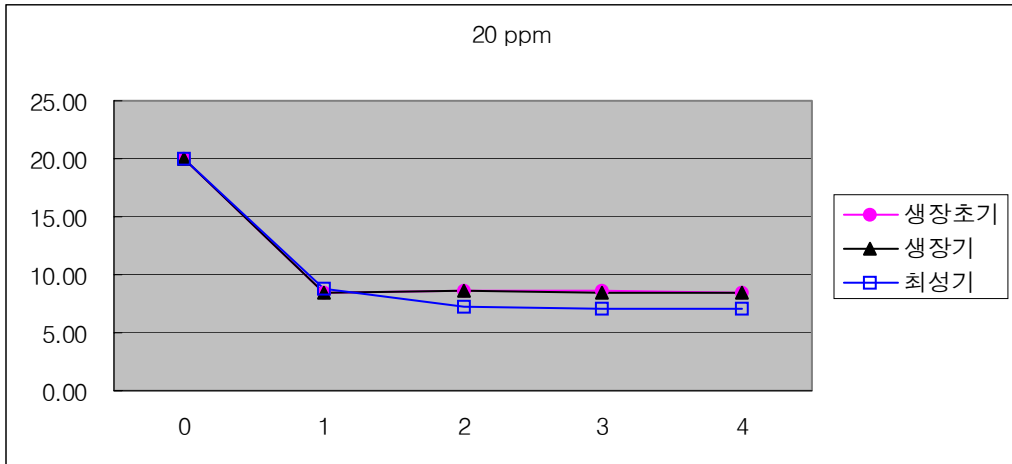


그림 3-28. 노랑꽃창포의 성장단계별 질소 감소량(20ppm)

나) 인 제거효과

노랑꽃창포의 성장단계별 인의 감소율을 보면 성장초기에서 생장기, 최성기로 갈수록 감소율은 증가하고 있으며 4시간이 경과한 후의 잔류량은 최성기로 갈수록 적었다. 이는 질소와 같은 이유라 추정된다(그림 3-29~31 참조).

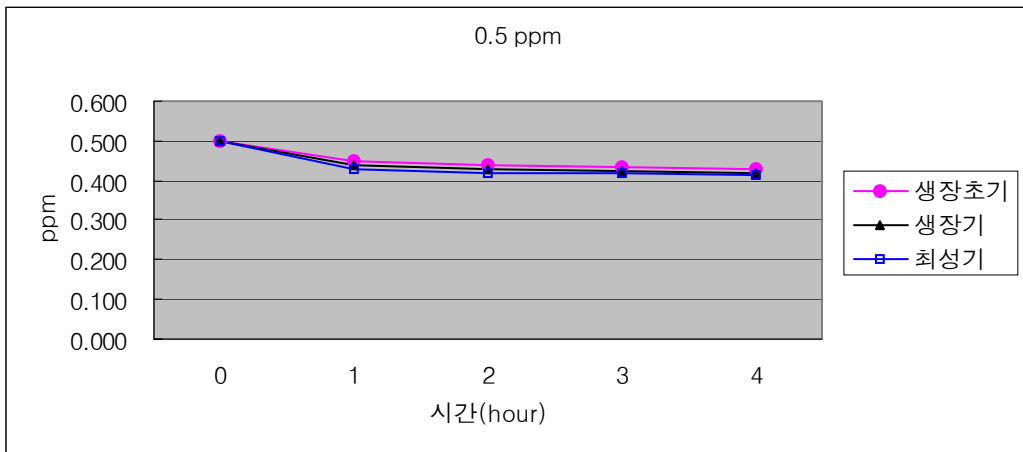


그림 3-29. 노랑꽃창포의 성장단계별 인 감소량(0.5ppm)

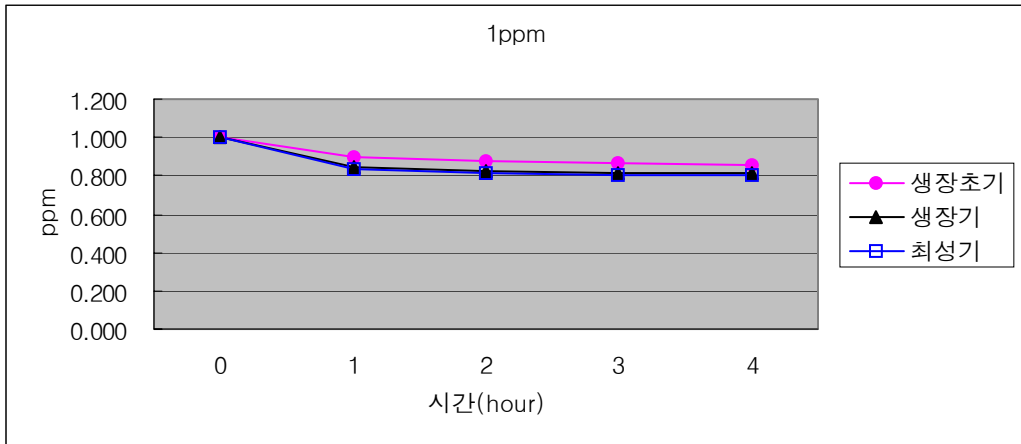


그림 3-30. 노랑꽃창포의 성장단계별 인 감소량(1ppm)

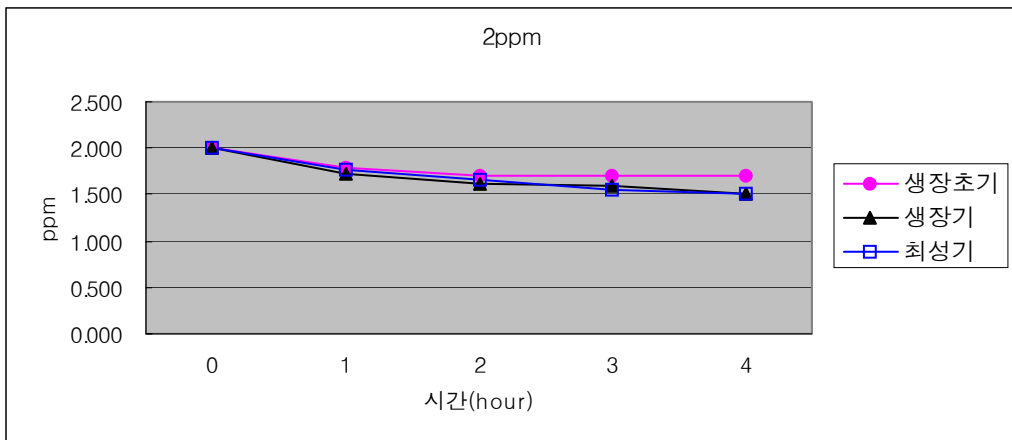


그림 3-31. 노랑꽃창포의 성장단계별 인 감소량(2ppm)

2) 창포

가) 질소 제거효과

창포의 성장단계별 질소의 감소율을 보면 노랑꽃창포와 비슷하게 성장초기에서 생장기, 최성기로 갈수록 감소율은 증가하고 있으며 4시간이 경과한 잔류량은 최성기로 갈수록 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 노랑꽃창포와 같은 원인으로 생각한다 (그림 3-32~34 참조).

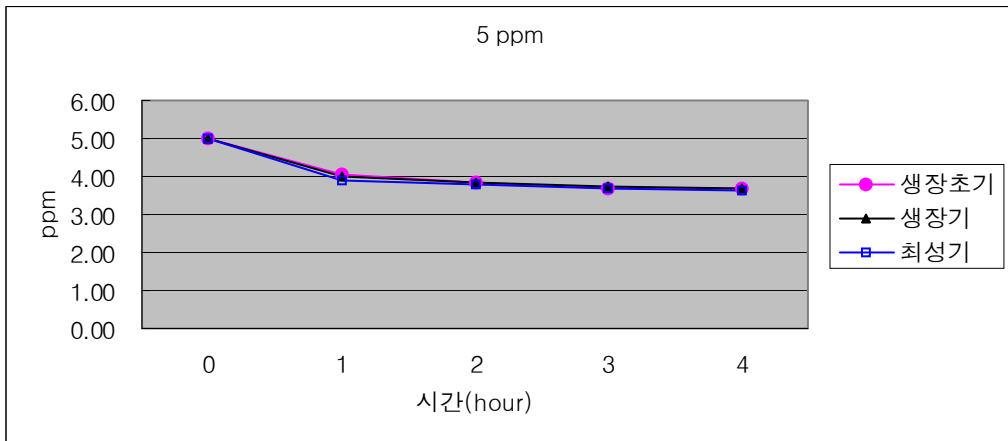


그림 3-32. 창포의 성장단계별 질소감소량(5ppm)

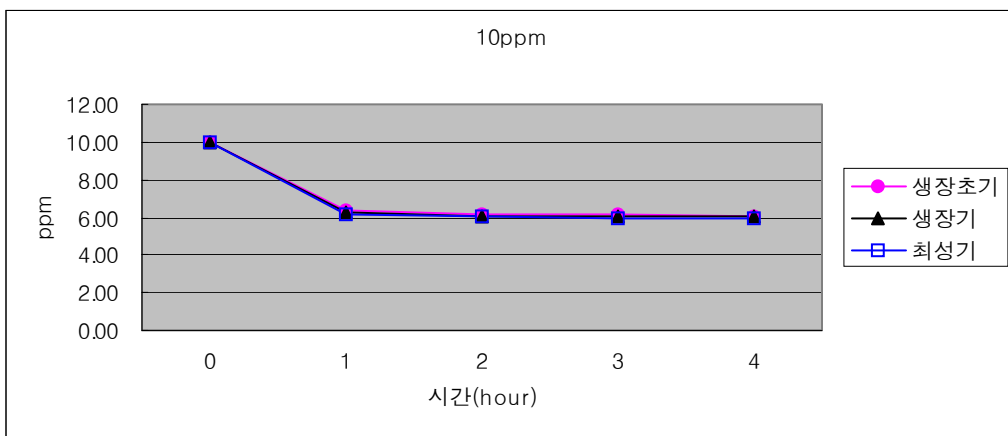


그림 3-33. 창포의 성장단계별 질소감소량(10ppm)

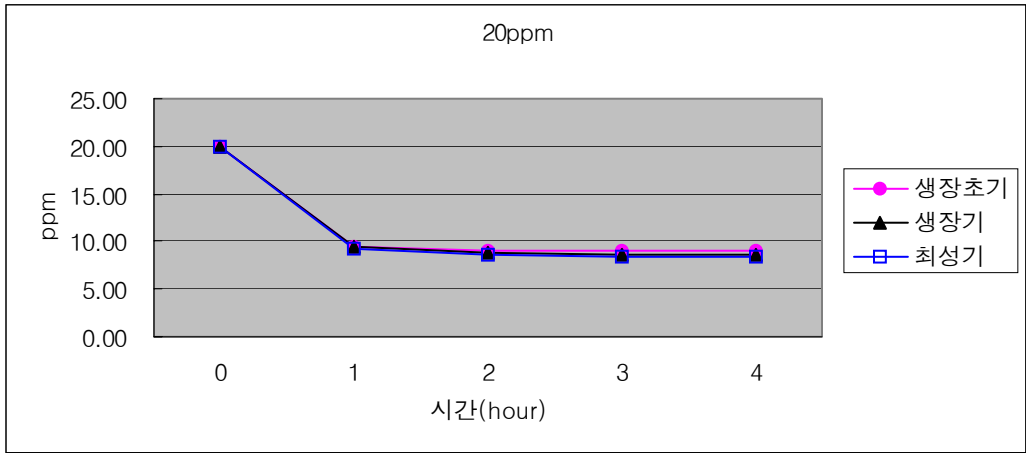


그림 3-34. 창포의 성장단계별 질소감소량(20ppm)

나) 인 제거효과

창포의 성장단계별 인의 감소율을 보면 노랑꽃창포와 비슷하게 성장초기에서 생장기, 최성기로 갈수록 감소율은 증가하고 있으며 4시간이 경과한 후의 잔류량도 최성기로 갈수록 적은 경향을 나타내고 있다(그림 3-35~37 참조).

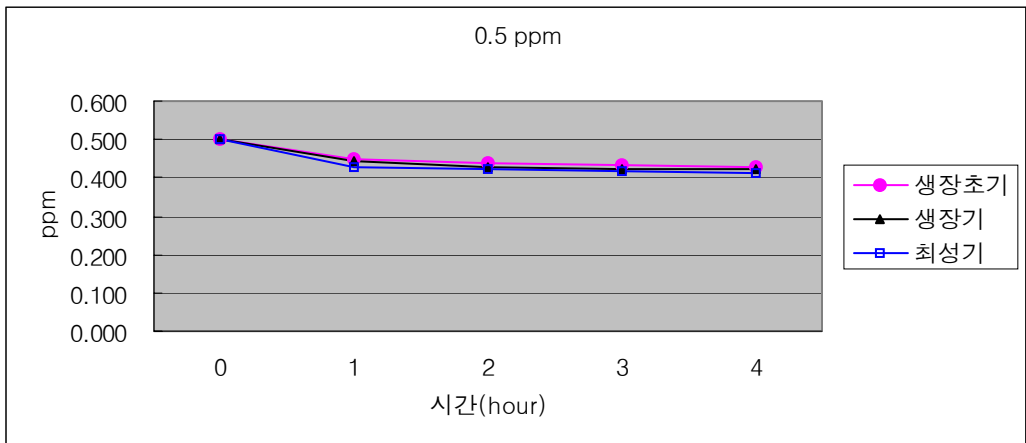


그림 3-35. 창포의 성장단계별 인 감소량(0.5ppm)

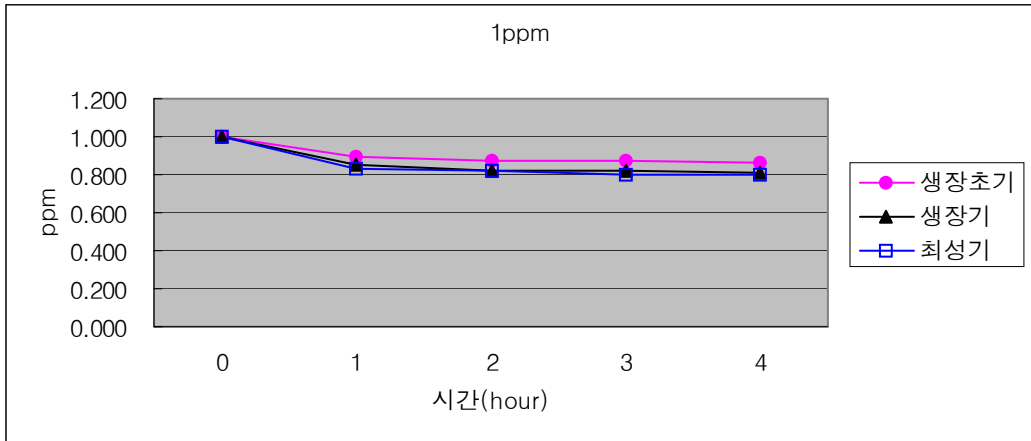


그림 3-36. 창포의 성장단계별 인 감소량(1ppm)

