

최종보고서

환경친화적인 무기계급속응집제에 의한 농업용저수지 복원기술개발

Development of Restoration Technology for Agricultural Reservoir by
Environmentally Safe Inorganic Rapidity Coagulant

2004. 11

서울보건대학
환경기술연구소

농 립 부

최 종 보 고 서

2002년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 환경친화적인 무기계급속
응집제에 의한 농업용저수지 복원기술개발에 관한 연구의 최종보고서를
별첨과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 10부
2. 최종보고서 디스켓 1매

2004 년 11 월 일

주관 연구 기관 : 서울 보건 대학

총괄연구책임자 : 김 남 천 (인)

주관연구기관장 : 서울보건대학장(직인)
구 성 회

농 립 부 장 관 귀 하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “환경친화적인 무기계급속응집제에 의한 농업용저수지 복원 기술개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004 년 11 월 일

주 관 기 관 명 : 서울보건대학

총괄연구책임자 : 김 남 천

세부연구책임자 : 권 우 택

세부연구책임자 : 차 병 훈

연 구 원 : 길 해 원

연 구 원 : 안 언 준

연 구 원 : 이 창 민

연 구 원 : 김 신 혜

요 약 문

I. 연구제목

환경친화적인 무기계급속응집체에 의한 농업용저수지 복원기술개발

II. 연구개발의 목표 및 중요성

쌀 소비가 감소하고 있는 추세에 쌀 시장 개방으로 수입량까지 크게 늘어나면 국내 쌀 시장의 붕괴로 우리농업 전체가 몰락위기에 처할 수 있으며 식량주권의 침해로 우리 농업의 자존심은 이루 말할 수 없는 처지에 놓이게 된다. 일찍이 쌀 시장의 개방에 대비한 일본은 자국민의 입맛에 맞는 품종개량과 다수확을 위해 정부차원에서 노력한 대가로 쌀 시장 개방을 대처한 오늘의 일본이다. 그만큼 국민의 자존심과 쌀을 보호하기 위해 양질의 농업용수가 크게 한 몫을 기여한 것도 사실이다.

우리나라 농업용저수지는 약 18,000여개로 준공연도가 1950년 이후, 50년 이상 된 저수지가 55% 이상 되며, 96%가 20년 이상으로 오래된 저수지이다. 저수지의 특성은 대량의 물이 한곳에 오랫동안 머무는 정체성수역이므로 오염물이 계속 유입되어 저수지의 자정능력을 초과할 때 저수지의 수질은 더욱 악화되며, 이런 현상은 저수지의 성층현상에 의해서 더욱 박차를 가하게 된다. 비록 장기간에 걸친 저수결과 오염물로서 유입된 유기물이 분해 된다고 하더라도 조류합성과 번식에 영양소가 될 무기물은 축적될 수밖에 없기 때문이다, 그 결과 수중에 맛과 냄새를 초래하는 각종 조류가 대량 번식하게 되고, 이들 조류가 죽게 되면 저수지 바닥으로 침적되어 수중 미생물에 의해 분해 되어 생기는 질소와 인은 또 다른 조류의 번식을 초래할 수 있는 영양소로 제공된다. 이러한 순환을 거듭하게 되면 저수지 수질

은 점차 악화되어 나중에 쓸모없는 늪으로 변하게 된다. 이 현상을 부영양화(Eutrophication)라고 한다. 부영양화로 인한 농업용저수지가 농업에 미치는 직접적 영향은 수확량 감소와 품질저하로 국내 쌀 생산은 위축될 수밖에 없다. 그래서 수입쌀에 대한 경쟁력을 확보하기 위해서는 양질의 쌀을 생산해야 할 것으로 판단되며 또한 국가 경제의 발달과 생산수준의 향상으로 농업이외의 부분과의 물 수요 경쟁이 심화될 것으로 예상됨에 따라 수자원량 확보차원에서 필요한 연구였다고 판단된다. 한편, 기상변동 등 물 사용량 증가에 따라 매년 농사철과 여름철에 식수 및 농업용수의 부족으로 어려움을 겪는 농촌이 증가하고 있는 추세이므로 농업용저수지의 퇴적저니 준설 등의 수질개선연구는 작금에 와서 더욱 필수적이라 사료된다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

연구개발의 핵심은 환경친화적인 천연의 무기응집제를 사용해서 오염된 농업용저수지를 원래대로 복원하는 연구인데 년도별 개발내용은 다음과 같다.

(1) 1차년도

- 농업용저수지의 물과 퇴적된 저니의 질적 분석을 이화학적 기술을 동원하여 정확히 분석과악
- 저수지의 보유수량과 퇴적저니량 산출
- 저수지 복원에 필요한 설비시스템을 pilot 수준으로 개발제작

(2) 2차년도

- 1차년도에 개발제작 된 설비시스템을 저수지현장에 설치운영으로 문제점 도출과 수정보완으로 완성품 설계제작
- 현장설치 운영으로 저수지 복원작업을 통해 복원가능성 과악
- 재차오염방지설비(Bio-Fan) 설치운영으로 농업용저수지로서의 기능 유

지검토

- 화학적(Algaecide) 및 생물학적제제 투입에 의한 수질개선방법 도출 등이 연구 내용 및 범위가 된다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발결과

- 경기도 농업기반공사의 추천으로 오염이 심한 시흥시 칠리저수지에서 본 연구팀에서 개발된 수질개선 및 복원시스템을 동원하여 저수지의 물을 그대로 존재시킨 상태에서 준설작업에 의해 1,349m³의 퇴적저니 중에 44.33%에 해당되는 598.4m³을 제거하였다. 이로 인해 바닥에 퇴적된 저니층의 두께가 0.48m에서 0.27m로 낮아졌다.
- 복원설비시스템에 의해 부영양화 원인물질인 T-N 제거는 31.85mg/ℓ에서 11.11mg/ℓ로 저하시킬 수 있어 65.12%의 제거율을 보였다. 준설량 대비 T-N 제거량은 12.14kg이었다. T-P 제거는 준설 전, 준설저니 중에 3.33mg/ℓ이었는데 복원시스템에 의해 0.100mg/ℓ으로 저하시킬 수 있어 97.0%의 제거율을 보였다. T-P의 제거율이 매우 높았던 것은 사용했던 응집제가 인(P)과의 결합력이 매우 우수했기 때문이다.
- 준설로 인해 복원된 저수지에 정체수역을 순환수역으로 전환시키는 재차오염방지시설 Bio-Fan을 설치해서 운영한 결과 성층현상이 파괴되고 전도현상이 일어난 것임을 pH, Temperature, DO 농도로 확인할 수 있었다.
- 모형저수지 반응조에서 부영양화를 제어할 수 있는 살조제 및 미생물 제제를 주입했을 때 살조제에 의한 정화는 6일 이내에 투명도, 부유물질, 탁도, 클로로필-a 등의 농도변화가 오는 것을 보였는데, 15일정도 경과되면 투명도가 다시 불량해지면서 수표면에 푸른이끼류가 많이 발생하였다. 그리고 T-N 및 T-P 변화에는 영향을 주지 못했다. 반면에,

미생물제제는 최초에 미미한 반응을 보이다가 17일 정도 경과한 후에 투명도, 부유물질, 탁도 등의 농도변화로 물이 매우 맑아지는 것을 볼 수 있었다. 아울러 T-N, T-P 농도도 저하되었다.

대체적으로 살조제인 경우는 속효성은 있으나 어느 정도 시간이 경과됨으로 수질이 다시 불량해진 반면, 미생물제제의 정화효과는 어느 정도 시간이 필요했으나 일단 정화(수질개선)가 되었으면 상당기간 유지될 수 있을 것 같다. 한편, 미생물제제에 의한 정화는 수서생물이 다종다양하게 관찰된 반면 살조제인 경우는 1~2종만을 볼 수 있어 환경친화적인 수질개선은 미생물제제인 것으로 확인되었다. 한편, 살조제 및 미생물제제를 투입하지 않은 대조군 반응조에서는 미약한 교반(물흐름)만으로도 살조제를 투입한 반응조 이상의 수질이 개선되는 것을 볼 때 Bio-Fan만으로도 수질이 개선될 것으로 사료된다.

2. 활용에 대한 건의

- 우리나라 농업용저수지는 96% 이상이 20년 이상 오래된 저수지이므로 거의가 바닥층에 퇴적저니가 함유한 것으로 판단된다. 퇴적저니가 존재하는 한 저수지 복원은 전혀 기대할 수 없다. 준설만이 저수지의 유일한 수질개선 및 복원인데 과거에는 저수지의 물을 모두 빼고 중장비를 동원하여 퇴적저니를 제거하고 다시 물을 채우는 방법을 채택하였다, 이 경우 수생태계의 파괴로 저수지의 자정력은 더욱 저하될 수밖에 없었으며, 회복되기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하고 그때에 가서는 또다시 부영양화가 초래되기 때문에 환경친화적인 방법이 되지 못할 뿐만 아니라 비경제적이다. 그러므로 앞으로 농업용저수지의 수질개선 및 복원은 저수지 물을 그대로 두면서 개선하는 방법을 정부에서 관심을 보여줄 때라고 생각한다. 복원 후 재차오염예방설비를 가동하여 영구적인 청정농업용수를 확보하여 농촌과 농민의 삶의 질이 향상되고 신토불이 국민이 되기를 건의한다.

Summary

I. Title : Development of Restoration Technology for Agricultural Reservoir by Environmentally Safe Inorganic Rapidity Coagulant

II. Objectives and Importances

If the amount of rice import increase in the present trend of declination of it's consumption, all our country's agricultural industry may be faced with crisis for bankrupt and our farmers' pride of their occupation will crash to the ground.

In earlier times, Japan depended their agricultural industry against increase of the amount of rice import by improvement of rice breeding for the taste of their people and governmental effort for high yield. Superior quality of agricultural water contributed much to the Japanese effort for protecting their agricultural industry.

Agricultural reservoirs in our country are about 18,000 sites and all of them are aged over 50 years, that is, developed after the year of 1950. The characteristic of reservoir is stagnation waters in a site for a long time. Therefore, the water quality of reservoir may be deteriorated by continuous inflow of pollutants over self-purification ability. This phenomenon will be accelerated by reservoir's stratification. Though organic compounds flowed in as pollutants by long time self-purification, inorganic compounds, nutrients for algae synthesis and propagation, will be accumulate. As the results, various algae species which cause odor and taste of water and if these algae species die, they deposit to the ground of reservoir and will be

decomposed to nutrients such as nitrogen and phosphorous by which other algae species propagate. Water quality of reservoir will be more and more deteriorated to useless site by these circulation. Such phenomenon is called 'Eutrophication'. The direct effects of eutrophication of agricultural reservoir to agricultural industry are reduction of yield and quality deterioration of the crops and in view of these facts, domestic rice production will be withered. For the competitive power of domestic rice to the imported rice, It is required to produce rice of high quality. Because competition against other than agricultural part to secure water requirement will increase according to advancement of national economy and progress of manufacturing technique, this research was necessary to secure water resources for development of agricultural industry. Furthermore, because of the trend of increase of rural community which has difficulties in shortage of drinking water and agricultural water in the summer season every year, researches for water purification such as settled sediment and dredged sediment of agricultural reservoirs are more required nowadays.

III. Contents and Scope

The core of this research is restoration of contaminated agricultural reservoirs by environmentally safe and natural inorganic coagulant. The annual contents of research is as follows.

(1) First year

- Quality analysis of water in the agricultural reservoirs and settled sediment by physico-chemical technique
- Calculation of water volume in the agricultural reservoirs and the amount of settled sediment

- Development of pilot facility system required for restoration of reservoir

(2) Second year

- Production of finished product of facility system after discovering problems in the pilot facility system developed in first year and established at the actual spot of reservoir and their adjustment
- Understanding the possibility for restoration of reservoir by establishment and operation at the actual spot
- Examination of function and possession for agricultural reservoir by installation of Bio-Fan
- Find the method for water purification by input of chemical and biological materials

IV. Results and Applications of Study

1. Results

We operated the facility system developed by our research group for restoration of contaminated agricultural reservoirs at the serious polluted site of Chil-ri reservoir in Siheung city by recommendation of Dept. KyungGi-do of Korea agricultural and rural infrastructure corporation. we removed 598.4m³(44.33%) of settled sediment from total volume of 1,349m³ as the water in reservoir as it stands. The thickness of settled sediment decreased from 0.48m to 0.27m after this operation.

We reduced total nitrogen concentration(T-N) which is the source of eutrophication from 31.85mg/ℓ to 11.11mg/ℓ and removal rate was 65.12% by the system of restoration of contaminated agricultural reservoirs. The ratio of the amount of T-N removal to the amount of dredging was

12.14kg. The concentration of total phosphorous(T-P) was 3.33mg/ℓ in the settled sediment before dredging and it was reduced to 0.10mg/ℓ (the removal rate was 97.0%) after operation the restoration system. The reason of high removal rate of T-P was because the combining force of coagulant we used was very high to phosphorous(P).

The results of operating secondary pollution protection facility(Bio-Fan) for converting the stagnation water area to circulating water regime were that the condition of stratification was changed to the condition turned over in the reservoir, which we confirmed by the indices such as pH, temperature and concentration of dissolved oxygen(DO).

when we inputted the chemicals which kills algae and other microorganisms in the pilot reservoir reaction system, the purification by algaecide resulted in concentration change of transparency, suspended matter, turbidity and chlorophyll-a in 6 days and after about 15 days, transparency grewed worse and blue moss species grewed at the surface. Then, the concentration of T-N and T-P were not changed. But, they reacted negligibly to microbial cleaning agent in the earlier times and after 17 days concentration change of transparency, suspended matter, turbidity and etc. brought about purification of water with reduction of concentration of T-N and T-P.

In ordinary, algaecide resulted in fast effect of water purification but water quality got worse after some degree of time. The microbial cleaning agent resulted in relatively slow effect of water purification but the status of purified water lasted longer than that of status by algaecide. The other side, control reacting system in which we didn't input algaecide or microbial cleaning agent resulted in better effect of water purification by mild shaking of reservoir water than that of algaecide. This results suggested that Bio-Fan alone would be sufficient for water purification of agricultural reservoirs.

2. Applications

Because the agricultural reservoirs in our country were very old ones, most of them may be deposited settled sediment. Restoration of reservoir would very difficult as long as the settled sediment exists. Dredging is the only method for purification and restoration of water. In the past times, they executed dredging after drainage of reservoir water and then filled up water in the reservoir. In this case, because of destruction of ecosystem in the reservoir, the self-purification ability would be reduced and rehabilitation require much time and eutrophication would be appeared. Therefore, this method is not environmentally safe and not economically effective. In the result, better method for purification and restoration of agricultural reservoirs is dredging with non-drainage. It is required that government be interested in this non-drainage method. We hope that after restoration of reservoir, operating secondary pollution protection facility(Bio-Fan) would supply more clean agricultural water and rural community and people's quality of life would be improved.

Contents

Chapter 1. Introduction	1
1. Backgrounds and objectives	1
2. Annual objectives	5
3. Composition of research	6
Chapter 2. The present conditions of agricultural reservoirs	7
1. The present conditions of agricultural reservoirs	7
Chapter 3. Examples of other countries	10
1. Introduction	10
2. External countermeasure of reservoirs	11
3. Internal countermeasure of reservoirs	14
Chapter 4. Preliminary examination for restoration	27
1. Selection of reservoirs	27
2. Analysis of pollution level at the selected reservoirs	30
3. Results and discussions of analysis of pollution level	38
4. Conclusions	56
chapter 5. The technique of calculating water volume and amount of settled sediment	58
1. Introduction	58
2. Calculating technique of water volume	60
3. Calculating technique of amount of settled sediment	70
4. Calculation results of selected reservoirs	72
5. Conclusions	90

Chapter 6. Performance test of equipments	92
1. Introduction	92
2. Dredging ships	97
3. Conclusions	101
Chapter 7. Development of restoration facilities	102
1. Introduction	102
2. Manufacturing dredging facility	102
3. Liquid/solid separation system	103
4. Drainage/dewatering system	114
5. Removal system of remaining contaminants	117
6. Secondary pollution protection system	120
Chapter 8. On-site operation of restoration system	123
1. Introduction	123
2. Analysis of pollution level before dredging	124
3. Performing restoration	129
4. Estimation of restoration by dredging	133
5. Conclusions	137
Chapter 9. Drainage and Dewatering of sedimentation	139
1. Introduction	139
2. Recycle and disposal of sludge	140
3. Conclusions	145
Chapter 10. Operating secondary pollution protection facility	146
1. Introduction	146
2. Activation principle of Bio-Fan	147
3. Results and discussions of operation	149
4. Conclusions	154

Chapter 11. Restoration of reservoirs cannot be applied dredging	155
1. Introduction	155
2. Method	159
3. Results and discussions of pilot system operation	163
4. Conclusions	169
Chapter 12. Assessment of economical efficiency	170
1. Restoration by dredging	170
2. Restoration by other method	171
Chapter 13. Applications	172
<References>	175

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절. 연구개발의 필요성과 목적	1
1. 기술적 측면에서의 개발목적	4
2. 경제·산업적 측면에서의 개발목적	4
3. 사회·문화적 측면에서의 개발목적	5
제 2 절. 연구개발의 목표	5
1. 1차년도	5
2. 2차년도	6
제 3 절. 연구개발의 구성	6
제 2 장 우리나라 농업용저수지 현황	7
제 1 절. 우리나라 농업용저수지 현황	7
1. 농업용수 수리시설현황	7
2. 농업용수 수질현황	7
제 3 장 부영양화 농업용저수지의 수질개선 방안의 외국 예	10
제 1 절. 개 요	10
제 2 절. 저수지의 외적대책	11
1. 저수지의 외적대책	11
제 3 절. 저수지의 내적대책	14
1. 물리적 대책	14
2. 화학적 대책	22
3. 생물학적 대책	24

제 4 장 수질개선·복원을 위한 사전조사 27

제 1 절. 수질개선·복원예정 저수지 선정 27

제 2 절. 선정된 저수지의 오염도 분석 30

- 1. 분석배경과 목적 30
- 2. 조사대상에 따른 방법과 분석항목 30
- 3. 시료채취지점 선정 31
- 4. 시료채취와 취급방법 33
- 5. 오염도 분석방법 34

제 3 절. 오염도 분석결과 및 고찰 38

- 1. 저수지 물 분석 결과와 고찰 38
- 2. 농업용수 가치여부와 부영양화도 판정 42
- 3. 퇴적저니 분석결과와 고찰 45
- 4. 조류 및 플랑크톤 관찰결과 51

제 4 절. 결 론 56

제 5 장 저수지 보유수량 및 퇴적저니량 산출기법 58

제 1 절. 개 요 58

- 1. 측량범위 및 계획 58
- 2. 기준점 측량 59
- 3. 수준측량 60

제 2 절. 내용적 측량(보유수량 산출) 60

- 1. 측량방법 선정 60
- 2. 측심위치 측량 62

제 3 절. 퇴적저니량(준설량) 산출 70

제 4 절. 선정된 저수지의 보유수량 및 퇴적량 산출 72

- 1. 연구조사 배경 및 목적 72
- 2. 조사내용 및 방법 72
- 3. 저수지 지형분석 73
- 4. 강수량을 포함한 기상조사 76
- 5. 저수지 수문조사 77

제 5 절. 결 론	90
제 6 장 준설선 및 장비별 성능조사	92
제 1 절. 개 요	92
1. 준설선의 선정요령	92
2. 준설선별 성능비교	93
제 2 절. 국내외 준설선박 소개	97
1. 국내(퇴적저니준설)	97
2. 국외(퇴적저니준설)	99
제 3 절. 결 론	101
제 7 장 수질개선복원 및 복원설비 개발	102
제 1 절. 개 요	102
제 2 절. 퇴적저니 준설시스템 설계·제작	102
제 3 절. 고액분리설비시스템	103
1. 이물질 및 모래선별기	103
2. 무기계급속응결·응집제 주입장치	105
3. 고액분리설비시스템	106
4. 환경친화적인 무기응결·응집제	110
제 4 절. 배수·탈수시스템	114
제 5 절. 분리상등수 내의 냄새, 맛, 잔유오염물 제거설비	117
1. 오존설비	117
2. 오존설비 설계·제작	118
제 6 절. 재차오염방지설비 개발 제작	120
제 8 장 수질개선·복원시스템의 현장운영	123
제 1 절. 개 요	123
제 2 절. 퇴적저니 준설전의 오염도 조사	124
1. 물 오염도 조사	124

2. 보유수량 및 퇴적저니량 조사	125
제 3 절. 수질개선·복원작업 수행	129
제 4 절. 준설작업으로 인한 수질개선·복원여부 판단	133
1. 물 오염도 조사결과로 판단	133
2. 잔유퇴적량 조사결과로 판단	135
제 5 절. 결 론	137
제 9 장 농축침강물에 대한 배수·탈수케익	139
제 1 절. 개 요	139
제 2 절. 배수·탈수케익 재활용 및 최종처분방법 도출	140
1. 저수지 준설토 처분의 법적이해	141
2. 준설토 최종처분방법	143
3. 준설토 재활용방법	144
제 3 절. 결 론	145
제 10 장 재차오염방지설비 운영	146
제 1 절. 개 요	146
제 2 절. Bio-Fan에 의한 활성화 원리	147
제 3 절. 운영결과 및 고찰	149
제 4 절. 결 론	154
제 11 장 준설복원이 적용되지 않는 농업용저수지의 수질개선	155
제 1 절. 개 요	155
1. 오염의 정도·형태분류	155
제 2 절. 연구방법	159
1. 화학적·생물학적제제에 의한 수질개선	159
제 3 절. 모형저수지 반응조 운영결과와 고찰	163
제 4 절. 결 론	169

제 12 장	실용화 및 사업화를 위한 경제성 검토	170
제 1 절.	퇴적저니 준설복원이 적용되는 저수지의 수질개선·복원	170
제 2 절.	준설복원이 적용되지 않는 저수지의 수질개선	171
제 13 장	기대효과	172
1.	기술적 측면	172
2.	경제·산업적 측면	173
3.	활용방안	174
<참고문헌>	175

제 1 장 서 론

제 1 절. 연구개발의 필요성 및 목적

쌀 시장 개방은 앞으로 1년 남았다. 쌀 소비가 감소하고 있는 추세에 수입량까지 크게 늘어나면 국내 쌀 시장의 붕괴로 우리 농업 전체가 몰락 위기에 처할 수 있으며 식량주권마저 침해로 우리 농업의 자존심은 어디에서 보상 받을 수 있겠는가? 일찍이 쌀 시장의 개방에 대비한 일본은 자국민의 입맛에 맞는 품종개량과 양질의 쌀을 수확하기 위해 정부차원에서 노력한 대가로 쌀 시장 개방을 대처한 오늘의 일본이다. 그만큼 국민의 쌀을 보호하기 위해 양질의 농업용수가 한 몫을 차지하였다.

우리나라 농업용저수지는 약 18,000여개로서 준공년도가 1950년 이후 50년 이상 된 것이 55%나 되며, 96%가 20년 이상으로 오래된 저수지이다. 18,000여개의 저수지 용량은 25억 톤(m³) 정도이며, 이들 저수지에 의해 관계되는 논면적은 108만 3천 헥타르에 달하고 있는데 2000년 농림부의 “농업용수 수질측정망 대상” 자료에 의하면 저수지 56%가 부영양화 단계를 보이면서 계속적으로 녹조류가 발생되어 농업정책의 책임부서인 농림부가 농업용저수지의 수질악화에 대해 매우 우려하고 있다.

저수지의 특성은 대량의 물이 한 곳에 오랫동안 머무는 정체성수역이므로 오염물이 계속 유입되어 저수지의 자정능력을 초과할 때 저수지의 수질은 점차 악화되며, 이런 현상은 저수지의 성층현상에 의해서 더욱 박차를 가하게 된다. 비록 장기간에 걸친 저수결과 오염물로서 유입된 유기물이 분해된다 하더라도 조류합성과 번식에 영양소가 될 무기물은 축적될 수밖에 없다. 그 결과 수중에 맛과 냄새를 초래하는 각종 조류가 대량 번식하게 되고, 이들 조류가 죽게 되면 저수지 바닥으로 침적되어 타 생물에 의해 분해되어 분해결과 생기는 물질(질소와 인)은 다른 조류의 번식을 초래할 수 있는 영양소가 된다. 이러한 순환을 거듭하게 되면 저수지 수질은 점차 악화되어 나중에 쓸모없는 늪으로 변하게 된다.

이 현상을 부영양화(Eutrophication)라고 한다. 따라서 저수지에 조류가 많이 증식한다는 것은 해당 저수지가 부영양화 과정 중에 있다는 것을 뜻하게 된다. 부영양화는 탄소, 질소, 인 같이 조류의 증식에 영양원이 될 물질(질소와 인)들이 바닥에 축적될 때 발생하게 된다. 이러한 물질들은 자연의 삼림지대에 등에 있는 썩은 식물, 농지에서 사용되는 비료, 가축사육장의 동물 분뇨 그리고 가정에서 많이 사용되는 합성세제 등이 함유되어 있는데, 이러한 물질들은 저수지 주변의 물이 유입될 때 함께 들어가게 된다. 최근 들어 인구밀도가 높아지는 지역의 호·저수지에 많이 발생된다. 한편, 부영양화 된 저수지는 pH, COD, 부유물질(SS), 탁도(Turbidity), 총질소(T-N), 총인(T-P), 전기전도도(염류농도) 등이 높아지고 용존산소량이 저하되므로 관계용수로 사용 시에 농작물에 미치는 피해는 매우 크다. [표 1]은 농업용수로서의 기준치를 초과할 때 그 피해를 나타내었다.

[표 1] 농업용수의 수질기준

항목	기준치	초과할 때의 주 피해
PH	6.0 ~ 7.5	- 비에 대한 영향 ① 산성이 강할 때 : 뿌리의 발육불량 ② 알칼리성이 강할 때 : 철 결핍 등에 의한 황화현상을 나타냄 - 토양에 대한 영향 ① 산성이 강할 때 : 토양에서 염기가 용탈되어 노후화를 촉진 ② 알칼리성이 강할 때 : 토양점토의 분산, 부식의 해질 구조 파괴
COD (화학적 산소요구량)	6ppm이하	① 토양환원의 촉진 ② 황화수소, 유기산 등의 발생으로 뿌리의 활력저하와 부패현상초래
SS (부유물질)	100ppm이하	무기질의 미립현탁물질이 눈에 유입되면 토양 중의 공극이 막혀 토양의 침수성, 통기성이 나빠지고 비의 생육에 장애를 준다.
T-N (총질소)	1ppm이하	비가 너무 무성하여 쓰러지기 쉽고, 잘 여물지 않으며, 알갱이가 작고, 쌀의 질이 악화 된다.
DO (용존산소)	5ppm이상	DO가 낮으면 뿌리 생육이 나빠지고 양분 흡수가 불량하다. 쌀 수확량이 감소 됨
전기전도도 (염류농도)	0.3mΩ/cm이상	① 삼투압의 증가로 영양물의 흡수저해 ② 염류의 성분조성과 농도의 불균형에 의한 영양분 흡수 저해 ③ 잎의 반점발생과 고사
As (비소)	0.05ppm이하	① 잎이 누렇게 변하고 다시 백엽화 됨 ② 뿌리가 썩고 새로운 뿌리 발생이 억제되고 피해가 크면 전체의 줄기가 황화하여 고사
Zn (아연)	0.5ppm이하	① 줄기 사이에 황화현상이 나타나고 파랗게 고사 ② 뿌리생육이 저해 됨
Cu (구리)	0.02ppm이하	① 잎의 선단부부터 황화, 뿌리의 위축 ② 0.1ppm에서 뿌리의 생육장애가 일어나고 0.6ppm에서 파랗게 고사

부영양화 문제는 우리나라뿐만 아니라 세계 각국이 안고 있는 수자원 오염 중 가장 해결하기 어려운 문제이다. 그 이유는 오염원인과 현상이 매우 복잡하고 복원시키는데 시간과 노력 그리고 고가의 경제적인 부담 때문이다. 그렇지만 우리 인간에게 먹거리를 제공하는 수자원이므로 인류가 존재하는 한 필요한 과제이므로 오염된 호저수지는 복원시켜야 되며 복원 후에 재차 오염을 예방하는 것도 매우 중요하다.

1. 기술적 측면에서의 개발목적

부영양화가 발생된 호저수지의 바닥층에는 상당량의 죽은 조류 및 수초가 퇴적되어 분해 됨으로서 바닥 저부에는 산소의 고갈로 저서생물의 서식지로서는 이미 기능이 상실되었고, 화학적으로는 퇴적저니의 산화-환원전위를 낮춤으로서 녹조류 발생의 주 원인이 되는 무기인이 수역 내로 용출을 유도함으로서 녹조류 발생의 잠재성이 증대되는 악순환을 유발시키기 때문에 눈에 띄는 녹조류를 제거시키는 것도 중요하지만 호저수지 부영양화 발생의 근본적인 원인제거가 선행되어야 한다. 근본적인 원인제거란, 호저수지 바닥의 퇴적저니를 준설하는 것을 말한다.

2. 경제·산업적 측면에서의 개발목적

부영양화로 인한 농업용 저수지가 농업에 미치는 영향은 [표 1]에서 나타난 바와 같이 수확량 감소와 품질저하와 같은 직접적인 피해뿐만 아니라 2005년 농업개방정책이 실시된 이후 장래의 쌀 생산은 위축될 수밖에 없고 한편으로는 수입쌀에 대한 경쟁력을 확보하기 위해서는 양질의 쌀을 생산해야 할 것으로 판단되며 국가 경제의 발달과 생산수준의 향상으로 농업이외의 부분과의 물 수요 경쟁이 심화 될 것으로 예상됨에 따라 수자원량 확보차원에서 필요한 연구라 판단된다. 한편 기상변동 등 물 사용량 증가에 따라 매년 농사철과 여름철에 식수 및 농업용수의 부족으로 어려움을 겪는 농촌이 증가하고 있는 추세이므로 농업용저수지의 녹조류 제거 및 퇴적저니 준설 등의 수질개선 연구는 우리나라에서 필수적이라 사료된다.

3. 사회·문화적 측면에서의 개발목적

농업용 저수지들은 많은 지역주민들과 관광객 그리고 레크레이션 등을 위한 친수공간을 제공하여 지역주민의 생활수준과 삶의 질을 향상시킬 수 있는 잠재력을 보유하고 있는 곳으로서 저수지의 수질악화로 경관적 측면에서 볼 때 불쾌감을 유발하여 사람의 접근을 억제시킴으로서 친수 공간의 기능을 상실하게 되고 이로 인해 농촌의 삶의 질적 수준이 저하될 수 있다. 한편 농업용저수지는 대부분 낚시터로 이용되고 있는데 부영양화로 인해 미관상 불쾌감을 주며 남조류의 독성으로 인해 낚시터로서 경제적 손실과 휴식 공간(도심 내 저수지)으로서의 영향을 주는 사회적·문화적 피해를 초래 할 수 있어 호저수지 수질개선은 필수적이라 사료된다.

제 2 절. 연구개발의 목표

1. 1차년도

오염된 농업용저수지의 수질개선·복원을 위한 문헌조사와 2차년도에 저수지현장에서 수질개선·복원작업에 필요한 설비 및 장비를 개발 제작하는 년도로서,

- 부영양화 실태를 파악하기 위해 농업용저수지에 대한 자료 수집·분석
- 부영양화로 오염된 저수지의 수질개선방안 모색
- 수질개선 및 복원에 필요한 오염도 분석방법 정리
- 농업용저수지의 보유수량 및 퇴적저니량 산출방법 도출
- 2차년도에 저수지현장에서 수질개선 및 복원에 동원될 pilot 규모의 설비 개발과 제작
- 수질개선·복원할 저수지의 오염도 조사와 보유수량 및 퇴적저니량 측정량·산출

2. 2차년도

- 1차년도에 개발 제작된 pilot 규모의 설비 및 장치를 저수지현장에 설치해서 문제점 도출에 따른 수정보완을 거쳐
- 해당저수지의 수질개선·복원작업으로 수질개선 여부를 평가하게 된다.
- (그리고) 퇴적저니가 없거나 적은 농업용저수지. 즉, 준설복원이 적용되지 않는 저수지에 모형저수지 반응조를 제작 설치하여 화학 및 생물학적으로 접근해서 수질개선 여부를 실험 연구하였다.

제 3 절. 연구개발의 구성

본 연구개발과제는 크게 두 가지로 구성된다.

첫째, 농업용저수지에 퇴적저니량이 많아 준설이 적용되는 저수지를 대상으로 수질개선 및 복원에 관한 연구. 이 경우에는,

- 수질개선·복원을 위한 사전조사 분석(수질·퇴적저니)
- 퇴적저니 준설 설비개발 및 제작
- 준설저니 고액분리시스템 개발 및 제작
- 분리된 고형물 배수·탈수시스템 개발 및 제작
- 분리된 상등수 내의 잔존오염물 및 녹조류를 대상으로 오존설비에 의해 색, 냄새 등을 제거시키는 시스템 제작
- 수질개선·복원 후 재차오염을 예방하기 위한 설비개발 등으로 구성된다.

둘째, 농업용저수지에 퇴적저니량이 적거나 없는 경우, 준설을 하지 않고 수질 개선에 관한 연구. 이 경우에는, 본 연구 1차년도의 연차실적보고서 제출 후 농림기술센터의 지시사항으로 과제구성은 다음과 같다.

- 모형저수지 반응조를 설계 제작하여 오염된 저수지 주변에 설치해서 화학적 및 생물학적제제를 투입하여 수질 개선하는 실험적 연구가 된다.

제 2 장 우리나라 농업용저수지 현황

제 1 절. 전국 농업용저수지 현황

1. 농업용 수리시설 현황

[표 2]에는 주요 농업용 수리시설을 나타내었다.

[표 2] 주요 농업용 수리시설

(단위 : 개소)

구 분	계	저수지	양·배수장	보·집수암리	기 타	
전 국	64,543	17,913	6,546	22,030	18,054	
관리	시·군	52,248	14,614	2,974	17,687	16,973
주체	기반공사	12,298	3,299	3,572	4,343	1,081

* 자료 : 2001년 농업용수 수질관리 종합보고서. 농업기반공사

주요 농업용 수리시설은 저수지가 17,913개소, 양·배수장 6,546개소, 보·집수암리 등 전체 64,543개소이다. 수리시설 중 저수지가 전국 수리답면적 817,700.1ha 중 510,537.8ha(62.4%)에 농업용수를 공급하고 있으며, 관리주체별 관리시설 수는 농업기반공사가 19.0%, 시·군이 81.0%이나 이를 농업용수공급대상 관개면적을 기준으로 하면 농업기반공사가 73.8%, 시·군 관리가 26.2%이다.

2. 농업용수 수질현황

[표 3]은 COD 8.0mg/ℓ 를 기준해서 농업용수의 년도별 변화를 나타낸 것이다. COD 8.0mg/ℓ 초과율은 기후변화 등에 따라 다소 차이는 있지만 '98년 이후에는 조사대상 저수지의 약 30% 수준이며 전체 저수지로 본다면 '98년 0.3%에서 2000년 0.7%로 증가하였다.

[표 3] 년도별 농업용수 수질변화(COD 8.0mg/ℓ 기준)

구 분		'95	'96	'97	'98	'99	2000
조사대상(개소)		115	150	161	186	336	436
기준초과시설(개소)		47	59	75	57	118	130
기준초과율 (%)	측정망대비	14	39	47	31	35	30
	전체저수지	0.3	0.4	0.3	0.3	0.6	0.7

* 년 최대 값으로 평가한 결과임.

[표 4]에는 2000년도 농업용수 수질실태 일체조사에서 '나쁨' 등급 이하 전국 500개소의 농업용저수지의 수질을 분석한 결과, 그 중 5등급이하 297개소(전국 저수지의 1.7%)가 농업용수 수질기준을 초과한 것으로 나타나 농업용수 수질오염이 전국적으로 확산되었음을 알 수 있다.

[표 4] 2000년도 농업용수의 수질등급

시설수 등급	계	등급					등급외
		I	II	III	IV	V	
조사대상	500개 저수지	-	25	94	84	99	198
기준초과시설 (%)	조사대상저수지	-	5.0	18.8	16.8	19.8	39.6
	전체저수지	-	0.1	0.5	0.5	0.6	1.1

[표 5]는 2000년도 농업기반공사의 농업용수 수질측정망 436개 저수지의 지역별 현황을 유효저수량 대비로 나타내었는데 이는 전체 18,000여개 농업용저수지의 2.4%이나, 유효저수량은 총 유효저수량의 68.7%에 해당하여 농업용수 수질관리를 위한 수질현황 판단자료로는 대표성이 있다고 볼 수 있다.

[표 5] 농업기반공사의 지역별 수질측정망

구 분	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
저수지수 대비	2.4%	10.9%	7.7%	3.8%	6.0%	2.6%	2.0%	1.3%	1.6%
유효저수량 대비	66.5%	83.4%	53.9%	68.8%	84.5%	44.4%	92.9%	53.7%	49.2%

* 자료 : 2001년 농업생산기반정비사업 통계연보

한편, [표 6]에는 농업기반공사가 조사한 농업용수 수질기준 초과저수지 130개소(2000년 결과)는 전체 저수지 18,000개소의 0.7%에 해당하며 총 유효저수량의 25.6%에 해당하여 적극적인 농업용수 수질관리의 필요성이 요구됨을 나타낸 자료이다.

[표 6] 지역별 농업용수 기준 초과시설현황

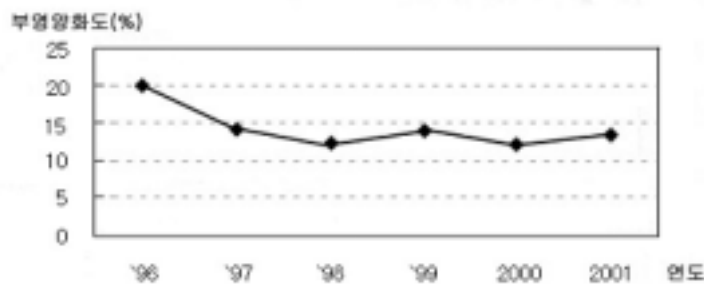
구 분	계	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남
시설수 대비	0.7%	5.8%	0.6%	0.6%	3.0%	0.6%	0.5%	0.4%	0.3%
유효저수량 대비	25.6%	59.3%	3.7%	4.5%	37.7%	8.6%	42.1%	12.6%	6.8%

[표 7]은 '96년부터 2000년까지 5년간의 농업용수 측정망 조사대상 저수지의 평균 COD값이 7.5ppm으로 농업용수 수질기준 8.0ppm에 육박하고 있음을 보여주고 있다.

[표 7] '96년~2000년간의 COD값

구 분	'96	'97	'98	'99	2000
조사저수지수	150	161	186	336	436
평균치(mg/ℓ)	6.6	7.4	9.0	7.4	7.1

한편, [그림 1]에는 연도별 부영양화 추이를 나타내었는데 '97년 이후 13%를 유지하고 있으며 중부영양 상태는 평균적으로 45%로서 농업용저수지의 상당수가 부영양화가 진행되고 있음을 알 수 있어 수질관리가 절실하게 요구됨을 나타내고 있다.



[그림 1] 연도별 부영양화도(%) 추이

제 3 장 부영양화 농업용저수지 수질개선방안의 외국 예

제 1 절. 개 요

농업용저수지 수질관리의 궁극적 목표는 수질을 비롯한 저수지생태계의 유지에 있다. 저수지 내의 오염은 저수지 외부로부터의 오염물질 유입에 의한 저수지 외적오염과 저수지 내부의 물질순환에 의한 저수지 내적오염으로 구분된다. 이에 따라 저수지 정화방안도 저수지 외적대책과 저수지 내적대책으로 구분되어질 수 있는데 저수지의 특성에 따라 각 대책의 중요성에 대한 비중이 달라진다.

- 저수지의 외적대책(External measures)
 - 인 제거시설(P elimination plant)
 - 하수의 분리(Sewage diversion)
 - 수생식물 식재정화법
 - 전 저수지 설치법

- 저수지의 내적대책(Internal measures)
 - 물리적 대책(Mechanical measures)
 - 퇴적물 제거(Sediment removal)
 - 플러싱(Flushing)
 - 심층수 폭기(Aeration in hypolimnion)
 - 심층수 배제(Diversion of hypolimnic water)
 - 퇴적물 피복(Sediment covering)
 - 산소주입(Injection oxygen)
 - 저수지 강제순환(Forced circulation)
 - 화학적 대책(Chemical measures)
 - 응집(Flocculation)

- 퇴적물 산화(Sediment oxidation)
- 생물학적 대책(Biological measures)
- 수초제거 등(Grass carp & Biomanipulation)

외국의 예에서 보듯이 저수지 외적대책의 수립으로 외부로부터의 오염물질 유입을 차단하였으나 수질이 개선되지 않은 경우가 있었는데, 이는 이미 저수지 내 퇴적물 층에 많은 오염물질이 축적되어 있었기 때문으로 이 경우는 저수지 외적대책과 병행하여 저수지 내적대책의 중요성이 입증된 것이다.

일반적으로 부영양상태의 저수지를 개선하기 위하여 적용하는 대책은 다음과 같은데 이들 중 어느 대책을 적용하는 것이 타당한 것인지는 저수지의 물리적 특성, 화학적 특성, 대책의 수립목적 및 경제성 검토가 실시된 후 결정되어야 한다. 그러나 이러한 부영양화 과정은 영양염류 수지(收支)의 통제에 의해서만 감소되어질 수 있으며 이를 위한 대책은 저수지 외적대책과 저수지 내적대책으로 구분되고 그 세부내용을 언급하면 다음과 같다.

제 2 절. 저수지의 외적대책(External measures)

1. 저수지의 외적대책(External measures)

1-1. 인 제거시설 설치(P elimination plant)

저수지는 근대에 이르러 자연환경의 수려함과 위락공간으로서의 유용성이 생활환경의 향상으로 인간의 기본욕구인 의식주 문제가 해결됨으로서 자연스레 발생된 여가활동의 추구하고 부합되어 여러 가지 면에서 현대생활의 큰 부분을 차지하게 되었다. 저수지 유역 내에 산재되어 있는 각 오염원으로부터 발생하는 오염물질의 저수지로의 유입을 배재하지 않고는 저수지의 수질개선을 개대할 수 없다. 유럽에서는 1960년대부터 인위적인 오염에 대한 부영양화 문제가 다루어졌고, 인위적인 오염이란 고농도 복합인산염(Poly-phosphate)를 함유한 합성세제의 사용에 원인을 두

고 있다. 따라서 저수지의 영양염류 부하는 저수지 유역 내에서의 인 제거시설의 설치에 의한 감소로 그 문제를 해결하였다.

인의 제거에 의하여 부영양화를 통제하는 방법이 스위스의 반바흐(Wahnbach)호에서 적용되었다. 이 지역은 주로 경작지로 구성되어 있기 때문에 점 오염원의 중요성은 무시해도 좋으며, 따라서 3차 처리의 적용은 거의 필요하지 않으며 이 지역에 적용된 인 제거시설에는 운영비가 거의 들지 않았다.

반바흐호에서는 인 총량의 80~90%가 주 유입하천인 반바흐 하천으로부터 유입되고 있다. 이 저수지가 부영양화 상태에서 빈영양 또는 중영양 상태로 되기 위해서는 유입되는 총량의 약 90%를 제거시킬 필요가 있었으며, 이 때문에 반바흐하천의 인 농도를 평균 $90\mu\text{g}/\ell$ 로 감소시키는 대책이 강구되었다. 3가의 철염으로 응집침전을 한 후 활성탄, 안트라사이트, 석용 모래로 구성된 다중여재에 의한 여과를 실시하였다, 처리능력은 $18,000\text{m}^3/\text{h}$ 이고, 여재의 표면적은 $1,100\text{m}^2$ 이다. 이 방법은 반바흐법이라고도 불리고 있으며, 인뿐만 아니라 COD 77%, 용존유기탄소 50%, 세균 99%를 제거할 수 있었다. 인 제거시설의 여과속도는 $15\text{m}/\text{h}$ 이상이 될 수 있으며 최대 여과량은 $5\text{m}^3/\text{sec}$ 에 이르고 토양의 입자 또는 조류(藻類)크기에 따라서 응집제로서 $4\sim 10\text{mg}/\ell$ 의 3가 철염을 주입한다.

반바흐호에 위치한 인산염 제거시설은 1977년말에 가동되기 시작하였으며 그 후 두 개의 같은 시설이 베를린에 건설되었다. 그리고 이들 시설은 매우 높은 인산염 농도에도 잘 대응하고 있는데 여과지 앞에 침전지의 설치가 요구되었다. 유기성 인산염의 높은 농도는 $30\mu\text{g}/\ell$ 에 달하며 반바흐호에서는 인의 처리결과, 처리수는 단지 $5\mu\text{g}/\ell$ 의 농도를 나타내었다. 하절기 pH의 상승과 1차 생산력의 증가는 인 제거시설이 가동되기 전보다 더 높았다. 그러나 인 제거시설 내에서 3가염(價鹽)의 주입에 의하여 유입수의 pH 값은 낮아졌으며 저수지의 pH에 의한 영향은 거의 발생하지 않았다.

1-2. 수생식물 식재정화법

수생식물 식재정화법은 수생식물의 자연정화 기능을 활용한 정화법으로 부레옥잠, 부평초 등의 수생식물을 이용하거나 습지의 갈대밭을 이용하여 오염부하의 삭감을 행하는 것이다. 부레옥잠을 이용한 방법은 만입부(灣入部)로 유입되는 농경지 배수를 처리하기 위하여 '92년도에 국내 팔당호에서 현장 적용한 것으로 부레옥잠의 성장률에 따른 영양염의 처리효율이 뛰어난 것으로 평가되었다. 갈대밭을 이용한 정화는 수생식물에 의한 오염물질의 흡수작용 이외에 수생식물의 줄기나 잎의 주변에 부착된 생물막과 토양계면에서의 흡착, 질산화, 탈질, 분해 등의 복합된 기능에 의하여 복잡하게 작용하고 있다.

갈대밭은 큰 정화력을 갖고 있지만 질소나 인의 무기영양염류 제거효율이 다소 낮으며 동절기에는 정화능력이 크게 저하된다. 이것은 고사(枯死)한 식물이나 토양으로부터 발생했다고 볼 수 있으므로 이들의 처분이 필요하다. 또 주변이 도시화가 되어 있지 않은 지역에서는 간이처리장치로서 갈대밭의 자연정화능력을 갖춘 소규모 저농도 처리시스템을 강구할 필요가 있다. 그러나 주택지와 갈대밭의 위치가 가까운 경우는 생활 잡폐수의 유입구 부분에서 악취나 위생해충 등이 발생될 수 있으므로 이런 점 역시 고려해야 한다.

1-3. 전(前) 저수지 설치(Pre-reservoir)

전 저수지의 설치로 저수지에 유입되는 오염물질을 제거하는 기술에 대한 예는 그리 많지 않다. 전 저수지는 대개 침전성 오염물질의 제거를 목적으로 이용되며 충분한 용적으로 유입 오염수에 대한 침전시간을 확보하여야 한다. 스위스의 반바흐(Wahnbach)호에서는 500,000m³ 용량의 전 저수지로 상류에서 유입되는 광산폐수를 일시저장 함으로서 저수지에 대한 완충역할을 하고 있다는 보고가 있다. 미국의 워싱턴(Washington)주 서부에 위치한 펙윅(Fenwick)호의 경우, 폭우후의 탁도가 문제되어 유입하천으로부터 별도의 수로와 퇴적물 침전지(Sedimentation pond)를 설치하여 침전가능 물질을 침전시켰는데 이로서 1982년에는 SS가 54~70%, T-P는 17~40% 감소하였다.

제 3 절. 저수지의 내적대책(Internal measures)

1. 물리적 대책(Mechanical measures)

1-1. 준설(Sediment removal)

준설은 저수지 내적 수질개선 대책 중 가장 효과 있는 것으로 준설을 실시하는 목적은 크게 4가지로 구분된다. 즉,

- 저수지 수심증가
- 영양염류 통제
- 수생식물 통제
- 독성물질의 제거

퇴적물로의 용출 가능한 인의 저장은 특히 수심이 얇고 체류시간이 긴 저수지에서 상당히 늦어지기도 하는데 퇴적물 내의 용출 가능한 인의 양은 때에 따라서는 수중 농도의 거의 50배까지도 되며 그 경우 퇴적물을 5~15cm 제거하는 것이 좋다. 준설에 대한 경험은 프로이덴(Freuden)호에서 준설 이후 총인 농도가 0.105mg/l에서 0.057mg/l로 감소하고, 투명도가 0.5m에서 3.2m로 증가하며, 조류의 우점종으로는 남조류가 먼저 사라짐을 보고하였다. 인이 제한요소가 되고 질소의 제한은 질소고정 조류종에게 먼저 영향을 미친다는 것이 분명하였다. 수질의 악화가 비록 지난 1976~1978년의 2~3년간 발생하기는 하였으나 비슷한 결과가 트롬멘(Trummen)호에서 퇴적물이 제거되었을 때 발생하였다. 그 수질의 악화는 폭우 시 강우와 폐수의 혼합으로 인한 인의 유입에 그 원인이 있다.

캐나다의 벤쿠버(Vancouver)호는 저수지 수심 증가를 위하여 준설을 한 저수지의 하나이며, 롱(Long)호는 퇴적물 내의 많은 영양염류를 제거하기 위하여 준설을 실시하였는데 1978년 7월부터 9월까지 60일간 Hydraulic dredging을 실시하여 60,000yd³의 퇴적물을 제거하였다. 리버티(Liberty)호에 있어서는 저수지 남쪽 끝에서 여러 정화대책 중의 하나로

1980년부터 1981년까지 준설되었는데 그 준설의 목적은 영양염류가 축적된 퇴적물의 제거였고 그 결과, 퇴적물·물간의 영양염류 교환이 감소되었다. 정화대책이 선택될 때 유입되는 인 전체가 검토될 필요가 있다. 그 결과로부터 이 준설이 이상적인 것이라 해도 전체 인의 유입을 현저히 줄이는 방안은 준비되어야 한다. 그러나 불행히도 이 방법은 많은 비용이 들며 일반적으로 적용할 수 있는 것이 아니다.

[표 8] 주요 준설사례

국가	미국			일본		
	Liberty	Vancouver	Gibraltar	취방호 (取訪湖)	中海 (중해)	和歌川 (화가천)
저수지명	Liberty	Vancouver	Gibraltar	취방호 (取訪湖)	中海 (중해)	和歌川 (화가천)
지역	워싱턴	남서부	캘리포니아	장야현 (長野縣)		
준설방법	Booster pump	바지선, 수송선	Pneuma pump	pump	pump	
준설시기	1981	1982	'81. 1 ~ 8	'79 ~ '83	~ '87	'69 ~ '73, '84
수질변화	영양염류 순환감소	조류감소 SS감소	- N, P 증가 없음 -SS현저하지 않음 -DO부족없음 -수화현상 미발생	수질개선	수질개선 '86(mg/ℓ) COD 2.8 T-P 0.053 T-N 0.495	BOD 5~10 ppm으로 대폭개선
준설면적 (ha)	20			373.6	17	
준설량 (10 ³ m ³)		6,500	153	2,117.6	400	
총예산 (\$, 10 ⁶ ¥)			1,728,000	3,850		
준설토처리	농경지에 처리		투기장처리	매립		
기타		flushing	<준설장비> -Air-driven dredge pump -용량: 600m ³ /h -심도: 18m -이송: 700m		일본최대 기수호	정화용수 도입

1-2. 심층수(深層水) 폭기(Hypolimnetic aeration)

산소는 심층수에서 유기물질의 분해를 통하여 고갈되어 진다. 저수지의 산소농도는 저수지 전체 생물에 있어 직접적으로 중요한 요소로서 대부분의 물고기는 적어도 포화산소 농도의 60~70%를 요구한다. 암모니아는 물고기에게 독성을 끼치며 이의 질산화(窒酸化)를 위해서도 산소가 필요하다.

