

최 종  
보 고 서

농어촌 하천 및 저수지의  
오염된 퇴적물의 처리 및 재활용 공법 연구

서울대학교 농업생명과학대학

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농어촌 하천 및 저수지의 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용 공법 연구”  
의 최종보고서로 제출합니다.

2003년 08월 일

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 장 병 욱

세부연구책임자 : 정 하 우

연 구 원 : 우 철 응

연 구 원 : 손 영 환

연 구 원 : 원 정 윤

연 구 원 : 김 성 필

연 구 원 : 차 경 섭

연구보조원 : 김 재 형

연구보조원 : 허 준

연구보조원 : 박 재 성

# 요 약 문

## I. 제목 : 농어촌 하천 및 저수지의 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용 공법 연구

### II. 연구개발의 목적 및 필요성

#### 1. 연구개발의 필요성

농어촌 지역의 저수지와 중·소하천은 매우 중요한 농업용수원으로 이들의 통수능력과 저수능력은 농어촌지역의 농업 및 생활용수의 공급과 홍수조절 및 수질관리 측면에서 매우 중요하다 할 수 있다.

하천의 통수능력과 저수지의 저수능력은 여러 가지 요소에 의해 영향을 받지만, 하상과 저수지 바닥에 퇴적되는 퇴적물에 크게 영향을 받는다. 따라서 현재 농어촌 지역의 중·소하천의 하상과 저수지에 퇴적된 퇴적물의 현황을 파악하는 것은 향후의 농업용수 공급원의 확보와 하천의 농업용수 수질개선 및 홍수조절능력 향상이라는 측면에서 매우 중요하다 할 수 있다. 또한 이들 퇴적물이 하천 및 저수지로 유입되는 오염물질에 의해 오염되어 있는 경우 단순히 준설하여 폐기하는 것은 이차적인 오염을 유발할 수 있다.

결론적으로 농어촌 지역의 중·소하천의 하상 및 저수지에 퇴적된 퇴적물은 단순 폐기할 수 없는 오염물로서, 그리고 자원의 재활용 측면에서 처리공법이 개발되어야 한다.

#### 2. 연구의 목적

이에 본 연구에서는 현재 농어촌 하천 및 저수지 퇴적물의 오염정도를 파악하고 그 처리 및 재활용을 위한 기준과 그에 대한 적합성을 파악하고자 한다. 또한 소규모의 준설

및 처리에 적합한 처리 프로세스를 개발하고 이를 통해 처리된 준설토의 특성을 파악하여 그 적합성에 대하여 고찰하고자 한다.

### III. 연구개발의 내용 및 범위

#### 1. 하천 및 저수지 퇴적물 현황조사 및 유역특성조사

가. 조사유역 선정 및 유역특성 조사

나. 퇴적물 현황조사

다. 준설토의 필요성 및 준설토 퇴적물의 처리 및 이용실태 조사

#### 2. 하천 및 저수지 퇴적물의 공학적·화학적 특성 연구

가. 퇴적토의 공학적 특성 분석

나. 퇴적토의 화학적 특성 분석

다. 퇴적토의 오염 특성 분석

#### 3. 준설토 퇴적물의 처리 및 재활용 방안 조사 연구

가. 처리 및 재활용을 위한 기준 연구

나. 준설토 퇴적물의 처리 및 재활용 방안 연구

#### 4. 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용 지침 개발

#### 5. 준설토 퇴적물의 재활용 연구

가. 퇴적물의 처리 프로세스 연구

나. 고화재의 혼합에 따른 처리토의 특성 연구

다. 처리토의 공학적 활용성 연구

라. 고화처리토의 적용성 연구

마. 퇴적토 처리 Plant 개념 설계



## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 연구개발 결과

가. 여러 하천 및 저수지 퇴적물에 대한 현장 조사를 실시하고 실내시험을 통하여 물성 및 화학성분 분석을 실시하였다. 그 결과 물성치에서 특이사항은 발견되지 않았으며 화학성분에 대한 분석결과 토양 오염물질로 규정된 항목 중에서 6가크롬(Cr+6), PCB, 유기인, 시안(CN)은 검출되지 않았다. 일부 지역에서 페놀과 TPH가 토양오염 우려기준을 초과하는 것으로 나타났으며, 검출되지 않아야할 BTEX가 검출된 지역이 있어 주의가 필요한 것으로 판단된다. 퇴적물의 활용측면에서 문제가 되는 유기물의 경우 최대 9% 이상의 유기물 함량을 나타내었으므로 성토재료 등으로 활용하고자 하는 경우 대책일 필요한 것으로 나타났다.

나. 토양오염지표를 이용하여 퇴적물의 오염정도를 분석한 결과, 몇몇 시료의 경우 토양오염등급 2, 3등급으로 토양오염의 우려가 있는 것으로 나타났다. 따라서 이들 지역에 있어서 유역의 오염원에 대한 관리 및 하상 퇴적물의 오염정도 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

다. 하천 퇴적물 준설량을 판단하기 위하여 조사구간을 선정하였으며, 하천의 원 바닥과 그 상부의 퇴적층을 구분하고 준설량을 산정하였다.

라. 본 연구에서 채취한 퇴적물의 처리방안에 대하여 고찰한 결과, 객·복토용 재료로 활용할 경우 pH 및 중금속 기준 등 대부분의 경우에 문제점은 발견되지 않았다. 단지 수은 함량이 대부분 높게 나타나 주의가 요구되며, 유기물 함량이 낮은 경우에는 퇴비나 유기질의 사용 등 토양개량에 대한 적절한 대책의 수립이 요구된다.

마. 골재 및 성토재료로의 활용에 있어 대부분의 퇴적물이 골재 또는 성토재료의 노상,

기층 등에 재료로 활용이 가능할 것으로 나타났다. 단지 모든 재료 기준에 적합할 수는 없으므로 적절한 활용처를 찾거나 특성의 개량이 필요할 것이다.

바. 고화처리 프로세스에 대한 연구로서 시멘트를 기초로 준설토를 처리하는 경우 발생하는 수화단계별 상변화와 그에 따른 다짐성의 판단에 대한 연구결과, 중·소하천 및 저수지 퇴적물을 시멘트를 이용하여 고화처리 하는 경우 수화과정에 따른 soil-cement의 상 변화를 풀콘 시험을 통하여 확인할 수 있으며, 이를 이용하여 처리과정에 있어서 soil-cement의 다짐성을 판단할 수 있다. 따라서 풀콘시험을 통하여 시멘트의 배합비에 따른 다짐성과 상 변화에 따라 다짐상태에 도달하는 시간을 결정할 수 있다.

사. 준설 퇴적물에 대한 주고화재인 시멘트와 시멘트 배합에 대한 처리프로세스를 발안 저수지와 황구지천에서 채취한 퇴적물에 적용하여 고화처리된 혼합물의 강도특성, 투수 특성, 다짐특성 및 CBR 특성에 대하여 고찰하였다.

아. 마지막으로 실제 준설 퇴적물에 대한 시공과정에서의 주의 사항에 대하여 제안하였다.

## 2. 기대효과 및 활용방안

가. 기존의 상대적으로 고가인 고화재 및 혼합장비 등에 대한 의존도를 줄일 수 있으며, 방치후 다짐 공정을 거치면 고화재의 사용량을 감소시킬 수 있다.

나. 본 연구에서 제안한 고화처리 방법을 적용하여 활용성이 매우 적은 세립질 퇴적물의 활용범위가 커질 수 있을 것이다.

다. 본 연구에서 제안한 풀콘을 이용한 soil-cement의 상변화에 대한 연구는 시멘트뿐만 아니라 기존의 시멘트계 고화재의 경우에도 적용성이 있을 것으로 판단되므로, 간척

지 등의 연약지반 상에 축조된 농도 등의 노상처리에 그 적용성이 있을 것으로 판단된다.

라. 소규모 저수지 및 하천의 준설에 있어 효율적으로 적용할 수 있는 준설토의 처리방안이 될 수 있을 것이다.

마. 본 연구의 결과를 저수지 준설토의 경우 저수지 진입로, 하천 퇴적물의 경우 경작지내 비포장 농도 등의 유지보수에 적용할 수 있을 것이다.

### 3. 건의

가. 본 연구에서 하천 및 저수지 퇴적물에 대한 조사를 수행한 결과 자체적으로 활용성이 높은 경우가 많았으므로, 준설시 이들의 활용에 대한 보다 적극적인 계획이 포함되도록 해야 한다.

나. 자체적으로 활용성이 떨어지는 경우에도 적절한 처리를 거치면 농촌 마을 내의 공동공간 조성, 마을내 도로, 비포장 농도 및 하천제방 보수 등에 충분히 활용이 가능한 것으로 보이므로, 농촌공간의 구조물에 대한 설계조건에 이를 반영하는 것이 바람직하다.

# SUMMARY

## I. Title

Research on the treatment and recycling methods of the dredged materials from small streams and reservoirs in rural area.

## II. Objectives and Importance of the research

Small streams and reservoirs are very important agricultural water supply. Therefore discharge and storage capacities of streams and reservoirs are very important in agricultural water supply and for flood control management. These capacities are influenced by the deposited materials in the stream and reservoir beds. The deposited materials are sometime recommended to be dredged for improving discharge and storage capacities of the streams and reservoirs. Thus, it is much important to investigate the amount and present conditions of deposited materials in the streams and reservoirs.

The dredged materials can be recycled, if their engineering properties are suitable for aggregate, embankment materials and agricultural soils, etc. If the soils dredged from stream are contaminated, then they cannot be simply recycled. If these contaminated materials are used without suitable treatment, it will cause another pollution. Therefore dredging and treatment methods of these materials have to be carefully selected and studied.

In this study, the physical, chemical characteristics and the existing condition of deposited materials are investigated. And suitable treatment techniques and recycling methods for the deposited materials are developed.

### **III. Contents and scope of the research**

Contents and scope of the research are as follows.

- 1. Investigation on the existing condition of deposited materials and the characteristics of water basin.**
  - a. Selection of study area and investigation of its water basin.
  - b. The existing condition of deposited materials.
  - c. The amount of dredging and possible amount of recycling of dredged materials
  
- 2. Investigation on the physical and chemical properties of deposited materials**
  - a. Physical properties.
  - b. Chemical properties.
  - c. Analysis of the degree of contamination level.
  
- 3. Study on the treatment and recycling methods of deposited materials.**
  - a. Criteria for treatment and recycling.
  - b. Treatment and recycling methods of deposited materials.
  
- 4. Development of the guidelines of treatment and recycling for deposited materials.**
  
- 5. Study on the recycling of deposited materials.**

- a. Treatment process of deposited materials.
- b. Characteristics of the mixtures with several solidifying agents.
- c. Engineering application of the treated mixtures.
- d. Conceptual design for mixing plants of dredged materials.

#### **IV. Results of Research**

- a. From analysis on physical and chemical properties of deposited materials, no peculiarities are founded. But it seems that some suitable treatments are required for certain samples, such as soils over 9% of organic material contents and high mercury contents(Hg).
- b. Contamination level of materials at site are analyzed using SPI(soil pollution index). Some samples are Grades 2 and 3. It is suggested that continuous monitoring on contamination level of the deposited materials are required.
- c. A test area is selected and investigated to estimate the amount of dredged materials of small stream in rural area.
- d. Most samples are founded that they can be used at least one or more recycling purposes. Even though some samples are unsuitable for recycling, solidification methods using cement and other mixing agents can be applied to improve soil properties.
- e. A series of test is performed to develop an appropriate treatment process. The results are as follows.
  - Fall cone test is introduced to evaluate the consistency of the instant soil-cement mixture. It is found that phase change of the instant soil-cement mixtures can be quantitatively detected by fall cone penetration.
  - Penetration depth may vary with water content, curing time and amount of

cement in the instant soil-cement mixtures. Penetration depth may be directly be related to shear strength of soil and can be used to interpret compactability of soil.

- The results of fall cone penetration test are compared with the results of hydration heat test that can be interpreted the phase change of soil in this study.
  - Results reveal that fall cone penetration depth of 1mm or less is a threshold for a compactable state of the instant soil-cement mixtures. Test data shows that change in shear strength occurs at the same moment when hydration heat of soil-cement begins to increase.
  - Both fall cone and hydration heat tests are used to predict phase change and compactability of instant mixture of soil-cement.
- f. Engineering properties of solidified mixtures are investigated. The results are as follows.
- Optimum mixing ratio of cement for the selected two samples are found from a series of fall cone and compaction tests.
  - When cement is mixed more than the optimum mixing ratio, no more unit weight is increased.
  - It is founded that small amount of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  and lime-fly ash increases effectively the strength of soil-cement mixture.
  - It is founded that permeability of soil-cement mixture is decreased with mixing ratio increasing.
  - It is founded that CBR value of soil-cement mixture is increased with mixing ratio increasing. But when cement is mixed more than the optimum mixing ratio, increasing ratio of CBR value is decreased.

# 목 차

<b>Chap. 1 General</b> .....	<b>1</b>
Sec. 1 Introduction .....	1
Sec. 2 Objectives and work scopes of the research .....	10
Sec. 3 Procedures of the research .....	14
Sec. 4 Summary and conclusion .....	18
<b>Chap. 2 Investigation on the existing condition of deposited materials</b> .....	<b>19</b>
Sec. 1 Introduction .....	19
Sec. 2 Existing condition of deposited materials and water basins .....	20
Sec. 3 Characteristics of deposited materials .....	53
Sec. 4 Analysis of the degree of contamination level .....	66
Sec. 5 Amount of the deposited materials of small streams .....	74
Sec. 6 Summary and conclusion .....	84
<b>Chap. 3 Study on the treatment and recycling methods</b> .....	<b>86</b>
Sec. 1 Introduction .....	86
Sec. 2 Existing condition of treatment and recycling .....	86
Sec. 3 Criteria for treatment and recycling .....	92
Sec. 4 Treatment and recycling methods of deposited materials .....	108
Sec. 5 Development of the guidelines of treatment and recycling .....	123
Sec. 6 Summary and conclusion .....	128
<b>Chap. 4 Solidification of deposited materials</b> .....	<b>129</b>
Sec. 1 Introduction .....	129
Sec. 2 Solidifying agent and general solidification methods .....	130
Sec. 3 Selection of solidification method and soil cement .....	140
Sec. 4 Treatment process of deposited materials .....	155



Sec. 5 Characteristics of the solidified mixtures .....	184
Sec. 6 Summary and conclusion .....	208
<b>Chap 5 Suggestions for the solidification of deposited material .....</b>	<b>211</b>
Sec. 1 Introduction .....	211
Sec. 2 Mixing method and plant .....	211
Sec. 3 Suggestions for construction techniques .....	215
Sec. 4 Suggestions for quality control .....	218
Sec. 6 Summary and conclusion .....	220
<b>Chap. 6 Summary and conclusion .....</b>	<b>221</b>
<b>References .....</b>	<b>228</b>

# 목 차

제 1 장 총론	1
제 1 절 서론	1
1. 연구개발의 필요성	1
2. 국내·외 관련기술의 현황과 문제점	6
제 2 절 연구개발의 목표 및 내용	10
1. 연구개발 목표와 내용	10
2. 연차별 연구개발 목표와 내용	11
제 3 절 연구개발 추진체계	14
1. 추진 전략의 기본	14
2. 연구개발을 위한 퇴적물의 확보 및 특성 조사	15
3. 기술정보의 수집	15
4. 추진체계	16
5. 연구진	17
제 4 절 요약 및 결론	18
제 2 장 하천 및 저수지 퇴적물의 현황 조사	19
제 1 절 서론	19
제 2 절 조사 구역 및 퇴적물 현황	20
1. 구역의 분류 및 선정	20
2. 퇴적물 현황	23
3. 요약	52
제 3 절 퇴적물의 특성 분석	53
1. 개요	53
2. 퇴적물의 공학적 특성 분석	53
3. 퇴적물의 화학적 특성 분석	60

4. 요약 .....	65
제 4 절 퇴적물의 오염지표 연구 .....	66
1. 개요 .....	66
2. 오염지표 .....	66
3. 분석결과 .....	68
4. 요약 및 결론 .....	73
제 5 절 하천 준설량 조사 .....	74
1. 개요 .....	74
2. 준설량 조사방법 .....	74
3. 조사결과 .....	78
4. 요약 .....	82
제 6 절 요약 및 결론 .....	84
<b>제 3 장 준설 퇴적물의 처리 및 재활용 방안 연구 .....</b>	<b>86</b>
제 1 절 서론 .....	86
제 2 절 기존 퇴적물의 처리 및 이용실태 조사 .....	86
1. 개요 .....	86
2. 준설현황 .....	88
3. 준설 퇴적물의 처리현황 .....	89
4. 요약 .....	91
제 3 절 준설 퇴적물의 처리기준 연구 .....	92
1. 객·복토용 .....	92
2. 골재 .....	95
3. 도로성토용 재료 .....	101
4. 사토처리 .....	106
5. 요약 .....	107
제 4 절 준설 퇴적물의 처리방안 연구 .....	108
1. 객·복토재료 .....	108

2. 골재 .....	114
3. 도로성토재료 .....	118
4. 사토처리 .....	122
5. 요약 .....	122
<b>제 5 절 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용 지침 .....</b>	<b>123</b>
1. 개요 .....	123
2. 처리 및 재활용 방안의 검토 .....	123
3. 퇴적물 특성의 검토 .....	126
4. 처리 및 재활용 지침 .....	126
5. 요약 .....	127
<b>제 6 절 요약 및 결론 .....</b>	<b>128</b>
<b>제 4 장 준설 퇴적물의 고화처리 .....</b>	<b>129</b>
제 1 절 서론 .....	129
제 2 절 고화재 및 고화처리 일반 .....	130
1. 시멘트 .....	130
2. 기타 고화재 및 첨가제 .....	132
3. 일반적인 고화처리 방법 .....	134
4. 요약 .....	139
제 3 절 고화처리 방법의 선정 및 soil-cement 일반 .....	140
1. 개요 .....	140
2. 시멘트에 의한 처리방법의 선정 .....	140
3. Soil cement 일반 .....	141
4. 요약 .....	154
제 4 절 고화처리 Process 연구 .....	155
1. 개요 .....	155
2. 재료 및 방법 .....	156
3. 결과 및 고찰 .....	160

4. 요약 .....	182
제 5 절 고화재 처리토의 특성 연구 .....	184
1. 개요 .....	184
2. 재료 .....	184
3. 시험방법 .....	187
4. 시험결과 및 고찰 .....	191
5. 요약 .....	206
제 6 절 요약 및 결론 .....	208
<b>제 5 장 퇴적물 고화처리에 관한 제언</b> .....	<b>211</b>
제 1 절 개요 .....	211
제 2 절 고화처리플랜트 .....	211
1. 원위치 교반 .....	211
2. 플랜트(Plant) 혼합 .....	212
3. 고화처리플랜트의 제안 .....	214
제 3 절 시공에 관한 제언 .....	215
1. 준비 및 혼합 .....	215
2. 다짐 .....	216
3. 양생과 보호 .....	217
제 4 절 품질관리에 대한 제언 .....	218
1. 분쇄정도의 평가 .....	218
2. 고화재의 함량 .....	219
3. 혼합의 균질성 .....	219
제 5 절 요약 및 결론 .....	220
<b>제 6 장 요약 및 결론</b> .....	<b>221</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>228</b>

# 제 1 장 총 론

## 제 1 절 서론

### 1. 연구개발의 필요성

#### 가. 기술적 측면

##### 1) 농어촌 지역 하천 및 저수지의 퇴적물 현황분석

농어촌 지역의 저수지와 중·소하천은 각각 관개면적의 약 55%와 30%에 농업용수를 공급하고 있는 용수원이다. 또한 우리나라는 년 평균 1,200mm의 강수량이 하절기에 집중되고 있어 홍수 등의 피해가 심각한 실정이고 이는 하천 및 저수지의 범람과 밀접한 관련이 있다고 할 수 있다. 따라서 중·소하천 및 저수지의 통수능력과 저수능력은 농어촌지역의 농업 및 생활용수의 공급과 홍수조절 및 수질관리 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다.

하천의 통수능력과 저수지의 저수능력은 여러 가지 요소에 의해 영향을 받지만, 하상과 저수지 바닥에 퇴적되는 퇴적물에 크게 영향을 받는다. 따라서 현재 농어촌 지역의 중·소하천의 하상과 저수지에 퇴적된 퇴적물의 현황을 파악하는 것은 향후의 농업용수 공급원의 확보와 하천의 농업용수 수질개선 및 홍수조절능력 향상이라는 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다.

또한 농어촌 지역의 하천과 저수지 퇴적물이 유역의 퇴사뿐만 아니라 유역에서 유입된 생활폐수와 축산폐수가 혼합되어 있다고 볼 때, 이러한 각종폐수와 오염 퇴적물이 하천의 수질에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 따라서 이러한 퇴적물은 하천과 저수지의 용수원 확보와 하천의 홍수조절 능력 제고의 측면과 함께 하천의 수질개선 및 오염물질의 근본적인 제거라는 측면에서 준설하여 처리되어야 할 대상이라 할 수 있다. 준설 후 처리 방법으로 단순 폐기하는 방법과 재활용하는 방안 및 처리 후 재활용하는

방안 등을 고려할 수 있으며 적절한 기준 및 공법 선택이 연구되어야 한다. 결론적으로 농어촌 지역의 중·소하천의 하상 및 저수지에 퇴적된 퇴적물의 현황을 파악하는 것은 농어촌지역의 용수원 확보, 홍수조절 능력의 제고 그리고 농업용수의 수질개선 측면에서 매우 중요한 연구이며 하상이나 저수지로부터 준설된 퇴적물은 단순 폐기할 수 없는 오염물이거나 또는 중요한 자원이기 때문에 재활용을 위한 처리공법이 개발되어야 한다.

## 2) 농어촌 지역 하천 및 저수지 퇴적물의 공학적·화학적 특성 연구

퇴적물의 공학적·화학적 특성은 유역에서 유입된 토사의 물리적 특성과 유역의 생활폐수 및 축산폐수 등의 특성에 의해 크게 영향을 받는다. 하천의 통수능력의 확보 등의 목적으로 하천을 준설하고 그때 발생하는 퇴적물을 사토 처리하는 경우, 사토장을 확보하는 문제이외에도 사토 처리된 퇴적물로부터 발생하는 환경문제가 검토되어야 한다. 따라서 이러한 문제점들은 단순폐기나 사토처리하기보다는 자원의 재활용이라는 측면에서 퇴적물의 재활용 방안의 연구가 시급하다 할 수 있다.

퇴적물을 효과적으로 준설하고 재활용하기 위해서는 퇴적물의 공학적, 화학적 특성에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 입도에 따른 압축특성 등 공학적 특성에 대한 연구를 통하여 퇴적물의 효과적인 준설방법의 제시와 재활용 방안 연구의 기초자료를 얻을 수 있을 것이고, 유기물 및 중금속 함량 등 화학적 특성을 분석하여 사토 또는 재활용하는 경우에 발생할 수 있는 토양오염 등의 문제점에 대한 사전의 자료를 얻을 수 있을 것이다.

## 3) 농어촌 지역 하천 및 저수지 퇴적물의 처리 및 재활용 방안 연구

현재 저수지의 경우 준설로 발생하는 준설토의 약 80% 이상을 사토처리하고 있는 실정이고, 하천의 경우도 이와 크게 다르지 않을 것으로 예상되는 바, 사토처리 방법은 앞서 언급한 바와 같이 환경문제와 함께 귀중한 자원의 손실이라는 측면에서 재고해야 할 것으로 예상된다. 저수지 준설토의 경우 저수지 준설토의 이·화학적 특성에 대한 연구가 진행된 바 있으나, 재활용 방안에 대한 연구는 농업적 이용에 국한하는 매우 미

흡한 정도의 연구에 그치고 있으며 특히 구체적인 재활용 방안은 물론 어떠한 공법의 제시도 하지 못하고 있는 실정이므로 이에 대한 구체적인 연구가 필요하다. 더욱이 하천 퇴적물에 대한 연구는 전무한 실정이라고 할 수 있다.

따라서 앞서의 하천 및 저수지 퇴적물의 현황과 공학적·화학적 특성 연구를 바탕으로 퇴적물의 효과적인 처리공법과 성상, 유기물함량, 중금속함량 등에 따른 구체적인 재활용 방안 및 공법에 대한 연구가 시급하다 할 수 있다.

#### 4) 하천 및 저수지 퇴적물의 재활용 연구

현재까지 여러 연구에 의해 밝혀진 바로는 하수 슬러지 등과 같은 고농도의 퇴적물은 영양물로서의 특성을 활용한 농업분야의 재활용이 가능하나 이를 실제 적용한 공법의 부재, 여건의 부실 등으로 실제 적극적으로 활용되지 못하고 있는 실정이며 활용될 수 있는 양도 적기 때문에 일반적인 재활용 방안으로 적용되기 어려운 것이 현실이다. 그러나 하천에서 발생하는 퇴적물을 처리하고 농업분야에 활용하기 위하여 필요한 퇴적물의 특성연구 및 활용방안에 대한 연구가 반드시 필요한 것 또한 사실이다.

이에 반해 공학적 재활용은 관련기술이 확보되면 그 특성상 대량의 재료를 일시에 처리할 수 있어 매우 효율적인 재활용이 가능할 것이다. 퇴적물을 공학적으로 재활용하기 위해서는 퇴적물의 공학적 특성을 개선하여 양질의 재료로 처리할 필요가 있다. 이러한 처리 방안으로는 감량/탈수 처리와 고화재를 이용한 처리를 들 수 있다.

하천퇴적물은 함수비가 크며 유기물이 다량 포함되어 있어 다루기 어려운 재료이므로 이의 재활용을 위하여 효과적이고 경제적인 감량/탈수처리를 위한 기술이 개발되어야 한다. 더 나아가 퇴적물의 공학적 재활용을 위해서 개량을 하여야 한다. 토목분야에서는 이와 유사한 하수 슬러지, 연약지반 등을 개량하기 위하여 고화처리 공법이 사용되고 있다. 그러나, 고화재를 혼합하는 고화처리의 경우 주어진 혼합대상 지반의 특성과 조건에 따라 서로 상이한 고화재가 사용되어지고 있으며 각 경우마다 특별히 제작된 고화재가 사용되어지고 있다. 따라서 일반적인 지반과는 그 성상이 다른 하천 및 저수지 퇴적물의 재활용을 위해서는 퇴적물의 특성을 파악하고 그에 적합한 고화재를 사용하는 것이 필요하다.



#### 5) 고화처리된 퇴적토의 공학적 특성 및 활용성에 대한 연구

고화처리된 퇴적물, 즉 고화 퇴적물을 활용하기 위해서는 고화 퇴적물의 공학적, 화학적 특성에 대한 파악이 필요하다. 즉, 건설재료로의 이용과 농업용 재료로의 재활용을 위해서는 물리적 및 화학적 특성에 대한 파악이 필요하다. 또한 고화처리를 통해 환경에 유해한 물질이 발생하는지, 또한 고화 퇴적물에 존재하는 환경에 유해한 물질이 어떻게 처리되는지에 대한 연구가 필요하다. 이에 대한 연구를 바탕으로 재활용에 대한 검증이 가능하게 된다. 이를 위해 처리토의 공학적 특성으로 토질역학적 역학시험을 실시하고, 용출시험 등을 통하여 화학적 안정성을 검토하여야 할 것이다.

#### 나. 경제·산업적 측면

##### 1) 농어촌 지역 중·소하천 및 저수지의 환경적 측면

농어촌 지역의 산업화에 따라 하천 및 저수지의 퇴적물에는 유역의 퇴사뿐만 아니라 유역에서 유입된 생활폐수와 축산폐수의 고형성분이 혼합되어 있는 경우가 많으며 이들은 하천의 수질에 영향을 미치는 주요한 오염물질이라 할 수 있다. 즉, 하천의 환경정비 측면에서 하천에 유입되는 수질을 개선하더라도 이미 오염된 퇴적물의 처리가 함께 이루어지지 않는다면 이들 퇴적물은 하천 수질에 지속적으로 영향을 미치게 될 것이다. 따라서 이러한 오염된 퇴적물은 장기적인 하천 및 저수지 수질관리 및 농업용수의 수질 측면에서 준설되어 처리되어야 하는 대상이다.

또한 하천 및 저수지 등의 준설에 의해 발생한 퇴적물을 사토 처리하거나 재활용하는 경우에도 적절한 처리가 수반되지 않으면 토양오염 등의 문제점이 발생할 수 있다. 현재 우리나라의 토양환경보전법에서는 카드뮴, 구리, 비소, 수은, 납 등의 중금속과, 유기인화합물, PCB, 시안화합물, 페놀류, 유류 등을 토양오염물질로 규정하고 있다. 하천 퇴적물을 처리하거나 재활용 하는 경우 이러한 기준에 대한 적합성을 판단할 필요가 있다.

따라서 중·소하천의 하상의 퇴적물의 경우 하천의 환경정비 측면에서 그 성분에 대한

과약과 함께 처리 및 재활용의 기준 및 적절한 처리방법과 재활용 방안이 제시되어야 한다.

## 2) 안정적이고 항구적인 농업용수, 생활용수 확보 및 홍수 조절능력 제고

하천과 저수지는 관개면적의 대부분에 농업용수를 공급하는 용수원이다. 따라서 이러한 하천 및 저수지에 퇴적물이 과다하게 퇴적되는 경우는 안정적인 농업용수의 공급에 문제가 될 것이며, 오염된 퇴적물에 의해서 용수의 수질이 문제가 될 수 있다.

또한 하절기에 집중되는 강수에 의해 빈번하게 발생하는 홍수로 인하여 많은 피해가 발생하고 있는데, 하천 및 저수지의 준설을 통하여 하상고를 낮춤으로 해서 저수율 및 하천의 통수능력을 높임으로써 하천의 홍수 조절능력을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 준설을 통한 퇴적물의 이용과 처리는 안정적인 농업용수의 공급과 양질의 용수를 공급한다는 측면에서 중요한 사업이 될 것으로 판단된다.

## 3) 자원의 재활용 효과

지금까지의 농업용 저수지의 경우 유지관리 및 용수확보를 위한 준설을 함에 있어서, 준설된 퇴적물이 주로 모래나 흙인 경우 인근에 사토하는 경우가 대부분이었으므로 경제적 손실이 매우 크다고 할 수 있다. 이러한 관례는 하천의 경우도 예외는 아닌 것으로 판단된다. 준설토는 오염물질만 축적되지 않으면, 유기물이 풍부하고, 상류의 경우 모래·자갈 등의 골재성분이 다량 포함되기도 한다. 따라서, 퇴적물에 대한 제특성 분석을 통하여 모래 및 자갈을 골재로 이용하거나 성토재료로 이용할 수 있으며 세립질인 퇴적물은 고화처리 또는 기타 처리방법에 의해 재활용할 수 있다. 퇴적물에 함유된 유기물 등을 농경지에 이용함으로써 토지 생산성의 향상을 가져 올 수 있고, 저습지나 불량토지의 개량으로 인한 침수피해 방지 및 토지이용을 극대화할 수 있으며, 이를 이용한 親水공간을 조성할 수 있다. 따라서 농업용 재료 및 건설용 재료로서의 재활용 방안을 적극 모색하고 적절하게 준설된 퇴적물을 재활용함으로써 준설사업의 경제적인 효과를 극대화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

### 가. 현황

#### 1) 저수지 준설토의 효율적 활용방안 연구 (1994 ~ 1996, 전북대학교)

이 연구는 1994년 12월부터 1996년 11월까지 2년 동안 전북대에서 수행된 현장애로사업 연구로서 (1) 저수지 및 준설현황 조사 (2) 준설토양의 특성분석(물리 및 화학성분) (3) 준설대상 저수지 수질분석 (4) 기존 저수지 준설토 처리 현황조사 (5) 준설토의 효율적 이용방법 검토 (6) 준설토를 이용한 작물재배시험 등의 내용으로 연구를 수행하였다.

연구성과로는 전라북도내의 저수지 중 241개 조사대상저수지에 대하여 제원 및 유역현황 등을 파악하였고, 준설토의 토성을 분류하였으며, 현재 준설토의 처리현황을 조사하였다. 또한, 작물을 재배하기 위하여 시험구를 설치하여 준설토의 이용가능성을 살펴보았다.

#### 2) 농업용 저수지 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책 (1994 ~ 1996, 서울대학교)

이 연구는 1994년 12월부터 1996년 12월까지 2년 동안 서울대학교에서 수행된 현장애로사업 연구로서 (1) 농업용 저수지의 유지관리 지침 정립 (2) 농업용 저수지에 대한 노후화 평가 기준 정립 및 현장 조사된 31개 저수지에의 적용 (3) 농업용 저수지에 대한 안전도 평가 시스템을 개발 (4) 노후저수지에 대한 개·보수 기준 정립 및 개·보수 공법 개발 등을 그 주요내용으로 하였다.

#### 3) 농어촌지역 소하천의 환경정비기법 개발 (1995 ~ 1998, 농어촌진흥공사)

이 연구는 1995년 12월부터 1998년 11월까지 3년 동안 농어촌진흥공사에서 수행한 현장애로사업 연구로서 농어촌지역 소하천의 생태계 및 수환경보전과 친수공간정비기법의 개발과 소하천 환경정비 계획설계지침 제시를 목적으로 하고 있으며, (1) 소하천의 수리 및 수질환경 보전관리기법 분야, (2) 소하천의 생태계보전시설 정비기법 분야, (3)

소하천 친수공간의 계획설계기법 분야에 대한 연구를 수행하였다.

#### 4) 외국의 현황

미국의 뉴욕, 뉴욕항은 2000년부터 20,914,000 yd<sup>3</sup> 에 이르는 준설공사를 준비하고 있고 1990년 볼티모어 항은 114,690 m<sup>3</sup>의 준설을 실시하였으며 독일의 함부르크항, 네덜란드 등지에도 항만을 준설하고 준설토를 개량하여 공학적으로 재활용하려는 연구가 시행되고 있다.

이는 대상은 다소 차이가 있으나 성상은 비교적 유사하므로 하천 준설토의 재활용 가능성 및 그 활용도가 높게 평가되고 있음을 알 수 있다. 따라서 우리나라에도 관련된 기술의 개발 필요성이 증대되고 있다.

#### 5) 농어촌 하천 및 저수지의 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용 공법 연구(2000 ~ 2002, 서울대학교)

본 연구의 1차, 2차년도 연구로서 농어촌 중소하천 및 저수지의 퇴적물의 현황을 파악하였으며, 고화처리를 통한 재활용 방안에 대한 연구를 수행하였다. 그 과정에서 퇴적물의 물리/화학적 특성과 오염현황에 대하여 조사하였으며 그 처리방안에 대한 연구를 수행하였고, 고화재를 이용한 고화처리에 대하여 연구를 수행하였다.

#### 나. 문제점

1)항의 준설토의 재활용 연구에서는 저수지 및 준설토 처리현황에 대해서는 비교적 잘 조사가 되었으나, 준설토의 물리적, 화학적 성분의 분석만 시행하였고, 또한 준설토의 재활용에 있어서 필수항목인 준설토의 토성에 있어서는 분류 및 조사가 체계적으로 이루어지지 못하여 실제 준설토의 재활용에 적용하기에 미흡한 점이 발견되었다.

결과적으로 이 연구는 저수지에 중점을 둔 연구이며 준설토의 효율적인 이용방안에 있어서도, 몇 가지에 걸쳐서 제시만 하고 있을 뿐, 준설토의 재활용 연구 즉, 고화재를 이용한 준설토의 개량 연구 및 농업용 재료로서의 구체적인 활용방안에 대한 연구를 수

행하지 않았다.

2)항의 농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책 연구에서는 주로 구조물의 노후화를 가지고 저수지의 노후화를 판정하였으며, 준설시공의 방법에 대한 구체적인 조사나 연구는 미흡하였다.

3)항의 경우 주로 하천의 수질이나 정비에 중점을 두고 수행한 연구로 넓은 범위로 농어촌의 중·소하천을 다루고 있으나, 역시 하천의 퇴적물에 대한 연구에는 미치지 못하고 있다.

이상의 연구들은 본 연구에서 계획하고 있는 농어촌지역 하천의 퇴적물에 대한 환경적 측면과 자원의 재활용이라는 측면에서의 접근은 매우 미흡한 실정이다.

5)항의 본 연구의 전년도 연구에 있어서 농어촌의 중소하천에 비하여 저수지 준설토에 대한 조사와 실험이 상대적으로 부족한 것으로 판단하여 본 연구에 반영하였으며, 오염된 준설토의 처리 방안에 대해서는 본 연구의 3차년도 연구에 있어서 연구개발목표의 한 부분으로 반영되었다.

#### 다. 앞으로 전망

현재까지 농어촌 지역에 있어서 안정적인 용수의 공급을 위한 많은 사업들이 진행되어 왔고, 앞으로도 진행될 것이다. 향후의 사업은 공급수의 수질개선에 많은 관심이 집중될 것으로 판단되며, 이는 생활폐수 및 축산폐수 등의 오염원이 주 대상이 될 것이다. 그러나 하천 및 저수지 바닥에 퇴적되어 있는 오염된 퇴적물에 대한 준설 및 처리가 함께 진행되지 않는다면 이러한 사업의 효과는 만족스럽지 못할 것이다.

따라서 퇴적물에 대한 연구는 향후의 하천정비와 농어촌지역 수질개선과 맞물려 지속적으로 진행되어야 할 것으로 판단되며, 퇴적물의 특성을 파악·제시하고, 처리방법과 함께 재활용 방안과 기술을 제시함으로써 해서 이러한 사업에 기여할 것으로 판단된다.

#### 라. 기술도입의 타당성

농어촌 지역의 중·소하천 및 저수지 퇴적물에 대한 자료 조사 및 재활용 방안에 대한 연구는 국내뿐 아니라 외국의 경우도 이에 대한 체계적인 연구가 진행되지 못한 상태이다. 따라서 소규모 준설 및 준설토의 처리에 대한 기술도입이 사실상 불가능한 상태라 판단된다.

본 연구에 의해 개발된 연구결과로서 하상 및 저수지 퇴적물의 재활용 방안 및 재활용 기술, 고화재, 시공방법 등의 개발은 신기술로서 국내뿐 아니라 외국에서도 특허를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

## 제 2 절 연구개발의 목표 및 내용

### 1. 연구개발 목표와 내용

연구개발목표	연구개발내용 및 범위
1. 하천 및 저수지 퇴적물 현황조사 및 유역특성조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조사유역 선정 및 유역특성 조사</li> <li>○ 퇴적물 현황조사</li> <li>○ 준설의 필요성 및 준설 퇴적물의 처리 및 이용실태 조사</li> </ul>
2. 하천 및 저수지 퇴적물의 공학적·화학적인 특성 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 퇴적토의 공학적 특성 분석</li> <li>○ 퇴적토의 화학적 특성 분석</li> <li>○ 퇴적토의 오염 특성 분석</li> </ul>
3. 준설 퇴적물의 처리 및 재활용 방안 조사 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 처리 및 재활용을 위한 기준 연구</li> <li>○ 준설 퇴적물의 처리 및 재활용 방안 연구</li> </ul>
4. 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용 지침 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 퇴적물의 특성과 처리 및 재활용 방안을 이용한 퇴적물의 처리지침 개발</li> </ul>
5. 준설 퇴적물의 재활용 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 퇴적물의 감량/탈수 방안연구</li> <li>○ 고화처리에 의한 재활용 연구               <ul style="list-style-type: none"> <li>-고화재 종류에 따른 특성 연구</li> <li>-고화재 혼합량에 따른 특성 연구</li> </ul> </li> <li>○ 고화재의 혼합에 따른 처리토의 특성 연구               <ul style="list-style-type: none"> <li>-공학적 특성 연구</li> <li>-화학적 특성 연구</li> </ul> </li> <li>○ 처리토의 공학적 활용성 연구</li> </ul>
6. 실용화 및 경제성 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기타 처리공법에 의한 재활용 연구</li> <li>○ 처리토를 이용한 모형시험</li> <li>○ 건설분야에의 적용성 연구</li> <li>○ 농업분야에의 적용성 연구</li> <li>○ 퇴적토 처리 Plant 개념 설계</li> <li>○ 준설토 재활용에 대한 경제성분석</li> </ul>

## 2. 연차별 연구개발 목표와 내용

### 가. 1차년도(2000~2001)

연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 하천 및 저수지 퇴적물의 유역특성 및 현황조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조사유역 선정 및 유역특성 조사</li> <li>○ 하천 퇴적물의 현황조사               <ul style="list-style-type: none"> <li>-오염퇴적물 확보 방안 검토</li> <li>-저수지를 포함한 현황조사 및 처리·이용실태 조사</li> </ul> </li> <li>○ 준설의 필요성 및 하천 퇴적물의 처리 및 이용실태 조사</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 하천 및 저수지 퇴적물의 공학적·화학적 특성 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 하천 퇴적물의 공학적 특성 분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>-퇴적물의 입도특성 분석</li> </ul> </li> <li>○ 하천 퇴적물의 화학적 특성 분석</li> <li>○ 하천 퇴적물의 오염 특성 분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>-오염성분별 오염정도 조사</li> <li>-오염기준에 따른 오염정도 분석</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 준설 퇴적물의 처리 및 재활용 방안 조사 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 퇴적물의 처리 및 재활용을 위한 기준 연구</li> <li>○ 준설 퇴적물의 처리 및 재활용 방안 연구               <ul style="list-style-type: none"> <li>-퇴적물의 물리·화학적 특성에 따른 활용방안</li> </ul> </li> </ul>



나. 2차년도

연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용 지침 개발</li> <li>○ 준설 퇴적물의 재활용 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 하천 및 저수지 퇴적물 준설가능량 조사방안연구</li> <li>○ 퇴적물의 양과 특성에 따른 처리 및 재활용 지침 개발</li> <li>○ 퇴적물의 감량/탈수 방안연구</li> <li>○ 고화처리에 의한 재활용 연구               <ul style="list-style-type: none"> <li>-고화재 종류에 따른 특성 연구</li> <li>-고화재의 혼합량에 따른 특성변화 연구</li> </ul> </li> <li>○ 고화재 혼합에 따른 처리도의 특성 연구               <ul style="list-style-type: none"> <li>-용출시험을 통한 지반환경 특성 연구</li> <li>-공학적 특성 연구</li> <li>-화학적 특성 연구</li> </ul> </li> </ul>

다. 3차년도

연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
<p>○ 준설 퇴적물의 공학적 재활용 연구</p> <p>○ 실용화 및 경제성 연구</p>	<p>○ 고화재 처리토의 공학적 활용성 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-고화재를 이용한 처리 과정 연구</li> <li>-고화처리 후 활용과정의 정립</li> <li>-하천 및 저수지 준설토의 특성구분에 따른 처리 및 재활용 방안 조사</li> </ul> <p>○ 기타 처리공법에 의한 재활용 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-오염된 준설 퇴적물의 기타 처리방안 연구</li> </ul> <p>○ 건설분야에의 적용성 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-건설재료로서의 평가를 위한 실내시험</li> <li>-적용성 평가</li> </ul> <p>○ 농업분야에의 적용성 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-농림분야에의 활용지침</li> <li>-농도 정비재료에의 활용 방안</li> </ul> <p>○ 중소하천 및 저수지 준설토에 적합한 소규모 처리 Plant의 개념설계</p> <p>○ 준설토 재활용에 대한 경제성분석</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-고화처리 과정의 경제성분석</li> </ul>

### 제 3 절 연구개발 추진체계

#### 1. 추진 전략의 기본

- 본 연구는 농어촌 지역 하천 퇴적물의 처리 및 재활용 방안에 대한 연구로 신기술의 개발과 실용화를 목적으로 연구를 추진한다.
- 농어촌 지역의 특성을 최대한 반영할 수 있도록 조사 및 연구계획을 수립한다.
- 기초자료를 정확하게 조사하여 장래 연구의 기초자료로 활용 가능하도록 한다.
- 하천 및 저수지 퇴적물의 공학적 처리 및 재활용을 위한 기준의 정립, 처리 기술의 개발 및 이의 실용화 기술을 개발한다.
- 건설 신기술 및 특허 등을 획득하는 것을 목표로 선정하여 연구를 추진한다.