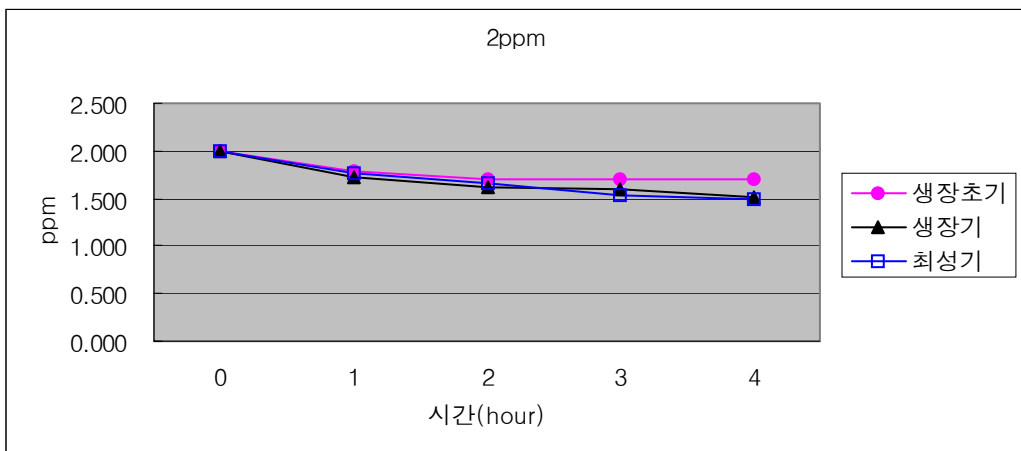


그림 3-37. 창포의 성장단계별 인 감소량(2ppm)

이옥주(1999)는 7종의 수생식물을 이용한 수질정화 효과에 관한 연구에서 식물을 20일 동안 재배하면서 5일 간격으로 수질을 분석한 결과, 질소와 인 및 기타 성분에서 성장과 비례하여 수질정화효과가 높아졌는데, 이것은 수생식물 이식 후에 활착하는 기간에는 수질정화능력이 다소 떨어지고 활착 후 본격적인 생장이 시작되면서부터는 수질정화효과가 전적으로 증진되기 때문이라고 하였다.

다. 노랑꽃창포와 창포의 질소·인 제거능의 비교

1) 질소 제거효과

공식물의 성장단계 중에서 성장 최성기만을 대상으로 노랑꽃창포와 창포의 질소, 인 제거능력을 비교하였다.

노랑꽃창포와 창포의 질소감소량을 보면 노랑꽃창포가 약간 더 많이 감소했음을 알 수 있다. 예를 들어 20ppm일 때를 보면 질소잔존량이 1시간 경과한 후 노랑꽃창포가 8.74ppm, 창포가 9.28ppm으로 노랑꽃창포가 0.54ppm 더 흡수하였고, 2시간 경과한 후 7.26ppm, 8.64ppm으로 1.38ppm, 3시간이 경과한 후 7.06ppm, 8.44ppm으로 1.38ppm, 4시간이 경과한 후 7.02ppm, 8.39ppm 으로 1.37ppm을 노랑꽃창포가 더 흡수·제거한 것으로 나타났다.

이는 노랑꽃창포가 창포보다 초장이 더 길고 분얼수와 엽수가 더 많아 질소를 흡수할 수 있는 엽면적이 큼에 따라 질소를 더 많이 흡수한 것으로 판단된다(그림 3-38 참조).

이옥주(1999)는 7종의 수생식물을 이용한 수질정화 효과에 관한 연구에서 식물을 20일 동안 재배하면서 5일 간격으로 수질을 분석한 결과, 질소 흡수율에서 10일까지는 식물들간에 차이가 아주 적었다고 함으로써 식물의 성장 및 생활형에 따른 수질정화효과의 차이가 있음을 시사하였다.

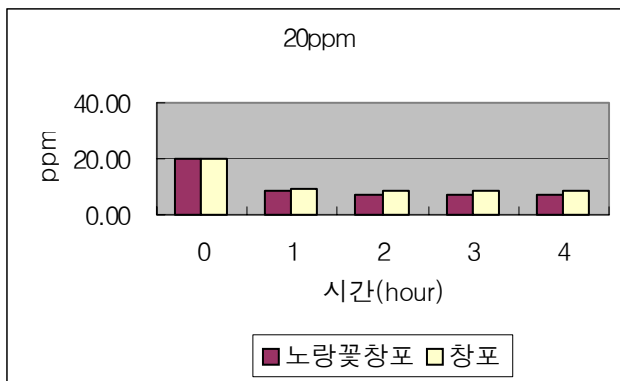
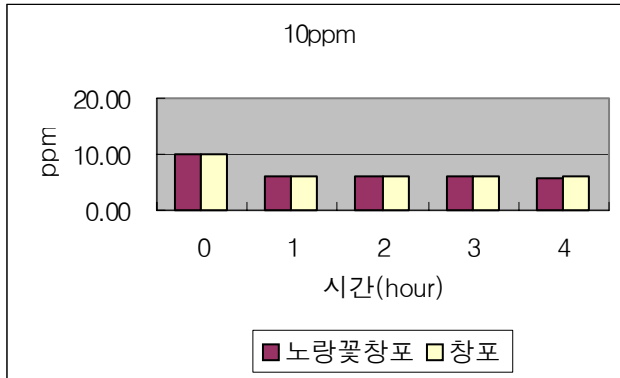
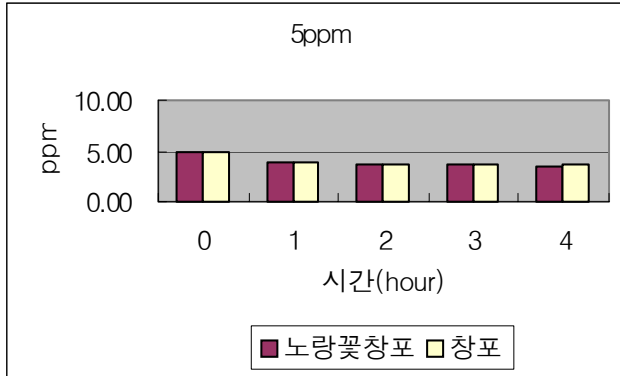


그림 3-38. 공시식물별 생장 최적기 질소 감소량

2) 인 제거효과

노랑꽃창포와 창포의 인 감소량도 질소 감소량과 마찬가지로 노랑꽃창포 시험구에서 약간 더 많이 감소했음을 알 수 있다. 예를 들어 2ppm일 때를 보면 질소 잔존량이 1시간 경과한 후 노랑꽃창포가 1.623ppm, 창포가 1.765ppm으로 노랑꽃창포가 0.142ppm 더 흡수하였고, 2시간 경과한 후 1.542ppm, 1.659ppm으로 0.117ppm, 3시간이 경과한 후 1.470ppm, 1.542ppm으로 0.072ppm, 4시간이 경과한 후 1.398ppm, 1.499ppm으로 0.101ppm을 노랑꽃창포가 더 흡수·제거한 것으로 나타났다(그림 3-39 참조). 이러한 결과는 질소의 경우와 같은 경향이며, 또한 이육주의 연구결과와도 비슷한 경향을 나타내었다.

즉, 이육주(1999)는 7종의 수생식물을 이용한 수질정화 효과에 관한 연구에서 식물을 20일 동안 재배하면서 5일 간격으로 수질을 분석한 결과, 질소의 경우와 마찬가지로 인의 경우도 흡수율에서 10일까지는 식물들 간에 많은 차이를 나타내었으나, 20일째에는 식물들 간에 차이가 아주 적었다고 함으로써 식물의 성장 및 생활형에 따른 수질정화효과의 차이가 있음을 시사하였다.

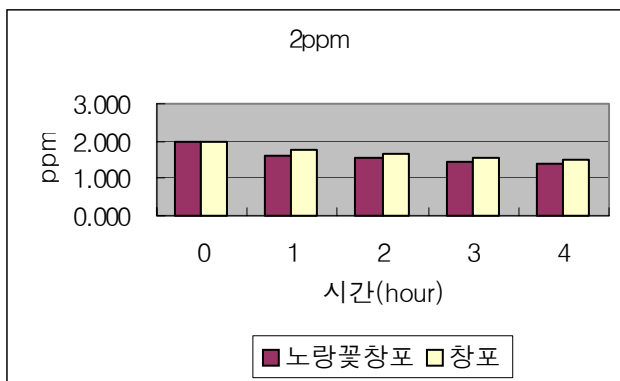
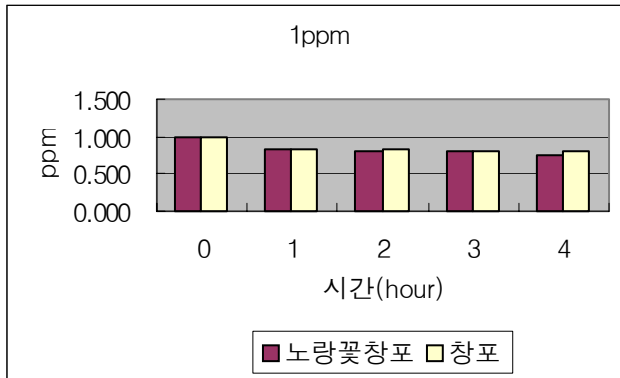
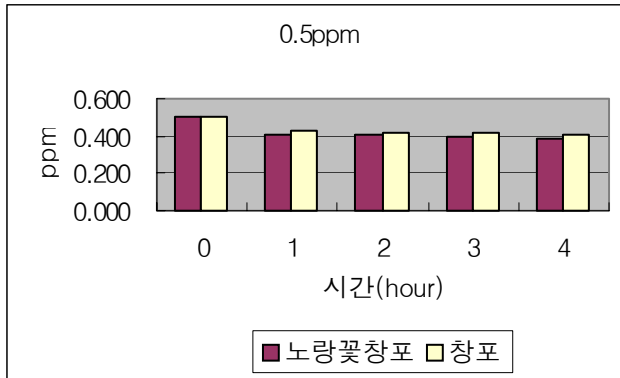


그림 3-39. 공시식물별 성장 최적기 인 감소량

라. 체류시간에 따른 목본식물의 질소·인 제거 효과

갯버들, 낙우송, 왕버들, 족제비싸리, 버드나무를 이용하여 질소와 인의 농도를 다르게 조절한 물을 급수한 후 체류시간별로 제거효과를 분석한 결과는 표 3-20~29와 그림 3-40~51에 나타난 바와 같다.

이 식물들의 체류시간에 따른 질소와 인 제거효과는 앞의 초본식물에서와 같이 체류 1시간 후에 수종의 질소와 인의 함량을 현저히 감소시켰으나, 2~4시간 후에는 감소율이 둔화되었다.

질소는 왕버들 20ppm 시험구에서 가장 많은 감소율(58.95%)을 나타내었고, 인은 갯버들 1ppm 시험구에서 가장 많은 감소율(19.0 ~ 20.2%)을 나타내었다.

모든 수종이 인보다는 질소의 제거에 효과적인 것으로 나타났으며, 전반적으로 질소는 고농도에서 제거율이 높았고 인은 저농도에서 제거율이 높았다.

그리고 질소와 인의 농도별 및 체류시간별로 공시수종들 사이에 약간의 차이는 있었으나 전체적으로 일정한 경향을 나타내지는 않았다. 이러한 결과는 수종에 따른 영양염류 흡수 특성의 차이도 있겠으나, 본 시험에서 사용한 식물개체의 크기 차이도 작용하였을 것으로 사료된다.

표 3-20. 체류시간별 갯버들의 질소 제거량

시간	NO ₃ -N 5ppm	감소율(%)	NO ₃ -N 10ppm	감소율(%)	NO ₃ -N 20ppm	감소율(%)
0	5.00	0.00	10.00	0.00	20.00	0.00
1	4.25	15.00	7.98	20.20	12.65	36.75
2	4.15	17.00	7.53	24.70	10.23	48.85
3	4.08	18.40	6.85	31.50	9.88	50.60
4	3.99	20.20	6.24	37.60	8.89	55.55

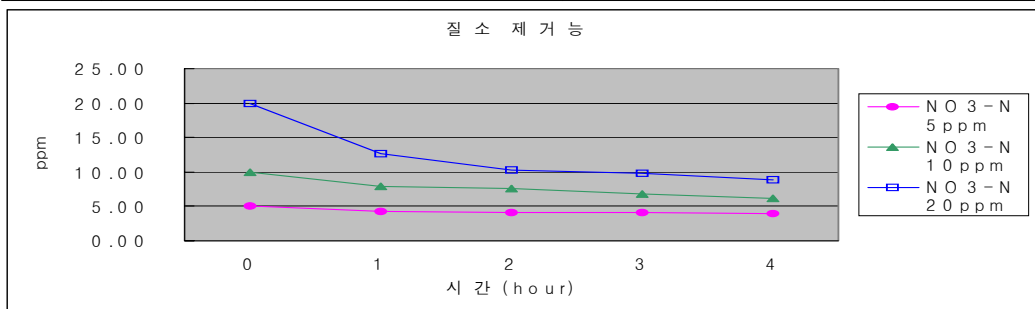


그림 3-40. 체류시간별 갯버들의 질소 제거량

표 3-21. 체류시간별 낙우송의 질소 제거량

시간	NO3-N 5ppm	감소율(%)	NO3-N 10ppm	감소율(%)	NO3-N 20ppm	감소율(%)
0	5.00	0.00	10.00	0.00	20.00	0.00
1	4.02	19.60	7.63	23.70	13.68	31.60
2	3.97	20.60	6.58	34.20	12.59	37.05
3	3.88	22.40	6.13	38.70	11.47	42.65
4	3.72	25.60	5.98	40.20	10.69	46.55

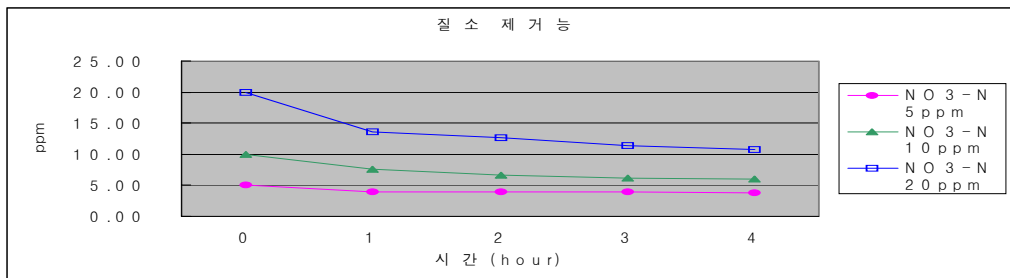


그림 3-41. 체류시간별 낙우송의 질소 제거량

표 3-22. 체류시간별 왕버들의 질소 제거량

시간	NO3-N 5ppm	감소율(%)	NO3-N 10ppm	감소율(%)	NO3-N 20ppm	감소율(%)
0	5.00	0.00	10.00	0.00	20.00	0.00
1	4.23	15.40	7.65	23.50	11.23	43.85
2	4.13	17.40	7.12	28.80	10.69	46.55
3	4.05	19.00	6.23	37.70	9.45	52.75
4	3.88	22.40	5.97	40.30	8.21	58.95