인은 호기성 상태의 퇴적물에 결합되어 있는데 혐기성 상태의 퇴적물로부터는 용해된다. 용해된 인 농도의 증가는 광합성을 증가시킬 수 있고 퇴적물 표면에서 인이 분해 될 때, 더 많은 산소를 요구하는 유기물을 더 많이 생산한다. 그러나 이 사이클을 폭기로서 파괴할 수 있다. 폭기 방법은 다음의 세 가지로 구분될 수 있다.

- 성층파괴(成層破壞, Destratification) : 차가운 심층수는 수표면으로 펌핑되고따뜻한 표면수와 혼합된다.
- 심층수의 표면으로의 펌핑(Pumping of hypolimnetic water to the surface) : 심층수가 표면으로 펌핑됨으로서 대기와의 접촉으로 재폭기 되고 다시 심층수로 되돌아간다. 그러나 표면수와 혼합되지는 않는다.
- 심층수 폭기(Aeration directly into the hypolimnion) : 성층파괴(Destra-tification)의 적용에 대한 연구는 Symons(1969)에 의해 미국 켄터키(Kentucky)州 볼츠(Boltz)湖에서 시도되었다. 그는 이 연구를 통하여 인위적인 상층파괴는 몇몇 주요 항목에 있어서는 수질을 개선시킨다고 결론을 내렸다. 즉, 용존산소 농도가 증가하며 황화물농도가 감소하고, 조류의 성장이 줄어드는데 특히 남조류종의 성장이 감소한다.

Ambühl(1967)과 Thomas(1970)에 의한 스위스 패피커(Pfäffiker)湖의 정화에 대한 조사는 덜 긍정적이었다. 용존산소 농도는 시험기간의 첫 주 기동안은 증가되었으나 9월과 10월은 대책이 적용되지 않는 그라이펜(Greifen)湖처럼 용존산소 상태가 좋지 않았다. 심층수에서 온도가 더 높은 것은 유기물질의 미생물학적 분해율이 증가함에 따른 산소의 소모가

증가하기 때문이다. 폭기는 조류의 감소에는 어떠한 영향을 미치지 않았는데 아마도 심층수의 혼합에 그 원인이 있을 것이다.

그리고 Bernhardt(1967), Hooper et al.(1953)과 같은 다른 연구에서도 같은 경향을 보인다. 심층수의 수온이 증가함에 따른 성층파괴는 어떤 경우에 수질에 부정적인 영향을 미친다.

심층수의 표면으로의 펌핑과 심층수 폭기는 수질을 나쁘게 하지 않는다. 스웨덴의 브룬스위켄(Brunnsviken)호는 심층수 폭기로 수질이 개선되었다. 1970년에 오수가 브룬스위켄호로부터 제거되었으나 수질은 아주 천천히 개선되었다. 즉, 인 농도는 감소하고 표층수(表層水)에서의 산소농도는 증가하였으나 투명도는 증가하지 않았고 심층수는 아직 황화수소를 함유하고 있었다. 그 때문에 심층수 폭기를 시도하게 되었다. 심층수 폭기로 황화수소 생산은 현저히 감소되었고 용존산소 상태는 개선되었으며, 인 농도는 계속적으로 감소되었다. 그러나 1차 생산은 단지 미미하게 감소되었는데 영양염의 농도가 아직 포화점(飽和點, Saturation point) 이상으로 유지되고 있기 때문일 것이다. 캐나다 브리티쉬 콜롬비아(British Columbia)주의 블랙(Black)호는 자연적으로 부영양화된 평균수심 4.52m의 호소로 용존산소 농도가 낮고 수화현상으로 투명도가 감소하고 수심이 깊은 곳에서는 유기성 높은 젤라틴 형태의 퇴적물이 강한 황화수소 냄새를 풍기고 있었다.

이러한 블랙(Black)호를 정화하기 위하여 폭기시스템을 설치하여 좋은 결과를 얻었는데 강한 황화수소 냄새는 물로부터 제거되고 용존산소는 시험시작 13일 후 0.2mg/l에서 2.0~2.5mg/l로 증가하였으며 겨울철의 계속적인 폭기로 용존산소는 전체 겨울을 통하여 4.9mg/l 이상을 나타내었다. 그리고 클로로필-a양 역시 감소되었다. 사례 연구로부터 성층파괴는 심층수의 온도가 올라가기 때문에 확실히 좋지 못하다는 결론을 내릴 수 있다. 그러나 심층수의 표면으로의 펌핑, 심층수 폭기는 황화수소의 감소, 인 농도의 감소, 산소농도의 증가 등의 효과와 1차 생산에 대해서는 상대적으로 미미한 효과만 보인다.

1-3. 플러싱(Flushing)

오염되지 않은 영양염류 농도가 낮은 물의 호소로의 주입(Admission of unpolluted water)에 의하여 저수지는 희석되고 퇴적물은 씻겨진다(Wash out). 이 방법은 미국 위스콘신(Wisconsin)의 스네이크(Snake)호에 적용되었는데 다소 성공적이었다. Lemna(좁개구리밥)가 영양염류의 농도가 감소되지 않는 중에도 저수지에서 완전히 사라졌는데, 이는 아마도 퇴적물 내에서 이동된 영양염류로부터 영향을 받았기 때문일 것이다. 그러나 실험실에서의 조사에서 영양염류의 농도는 퇴적물이 완전히 씻겨졌을 때늦게 감소됨을 보였다. 워싱턴(Washington)의 그린(Green)호에서는 더 좋은 결과를 얻었는데(Oglesby, 1969) 영양염류 농도가 감소되고 투명도가 증가하며 남조류종이 사라졌다.

이 방법은 일반적으로 매혹적임에 틀림없으나 희석수가 수온의 차이로 말미암아 성층현상에 만족할 만한 변화를 주지 못한다. 두 사례 연구에서 이 내용은 검토되었는데 성층화되지 않은 얇은 저수지에는 적합하지 않았다. 그리고 이 방법에서 가장 중요한 문제는 좋은 수질의 충분한 양의 물이 늘 준비될 수 없다는 것이다.

1-4. 심층수의 배제(Diversion of hypolimnic water)

심층수는 많은 영양염과 적은 산소농도를 유지하고 있다. 표층수는 심층수와는 자리바꿈을 통하여 저수지의 영양염과 산소는 더 균형을 이루게 된다. 그러나 열균형 역시 바뀌게 되며 무기화 프로세스는 촉진된다. 변온층(Termocline)은 낮아지나 전체 성층파괴는 쉽게 일어나지 않는다. 폴란드 코르토보(Kortowo)호에서 이 방법으로 15년간 적용한 결과, 사용 가능한 방법이라는 결론을 얻었으며, 그 연구는 심층수의 용존산소 소모는 감소를 보이고 있으나 동시에 변온층은 낮아졌다. 그러나 수질은 일반적으로 개선되었는데 특히 심층수에서의 용존산소 농도가 더 개선되었다. 이러한 경험은 스위스 빌러(Wiler)호에서의 Eschmann(1969), Thomas (1970)의 연구, 오스트리아 라이터(Reither)호에서의 Pechlaner(1975) 및 핀란드 데만(Dämman)호에서의 Hämäläinen(1975)의 연구보고와 일치하

였다. 그러나 이 방법의 부정적인 내용을 열거하면 아래와 같다.

- 변온층(Termocline)이 낮아지며, 무기화 프로세스(Mineralization processes)가 촉진되기도 한다.
- 때로는 BOD 역시 높은, 많은 영양염을 가진 심층수가 하류 하천에 어떤 오염문제를 야기 시키기도 한다. 따라서 심층수에서의 더 높은 산소농도 및 영양물질 균형의 개선, 이 두 가지 점은 부영양화 모델의 사용에 의해 긍정적인 효과에 반하여 해결이 되어져야 함에 틀림없다. 미국의 워논스코포믹(Wononscopomuc)호는 수면적 1.412km², 최대수심 36m의 빙하작용에 의하여 형성된 호소로 1950년대부터 지역주민에 의하여 수질이 저하되기 시작했으며, 1968년부터는 영양상태가 급격히 변화하였다. 또한 내부적인 영양염의 부하로 *Oscillatoria rubescens*의 변온층 수화현상(Metalimnetic blooms)이 발생하였다. 이를 위하여 심층수 배수(Hypolimnetic with drawal)가 1일 400,000gal의 율로 실시되었다. 그 결과 *Oscillatoria rubescens*의 biomass가 획기적으로 줄어들었고 심층수에서의 물의 체류시간 감소와 열성층의 성격이 변화하였다. 빛 투과율이 개선되었고 변온층 수화현상의 발생위치가 상승되었고 산소비율이 감소되었다.

1-5. 산소주입(Injection of oxygen)

폭기에 의한 저수지 정화방법의 하나로 하절기의 산소공급과 동절기의 저수지 강제순환이 있는데 산소공급 방법은 하절기 열성층 동안에 심층수에 존재하는 오염물질의 산화를 목적으로 순수산소를 심층수에 공급하는 것으로 산소는 심층수에서 용해되며 넓은 지역에 분산되고, 따뜻한 표층수는 산소공급으로 혼합되지는 않는다. 이 방법은 수표면적 0.171km², 최대수심 12m, 저수용량 1.047백만m³인 독일의 베슬링어(Wesslinger)호에 적용되었는데 열성층을 파괴하지 않고 심층수의 용존산소 농도를 3~4mg/l 이상으로 유지하기 위해서 압축공기량이 3,750m³/d 요구되었고, 물의 통과량은 24,000m³/d 이었다. 그 결과 영양물질의 재용출이 현저히 감소

되었는데 하절기 정체기간에 인산염 용출량이 150kg에서 50kg으로 감소되었다. 스위스 할빌러(Hallwiler)湖의 정화를 위하여 EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, 급수·하수처리·수질보호 연방정부)에 의하여 여름철에 공기방울의 상승에 의한 온도성층의 파괴가 없는 3~4t/d의 순수산소를 공급할 수 있는 한 시설이 결정되었다. 산기관(散氣管)을 통해 새어나온 산소방울은 표층으로 상승하며, 산소가 부족한 심층수에서 사용된다. 먼저 산기관 바로 옆에 산소가 풍부한 수역이 형성되며 최저의 밀도차가 형성된다. 그러나 아직은 산소의 수평분산을 위해서는 부족하며, 넓은 표면적을 가진 순수한 물에서는 수평분산이 일어난다. 이러한 낮은 용존산소가 있는 지역으로부터 심층수는 산소를 공급받게 된다. 정화목표는 4mg/l의 용존산소 농도가 제시되어 있다. 고급 어종이 살아가기 위해서는 이 농도가 유지된다. 그러나 수질보호연구소에서는 일정한 주기로 이 산소농도가 유지되지 않음을 알고 이 측정값을 근거로 육상으로부터 산소공급을 조절하였다.

1-6. 퇴적물의 피복(Sediment covering)

퇴적물의 피복은 영양염류의 수중으로의 용출을 차단한다. 따라서 퇴적물의 피복도 저수지 정화방안의 하나로 이용되기도 하는데 피복물질은 Plastic sheet, Fly ash, Iron-rich sand, Clay가 제안된다. Ohle(1970)은 Clay를 사용한 다소 성공적인 결과를 보고하였는데 이 방법은 준설보다 저렴하나 다음과 같은 단점이 있다.

- 효과가 영구적이지 않다.
- 저서 생물권(Benthic fauna)을 위한 자연적 환경이 변화된다.

1-7. 저수지의 강제순환(Forced circulation)

동절기의 열성층을 형성하고 있는 저수지에 강한 압축공기를 주입함으로써 강제로 저수지를 순환시키는 방법으로, 압축공기는 수온이 일정하게

차가운 저수지 전 수심에서의 순환을 위해 작용하며, 이로서 심층수는 표층으로 부상하고 수표면에서 공기와의 접촉(재폭기)으로 산소를 공급 받게 된다. 강제순환의 목표는 최소한의 노력으로 물의 완전한 순환을 언제나 유지하기 위하여 한 달 내에 전체 저수지를 동질화 하는 것이다.

발데거(Baldegger)호의 데이터를 기초로 계산하면 수면적 10.2km², 평균 수심 28.6m, 저수량 0.292km³인 스위스의 할빌러(Hallwiler)호에 대해서는 10bar에서 약 600m³/h의 출력이 요구되었다. 그 원리를 살펴보면, 노즐을 통해서 발생하는 공기는 심층수에서 표층수로 공급되는데 공기는 물의 1,000배 이상이 공급되고 산소가 부족한 심층수는 동질기에 광대한 범위로 산소가 풍부한 표층수와 혼합된다. 또한 이로써 산소의 부족이 공기로 부터 산소의 재폭기를 통하여 다시 보충된다. 압축공기 중 산소의 일부가 물 속으로 이전되는데 여기에서는 그러한 것이 중요한 사항이 아니다. 그러한 원리의 전제조건은 겨울철과 같이 온도변화가 거의 없고 같은 비중을 가진 물의 저수지이다. 표층수의 온도가 올라가는 봄에는 물의 순환효과가 감소되며 여름에는 무거운 심층수가 산소의 수중 재폭기(再曝氣) 없이 즉시 다시 가라앉기 때문에 실제의 작용이 없어 강제순환이 있을 수 있다. 그러므로 연중 따뜻한 곳에서는 순수산소의 주입으로 다시 바뀌게 된다.

독일의 경우, 쉘리어(Schlier)호는 수면적 2.22km², 최대수심 40.3m, 저수용량 53.125백만m³으로 물은 부영양 상태인데 정체기간 동안의 용존산소 농도 증가로 자연적인 물의 순환이 이루어지게 함과 저수지 내 영양물질의 치환억제를 목적으로 저수지 북쪽에서는 4.65m³/분, 저수지 남쪽에서는 2.85m³/분의 비율로 공기가 주입되었다. 수면적 0.0328km², 최대수심 11.4m, 저수용량 0.187백만m³의 피쉬칼터(Fischkalter)호는 polytrophic 상태로 심층수는 무산소 상태에 있었다. 이를 위하여 유효공기량 190ℓ/분의 콤프레셔를 연중 가동하여 염화물 밀도층이 완전히 파괴되고 전 수역에서 포화용존산소를 유지하며 규조류, 녹조류가 사라지고 남조류가 발생하는 결과를 얻었다. 수면적 0.3km², 최대수심 14.5m, 저수용량 1.65백만m³의 엘러츠호이저(Ellertshäuser)호 역시 Polytrophic 상태에 있고 심층수에는 산소

가 완전히 없으며 황화수소 농도가 높은 저수지였다. 이 저수지는 황화수소의 방출 및 산화와 저수지의 용존산소를 5.5mg/ℓ 이상으로 올리는 것등을 목표로 직선형 압축공기주입기를 사용하였는데 성층의 파괴를 위하여 요구되는 압축공기량은 900 ℓ/분이며, 부가적인 전도를 위한 공기량은 400 ℓ/분이었다. 그 결과 2주간의 폭기 후 용존산소 농도는 6~7.5mg/ℓ을 유지하였다.

2. 화학적 대책(Chemical measures)

2-1. 인의 응집침전(Flocculation)

영양염류의 불활성화에 대하여 근본적으로 다른 두 가지 접근방안이 시도될 수 있는데, 황산알루미늄에 의한 응집과 퇴적물 내로 질산염 주입에 의한 유기물의 산화기 그것이다. 응집처리의 목표는 용해성 인산염의 고착인데 이로서 1차 생산력이 감소된다.

화학약품의 주입에 의하여 저수지 중의 인을 응결, 침전시키는 방안은 많이 검토되었는데 지금까지의 사례들을 통하여 볼 때 영양염류의 저수지 내에서의 불활성화 테크닉은 매우 성공적이었으며, 특히 1차 생산자인 플랑크톤에 대한 단기간의 효과를 고려할 때 더욱 그러하였다. 가장 일반적으로 이용된 기술은 알루미늄화합물을 사용하여 인산염을 응결시키는 것이다. 인은 황산알루미늄, 염화철(3가) 및 수산화칼슘의 사용으로 침전시킬 수 있다. 3가철은 저수지에서의 인 침전을 위해서는 사용될 수 없다. 왜냐하면 3가철은 혐기성 상태에서 2가철로 환원되고 불용성의 황화제2철의 형성으로 인을 용출시키기 때문이다. 수산화칼슘은 pH를 상승시키기 때문에 적용할 수 없다. 따라서 단지 황산알루미늄에 의한 인의 침전만이 대개 언급되며 이 방법은 덴마크의 린비(Lynby)호, 스웨덴의 랭(Lång)호 등 많은 저수지에서 시험되어 졌다.

인 농도는 응집제를 주입한 후 즉시 감소되는데 그 효과는 길지 못하다. 덴마크의 린비(Lynby)호에서는 인의 농도가 응집제 주입 후 6개월 동안은 응집제(황산알루미늄) 주입 전과 같은 수준을 유지하였다. 스웨덴

의 랭(Lång)湖에서는 그 효과가 2년 이상 유지되었는데, 아마도 긴 체류 시간에 그 원인이 있는 것 같다. 아울러 1차 생산력의 감소는 관찰되지 않았다.

심층수와 표층수에 Alum을 적용한 가장 성공적인 예는 미국의 메디컬(Medical)湖로 1977년 5주에 1회 이상의 주기로 표층과 수심 4.5m에 Alum이 주입되었다. 그 결과 클로로필-a와 인산염 농도가 획기적으로 감소하였다. 리버티(Liberty)湖에는 표면에 Alum이 주입되었는데 1974년에는 전체 저수지에 적용되어 매우 성공적이었다. 결과 3년 동안 남조류의 수화현상을 예방하였다. 두 번째로 1980년 가을에 저수지의 북쪽 끝 수표면의 70%의 Alum이 주입되었고, 1981년 봄에는 준설이후 저수지 남쪽 끝에 다시 주입되었다. 1980년 가을과 1981년 봄의 Alum 주입으로 1981년과 1982년 여름에는 남조류의 엄청난 수화현상이 일어나지 않았다. 결국 리버티(Liberty)湖는 북서태평양 지역에서 저수지 회복기술로서의 Alum 주입이 성공적인 매우 좋은 예가 된다. 이러한 화학적 처리로 얻어지는 장점은 다음과 같다.

- 저수지의 인산염 제거효율이 향상된다.
- 저수지 퇴적물로부터의 인산염 재용출에 대한 Alum 수산화 층의 효과가 뛰어나다.
- 식물플랑크톤 Biomass의 감소효과가 높다.
- 동물플랑크톤, 세균성플랑크톤 및 물고기에 대한 독성이 없다.

그러나 제설작업에 의한 소금물에 의하여 저수지 가장 깊은 곳에서는 염소이온의 농도가 높고, 그 때문에 저수지가 순환하지 않는 경우가 있었다. 그리고 이 방법은 단독적으로 사용할 때, 호소정화를 위해서는 부적절한 방법이며 다른 정화대책과 함께 사용된다면 검토될 만한 것으로 판단된다.

2-2. 퇴적물의 산화(Sediment oxidation)

퇴적물은 저수지에서 영양염류 순환에 큰 역할을 한다. 영양염류는 여기에 축적되며, 호기성 상태에서 퇴적물은 많은 양의 인과 결합될 수 있으며 다른 한편 혐기성 퇴적물은 이 인의 많은 부분을 용출시킨다. 호기성 퇴적물은 인을 인산 제3철로 고착시키며 수산화 제3철로 침전시키는데 거기에는 많은 양의 인이 흡착되어 있다. 혐기성 상태 하에서는 3가철이 2가철로 되고 인이 용출한다. 퇴적물 폭기의 원리는 심층수 폭기의 특징과 같으나 물 속에서 또는 퇴적물 표면에서의 산소농도는 다르다.

다른 가능성이 Dunst et al.(1974)에 의해 언급되었는데 즉, 퇴적물의 수축(Shrinkage)과 폭기시간을 위하여 수위를 낮추는 것이다. 이 방법은 몇 가지 장단점이 있는데 퇴적물의 수축과 산화가 장점이며 무기화 프로세스의 촉진이 단점이다. 이 방법은 일반적으로 추천될 만한 것은 아니다. 퇴적물의 수축이 어떤 경우에 있어서는 매우 중요한데 1m 수축은 Born et al.(1977)이, 2m 수축에 대해서는 Lohammar(1949)가 언급하였다. 경험에 의하면 수축은 영구적인 것이며 물을 채운 이후에 수심이 증가되었고 수질도 향상되었다(그러나 전체 유량에 대한 영양염의 양은 같다).

3. 생물학적 대책(Biological measures)

3-1. 수생식물 제거(Grass carp & Biomanipulation)

1960년대 말부터 수초(*Ctenopharyngodon idella* Val.) 뿌리의 제거에 의한 수생식물 통제가 스웨덴의 약 90개 수체에서 시험되었다. 이러한 시험으로부터의 경험이 지표가 되었고, 그 효과는 *Phragmites*와 *Typha* 또는 *Scirpus*가 우점이 아닌 알맞은 온도의 작은 수체에서 거의 뚜렷하였다. 스칸디나비아반도 저수지에서의 수초뿌리의 제거(Grass carp)는 의문시되는 경우와 긍정적인 경우가 있었다. Wallsten에 따르면 외스비젠(Ösbysjön)호에 대한 결과는 일시적이었으며 말스타젠(Malstasjön)호에서는 효과가 없었다. 불행히도 정화대책으로서 수초뿌리 제거는 큰 효과가 없는 것으로 판명되었다. 수생생물의 통제와 수생생물 제거에 의한 노

력은 잉어가 감소되는 저수지에서 시험되었는데 일시적이거나 긍정적인 효과가 있었다.

3-2. 부레옥잠에 의한 저수지 정화

부레옥잠을 이용한 수처리공법은 널리 알려진 내용이다. 그러나 이를 저수지의 정화에 적용한 사례는 많지 않은데, 팔당호에서는 만입부(灣入部)에 부레옥잠을 심어 유역으로부터 유입되는 오염물질을 우선적으로 처리한 후 저수지 중심으로 들어가도록 한 예가 있다. 이는 저수지의 수심이 얇고 체류시간이 긴 경우 상당히 효과적인 것으로 알려져 있다.

호소 내적 대책	부영양화 (처리된 호소)	결과
생물학적 대책		
수생식물 제거	⇒ L. Ösby	⇒ 일시적 효과
	⇒ L. Malsta	⇒ 효과없음
뿌리 제거	⇒ L. Sövdeborg	⇒ -
	⇒ L. Trummen	⇒ 일시적 효과
화학적 대책		
응집	⇒ L. Lång	⇒ 일시적 회복
	⇒ L. Löt	⇒ -
퇴적물의 산화	⇒ L. Lille	⇒ 회복
	⇒ L. Trekanten	⇒ 회복되지 않음
물리적 대책		
퇴적물 제거	⇒ L. Laduviken	⇒ 개선됨
	⇒ L. Trehörningen	⇒ 회복되지 않음
	⇒ L. Trummen	⇒ 회복
	⇒ L. Finja	⇒ (사업초기)
	⇒ L. Kundby	⇒ (계획 중)
퇴적물 제거/산화	⇒ L. Södra Bergunda	⇒ (구상 중)
폭기 및 응집	⇒ L. Ring	⇒ (구상 중)

[그림 2] 스웨덴에서의 부영양화 저수지의 내적 대책 및 결과

3-3. Biomass 농도의 감소(Reduction of the biomass concentration)

과영양호에서의 Biomass의 1차 생산력은 수초의 섭식(Grazing)보다 더 높는데 이는 유기물질의 주 흐름이 호흡과 “1차생산 → 유기물질(Detritus) → 무기화” 즉, 먹이연쇄의 순환에 의한다는 것을 의미한다. 그리고 생태계는 더 이상 생태학적 균형을 유지하지 않는다.

초식동물(예: 달팽이, 잉어)의 주입으로 그 섭식율(Grazing rate)은 증가할 수가 있다. 이 방법을 위해서는 풍부한 용존산소에 적당한 pH가 주입된 초식동물의 생존에 충분할 만큼 적절해야 한다. 이 방법에 의한 저수지 정화 경험은 제한되어 있으며 어려움이 많은 것임에 틀림없다. 제초제인 황산구리의 사용이 제안되기도 했는데 (Dunst et al. 1974) 이 방법은 어떤 독성화합물의 예기치 못한 효과 때문에 추천될 수가 없다. 대형 수생식물의 제거에 대해서는 Björk(1968)이 보고하였으며, Seppänen(1975)에 의해서는 빛의 투과율 감소를 위한 물감의 사용이 보고 되어졌다.

제 4 장 수질개선 · 복원을 위한 사전조사

제 1 절. 수질개선 · 복원예정 저수지 선정

연구목적을 수행하기 위해 농업용저수지 선정은 농업기반공사 경기지사의 협조 하에 오염도가 가장 심한 경기도 시흥시 금이동에 위치한 칠리저수지를 추천 받았다[사진 1]. 칠리저수지는 1945년에 준공되었으며 일반현황은 [표 9]와 같다.



[사진 1] 칠리저수지 전경

[표 9] 칠리저수지의 일반현황

유역면적(ha)	인가면적(ha)	한발빈도	수해면적(ha)	유효저수량(천톤)
110	107.6	1	69.6	115
제당구조	제당길이(m)	제당높이(m)	만수면적(ha)	설계홍수량(천톤)
1	280	5.2	7.1	19.6

현재는 칠리저수지의 모퉁이를 수인산업도로가 가로질러 2개의 저수지로 나뉘어져 있다. 그래서 작은 저수지를 연구목적상 小칠리저수지, 규모가 큰 저수지를 大칠리저수지로 명명하였다. [그림 3]는 건설교통부 국립지리원 발행 축척 1/5,000 지형도로 본 칠리저수지이며 [그림 4]은 칠리저수지의 1/1,000 수치지도이다. [그림 4]의 수치지도 상에는 小칠리저수지가 나타나있지 않다.



[그림 3] 건설교통부 국립지리원 발행 축척 1/5,000지형도로 본 칠리저수지의 소재



[그림 4] 칠리저수지의 1/1,000 수치지도

제 2 절. 선정된 저수지의 오염도 분석

1. 분석배경과 목적

매년 부영양화로 심하게 오염된 저수지의 수질을 기계적인 설비를 비롯해서 물리·화학·생물학적인 공법을 동원해 수질을 개선하기 위해서는 해당 저수지의 오염원인과 오염정도 등을 정확하게 사전에 조사·분석되어야만 수질개선 대책을 수립할 수 있게 된다. 그래서 본 연구팀에서는 저수지의 물 오염 정도와 오염원인, 그리고 퇴적저니의 오염도를 파악하여 연구 2차년도에 칠리저수지 현장에 1차년도에 설계·제작된 성과품(시작품)을 설치하여 저수지의 수질들을 개선하여 농업용수로서 그 기능을 향상시키는데 목적이 있다.

2. 조사대상에 따른 방법과 분석항목

2-1. 저수지 주변 환경조사

칠리저수지 남쪽에서 북서방향으로는 수원에서 인천으로 주행하는 경인산업도로가 小칠리저수지와 大칠리저수지 사이를 가로질러 많은 차량이 주행하고 있었으며, 小칠리저수지 상류쪽에는 5년 전까지 대규모의 양돈시설들이 있었다. 현재는 소규모 가내공장들이 여러 동 있고 비교적 규모가 큰 개(犬)사육장으로 인해 주변 환경이 매우 오염되어 있었다. 그리고 小칠리저수지는 주변의 공장 등에서 많은 수의 오리를 사육하고 있어 이들이 비점오염원으로 작용하고 있다고 판단되었다. 小칠리저수지는 낚시터로 사용했다가 오염이 심해 현재는 낚시터로의 기능은 잃은 상태이다. 大칠리저수지 주변에는 10여채의 민가가 있고 농업기반공사에서 낚시터로 허가를 해서 관리자가 관리하고 있었다. 그리고 大칠리저수지 유출구 쪽에서는 농업기반공사에서 수문공사를 하고 있었고, 수문하류 쪽에는 비닐하우스와 논들이 있다. 大칠리저수지는 小칠리저수지의 물을 유입 받아 大칠리저수지를 이루고 있기 때문에 小칠리저수지의 영향을 절대적으

로 받고 있었다. 大·小칠리저수지는 오염도가 너무 심해 2년 전에 저수지의 물을 모두 빼내고 중장비를 동원하여 준설한 저수지였다.

2-2. 저수지 수질조사항목

小·大칠리저수지는 육안으로 볼 때 매우 탁해 보여서 바람이 불 때는 비린 냄새를 느낄 수 있었다. 수질조사 항목은 다음과 같다. 수온, pH value, 용존산소(Dissolved Oxygen), 투명도(Transparency), 탁도(Turbidity), 부유물질(SS), 화학적산소요구량(COD), 생물화학적산소요구량(BOD), 클로로필-a(Chlorophyll-a), 총질소(Total-N), 총인(Total-P), 전기전도도(Conductivity), 알카리도(Alkalinity), 증발잔유물(Evaporation Residue), 경도(Hardness) 등 16개 항목이다.

2-3. 저수지의 조류 및 플랑크톤조사

조류 및 플랑크톤의 정성 및 정량시험

2-4. 저수지의 퇴적물조사항목

원시료와 습시료에 대한 pH value. 공극수에 대한 COD_{mn}, T-N, T-P, 습시료의 고형분과 수분함량, 습시료에 대한 휘발성 유기물함량, 퇴적저니의 COD, 총질소 및 총인 등의 12개 항목. 그리고 12개 항목의 중금속류와 퇴적저니의 입도구성이 분석 대상이 되었다.

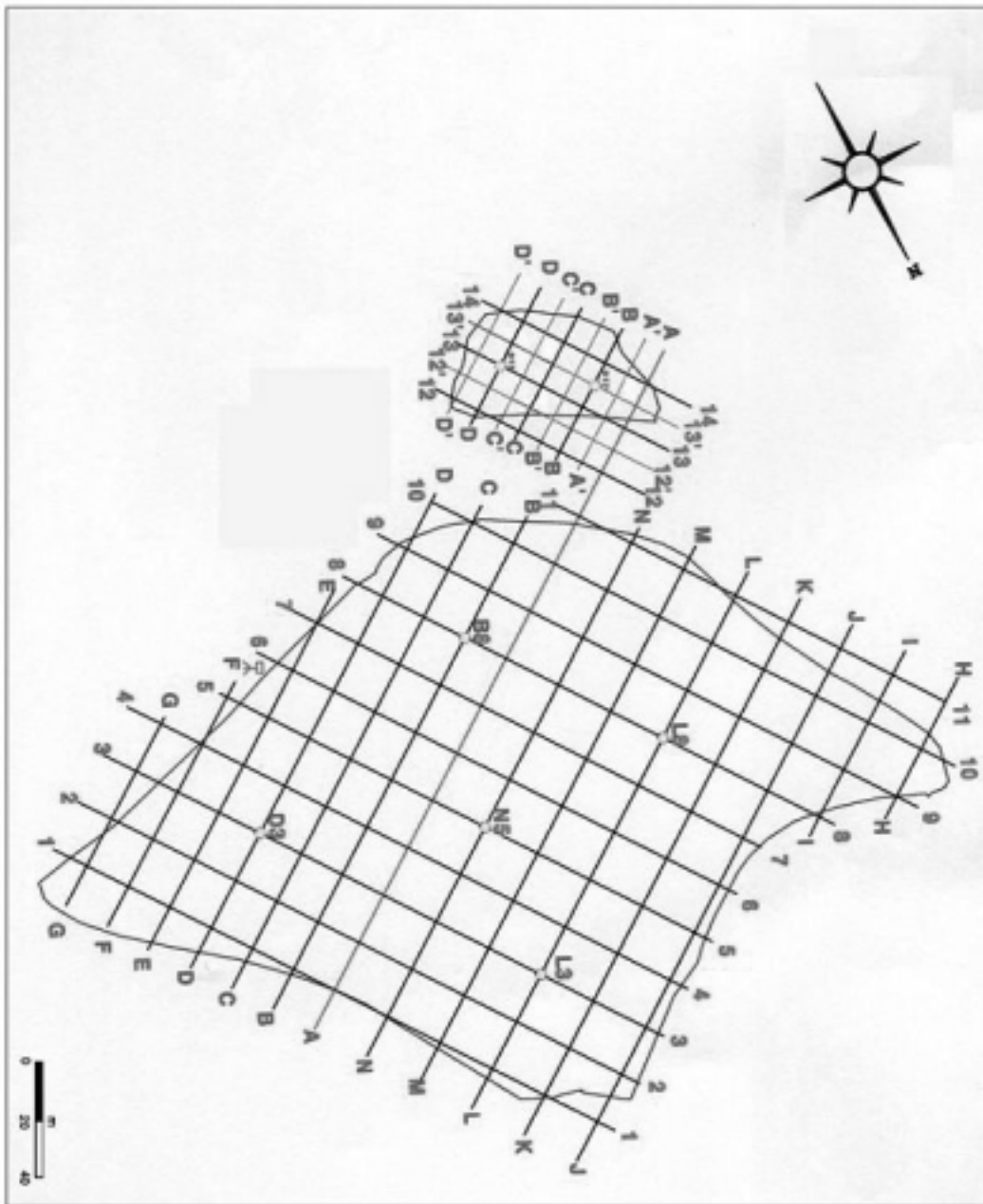
2-5. 조사 시기

- 저수지 오염 주변 환경조사 : 2003년 3월~2003년 4월
- 저수지 수질 및 조류조사 : 2003년 3월~2003년 6월
- 퇴적물성상 및 오염도 조사 : 2003년 5월~2003년 6월

3. 시료채취지점 선정

조사지점은 [그림 5]에서 小칠리저수지인 경우 C12'과 B13' 2개 지점이

며 大칠리저수지인 경우는 유입지점(B8)으로부터 좌측(L8), 우측(D3), 저수지중앙부(N5) 그리고 유출지점(L3) 등의 5개 지점을 선정하였다.



[그림 5] 칠리저수지의 시료채취지점

4. 시료채취와 취급방법

4-1. 저수지 수질분석시료

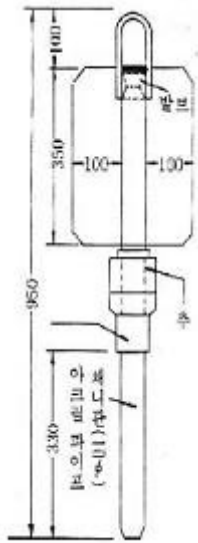
평균된 4ℓ 용량 폴리에틸렌제의 용기를 이용하여 보트선상 위에서 각 지점별 수심 15cm 이하에서 채수하였다. 그리고 즉시 준비된 대형 Ice Box에 넣어 실험실로 운반하여 5℃의 냉장고에 넣었다.

4-2. 조류 및 플랑크톤시료

조류 및 플랑크톤조사를 위한 시료는 채취현장에서 수질분석을 위해 채취한 물 100ml에 Lugol 용액으로 보존 처리하여 Ice Box에 넣어 실험실로 운반하였다.

4-3. 퇴적저니시료

퇴적저니 코아채니기(Core Sampler[그림 6])로 수질분석용 채취시기와 지점에서 3회 이상 저질을 채취하고 각 시료에서 표층 5cm를 취한 후 혼합하여 대표시료로 한다. 대표시료는 비닐봉투에 담아 Ice Box에 넣어 실험실로 운반하였다. 그리고 저니층별 외관상 특성과 구성물을 알기 위한 주상시료(柱狀試料)는 Core Sampler를 사용해서 저니층을 채취 후 실험실로 운반하여 외관성분을 [그림 7]과 같이 육안으로 색상과 점도를 기준으로 하여 상부(1), 중앙부(2), 하부(3)의 3개 구획으로 분류해서 각부별 시료를 채취하여 분석하였다. 한편, 퇴적저니 상부층의 유기·무기물의 함량과 중금속 등 그리고 입도구성을 분석하기 위해서는 Ekman-Birge식 채니기[사진 2]로 채취하여 2ℓ 용량의 플라스틱 Box에 담아 Ice Box에 넣어 실험실로 운반하였다.

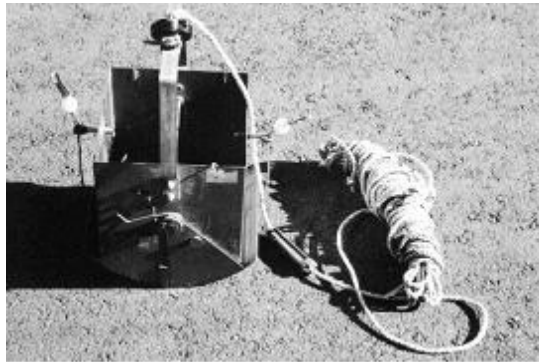


[그림 6]
Core Sampler



저 니 층	상 부 (1)
	중양부 (2)
	하 부 (3)
토 양	

[그림 7] 저니층 주상시료의 구획방법



[사진 2] Ekman-Birge식 채이기

5. 오염도 분석방법

5-1. 저수지 물 오염도 분석

채수한 저수지의 물에 대한 오염도 분석은 환경부의 수질환경공정시험법에 의해 [표 10]과 같은 방법으로 분석하였다.

[표 10] 수질오염분석 항목에 따른 분석방법

항 목	분석방법	분석기기
-Temp.(°C)	현장측정	Thermister(SK-110TRH)
-pH value	현장측정	pH meter(TOA-12, Japan)
-D.O(mg/ℓ)	현장측정	D.O meter(YSI 51-B, USA)
-Transparency(cm)	현장측정	Secchi disk
-Turbidity(NYU)	Nephelometry	Turbidity meter (2100AN, Japan)
-SS(mg/ℓ)	Gravimetric analysis	-
-COD(mg/ℓ)	permanganate reflux	-
-BOD(mg/ℓ)	5 days incubation	-
-Chloro-a(mg/m ³)	Acetone extraction method	
-T-N(mg/ℓ)	자외선흡광도	UV Spectrophotometer (Shimazu, UV-1200)
-T-P(mg/ℓ)	Ascorbic acid	Spectrophotometer (Shimazu, UV-1200)
-Conductivity (ms · m ⁻¹)		Conductivity meter (TOA-CM-40V, Japan)
-Alkalinity(mg/ℓ)	Neutralization titration	-
-Hardness(mg/ℓ)	EDTA titration	-
-Evaporation Residual(mg/ℓ)	Gravimetric analysis	-
-중금속합량(mg/ℓ)		AAs(Perkinelmer)

5-2. 퇴적저니 오염도 분석

채취된 퇴적저니에 대한 오염도 분석은 [표 11]과 같은 방법으로 분석하였다.

[표 11] 퇴적저니 오염도분석 항목에 따른 분석방법

구 분	조사방법	분석기기 (모델명)	관련법규
-pH (원/습시료)	직접측정법	pH meter	토양오염공정시험방법 제4장 제1항
-공극수CODmn -퇴적물CODsed	permanganate 적정법		· 수질환경공정시험법 · 해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편 제4장 제6항
-입도분석	Boring 퇴적물 Core를 상·중·하 로 분리하여 각 시료를 혼합한 후 4분법으로 시료를 채취후 입도분석 기를 이용하여 입도를 직접측정	입도분석기	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편 제4장 제1항
-고형분율/ 함수율	각 Core의 동일분석깊이에서 10g의 퇴적물을 평량하고 이를 110℃에서 24시간동안 건조하여 항량으로하여 무게차이를 구하여 100분율로 표시	건조기	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편 제4장 제2항
-휘발성유기물 (유기/ 무기물량)	분말시료 10g을 정확히 평량하여 550℃ 회화로에서 완전회화하여 항량으로하여 원분말시료와의 무게 차이를 구함.	회화로	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편 제4장 제3항
-공극수채취	원심분리	원심분리기	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편 제1장 제2항
-중금속함량 측정	각 항목별로 전처리 후 분석	AAs (Perkinelmer Optima-3200-XL)	해양환경공정시험법 중 해저퇴적물편 제4장
-T-N/T-P측정	· 공극수 중의 T-N과 T-P는 수 질오염공정시험법 제4장 제14항 총질소 및 제4장 제16항을 총인 분석방법에 의거 분석을 실시 · 퇴적물의 총인은 Hieltjes 와 Lieklema(1980)에 시험법을 인용 하였으며, 총질소는 Kjeldhal법을 인용함	UV(Shimazu UV-160)	수질오염공정시험법 제4장 제14항 및 제16항

5-3. 조류 및 플랑크톤 동정 및 계수방법

○ 정량시험방법

정량시험의 목적은 저수지 내의 부영양화 정도와 진행상태를 파악할 수 있다. 그 방법은 다음과 같다.

앞장의 4.의 4-2의 조류 및 플랑크톤 조사 목적으로 채취된 농축된 시료를 잘 혼합하여 마이크로 정밀피펫으로 0.5ml를 취해 경계선이 있는 슬라이드글라스 위에 떨어뜨린 다음 커버글라스로 덮는다[그림 8]. 이어서 프레파라트를 100~200배의 현미경 하에서 눈금에 따라 이동시키면서 나타나는 모든 조류 및 플랑크톤을 계수한다. 같은 방법으로 3회 반복하여 1ml 속의 조류 및 플랑크톤수를 계산한다.

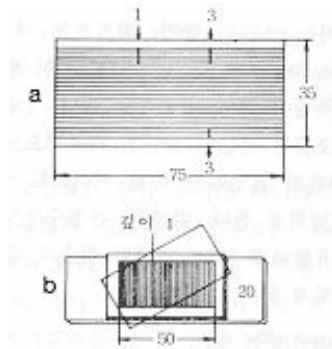
$$N = (a_1 + a_2 + a_3) \times \frac{20}{3C}$$

여기에서 N=시료 1ml 속의 조류 및 플랑크톤수

a_1, a_2, a_3 = 각 횃수의 시료 값(=0.5ml 속의 수)

$$C = \text{농축배수} = \frac{\text{시료(ml)}}{\text{농축시료(ml)}}$$

여기에서 농축시료란 채취한 물 100ml에 Lugol 용액 0.7ml 넣어 약 1주일정도 정치하여 침강시킨 것을 말한다. 1주일 후에 상등액을 사이폰으로 조용히 버리고 최초의 1/10량으로 하면 10배 농축수를 얻을 수가 있다. 또한 100배 농축하기 위해서는 앞에서 언급된 조작을 두 번 반복하고 두 단계 정도로 농축한다.



[그림 8] 생물시험용 글라스, 기구류

a: 계선이 들어간 슬라이드글라스,

b: 칸막이슬라이드글라스

○ 정성시험방법(조류 및 플랑크톤 동정)

동정의 목적은 생물 종, 속의 이름을 결정하는 것과 각 종, 속이 어떠한 비율로 섞여있는지의 개략을 조사하는데 있다. 그러므로 생물학적 및 화학적으로 수질을 개선하는데 방법을 선택할 수 있고 수질개선 후에 개선여부를 판단하는데 결정적으로 작용한다. 동정을 하는데 있어서 우선 정성용 시료를 잘 혼든 다음 슬라이드글라스 위에 한 방울 정도 떨어뜨리고 커버글라스로 덮어 동정프레파라트를 만든다. 이것을 100배 정도의 낮은 배율로 검경하고 생물군의 구성이나 각 종, 속의 비율에 대하여 개략적으로 파악한다. 그 다음 각 생물을 시야의 중앙으로 옮기고 배율을 400배로 높인 다음 군체나 세포의 내부에 대해서 구체적으로 관찰한다. 더 자세한 동정을 위해서는 유침렌즈(Oil immersion)를 쓰며, 1,000~1,500배로 하여 관찰한다. 외형만 비슷하다고 간단하게 이름을 결정하는 것은 매우 위험하고 반드시 각 종에 대한 설명문을 읽고 특징이 일치하는지의 여부를 충분히 검토한 다음 동정하여야 한다.

제 3 절. 오염도 분석결과 및 고찰

1. 저수지 물 분석결과와 고찰

칠리저수지의 물 분석결과는 채취지점별, 날짜별로 [표 12]에 나타내었다.

- pH value : 동일(5월 13일) 小칠리저수지의 pH는 9.61~9.62, 大칠리저수지는 8.69~9.44로 측정되었다. 大칠리저수지 내의 L8지점(유입구좌측)에서는 타지점보다 pH가 낮았다 이 지점은 수표면 수초류가 많은 지역이며 어류가 알을 낳고 부화하는 지점이다. 한편, 농업용수의 수질 기준치는 6.0~8.5인데 모두 초과하였다.
- Temperature : 봄(3월 27일)에서 여름철(5월 29일)로 갈수록 수온은 높아졌고(10.3~21.7℃), 비교적 저수지 규모가 적은 小칠리저수지의 수온이 높았다.

- D.O : 칠리저수지의 D.O농도는 3월 27일에는 10.3~10.6mg/ℓ, 4월 10일에는 11.9~13.5mg/ℓ, 5월 13일에는 9.8~14.2mg/ℓ로 측정되었다. 수온이 높아지면 DO량은 많아졌다. 이는 수표면의 수온이 높아지면 광합성량이 증가되기 때문에 DO농도가 높아졌기 때문이다.
- Transparency : 보편적으로 투명도는 32~40cm로 측정되었는데 이를 [표 13, 14]와 비교해 볼 때 칠리저수지는 부영양화(Eutrophic) 수준 이상인 Hypertrophic(영양과다) 수준인 것으로 나타났다.

[표 12] 칠리저수지의 수질분석 결과(2003년 3월~5월)

채수지점	채수일	pH	TEMP (°C)	DO (mg/ℓ)	Trans. (cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	Chlo-a (mg/m ³)	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	Cond (mg/cm)	Alk. (mg/ℓ)	Hard.n (mg/ℓ)	Eva.R (mg/ℓ)
大 B8 유입구지점	5월 13일	9.27	19.2	12.6	34	32.4	9.5	12.8	6.84	73.3	10.24	0.14	0.33	77.2	130	171.2
大 L8 유입구좌측	5월 13일	8.69	19.5	9.8	32	42.0	26	13.4	6.32	96.1	9.73	0.17	0.34	77.2	123	203.7
大 D3 유입구우측	3월 27일	9.41	10.3	13.4	34	10.1	7.0	9.23	6.8 SBOD	16.82	11.35	0.23	-	92.0	168	-
	4월 10일	9.06	13.2	12.8	32	14.2	13.2	9.04	7.2	59.70	9.93	0.17	0.38	90.2	504	-
	5월 13일	9.21	19.2	11.6	30	30.8	11.9	12.2	5.72	94.9	9.66	0.14	0.33	79.3	125	150.5
大 N5 중앙부지점	3월 27일	9.4	10.6	13.2	40	9.9	6.6	9.17	7.5 SBOD	18.64	10.85	0.36	-	85.2	157	-
	4월 10일	8.98	13.2	11.9	38	13.4	13.0	10.2	8.7	64.1	13.88	0.11	0.38	84.7	138	-
	5월 13일	9.44	21.1	12.9	35	26.5	5.3	10.7	5.36	71.3	10.25	0.10	0.33	79.3	126	176.7
	5월 29일	9.13	21.7	11.5	32	33.0	28.5	14.6	7.06	113.4	10.83	0.13	0.31	78.3	117	196
大 L3 유출구지점	5월 13일	9.23	19.3	13.5	32	28.3	7.9	11.9	5.84	75.4	9.73	0.10	0.33	79.3	126	233.5
小 C'12'	3월 27일	9.15	10.4	14.2	34	18.6	17.9	17.51	6.4 SBOD	47.33	18.38	0.76	-	120.0	110	-
	4월 10일	8.67	13.2	13.5	34	33.1	22.0	20.1	10.2	99.93	11.26	0.18	0.38	116.4	168	-
	5월 13일	9.61	23.1	14.2	32	38.4	26.6	16.3	7.04	104.9	9.49	0.13	0.24	80.4	102	309.2
小 B'13'	5월 13일	9.62	23.2	14.2	32	40.6	35.6	16.7	7.16	114.2	9.24	0.14	0.24	79.3	110	353.7

[표 13] 총질소(T-N), 총인(T-P), 클로로필-a양과 투명도에 의한 영양도 판정비교

Trophic state	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	Chlorophyll-a (mg/m ³)	Transparency (m)
Oligotrophic	0.4	0.015	3	4.0
Mesotrophic	0.4~0.6	0.0015~25	3~7	2.5~4.0
Eutrophic	0.6~1.5	0.025~0.1	7~40	1.0~2.5
Hypertrophic	1.5	0.1	40	1.0
大칠리저수지	9.72~13.88	0.10~0.36	16.8~113.4	0.3~0.4
小칠리저수지	9.24~18.38	0.13~0.76	47.3~114.2	0.32~0.34

[표 14] 총인(T-P)과 투명도에 의한 영양도 판정의 비교

Author(s)	T-P(mg/ℓ)			Transparency(m)		
	Oligotrophic	Mesotrophic	Eutrophic	Oligotrophic	Mesotrophic	Eutrophic
U.S.E.P.A. 1974	0.01	0.01~0.02	0.02	3.7	2.0~3.7	2.0
Carlson 1977	0.012	0.012~0.024	0.024	4	2~4	2
Ahl & Wiederholm 1977	0.0125	0.0125~0.025	0.025			
Rast & Lee 1978	0.01	0.01~0.02	0.02	4.6	2.7~4.6	2.7
This Study	0.10~0.76			0.3~0.4		

- Turbidity : 월별 탁도는 매우 컸으며 수온이 높아질수록 탁도는 높았다. 칠리저수지의 봄철 탁도는 大칠리저수지의 경우 9.9NTU였고, 5월 중순~말일 경에는 약 3배 정도 탁한 26.5~33.0NTU를 보였고, 小칠리저수지인 경우 5월 중순경에는 38.4~40.6NTU였다. 이 같은 결과는 수온이 높아짐에 따라 조류 및 플랑크톤의 증식율이 커짐과 동시에 정체성 수역에서 볼 수 있는 전도현상(turn over)에 기인된 것으로 보인다.
- SS : 부유물질 농도도 DO농도와 수온이 증가할수록 높아졌고 지점별 차이도 컸다. 특히 수초가 많고 정체성이 형성된 지점(L8)에서 26mg/ℓ로 타지점보다 높게 측정되었다. 규모가 작은 저수지의 부유물질 농도가 매우 높았다.
- COD : 농업용수의 지표가 되는 COD는 봄철부터 기준치인 8mg/ℓ 이상을 보였다. 이 경우 토양과 농작물에 미치는 영향은 매우 크다. 즉, 토양에 환원작용을 촉진시키고 황화수소, 유기산 등의 발생으로 농작물 뿌리의 활력을 저하시키며 부패현상을 초래한다.
- BOD : BOD는 호소수 외에 유기물 함량을 나타내는 지표항목이나 농업용수의 지표항목에서는 제외된다. 채수지점별, 월별 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.
- Chlorophyll-a : 정체성 수역의 오염정도 즉, 부영양화의 정도와 진행 정도를 나타내는 항목으로서 지점별 차이는 크지 않으나 월별차이 즉, 수

온이 높아지면 클로로필-a 양은 매우 커짐을 볼 수 있다.

[표 13]과 비교해보면 칠리저수지는 부영양화 현상을 의미하는 7~40mg/m³보다 매우 높은 수치를 보여 수질오염의 심각성을 나타내고 있다.