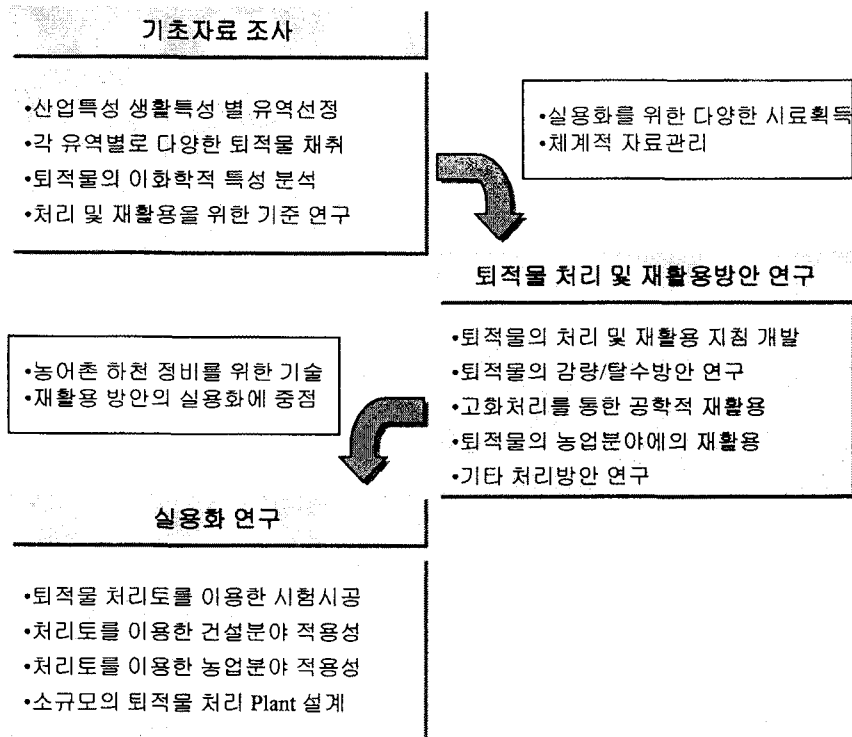


그림 1-1 추진전략

## 2. 연구개발을 위한 퇴적물의 확보 및 특성 조사

- 본 연구는 오염 퇴적물의 처리 및 재활용에 관한 연구로 그에 적합한 퇴적물을 확보해야 한다.
- 퇴적물의 특성에 영향을 미치는 산업특성, 생활특성 그리고 수리·수문 특성을 조사한다.
- 조사결과에 의해 되도록 다양한 유역을 선정하고, 각 유역에서 채취 위치별, 오염원의 특성별 퇴적물을 획득한다.
- 퇴적물은 각 유역에서 하천과 저수지에서 채취한다.
- 하상퇴적물 및 하천 수로변의 퇴적물을 채취할 수 있는 샘플러를 확보하고 채취한 퇴적물을 저장할 수 있는 저장 시설을 확보한다.
- 퇴적물의 처리 및 재활용 방안에 적합한 퇴적물의 특성 기준을 정립한다.
- 채취한 퇴적물에 대하여 오염도 조사를 실시하고, 또한 처리된 퇴적물의 오염특성을 분석한다.

## 3. 기술정보의 수집

- 농어촌 지역 하천 및 저수지 퇴적물의 현황자료를 하천유역의 특성과 함께 수집한다.
- 준설된 퇴적물 및 고화재에 관련된 세미나 발표를 통하여 첨단기술의 접목을 꾀한다.
- 외국 항만/하천 준설토의 재활용연구를 종합적으로 수집한다.
- 일본, 미국 등 선진국의 준설 기준 및 관련 정보를 적극적으로 수집한다.

#### 4. 추진체계

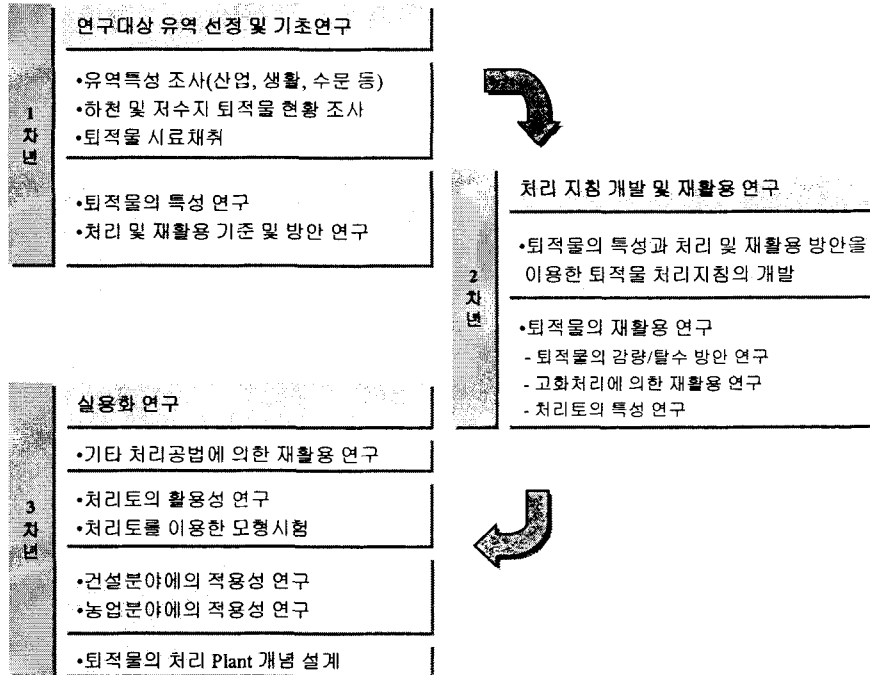


그림 1-2 연차별 연구추진 체계

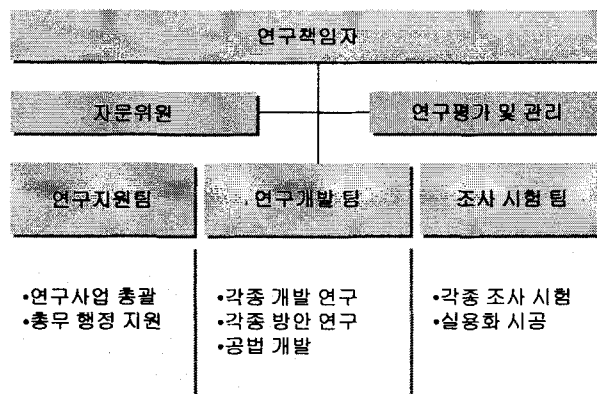


그림 1-3 연구진 구성

## 5. 연구진

본 연구를 수행한 연구진과 그 주요업무를 정리하면 다음과 같다.

구분	성명	소속기관 및 부서	연구업무
총괄책임연구원	장병욱	서울대학교	퇴적물에 적합한 고화재를 이용한 재활용 연구 및 실용화 연구
세부연구책임자	정하우	서울대학교	오염된 퇴적물 조사 및 퇴적물의 처리·재활용 지침 연구
연구원	우철웅	서울대학교 대학원	고화재 처리토의 공학적 활용성 연구
연구원	손영환	서울대학교 대학원	기타 처리공법에 의한 재활용 연구
연구원	원정운	서울대학교 대학원	소규모 처리 Plant의 개념설계
연구원	김성필	서울대학교 대학원	적용성 연구
연구원	차경섭	서울대학교 대학원	준설 퇴적물의 조사·시험
연구보조원	김재형	서울대학교 대학원	오염도 등급화 연구
연구보조원	허 준	서울대학교 대학원	고화처리토의 특성연구
연구보조원	박재성	서울대학교 대학원	제 특성 시험 및 분석

## 제 4 절 요약 및 결론

본 장에서는 “농어촌 하천 및 저수지의 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용 공법 연구”의 배경과 연구의 필요성, 연구의 목적 및 범위, 추진방법과 전략 그리고 참여 연구진을 정리하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

1. 농어촌 지역의 저수지와 중·소하천은 각각 관개면적의 약 55%와 30%에 농업용수를 공급하고 있는 용수원이다. 따라서 이들에 기능에 영향을 미치는 퇴적물의 준설 및 처리는 매우 중요하다.
2. 농어촌 하천의 중소하천 및 저수지의 경우 생활 및 농업용수의 공급원으로서의 활용뿐만 아니라 그 자체로 생활환경의 기능을 수행한다. 이러한 농어촌 하천의 환경정비 차원에서라도 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용에 대한 연구는 그 가치를 지닌다.
3. 이에 본 연구에서는 농어촌 중·소하천 퇴적물의 현황을 파악하고 이들의 처리 및 재활용에 영향을 미치는 오염정도를 파악한다. 그리고 이들 퇴적물의 처리 및 재활용을 위한 조사 및 실험을 통하여 실제적인 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다.
4. 연구의 추진체계 및 방법을 정리하였으며, 연구의 세부내용을 3개년의 연차별로 요약·정리하였다.
5. 본 연구에 참여할 연구진과 그 주요업무를 요약·정리하였다.

## 제 2 장 하천 및 저수지 퇴적물의 현황 조사

### 제 1 절 서론

하천 및 저수지의 퇴적물은 하천 및 저수지 본래의 용수공급기능 및 홍수조절 기능에 영향을 미친다. 또한 하천과 저수지는 자체가 자연경관으로서 환경적 기능을 수행하며, 이들 기능의 향상 및 복원을 위한 정비사업에서 퇴적물의 처리와 재활용은 반드시 필요한 부분이다. 따라서 이들 퇴적물의 양적·질적 현황은 처리 및 재활용에 있어서 사전에 파악되어야 한다. 그리고 이들 퇴적물은 유역의 특성에 따라 그 특성이 달라지며, 특히 오염특성의 경우 그러하다. 퇴적물이 오염된 경우 그 처리 및 활용에 있어 적용할 수 있는 범위가 제한되며, 물리적 특성이 적합하다 하더라도 오염물질에 대한 대책이 필요하게 된다. 따라서 퇴적물의 오염의 정도를 정량적으로 파악할 수 있는 방법이 요구된다. 본 연구에서는 토양오염점수를 이용하여 오염등급을 평가하였다. 이는 향후의 준설사업으로 발생한 준설토사 처리에 있어 하나의 판단근거로 사용될 수 있을 것이다. 또한 하천 및 저수지 퇴적물의 오염정도를 지표화하여 농어촌 마을의 환경정비사업에 있어서 하천정비사업의 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

또한 퇴적물의 처리 및 활용에 있어 질적 특성뿐만 아니라 그 양을 파악하는 것이 중요하다. 특히 오염된 퇴적물의 경우 그 발생량을 예측하는 것은 오염정도와 함께 퇴적물의 활용성의 결정에 중요한 요소가 된다.

따라서 본 장에서는 퇴적물의 처리 및 재활용의 기초적 자료로서 경기도 일대의 하천 및 저수지의 퇴적물에 대한 조사를 실시하였으며, 각 조사지역을 특성별로 분류하였다. 그리고 처리 및 재활용의 기초자료로 활용하기 위하여 채취한 시료에 대한 기초물성 시험을 실시하고, 오염물질에 대한 화학성분분석을 통하여 그 오염정도를 지표화 하였으며, 하천에 있어서 오염된 퇴적물의 범위를 결정하고 그 범위에 대한 준설량을 결정하기 위하여 시험구간을 설정하고 준설량을 파악하였다.



## 제 2 절 조사 구역 및 퇴적물 현황

### 1. 구역의 분류 및 선정

본 연구에서는 먼저 경기도 일대의 중·소 하천 퇴적물에 대하여 개괄적인 조사를 실시하였다. 기존의 연구에서 환경정비를 위하여 소하천을 토지이용상태, 하폭, 흐름의 지속성 등을 고려하여 산간부, 취락부, 농경지, 유원지 소하천으로 구분한 경우가 있으나, 본 연구에서는 하상 퇴적물의 오염정도에 영향을 미치는 오염원을 근거로 하여 각 조사 대상 하천의 구역을 각각 농업, 생활, 공업 우세 구역으로 구분하였다. 표 2-1에 시료의 채취위치와 주변상황, 퇴적물의 성상, 시료 채취시기, 그리고 구역의 구분을 요약하였다. 표에서 구역의 구분은 명확하게 특성지어 지는 것은 아니다. 예를 들어, 김포시 일대의 경우 평야지대로 대부분 농경지로 구성되어 있으며, 생활 및 공업은 하천 퇴적물의 특성에 부수적 영향을 미치는 것으로 판단하였으며, 파주, 동두천 일대의 경우 하천 일대는 대부분 농경지이나, 주변의 공장들이 영세하고 오염정화시설을 갖추고 있지 않는 경우가 대부분이므로 농업 및 공업 구역으로 구분하였다. 그리고 저수지는 농업구역으로 구분하였으며, 현재 준설공사가 진행중인 단석, 물왕, 용덕, 보통 저수지를 대상 저수지로 선정하였다.

조사구역은 공업, 생활, 농업, 축산 구역으로 구분한다. 현재 이러한 구분의 명확한 기준은 없으며, 대부분의 경우 네 가지의 형태가 혼합된 형태가 될 것으로 판단된다. 따라서 각 구역의 경우 공업, 생활, 농업, 축산 이 각각 우세한 구역으로 선정하여야 할 것이다. 위의 구분은 아래의 대략적 기준을 적용하여 판단하였다.

#### ○ 공업 우세 구역

퇴적물의 양과 질에 영향을 미치는 것은 단순히 공장의 수효뿐만 아니라 각 공장의 업태 및 규모, 정화시설 유무 등이 영향을 미치며, 또한 공장의 밀집 정도 또한 영향이 있을 것으로 판단된다.

- 공장의 밀집 정도
- 공장의 업태
- 공장의 규모
- 정화시설 유무

○ 생활 우세 구역

주거지역의 경우 퇴적물에 영향을 미치는 것은 먼저 지역의 인구가 있을 것이다. 또한 가구의 수, 즉 인구의 밀집 정도를 고려해야 할 것이다. 생활 수준 및 중·대형 건물의 밀집 정도를 고려해야 할 것이다.

- 인구의 밀집정도
- 생활수준
- 상가 및 식당가의 밀집 정도
- 중·대형 건물의 밀집 정도
- 정화시설 유무

○ 축산 우세 구역

축산 농가의 수 및 사육종 및 두수 그리고 정화시설 유무 등이 고려되어야 한다.

- 축산 농가 수
- 사육종 및 두수
- 정화시설 유무

○ 농업 우세 구역

농업우세 구역의 경우 농촌지역의 경우 대부분이 이에 해당되는 것으로 판단되며, 위의 세 가지 경우에 포함되지 않는 경우를 농업 우세 구역으로 판단하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

표 2-1 현황조사 유역특성 및 퇴적물 성상

No.	위치(경기도)	주변 상황 및 오염원	퇴적물 성상	구분	채취 시기
1	파주시 파평면 장개다리	주변 농경지 및 상류 주거지	상부 유기물 및 사질토	농업 및 생활유역	3월
2	파주시 금촌초교	주변 농경지 및 공장지대	상부 점토, 하부 사질토	농업 및 공업유역	3월
3	파주시 문산중교 삼교	주변 주거지 및 상가	상부 유기물 및 점토	농업 및 공업유역	3월
4	파주시 파평면 이천교	주변 농경지 및 상류 주거지	상부 유기물 및 사질토	농업 및 생활유역	3월
5	양주군 광덕면 덕도리	주변 온실 및 상류 공장지대	유기물 및 사질토	농업 및 공업유역	3월
6	양주군 은현면 봉암교	주변 농경지 및 공장지대	점토~사질토	농업 및 공업유역	3월
7	양주군 용암리 용암교	주변 상가 및 상류 주거지	자갈 및 사질토	농업 및 생활유역	3월
8	양주군 주내면 산북리	주변 상가 및 상류 주거지	유기물 및 자갈, 사질토	농업 및 공업유역	3월
9	양주군 남면 상수리	주변 상가 및 상류 공장지대	유기물 및 점토	농업 및 공업유역	3월
10	포천군 군내면 유교리	주변 농경지 및 상류 주거지	사질토	농업 및 생활유역	3월
11	문산시 문산읍 향양교	주변 농경지 및 상류 주거지	유기물 및 사질토	농업 및 생활유역	3월
12	화성시 발안	주변 상가 및 주거밀집	유기물 및 점토	농업 및 생활유역	10월
13	화성시 발안	주변 농경지	사질토	농업유역	10월
14	화성시 발안	주변 농경지 및 상류 주거지	사질토	농업 및 생활유역	10월
15	김포시 월곶면 군하리	주변 농경지 및 상류 주거지	유기물 및 자실토	농업유역	4월
16	김포시 하성면 하사리	주변 농경지 및 주거지	유기물 및 점토~사질토	농업유역	4월
17	김포시 양촌면 석모리	주변 농경지 및 주거지	유기물 및 사실토	농업유역	4월
18	김포시 대곶면 석정리	주변 농경지 및 주거지	사질토	농업유역	4월
19	경기도 수원시 권선구	주변 농경지 및 주거지	상부 유기물 및 점질토	농업 및 생활유역	6월
20	경기도 수원시	주변 농경지 도심지 통과	사질토	생활유역	6월
21	단석저수지	주변 농경지 및 주거지	점토~사질토	농업유역	6월
22	물왕저수지	주변 농경지 및 상류 주거지	유기물 및 점토	농업유역	6월
23	용덕저수지	주변 농경지 및 상류 주거지	유기물 및 사실토	농업유역	6월
24	보통저수지	주변 상가 및 주거지	상부 유기물 및 사질토	농업유역	6월
25	발안저수지	주변 상가 및 주거지	점질토	농업 및 생활유역	6월

## 2. 퇴적물 현황

### 가. 대상유역의 지리적 구분

본 연구에서는 먼저 경기도 일대의 중·소하천 퇴적물에 대하여 개괄적인 조사를 실시하였다. 그림 2-1은 각 조사 대상 하천의 유역을 각각 농업, 생활, 공업 우세 유역으로 구분하였을 때, 본 연구에서 조사를 수행한 유역을 대략적으로 구분한 그림이다.

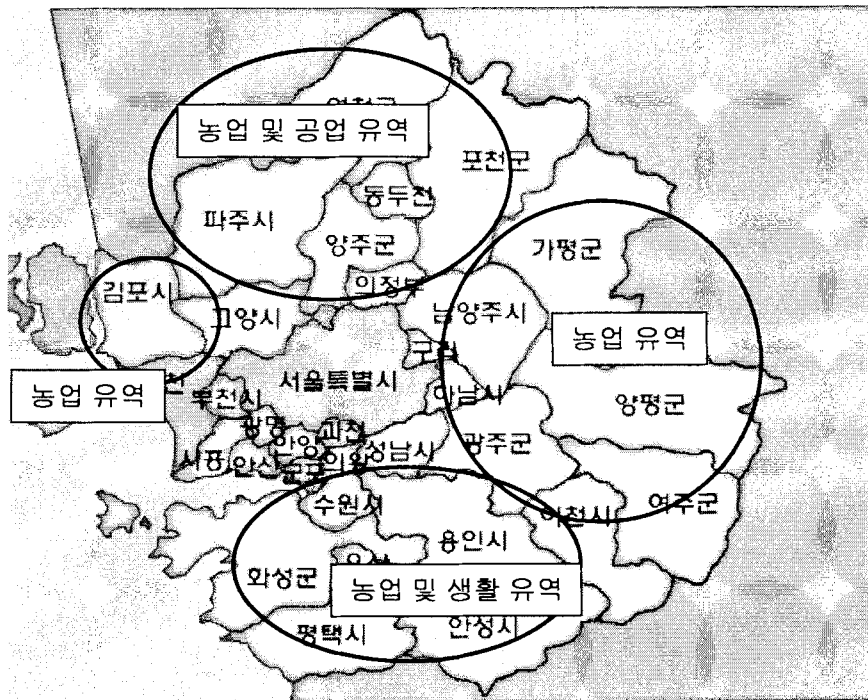


그림 2-1 조사 유역 및 유역구분

연구에서는 먼저 약 50여 개 지점에 대하여 하천의 특성과 주변 유역의 특성에 대하여 조사하였다.

하천 양안은 조사 하천의 대부분의 경우 작은 흙 제방 및 자연적인 식생사면으로 구성

되어 있었으며, 약 10여개 지점은 콘크리트 블록이나 옹벽사면으로 구성되어 있었다. 조사 하천의 폭은 대부분의 경우 5~10m로 중·소하천으로 볼 수 있으며, 1~4m의 하천도 포함되어 있다. 수심은 최대 수심이 30cm를 넘지 않았으며, 대부분 하천의 양안에 다양한 식생이 분포하였다.

#### 나. 경기도 일대 하천 및 저수지퇴적물의 개략적 현황

대부분의 하천에서 퇴적물이 존재하는 것으로 나타났으며 이는 하천의 특성이나 유역의 특성에 관계없이 존재하였다. 특히 농촌 하천의 경우 보가 설치된 경우 퇴적물에 의해 보의 기능을 상실한 경우가 많아 준설이 필요한 것으로 나타났다. 그림 2-2의 경우 보 상류에 퇴적된 퇴적물의 전경을 나타낸다.

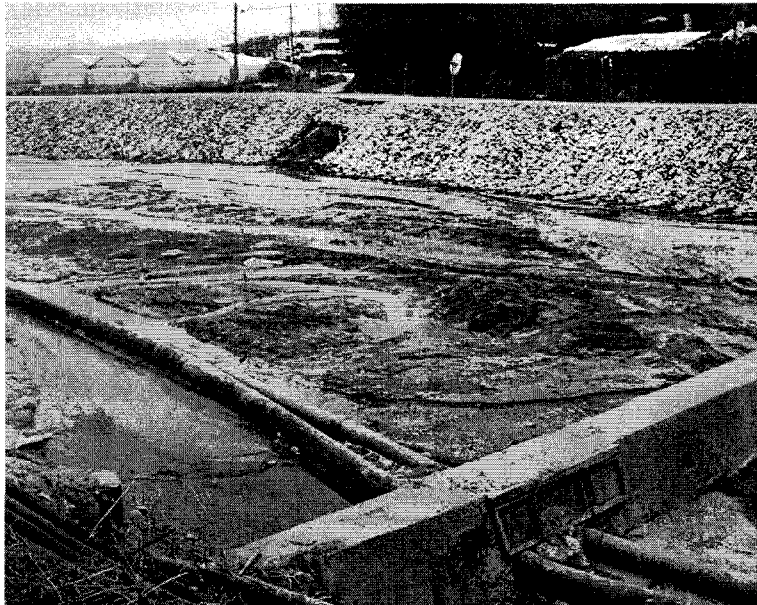


그림 2-2 보 상류의 퇴적물 현황

그림 2-3은 그림 2-2의 보 상류의 퇴적물 내부를 보여준다. 매우 심한 악취를 발생시키고 있으며, 상부는 생활하수에 의한 것으로 보이는 유기물이 수 mm 두께로 쌓여있었다. 그림 2-2와 그림 2-3의 경우와 같이 전경으로 보아 크게 오염되지 않은 것으로 판단되는 경우에도 내부의 경우 상당한 악취를 발생시키고 있는 경우가 상당히 많이 관측되었다.

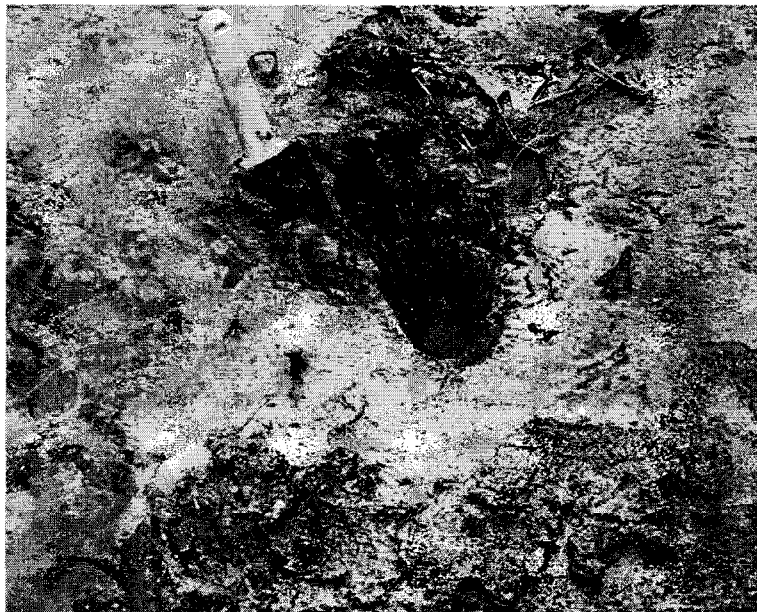


그림 2-3 오염된 퇴적물

하천의 퇴적물을 모래질과 점토질로 구분하면 대부분의 경우 모래질 퇴적물로 나타났다. 하천의 상류로 갈수록 모래질 퇴적물이 많았으며, 유기물로 덮인 점토질 퇴적물은 하천의 하류와 하천의 양쪽 가장자리에서 관측되었다. 조사 대상 유역 중에서 대표적으로 김포, 파주, 문산, 동두천 일대 하천의 퇴적물에서 매우 심한 악취가 발생하였으며, 생활하수 및 공장폐수의 유입구 부근의 퇴적물에서 많은 악취가 발생하였다.

## 다. 조사 지점별 퇴적물 현황

### 1) 경기 동부

여주군 양평군 가평군 일대는 전체적으로 수질이 양호하며, 하천의 퇴적물은 모래질이 대부분이다. 일부 생활폐수 및 공장폐수 유입구를 제외하면 오염된 퇴적물이 관측되지 않았으며 악취의 발생정도도 매우 낮았다. 그림 2-4와 그림 2-5는 이 지역의 퇴적물 현황을 나타낸다.



그림 2-4 경기 동부지역 모래질 퇴적물 전경



그림 2-5 경기 동부지역 자갈 및 모래질 퇴적물 전경

## 2) 경기 북부

### ○ 파주시 급촌동

이 지역은 본 연구에서 농업 및 공업 유역으로 구분하였으며, 모래질 퇴적물 및 오염된 점토질 퇴적물이 모두 관측되었다. 조사당시 하천 수량은 적었으며 하천폭은 5~9m이고 수질은 매우 나쁜 것으로 관측되었다. 유기물 및 점토 퇴적물로 악취가 매우 심하게 발생되었다. 주변에 농경지 및 주거지역이 산재해있으며, 상류부근에 몇몇 공장이 가동 중이다. 그림 2-6은 이 지역의 오염된 수질과 생활쓰레기가 혼재한 퇴적물의 현황을 보여준다. 그림 2-7은 화학분석용 샘플링 작업 전경이다.





그림 2-6 파주시 금촌동 하천퇴적물 전경



그림 2-7 파주시 금촌동 퇴적물 샘플링

○ 문산읍 문산리

문산읍 부근의 작은 하천으로 조사 당시 바닥 정비 공사중에 있었다. 원 하천바닥에서 50cm 이상의 심도에서 시료를 채취한 결과 악취가 심하게 발생하였다. 주변은 모두 농경지이며 상류부근에 약간의 주거지역이 형성되어있다. 그림 2-8은 하천 바닥의 상태를 보여준다.

○ 문산읍 이천리

이 지역의 경우 수량은 보통이며, 하천 폭은 5~10m이다. 생활하수 유입으로 퇴적물 상층 1~2cm가 유기물로 오염되어 있었으며, 약간의 악취가 발생하였다. 주변은 농경지 및 산지이고 상류에 주거지역이 형성되어 있다. 그림 2-9는 이 지역 하천 퇴적물의 개략적 상태를 파악하는 작업의 전경이다.



그림 2-8 문산읍 문산리 하천 바닥 전경

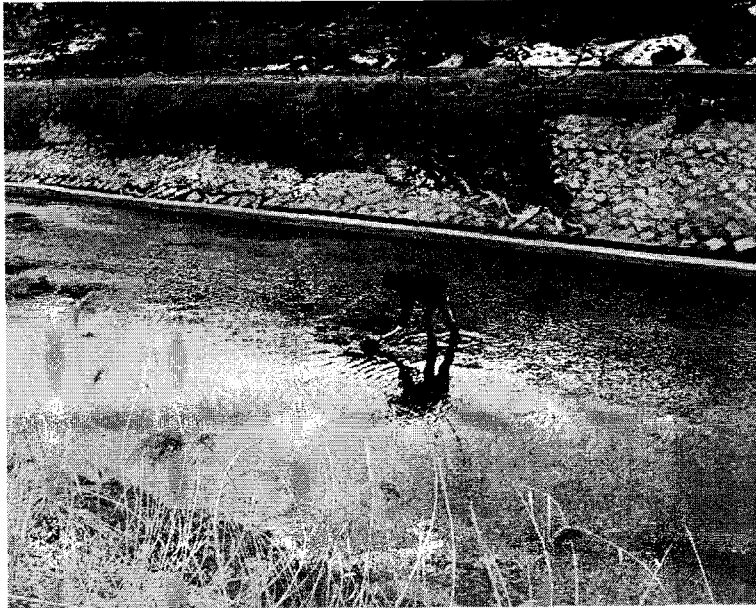


그림 2-9 문산읍 이천리 퇴적물 상태 파악작업 전경

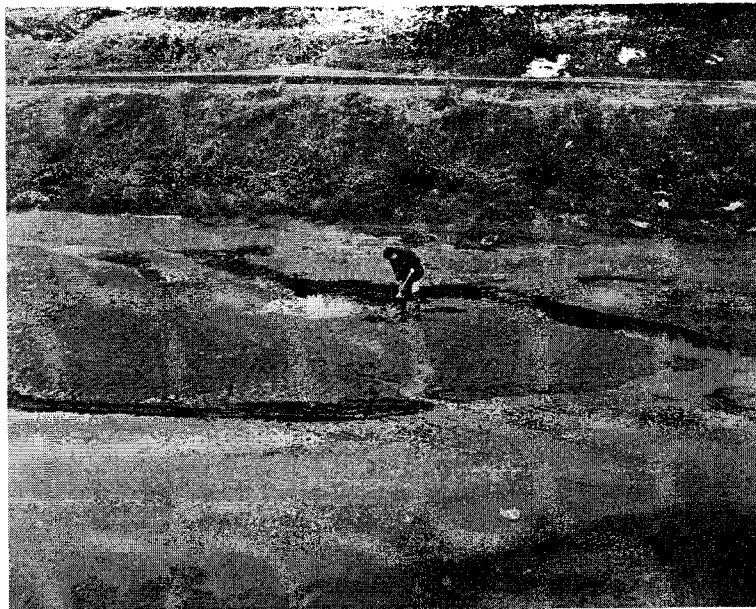


그림 2-10 파주시 마산리 하천 퇴적물 전경

○ 파주시 마산리

이 지역은 하천의 폭은 약 10m이며, 대부분 모래질 퇴적물이며 악취가 발생하였다. 상류는 주거지이며 주변은 대부분 농경지이다. 그림 2-10은 이 지역 하천의 전경을 보여 준다.

○ 양주군 상수리

보 상류는 퇴적물로 거의 기능을 상실한 상태이며 모래질 퇴적물과 하천 가장자리는 점토질 퇴적물이 관측되었다. 매우 악취가 심하며 오염정도가 심각한 것으로 나타났다. 주변에 주거지 및 상가가 있으며 상류는 대부분 농경지 및 약간의 주거지이다. 이 지역의 경우 그림 2-2와 그림 2-3에서 상태를 보여준다.



그림 2-11 양주군 덕도리 하천 퇴적물 전경 및 샘플링 작업

○ 양주군 덕도리

이 지역의 경우 수량이 적고 하천폭은 5m 내외이다. 퇴적물의 오염이 심각한 것으로 관측되었으며, 모래질 퇴적물에서 매우 악취가 심하게 발생하였다. 주변은 비닐하우스 등의 농경지이며 상류는 농경지 및 몇몇 공장이 산재하였다. 그림 2-11은 이 지역의 퇴적물 상태와 샘플링 과정을 보여준다.

○ 양주군 산북리

하천폭은 5~8m 내외이며 평상시 수량은 적고 악취가 매우 심하다. 생활쓰레기 및 자갈 산재해 있으며 퇴적물은 사질토이며 상부에 유기물이 존재한다. 주변의 상가 및 상류의 주거지에서 유입되는 오수로 오염된 것으로 보인다. 그림 2-12는 기초물성 시험용 시료 채취 작업을 보여준다.



그림 2-12 양주군 산북리 하천 퇴적물 전경 및 샘플링 작업

○ 양주군 봉암리

물의 색이 적갈색으로 악취가 심하였으며 퇴적물은 모래질이고 상부는 점토질 퇴적물이다. 퇴적물의 색은 검정색이며 악취가 매우 심하다.

주변은 농경지이나 모피 및 가죽공장이 산재해 있는 지역으로 공장폐수에 의한 오염이 심한 것으로 판단된다. 그림 2-13은 이 지역의 퇴적물의 내부의 상태를 파악하고 샘플링을 실시하는 과정을 보여준다.



그림 2-13 양주군 봉암리 퇴적물 현황 및 샘플링 작업



그림 2-14 포천군 유교리 퇴적물 현황 및 샘플링 작업

○ 포천군 유교리

하천폭은 2~3m로 수량이 적으며 육안으로 본 수질은 보통이다. 모래질 퇴적물이며 상부는 유기물로 덮여있다. 주변은 농경지와 주택으로 상가 및 공장은 존재하지 않는다.

3) 경기 서부(김포)

○ 김포군 석모리

수질이 매우 나쁘며, 검정색의 모래질 퇴적물로 매우 악취가 심하다. 주변은 농경지이나 상류에 화학공장 및 가구공장이 존재한다. 그림 2-15는 하천의 전경이며, 그림 2-16은 오염된 퇴적물을 보여준다. 색이 검은 색으로 상당히 역한 악취가 발생하였다.



그림 2-15 김포군 석모리 하천 전경



그림 2-16 김포군 석모리 하천 퇴적물



○ 김포군 하사리

수질은 보통이며 자갈 및 모래질의 퇴적물로 하부는 빨충으로 판단되며 퇴적물의 악취가 매우 심하다. 육안으로 상부는 유기물로 덮여 있으나 내부는 오염도가 심한 것으로 나타났다. 주변은 농경지이며 상류에는 약간의 주거지가 존재한다.

그림 2-17은 하천의 전경이며, 그림 2-18은 상부의 유기물 아래 검은 색의 악취가 심한 퇴적물을 보여준다.



그림 2-17 김포군 하사리 하천 전경



그림 2-18 김포군 하사리 하천 퇴적물



그림 2-19 김포군 군하리 하천 전경

○ 김포군 군하리

수질은 매우 나쁘며 악취가 심하게 발생한다. 퇴적물의 상부는 자갈이고 하부는 모래질이며 악취가 매우 심하다. 주변은 농경지 및 주거지이며 군부대와 화학 및 섬유공장이 존재한다.

그림 2-19는 하천의 전경이며, 그림 2-20은 하천 바닥에서 채취한 퇴적물의 성상을 보여준다.



그림 2-20 김포군 군하리 하천 퇴적물



그림 2-21 김포군 석정리 하천 전경



그림 2-22 김포군 석정리 하천 퇴적물

○ 김포군 석정리

수질은 보통이며 하천 폭은 1m 정도이다. 육안으로 관측시 모래질 퇴적물의 오염이 없는 것으로 보이나 하부는 검정색으로 악취가 매우 심하게 발생한다. 주변은 농경지 및 주거지이며 상류에는 군부대 및 농장이 존재한다. 그림 2-21은 하천의 전경이며, 그림 2-22는 퇴적물의 상부와 하부가 대비되고 있음을 보여준다.

4) 경기 남부

○ 화성시 당하리

수질은 양호한 편이며 모래질 퇴적물로 악취는 없으며 주변은 농경지 및 산지이다. 그림 2-23은 하천의 상태를 보여준다.

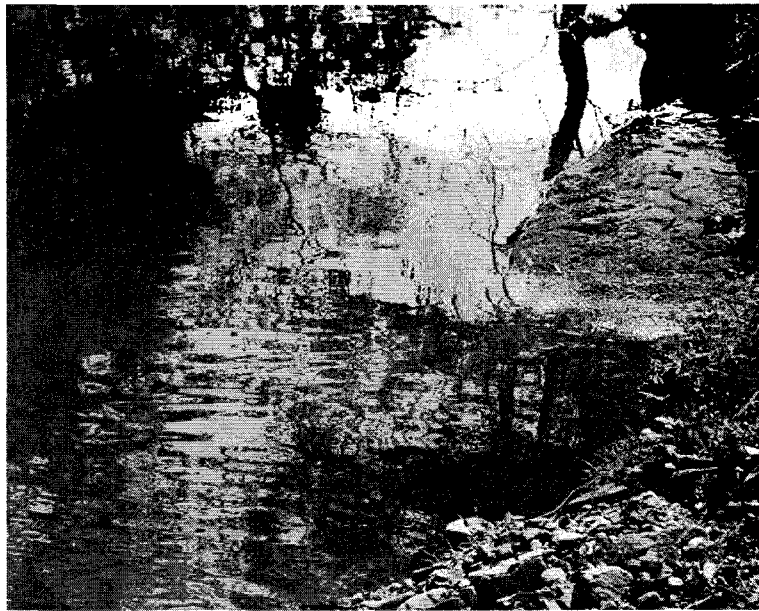


그림 2-23 화성시 당하리 하천 전경

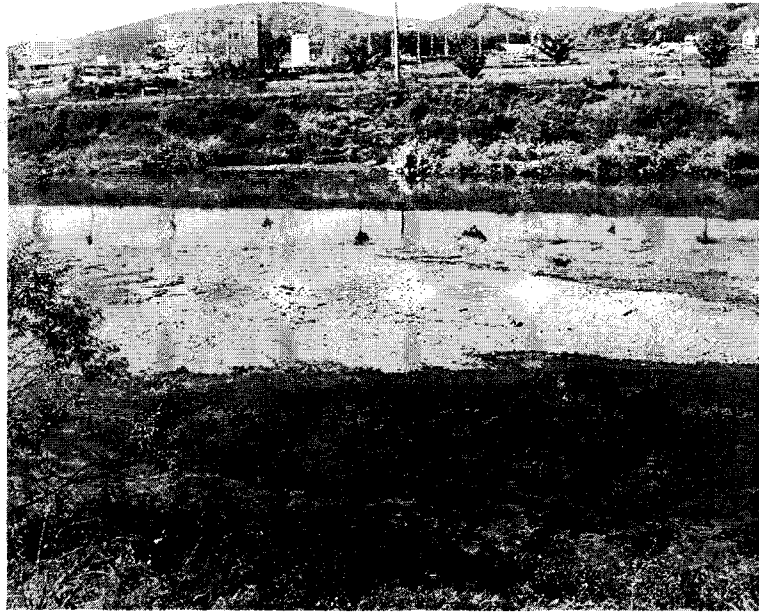


그림 2-24 화성시 발안리 하천 전경

○ 화성군 발안리

수질은 보통이며 모래질 퇴적물로 약간의 악취가 발생한다. 하천의 양 가장자리로 점토질 퇴적물이 존재하며 악취가 심하게 발생한다. 하천의 상류는 농경지 및 주거지이고 시가지가 존재한다.

5) 수원시

수원시를 통과하는 하천은 황구지천을 본류로 하여 수원천, 원천천, 서호천 등 세 개의 하천이 황구지천으로 유입되며, 반정천이 오산시를 통하여 유입된다. 이들 중 수원천과 원천천의 경우 수원 도심지를 통과하며, 황구지천과 서호천은 생활 및 주거특성이 우세하며 반정천은 상류에 주거지가 산재하며 주변은 대부분 농경지인 하천이다.



그림 2-25 수원시 황구지천 상류 전경

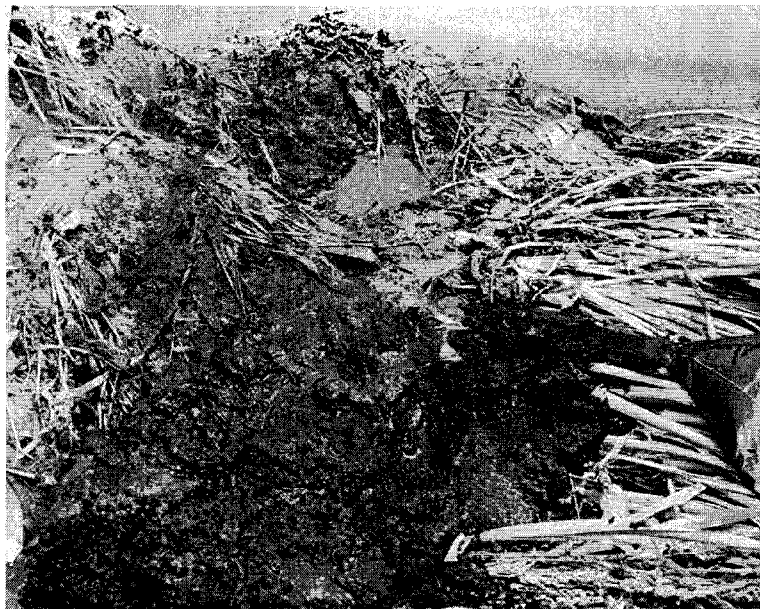


그림 2-26 수원시 황구지천 상류 퇴적물

각 하천의 상류는 대부분 오염이 안 된 사질토가 대부분이며, 악취 등의 거의 발생하지 않았다. 그러나 황구지천의 경우 주거지를 통과하고 각 하천이 합류되면서 심한 악취가 발생하고 있었으며, 상당한 정도의 오염이 진행된 퇴적물로 판단되어, 적절한 처리가 필요할 것으로 판단되었다.

황구지천 및 지류에 대한 분석 결과는 다음의 화학성분 분석에 자세히 수록하였다.

#### 6) 저수지

본 연구에서는 저수지의 경우 2001년 현재 준설이 진행 중인 저수지를 대상으로 퇴적물의 현황을 조사하였다.

##### ○ 양평군 단석저수지

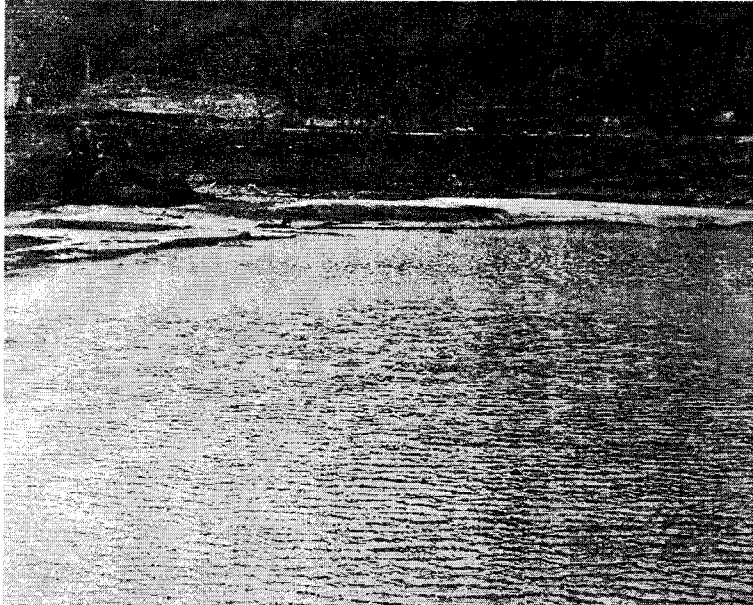


그림 2-27 단석저수지 전경





그림 2-28 단석저수지 퇴적물 현황

저수지 퇴적물의 상층은 점토질이며 약 30cm 하부는 모래질로 구성되어 있다. 약간의 악취가 발생하였다. 단석저수지는 산지에 위치하며 퇴적물에 대한 오염원이 없다.