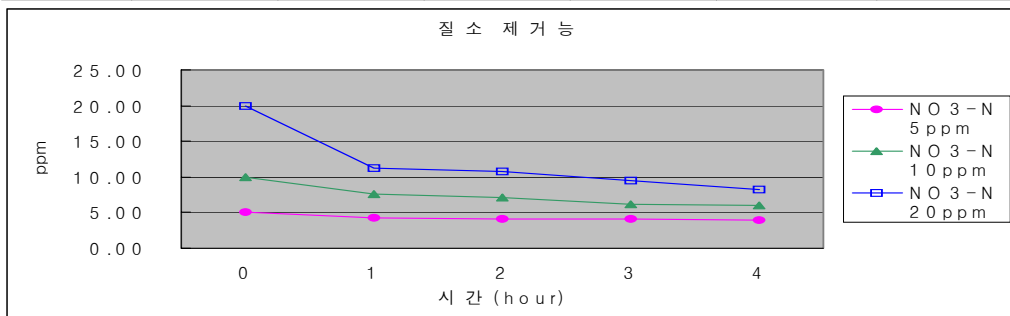


그림 3-42. 체류시간별 왕버들의 질소 제거량

표 3-23. 체류시간별 족제비싸리의 질소 제거량

시간	NO3-N 5ppm		NO3-N 10ppm		NO3-N 20ppm	
	NO3-N	감소율(%)	NO3-N	감소율(%)	NO3-N	감소율(%)
0	5.00	0.00	10.00	0.00	20.00	0.00
1	4.12	17.60	8.65	13.50	13.65	31.75
2	4.02	19.60	7.98	20.20	12.34	38.30
3	3.98	20.40	7.12	28.80	11.26	43.70
4	3.54	29.20	6.98	30.20	10.32	48.40

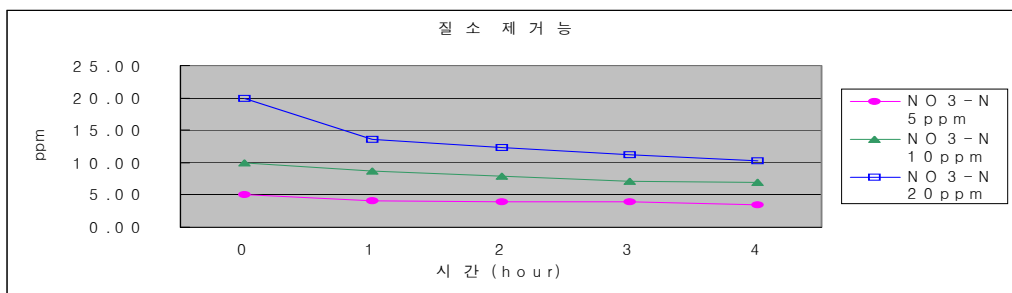


그림 3-43. 체류시간별 족제비싸리의 질소 제거량

표 3-24. 체류시간별 버드나무의 질소 제거량

시간	NO3-N 5ppm		NO3-N 10ppm		NO3-N 20ppm	
	NO3-N	감소율(%)	NO3-N	감소율(%)	NO3-N	감소율(%)
0	5.00	0.00	10.00	0.00	20.00	0.00
1	4.23	15.40	8.98	10.20	14.65	26.75
2	4.12	17.60	7.68	23.20	13.65	31.75
3	3.98	20.40	7.56	24.40	12.36	38.20
4	3.75	25.00	6.88	31.20	11.32	43.40

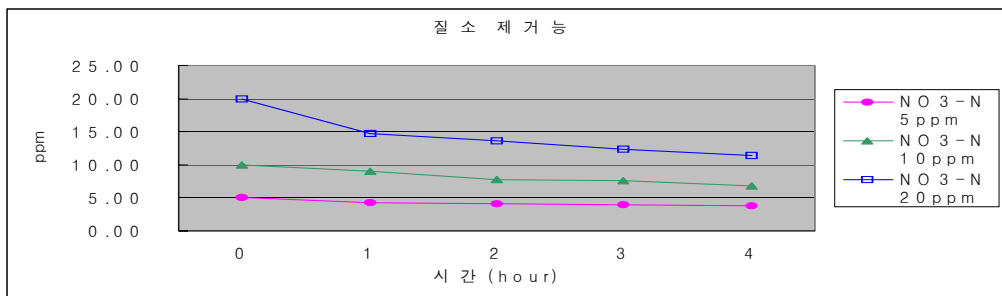


그림 3-44. 체류시간별 버드나무의 질소 제거량

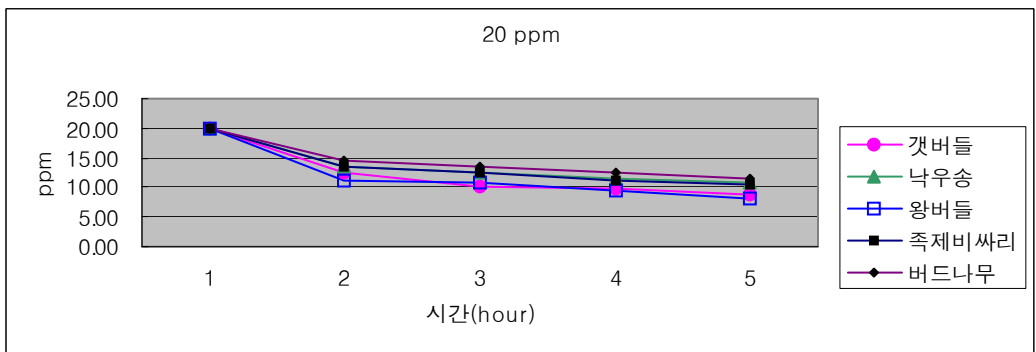
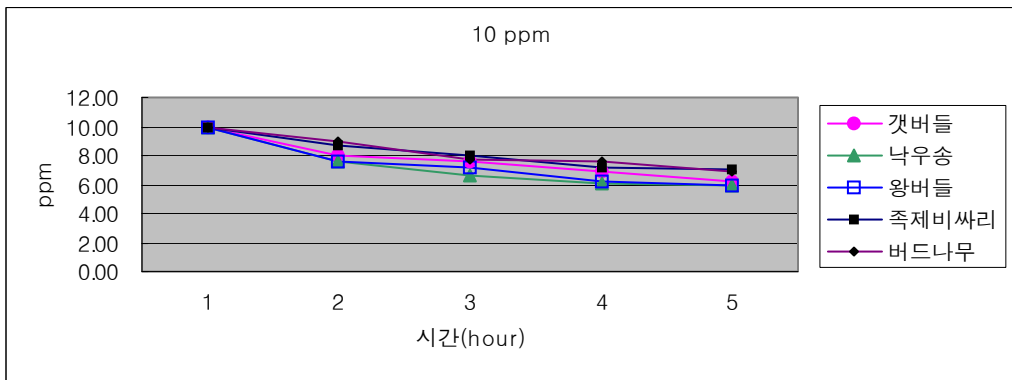
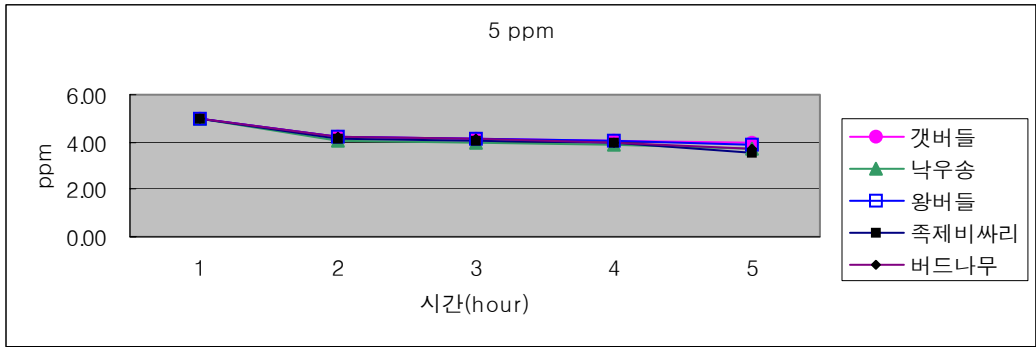


그림 3-45. 체류시간별 · 수종별 질소 제거량 비교

표 3-25. 체류시간별 갯버들의 인 제거량

시간	T-P 0.5ppm	감소율(%)	T-P 1ppm	감소율(%)	T-P 2ppm	감소율(%)
0	0.500	0.00	1.000	0.00	2.000	0.00
1	0.425	15.00	0.856	14.40	1.896	5.20
2	0.412	17.60	0.846	15.40	1.854	7.30
3	0.405	19.00	0.836	16.40	1.798	10.10
4	0.399	20.20	0.824	17.60	1.782	10.90

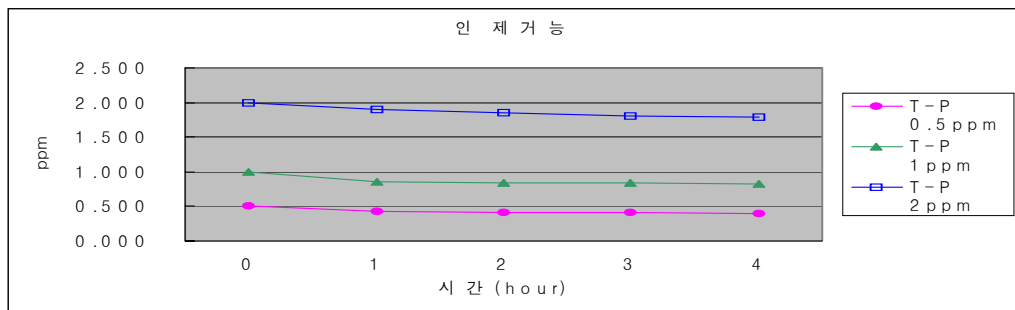


그림 3-46. 체류시간별 갯버들의 인 제거량

표 3-26. 체류시간별 낙우송의 인 제거량

시간	T-P 0.5ppm	감소율(%)	T-P 1ppm	감소율(%)	T-P 2ppm	감소율(%)
0	0.500	0.00	1.000	0.00	2.000	0.00
1	0.476	4.80	0.896	10.40	1.812	9.40
2	0.468	6.40	0.875	12.50	1.798	10.10
3	0.452	9.60	0.854	14.60	1.778	11.10
4	0.442	11.60	0.846	15.40	1.743	12.85

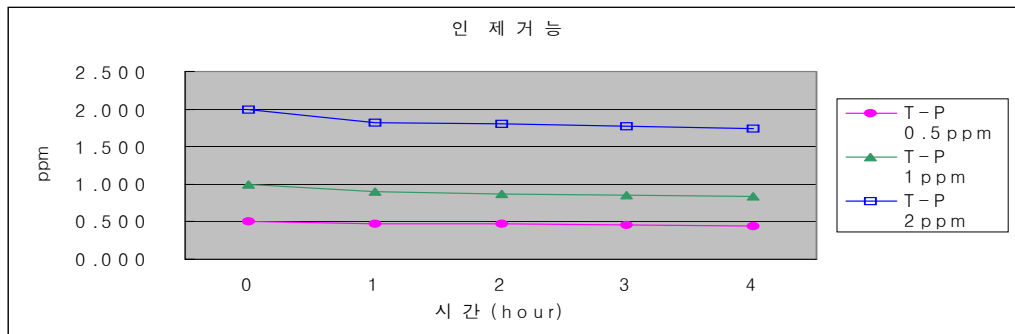


그림 3-47. 체류시간별 낙우송의 인 제거량

표 3-27. 체류시간별 왕버들의 인 제거량

시간	T-P 0.5ppm	감소율(%)	T-P 1ppm	감소율(%)	T-P 2ppm	감소율(%)
0	0.500	0.00	1.000	0.00	2.000	0.00
1	0.443	11.40	0.896	10.40	1.863	6.85
2	0.435	13.00	0.845	15.50	1.854	7.30
3	0.424	15.20	0.832	16.80	1.835	8.25
4	0.412	17.60	0.812	18.80	1.821	8.95

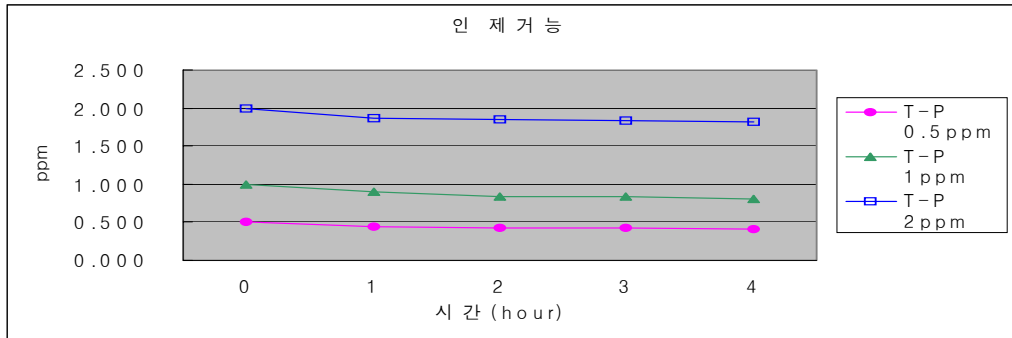


그림 3-48. 체류시간별 왕버들의 인 제거량

표 3-28. 체류시간별 죽제비싸리의 인 제거량

시간	T-P 0.5ppm	감소율(%)	T-P 1ppm	감소율(%)	T-P 2ppm	감소율(%)
0	0.500	0.00	1.000	0.00	2.000	0.00
1	0.468	6.40	0.852	14.80	1.854	7.30
2	0.452	9.60	0.834	16.60	1.834	8.30
3	0.421	15.80	0.821	17.90	1.821	8.95
4	0.413	17.40	0.812	18.80	1.804	9.80