- T-N : 농업용수의 기준치는 1.0mg/l 이하인데, 칠리저수지는 최소 농도가 小칠리 및 大칠리저수지에서 9.24mg/l 와 9.72mg/l 로 나타내었다. 이는 부영양화의 최소기준치 0.6mg/l 에 비해 15.4배 높게 나타내었다. T-N은 기준치 이상일 때 벼가 너무 무성하게 자라고 바람이 불면 쉽게 쓰러지고 잘 여물지 않으며 벼 알갱이가 작고 쌀의 질을 저하시키는 기회를 제공한다. [표 13]에서는 총질소가 0.6~1.5mg/l 이상일 때 부영양호소(Eutrophic)라고 규정하였다.
- T-P : 농업용수의 기준치는 0.1mg/l 이하인데, 유출지점(L3)을 제외하고 모든 지점에서 0.1mg/l 이상을 나타내었다. 칠리저수지는 최소 농도가 小칠리 및 大칠리저수지에서 0.13mg/l 와 0.1mg/l 를 나타내었다. 이는 부영양화의 최소기준치 0.025mg/l 에 비해 약 4배 이상 높게 나타내었다. 일반적으로 부영양화의 주 요인으로는 질소와 인 등의 영양염류를 들 수 있다. 그러나 조류의 성장제한 요소가 무엇인가에 따라 그 한계농도는 달라진다. 인의 경우 부영양화를 일으킨 호소수를 대상으로 측정된 총인 농도는 0.03~5mg/l 로 매우 범위가 넓으나 일반적으로 알려진 Algae bloom의 염려가 없는 인 농도는 0.02mg/l 이하로 알려져 있다. 칠리저수지의 평균적인 인 농도는 0.2mg/l 로 조류의 이상번식이 가능한 농도라고 평가된다. 만약 저수지 저부에 DO가 낮아지면 총인 농도가 증가할 수 있는데, 이는 퇴적층에서 다가의 금속이온과 결합되어 있던 인이 산소부족상태에서 용출되는 것이라고 추정된다. 한편, 수생태계 입장에서 질소와 인의 함량비율이 10~15 : 1인 2mg : 0.2mg 비율일 때 부영양화 현상이 발생한다.
- Conductivity : 물 속의 전기전도도는 용존 하는 염류농도를 의미하는데 농업용수 의 기준치는 0.3mΩ/cm이상이다. 칠리저수지의 평균 전기전도도는 0.33mΩ/cm로 양호한 것으로 나타내었다. 전기전도도가 기준치 이하일 때는 삼투압의 증가로 농작물에 영양물의 흡수를 저해하고 농작물의 잎에 반점을 발생시키거나 고사시키는 원인이 된다.
- Alkalinity : 물의 알칼리도는 산을 중화할 수 있는 능력의 크기를 말한

다. 저수지 의 알칼리도는 약한 염기나 센 염기에 의해 나타날 수 있는데 주로 토양의 염기성 물질과 이산화탄소와의 반응에 의해 상당량 생성된다. 칠리저수지의 알칼리도는 높은 편은 아닌 것 같다. 알칼리도가 150ppm을 초과하면 살조제에 의한 수질개선은 효과가 저하된다.

- Hardness : 칠리저수지의 경도는 평균 157mg/ℓ로서 약간 높은 정도의 경수임을 보이고 있다. 경도는 화학적 및 생물학적으로 수질을 정화 및 복원시킬 때 필요한 인자이다.
- Evarporation Residual : 물 속의 총 고형물의 농도로서 오염도가 클수록 높은 값을 보인다.
- 중금속류 : 저수지 물의 중금속 함량은 [표 15]에 나타내었다.

[표 15] 저수지 물의 중금속함량

(단위 : mg/ℓ)

금속		Cu	Cd	Zn	Cr ⁺⁶	Pb	Al	Fe	As	Hg
채수지점										
1	대B8	0.017	불검출	0.035	불검출	불검출	0.593	0.492	불검출	불검출
2	대L8	불검출	불검출	0.041	불검출	불검출	0.206	1.001	불검출	불검출
3	대D3	불검출	불검출	0.041	불검출	불검출	0.103	0.356	불검출	불검출
4	대N5	불검출	불검출	0.022	불검출	불검출	0.092	0.191	불검출	불검출
5	대L3	불검출	불검출	0.006	불검출	불검출	불검출	0.039	불검출	불검출
6	B'13	0.010	불검출	0.065	불검출	불검출	0.241	0.386	불검출	불검출
7	C'12'	0.010	불검출	0.064	불검출	불검출	0.242	0.382	불검출	불검출

우리나라 농업용수 수질기준과 비교할 때, 비소(As)의 기준치는 0.05mg/ℓ 이하인데 선정된 칠리저수지는 모든 지점에서 불검출이었다. 한편, 구리(Cu), 아연(Zn), 알루미늄(Al), 철(Fe) 등은 검출되었으나 농업용수 규제항목에는 제외되어 있다. 상기 결과로 볼 때, 농업용수로서의 유해금속에 대한 문제점은 없는 것으로 나타났다.

2. 농업용수 가치여부와 부영양화도 판정

[표 16]은 우리나라와 일본의 농업용수 수질기준을 비교하여 나타내었

고, 초과할 때의 주 피해를 나타내었다.

[표 16] 농업용수의 수질기준과 항목에 따른 피해

항 목	기준치		초과할 때의 주 피해
	한국	일본	
pH	6.0~8.5	6.0~7.5	- 수도에 대한 영향 ① 산성이 강할 때 : 뿌리의 발육불량 ② 알칼리성이 강할 때 : 철 결핍 등에 의한 황화현상을 나타냄 - 토양에 대한 영향 ① 산성이 강할 때 : 토양에서 염기가 용탈되어 노후화를 촉진 ② 알칼리성이 강할 때 : 토양점토의 분산, 부식의 해질 구조파괴
COD (mg/ℓ)	8이하	6이하	① 토양환원의 촉진 ② 황화수소, 유기산 등의 발생으로 뿌리의 활력저하와 부패현상 초래
SS (mg/ℓ)	15이하	100이하	무기질의 미립현탁물질이 눈에 유입되면 토양 중의 공극이 막혀 토양의 침수성, 통기성이 나빠지고 벼의 생육에 장애를 준다.
T-N (mg/ℓ)	1.0이하	1.0이하	벼가 너무 무성하여 쓰러지기 쉽고, 잘 여물지 않으며, 알갱이가 작고, 쌀의 질이 악화 된다.
T-P (mg/ℓ)	0.1이하	-	
DO (mg/ℓ)	2.0이상	5.0이상	DO가 낮으면 뿌리 생육이 나빠지고 양분 흡수가 불량하다. 쌀 수확량이 감소 됨
전기 전도도	-	0.3mΩ/ cm 이상	① 삼투압의 증가로 영양물의 흡수저해 ② 염류의 성분조성과 농도의 불균형에 의한 영양분 흡수 저해 ③ 잎의 반점발생과 고사
As (mg/ℓ)	0.05이하	-	① 잎이 누렇게 변하고 다시 백엽화로 됨 ② 뿌리가 썩고 새로운 뿌리 발생이 억제되고 피해가 크면 전체의 줄기가 황화하여 고사
Zn (mg/ℓ)	-	-	① 줄기 사이에 황화현상이 나타나고 파랗게 고사 ② 뿌리생육이 저해 됨
Cu (mg/ℓ)	-	-	① 잎의 선단부부터 황화, 뿌리의 위축 ② 0.1ppm에서 뿌리의 생육장애가 일어나고 0.6ppm에서 파랗게 고사

* <참고> 한국 : 사람의 건강보호 차원에서 Cd 0.01mg/ℓ 이하, Pb 0.1mg/ℓ 이하, 6가크롬 0.05mg/ℓ 이하, 시안·수은·유기인·PCB는 검출되어서는 안됨

[표 16]과 칠리저수지의 수질분석 결과를 종합적으로 비교할 때 농업용수로 수질기준에 적합한 항목은 용존산소(DO)를 제외하고는 모든 항목에서 기준치 이상으로 나타났다. 그러므로 칠리저수지는 농업용수로서의 부적합하다고 판단된다. 그리고 칠리저수지의 부영양화도 판정은 다음과 같다. 우선, 호소수의 영양염류의 공급도와 여기에 기반을 두고 일어나는 식물의 유기물생산을 주원인으로 일어나는 호소수 내 여러 변화를 포함하고 있다. 또한 호소수 내의 변화는 다양하며 호소수의 장소에 따라 다르다. 그리고 계절적으로도 변동이 있으므로 영양도의 판정에는 어려움이 따르는 것이 보통이다. 호소수를 부영양호, 중영양호, 빈영양호라고 분류하는 방법이 있다. 이러한 정성적인 분류는 연구자의 주관에 따라 변동이 심하고 또한 번잡하다는 결점이 있어서 이러한 결점을 객관화시키고 단일항목의 측정으로 영양도를 판정하는 방법의 개발이 시도되었다[표 13, 14, 17]. 대표적인 예로 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 저서동물에 관해서 그 지표종이나 그들 군집의 다양도 지수를 사용하여 단순지표에 의한 수역의 부영양화도를 판정하는 생물학적 판정수법이다. [그림 9]에 클로로필-a양을 가지고 저수지의 영양도를 판정하기도 하며, [표 17]에서 제시한 자료와 비교해서 판정하기도 한다. [표 17]는 OECD가 제시한 호소수의 총인(T-P), 클로로필-a양과 투명도에 의한 영양도(Trophic Category)의 판정기준인데, 본 연구 결과와 비교했을 때 칠리저수지의 수질은 농업용수로서의 이용가치가 없는 것으로 나타났다.

[표 17] OECD가 제시한 총인(T-P), 엽록소 a양과 투명도에 의해 영양도 판정

Trophic Category	[P] _λ	[Chloro-a]	[max]	[sec]y	[min]y
ultra-oligotrophic	≤4.0	≤1.0	≤22.5	≥12.0	≥6.0
oligotrophic	≤10.0	≤2.5	≤8.0	≥6.0	≥3.0
mesotrophic	10~35	2.5~8	8~25	6~3	3~1.5
eutrophic	35~100	8~25	25~75	3~1.5	1.5~0.7
hypertrophic	≥100	≥25	≥75	≤1.5	≤0.7

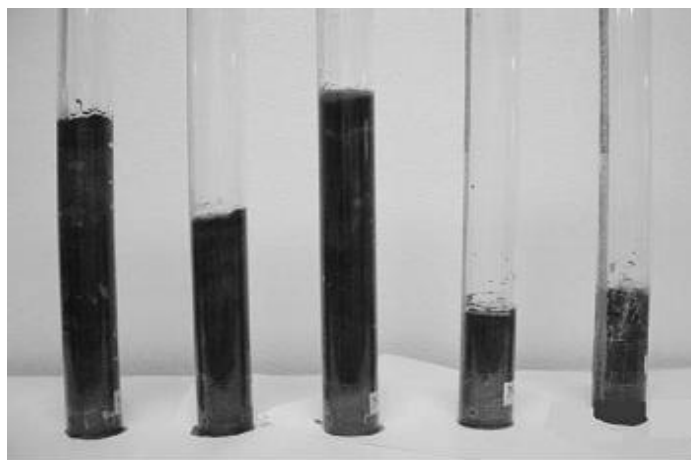
* [P]_λ : 총인의 연간평균치, [Chloro-a] : 클로로필-a의 연간평균치, [max] : 클로로필-a의 최대값, [sec]y : 투명도의 연간평균치, [min]y : 연간에 있어서 투명도의 최소치(총인과 엽록소 단위 : mg/m³, 투명도 : m)

[그림 9]와 본 연구의 클로로필-a의 농도와 비교에서도 칠리저수지는 부영양현상이 매우 심각한 것으로 판단된다.

3. 퇴적저니 분석결과와 고찰

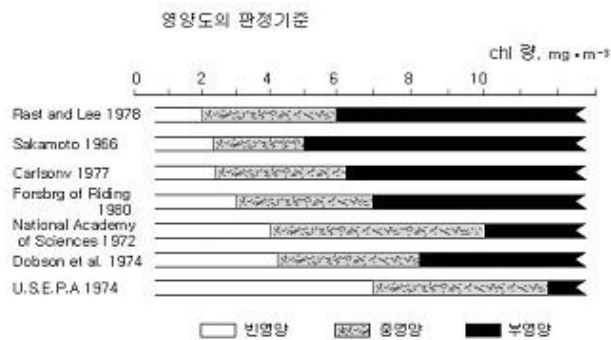
3-1. 퇴적저니층의 외관상 비교

칠리저수지의 퇴적저니층은 외관상 전체적으로 점토와 유사하였는데 각 채취지점별 저니층 주상시료의 외관은 [사진 3]과 같고 실물적으로는 상부, 중앙부, 하부층 및 토양층으로 비교적 뚜렷하게 구분되었다. 각 지점별 각 층의 분류에 따른 외관상의 특성을 요약하면 [표 18]과 같다.



N5 D3 L3 L8 B8

[사진 3] 채니된 주상시료



[그림 9] 클로로필-a양에 의한 호소수영양도의 구별

[표 18] 퇴적저니층 주상시료의 외관상 특성

저니채취점	유입지점 (B8)			유입구좌측 (L8)			유입구우측 (D3)			중앙부 (N5)			유출지점 (L3)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
저니층 깊이(cm)	6.5	6.0	3.0	4.0	5.0	5.0	14.0	5.0	4.0	8.5	16.0	9.0	10	15	6.0
	(15.5)			(14.0)			(23.0)			(33.5)			(34.5)		
색상	흑	흑	녹회	흑	흑	흑갈	흑	흑	흑갈	흑	흑	흑갈	흑	흑	흑갈
점도	약	약	중	중	강	강	중	강	강	중	강	강	약	약	중

* 저니층 구획에서 상부1 : silk, 중앙부2 : sand, 하부3 : clay을 의미함.

유입구 우측(D3)은 비교적 물 흐름이 정체성이 형성되었기 때문인지 상부에는 실크층으로 형성되어있었고, 유출구(L3) 상부층에도 주로 실크층이 두꺼웠다. 모래층의 저니는 중앙부(N5)와 유출구(L3)지점에 비교적 두꺼운 층을 형성하고 있었다.

3-2. 퇴적저니층의 오염도

퇴적저니층의 원시료, 습시료에 대한 pH 및 공극수의 CODmn을 측정하였고 수층의 영양염류 농도와 밀접한 관계를 갖는 T-N과 T-P의 함량을 측정하여 [표 19]에 나타내었다.

[표 19] 퇴적저니층의 pH와 공극수의 오염도

시료	채니 지점 구획	大칠리지수지					평균	小칠리지수지		평균		
		B8	L8	D3	N5	L3		D13	D13'			
pH	원시료	상	6.90	6.94	6.86	6.78	6.82	6.86	(7.17)	(7.31)	7.24	
		중	6.60	6.45	6.74	6.66	6.79					6.65
		하	6.20	6.06	6.70	6.54	6.21					6.34
		평균	6.57	6.48	6.77	6.66	6.61					6.62
pH	습시료	상	7.43	7.44	7.46	7.19	7.01	7.31	(7.69)	(7.98)	7.84	
		중	5.56	6.50	6.40	5.98	6.45					6.18
		하	6.09	5.83	6.90	6.77	6.84					6.49
		평균	6.36	6.59	6.92	6.65	6.77					6.66
공극수 (원시료상부층) mg/l	T-N	29.8	25.9	39.8	40.5	40.8	35.4	42.83	33.55	38.19		
	T-P	0.296	0.200	0.189	0.242	0.191	0.22	0.49	-	0.49		
	CODmn	37.5	55.2	51.3	34.9	25.7	40.9	39.6	39.6	39.6		

* () : 상·중·하부 혼합시료

大碇리저수지 퇴적저니층의 원시료 pH는 평균 6.62였으며, 상층부가 평균 6.86으로 중·하부층보다 비교적 높았다. 하부로 내려갈수록 낮아졌다. 습시료의 경우는 평균 6.66이었고, 중·하부층으로 내려갈수록 낮아졌다. 小碇리저수지의 원시료 pH는 습시료보다 약간 낮았고 7.17~7.98을 보였다. 한편, 원시료 공극수 내의 COD_{mn}은 채너지점별 차이가 상이하였고 25.7~55.2mg/ℓ 범위를 나타내었다. 총질소 함량은 25.9~40.8mg/ℓ 범위로서 저수지 중앙부(N5)와 유출구(L3)지점이 가장 높았다.

[표 12]의 저수지의 T-N 농도와 [표 19]에서 나타낸 공극수의 T-N을 비교하면 수층의 T-N 농도는 大碇리저수지인 경우 9.66~13.88mg/ℓ 인 반면, 공극수에는 25.9~40.8mg/ℓ, 小碇리저수지인 경우 9.24~18.38mg/ℓ 로 퇴적저니층이 수층보다 매우 높게 함유함을 볼 수 있었다. 총인 함량은 0.189~0.296mg/ℓ 범위로서 유입구(B8)지점이 가장 높았고 유출구(L3)지점이 가장 낮았다. 즉, T-N은 유입구는 낮고 유출구쪽은 높는데 비해 T-P는 유입구쪽은 높고 유출구가 낮다. 이 같은 결과는 여러 가지 이유가 있겠으나 유출구 방향으로 물 흐름에 의해 퇴적저니층이 두껍기 때문에 총질소 축적량이 많았고 총인의 양은 금속물질과 단단하게 결합되어 있기 때문이라 생각된다.

한편, [표 12]와 [표 19]에서 T-P를 비교해보면 T-N과 마찬가지로 수층보다 퇴적저니층에 인 함량이 높게 함유함을 볼 수 있었다. 이는 저수지의 성층현상과 전도현상에 의해 부영양화 현상이 매년 발생할 수 있을 것으로 예상된다.

[표 20] 퇴적저니 층의 CODsed, TKN, T-P 함량

분석항목	채니 지점 구획	大칠리저수지					평균	小칠리저수지	
		B8	L8	D3	N5	L3		C12'	B13'
CODsed(mg/g)	상부층	18.5	20.9	24.4	17.9	26.9	21.7	12.5	12.26
	중심층	16.9	38.9	26.9	26.3	25.5	26.9	(전층시료)	
	하부층	49.1	20.5	24.4	23.2	21.1	27.7		
	평균	28.2	26.8	25.2	22.5	24.5	25.4	12.38	
TKN(mg/kg)	상부층	1,167	1,213	2,317	1,460	1,799	1,591.2	1,727	1,517
	중심층	1,189	1,573	2,473	2,393	2,011	1,927.8	(전층시료)	
	하부층	1,472	824	1,580	1,028	1,175	1,215.8		
	평균	1,276	1,203	2,123	1,627	1,662	1,578.2	1,622	
T-P(mg/g)	상부층	0.347	0.339	0.530	0.426	0.573	0.443	0.371	0.329
	중심층	0.387	0.283	0.713	0.763	0.485	0.526	(전층시료)	
	하부층	0.283	0.169	0.278	0.294	0.384	0.282		
	평균	0.339	0.264	0.507	0.494	0.481	0.417	0.35	

* 시료구분 : 습시료 사용

퇴적저니층의 유기물함량을 파악하기 위해 CODsed를 측정하였고 수중의 영양염류농도와 밀접한 관계를 갖는 퇴적층의 총인과 총질소(Total Kjeldahl Nitrogen)의 함량을 측정하여 [표 20]에 나타내었다. 퇴적저니 상부층의 평균 CODsed는 21.7mg/g이었고, 중심부층은 26.9mg/g, 하부층은 27.7mg/g으로 하부층으로 갈수록 오염도가 심했다. 이 같은 결과는 하부층에는 총고형물 중 무기물량은 적고 유기물량이 많기 때문이다.

채취지점별로는 유입구지점이 28.2mg/g으로 제일 오염도가 심했고, 저수지 중심부가 제일 낮은 22.5mg/g였다. 그리고 小칠리저수지와 비교는 大칠리저수지보다 유기물함량이 적은 것으로 나타내었다. 저수지의 퇴적저니 중심층에 질소함량이 1,927.8mg/kg으로 제일 높고, 하부층이 제일 낮은 1,215.8mg/kg으로 나타내었다. 한편, 총인의 함량도 중심부의 저니층에서 평균 0.526mg/g으로 가장 높게 측정되었고, 하부층이 0.282mg/g으로 낮은 함량을 보였다.

이상의 결과를 볼 때 칠리저수지의 TKN과 T-P 농도는 중심부층에 많은 양을 함유한 것으로 조사되었기 때문에 준설 시에는 중심부 이상층까

지 퇴적저니를 준설해야 부영양화에 대한 대책을 수립할 수 있겠다. 채니 지점별 TKN과 T-P함량도 공히 유입구의 우측지점이 가장 높게 측정되었는데, 이 지점은 물의 순환이 적고 어느 지점보다 체류가 장기화되는 지점이다.

3-3. 퇴적저니층의 총고형물 대비 무기물함량과 중금속함량

퇴적저니층을 준설해서 배수 및 탈수케익을 효율적으로 활용하거나 활용이 어려울 경우 경제성과 친환경적으로 최종 처리·처분방법을 강구하기 위함이다. [표 21]에 의하면 고형물은 하부층이 67.1%로 가장 많고, 상부층과 중심부층의 큰 차이 없이 64% 수준이었다. 채취지점별로는 유입구 지점(B8)의 퇴적물중에 고형물이 74.2%로 가장 많았고, 유입구 우측지점(D3)과 유출구(L3)지점에서 고형물함량이 적었다.

한편, 총고형물 중 무기물량은 중심부 퇴적층에서 총고형물중 무기물함량이 58.3%로 가장 많이 조사되었으며, 채니지점별로는 유입구쪽의 퇴적물중에는 총고형물중 약 67%이상이 무기물인 것으로 나타났는데, 이는 외부로부터 빗물에 의해 토사물질이 유입되었기 때문이라 사료된다.

한편, [표 22]의 퇴적저니 중의 중금속함량을 볼 때, 저수지 물 [표 15]에는 구리, 아연, 알루미늄, 철 등이 미량씩 측정된 반면에 퇴적저니 중에는 모든 금속류가 비교적 고농도로 측정되었으며, 특히 알루미늄과 철은 평균 17,750mg/kg과 5,925mg/kg으로 측정되었다. 알루미늄과 철이 높은 함량으로 측정된 이유는 일반적으로 토양에는 철과 알루미늄이 많이 존재하는 경금속이기 때문이다. 한편, 팔당호 퇴적물중의 알루미늄과 철의 함량은 '98년도 조사에서 15,000~45,000mg/kg으로 높았고 이외의 자료들에서도 알루미늄과 철의 함량은 높게 나타났다.

[표 21] 퇴적저니의 총고형물함량

(단위 : %)

퇴적저니시료		채니 지점 구획	大칠리저수지					평균	小칠리저수지		
			B8	L8	D3	N5	L3		C12'	B13'	
습 시 료	고형물 함량 (%)	상	75.9	69.4	59.7	65.6	54.1	64.9	69.2	68.6 (전층시료에서)	
		중	80.6	68.6	55.4	58.7	59.0				64.5
		하	66.2	74.7	62.1	64.9	67.7				
	평균	74.2	70.9	59.1	63.1	60.3	65.5	68.9			
	총고형물 중 무기물량 (%)	상	67.2	60.8	58.0	58.5	33.5	55.6	54.7	52.9 (전층시료에서)	
		중	78.5	61.9	53.0	48.1	50.0				58.3
하		55.2	60.0	52.1	53.8	52.9	54.8				
평균	66.9	60.9	54.4	53.5	45.5	56.2		53.8			

[표 22] 퇴적저니중의 중금속류함량

(단위 : mg/kg)

채수지점		금속									함수율 (%)
		Cu	Cd	Zn	Cr	Pb ⁺⁶	Al	Fe	As	Hg	
1	대B8	29.09	0.18	133.64	10.78	70.57	17,219	6,699	2.46	0.23	38.5
2	대L8	31.33	0.15	138.98	13.01	28.13	18,333	6,111	2.24	0.20	35.2
3	대D3	29.59	0.18	120.52	7.80	26.76	18,079	6,283	1.87	0.32	34.9
4	대N5	28.91	0.17	117.21	9.31	27.17	17,428	5,560	1.82	0.23	30.4
5	대L3	26.61	0.10	107.08	10.27	24.14	17,691	4,973	1.98	0.25	26.8
	평균	29.11	0.16	123.49	10.23	35.35	17,750	5,925	2.07	0.25	33.2
6	B'13	27.14	0.04	122.90	11.85	25.66	21,662	6,093	1.91	0.28	31.4
7	C'12'	27.21	0.51	113.27	13.18	24.74	19,061	5,434	2.14	0.19	30.8
	평균	27.17	0.28	118.08	12.52	25.2	20,361	5,763	2.03	0.24	31.1

* 계산 : 건시료 기준

이상과 같은 결과로 볼 때, 퇴적저니 중에는 유해금속물이 고농도로 농축되어 있음을 알 수 있는데 [표 23]과 비교해보면 칠리저수지의 준설토는 수은(Hg)함량 0.24mg/kg은 기준치(0.06ppm)보다 4배정도 높아 객토, 복토용으로 활용할 수 없는 것으로 나타내었다. 그러나 환경부의

폐기물관리법의 육상매립처분용 일 경우 함유시험법이 아닌 용출시험법이므로 용출시험법으로 분석하게 되면 [표 22]의 값보다 훨씬 낮은 농도로 분석되어 진다.

[표 23] 준설토를 객·복토로 활용 시 화학적 성분의 기준치

항목	pH	유기물	전기전도도	양이온치환용량
기준치	6.0~7.0	논: 3.0% 밭: 3.0~3.5% 이상	2mmhos/cm	15~20me/100g
항목	구리	카드뮴	수은	비소
기준치	125ppm 이하	25ppm 이하	0.06ppm 이하	15~20ppm 이하

4. 조류 및 플랑크톤 관찰결과

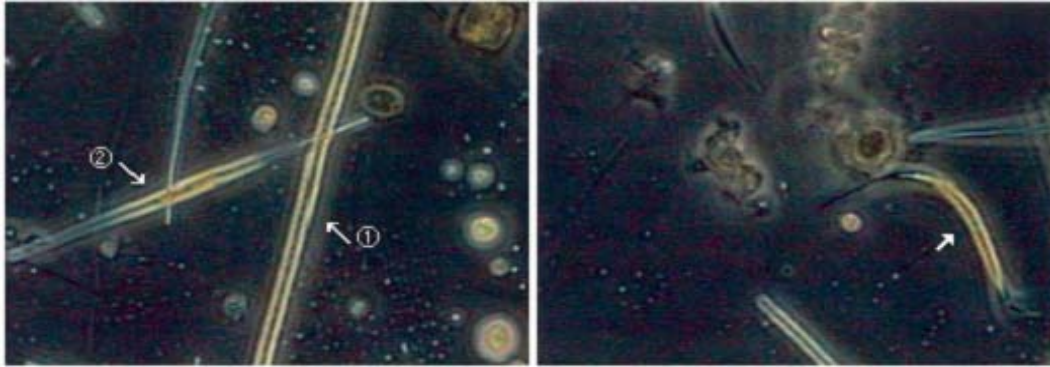
저수지가 부영양화로 진행됨에 따라 최초로 야기되는 현상은 식물플랑크톤이나 수초의 증식이고 부영양화에 의한 피해도 궁극적으로는 식물플랑크톤의 과잉증식에 의한 것이다. 따라서 식물플랑크톤의 종조성과 생물량을 측정하는 것은 부영양화 정도를 판정하는 직접적인 지표가 되며, 인간에게 영향을 미치는 장해조류의 출현예측과 대책수립을 마련하기 위해서도 중요하고 필수적이다.

식물플랑크톤의 이상증식은 동물플랑크톤이나 저서동물, 그리고 어류와 같은 2, 3차 생산자의 이상증식을 야기 시킴과 동시에 수질환경을 변화시켜 생물종류의 변화를 유발시킨다. 따라서 조류 및 플랑크톤은 저수지의 부영양화도 단계를 판정하는 중요한 지표가 되기 때문에 관찰이 중요하다.

4-1. 식물성 조류 및 플랑크톤 조사

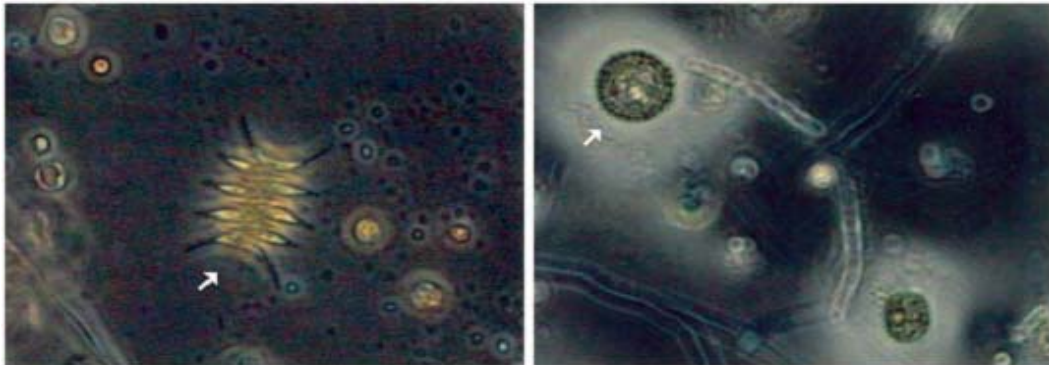
[photo 1~photo 20]은 위상차 Nikon 현미경에 의해 400배로 확대하여 촬영된 것이다. 현미경에 관찰된 조류는 Blue-green Algae(남조류), Green Algae(녹조류), Diatoms(규조류), Euglena Algae(유글레나조류) 등

으로서 수역에 표층수온이 높고 질소와 인 등의 영양염류가 풍부하고 체류시간이 장기화된 저수지, 그리고 수층이 성층화되어 있고, 저수지 내의 유기물이 과도화되어 있을 때 우점종으로 나타나는 생물상들이다. 특히, *Melosira*속, *Mougeotia*속, *Uroglena*속 등의 조류들은 물의 pH를 상승시키는 원인조류들이다.



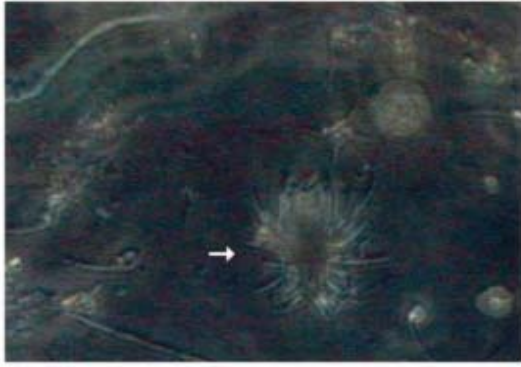
[photo 1]
 ①남조류 *Anabaena*속
 부영양화된 저수지, 이취미생성,
 초여름~가을
 ②규조류. *Synedra*속
 물을 녹색으로 변화시킴.

[photo 2]
 녹조류 *Ankistrodesmus*속
 녹색, 심하게 오염된 수역에 출현

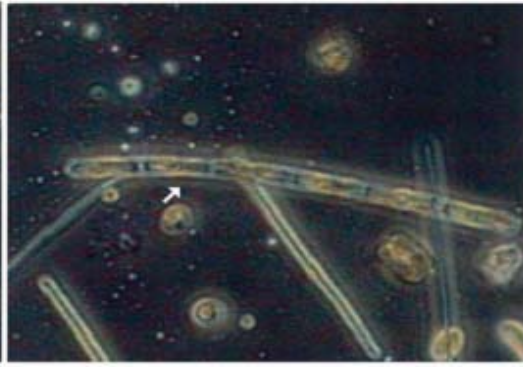


[photo 3]
 녹조류. *Scenedesmus*속
 풀냄새, 녹색의 착색유발

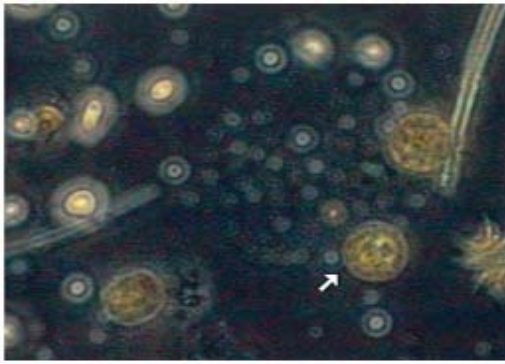
[photo 4]
 녹조류. *Golenkinia*속
 녹색의 착색유발



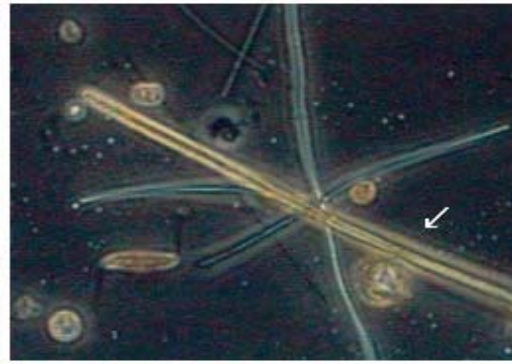
[photo 5]
 황금조류(*Crypsophyta*)
Mallomonas caudata, 물에 비린내 생성



[photo 6]
 규조류. *Melosira*속
 이취미 생성, 봄 ~ 가을, 수화형성



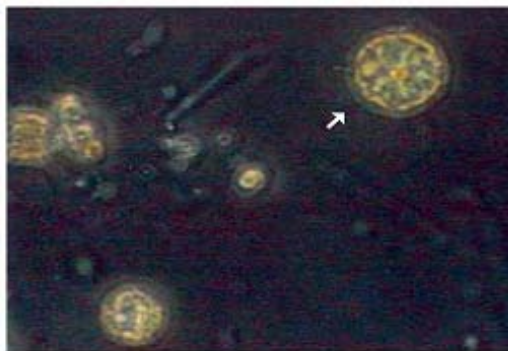
[photo 7]
 유글레나조류. *Trachelomonas*속
 물의 녹색황색 원인조류, 수화형성



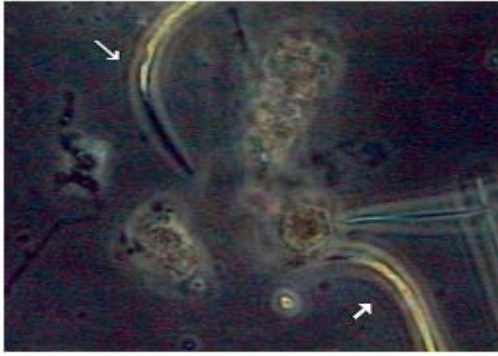
[photo 8]
 남조류. *Oscillatoria*속
 곰팡이냄새 발생



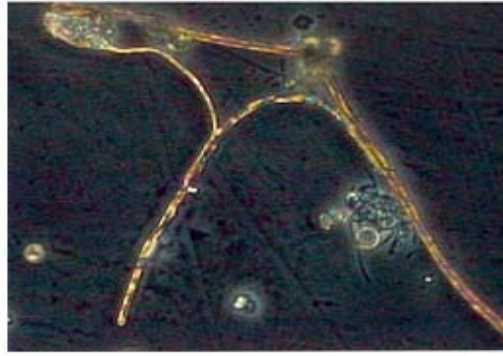
[photo 9]
 유글레나조류. *Euglena*속
 부영양화된 저수지에서 적색 또는 적갈색수화생성



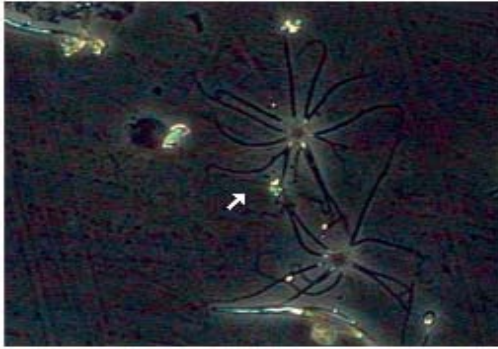
[photo 10]
 규조류. *Cyclotella*속



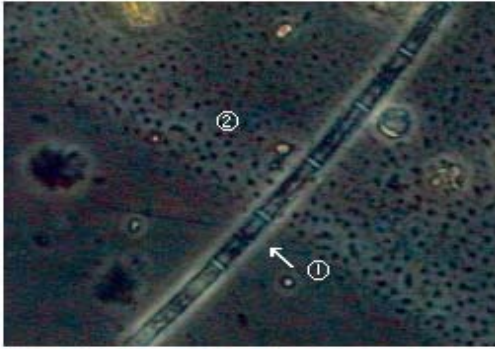
[photo 11]
 Monoraphidium속
 심하게 오염된 부영양화수역
 물을 녹색으로 변화시킴



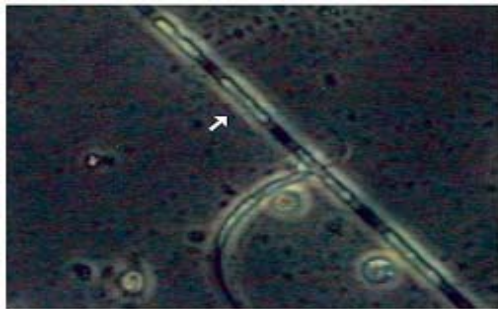
[photo 12]
 남조류. Anabaena속
 부영양화수역 수화형성, 풀냄새



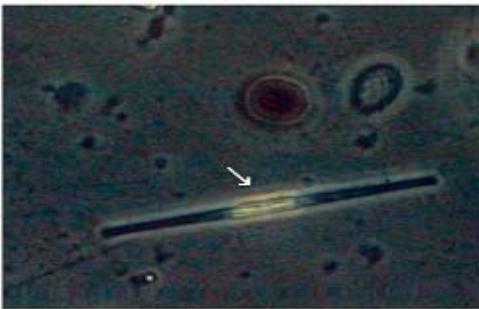
[photo 13]



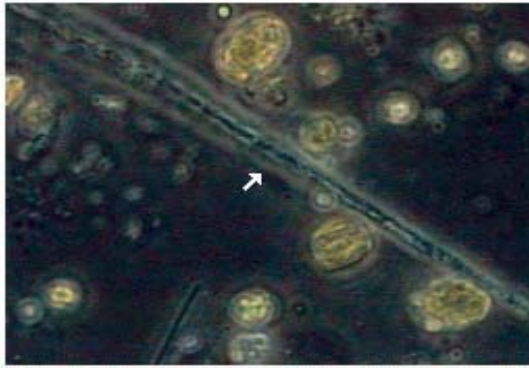
[photo 14]
 ①규조류. Melosira속
 ②남조류. Microcystis속
 봄~여름출현, 부영양화수역, pH9까지
 상승시킴, 이취미발생



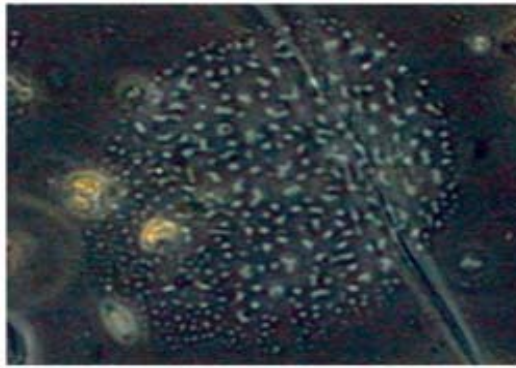
[photo 15]
 녹조류. Mougeotia속
 pH9까지 상승시킴, 악취원인



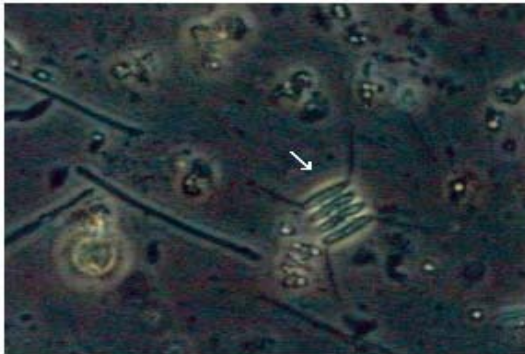
[photo 16]
 규조류. Synedra속
 흙냄새유발



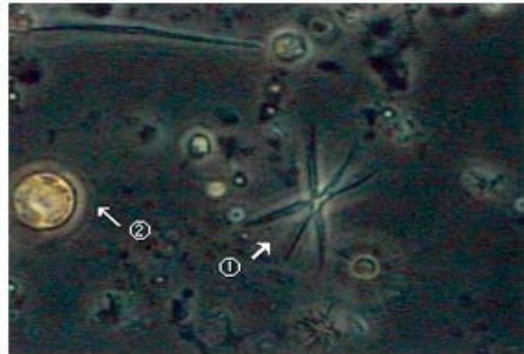
[photo 17]
 남조류. *Phormidium*속
 곰팡이냄새 유발, 부영양화수역,
 초여름~여름까지



[photo 18]
 남조류. *Uroglena*속
 여름철, 부영양화수역, 수화형성
 pH9이상 상승시킴, 풀냄새유발



[photo 19]
 녹조류. *Scendesmus*속
 여러계절, 풀냄새유발



[photo 20]
 ① 녹조류. *Actinastrum*속
 ② 유글레나조류. *Trachelomonas*속
 ①② 모두 양염류 풍부한 수역에서 볼 수 있음

4-2. 조류 및 플랑크톤 정량

[표 24]는 현장에서 채취한 시료를 Lugol 용액으로 10배 농축시켜 고정
 한 것을 정량용 슬라이드글라스와 커버글라스를 이용하여 조류 및 플랑
 크톤의 종류에 관계없이 그 수를 1ml당 cell 개수를 산출한 결과이다.

[표 24] 조류 및 플랑크톤의 갯수

시료채취지점	cells/ml	비고
B8 유입구지점	5,100	남조류, 녹조류, 규조류
L8 유입구좌측	46,800	남조류, 녹조류, 규조류
D3 유입구우측	5,100	남조류, 녹조류, 규조류
N5 중앙부	5,200	남조류, 녹조류, 규조류
L3 유출부	6,180	남조류, 녹조류, 규조류
C12' 小칠리유입구	17,490	규조류가 주종
B13' 小칠리유출구	15,280	규조류가 주종

상기 조류 및 플랑크톤의 정량은 동일 시료에 대해 3회 반복하여 1ml 내의 cell 수를 계산하였다.

제 4 절. 결 론

1차년도에 개발 제작된 pilot규모의 수질개선·복원 장치 및 시스템을 현장에 설치할 칠리저수지의 사전조사 결과는 다음과 같다.

- (1) 환경부의 농업용수 수질기준과 전체적으로 비교할 때 칠리저수지는 농업용수로 사용할 수 없는 수질로 조사되었다. 특히, T-N의 경우는 기준치의 10배, T-P의 경우는 약 2배 이상 높게 조사되었다.
- (2) 분석된 T-N, T-P, 클로로필-a, 그리고 투명도 값을 볼 때 부영양화(Eutrophic) 수준을 초과한 과도영양화(Hypertrophic) 수준인 것으로 조사되었다.
- (3) 저수지의 중금속 함량은 농업용수로서 문제점이 없는 것으로 조사되었다.
- (4) 퇴적저니층의 두께는 최저 14cm, 최고 34.5cm로 조사되었으며 위치에 따라 다르지만 저니층 상부 4~14cm 정도가 실크성의 퇴적저니로 조사되었다.
- (5) 저수지 물의 pH는 8.67~9.62였는데, 퇴적저니의 pH는 수층보다 낮은 6.34~6.86이었다. 퇴적저니 공극수의 유기물 농도는 CODmn으로서 평균

- 39.6~40.9mg/ℓ로서 수층의 9.04~20.1mg/ℓ 보다 훨씬 높았고, T-N은 수층보다 대략 3.94배 높았으나 T-P의 경우는 비슷하였다.
- (6) 퇴적저니 중의 유기물함량을 알기 위해 조사한 결과 습시료 기준 CODsed는 25.4mg/g(25.4g/kg)으로 저니하부층이 상부 및 중심층보다 유기물 함량이 높은 것으로 조사되었다.
- (7) 퇴적저니 중의 총질소(TKN)는 습시료 기준 평균 1,578.2mg/kg이었고, T-P는 0.417mg/g(417mg/kg)으로 수층에 비해 대단히 높은 농도로 함유되어 있는 것을 알 수 있었다.
- (8) 퇴적저니 중의 총고형물 대비 무기물량(%)은 평균 56.2%였으며 小칠리저수지에서는 53.8%로 조사되었다. 한편, 중금속 함량은 수층에는 구리, 아연, 알루미늄, 철 등이 미량씩 측정된 반면 퇴적저니 중에는 모든 금속류가 비교적 고농도로 측정되었으며 특히, 알루미늄과 철은 평균 17,750mg/kg과 5,925mg/kg으로 측정되었다.
- (9) 위상차현미경으로 관찰된 조류는 유기물이 높으면서 수온이 높고 질소·인 등의 영양염류가 풍부하고, 체류기간이 장기화인 저수지에 출현하는 Blue green algae의 *Anabaena*속, *Oscillatoria*속, Green algae의 *Ankistrodesmus*속과 *Scenedsmus*속, *Golenkinia*속, Diatoms의 *Synedra*속, *Cyclotella*속, Uuglena algae의 *Trachelomona*속 등이 우점종으로 출현하는 것을 볼 수 있었다. 이들로 인해 저수지의 이취미, 수색변화, 비린 냄새, 수화형성, pH를 상승시키고 있었다.
- (10) 조류 및 플랑크톤의 종류에 관계없이 시료 ml당 5,100~17,490의 세포가 관찰되어 부영양화 저수지임을 확인할 수 있었다.

제 5 장 저수지 보유수량 및 퇴적저니량 산출기법

제 1 절. 개 요

화학적 및 생물학적 또는 기계적인 설비에 의해 오염된 저수지를 개선 및 복원하기 위해서는 기본적으로 해당저수지의 보유수량을 정확히 알아야하며 경우에 따라서는 퇴적저니량을 반드시 알아야만 확실한 수질개선을 보장할 수 있고 사업기간, 공사비 등을 산출할 수 있게 된다.

보유수량 및 퇴적저니량을 산출하기 위해서는 저수지의 내용적 측량은 필수적이다. 내용적 측량은 현재의 저수용량을 산정하여 설치 당시의 저수용량과 비교함으로써 퇴적저니량 및 저수지 내의 퇴적분포 상태 등의 자료를 얻을 수 있기 때문에 수질개선 및 복원 전에 반드시 실시해야 한다.

1. 측량범위 및 계획

저수지 내용적 측량은 저수용량을 지배하는 저수지 만수면 이하와 필요한 경우에는 홍수위까지 지형에 대하여 지상측량과 수심측량으로 구분할 수 있다.

측량계획은 측량의 정도를 결정하는 중요한 절차이다. 따라서 경제적이고 효율적이며 소정의 정밀도를 필요로 한 자료를 얻기 위해서는 측량목적에 따라 기준으로 정하는 사항을 숙지한 후 세밀하게 측량을 계획하고 실시하여야하며 일반적인 순서는 다음과 같다.

- 자료조사 : 내용적 표, 사업계획서, 설계도면 등의 조사
- 현장 예비답사 : 측량에 필요한 현지상황, 지형변화 파악 및 수준점, 삼각점의 위치와 성과표 등 관련자료 수집과 아울러 이용가능 여부 판단
- 측량계획 : 예비답사에서 얻은 자료를 통해 현지 여건에 적합한 지상

및 수심측량 장비와 인원투입 계획수립

- 현장측량 항목선정 : 지상측량, 수심측량 및 필요시 퇴적물 시료채취 및 저수지 호 내 및 상류부근 지형의 측량범위 파악

2. 기준점 측량

2-1. 기준점 측량

기준점 측량은 측량의 지형 및 형상을 측량하기 위한 기준점 또는 보조 기준점의 위치를 정하기 위하여 실시하며 Moss P/G가 가능하도록 기준점을 이용하여 좌표측량을 하고, 계획평면도 및 설계도면에는 지적좌표로 환원하여 사용한다.

2-2. 측량방법

기준점 측량은 다음과 같은 측량법이 있다.

- 삼각측량(Triangulation)
- 삼변측량(Trilateration)
- 삼각측량과 삼변측량의 혼용
- 트래버스측량(Traversing)

이 중 삼각측량은 종래 널리 사용되어 온 방법이며, 삼변측량은 검사와 계산이 쉽지 않고 복잡해서 일반적으로 널리 쓰이지 못하고 있는 실정이지만 긴 장변에서는 매우 효율적이다. 삼각·삼변혼용 방법은 삼각측량의 축척오차를 보정할 수 있어 널리 사용되고 있으며 트래버스 측량에서는 장변을 길게 하여 방위각 오차를 줄일 수 있어 삼각·삼변보다 간단하고 선상으로 측량할 경우에는 매우 효과적이다. 한편, 보조기준점이 필요한 경우는 기지의 기준점을 원점으로 하여 전방교회, 후방교회, 측방교회, 직선일각 등의 방법을 사용하여 설치하며 이러한 보조기준점은 대상 저수지가 만곡 등으로 측점간의 시준선 장애가 발생 할 경우 중요한 역할을 한다.

3. 수준측량

수준점 측량은 건설교통부 1, 2등 수준점을 기점으로 측량하는 것을 원칙으로 하고 반드시 폐합하거나 왕복측량을 하여야하며, 인근에 수준점이 없는 경우에는 만수위(물넘이 표고)를 기준한 가BM을 설치한다. 수준측량 허용오차는 [표 25]와 같다.

[표 25] 공공수준측량의 허용오차

구 분	1급수준측량	2급수준측량	3급수준측량	4급수준측량	비 고
왕복차	2.5mmS $\frac{1}{2}$	5mmS $\frac{1}{2}$	10mmS $\frac{1}{2}$	20mmS $\frac{1}{2}$	S : 편도거리
폐합차	2.5mmL $\frac{1}{2}$	5mmL $\frac{1}{2}$	10mmL $\frac{1}{2}$	20mmL $\frac{1}{2}$	L : 노선거리

제 2 절. 내용적 측량(보유수량 산출)

1. 측량방법 선정

저수지 내용적 측량방법에는 등고선법(Contour Method)과 구간법(Range-line Method)이 있으며, 측량방법의 선정은 저수지 규모, 저수지 조작계획, 자료의 정밀도와 측량할 저수지의 기존자료에 따라 달라진다.

1-1. 등고선법(Contour Method)

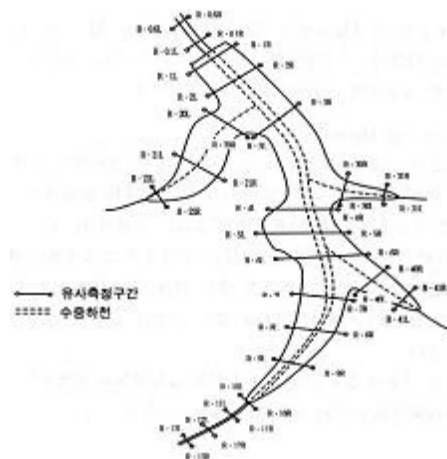
저수지 규모가 작고 담수량이 적은 저수지에서 수면 이상의 육지부는 지형측량을, 저수지 수면 이하는 수심측량을 실시한다. 그 결과를 종합하여 등고선도를 작성, 표고별 면적을 구한 후 저수지 내용적을 산정하는 방법이다. 이때, 측정위치는 일정간격의 격자망을 구성하여 실시하거나 또는 지형이 변화하는 점을 측정하는데 격자망을 이용할 때는 격자간격은 20m이하가 적당하며, 등고선 간격은 규모가 큰 저수지에서는 1.0m,

작은 규모의 저수지에서는 0.5m를 초과하지 않도록 하고 있다. 그러나 기존 저수지 등고선 간격과 동일한 등고선도로 작성하는 것이 자료의 비교 및 검토에 유리하지만 조사목적에 따라 정할 수 있다.

1-2. 구간법(Range-line Method)

중규모 이상의 담수량이 많은 저수지에서 주로 수심측량에 의존하는 방법이다. 이는 측량에 앞서 설치하거나 기왕에 설치된 기선에 직각으로 구간 측점선을 설치하고 구간 측점선상에서 수심측량을 실시하여 구간별 횡단도를 작성한다. 구간별 횡단도에 나타난 지형변화를 분석하여 현재 총 저수량과 구간별 퇴사량을 산정한다. 이 방법은 표고별로 내용적을 산출하는데 적합하지 않다. 그러나 구간별로 퇴사량을 산출하기 때문에 사업비에 맞는 시공구간을 설정하는데 편리하다. 한편, 저수지의 유사측정 구간의 분할설정은 저수지의 변화 특성을 파악할 수 있어야 하며 구간설정 시 고려하여야 할 사항은 다음과 같다.

- 구간측선은 유로방향과 수직이 되도록 한다.
- 구간간격은 유로의 흐름 및 지형특성이 파악될 수 있도록 한다.
- 구간측선망은 저수지 상류 및 지류도 포함하도록 한다.
- 저수지 퇴사지역(Delta)이나 특별히 주의를 요하는 지역은 다른 지역보다 직선간격을 조밀하게 한다.
- 측점번호는 체체로부터 상류측으로, 본천부터 지류순으로 기록한다.
- 측점은 유지관리의 지속성을 위하여 영구적인 재료로 설치하는 것이 바람직하다.