○ 양평군 어은저수지

점토 및 실트질 퇴적물이 관측되었으며 육안이나 냄새로 확인될 정도의 오염은 없었다. 주변이 산지이고 약간의 주거지 및 식당이 존재한다. 그림 2-29는 어은저수지의 전경과 퇴적물의 현황을 보여준다.

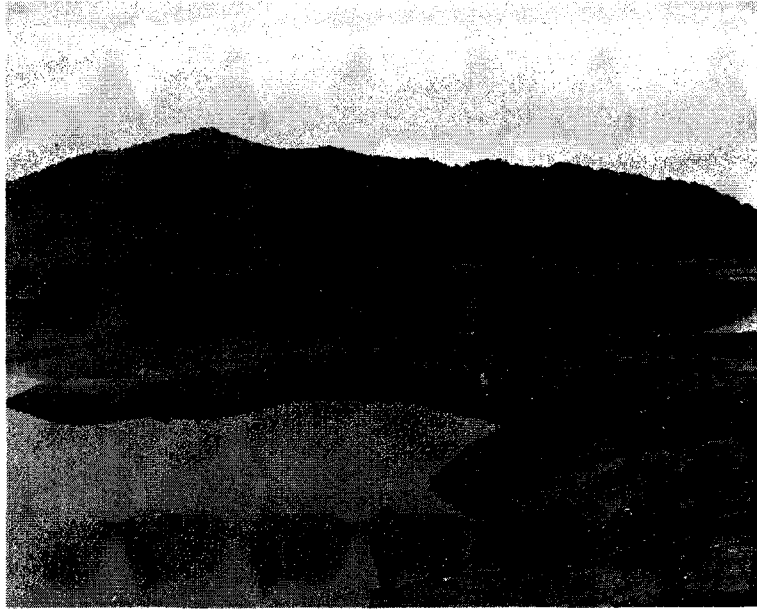


그림 2-29 어은저수지 전경 및 퇴적물 현황



그림 2-30 향리저수지 전경

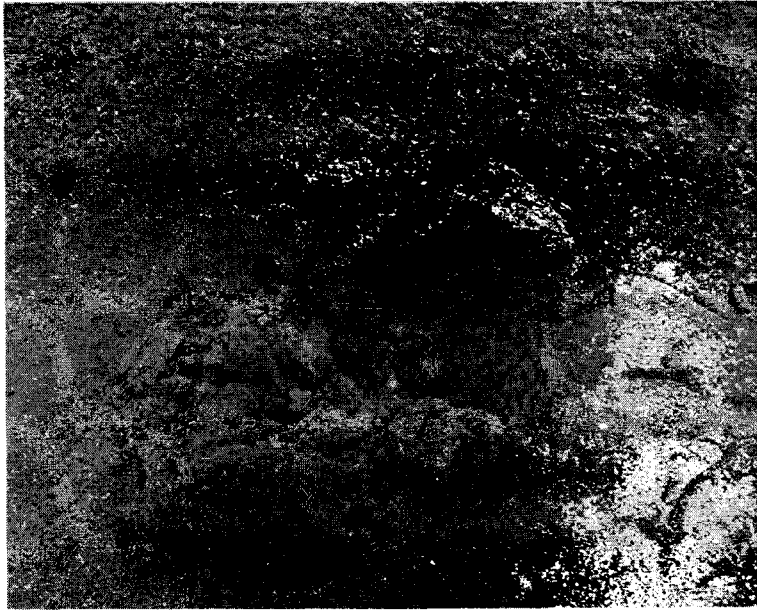


그림 2-31 향리저수지 퇴적물 현황

○ 양평군 향리저수지

수질은 보통이며 매우 느슨하게 퇴적된 세립질이 섞인 모래질 퇴적토이다. 퇴적물은 검은 색을 띠며 약간의 악취가 발생되었다. 상류에 주거지 및 농경지가 존재하며 낚시터로 운영중이다. 그림 2-30과 그림 2-31은 향리저수지의 전경과 퇴적물을 보여준다.

○ 시흥시 물왕저수지

수질은 보통이며 퇴적물은 점토 및 실트질로 약간의 악취가 발생하였다. 주변은 약간의 농경지와 식당 및 카페가 산재해 있다. 그림 2-32는 물왕저수지 전경이며, 그림 2-33은 물왕저수지에 대한 퇴적물의 채취작업을 보여준다.



그림 2-32 물왕저수지 전경



그림 2-33 물왕저수지 퇴적물 채취작업

○ 화성시 보통저수지

수질은 보통이며 퇴적물은 점토 및 실트질로 약간의 악취가 발생하였다. 주변은 약간의 주거지가 산재하고 식당 및 카페가 다수 분포하였다. 그림 2-34는 보통저수지의 전경을 보여주며, 그림 2-35는 퇴적물 채취작업을 보여준다.



그림 2-34 보통저수지 전경



그림 2-35 보통저수지 퇴적물 채취작업

○ 용인시 용덕저수지

점토 및 실트질 퇴적물로 약 20cm 아래는 모래질 퇴적물이 관측되었다. 약간의 악취가 발생하였다. 주변은 산지이며, 상류에 골프장이 존재한다. 그림 2-36은 저수지 전경이며, 그림 2-37은 하부 모래질 퇴적물 위로 약 10cm 두께로 점토질 퇴적물이 쌓여있는 그림이다.



그림 2-36 용덕저수지 전경



그림 2-37 용덕저수지 퇴적물 현황

○ 화성시 발안저수지

상류에서 저수지로 유입되는 지점에서 점토 및 실트질 퇴적물이 관측되었으며, 점토질, 실트질, 모래질 퇴적물이 층을 이루고 있으며, 악취는 발생하지 않았다. 주변은 산지 및 주거지이며, 상가가 존재한다. 그림 2-38은 발안저수지의 전경을 보여주며, 그림 2-39는 모래, 실트 및 점토가 층을 이루어 쌓인 퇴적물의 성상을 보여준다.

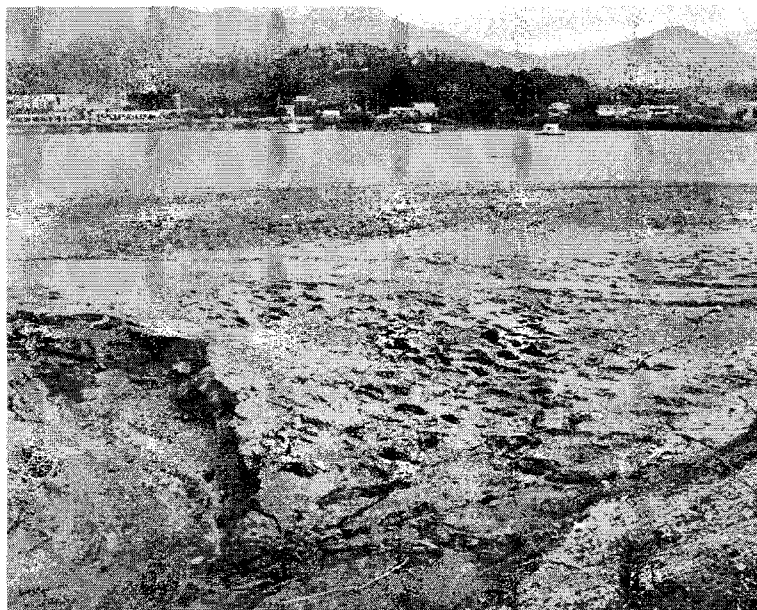


그림 2-38 발안저수지 전경





그림 2-39 발안저수지 퇴적물 현황

### 3. 요약

본 절에서는 경기도 일대의 하천 및 저수지에 대하여 하천 및 유역, 그리고 퇴적물의 현황을 조사하였다. 대부분 하천과 저수지에서 퇴적물이 발생되었으며, 조사 대상 지점의 약 80%에서 모래질 퇴적물이 관측되었고 나머지는 점토질 퇴적물이며 유기물로 덮인 경우가 많았다. 육안으로 상부 퇴적물이 오염되지 않은 것처럼 보이는 경우에도 하부 퇴적물의 색이 변하고 악취가 심하게 발생하는 경우가 많이 관측되었다. 또한 퇴적물에 의해 보 상류가 덮여 보의 기능이 상실된 경우가 많았다. 하천과 마찬가지로 저수지 퇴적물의 경우 유기물함량이 많은 것으로 나타났으며, 일부는 상당한 악취가 발생되고 있었다.

## 제 3 절 퇴적물의 특성 분석

### 1. 개요

각 조사대상 지역의 토적물의 일반적인 특성을 분석하기 위하여 주변의 여건과 오염원의 정도, 그리고 악취정도를 기준으로 오염정도가 심하다고 판단되는 경우 시료를 채취하였으며, 기초적인 물성치에 대한 실내시험과 화학분석을 실시하였다. 시료의 채취 위치는 하천수가 흐르는 곳을 정하였으며, 특별한 샘플러를 사용하지 않고 삽으로 하천수와 함께 퇴적물을 퍼내어 30cm 심도에서 퇴적물이 고르게 채취하고 퇴적물을 유리병에 담아 밀봉하여 보관 운반하였다.

### 2. 퇴적물의 공학적 특성 분석

#### 가. 입도분포

퇴적물의 주 구성성분인 흙을 이루는 입자의 크기는 다양하다. 흙을 입자크기에 따라 분류하기 위하여 여러 단체가 입자의 크기를 규정하였다. 일반적으로 많이 사용되는 통일분류법에서는 입경 0.075mm이하를 실트 및 점토, 0.075~4.75mm를 모래 그리고 4.75~76.2mm를 자갈로 구분하고 있다. 이러한 흙의 입경의 분포로 나타낸 입도분포곡선은 흙의 분류 및 활용에 있어서 기본적인 자료가 된다.

본 연구에서는 흙의 처리 및 재활용의 기본적인 물성치 자료로 사용하기 위하여 입도분포시험을 실시하였다. 그림 2-40~2-44는 각 경기도 일대 하천시료에 대한 입도분포곡선을 나타낸다.

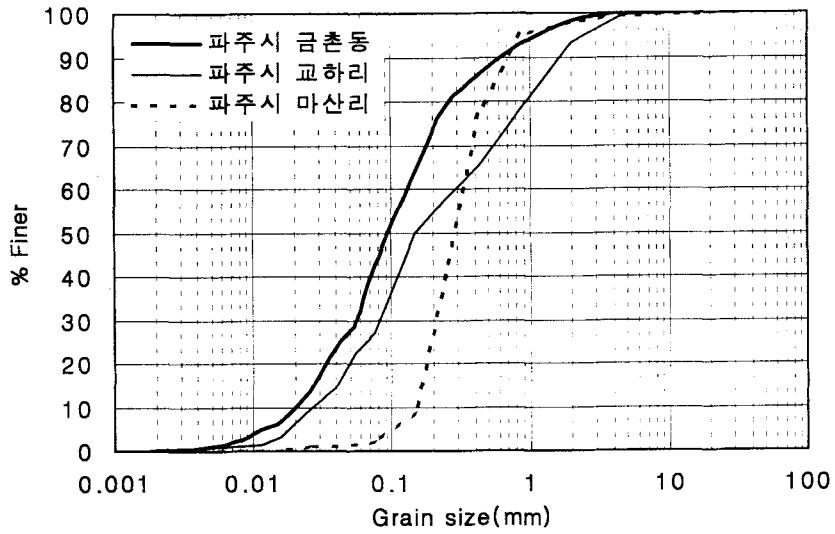


그림 2-40 경기 북부지역(파주) 시료의 입도분포곡선

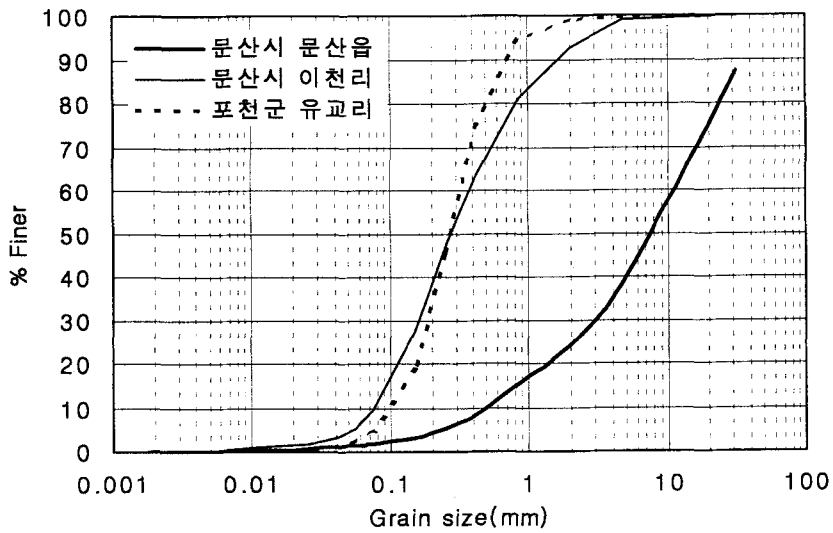


그림 2-41 경기 북부지역(문산, 포천) 시료의 입도분포곡선

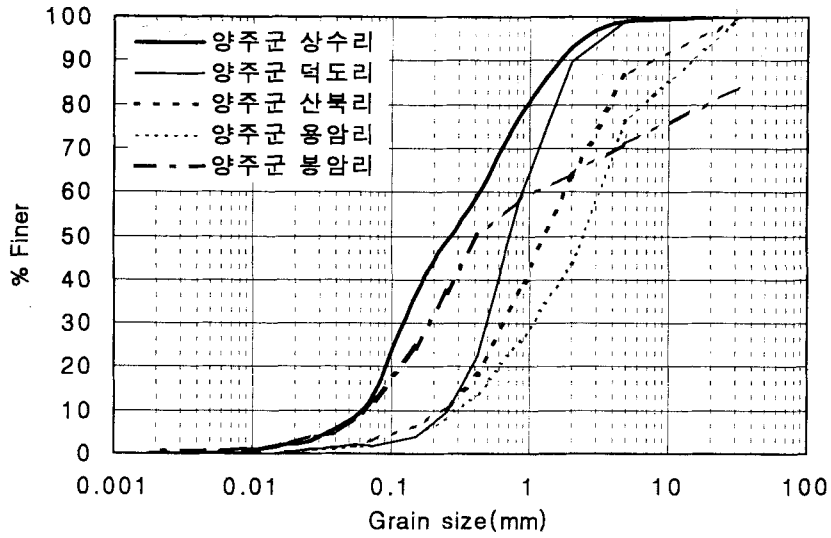


그림 2-42 경기 북부지역(양주) 시료의 입도분포곡선

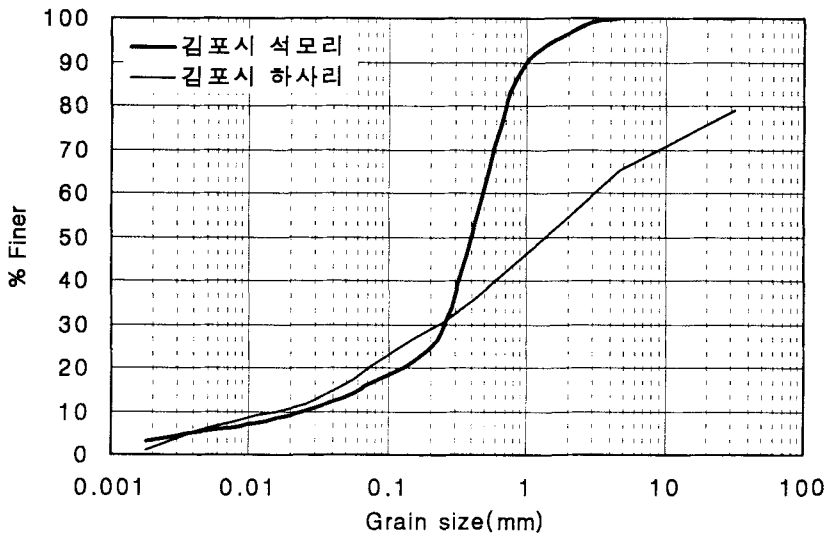


그림 2-43 경기 서부지역(김포) 시료의 입도분포곡선

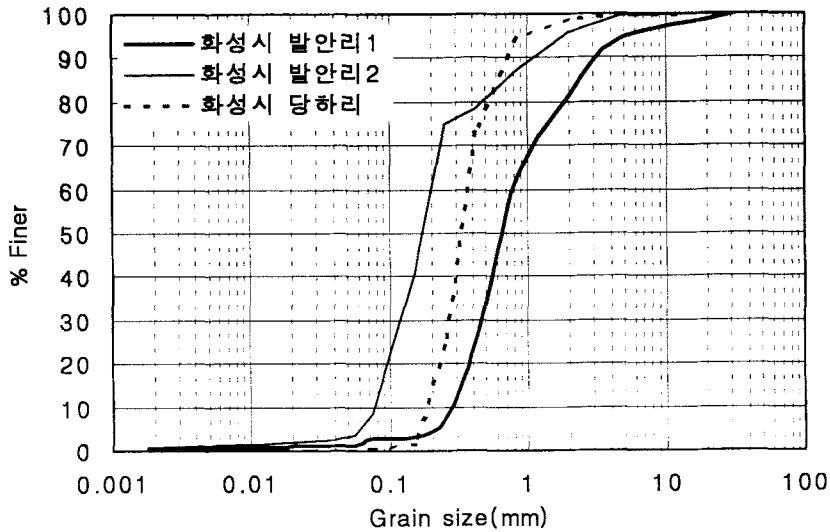


그림 2-44 경기 남부지역(화성) 시료의 입도분포곡선

그림 2-40과 그림 2-41에서 파주 시료의 경우 모래질이 27%, 42% 그리고 2%로 나타났으며 자갈질은 거의 없는 것으로 나타났다. 문산과 포천시료의 경우 점토 및 실트질이 10% 이하로 나타났다. 양주일대의 시료에서 자갈질이 상대적으로 높게 나타났으며, 평야지대인 김포지역 시료의 경우 점토 및 실트질이 17%, 20% 나타나 상대적으로 높았다.

그림 2-45는 발안저수지와 향리저수지 및 보통저수지 퇴적물의 입도분포곡선이다. 향리저수지와 보통저수지 시료의 경우 실트 및 점토함량이 40~50% 정도이지만, 발안저수지 시료의 경우 94% 이상이 점토 및 실트질로 세립분 함량이 높았다.

그림 2-46~2-49는 수원을 통과하는 황구지천과 황구지천에 유입되는 하천(수원천, 원천천, 서호천, 반정천) 시료에 대한 입도분포곡선이다. 그림에서 보듯이 각 하천에서 상하류에 따른 입도의 특징은 뚜렷하게 나타나지 않았다. 각 하천의 경사와 하천으로 유입되는 토사의 특성에 따라 입도곡선의 특징이 나타난 것으로 사료된다.

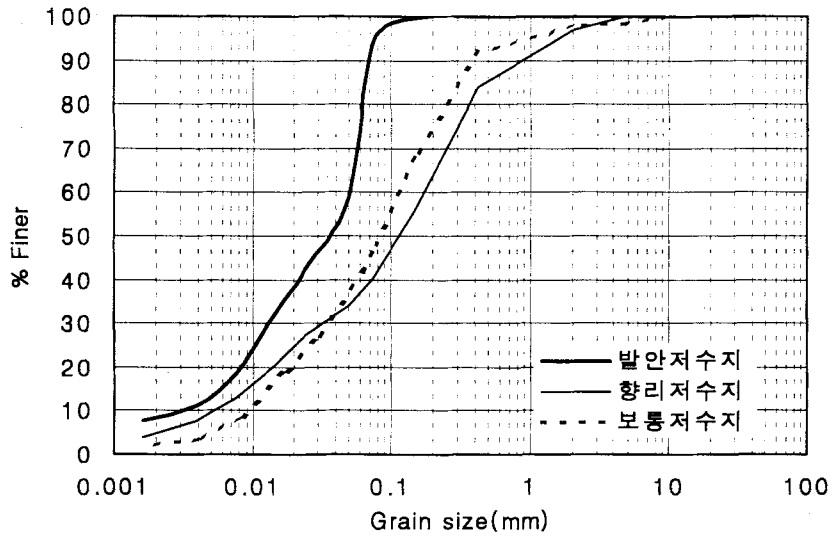


그림 2-45 저수지 시료의 입도분포곡선

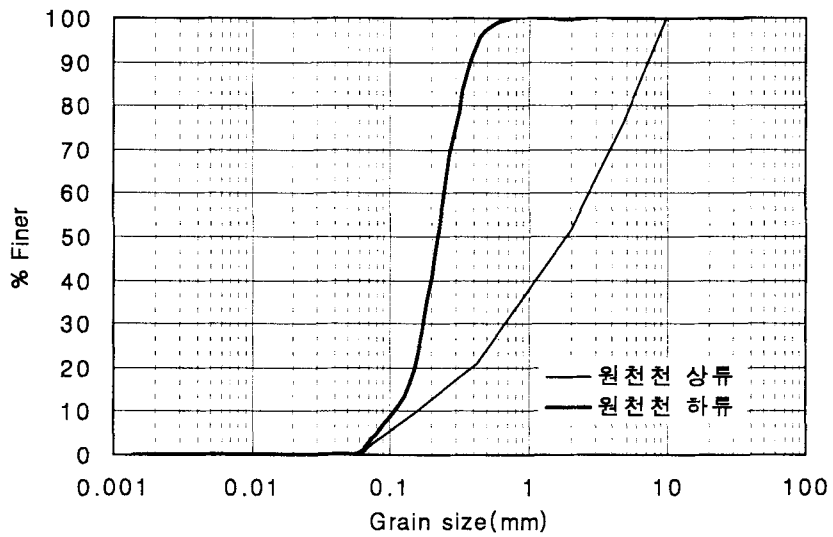


그림 2-46 원천천 시료의 입도분포곡선

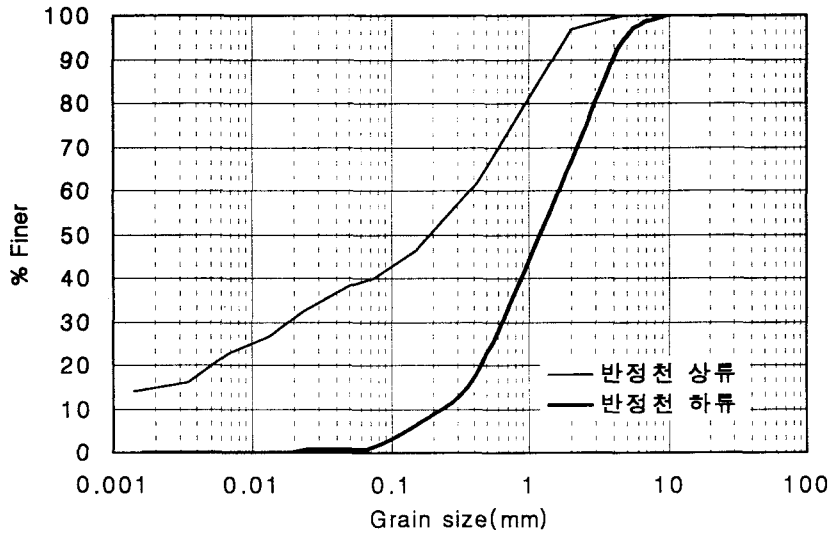


그림 2-47 반정천 시료의 입도분포곡선

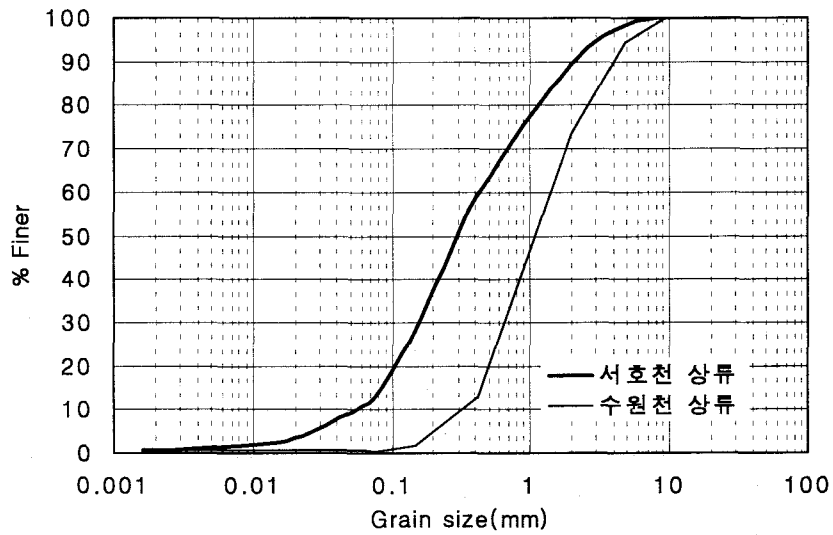


그림 2-48 서호천 및 수원천 시료의 입도분포곡선

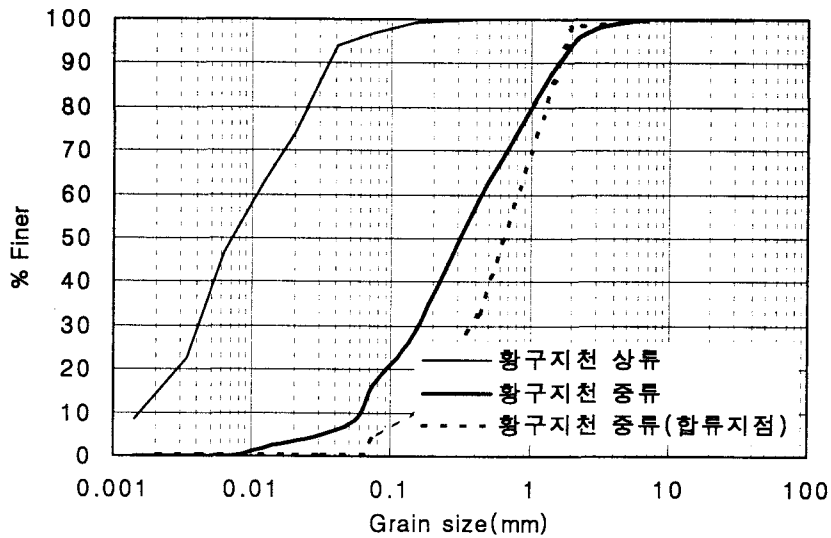


그림 2-49 황구지천 시료의 입도분포곡선

#### 나. 기초물성 및 분류

흙 입자의 비중이란 흙덩어리의 구조골격을 이루고 있는 크기와 각기 다른 비중을 가진 구성광물들로 다양하게 이루어진 흙입자의 평균적인 비중을 말하며 단위체적당 중량을 말한다. 흙입자의 비중은 흙의 기본적인 성질인 간극비와 포화도를 아는 데 필요할 뿐만 아니라, 흙의 견고한 정도나 유기질토에 있어서의 유기물 함유량을 구하는 데에 이용된다. 흙의 비중은 흙의 조성광물의 분류에도 유용하게 이용될 수 있다. 비중시험은 흙이나 콘크리트나 아스팔트의 배합에 사용되는 가는 골재(또는 모래)에 대해 적용가능하다. 대부분의 흙은 비중이 2.60~2.80 사이에 존재한다. 모래의 경우 대부분 석영(quartz)으로 이루어져 있으므로 비중을 2.65로 잡는다. 석영보다 비중이 높은 광물들로 이루어져 있는 점토의 경우 모래보다 높은 비중을 나타내며 peat나 유기물질들을 함유하고 있는 흙은 2.65보다 상당히 작은 수치를 나타내며 때로 2.0 이하의 값을 보이기도 한다.



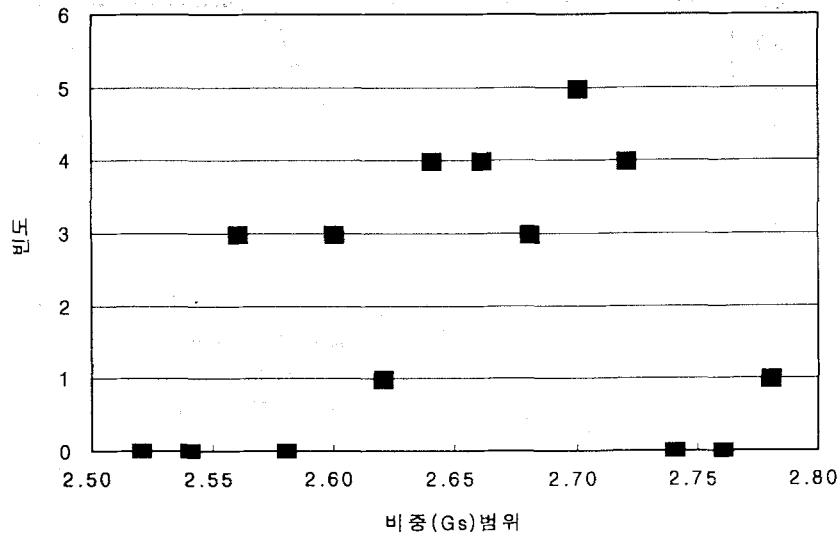


그림 2-50 퇴적물 시료의 비중의 분포

그림 2-50은 본 연구에서 채취한 하천 및 저수지 시료의 비중의 분포를 나타낸다. 보통의 흙의 경우 비중이 2.65~2.7의 범위임을 감안한다면, 퇴적물의 비중에 있어서 큰 특징은 없다고 볼 수 있으나 몇몇 유기물 함량이 높은 시료의 경우 2.6이하의 비중값을 보이고 있다. 하천 시료의 대부분의 경우에 액소성을 구할 수 없는 상태인 NP(Non-plastic)상태의 흙으로 나타났으며, 통일분류법 상으로 CL, MH, ML에서, SP, SW, SC-SM 등 다양하게 나타났다.

### 3. 퇴적물의 화학적 특성 분석

#### 가. 분석 항목 및 내용

화학성분분석은 토양환경보전법에서 규정하고 있는 오염물질에 대하여 수행하였으며

모든 분석방법은 토양오염공정시험방법에 준하여 수행하였다.

#### 나. 분석 방법

##### ○ 카드뮴, 구리, 납(Cd, Cu, Pb)

풍건시료 10g에 0.1N HCl 용액 50ml을 넣고 1시간 진탕한 후 거름종이 Whatman No. 42로 여과하여 여액을 유도결합플라즈마(ICP)를 이용하여 분석.

##### ○ 비소(As)

풍건시료 10g에 1N HCl 용액 50ml을 넣고 30분간 진탕한 후 거름종이 Whatman No. 42로 여과하여 여액을 유도결합플라즈마(ICP)를 이용하여 측정.

##### ○ 수은(Hg)

생토 10g을 환류냉각기를 부착한 500ml 환저플라스크에 넣고 질산을 이용하여 분해 한 후 요소용액(10W/V%), 과망간산칼륨용액(10W/V%), 염산히드록실아민용액 등을 처리한 후 250ml로 정용하여 수은 환원장치가 부착된 원자흡광광도계(AAS)를 이용하여 측정.

##### ○ 시안(CN)

생토 20g을 시안 증류플라스크에 넣고 슬퍼민산암모늄(10W/V%), 에틸렌디아민테트라 초산나트륨 용액 등을 처리하여 증류한 후 피리딘-피라졸론혼액을 이용하여 증류액을 발색시켜 흡광광도계(UV-Vis Spec.)를 이용하여 측정.

##### ○ 6가크롬(Cr6+)

풍건시료 10g에 0.1N HCl 용액 50ml을 넣고 1시간 진탕한 후 거름종이 Whatman No. 42로 여과한 후 여액 30ml를 취하여 3% 트리옥틸아민 메틸이소부틸케톤(TOA-MIBK)으로 추출한 후 원자흡광광도계(AAS)를 이용하여 측정.

##### ○ 유기인

생토 20~30g을 가속용매추출장치(ASE)를 이용하여 추출하고 이를 농축한 후 플로리 실 컬럼을 이용하여 정제한 후 다시 1ml 정도로 농축한 후 가스크로마토그래프(GC)를 이용하여 분석.

Det. (ECD) : 300°C, Injector : 280°C, Column : DB1

○ 페놀

생토 20~30g을 가속용매추출장치(ASE)를 이용하여 추출하고 이를 농축한 여 2-프로판올로 용매 전이하여 가스크로마토그래프(GC)를 이용하여 분석.

Det. (FID) : 300℃, Injector : 280℃, Column : DB

○ 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌(BTEX)

메탄올 10ml에 생토 5~8g 정도를 넣고 혼든 후 침지시킨 후 상등액 일정량을(30~70  $\mu$ l) Purge and Trap이 부착된 가스크로마토그래프를 이용하여 분석.

Det. (FID) : 230℃, Injector : 210℃, Column : VOCOL

○ 석유계총탄화수소(TPH)

생토 20~30g을 가속용매추출장치(ASE)를 이용하여 추출하고 이를 농축한 여 가스크로마토그래프(GC)를 이용하여 분석.

Det. (FID) : 310℃, Injector : 290℃, Column : DB1

○ 폴리클로리네이티드비페닐(PCB)

생토 20~30g을 가속용매추출장치(ASE)를 이용하여 추출하고 이를 농축한 후 실리카 겔 컬럼을 이용하여 정제한 후 다시 1ml 정도로 농축한 후 가스크로마토그래프(GC)를 이용하여 분석.

Det. (ECD) : 310℃, Injector : 290℃, Column : DB5

다. 분석 결과

위에서 설명한 시험방법에 의해 본 연구에서 채취한 시료에 대한 화학분석 결과는 표 2-2와 같다. 전체 시료에 대해서 토양 오염물질로 규정된 항목 중에서 6가크롬(Cr+6), PCB, 유기인, 시안(CN)은 검출되지 않았다. 분석 항목 중에서 '토양환경보전법' 상에서 규정하고 있는 토양오염 우려기준을 초과하는 항목은 페놀과 TPH로 경기 북부 일부와 경기 남부시료에서 검출되었다. 이는 토양오염 대책기준을 초과하고 있어 대책이 필요한 것으로 나타났다. 나머지 항목은 기준을 초과하지 않았다.

표 2-2 경기도지역 하천 및 저수지 퇴적물 시료의 화학분석 결과

No	위치	As mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	TPH mg/kg	페놀 mg/gk	BTEX mg/kg	pH	EC dS/m	유기물 %
1	파주시	1.375	3.406	0.059	1.396	0.1308	0	0	0	6.89	0.140	0.59
2	파주시	3.949	7.813	0.151	4.608	0.1528	0	0	0	7.38	0.213	3.51
3	파주시	3.920	6.140	0.180	8.541	0.0917	0	0	0	7.34	0.262	1.79
4	파주시	2.470	5.226	0.153	5.109	0.0759	0	0	0	6.60	0.422	3.58
5	양주군	2.674	8.243	0.173	8.025	0.0597	0	0	0	7.13	0.260	3.31
6	양주군	1.381	11.745	0.183	12.472	0.1807	0	0	0.650	6.52	0.126	3.49
7	양주군	3.458	25.894	0.220	6.848	0.0498	0	0	0	6.59	0.634	6.84
8	양주군	2.233	11.923	0.603	2.684	0.0665	0	<b>36.870</b>	0	5.73	0.422	9.30
9	양주군	4.986	5.542	0.199	4.644	0.1852	<b>2697.82</b>	<b>276.984</b>	0	7.57	1.440	4.00
10	포천군	2.636	4.663	0.111	2.704	0.0342	0	0	0	5.38	0.113	2.38
11	문산시	0.663	2.573	0.055	2.947	0	0	0	0	5.45	0.133	0.63
12	화성시	4.009	9.847	0.207	7.681	0.0999	0	<b>65.067</b>	0	4.61	0.499	2.77
13	화성시	1.261	2.517	0.072	3.505	0.8431	0	<b>13.107</b>	1.286	6.86	0.061	0.58
14	화성시	1.480	1.407	0.059	2.833	0	0	<b>13.301</b>	0	4.99	0.100	0.82
15	김포시	0.769	3.481	0.079	1.586	0.097	0	0	0			
16	김포시	2.328	5.125	0.298	3.023	0.079	0	0	0			
17	김포시	1.220	4.889	0.128	3.153	0.022	0	0	0			
18	김포시	0.920	2.444	0.101	2.792	0	0	0	0			
19	단석	2.170	1.781	0.123	6.771	0.056	0	0	0			
20	불양	1.523	2.190	0.096	3.879	0.028	0	0	0			
21	용덕	2.910	4.748	0.113	5.444	0.103	0	0	0			
22	보통	0.977	2.085	0.054	2.042	0.001	0	0	0			

표 2-3 수원지역 하천 퇴적물 시료의 화학분석 결과

No	위치	As mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	TPH mg/kg	페놀 mg/gk	BTEX mg/kg	pH	EC dS/m	유기물 %
1	황구지천 중류	0.14	10.02	ND	5.81	0.15	212.10	ND	0.93	-	-	-
2	황구지천 상류	0.40	10.18	ND	4.89	0.21	178.82	ND	1.91	-	-	-
3	원천천 하류	0.15	7.57	ND	3.34	0.08	ND	ND	ND	-	-	-
4	원천천 상류	0.08	2.40	ND	2.49	0.07	ND	ND	0.54	-	-	-
5	반정천 하류	0.08	1.51	ND	1.33	0.06	ND	ND	ND	-	-	-
6	반정천 상류	0.12	5.31	ND	2.07	0.04	ND	ND	ND	-	-	-
7	수원천 상류	0.04	2.14	ND	2.20	0.05	ND	ND	0.52	-	-	-
8	서호천 상류	0.38	10.18	ND	13.54	0.31	449.41	ND	1.68	-	-	-
9	황구지천(종합)	0.14	2.86	ND	1.27	0.05	ND	ND	ND	-	-	-

표 2-4 토양오염 우려기준 및 대책기준

물 질	우려기준		대책기준	
	가 지역	나 지역	가 지역	나 지역
카드뮴	1.5	12	4	30
구리	50	200	125	500
비소	6	20	15	50
수은	4	16	10	40
납	100	400	300	1,000
6가크롬	4	12	10	30
유기인화합물	10	30		
폴리클로리네이티드비페닐	-	12	-	30
시안	2	120	5	300
페놀	4	20	10	50
유류(동·식물성 제외)				
-벤젠·톨루엔·에틸벤젠·크실렌(BTEX)	-	80	-	200
-석유계총탄화수소(TPH)	-	2,000	-	5,000

비고: 1. 가지역: 지적법 제5조제1항의 규정에 의한 전·답·과수원·목장용지·임야 학교용지·하천·수도용지·공원·체육용지(수목·잔디 식생지에 한한다)·유원지·종교용지 및 사적지  
 2. 나지역: 지적법 제5조제1항의 규정에 의한 공장용지·도로·철도용지 및 잡종지

3. 다음 각목의 1에 해당하는 경우에는 지목 구분에 관계없이 나지역의 토양오염우려기준을 적용한다.

가. 토양오염유발시설이 설치된 경우

나. 가지역에서 폴리클로리네이티드비페닐 또는 유류에 의한 토양오염사고가 발생한 경우

다. 가지역을 제외한 지역에서 토양오염사고가 발생한 경우

유기물의 경우 2~4% 이상이면 비중의 감소 및 흡수성, 보수성이 증가하여 물리적 성질(컨시스턴시, 수축정수 등)이나 역학적 성질(압밀특성, 전단특성 등)에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 대상 시료의 경우 최대 9% 이상의 유기물 함량을 나타내었으며, 생활유역과 공업유역에서 유기물 함량이 높았다. 이들 퇴적물을 도로 등의 성토재료로 활용하고자 하는 경우 대책이 필요한 것으로 나타났다.

표 2-3은 수원지역을 통과하는 하천에서 채취한 시료의 화학분석 결과이다. 위 결과에서 우려되는 점은 표 2-4의 토양오염 우려기준 및 대책기준에서 '가'지역의 경우 BTEX가 검출되지 않아야 되지만 몇몇 지역에서 검출되고 있다는 점이다.

#### 4. 요약

본 절에서는 경기도내 중·소 하천 및 저수지 일부의 퇴적물에 대한 공학적, 화학적 특성에 대하여 분석하였다. 여러 하천 및 저수지 퇴적물에 대한 입도시험을 실시한 결과 유역의 특성 등에 따른 특성을 관측되지 않았으며, 기타 물성치에서 특이사항은 발견되지 않았다. 화학성분에 대한 분석결과 토양 오염물질로 규정된 항목 중에서 6가크롬(Cr+6), PCB, 유기인, 시안(CN)은 검출되지 않았으며, 일부 지역에서 페놀과 TPH가 토양오염 우려기준을 초과하는 것으로 나타났다. 또한 검출되지 않아야 할 BTEX가 검출된 지역이 있어 주의가 필요한 것으로 판단된다.

또한 퇴적물의 활용측면에서 문제가 되는 유기물의 경우 최대 9% 이상의 유기물 함량을 나타내었으므로 성토재료 등으로 활용하고자 하는 경우 대책이 필요한 것으로 나타났다.

## 제 4 절 퇴적물의 오염지표 연구

### 1. 개요

본 연구의 대상인 농어촌의 하천 및 저수지는 단순한 용수원의 기능뿐만 아니라 주민의 생활공간의 일부로 그 역할이 확대되고 있다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 이들 퇴적물의 오염정도를 파악하는 것은 준설 퇴적물의 활용 및 사토처리에 있어서 토양오염 등에 대한 중요한 판단근거가 될 수 있으며, 또한 하천의 환경정비에 있어서 고려되어야 할 하나의 요소가 될 것이다. 따라서 농어촌 하천 및 저수지 퇴적물의 오염정도에 대하여 파악하고 등급화 하는 것이 필요하다.

이와 유사한 토양오염분석과 등급에 관한 연구로, 국내의 특정 지역 또는 특정 산업활동에 의한 토양오염 현황을 분석하고 이들의 처리방안에 관한 연구가 수행되어왔다. 그리고 토양오염에 대한 지표화 연구로, 박(1996)은 중금속 및 비소오염 토양의 평가에 관한 연구에서 비소와 중금속의 농도를 이용한 토양오염점수를 이용하여 토양오염을 등급화 하였다.

여기에서는 본 연구에서 실시한 경기도 일대의 중·소 하천 및 저수지의 퇴적물에 대한 오염도 분석을 실시하여, 박(1996)이 제시한 토양오염점수를 이용하여 오염등급을 평가하였다. 이는 향후의 준설사업으로 발생한 준설토사 처리에 있어 하나의 판단근거로 사용될 수 있을 것이다. 또한 하천 및 저수지 퇴적물의 오염정도를 지표화하여 농어촌 마을의 환경정비사업에 있어서 하천정비사업의 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

### 2. 오염지표

가. 악취정도의 구분

악취의 경우 ‘대기환경보전법’에서 제시한 대기오염공정시험방법의 관능에 의한 방법과 기기에 의한 방법이 있으나 본 연구에서는 표 2-5와 같이 관능법 상의 6단계의 악취도를 적용하였다.