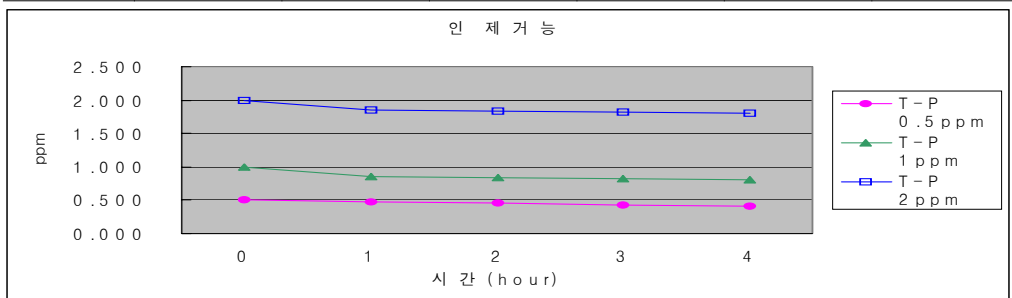


그림 3-49. 체류시간별 죽제비싸리의 인 제거량

표 3-29. 체류시간별 버드나무의 인 제거량

시간	T-P 0.5ppm	감소율(%)	T-P 1ppm	감소율(%)	T-P 2ppm	감소율(%)
0	0.500	0.00	1.000	0.00	2.000	0.00
1	0.453	9.40	0.896	10.40	1.856	7.20
2	0.442	11.60	0.872	12.80	1.803	9.85
3	0.432	13.60	0.852	14.80	1.786	10.70
4	0.413	17.40	0.835	16.50	1.773	11.35

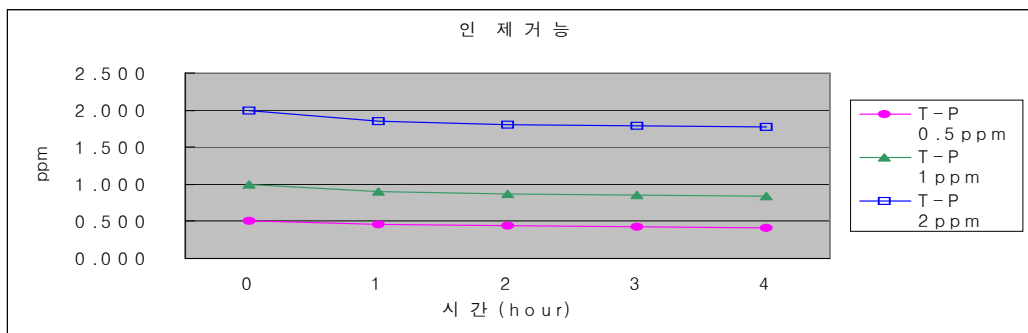


그림 3-50. 체류시간별 버드나무의 인 제거량

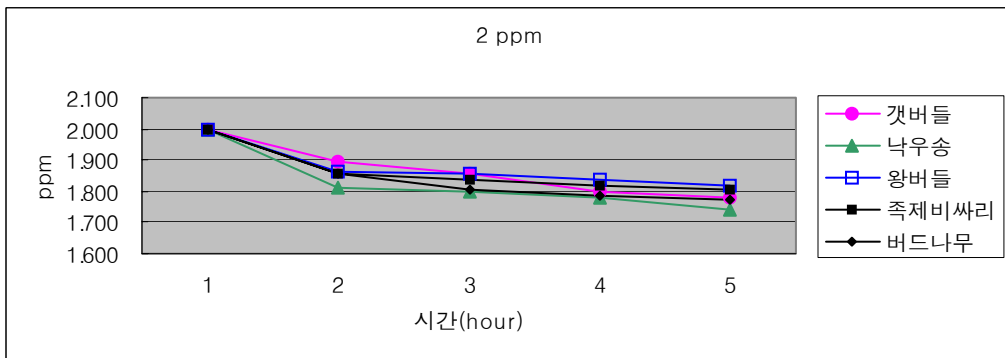
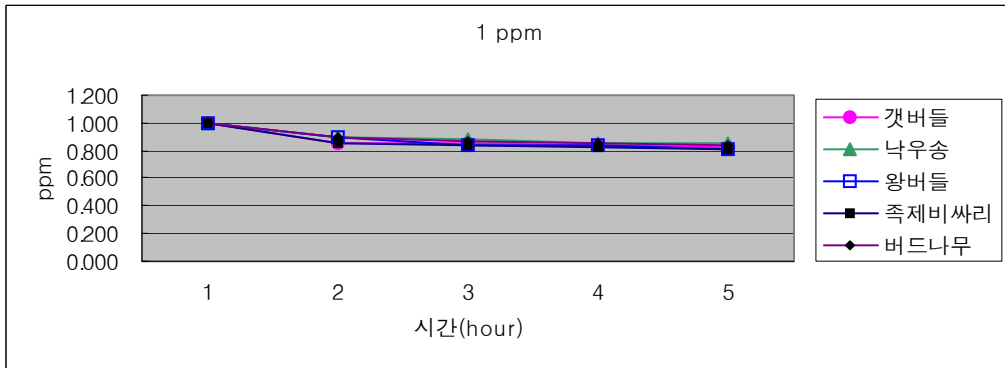
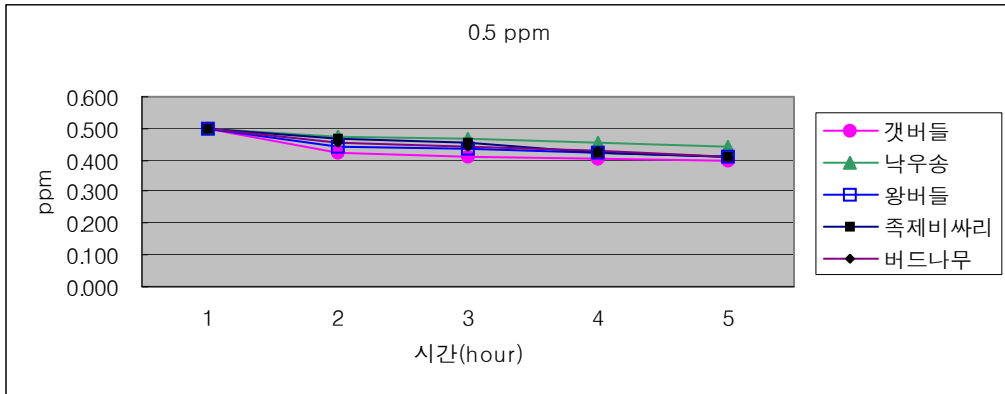


그림 3-51. 체류시간별 · 수종별 인 제거량 비교

다. 장기체류에 따른 질소와 인의 제거효과

하천 내 와류지, 대규모 자연형 수질정화시설 등에서 5일 이상 20일까지 장기적으로 물이 체류할 경우에 시험식물들이 수중의 질소와 인을 흡수제거하는 효과를 분석하였다. 질소의 경우 수목 가운데서는 갯버들과 능수버들이 시험기간 전반에 걸쳐 질소의 제거량이 가장 많았고, 족제비싸리와 낙우송의 제거량이 가장 적었다. 족제비싸리는 공과에 속하기 때문에 질소성분의 흡수를 적게 하기 때문이고, 낙우송은 시험에 사용한 삼목묘의 크기가 버드나무류에 비해 작았기 때문에 흡수량이 적었던 것으로 생각된다. 버드나무 중에서는 버드나무의 질소 제거효과가 가장 낮은 것으로 나타났다. 초본류에서는 체류 5일 후에는 노랑꽃창포가 3가지 농도에서 모두 가장 많이 제거하였으나, 10일과 20일 체류 후에는 창포와 석창포가 더 많은 질소를 제거하였다(표 3-30).

인의 경우 수목 가운데서는 5일과 10일 체류 후에는 왕버들과 용버들이 가장 많은 인을 제거하였으나, 왕버들과 버드나무의 제거효과가 비슷하게 나타났다. 족제비싸리와 낙우송은 질소 제거효과와는 달리 인 제거효과는 버드나무류에 비해 떨어지지 않았다. 특히 낙우송은 시험에 사용한 삼목묘의 크기가 버드나무류에 비해 작았기 때문에 질소의 경우 제거효과가 현저히 낮았으나, 인산 제거효과는 버드나무류와 비슷하게 나타난 것을 보면, 낙우송은 인산을 많이 흡수하는 목본식물인 것으로 추정된다. 초본류에서는 인의 3가지 농도와 전체 체류기간에서 전반적으로 노랑꽃창포, 석창포, 창포의 순으로 인산의 제거효과가 좋았다(표 3-31).

한편, 체류기간의 경과에 따른 제거효과는 질소와 인산 모두 체류 5일 후에 제거율이 많았고, 그 후에는 제거율이 둔화되는 경향을 나타내었다.

표 3-30. 수중 질소 농도별 시험식물의 질소 제거효과의 경시적 변화(계속)

경과 일수	시 험 식 물									
	갯버들	버드 나무	능수 버들	왕버들	용버들	족제비 싸리	낙우송	노랑 꽃창포	창포	석창포
농도 (ppm)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5일	1.68	4.35	1.34	3.20	2.31	3.92	3.98	1.02	1.94	1.47
10일	1.59	2.58	0.94	1.48	1.69	2.69	3.57	0.81	0.68	0.61
20일	0.52	0.80	0.53	0.63	0.59	0.69	3.25	0.63	0.44	0.48

표 3-30. 수중 질소 농도별 시험식물의 질소 제거효과의 경시적 변화(계속)

경과 일수	시 험 식 물									
	갯버들	버드 나무	능수 버들	왕버들	용버들	죽제비 싸리	낙우송	노랑 꽃창포	창포	석창포
농도 (ppm)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
5일	3.69	7.88	3.27	6.35	4.58	7.89	6.39	2.49	3.86	3.12
10일	1.69	5.12	2.12	3.01	3.20	5.36	6.10	1.83	1.32	1.23
20일	1.33	1.49	0.90	1.48	1.23	2.36	5.89	1.23	0.89	0.82

경과 일수	시 험 식 물									
	갯버들	버드 나무	능수 버들	왕버들	용버들	죽제비 싸리	낙우송	노랑 꽃창포	창포	석창포
농도 (ppm)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
5일	8.26	14.15	7.69	12.36	9.46	15.68	13.99	4.35	7.68	6.38
10일	3.56	8.37	4.69	6.35	6.28	10.68	8.73	3.69	2.36	2.69
20일	2.06	3.36	1.39	2.74	2.69	4.98	8.36	2.61	1.89	1.87

표 3-31. 수중 인 농도별 시험식물의 인 제거효과의 경시적 변화

경과 일수	시 험 식 물									
	갯버들	버드 나무	능수 버들	왕버들	용버들	죽제비 싸리	낙우송	노랑 꽃창포	창포	석창포
농도 (ppm)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5일	0.370	0.402	0.321	0.232	0.236	0.396	0.368	0.269	0.369	0.296
10일	0.331	0.239	0.169	0.123	0.146	0.239	0.236	0.156	0.159	0.136
20일	0.159	0.055	0.068	0.063	0.077	0.124	0.069	0.046	0.063	0.056

경과 일수	시 험 식 물									
	갯버들	버드 나무	능수 버들	왕버들	용버들	죽제비 싸리	낙우송	노랑 꽃창포	창포	석창포
농도 (ppm)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5일	0.745	0.812	0.633	0.429	0.489	0.766	0.723	0.575	0.721	0.569
10일	0.669	0.423	0.296	0.243	0.275	0.497	0.458	0.368	0.362	0.266
20일	0.324	0.096	0.177	0.092	0.132	0.203	0.102	0.125	0.128	0.124

경과 일수	시 험 식 물									
	갯버들	버드 나무	능수 버들	왕버들	용버들	죽제비 싸리	낙우송	노랑 꽃창포	창포	석창포
농도 (ppm)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
5일	1.486	1.634	1.320	0.925	0.934	1.520	1.459	1.005	1.459	1.176
10일	1.329	0.853	0.692	0.463	0.532	0.963	0.896	0.698	0.783	0.453
20일	0.698	0.187	0.219	0.165	0.236	0.412	0.254	0.225	0.324	0.369

3. 전정관리에 따른 하천토양내 질소, 인 제거효과

갯버들을 공시식물로 하여 만경강 수계의 중류하천에서 채취한 토양에서 전정방법을 다르게 하여 재배한 후 하천토양내 질소와 인의 제거효과를 분석한 결과는 표 3-32과 3-33에 나타난 바와 같다.

질소의 경우 시험토양의 초기농도가 1060ppm이었는데, 2002년 5월 20일에 식재하여 10월 20일에 측정하였을 때 제거율이 14.0-15.9%이었다. 토양시료 채취 후 바로 전정한 2개의 시험구에서는 1년 후에 44.6-50.7%의 감소율을 나타내었고, 전정하지 않은 시험구에서는 27.4%의 감소율을 나타내었다. 또 다시 전정(2회 전정)한 시험구에서는 2004년 8월 20일의 최종측정시에 78.8%의 감소율을 나타내었고, 1회 전정한 시험구에서는 62.7%가 감소하였으며, 전정하지 않고 계속 재배한 시험구에서는 40.9%로 가장 낮은 감소율을 나타내었다.

인의 경우 시험토양의 초기농도가 123ppm이었는데, 2002년 10월 20일에 측정하였을 때 제거율이 11.2-17.1%이었다. 토양시료 채취 후 바로 전정한 2개의 시험구에서는 1년 후에 23.6-25.5%의 감소율을 나타내었고, 전정하지 않은 시험구에서는 15.4%의 감소율을 나타내었다. 또 다시 전정(2회 전정)한 시험구에서는 2004년 8월 20일의 최종측정시에 35.8%의 감소율을 나타내었고, 1회 전정한 시험구에서는 30.9%가 감소하였으며, 전정하지 않고 계속 재배한 시험구에서는 19.5%로 가장 낮은 감소율을 나타내었다.

이와 같이 전정을 실시한 시험구에서 질소와 인의 제거효과가 좋은 것은 전정을 통해 식물체의 맹아생장이 왕성하여 영양염류의 흡수가 많아짐과 동시에 식물체내에 축적된 질소와 인이 소비되기 때문인 것으로 추측된다.

이러한 결과로 보면, 하천 내부 또는 경계부에 자생하거나 식재된 갯버들을 전정하지 않고 방치하는 것보다는 주기적으로 지상부를 전정함으로써 하천토양내의 질소와 인을 더 많이 제거할 수 있을 것이다.