[그림 10] 저수지의 구간별 측선망

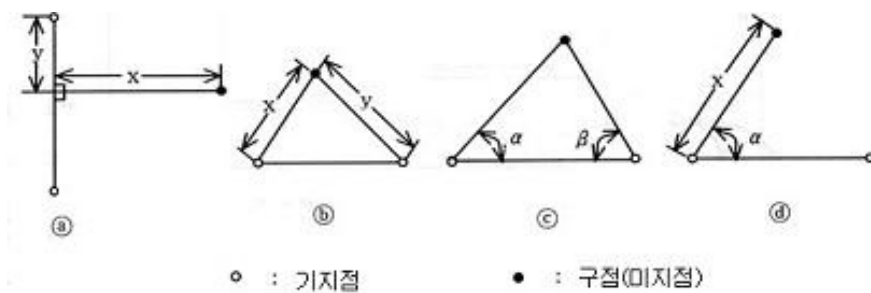
2. 측심위치 측량

2-1. 간접법

측선망을 따라 이동하는 선박의 위치를 결정하는 측량방법에는 여러 가지가 있으나 자료의 정도 및 저수지의 상황, 측정장비에 따라 결정되어 지며 위치측량의 원리를 요약하면 아래와 같다.

- (1) 그림 ㉑의 기지점을 연결하는 선을 Y축으로 하고, 이 축과 구점과의 수평거리 X를 구하여 구점의 위치를 구할 수 있다. Y축 선상의 임의의 점에 테오드라이트를 설치한 후 Y축과 직각이 되는 선상으로 선박을 이동시킨 후 수평거리 X를 측정한다. 이때 Y는 미리 측정하여 둔다.
- (2) 그림 ㉒의 기지점에 전파 측위기를 세우고 X, Y를 측정하여 구한다.
- (3) 그림 ㉓에서 그 기지점부터 구점의 각도를 측정하여 구점을 구하는 방법으로 그 기지점에 테오드라이트를 세워 각 α , β 를 측정한다.
- (4) 그림 ㉔의 1 기지점에 테오드라이트와 전파 측위기 또는 적외선 거리 측정기를 세우고 다른 지지점과 구점과의 각 α 와 기지점부터 구점까지의 거리 X를 측정하여 구점을 구한다.

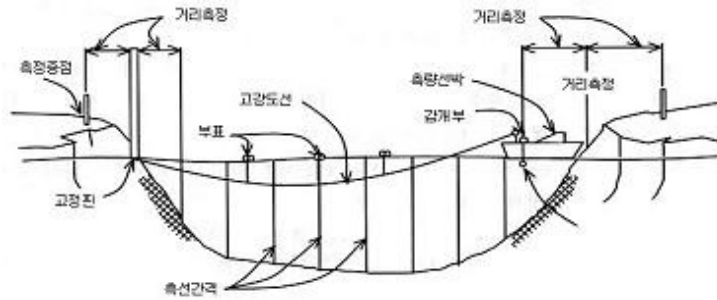
이상과 같은 위치 측정방법 이외에도 여러 가지 방법이 있으며 현지 지형 및 측량성과품, 측량장비 등의 조건에 따라 소정의 정도를 달성 할 수 있는 방법을 선정하여야 한다.



[그림 11] 측심위치 측량

2-2. 피아노선 법(Tethered Piano-Wore method)

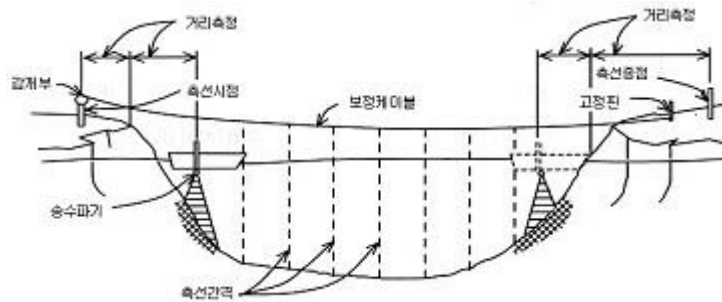
이 방법은 거리를 측정할 수 있도록 거리표시가 된 피아노선을 감개부(real)가 설치된 측량 선박과 반대편 저수지 육지부에 연결하여 선박이 이동하면서 측정선상의 거리를 측정하여 위치를 파악하는 방법으로 정확도는 높지만 최적의 측량조건에서도 1일 작업량이 6~9km 정도여서 비경제적이다.



[그림 12] 피아노선 법

2-3. 보정케이블 방법

이 방법은 일정한 간격으로 거리가 표시된 케이블을 측선 양쪽에 고정시키고 측량선박이 수심측량을 시행하는 지점의 거리를 기록지에 나타내도록 함으로써 측량선박의 위치를 측정하는 방법으로 측량구간에 유속이 발생하고 저수지 양안에 경사가 급한 벽이 형성되어 육지부로 접근이 용이하지 못한 곳에서 실시하면 측선 연장은 300m 내외가 적당하다.



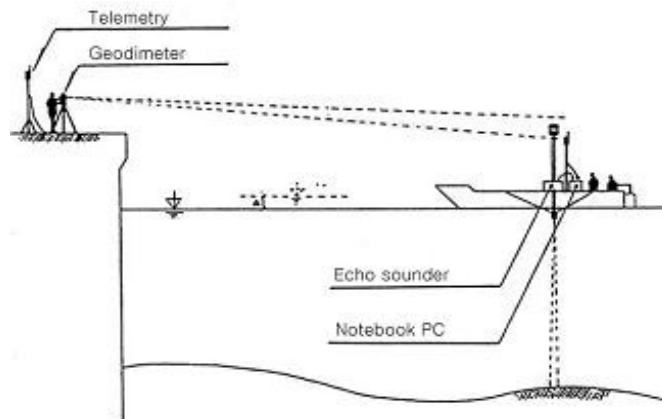
[그림 13] 보정케이블 방법

2-4. 토탈스테이션 방법

이는 기존의 테오드라이트에 의한 측량방식을 탈피하여 토탈스테이션과 수심측정기를 컴퓨터와 연결하여 전산측량을 하는 것이다.

(1) 측정방법

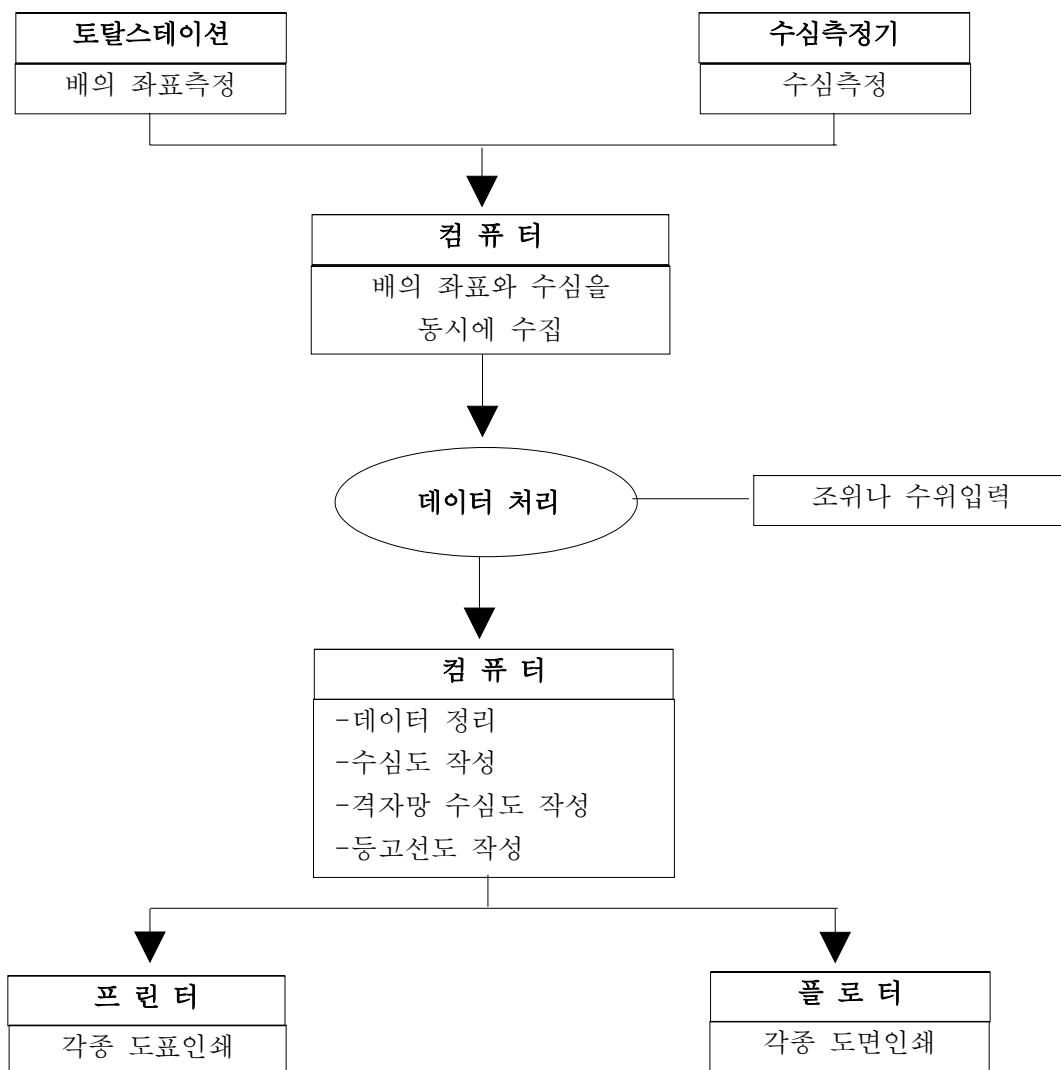
측심 위치측량은 [그림 14]와 같이 저수지의 시준이 양호한 육지부에 설치한 토탈스테이션의 기능을 트래킹(Tracking) 측정상태로 전환한 후 배에 설치한 프리즘(원형 8소자 프리즘셋트 : 동서남북간 8개 방향)을 시준하여 연속적으로 측정시간과, 배의 좌표를 측정하며, 수심측량은 디지털 수치 및 기록지 수치가 동일하게 표시되어서 측정번호, 측정시간(시, 분, 초), 수심치, 수심그래프, 기타 기계조정자료 등이 상세하게 자동 기록되는 음향측심기를 이용하여 측량한다.



[그림 14] 토탈스테이션 위치측량

(2) 측량성과 작성방법

외업에서 얻어진 위치좌표 및 수심자료를 같은 시간대의 측정 자료로 컴퓨터상에서 결합시켜 측정시각, 위치좌표, 수심자료와 별도로 측정한 저수지 수위변동 자료를 같은 시간대로 배열한 후 최종 데이터를 해상도면 자동작성 프로그램에 적용하면 수심도면이 자동으로 작성된다. 이와 같은 방법은 인원 및 시간을 절약할 수 있는 경제적인 방법이며 측량의 흐름도는 [그림 15]와 같다.

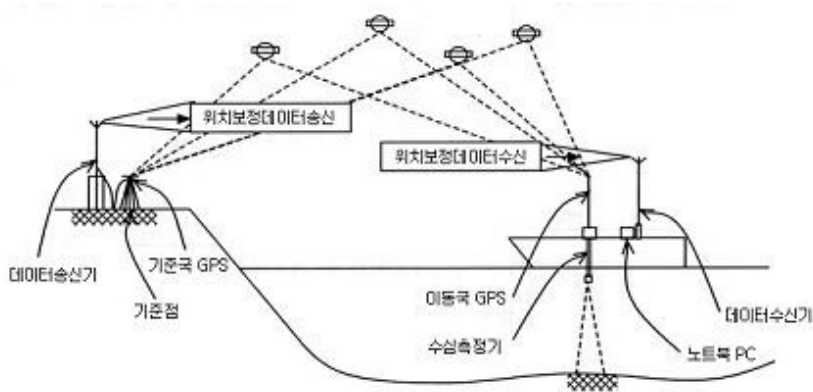


[그림 15] 토탈스테이션 측량 흐름도

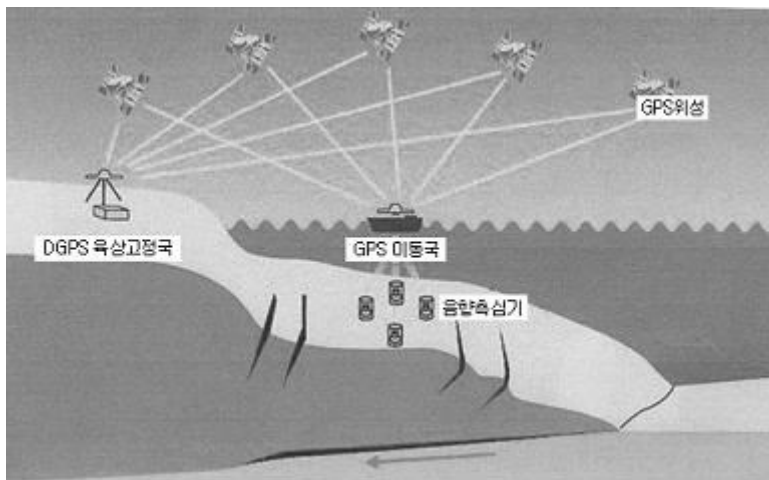
2-5. GPS 탐사를 이용한 수심측량 방법

GPS를 이용한 수심측량 방법에는 여러 가지 방법이 있으며 여기에서는 DGPS(Differential Global Positioning System)을 이용한 수심측량 방법을 소개하고자 한다. 이 방법은 수심측량 시 이동중인 측량선의 위치를 인공위성을 이용하여 측정하는 최첨단 위치정보 시스템이다.

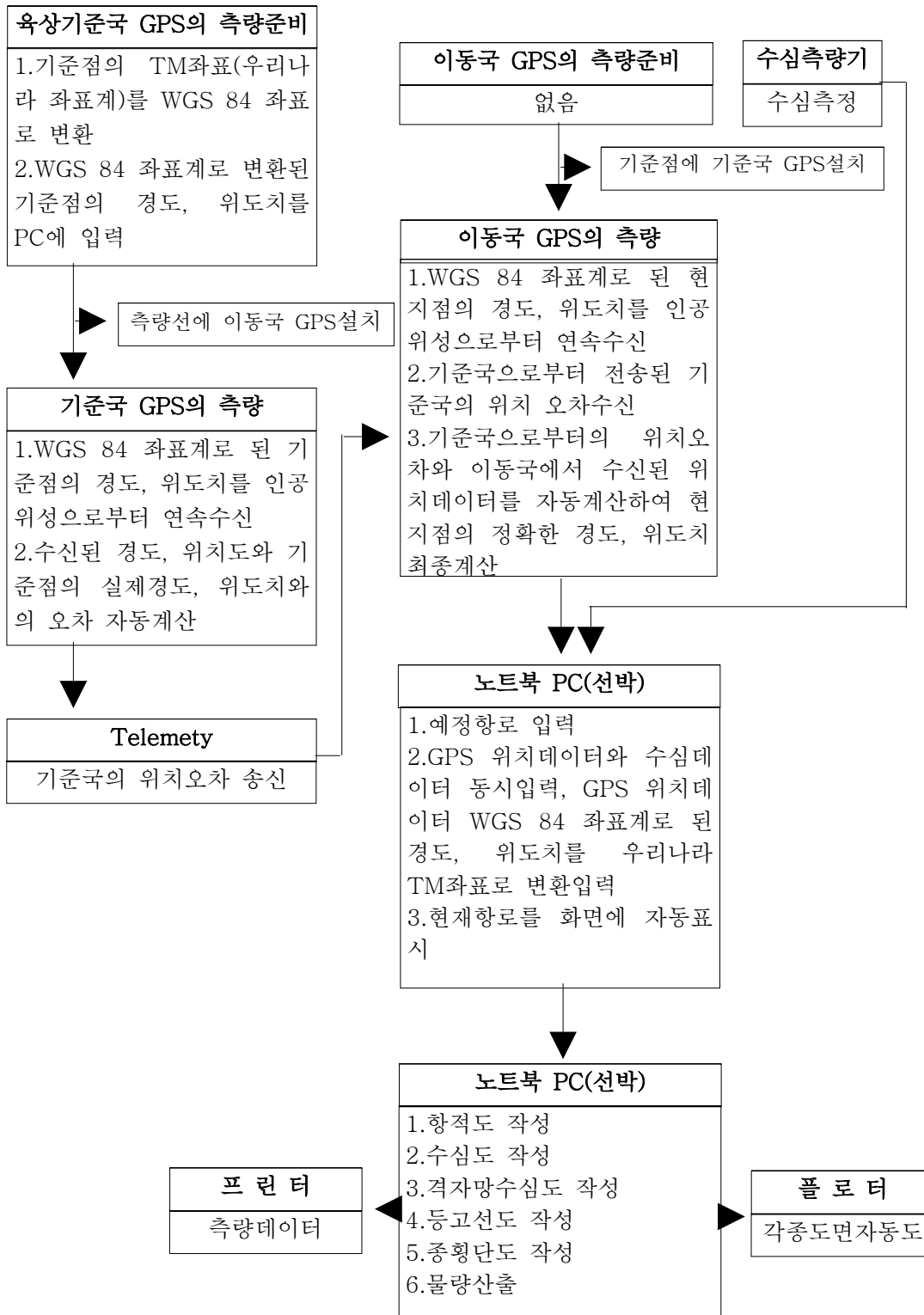
작업방법은 이동중인 측량선의 위치를 육상기지국(기준점)에 설치한 GPS에서 위성데이터 수신기와 이동국 GPS는 위치정보를, Echo-sounder는 수심정보를 노트북 PC에 전송, 항도를 화면에 표시하면서 좌표 및 수심, 시간이 기록된다. 기록된 자료는 작업 후 10분 단위로 관측한 수위를 입력하여 보정 후 항적도 및 수심도를 작성한다[그림 16, 17].



[그림 16] DGPS 및 음향측심기 수심측량모식도



* GPS(Global Positioning System)
 DGPS(Differential GPS)



[그림 17] GPS를 이용한 수심측량 체계도



[사진 4] DGPS 육상기준국



[사진 5] GPS 이동국(측량선에 설치) 음향측심기 설치



[사진 6] 수면 직접수준 측량



[사진 7] 육상부 현황측량



[사진 8] 사용 장비

제 3 절. 퇴적저니량(준설량) 산출

준설 예정인 저수지를 대상으로 내용적 측량을 실시하여 당초의 내용적과 비교 검토하여 퇴적부위별, 퇴적량 등 정확한 준설량을 산출해야 한다. 이때 설치 당시의 내용적과 현 내용적 측량결과를 비교 검토하여 준설량을 산출하고, 저수위별 면적 내용적 곡선도를 작성 비교하여 표고별 퇴적사항을 파악한다. 그리고 퇴적량 중 육상의 퇴적토 일부를 준설하거나 소규모 저수지인 경우에는 종·횡단면도를 작성하여 용적을 구해야 한다. [표 26]은 종·횡단면도에 의하여 준설량을 계산한 예이며, [표 27]은 저수지 내용별 측량결과를 가지고 준설량을 산출한 예이다. 또한 [표 28]은 저수위별 면적 곡선도 표고별 퇴적사항을 파악하기 위한 그림이다.

[표 26] 종·횡단면도에 의한 준설토 계산 예

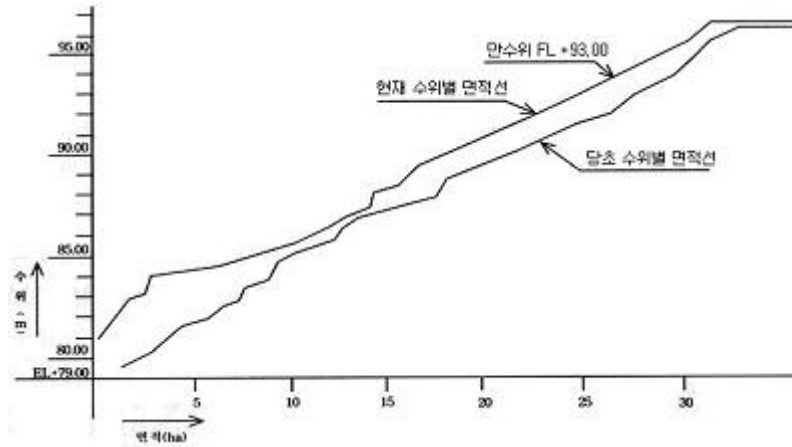
측 점	거 리(m)		준 설 토			비 고
	점간	누가거리	단면(m ²)	평균단면	부피(m ³)	
No. 0	0.00	0.00	76.50	0.00	0	준설량
No. 1	20.00	20.00	75.80	76.15	1,523	
No. 2	20.00	40.00	75.90	75.85	1,517	
No. 3	20.00	60.00	152.30	114.10	2,282	
No. 4	20.00	80.00	229.00	190.65	3,813	
No. 5	20.00	100.00	210.10	219.55	4,391	
No. 6	20.00	120.00	214.00	212.05	4,241	
No. 7	20.00	140.00	244.70	229.35	4,587	
No. 8	20.00	160.00	250.70	247.7	4,954	
No. 9	20.00	180.00	263.50	257.10	5,142	
계					32,450	

[표 27] 저수지 내용적증량에 의한 준설토 계산 예

No	표고 (m)	면 적(m ²)			평균면적(m ²)			고차 (m)
		당 초	금 회	증(△)감	당 초	금 회	증(△)감	
No. 1	80.00	19,670	-	△19,670	9,835	-	△9,835	-
No. 2	81.00	35,462	4,002	△31,460	27,566	2,001	△25,565	1.0
No. 3	82.00	45,129	14,284	△30,845	40,295.5	9,143	△31,152.5	1.0
No. 4	83.00	59,227	21,340	△37,887	52,178	17,812	△34,366	1.0
No. 5	84.00	71,896	32,961	△38,935	65,561.5	20,150.5	△38,411	1.0
No. 6	85.00	89,438	79,027	△10,411	80,667	55,994	△24,673	1.0
No. 7	86.00	108,864	101,577	△7,287	99,151	90,302	△8,849	1.0
No. 8	87.00	122,832	115,761	△7,071	115,848	108,669	△7,179	1.0
No. 9	88.00	159,729	138,556	△21,173	141,280.5	127,158.5	△14,112	1.0
No.10	89.00	177,048	151,862	△25,186	168,388.5	145,209	△23,179.2	1.0
No.11	90.00	199,166	165,340	△33,826	188,107	158,601	△29,506	1.0
No.12	91.00	225,115	194,659	△30,456	212,140.5	179,999.5	△32,141	1.0
No.13	92.00	252,640	222,883	△29,757	238,877.5	208,771	△30,106.5	1.0
No.14	93.00	275,860	255,772	△20,088	264,250	239,327.5	△24,922.5	1.0
No.15	94.00	302,702	286,776	△15,926	289,281	271,274	△18,007	1.0

[표 28] 표고별 퇴적사항을 파악하기 위한 저수위별 면적 곡선도

No	용 적(m ³)			누가용적(m ³)			비 고
	당 초	금 회	증(△)감	당 초	금 회	증(△)감	
No. 1	-	-	-				
No. 2	27,566	2,001	△25,565	27,566	2,001	△25,565	
No. 3	40,295.5	9,143	△31,152.5	67,861.5	11,144	△56,171.5	
No. 4	52,178	14,812	△34,366	120,039.5	29,956	△90,083.5	
No. 5	65,561.5	27,150.5	△38,411	186,601	57,106.5	△129,494.5	
No. 6	80,667	55,994	△24,673	267,268	113,100.5	△154,167.5	
No. 7	99,151	90,302	△8,849	366,419	203,402.5	△163,016.5	만수저수량
No. 8	115,848	108,669	△7,179	482,267	312,071.5	△170,195.5	당초:1,695,311m ³
No. 9	141,280.5	127,158.5	△14,122	623,547.5	439,230	△184,317.5	금회:1,371,138m ³
No.10	168,388.5	145,209	△23,179.5	791,936	584,439	△207,497	증(△)감:△324,173m ³
No.11	188,107	158,601	△29,506	980,043	743,040	△237,003	
No.12	212,140.5	179,999.5	△32,141	1,192,183.5	923,039.5	△269,114	△324,173m ³
No.13	238,877.5	208,771	△30,106.5	1,431,061	1,131,810.5	△299,250.5	
No.14	264,250	239,327.5	△24,922.5	1,695,311	1,371,138	△324,173	만수위
No.15	289,281	271,274	△18,007	1,984,592	1,642,412	△342,180	준설량:324,173m ³



[그림 18] 저수위별 면적곡선도

제 4 절. 선정된 저수지의 보유수량 및 퇴적저니량 산출

1. 연구조사 배경 및 목적

농업기반공사 경기지사로부터 추천 받은 칠리저수지는 설계 시공된 지가 오래된 저수지로서 본 연구팀에서 실지로 오염도를 분석한 결과 심한 부영양화로 농업용수로서 그 기능이 상실된 상태이다. 이런 저수지는 바닥 전체에 퇴적저니층이 두껍게 쌓인 상태이므로 일반적인 방법으로는 수질개선이 어렵기 때문에 원천적인 복원을 위해서는 퇴적저니를 준설하는 것이 최선의 방법이다. 그래서 본 연구팀은 매년 부영양화가 발생하는 칠리저수지를 원천적으로 복원하기 위해 1차년도에 기본적인 보유수량과 퇴적저니량을 산출하여 그 결과를 토대로 연구 2차년도에 저수지 현장에서 준설을 통해 저수지의 수질을 정화, 복원하기 위한 목적을 갖고 있다.

2. 조사내용 및 방법

- ▣ 저수지의 일반현황
- ▣ 저수지의 지형분석
- ▣ 강우량을 포함한 기상조사
- ▣ 저수지의 수문조사

- ▣ 저수지의 퇴적저니량 산출 등의 내용으로 기존자료를 수집분석하고 현장조사 및 실지측량으로 보유수량과 퇴적저니량을 산출한다.

3. 저수지의 지형분석

3-1. 지형도에 의한 분석

'95년 현지조사 완료 후 '96년 수정 편집된 건설교통부 국립지리원발행 축척 1/5,000 지형도 [그림 3]에서 칠리저수지의 소재는 시흥시 금이동에 위치하며 수인산업도로 42번 국도와 인접해 있으며 북쪽으로 표고 80.2m, 동쪽으로 92.0m, 남쪽으로 101.0m, 서쪽으로 광명시 터골산 72.6m 사이에 분지형태로 위치하였으며 계곡으로 우수 및 지표수가 유입되는 지형으로 지형도 도엽번호는 NJ 52-9-18-034와 NJ 52-9-18-035에 걸쳐있다.

3-2. 수치지도에 의한 분석

축척 1/1,000 수치지도상 [그림 4]에서 大칠리저수지는 2003년 5월 현재 수문공사 전 자료에 의해 만들어진 지도로 실제현황과 큰 차를 보이고 있어 최근 자료로서 가치가 없었으며 특히 小칠리저수지에 대한 일체의 자료가 누락되어 실제 이용이 불가능했다.

3-3. 항공사진에 의한 분석

최근 입수한 국립지리원 문서번호 향측 58270-313에 의거 지리정보신청서 872호에 의해 지구명 2000 서울 원축척 1/20,000 촬영코스 12로 항공사진 [사진 9]를 분석한 결과 지형도나 수치지도에서 누락된 小칠리저수지를 찾을 수 있었으며 촬영당시 小칠리저수지 좌편 검게 나타난 부분은 모래가 노출되어 있음을 알 수 있으며, 大칠리저수지 좌편에도 수인산업도로쪽 일부에 저수지 바닥이 드러났음을 볼 수 있다. 2003년 5월 본 연구팀에서 실측한 결과와 비교해 볼 때 수문쪽 일부 공사관계로 저수량이나 면적이 실측에 의한 것보다 차이를 보이고 있었다. 그러므로 2000년 촬영당시 실제현황과 2003년도 지형변화에 대한 육안 비교분석용으로만 이용이 가능했다.



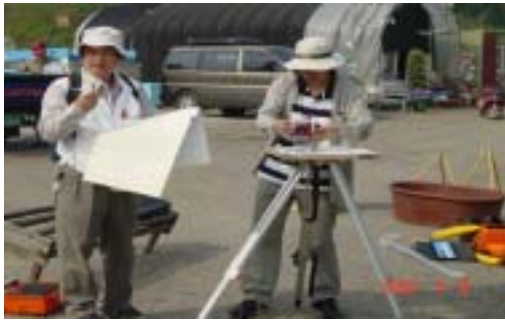
[사진 9] 항공사진으로 본 칠리저수지(축척 1/20,000)



[사진 10] 大칠리저수지 전경



[사진 11] 저수지현황측량



[사진 12] 저수지면적측량



[사진 13] 저수지수심측량



[사진 14] 모터-보트 조립



[사진 15] 수심과 퇴적저니층조사



[사진 16] 수심측정점 위치측량과 퇴적저니층 조사



[사진 17] 小칠리저수지의 수심· 퇴적저니층조사

3-4. 지적도에 의한 분석

축척 1/1,200 지적도에 의한 大칠리저수지는 3도곽에 걸쳐있으며 최초 등록 당시 40유, 38-1유, 37유, 38-2도, 703도, 36-2도, 56-2도, 39-2도가 있었다. 현재는 저수지 가운데에 있었던 도로가 폐쇄되어 전체 하나의 저수지 大칠리저수지로 통합되었다. 수인산업도로 건너에 위치한 小칠리저수지는 32-2유, 33-2유로 지목이 유지로 등록이 되어있었으며 현재도 지적도상 존재하고 있다. 실측도면과 비교해볼 때 702도가 일부 大칠리저수지에 포함되면서 제방 반대편 54-1유, 53-1유가 합쳐서 현재의 형태를 유지한 것으로 분석되었으며 현 수문쪽이 더 확장되었음을 알 수 있다. 또한 저수지가 만들어지면서 많은 토지이동이 발생한 것으로 나타났다.

4. 강수량을 포함한 기상조사

저수지의 수질과 퇴적물에 영향을 주는 인자는 기온과 강수에 따라 직·간접적으로 영향을 받게 된다. 우리나라는 특성상 연강수량의 60% 이상이 6월에서 9월 사이에 집중되는데, 칠리저수지는 수원관측소의 기온과 강수의 측정값을 분석한 결과 2001년, 2002년 모두 6월~9월까지 평균 20℃이상의 기온을 나타내었고, 강수량은 2001년에는 6월~9월까지 평균 144.7~469.7mm를 나타내었다. 2002년에는 4월에 152.7mm의 강우를 보였고, 7월~8월까지는 257.8~487.3mm의 높은 강수량을 보였다. 2003년 4월에는 182mm를 보이기도 하여 보편적으로 볼 때 칠리저수지는 4월~9월까지 저수지의 유량과 수질이 민감하게 반응할 것으로 판단되어진다.

[표 29] 수원관측소의 칠리저수지의 평균기온과 강수량

'02. 1. 1~12. 31	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
평균기온	-0.4	0.4	6.2	12.7	16.4	21.0	24.7	23.7	20.6	11.6	2.7	0.4
'03. 1. 1~ 6. 8	-4.0	0.7	5.3	12.4	18.8							
강수량합계(mm)	10.4 31.8	46.2 3.2	28.3 35.7	182 152.4	85.5 77.0							
						52.0	257.8	487.3	31.3	73.8	12.2	17.2

5. 저수지 수문조사

5-1. 저수지의 면적산출

저수지의 면적측량은 Auto-reduction EDM Alidade에 의해 실측량하여 측량 원도를 작성하였다[사진 10~16]. 즉, 저수지변 도로 및 제방 상에 트라버스망을 구축하고 폐합트라버스 망 조정을 해서 폐합 오차를 보정한 후 저수지 면적측량을 Mini Ar Scale 1/1,000으로 측량해서 면적을 산출한 결과는 [표 30]과 [표 31]에 나타내었고 [표 30]를 이용한 大 칠리저수지의 전체둘레는 912.3242m이었고, 면적은 45538.6982m²로 산출되었다.

[표 30] 大칠리지수지의 면적을 산출하기 위한 측량좌표점(m)

X점	Y점	Z점	X점	Y점	Z점
186320.8184	433649.7159	0.0000	186649.4786	433518.7111	0.0000
186319.5293	433649.0829	0.0000	186650.5298	433525.2410	0.0000
186313.6640	433649.4512	0.0000	186649.4404	433529.0329	0.0000
186311.1434	433649.9673	0.0000	186642.3450	433540.4361	0.0000
186308.0067	433649.4913	0.0000	186631.4657	433551.7046	0.0000
186309.4896	433626.9012	0.0000	186615.3965	433565.3285	0.0000
186316.6263	433613.3513	0.0000	186594.3117	433581.7060	0.0000
186327.6446	433595.7734	0.0000	186585.0756	433590.3712	0.0000
186332.2738	433588.8425	0.0000	186575.0971	433600.0416	0.0000
186344.8400	433565.8412	0.0000	186564.7642	433611.5418	0.0000
186349.5021	433555.4812	0.0000	186557.2438	433621.2695	0.0000
186355.4776	433539.9336	0.0000	186550.9691	433632.1956	0.0000
186357.1537	433533.6671	0.0000	186520.6329	433683.1102	0.0000
186362.2154	433520.0333	0.0000	186508.4449	433688.8225	0.0000
186368.5095	433511.2129	0.0000	186504.9190	433689.0800	0.0000
186377.4007	433502.2652	0.0000	186497.3397	433691.1517	0.0000
186397.4249	433486.8341	0.0000	186497.8599	433691.8105	0.0000
186427.9837	433469.7553	0.0000	186484.9070	433701.4007	0.0000
186442.6101	433464.9911	0.0000	186481.9919	433703.2327	0.0000
186459.5683	433463.2347	0.0000	186459.0287	433684.0359	0.0000
186469.1670	433465.3448	0.0000	186447.6795	433674.4293	0.0000
186473.8104	433468.1384	0.0000	186433.2100	433666.7739	0.0000
186474.4668	433469.2674	0.0000	186428.0409	433661.3354	0.0000
186479.5058	433469.9084	0.0000	186419.1663	433653.8606	0.0000
186483.7598	433469.9073	0.0000	186403.9828	433643.3244	0.0000
186494.2964	433473.3946	0.0000	186401.4224	433641.5171	0.0000
186514.9745	433479.9792	0.0000	186395.2161	433638.3961	0.0000
186533.4351	433486.0009	0.0000	186385.8320	433635.4747	0.0000
186545.4823	433490.6701	0.0000	186372.6618	433634.0676	0.0000
186554.9596	433494.2240	0.0000	186363.0391	433635.3541	0.0000
186564.5489	433497.0261	0.0000	186353.3244	433637.2940	0.0000
186578.1683	433501.3306	0.0000	186339.5160	433640.9271	0.0000
186591.5489	433505.2245	0.0000	186321.6715	433648.0052	0.0000
186612.6110	433511.7175	0.0000	186320.8184	433649.7159	0.0000
186633.9532	433515.3774	0.0000			

* 면적 : 45538.6982㎡(13,800평), 둘레길이 : 912.3242m

[표 31] 小칠리저수지의 면적을 산출하기 위한 측량좌표점(m)

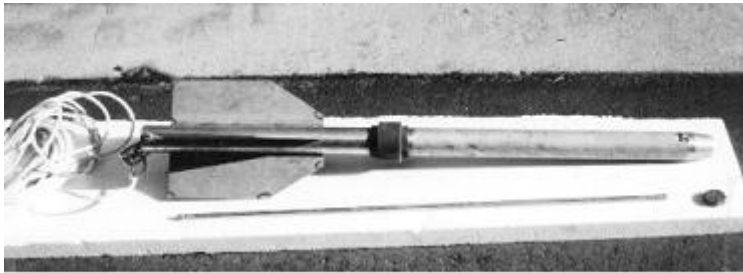
X점	Y점	Z점
186410.7724	433431.999	0.0000
186392.9151	433439.9563	0.0000
186370.8923	433452.2256	0.0000
186348.1127	433466.7089	0.0000
186347.8063	433465.0873	0.0000
186344.4249	433462.5901	0.0000
186342.7910	433453.9417	0.0000
186344.0681	433449.4465	0.0000
186347.5781	433435.7417	0.0000
186346.3999	433426.8394	0.0000
186356.2295	433415.1898	0.0000
186375.4984	433402.2642	0.0000
186388.4284	433397.2512	0.0000
186398.8565	433402.3942	0.0000
186406.1998	433411.6454	0.0000
186411.9817	433415.5933	0.0000
186417.8882	433424.0518	0.0000
186410.7724	433431.9990	0.0000

* 면적 : 2747.0589m²(832평), 둘레길이 : 217.9463m

大칠리저수지 둘레를 측정한 후 小칠리저수지의 측량에서도 보점을 다시 설치해 같은 방법으로 실시하니 小칠리저수지의 둘레는 217.9463m였고, 저수지 면적은 2747.0589m²로 산출되었다. 상기 측량방법을 선택한 이유는 최초 현장답사 및 조사측량 시 해당저수지의 바로 옆을 고압전류가 통과하여 GPS측량을 할 경우 많은 오차가 발생할 것으로 사료되었고, 저수지내에 수초와 말풀이 상당수 분포하여 음향측심기나 인공위성측량 자료에 의한 수심측량에는 자료의 불균질 등과 분석상 한계가 예상되었다. 그래서 소규모 저수지의 수심과 퇴적저니층의 측량은 인력과 장비, 그리고 정확도를 고려하여 Auto-reduction EDM Alidade에 의한 실측방법을 택하였다.

5-2. 저수지의 보유수량 산출

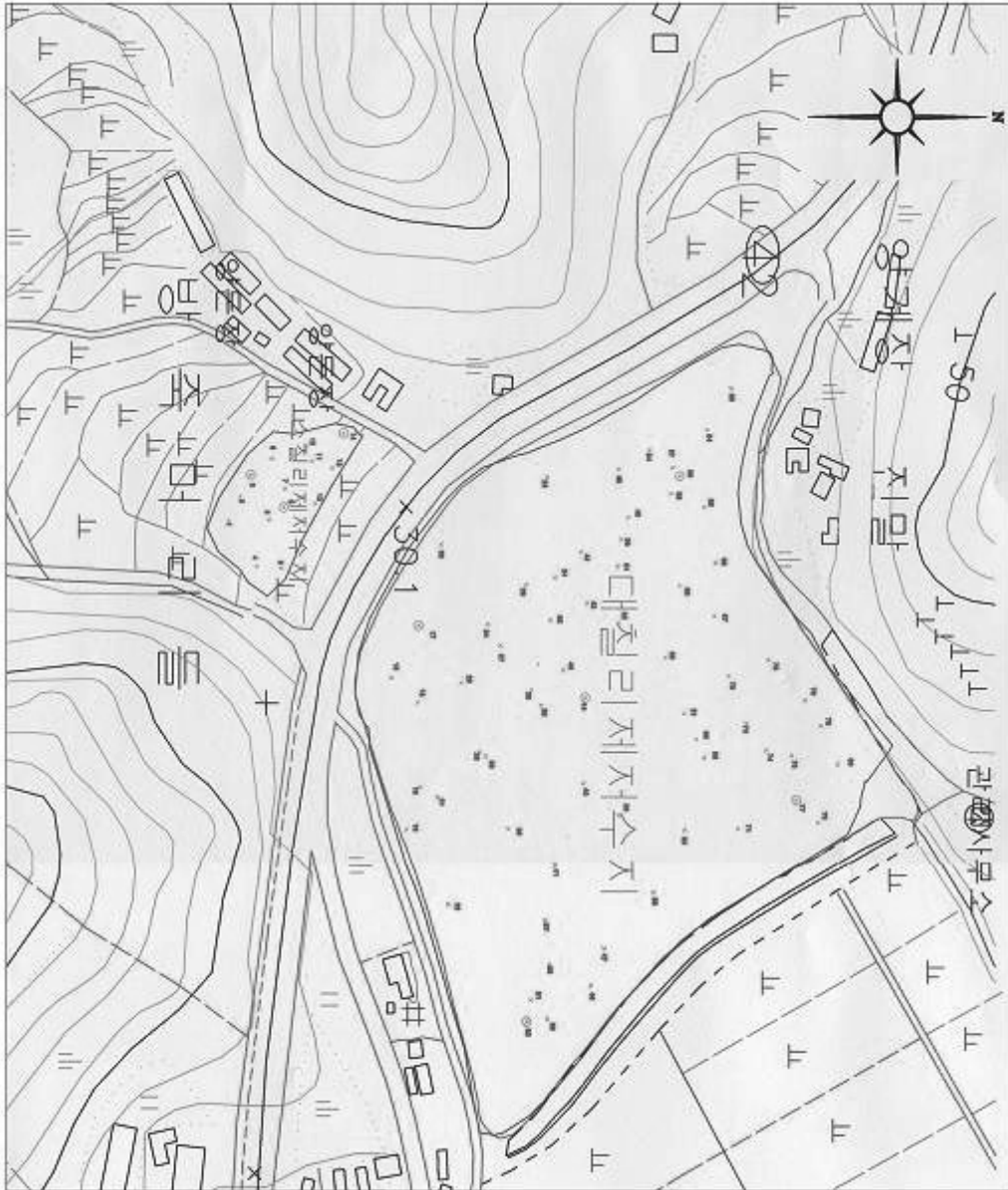
저수지의 보유수량을 산출하기 위해서는 앞에서 실측된 저수지 둘레의 트라버스망 상 시통이 잘되는 중앙부에 평판을 설치하고 표정에 의해 각 지점의 위치를 결정한 후 저수지에 배를 띄워 배를 이동하면서 기본적으로 설계된 남북방향 노선을 시작으로 동서방향 그리고 역방향의 순서에 의해 측정위치에 따른 수심 및 퇴적층 깊이를 조사하였다. 수심측정은 토목측량용 표척(staff)를 사용하여 배 위에서 저수지 물 속으로 수직으로 세워 수위를 읽었고 퇴적저니층의 깊이는 주상채니기 [사진 18]을 이용하였다.



[사진 18] 주상채니기

[그림 19]는 저수지의 수심 및 퇴적저니층을 실지로 조사하기 위한 기본계획노선을 사방 20m 단위로 계획한 측량설계도이다. [그림 19]의 설계도 계획노선에 따라 순차적으로 배를 이동시켜서 계획지점 부근까지 접근하면 무전으로 정지신호를 보내 조사지점(위치)을 저수지외곽 측량 기준점에서 도면상에 표시하고 수심 및 퇴적층의 깊이를 측정 조사하였다. [그림 19]에는 계획노선으로 실지로 배를 이동시켜가면서 수심과 퇴적저니층이 측정조사된 지점을 나타내었다. 小칠리저수지는 1번지점에서 14번지점까지 14개지점에서 조사되었고, 大칠리저수지는 小칠리저수지에서 저수된 물이 유입되는 15번 지점부터 저수지 밖으로 유출되는 80번지점까지 총 65개지점에서 수심과 퇴적저니층의 깊이를 측정 조사하였다. [표 32], [표 33]에는 칠리저수지의 수심 및 퇴적저니층의 깊이를 측량상의 X좌표와 Y좌표상의 측정조사지점별로 나타내었다. 한편, 저수지 바닥에 퇴적된 퇴적저니량을 산출하기 위해서는 해당저수지를 최초로 시공할 때

설계 깊이 등을 알아야 되는데, 칠리저수지인 경우 1945년도에 시공되었기 때문에 너무 오래되어 기본적인 설계자료 등을 찾을 수 없어 본 연구팀에서는 편의상 실측한 수심(m)과 퇴적층의 깊이(m)로 설계깊이를 유추산출하였다.



[그림 19] 그림5에 의한 수심과 퇴적저니층 실측지점(축척 1/1,000)

[표 32] 小칠리저수지의 수·퇴적저니층 깊이

측정지점	x점(m)	y점(m)	수심(m)	퇴적층깊이(cm)	설계깊이(m)
1	186384.8046	433406.2466	1.5	18.5	1.685
2	186373.9028	433412.5856	1.5	18.5	1.685
3	186364.3884	433417.3398	1.6	18.0	1.780
4	186404.4280	433419.7169	1.7	17.5	1.875
5	186384.2100	433423.7778	1.5	19.5	1.695
6	186357.1535	433426.5511	1.6	18.0	1.780
7	186370.4340	433432.3949	1.7	16.5	1.865
8	186378.3626	433431.8006	1.6	16.0	1.760
9	186405.2208	433430.8101	1.6	18.0	1.780
10	186353.5857	433440.9128	1.1	15.0	1.250
11	186358.6402	433444.4785	1.5	17.5	1.675
12	186377.3715	433445.7661	1.3	17.0	1.470
13	186361.4152	433453.4917	0.9	15.0	1.050
14	186346.6481	433458.3450	0.8	17.2	0.972

[표 33] 大칠리저수지의 수심·퇴적저니층 깊이

측정지점	x점(m)	y점(m)	수심(m)	퇴적층두께(cm)	설계깊이(m)
15	186452.3679	433480.1395	1.4	12.5	1.575
16	186517.8139	433487.1959	1.8	16.5	1.965
17	186429.5801	433492.4300	1.5	21.5	1.615
18	186462.9480	433491.7974	1.3	12.5	1.425
19	186500.0901	433491.9856	1.6	15.5	1.955
20	186394.1572	433502.3174	1.6	10.5	1.705
21	186503.7976	433500.7516	1.9	16.5	1.965
22	186550.0966	433505.4509	2.1	15.5	2.255
23	186455.9850	433510.1428	1.8	15.5	1.855
24	186429.5801	433521.9815	1.7	19.0	1.690
25	186484.5602	433519.5415	1.8	23.5	2.035
26	186486.1879	433522.2526	1.8	25.5	2.055
27	186438.2612	433528.9401	1.7	22.5	1.775
28	186517.4522	433532.3817	2.1	15.5	2.255
29	186411.9714	433540.3638	1.8	18.5	1.835
30	186457.6909	433542.4774	1.8	23.0	2.030
31	186591.3988	433542.1608	2.7	27.5	2.975
32	186600.1685	433540.3900	2.8	21.5	2.915
33	186365.1299	433549.4010	1.6	16.0	1.760
34	186408.8065	433553.3773	1.8	18.0	1.880
35	186429.1527	433549.8528	1.8	16.5	1.865
36	186464.2017	433546.6345	1.8	22.5	2.415

측정지점	x점(m)	y점(m)	수심(m)	퇴적층두께(cm)	설계깊이(m)
37	186557.0321	433548.7124	2.7	31.5	3.015
38	186575.9868	433550.4822	2.6	34.0	2.940
39	186599.2824	433549.5968	2.8	27.0	3.070
40	186448.8290	433556.8465	1.8	18.0	1.980
41	186532.9384	433551.4563	2.2	21.5	1.415
42	186397.6790	433564.3887	1.7	18.0	1.880
43	186420.0147	433567.4613	1.8	16.5	1.965
44	186461.1271	433566.4258	2.0	21.5	2.215
45	186497.8726	433566.0981	2.2	37.5	2.575
46	186585.3770	433567.3912	2.8	33.5	3.135
47	186569.1669	433574.8272	2.8	20.0	3.005
48	186363.2261	433580.2037	1.6	17.5	1.775
49	186382.6680	433585.7164	1.8	15.5	1.955
50	186392.3438	433582.5534	1.7	18.0	1.880
51	186405.7271	433579.6615	1.8	16.5	1.965
52	186428.6053	433581.3786	1.8	16.0	1.960
53	186511.7049	433581.8858	2.6	33.5	2.935
54	186353.1951	433595.1268	1.3	17.5	1.475
55	186443.4389	433602.3057	1.9	21.0	2.210
56	186544.8338	433597.2015	2.8	34.5	3.145
57	186361.4028	433604.0571	1.7	17.5	1.875
58	186364.9618	433607.4518	1.5	15.0	1.650
59	186372.6433	433603.5318	1.7	17.5	1.875
60	186412.1767	433608.6228	1.8	14.0	1.940
61	186467.9757	433610.3619	2.4	30.5	2.705
62	186517.7284	433611.2769	2.8	38.5	3.185
63	186478.7813	433616.3811	2.6	26.5	2.865
64	186344.5394	433620.7642	1.7	18.0	1.880
65	186378.1309	433619.4514	1.8	16.5	1.965
66	186402.5389	433623.3275	1.8	19.0	1.990
67	186425.2807	433624.2598	2.0	20.5	2.205
68	186486.8147	433620.0410	2.6	24.5	2.845
69	186326.4024	433631.5979	1.5	16.0	1.660
70	186451.3225	433630.9002	2.1	25.5	2.655
71	186517.3700	433634.9283	2.8	28.5	3.085
72	186471.9614	433638.6901	2.6	27.0	2.870
73	186444.3250	433648.1621	2.1	21.5	2.315
74	186483.3567	433647.4981	2.6	22.0	2.820
75	186485.7478	433658.8296	2.6	22.0	2.820
76	186461.5662	433664.7610	2.4	24.5	2.645
77	186505.1456	433660.8656	2.9	26.5	3.165
78	186472.9925	433671.9318	2.4	30.5	2.905
79	186514.7134	433670.7812	2.8	30.5	3.105
80	186489.4681	433679.4566	2.0	27.0	2.270

한편, 小칠리저수지 및 大칠리저수지의 보유수량 산출은 [표 32]와 [표 33]의 자료들을 surfer의 software에 입력하여 (1)에는 小칠리저수지, (2)에는 大칠리저수지의 보유수량 산출하였다. 이 때 이용된 surfer의 프로그램은 비교적 보유수량 산출에 정확도가 높은 것으로 알려져 있는데, 결과 식들은 다음과 같다.

(1) 小칠리저수지의 VOLUME COMPUTATIONS

UPPER SURFACE

Grid File: C:\소칠리반전.grd
Grid size as read: 151 cols by 140 rows
Delta X: 0.500648
Delta Y: 0.499695683453
X-Range: 186342.791 to 186417.8882
Y-Range: 433397.2512 to 433466.7089
Z-Range: -0.820629579718 to 1.85764728289

LOWER SURFACE

Level Surface defined by $Z = 0$

VOLUMES(m³)

Approximated Volume by

Trapezoidal Rule: 2768.79999268 m³

Simpson's Rule: 2769.03982695 m³

Simpson's 3/8 Rule: 2769.0242795 m³

(2) 大칠리저수지의 VOLUME COMPUTATIONS

UPPER SURFACE

Grid File: C:\칠리제\대칠리반전(신).grd
Grid size as read: 344 cols by 241 rows
Delta X: 0.998609620991

Delta Y: 0.99999125
X-Range: 186308.0707 to 186650.5938
Y-Range: 433462.7109 to 433702.7088
Z-Range: -2.75122742029 to 2.94677429496

LOWER SURFACE

Level Surface defined by $Z = 0$

VOLUMES(m³)

Approximated Volume by

Trapezoidal Rule: 35949.1203638 m³

Simpson's Rule: 35950.7976001 m³

Simpson's 3/8 Rule: 35950.7266582 m³

컴퓨터에 의해 저수지의 보유수량(m³)은 Trapezoidal 법칙과 Simpson's 법칙, 그리고 Simpson's 3/8법칙으로 각각 산출하였는데 법칙들 간에 거의 비슷한 값(m³)을 나타내었다. 그 중 일반적으로 많이 쓰이는 Simpson's 법칙을 적용하였다. 그래서 小칠리저수지인 경우 보유수량은 2,769m³, 大칠리저수지인 경우는 35,950m³으로 산출되었다.