표 2-5 악취정도의 구분(대기환경보전법 별표)

악취도	0	1	2	3	4	5
구분	무취	감지 취기	보통 취기	강한 취기	극심한 취기	참기 힘든 취기

화학성분분석은 ‘토양환경보전법’에서 규정하고 있는 오염물질에 대하여 수행하였으며, 앞절에서 제시한 바와 같이, 측정항목은 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 납(Pb), 비소(As), 수은(Hg), 시안(CN), 6가크롬(Cr+6), 유기인, 페놀, BTEX, TPH, PCB이다. 모든 분석방법은 ‘토양오염공정시험방법’에 준하여 수행하였다.

#### 나. 토양오염지표

토양의 중금속 농도에 의한 토양의 상태를 종합적으로 판단할 수 있는 지표로 박(1966)에 의해 제안된 토양오염지표(SPI, Soil Pollution Index)를 사용하였다. 이는 식(2-1)의 토양오염점수(SPS, Soil Pollution Score)를 이용하여 토양오염등급을 판단하는 방법으로 개별 오염물질에 대한 토양의 오염정도 보다는 여러 오염물질에 의한 토양의 상태를 종합적으로 판단할 수 있다는 장점이 있다.

$$\text{Soil Pollution Score} = \sum_i \frac{\text{Conc}_i}{\text{TV}_i} \times 100 \quad (2-1)$$

여기에서,  $i$ 는 중금속( As, Cd, Cr+6(Zn), Cu, Pb, Hg ),  $\text{Conc}_i$ 는 각 중금속의 농도



그리고  $TV_i$ 는 각 중금속의 토양오염 우려기준이다. 원래의 토양오염점수는 Zn을 사용하였으나 본 연구에서는 일부 시료에 대하여 현재 토양환경보전법 상에서 규정한 Cr+6을 사용하였다.

토양오염점수를 근거로 토양오염등급(Soil Pollution Class)을 나타내면 표 2-6과 같다. 표에서 토양오염점수가 300점 이상이면 4등급으로 오염된 지역으로 구분한다. 300~200 사이는 3등급, 200~100점 사이는 2등급으로 토양오염이 우려되어 토양 상태의 재검측이 필요한 지역이다. 100점 미만은 1등급으로 토양상태가 양호한 지역으로 분류한다.

표 2-6 토양오염점수(SPS)를 근거로 한 토양오염등급(SPC)

총 토양오염점수(Total Soil Pollution Score)	토양오염등급(Soil Pollution Class)
> 300	4
200~300	3
100~200	2
<100	1

### 3. 분석결과

#### 가. 악취발생정도

하천 및 저수지 퇴적물이 육안으로 보아 오염정도가 낮거나 오염되지 않은 것으로 보이는 경우에도 내부는 색이 검은빛이고 악취가 심하게 발생하는 경우가 많이 관측되었다. 그림 2-51은 표 2-5에서 제시된 시료에 대하여 악취정도를 나타낸 것이다.

악취의 발생정도는 생활유역보다는 공업 및 농업유역에서 상대적으로 높은 것으로 나타났다으며, 저수지 퇴적물의 경우 악취발생정도는 매우 낮았다. 이를 지역별로 구분하여 나타내면 그림 2-52와 같다. 그림에서 보듯이 농업유역 중에서도 김포시 일대의 하천

퇴적물에서 악취도가 심한 것으로 나타났다.

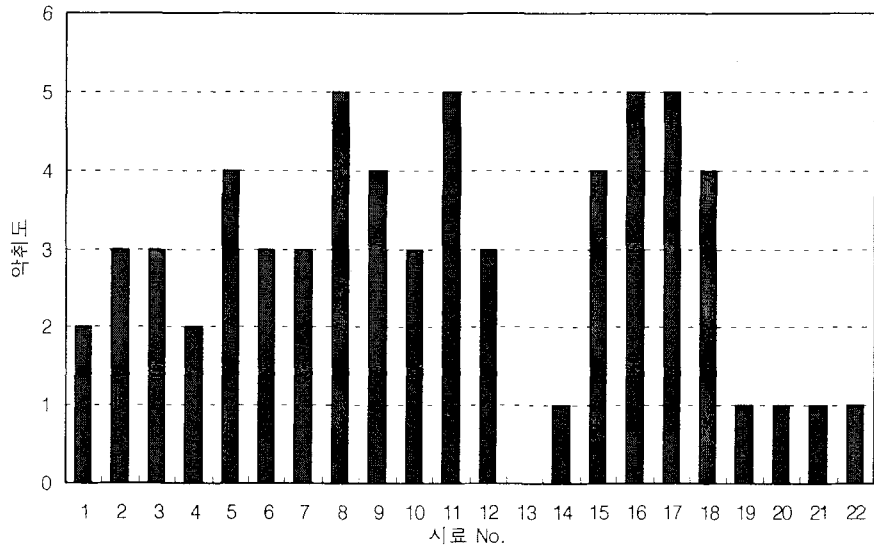


그림 2-51 퇴적물의 악취발생 정도

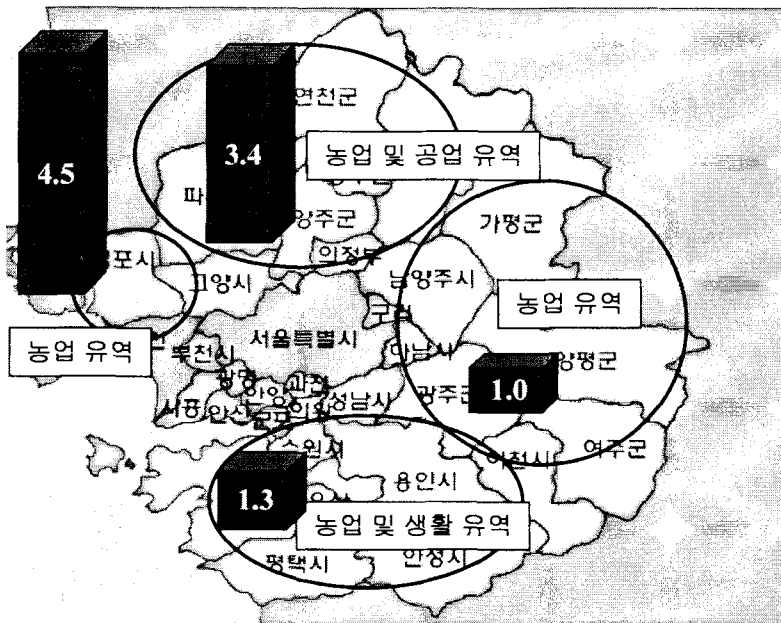


그림 2-52 지역별 악취발생정도

나. 토양오염등급에 의한 오염지표

본 연구에서 채취한 시료에 대한 화학분석 결과와 토양오염등급은 아래 표 2-7 및 표 2-8과 같다.

표 2-7 경기도지역 하천 퇴적물 시료의 화학분석 결과 및 토양오염점수

No.	위치	As mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg ug/kg	cr(+6) mg/kg	SPS	SPC
1	파주시	1.375	3.406	0.059	1.396	0.1308	-	67.8	1
2	파주시	3.949	7.813	0.151	4.608	0.1528	-	134.3	2
3	파주시	3.920	6.140	0.180	8.541	0.0917	-	121.1	2
4	파주시	2.470	5.226	0.153	5.109	0.0759	-	85.9	1
5	양주군	2.674	8.243	0.173	8.025	0.0597	-	95.5	1
6	양주군	1.381	11.745	0.183	12.472	0.1807	-	116.4	2
7	양주군	3.458	25.894	0.220	6.848	0.0498	-	143.4	2
8	양주군	2.233	11.923	0.603	2.684	0.0665	-	120.6	2
9	양주군	4.986	5.542	0.199	4.644	0.1852	-	158.4	2
10	포천군	2.636	4.663	0.111	2.704	0.0342	-	71.9	1
11	문산시	0.663	2.573	0.055	2.947	0	-	22.8	1
12	화성시	4.009	9.847	0.207	7.681	0.0999	-	133.0	2
13	화성시	1.261	2.517	0.072	3.505	0.8431	-	245.1	3
14	화성시	1.480	1.407	0.059	2.833	0	-	34.2	1
15	김포시	0.769	3.481	0.079	1.586	0.097	-	51.0	1
16	김포시	2.328	5.125	0.298	3.023	0.079	-	91.6	1
17	김포시	1.220	4.889	0.128	3.153	0.022	-	47.4	1
18	김포시	0.920	2.444	0.101	2.792	0	-	29.7	1
19	단석저수지	2.170	1.781	0.123	6.771	0.056	-	68.7	1
20	물왕저수지	1.523	2.190	0.096	3.879	0.028	-	46.9	1
21	용덕저수지	2.910	4.748	0.113	5.444	0.103	-	96.7	1
22	보통저수지	0.977	2.085	0.054	2.042	0.001	-	26.2	1

표 2-8 수원지역 하천 퇴적물 시료의 화학분석 결과 및 토양오염점수

No.	위치	As mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg ug/kg	Zn mg/kg	SPS	SPC
1	황구지천 중류	0.14	10.02	ND	5.81	0.15	77.14	90.8	1
2	황구지천 상류	0.40	10.18	ND	4.89	0.21	149.59	134.6	2
3	원천천 하류	0.15	7.57	ND	3.34	0.08	34.03	51.3	1
4	원천천 상류	0.08	2.40	ND	2.49	0.07	27.38	35.6	1
5	반정천 하류	0.08	1.51	ND	1.33	0.06	16.90	26.0	1
6	반정천 상류	0.12	5.31	ND	2.07	0.04	23.50	31.6	1
7	수원천 상류	0.04	2.14	ND	2.20	0.05	34.51	31.4	1
8	서호천 상류	0.38	10.18	ND	13.54	0.31	131.65	161.5	2
9	황구지천(종합)	0.14	2.86	ND	1.27	0.05	17.01	26.9	1

표 2-7에서 보듯이 8개 시료의 토양오염등급이 2~3등급으로 분류되어 토양오염의 우려가 있는 것으로 나타났으며, 향후 이들 하상 퇴적물에 대한 주의가 필요한 것으로 판단되었다. 저수지 시료의 경우는 모두 1등급으로 나타났다. 또한 육안 조사에서 상대적으로 오염정도가 낮은 것으로 나타난 경기 남부시료가 2~3등급으로 나타나 실제 오염 정도와의 차이를 보였다.

표 2-8에서 수원지역 하천시료의 경우 황구지천 상류와 서호천 상류 퇴적물이 토양오염등급 2등급으로 나타났다. 마찬가지로 이들 하천 퇴적물에 대한 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

한편으로, 하천 및 저수지 퇴적물의 오염은 그 자체의 특정기준 초과여부를 떠나서 사토 처리 및 활용에 있어서 부차적인 토양오염원으로 작용할 수 있다는 점에 중요성이 있다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 특히 하천 및 저수지 수질의 영향이 클 것으로 판단되지만 수질의 경우 사토 및 활용시의 침출수와 관련된 처리분야로 보았으며, 본 연구에서는 수질과의 관계에 대해서는 조사하지 않았다.

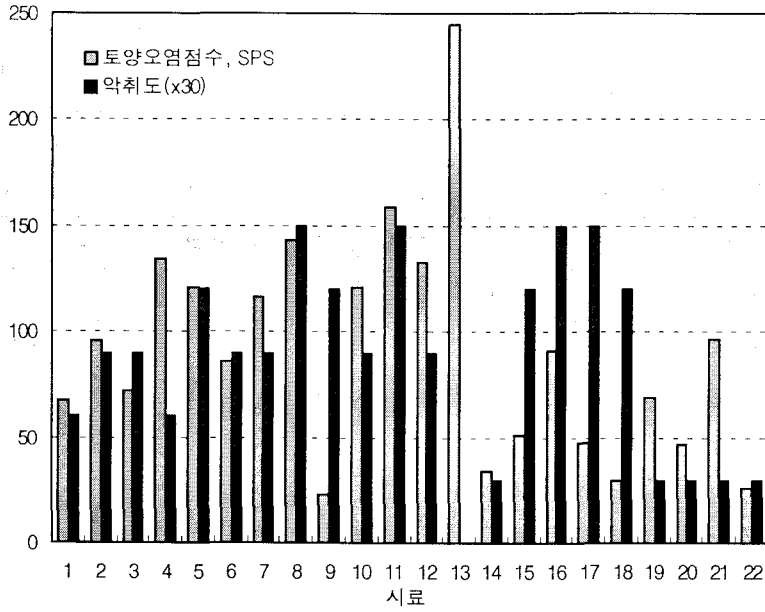


그림 2-53 토양오염점수와 악취도와의 관계

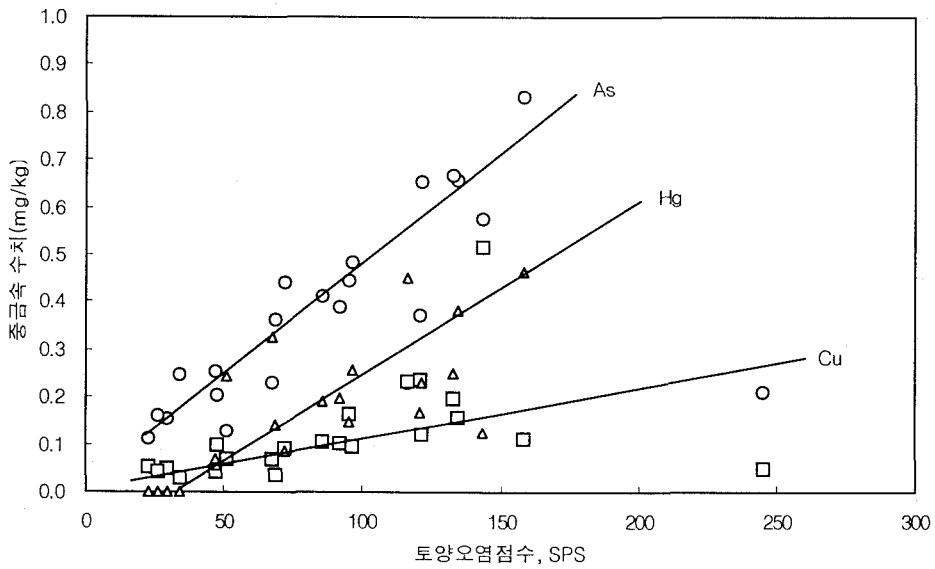


그림 2-54 경기도 일대 시료의 토양오염점수와 중금속 성분과의 관계

악취로 판단한 오염정도와 토양오염점수로 나타낸 토양오염정도를 비교한 결과를 그림 2-53에 나타내었다. 악취정도는 토양오염점수와 유의할 정도로 상관관계는 없는 것으로 판단되며 특히 13~20의 시료의 경우 육안 조사 및 악취정도와 퇴적물의 오염정도는 크게 다른 것으로 나타났다. 오염성분 상호간의 관계를 비교한 결과 그림 2-54와 같다. 토양오염점수의 계산에 사용된 중금속성분의 상호간 관계가 시료별로 정도의 차이는 있으나 유사한 관계가 나타났다.

#### 4. 요약

본 절에서는 본 연구에서 조사한 하천 및 저수지 퇴적물에 대한 오염도 분석을 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 하상 퇴적물 시료에 대한 화학분석 결과 일부 지역의 시료에 대하여 페놀 등에 의하여 심하게 오염된 경우가 나타났으며, 토양오염지표를 이용하여 퇴적물의 오염정도를 분석한 결과, 몇몇 시료의 경우 토양오염등급 2, 3등급으로 토양오염의 우려가 있는 것으로 나타났다.
2. 따라서 이들 지역에 있어서 유역의 오염원에 대한 관리 및 하상 퇴적물의 오염정도 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.
3. 향후 친환경적인 생활공간으로서의 하천개발을 위한 하천정비사업에 있어서 하천 및 저수지에서 발생하는 준설 퇴적물의 처리 및 재활용을 위한 기준의 정립이 필요한 것으로 판단되며, 이를 위하여 향후 오염원별, 시기별 퇴적물의 오염현황 파악 및 토양오염지표의 변화에 대한 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.
4. 본 연구에서 사용한 토양오염지표에서 나아가 농어촌의 생활, 산업특성을 반영하는 보다 합리적인 하천 및 저수지 퇴적물의 오염지표의 개발이 필요할 것이다.

## 제 5 절 하천 준설량 조사

### 1. 개요

저수지의 경우 일반적으로 저수용량을 늘리기 위하여 내용적에 대한 조사를 실시하여 준설 가능량 또는 필요량을 파악한 후 준설을 실시하게 된다. 그러나 본 연구의 연구대상인 농촌의 중소하천의 경우에는 일반적으로 준설량에 대한 조사가 명확하게 이루어지지 않고 있는 것이 현실이다. 따라서 여기에서는 하천 퇴적물의 오염 또는 하천 용수의 개발 및 하천 정비 등의 목적으로 준설을 필요로 하는 경우를 가정하고, 시험구간을 설정하였으며 시험구간에 대한 준설량을 판단하였다.

### 2. 준설량 조사방법

#### 가. 조사하천 및 조사구간

준설량 판단을 위한 하천은 경기도 수원시 권선구 일대에서 상류부를 형성하는 황구지천의 일부구간, 580m를 선정하였다. 시험구간의 위치는 그림 2-55에 나타내었다.

조사구간의 STA 0+00지점은 하천을 횡단하는 도로교량이며, STA 0+580지점에는 기능이 상실된 보가 존재한다.

조사 대상 하천인 황구지천의 상류에는 왕송저수지가 있으며, 구간의 상류측은 대부분 농경지로 이루어져있다. 하천으로 유입되는 유입수는 주변의 주거단지의 하수와 농경지 배수를 포함한다.







그림 2-56 황구지천 준설량 조사 0+200지점



그림 2-57 황구지천 준설량 조사 0+300지점



그림 2-58 황구지천 준설량 조사 0+400지점



그림 2-59 황구지천 준설량 조사 0+500지점

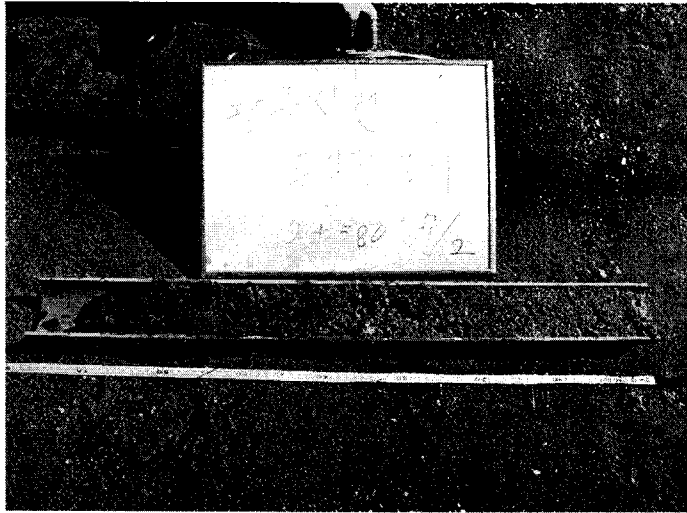


그림 2-60 황구지천 준설량 조사 0+580지점

그림에서 우측(하부)로 갈수록 채취된 시료의 색 및 성상이 변하고 있음을 알 수 있다. 각 그림에서 우측 이후의 심도에 있어서는 탐침에 의한 관입저항의 변화가 확인되었으며, 핸드오거를 이용한 시료의 채취도 힘들어 원 바닥층인 것으로 판단하였다.

### 3. 조사결과

표 2-9는 본 조사구간에 대하여 채취한 시료에 대한 화학분석결과 및 토양오염점수를 나타낸다.

표 2-9에서 보듯이 조사구간에 있어서 토양오염의 등급은 1등급으로 나타났지만, 상당한 정도의 악취를 발생하고 있었으며, 인접한 황구지천 상류 시료의 경우 표 2-8에서 보듯이 토양오염의 우려가 있는 것으로 나타나 주의가 요구되는 구간이다.

표 2-9 준설량 조사구간 하천 퇴적물 시료의 화학분석 결과

No.	위치 (STA.)	As mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg ug/kg	TPH mg/kg	페놀 mg/gk	BTEX mg/kg	SPS	SPC
1	0+200상부	0.11	10.18	ND	6.45	0.12	ND	ND	1.65	88.8	1
2	0+200하부	0.12	4.16	ND	2.68	0.06	44.48	ND	ND	35.3	1
3	0+300상부	0.21	4.04	ND	2.63	0.23	47.57	ND	0.86	83.8	1
4	0+300하부	0.09	2.96	ND	2.09	0.06	29.98	ND	1.54	29.6	1
5	0+400상부	0.17	4.94	ND	3.26	0.07	ND	ND	0.72	43.7	1
6	0+400하부	0.09	7.22	ND	4.25	0.06	ND	ND	1.28	41.0	1
7	0+500상부	0.11	3.83	ND	2.81	0.07	ND	ND	1.01	36.2	1
8	0+500하부	0.13	3.69	ND	2.58	0.04	ND	ND	0.68	30.6	1
9	0+580상부	0.09	6.01	ND	3.12	0.05	88.57	ND	1.21	40.5	1
10	0+580하부	0.02	1.87	ND	1.02	0.02	ND	ND	0.68	11.6	1

표 2-9에서 보듯이, 조사구간이 비교적 짧은 구간이지만 상류(STA. 0+580)에서 하류(STA. 0+200)으로 갈수록 토양오염점수가 커지고 있는 것을 알 수 있다. 또한 각 지점에서 상부에서 채취한 시료가 하부에서 채취한 시료보다 토양오염점수가 높았다.

그림 2-61~2-66은 각 조사지점에 있어서의 조사시의 수위, 퇴적층 상부 및 퇴적층과 원바닥의 경계를 표시한 그림이다.

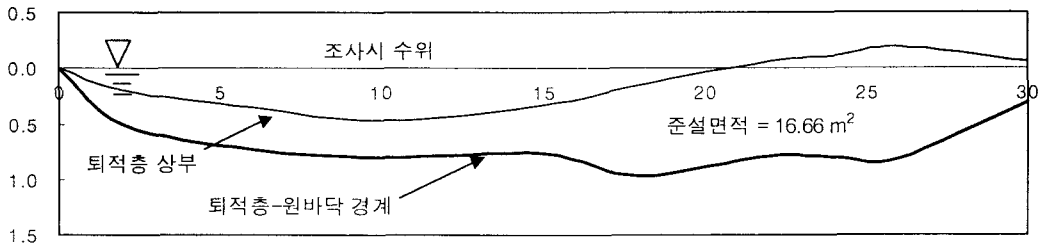


그림 2-61 STA. 0+100지점의 퇴적량 현황

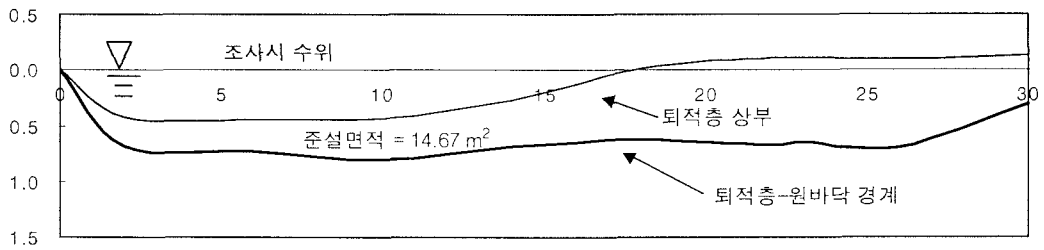


그림 2-62 STA.0+200지점의 퇴적량 현황

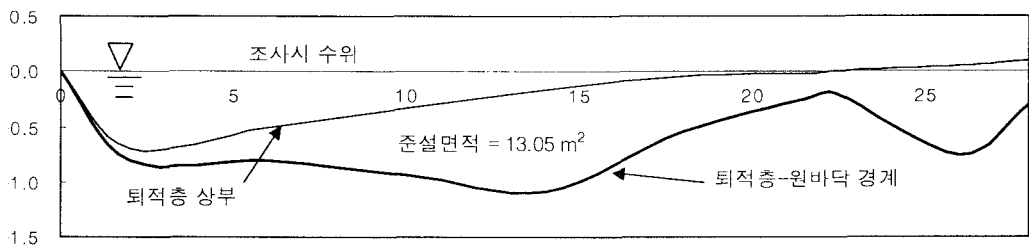


그림 2-63 STA.0+300지점의 퇴적량 현황

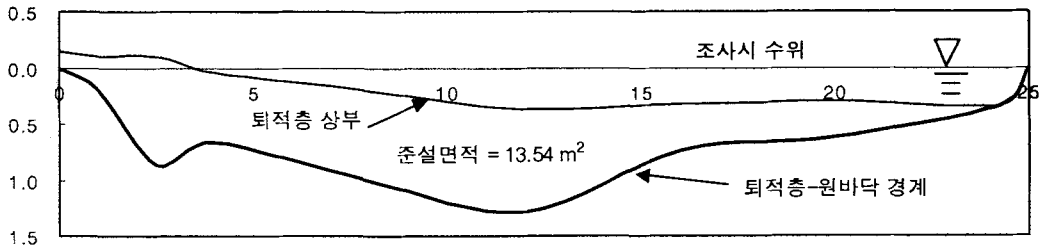


그림 2-64 STA.0+400지점의 퇴적량 현황

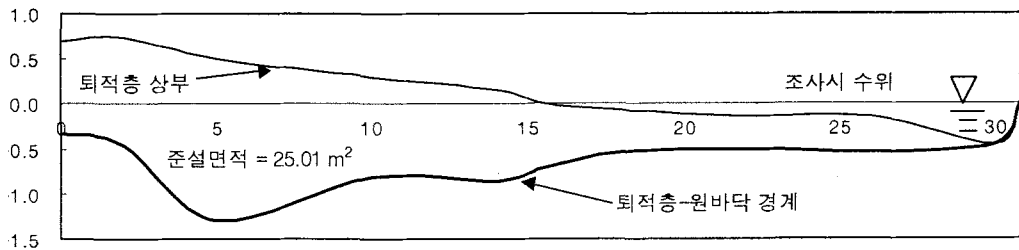


그림 2-65 STA. 0+500지점의 퇴적량 현황

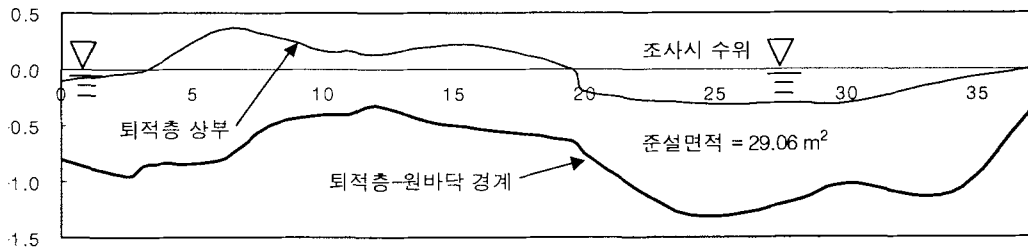


그림 2-66 STA. 0+580지점의 퇴적량 현황

표 2-10 조사구간의 준설량

지점	준설면적(m <sup>2</sup> )	구간 준설량(m <sup>3</sup> )
100	16.66	1,665.50
200	14.67	1,566.25
300	13.05	1,385.80
400	13.54	1,329.19
500	25.01	1,927.20
580	29.06	2,162.70
계		10,036.64

위의 각 그림에서 퇴적층 상부와 하부(퇴적층-원바닥 경계) 사이의 면적을 각 단면에 있어서의 준설면적으로 하고 각 구간에 대한 준설량을 계산하면 표 2-10과 같다.

각 조사 단면의 불규칙성과 하천선형을 감안하더라도 위의 결과에 큰 차이는 없을 것으로 판단된다. 단지, 저수지 준설의 경우 농업용수의 필요수량 및 현재 담수용량 등을 감안하여 필요 용량에 맞게 준설을 실시하지만 하천의 경우, 주변 논으로의 관개를 고려하여야 하며 어느 심도까지, 또는 어떠한 목적으로 준설을 실시하는가에 따라서 위의 결과에 차이가 발생할 것이다.

#### 4. 요약

본 절에서는 하천 퇴적물의 오염 또는 하천 용수의 개발 및 하천 정비 등의 목적으로 준설을 필요로 하는 경우를 가정하고, 시험구간을 설정하여 준설량을 판단하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

1. 하천의 원 바닥과 그 상부의 퇴적층을 구분하기 위하여 하천 상부에서 탐침(probe)을 관입하고 관입 저항의 변화를 이용하여 원 바닥과 퇴적층을 구분하였다. 그리고 각 조사지점에서 1공에 대하여 핸드오거(hand auger)를 이용하여 원 바닥으로 판단되는

심도까지 오거렁하여 퇴적층과 원바닥을 육안으로 확인하였다.

2. 상기의 방법을 이용하여 580m의 시험구간의 6개 지점에서 횡단방향으로 퇴적물의 퇴적단면에 대한 조사를 실시하였다.

3. 본 연구에서 설정한 방법으로 시험구간의 준설 물량을 산정한 결과, 10,036.64m<sup>3</sup>의 준설이 필요한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 조사 단면의 불규칙성과 하천선형을 감안하더라도 큰 차이는 없을 것으로 판단된다. 단지, 하천에 있어서 준설물량의 경우는 주변 논으로의 관개를 고려하여야 하며 어느 심도까지, 또는 어떠한 목적으로 준설을 실시하는가에 따라서 위의 결과에 차이가 발생할 것이다.



## 제 6 절 요약 및 결론

본 장에서는 경기도내 중·소 하천 및 저수지 일부의 퇴적물에 대한 공학적, 화학적 특성에 대하여 분석하고 이들 퇴적물의 오염정도를 지표화하기 위한 연구를 수행하였다. 또한 중·하천에 있어서 퇴적물 준설을 실시하는 경우 준설량을 판단하기 위하여 조사구간을 선정하고 조사방법 및 조사결과를 제시하였다. 본 장의 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 여러 하천 및 저수지 퇴적물에 대한 입도시험을 실시한 결과 유역의 특성 등에 따른 특성을 관측되지 않았으며, 기타 물성치에서 특이사항은 발견되지 않았다. 화학성분에 대한 분석결과 토양 오염물질로 규정된 항목 중에서 6가크롬(Cr+6), PCB, 유기인, 시안(CN)은 검출되지 않았으며, 일부 지역에서 페놀과 TPH가 토양오염 우려기준을 초과하는 것으로 나타났다. 또한 검출되지 않아야 할 BTEX가 검출된 지역이 있어 주의가 필요한 것으로 판단된다.
2. 퇴적물의 활용측면에서 문제가 되는 유기물의 경우 최대 9% 이상의 유기물 함량을 나타내었으므로 성토재료 등으로 활용하고자 하는 경우 대책일 필요한 것으로 나타났다.
3. 토양오염지표를 이용하여 퇴적물의 오염정도를 분석한 결과, 몇몇 시료의 경우 토양오염등급 2, 3등급으로 토양오염의 우려가 있는 것으로 나타났다. 따라서 이들 지역에 있어서 유역의 오염원에 대한 관리 및 하상 퇴적물의 오염정도 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.
4. 본 연구에서 사용한 토양오염지표에서 나아가 농어촌의 지역특성, 생활특성 및 산업특성을 반영하는 보다 합리적인 하천 및 저수지 퇴적물의 오염지표의 개발이 필요할

것이다.

5. 하천 퇴적물 준설량을 판단하기 위하여 조사구간을 선정하였으며, 하천의 원 바닥과 그 상부의 퇴적층을 구분하고 퇴적물에 대한 샘플링을 실시하고 준설량을 산정한 결과, 580m의 시험조사구간에서 10,036.64m<sup>3</sup>의 준설이 필요한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 조사 단면의 불규칙성과 하천선형을 감안하더라도 큰 차이는 없을 것으로 판단된다.

## 제 3 장 준설 퇴적물의 처리 및 재활용 방안 연구

### 제 1 절 서론

하천 및 저수지에서 준설되는 퇴적물의 처리방법은 이들에 대한 물리적 성분과 화학적 성분의 분석결과를 이용하여 토성개량, 토양개량, 골재 및 도로 성토 재료 등으로 활용이 이루어질 수 있도록 함이 효율적이고 경제적인 방법이라 할 수 있다.

그러나 현재 준설되는 저수지 준설토의 경우 준설량의 약 93% 이상이 사토처리 되고 있는 것으로 파악되고 있으며, 하천 퇴적물의 경우는 준설처리의 기준이나 그 실적조차 제대로 반영되지 못하고 있는 실정으로 준설 퇴적물의 활용도가 상당히 미흡하다.

이에 본 연구에서는 기존 하천이나 저수지에서 준설되는 퇴적물의 처리 및 이용실태, 처리기준 및 방안 그리고 재활용 기준과 방안을 제시하였다.

### 제 2 절 기존 퇴적물의 처리 및 이용실태 조사

#### 1. 개요

표 3-1은 2001년말 현재 전국의 시도별 수리시설의 현황을 보여준다. 표에서 보듯이 저수지 및 보가 차지하는 비율이 약 53%로 관정을 제외하고 가장 큰 비율을 차지한다. 또한 저수지는 농업용 수리시설물 중에서 관개면적면에서 약 55%를 차지하고 있어 그 비중이 가장 크다고 볼 수 있다. 표 3-2는 전국의 수리안전담에 대한 수리시설별 관개면적을 나타낸다. 표에서 보듯이 관개면적 면에서 저수지와 보는 전체 관개면적의 67% 이상을 담당하고 있다. 하천 및 저수지의 퇴적물은 보 및 저수지의 내용적을 차지하게 되어 수리시설물의 기능에 악영향을 미친다. 따라서 저수지에 대한 준설의 경우 매년 대상 저수지를 선정하여 지속적으로 시행되고 있다.

여기에서는 저수지 및 하천 등에서 행해지는 퇴적물의 준설사업 현황과 준설된 퇴적물의 처리현황에 대하여 살펴본다.

표 3-1 전국의 수리시설 현황 (2001년말 현재)

	저수지	양수장	양배수장	배수장	보	집수거	관정	계(개소)
서울	0	3	0	0	0	4	16	23
부산	137	35	2	1	80	9	115	379
대구	223	72	4	17	62	22	167	567
인천	36	54	0	1	6	40	322	459
광주	154	78	0	0	64	19	182	497
대전	19	30	0	0	105	18	471	643
울산	374	122	0	2	258	82	197	1,035
경기	430	512	7	25	1,311	389	1,777	4,451
강원	342	326	0	10	4,024	108	1,501	6,311
충북	808	397	5	18	2,011	262	837	4,338
충남	962	780	4	108	1,651	516	2,206	6,227
전북	2,275	593	11	33	1,380	258	2,027	6,577
전남	3,241	747	2	62	1,690	403	3,483	9,628
경북	5,620	1,503	5	67	3,113	656	4,480	15,444
경남	3,257	843	79	203	2,613	829	3,124	10,948
제주	4	2	0	0	2	0	47	55
계	17,882	6,097	119	547	18,370	3,615	20,952	67,582

표 3-2 수리시설별 관개면적

	저수지	양수장	양배수장	배수장	보	집수거	관정	기타
개소	18,179	5,376	118	333	18,455	3,970	12,023	
면적(ha)	516,855	126,376	32,987	855	110,390	21,759	22,333	106,745
%	54.9	13.8	3.5	0.1	11.6	2.3	2.4	11.3

## 2. 준설현황

표 3-3 전국 저수지 준설현황(1994~1995)

	지구수 (개소)	관개면적 (ha)	사업비 (백만원)	준설량 (천m3)
부산	18	29	391	19
대구	7	73	305	59
광주	15	853	1,057	214
경기	25	13,128	5,265	1,652
강원	24	2,128	2,513	910
충북	125	5,524	4,590	1,478
충남	55	25,840	9,296	2,433
전북	205	32,092	12,377	4,182
전남	392	24,431	21,389	7,680
경북	1,152	49,991	26,341	11,338
경남	1,355	30,686	28,677	8,310
계	3,373	184,775	113,201	38,275

표 3-3은 1994~1995년에 걸쳐 전국에서 국비사업으로 시행된 저수지의 준설현황을 나타낸다. 표에서 보듯이 총 3,373개소의 저수지에 대하여 준설이 수행되었으며, 이들 저수지가 담당하는 관개면적은 184,775ha이다. 농림부 자료에 의하면 1995년의 총 담면적은 1,206,000ha이며, 이중 수리담은 전체의 75%인 907,000ha이므로 이해에 준설이 시행된 저수지가 담당하는 관개면적은 총 수리담의 약 20%에 해당된다. 이때 사업비는 총 113,201백만원이 투입되었다.

### 3. 준설 퇴적물의 처리현황

저수지 준설은 저수지의 내용적 확보 및 기능향상을 위하여 실시되며, 준설토의 처리는 준설시기, 현장진입로, 처리 및 활용장소 등과 경제성 준설토의 물리적·화학적 특성을 비교·검토하여 결정되어야 하지만 현재는 그렇지 못한 실정이다.

표 3-4는 1995~1996년에 걸쳐 전북지역에서 시행된 저수지 준설시 준설토의 처리현황을 나타낸다. 표 3-4에서 준설저수지의 총수는 205개소이며, 총 준설물량은 2,325.3천 $m^3$ 이다. 표에서 보듯이 사토위치의 차이는 있으나 총 준설저수지의 82%가 준설된 퇴적물을 사토처리하고 있으며, 그 물량은 총 준설량의 94%이다.

그림 3-1은 준설물량의 처리현황을 나타낸 그림이다. 대부분의 준설물량이 사토처리되고 있으며, 일부 활용되는 경우 복토용 또는 골재 및 성토재료로 활용되고 있다.

이러한 결과는 다른 시기 및 기타의 다른 지역의 경우에도 크게 다르지 않을 것으로 판단된다. 이는 준설의 계획시 정확한 분석을 통하지 않고 준설의 당위성 및 용이성만을 고려하여 대부분의 경우 사토처리에 의한 방법을 채택하기 때문이다. 따라서 준설전에 퇴적물의 특성 및 활용/처리에 따른 운반거리 등 제반 여건을 충분히 검토한 후 적절한 활용이 되도록 방안을 검토하여야 할 것이다.

표 3-4 저수지 준설토의 활용현황

처리방법		저수지개수 (%)	준설량 (%)
사토처리	저수지외	71.2	77.6
	저습지매립	4.2	3.1
	저수지부근	5.4	11.2
	인근부락	1.1	1.9
복토용	경지정리	0.5	0.3
	인근답	15.6	4.2
	인근밭	1.0	0.7
선별후 골재사용		0.5	0.7
도로성토용재료		0.5	0.3
계		100.0	100.0

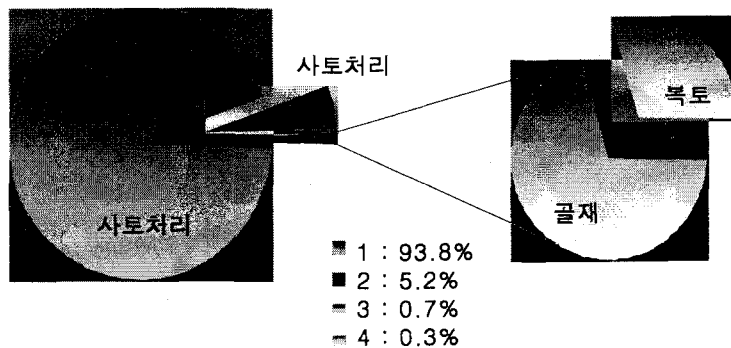


그림 3-1 저수지 준설토의 활용현황

#### 4. 요약

저수지 준설은 매년 저수용량의 확보를 위하여 대상 저수지를 선정하여 수행되고 있으며, 이로 인하여 상당량의 퇴적물이 준설되고 있다. 이들 준설된 퇴적물은 특성에 대한 조사를 통하여 활용할 가능성을 가지고 있으나 현재까지 대부분의 준설토는 사토처리되고 있으며, 일부 활용되는 경우 복토용 또는 골재 및 성토재료로 활용되고 있다.



### 제 3 절 준설 퇴적물의 처리기준 연구

#### 1. 객·복토용

##### 가. 객토

객토(客土)란 주로 토양이 거칠고 좋지 않아 바닥다짐만으로는 누수성을 개선할 수 없거나 정토의 노후화, 저습지의 경토부족, 또는 불량토성으로 형성된 토양의 물리성을 개량하여 토지생산성을 높이기 위하여 실시하는 토양처리 방법으로, 객토해야 할 양은 객토대상지의 개량원토 깊이와 점토함량 및 객토원의 점토함량 등을 고려하여 결정해야 한다.

객토량은 개량대상지의 개량원토의 깊이와 점토함량 및 객토원의 점토함량에 의하여 정해지며 객토원의 점토함량이 25% 이상인 흙을 사용하는 것이 경제적이다.

또한 객토를 실시할 대상지 작토층의 토성개량을 주목적으로 하는 경우에는 토성에 따라 다음의 식을 적용하여 투입할 양의 산출기준을 정한다

○ 작토층의 점토함량이 10~15%이하이고 모래가 60%이상인 사질토양의 경우(점질토 객토)

$$h = \frac{Hw_1(P_3 - P_1)}{w_2(P_2 - P_1)} \quad h' = \frac{H(P_3 - P_1)}{(P_2 - P_1)} \times 1.2 \times 10 \quad (3-1)$$

여기에서, h : 객토해야 할 토심(cm)

h' : 객입토량(M/T/10a)

H : 개량하고자 하는 원토심(18cm)

w<sub>1</sub> : 원토의 가비중

$w_2$  : 객입토의 가비중

$P_1$  : 원토의 점토함량(%)

$P_2$  : 객입토의 점토함량(10% 이하)

$P_3$  : 개량후의 점토함량(25%)

(주) 객토의 목표 값이는 객입토 두께를 의미하는 것이 아니고, 객입토와 원토의 흙이 섞인 후의 두께를 말함

○ 작토층의 점토함량이 35%이상인 중점토의 경우(사질토 객토)

$$h = \frac{Hw_1(P_1 - P_3)}{w_2(P_3 - P_2)} \quad (3-2)$$

여기에서,  $h$  : 객토해야 할 토심(cm)

$H$  : 개량하고자 하는 원토심(cm)

$w_1$  : 원토의 가비중

$w_2$  : 객입토의 가비중

$P_1$  : 원토의 점토함량(35% 이상)

$P_2$  : 객입토의 점토함량(10% 이하)

$P_3$  : 개량후의 점토함량(25%)

○ 화산회토로 지력이 낮은 경우와 노후화 또는 퇴화염해토인 경우에는 미량원소 및 인산부족의 원인이 되므로 화학분석결과에 의거 식질토 객토를 고려해야 한다.

하천 및 저수지 준설토의 경우 준설 전에 물리·화학적 성분분석을 실시하고 객토의 조건에 적합한 경우 객토용으로 사용가능할 것이다. 단지 객토의 비용은 운반비가 대부

분을 차지하므로, 운반해야 할 토량, 객토대상지의 특성, 취토장까지의 운반거리, 운반 수단 그리고 진입도로 등의 여러 가지 여건을 고려하여 능률적이고 경제적인 객토가 이루어지도록 하는 것이 중요하다.

나. 복토

작토층이 거의 없거나 전토층이 사질토양으로, 절토시 석력(石礫)이 노출될 우려가 있는 경우는 아래의 식으로 복토심을 구하여 복토를 실시한다. 또한 이탄토 및 연약지반 답인 경우는 15~20cm 정도를 복토하고, 특이산성토 및 중금속으로 오염된 토양은 아래의 표 3-5를 기준으로 복토를 실시한다.

$$y = (1.302 + 0.3013a) + (4.104 + 0.19469b) \quad (3-3)$$

여기에서, y : 복토심(cm), a : 석력함량(%), b : 석력크기(평균직경, cm) 이다.