표 3-32. 전정관리에 따른 갯버들의 하천토양 내 질소 제거효과

전정회수	질소초기 농도	감소율 (%)	2002년 10월20일	감소율 (%)	2003년 10월20일	감소율 (%)	2004년 8월20일	감소율 (%)
무전정	1060	0	901	15.0	770	27.4	625	40.9
전정1회	1060	0	891	15.9	587	44.6	395	62.7
전정2회	1060	0	912	14.0	523	50.7	225	78.8

표 3-33. 전정관리에 따른 갯버들의 하천토양 내 인 제거효과

전정회수	인 초기 농도	감소율 (%)	2002년 10월20일	감소율 (%)	2003년 10월20일	감소율 (%)	2004년 8월20일	감소율 (%)
무전정	123	0	109	11.2	104	15.4	99	19.5
전정1회	123	0	102	17.1	94	23.6	85	30.9
전정2회	123	0	105	14.6	92	25.2	79	35.8

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

(제 1 세부과제)

※연구과제명 : 하천유역 오염지의 식생 및 입지환경 분석

만경강 및 동진강 유역의 지형적 특성과 오염 정도의 예측에 따라 임의로 상·중·하류로 구분하여 관속식물상을 조사하고, 일정한 간격과 하천부의 종조성 상태에 따라만경강 30개소, 동진강 32개소의 총 62개의 조사구를 설치하여 수변부와 둔치부(제방사면)의 전반적인 식물군락을 분류하였다. 또한, 유역 구분이 뚜렷하고 시료채취의 접근성이 양호한 지역(각각 12개소)을 선정하여 시기별로 수질을 분석하였으며, 식생조사구와 동일 지점에서 채취하여 토양의 물리·화학적 특성을 분석하였다. 따라서, 만경강 및 동진강 유역의 식생 및 입지환경 분석에 관한 연구개발목표를 달성한 것으로 판단된다.

(제 2 세부과제)

※연구과제명 : 중금속 오염물질이 식물체에 미치는 영향 분석

1. 하천유역 토양의 물리·화학적 성질 및 식물체 생육상황

만경강 동진강 수계의 상·중·하류에서 임의로 연구 대상지를 선정하여 18지역의 34지점에서 토양을 채취하여 토양의 물리적 성질과 화학적 성질 및 카드뮴, 크롬, 비소, 납, 구리 등의 중금속을 분석하였다. 이때 중금속 분석은 PDV의 고장으로 원자흡광분석기를 이용하였다.

연구대상지역에 내침수성 식물(왕버들, 갯버들, 버드나무)을 2001년 9월 말경 식재하였으나 11월경 많은 지역에서 동물, 사람들에 의해 훼손되거나 논·밭두렁 태우기로 인하여 정확한 자료를 얻을 수 없었다. 따라서 현지 토양을 채취하여 2002년 3월 포트에 침수 식재하여 식물체의 생육상황 및 생존율을 조사하였다.

2. 중금속 오염물질이 식물체의 삼목발근 및 종자발아에 미치는 영향

중금속 종류($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, PbNO_3 , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$)에 따라 농도를 구리, 납, 아연은 각각 800ppm, 400ppm, 200ppm, 100ppm, 50ppm으로 구분하고,

카드뮴은 200ppm, 100ppm, 50ppm, 25ppm, 12.5ppm으로 구분하여 족제비싸리의 종자를 페트리디쉬에 치상한 후 성장상에서 발아율을 조사하였다. 또한, 중금속 종류($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, PbNO_3 , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CdCL}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$)에 따라 농도를 구리, 납, 아연은 각각 800ppm, 400ppm, 200ppm, 100ppm, 50ppm으로 구분하고, 카드뮴은 200ppm, 100ppm, 50ppm, 25ppm, 12.5ppm으로 구분하여 일반적으로 습도가 높은 토양에서 잘 자라는 버드나무, 갯버들, 낙우송을 수경 삼목하여 성장상에서 생육상태를 조사완료 하였으므로 목표 달성하였음.

3. 식물체의 중금속 흡수능 및 잔류량 조사

Pot(30cm x 30cm x 30cm)내 토양에 노랑꽃창포, 갯버들, 버드나무를 식재한 후 중금속 종류($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, PbNO_3 , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CdCL}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$)에 따라 농도를 구리, 납, 아연은 각각 800ppm, 400ppm, 200ppm, 100ppm, 50ppm으로 구분하고, 카드뮴은 200ppm, 100ppm, 50ppm, 25ppm, 12.5ppm으로 중금속 용액을 조제하여 투여한 후 일정기간동안 생육시킨 후 식물체중 중금속 흡수량과 토양내 잔류량을 조사완료 하였으므로 목표 달성하였음.

(제 3 세부과제)

※연구과제명 : 오염지에서 식물의 성장과 질소, 인 저감효과 분석

1. 기술적 측면

가. 환경오염문제의 해결에 크게 도움이 되는 vegetation filter로서 어느 종이 적합한가를 결정하여 이를 수질오염 문제 해결에 이바지 할 수 있다.

나. 중금속이나 질소(N), 인(P) 등의 수질오염물질이 임목의 어느 부위에 가장 많이 축적되는지를 파악하여 내성 수종을 선정할 수 있다.

다. 친환경적 및 생물공학적인 오염 저감기술 개발로 화학적 및 미생물학적 기술의 한계를 보완하여 토양과 수질환경을 개선하는 데에 크게 기여할 것이다.

라. 수변공간, 오염된 토양공간 등에 있어서 수림대 조성으로 인한 경관향상효과, 하천과 호소내의 생물종 다양성 확보 등을 기대할 수 있다.

2. 경제·산업적 측면

가. 공장지역이나 도시하수로부터 발생하여 하천과 강으로 유입되는 오염된 폐수나 슬러지로부터 수질오염 문제를 크게 줄일 수 있다.

나. 오염지역의 환경을 개선하고 식생의 도입으로 경관적 미를 창출할 수 있다.

다. 화학적 처리방법에 비해 오염물질을 정화하는 비용을 월등히 절감할 수 있다.

라. 정화수림대의 식생관리를 통해 목재자원 및 Biomass 생산효과가 기대된다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

(제 1 세부과제)

※연구과제명 : 하천유역 오염지의 식생 및 입지환경 분석

1. 만경강 및 동진강 유역의 식생조사 및 수질·토양분석 결과는 현재 진행되고 있는 새만금 국책사업과 본 하천들의 생태하천 가꾸기 사업에 있어서 생태학적 측면의 기초자료로서 활용할 수 있음.
2. 식물군집분석 결과는 만경강과 동진강 유역의 향후 생태계의 전반적인 천이의 진행방향과 귀중한 식물자원을 보전·관리할 수 있는 방안을 제시해 줄 수 있음.

(제 2 세부과제)

※연구과제명 : 중금속 오염물질이 식물체에 미치는 영향 분석

1. 만경강 및 동진강 유역의 중금속 분석자료는 앞으로 새만금 국책사업이 완료된 후 기초자료로서 이용될 수 있다.
2. 식물체에 의한 중금속 흡수능에 따라 강 유역의 중금속 오염을 개선할 수 있다.
3. 국가기관의 정책자료에 대한 기초자료를 제공할 수 있다.

(제 3 세부과제)

※연구과제명 : 오염지에서 식물의 생장과 질소, 인 저감효과 분석

1. 개발된 기술은 국가기관, 지방자치단체, 환경관련 업체, 폐수를 배출하는 기업과 축산 농가 등에 기술이전이 가능하다.
2. 각급 하천과 호소에 있어서 각종 식물과 조합하여 정화식물대 또는 인공습지를 조성하는데 다양하게 응용될 수 있다.

제 6 장 연구개발결과과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음

제 7 장 참고문헌

- Barbour, M.G., J.M. Burk and W.D. Pitts. 1980. Terrestrial plant ecology. The Benjamin/Cummings Publ. Co., Menlo Park. p604.
- Bormann, F.H. and G.E. Likens. 1979. Pattern and process in a forested ecosystem. Springer Verlag, Berlin. p253.
- Curtis, J.T. and R.P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest boarder region of Wisconsin. Ecology 32:476-498.
- Environmental Health Perspectives. 1995. Absorbing Possibilities: Phytoremediation. Innovations 103(12):1-7
- Farber, S. 1993. A socioeconomic analysis of the impact of wetlands perservation program in Lousiana.
- Goode, D.A. 1989. Urban nature conservation in Britain. J. of Applied Ecology 26:859-873.
- Gosh, D. and S. Sen. 1987. Ecological hisrory of Calcutta's wetland comersion. Environmental conservation. 14:219-226.
- Grant R. R. and R. Patrick 1970. In Two studies of Tinicum Marsh. Tinicum marsh as a water purifier. 105-123. In Two studies of Tinicum Marsh. The Conservation Foundation. Washington, D.C.
- H. Obarska-Pempkowiak. 1994. Removal of nitrogen and phosphorus from municipal wastewater by willow. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Ecology and Environmental Research, Section of Short Rotation Forestry. p83-90.
- Hazuk, A. and Z. Mazur. 1969. Irrigation with municipal sewage on willow plantation. Postepy nauk rolniczych Nr 1 (In Polish).
- Homer, M. Malik & M. Chin(2000).Improving metal hyperaccumulator wild plants to develop commercial phytoextraction systems: approaches and progress.*Ibid.*, pp. 129-158.
- Hong, S., J.P. Candelone, C.C. Patterson and C.F. Boutron. 1996. History of ancient copper smelting pollution during roman and medieval times recored in greenland ice. Science 272:246-249.

- Huang, J.W. and S.D. Cunningham. 1996. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New Phytol* 134:75-84.
- Jefferson, C. 1975. Plant communities and succession in Oregon coastal marsh. Ph.D. Dissertation of Oregon State Univ., Corvallis, OR. *Bay. Canad. J. Botany* 61: 762-773.
- Kirkpatrick, J.B. and C.F. Hutchinson. 1977. The community composition of California coastal sage scrub. *Vegetatio* 35:21-33.
- Krupa, S. V. and Kickert, R. N. 1989. Environmental pollution. 61; 263-393.
- Kutera, J. and M. Soroko. 1994. The use and treatment of wastewater in willow and poplar plantations. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Ecology and Environmental Research, Section of Short Rotation Forestry. p37-47.
- LARRY D. KING, 1988, Retention of Metals by Several Soils of the Southeastern United States, *J. Environ. Qual.* 17(2):239~245.
- Licht, L.A. 1995. Using poplar trees as a landfill cover: Experiences with the Ecolortree Cap. Swana 11th Annual Northwest Regional Solid Waste Symposium, Portland, Oregon, April 12-14.
- Loaite, A.S. and G.T. Marcon. 1968. Open space recreation and conservation. In William I. Goodman ed principles and practice of urban planning Washington D.C. ICMA. pp185.
- M. M. Lasat, A. J. M. BAKER & L. V. Kochian (1996). Physiological characterization of root Zn²⁺ absorption and translocation to shoots in Zn hyperaccumulator and nonaccumulator species of *Thlaspi*. *Plant Physiology*. **112**: 1715-1722.
- Madison, M. and L.A. Licht. 1994. Land application on poplar trees with the Ecolortree Buffer TM. Presented at □□Broadening Our Perspectives□□Pacific Northwest Pollution Control Association, 1994 Annual Conference, Spokane, WA.
- Mueller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons Inc., New York. pp547.
- Nutter, W. L. and J. P. Red. 1986. Future direction : Forest Wastewater application. In Cole D. W., C. L. Henry and W. L. Nutter(eds). The forest alternative for treatments and utilization of municipal and

- industrial waste 55-69. University of Washington Press. Seattle.
- Par Aronsson and Kurth perttu. 1994. Willow vegetation filters for municipal wastewaters and sludges. Proceedings of a study tour, conference and workshop in sweden, 5-10 June
- Pfadenhauer, J. 1993. Vegetations kologie -Ein Skriptum-. IHW-Verlag. 301pp.
- Pielou, E.C. 1975. Mathematical ecology. John Wiley and Sons Inc., New York. pp385.
- R. D. Reeves, A. J .M. BAKER, A. Borhidi & R. Berazaín. (1996).
Nickel-accumulating plants from the ancient serpentine soils of Cuba.
New Phytologist. **133**: 217-224.
- Robert A. Day. 1988. How to write & Publish a scientific paper 3rd Edition. ORYX PRESS. canada.
- Reddy, K. R. and W. F. Debusk. 1987. Nurient Storage Capabilities of Aquatic and Wetland Plants. Magnolia Pub., Inc., Orlando, Fla.
- Rogers H. H. and D. E. Davis 1972. Nutrient Removal by Water hyacinth. *Weed Science*. 20:423.
- Satio, K.N. 1940. Water plants of the Han River. *Bull. of Teachers Assoc. of Sci. Chosun*, 4:20.
- Sato H. and Kando T. 1981. Biomass production of water hyacinth and its ability to remove inorganic minerals from water I. Effect of the concentration of culture solution on the rates of plant growth and nutrient uptake. *Jpn. J. Eol.* 31:257-267.
- S. N. Whiting, J. R. Leake, S. P. McGrath & A. J. M. BAKER (2001). Zinc accumulation by *Thlaspi caerulescens* from soils with different Zn availability: a pot study. *Plant and Soil*. **236**: 11-18.
- U. Krämer, J. Cotter-Howells, J. M. Charnock, A. J. M. BAKER & J. A. C. Smith (1996).Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel. *Nature*. **379**: 635-638.
- USDA Soil Conservation Service. 1975. Soil taxonomy. Washington.
- Y. S. M. Ghaderian, A. J. E. Lyon & A. J. M. BAKER (2000).Seedling mortality of metal hyperaccumulator plants resulting from damping off by *Pythium* spp. *New Phytologist*. **146**: 219-224.
- Z. H. Ye, A. J. M. BAKER, M. H. Wong & A. J. Willis (1997).Copper and

- nickel uptake, accumulation and tolerance in *Typha latifolia* with and without iron plaque on the root surface. *New Phytologist*. **136**: 481-488.
- Z. H. Ye, A. J. M. BAKER, M. H. Wong & A. J. Willis (1997). Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Annals of Botany*. **80**: 363-370.
- Z. H. Ye, A. J. M. BAKER, M. H. Wong & A. J. Willis (2003). Copper tolerance, uptake and accumulation by *Phragmites australis*. *Chemosphere*. **50**: 795-800.
- Z. H. Ye, A. J. M. BAKER, M. H. Wong & A. J. Willis (1997). Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by *Typha latifolia*. *New Phytologist*. **136**: 469-480.
- 강병화, 심상인, 이상각. 1996, 環境汚染 診斷 指標植物로서 雜草種의 活用に 關한 研究, *Korean J. Environ. Agric.* 15(1):46~69.
- 강병화, 심상인, 이상각, 김광호, 정일민. 1998, 폐지풀, 단풍잎돼지풀, 소리쟁이를 이용한 중금속오염토양의 식물복원법(phytoremediation)에 관한 연구. *한잡초지*. 18(3):262~267
- 강화영, 이영동. 1996, 도시하수처리장 廢슬러지의 중금속 吸着 및 脫着特性, *한국 폐기물학회지*. 13(3):428~437.
- 고경식, 김윤식. 1988. *원색한국식물도감*. 아카데미서적. pp500.
- 구영분, 노의래, 우수영, 이성규. 1997. 포플러를 이용한 쓰레기매립지의 녹화 및 침출수 처리. *임목육종연구보고서*
- 구영분. 2002. 포플러류의 김포 쓰레기매립지 적응성. *월간 임업정보* 132 : 31-34
- 국립환경연구원(1989). 하천 및 호소 수질의 최적화관리방안
- 길봉섭, 김정언. 1996. *전라북도의 자연환경*. 원광대학교출판국. pp464.
- 김계환, 문영희, 박종민, 허삼남, 박준모. 2000a. 만경강 상류 유역의 식물상. *전북대 농대 논문집* 31:18-33.
- 김계환, 서병수, 손재권, 박종민, 박준모. 2000b. 만경강 상류 유역의 식물군집구조. *전북대 농대 논문집* 31:11-17.
- 김복영. 1988. 수질오염과 농업. *한국환경농학회지* 7(2):153.
- 김상국, 이상철, 민기균, 이승필, 최부술, 여수갑. 1998, 구리와 아연 처리가 벼의 발아, 유묘의 엽록소와 유기산 함량에 미치는 영향, *한토비지*. 31(1):51~55
- 김송남, 오성도, 최동근. 2002. 저농도 질소시비가 배나무 실생묘의 생육과 수체내