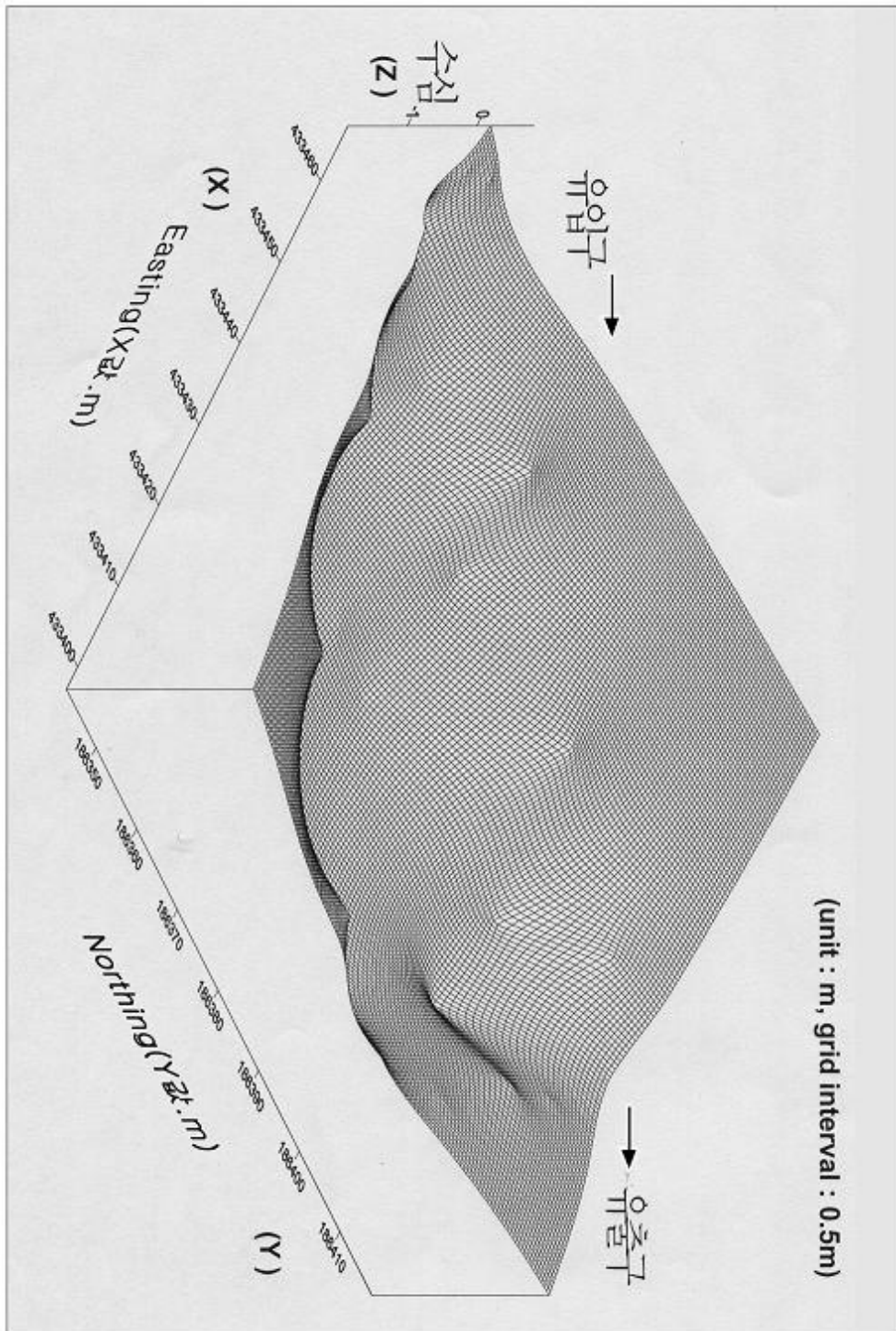
(3) 등심선도와 저면현황도 작성

[그림 20]은 [표 32]와 [표 33]의 자료들을 기초로 수심에 따른 등심선도를 수심이 같은 지점들을 연결해 그렸는데 小칠리저수지의 경우 최저수심은 0.8m, 최고수심은 1.7m로 나타났다. 大칠리저수지의 경우 최저수심은 유입구를 중심으로 해서 좌우로 넓게 퍼져있었으며 1.3~1.6m의 수심을 보였고, 최고수심은 2.6~2.9m로서 유출구 부근과 제방쪽이 가장 깊었다. 저수지 중심부와 좌·우측은 1.9~2.4m의 수심을 나타내었다. [그림 20]의 등심선도는 퇴적저니를 준설할 때 필요한 자료로 이용 된다. 그리고 칠리저수지의 저면현황도 즉, 저수지 바닥의 상태도는 [그림 21]과 [그림 22]에 나타내었다. 이 경우, 大칠리저수지의 Grid interval은 1.0m 격자간격, 小칠리저수지의 경우는 0.5m 단위

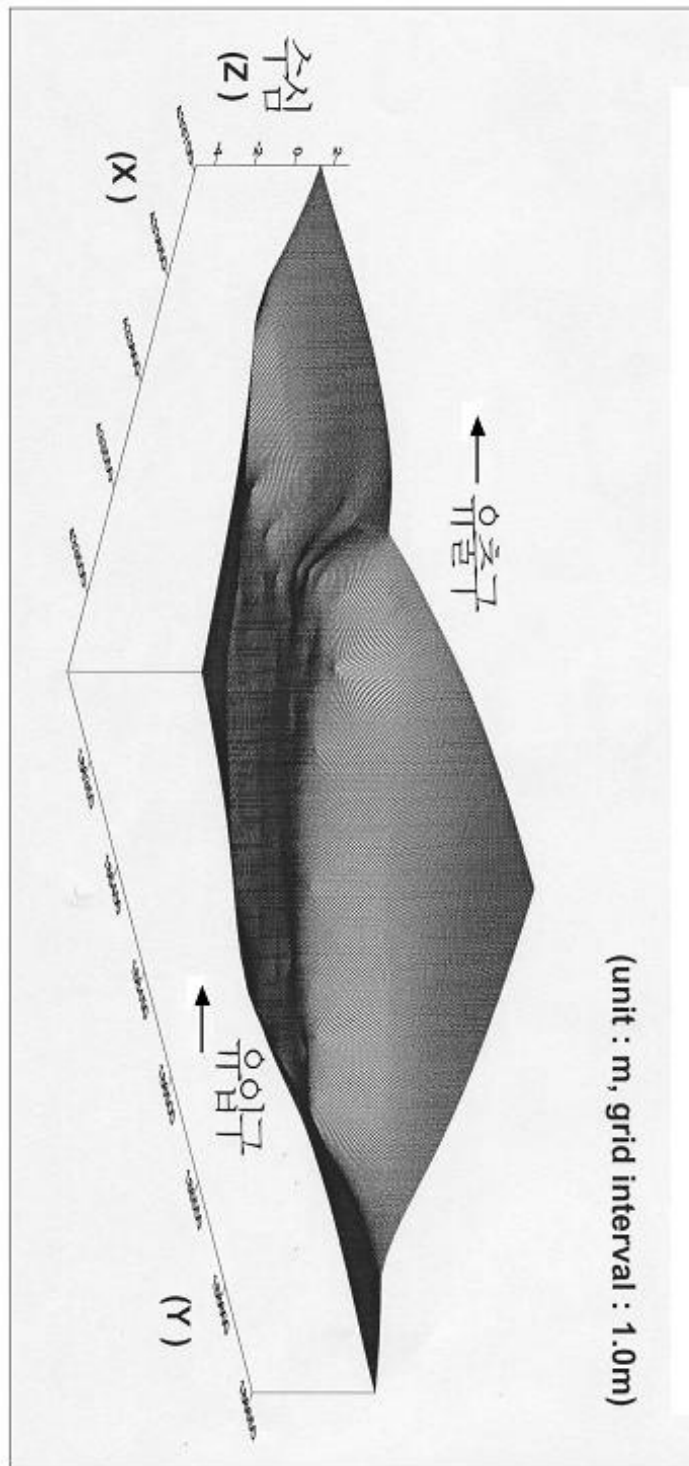
의 격자간격으로 3차원으로 해석하였다. [그림 21]과 [그림 22]도 퇴적
저니를 준설할 때 필요한 자료로 이용된다.



[그림 20] 칠리저수지 등심선도(축척 1/1,000)



[그림 21] 小碓리저수지 3차원 수심분포(바닥저면도)



[그림 22] 大철리저수지의 3차원 수심분포(바닥저면도)

5-3. 저수지의 퇴적저니량 산출

퇴적저니량의 산출은 [표 32]와 [표 33]에 나타낸 퇴적층의 깊이와 수심을 측정한 자료를 갖고 프로그램에 의해 다음과 같이 산출하였다.

(1) 小칠리저수지내의 퇴적량 산출 VOLUME COMPUTATIONS

UPPER SURFACE

Grid File: C:\칠리제\소칠리퇴적층.grd
Grid size as read: 151 cols by 140 rows
Delta X: 0.500648
Delta Y: 0.499695683453
X-Range: 186342.791 to 186417.8882
Y-Range: 433397.2512 to 433466.7089
Z-Range: -0.886809181343 to 2.03177432871

LOWER SURFACE

Level Surface defined by $Z = 0$

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 3118.05728194 m³
Simpson's Rule: 3118.32566616 m³
Simpson's 3/8 Rule : 3118.31054176 m³

프로그램에 의해 산출된 parameter를 갖고 小칠리저수지에 대한 퇴적저니량을 산출하니 349m³이었다. 이 값은 小칠리저수지의 보유수량과 퇴적저니의 합계량(3118m³)에서 보유수량(2769m³)을 뺀 값이 된다.

(2) 大칠리저수지내의 퇴적량 산출 VOLUME COMPUTATIONS

UPPER SURFACE

Grid File: C:\칠리제\대칠리퇴적층.grd

Grid size as read: 344 cols by 241 rows
Delta X: 0.998609620991
Delta Y: 0.99999125
X-Range: 186308.0707 to 186650.5938
Y-Range: 433462.7109 to 433702.7088
Z-Range: -3.03701144139 to 3.25094984221

LOWER SURFACE

Level Surface defined by $Z = 0$

VOLUMES

Approximated Volume by

Trapezoidal Rule: 39035.8227388 m³

Simpson's Rule: 39037.6753516 m³

Simpson's 3/8 Rule: 39037.5702346 m³

大칠리지수지도 小칠리지수지와 마찬가지로 프로그램에 의해 산출된 parameter를 갖고 산출된 퇴적저니량은 3,087m³이다.

제 5 절. 결 론

연구 1차년도에 개발 제작된 pilot 규모의 수질개선·복원장치 및 시스템을 현장에 설치예정인 칠리지수지의 지형도 분석, 보유수량 및 퇴적저니량을 산출한 결과는 다음과 같다.

- (1) 지형도에 의한 저수지의 지형분석에서 수인산업도로 42번 국도와 인접해 있었으며 분지형태로서 계곡으로 우수 및 지표수가 유입되는 지형으로 분석되었다. 수치도에 의한 지형분석은 실제현황과 큰 차이를 보여 최근 자료로서의 가치가 없었으며 항공사진에 의해 분석한 결과 지형도나 수치지도에서 누락된 小칠리지수지를 찾을 수 있었고, 2003년 5월 본

연구팀에서 실측한 결과와 비교해 볼 때 수문쪽의 일부 공사 관계로 저수량이나 면적이 실측에 의한 것보다 차이를 보이고 있었다.

- (2) 칠리저수지의 기온과 강수의 측정값을 분석한 결과 2001~2002년 모두 6~9월까지 평균 20℃ 이상이었고, 강수량은 6~9월까지 평균 144.7~469.7mm를 나타내었다. 7~8월까지의 높은 강수량을 보였다. 그러므로 칠리저수지는 4~9월까지 저수지의 유량과 수질이 민감하게 반응할 것으로 판단되어진다.
- (3) 칠리저수지의 면적(m²), 수심(m), 퇴적층두께(cm), 보유수량(m³), 퇴적저니량(m³)은 다음과 같다.

	둘레(m)	면적(m ²)	수심(m)	퇴적층두께(m)	보유수량(m ³)	퇴적저니량(m ³)
小칠리저수지	217.9	2,747.0	최저 0.8 최고 1.7	최저 15.0 최고 18.5	2,769	349
大칠리저수지	912.3	45,538.6	최저 1.3 최고 2.8	최저 10.5 최고 38.5	35,950	3,087

- (4) 퇴적저니를 준설할 때 필요한 수심에 따른 등심선도를 그렸는데 小칠리저수지의 경우 최저수심은 0.8m, 최고수심은 1.7m로 나타났고, 大칠리저수지의 경우 최저수심은 유입구를 중심으로 하여 좌우로 넓게 퍼져있었으며 1.3~1.6m의 수심을 보였다. 최고수심은 2.6~2.9m로 유출구 부근과 제방쪽이 가장 깊었다.
- (5) 한편, 준설작업 시에 필요한 저면현황도를 大칠리저수지인 경우 Grid interval은 1.0m 격자간격, 小칠리저수지는 0.5m 단위로 3차원으로 해석하였다.

제 6 장 준설선 및 장비별 성능조사

제 1 절. 개 요

우리나라 저수지는 준공연도가 1950년 이후로서, 50년 이상 된 것이 55%나 되며, 96%가 20년 이상 된 오래된 저수지이다. 그로 인해 외부로부터 유입된 토사 및 오염물질로 인해 준공 당시보다 내용적 축소로 저수능력이 현저히 감소되어 있을 뿐만 아니라 매년 반복되는 부영양화로 인해 오염물의 축적으로 저수지 본래의 기능이 상실되어 회복시키기 위해서는 여러 방법이 있겠으나 확실한 것은 준설이라 말할 수 있다.

준설, 즉 저니층의 제거는 저니층 내의 유기물질 함량이나 질소, 인의 함량이 매우 높은 경우 그 타당성을 갖는다. 특히 저수지 바닥 층의 저니층 중에 총인함량이 높다는 것은 수층에 부영양화의 요인이 될 수도 있는 다량의 인을 용출시킬 수 있음을 의미하는데 이러한 저니층으로부터의 인의 용출은 혐기성 상태에서 촉진될 수 있는 것으로 알려져 있다. 그렇다고 저니층 제거만이 만사는 아니다. 즉, 저니층 제거에 따르는 생태계의 영향도 고려되어야 하는데 저니층으로 오염이 심한 경우는 생태계의 큰 악영향은 없을 것으로 판단되나 가능하면 준설공사 실시 전에 별도의 생태학적 조사가 필요할 것이다. 준설방법에는 크게 두 가지가 있다. 저수지의 운영방법, 준설시기, 퇴적물의 성질과 종류 등 작업조건에 따라 육상준설과 수중준설 또는 양자 병행하는 육상·수상 준설로 구분된다. 여기서는 규모가 큰 저수지 등에서 저수위와 관계없이 연중 준설이 필요한 수중준설에 대한 장비별 성능조사만 언급하고자 한다. 수중준설은 대부분 선박 위에 기계적인 설비를 장착하여 작업이 이루어진다.

1. 준설선의 선정요령

준설작업 내용은 굴착, 운반, 준설물 처리 등 3단계로 이루어진다. 준설은 선박에 의해 이루어지므로 막대한 경비가 소요되므로 능률적인 준설

작업을 위해서는 가장 경제적이고 효율적인 선정이 중요하다. 준설선에는 그레브 버킷 준설선(Grab bucket dredger), 디퍼 준설선(Dipper dredger), 버킷 래더 준설선(Bucket ladder dredger), 펌프 준설선(Pump dredger) 등이 있으며, 이는 토질, 공기 및 토량, 기상 및 지질조건, 준설 깊이, 준설 토의 처리방법, 작업선 확보의 난이도 등을 고려하여 선정하는데, 일반적인 선택요령은 다음과 같다.

- 토사가 많고 연질이거나 매립지로 수송할 필요가 있는 경우에는 펌프식이 유리하고, 토질이 사질성이고 단단한 경우에는 버킷식이나 디퍼식이 유리하다.
- 펌프식은 설비비, 수리비, 운전비가 많이 드는 반면 버킷식은 다소 싸다. 특히, 단단한 지반이면 버킷식이 경제적이다.
- 비행식 준설선은 전마선 또는 토운선을 이끄는 예인선을 사용하는데, 이를 동시에 겸하는 경우는 2쌍 이상을 준비하여 사고나 고장에 대비하는 것이 좋다.

2. 준설선별 성능비교

[표 34]에는 준설선별 성능을 비교 요약하였고, [표 35]에는 장·단점을 검토하였다.

[표 34] 저수지 대상 준설선별 성능비교

종류	작업방법 및 내용	대상 토질	실능력(m ³ /h)	문제점	비 고
펌프 준설선	<ul style="list-style-type: none"> · 커터로 굴착하여 물과 혼합한 이수를 펌프로 흡입, 배송하여 계획 위치에 투기함으로서 준설과 매립을 겸하며 이토나 사질토에 적합함 · 대규모 준설 및 토사의 장거리 수송(저렴) · 토사를 송니관으로 직접 목적하는 곳에 연속 배출 	실트~ 굵은 자갈, 점토	실트<2100 모래<1400 자갈<650 굵은점토<1800	<ul style="list-style-type: none"> · 물을 혼탁시킴 · 굵은지반굴착 	일 반 적 으 로 많 이 사용
그래브 준설선	<ul style="list-style-type: none"> · 그래브 버킷으로 하부의 토사를 굴착하며 구역이 협소하거나 소규모 준설 심도가 깊은 곳에 적합, 지반이 단단하거나 파쇄된 암도 준설 · 비교적 좁은 장소, 소규모의 항로, 박지의 준설, 방파제, 암반바닥굴착 및 기초 터파기 	실트~ 경질토	실트<200 보통모래<160 다져진모래<130 경질토<70	<ul style="list-style-type: none"> · 물을 혼탁시킴 · 호박돌 섞인 흙의 준설 · 단단한 지반에 불합리 	암 준 설 시 주 로 사용
버킷 준설선	<ul style="list-style-type: none"> · 여러 개의 버킷을 연결한 연결 라인을 회전시켜 하부토사를 굴착하여 토운선 등에 적재하는 것으로 비교적 대규모 준설현장에 적합, 경토질 준설가능 · 비교적 대규모인 항로, 박지의 준설 · 깊이가 얕은물 밑바닥의 흙을 다량으로 파 올린다. 	가는 모래~ 연암	다져진모래<400 굵은흙<130 니토(흑탕)<220 보통모래<330	<ul style="list-style-type: none"> · 물을 혼탁시킴 · 별도의 토운선 필요 	
디퍼 준설선	<ul style="list-style-type: none"> · 육상굴착에 사용하는 쇼벨식 굴착기를 pontoon에 장치하여 굴착기 고 하부의 흙을 굴착하는 장비로 단단한 토질에 적합 · 비교적 광범위한 준설, 굳고 응결된 토사에 가장 유효하나 속도가 느리다. 	굵은 지반, 호박돌 섞인 토질	사암에 가까운 흙<72 풍화암<60 쇄암(碎岩)<47	<ul style="list-style-type: none"> · 속도에 문제가 있다 	

[표 35] 준설선의 종류별 장·단점

준설선 종류		장 점	단 점
펌프식 선	비항식	<ul style="list-style-type: none"> 바닥의 토사를 흡상하여 직접 사토하므로 운반선이 필요 없고 토사 배출이 연속적이고 직접육상에 배출하므로 준설토를 이용하여 배립토에 이용 할 수 있다. 공정이 연속적이므로 능률이 좋다. 준설단가와 건조비가 다른 형식보다 싸다. 	<ul style="list-style-type: none"> 일반지형이나 경토질에 부적당 펌프의 능력에 따라 배송거리에 제한이 있으며 사토구역의 제한을 받는다. 배사관의 받침대를 수상에 길게 부설하므로 풍파 등에 의하여 공사 중에 피해를 받기 쉽다.
	자항식	<ul style="list-style-type: none"> 준설구역이 넓고 토량이 많을 때, 또는 항행선박이 폭주하는 장소의 준설로서 사토장이 먼 곳에 적합 준설토질이 사질일 때 능률이 좋다. 	<ul style="list-style-type: none"> 경토질에는 부적합 비항식에 비해 건조비와 관리비가 비싸다. 굴착의 요철이 크며, 파다 남은 장소가 생기기 쉽다.
그레브		<ul style="list-style-type: none"> 선체의 장비가 간단하기 때문에 선형은 소형이며 협소한 장소나 소규모의 준설에 용이하다. 위치의 드림능력 이내에서 준설깊이는 와이어의 길이만큼 조정할 수 있다. 굴착반력을 버킷 속에 받으므로 선체에는 영향이 미치지 않고, 그레브의 교환만으로 용이하게 굴착능력을 증대시킬 수 있다. 굴착부와 선체와는 와이어로 결속되어 있어 파랑 등에 의한 선체의 동요가 굴착부에 별로 영향을 미치지 않는다. 준설토를 압축하여 굴착하므로 이창에 적재하는 효율이 좋으며 특히 연질이토인 경우에 효과가 현저하다. 기중기선, 항타선, 쇄암선을 겸용할 수 있는 구조로 되어있다. 	<ul style="list-style-type: none"> 굴착의 요철이 크며, 파다 남은 것이 생기기 쉽다. 그레브의 용량이 작은 배에서는 준설능력 및 굴착력이 작으며 경토질에 부적당 그레브에 의한 오므리기와 퍼기 또는 선회 등에 따라 끊임없이 트림변화와 선체의 경사가 생기기 쉽다.

준설선 종류	장 점	단 점
버킷	<ul style="list-style-type: none"> · 준설능력이 크며 비교적 대규모의 공사에 적합하다. · 준설단가가 비교적 싸다. · 준설굴착이 비교적 평탄하다. · 풍파, 조류에 대한 저항성이 크다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 먼 곳까지 앵커체인을 늘어뜨려 작업하므로 넓은 수면에 필요로하며 선박의 운행에 제한을 받는다. · 감가상각비가 비싸다. · 닻이 무겁고 앵커체인이 길어서 전묘에 상당히 긴 시간을 요하므로 토량이 적은 곳에서는 부적합하다.
디퍼	<ul style="list-style-type: none"> · 다른 형식에 비하여 경토질에 적합하여 굴착력이 강대하므로 단단한 지반에 가장 알맞으며 또한 토질의 변화에 대하여 성능의 저하율이 적으며 어떤 토질에도 작업할 수 있는 범용성을 가지고 있다. · 스퍼드가 설치되어 있어 선체의 위치가 고정되므로 조작을 위한 앵커체인을 사용할 필요가 없어 작업 점유수 면적이 적다. · 디퍼암(Dipper Arm)과 스퍼드를 사용하여 자유로이 선체가 이동되므로 전묘작업이 불필요하기 때문에 부속선이 필요 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 굴착력이 강대하여 힘의 작용이 직접적이기 때문에 반력이 직접 선체 각부에 걸려서 그 중하중에 견딜 수 있게 각부를 튼튼하게 해야하므로 조성비가 비싸다. · 운전에 숙련이 필요하고 준설비가 비싸다.

상기 준설선들은 수중에서 준설하므로 공사기간에 제한은 없으나 수중 준설에 의한 준설저니는 함수비가 높기 때문에 지상에서 고액분리설비에 의존하거나 적치장에 일시적으로 적치하여 자연 상태에서 함수비를 저하시켜야하는 단점이 있다. 그래서 본 연구팀에서는 함수율이 높은 준설저니를 배송관에 의해 육상으로 이송시켜 고액분리설비에서 응집제에 의해 응결·응집시켜 7분 이내에 고액분리한 후 토목마대인 Geo bag 또는 tube 설비 등을 이용해서 배수 및 탈수시킬 예정이다.

제 2 절. 국내외 준설선박 소개

1. 국내 : 퇴적저니 준설

저수지의 원형변화 없이 현 상태에서 모든 복원공정이 이루어진다. 저수지 바닥에 쌓인 퇴적물 준설은 소형 준설펌프선[사진 19, 20]에 의해 이루어진다. 저수지에 투입되는 준설펌프선은 길이가 12.7m, 선체폭 12.4m가 되며 총중량은 5.4톤 정도의 경량준설 전용선박이다.

본 준설선박은 일본에서 개발된 것으로 180마력 엔진에 최대 2,500rpm으로 시간당 80~100m³(톤)을 준설할 수 있다. 본 준설펌프선의 장점은 준설 리더(Leader)에 저니흡입파이프를 장착(접속)하고, 여기에 직경이 좁은 구동고압수 호스를 연결한 혼기제트펌프(MJP)를 장착했기 때문에 강력한 흡입력으로 수심 40m이상의 저니도 용이하게 준설되는 것이 특징이며 저니층 내의 작은 물체는 물론, 유리병, 나무 조각, 비닐, 로프 등도 펌프의 막힘없이 흡입 제거가 가능하다[그림 23~26].



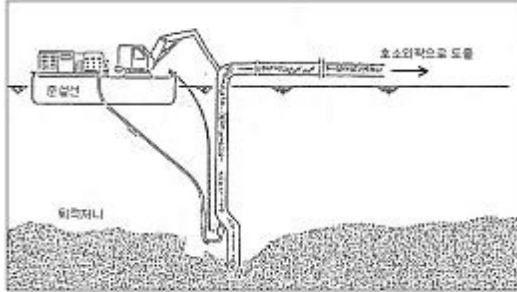
[사진 19] 준설펌프선(측면)



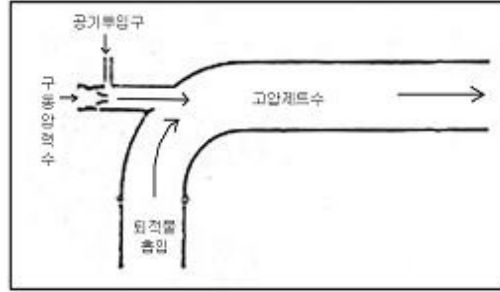
[사진 20] 준설펌프선(후면)

또한, 본 준설선은 퇴적저니를 흐트러짐 없이 환경친화적인 방법으로 준설되며 그 효율성은 수준급이라 장담할 수 있다. 한편, 저수지에 두껍고 단단하게 쌓여있는 퇴적저니를 용이하게 파괴할 수 있는 물 분사 설비가 장착된 것이 특징이다. 본 준설선은 타 업체가 보유하고 있는 예인선과 토운선이 필요 없으며 준설선 한척만으로도 예인과 토운 기능 모두가 해결되며 강력한 MJP 흡인펌프에 의해 펌핑된 퇴적 저니를 수면 위에 설

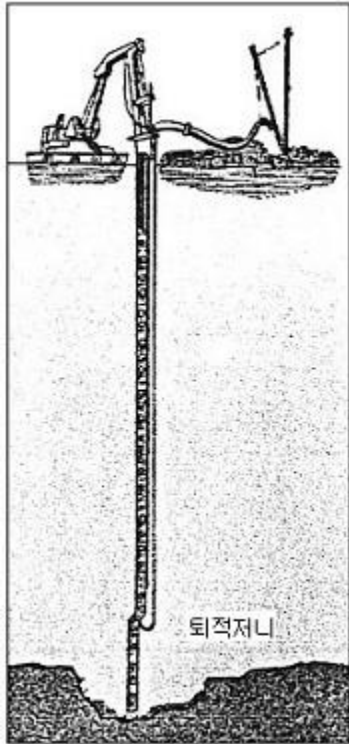
치된 배송관에 의해 저수지 외곽으로 800m까지 급속하게 이동시킨다(배송거리가 800m이상인 경우 배송관 중간 중간에 브스터 설치로 2km이상 가능). 그러므로 수심이 깊고 수면적이 넓은 저수지 준설에 최적이라고 판단된다[사진 21~24].



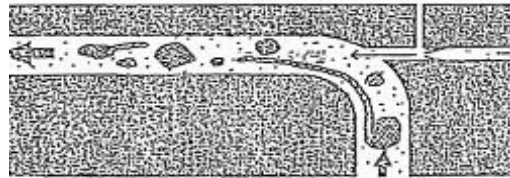
[그림 23] 수심30m이상 호소에서 퇴적저니준설



[그림 24] MJP펌프에 의한 퇴적저니 흡입원리



[그림 26] 깊은 수심에서 준설하는 입체도



[그림 25] 흡입관의 이물질 제거



[사진 21] 도출구에서 도출되는 준설저니



[사진 22] 준설선과 배송관



[사진 23] 작업중인 준설선



[사진 24] 퇴적저니 배송라인

2. 국외 : 퇴적저니 준설

저수지에 투입되는 준설선은 길이가 7.7m, 선체폭 5.0m, 선체높이 2.2m가 되며 총중량은 7.4톤 정도의 경량준설 전용선박이다. 본 준설선박은 미국의 NESSIE社에서 개발된 것으로 250마력 터보엔진에 2,800rpm으로 시간당 70~120m³(톤)을 준설할 수 있고 저수지 내의 준설에 방해되는 대형 이물질(타이어, 자전거, 가전제품, 바위 등)을 사전에 감지하여 특수장비에 의해 제거하기도 한다. 또한, 본 준설선은 육·수상을 쉽게 이동 가능하게 설계 제작된 것으로 퇴적저니의 흐트러짐 없이 환경친화적인 방법으로 그 효율성이 세계적 수준급이라 장담할 수 있다. 한편, 저수지 저부에 두껍게 쌓여있는 퇴적저니를 용이하게 준설할 수 있는 Bucket Wheel Cutter Head가 장착된 것이 특징이다. 본 준설선은 타 업체가 보유하고 있는 예인선과 토운선이 필요 없으며 준설선만으로도 예인과 토운 기능 모두가 해결되며 강력 흡인펌프에 의해 펌핑된 퇴적저니를 수면 위에 설치된 배송관에 의해 저수지 외곽 지상으로 800m까지 급속하게 이동시킨다. 단, 수심이 7m이상일 경우는 적합하지 않다. 본 준설선의 특성과 준설능력 및 주요 제원은 다음 [표 36~38]과 같다.

[표 36] 특 성

항 목	내 용
작업방법이 매우 간편	2개의 콘트롤 레바를 이용하여 준설작업 수행
DGPS를 이용한 시공	오차가 작은 DGPS를 이용하여 정밀시공 및 작업효율 향상
SPUD POSITIONING SYSTEM	4개의 SPUD로 선정고정, 운전자 콘트롤 레바로 SPUD작동 (ANCHOR 설비 4 SET 별도장착)
다목적 기능수행	준설작업, 자갈제거, 점토준설 등
육, 해상 운반용이	육상 : 전용트레일러 이용(5 ton) 해상 : SPUD 및 THRUSTER
환경 친화적 장비	완벽한 오염방지 SYSTEM(밀폐된선체, 미생물분해 유압유사용, 완전연소 터보차저엔진장착, 엔진실 밀폐로 방음설계)
고내구성, 고효율, 특수펌프	고크롬강 재질의 VORTEX PUMP로 내구수명이 2배 직경 약 20cm크기의 물질도 흡입, 토출가능
POLYETHYLENE 배사관 채택	저렴하고 내구성이 강하며, 조립해체 간편
BOOSTER PUMP 연결가능	배송거리 확장을 위하여 본체와 동일규격의 PUMP설비연결 (추가 배송거리 700m)

[표 37] 준설능력

항 목	제 원	항 목	제 원
준설깊이	7.0m	준설능력	70~120m ³ /hr
배송거리	800m	토사함수율	최대 35%
※ BOOSTER PUMP 1기 추가 시 700m 연장가능			

[표 38] 주요제원

항 목	제 원	항 목	제 원
선체길이	6.6/7.7m(부력탱크)	전용트레일러크기	8.5×2.5m
선체폭	2.2/5.0m(부력탱크)	스피드수량	4EA
선체높이	2.2m	엔진	250hp×2,800rpm
흡 수	0.4m	펌프최대송출량	342m ³ /hr
부력탱크의 수	8EA	펌프통과최대직경	20cm
준설선 중량	7,400kg	펌프흡입, 토출직경	20cm

참고적으로 소형펌프 준설선은 [사진 25]에 나타내었으며 [사진 26]은 차량에 의해 저수지로 이동하는 전경이고, [사진 27]은 준설선에 의해 퇴적저니가 배송관에 의해 육상으로 토출되는 것을 보여준다. [사진 28]은 저수지 바닥에 퇴적되어 있는 퇴적저니를 쉽게 준설될 수 있도록 굴착되는 것을 보여준 것이다.



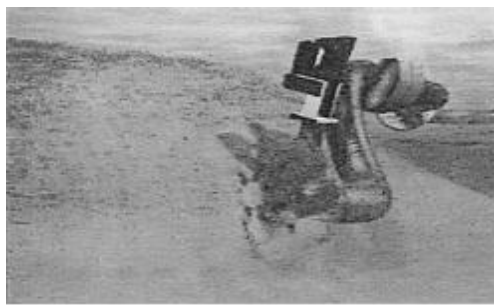
[사진 25] 소형펌프 준설선



[사진 26] 차량에 의한 준설선 이동



[사진 27] 준설저니 토출



[사진 28] 퇴적저니 수중굴착

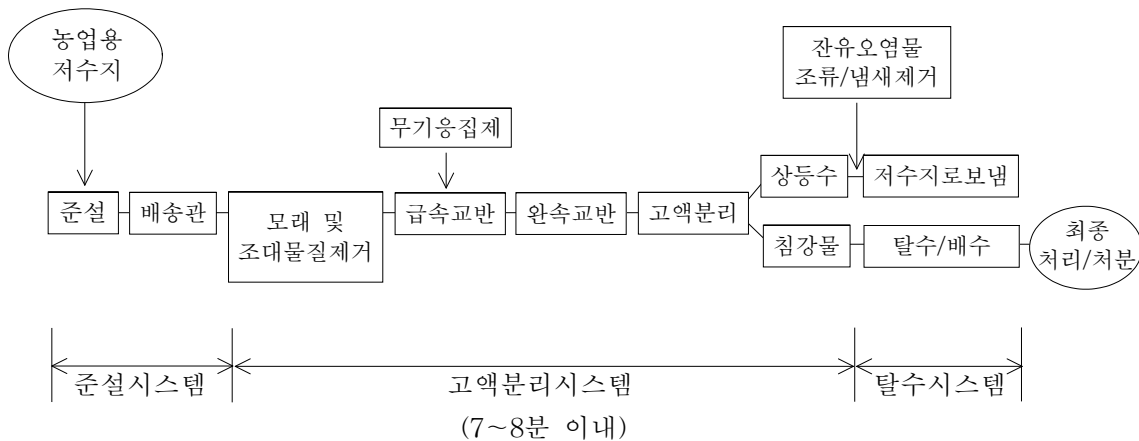
제 3 절. 결 론

국내에서 볼 수 있는 준설선 및 장비는 저수지 바닥의 퇴적저니를 준설하기 보다는 하천 등에서 건축골재인 모래나 자갈을 채취하는 전용선박이다. 가끔 호소 및 저수지에서 볼 수 있는 선박은 일본 등지에서 필요에 따라 임대한 선박으로서 그 성능은 알려져 있지 않다. 한편, 미국에서 수입한 퇴적저니 준설선이 한 척 있으나 단지 준설기능만 보유하고 있어 제 기능을 하지 못할 뿐만 아니라 수심 5m 이상의 저수지에는 적용하기 곤란한 단점을 가지고 있다.

제 7 장 수질개선 및 복원설비 개발

제 1 절. 개 요

농업용저수지가 설계·시공 된지 오래되었거나 3~4년 전에 준설경험이 있는 저수지는 외부로부터 토사 등의 유입과 함께 점·비점오염원으로부터 오염물질이 유입되어 저수지 바닥에는 거의 퇴적물이 두껍게 존재하기 마련이다. 이런 저수지에는 바닥층 퇴적물질을 준설하지 않고 수질개선이나 복원시키기에 매우 어려운 것이 현실이다. 저수지의 물을 저수한 상태에서 수질개선이나 퇴적저니를 준설 제거하는 시스템을 개발한 것은 본 연구팀이 국내에서 최초가 된다(특허등록 제 0457383호, 2004년 11월 5일). [그림 27]에는 퇴적저니류가 존재하는 농업용저수지의 수질개선 공정도이다.



[그림 27] 오염된 농업용저수지의 수질개선 공정도

제 2 절. 퇴적저니 준설시스템 설계제작

준설저니시스템에 속하는 설비는 준설설비와 준설펌프 및 준설저니 이송배관 등이다. 준설배 개발은 연구계획에는 없었으나 퇴적저니가 존재하는 저수

지에서는 필수적이므로 편의상 간이 준설배를 만들었다. 길이는 3m, 폭은 2m의 직사각형 합판을 부력이 가능하도록 400 ϕ 원형 스티로폼 위에 고정시켰고, 스테인레스 봉으로 가이드를 설치하였다. 만들어진 준설배 위에 도출량이 270 l/분(시간당 16m³), 흡입양정 6m, 4HP의 준설흡입펌프를 고정 설치하였다.



[사진 29] 준설배



[사진 30] 이송배관

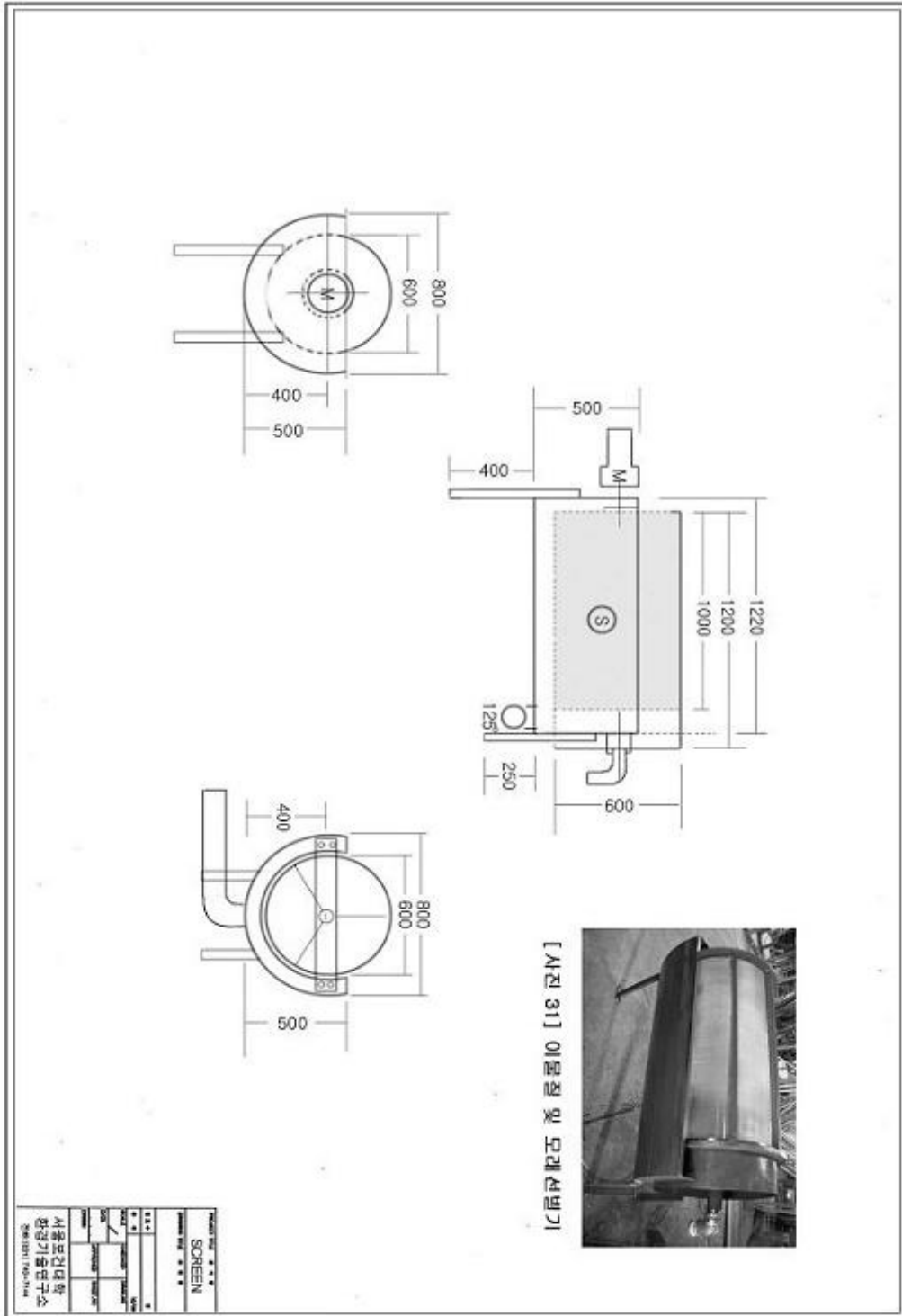
한편, 퇴적저니 준설물 이송배관은 준설펌프와 지상의 고액분리시스템과 연결된 설비로서 100 ϕ 의 고압호스, 연결카프닝, 흡입호스, 연결카프닝, 연결벨트 및 이송배관이 수표 위에 띄울 수 있게 원형 스티로폼에 고정시켰다[사진 29].

제 3 절. 고액분리시스템 설계·제작

1. 이물질 및 모래선별기

1차년도에 제작된 조목 10mm 스크린설비는 효과를 보지 못해 2차년도에 다시 설계·제작하였다. 1차년도에 제작된 고액분리시스템을 하남시 고골저수지에서 운영해 본 결과 준설되는 저니는 미세 흙과 미세 모래 성분들로 스크린설비를 모두 통과해서 급속교반조로 유입되는 것을 확인하였다. 이들로 인해, 급속 및 완속교반조 하부에 모래성분들이 퇴적·누적되어 교반조의 용량을 감소시켰다. 그로 인해 약품응집에 영향을 주는 것으로 판명되어 다시 개발 된 것이 회전식 원형스테인레스 눈금간격 200mm의 엣지스크린을 설계 제작하였다[도면 1], [사진 31].

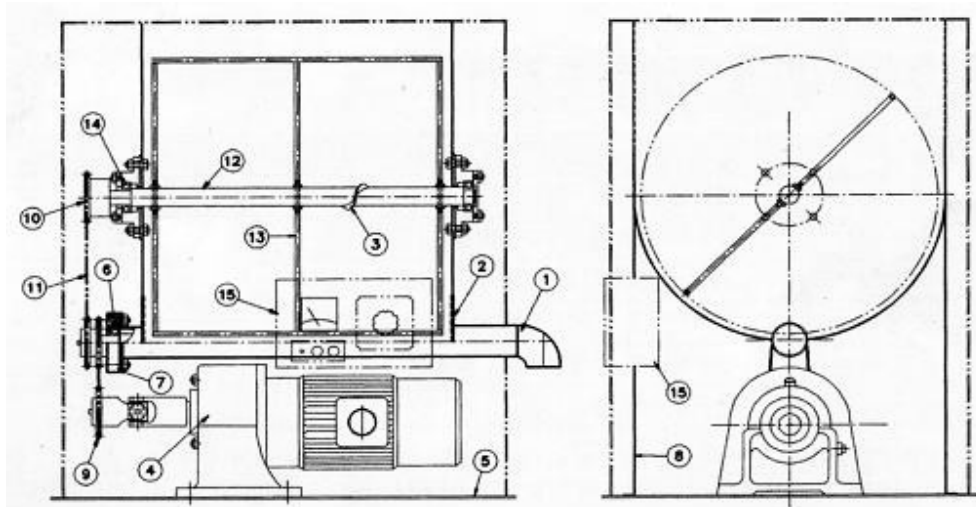
[도면 1] 이물질 및 모래선별기



2. 무기계 급속응결 · 응집제 주입장치

무기계 급속응결 · 응집제 주입설비기의 외부형태는 Box type이며 규격은 363(W)×585(L)×630(H)mm이다. 내부 혼합조의 형태는 원통형이다. 원통형 가운데 홀리존 타입의 샤프트에 패달이 달려 있고 Received sprocket와 접목으로 D.C모터와 연결되어 회전하게 된다. 주입장치 내부 바닥에는 Hopper가 있으며, 여기에 Screw frame이 설치되어 있다. 사용 전원은 220볼트에 회전 장치는 콘트롤러에 의해 조정된다. 주입장치의 제작 설계도는 [도면 2]와 같고 제작된 주입장치는 [사진 32]와 같다.

[도면 2] 응집제 주입장치



NO.	DISCRIPTION
1	SCREW FRAME
2	HOPPER
3	SCREW
4	D.C MOTOR
5	BASE
6	HEAD BEARING
7	BEARING HOUSING
8	HOPPER SUPPORT
9	MAIN SPROCKET
10	RECEIVED SPROCKET
11	CHAIN
12	SHAFT
13	PADDLE
14	BEARING
15	D.C MOTOR CONTROLER

[사진 32] 도면 2에 의해 제작된 응집제

3. 고액분리설비시스템

3-1. 급속교반반응조 설계·제작

형태는 직사각형으로 용량은 HRT가 3분 정도가 되게 설계 하였다. 유입구에서 15cm 떨어진 모서리 지점에 삼각형이 되도록 하고 바닥에서 15cm 정도 띄어 칸막이를 하였다. 반응조 중앙부에 rpm 200정도의 감속모터가 장착되어 있다. 생성된 미세후력은 반응조 유입구 반대쪽 대각선 지점에 유입구와 같은 형태로 출구를 설치하였다[도면 3].

3-2. 완속교반반응조 설계·제작

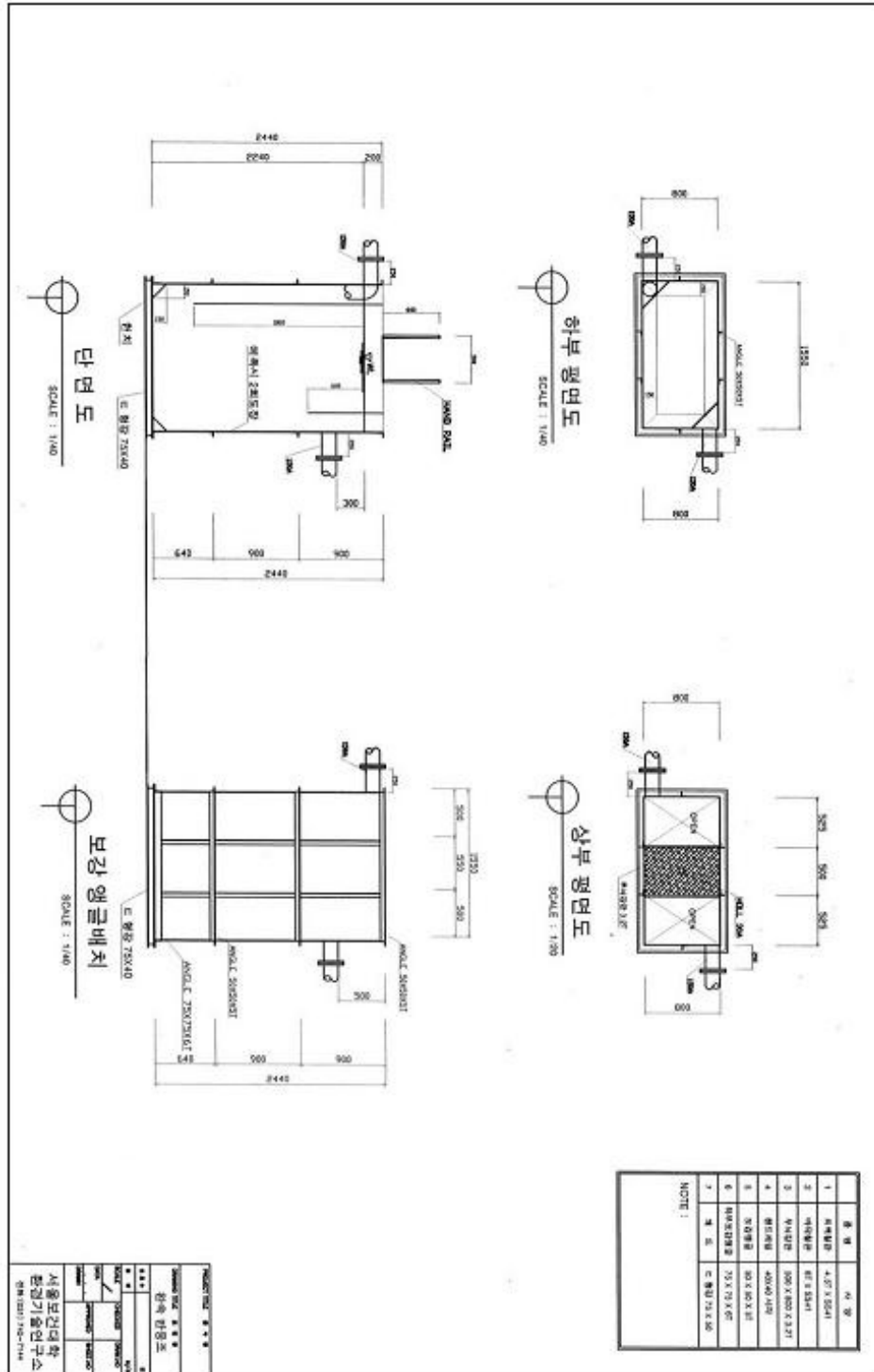
형태는 직사각형으로 용량은 HRT가 2분 정도가 되게 설계되었다. 유입구에서 15cm 떨어진 모서리 지점에서 아래로 삼각이 되도록 칸막이를 하고, 하부쪽은 바닥에서 15cm정도 띄웠다. 반응조 중앙부에 rpm 60정도의 감속모터가 장착되어 있다. 조대화 응집후력은 교반조 유입구의 반대쪽의 대각선 지점으로 유출하게 출구를 설치하였다[도면 4].

3-3. 고액분리반응조(침강반응조)

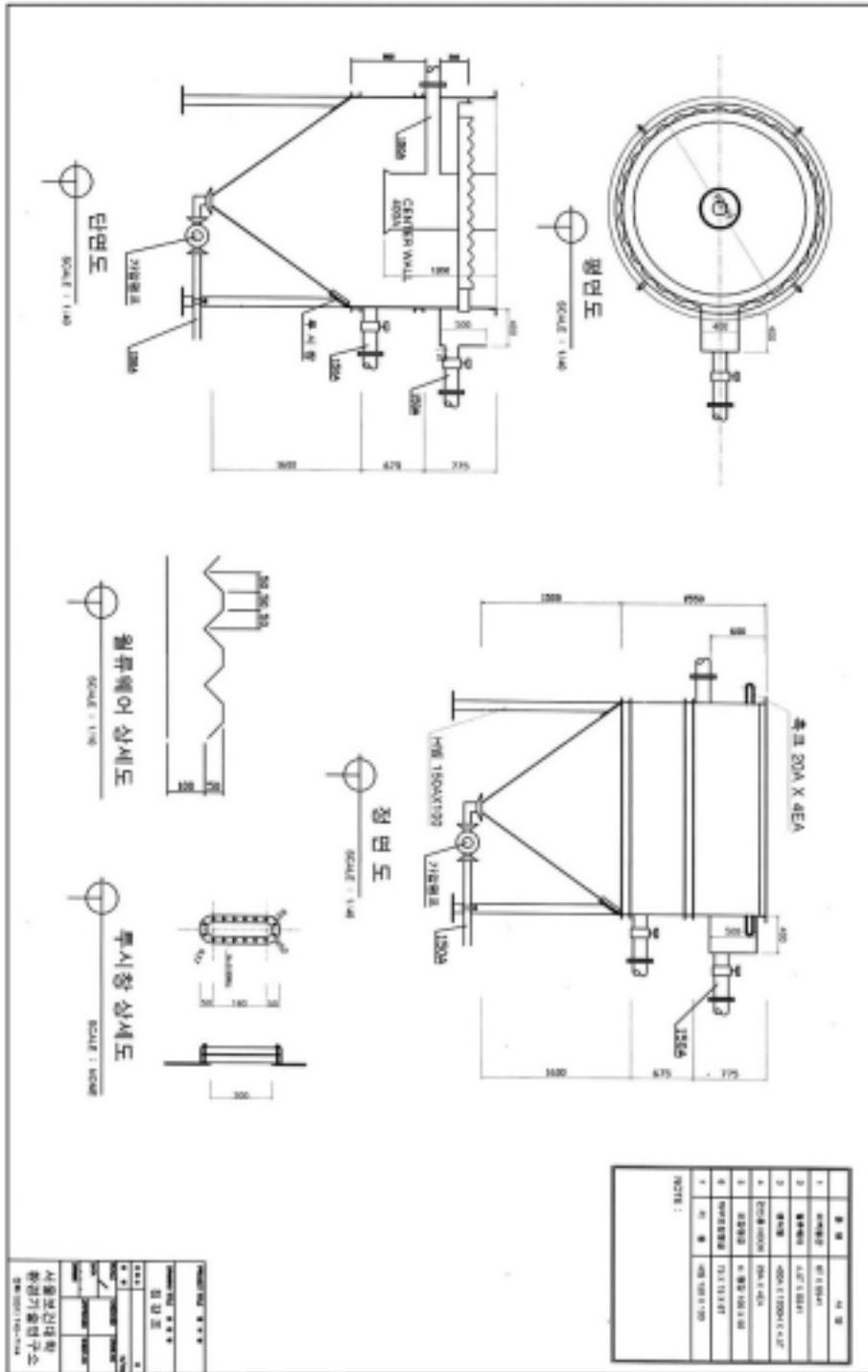
원형반응조로서 용량은 HRT 10분 정도로 설계되었고, 유입구 반대편에 출구를 만들고 분리상등수가 유출될 수 있도록 상·하로 드레인을 설치하였다. 분리 침강된 고형물은 침강조 원뿔탱크에 쌓이게 되면 침강 높이를 적외선으로 센싱하여 일정 높이가 되면 슬러지펌프에 의해 조 외로 자동 배출되게 설계 제작하였다. 그리고 원형탱크 경사면에 투시창을 설치해서 탱크 내의 침강물의 위치를 파악하게 하고 비상시에 수동으로 슬러지펌프를 이용하여 침강슬러지가 조 외로 인출되도록 하였다[도면 5].