표 3-5 특이산성토 및 중금속오염 토양에 대한 복토기준

특이산성토		오염토양				
pH	복토심 (cm)	카드뮴 (ppm)	복토심 (cm)	중금속 종류	함량 (ppm)	복토심
3.7~4.0	15	1~3	15	구리	50	복토심은 15~30cm 를 적용하되 오염물 질함량에 따라 조정 하며 혼층위 복토, 층위전환 복토 등도 실시해야한다.
3.3~3.7	20	3~4	20	비소	6	
3.3이하	25	4~5	25	수은	4	
-	-	6이상	30	납	100	

## 다. 객·복토용 활용시 고려사항

준설 퇴적물을 농경지의 객·복토용으로 활용하기 위해서는 사전에 다음의 사항을 고려하여야 한다.

- 수소이온농도(pH) : 6.0~7.0(5.0 이하시는 사용억제)
- 유기물(OM) : 논 3.0%, 밭 3.0~3.5%
- 전기전도도(EC) : 2mmhos/cm 이하
- 양이온치환능(CEC) : 15~20me/100g 이상
- 구리(Cu) : 125ppm 이하
- 카드뮴(Cd) : 25ppm 이하
- 수은(Hg) : 0.06ppm 이하
- 비소(As) : 15~20ppm 이하
- 토양오염 : 질소 인산에 의한 오염, 중금속 및 무기원소에 의한 오염, 농약오염에 의한 오염 등

## 2. 골재

과거의 준설사업은 목적 자체가 골재로 이용하기 위한 경우를 제외하면 준설량이나 운반거리, 준설방법 등 여러 가지 면에서 골재 및 성토용 재료로 활용에 있어서 경제성이 있다고 볼 수 없었다. 그러나 최근에 실시되고 있는 저수지 준설의 경우 그 수적인 측면이나 규모면, 준설여건 등에서 골재 및 성토용 재료로서의 활용에 상당한 이점이 있다고 볼 수 있다. 준설로 인해 발생하는 준설토를 모두 골재나 도로성토용으로 이용할 수 있다면 준설사업의 경제성을 높일 수 있을 뿐만 아니라 많은 예산절감 효과가 있을 것으로 기대된다.

저수지 및 하천의 준설토를 골재로 활용하기 위해서는 골재에 대한 기본적인 특성을 파악하고 선별한 후 조검에 맞는 것을 사용해야 한다.

골재(aggregate)란 몰탈이나 콘크리트의 원료 가운데 모래, 바순돌, 자갈, 부순자갈, 부순돌 그리고 그 외의 이와 비슷한 재료를 말한다. 골재는 콘크리트 부피의 65~85%를 차지하므로 콘크리트의 성질에 큰 영향을 미친다.

이러한 골재는 입도에 따라 잔골재(fine aggregate)와 굵은골재(coarse aggregate)로 구분하며, 재료에 따라 천연골재와 인공골재로 구분된다.

○ 잔 골 재 : KS A 5101(표준체)에 규정되어 있는 10mm체를 전부 통과하고, No. 4체를 거의 다 통과하며, No. 200 체에 거의 다 남는 골재 또는 No. 4 체를 통과하고 No. 200 체에 다 남는 골재

○ 굵은골재 : KS A 5101(표준체)에 규정되어 있는 No. 4 체에 거의 다 남는 골재 또는 No. 4 체로 쳐서 남는 골재

○ 천연골재 : 하천모래, 하천자갈, 바다모래, 바다자갈, 산모래, 산자갈 또는 천연경량골재 등

○ 인공골재 : 부순돌, 바순모래, 고로슬래그(slag) 부순돌, 인공경량골재 등

골재는 깨끗하고 단단하며 내구적이면서 입형이 구형 또는 입방체에 가깝고, 모난 것보다는 둥근 것이 좋으며, 적당한 입도를 갖고 유기물, 먼지, 흙 등의 유해물질을 함유해서는 안 된다. 골재로의 적합성을 판단하기 위해서는 골재의 질, 내구성, 굵은골재의 최대치수, 입도 및 조립율, 비중, 단위용적중량, 마모에 대한 저항성 및 골재의 함유 유해물 등에 대한 검토가 있어야 한다. 골재가 갖추어야 할 성질은 다음과 같다.

○ 물리적으로 안정하고, 내구성이 클 것

○ 깨끗하고 불순물이 섞이지 않을 것

○ 모양이 둥글거나 정육면체에 가깝고 시멘트풀과 잘 붙는 표면조직을 갖을 것

○ 입도가 알맞을 것

○ 마모저항성, 화학적 저항성 등이 높을 것

잔골재의 비중은 2.5 - 2.65 정도이고 굵은골재는 2.55 - 2.7 정도이다. 비중이 큰 골재는 공극율이 작고, 흡수율이 작고, 내구성이 크며, 조직이 치밀하여 강도가 크다. 그림 3-2는 잔골재와 굵은 골재의 비중에 따른 흡수율의 관계 나타낸다. 흡수율은 시멘트 모르타 및 콘크리트의 배합설계시에 중요하게 적용된다.

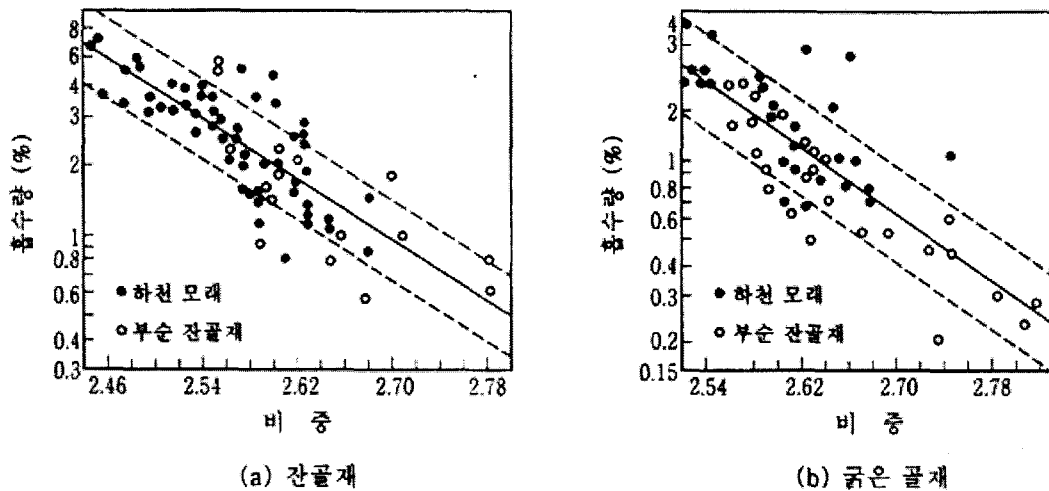


그림 3-2 골재의 비중과 흡수율의 관계

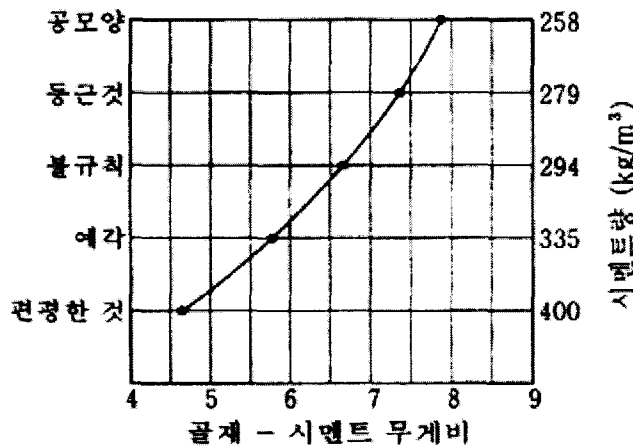


그림 3-3 골재의 모양과 시멘트량의 관계

표 3-6 골재의 모양에 따른 특성

골재의 모양	특 성
등근모양	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 마찰이 작아 워커빌리티가 좋음</li> <li>· 공극이 감소/다짐성 향상/밀도 증가</li> <li>· 시멘트풀 감소</li> </ul>
모난모양	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 워커빌리티 나쁨</li> <li>· 모르타양 및 단위수량 증가</li> <li>· 재료분리 발생</li> </ul>
표면이 거친모양	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 워커빌리티 나쁨</li> <li>· 부착력 증대</li> </ul>

또한 골재의 모양은 시멘트 및 사용수량에 영향을 주면 부착력 및 워커빌리티에 영향을 주므로 되도록 등근모양의 골재를 사용하는 것이 좋다. 골재의 모양에 따른 특성은 표 3-6과 같다. 그림 3-3은 골재의 모양에 따른 시멘트량을 나타낸다.

골재의 또다른 중요한 성질의 하나는 골재의 입도분포이다. 골재의 입도상태는 체가름 시험을 통하여 판단하며, 그 적합성의 판단여부는 조립율(fineness modulus)로서 잔골재는 2.6~3.1, 굵은골재는 6~8의 범위에 있는 것이 좋다. 표 3-7과 표 3-8은 KSF 2526에 의한 잔골재와 굵은 골재의 입도표준이다.

표 3-7 잔골재의 입도표준

입도 (mm)	체를 통과한 량의 중량비 (%)	입도 (mm)	체를 통과한 량의 중량비 (%)
10	100	0.6	25~60
5	95~100	0.3	10~30
2.5	80~100	0.15	2~10
1.2	50~85		

표 3-8 굵은골재의 입도표준

골재 번호	체 치수 (mm) 골재 크기 (mm)	각 체를 통과하는 것의 무게비(%)												
		100	90	75	65	50	40	25	20	15	10	5	2.5	1.2
		1	90-40	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-
2	65-40	-	-	100	90-100	35-75	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50-25	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50-5	-	-	-	100	95-100	-	3570	-	10-30	-	0-5	-	-
4	40-20	-	-	-	-	100	90-100	2055	0-15	-	0-5	-	-	-
464	40-5	-	-	-	-	100	90-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
57	25-5	-	-	-	-	-	100	95-100	-	2560	-	0-10	0-5	-
69	20-5	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	15-5	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	10-2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

표 3-9 잔골재의 유해물 함유량의 한도

종 류	최대치(%)
· 점토덩어리 및 부서지기 쉬운 입자	3.0
· 골재씻기 시험에서 없어지는 것(No.200체 통과량)	
- 콘크리트 표면의 마모작용을 받는 경우	3.0*
- 기타의 경우	5.0*
· 석탄, 갈타 등으로 비중 2.0의 액체에 뜨는 것	
- 콘크리트의 외관이 중요한 경우	0.5
- 기타의 경우	1.0



(주)\* 바순모래의 경우에 씻기시험에서 없어지는 것이 돌가루이고, 점토, 실트 등을 함유하지 않은 경우에는 그 최대치를 각각5%와 7%로 해도 무방하다.

하천 및 저수지의 준설 퇴적물을 골재로 사용하고자 하는 경우 일부 오염정도가 매우 낮은 하천의 경우를 제외하면 앞서의 물성 이외에도 유해물의 함유정도를 고려해야 한다. 골재로서의 유해물이라 함은 점토, 실트, 이탄질, 운모질, 부식토 등을 말하며 이들은 콘크리트의 강도 및 내구성을 저하시키고, 시멘트와 골재의 부착력을 저하시키는 등 콘크리트의 품질저하의 원인이 된다. 표 3-9와 표 3-10은 잔골재와 굵은 골재의 유해물 함유량의 한도를 나타낸다.

표 3-10 굵은골재의 유해물 함유량의 한도

종 류	최대치(%)
· 점토덩어리	0.25
· 연한 석편	5.0*
· 골재씻기 시험에서 없어지는 것(No.200체 통과량)	1.0**
· 석탄, 갈타 등으로 비중 2.0의 액체에 뜨는 것	
- 콘크리트의 외관이 중요한 경우	0.5***
- 기타의 경우	1.0***

(주)\* 교통이 심한 슬래브 또는 표면의 경도가 특히 요구되는 경우에 적용한다.

\*\* 부순돌의 경우에 씻기 시험에서 없어지는 것이 돌가루인 경우에는 최대치를 1.5%로 해도 무방하다.

\*\*\* 고로 슬래그로 만든 부순돌은 해당되지 않는다.

준설 퇴적물을 골재로 활용하고자 하는 경우 앞서 언급한 물성과 유해물 함량뿐만 아니라 준설량, 골재함유량, 진입도로, 공시기간, 공사시기 등 제반여건을 고려하여 판단한다.

### 3. 도로성토용 재료

도로는 포장과 노상으로 되어 있고 포장은 표층(surface course), 기층(base course) 및 보조기층(subbase course)으로 구성되어 있다. 노상(subgrade)은 포장 밑 두께 약 1m의 범위를 말하며 자연지반 및 흙을 치환하거나 성토를 하여 인공적으로 축조하는 지반의 2 종류로 나눌 수 있다. 노상토가 연약할 때에 설치하는 차단층도 노상 속에 포함된다. 여기에서는 준설퇴적물을 도로성토용 노상재료로 활용하고자 하는 경우에 필요한 요건들에 대하여 고찰한다.

#### 가. 노상(Subgrade)

노상(subgrade)은 포장과 교통하중을 지지하는 도로의 기초 부분으로 균등한 지지력을 가져야 하며 그 지지력은 포장의 두께를 결정하는 기본이 되는 것이다. 자연지반의 흙이 양호할 때는 그대로 노상토로서 사용할 수가 있으나 연약한 경우에는 다른 흙과 치환하거나 적당한 처리를 하여 충분히 다져야 한다.

노상이 연약한 경우에는 두께 15~30cm 정도의 차단층을 설치할 수가 있다. 이것은 반복하중으로 노상토가 보조기층 속에 압상하는 것을 막기 위한 것으로서 차단층(blanket course)에는 모래 또는 막자갈을 사용한다. 지하수위는 노상지지력에 크게 영향을 주므로 되도록 낮게 하는 것이 좋으며 이것은 다짐효과를 높이기 위해서도 필요하다. 또 동결깊이의 범위 내에 모관수가 올라오지 못하게 해야 한다. 노상토로서 적당한 흙은 시공이 용이하고 함수량이 증가했을 경우에도 필요한 지지력을 보전할 수 있는 것이라야 한다. 토질로서는 자갈이나 모래가 많이 섞인 조립토가 좋으며 실트질토나 점질토는 부적당하다. 부득이 이러한 세립토를 쓸 때는 특히 다짐기에 세심한 주의가 필요하다. 노상토의 지지력을 시험하는 방법에는 CBR 시험이나 평판재하시험 등이 있다.

#### 나. 보조기층

보조기층은 노상과 기층 사이에 있는 층으로서 노상의 지지력이 부족할 경우 기층의 지지력을 증대시키기 위하여 사용된다. 아스팔트 콘크리트 포장에서 보조기층의 두께가 두꺼울 경우에는 상층 보조기층과 하층 보조기층으로 나누는 경우도 있으나 현재는 상층 보조기층은 기층으로 분류한다.

보조기층의 재료는 견고하고 내구적인 부순돌, 자갈, 모래, 슬래그 등의 혼합물로 점토, 실트, 유기불순물, 기타 유해물을 함유해서는 안 된다.

재료의 외형은 비교적 균일한 형상을 가지고 있어야 하며, 표 3-11의 기준에 적합하여야 한다.

표 3-11 보조기층 재료의 품질규정

구 분	시험방법	규 정	비 고
마모감량	KSF 2508	50% 이하	
소성지수	KSF 2304	6 이하	
실내 CBR값	KSF 2320	30 이상	
모래함량	KSF 2340	25% 이상	

시멘트 콘크리트 포장의 경우는 소성지수가 10% 이하이고 콘크리트 슬래브 바로 밑에 사용되는 보조기층은 수정 CBR값이 80% 이상이어야 한다.

표 3-12 보조기층 재료의 입도의 표준

입도번호	통과중량백분율(%)							
	75mm	53mm	37.5mm	19mm	4.75mm	2.0mm	425 $\mu$ m	75 $\mu$ m
SB-1	100	-	70~100	50~90	30~65	20~55	5~25	2~10
SB-2	-	100	80~100	55~100	30~70	20~55	5~25	2~10

보조기층 재료의 입도는 원칙적으로 표 3-12의 범위 내에 있어야 한다.

다. 기층

기층에는 입도조정, 아스팔트 안정처리, 빈배합 콘크리트, 시멘트 안정처리 등의 공법이 있다. 이들 기층에 사용될 수 있는 재료의 조건은 다음과 같다.

1) 입도조정 기층

입도조정기층은 양호한 입도가 되도록 2종류 이상의 재료를 혼합하여 퍼깔고 다지는 공법으로서 입도가 좋으므로 깔기 및 다짐이 용이하고 기계화 시공에 적합하다.

표 3-13 입도조정기층 재료의 표준 입도

입도번호	통과중량백분율(%)							
	53mm	37.5mm	26.5mm	19mm	4.75mm	2.36mm	425 $\mu$ m	75 $\mu$ m
SB-1	100	95~100	-	60~90	30~65	20~50	10~30	2~10
SB-2	-	100	80~95	60~90	30~65	20~50	10~30	2~10

입도조정기층재료는 내구적인 부순돌, 부순자갈 등을 모래 혹은 기타 적당한 재료와 혼합한 것, 슬래그, 기타 승인된 재료로서 점토, 유기불순물, 먼지 등 유해물을 함유해서는 안 된다. 그리고 소성지수가 4% 이하, 수정 CBR값이 80% 이상, 마모감량이 40% 이하이어야 한다.

입도조정기층재료의 표준 입도는 원칙적으로 표 3-13에 표시한 범위에 들어야 한다.

표 3-14 굵은골재, 잔골재, 채움재의 합성입도

체 의 크 기		종 류		
		BB-1	BB-2	BB-3
통 과 중 량 백 분 율 (%)	53mm	100	-	-
	37.5mm	95~100	100	-
	31.5mm	-	-	-
	26.5mm	70~100	-	100
	19mm	55~90	55~90	75~100
	9.5mm	30~70	40~70	50~85
	4.75mm	17~55	28~55	30~70
	2.36mm	10~42	-	-
	2.00mm	-	17~40	20~50
	600 $\mu$ m	5~28	-	-
	425 $\mu$ m	-	5~23	5~25
	300 $\mu$ m	3~22	-	-
	150 $\mu$ m	-	-	-
	75 $\mu$ m	1~10	1~7	1~7
아스팔트량(%)	3.5~5.5			

2) 가열아스팔트 안정처리 기층

가열아스팔트 안정처리 기층은 현지 재료 또는 여기에 보충재료를 가한 것에 3~6%의 역청재료를 첨가하여 처리하는 공법을 역청안정처리 공법이라 하며 평탄성이 좋고 가소성과 내구성이 풍부하며 또 조기에 교통을 개방할 수 있는 공법이다.

여기에 사용할 골재는 견고하고 내구적인 쇄석, 자갈, 슬래그, 모래, 석분 및 기타 재료로 하며 이들 혼합물에는 점토, 유기 불순물, 먼지 등 기타 유해물이 함유되어서는 안 된다. 굵은골재, 잔골재 및 채움재를 혼합하였을 때는 표 3-14의 입도중 어느 하나를

사용하여야 한다.

### 3) 빈배합 콘크리트 기층

빈배합 콘크리트(lean concrete) 기층이란 시멘트 콘크리트 포장 슬래브 하부에 설치하는 기층으로서 시공방법에 따라 건식과 습식으로 구분된다.

빈배합 콘크리트에 사용되는 골재는 표 3-15중에서 어느 하나를 사용한다.

표 3-15 빈배합 콘크리트 골재 표준 입도

호 칭 지 수	체통과중량백분율(%)	
	최대치수 40mm	최대치수 25mm
53.0mm	100	-
37.5mm	90~100	100
26.5mm	-	90~100
19.0mm	50~85	50~100
9.50mm	40~75	40~75
4.75mm	25~60	35~60
600 $\mu$ m	10~30	10~30
75 $\mu$ m	3~12	3~12

### 4) 시멘트 안정처리 기층

현지 지료 또는 여기에 보충재료를 넣은 것에 시멘트를 첨가 혼합한 것을 최적함수비 부근에서 다져서 만든 보조 기층을 시멘트 안정처리 기층(cement stabilized base) 또는 소일 시멘트 기층(soil cement base)이라 한다.

시멘트 안정처리 기층에 사용되는 골재는 현지 재료나 여기에 부순돌, 자갈, 슬래그, 모래 등의 보충재를 가한 것으로서 소성지수가 9% 이하이어야 한다. 그리고 골재의 바람

직한 입도는 표 3-16에 표시한 범위 내에 들어야 한다.

표 3-16 시멘트 안정처리 기층 골재입도

호칭치수	체통과중량백분율(%)
53.0mm	100
37.5mm	95~100
19.0mm	50~100
2.36mm	20~60
75 $\mu$ m	0~15

#### 4. 사토처리

준설토 퇴적물에 대한 물리적·화학적 성분분석 결과를 각 항목별로 체계적으로 분석한 후 그 이용면에서 앞서 언급한 골재 및 도로성토용 재료 또는 농지 객·복토용으로 사용할 수 없는 것으로 판단되는 경우, 준설량과 운반거리 등의 여건에 맞는 장소에 사토처리 하여야 할 것이다. 사토장을 선정함에 있어 다음의 사항을 고려하여야 한다.

- 사토량을 충분히 수용할 수 있는 용량의 부지이어야 할 것
- 운반로가 양호하고 장애물이 적을 것
- 기계의 사용이 용이한 지형일 것
- 배수가 용이한 지형일 것

특히 사토처리 후 사토장에 대하여 특별한 용도로의 사용계획이 없어 특별한 처리 및 다짐 등을 실시하지 않은 경우 준설토에서 배출되는 용수에 대한 배수 계획이 충분히 검토되어야 한다. 또한 사토처리를 하는 경우, 저수지 주변이나 홍수위선 위에 사토처리한 토사는 홍수시 재유입되지 않도록 유역 외의 장소에 사토장을 선정하거나 제방이

나 옹벽 등 토사유입방지 시설을 계획하도록 하여야한다.

그러나 사토처리는 사토처리장이나 저습지 등의 농경지에 그냥 흙을 버리는 것만으로 끝나는 것이 아니고, 사토처리한 곳을 토양별로 분류하여 축사나 비닐하우스, 농기계보관소, 농기계세척소 등과 같은 다른 농업용시설물을 설치하는 등, 보다 유효적절하게 사용할 수 있는 방안을 강구하는 것도 중요하다고 할 수 있다. 또한 쓰레기 매립장 성토용이나 저습지나 소규모 소류지 매립후 공원, 다목적 광장과 같은 친수공간의 확보 등 타용도로 전환하여 활용하는 것을 검토하는 것도 바람직하다고 할 수 있다. 이를 위해서는 준설된 퇴적물을 사토장에 처리한 후 사토장이 사용목적에 따라 상부에 들어서는 구조물에 대하여 충분한 특성을 가져야 한다. 이를 위해서는 사토처리 이전에 준설된 퇴적물의 특성에 대하여 충분한 조사 및 실험이 수행되어야 하며, 기준에 미달된다고 판단되는 경우 적절한 처리가 필요하다. 이에 대해서는 다음 장의 고화처리에서 다룬다.

## 5 요약

본 절에서는 먼저 저수지의 준설현황과 준설 퇴적물의 활용현황에 대하여 살펴보았다. 총 수리답의 약 20%를 담당하는 저수지에 대하여 준설이 시행되고 있었으며, 총 준설량의 94% 정도가 사토처리되고 있는 것으로 나타났다.

이들 사토처리되고 있는 준설 퇴적물의 효율적인 활용방안을 찾기 위하여 여러 가지 활용방안에 대하여 고찰하였다. 농경지 내의 객·복토재로의 활용의 경우 유기물 및 중금속 함량과 pH 등에 대한 검토가 필요하며, 골재로의 활용을 위해서는 준설 퇴적물의 입도분포에 대한 검토와 유해물 함량 등에 대한 검토가 필요할 것이다. 그리고 도로 성토재료의 활용을 위해서는 입도분포, 다짐특성 및 강도특성에 대한 검토가 필요하다.

그리고 사토처리 함에 있어서 사토장을 타용도로 활용하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 이를 위해서는 사용목적에 따라 상부에 들어서는 구조물에 대하여 충분한 특성을 가져야 한다. 따라서 사토처리 이전에 준설된 퇴적물의 특성에 대하여 충분한 조사 및 실험이 수행되어야 하며, 기준에 미달된다고 판단되는 경우 적절한 처리가 필요하다.



## 제 4 절 준설 퇴적물의 처리방안 연구

### 1. 객·복토재료

본 연구에서 조사한 하천 및 저수지 시료를 객·복토용 재료로 활용하고자 하는 경우를 가정하고 비교가 가능한 항목에 대하여 그 적합성을 판단하고자 한다.

#### 가. 수소이온농도(pH)

토양은 산성화가 진행될수록 유기물 분해균의 숫자가 감소하여 토양의 물질분해능력이 떨어지므로 농작물이 영양을 섭취하기가 어려워지게 되어 비료성분의 유실이 많아지므로, 토양에서 작물재배 적합성 여부를 판단하는 기준으로 pH가 상당히 중요하다.

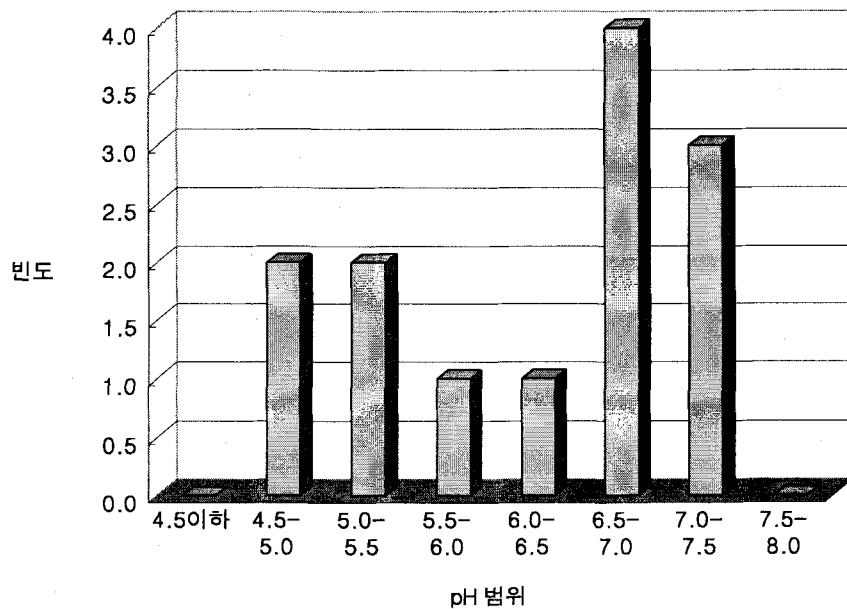


그림 3-4 퇴적물의 pH 범위별 분포

우리나라의 보통 논과 밭의 pH범위는 대략 5.5~5.7이며 객토 또는 복토용 재료로 사용하기 곤란한 한계는 5.0이하이다. 그림 3-4는 본 연구에서 채취한 퇴적물 시료의 pH 분포이다. 대부분의 경우에 pH는 일반적으로 작물이 성장할 수 있는 범위인 5.6~7.3의 범위에 있었으나, 5.0이하가 2개소로 나타났으며, 7.3이상이 2개소로 나타났다.

#### 나. 전기전도도(EC)

토양에 함유되어 있는 염분농도의 측면에서 객·복토재료로의 활용을 검토하면, 작물은 1~2mmhos/cm의 범위 이상이 되면 위조, 생육억제, 열과 등의 현상이 발생할 수 있으므로 이를 검토해야 한다. 그림 3-5는 본 연구에서 채취한 퇴적물 시료의 EC 분포이다. 그림에서 보듯이 모든 채취된 퇴적물에서 전기전도도는 낮게 나타났기 때문에 염기로 인하여 작물의 생육에 문제가 없는 것으로 나타났다.

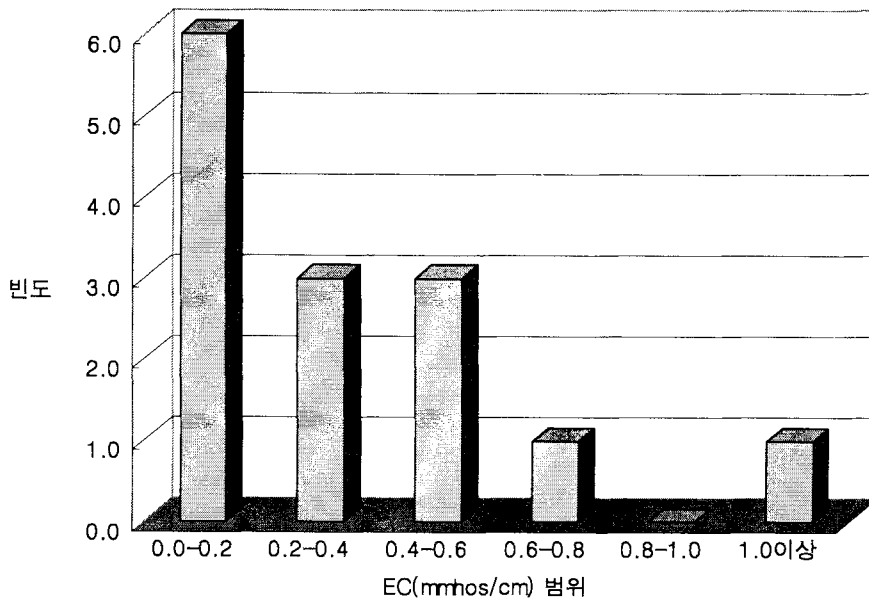


그림 3-5 퇴적물의 EC 범위별 분포

## 다. 중금속

객·복토의 재로로 활용하고자 하는 경우 작물의 생육에 영향을 미치는 중금속 성분  
에 대한 검토가 필요하다.

### 1) 구리(Cu)

구리는 광합성, 호흡작용 등에 관여하고 엽록소 생성도 조장한다. 구리는 부족하면 황  
백화, 괴사, 조기낙엽 등이 발생하고, 과다하면 뿌리의 신장을 저해하며 철 결핍증과 비  
슷한 황화현상을 일으킨다. 구리의 일반토양중 자연 함유량은 2~100ppm이고 비의 재  
배시에는 40~65ppm에서 피해가 발생한다.

그림 3-6은 본 연구에서 채취한 퇴적물에 대한 화학분석결과 나타난 구리함량의 분포  
를 나타낸다. 본 연구에서 조사한 퇴적물의 경우 구리는 최대 25.9ppm으로 나타났기  
때문에 구리에 의한 문제는 없을 것으로 보인다.

### 2) 카드뮴(Cd)

카드뮴은 식물의 생육에 필요한 원소가 아니며, 토양중 함량이 25ppm 이상이면 식물에  
생육장애 등의 해를 일으킨다. 우리나라 일반 농토양의 카드뮴 함량은 0.142~0.152ppm  
으로 나타났으며, 오염되지 않은 지역의 토양에서의 함량은 대략 1ppm 이하인 것으로  
보고되고 있으며 본 연구에서 조사한 퇴적물의 경우 검출되지 않거나 1ppm 이하인 것  
으로 나타나 객·복토재로 사용함에 있어 카드뮴에 의한 영향은 없을 것으로 판단된다.

### 3) 비소(As)

비소는 일반 토양중에서 평균적으로 5~6ppm이 함유되어 있는 것으로 보고된 바 있다.  
그리고 작물의 생육에 해가 되는 농도는 20ppm이다. 그림 3-7에서 보듯이 본 연구에서  
조사한 비소함량은 일반 토양중의 농도와 크게 다르지 않은 것으로 나타나 객·복토용  
재료로서 비소의 영향은 없을 것으로 보인다.

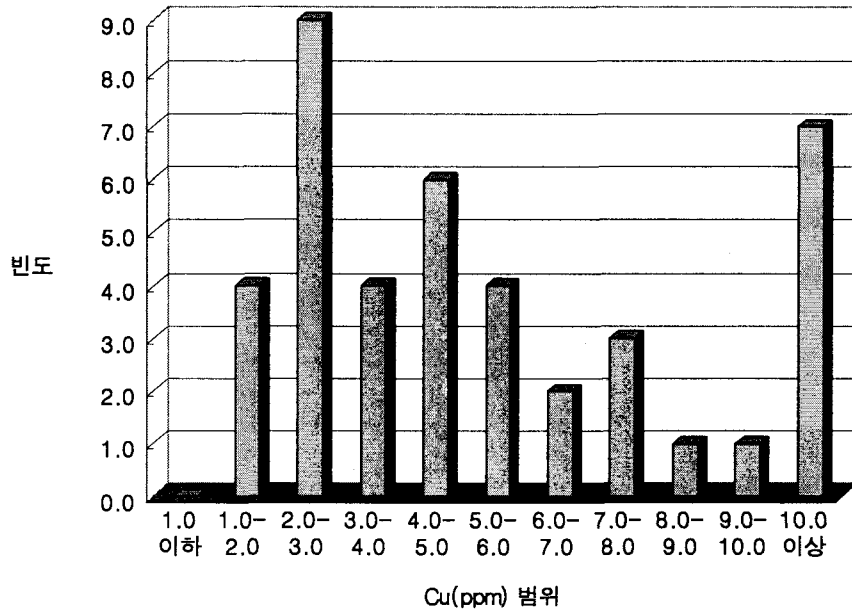


그림 3-6 퇴적물의 Cu 범위별 분포

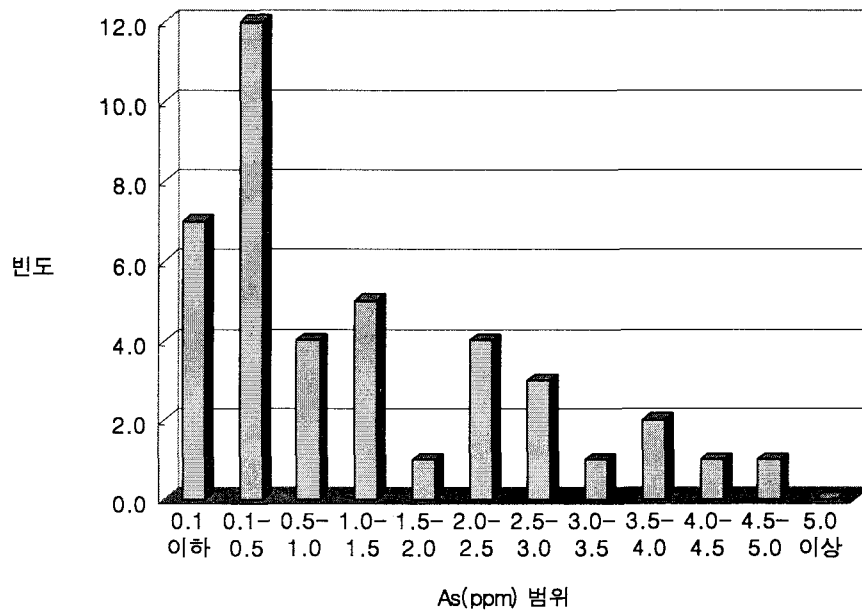


그림 3-7 퇴적물의 As 범위별 분포

#### 4) 아연(Zn)

아연은 필수다량원소로써 동식물에 반드시 필요한 원소이다. 또한 촉매 또는 반응조절 물질로 작용하고 엽록소의 형성에도 관여하지만, 그 양이 많을 때에는 잎에 갈색의 반점을 생기게 하는 등 독성을 나타내며, 부족하면 황백화, 괴사, 조기낙엽 등이 발생한다. 아연의 일반 토양중 자연함유량은 10~300ppm(평균 30~50ppm)정도이며, 우리나라 논토양의 자연함유량은 32.8ppm이며, 벼의 생육에 지장이 없는 범위는 200~500ppm이다. 그림 3-8은 본 연구에서 채취한 퇴적물에 대한 화학분석결과 나타난 아연의 함량 분포를 나타낸다. 아연의 경우 본 연구에서 조사한 퇴적물의 경우 논토양의 자연함유량에 가까운 분포를 보이고 있어 객·복토에 있어 문제점은 없는 것으로 판단된다.

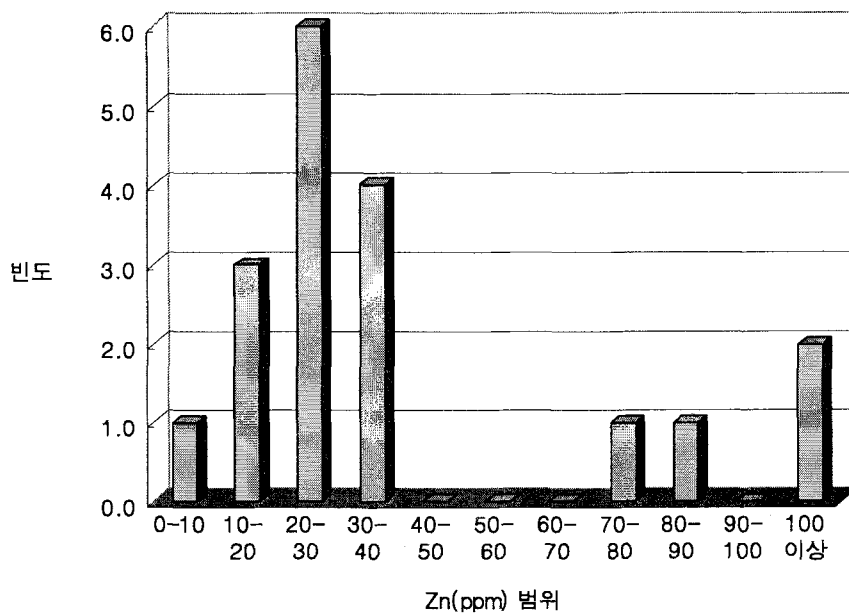


그림 3-8 퇴적물의 Zn 범위별 분포

#### 5) 수은(Hg)

수은은 토양중 자연함유량은 60ppb이고, 우리나라 논토양의 자연함유량은 0.09~

0.098ppm으로 조사된 바 있다. 그림 3-9는 본 연구에서 채취한 퇴적물에 대한 화학분석결과와 나타난 수은의 함량 분포를 나타낸다.

그림에서 대부분의 경우에 자연함량 0.06ppm의 범주에 포함되고 있으나, 12개 시료에서 수은의 함량이 0.1ppm 이상인 것으로 나타났다. 또한 최고 0.84ppm까지 함유된 시료도 있어 객·복토용 재료로 활용하고자 하는 경우 수은에 의한 피해에 대하여 주의가 요구된다.

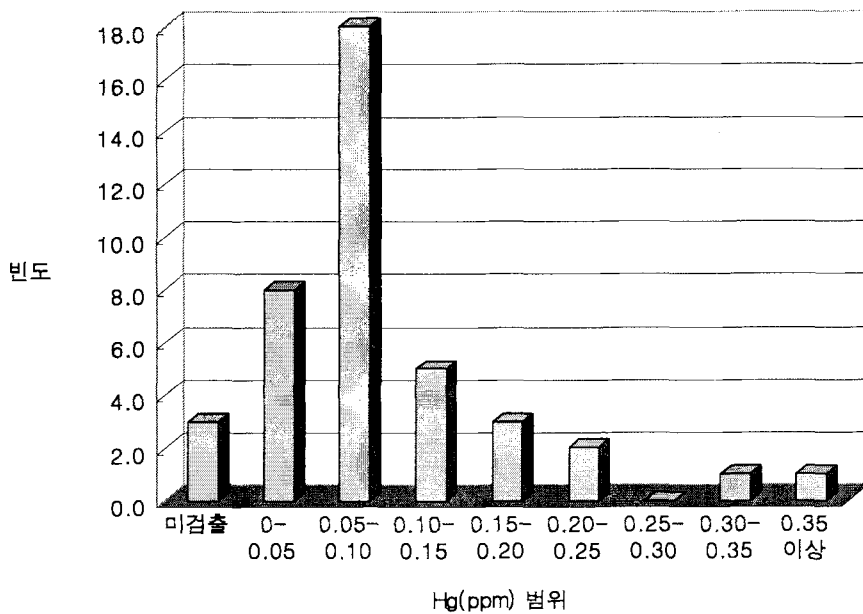


그림 3-9 퇴적물의 Hg 범위별 분포

#### 라. 유기물함량(OM)

유기물은 작물에 대한 질소성분의 공급원이 될 뿐만 아니라 가리흙의 여러 가지 이화학적 특성을 지배하는 중요한 성분으로, 토양중에서 식물양분을 저장하고 수분을 흡수·유지하며 토양의 이화학적 성질을 개선하는 등 중요한 역할을 한다. 따라서 유기물의 함량은 토양의 비옥도의 지표가 될 만큼 중요하다.

우리나라의 경우 논토양의 함유량은 2.6~2.8% 정도로서 적정기준치인 3.0%와 비슷하여 벼 재배에는 비교적 적정한 수준이라 할 수 있다. 그러나 밭 토양은 2.0~2.2% 수준인 것으로 보고 되어 그 하량이 적은 편이어서 기준치인 3.0~3.5%까지 높여주어야 하는데, 이를 위해서는 장기간에 걸친 퇴비, 녹비 등 유기질비료의 보다 많은 시비가 필요하다. 그림 3-10은 본 연구에서 채취한 퇴적물의 유기물 함량 분포를 나타낸다. 그림을 보면, 적정 기준치인 3.0% 인근에서 많이 분포하고 있으나 2.0%이하의 퇴적물도 나타났다. 이러한 경우에는 퇴비나 유기질의 시용 등 토양개량에 대한 적절한 대책의 수립이 요구된다고 볼 수 있다.

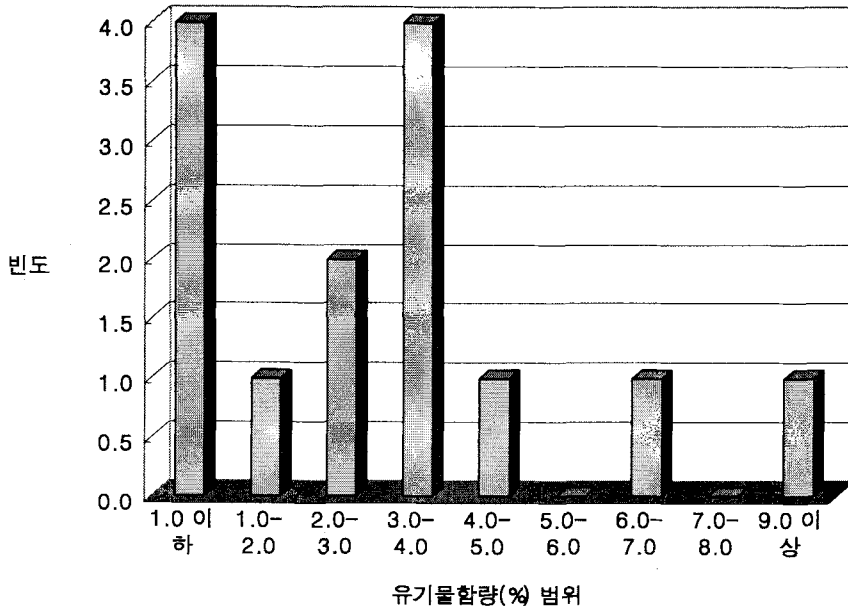


그림 3-10 퇴적물의 유기물함량 범위별 분포

## 2 골재

골재는 잔골재와 굵은 골재로 나눌 수 있으며, 본 연구에서 조사한 하천 및 저수지 퇴적물의 경우 굵은 골재로 활용할 수 있는 경우는 없었다. 그리고 잔골재로 활용하고자

하는 경우에는 그 입도가 잔골재가 요구하는 조건을 만족하는 가를 먼저 파악해야 한다. 즉, 일반적으로 하천 및 저수지 퇴적물에 포함된 실트 및 점토성분은 잔골재로 활용하고자 하는 경우에는 유해물로 분류된다. 실트, 점토, 운모질 등의 세립분이 많으면 필요수량이 많아지고 불리딩 현상에 의해 레이턴스 많이 생기고, 부착력 저하로 강도, 내구성이 작아진다. 따라서 잔골재의 경우에는 콘크리트 표면이 마모작용 받는 경우 200번체 통과량을 3%이내, 그 밖의 경우에는 5% 이내로 제한하고 있다. 따라서 잔골재로 활용하고자 하는 경우, 먼저 잔골재의 정의대로 4번체 통과량을 검토하고 200번체 통과량을 검토해야 한다. 그림 3-11은 본 연구에서 채취한 퇴적물의 입도시험에서 4번체 통과량에 대한 분포를 나타낸다.