- 질소함량에 미치는 영향 33 : 116-123.
- 김용범, 임양재. 1990. 한강지천의 수질오염과 식생변화. 한국생태학회지 13 : 297-309.
- 김용식. 1996. 금호강의 식물상과 군집구조분석. 대구경제정의실천시민연합환경개발센터. pp19-21.
- 김윤태. 1999. 수생식물을 이용한 영양염류 제거에 관한 연구. 창원대학교 산업대학원 석사학위논문. pp.1-11.
- 김익수. 1996. 하천생태계의 다양성과 그 기능. 환경과 조경 100:64-67.
- 김정규. 1994. 자연정화기능과 환경오염물질 처리, 자연자원환경연구 2:29-48.
- 김존민, 김철수, 박봉규. 1987. 식생조사법 -식물사회학적 연구법-. 일신사. pp170.
- 김종근. 1998. 도시 하천변의 식물생태계 특성에 관한 연구 -대구광역시의 주요 하천변을 대상으로-. 영남대학교 석사학위논문. pp110.
- 김준호, 민병미. 1983. 해변 염생식물군집에 대한 생태학적 연구. 한국식물학회지 26(2): 53-71.
- 김준호, 민병미. 1983. 해안 염생식물군에 대한 생태학적 연구(3). 인천간척지의 토양환경, 종의 다양성 및 염류순환에 대하여. 한국생태학회지 26:53-71.
- 김진희, 이인숙. 1998, 금소리쟁이(*Rumex maritimus*)의 카드뮴, 아연 내성에 관한 연구, Korean J. Ecol. 21(3):225~231.
- 김철수, 임병선. 1988. 한국서남해안 간석지 식생에 관한 연구. 한국생태학회지 11: 175-192.
- 김판기, 김선희, 이상모, 조주형, 이은주. 2002. 김포 수도권 매립지에 식재된 현사시나무의 환경 적응 반응(1). 한국임학회지 91(1) : 79-87.
- 김판기, 이영섭, 정동준, 우수영, 성주환, 이은주. 2001. 광도가 내음성이 서로 다른 3수종의 광합성 생리에 미치는 영향. 한국임학회지 90(4) : 476-487.
- 김판기, 이은주. 2001 광합성의 생리생태(1); 광도와 엽육내 CO₂분압 변화에 대한 광합성 반응. 한국농림기상학회지 3(2) : 126-133.
- 나규환, 권성환, 이장훈. 1996. 수생식물을 이용한 수질정화에 관한 연구. 한국위생학회지. 22(3) : 49-55.
- 만경강·동진강 살리기 운동 연합회. 1999. 만경강·동진강 살리기 운동연합회 창립총회 및 기념심포지엄. 전북대학교 새만금연구사업단. pp105.
- 문형태, 남궁정, 김정희. 1999. 대형수생식물의 물질생산과 질소와 인의 흡수량. 한국환경생물학회지. 17(1) : 27-34.

- 민병미. 1985. 한국 서해안 간척지 토양과 식생 변화. 서울대학교 박사학위논문. p144.
- 박수현, 신준환, 이유미, 임종환, 문정숙. 2002. 우리나라 귀화식물의 분포. 임업연구원 · 국립수목원. 184pp.
- 박수현. 1995. 한국귀화식물 원색도감. 일조각. p371
- 박용신, 정현준, 백승화, 김종현. 1998, 하수처리 슬러지의 농경지 시비에 따른 식물체내 중금속 축적에 관한 연구. 환경관리학회지. 5:78~89.
- 박태규, 송승달. 1998, Pb처리에 따른 전동싸리 유식물의 생장적응과 중금속의 조절. Korean J. Ecol.. 21(3):179~186.
- 손기철, 김미경. 1998. 실내 광, 온도, 절대습도 및 이산화탄소의 변화가 파키라 (*Pachira aquatica*)의 증산 및 광합성량에 미치는 영향과 통계적 모델링. 한국원예학회지 39(5) : 605-609.
- 신정이, 차영일. 1999. 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.)의 질소와 인 제거능에 관한 연구. 한국환경복원 녹화기술학회 임시총회.
- 심상철. 1991. 토양비료 개론. 316pp.
- 양홍모. 2002. 하천수정화 근자연형 인공습지의 질소 및 인 초기처리수준. 환경친화적 댐건설 방향에 관한 심포지엄 및 추계 학술발표회. p98-101.
- 여진기, 김인식, 구영분, 이재천. 2001, Uptake and Tolerance to Lead in *Populus alba* × *glandulosa* and *Betula Schmidtii*. 한국임학회지. 90(5):600~607.
- 우수영, 이동섭, 김동근, 김판기. 2001. 생활쓰레기 매립지 침출수가 이태리 포플러와 자작나무 묘목에 미치는 영향(II). 한국임학회지 90(1) : 55-63.
- 원형규, 정진현, 구교상, 김춘식, 이천용. 2003, 수락산의 산림토양 특성 및 중금속 함량, 산림과학논문집. 66:124~131.
- 이강수, 최선영. 2001. 광도, 온도 및 CO₂의 농도가 야콘의 광합성에 미치는 영향. 한국약용작물학회지 9(3) : 232-237.
- 이경준, 한상섭, 김지홍, 김은식. 1996. 산림생태학. 향문사. pp395.
- 이길철, 소희민, 이민호, 이홍재, 김동민, 박윤희, 김성수, 윤정기, 최정호, 이원석. 1994. 오염토양의 정화방법에 관한 연구(III-1)-식물에 의한 오염토양 정화 효과-. 국립환경연구원보 16:201-209
- 이도원. 1996. 하천변 식생지대의 생태적 특성과 기능. 환경과 조경 100:86-91.
- 이수욱. 1981. 한국의 삼림토양에 관한 연구(II). 한국임학회지 54:25-35.
- 이옥주. 1999. 수생식물의 수질정화 효과에 관한 연구(꽃창포, 박하, 이삭물수세미, 큰피막

- 이, 부들, 노랑어리꽃, 생이가래에 대하여). 한양대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 이점숙. 1990. 만경강과 동진강 하구 염습지의 조위 구배에 따른 염생식물의 정착에 관한 연구. 서울대 박사학위논문. p183.
- 이창복. 1989. 대한식물도감. 향문사. p990.
- 이학근. 2002. 갯벌환경과 생물. 아카데미서적. p267.
- 임병선, 이점숙, 김하송, 곽애경, 임현빈. 1995. 만경강과 동진강의 염생식물 군락 분포. 목포대학교 연안환경연구 12: 11-28.
- 임양재, 전의식. 1980. 한반도의 귀화식물 분포. 한국식물학회지 23:69-83.
- 임양재. 1972. 한반도의 식생분포의 Hythergraph적 특성에 의한 고찰. 인천교육대학 논문집 3:13-151.
- 정구복, 김원일, 이종식, 김경민. 2002. 장기재배 시험에 의한 중금속 오염 토양의 식물정화. 한국환경농학회지 21(1) : 31-37.
- 정구복, 정기열, 조국현, 정병간, 김규식. 1997, 施設栽培地 土壤 및 菜蔬類中 重金屬含量 調査, 한토비지. 30(2):152~160.
- 정영호, 신현철, 이상명. 1989. 낙동강 하구 수역의 수생관속식물상과 현존량. 자연보존 64:39-48.
- 조강현. 1992. 팔당호에서 대형 수생식물에 의한 물질생산과 질소와 인의 순환. 서울대 박사학위 논문 26:197-206.
- 조도순, 김준호. 1995. 수중 초본식물의 중금속 내성에 대한 연구. 한국생태학회지 18(1):147-156.
- 조병훈, 차순형. 1996, 산림토양중의 중금속 함유량. 임업정보 제62호:47~49.
- 최홍근. 1986. 한국의 수생식물지. 서울대학교 박사학위 논문. 서울. 272pp.
- 한국수자원공사. 1998. 부안댐 식물생태계 장기 모니터링(제 3차년도 결과보고서). 영남대학교. pp314.
- 한국자연보존협회. 1989. 한국의 희귀 및 위기 동식물도감.
- 한심희, 현정오, 이경준, 조덕현. 1998, 亞鉛廢鑛山 周邊 土壤의 重金屬(Cd, Cu, Zn, Pb) 汚染에 따른 5個 樹種의 部位別 重金屬 蓄積. 한국임학회지. 87(3):466~474.
- 함용규. 1996. 수생식물의 중금속 흡수능에 관한 연구. 순천향대학교 석사학위논문. pp24-27.
- 홍종순. 수생식물을 이용한 폐수중 중금속제거에 관한 연구. 113~118.
- 환경부. 1995. 환경비전 21. 환경부. pp70-77.
- 환경부. 1997. 환경통계연감. 534pp.

부록 1. 만경강 및 동진강 지역의 관속식물상 목록

학명(Scientific name)	항명(Korean name)	만경강			동진강			비고
		상류	중류	하류	상류	중류	하류	
Equisetaceae 속새과								
<i>Equisetum arvense</i> L.	쇠뜨기	○	○	○	○	○	○	
Pteridaceae 고사리과								
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (De.) Un.	고사리	○			○			
Pinaceae 소나무과								
<i>Pinus thunbergii</i>	해송 *		○	○				
Typhaceae 부들과								
<i>Typha orientalis</i> Presl	부들	○	○	○	○	○		
Alismataceae 택사과								
<i>Sagittaria aginashi</i> Makino	보풀				○			
<i>S. trifolia</i> L.	벗풀				○			
Hydrocharitaceae 자라풀과								
<i>Hydrocharis dubia</i> (Bl.) Backer	자라풀	○						
Gramineae 벼과								
<i>Agropyron tsukushinense</i> var. <i>transiens</i> (H.) Ohwi	개밀				○	○	○	
<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i> (Kom.) Ohwi	뚝새풀	○				○		
<i>Arthraxon hispidus</i> (Thunb.) Makino	조개풀	○				○		
<i>Arundinella hirta</i> (Thunb.) Tanaka	새		○		○			
<i>Avena fatua</i> L.	메귀리	○			○	○	○	귀화
<i>Beckmannia syzigachne</i> (Steud.) Fern.	개피	○	○		○	○		
<i>Bromus japonicus</i>	참새귀리					○		
<i>Calamagrostis epigeios</i>	산조풀				○	○	○	
<i>C. pseudophragmites</i> (Hallo) Koeler	실새풀					○	○	
<i>Chloris virgata</i> Sw.	나도바랭이	○						귀화
<i>Cymbopogon tortilis</i> var. <i>goeringii</i> Hand.-Mazz.	개솔새	○			○			
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	바랭이	○	○	○	○	○	○	
<i>D. violascens</i> Link	민바랭이	○						
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	돌피	○	○		○	○	○	
<i>E. crus-galli</i> var. <i>frumentacea</i> (Roxb.) Wright	피	○						
<i>E. c.</i> var. <i>oryzicola</i> Ohwi	물피		○	○	○			
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertner	왕바랭이	○	○	○	○	○	○	
<i>Eragrostis ferruginea</i> (Thunb.) P. Beauv.	그렁	○	○	○	○	○		
<i>E. japonica</i> (Thunb.) Trin.	각시그렁				○			
<i>E. multicaulis</i> Steud.	비노리		○		○			
<i>Eriochloa villosa</i> (Thunb.) Kunth	나도개피	○					○	
<i>Festuca ovina</i> L.	김의털	○						
<i>Hemarthria sibirica</i>	쇠치기풀				○			

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	항명(Korean name)	만경강			동진강			비고
		상류	중류	하류	상류	중류	하류	
<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i> (Retz.) Dur. et Sch.	띠	○	○	○	○	○	○	
<i>Leersian japonica</i>	나도겨풀		○	○				
<i>Lolium multiflorum</i>	취보리	○				○		귀화
<i>L. perenne</i>	호밀풀					○	○	
<i>Microstegium vimineum</i>	나도바랭이새		○					
<i>Miscanthus sacchariflorus</i> Benth.	물억새	○	○	○	○	○		
<i>M. sinensis</i> Anderss.	참억새				○			
<i>M. sinensis</i> var. <i>purpurascens</i>	억새		○			○	○	
<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) R.et. S.	주름조개풀	○						
<i>Panicum bisulcatum</i> Thunb.	개기장	○	○				○	
<i>P. dichotomiflorum</i> Michx.	미국개기장	○	○	○	○	○		귀화
<i>Paspalum thunbergii</i> Kunth	참새피		○	○	○	○		
<i>Pennisetum alopecuroides</i> Spreng.	수크령	○	○	○	○	○	○	
<i>Phacelurus latifolius</i> (Steud.) Ohwi	모새달						○	
<i>Phragmites communis</i> Trin.	갈대	○	○	○	○	○	○	
<i>P. japonica</i> Steud.	달뿌리풀	○			○	○		
<i>Poa annua</i> L.	새포아풀				○	○	○	
<i>Pseudosasa japonica</i>	이대		○					
<i>Setaria faberi</i> Herrmann	가을강아지풀	○	○	○	○			
<i>S. glauca</i> (L.) Beauv.	금강아지풀	○	○	○			○	
<i>S. viridis</i> (L.) Beauv.	강아지풀	○	○	○	○	○	○	
<i>Sporobolus elongatus</i> R. Br.	취꼬리새풀	○	○	○	○		○	
<i>Sposiopogon cotulifer</i>	기름새		○	○		○		
<i>Themeda triandra</i> var. <i>japonica</i> Makino	솔새	○			○			
<i>Trisetum bifidum</i> (Thunb.) Ohwi	잠자리피			○	○	○		
<i>Zizania latifolia</i> Turcz.	줄	○	○	○	○	○		
<i>Zoysia japonica</i> Steud.	잔디	○	○		○	○		
<i>Z. sinica</i>	갯잔디						○	
Cyperaceae 사초과								
<i>Carex dimorpholeps</i> Steud.	이삭사초	○			○	○		
<i>C. neurocarpa</i> Max.	괭이사초	○				○		
<i>C. rugulosa</i> Kuenth.	큰천일사초						○	
<i>C. scabrifolia</i>	천일사초						○	
<i>Cyperus amuricus</i> Max.	방동사니	○	○	○	○	○	○	
<i>C. difformis</i> L.	알방동사니		○	○	○			
<i>C. glomeratus</i> L.	물방동사니	○						
<i>C. iria</i> L.	참방동사니	○			○			