[사진 33]은 설계 제작된 이물질 및 모래선별기, 응집제주입장치, 급속·완속교반반응조, 고액분리반응조(침강반응조) 등을 하나의 시스템으로 혼합된 전경이다. [그림 28]은 준설하려는 농업용저수지 주변에 여유부지가 가능 할 때 임시로 흙으로 뚝(일명, 적치장이라고 함)을 만들어 급속·완속교반반응조에서 유출되는 유출수를 직접 침강시키고 상등수는 뚝 밖으로 유출시키는 적치장형 고액분리시스템이다.

[도면 4] 완속교반반응조



[도면 5] 고액분리반응조





[사진 33] 조합된 고액분리시스템

- 1) 이물질 및 모래선별기
- 2) 무기계응결·응집주입장치
- 3), 4) 급속·완속교반기반응조
- 5) 고액분리반응조
- 6) 침강물위치감지 적외선센서
- 7) 슬러지펌프
- 8) 상등수 유출수

4. 환경친화적 무기응결·응집제

4-1. 개요

수처리에 사용되는 종래의 무기계 응결응집침강제는 황산염, 탄산염, 칼슘염, 철염 등이 주종을 이루는데 이들은 단순 원료들을 배합 한 후 고분자 유기응집제를 첨가하여 사용하고 있었다. 그러나 이들 기술의 수처리응집제는 응집효과를 달성시킬 수 있는 pH폭이 좁아(6~7) 별도의 중

화제와 알칼리도를 높일 수 있는 알칼리제의 투입이 필요했고, 응결응집 속도는 10분 정도, 침강 속도는 짧게는 10분, 길게는 40분을 요했다. 그리고 침강물질에 충격이 가해질 경우 침강플럭이 깨어져 부상되었다. 또 용해량이 매우 낮아 투입되는 상당량이 슬러지로 남아 슬러지 발생량을 증가시켰고 게다가 탈수율이 적어 슬러지의 최종처분에 경제적 부담을 주었다.

더욱이, 보조제로 첨가하는 고분자 유기응집제의 경우에는 그 사용량에 따라 민감하게 응집효과에 영향을 미치므로 필요량을 정확하게 산출하기 어려워 필요량보다 과대 투입 시에는 미반응 고분자 유기응집제가 다량 존재하게 되어 그 자체가 친수성이 강하므로 보호 콜로이드 기능을 발휘하게 되어 현탁입자에 둘러싸서 현탁입자를 분산상태로 존재하게 하므로 응집효과를 저하시킨다. 또, 잔존하는 유기응집제로 인해 하천과 저수지에 사용될 때 오염물 정화의 주역인 유용 미생물 세포의 피복으로 증식을 어렵게 하고 어폐류의 폐사 원인이 되기도 한다. 또한 기존 응집제와의 차별성은 용해성과 흡습성에 관한 것이다. 종래의 기술은 숙성되지 않은 기성제품의 무수석고에 몇 가지 첨가물을 단순히 혼합에 의한 것이므로 입자의 크기가 불규칙하고 물기가 잔존하므로 용해 속도가 높을 뿐 아니라 입자자체가 침전물로 남고 보관 시에 쉽게 굳어지는 현상으로 장기간 사용하지 못하거나 불편하였다. 그러나 본 침강제의 원료가 되는 폐기부산석고를 100~750℃의 온도에서 소성과 숙성과정으로 소수성의 무수석고로 수분제거는 물론 불순물질을 완전히 불활성화 시킨 후에 천연 무기고분자인 키토산 및 응결보조제를 첨가하고 재차 분체화공정을 거치므로 입자의 크기가 미세한 상태로 균질화되므로 용해도를 높이고 흡습성이 전혀 없이 장기간 보존 가능한 수생태계에 환경친화적인 것이 특징이다.

[표 39] 무기계급속응집제의 화학적 조성과 유해물질 용출실험 결과

화학적 조성		유해물질용출 실험결과	
성분	%	성분	mg/ℓ
SiO ₂	3.62	Cr	0.14
Fe ₂ O ₃	2.38	Zn	0.04
Al ₂ O ₃	7.08	Pb	0.31
CaO	40.43	Cd	0.05
MgO	2.32	As	0.052
SO ₃ ⁻	39.34	Hg	0.000
K ₂ O	1.18	T-P	0.00
기 타	3.65	F	<0.1
		pH	7.8
합 계	100		

* 분석기관 : 국립지질연구원(2001년)

* 분석기관 : 국립지질연구원(2001년)

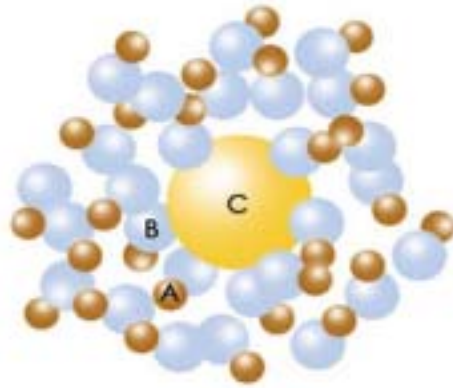
[표 40] 사용상의 장점

중성(Neutrality)	플럭(Floc)	청등성(Clarity)
중화처리 필요없음	매우 안정	매우 양호
<ul style="list-style-type: none"> · 넓은 pH폭에서 응결·응집 가능 · 소량으로 응집, 침강 및 방류까지 완료 	<ul style="list-style-type: none"> · 급속교반으로 초미립 콜로이드입자를 응결·응집시킴 · 응집시간과 침강속도가 기존제품보다 10배 이상 빠름 · 단단한 플럭에 소수성이므로 슬러지 탈수율 증대 	<ul style="list-style-type: none"> · BOD, COD, SS, T-N, T-P의 높은 제거율 · 일부 중금속의 높은 제거율 · 조류 및 플랑크톤을 응결 · 응집후 급속침강 · 처리수는 매우 맑아 중수도로 가능

4-2. 응결 · 응집반응기구



황산칼슘을 주로하는 무기계응집제(C)에 패화석입자(B)가 작용하면 퇴적저니입자(A)의 마이너스 표면전하가 상당히 작게되고 플록이 큰 응집덩어리가 형성된다(C/A=1:40). 또한 플록표면은 소수성이 되므로 플록이 탈수가 잘된다.



패화석

저수지의 퇴적저니 입자

패화석입자(B)의 퇴적저니입자(A)에 대한 응집효과는 그다지 크지 않음(B/A=1:1).

황산칼슘계 무기응집제

저수지의 퇴적저니 입자

황산칼슘을 주로하는 무기계응집제(C)는 저수지 퇴적저니입자(A)의 마이너스 표면전하를 작게하여 어느정도의(C/A=1:4)의 응집이 일어난다.

o OK-Floc처리 전후 비교



미립자 콜로이드용액
(몇시간 경과해도 침전되지 않음)



OK-Floc 첨가 2분 후의 상태

제 4 절. 배수·탈수시스템

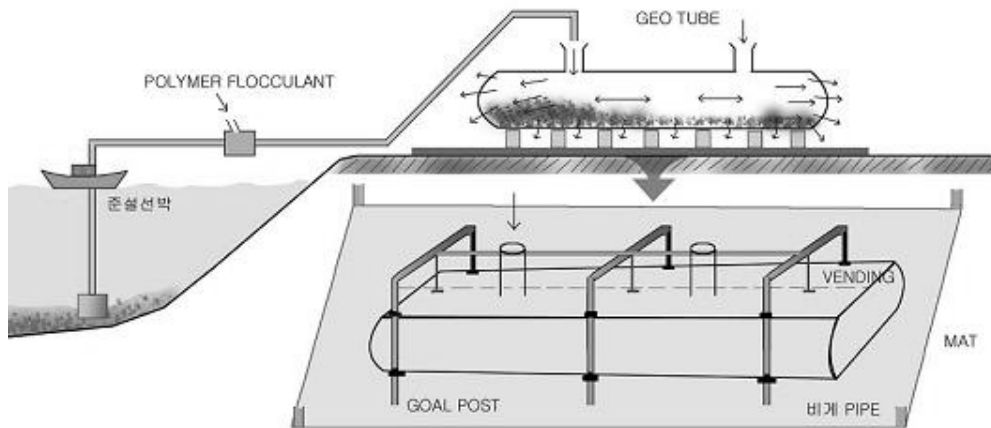
고액분리반응조(침강반응조)에서 농축침강된 준설물질은 슬러지펌프에 의해 준설물의 용량 및 부피를 감소시키기 위해 배수·탈수시키게 된다. 사용되는 배수·탈수 설비는 토목마대로 불리는 Geo bag[사진 34] 또는 Geo tube[사진 35]를 이용하게 된다. 한편, 사용되는 Geo bag은 받침대와 지지대는 [도면 6]에 나타내었다. [그림 29]은 Geo tube에 의한 배수·탈수설비의 제작 입체도이다. Geo tube 내의 농축침강물을 원활하게 주입시키기 위해 비계파이프에 Geo tube를 고정시켰고, Geo tube 가장자리는 벤딩처리하였다. 한편, 준설되고 있는 저수지 주변에 여유부지가 확보되면 임시로 준설저니 적치장을 흙으로 만들어(흙막이 뚝) 배수·탈수시킬 수도 있다[그림 28].



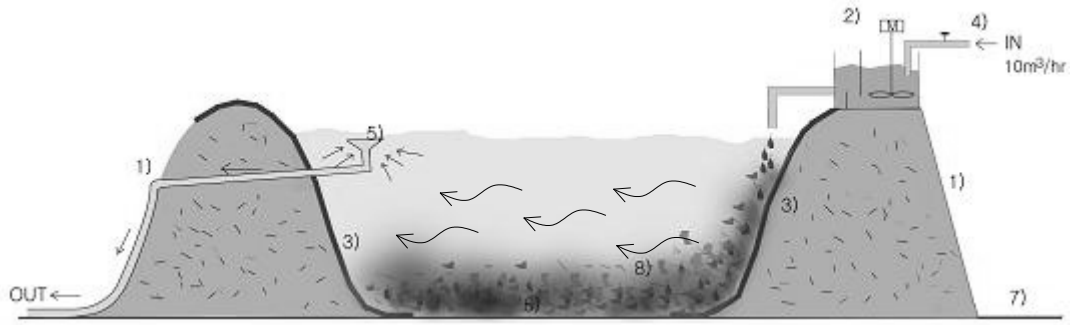
[사진 34] Geo bag



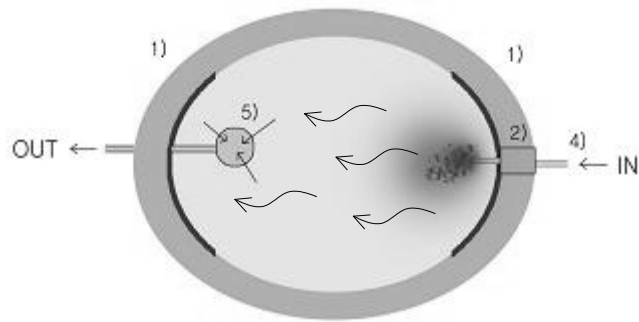
[사진 35] Geo tube



[그림 29] Geo tube 제작입체도



[그림 28] 저수지 부지가 허용될 때, 흙막이에 대한 고액분리공법



- 1) 임시로 흙막이 뚝을 쌓는다.
- 2) 고액분리시스템설비
- 3) 차수막시트설치
- 4) 유입구 : 준설저니(준설선 → 이송관을 통해)
- 5) 유출구(자연유하되도록) : 기존 저수지까지 연결, 재질은 시중에 판매되는 일정 구경의 파이프
- 6) 임시흙막이 바닥
- 7) 지상면
- 8) 퇴적저니(침강물) : 작업종료후 물을 펌프로 퍼내고 바닥침강물은 천일건조시킨다.

제 5 절. 분리상등수 내의 냄새, 맛, 잔유오염물 제거 설비개발

1. 오존설비

고액분리시스템에 의해 발생된 분리상등수에는 잔유오염물과 냄새, 그리고 잔유조류가 남아 있게 된다. 이들을 제거하여 저수지로 되돌려 유입하기 위해 필요한 설비로서 보통 오존설비가 많이 이용된다.

오존을 수처리에 적용하려는 시도는 1886년 프랑스에서 시작되었다. 그 후 1906년 니스의 Bon Voyage의 정수장에 실용화되어 오늘에 이르렀다. 수처리 분야의 오존처리 주요 목적을 분류하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 세균, 바이러스, 조류 등의 살균, 살조, 소독
- (2) 착색성분 대책으로서의 탈색
- (3) 착취성분 대책으로서의 탈색 또는 맛의 개선
- (4) 유기물, 무기물의 산화분해
- (5) 유독물과 유해물의 무해화
- (6) 난분해성 물질의 생물분해 용이화
- (7) 응집조작의 개선 등



[사진 36] 오존설비(시작품)

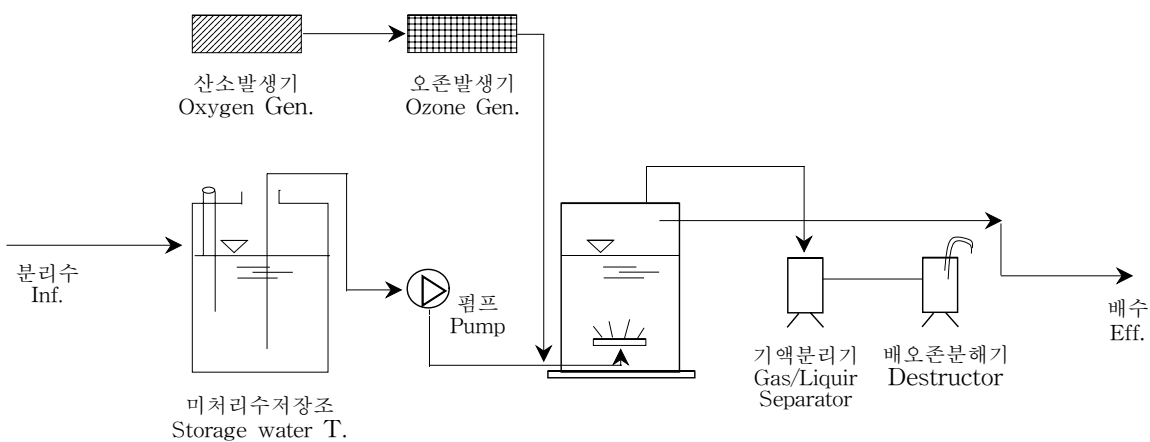
오존 이용은 앞으로 널리 이용될 것이나 동시에 오존처리에 갖는 의문점, 예를 들면 경제성 문제와 반응생성물의 위험성, 오존가스, 자체의 독성과 취급의 어려움에 대하여 하루 빨리 해결해야 할 것이다.

오존에 의한 살균 메카니즘은 세균세포의 세포벽이나 원형질의 직접파괴 작용에 의한 것이다. 또, 바이러스에 대하여는 직접 RNA와 DNA를 절단하여 손상시키고 불활성화 한다. 한편, 오존의 강력한 산화력은 수중의 용존 유기물을 산화하고 탈색, 탈취할 수 있게 된다. 물 속의 착색물질을

산화시켜 탈색함으로서 시각적으로 그리고 이상한 냄새나 맛을 제거, 개선시켜 취각이나 미각에도 공헌하는 처리공법이다.

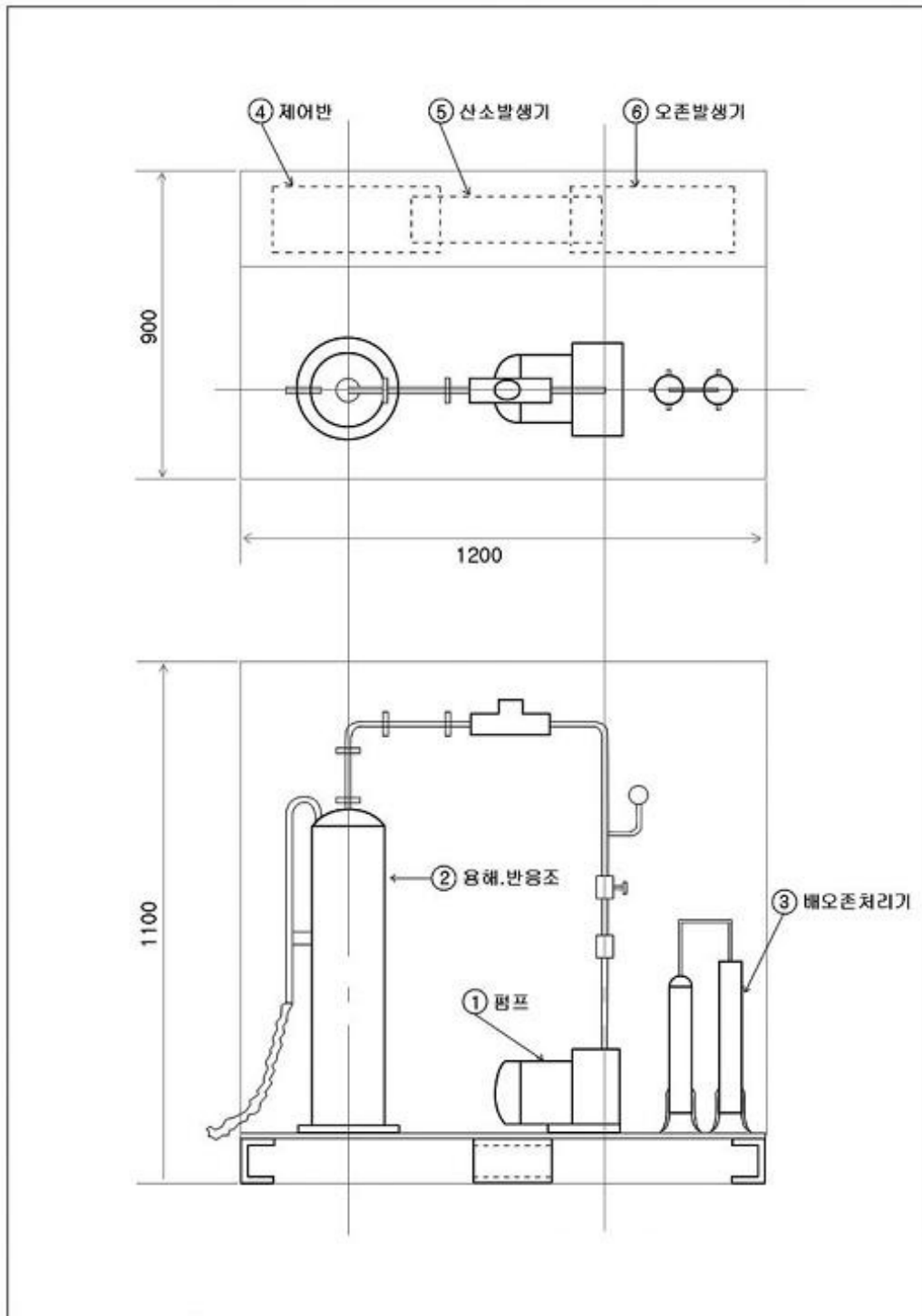
2. 오존설비 설계 · 제작

본 연구에 적용할 오존시스템의 공정도[그림 30]과 같고, 개략도는 [도면 7]과 같으며 설계 · 제작은 본 대학 창업보육센터에 입주한 G.O 테크의 협조 하에 제작되었다. 기존 오존설비와의 차별화는 반응조 내에 고효율 접촉용해 기술과 모든 시스템의 자동화제어기술이다[사진 36].



[그림 30] 오존설비시스템 공정도

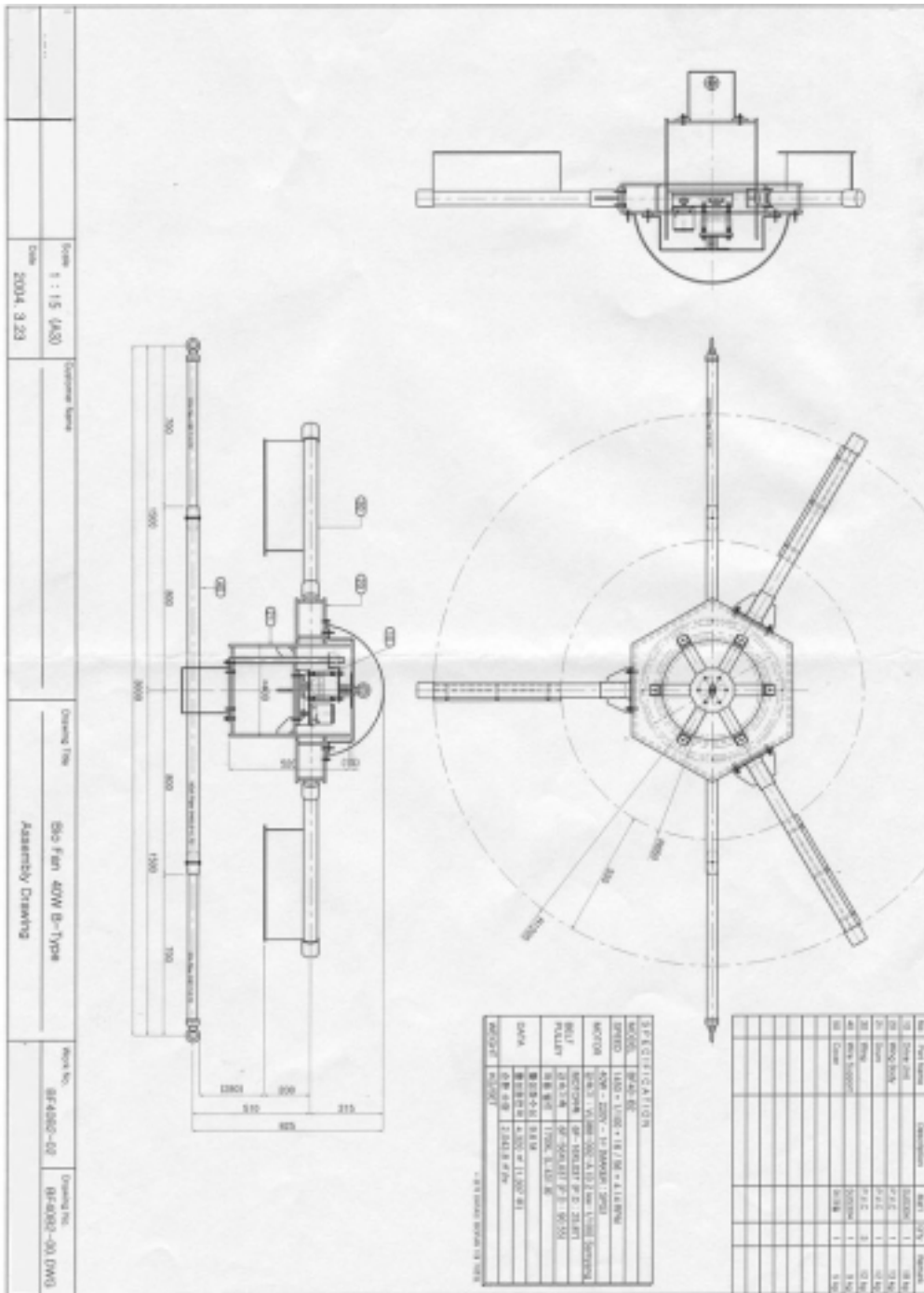
[도면 7] 오존설비시스템의 개략도



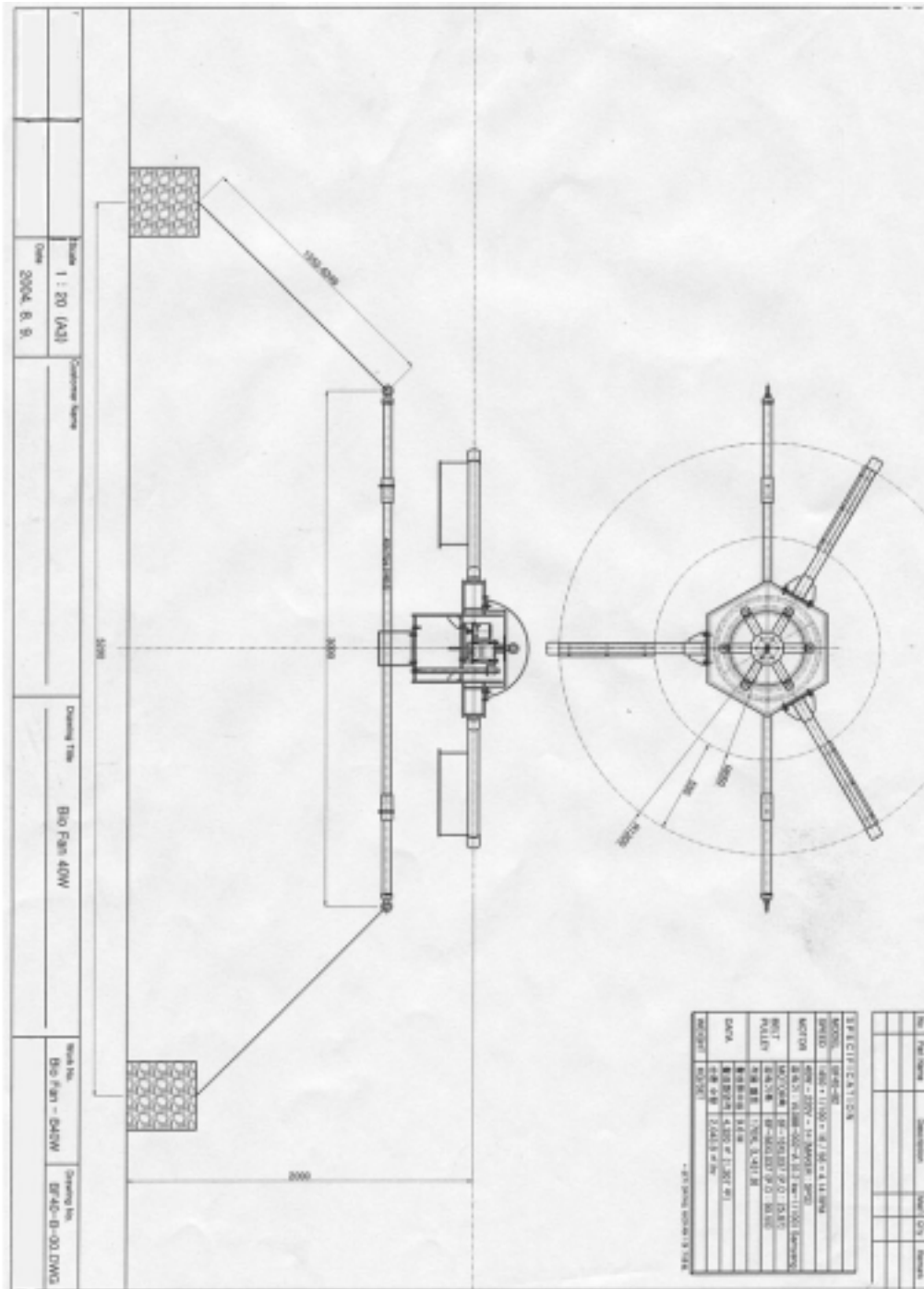
제 6 절. 재차오염방지설비 개발

농업용저수지는 거의가 점오염 및 비점오염에 노출되어 있으면서 수심이 깊고 정체성 수역이므로 한번 정화된 저수지라도 부영양화 저수지로 쉽게 변모한다. 한편, 퇴적저니를 준설했더라도 정체성 수역으로 유지되면 다시 농업용수로서의 가치를 잃게 된다. 그래서 본 연구팀에서는 수질이 개선·복원된 저수지에 오염물질이 계속해서 유입되더라도 자체정화 능력을 향상시켜주므로 재차오염을 예방할 수 있는 에너지절약형 기계적 설비를 개발 제작하였다. 일명 Bio-Fan이라 명명하였고 제작 설계도면은 [도면 8, 9]에 나타내었다.

[도면 8] Bio-Fan 설계도면(1)



[도면 9] Bio-Fan 설계도면(2)



제 8 장 수질개선·복원시스템의 현장운영

제 1 절. 개 요

1차년도에 설계 제작된 pilot 규모의 시작품들을 수질개선/복원 현장실험을 수행하기 위해 경기도 농업기반공사가 선정해준 경기도 시흥시 칠리저수지에 여름철 장마가 종료된 04년 7월 17일에 설치하였다. 한편, 수질개선/복원현장 실험은 설비규모가 pilot 규모이기 때문에 편의상 저수지 규모가 적은 小칠리저수지([사진 38])를 택하였다.

[사진 37]은 2004년 8월에 大칠리저수지에서 찍은 사진인데 저수지 수표면에 말풀이 무성하게 증식해서 수표면 전체를 덮고 있었다. 이 말풀은 심하게 오염되었을 때 발생하는 식물인데 피해는 저수지 수생태계를 파괴시켜 저수지의 기능을 상실하게 하는 원인을 제공한다. 저수지 관리인이 증식된 말풀을 힘들게 제거하는 것을 볼 수 있었다.



[사진 37] 大칠리저수지



[사진 38] 小칠리저수지

제 2 절. 퇴적저니 준설 전의 오염도 조사

1. 물 오염도 조사

준설작업 바로직전의 물 오염도 조사가 필요하였다. 연구 1차년도 물 오염도 분석값 [표 12]는 1년 전의 자료이기 때문에 금년에 준설작업을 수행함으로써 수질개선 여부를 비교 판단하기에는 무리인 것 같아 불가피하게 재측정과 재측량이 필요하였다. [표 41]은 준설작업 직전의 小칠리저수지의 수질오염 분석값을 2003년 3~5월에 측정한 분석값과 비교하여 나타낸 것이다.

[표 41] 2003년 3~5월과 2004년 7~8월의 수질분석값

Date	채취 지점	pH	Temp (°C)	DO (mg/ℓ)	Trans (cm)	Turbi (NTU)	SS (mg/ℓ)	COD _{mn} (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	Chloro-a (mg/m ³)	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	Condu (ms/cm)	Alk (mg/ℓ)	Eva (mg/ℓ)	비고
04. 7.29	상	8.21	29.1	13.0	16.28	10.3	8.8	4.56	4.2	158.7	5.52	0.196	29.7	95.7	320	준설 전 시료
	중	8.10	27.5	10.0												
	하	7.21	25.2	7.0												
04. 8.12	상	8.70	33.7	16.8	32	14.7	20.5	9.95	5.85	176	5.14	0.028	29.5	69.0	245	준설 전 시료
	중	8.20	31.3	10.3		17.7	22.0	8.0	7.32	78	5.04	0.025	32.4	79.5	240	
	하	7.20	29.2	6.2		23.2	30.0	8.10	6.0	62	4.78	0.023	32.7	79.5	285	
03. 3.27		9.15	10.4	14.2	34	18.6	17.9	17.5	6.4 SDOD	47.33	18.38	0.18	-	120.0	-	상층 수 의 시료
03. 4.10		8.67	13.2	13.5	34	33.1	22.0	20.1	10.2	99.93	11.26	0.18	38.0	116.4	-	
03. 5.13		9.61	23.1	14.2	32	38.4	26.6	16.3	7.4	104.9	9.49	0.13	24.0	80.4	309.2	
03. 5.13		9.62	23.2	14.2	32	40.6	35.6	16.7	7.16	114.2	9.24	0.14	24.0	79.3	353.7	

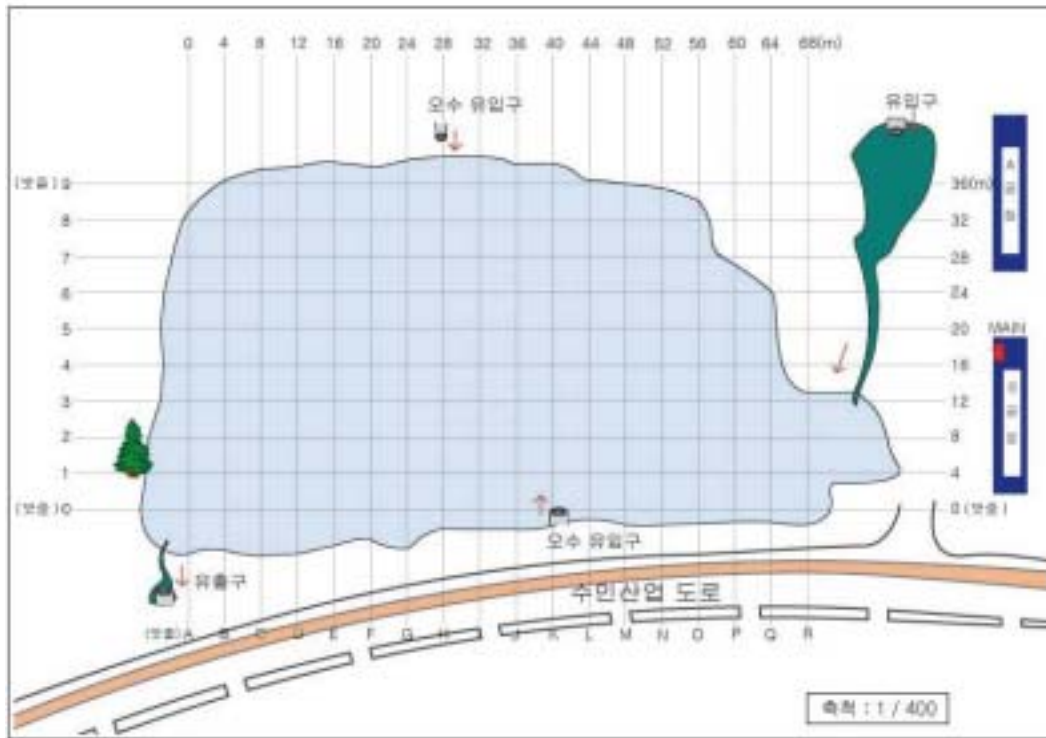
1년 후인 2004년 7~8월의 분석값과 비교하면 매우 상이한 값을 보였다. 이는 저수지 특성으로 볼 때 전도현상(turn over)이 발생하는 3~5월 인 반면, 2004년 분석값은 성층현상(stratification)이 발생하는 7~8월이 기 때문이다. 그러므로 2003년도와 2004년도 값을 직접적으로 비교할 수 없었다.

2. 보유수량 및 퇴적량 조사

물 오염도 조사와 마찬가지로 준설 전과 후의 수질개선이나 복원정도를 파악하기 위해 준설 전과 후의 정확한 보유수량 및 퇴적량 산출이 필요하므로 재측량이 필요하였다.

1차년도에는 측량 전문가를 동원하여 저수지변 도로 및 제방상의 트라비스망을 구축하고 측량으로 저수지의 둘레, 면적, 수량, 퇴적량 등을 측정했었는데, 이번에는 본 연구팀에서 해당 저수지의 길이와 폭아 적어 길이와 폭에 눈금(m)이 표시된 밧줄을 매고 저수지 길이와 폭 사이 4m 간격으로 167개 지점에서 토목측량용 staff를 사용하여 수심을 체크하였고, 퇴적층의 두께는 두께측정기를 이용하여 167개 지점을 일일이 조사하여 [표 42]에 나타내었다. [그림 31]에 저수지의 수심과 퇴적층의 두께를 조사한 167개 지점을 1/400 축척으로 나타낸 자료이다. 상기 자료를 가지고 토량 계산의 사각 및 삼각 각주법으로 수량과 퇴적저니량을 계산하였고, 저수지 둘레와 수면적은 구적기(perimeter)를 이용하여 산출하였다.

2003년도 5월에 측량에 의해 산출했을 때와 본 연구팀에서 조사한 결과는 상당한 차이를 보였다. [표 43]에 2003년 5월에 측정한 결과와 비교하여 나타내었다.

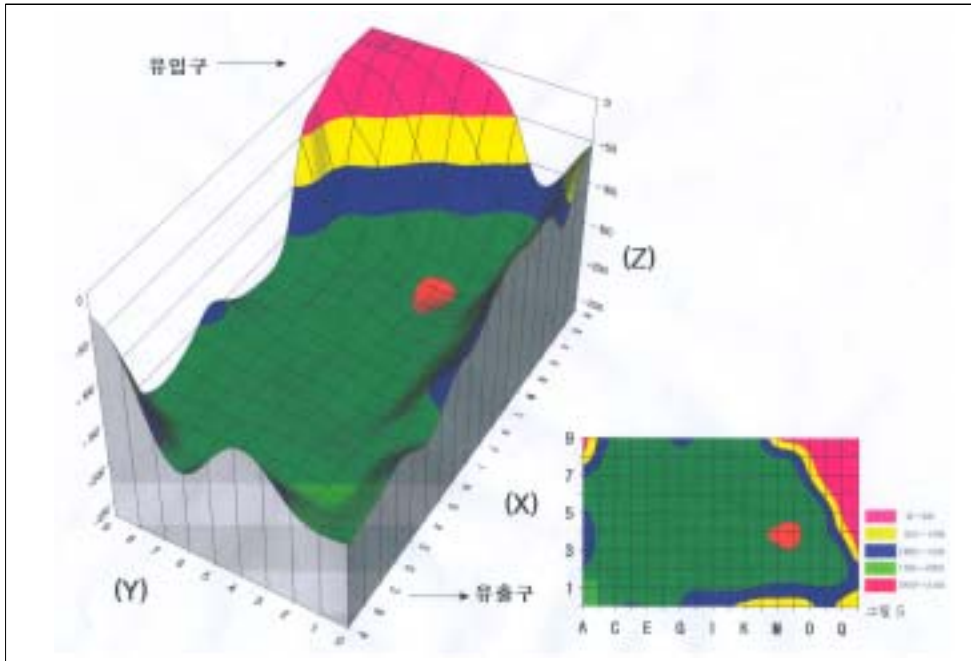


[그림 31] 준설 전과 후 수심과 퇴적층 두께를 조사한 167개 지점

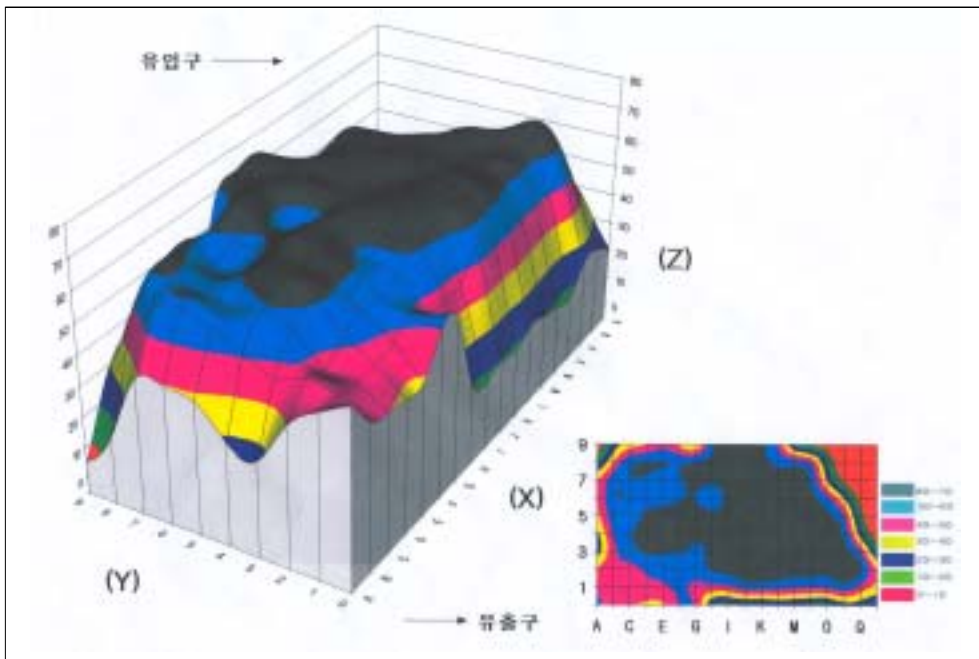
[표 42] 준설 전과 후 167개 조사지점에 대한 수심과 퇴적층두께 측정결과

9	27	134	159	177	170	155	129	155	170	173	176	194	140	112	0			
	0	23	30	31	47	32	12	52	61	60	62	54	-	-				
	0	29	25	23	31	27	0	40	30	29	25	20	25	0	5			
8	27	140	130	173	177	175	168	162	175	178	191	178	176	176	176	46		
	7	41	66	65	68	62	69	62	61	64	62	57	67	64	19			
	0	28	40	36	30	32	25	24	42	21	36	36	34	40	9			
7	148	181	174	171	178	176	181	180	170	179	179	180	177	185	84			
	42	62	58	59	58	58	67	62	60	62	66	62	65	67	19			
	30	41	34	27	27	33	29	27	23	22	24	20	29	31	5			
6	179	184	176	190	170	188	184	185	171	172	174	183	181	186	81			
	32	67	56	55	52	56	59	45	66	61	64	66	69	62	32			
	21	51	27	37	29	24	44	23	37	20	28	31	42	28	41	0		
5	130	181	170	179	171	177	180	180	186	181	181	180	187	180	194	195	7	
	37	60	52	63	66	66	68	67	62	61	67	66	62	67	60	62	8	
	30	42	30	30	30	25	28	25	41	20	26	25	21	20	43	37	0	
4	84	174	168	168	169	179	165	162	195	190	196	200	210	210	195	192	62	
	21	56	59	66	62	67	61	65	65	62	65	66	65	67	66	16		
	0	40	26	20	27	30	28	27	40	25	40	45	48	29	49	39	0	
3	96	179	166	170	162	195	195	199	196	196	197	195	194	200	193	192	187	
	16	48	57	66	61	63	55	61	67	67	67	66	62	60	61	67	7	
	9	30	28	30	32	40	42	43	40	45	44	43	43	43	43	43	0	
2	154	175	174	173	164	163	196	200	198	192	190	182	196	200	190	183	183	
	41	56	40	52	54	52	60	64	65	65	64	67	61	66	60	69	72	
	32	41	21	25	24	24	43	40	38	20	25	40	26	18	25	37	40	
1	165	176	184	182	186	191	199	147	161	165	174	144	135	128	147	145	150	
	47	49	47	48	48	56	39	52	48	60	62	60	57	58	55	67	46	
	30	20	22	25	26	41	24	19	19	23	20	20	13	10	29	24	10	
0	192	168	151	132	144	174	150	130	124	92	64	55	71	48	62	138	50	
	57	39	38	37	33	52	26	7	12	11	7	16	12	11	8	20	21	
	40	23	28	17	18	25	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	

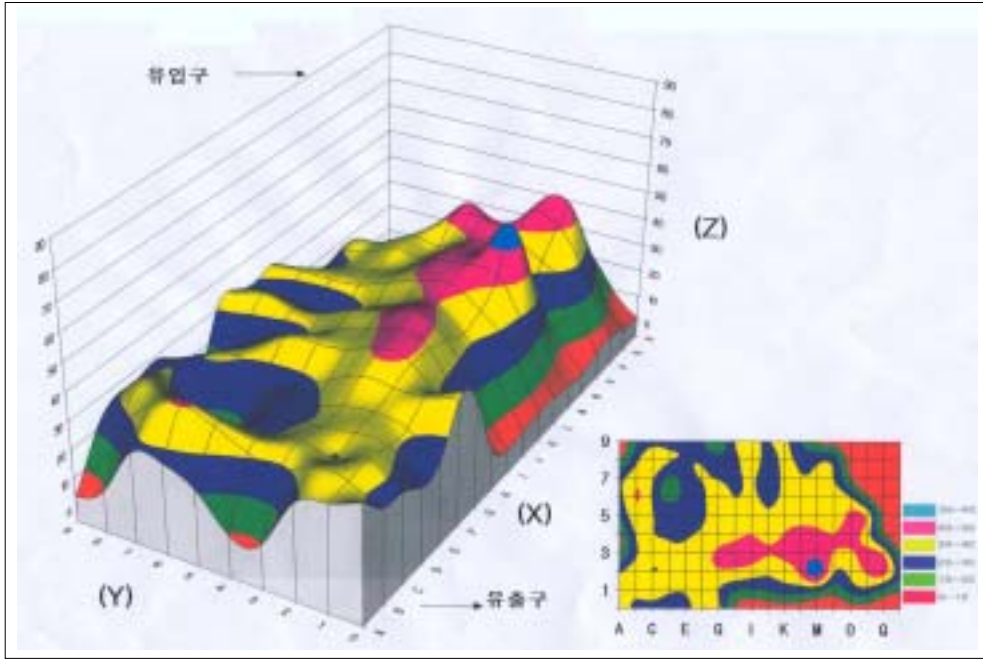
* 청색 : 수심(cm), 흑색 : 준설전 퇴적물 두께(cm), 적색 : 준설후 퇴적물 두께(cm)



[그림 32] 3차원으로 분석한 수심의 분포도



[그림 33] 준설 전의 저수지 바닥의 퇴적물 분포도



[그림 34] 준설 후의 저수지 바닥의 퇴적물 분포도

[표 43] 2003년 5월과 204년 8월에 측정한 자료

	2003년 5월 측정	2004년 8월 측정
조사자	외부전문가에 용역	본 연구팀에서 직접조사
조사 지점	14개 지점	167개 지점
보유 수량 (m ³)	2,769	4,107.6
수면적 (m ²)	2,747	2,804.3
둘레 (m)	217.7	-
수심 (m)	최고 1.7, 최저 0.8	최고 2.1, 최저 7
퇴적량 (m ³)	349	1,349.1
퇴적층두께 (cm)	최고 19.5, 최저 15.0	최고 72, 최저 7

2003년 5월 측정과 2004년 8월 측정값이 크게 상이한 이유는 여러 가지 원인이 있겠으나, 가장 큰 원인은 조사지점 개수의 차이가 너무 많고 수심과 퇴적층두께 측정 장비가 상이한 것이 원인인 것 같다. 수심측정 시에 사용된 기기는 공허 staff를 사용하였으나, 퇴적층두께 측정은 2003

년 5월에는 Core sample로, 본 연구팀은 직경이 25mm 투명 원통 아크릴 파이프를 이용하여 조사하였다. 객관적으로 볼 때 Core sample은 사용시에 약간의 부주의만으로도 정확한 측정을 할 수 없는 장비이다. 그러므로 본 연구팀에서 측정한 값이 여러 가지로 볼 때 신뢰도가 크다고 사료된다. 그리고 2003년 5월과 2004년 8월은 1년 이상 시간이 경과하였으므로 추가적인 외부·내부 오염이 가한 것도 원인이 될 수 있다.

[표 42]는 167개 지점에서의 수심과 준설 전·후 퇴적층의 두께를 측정한 후 정리된 자료가 된다. [그림 32]는 167개 지점의 수심을 [표 42]를 근거로 3차원 분석한 수심의 분포도이다. [그림 33]과 [그림 34]는 준설 전과 후 바닥의 퇴적물의 분포도를 [표 42]의 자료를 근거로 하여 3차원 분석한 비교 분포도이다,

특히, [그림 33]의 분포도는 준설 전 저수지 바닥의 지점별 퇴적층두께를 나타내므로 준설작업 시에 작업지시서로 중요하게 이용될 수 있다.

제 3 절. 수질개선/복원작업 수행

[사진 39]는 임시로 만든 준설배 위에서 작업자가 수동으로 저수지 바닥의 퇴적저니를 준설펌프에 의해 준설작업을 수행하는 장면이다. 이 경우 저수지 양안에 가로·세로로 쇠파이프를 단단히 고정시키고 눈금이 표시된 밧줄을 이동시키면서 준설하였다.



[사진 39] 준설작업전경



[사진 40] 준설저니 이송배관



[사진 41] 모래 및 조대입자선별기



[사진 42] 전 고액분리시스템(시작품)



[사진 43] 고액분리설비 배출 분리수



[사진 44] 준설저니고액분리 전/후



[사진 45] 오존설비(시작품)



[사진 46] 진공탈수설비(시작품)



[사진 47] Geo bag 배수·탈수(시작품)



[사진 48] Geo bag(지지대,배수받침대 설치)



[사진 49] Geo tube



[사진 50] 흙막이에 대한 고액분리전경



[사진 51] 이동식탈수차량(참여기업제공)



[사진 52] 탈수차량에서 발생된 탈수케익

준설된 저니는 이송배관([사진 40]의 파란호스)에 의해 지상의 고액분리시스템으로 이송되면 이물질 및 모래제거설비[사진 41]로 유입되면 준설저니 중의 모래나 작은 돌조각, 비닐, 포장지 등은 회전원통 상의 2m/m의 웨지스크린 망에 걸려 스크린 밖으로 분리된다. 현장실험에서도 이물질제거에 의해 제거되는 이물질은 조사결과 투입량 대비 10~15% 정도로 조사되었다.

이물질제거스크린을 통과한 준설저니는 고액분리설비[사진 42]의 급속교반 반응조로 유입되면 자동적으로 투입되는 급속응결·응집제에 의해 응결 후 완속교반조로 유입된다. 이때 투입되는 응집제의 양을 조절하기가 쉽지 않았다. 이유는 준설되는 준설고형물이 일정하지 않기 때문이다. 통상 주입량은 관리자의 육안으로 조정 주입하였는데 평균 1m³당 300~500g 정도 주입되었다. 완속교반조에서 응결물은 크게 성숙되면 자동적으로 침강조 공정으로 유입된다. 여기에서 후력은 더욱 성숙되어 침강조 바닥으로 침강된다. 여기까지 소요시간은 7분 이내가 된다. 한편, 침강조에서 고액분리된 상등액[사진 43]과 [사진 44]는 청등수로서 침강조 외로 유출된다. 유출된 청등수에는 미량의 잔유오염물과 냄새 및 잔유조류가 함유될 수 있어 이들을 제거하기 위해 오존설비로 유입된다[사진 45]. 오존설비를 통과한 물은 탁해 보였으며 처리 전의 비린내는 제거되었음을 느낄 수 있었다. 오존설비에서 유출된 처리수는 저수지로 되돌려진다. 한편, 고액분리시스템의 침강조에 농축된 준설물은 슬러지인출펌프에 의해 탈수 및 배수설비로 유입된다. [사진 46]은 본 연구팀에서 개발된 150메쉬 웨지재질의 벨트형 진공탈수설비인데 성공하지는 못했다. 이유는 벨트의 폭이 약 90cm인데 벨트 폭에 배수 및 탈수시킬 농축슬러지가 골고루 주입되지 않아 배수·탈수에 실패하였다. 실패를 대비해서 본 연구팀에서는 배수·탈수에 여러 가지 공법을 사전에 준비하였다.

[사진 47]은 PP재질의 토목마대 Geo bag과 Geo tube([사진 48])인데, 여기에 농축된 준설물을 투입하였다. 처음에는 배수가 잘 되는 편이었으나 시간이 경과하면서 배수가 쉽지 않았고 배수되는 시간은 3~4일이 소요되었다. Geo bag의 용량은 임의대로 제작이 가능한데 효과적인 배수를 가하기 위해서는 직경이 100cm, 높이가 130cm가 적당하며 지지대에 고정시키면서 bag 바닥에 물이 쉽게 배수되도록 하면 높은 배수율을 기대할 수 있게 된다[사진 48].

농축준설물을 Geo tube에서 배수·탈수시켜 보았다[사진 49]. Geo tube에서도 처음에는 배수가 잘되는 듯 하였으나 시간이 지나면서 배수가 잘 되지 않았다. Geo tube에서는 배수되는 시간이 2~3일 정도 소요된다. 직경은 1~3m, 길이는 5~100m 정도로 제작이 가능하나(본 연구에서는 직경 90cm, 길이 6m 용), 이 경우에는 저수지 주변에 여유부지가 있을 때 적용가능하다. 설치하는 비계파이프에 고정시켜야 효과적이며 바닥에 배수액을 저수지로 채유입시킬 수 있도록 매트를 설치하는 것이 바람직하다. 비교적 Geo bag보다 배수·탈수율이 좋은 편이며 유입구의 위치, 튜브의 형태, 벤딩처리 등을 편리하게 사용할 수 있게 더욱 연구가 필요하며, 튜브의 재사용은 어려울 것 같았다.