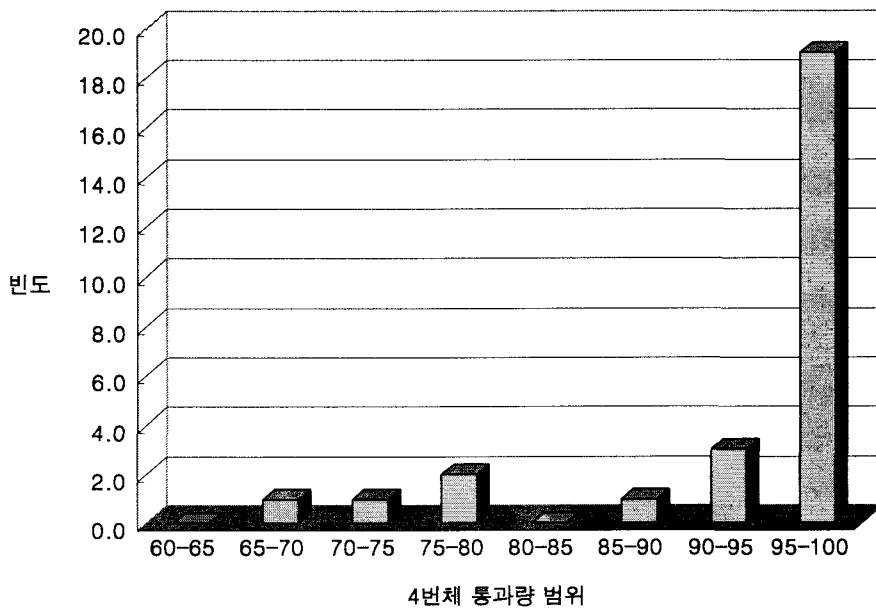


그림 3-11 퇴적물의 4번체 통과량의 범위별 분포



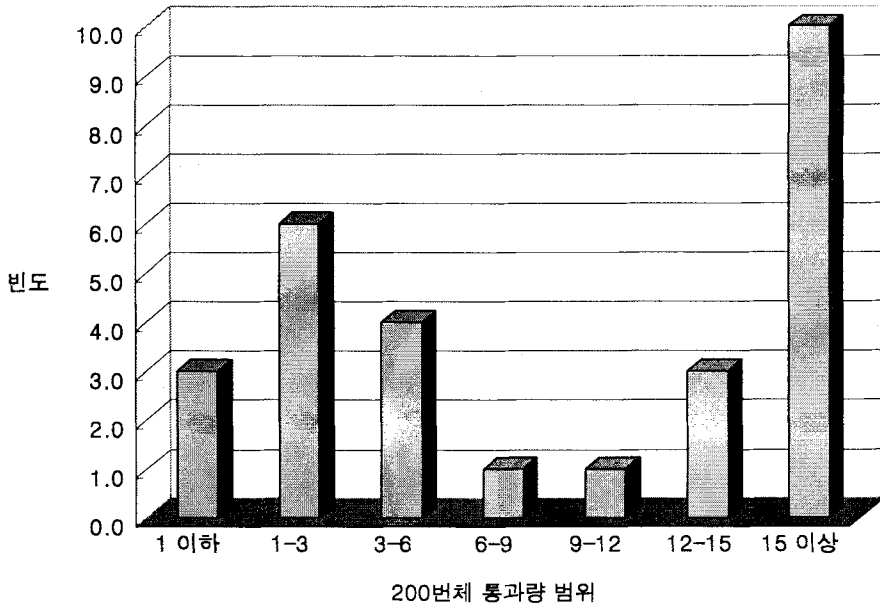


그림 3-12 퇴적물의 200번체 통과량의 범위별 분포

그림 3-11에서 보듯이 대부분의 시료는 4번체 통과율이 95% 이상으로 나타났다. 그림 3-12는 본 연구에서 채취한 퇴적물의 200번 통과량의 범위별 분포를 나타낸다. 200번체 통과량이 3% 이하로 잔골재로 사용 가능한 경우가 27개 시료 중에서 9개로 나타났다.

그림 3-13은 표 3-7의 잔골재 입도표준에 의한 상한 및 하한과 경기도 화성시에서 채취한 준설토의 입도를 함께 표시한 것이다. 그림에서 화성시 발안리1의 시료는 대체적으로 입도에 의한 잔골재 표준을 만족하고 있으나 나머지 두 시료는 입도표준의 상한을 약간 벗어나고 있다.

마찬가지로 그림 3-14는 입도표준과 황구지천의 상류와 중류 그리고 반정천, 수원천 등의 합류지점에서 채취한 시료의 입도를 표시한 것이다.

황구지천의 경우 상류의 시료는 잔골재로 사용하기에는 세립분 함량이 과다한 것으로 나타났으며, 합류지점의 시료는 잔골재로 적합하며, 중류지점의 시료는 잔골재의 입도상한을 넘지만 잔골재로의 사용을 고려해 불만한 것으로 나타났다.

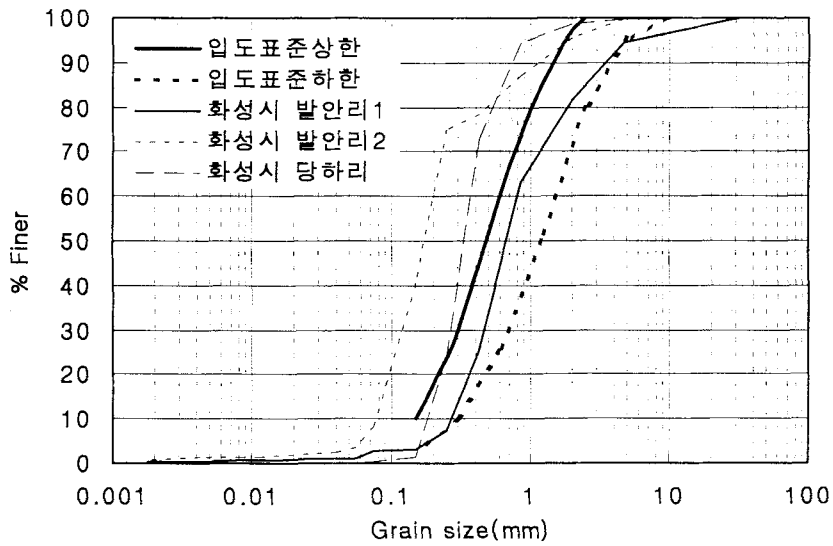


그림 3-13 입도표준에 의한 잔골재 적합성의 판정(화성시)

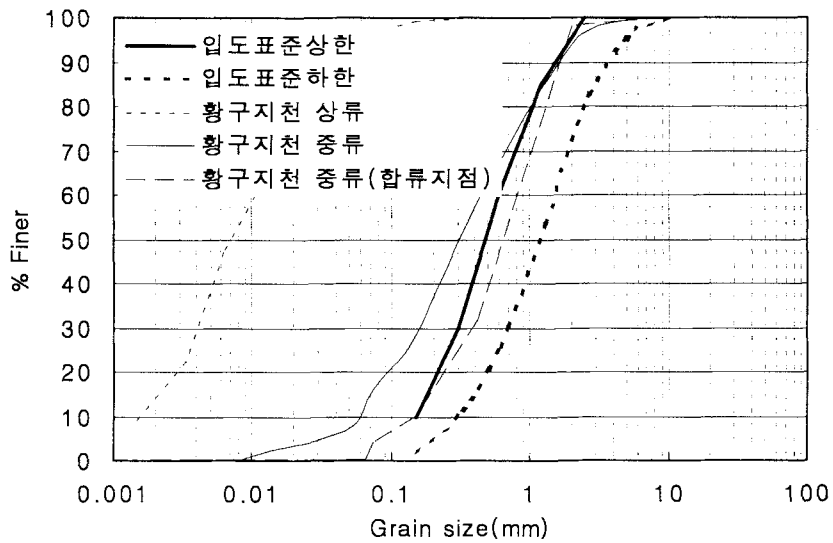


그림 3-14 입도표준에 의한 잔골재 적합성의 판정(황구지천)

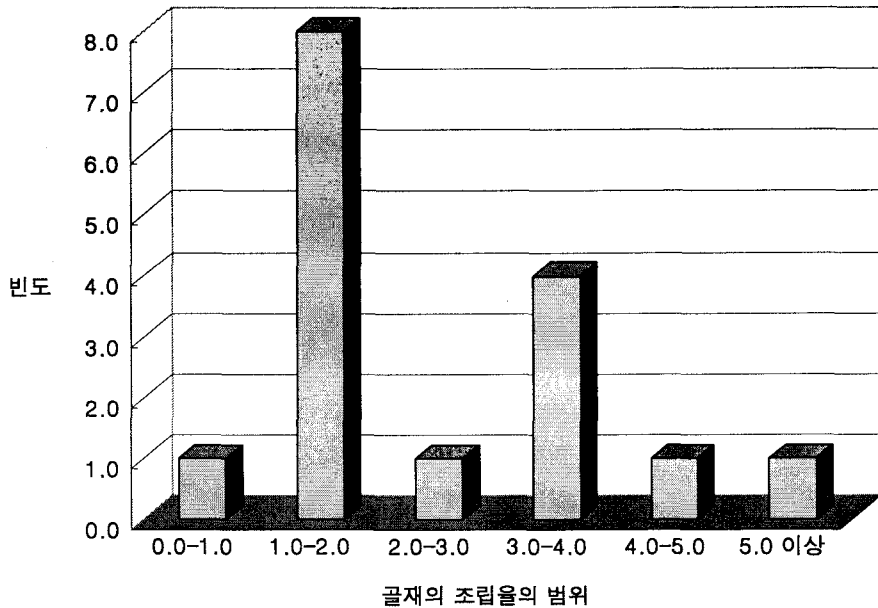


그림 3-15 퇴적물의 조립율 범위별 분포

그림 3-15는 본 연구에서 채취한 퇴적물을 잔골재로 활용하고자 하는 경우에 잔골재로서의 적합성을 판단하기 위하여 골재의 조립율을 나타낸 것이다.

잔골재의 조립율은 2.6~3.1이 적합한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 채취된 퇴적물의 경우 대체적으로 조립율이 2.0이하로 나타났으며, 약 5개소의 시료는 잔골재로의 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

### 3. 도로성토재료

준설 퇴적물을 도로성토용 재료로 활용하고자 하는 경우 앞서 제시한 노상, 기층, 보조기층 재료의 기준에 대한 적합성에 대한 조사가 필요하다. 그림 3-16은 본 연구에서 조사한 퇴적물의 모래함량에 대한 분포를 나타낸다. 보조기층 재료의 경우 모래함량을 25% 이상이 되도록 요구하고 있다.

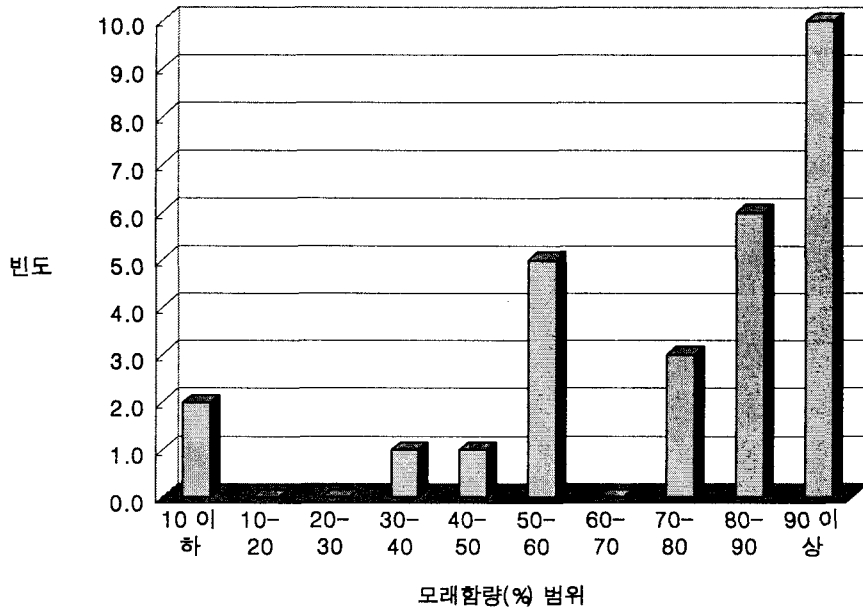


그림 3-16 퇴적물의 모래함량 범위별 분포

그림에서 보듯이 대부분의 시료가 모래함량 25% 이상의 기준에 만족하고 모래함량은 50% 이상이었으나, 두 개의 시료는 모래함량이 10% 이하로 나타났다. 두 시료는 발안 저수지 시료와 황구지천 상류의 시료이다.

또한 많은 입도 기준에 대한 기준이 제시되어 있으며, 그림 3-17과 그림 3-18은 각각 보조기층 재료의 입도표준에서 입도번호 SB-1과 SB-2의 상한과 하한 및 본 연구에서 채취한 두 시료의 입도를 함께 나타낸 것이다.

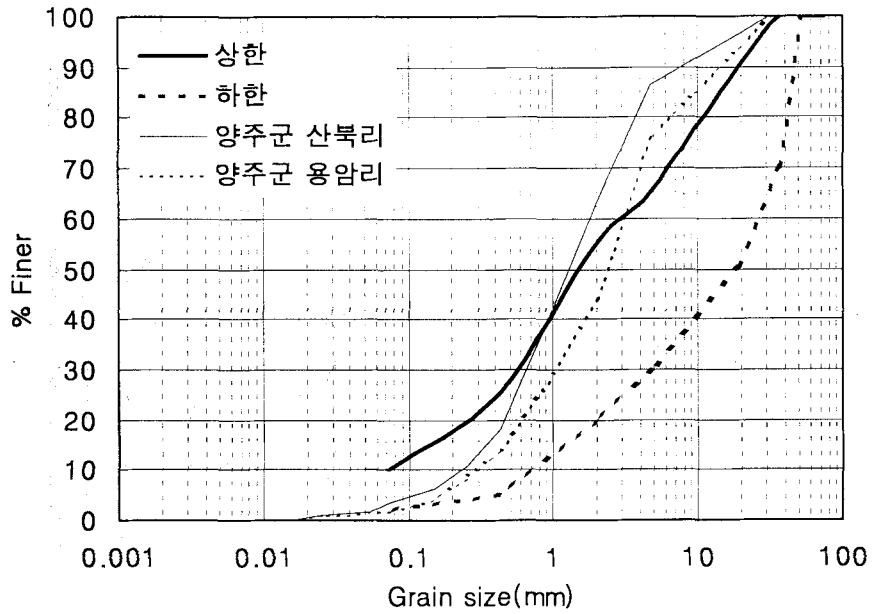


그림 3-17 입도표준에 의한 보조기층 재료 적합성의 판정(SB-1)

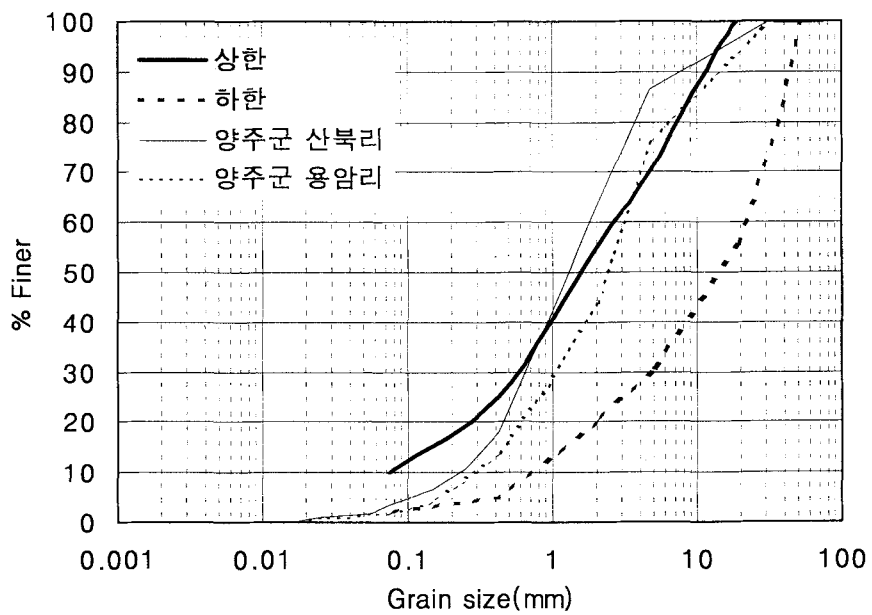


그림 3-18 입도표준에 의한 보조기층 재료 적합성의 판정(SB-2)

그림에서 보듯이 SB-1의 경우 두 시료 모두 상한을 넘어가고 있지만 SB-2의 경우에는 하나의 시료가 입도의 범위에 들어가고 있다.

도로성토재료로 사용하기 위해서 필요한 조건이 입도뿐만이 아니며, 상기한 입도의 표준이 모든 경우에 절대적으로 적용되는 것은 아니다. 그러나 준설 퇴적물의 활용에 있어 그 적합성을 판단함에 있어 상기한 여러 조건에 대한 충분한 검토가 필요할 것이다.

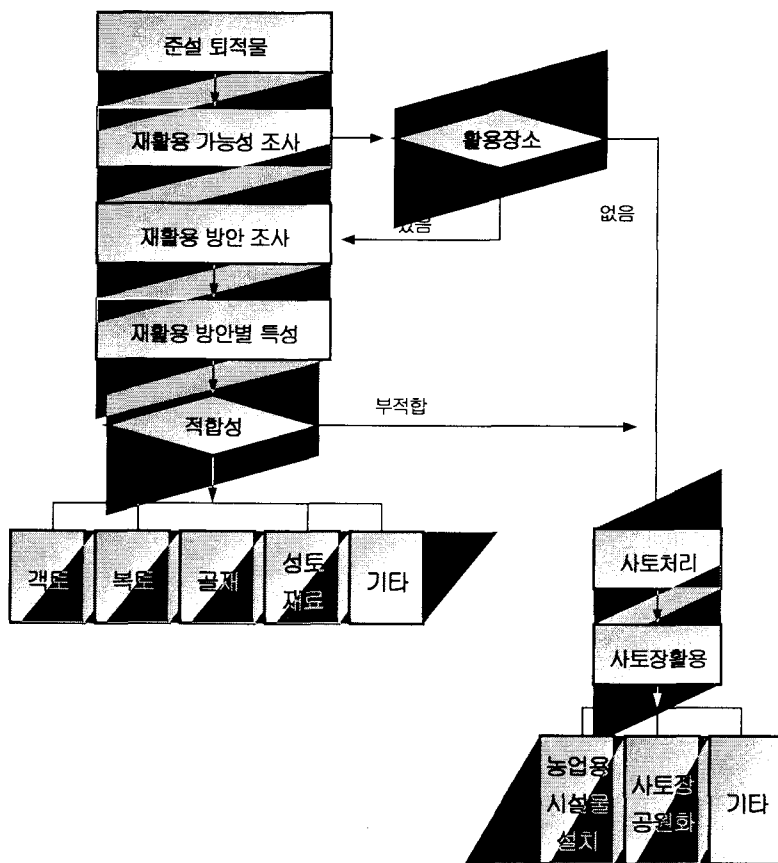


그림 3-19 준설 퇴적물의 처리 방안의 결정과정

#### 4. 사토처리

현재까지 살펴본 처리 기준 및 처리 방안의 경우 그림 3-19와 같이 처리 방안의 결정과 처리기준에 대한 적합성을 따라 결정된다.

그림에서 재활용에 대한 요구 및 적합성이 결여되어 사토처리 하는 경우에도 사토장의 활용에 대한 판단이 필요하다. 앞서 처리기준에서 언급한 바와 같이 사토장을 활용하고자 하는 경우에는 첫째로 작업기계의 주행성이 보장되어야 한다. 이를 위해서는 적정한 다짐이 필요하며, 다짐이 가능할 정도로의 처리가 필요하다. 따라서 제 4 장에서 언급하는 고화처리 및 고화처리토의 특성에 대하여 조사가 필요하며 이를 근거로 최종적인 처리 방안을 결정하여야 한다.

#### 5. 요약

본 절에서는 앞 절에서 제시한 활용방안에 대하여 본 연구에서 조사한 준설퇴적물을 적용하여 그 활용의 적합성을 고찰하였다. 객·복토재로의 활용에 있어서는 pH, 전기전도도 및 중금속 함량 등에서 객·복토재로서의 활용에 문제는 없는 것으로 나타났으나, 수은함량의 경우 함량이 과다하게 나타나 피해가 예상되며, 유기물함량이 2% 보다 낮은 경우 퇴비나 유기질의 시용 등 토양개량에 대한 적절한 대책의 수립이 요구되는 것으로 나타났다.

골재로의 활용에 있어서 골재의 기준에 적합한 시료와 적합하지 않은 시료로 구분되었으며, 성토재료의 활용의 경우에도 입도분포의 적합성을 고찰하였다.

특성이 적합하지 않은 경우 이후 제 4 장에서 언급하는 고화처리에 의한 특성을 검토한 후 최종적인 활용방안을 검토하는 것이 바람직할 것이다.

## 제 5 절 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용 지침

### 1. 개요

지금까지 농촌 중·소 하천 및 저수지 퇴적물의 처리 및 재활용에 필요한 기준을 제시하였고, 본 연구에서 채취한 퇴적물 시료에 대하여 기준을 적용하고 그 처리방안에 대하여 검토하였다. 본 연구에서 제안한 방안을 요약하면 기본적으로 퇴적물의 특성을 파악하고, 그 활용목적에 대한 적합성을 검토한 후 활용하고, 특성이 활용하고자 하는 목적에 적합하지 않는 경우에는 그 특성을 고화처리를 통하여 개량한 후 활용하는 것이다. 본 절에서는 이러한 퇴적물의 처리 및 재활용에 있어서 필요한 세부적인 검토사항을 정리하고 이를 지침화 한다.

### 2. 처리 및 재활용 방안의 검토

농촌 중·소 하천 및 저수지 퇴적물을 처리 및 재활용하고자 하는 경우, 먼저 그 처리 및 활용 방안에 대하여 검토하여야 한다. 표 3-17은 현재까지 본 연구에서 제시한 처리 및 활용방안을 요약한 것이다. 표에서 활용방안의 대, 중, 소는 각 활용방안에 대하여 세부적으로 구분된 것이다. 실제 건설분야의 도로성토재료와 농업분야의 농도의 경우 활용방안에서는 구분이 되지만 요구하는 재료특성은 동일한 경우가 많다.

이들 활용방안의 경우 실제 준설의 계획단계에서 인근에 진행중이거나 계획된 토목공사 및 경지정리, 농촌도로의 보수 등의 사업에 준설토의 활용가능성이 있는가를 먼저 확인해야 할 것이다.

그러나 인근에 활용 가능한 장소가 없는 것으로 판단되는 경우라면 준설토를 적극적으로 활용할 계획을 세워야 할 것이다. 즉, 마을 주민의 요구 등에 대한 조사를 실시하여 마을내 공동공간을 조성하거나 공동기기창고 등의 부지 조성에 대한 검토를 실시한다.

여러 곳의 활용방안이 함께 존재하고 준설량이 제한적인 경우에는 우선순위에 의한 결



정이 필요할 것이다. 예를 들어, 골재로 매각을 통하여 준설사업의 사업비를 보충할 것인가, 또는 마을내의 정비사업 등에 사용할 것인가의 문제가 발생하는 경우 최적의 결과가 되도록 우선순위에 대한 정책적 결정이 필요하다.

표 3-17 준설 퇴적물의 활용방안의 구분

활용방안 (대)	활용방안 (중)	활용방안 (소)	
건설분야	골재	잔골재	
		굵은골재	
	도로성토용 재료	노상	
		기층	
		보조기층	
	하천제방		
교대 뒤체움재			
기타			
농업분야	농지	경지정리	
		객토	
		복토	
	농도	마을내 도로	노상
			기층
			보조기층
		경지내 도로	노상
			기층
			보조기층
	수로보수	관개수로	
배수로			
저수지 제체보수			
기타			
사토	저수지 인근	사토처리	
		저습지 매립	
	사토후 사토장 활용	인근마을 공동공간 조성	
		인근마을 농업시설 부지	
기타			

표 3-18 준설 퇴적물의 활용방안별 요구되는 특성

활용방안(대)	활용방안(중)	활용방안(소)		요구되는 특성
건설분야	골재	잔골재		입도, 입자모양, 비중 유해물함량, 내구성 등
		굵은골재		
	도로성토용 재 료	노상		다짐특성, CBR특성, 입도, 투수특성, 유해물 함량 등
		기층		
		보조기층		
	하천제방			투수특성, 다짐특성 등
	교대 뒤체움재			투수특성, 다짐특성 등
기타				
농업분야	농지	경지정리		점토 및 모래함량, 유 기물함량, pH, 중금속 함량, 전기전도도 등
		객토		
		복토		
	농도	마을내 도로	노상	다짐특성, CBR특성, 입도, 투수특성, 유해물 함량 등
			기층	
			보조기층	
		경지내 도로	노상	
			기층	
			보조기층	
	수로보수	관개수로		다짐특성, 투수특성, 내침식성, 입도 등
배수로				
저수지 체체보수			투수특성, 다짐특성 등	
기타				
사토	저수지 인근	사토처리		입도, 다짐특성, 강도특 성, 투수특성 등
	사토후 사토장 활용	저습지 매립		
		인근마을 공동공간 조성		
		인근마을 농업시설 부지		
기타				

또한 활용에 대한 요구가 없다고 판단되어 사토처리하는 경우에도 사토장 부지를 농촌 마을정비의 관점에서 바라보아 공원화 하는 등의 활용성을 염두에 둔 사토처리가 되도록 노력해야 할 것이다.

### 3. 퇴적물 특성의 검토

퇴적물의 특성은 준설퇴적물의 활용에 있어서 가장 먼저 고려해야할 요소이다. 준설회업의 사업비 측면에서는 준설퇴적물이 골재로 활용 가능성이 있는 경우 매각을 통한 사업비의 보충이 가능할 것이며, 고화처리 등의 처리가 필요한 경우 단순 사토처리 이외의 활용에 있어서는 추가적인 처리 비용이 발생할 것이다. 표 3-18은 표 3-17에서 구분된 활용방안에 대하여 요구되는 퇴적물의 특성을 구분한 것이다. 각 활용방안에 있어서 중요하게 요구되는 특성을 진하게 나타내었다.

표에서 보듯이 일반적으로 요구되면서 가장 중요한 특성 중의 하나는 퇴적물의 입도이다. 그리고 다짐특성과 강도 및 투수특성의 경우에는 퇴적물의 활용의 여부에 관계없이 사토처리 할 때에도 고려되어야 할 특성이다. 따라서 준설퇴적물에 대해서는 기본적으로 상기한 항목에 대한 조사를 실시하고 앞서 조사된 활용방안에서 요구하는 특성에 적합성을 고려하여 그 활용방안을 최종적으로 결정한다.

### 4. 처리 및 재활용 지침

준설퇴적물의 처리 및 재활용에 있어서 가장 기본적으로 제안할 사항은 비록 사토처리하더라도 사토장의 활용에 대한 계획과 그에 적합하도록 처리가 필요하다는 것이다.

그림 3-20은 준설퇴적물의 처리 및 활용에 있어서 기본적으로 고려해야할 활용방안과 그 특성검토의 과정을 나타낸다. 그림에서 보듯이 결국 준설퇴적물의 처리는 단순한 사토처리 보다는 어떠한 형태로든 활용이 되도록 하는 것이다.

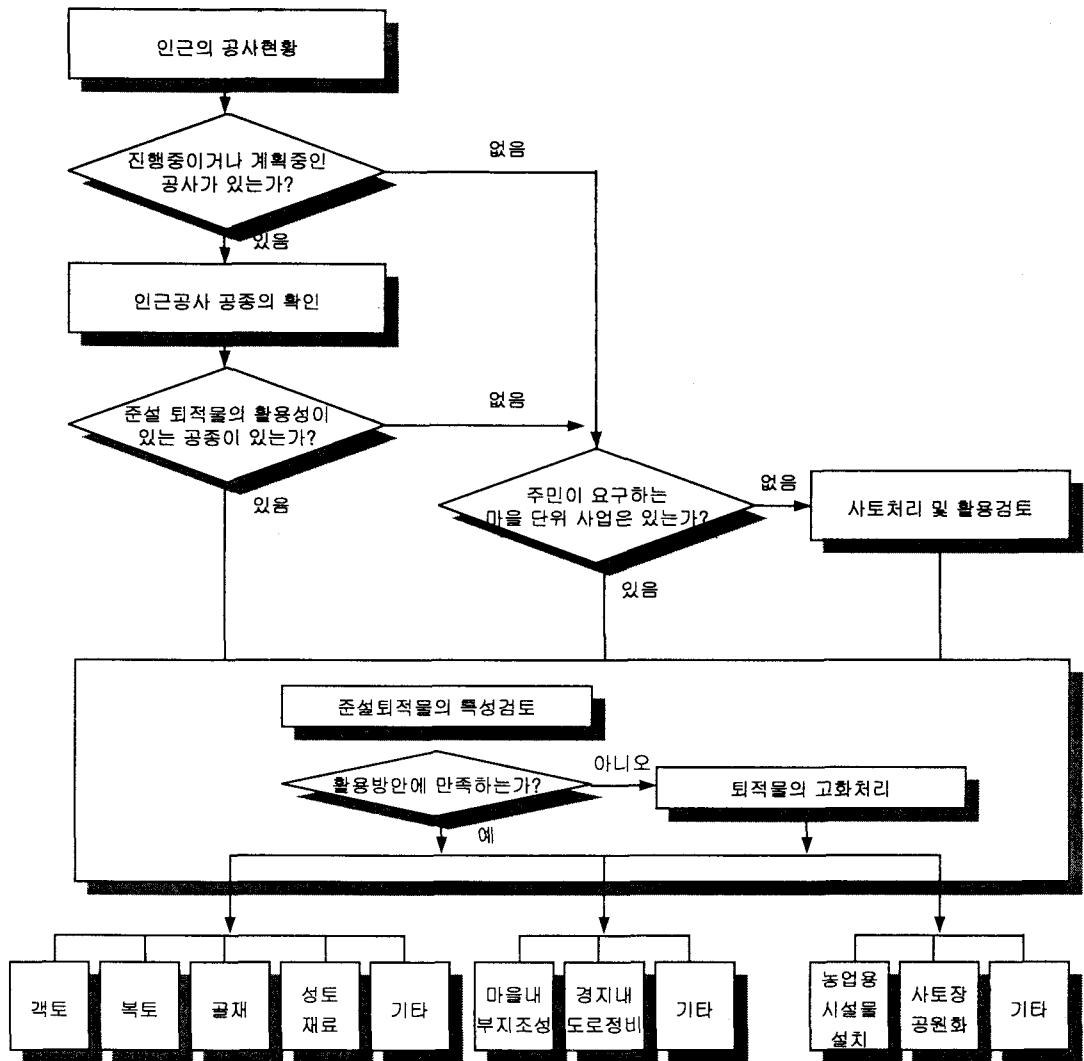


그림 3-20 퇴적물의 처리 및 활용에 대한 결정

## 5. 요약

본 절에서는 준설 퇴적물을 처리 및 활용함에 있어 기본적으로 고려해야 할 사항을 정리하였다. 그리고 준설 퇴적물의 처리는 단순한 사토처리 보다는 어떠한 형태로든 활용이 되도록 하는 것을 기본으로 그 결정에 대한 간략한 지침으로 흐름도를 제시하였다.

## 제 6 절 요약 및 결론

본 장에서는 먼저 현재의 준설현황 및 준설 퇴적물의 처리현황에 대하여 고찰하였다. 준설퇴적물의 재활용 또는 사토처리를 위해서는 적정 운반거리 이내에 재활용이 가능한 장소, 즉 재활용에 대한 요구가 있어야 하며, 준설 퇴적물이 요구에 대한 특성을 만족하여야 한다. 만약 그 특성에 부적합한 경우 적절한 처리 방법에 의하여 특성을 변화시키거나 사토처리하게 된다. 본 절에서 언급한 바를 요약하면 다음과 같다.

1. 저수지 준설은 매년 저수용량의 확보를 위하여 대상 저수지를 선정하여 수행되고 있으며, 이로 인하여 상당량의 퇴적물이 준설되고 있다. 이들 준설된 퇴적물은 대부분 사토처리되고 있으며, 일부 활용되는 경우 복토용, 골재 및 성토재료로 활용되고 있다.
2. 준설 퇴적물의 객·복토용 재료, 골재 및 도로 성토용 재료로의 활용을 위하여 각 재료의 기준에 대하여 고찰하였다.
3. 본 연구에서 채취한 퇴적물의 처리방안에 대하여 고찰한 결과, 객·복토용 재료로 활용할 경우 pH 및 중금속 기준 등 대부분의 경우에 문제점은 발견되지 않았다. 단지 수은 함량이 대부분 높게 나타나 주의가 요구되며, 유기물 함량이 낮은 경우에는 퇴비나 유기질의 시용 등 토양개량에 대한 적절한 대책의 수립이 요구된다.
4. 골재 및 성토재료로의 활용에 있어 대부분의 퇴적물이 골재 또는 성토재료의 노상, 기층 등에 재료로 활용이 가능할 것으로 나타났다. 단지 모든 재료 기준에 적합할 수는 없으므로 적절한 활용처를 찾거나 특성의 개량이 필요할 것이다.
5. 준설 퇴적물의 처리에 있어서 단순한 사토처리 보다는 어떠한 형태로든 활용이 되도록 하는 것을 기본으로 그 결정에 대한 간략한 지침으로 흐름도를 제시하였다.

## 제 4 장 준설 퇴적물의 고화처리

### 제 1 절 서론

준설된 퇴적물중에서 자갈이나 모래질 등의 상대적으로 운반 및 처리가 용이한 퇴적물의 경우 이외에 농촌의 중·하천 및 저수지, 도시 상하수도, 항만준설 등의 슬러리 상태의 고함수비 흙은 그 성상의 특성으로 인해 운반 및 처리시에 많은 문제점이 존재한다. 일반적으로 이러한 고함수비의 S/S(Solidification and Stabilization) 처리공법은 고함수비 흙의 처리를 위해 탈수 후 시멘트, 생석회 또는 시멘트-생석회를 흙과 섞은 후 적정 처리상태에서 다져 고화하거나 해로운 오염물질을 화학적 변환과정을 통해 무해한 물질로 안정화시키는 공법으로 많은 현장에서 사용하고 있다.

고함수비의 준설퇴적물의 처리 방법에는 고화-고형화 처리 방법 이외에도 많은 방법이 존재한다. 이러한 방법 중에서, 대량으로 많은 퇴적물이 준설되는 항만준설 또는 저수지 준설의 경우는 상대적으로 고가의 처리방법을 적용할 수 있을 것이다. 그러나 농어촌의 중·소 하천 및 소형 저수지 준설의 경우 경제적인 측면과, 효율적인 측면에서 대형기 및 특수처리과정을 도입하기는 힘들다.

고함수비 상태의 흙에 시멘트를 첨가하여 처리하는 경우 혼합물(Fluid soil cement)은 일반적인 soil cement와는 다른 거동을 보인다. 고함수로 인해 워커빌리티 특성중 유동성이 확보되지만 강도와 다짐성이 불량하여 흡수와 수화반응에 의한 강도 발현까지 일정한 방치시간 (Hardening time, Time after mixing)을 필요로 한다. 이러한 방치기간 중 수화반응으로 인해 혼합물의 상 변화가 일어나는데 적정 시간이 지나면 일반적인 흙과 같은 반소성 또는 소성 상태가 되어 처리 가능한 상태로 변하게 된다.

본 장에서는 고함수비의 준설퇴적물의 처리에 사용되는 고화-안정화 처리의 일반적인 내용과 고화재의 종류, 그리고 soil cement의 특성에 대한 개략적인 내용을 정리하고, 혼합물의 상 변화를 고려한 고화처리과정을 제시한다. 그리고 제시된 고화처리과정을 거친 고화처리토의 공학적 특성에 대하여 고찰하고자 한다.

## 제 2 절 고화재 및 고화처리 일반

### 1. 시멘트

시멘트는 가장 기초적인 고화재로 soil cement 등에서 가장 일반적으로 사용되는 시멘트는 포틀랜드 시멘트이다. 그밖에 특수 시멘트로 고로 슬래그, 알루미나 시멘트, 포졸란 시멘트 등이 있다. 이러한 시멘트를 수용성 시멘트(hydraulic cement)라 하는데 물과 반응하여 고결체를 형성하기 때문이다.

지반안정에서 가장 보편적으로 사용되는 포틀랜드 시멘트는 미분말의 수경성 시멘트로 물과 반응하여 응결·경화되어 안정된 고체를 형성하며, 수화물의 용해도가 매우 낮다. 포틀랜드 시멘트의 개략적인 화학구성 성분은 표 4-1과 같다.

표 4-1 포틀랜드 시멘트의 화학구성

산 화 물	중 량 비(%)
CaO	60-65
MgO	0-5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2-5
SiO <sub>2</sub>	20-24
SO <sub>3</sub>	1-3
연소에 의한 손실	0.5-3

포틀랜드 시멘트의 입자크기는 0.5~80 $\mu$ m이고, 대부분의 입자는 200번체를 통과하며 비중은 3.12~3.20 사이이다. 원재료를 혼합, 소성하여 클링커를 만들고 가루로 부수어 최종 완성된 포틀랜드 시멘트는 대표적으로 규산 3석회(3CaO · SiO<sub>2</sub>, C3S)와  $\beta$ -규산석회

( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , C2S)가 각각 중량비로 50%와 26%를 차지하고 알루미늄산 3석회( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , C3A)와 철알루미늄산 3석회( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , C4AF)가 각각 9%씩 차지한다. 시멘트의 구성요소인 각종의 산화물은 간략히 표현하기 위해  $\text{CaO}=\text{C}$ ,  $\text{SiO}_2=\text{S}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=\text{A}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3=\text{F}$ ,  $\text{H}_2\text{O}=\text{H}$ 로 표기한다. C3S와 C3A는 급격하게 수화반응하여 조기강도발현에 기여하고, C2S는 천천히 수화반응해서 장기강도를 향상시킨다. 그리고 응결지연 목적으로 첨가되는 석고와 C3A가 반응하여 calcium sulphoaluminate(CSA)를 형성한다. 이와 같은 혼합물들은 물 또는 물을 포함하고 있는 석회와 반응하여 구조적으로 매우 안정한 수산화 칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )을 형성한다. 구조적으로 안정한 생성물인  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 는 규산칼슘 수화물(CSH)로 천연 tobermorite 광물의 결정구조와 비슷하기 때문에 tobermorite gel이라 부르기도 한다. 포틀랜드 시멘트의 수화반응 중에 형성된 수산화 칼슘이나 석회는 점토의 규소나 알루미늄과 반응하여 tobermorite gel이나 고결성이 좀더 높은 물질을 생성한다.

흙 속의 유기물이나 유기산의 존재, 황산염( $\text{SO}_3$ ) 그리고 낮은 pH는  $\text{Ca}^{2+}$  칼슘이온을 고정시켜 tobermorite gel의 형성을 억제시킨다. 흙의  $\text{Ca}^{2+}$  이온에 대한 흡수능력이 증가할수록, 포틀랜드 시멘트의 수화반응에 이용되지 못하는  $\text{Ca}^{2+}$  이온은 tobermorite gel을 형성할 수 없다.

ASTM C150에서는 포틀랜드 시멘트를 1종, 2종, 3종, 4종, 5종으로 구분하고 있다. 1종 포틀랜드 시멘트(보통 포틀랜드 시멘트, ordinary portland cement)는 가장 보편적으로 사용되고 경제적이다. 그러나 화학적인 내구성은 다른 종류의 포틀랜드 시멘트에 비해 다소 낮지만, 지반 안정의 일반적인 목적에는 적합하다. 2종 포틀랜드 시멘트는 황산염에 대한 저항성이 높고 수화열은 낮으며, 3종 포틀랜드 시멘트는 조기강도와 수화열이 높고 건조수축도 크다. 그러나 장기강도는 1종 포틀랜드 시멘트에 비해 약간 높다. 4종 포틀랜드 시멘트는 수화열이 낮으며, 내구성은 1종 포틀랜드 시멘트보다 우수하다. 5종 포틀랜드 시멘트는 황산염에 대한 내구성이 가장 우수하다. 표 4-2는 5종의 포틀랜드 시멘트의 화학적 구성물질에 대한 요구량을 나타낸다.



표 4-2 포틀랜드 시멘트의 화학적 요구량(ASTM, 1980)

화학적 요구량	시멘트의 종류				
	1종	2종	3종	4종	5종
SiO <sub>2</sub> min%	-	21.0	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> max%	-	6.0	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> max%	-	6.0	-	-	-
MgO max%	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
SO <sub>3</sub> max%					
3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 가 8%이하	2.5	2.5	3.0	2.3	2.3
3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 가 8%이상	3.0		4.0		
연소에 의한 손실 max%	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
불용성 잔여물 max%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
3CaO · SiO <sub>2</sub> max%	-	-	-	35	-
2CaO · SiO <sub>2</sub> max%	-	-	-	40	-
3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> max%	-	8.0	15.0	7.0	5.0
3CaO · SiO <sub>2</sub> +3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> max%	-	58.0	-	-	-
4CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +2(3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) max%	-	-	-	-	20.0

## 2. 기타 고화제 및 첨가제

고화제는 일반적으로 무기고화제와 유기고화제로 대별된다. 대표적인 무기고화제는 앞서 설명한 시멘트를 주성분으로 한 고화제와 포졸란 고화제를 들 수 있으며, 유기 고화제는 크게 열 가소성과 열 경화성으로 대별된다. 여기에서는 여러 종류의 고화제의 종류와 기능에 따라 첨가되는 첨가제의 종류에 대하여 간략하게 살펴본다.

### 가. 무기고화제

무기고화제는 크게 시멘트고화제와 포졸란고화제의 2가지 기본적인 형태로 되어 있다.

포졸란은 그 자체가 고결작용을 일으키지 않으나 경우에 따라 시멘트성 물질을 발생시키는 석회와 반응할 수 있는 실리카와 알루미늄을 포함한 물질도 있다. 가장 널리 이용되는 무기고화재로는 다음과 같은 것이 있다.

- ▷ 포트랜드시멘트
- ▷ 석회/플라이애쉬
- ▷ 킬른 더스트(석회와 시멘트)
- ▷ 포트랜드시멘트/플라이애쉬
- ▷ 포트랜드시멘트/석회
- ▷ 포트랜드시멘트/sodium silicate

시멘트는 앞 절에서 살펴보았다. 일반적인 포졸란은 플라이애쉬, pumice, 석회킬른더스트, last furnace slag 등이 있다. 포졸란물질 대해서는 다양한 규격이 있으며 특히 플라이애쉬에 대해 많다.