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	향명(Korean name)	만경강			동진강			비고
		상류	중류	하류	상류	중류	하류	
<i>C. microiria</i> Steud.	금방동사니	○	○	○	○	○	○	
<i>C. nipponicus</i> Fr. et Sav.	나도방동사니		○		○			
<i>C. orthostachyus</i> Fr. et Sav.	쇠방동사니	○			○			
<i>C. sanguinolentus</i> Vahl	방동사니대가리	○	○	○				
<i>Fimbristylis dichotoma</i> Vahl	하늘지기				○			
<i>F. miliacea</i>	바람하늘지기		○					
<i>Kyllinga brevifolia</i> var. <i>leiolepis</i> Hara	파대가리	○			○			
<i>Scirpus triqueter</i> L.	세모고랭이	○	○	○	○	○		
<i>S. planiculmis</i> Fr. Schm.	새섬매자기						○	
<i>S. tabernaemontani</i> Gmel.	큰고랭이				○			
Araceae 천남성과								
<i>Colocasia antiquorum</i> var. <i>esculenta</i> Engl.	토란	○						
Lemnaceae 개구리밥과								
<i>Lemna paucicostata</i> Hegelm.	좁개구리밥	○			○	○	○	
<i>Soirodela polurhiza</i> (L.) Schleid.	개구리밥	○	○	○	○	○	○	
Eriocaulaceae 곡청초과								
<i>Eriocaulon miquelianum</i> Koern.	개수염				○			
Commelinaceae 닭의장풀과								
<i>Aneilema keisak</i> Hassk.	사마귀풀		○		○		○	
<i>Commelina communis</i> L.	닭의장풀	○	○	○	○	○	○	
<i>C. coreana</i> Lev.	좁닭의장풀						○	
Pontederiaceae 물옥잠과								
<i>Monochoria korsakowi</i> Regel et Maack	물옥잠				○			
<i>M. vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i> (Roxb.) S.-L.	물닭개비				○			
Juncaceae 골풀과								
<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i> Buchen.	골풀	○	○	○	○	○		
<i>J. tenuis</i>	길골풀					○		
Liliaceae 백합과								
<i>Lilium tigrinum</i> Ker-Gawl.	참나리				○			
<i>Hemerocallis fulva</i>	원추리					○		
<i>Scilla scilloides</i> (Lind.) Druce	무릇				○			
<i>Smilax china</i> L.	청미래덩굴 *	○						
<i>S. sieboldii</i> Miq.	청가시덩굴 *	○			○			
Dioscoreaceae 마과								
<i>Dioscorea tenuipes</i> Fr. et Sav.	각시마	○						
<i>D. tokoro</i> Makino	도꼬로마	○						

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	항명(Korean name)	만경강			동진강			비고
		상류	중류	하류	상류	중류	하류	
<i>D. batatas</i> Decne.	마	○	○	○	○	○	○	
Salicaceae 버드나무과								
<i>Populus alba</i>	은백양 *					○		
<i>P. euramericana</i> Guinier	이태리포플러 *	○			○			
<i>P. nigra</i> var. <i>italica</i> (Muench.) Koehne	양버들 *	○						
<i>P. tomentiglandulosa</i> T. Lee	현사시나무 *	○			○			
<i>Salix glandulosa</i> Seem.	왕버들 *	○	○	○	○	○		
<i>S. gracilistyla</i> Miq.	갯버들 *	○	○		○	○	○	
<i>S. hulteni</i> Floderus	호랑버들 *	○						
<i>S. koreensis</i> Anderss.	버드나무 *	○	○	○	○	○		
<i>S. pseudolasiogyne</i> Lev.	능수버들 *	○						
Betulaceae 자작나무과								
<i>Alnus firma</i> S. et Z.	사방오리 *	○						
Fabaceae 참나무과								
<i>Quercus acutissima</i> Carruth.	상수리나무 *				○			
Ulmaceae 느릅나무과								
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> Nakai	느릅나무 *	○						
<i>Zelkova serrata</i> Makino	느티나무 *	○			○			
Moraceae 뽕나무과								
<i>Broussonetia kazinoki</i> Sieb.	닥나무 *	○			○			
<i>Cudrania tricuspidata</i>	꾸지뽕나무 *	○	○		○			
<i>Morus alba</i> L.	뽕나무 *					○		
Cannabinaceae 삼과								
<i>Humulus japonicus</i> S. et Z.	환삼덩굴	○	○	○	○	○	○	
Urticaceae 켄기풀과								
<i>Boehmeria tricuspis</i> Makino	거북꼬리	○			○		○	
<i>B. spicata</i> Thunb.	좁게잎나무 *	○			○			
<i>B. tricuspis</i> var. <i>unicuspis</i> Mak.	풀거북꼬리	○						
<i>Pilea peploides</i> Hooker et Arnott	물통이	○						
<i>Urtica thunbergiana</i> S. et Z.	켄기풀	○			○			
Polyginaceae 마디풀과								
<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench	메밀	○			○			
<i>Persicaria blumei</i> Gross	개여뀌	○			○			
<i>P. cochinchinensis</i> Kitagawa	털여뀌	○			○	○		귀화
<i>P. conspicua</i> Nakai	꽃여뀌		○		○			
<i>P. fauriei</i> (Lev. et Vnt.) Nakai	가시여뀌	○						
<i>P. filiforme</i> Nakai	이삭여뀌	○			○			

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	항명(Korean name)	만경강			동진강			비 고
		상 류	중 류	하 류	상 류	중 류	하 류	
<i>P. hydropiper</i> (L.) Spach	여뀌	○	○	○	○	○	○	
<i>P. lapathifolia</i> S. F. Gray	흰여뀌	○	○	○			○	
<i>P. nodosa</i> Opiz	큰개여뀌	○					○	
<i>P. perfoliata</i> H. Gross	머느리배꼽	○	○	○	○	○	○	
<i>P. senticasa</i> Gross	머느리밀씻개	○	○	○	○	○	○	
<i>P. sieboldii</i> Ohki	미꾸리낙시	○						
<i>P. sieboldii</i> var. <i>aestiva</i> Ohki	민미꾸리낙시	○						
<i>P. thunbergii</i> H. Gross	고마리	○	○	○	○	○	○	
<i>P. amphibia</i> (L.) S. F. Gray	물여뀌	○			○	○		
<i>Polygonum aviculare</i> L.	마디풀	○	○	○	○	○	○	
<i>Reynoutria elliptica</i> (Koidz.) Migo	호장근	○			○			
<i>Rumex acetosa</i> L.	수영				○			
<i>R. crispus</i> L.	소리쟁이	○	○	○	○	○	○	귀화
<i>R. japonicus</i> Houtt.	참소리쟁이	○						
Chenopodiaceae 명아주과								
<i>Atriplex subcordata</i>	갯능쟁이			○			○	
<i>A. melici</i>	가는갯능쟁이			○			○	
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centroru-brum</i> Makino	명아주	○	○	○		○	○	
<i>C. album</i> L.	흰명아주	○			○			귀화
<i>C. glaucum</i>	취명아주			○	○		○	귀화
<i>C. ficifolium</i>	좁명아주		○				○	귀화
<i>Salicornia herbacea</i>	통통마디			○			○	
<i>Salsola komarovii</i>	수송나물			○				
<i>Suaeda asparagoides</i> (Miq.) Makino	나문재			○			○	
<i>S. japonica</i>	칠면초			○			○	
<i>S. maritima</i> Dum.	해홍나물			○			○	
Amaranthaceae 비름과								
<i>Achyranthes japonica</i> (Miq.) Nakai	쇠무릎	○	○	○	○	○	○	
<i>Amaranthus lividus</i> L.	개비름	○						귀화
<i>A. mangostanus</i> L.	비름	○				○		
<i>A. retroflexus</i> L.	털비름	○	○		○		○	귀화
Phytolaccaceae 자리공과								
<i>Phytolacca americana</i> L.	미국자리공	○	○		○	○	○	귀화
<i>P. esculenta</i> V. Houtte	자리공	○						귀화
Aizoaceae 석류풀과								
<i>Mollugo pentaphylla</i> L.	석류풀	○			○			
Portulacaceae 쇠비름과								

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	향명(Korean name)	만경강			동진강			비 고
		상 류	중 류	하 류	상 류	중 류	하 류	
<i>Portulaca oleracea</i> L.	쇠비름	○	○	○	○	○	○	
Caryophyllaceae 석죽과								
<i>Arearia serpyllifolia</i> L.	벼룩이자리	○			○			
<i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>hallaisanense</i> M.	접나도나물				○			
<i>Dianthus sinensis</i> L.	패랭이꽃	○						
<i>Pseudostellaria heterophylla</i> (Miq.) Pax	개별꽃	○						
<i>Stellaria aquatica</i> Scop.	쇠별꽃	○	○	○	○	○	○	
<i>S. media</i> Villars	별꽃	○	○	○	○	○	○	
Nymphaeaceae 수련과								
<i>Nelumbo nucifera</i> Gaerthner	연꽃	○						
<i>N. pumilum</i> (Thmm.) DC.	왜개연꽃	○						
<i>Nymphaea tetragona</i> var. <i>angusta</i> Casp.	수련	○						
Ceratophyllaceae 붕어마름과								
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	붕어마름	○			○			
Ranunculaceae 미나리아재비과								
<i>Clematis apiifolia</i> A.P. DC.	사위질빵 *	○			○			
<i>C. mandshurica</i> Rupr.	으아리 *	○						
<i>Ranunculus chinensis</i> Bunge	젓가락나물				○			
<i>R. sceleratus</i> L.	개구리자리	○				○		
<i>R. tachiroei</i> Fr. et Sav.	털개구리미나리	○						
Menispermaceae 방기과								
<i>Cocculus triobus</i> DC.	땡땡이덩굴 *	○	○		○			
<i>Menispermum dauricum</i> DC.	새모래덩굴	○						
Papaveraceae 양귀비과								
<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i> (Hara) Ohwi	애기똥풀	○	○	○	○	○	○	
Cruciferae 십자화과								
<i>Barbarea orthoceras</i> Ledeb.	나도냉이	○	○		○	○	○	귀화
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medicus	냉이	○	○	○	○	○	○	
<i>Cardamine lyrata</i> Bunge	논냉이				○			
<i>C. flexuosa</i> With.	황새냉이				○	○	○	
<i>Draba nemorosa</i> var. <i>hebecarpa</i> Lindbl.	꽃다지				○			
<i>Lepidium apetalum</i> Willd.	다닥냉이	○	○	○	○	○	○	귀화
<i>Raphnus sativus</i> var. <i>hortensis</i> for. <i>acanthiformis</i> M.	무	○						
<i>Rorippa indica</i> (L.) Hiern	개갓냉이	○				○	○	
<i>R. islandica</i> (Oed.) Borb.	속속이풀						○	
<i>Thlaspi arvense</i> L.	말냉이	○						귀화
Crassulaceae 돌나물과								

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	향명(Korean name)	만경강			동진강			비고
		상류	중류	하류	상류	중류	하류	
<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge	돌나물	○			○			
Rosaceae 장미과								
<i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb.	짚신나물	○			○			
<i>Geum aleppicum</i> Jacq.	큰뽕무	○						
<i>Duchesnea chrysantha</i>	뽕딸기		○		○	○		
<i>Malus pumila</i> var. <i>dulcissima</i> Koidz.	사과 *	○						
<i>Potentilla cryptotaeniae</i> Max.	물양지꽃	○						
<i>P. fragarioides</i> var. <i>major</i> Max.	양지꽃	○			○		○	
<i>P. freyniana</i> Bornm.	세잎양지꽃	○	○	○	○	○	○	
<i>P. kleiniana</i> Wight et Arnott	가락지나물	○						
<i>P. paradoxa</i>	개소시랑개비		○	○				귀화
<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	복사나무 *	○	○		○			
<i>Pyrus pyrifolia</i>	돌배나무 *					○		
<i>Rosa multiflora</i> Thunb.	찔레꽃 *	○	○	○	○	○		
<i>Rubus coreanus</i> Miq.	복분자딸기 *				○			
<i>R. crataegifolius</i> Bunge	산딸기 *	○			○			
<i>R. idaeus</i> var. <i>microphyllus</i> Turcz.	명석딸기 *	○	○	○	○			
<i>Spiraea prunifolia</i> for. <i>simpliciflora</i> Nakai	조팝나무 *	○			○			
<i>Stephanandra incisa</i> Zabel	국수나무 *	○			○			
Leguminosae 콩과								
<i>Aeschynomene indica</i> L.	자귀풀	○	○	○	○	○	○	
<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.	자귀나무 *	○	○		○	○		
<i>Amorpha fruticosa</i> L.	족제비싸리 *	○	○	○	○	○	○	귀화
<i>Amphicarpaea edgeworthii</i> var. <i>trisperma</i> Ohwi	새콩	○	○	○	○	○	○	
<i>Astragalus sinicus</i> L.	자운영	○						귀화
<i>Canavlia gladiata</i> DC.	작두콩	○						
<i>Cassia mimosoides</i> var. <i>nomame</i> Makino	차풀	○	○	○	○	○	○	
<i>Dunbaria villosa</i> (Thunb.) Makino	여우팔				○			
<i>Glycine max</i> Merr.	콩	○			○		○	
<i>G. soja</i> S. et Z.	들콩	○	○		○	○	○	
<i>Indigofera pseudotinctoria</i> Matsumura	낭아초 *				○			
<i>Kummerowia stipulacea</i> (Max.) Makino	등근잎매듭풀	○			○			
<i>K. striata</i> (Thunb.) Schindl.	매듭풀	○	○	○	○	○	○	
<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	싸리 *	○	○		○			
<i>L. cuneata</i> G. Don	비수리 *	○	○	○	○	○		
<i>L. cyrtobotrya</i> Miq.	참싸리 *	○	○		○	○		
<i>L. maximowiczii</i> Schneid.	조록싸리 *	○			○		○	