[사진 44]는 준설현장에 여유부지가 있을 경우 가능한 방법이나, 이 경우에는 중장비를 이용하여 흙바닥에 웅덩이를 파거나 평지에 흙으로 임시 뚝을 만들어 이 안에 농축준설물을 유입시켜 배수는 지하로 스며들도록 하거나 태양 열에 의해 증발시키게 한다. 비교적 경제적이면서 쉬운 방법이지만 우기에는 곤란한 방법이다.

[사진 51]은 참여기업에서 개발한 탈수설비인데, 이동식 차량에 탑재하여 준설현장에 투입되어 배수·탈수시키는 기계적인 설비이다. 원리는 원심력에 의한 농축침강물 내의 물기를 탈수시키는 것이며, 탈수능력은 시간당 5m³ 정도인데 탈수효율이 매우 높았다. 업체에서는 시간당 50~100m³ 정도를 탈수하는 설비를 제작할 예정이다. [사진 52]는 이동식탈수차량에 의해 침강고형물을 탈수시켰을 때 나오는 탈수케익이다.

제 4 절. 준설작업으로 인한 수질개선/복원여부 판단

1. 물 오염도 조사결과로 판단

1-1. 저수지 물 오염도로 판단

준설 전·후 저수지 물 자체를 가지고 수질개선 여부를 판단할 수가 없었다. 이유는 두 가지 때문이다. 첫째는, 준설 중에는 물이 흐트러져 있

기 때문이며, 준설이 종료된 후에는 재차오염방지설비를 설치하여 정체성 수역을 순환형으로 바꿔주기 때문이다.

1-2. 고액분리 전·후 분리상등수로 판단

이 경우에는 오염도 분석이 가능하였다. [표 44]는 준설저니 고액분리 시스템 운영 전과 후의 수질분석 결과이다. [표 44]에 의하면 준설 후 고액분리 전의 원수의 부유물질(SS)은 평균 3,802mg/ℓ 이었는데 분리 후의 SS는 46.3mg/ℓ 를 보여 98.8%의 제거율을 보였다.

COD의 경우 73.5mg/ℓ 에서 9.44mg/ℓ 를 보여 87.2%의 제거율을 보였다. 원수의 클로로필-a의 측정은 농후한 액상이므로 측정할 수 없었으나 상등수에는 25mg/m³로 측정되어 잔류조류가 존재함을 알 수 있었다.

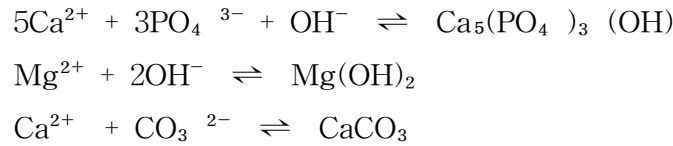
T-N과 T-P의 경우 원수에는 31.85mg/ℓ 와 3.33mg/ℓ 함유하였는데, 고액분리 상등수에는 11.11mg/ℓ 과 0.100mg/ℓ 로 조사되어 65.12%와 96.7%가 제거되었다.

[표 44] 준설저니 고액분리시스템 운영 전·후 수질분석 결과

시료명	채수일	pH	Temp (°C)	Turbi (NTU)	SS (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	Chlor o-a (mg/m ³)	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	Condu (ms/cm)	Eva.R (mg/ℓ)
준설저니원수	04.8.4	7.27	26.7	-	3,254	66.8	64.0	-	33.98	2.88	37.9	25,717
	04.8.10	7.30	28.1	7,500	4,350	80.2	-	-	29.71	3.78	39.9	26,970
	평균	7.38	27.4		3,802	73.5	64.0		31.85	3.33	38.9	26,343
분리상등수	04.8.4	7.83	26.8	39.7	83.0	9.68	10.6	22.4	7.62	0.125	96.5	267
	04.8.10	7.0	27.0	49.4	41.3	8.43	9.0	29.9	14.31	0.153	102.5	295
	04.8.12	7.55	29.5	17.5	14.5	10.2	9.2	22.7	11.4	0.023	80.5	635
	평균	7.46	27.7	35.5	46.3	9.44	9.6	25.0	11.11	0.100	93.2	399
분리상등수의 오존처리수	04.8.10	7.44	29.3	49.7	67.3	7.96	6.8	59.5	14.6	0.667	91.8	220
	04.8.12	7.41	30.0	21.5	33.0	9.14	4.5	40.9	11.42	0.012	82.0	805
	평균	7.43	29.7	35.6	50.1	8.55	5.65	50.2	13.01	0.339	86.9	512.5
고액분리침강물 원심탈수액	04.8.10	7.74	28.2	40.1	64.7	18.6	12.7	0	18.1	0.142	117.3	1,065
고액분리침강물 Geo bag배수액	04.8.4	7.30	26.7	32.2	54.0	12.5	3.3	12.8	8.76	0.128	87.3	203

* 분리상등수 1m³당 오존 3g투입, 30초 접촉

이 같은 결과는 고액분리작업에 사용된 무기계응집제의 특성에 의한 것으로 판단된다. 사용된 무기계응집제는 주성분이 Lime계이므로 다음과 같은 반응에 의하여 T-P가 제거된 것으로 사료된다.



한편, 고액분리상등수 내의 잔유오염물과 클로로필-a, T-N, T-P 제거를 위해 오존설비에 상등수를 통과시킨 결과 부유물질, 화학적 산소요구량(COD)은 큰 차이가 없었고, 생물화학적 산소요구량(BOD)는 9.6mg/ℓ에서 5.65mg/ℓ로 약간 감소되었으나, 클로로필-a는 오히려 25.0mg/m³에서 50.2mg/m³으로 증가되었다. 이는 잔류조류가 오존에 의해 사멸되었기 때문이다. 그 이유는 상등수를 오존처리하면 사멸된 조류로 인해 육안으로 볼 때 탁하게 보였고, 그로 인해 부유물질은 증가되었다. 한편, T-N과 T-P는 매우 높게 증가되었는데, 이것 역시 오존에 의해 조류가 사멸되어 그 사체에 기인된 것으로 보여진다. 증발잔유물량에서도 오존처리수에서 높게 측정되었다. 오존으로 처리된 처리수는 잔유오존으로 오존냄새를 느낄 수 있었다. 고액분리시스템 침강조의 농축침강물을 기계적인 원심탈수기와 Geo bag/tube에서 배수시킨 배수액을 분석한 결과 Geo bag·tube 배수액에서 탁도를 비롯하여 모든 항목이 원심탈수배수액보다 우수한 것으로 나타났다. 클로로필-a 항목에서만 원심탈수배수액에서 양호하게 조사되었다. 이는 원심탈수 시에 사용되는 응집제에 기인한 것으로 사료된다.

2. 잔유퇴적량 조사결과로 판단

제8장 제2절 2항의 [표 43]의 준설 전과 후의 퇴적층두께 조사 자료와 [그림 33]과 [그림 34]의 바닥퇴적물을 3차원으로 분석한 분포도에서도 나

타났듯이 준설로 인해 많은 양의 퇴적저니가 준설된 것으로 나타났다. [표 44]와 제 2 절 2항의 [표 43]을 근거로 하여 퇴적저니 준설 전과 후의 결과를 비교하여 나타내었다.

[표 45] 퇴적저니 준설 결과와 고액분리 전·후 비교

준설 전·후 비교	준설 전	준설 후	비 고
<ul style="list-style-type: none"> · 퇴적저니두께 (평균, m) · 퇴적저니량 (m³) 	<p>0.48</p> <p>1,349</p>	<p>0.27</p> <p>750.6</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 준설깊이 (m) : 0.21 · 퇴적저니제거량 (m³) : 598.4 · 준설효율 : 44.33%
고액분리 전·후 비교	준설 전	준설 후	비 고
<ul style="list-style-type: none"> · T-N 평균농도 (mg/ℓ) · T-P 평균농도 (mg/ℓ) 	<p>31.85</p> <p>6.66</p>	<p>11.11</p> <p>0.100</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 제거율 : 65.12% · 제거량(준설량대비) : 12.41kg · 제거율 : 97.0% · 제거량(준설량대비) : 3.94kg

저수지에 물을 존재시키면서 바닥에 퇴적된 저니를 완전하게 제거하기란 쉽지 않을 것으로 보인다. 수량 확보 차원에서 100% 제거하는 것도 바람직하겠지만 오히려 저수지 바닥에 일부의 저니를 남겨두고 준설하는 것도 수생태 보전차원에서 효과적이라 판단된다. 본 연구팀이 임시적으로 만든 준설선과 준설장비로는 44.33%의 준설효율을 보였고, 퇴적저니의 두께 층도 0.48m에서 0.27m로 낮출 수 있었다.

한편, 퇴적저니 준설로 인해 부영양화 원인물질인 T-N, T-P 제거율은 65.12%와 97.0%였는데, T-N, T-P 제거량은 준설량대비 T-N의 경우 12.4kg과 T-P의 경우는 3.94kg으로 산출되었다. 특히 T-P의 제거율은 97.0%이므로 준설시스템만 보완된다면 농업용저수지의 수질개선과 복원은 가능케 하여 농업용수의 질적 저하는 예방할 수 있을 것으로 사료된다.

제 5 절. 결 론

설계 제작된 pilot 규모의 시작품을 저수지 현장에 설치하여 운영해본 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 준설에 의해 저수지의 수질개선 및 복원작업을 위해서는 기본적으로 해당 저수지의 오염도 조사, 수량, 수심, 퇴적저니층의 두께 그리고 퇴적저니량 등은 준설작업 직전에 조사 및 측량을 해 두어야 한다.
- (2) 가능하면 시료채취지점과 조사지점의 개수는 많을수록 기본적인 자료의 신뢰도가 크며 실용화 측면에서 사업의 규모, 예산책정 등을 정확하게 산출할 수 있다.
- (3) 준설 전에 저수지 바닥의 퇴적층두께를 3차원으로 분석한 분포도를 작성하게 되면 준설작업 시에 준설효과를 높일 수 있게 된다.
- (4) 준설시스템에서 고액분리 전에 이물질 및 모래제거설비는 필수적이었으며, 이물질제거량은 투입량대비 10~15% 정도로 조사되었다. 그리고 사용된 무기계급속응집제의 응집효과는 매우 우수하였는데, 준설되는 준설물 내의 고형물이 일정하지 않아 응집제주입량 조건이 쉽지 않았다. 대략적으로 준설물 1m³당 300~600g 주입되었다. 한편, 고액분리시스템으로 유입되면 7분 이내에 고액분리 되는 것으로 확인되었다.
- (5) 고액분리상등수의 부유물질 제거율은 98.8%, 유기물인 COD는 87.2%, T-N과 T-P의 제거율은 65.12%와 96.7%이었는데, 특히 T-P 제거율이 높은 것은 무기계응집제의 특성인 것 같다. 이로 인해 농업용수의 부영양화 제어에 환경친화적인 방법으로 농업용수의 질적 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.
- (6) 고액분리 된 상등수를 대상으로 잔류조류, 잔류오염물 제거목적으로 오존 처리는 크게 기여하지 못하는 것 같다. 그러나 냄새제거에는 탁월하게 작용하였다.
- (7) 농축된 침강액을 Geo bag과 tube에 유입시켰을 때, 처음에는 배수가 잘 되는 편이었으나 시간이 경과하면서 배수가 잘 되지 않았다. Geo bag과

tube에서 배수되는 시간은 대략 3~4일 정도가 요구되었다. 통상적으로 Geo bag과 tube에서 배수가 잘 되었다. Geo bag과 tube의 재사용은 어려울 것 같다.

- (8) 준설현장에 여유부지가 있을 경우, 흙으로 적치장을 만들거나 지상에 웅덩이를 파서 웅덩이 내로 또는 적치장 안으로 농축침강액을 투입하여 고액분리시킨 후, 상등액은 저수지로 되돌리는 방법도 가능 할 것으로 보인다.
- (9) 원심분리식의 기계식탈수기로 탈수시킬 경우 시간당 처리량은 많으나 탈수·배수액의 수질은 Geo bag과 tube보다는 좋지 않았다. 그러나 설치비용 및 운영비용만 저렴할 경우 준설저니 감량화에는 제일 우수한 방법이라 사료된다.
- (10) 본 연구팀에서 개발된 퇴적저니 준설시스템과 고액분리시스템으로 오염된 농업용저수지를 복원할 경우 준설효율은 44.33%, T-N 제거율은 65.12%, T-P의 경우는 97% 이상의 효율을 보여 퇴적저니가 많은 농업용저수지도 준설선만 마련된다면 수질정화 및 복원에 크게 기여할 것으로 판단된다. 특히, T-P의 제거효율이 97% 이상이므로 농업용수의 부영양화의 개선으로 농업용수의 질적 저하는 예방할 수 있을 것으로 사료된다.

제 9 장 농축침강물에 대한 배수·탈수케익

제 1 절. 개 요

고액분리시스템에서 배출된 농축침강물(준설물)을 토목마대 Geo bag·tube 에서, 원심탈수기에서, 흙막이 건조 및 배수시설에서 작업종료 1주일이 지난 후에 각종 분석을 위해 시료를 폐기물관리법에서 제시한 방법으로 채취하였다. 그리고 고액분리시스템의 이물질 및 모래제거를 위한 스크린에 의해 걸러진 고형물로 채취하였다. [표 46]에는 시료별 케익성상을 파악하기 위해 분석된 자료이다.

[표 46] 배수·탈수케익별 성상 (단위 : %)

	함수율	고형물	무기물	유기물
스크린에 의한 고형물	42.5	57.5	43.9(76.3)	13.6
Geo bag·tube 배수케익	44.6	55.7	42.7(76.7)	12.7
원심탈수케익	29.4	70.6	17.5(24.8)	53.1
흙막이탈수케익	39.5	60.5	26.5(43.8)	34.0

* ()는 고형물량대비 무기물(%)임

함수량은 원심탈수기로 탈수시킨 케익에서 29.4%로 제일 낮았고, 이물질선별스크린에 걸러진 고형물에서 42.5%로 제일 높게 조사되었다. 흙막이탈수케익은 땅속으로 배수되고 햇빛에 의해 건조되고 공기와 접촉이 제일 많아서인지 비교적 함수율이 낮았다. 함수율이 낮을수록 고형물대비 유기물 함량은 높았다. 이 같은 결과를 참고하여 최종처분 방법을 선택할 수 있는데, 수분량이 적고 유기물 함량이 많은 경우 토양계량제로도 사용하는 것도 고려해볼 만 하다.

[표 47]은 케익 시료별 중금속 함량을 조사한 자료이다. 케익을 토양매립이나 해양투기법으로 최종 처분할 경우, 용출시험에 의해 결정하는 것이 원칙

이나 본 연구에서는 상황 판단의 잘못으로 [표 47]의 중금속분석 자료는 함유량실험에 의한 결과치이다. 함유량실험치가 용출시험법보다 훨씬 높게 측정되는 것이 일반적이다. 케익과 스크린에 걸러진 고형물 중의 유해금속물은 고농도로 농축되어 있음을 알 수 있는데, 수은(Hg)이 높게 측정되었으나 용출시험법으로 재측정할 경우 기준치 농도인 0.06mg/kg 이하로 검출될 수 있어 객토, 복토용으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

[표 47] 케익 시료별 중금속 농도

(단위 : mg/l)

	Hg	As	Cd	Pb	Cu	Cr ⁺⁶	Zn	Fe
스크린에 의한 고형물	0.930	3.578	0.233	15.13	28.41	18.49	116.64	1,789
Geo bag · tube에 의한 배수케익	1.479	0.929	0.166	18.31	30.69	26.32	141.77	2,708
원심탈수케익	0.634	1.492	0.224	19.06	22.52	19.78	109.08	6,173
흙막이탈수케익	1.359	1.714	0.194	17.87	25.62	23.35	121.92	5,524

* 고형물대비 농도임

제 2 절. 배수 · 탈수케익 재활용 및 최종처분 방법 도출

스크린에 의한 고형물을 제외한 케익의 함유율은 배수 및 탈수 방법에 따라 상이하지만 습시료 기준 29.4~44.6% 수준이었으며, 고형물대비 무기물량은 24.8~76.7%이었다. 이에 비해 유기물량은 습시료 기준 12.7~53.1%로 조사되었다. 한편, 고형물대비 중금속량은 객토 · 복토를 기준으로 하여 수은(Hg)을 제외하고는 기준치 이하이므로 객토 및 복토로 사용이 가능할 것으로 사료된다. 수은의 측정치는 함유량시험으로 분석되어졌는데 폐기물의 용출량 시험법으로 분석할 때는 훨씬 적게 측정되기 때문에 객토, 복토로 가능하다고 생각된다. 한편, 스크린에 걸러진 고형물은 협잡성이므로 소각하는 것이 바람직하다고 사료된다.

1. 저수지 준설토 처분의 법적 이해

폐기물은 우선 인간생활에서 생성되는 생활폐기물과 산업 활동의 결과로서 생성되는 찌꺼기인 사업장폐기물로 분류할 수 있으며, 여기서 “생활폐기물”이라 함은 사업장폐기물 이외의 폐기물을 말하며, “사업장폐기물”은 공업배치 및 공장설립에 관한법률에 의한 공장으로서 대기환경보전법·수질환경보전법 또는 소음·진동규제법의 규정에 의하여 배출시설을 설치·운영하는 사업장 및 그 외의 지정폐기물을 배출하는 사업장에서 폐기물을 1일 평균 300kg 이상 배출하는 사업장, 폐기물을 1회 1톤 이상 배출하거나 일련의 공사·작업등으로 인하여 폐기물을 1주에 1톤 이상 배출하는 사업장에서 발생하는 폐기물을 말한다. 여기에서 “지정폐기물”이라 함은 사업장폐기물 중 폐유·폐산 등 주변 환경을 오염시킬 수 있는 유해한 물질로서 대통령령이 정하는 폐기물을 말하는 바, 지정폐기물의 종류는 종전의 특정폐기물의 종류와 동일하다.

폐기물의 관리체계를 보면 생활폐기물은 시장·군수·구청장이 기본적인 처리책임을 지는 반면 사업장폐기물은 원칙적으로 배출자가 자체적으로 책임을 진다. 폐기물도 그 종류에 따라 처리방법 즉 수집·운반·보관 및 처리기준에 적합하게 처리하여야 한다. 시장·군수·구청장은 생활폐기물 뿐만 아니라 관할구역 내에서 발생하는 모든 폐기물에 대하여 배출 및 처리상황을 파악, 적정처리시설의 설치·운영 등의 관리책무를 지고 있으며, 국가는 지정폐기물의 배출처리 상황파악 및 필요한 조치를 강구하도록 하고 있다. 다음 [그림 35]는 개정된 폐기물 분류체계를 나타낸다.



[그림 35] 국내법상 폐기물 분류체계도

폐기물의 처리·처분은 지방자치 단체에 의무를 지우고 있으며 “지자체는 폐기물 처리시설을 설치하여 이를 유지·관리하여야 하고, 폐기물의 수집·운반·처리방법의 개선 및 관계인의 질적 향상으로 폐기물 처리사업을 능률적으로 수행하는 한편, 주민의 청소의식 함양을 위하여 노력하여야 한다.” 라고 규정하고 있다(폐기물관리법 제 4조 1항). 시·군·구에서 발생하는 폐기물을 광역적으로 처리할 필요가 있다고 인정되는 경우에는 광역 폐기물 처리시설을 단독 또는 공동으로 설치·운영할 수 있도록 권장하고 있다(폐기물관리법 제 5조 1항). 또한 폐기물 배출자에 대하여도 “폐기물의 발생량 감소를 위하여 폐기물의 재활용 및 제품제조 방법의 개선 등 필요한 조치를 강구하여야 한다” 라고 규정하고 있다(폐기물 관리법 24조 1항). 한편 폐기물을 1일 평균 300kg 이상 배출하는 사업장인 경우에는 사업장폐기물 다량 배출자로 구분하고 그에 대한 수집·운반·처리기준을 “폐기물의 수집·운반 또는 처리를 업(이하 ‘폐기물처리업’ 이라 한다.)으로 하고자 하는 자는 환경부령이 정하는 기준에 의한 시설·장비·기술능력·자본금을 갖추어 업종별로 시·도지사의 허가를 받아야 한다. 허가받은 사항 중 환경부령이 정하는 중요사항을 변경하고자 할 때에도 또한 같다. 다만, 지정폐기물을 대상으로 하여 폐기물관리업을 하고자 하는 자는 환경부장관의 허가를 받아야 한다.”라고 규정하고 있다(폐기물 관리법 26조 1항).

저수지의 퇴적저니준설 슬러지는 지정폐기물인 오니류에서 제외된 사업장 일반폐기물인 오니류로 구분될 수 있으며, 폐기물관리법 시행령 제 9조에 의하면 폐기물 재생처리업 허가대상 폐기물의 종류에 포함될 수 있다. 폐기물관리법 시행규칙 제 17조 관련 별표 6에 의하면 “폐기물 재생처리업을 하고자 하는 자가 오니류를 사료·비료 또는 퇴비로 재생처리 하는 경우 갖추어야 할 시설장비·기술능력·자본금의 기준은 자본금은 법인인 경우 2억원 이상, 장비는 운반차량 2대 이상(적재능력 합계 9톤 이상), 시설에 있어서 보관시설은 1일 처리능력의 10일분이상 120일분이하의 오니류를 보관할 수 있는 규모의 것. 다만, 물이 스며들지 않는 바닥시설과 우천시 빗물이 흘러 들어가지 못하도록 지붕 또는 덮개

를 구비한 시설로 대체할 수 있다. 이 경우 폐기물의 흘날림을 방지하기 위하여 폐기물의 최고 저장높이의 3분의 1이상 방진벽을 설치하고, 그 위에 폐기물의 최고 저장높이의 1.25배 이상의 방진망(막)을 설치하여야 한다. 또한 보관시설의 침출수 유출을 방지하기 위한 시설 또는 침출수 처리 시설 1식 이상이며, 폐기물의 중간처리시설 중오니류를 재생 처리하는 시설 1식 이상이어야 한다.“ 라고 규정하고 있다.

사업장 일반폐기물은 법 제25조 제1항의 규정에 의하여 스스로 처리하거나 법 제4조 또는 제5조의 규정에 의한 폐기물 처리시설을 설치·운영 하는 자, 법 제26조 제1항의 규정에 의한 폐기물 처리업자(사업장 일반폐기물을 대상으로 하는 폐기물처리업자에 한한다) 또는 법 제44조의 제1항의 규정에 의하여 재생처리신고를 한 자등 다른 사람의 폐기물을 재생처리 하는 자로 하여금 수집·운반·보관·처리하게 하여야 한다.

2. 준설토 최종처분방법

저수지 준설토는 폐기물 관리법상 사업장 일반폐기물에 포함 될 수 있다. 이유는 Geo bag·tube 배수·탈수케익을 제외하고는 유기성 오니(고형물 중 유기물질의 함량이 40% 이상인 것)에 해당되기 때문이다. 폐기물관리법 시행규칙 [별표4]에 의하면 사업장 일반폐기물 중 유기성오니와 무기성오니의 최종 처분방법은 다음과 같다.

[별표4]

- ① 유기성오니는,
 - ㉠ 소각하여야 한다.
 - ㉡ 수분함량이 85% 이하로 탈수·건조한 후 관리형 매립시설에 매립하여야 한다. 다만 물을 이용하여 폐기물을 운반한 후 침전처리 하는 경우에는 탈수·건조처리를 하지 아니할 수 있다.
 - ㉢ 수질환경보전법 제 25조의 규정에 의한 폐수종말처리시설 및 하수도

법 제2조의 규정에 의한 하수종말처리시설과 1일 폐수배출량 2000m² 이상인 배출업소의 유기성오니는 바로 매립해서는 아니 되며, 소각하거나 시멘트·합성고분자화합물의 이용 기타 이와 유사한 방법으로 고형화처리 하거나 생물학적 처리방법으로 처리하여 퇴비로 사용하거나 환경부 장관이 정하여 고시하는 용도 및 방법에 따라 매립시설 복토용 또는 토지개량제 등으로 사용하여야 한다.

② 무기성오니(유기성오니 외의 오니를 말한다)는,

㉠ 소각하여야 한다.

㉡ 수분함량이 85% 이하로 탈수·건조한 후 관리형 매립시설에 매립하여야 한다. 다만, 물을 이용하여 폐기물을 운반한 후 침전 처리하는 경우에는 탈수·건조처리를 하지 아니할 수 있다.

3. 준설토 재활용방법

저수지 퇴적준설토의 소각처리, 매립처리 모두 비경제적이거나 매립지 확보가 점점 규제가 엄격해지고 있으므로 이러한 문제를 해결하는 방법으로서 재활용을 고려하는 것이 바람직하다. 재활용은 유기·무기성으로 구분하여 탈수케익 그 상태로 이용하는 방법과 탈수케익 성상을 개선하여 재활용을 모색하는 방법이 있다.

슬러지케익이 무기성 함량이 클 경우, 케익을 가공하지 않고 활용하는 방법으로서 목조주택의 땅고르기용 흙, 농업이용 또는 식물재배 흙으로 이용하는 방법 등이 있다. 케익의 성상을 개선시켜 이용하는 방법으로는 시멘트 첨가 등으로 고화시켜 이용하는 방법, 케익을 입상화하여 소결하여 인공골재로 쓰는 방법, 열처리하여 블록 또는 도관으로 이용하는 방법, 시멘트 재료로서 이용하는 방법 등을 들 수 있다. 이와 같은 재활용에 대해서는 단순히 처리비용만을 생각하여 결정할 것이 아니라 환경보전을 포함하여 종합적 검토를 하는 것이 바람직할 것이다.

일본의 예를 들면, 일본에 분포되어 있는 토양은 일반적으로 산성토양으로 미경작지의 토양은 pH가 5~6으로 약산성을 나타내고 있다. 호소의

퇴적준설저니 슬러지를 객토제로 사용하는 경우에는 1m²당 0.5kg 이내로 객토하여 산성토양의 개량제로소 유효하게 이용하도록 하고 있으며, 슬러지 내의 비소함량은 50mg/kg 이하로 규정하고 있다. 그리고 원예용토로 사용할 경우 슬러지의 혼합비율은 30%를 적정기준으로 하고 있으며 최대 50%를 초과하지 않도록 권장하고 있다

미국에서는 '90년대부터 하·폐수 슬러지를 살아있는 고형물질이란 의미를 가진 biosolids라고 부르기 시작했다. 이것은 하수처리장에서 나오는 폐기물이라기보다는 재활용 물질로 보는 시각에서 비롯된 용어이다.

제 3 절. 결 론

- (1) 기계적인 원심탈수기로 탈수시킨 케익이 함수율이 제일 낮았고 Geo bag 과 tube에 의해 배수·탈수시킨 케익의 함수율이 제일 높았다. 이는 Geo bag·tube 탈수설비에서는 쉽게 농축침강물이 탈수기 쉽지 않음을 의미한다.
- (2) 유기물함량은 함수율이 제일 낮은 원심탈수기로 탈수시킨 케익에서 제일 높게 조사 되었다.
- (3) 농업용저수지에서 발생된 준설토를 객토·복토제로 재활용할 경우, 수은 항목에서 기준치인 0.06mg/kg을 초과하였으나 이는 함유량시험법으로 분석되었기 때문에 높은 것으로 사료되며, 만약 용출시험법으로 분석 할 경우 기준치 이하로 측정될 확률이 매우 높기 때문에 객토 및 복토에 사용될 수 있다고 판단된다.

제 10 장 재차오염방지설비 운영

제 1 절. 개 요

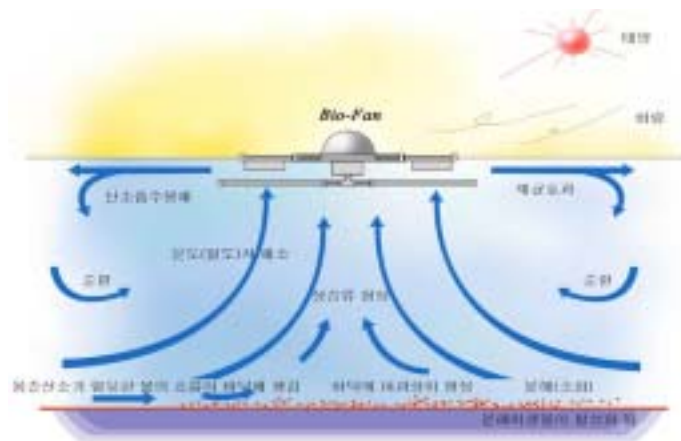
농업용 저수지를 포함해서 정체성 수역은 오염물량이 어느 정도 함유한 상태에서 물흐름이 없게 되면 부패상태에 이르게 된다. 그래서 정체된 수역을 좌·우·상·하로 순환시키게 되면 조화롭고 균형 있는 수생태가 조성되어 자연스럽게 식물(食物)연쇄가 형성되어 수역을 활성화시킨다. 따라서 본 연구팀은 수질개선 및 복원작업이 종료된 저수지에 재차오염을 예방하기 위해 저수지 수역에 활성화설비(장치)를 설치하여 운영 분석하였다. 활성화 설비를 Bio-Fan이라 부른다[사진 53, 54].



[사진 53] Bio-Fan 설치전경(시작품)



[사진 54] Bio-Fan에 의한 순환류 발생

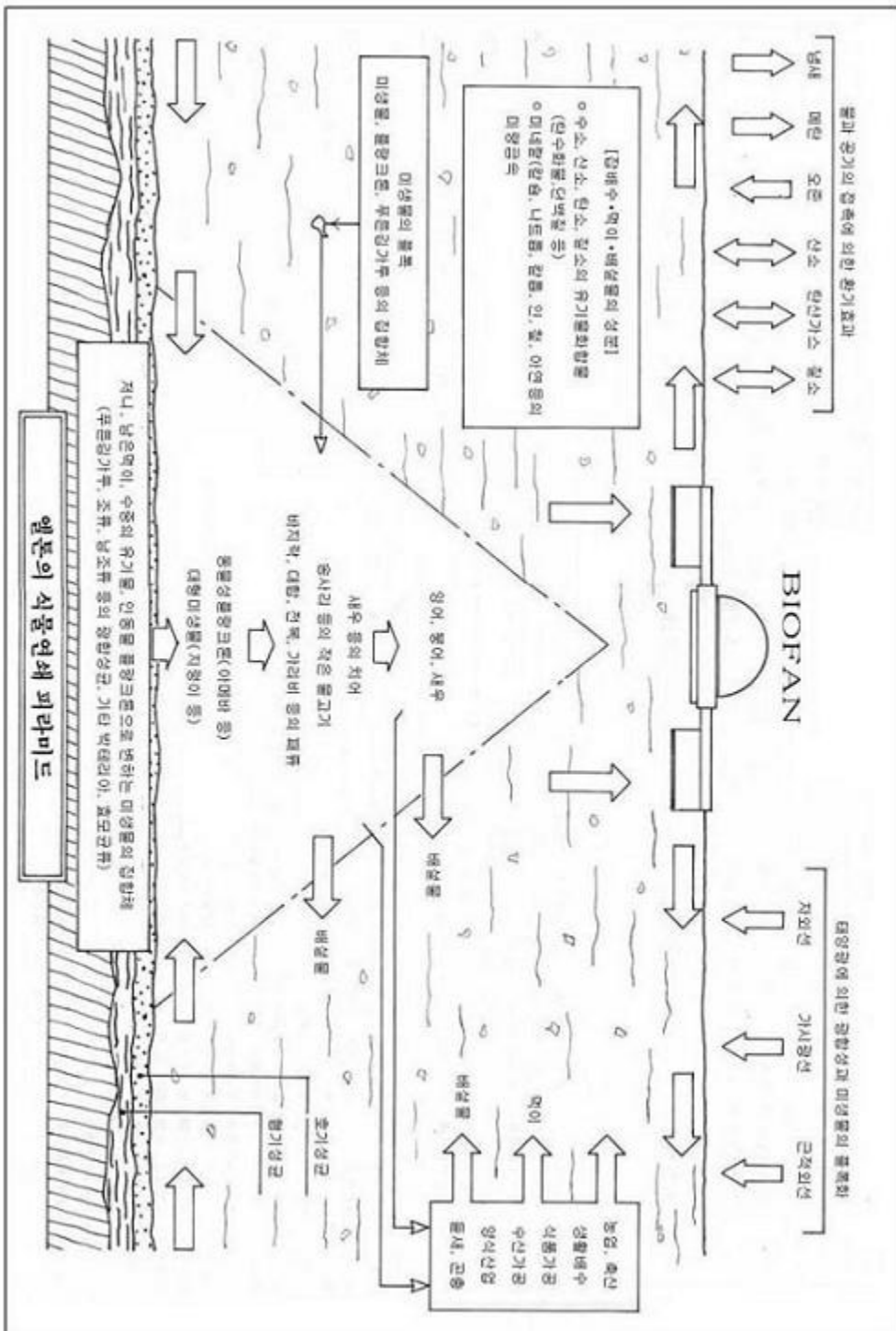


[그림 36] Bio-Fan에 의한 순환류발생모형

제 2 절. Bio-Fan에 의한 활성화 원리

Bio-Fan에 의해 자연계의 물질순환으로 수질정화 및 개선시키는 원리는 다음과 같다. Bio-Fan을 부력장치에 의해 저수지 수면에 띄우면 물을 헤치는 날개에 의해 수면에서는 Bio-Fan을 중심으로 하여 수평방향으로 넓게 퍼지면서 흐름이 일어나고, 이 흐름은 Bio-Fan 아래에 있는 바닥의 물이 수표면으로 유도되어 상승하기 시작한다. 그러면 그곳에 생긴 공백을 채우기 위해 주위의 바닥물이 모여서 바닥저면을 흘러서 Bio-Fan 위치로 집속(集束)하는 흐름이 생긴다. 이 집속류가 다시 상승하여 수면으로 퍼져서 바닥으로 잠긴 뒤 방향을 바꿔 Bio-Fan 위치로 흘러들어 오게 된다. 이런 흐름이 반복되어 넓은 수역으로 고루 미치는 순환류가 일어나게 되면 수면층, 중간층, 하부층의 pH, 온도, 용존산소 농도가 균일하게 되어 수생태계의 균형에 조화가 생겨 저수지 전체의 힘으로 물은 정화된다. 한편, 물의 순환류가 햇빛을 받으면 수면층에 있는 물은 대기 중의 공기와 접촉한다. 방의 나쁜 공기를 환기시키는 것처럼 환기효과가 물에도 나타나게 되어 부패한 물은 미생물의 작용으로 저분자화한 냄새 등의 유기성분을 대기로 휘발시키고, 동시에 산소와 햇빛을 흡수하여 생물계는 활성화한다. 이렇게 활성화 한 물이 바닥으로 하강하여 수저의 저니 표면에 흐르면 저니 표면은 미생물의 여과상으로 변하여 저니는 활성화된 호기성균의 용단으로 덮이게 된다. 이때, 저니의 산화작용에 의해 수저에 형성된 미생물의 여과상의 작용으로 물이 정화되어 수생생물들은 활성화된다. 활성화된 바닥은 플랑크톤의 미생물을 생산하는 바닥 층으로 바뀌게 된다. 이러한 작용으로 수저에 가라앉은 물고기의 배설물이나 사료찌꺼기 등의 불용성 유기물이나 저니는 플랑크톤으로 변환하여 점차 소멸해 가는 과정을 맞게 된다.

한편, 발생한 플랑크톤의 일부는 물 속에 부유하는 대장균 등의 잡균과 함께 태양의 자외선을 싫어하고 플록화되어 작은 물고기나 치어의 먹이로 이용되며, 그 중 잡균들은 어개류에게 병원균의 감염으로부터 보호하는 중요한 활동을 한다. 수저가 활성화되면 [그림 37]의 <엘톤의 식물연쇄 피라미드>의 토대가 확립되므로 플랑크톤의 생산이 번성하게 되고, 먹이가 증가되어 물 속의 잡균도 배제될 수 있게 되고 잠자리의 유충 등의 곤충도 송사리와 같은 작은 물고기나 치어, 패류 등도 건강하게 서식하게 되고 잉어, 붕어 등도 먹이를 찾아 활발하게 움직여 식물연쇄에 박차를 가하게 된다.



[그림 37] Bio-Fan에 의한 저수지의 정화 메커니즘

제 3 절. 운영결과 및 고찰

[표 48]은 칠리저수지에 Bio-Fan을 설치하기 전과 후의 수질변화를 나타낸 것이다. Bio-Fan 설치는 저수지 중앙부 위치에 100W의 수중 케이블 선을 저수지 바닥에 설치 연결하였고, Bio-Fan의 수표면 이동을 가급적 줄이기 위해 수중에 양카를 박은 후 고정시켰다.

2004년 7월 29일은 준설작업 전의 수질분석 자료이고, 8월 12일 데이터는 준설작업 종료 후의 수질분석 자료이다. 즉, Bio-Fan 설치 전의 자료들이다. 그리고 2004년 8월 25일부터 10월 7일까지는 Bio-Fan을 설치하고, 가동 후 8일, 13일, 17일, 48일, 55일 후의 칠리저수지 상부·중간부·하부층의 수질분석 자료이다. 시료채취는 채취선박(고무보트)을 이용하여 Bio-Fan의 회전날개 위치로부터 4m 거리 양쪽에서 채취하였으며, 상부는 수표면 20~30cm 정도, 중간부는 수표면 70~90cm 정도, 하부는 130~150cm 정도 깊이에서 수중펌프를 이용하여 채수하였다.

7월 29일, 8월 12일 Bio-Fan 설치가동 전에는 상부·중간부·하부층의 pH, Temp, DO 농도로 볼 때 차이가 보여 성층현상을 띤 수역을 확인할 수 있었다. 특히, 용존산소(DO)와 클로로필-a의 농도는 수표면과 하부층 간의 뚜렷한 차이를 볼 수 있었다. 설치가동 8일 후인 8월 21일 이후의 pH, Temp, DO 농도는 상부·중간부·하부층 간의 큰 차이 없이 비교적 균일한 값을 보여 정체성 수역이 상하부 순환형으로 바뀌는 것을 확인할 수 있었다. Bio-Fan 회전날개 교반을 빠르게 하면 하부층에 퇴적된 저니들이 상승할 우려가 있게 때문에 속도조절이 필요했다.

가동 후 8일부터 투명도가 좋아지는 것을 볼 수 있었고, 가동 48일째가 되는 9월 30일에는 T-N과 T-P 농도가 감소된 반면 클로로필-a 농도는 전층에서 균일했으면 양적으로도 증가되었다. 그러나 전층에서 DO 농도는 공히 13mg/ℓ 정도 유지하였다. 한편, 준설작업 후 수질향상을 도모하기 위해 미국에서 수입한 저수지 전용 정화미생물제제인 Pond cleaner를 2차례에 걸쳐 각각 4kg씩 투입하였다. 정화미생물 투입으로 인한 수질정화 효과는 연구기간이 짧아서 제대로 관찰하지 못하였으나, 연구자의 생각으로는 Bio-Fan에 의한 순환현상이 유지되는 상태에서는 정화미생물의 주입이 비경제적이므로 바람직하지 않다고 사료된다. 한편, [표 48]을 근거로 하여 경과기간에 따른 수

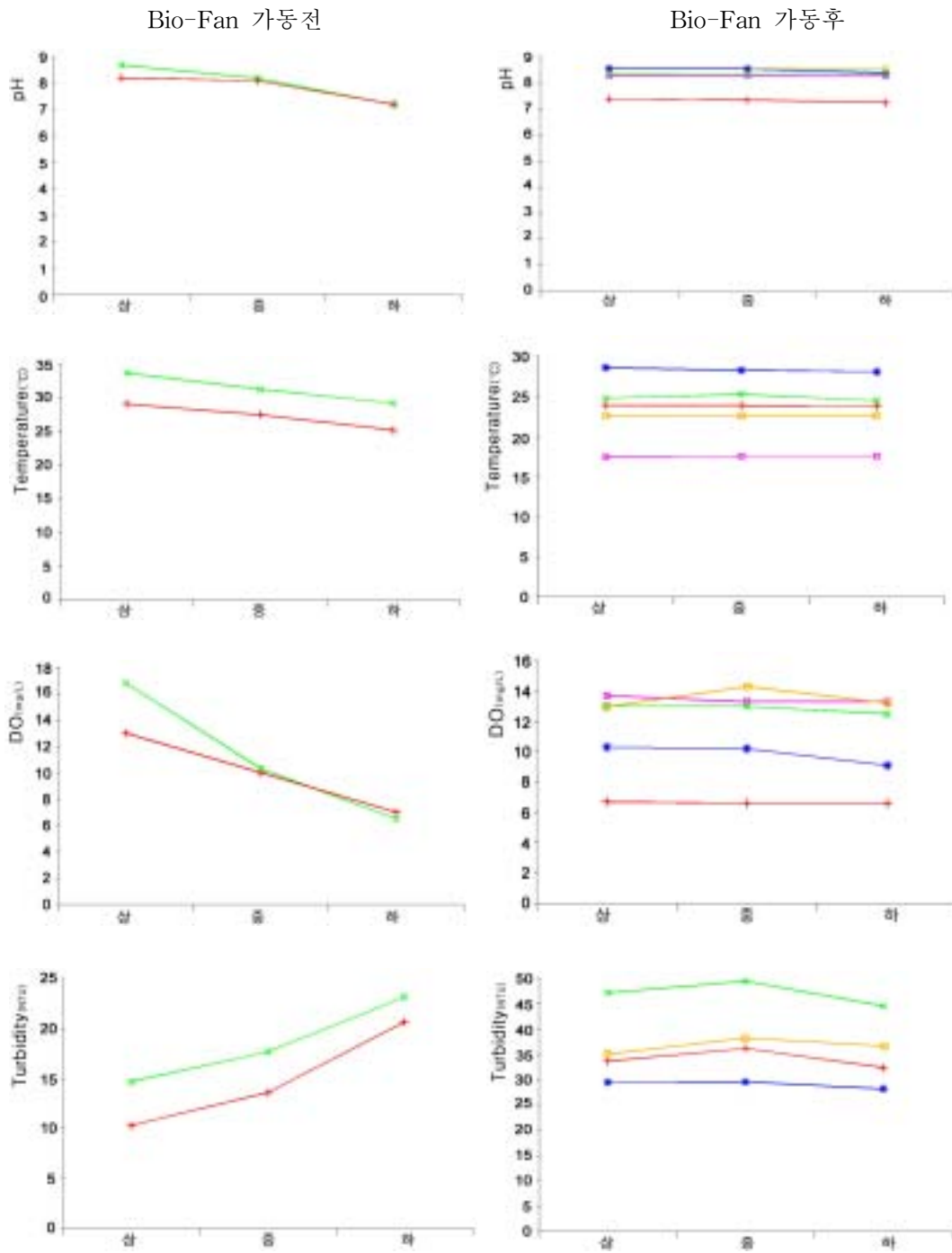
질변화를 [그림 38]에 항목별로 표시하였다. Bio-Fan 가동으로 성층현상이 전도현상으로 바뀌는 것이 확인되므로 <엘톤의 식물연쇄 피라미드>가 구축될 것으로 예상된다.

【표 48】 Bio-Fan 가동 전과후의 수질별 수질

Date (년/월/일)	채취 지점	pH	Temp (°C)	DO (mg/l)	Trans (cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/l)	COD mn (mg/l)	BOD (mg/l)	Chloro -a (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	Conduc (mc/cm)	Alk (mg/l)	Eve-R (mg/l)	비고
04/7/29	상	8.19	29.1	13.0	16	10.3	8.8	4.56	4.2	159	5.52	0.196	29.7	95.7	320	준설작업 전
	중 하	8.10 7.21	27.5 25.2	10.0 7.0		13.6 20.7	16 20	5.20 7.26	5.5 5.7	47 39	5.12 4.93	0.191 0.185	31.4 32.2	- -	328 367	
04/8/12	상	8.70	33.7	16.0	32	14.7	21	9.95	5.8	176	5.14	0.028	29.5	69	245	준설작업 종료 Bio-Fan 설치전
	중 하	8.20 7.20	31.3 29.2	12.0 6.5		17.7 23.2	22 30	8.0 8.10	7.3 6.0	67 35	5.04 4.78	0.025 0.023	32.4 32.7	79.5 79.5	240 265	
04/8/21 (가동8일)	상	7.40	23.9	6.7	41	38.5	52	7.65	4.3	34	5.37	0.125	27.7	97.7	296	준설작업 후 Bio-Fan 가동
	중 하	7.36 7.26	23.9 23.8	6.6 6.6		41.6 35.9	49 53	7.87 7.87	4.9 4.6	40 38	5.22 5.22	0.126 0.126	27.7 28.0	97.7 97.7	303 300	
04/8/25 (가동13 일)	상	8.36	24.8	13.0	56	33.7	38	6.39	7.8	42	5.28	0.232	31.5	103	269	준설작업 후 Bio-Fan 가동
	중 하	8.34 8.39	25.3 24.5	13.0 12.5		36.2 32.4	43 52	7.45 7.67	7.8 7.2	40 38	5.22 4.67	0.121 0.132	31.6 30.2	97.7 97.7	299 312	
04/8/29 (가동17 일)	상	8.57	28.6	10.3	69	47.2	45	7.49	8.2	81	4.61	0.102	33.4	120	265	준설작업 후 Bio-Fan 가동
	중 하	8.56 8.41	28.3 28.1	10.2 9.1		49.5 44.6	65 50	7.49 7.06	7.3 8.7	87 86	5.64 4.51	0.116 0.202	33.5 33.7	120 120	283 289	
04/9/30 (가동48 일)	상	8.57	22.6	13.0	40	29.5	63	8.56	7.3	112	3.46	0.074	34.2	130	263	준설작업 후 Bio-Fan 가동
	중 하	8.55 8.55	22.7 22.7	14.3 13.2		29.6 28.2	57 83	8.13 8.13	7.4 7.1	125 112	4.15 4.24	0.081 0.074	34.2 34.4	125 125	273 263	
04/10/7 (가동55 일)	상	8.28	17.5	13.7	40	35.1	56	8.66	7.6	141	3.82	0.068	32.9	115	276	1차년도 산출수
	중 하	8.29 8.28	17.6 17.6	13.3 13.0		38.3 36.7	42 75	8.64 8.64	7.3 7.1	125 137	4.18 4.20	0.074 0.088	33.3 33.4	115 110	273 311	
03/5/13		9.62	23.2	14.2	32	40.6	35.6	20.1	10.2	114	18.38	0.98	38	116	353	

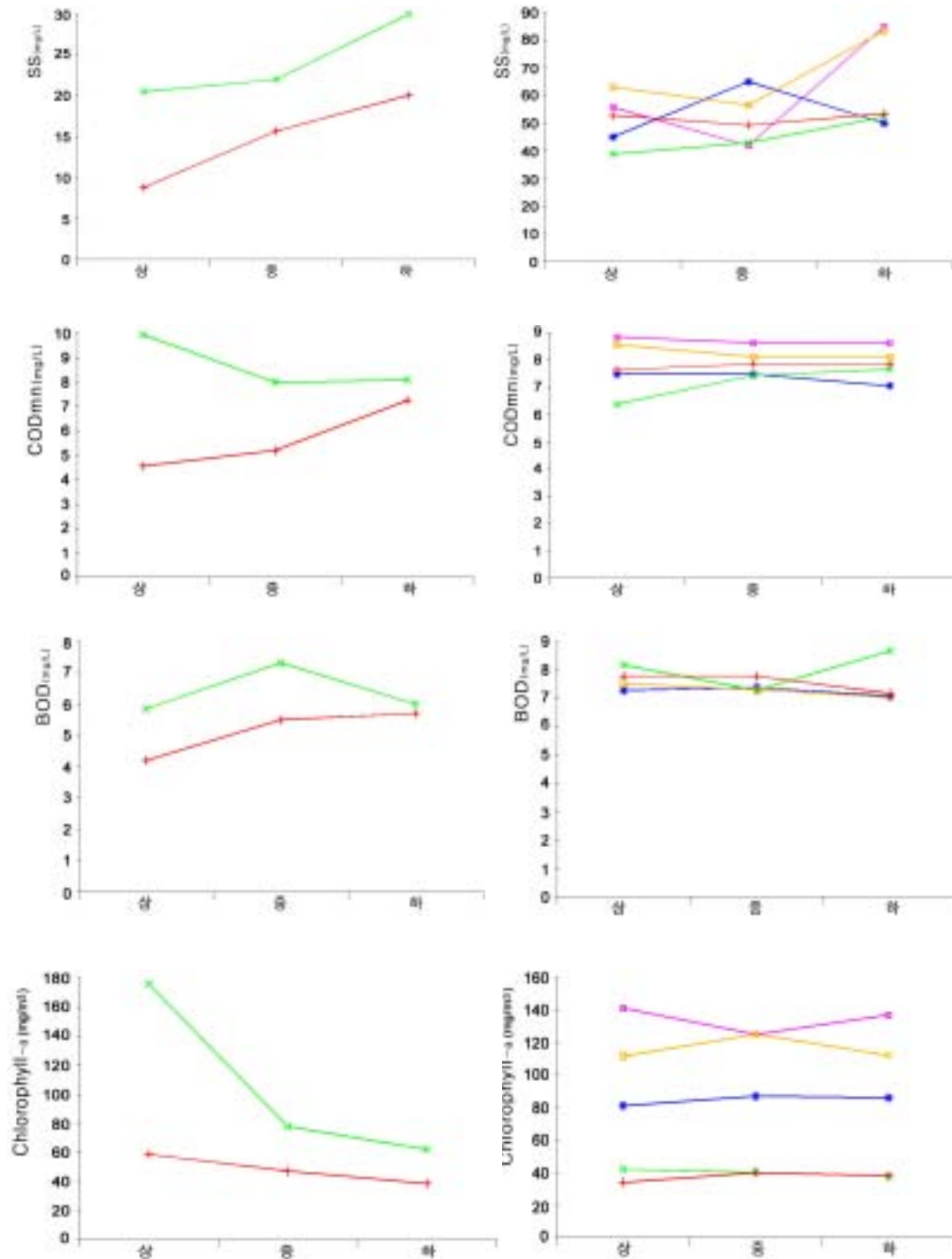
★ 정화미생물 : Pond Cleaner H.C(미국산) - 1차, 2차 각 4kg씩 투입

[그림 38] Bio-Fan 가동기간에 따른 수심별 수질



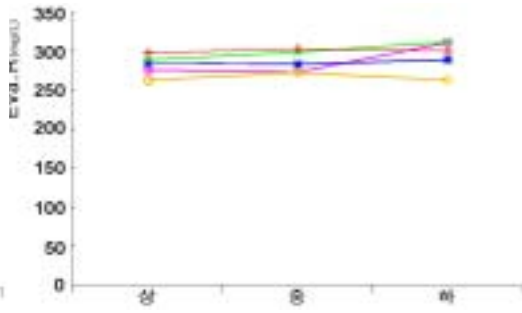
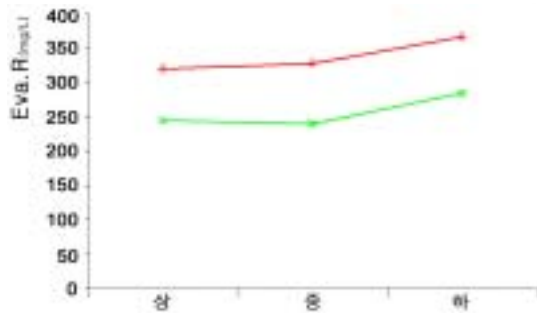
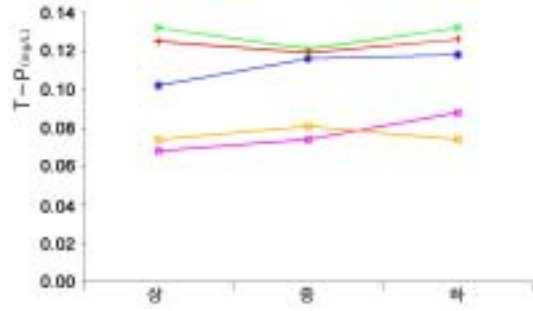
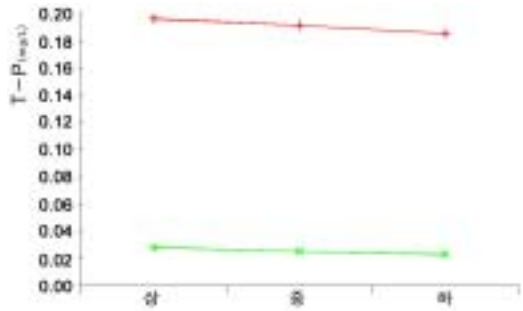
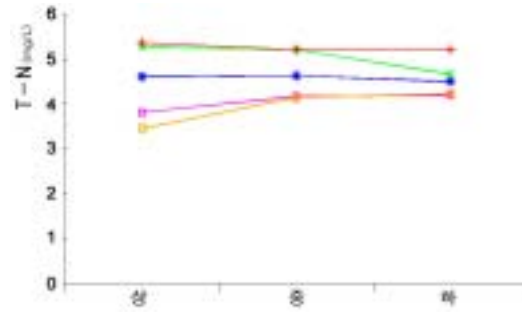
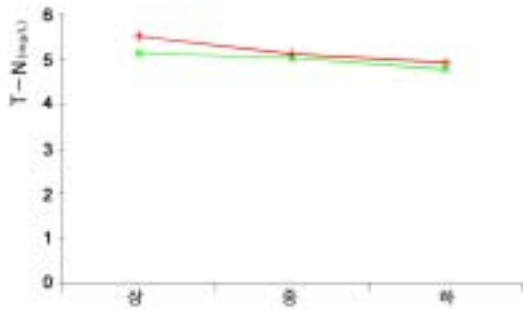
Bio-Fan 가동 전

Bio-Fan 가동 후



Bio-Fan 가동전

Bio-Fan 가동후



+ 빨강 : 04/7/29

x 녹색 : 04/8/12

+ 빨강 : 04/8/21

x 녹색 : 04/8/25

* 파랑 : 04/8/29

o 노랑 : 04/9/30

□ 보라 : 04/10/7

제 4 절. 결 론

준설작업으로 저수지가 복원된 후 재차오염이 우려되는데 재차오염을 예방하기 위해서 정체성 수역을 순환형으로 전환시켜 수생태계의 활성화를 유도하는데, 본 연구팀에서 개발 제작한 수질정화장치인 Bio-Fan 설치 후 운영결과는 다음과 같다.