갈탄(lignite)이나 준역청탄(sub-bituminous coal)의 연소에서 발생하는 Type C 플라이애쉬는 충분한 석회가 포함되어 있어 단지 포졸란반응뿐만 아니라 그 자체로서 시멘트화를 일으킨다. (U.S.EPA,1986c)

석회/플라이애쉬 고화체는 포트랜드시멘트의 고화체만큼 내구성이 없다.

#### 나. 유기고화재

유기고화재는 크게 아스팔트, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 등의 열가소성과 urea formaldehyde와 같은 열경화성으로 구분된다.

유기고화재는 폐기물 중 상당부분에 물이 포함되어 있어 대부분의 소수성 유기고화재의 경우 처리전 에멀전을 형성하기 위한 전처리가 필요하다는 문제점을 가진다. 유기고화재는 생물학적 활동이나 자외선 등에 의해 손상 받을 수 있다.

열가소성 고화재는 용해성이며 독성물질을 처리할 수 있다는 장점은 있으나, 무기고화

재보다 복잡한 용융 및 압출장치가 필요하며 폐기물의 건조나 용융에 필요한 에너지 때문에 가격이 비싸다.

열경화성 고화재는 오직 microencapsulation 기능에 의해서만 처리가 가능하다.

#### 다. 첨가제

첨가제의 종류는 고화처리의 대상과 처리 목적 등에 따라서 매우 많은 종류가 사용될 수 있다. pH 조절용 첨가제, 산화환원전위조절용 첨가제, 침전용 첨가제 등을 들 수 있으며 석회, 벤토나이트 등은 여러 가지 목적을 첨가되기도 한다.

### 3. 일반적인 고화처리 방법

호소 및 하천, 하수 슬러지 등 고화처리가 필요한 경우에 일반적으로 사용되는 방법으로는 가장 일반적인 시멘트 기초법과 포졸란 기초법 등이 있으며, 열가소성 고화법, 유기중합체 고화법, 피막형성법 등 여러 가지가 있다. 이러한 방법을 살펴보고 장·단점에 대하여 요약·정리하면 다음과 같다.

#### 가. 시멘트 기초법

시멘트 기초법은 가장 기본적이면서 일반적으로 적용될 수 있는 방법 중의 하나이다. 먼저 시멘트의 양을 조절하여 요구되는 품질을 맞출 수 있으며, 무엇보다 원료가 되는 시멘트의 가격이 저렴한 장점이 있다. 또한 시멘트의 취급과 관리에 대한 지식이 풍부하며 장치가 일반적이고 전문적인 인력이 필요 없다. 또한 시멘트 수화반응의 특성상 수분이 첨가되어야 하므로 고화처리 대상 물질에 대한 과도한 건조나 탈수가 필요 없다. 알칼리도가 풍부하므로 산을 중화시킬 수 있는 등의 장점이 있다.

그러나 상대적으로 많은 양의 시멘트가 필요한 경우가 많고, 따라서 다른 고형화 공정에 비해 최종부피가 상대적으로 크다. 표면도포가 안된 물질은 적절히 매립하여야 하며, 수화반응이나 양생에 영향을 미치는 불순물이 다량 함유되어 있을 경우에는 더 가

격이 비싼 시멘트나 첨가제가 필요하다. 그리고 무엇보다 시멘트는 에너지를 많이 필요로 하는 물질이다.

#### 나. 포졸란 기초법(시멘트제외)

가장 널리 이용되는 포졸란 물질은 플라이애쉬, 슬래그, 시멘트킬른더스트 등이다. 이러한 포졸란 물질은 고형화물질의 취급이 용이하고 투과특성이 양호하며, 원료물질의 가격이 싸고 구입이 용이하다. 일반적으로 석회가 첨가제로 사용되므로 특수한 장비가 필요하지 않다는 장점이 있으며, 석회-포졸란반응은 상대적으로 잘 알려져 있으며 갈라짐 현상이 별로 없다. 시멘트 기초법과 마찬가지로 수분이 첨가되므로 폐기물의 과도한 탈수가 필요하지 않다.

그러나 보통의 경우 석회와 함께 다른 첨가물이 필요한 경우가 많고, 용출의 가능성을 감안하여 표면도포되지 않은 석회처리물질은 특별히 고안된 매립지에 매립하여야 한다. 대부분 시멘트와 석회-실리카물질과 혼합하여 사용하는 것이 경제적인 것으로 알려져 있다.

#### 다. 열가소성 고화법(including bitumen, paraffin, and polyethylene incorporation)

초기에 열가소성고화법은 방사능 폐기물의 고형화에 이용되었으나 이것이 점차 유해 폐기물에 적용되기 시작하였다. 방사능폐기물 고형화시 역청등 열가소성물질을 사용하며 폐기물을 건조, 가열시킨 후 열가소성물질에 분산하여 냉각시킨다. 냉각된 물질은 대개 철제 드럼 등에 넣어 매립한다. 열가소성물질은 역청 이외에도 파라핀이나 폴리에틸렌 등이 사용된다.

이 공정에는 혼합과 가열을 위해 특수한 장비가 필요하다. 고화재와 폐기물의 혼합비율을 매우 높은 편으로서 보통 건조중량으로 1:1~1:2 정도이다. 가열에 필요한 온도는 130~230℃로서 사용되는 고화재와 장치형태에 따라 용융 특성이 다르다.

역청을 사용시 수분이 포함된 슬러지와 혼합될 수 있는 물질을 사용하는데 이때 혼합

은 혼합물의 끓는점 이하의 임의의 온도에서 실행할 수 있다. 최종물질은 처분을 위하여 가열과 건조를 시키며 에멀전과 폐기물의 비율은 1:1~1:1.5 가 필요하다.

nitrate, chlorate, perchlorate 와 같은 강한 산화염은 고화재와 반응하여 서서히 파손을 일으킨다. 또한 공정중에서 온도상승 등으로 인하여 혼합물이 극도의 발화성을 갖게 된다.

염의 경우에는 물에서 재수화(rehydration)를 일으키고 아스팔트나 역청의 균열을 발생시켜 표면적을 증가시킴으로서 용출율을 높일 수 있다.

sodium sulfate 와 같은 염은 역청플라스틱 만들기 위한 온도에서 자연적으로 재수화된다. 그러므로 이와 같이 쉽게 수화되는 물질에 대해서는 열가소성 고화법을 사용해서는 안 된다.

열가소성 고화법은 시멘트나 포졸란 이용시보다 용출율이 낮고, 건조한 상태에서 폐기물을 처분함으로써 폐기물의 총 부피가 크게 감소한다. 또한 대부분의 열가소성 고화재는 수용액에 대해 강하며 생물학적 분해를 최소화 할 수 있으며, 대부분의 고화재가 폐기물과의 부착성이 우수하고, 필요시 폐기물을 재생할 수 있다.

하지만, 가격이 비싸며 특수한 기술인력과 장치가 필요하다. 그리고 시멘트나 포졸란 고화법과는 달리 수분을 포함한 폐기물을 그대로 사용시 용출율이 높아지므로 폐기물을 건조시켜야 하며 그에 따라 가격이 증가한다. 더욱이 가열시 부수적으로 2차 대기오염을 유발시킬 수 있다. 역청에서 철과 알루미늄염의 tetraborate 의 결합은 조기숙성과 혼합장치의 막힘 현상 과 손상을 유발시키며, 강한 산화제는 대개 산화반응없이 유기물질과 결합될 수 없으며 고온에서 높은 농도의 강산화제는 화재를 일으킬 수 있다. 그리고 고화재에서 결합된 dehydrated salt는 혼합물이 물과 접촉시 서서히 재수화된다.

라. 유기중합체 고화법(urea-form aldehyde unsaturated polyester 포함)

이 방법은 운송이 필요한 고형화물질에 대해서 개발되었으며 가장 유용한 방법은 UF(Urea Formaldehyde)를 사용하는 것이다.

혼합시 촉매가 첨가되며 촉매가 완전히 혼합될 때까지 혼합을 계속한다. 고분자가 형성되기 전 혼합을 정지하고 콘테이너에 이송시킨다. 고분자화된 물질은 화학적으로 결합되지는 않으며 폐기물에 포함된 수분은 고분자화된 다음 남아 있게 되며 처분전 종종 건조시켜야 만 한다. UF 이외에도 vinyl ester-styrene 이 방사능폐기물의 고형화를 연구중이다.

이 방법은 약품의 필요 양이 적으며, 폐기물과 약품의 비율은 대개 시멘트보다 UF organic polymer system에서 약 30%정도 크다. 대개 탈수는 실시하나 열가소성 고화법처럼 건조시키지는 않지만 처분전에는 건조시켜야 한다. 사용되는 유기수지(organic resin)는 시멘트보다 밀도가 낮기 때문에는 운송가격을 감소시킨다. 그리고 고형화된 수지는 비발화성이며 수지형성을 위해 높은 온도가 필요치 않다.

하지만, 오염물질이 화학적인 변화를 하지 않으므로 고화체의 파열시 다량의 오염물질이 용출될 수 있는 단점이 있다. UF system 에 사용되는 촉매는 강산성이며 혼합물은 pH 1.5±0.5를 유지하여야 하므로 낮은 pH의 수용액에서 많은 물질이 용출될 수 있다. pH가 1.5 이상되면 고분자화 반응이 지연되며 고형분이 침전될 수 있다. 고분자화에 사용되는 몇 가지의 촉매는 매우 부식성이 높으므로 특수한 혼합장비나 콘테이너에 방수막이 필요하다. 또한 수지를 생성시키는 반응은 인체에 유해한 증기를 발생시킬 수 있다.

#### 마. 피막형성법 (jacketing)

피막형성법은 철저히 폐기물을 건조시켜야 하며 건조된 폐기물은 5분 동안 1,2-polybutadiene 이 첨가된 아세톤용액에서 교반된다. 이 혼합물은 2시간 동안 setting 되며 고화제의 최적첨가량은 건조중량으로 고정화된 물질의 3-4 % 이다. 피복된 물질은 몰드에서 성형되며 그 때 온도는 120-200℃ 이다.

피막형성법은 물과 접촉이 없으므로 NaCl 과 같은 용해성물질이 용출되지 않는 장점이 있으나, 수지의 가격이 비싸며 건조, 용융, 형성에 필요한 에너지비용이 많이 든다. 그리고 폴리에틸렌은 350℃의 인화점(flash point)을 가지고 연소가능하여 화재위험성이

있다. 장치 등의 투자비가 높으며, 성형과 용융기계를 작동하는데 특수한 기술인력이 필요하다.

바. 자가시멘트법(calcium sulfate 농도가 높은 슬러지를 이용)

연소가스세정이나 탈황슬러지와 같은 산업폐기물은 다량의 calcium sulfate 와 calcium sulfite를 포함한다. 탈수슬러지중의 8~10%(중량비)는 부분적으로 dehydrated cementitious calcium sulfate 나 sulfite를 생산하기 위해 조절된 조건에서 calcine 된다. 이러한 calcine waster 에는 다른 첨가물이 첨가되는데 종종 플라이애쉬가 수분함량을 조절하기 위해 첨가된다.

혼합물이 안정하며 비인화성이고 생물학적으로 분해되지 않는다. 특별한 첨가제가 필요 없으며, 중금속을 효과적으로 고정화시킨다. 일반적으로 석회기초법보다 setting 이나 양생시간이 빠른 것으로 알려져 있다.

사. 유리화

폐기물이 극도의 위험이나 방사능 물질일 경우 실리카와 폐기물을 혼합하여 유리에서 이 혼합물을 용융시키거나 synthetic silicate mineral을 형성시킨다. 유리와 crystalline silicate 는 자연수중에서 매우 느리게 용출되므로 2차적인 보관이 필요하다.

용출율이 매우 낮고 첨가제의 가격이 싸다는 장점이 있으나 몇몇 성분(특히 금속)은 온도가 올라가면서 용융된 실리카와 결합하기 전 휘산되거나 손실될 수 있다. 그리고 공정에 에너지가 많이 필요하며 폐기물-silicate charge는 melting 과 fusion을 위해 가열되어야 하며, 특수한 장비와 인력이 필요하다.

#### 4. 요약

본 절에서는 가장 기초적인 고화재인 시멘트에 대하여 고찰하였으며, 기타 고화재로서 크게 무기고화재와 유기고화재 및 기타 첨가재로 구별하여 살펴보았다. 그리고 일반적인 고화처리 방법으로서 시멘트 기초법, 포졸란 기초법, 열가소성 고화법, 유기중합체 고화법, 피막 형성법, 자가시멘트법 및 유리화 등의 방법에 대하여 고찰하고 장·단점을 간단하게 살펴보았다.



## 제 3 절 고화처리 방법의 선정 및 soil cement 일반

### 1. 개요

고화처리 방법 및 사용되는 고화재는 앞 절에서 살펴본 바와 같이 처리 대상물질과 처리 목적에 따라 매우 많다. 본 연구에서 대상으로 하는 농어촌 중·소하천 및 저수지 퇴적물의 경우 그 물리/화학적 특성 및 오염정도가 각각의 하천 및 저수지별 조건에 따라 다르기 때문에 하수 슬러지 등과 같이 비교적 일정한 특성을 가지는 처리대상물질에 비하여 정형화된 고화재 및 처리방법을 제시하기가 어려운 점이 있다. 여기에서는 본 연구에서 대상으로 하는 중·소하천 및 저수지 퇴적물에 적합한 고화처리 방법으로 판단되는 시멘트를 기초로한 처리법에 대하여 고찰하고, soil cement의 일반적인 특성에 대하여 고찰한다.

### 2. 시멘트에 의한 처리방법의 선정

고화재는 많은 종류들이 있으며, 특정한 처리 대상물질 및 처리목적에 위하여 많은 종류의 고화재가 제품화되어 상용되고 있으며, 특정목적으로 개발하기도 한다.

그림 4-1은 일반적인 하수 슬러지의 최종처분방법을 목적별로 분류한 것이다. 하수 슬러지의 경우 그림 4-1에서 고형화 단계에서 농축, 소각, 탈수 등의 복잡한 과정이 필요하며, 그 방법 과 적용되는 고화재 또한 매우 많다.

그러나 본 연구의 대상인 농어촌 중·소하천 및 저수지에서 발생하는 준설 퇴적물의 경우 최종처분방법의 경우 큰 차이가 없으나, 하수 슬러지와는 달리 퇴적물의 대부분이 흙 입자이고 미량의 오염성분과 앞장에서 살펴본 바와 같이 최대 10% 이내의 유기물을 포함하고 있으므로 농축, 소각, 탈수 등의 고화전의 전처리 과정이 불필요하다 할 수 있다. 또한 농어촌 중·소하천의 경우 대량으로 준설량이 발생하지 않는다.

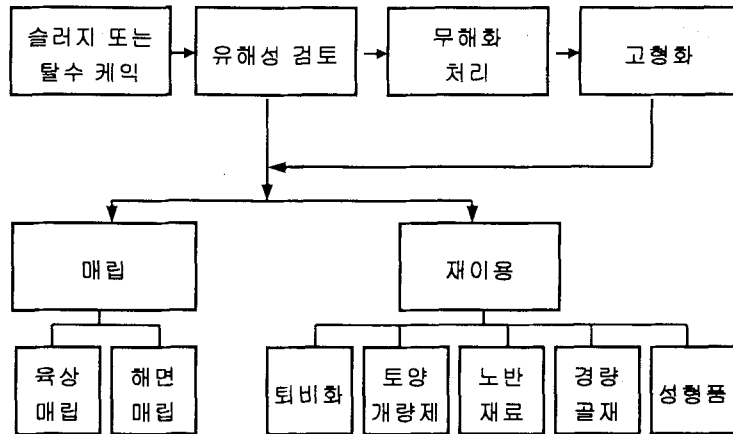


그림 4-1 하수 슬러지의 최종처분방법의 분류

따라서 본 연구에서는 농어촌 중·소하천 및 저수지 퇴적물의 경우 앞 절에서 살펴본 많은 종류의 고화재 중에서 가장 기초적이면서 중금속의 처리에 효과적인 시멘트를 선정하고 필요한 경우 첨가제를 추가하는 방법을 선정하였다.

### 3. Soil cement 일반

#### 가. Soil cement의 정의

Soil cement는 높은 밀도를 얻기 위해 흙과 일정량의 포틀랜드 시멘트와 물을 섞어 다진 혼합물이다. 그러나 좀 더 넓은 의미로는 특정한 공학적 성질에 부합하는 강성체를 형성하기 위해 흙, 포틀랜드 시멘트, 포졸란 물질을 포함하는 첨가제, 그리고 물을 섞어 다짐과 양생을 통하여 형성된 복합체를 뜻한다.

흙 입자는 시멘트 페이스트(cement paste)에 의해 결합되지만, 콘크리트와는 달리 개개 흙 입자는 시멘트 페이스트에 완전히 둘러 쌓이지 못한다.

Soil cement에서 시멘트의 혼합비는 일반적으로 시멘트 중량에 대한 건조된 흙의 중량 비로 나타낸다.

$$\text{배합비}(C_w) = \frac{\text{시멘트의 중량}}{\text{오븐 건조한 흙의 중량}} \times 100(\%) \quad (4-1)$$

Soil cement는 아스팔트 콘크리트 또는 콘크리트 포장의 기초로 널리 사용되고 댐이나 제방의 사면보강, 저수지나 수로의 라이너 그리고 매립지의 차수재로도 사용되고 있다.

#### 나. Soil cement의 재료

##### 1) 흙

유기물질(organic materials)을 함유한 흙이나 소성이 높은 점토 및 반응성이 약한 사질토를 제외한 모든 종류의 흙에 soil cement는 사용 가능하다. 조립토는 세립토보다 분쇄 및 혼합이 쉽고, 적은 양의 시멘트가 사용되어 훨씬 경제적이기 때문에 조립토가 선호된다. 일반적으로 200번체 통과량이 5~35%인 흙이 경제적이다. 그러나 세립분이 많거나 소성이 낮은 흙도 성공적이고 경제적으로 사용되고 있다. 그리고 2%이상의 유기물질을 함유한 흙은 보통 포틀랜드 시멘트로만 처리하였을 경우 지반안정의 목적으로는 일반적으로 부적합하다고 간주되고 있다.

골재의 등급(aggregate gradation)은 콘크리트에서처럼 제약받지는 않지만 일반적으로 최대골재의 크기는 적어도 4번체 통과량이 55%인 5cm 정도이다. 수로의 사면보강에서와 같이 침식작용에 노출된 soil cement는 적어도 20%의 굵은 골재(4번체에 남아있는 조립토)를 포함한 흙이 적당하다.

Soil cement에서 시멘트의 첨가량은 점토가 일반적으로 경화를 위해 더 많은 시멘트가 필요하며, 혼합 이전의 분쇄과정이 상당히 힘들다. 점토 또는 실트와 조립토의 혼합으로 생기는 작은 공모양의 점토 덩어리 단괴(clay ball)는 일반적인 혼합에서는 잘 부서지지 않는다. 점토단괴는 소성지수가 8이상인 특성을 지니며, 도로포장처럼 외부에 직접적으로 노출되지 않는 경우에는 soil cement의 기능에 악영향을 주지는 않지만, 사면보강이나 그 밖의 외부의 풍화에 직접적으로 노출된 경우, soil cement를 침식시켜 구조적으로 약하게 만든다. 미국 개발국(USBR)에서는 2.5cm 이상의 점토단괴는 제거

하고 2.5cm 체의 통과량이 10%미만이 되도록 정하고 있다. 세립토가 항상 나쁜 영향만 있는 것은 아니다. 균등한 입도의 모래나 자갈, 플라이애쉬 등을 포함하는 비소성의 세립토는 흙 사이의 간극을 충전시켜 시멘트의 혼합비를 줄이는 기능을 하기도 한다.

## 2) 시멘트

대부분의 경우에 있어서 1종 또는 2종 포틀랜드 시멘트가 주로 쓰인다. 시멘트의 혼합비는 기대하는 개량효과나 흙의 종류에 따라 다르지만, 대부분 4~16%의 범위에 있다. 일반적으로 흙 속에 점토성분이 증가할수록 시멘트의 양도 증가한다. 표 4-3은 초기의 시멘트 혼합비의 참고자료가 될 수 있다.

표 4-3 여러 흙에 대한 일반적인 시멘트 요구량(PCA, 1978)

AASHTO 분류	통일분류	일반적인 시멘트 혼합비*의 범위(%)	다짐시험 (ASTMD558) 을 위한 일반적인 시멘트 혼합비(%)	내구성 시험 (ASTMD559,D560) 을 위한 일반적인 시멘트 혼합비(%)
A-1-a	GW, GP, GM SW, SP, SM	3-5	5	3-5-7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	5-8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9	7	5-7-9
A-3	SP	7-11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	7-12	10	8-10-12
A-5	ML, MH, CH	8-13	10	8-10-12
A-6	CL, CH	9-15	12	10-12-14
A-7	MH, CH	10-16	13	11-13-15

\* 유기질토나 반응이 약한 흙은 포함되지 않음, 사면보강과 같이 외부환경에 직접적으로 노출된 경우에는 시멘트의 양이 증가함.

시멘트의 효과를 증진하기 위해 플라이애쉬 등의 포졸란 물질이 첨가제로 사용되기도 한다. 시멘트나 포졸란 물질의 양은 실제로 적용되는 특정한 시멘트의 종류나 포졸란 물질 그리고 흙의 특성을 고려한 실내실험 결과로 정해져야 한다.

소성이 높은 점토에 대해서는 소석회나 생석회가 때때로 소성을 감소시키는 전처리로 이용되고, 시멘트와 혼합하기 전에 흙을 좀더 부서지기 쉬운 상태로 만들어 균질한 혼합을 이루기 위해서도 사용된다.

### 3) 물

물은 soil cement가 최대의 다짐효과와 시멘트의 수화를 위해서 필요하다. Soil cement의 함수비는 일반적으로 10~13% 정도이다.

생수나 산, 알칼리 또는 유기물이 없는 상대적으로 깨끗한 물이 사용된다. 해수를 사용하기도 하는데 해수에 있는 염화물은 초기 강도를 증가시키는 것으로 알려져 있다.

### 다. Soil cement의 특성

Soil cement의 특성은 흙이나 시멘트의 종류, 함수비, 다짐, 균일한 혼합, 양생조건, 양생시간 등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다. 이러한 요소 때문에 soil cement의 특성은 일정하지 않으며 그 결과 큰 편차를 나타내는 것이 일반적이다.

#### 1) 밀도

Soil cement의 밀도는 일반적으로 건조밀도로 표시하며 시공관리용으로 습윤밀도로 표시하기도 한다. 다짐시험은 최적함수비와 최대 건조밀도를 구하기 위해 수행된다. 다짐 에너지가 일정할 때 시멘트량이 증가하면 최적함수비와 최대건조밀도가 바뀌는데, 이 변화가 예측한 경향을 따르지 않는다. 시멘트의 면모화(flocculation)작용은 최적함수비를 증가시키고, 최대건조밀도를 감소시킨다. 일반적으로 일정한 시멘트 혼합비에서, 밀도가 높을수록 soil cement의 압축강도도 증가한다(Shen, 1966).

## 2) 강도

Soil cement의 강도는 흙-시멘트-물 혼합물의 반응과 경화의 정도에 따라 다르며 다짐 시 밀도와 직접적인 관계가 있기 때문에 함수비와 다짐의 정도에 영향을 받는다. Soil cement의 강도특성은 일축압축강도(unconfined compressive strength)로 표현하는 것이 가장 일반적이다. Rad와 Clough(1982)는 지층에서의 고결처리 공법의 효과를 파악하기 위해서는 일축압축시험이 적당하다고 하였으며, Shwart와 Krizec(1994)도 직접 현장에서 개량효과를 측정하였을 때 개량의 정도는 흙의 간극내에 존재하는 결합재 입자의 농도, 흙 입자 표면이나 간극내에서 결합재의 분포양상에 따라 다르게 나타날 수 있으며 같은 토질의 경우에도 시공방법에 따라서 soil cement가 다른 역학적 성질을 나타낼 수 있기 때문에 현장과 실내 실험간의 상호관계를 파악하기 위해서는 일축압축강도시험이 신속하고 경제적이라고 보고하였다.

Soil cement의 강도는 흙의 종류, 사용된 시멘트의 양, 양생시간, 혼합과 다짐사이의 경과시간 등에 영향을 받는다.

### ○ 흙의 종류

Soil cement의 반응과정 및 강도발현의 과정은 사질토와 점성토의 차이가 뚜렷하게 나타난다. 일반적인 soil cement의 흙의 종류에 따른 일축압축강도의 범위는 표 4-4와 같다. 표에서 보는 바와 같이 조립토가 세립토에 비해 일축압축강도가 큰 값을 나타내는데 이는 조립토가 세립토보다 분쇄 및 혼합이 쉽고 일반적으로 세립토와 같이 소성이 큰 재료에서는 미세한 점토입자의 존재로 인해 시멘트의 수화반응 진행이 억제되기 때문이다.

표 4-4 Soil cement의 일축압축강도 범위(Highway Research Board, 1961)

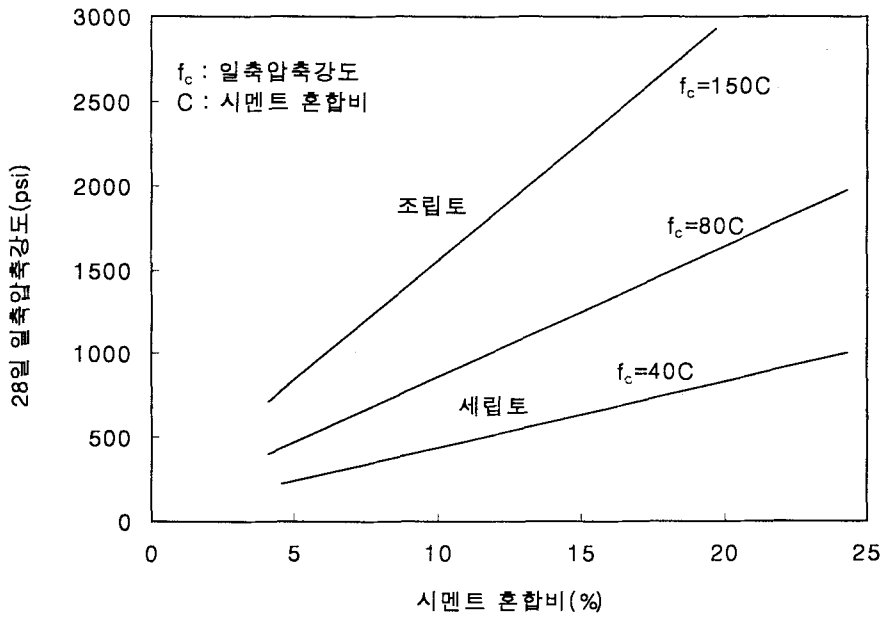
흙의 종류	일축압축강도, kg/cm <sup>2</sup> (psi)	
	7-day	28-day
조립토 : AASHTO 분류 ; A-1, A-2, A-3 통일분류 ; GW, GC, GP, GM, SW, SC, SP, SM	21~42 (300~600)	28~70 (400~1000)
실트 : AASHTO 분류 ; A-4, A-5 통일분류 ; ML, CL	18~35 (250~500)	21~63 (300~900)
점토 : AASHTO 분류 ; A-6, A-7 통일분류 ; MH, CH	14~28 (200~400)	18~42 (250~600)

○ 시멘트량

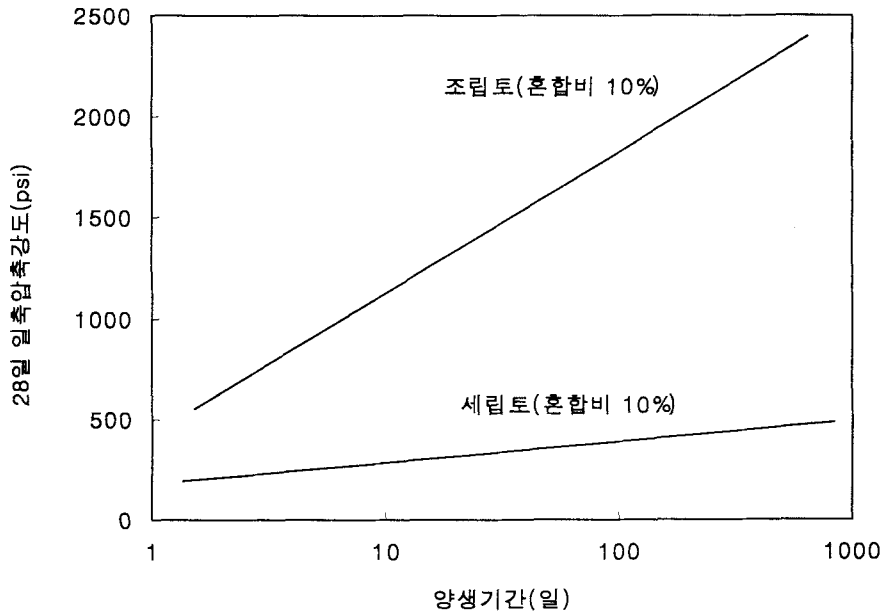
일반적인 soil cement의 재령기간 28일의 일축압축강도와 시멘트 혼합비의 관계는 그림 4-2(a)와 같다. 그림에서 혼합비가 증가할수록 일축압축강도가 증가하며, 조립토의 강도가 세립토의 강도보다 큰 것을 알 수 있다. 또한 그림에서 직선은 soil cement의 일축압축강도의 상한과 하한값의 범위로서 설계시 추정치로 사용될 수 있다.

○ 양생기간

일반적으로 양생기간에 따라 강도는 증가하는데, 강도의 증가율은 조립토가 세립토 보다 현저하게 크다. 그림 4-2(b)는 조립토와 세립토에 대한 양생효과를 대략적으로 보여 준다.



(a) 시멘트 혼합비와 일축압축강도의 관계



(b) 양생기간과 일축압축강도의 관계

그림 4-2 일축압축강도에 대한 배합비와 양생효과



### ○ 혼합후 다짐까지의 경과시간

Soil cement의 혼합과 다짐사이의 경과시간은 밀도와 강도에 영향을 미친다. 혼합후 다짐까지의 지체시간이 2시간 이상이면 밀도와 압축강도가 상당히 감소하는 것으로 알려져 있다. 그러나 일단 혼합되었더라도 한 시간에 몇 번 간헐적으로 혼합을 다시 실시하거나 최적 함수비 혹은 그보다 다소 높은 함수비에서 다짐을 할 경우에는 지체시간의 영향을 최소화 할 수 있다.

### 3) 투수계수

흙은 시멘트의 첨가에 의해 투수성이 감소한다. 첨가된 시멘트에 의해 수화반응을 하는데 생성된 수화물이 흙 입자 사이의 간극을 충전하고, 재령의 경과와 함께 치밀한 조직이 형성되어 soil cement의 투수계수가 감소하게 된다. Soil cement는 적절한 배합설계와 시공을 거친 경우 충분히 그 투수성에 있어 전통적인 점토차수층 혹은 벤토나이트-토사 혼합차수층과 같거나 그 이상의 효과를 얻을 수 있다.

표 4-5는 여러 가지 흙에 대한 soil cement의 실내 투수실험결과이다. 표 4-5는 조립토에 대한 투수실험결과이지만, 시멘트 혼합비가 증가함에 따라 투수계수가 감소함을 잘 보여주고 있다. 단지 조립토에 대한 내용이므로 투수계수가  $1 \times 10^{-7}$  cm/sec이하를 만족하지는 못하고 있다. 조립토라 하더라도 점토를 일정량 이상 포함한 조립토 또는 점성토에서는 시멘트와 혼합되었을 경우 그 투수계수가  $1 \times 10^{-7}$  cm/sec의 기준을 만족한다(Folkes, 1982). 미국 개발국(USBR)에 의해 수행된 soil cement의 현장 투수시험에서는 투수계수가 시간의 경과에 따라 감소하는데, 이는 수축균열(shrinkage crack)이 시멘트 수화물에 의해 충전되고, 균열은 시간이 지남에 따라 자아치유(self-heal)를 하기 때문이다(DeGroot, 1971). 또한 투수계수는 계절적으로도 영향을 받는다. 일반적으로 여름이 겨울보다 투수계수가 10배정도 더 작아지게 되는데, 이는 열팽창에 의해 균열의 폭이 줄어들기 때문이다.

표 4-5 Soil cement의 투수계수(PCA, 1986)

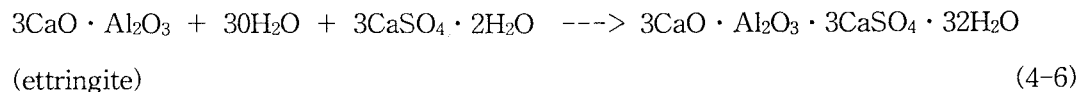
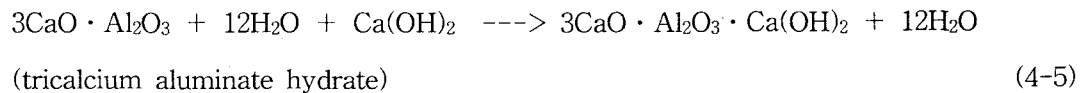
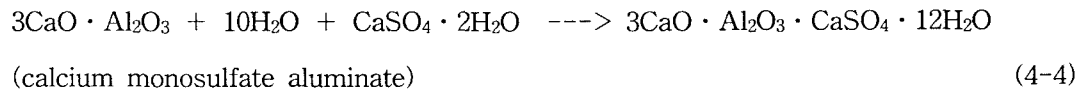
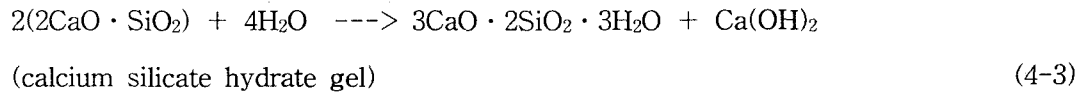
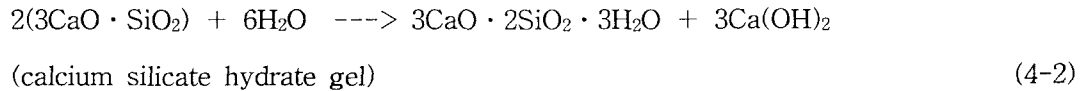
통일분류	건조밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	함수비 (%)	시멘트 혼합비 (%)	투수 계수 ( $\times 10^{-7}$ cm/sec)	체분석, 통과율						시멘트 요구량*
					#4	#10	#40	#200	0.05 mm	0.005 mm	
standard Ottawa sand	1733 1807 1884	10.8 9.4 9.7	0 5.3 10.5	488,000 69,000 760	#20체 100% 통과, #30체 0% 통과						-
Graded Ottawa sand	1653 1677 1721	13.7 13.6 12.3	0 5.4 10.5	163,000 4,700 210	100	100	28	2	-	-	11.5
SP	1618 1616 1660 1687	12.2 13.2 12.3 12.0	0 3.2 6.5 9.5	7,500 5,600 1,900 210	100	100	91	7	1	-	8.0
SM	1615 1600 1666	14.9 14.7 15.1	0 3.2 6.4	50,000 14,000 600	100	100	96	13	12	2	-
SP	1604 1695 1751	16.0 14.8 13.5	0 6 12.2	3,600 200 10	99	99	96	6	6	1	11.0
SP	1618 1709 1733 1743	13.8 13.3 13.4 13.4	0 3.1 6.3 9.6	1,400 330 3 0.2	100	100	94	2	-	-	-
SP	1802 1855	11.0 10.4	0 5.5	360 50	-	97	-	-	11	4	-
SP	1789 1846	12.0 11.7	0 5.5	230 80	100	99	-	-	9	3	-
SM	1953 2011	9.6 8.0	0 8.6	160 1	98	94	66	20	18	5	-
SM	1889 1970	10.8 8.1	0 8.9	100 20	99	97	69	16	12	4	-
SM	1802 1842	11.5 12.3	0 5.5	50 30	-	98	-	-	12	5	-
SM	1902 1910	11.0 10.5	0 9.1	50 1	100	99	88	36	25	7	-
SM	2003	- 10.1	0 3.3 7.3	160 4 0.7	100	75	41	13	12	5	5.0

라. 준설토-고화재의 반응기작

1) 시멘트의 수화반응

시멘트는 일정한 비율의 석회석과 점토를 고온에서 연소시키서 생긴 크linker를 파쇄한 후 응결 지연제인 석고를 넣어 만든다. 시멘트의 주성분은 CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 산화물로서 이들이 4가지의 주된 시멘트화합물을 만든다. 이 포트랜드 시멘트는 화학적 조성과 물리적 성질에 따라 5가지로 분류할 수 있으며, 폐기물의 고형화에 사용되는 시멘트는 주로 Type I 이며 때때로 Type II 나 Type V 도 이용된다. 고형화 공정은 시멘트혼합물의 pH에 기인하여 대부분의 다가 양이온이 불용성의 수산화물이나 carbonate로 변화되기 때문에 특히 고농도의 독성중금속처리에 효과적이다.

시멘트는 물과 반응하여 수화작용을 통하여 응결되는데 주된 수화작용을 열거하면 다음과 같다.



이때 주목할 것은 C3S 와 C2S 의 수화반응시 석회가 발생함으로서 pH를 높인다는 사실이다. 시멘트의 수화반응으로부터 생성되는 석회는 위의 표의 조성비로부터 산술적으로 계산하면 1g 의 시멘트가 수화반응에 의해부터 0.3g 의  $\text{Ca(OH)}_2$  가 생성되는 것으로 나타난다. 이것은 1g 의 시멘트가 8meq의 산중화능력을 나타내는 것이다.

시멘트가 경화됨에 따라 나타나는 강도는 초기강도의 경우 C3S가 대부분을 차지하지만 28일 이후에는 C3S 와 C2S 가 거의 반반씩 강도에 기여하고 있다.

시멘트의 초기급속응결을 방지하기 위해 첨가하여 준 석고는 C3A와 반응하여 불용성의 calcium sulfoaluminate를 형성하는데 이는  $\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_3\text{2}$  로 나타내며 통상 ettringite라 부른다. ettringite는 sulfate의 공급이 충분할 때 생성되는 안정된 수화생성물이며 C3A가 다 수화되기전에 sulfate가 모두 소요되면 다른 calcium sulfoaluminate hydrate를 만든다. 이는  $\text{C}_4\text{ASH}_{12}$  로 나타내며 간단히 monosulfoaluminate라 부른다. 다시 sulfate 이온이 공급되면 monosulfoaluminate는 ettringite로 바뀌게 된다.

ettringite 크리스탈이 생기면 체적이 늘어나게 되는데 아직 경화되지 않은 풀인 경우는 ettringite가 차지할 공간을 만들 수 있지만 이미 경화된 경우에는 ettringite에 의한 크리스탈팽창압이 생겨서 주위의 시멘트 고화체에 팽창력을 가하게 됨으로써 균열을 일으키게 한다.

## 2)포졸란 반응

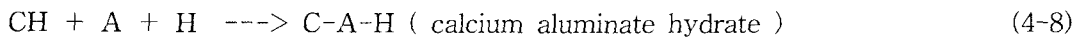
포졸란(pozzolan)이란  $\text{Ca(OH)}_2$  와 반응할 수 있는 물질을 말한다.



포졸란은 활성이 큰 실리카를 가지고 있는데 이것은  $\text{Ca(OH)}_2$  와 결합하여 C-S-H를 형성하게 된다. 포졸란은 직접  $\text{Ca(OH)}_2$  와 섞어 도로포장의 노반재로 쓸 수도 있지만 포틀랜드시멘트와 결합할 경우 수화반응시 생성된  $\text{Ca(OH)}_2$  와 반응하게 되어서  $\text{Ca(OH)}_2$ 는 소모되면서 수화된 시멘트풀에 있어서 C-S-H의 비율을 증가시키게 된다. 포졸란을 시멘트와 섞어서 사용하게 되면 워커빌리티가 증가하고 수화열의 발생이 낮

아지며 초기강도는 떨어지나 장기재령의 경우에는 강도가 증진되며 수밀성과 sulfate attack 에 대한 저항이 향상되는 장점이 있다.

포졸란 활성을 가지는 물질로는 화산재나 응회암 등의 자연산과 플라이애쉬같은 인공적인 것이 있는데 분말도가 좋고 형태가 구형인 플라이애쉬가 주로 쓰이는 포졸란물질이다. 포졸란은 그 조성이 다양한데 알루미늄이 있는 경우에는 calcium aluminate hydrate를 만들게 된다.



대표적인 포졸란인 Fly ash 의 경우  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$  의 순으로 구성되어 있고 포졸란활성에 기여하는 성분은 주로  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  이다.

마. Soil cement에 대한 연구사

Soil cement는 크게 2가지의 재료로 구분할 수 있다. 슬럼프가 없어 롤러다짐이 가능한 일반적인 soil cement(ACI Committe 230)와 혼합물의 유동학적인 특성을 이용하는 fluid soil cement(CLSM,plastic soil cement) 로서 일반적인 soil cement와는 다른 특성을 지닌 재료로 구분한다(ACI Committe 229).

#### 1) Soil cement

일반적인 soil cement는 포틀랜드 시멘트, 물, 흙이 소정의 밀도로 다져진 복합체로서 처음 1920년대 미국의 여러 주에서 도로의 기층에 이용하기 위하여 soil cement에 관한 실험이 시작되었다. 그러나 체계적인 연구는 1929년 Proctor의 흙 다짐 실내 실험과 Filsofov(1931)의 포틀랜드 시멘트가 흙의 제 성질에 미치는 영향에 관한 연구 발표이후부터 시작되었다. Moorefield는 흙과 시멘트의 상호반응에 대한 불명확한 점들에 대해 해결하였으며 흙과 시멘트는 혼합이 가능한 상호 보완적 재료이며 가공처리하여 도로에 유용하게 쓸 수 있다고 하였다 (Moorefield, 1932). 이후 soil cement는 주로 도로

기층재료(pavement)와 경사보호 (slope protection), 라이너(liner), 기초 안정화 (Foundation stabilization)등에 널리 사용되고 있다.

고함수비 흙에 시멘트를 첨가한 혼합물(fluid soil cement)은 구조재 채움재, 도로 기층 등에 주로 사용되는 재료이며 대표적인 특성은 자기 수평능력 (self-leveling), 자기다짐 (self-compaction), 유동성(flowability), 인위적인 강도조절, 시공 후 재 굴착이 용이하다는 특성이 있다(Abichou et al., 1992, Naik & Singh, 1997).

## 2) Fluid soil cement phase change

상 변화의 원인은 시멘트와 물의 수화반응으로 인해 일어나는 응결반응이다. Soil cement는 시멘트 페이스트에 의해 결합되는데 콘크리트와는 달리 각 흙 입자는 시멘트 페이스트에 의해 완벽하게 덮이지 않는다(ACI Committee 230, 1990). 그러나 soil cement의 응결과정은 시멘트 페이스트의 응결에 큰 영향을 받기 때문에 시멘트 페이스트에 대한 응결 연구(Powers, T.C, Min, B-H, Schultz, M.A)는 중요하다.

Soil cement의 상 변화는 흙과 시멘트 각각의 상변화와는 상이하다. soil cement의 상 변화 중 응결시간에 영향을 주는 인자는 크게 시멘트 특성에 의한 원인과 흙의 특성, 그리고 시멘트 첨가제 특성(Yunsheng), w/c (Leslie J), 양생온도, 복합물에 의한 영향이 있다.