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	향명(Korean name)	만경강			동진강			비고
		상류	중류	하류	상류	중류	하류	
<i>L. tomentosa</i> S.	개싸리	○			○			
<i>Lotus corniculatus</i> var. <i>japonicus</i> Regel	별노랑이	○						
<i>Phaseolus angularis</i> W. F. Wight	팥	○			○			
<i>P. nipponensis</i> Ohwi	새팥	○	○	○	○	○	○	
<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth.	췌 *	○	○	○	○	○		
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무 *	○	○	○	○			귀화
<i>Sophora flavescens</i> Ait.	고삼	○			○			
<i>Trifolium pratense</i> L.	붉은토끼풀	○						귀화
<i>T. repens</i> L.	토끼풀	○	○	○	○	○	○	귀화
<i>Vicia amoena</i> Fisch.	갈퀴나물	○				○	○	
<i>V. angustifolia</i> var. <i>segetilis</i>	살갈퀴		○	○		○		
<i>V. cracca</i> L.	등갈퀴나물	○			○			
<i>V. japonica</i>	넓은잎갈퀴		○					
<i>V. tetrasperma</i> Schreb.	열치기완두						○	
<i>V. unijuga</i> A. Br.	나비나물	○						
Geraniaceae 쥐손이풀과								
<i>Geranium sibiricum</i> L.	쥐손이풀				○	○		
Oxalidaceae 팽이밥과								
<i>Oxalis corniculata</i> L.	팽이밥	○	○	○	○	○	○	
Simaroubaceae 소태나무과								
<i>Ailanthus altissima</i> Swingle	가죽나무 *				○			귀화
Euphorbiaceae 대극과								
<i>Acalypha australis</i> L.	개풀	○	○	○	○	○	○	
<i>Euphorbia humifusa</i> Willd.	땅빈대				○			
<i>E. supina</i> Rafin.	애기땅빈대		○		○	○		귀화
<i>Phyllanthus ussuriensis</i> Rupr. et Max.	여우주머니	○			○			
<i>Ricinus communis</i> L.	피마자	○			○			
<i>Securinega suffruticosa</i> Rehder	광대싸리 *	○			○			
Callitrichaceae 별이끼과								
<i>Callitriche verna</i> L.	물별이끼	○						
Anacardiaceae 옷나무과								
<i>Rhus chinensis</i> Mill.	붉나무 *	○			○			
Celastraceae 노박덩굴과								
<i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb.	노박덩굴 *	○						
Aceraceae 단풍나무과								
<i>Acer ginnala</i> Max.	신나무 *	○						
<i>A. saccharinum</i> L.	은단풍 *	○	○			○		

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	향명(Korean name)	만경강			동진강			비 고
		상 류	중 류	하 류	상 류	중 류	하 류	
Balsaminaceae 봉선화과								
<i>Impatiens textori</i> Miq.	물봉선	○			○			
<i>I. balsamina</i> L.	봉선화	○						
Rhamnaceae 갈매나무과								
<i>Rhamnella franguloides</i> (Max.) Weberb.	까마귀베개 *				○			
<i>Zizyphus jujuba</i> var. <i>inermis</i> Rehder	대추나무 *	○			○			
Vitaceae 포도과								
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (S. et Z.) P.	담쟁이덩굴 *	○						
<i>Vitis amurensis</i> Rupr.	왕머루 *				○			
Tiliaceae 피나무과								
<i>Grewia biloba</i> var. <i>parviflora</i> (B.) H.-M.	장구밥나무 *				○			
<i>Triumfetta japonica</i> Makino	고슴도치풀				○			
Malvaceae 아욱과								
<i>Althaea rosea</i> Cav.	접시꽃	○						
Sterculiaceae 벽오동과								
<i>Corchoropsis tomentosa</i> (Thunb.) Makino	수까치개	○			○			
Vilolaceae 제비꽃과								
<i>Viola mandshurica</i> W. Becker	제비꽃	○			○		○	
<i>V. verecunda</i> A. Giray	콩제비꽃	○						
Hydrocaryaceae 마름과								
<i>Trapa japonica</i> Flerov.	마름	○			○			
<i>T. pseudoincisa</i> S. et Z.	애기마름	○						
Onagraceae 바늘꽃과								
<i>Ludwigia prostrata</i> Roxb.	여뀌바늘	○	○		○			
<i>Oenothera odorata</i> Jacq.	달맞이꽃	○	○	○	○	○	○	귀화
Halorrhagaceae 개미탑과								
<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	물수세미				○	○	○	
Araliaceae 두릅나무과								
<i>Aralia continentalis</i>	독활				○			
Umbelliferae 산형과								
<i>Hydrocotyle maritima</i> Honda	선피막이	○						
<i>H. ramiflora</i> Max.	큰피막이					○	○	○
<i>Oenanthe javanica</i> (Bl.) DC.	미나리	○	○		○	○		
<i>Sium suave</i> Walter	개발나물	○			○			
Primulaceae 앵초과								
<i>Lysimachia barystachys</i> Bunge	까치수영	○			○		○	
Plumbaginaceae 갯질경이과								

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	항명(Korean name)	만경강			동진강			비 고
		상 류	중 류	하 류	상 류	중 류	하 류	
<i>Limonium tritragonum</i>	갯질경							○
Ebenaceae 감나무과								
<i>Diospyros kaki</i> Thunb.	감나무 *	○			○			
<i>D. lotus</i> L.	고욤나무 *	○			○			
Oleaceae 물푸레나무과								
<i>Ligustrum obtusifolium</i> S. et Z.	퀴동나무 *	○						
Gentianaceae 용담과								
<i>Nymphoides peltata</i> (Gmel.) O. Kuntze	노랑어리연꽃	○			○			
<i>N. indica</i> (L.) O. Kuntze	어리연꽃	○						
Asclepiadaceae 박주가리과								
<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino	박주가리	○	○	○	○	○	○	
Convolvulaceae 메꽃과								
<i>Calystegia hederacea</i> Wall.	애기메꽃	○						
<i>C. japonica</i> (Thunb.) Chois.	메꽃	○	○	○	○	○	○	
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	서양메꽃				○			귀화
<i>Cuscuta australis</i> R. Br.	실새삼	○	○	○	○	○	○	
<i>Ipomoea batatas</i> Lam.	고구마	○			○			
<i>Pharbitis hederacea</i> Jacq.	미국나팔꽃				○			귀화
<i>P. nil</i> Chois.	나팔꽃	○	○	○	○	○		
<i>Quamoclit angulata</i>	등근잎유홍초		○					귀화
Verbenaceae 마편초과								
<i>Clerodendron trichotomum</i> Thunb.	누리장나무 *				○			
Labiatae 꿀풀과								
<i>Clinopodium chinense</i> var. <i>parviflorum</i> (K.) H.	층층이꽃		○		○	○		
<i>Elsholtzia ciliata</i> (Thunb.) Hylander	향유	○						
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	광대나물	○						
<i>Leonurus sibiricus</i> L.	익모초	○	○		○	○	○	
<i>Mentha ravensis</i> var. <i>piperascens</i> Malinv.	박하	○			○			
<i>Mosla dianthera</i> Max.	취개풀	○						
<i>M. punctulata</i>	들개풀						○	○
<i>Perilla frutescens</i> var. <i>japonica</i> Hara	들깨	○						
<i>Prunella vulgaris</i> var. <i>lilacina</i> Nakai	꿀풀	○			○			
<i>Salvia plebeia</i> R. Br.	배암차즈기	○	○		○	○		
<i>Stachys riederi</i> var. <i>japonica</i> Miq.	석잠풀	○			○	○		
Solanaceae 가지과								
<i>Lycium chinensis</i> Mill.	구기자나무 *				○	○		
<i>Solanum lyratum</i> Thunb.	배풍등	○			○			

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	향명(Korean name)	만경강			동진강			비 고
		상 류	중 류	하 류	상 류	중 류	하 류	
<i>S. nigrum</i> L.	까마중	○	○	○	○	○	○	
Scrophulariaceae 현삼과								
<i>Lindernia crustacea</i> (L.) F. Muell	외풀	○						
<i>L. micrantha</i> D. Don	논뚝외풀	○	○	○				
<i>L. procumbens</i> Borbas	밭뚝외풀	○	○	○	○			
<i>Mazus pumilus</i> (Rurm.) Van Steenis	주름잎		○	○	○	○	○	
<i>Paulownia coreana</i> Uyeki	오동나무 *				○	○		
<i>Veronica arvensis</i> L.	선개불알풀	○				○		귀화
<i>V. persica</i> Poir.	큰개불알풀	○			○		○	귀화
<i>V. polita</i> var. <i>lilacina</i> (Hara) Yamazaki	개불알풀	○	○	○	○	○	○	
Acanthaceae 쥐꼬리망초과								
<i>Justicia procumbens</i> L.	쥐꼬리망초	○	○		○		○	
Plantaginaceae 질경이과								
<i>Plantago asiatica</i> L.	질경이	○	○		○	○	○	
<i>P. major</i> for. <i>yezomaritima</i>	갯질경이			○				
Rubiaceae 꼭두서니과								
<i>Galium spurium</i> L.	갈퀴덩굴	○	○	○	○	○	○	
<i>G. boreale</i> var. <i>latifolium</i> Trucz.	넓은긴잎갈퀴				○			
<i>G. verum</i> var. <i>asiaticum</i> Nakai	솔나물		○	○	○			
<i>Rubia akane</i> Nakai	꼭두서니	○			○			
Carprifoliaceae 인동과								
<i>Lonicera japonica</i> Thunb.	인동 *	○			○			
<i>Weigela subsessilis</i> L. H. Bailey	병꽃나무 *	○						
Valerianaceae 마타리과								
<i>Patrinia scabiosaefolia</i> Fisch.	마타리	○						
Cucurbitaceae 박과								
<i>Actinostemma lobatum</i> Max.	뚜껍덩굴	○	○		○	○		
<i>Citrullus vulgaris</i> Schrad.	수박	○						
<i>Cucumis melo</i> var. <i>akuwa</i> Makino	참외	○						
<i>Cucurbita moschata</i> Duchensne	호박	○			○			
<i>Luffa cylindrica</i> Roem.	수세미오이				○			
<i>Melothria japonica</i> Max.	새박		○		○			
<i>Sicyos angulatus</i> L.	가시박	○						
<i>Trichosanthes kirilowii</i> Max.	하늘타리		○	○	○	○	○	
Lobeliaceae 숫잔대과								
<i>Lobelia chinensis</i> Lour.	수염가래꽃						○	
Compositae 국화과								

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	항명(Korean name)	만경강			동진강			비고
		상류	중류	하류	상류	중류	하류	
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i> Desc.	돼지풀	○	○	○	○	○	○	귀화
<i>Arctium lappa</i> L.	우엉	○						
<i>Artemisia annua</i>	개똥쑥	○	○	○	○			
<i>A. iwayomogi</i> Kitamura	더위지기	○						
<i>A. feddei</i> Lev. et vnt.	뺨쑥							○
<i>A. japonica</i> Thunb.	제비쑥				○			
<i>A. orieeps</i> var. <i>princntalis</i> (Pampan.) Hara	쑥	○	○	○	○	○	○	
<i>A. scoparia</i> Waldst. et Kitamura	비쑥							○
<i>A. selengensis</i> Turcz.	물쑥	○			○	○	○	
<i>Aster ciliatus</i> Kitamura	개쑥부쟁이	○			○	○		
<i>A. koraiensis</i> Nakai	별개미취	○		○				
<i>A. hispidus</i>	갯쑥부쟁이			○				
<i>A. pekinensis</i>	가는쑥부쟁이		○	○				○
<i>A. tripolium</i>	갯개미취	○	○	○				○
<i>A. yomens</i> Makino	쑥부쟁이		○	○	○	○	○	
<i>Bidens bipinnata</i> L.	도깨비바늘	○	○	○	○	○		
<i>B. frondosa</i> L.	미국가막사리	○		○	○	○	○	
<i>B. tripartita</i> L.	가막사리	○			○			
<i>Centipeda minima</i> (L.) A. Br. et Asc.	중대가리풀			○	○			
<i>Chrysanthemum boreale</i> Makino	산국	○						
<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>ussuriense</i> Kita.	영경취	○			○			
<i>Coreopsis lanceolata</i> L.	큰금계국	○						귀화
<i>C. tinctoria</i> Nutt.	기생초	○	○	○	○	○	○	귀화
<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	코스모스	○	○		○	○		귀화
<i>Conyza bonariensis</i> L.	실망초	○			○		○	귀화
<i>C. canadensis</i> L.	망초	○	○	○	○	○	○	귀화
<i>C. sumatrensis</i> (Retz.) E. Walker	큰망초	○						귀화
<i>Erechtites hieracifolia</i> (L.) Raf.	붉은서나물	○	○	○	○	○	○	귀화
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초	○	○	○	○	○	○	귀화
<i>Eclipta prostrata</i> L.	한련초		○	○	○	○	○	
<i>Gnaphalium ahhine</i> D. Don	떡쑥				○	○	○	
<i>Helianthus annuus</i> L.	해바라기	○						
<i>H. tuberosus</i> L.	뚱딴지	○	○			○		귀화
<i>Hemistepta lyrata</i> Bunge	지칭개	○	○					
<i>Ixeris dentata</i>	썸바귀		○	○		○	○	
<i>Lactuca indica</i> var. <i>dracoglossa</i> Kitam.	상치	○						
<i>L. indica</i> var. <i>laciniata</i> (O. K.) Hara	왕고들빼기	○	○	○	○	○	○	

부록 1. 계속

학명(Scientific name)	항명(Korean name)	만경강			동진강			비 고
		상 류	중 류	하 류	상 류	중 류	하 류	
<i>L. indica</i> for. <i>indivisa</i> Hara	가는잎왕고들빼기							○
<i>L. scariola</i>	가시상치							○ 귀화
<i>Parapholis incurva</i> (L.) C.E. Hubb	빨이삭풀							○ 귀화
<i>Petasites japonicus</i>	머위							○
<i>Senecio argunensis</i> Turcz.	쭈방망이	○						
<i>Siegesbeckia glabrescens</i> Makino	진득찰	○			○			
<i>Solidago altissima</i> L.	양미역취						○	○ 귀화
<i>S. serotina</i> Ait.	미국미역취							○ 귀화
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill.	큰방가지뚱	○	○	○	○	○		○ 귀화
<i>S. brachyotus</i>	사데풀		○	○				○
<i>S. oleraceus</i> L.	방가지뚱	○	○		○	○		○ 귀화
<i>Taraxacum mongolicum</i> H. Mazz.	민들레	○	○	○	○	○		
<i>T. officinale</i> Weber	서양민들레	○	○		○	○		○ 귀화
<i>Xanthium italicum</i> More.	가시도꼬마리	○						○ 귀화
<i>X. strumarium</i> L.	도꼬마리	○	○	○	○	○		○ 귀화
<i>Youngia denticulata</i> Kitamura	이고들빼기	○						
<i>Y. japonica</i> (L.) DC.	쁘리뱅이	○	○			○		
<i>Y. sonchifolia</i> Max.	고들빼기	○	○		○	○		