- (1) Bio-Fan 설치 전 저수지의 상부·중간부·하부층 간에는 pH, Temperature, DO 농도 등이 뚜렷한 차이를 보였으나 설치 가동 후에는 pH, Temperature, DO, 농도를 포함하여 모든 분석항목들이 층간의 큰 차이 없이 비슷한 분포를 나타내어 상하, 좌우에서 물흐름이 발생됨을 확인할 수 있었다.
- (2) 정체성이 순환형 수역으로 전환되므로 수생태계의 활성화가 기대되며, 이로 인해 전 층간의 <엘톤의 식물연쇄 피라미드>가 구축되어 저수지의 재차오염은 예방될 것으로 판단된다. 아울러 퇴적저니가 없거나 적은 농업용저수지 및 기타저수지에 Bio-Fan 설치가동으로 가장 경제적이면서 환경친화적인 방법으로 수질이 개선 및 정화될 것으로 기대된다.

제 11 장 준설복원이 적용되지 않는 농업용저수지의 수질개선

제 1 절. 개 요

1. 오염의 정도·형태분류

저수지의 오염정도는 육안조사와 이화학적 분석으로 판단한다. 수질육안조사는 별다른 장비나 시설 없이도 수질오염정도를 수시로 점검할 수 있는 방법으로서 수질조사 방법 중 가장 고전적 방법이며 최대한 조사의 객관성을 유지하도록 조사한다. 시설관리자가 수색(水色), 냄새, 부유(浮遊)물질 등 외관상 나타나는 특징을 조사하여 수질오염정도를 파악하며, 저수지를 직접 방문한 후 도보 또는 차량 등을 이용하여 저수지 주변을 답사하면서 대표지점 또는 주요지점의 수색, 냄새 부유물질 유무상태를 관찰하고 관찰결과를 [표 49]의 항목별 분류기준에 따라 “우수”, “보통”, “나쁨”으로 구분한다.

[표 49] 항목별 분류기준

조사 항목	분 류 기 준		
	우 수	보 통	나쁨
냄새	냄새 없음	일시적으로 약한 냄새	썩는 냄새, 하수구 냄새, 분뇨냄새, 황화수소냄새 (계란 썩는 냄새) 등
수색	수색 맑음	약간 흐리거나 부분적으로 녹색, 갈색, 남색, 암갈색 등을 띠	전반적으로 녹색, 갈색, 남색, 암갈색 등을 띠
부유물질	부유물질이 없거나 아주적음	부유물질 약간 있음	유분이 떠 있거나 부유물질이 많음

이화학적 분석은 용존산소(O), 수소이온농도(pH), 화학적산소요구량(COD), 전기전도도(EC), 총질소(T-N), 총인(T-P), 염소이온(Cl⁻) 등의 7개 항목을 기본적으로 분석한다.

[표 50] 농업용수 수질환경기준(호소)

조사항목	pH	COD (mg/ℓ)	DO (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	EC* (μs/cm)	Cl ⁻ * (mg/ℓ)
기준치	6.0~8.5	8.0이하	2이상	15이하	1.0이하	0.1이하	2,000이하	142이하

* FAO 관개용수기준

한편, 부영양화 판단에 의한 수질평가는 총질소(T-N)와 총인(T-P)만을 이용하여 부영양화 정도를 판단하는 R. V. Vollenweider의 방법을 사용하고 저수지의 부영양화 정도를 “극빈영양”, “빈중영양”, “중영양”, “중부영양”, “부영양”의 5가지 단계로 구분하였고, 총질소와 총인의 비가 7 미만일 경우 총인의 기준을 16을 초과하였을 때 총질소의 기준을 적용하지 않았다. 질소와 인을 사용인자로 한 R. V. Vollenweider의 분류방법에 의한 부영양화 정도를 구분하는 기준은 [표 51]과 같다.

[표 51] 호소의 부영양화도

영양상태	T-P(mg/ℓ)	T-N(mg/ℓ)
극빈영양	< 0.005	< 0.20
빈중영양	0.005~0.01	0.20~0.40
중영양	0.01~0.03	0.35~0.65
중부영양	0.03~0.10	0.50~1.50
부영양	> 0.1	> 1.50

* R. V. Vollenweider의 분류법

* 총질소(T-N)/총인(T-P) < 7 → 총인 기준은 적용배제

총질소(T-N)/총인(T-P) < 16 → 총질소 기준은 적용배제

연구책임자의 사건으로는 부영양화의 정량적인 판단에는 총질소, 총인 외에 투명도, 클로로필-a 농도 등이 포함되어야 한다고 사료된다. 한편, 2002년 농림부/농업기반공사 농업용수 수질실태 일체조사 보고서 [표 52]에 의하면 2002년 5~6월 사이에 전국의 모든 농업용저수지의 육안조사 결과 종합수질등급 “약간나쁨”~“나쁨”등급으로 나타난 저수지가 전체의 1.9%를 차지하는 354개소로 조사되었으며, “약간나쁨”등급 이하의 저수지는 '96년, '98년의 0.7%이었고, 2000년의 2.2%에 비해 2002년 2.0%로 약간 감소한 것으로 조사되었다.

[표 52] 년도별 “나쁨”등급 저수지의 수질변화 추이(단위 : 개소)

구 분	'96	'98	2000	2002
조사대상저수지	15,023 (100.0)	17,882 (100.0)	17,934 (100.0)	17,847 (100.0)
“약간나쁨”~“나쁨”	99 (0.7%)	130 (0.7%)	406 (2.2%)	354 (2.0%)

* 육안수질조사 : 물의 색깔, 냄새, 부유물질로 판단

그리고 저수지 수질육안조사 결과 대규모저수지를 제외하고는 규모가 클수록 수질이 나쁜 것으로 조사되었으며, 특히, 중규모저수지가 가장 나쁜 것으로 분석되었다.

[표 53] 유효저수량별 수질현황

(단위 : 개소)

구 분	계	만m ³ 미만	만m ³ 이상~5만m ³ 미만	5만m ³ 이상~10만m ³ 미만	10만m ³ 이상~50만m ³ 미만	50만m ³ 이상~100만m ³ 미만	100만m ³ 이상
전체	17,847 (100.0%)	7,871 (100.0%)	6,849 (100.0%)	1,098 (100.0%)	1,209 (100.0%)	373 (100.0%)	447 (100.0%)
“약간나쁨” 등급이하	354 (2.0%)	85 (1.1%)	140 (2.0%)	24 (2.2%)	46 (3.8%)	30 (8.0%)	29 (6.5%)

한편, 농업용저수지의 주요오염원을 분석한 결과([표 54]), 전체적으로 토지유출(비점오염원)에 의한 오염이 주요오염원인 경우가 14,923개소로 대부분을 차지하였으나, 수질이 나쁜 것으로 판단되는 “약간나쁨”등급 이하의 저수지에서는 주요오염원이 생활계와 비점오염원(토지유출)이 각각 35.9%와 32.8%로, 축산계에 의한 오염은 점차 감소하는 반면 비점오염(토지유출)에 의한 오염이 다소 증가하는 추세를 보이고 있다.

[표 54] 주요오염원현황

(단위 : 개소)

구 분	계	생활	축산	산업	양식	토지유출
전체	17,847 (100.0%)	2,127 (100.0%)	540 (100.0%)	125 (100.0%)	132 (100.0%)	14,923 (100.0%)
“약간나쁨” 등급이하	354 (100.0%)	127 (35.9%)	80 (22.6%)	22 (6.2%)	9 (2.5%)	116 (32.8%)

지역별([표 55])로 육안수질조사를 분석한 결과 “약간나쁨”등급 이하의 저수지 중 인구밀도가 높고 대도시에 인접하여 도시팽창이 활발한 지역인 경기와 울산, 충남지역이 가장 나쁜 것으로 조사되었다.

[표 55] 시·도별 “약간나쁨”등급 이하 수질현황

(단위 : 개소)

시/도	계	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
전체	14,847 (100)	132 (100)	220 (100)	35 (100)	154 (100)	20 (100)	374 (100)	408 (100)	330 (100)	811 (100)	968 (100)	2279 (100)	3245 (100)	5625 (100)	3243 (100)	3 (100)
“약간 나쁨” 등급 이하	354 (2.0)	1 (0.7)	2 (1.5)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	22 (5.9)	33 (8.1)	1 (0.3)	20 (2.4)	45 (3.6)	46 (2.0)	27 (0.8)	69 (1.2)	88 (2.7)	0 (0.0)

육안수질조사([표 56])에서 수질이 나쁜 저수지를 우선으로 500개소를 선정하여 수질을 분석한 결과, 농업용수 수질환경기준을 초과한 저수지(V등급이상)가 274개소인 54.8%를 차지하였고, “약간나쁨”등급 이하 저수지 222개소 중 농업용수 수질환경기준을 상회하는 저수지는 158개소로 71.2%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

[표 56] 수질환경기준 등급별 현황

구 분	계	I	II	III	IV	V	V 등급초과
전체	500 (100.0%)	0 (0.0%)	2 (0.4%)	129 (25.8%)	95 (19.0%)	101 (20.2%)	173 (34.6%)
“약간나쁨” 등급이하	222 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	30 (13.5%)	34 (15.3%)	49 (22.1%)	109 (49.1%)

저수지의 부영양화도([표 57])를 분석한 결과, 전체적으로 부영양화 상태의 저수지가 28.6%인 143개소로 나타났으며, “약간나쁨”등급 이하 저수지의 경우 평균적으로 42.3%정도가 부영양화 상태를 나타내었고 부영양화 상태로 진행 중인 것으로 판단되는 중부영양 상태의 저수지도 45.5%를 차지하는 것으로 조사되었다.

[표 57] 호소의 부영양화도

구 분	계	극빈영양	빈중영양	중영양	중부영양	부영양
전체	500 (100.0%)	2 (0.4%)	8 (1.6%)	99 (19.8%)	248 (49.6%)	143 (28.6%)
“약간나쁨” 등급이하	222 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	27 (12.2%)	101 (45.5%)	94 (42.3%)

제 2 절. 연구방법

1. 화학적·생물학적제제에 의한 수질개선

퇴적저니가 존재하더라도 준설을 하지 않고 오염된 저수지를 정화하는 방법에는 화학약제를 사용하여 증식한 조류를 사멸시키는 살조제 투입방법이 있고, 자연에서 우점종만 선별하여 고정화된 미생물체제로서 조류의 영양원이 되는 질소와 인을 흡수하여 조류의 세포합성을 방해하고 아울러 수중의 유기물질을 분해 제거시키는 상품화된 미생물배양체 사용으로 정화하는 방법이 있다.

1-1. 실험에 사용된 화학약제 및 미생물배양체

○ 살조제(Algaecide)

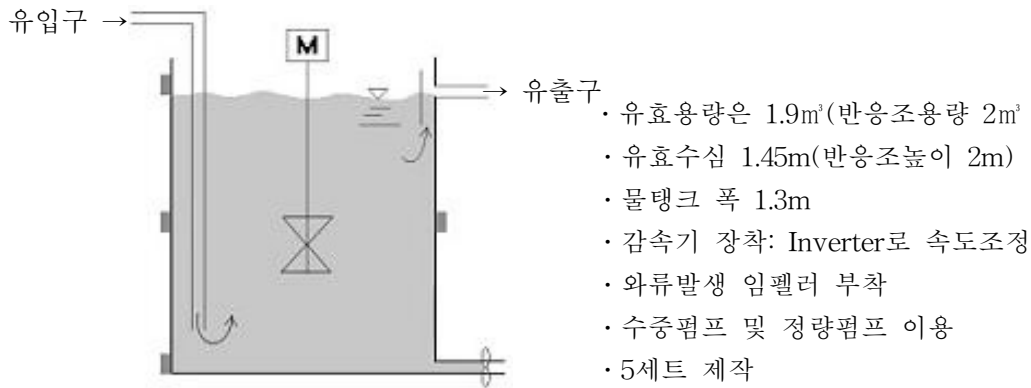
- (1) 상품명 「Captain」 으로, 구리(copper)를 주성분으로 하는 혼합 조제된 액상의 살조제이다. 미국의 SePRO社에서 개발된 것으로 EPA에 등록된 조류제어용 전문 살조제이다(등록번호 : 67690-9).
- (2) 상품명 「Cutrine-Plus」 로, 구리(copper)를 주성분으로 하는 혼합 조제된 액상의 살조제이다. 미국 Applied Biochemists co., Ltd.에서 개발된 것으로 EPA에 등록된 조류제어용 전문 살조제 이다.
- (3) 상품명 「Tint-it-Blue」 로, 청색을 띠는 액상으로서 미국 Enviro-Resp International. co., Ltd에서 개발된 것으로 수표면에 살포하여 청색빛으로 햇빛 중의 540nm의 가시광선을 산란시켜 광합성을 하지 못하도록 하는 조류제어용 약품이다.

○ 미생물배양체

- (1) 상품명 「Aquaculture Pond Cleaner」 로서, 비병원성 미생물배양체로 g당 30억개의 미생물 세포로 녹조류의 영양물이 되는 질산염을 소비시키며 유기물질을 분해시키는 수질개선제이다. 미국의 Enviro-Comp Seviles, Inc社 제품으로 자국 내에서도 활발하게 사용되는 제품이다.
- (2) 상품명 「Revive」 로서, 악취발생 퇴적저니, 질소와 인의 과부화 호소수에 투입해주므로 수질을 정화시키는 미생물배양체이다. 미국의 SePRO社 제품으로 EPA Exempt, Non-Toxic, Non-Hazardous이다.

1-2. 모형저수지 반응조 제작

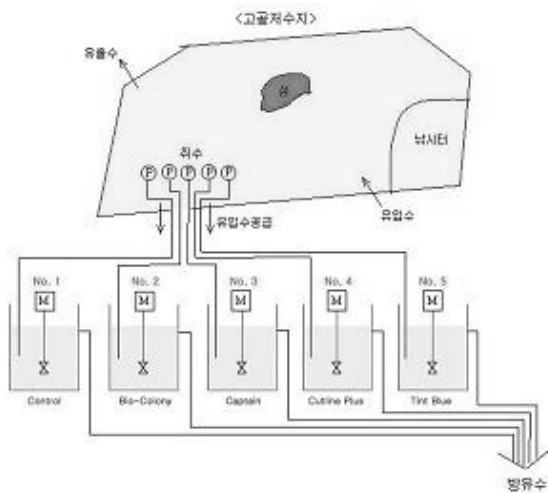
반응조는 시중에서 판매되는 대형 물탱크로서, 재질은 FRP로 유효용량은 2m³이다. 5개의 물탱크를 구입하여 변형을 막기 위해 상부, 중앙부, 하부에 스틸로 vending 처리하였고, 좌측 한쪽에서 저수지의 물이 반응조 바닥으로부터 유입되게 하였으며 반대쪽 상부로 물이 흘러나가도록 유출구를 설치하였다. 수질개선 실험을 하기 위한 반응조의 사양은 [그림 39]와 같다.



[그림 39] 반응조

1-3. 모형저수지 반응조 운전

저수지 면적이 약 66,000m²이며, 보유수량은 약 80,000m³, 평균수심은 4m가 되는 경기도 하남시 고골저수지 제방에 2004년 9월 5일에 제작된 반응조 5세트를 햇빛이 잘 드는 곳에 설치하였다. 저수지는 심하게 오염된 것을 육안으로 쉽게 판단할 수 있었다. HRT는 조류의 세포합성이 일어날 수 있는 13일로 하여 정량펌프로 원수를 24시간 유입시켰다. 유입수의 정량펌프 유입구는 저수지 제방으로부터 약 2m 들어간 위치, 수표면으로부터 30cm 깊이에 이물질이 유입되지 않도록 유입설비에 2mm망을 씌웠다. 유입수는 반응조 내부 바닥쪽으로부터 유입되게 하였고 유출수는 유입구 반대쪽으로 자연유하 되도록 하였다. 반응조 내부는 Inverter에 의하여 유속을 조절하도록 하였고 유속은 고골저수지의 유속을 유속계로 측정하여 동일하게 조정(0.08m/sec)하였다[사진 55~59]. 모형저수지 반응조 배치는 [그림 40]과 같다.



[그림 40] 모형저수지 반응조 배치



[사진 55] 고골저수지 전경



[사진 56] 푸른김가루조류가 수표면에 발생



[사진 57] 모형저수지 반응조(시작품)



[사진 58] 유입수정량펌프(시작품) 설치



[사진 59] 모형저수지 반응조 배치전경

9월 7일 모형저수지 각각 반응조에 [표 58]에 나타난 것처럼 살조제 및 수질정화 미생물제제를 투입하였다.

[표 58] 실험에 사용된 살조제 및 수질정화 미생물제제

모형반응조 No.	투입제제 (특성)	제조원 (상품명)	성 상	투입량	비 고
No. 1	없음	-	-	-	Control
No. 2	미생물제제	일본 (Bio-Colony)	고정화미생물균	20g/회	4회투입
No. 3	살조제	미국 (Captain)	액상 황산구리착제	4.3ml/회	1차투입 10일후 Revive 15g투입
No. 4	살조제	미국 (Cutline Plus)	액상 황산구리착제	13.3ml/회	1차투입 10일후에 Pond Cleaner 15g투입
No. 5	가시광차단제 (광합성 차단색소)	미국 (Tine Blue)	액상 짙은청색의 색소	0.5ml/회	1차투입 10일후에 Reviver 15g투입

* 투입량 결정 : 제조사의 처방에 의함. Revive와 Pond Cleaner는 미국산 정화미생물제임.

* Bio-Colony : Bacillus 속의 균종, 호기성 통성혐기성균, 세대세간 31분, 증식횟수 46회/일, 질산염 환원시킴

제 3 절. 모형저수지 반응조 운영결과와 고찰

[표 59]에는 모형저수지 반응조 운영결과를 나타내었다. 2004년 9월 7일에 각 반응조에 살조제 및 미생물제제를 1차투입 하였으며, No. 1의 반응조는 대조군(Control)이므로 아무것도 투입하지 않았다. 1차투입 일로부터 6일이 경과되는 9월 13일에 분석시료를 일정량 채수하고 No. 3, No 4, No. 5 반응조에는 살조제에 의해 사멸된 조류세포를 분해제거 시키기 위해 No. 3에는 Revive, No. 4에는 Pond Cleaner, No. 5에는 Revive를 투입하였다. 저수지 원

수의 pH는 8.73, Temp는 28.3°C, DO는 10mg/ℓ, 투명도는 94cm, 탁도와 부유물질은 94NTU이었으면 9.17mg/ℓ로 조사되었다. COD와 BOD는 6.86mg/ℓ와 7.08mg/ℓ, 클로로필-a는 81mg/m³이었으며, T-N과 T-P는 3.56mg/ℓ와 0.096mg/ℓ였고, 증발잔유물은 198mg/ℓ였다.

이 같은 결과는, T-N을 제외하고 우리나라 호소의 농업용수 기준에 적합하였으나 항목별 분류기준에는 “보통”으로 분류되며 T-N과 T-P만을 이용하여 부영양화 정도를 판단하는 R. V. Vollenweider의 분류방법에 의하면 중부영양호소로 볼 수 있는 저수지이다. 한편, 각 반응조에 1차투입하고 6일 경과 후의 비교군(Control)과 미생물제제인 Bio-Colony를 투입한 반응조에서는 투명도가 원수보다 나쁜 105cm과 112cm를 보인 반면 화학제인 살조제 투입 반응조(No. 3, No. 4, No 5)에서는 투입 6일 만에 반응조 바닥을 볼 수 있을 정도로 투명도가 좋았다. 아울러 탁도, 부유물질, 클로로필 a도 살조제 투입 반응조가 미생물정화제 주입 반응조보다 좋았다. 그러나 T-N과 T-P의 농도는 큰 변화가 없었다.

9월 17일에 살조제 투입으로 사멸된 조류를 분해시키기 위해 9월 13일에 각 반응조에 미생물을 투입하고 4일이 경과 된 9월 17일에 분석을 위해 시료 채취 후 육안으로 볼 때 물이 더욱 악화되어 미생물군 주입을 정지하고 Captain과 Cutline Plus, Tint Blue를 재투입하였다.

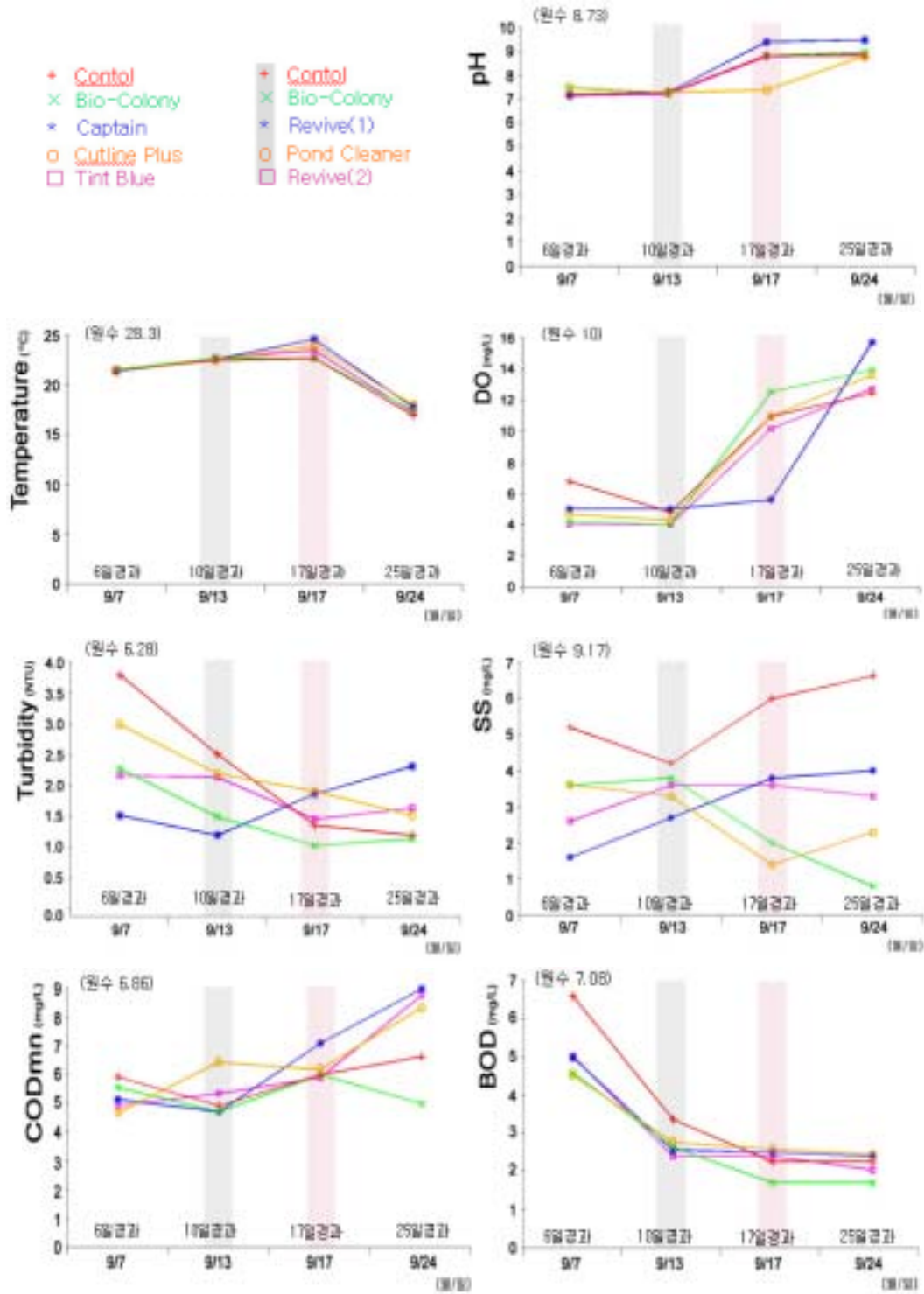
17일이 경과된(9월 24일) 후에 모든 반응조의 pH는 상승하기 시작했고, DO 농도도 No. 3의 Captain을 투입한 반응조를 제외하고 11mg/ℓ 이상의 DO 농도를 보였다. No. 3의 반응조는 푸른 이끼류가 많이 생기면서 투명도도 불량하기 시작했다. Bio-Colony 주입반응조의 탁도와 부유물질 농도도 타 반응조제 비해 매우 낮아졌다. 최초일로부터 17일이 경과되는 9월 24일에 살조제 및 미생물제제를 4차투입하였다. 그리고 10월 1일 분석한 결과 모든 반응조에서 pH는 약알칼리성인 8.8 이상을 보였고, DO도 과포화 상태였으며, 투명도는 미생물제제 투입 반응조와 가시광선 차단제를 투입한 반응조에서만 바닥이 보였다. 탁도 및 부유물질 그리고 COD, BOD, 클로로필-a 농도도 미생물제제 주입 반응조가 제일 낮았다. 그리고 T-N, T-P, 증발잔유물의 농도도 미생물제제 반응조에서 제일 낮았다.

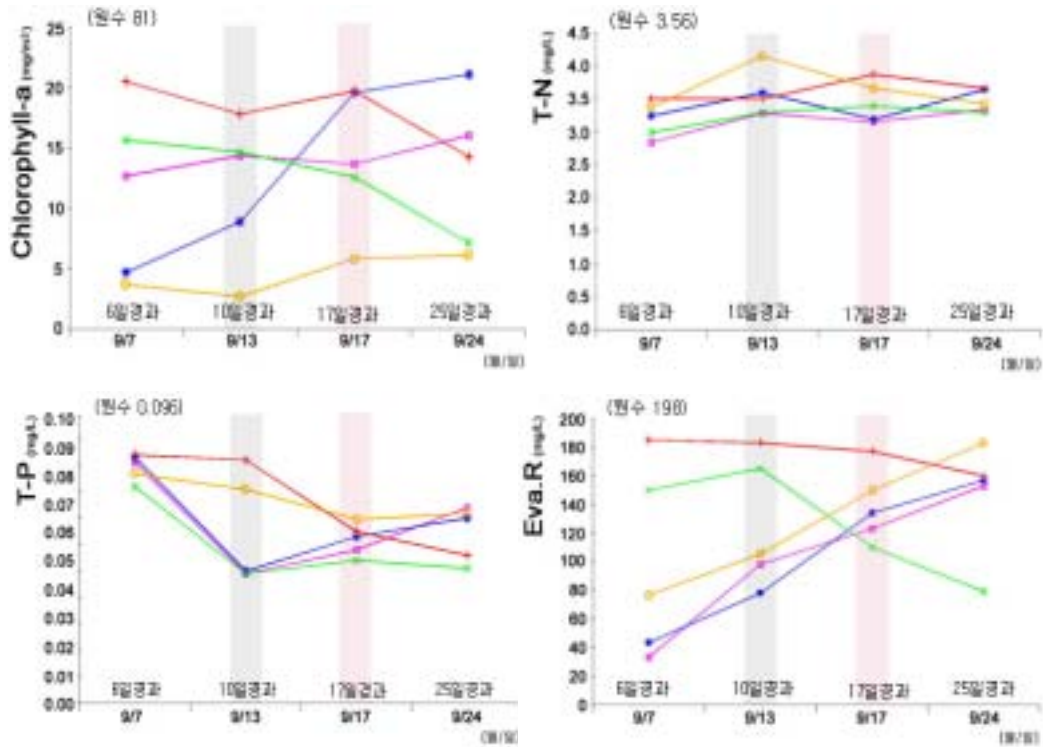
【표 59】 도형제수치 반응조 운영결과

날/월	반응조 No.	투입제	pH	Temp. (°C)	DO (mg/l)	Trans. (cm)	Turbid. (NTU)	SS (mg/l)	OODmn (mg/l)	BOD (mg/l)	Chloro-a (mg/m ³)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	Eva.R (mg/l)	
[9/6]		제수치원수	8.73	28.3	10	94	6.28	9.17	6.86	7.08	81	3.56	0.096	198	
	No.1	Control	7.14	21.5	6.8	105	3.80	5.2	5.92	6.50	20.7	3.50	0.094	185	
	No.2	Bio-Colony	7.49	21.6	4.2	112	2.28	3.6	5.56	4.58	15.8	2.99	0.082	150	
	No.3	Captan	7.18	21.4	5.0	114	1.52	1.6	5.14	4.99	4.71	3.24	0.093	43.3	
	No.4	Outline Plus	7.37	21.4	4.7	114	3.00	3.6	4.70	4.52	3.73	3.37	0.087	76.7	
9/13일석 (5일경과)	No.5	Tert Blue	7.17	21.6	4.0	114	2.17	2.6	4.92	5.02	12.8	2.84	0.091	33.0	
	[9/13] 2차투입 9/17일석 (10일경과)	No.1	Control	7.26	22.5	4.8	114	2.51	4.2	4.92	3.36	18	3.50	0.092	183
		No.2	Bio-Colony	7.26	22.7	4.0	114	1.50	3.8	4.71	2.54	14.8	3.29	0.049	165
		No.3	Penvek(1)	7.29	22.6	5.0	114	1.20	2.7	4.71	2.56	8.98	3.59	0.050	78
		No.4	Fond Cleaner	7.30	22.6	4.3	114	2.20	3.3	6.42	2.76	2.76	4.15	0.091	105
No.5		Penvek(2)	7.21	22.7	4.0	114	2.14	3.6	5.35	2.40	14.5	3.28	0.049	98	
[9/17] 3차투입 9/24일석 (11일경과)	No.1	Control	8.83	22.7	11.0	114	1.36	4.0	6.0	2.25	19.9	3.87	0.055	177	
	No.2	Bio-Colony	8.82	22.7	12.6	114	1.03	2.0	6.0	1.7	12.7	3.39	0.054	110	
	No.3	Captan	9.40	24.6	5.6	128	1.87	3.8	7.1	2.5	19.8	3.19	0.053	134	
	No.4	Outline Plus	7.40	23.9	11.0	114	1.92	1.4	6.2	2.6	5.9	3.67	0.070	150	
	No.5	Tert Blue	8.79	23.5	10.2	114	1.46	3.6	5.9	2.4	13.8	3.15	0.058	123	
[9/24] 4차투입 10/1일석 (25일경과)	No.1	Control	8.81	17.0	12.5	125	1.20	3.5	6.63	2.25	14.4	3.66	0.056	160	
	No.2	Bio-Colony	8.98	17.5	14.0	114	1.14	0.8	4.99	1.70	7.2	3.29	0.051	79	
	No.3	Captan	9.48	17.8	15.8	99	2.32	4.0	8.99	2.40	21.3	3.641	0.070	157	
	No.4	Outline Plus	8.89	18.1	13.7	120	1.52	2.3	8.35	2.45	6.2	3.43	0.072	189	
	No.5	Tert Blue	8.87	17.3	12.8	114	1.64	3.3	8.77	2.04	16.2	3.34	0.074	153	

* 단위 : 평균으로 나타낸 보일론의 값

[그림 41] 살조제 및 정화미생물제제를 투입후 경과시간에 따른 각 분석항목의 변화





[그림 41]은 [표 59]을 근거로 하여 살조제 및 미생물제제를 투입하고 경과 시간에 따른 각 분석항목의 변화를 도시하였다.

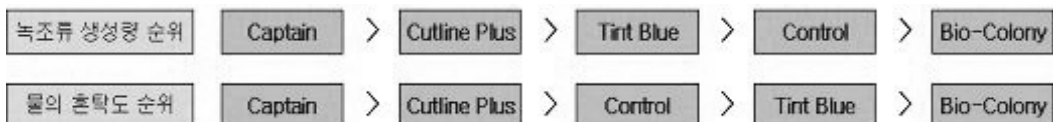
한편, Captain과 Cutline Plus 살조제를 투입한 반응조에서의 약 10일까지의 투명도는 양호했었으나 시간이 경과할수록 점점 불량해진 반면, Bio-Colony 주입 반응조에서는 바닥이 보일 정도로 더욱 투명해졌다. 그리고 탁도, 부유물질, COD, BOD, 클로로필-a, T-N, T-P 농도 모두가 화학약제를 주입한 반응조보다 상당히 양호하게 조사 측정되었다.

이상의 운영결과를 종합해 볼 때, 정화미생물제제인 Bio-Colony의 수질개선 효과는 처음에는 미미하다가 주입 10일경부터 정화효과를 나타내기 시작한 반면, 화학약제인 살조제류는 주입 6일 이내에 정화효과를 보였는데 시간이 경과할수록 수질이 불량해졌다.

[표 60]은 모형저수지 반응조에서의 육안적 관찰결과를 나타내었다.

[표 60] 모형저수지 반응조에서의 육안관찰

관찰 일자	No. 1 Control	No. 2 Bio-Colony	No. 3 Captain	No. 4 Cutline Plus	No. 5 Tint Blue
9/17	<ul style="list-style-type: none"> · Bio-Colony 보다 혼탁 · 부유물은 Bio-Colony보다 많음 	<ul style="list-style-type: none"> · 물은 맑은편이나 다소 혼탁 · 부유물질 적음 	<ul style="list-style-type: none"> · 푸른이끼 다량 증식 · 물색은 청색 	<ul style="list-style-type: none"> · Captain보다 이끼가 덜 생김 · 물색은 청색 	<ul style="list-style-type: none"> · 물은 맑음 (약간의 청색) · 이끼는 Cutline Plus 보다 적음
9/25	<ul style="list-style-type: none"> · 이끼류 없음 · 물은 맑은편임 · 바닥에 침전물 많음 	<ul style="list-style-type: none"> · 물은 제일 맑음 · 이끼류 전혀 없음 · 바닥 잘 보임 · 침전물 적음 · 교반기 제일 잘 보임 	<ul style="list-style-type: none"> · 물색은 청색 · 푸른이끼류 많이 생김 · 바닥 보이지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> · 용기벽면에 푸른이끼류 생성 · 물은 맑음 · 바닥 보이지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> · 용기벽쪽 (햇빛드는쪽)에 푸른이끼류 생성 · 교반기축에 이끼 많음 · 물은 맑음 · 바닥 잘 보임
10/1	<ul style="list-style-type: none"> · 물은 맑음 · 용기벽에 이끼 약간 발생 · 바닥은 약하게 보임 	<ul style="list-style-type: none"> · 물은 제일 맑음 · 교반기 제일 잘 보임 · 바닥 제일 잘 보임 · 용기벽면에 이끼 생성하나 제일 적음 	<ul style="list-style-type: none"> · 물은 맑지 않음 (탁해보임), 물색은 녹색 · 탁도 높은편임 	<ul style="list-style-type: none"> · Tint Blue보다 맑지 않음 · 바닥은 보이는 편 · 녹색을 띠 · 용기벽에 이끼 생성 	<ul style="list-style-type: none"> · 물은 맑음 · 바닥보임 · 물색은 약간 청녹색 · 용기벽면에 이끼 생성



한편, Bio-Colony가 주입된 반응조에서는 빈영양호에서 출현하는 *Tebellaria flocculosa*와 맑은 물에서 볼 수 있는 *Microcystis smithii* 등 14여 종을 볼 수 있었는데, 화학약제가 주입된 반응조에서는 약제에 내성이 강하고 오수성의 *Scenedesnus acuminatus*와 *Ankistrodesmus gracilis* 등이 극소수 출현했었으며, 녹색의 이끼류가 뭉쳐서 부유하는 것을 볼 수 있었다.

제 4 절. 결 론

모형저수지 반응조에서 화학적인 살조류(Algaecide)와 생물학적인 정화미생물제제를 주입하여 수질개선 실험 연구를 한 결과는 다음과 같다.

- (1) 정화미생물제제인 Bio-Colony의 수질개선 효과는 주입한지 17일정도 경과해야 수질이 개선되는 것을 볼 수 있었고, 시간이 경과할수록 수질개선효과는 점차적으로 증가하는 것을 볼 수 있었다. 정화된 수표면의 색은 매우 맑았으며 물에서 육안으로 관찰되는 수서생물들을 다수 볼 수 있었다.
- (2) 화학약제인 살조류는 거의 황산구리계통으로서 주입한지 6일 이내에 투명도 등이 향상되는 것을 볼 수 있었고, 15일 후의 수표면에는 푸른이끼류가 많이 생겼으며 수색은 옅은 잉크색을 띄고 있었다. 육안적으로 볼 수 있는 수서생물은 없었다.
- (3) 광합성 억제제인 Tint Blue의 효과는 주입한지 6일이 경과했을 때와 25일이 경과했을 때의 수질분석 값은 비슷했었고, 물의 투명도는 맑게 보였으며 수색은 옅은 잉크색을 띄고 있었다. T-N, T-P의 변화에도 영향을 주지 못했다.
- (4) 푸른이끼류의 다량발생 순위는 Captain이 제일 많이 생성시켰고, Cutline Plus → Tint Blue → Control → Bio-Colony 순위였다. 물의 혼탁도 순서는 Captain이 제일 혼탁하였고, Cutline Plus → Control → Tint Blue → Bio-Colony 순으로 관찰되었다.
- (5) Bio-Colony 반응조와 Control 반응조에서는 비교적 수서곤충류가 많은 것을 볼 수 있는 반면, 살조제 투입 반응조에는 눈에 띄는 수서곤충류는 거의 없었으며 Tint Blue 반응조를 제외한 Captain과 Cutline Plus가 투입된 반응조에는 푸른이끼류가 무성하게 뭉쳐져 있는 것을 볼 수 있었다.

제 12 장 실용화 및 사업화를 위한 경제성 검토

본 연구의 핵심기술은 준설된 저니 중의 물과 고형물을 7분 이내에 분리시키는 고액분리시스템과 배수 및 탈수시스템인데, 그 이전에 퇴적저니를 지상의 고액분리시스템으로 준설 이송시키는 준설선박 구매비용과 운영비용을 산출할 수 없어 비용발생 부분만 편의상 나열하였다.

제 1 절. 퇴적저니 준설복원이 적용되는 저수지의 수질개선·복원

(1) 준설시스템

- 전용준설선박(시간당 70~150m³ 준설용)
- 준설물 이송배관 라인과 부력설비

(2) 고액분리시스템

- 이물질 및 모래제거선별기
- 무기계급속 응결·응집 주입장치
- 급속·완속교반반응조
- 침강설비
- 적외선센서 감지장치
- 침강고형물 배출펌프
- 무기계급속응결·응집제

(3) 배수·탈수시스템

- 토목마대 Geo bag·tube
- 진공흡인 웨지벨트탈수기
- 기계식 탈수시스템
- 흙막이 배수·탈수공법
- * 현장여건에 따라 알맞은 공법선정을 해야 한다.
- 배수·탈수액을 저수지로 되돌리는 시스템

- (4) 재차오염방지설비(Bio-Fan)
- (5) 배수·탈수케익 최종처분
 - 방법에 따라 비용비담의 차이가 매우 클 것으로 판단된다.
- (6) 기타
 - 보유수량 및 퇴적저니량 산출을 위한 측량비
 - 설비가동에 필요한 발전시스템
 - (필요에 따라)한국 전력의 전력설치비 및 사용비
 - 수질개선여부판단 분석비용
 - 인건비

제 2 절. 준설복원이 적용되지 않는 저수지의 수질개선

- (1) 보유수량 및 퇴적량 조사를 위한 측량비
- (2) 살조제 및 정화미생물제제 구입비
- (3) 재차오염방지설비(Bio-Fan)
- (4) 수질개선여부판단 분석비용
- (5) 인건비

제 13 장 기대효과

본 공법의 정화 및 복원공정은 하천준설을 포함한 토목준설과 달리 원천적인 농업용 저수지의 수질개선과 복원차원에서 퇴적저니를 제거하기 위한 목적으로 국내에는 유사 공법이 없는 최초의 시스템과 공법이다. 또한 장점은 저수지의 수환경과 주변 환경을 파괴하지 않고 최소 부지에서 단시간에 위치와 지역에 관계없이 어떠한 저수지에도 적용가능하고 모든 공정의 시스템이 연속적으로 작업현장에서 행해지는 것이 큰 장점이다. 특히, 준설 시에 대량으로 발생하는 준설저니물을 현장에서 고액분리시킨 후에 배수·탈수 설비에 의해 물기를 제거하기 때문에 그 양은 상당히 감소되어 최종 처리처분이 경제적으로 이루어지게끔 유도하게 된다. 이러한 것들이 본 연구 개발자만이 소유하고 있는 100% 국산인 환경친화적인 무기계 급속 응집제의 효능 때문이라 사료된다.

한편, 퇴적저니가 저수지에서 지상으로 퍼 올리는 동시 고액분리가 이루어져 상등수의 맑은 물은 상수원으로도 이용될 수 있는 만큼 깨끗하게 정화되어 다시 저수지로 되돌리고 침강 고형물은 침강 즉시 탈수·배수 설비로 유입되어 물기를 배수 및 탈수시킨다. 사용되는 무기계 응집제는 자연계의 천연소재로 만들어진 친환경성의 소수화 응결응집제이므로 고액분리속도가 매우 빠를 뿐만 아니라 탈수성도 좋으며 탈수 케익은 자연계로 되돌려도 문제가 없는 응집제이다. 응집제의 주 성분이 농업용 객토, 복토 또는 개량제로 현재 사용하고 있어 환경친화적인 약제이다.

1. 기술적 측면

- (1) 부영양화로 오염된 농업용 저수지의 물을 전혀 배수하지 않고 준설정화가 이루어지며 잔류퇴적저니로 인해 복원 후에도 수역자체의 자정능력을 발휘할 수 있는 기회가 제공된다.
- (2) 모든 작업이 연속적으로 현장에서 빠르게 진행되어 작업시간을 단축시켜 경제적이다.

- (3) 녹조류만 제거할 경우, 한시적인 것에 비해 본 공법은 원천적인 복원방법이므로 반영구적인 방법이 될 수 있다.
- (4) 농로의 지반이 약하고 수심이 얕은 농업용 저수지에도 준설장비의 투입이 가능하다.
- (5) 사용될 친환경적 칼슘계 무기응집제는 100% 국산이므로 수입품에 비해 경쟁력이 확보되는 기회가 마련된다.
- (6) 비농사에 영향을 주는 유해물질 제거(총질소·총인)로 경쟁력이 확보되는 수도작의 기회가 제공된다.
- (7) 준설저니를 현장에서 배수·탈수 시키게 되므로 이로 인해 감량화 되어 최종 처분이 쉬워져 경제적이다.
- (8) 준설작업 후에 정체성수역을 순환형으로 바꿔주므로 2차적 부영양화 발생을 예방할 수 있거나 발생되더라도 그 기간을 상당기간 길게 하므로 수자원의 역할을 장기간 발휘할 수 있어 경제적이다.
- (9) 오염된 하천에도 적용 가능한 공법이다.
- (10) 도심지의 조경용 호저수지와 양식장, 골프장 내의 연못과 소규모 저수지의 정화에도 적용가능하다.

2. 경제·산업적 측면

농업용 저수지의 수질개선과 복원으로 쌀 시장 개방에 대체할 수 있는 계기가 마련되므로 농민들에게 정서적으로 안정감이 부여된다. 그로인해 농민들에게 정부(농림부)의 신뢰도가 재고되는 기회가 마련된다. 비상시에는 상수원 저수지로도 이용가능하게 되고 가뭄대비 농업용수 걱정이 해소된다. 도심지의 조경용 저수지에 적용으로 도시민의 친수공간이 조성되어 삶의 질을 향상시켜 정서함양의 기여도가 증진된다.

- (1) 외국의 수입기술에 대한 대체효과로 외화낭비를 예방할 기회가 제공된다.
- (2) 개발된 기술은 중국을 비롯해 동남아로 이전 가능해져 외화획득의 기회가 제공된다.

- (3) 복원 된 저수지는 양질이 수질을 갖추므로 양질의 쌀을 수확할 수 있어 품질측면에서 경쟁력이 제공된다.
- (4) 상수원 처리비용 절감과 발암물질인 Humic acid 생성기회가 상실되어 국민보건 향상에 기여한다.
- (5) 사용가능한 농업용수 확보로 농업생산성 향상에 기여된다.
- (6) 퇴적저니준설로 수질정화 후 재차오염설비를 설치함으로써 반영구적인 저수지로 복원되어 농업적/산업적으로 이익이 창출될 수 있다.
- (7) 배수·탈수 케익은 토양개량제로 재이용 시 토질이 활성화되어 노화를 막고 생산량의 증가로 농민의 소득증대에 기여할 것으로 사료된다.
- (8) 민간유원지와 낚시터 및 양어장에 적용으로 경제적 이득이 창출된다.

3. 활용방안

(1) 핵심기술의 활용분야

우리나라의 농업용 저수지는 물론 지방자치단체장이 관리하는 저수지 그리고 비점오염, 점오염으로 인해 수역의 기능을 상실한 하천과 도심지 내의 친수공간이 제공되는 저수지 및 양어장, 골프장의 연못과 저수지가 복원대상이 된다.

(2) 활용유형

해당관련 산업체에 기술이전도 가능하며 이미 산업재산권(특허 제 0457383호, 2004년 11월 5일)이 등록 된 상태이다.

(3) 활용방안

농림기술관리센터의 지원 하에 pilot plant를 설계·제작하여 현장에 설치 운영하여 문제점을 도출해서 이미 수정·보완이 완료된 상태이며 또한 재연성이 확보되었으므로 정부로부터 인정받아 총괄연구 책임자가 주체가 되어 참여기업과 공동으로 사업화하려는 계획을 가지고 있다.

<참고문헌>

1. 농림부, 농업기반공사 : 농업용수 수질관리종합보고서, (2002. 08. 01)
2. 농림부, 농업기반공사 : 저수지 준설사업 관리요령, (2002. 12)
3. 농림부, 농업용수 수질실태 조사보고서, (2000. 5)
4. 농림부, 농업용수 수질실태 조사요령, (2000. 5)
5. 농림부, 농업용수 수질관리 지침, (2000)
6. 농림부, 농업기반공사 : 농업용수 수질오염원 조사 종합보고서, (2000.5)
7. 농림부, 농업기반공사 : 농업용수 수질측정망보고서, (2002. 12)
8. 농림부, 농업기반공사 : 저수지 준설사업 중·장기계획 수립조사보고서,
(2002. 12)
9. 농림부 : 저수지 준설토의 효율성 활용방안 연구, (1996. 11)
10. 농업진흥공사 : 수문조사편람, (1994)
11. 서울특별시 : 공원연못 수질개선방안 연구, (2003. 3)
12. 유재근 외 4인 : 환경생태공학. 도서출판 그루, (2002. 8)
13. 한국토목섬유학회 : 토목섬유학술발표 논문집, (2002. 5)
14. 최영길 외 3인 : 담수의 부영양화. 신광출판사, (1995. 10)
15. 윤성윤 외 2인 : 수질 및 저질분석. 21세기사, (1999. 2)
16. 국립환경연구원 : 호소내조류대발생에 대한 수면제어기술에 관한 연구(Ⅲ)
17. 건국대학 : 일감호 정화위원회 자료집, (1982~1998)
18. 국립환경연구원, 수질화학과 : 호소 및 하천퇴적물 분석서침(안), (1997. 7)
19. 국립환경연구원 : 하천 및 호소의 정화방안
20. 조규성 외 10명 : 호수환경조사법. 동화기술
21. 대한환경공학회 : 호수의 수질관리. 도서출판 풍남
22. 환경부 : 기존 정수장 효율 향상 기술(조류의 정량분석)
23. 박철휘, 최석순 : 환경미생물실험. 동화기술, (2002)
24. 김범철외 2인 : 한강수계 인공호의 부영양화에 관한 비교 연구.
한국육수학회지, 21(3), 151~16, 3 (1988)

25. 김범철 외 4인 : 대청호에서 생성된 남조류 독소의 계절변화.
한국수질보전학회지 proceeding, 145~148 (1998)
26. 김범철 외 5인 : 국내 호수에서 발생하는 남조류 독소의 분포.
한국수질보전학회지 proceeding, 141~14, 4 (1998)
27. 김중기, 심경애 : 한국 호수의 부영양화도 지수 개발. 강원대학교 환경학과
졸업논문집, 13: 51~5, 5 (1996)
28. Aizaki, M., A. Otsuki, T. Fukushima, T. Kawai, M. Hosomi and K.
Muraoka, Application of modified Carlson's trophic state index to
Japanese and its relationship to other parameters related to trophic
stage, *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.*, 23: 13~31 (in japanese),
(1981)
29. Carlson, R, E, A trophic state index for lakes, *Limnol. Oceanogr.*, 22:
361~369, (1977)
30. Dillon P. J. and F.H. Rigler, The phosphorus-chlorophyll relationship in
lakes, *Limnol. Oceanogr.*, 61: 453~470, (1974)
31. EPA, Quantitative techniques the assessment of lake quality, EPA,
440/5-79-015, (1979)
32. Vollenweider, R.. A., Nauwerck, Some observations on the 14C method
for measuring primary production, *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 14:
134~139, (1961)
33. Vollenweider, R.. A and J. Kerekes, OECD cooperative programme on
moniting of inland water, Synthesis Report, (1980)
34. <http://www.keeneengineering.com>
35. 환경관리공단 : 팔당호 퇴적물 영향조사 최종보고서, (2002. 6)
36. 국립환경연구원 : 호소 및 하천의 퇴적물 조사, (1998)
37. 국립환경연구원 : 퇴적물 조사
38. 국립환경연구원 : 호소 및 하천의 퇴적물 분석지침, (1997)
39. 수자원연구소 : 댐저수지의 조류사진집. 도서출판 아카데미서적, (2000. 1)
40. 정 용 : 한국 담수조류 도감, 아카데미서적, (1993)

41. 조규송 : 한국 담수동물 플랑크톤 도감, 아카데미서적, (1993)
42. 이현동 외 2인 : 상수도의 생물, 도서출판 진리탐구, (1996)
43. 백은기 : 측량학, 청문각, (1986)
44. KT건설(주) : GPS 탐사에 의한 저수지 퇴적량 조사
45. 김홍석 : 기흥저수지 퇴적층과 수층경계에서의 오염물질 특성에 관한 연구, 석사학위 논문, 경희대학교 대학원, (2000. 2)
46. 이성재 : 오염준설퇴적물감량화 및 재활용을 위한 물리화학적-생물학적 연계처리공정, 박사학위 논문, 중앙대학교 대학원, (2003. 6)