흙의 특성과 기타 혼화재, 환경등은 시멘트 페이스트의 응결에 큰 영향을 준다. 흙의 특성 중 유기물이 높은 sludge를 섞으면 waste interference effect로 인해 응결시간이 증가하며(S.Valls, 2000) 또한 시멘트 대체제로 주로 사용되는 플라이애쉬를 시멘트와 섞으면 응결시간이 증가한다(B.W. Langan, 1996). 고함수비나 낮은 온도에서 양생된 콘크리트, 모르타르 또는 시멘트 풀은 더 느리게 응결하는 경향이 있으며 높은 온도는 응결과 경화시점을 단축시킨다. 그리고 물 시멘트를 감소시킴으로서 초기 응결시간이 감소된다.(Leslie J. Struble and Wei-Guo Lei)

시멘트의 특성 중  $C_3A/C_3AF$  비와 %  $SO_3$  함량과 입도분포변수들(비표면적), size fraction 변수( $3-32\mu m$ )등은 응결시간에 영향을 준다. 또한 응결의 종결은 초결에 비해

주로 fineness parameter에 영향을 더 많이 받는다(S.Tsivilis). Kakali는 응결시간과 축진제로서 염화칼슘을 이용하여 포틀랜드 시멘트 응결을 통제하기 위한 수화적인 모델을 개발하였다.

또한 응결은 경험적인 변수이기 때문에 응결을 특정 수화반응과 연결하는 직접적인 실험방법은 없는 실정이다. 이에 최근에는 다른 응결시간 측정방법을 사용하는데 혼합물의 유동학적 변수인 항복응력을 측정하여 초결시간을 측정한다. 또한 수화단계에 대한 정보를 제공하는 수화열 시험을 통해 초결과 종결시간을 측정한다(Leslie J, Wei-GuocLei). 수화열을 측정하여 발열시점과 발열량등을 통해 수화시점과 수화도를 구한다. 그러나 수화도를 실험적으로 결정하는 것이 어렵기 때문에 열발산 정도(Rate of evolution)를 수화도로 근사화하였다 (K.Van Breugel,1991). 수화중 발산된 열은 수화도의 지시자로 사용될 수 있으며 둘 사이의 신뢰성 있는 선형관계가 보고되었다 (K.Van Breugel, 1991).

#### 4. 요약

본 절에서는 농어촌 중·소하천 및 저수지에서 발생하는 준설 퇴적물의 경우에 적합한 고화재로서 많은 종류의 고화재 중에서 가장 기초적이면서 중금속의 처리에 효과적인 시멘트를 선정하고 필요한 경우 첨가제를 추가하는 방법을 선정하였다.

그리고 처리의 결과물인 soil cement의 일반적인 여러 특성에 대하여 고찰하였다. Soil cement의 특성은 흙의 종류와 사용되는 시멘트의 종류에 영향을 받으며, soil cement의 강도 및 투수특성의 경우 시멘트 배합비가 증가할수록, 양생기간이 길수록 특성이 양호해지는 것으로 알려졌다. 그리고 시멘트의 수화반응과 포졸란 반응에 대하여 살펴보았다.

## 제 4 절 고화처리 Process 연구

### 1. 개요

농촌의 중·하천 및 저수지, 도시 상하수도, 항만준설 등의 슬러리 상태의 고함수비 흙은 그 성상의 특성으로 인해 처리시에 많은 문제점이 존재한다. S/S(Solidification and Stabilization) 처리공법은 고함수비 흙의 처리를 위해 탈수 후 시멘트, 생석회 또는 시멘트-생석회를 흙과 섞은 후 적정 처리상태에서 다져 고화(Solidification)하거나 해로운 오염물질을 화학적 변환과정을 통해 무해한 물질로 안정화(Stabilization)시키는 공법으로 많은 현장에서 사용하고 있다. 이중 soil cement 고형화 방법이 보다 광범위 하게 사용되고 있다. 또한 앞 절에서 간단하게 살펴본 바와 S/S처리 공법 이외에 많은 처리 방법이 존재하며 고형화하는 고화재 또한 많은 종류가 사용된다.

고함수비 상태의 흙에 시멘트를 첨가한 혼합물(Fluid soil cement)은 일반적인 soil cement와는 다른 거동을 보인다. 고함수로 인해 워커빌리티 특성 중 유동성이 확보되지만 강도와 다짐성이 불량하여 흡수와 수화반응에 의한 강도 발현까지 일정한 방치시간 (Hardening time, Time after mixing)을 필요로 한다. 이러한 방치기간 중 수화반응으로 인해 혼합물의 상 변화가 일어나는데 적정 시간이 지나면 일반적인 흙과 같은 반소성 또는 소성 상태가 되어 처리 가능한 상태로 변하게 된다.

시멘트 페이스트의 초결, 종결시간 예측은 워커빌리티(Workability)에 중요한 영향을 미친다. 시멘트 상 변화를 측정하는 방법으로는 보통 응결시간에 따른 관입량이나 혼적을 측정하는 길모아와 비카침이 있다. 그러나 이러한 상 변화 측정법은 수화반응 단계 별로 화학적이며 미세구조적인 정보를 제공할 수 없다.

흙의 상 변화를 측정하는 일반적인 시험은 Casagrande 방법이 있으며 근래에는 이 방법에 많은 단점들을 가지고 있어 폴콘시험이 점토의 액소성 한계를 측정하는 방법으로 사용되고 있다. 그러나 점토에 대한 폴콘 적용성에 대한 연구는 활발하지만 soil cement와 같이 상 변화가 일어나는 재료(수화반응)에 대해 폴콘을 적용한 사례는 없는



실정이다. 그러나 풀콘 시험 또한 수화반응시 일어나는 여러 반응단계에 대한 정보를 제공해주지는 못한다.

시멘트 기초법에 의한 고화처리방안을 적용함에 있어 기초적인 지식인 수화단계별 화학적인 정보와 수화생성물 발생시점에 대한 정보를 제공해주는 수화열 변화와 풀콘 관입량을 비교하여, 고함수비 시멘트 혼합물에 대한 상 변화의 정량적 분석방법을 제시하고자 한다. 이를 통하여 중·소하천 및 저수지 퇴적물의 고화처리 process를 제시한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 재료

#### 1) 흙

본 연구에서 사용한 흙은 농어촌 하천저지에 퇴적된 무기질 세립토이며 악취가 심하고 매우 높은 고함수비의 상태이다. 흙 시료의 물리적 특성을 나타내면 표 4-6과 같고, 입도분석 결과는 그림 4-3과 같다. 통일분류법상으로 MH에 해당하며 6.2%의 유기물 함량을 가지고 있다.

표 4-6 흙 시료의 물리적 특성

U.S.C.S	Gs	LL	PI	pH	Oraganic content(%)	Clay fraction(%)
MH	2.676	53.18	7.79	7.56	6.2	9

#### 2) 포틀랜드 시멘트

포틀랜드 시멘트는 오염된 대상토의 고형화/안정화에 사용되는 가장 일반적인 경화성 첨가제이다. 포틀랜드 시멘트는 매우 균일하며 상대적으로 값이 저렴하여 폭넓게 이용할 수 있다. 시멘트 혼합은 특별한 기술을 필요로 하지 않으며 보통의 시공기계로도 그

효과가 충분히 발휘될 수 있다. 또한 포틀랜드 시멘트의 표준타입의 다양성으로 인해 특정 분야에 적용하기가 쉽다. 시멘트의 입도는 수화기작에 매우 큰 영향을 주므로 (Pommershe im.J.M, 1987 ) lump를 제거한 시멘트를 사용하였다.

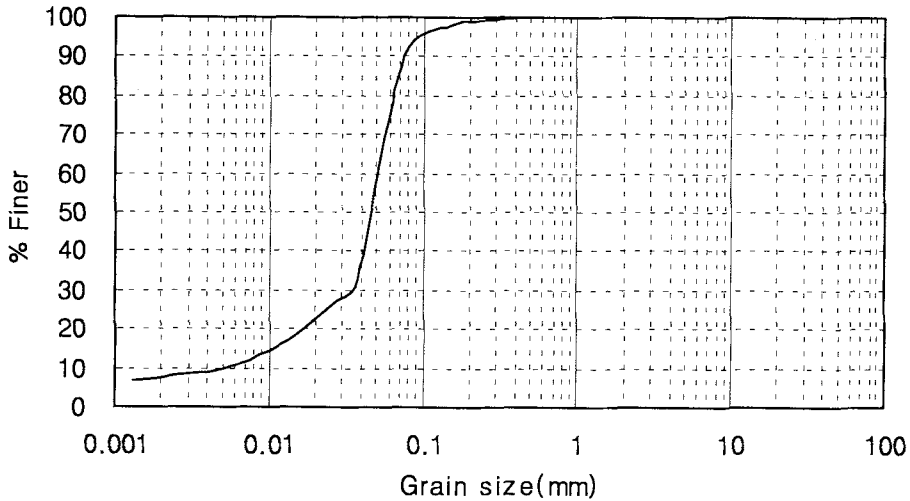


그림 4-3 흙 시료의 입도분포곡선

#### 나. 시험 방법 및 장치

##### 1) 시험계획

본 연구에서는 고함수비 흙에 시멘트를 첨가한 혼합물을 처리가능상태까지 방치한다. 방치기간 중(Time after mixing) 폴콘 관입량 변화와 수화열 변화를 비교하여 고함수비 시멘트 혼합물의 상 변화를 분석하고자 하였다. 표 4-7은 방시치간과 배합비와의 관계, 시간에 따른 관입량 변화를 알아보기 위해 계획된 배합비이며 표 4-8은 관입량과 전단강도변화, 수화열 변화를 비교하기 위해 계획된 배합비이다. 표 4-9는 시멘트 함량과 응결시간과의 관계를 알아보기 위한 배합비이다. 여기서 W/B(W=water, B=cement+soil)는 반죽질기 상태를 정량적으로 나타낸 값이다.

표 4-7 Mixing ratio of soil cement

water content of soil(%)	The percent of cement to soil in dry weight(C)				Symbol
100(W1)	30	40	50	70	W1C
130(W2)	60	70	80	90	W2C
160(W3)	90	120	150	180	W3C

표 4-8 Mixing ratio of cement and soil for compactability

Cement(g)	Soil(g) (W <sub>w</sub> +W <sub>s</sub> )	W <sub>w</sub> (g)	W <sub>s</sub> (g)	Added water(g)	Total water(g)	W/B	Symbol
1000	0	0.00	0.00	675.38	675.38	0.68	CP
1000	300	184.62	115.38	490.77	675.38	0.68	CPS1
1000	600	369.23	230.77	306.15	675.38	0.68	CPS2
1000	1000	615.38	384.62	60.00	675.38	0.68	CPS3

표 4-9 Mixing ratio for setting time

Water content of soil	The percent of cement to soil in dry weight		
100%	C30	C70	
160%	C140	C170	C200

2) 시험방법

○ Fall cone test

시멘트와 흙 시료를 섞은 혼합물에 대해 방치 중 폴콘시험(BS 1377)을 하여 soil cement의 다짐지연시간에 따른 관입량을 측정하였다. 관입량 측정시 60g, 60°의 추를

사용하였으며 관입량 변화를 통해 추 무게에 따른 액/소성 상태, 워커빌리티의 변화와 함께 수화중 응결과정과의 관계를 알아보고자 하였다. 액소성 측정시 액성한계에서 추의 관입량은 10mm이며 소성한계는 액성한계 관입깊이의 1/10로 계산하여 판단하였다 (Kumoto, 2001). 관입량(mm)은 각 시간마다 5회 관입량에 대한 평균값을 사용하였다. 그림 4-4는 폴콘 시험장치이고 폴콘은 추와 hallow stem으로 되어 있으며 60g과 60°의 추를 사용하였다.

함수비별 관입량 변화를 알아보기 위해 시료 함수비(100, 130, 160%)가 각기 다른 하천 시료를 표 4-7에 따라 섞은 후 약 10분 이상 주격으로 혼합한다. 수분증발을 막기 위해 랩으로 싼 후 온도가 일정한 실내에서 처리가능 상태에 도달할 때까지 방치하면서 시간에 따른 관입량 변화를 측정한다. 시멘트 양은 원시료의 건조중량비를 사용하였다.

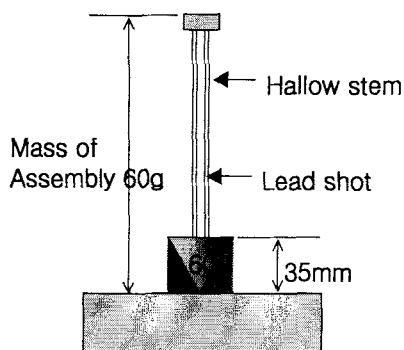


그림 4-4 폴콘 시험기

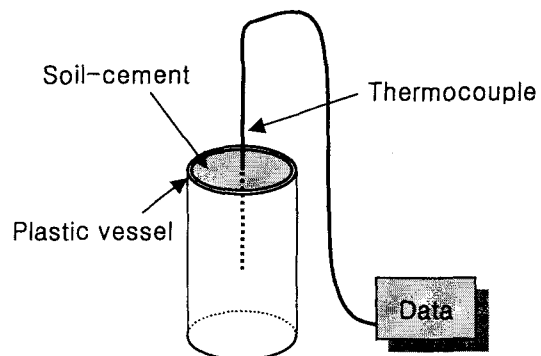


그림 4-5 수화열 측정장치

#### ○ 수화열 측정 장치

방치시간 중 폴콘 관입량 변화와 수화열 변화를 비교하기 위해 표 4-8에 따라 배합된 혼합물에 대해 수화열 시험과 폴콘시험을 동시에 수행하였다. 그림 4-5와 같은 10×20 cm 크기의 시료 용기에 혼합물을 넣고 외부 온도의 영향을 최소화하기 위해 습도를 80%로 유지하면서 챔버 내 온도를 시료의 초기 온도(20℃)와 일치시켜 시료를 온 습도 조절기 내에 거치한 후 열 전대를 시료 속에 꽂아 시료 내부의 수화열 변화를 측정하

였다. 혼합물 속에 꽂은 열전대의 측정 범위는  $-200\sim 200^{\circ}\text{C}$ 이다.

본 연구에서는 발열율을 구하는데 필요한 시료 용기의 K와 시료의 Cp값을 구하지 않아 수화열의 절대적 발열률을 구하지 않았다. 그러나 온도변화와 발열량 변화거동은 같기 때문에 온도의 변화로 수화열 변화 거동을 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

가. 시료 함수비에 따른 관입량 변화

그림 4-6과 그림 4-7을 보면 모든 배합비에 대해 초기 관입량 10mm이하가 측정되었다. 10mm의 관입량은 액성한계에 해당하므로 혼합물은 소성상태라는 것을 알 수 있다. 시간에 따른 관입량은 배합비에 관계없이 관입량 감소율이 일정한 경향을 나타낸다.

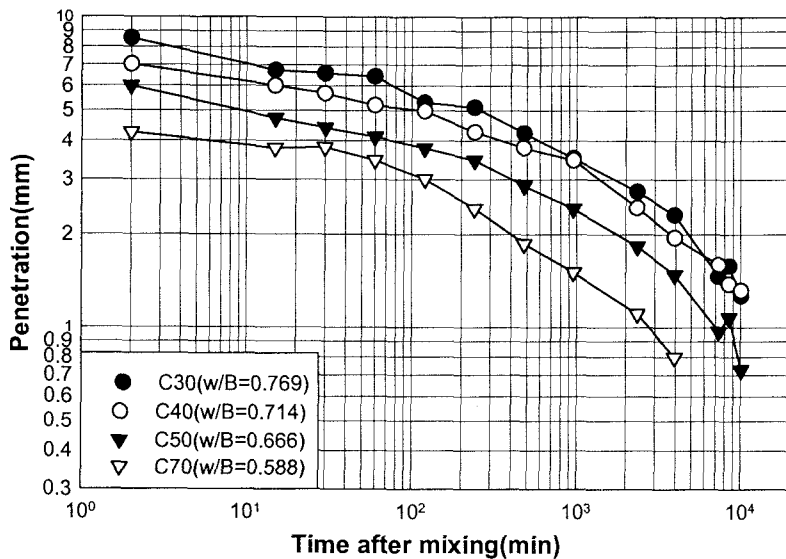


그림 4-6 시간에 따른 폴콘 관입량의 변화(WIC)

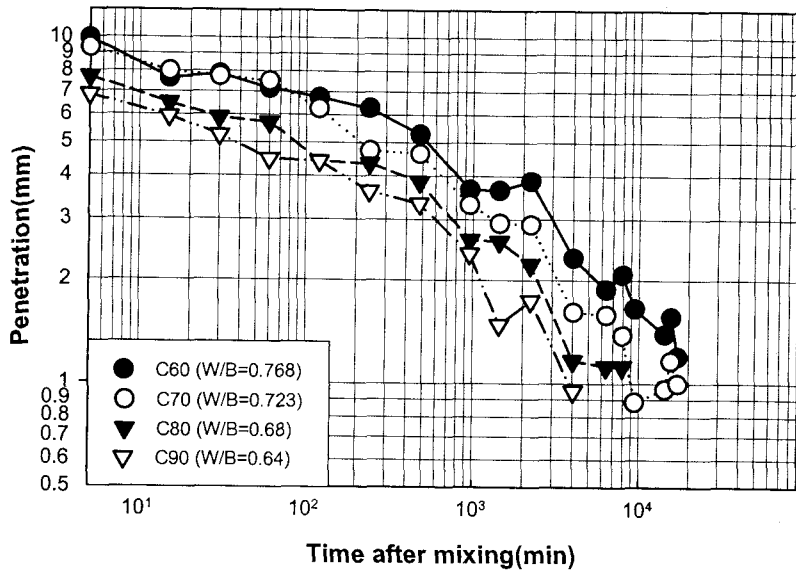


그림 4-7 시간에 따른 폴콘 관입량의 변화(W2C)

그러나 그림 4-8(W3C)의 경우 C90, C120의 배합비 혼합물은 초기 관입량이 각각, 20mm, 15mm가 측정되었다. 이를 통해 초기 혼합물의 상태는 액성상태(Liquid state)라는 것을 알 수 있다. 액성상태에서 관입량이 일정하게 유지되다가 어느 시점을 지나면 급격하게 관입량이 감소하는 시점이 나타나기 시작한다. 이와 같은 거동은 초기 관입량이 10mm이하인 배합비에서도 나타난다.

폴콘 시험을 통해 고 함수상태의 혼합물 거동과 저 함수 상태의 혼합물 거동이 다르다는 것을 확인할 수 있으며, 소성상태의 혼합물에서는 시간에 따른 관입량의 급격한 기울기 변화가 없었다. 그러나 고함수비 시료에 혼화제를 첨가한 경우는 시간에 따른 관입량이 급격하게 감소하는 시점이 확인되었다.

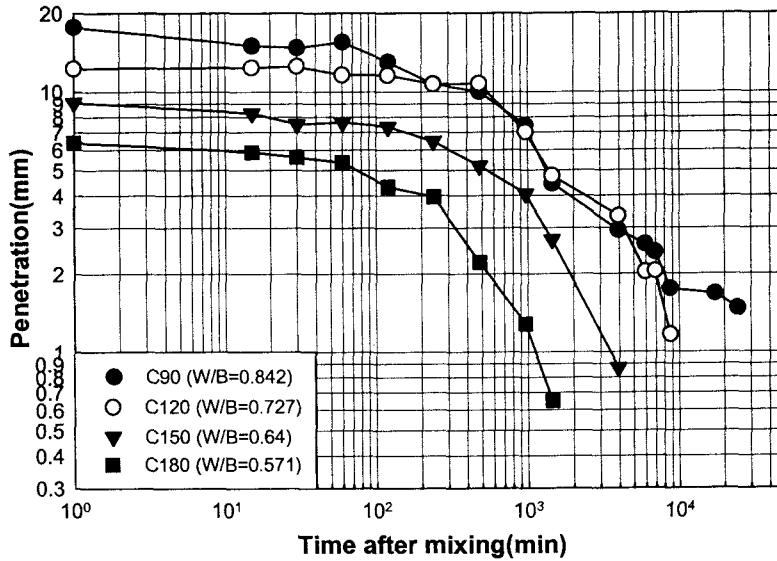


그림 4-8 시간에 따른 폴콘 관입량의 변화(W3C)

나. 배합비와 시료 함수비에 따른 액/소성 변화

그림 4-9는 초기 관입량이 10~20mm인 W3C의 시간에 따른 관입량 변화를 액소성상태로 구분하여 다시 나타낸 그림이다. 이와 같은 변화를 수화반응 단계와 관련지어 생각하면 초기에는 고함수비로 인해 응결시간이 지연되어 이로 인해 강도증진의 원인이 되는 수화생성물이 생성되지 않아 시간에 따른 관입량의 감소율이 적다. 그러나 방치시간이 증가함에 따라 혼화재의 흡수능과 수화반응으로 혼합물의 구조가 치밀해지면서 액성상태에서 소성상태로 전이해간다. 이와 같은 과정은 시멘트 수화반응 모델과 비교하면 소성상태는 시멘트 수화과정 중 유도기간(Induction period)에 해당한다. 이 시기는 소성상태가 유지되며 쉽게 움직여질 수 있는 구간으로 워커빌리티 특성중 유동성이 확보되며 재료의 분리(segregation)가 잘 일어나지 않는 구간이다.

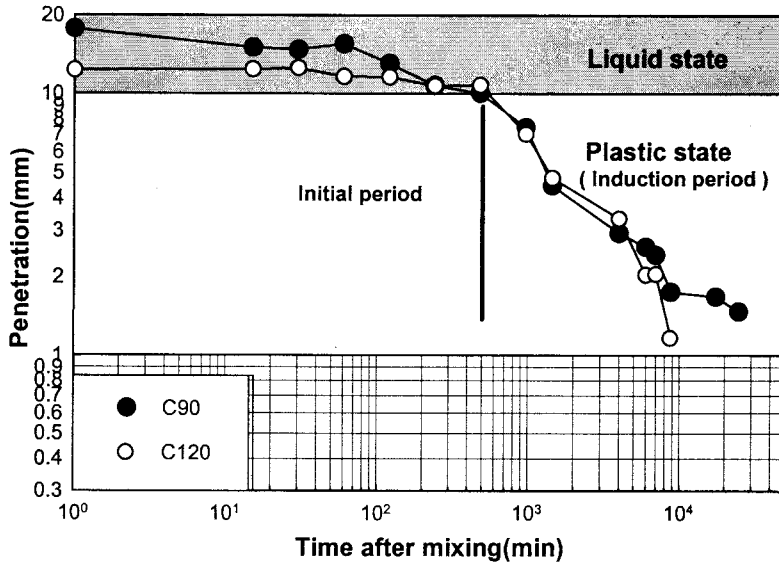


그림 4-9 시간에 따른 폴콘 관입량의 변화와 상 변화(W3C)

그림 4-10은 혼합직후 액성상태에서 소성상태로 이동하는데 필요한 시료의 자연 함수비에 따른 시멘트 양을 나타낸 그림이다. B-line 아래는 액성상태이며 A-line과 B-line 사이는 소성상태이다. 이를 이용하면 시멘트를 섞은 직후 액성상태에서 소성상태로 가기 위해 필요한 시료의 자연 함수비에 따른 시멘트 양을 찾을 수 있다. 예를 들어 100%의 함수비 시료에 대해 약 13% 이상의 시멘트(원시료 건조중량비)를 사용하면 소성상태가 되며 100%이상의 시멘트를 사용하면 소성한계이하의 상태가 된다. 소성한계는 시료가 소성의 성질을 가지는 한계상의 함수비로 그 이하에서는 다짐이 양호하다 (Allmaras et al, 1969).

흙 시료의 함수비가 증가할수록 액소성 상태에 도달하기 위해 요구되는 시멘트 양이 선형적으로 증가하며 시멘트 함량과 시료함수비의 회귀식은 다음과 같다.

$$\text{-소성한계 } C=2.181w-121.8 \quad (\text{A-Line}) \quad (4-9)$$

$$\text{-액성한계 } C=2.336w-222.5 \quad (\text{B-Line}) \quad (4-10)$$



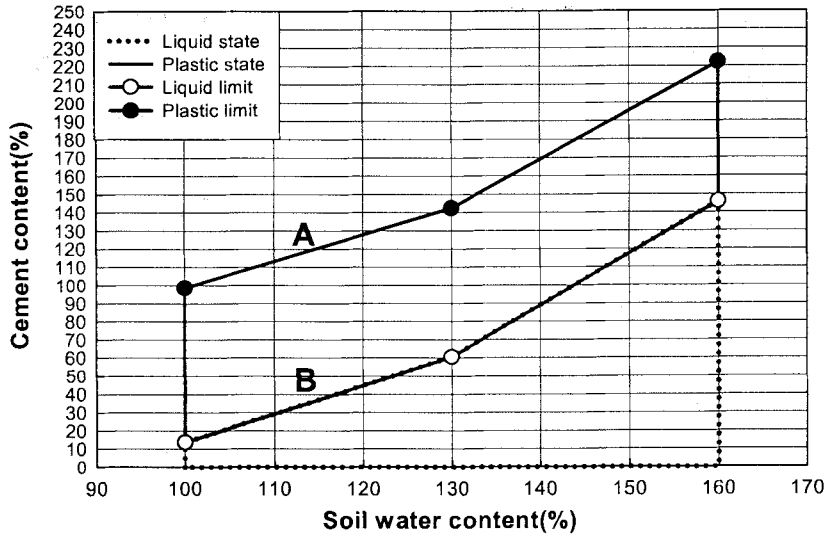


그림 4-10 시멘트 배합비에 따른 soil cement의 상변화 (Time after mixing=0)

다. 상변화 판단기준

혼합물의 처리상태 시점을 예측하기 위해 상변화에 따른 다짐성 판단은 중요한 문제이다. 본 연구에서는 Massarsch의 다짐성 평가 용어를 사용하여 soil cement의 다짐 정도를 작업성(workability)면에서 관능적으로 판단하였다. 그러나 이는 시료성형의 반복성(reproductivity)을 위해서는 적절한 방법이라고 할 수 없다. 이에 풀콘 관입량으로 soil cement의 상변화에 따른 다짐상태를 판단하기 위해 수화단계에 대한 정보를 제공해 주는 수화열 변화와 풀콘 관입량을 비교하여 soil cement의 상변화를 정량적으로 제시했다.

○ 경험적 판단기준(Subjective assessment)

soil cement의 다짐성 판단을 위한 경험적 판단기준을 표 4-10에 기술하였다. 이는 실험자의 주관적 판단하에 기술된 것이므로 객관성이 부족한 판단기준이지만 추후 다짐

성 판단을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

표 4-10. 다짐성의 경험적 판단기준

다짐성		상태
Compactable	다짐양호	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시료의 용기가 거의 없어 에너지 전달양호</li> <li>· 반고체상태</li> <li>· 토립자의 단일입자화(일반토양과 유사)</li> </ul>
Marginally compactable	다짐적당	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소량 시료 다짐해머 부착</li> <li>· 소성상태</li> </ul>
Not compactable	다짐불가	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소성상태~액상상태</li> <li>· 심한 시료용기로 인해 다짐에너지 전달이 되지 않는 상태</li> <li>· 시료 다짐해머 부착</li> </ul>

#### 라. 다짐상태와 관입량

그림 4-11~4-14는 표 4-8의 배합비에 따라 동일한 반죽질기 상태에서 시멘트 풀(CP)과 시멘트 풀에 흙을 섞은 혼합물(CPS1, CPS2, CPS3)에 대해 60g, 60°의 추를 사용하여 구한 풀콘 관입량과 경험적 판단기준에 따른 다짐성 범위를 함께 제시한 그림이다.

그림 4-11은 시멘트 페이스트(CP)의 시간에 따른 관입량 변화와 상변화의 경험적 판단 기준을 같이 나타낸 그림이다. 방치시간 약 150분, 관입량 6mm까지는 관입량 변화가 거의 없으나 그 이후에 관입량의 변화가 급격하게 증가한다. 방치시간 150분 이전은 관입량의 변화가 거의 없는 것으로 보아 강도증진의 원인이 되는 수화생성물이 생성되지 않아 액성상태가 유지되며 150분 이후에 수화생성물이 생성되어 소성상태로 전이한다. 이는 시멘트 페이스트의 초결이 약 140분이라는 다른 연구결과(Leslie, J)와 비교될 수

있으며 관입량이 급격하게 감소하는 시점이 곧 초결시점과 유사하다는 것을 알 수 있다. 관입량이 급격하게 시점부터 Marginally compactable 구간이라고 판단되며 관입량 1mm이하에서 다짐상태가 양호하였다.

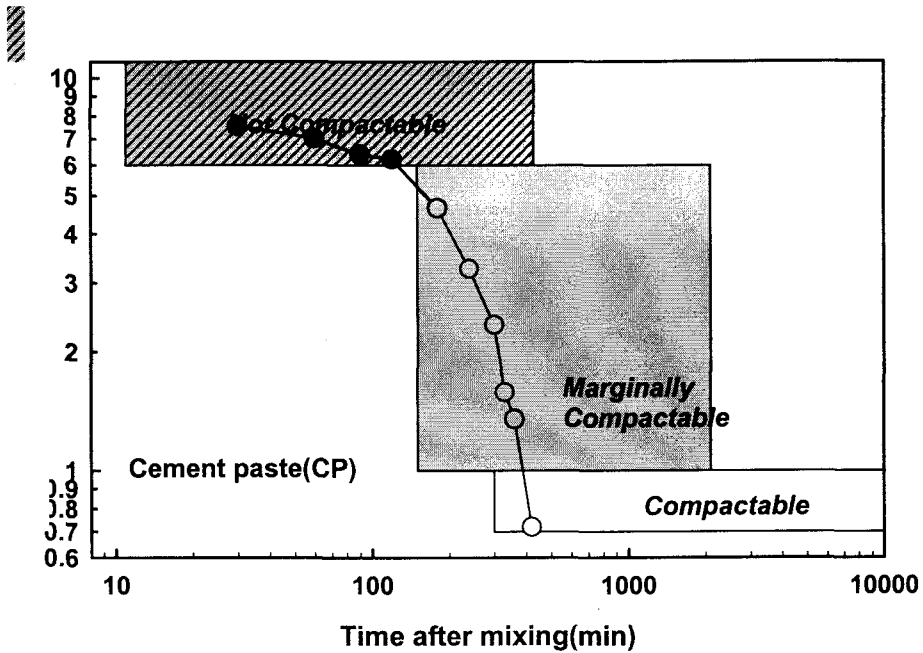


그림 4-11 시간에 따른 관입량의 변화와 다짐성의 판정(CP)

그림 4-12는 시멘트 페이스에 흙을 첨가한 혼합물(CPS1)의 시간에 따른 관입량 변화를 통해 상 변화를 경험적으로 판단한 그림이다. 방치시간 약 400분, 관입량 4mm에서 관입량이 급격하게 감소하였으며 CP에 비해 다짐상태에 도달하는 시간이 증가하였다. 경험적 판단에 의해 관입량의 급격한 감소시점부터 관입량 1mm까지를 Marginally compactable 상태라고 판단되며 이는 방치시간 범위는 400~700분, 관입량 1~4mm 사이에 해당한다. 그리고 다짐상태(Compactable state)는 1mm이하의 관입량이 다짐에 적당하다고 판단하였다.

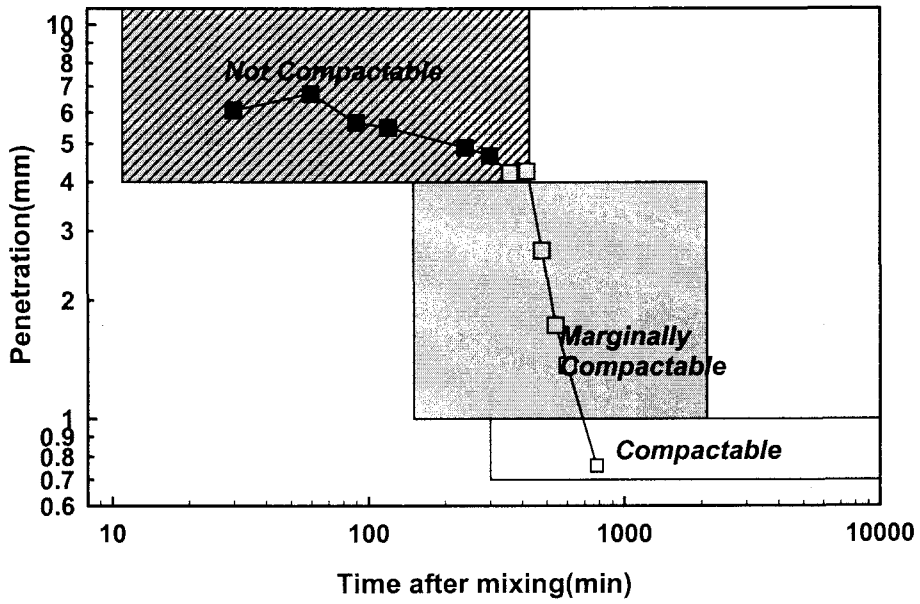


그림 4-12 시간에 따른 관입량의 변화와 다짐성의 판정(CS1)

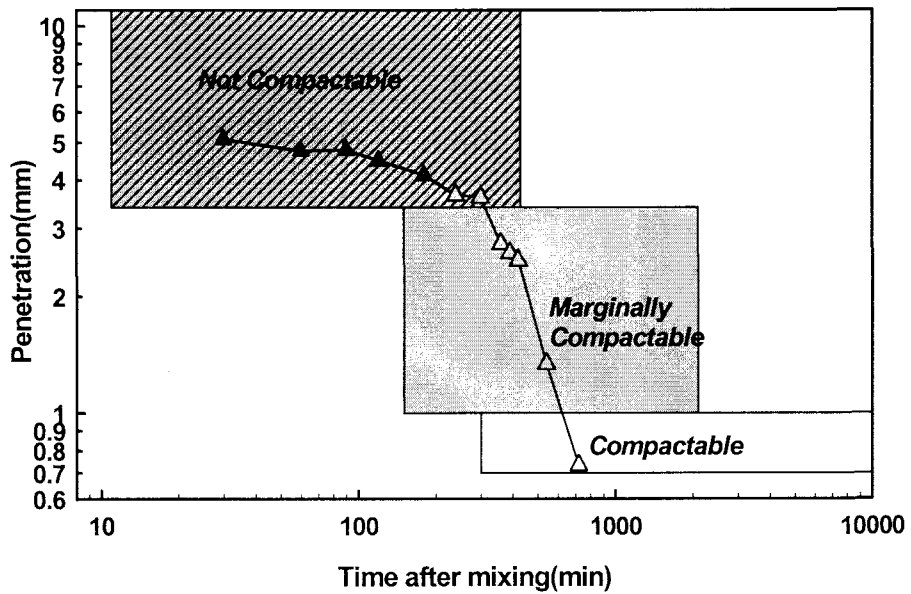


그림 4-13 시간에 따른 관입량의 변화와 다짐성의 판정(CPS2)

그림 4-13은 시멘트 페이스에 흙을 첨가한 혼합물(CPS2)의 시간에 따른 관입량 변화를 통해 상 변화를 경험적으로 판단한 그림이다. 방치시간 약 300분, 관입량 3.4mm에서 관입량이 급격하게 감소하였으며 CP에 비해 다짐상태에 도달하는 시간이 증가하였다. 경험적 판단에 의해 관입량의 급격한 감소시점부터 관입량 1mm까지가 Marginally compactable 상태라고 판단되며 이는 방치시간 범위 300~700분, 관입량 1~3.5mm사이에 해당한다. 그리고 다짐상태(Compactable state)는 1mm이하의 관입량이 다짐에 적당하다고 판단하였다.

그림 4-14는 흙과 시멘트를 1:1로 섞은 혼합물(CPS3)의 시간에 따른 관입량 변화를 통해 상 변화를 경험적으로 판단한 그림이다. 경험적 판단에 의해 방치시간 범위 150~800분, 관입량 1~4mm사이가 Marginally compactable 상태라고 판단된다. 그리고 다짐상태(Compactable state)는 1mm이하의 다짐에 적당하다고 판단하였다. 그리고 그림을 보면 관입량이 급격하게 감소하는 시점이 나타나지 않는데 이는 많은 양의 흙에 의한 간섭효과로 시멘트 페이스트의 수화가 서서히 일어나기 때문이라고 판단된다.

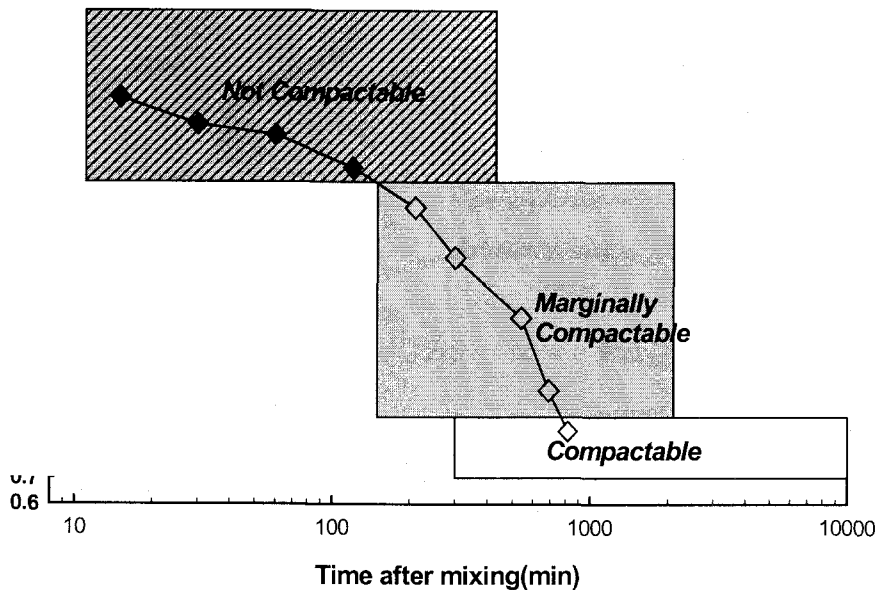


그림 4-14 시간에 따른 관입량의 변화와 다짐성의 판정(CS3)

그러나 이러한 경험적 판단근거에 의해 성립된 관입량 판단기준은 측정오차와 다짐성에 대한 실험자의 주관적 의견에 따라 변하므로 수화단계에 대한 객관적인 정보가 함께 제시될 필요가 있다. 이에 각 배합비의 수화열을 측정하여 수화열 변화와 관입량과의 관계 분석을 통해 상 변화와 다짐상태에 대한 객관적인 판단 근거를 정립하고자 하였다.

#### 마. 전단강도와 수화열 관계

응결은 유동성을 잃기 시작하는 초결과 유동성을 완전히 상실하고 경화가 시작하는 종결로 구분된다. 응결시간의 예측을 위해 비카침과 길모아침을 주로 이용하지만 이는 수화과정 중 관입에 대한 자료를 제공하지 못하며 관입혼적으로 응결시간을 판단하기 때문에 개인의 주관에 크게 좌우된다. 또한 soil cement와 같은 복합물의 응결시간 측정에 대한 검증이 되어있지 않으므로 근래에는 수화열과 항복응력을 이용하여 초결시점을 예측한다. 수화과정 중 폴콘시험을 수행하여 혼합물의 액소성 상태변화와 관입깊이로 전단강도를 구하고 수화열 변화로 측정된 초결시간과 폴콘 관입양과의 관계분석을 통해 soil cement의 상 변화를 정량적으로 판단하고자 한다. 그림 4-15~4-18은 표 4-8의 혼합물에 대해 관입량으로 구한 전단강도와 시간별 수화열 변화를 각 나타낸 그림이다.

그림 4-15는 시멘트 페이스트(CP)의 전단강도 변화와 수화열 변화를 나타낸 그림이다. 수화열이 급격하게 증가하는 시점은 약 200분으로 전단강도가 급격하게 증가하는 시점과 매우 유사하였다. 일반적인 시멘트 페이스트의 수화열 모델에 비해 유도기간은 매우 짧았으며 초결시점은 약 200분, 수화열 최고점인 종결시점은 850분이다. 수화열이 가장 높은 시점에서의 관입량은 측정이 되지 않아 전단강도를 구할 수 없었다.

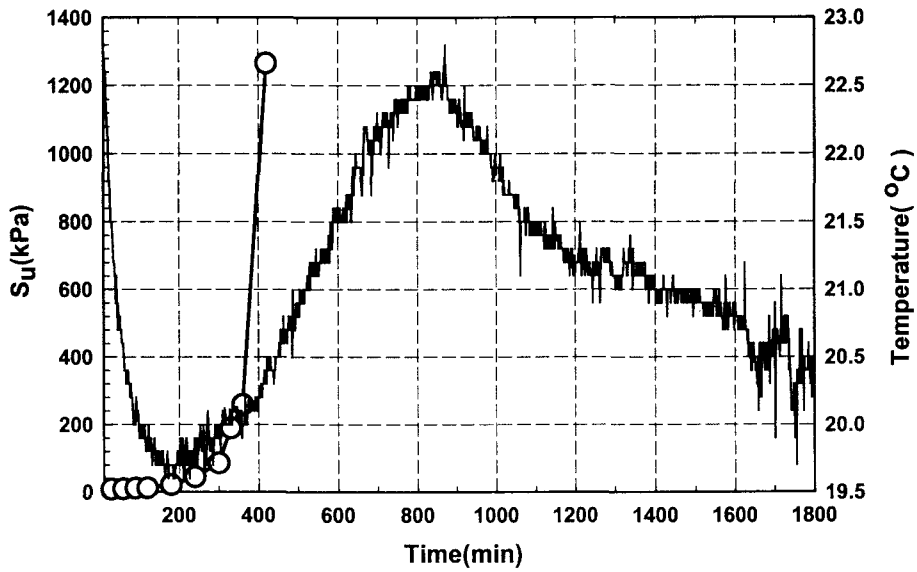


그림 4-15 시간에 따른 수화열과 전단강도(Su)의 변화(CP)

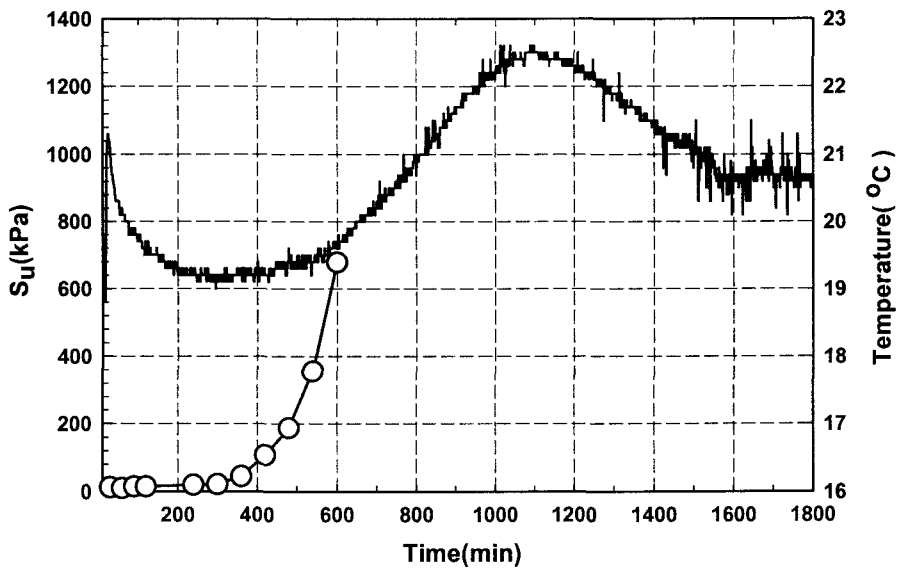


그림 4-16 시간에 따른 수화열과 전단강도(Su)의 변화(CPS1)

그림 4-16은 CPS1의 수화열 변화와 전단강도 변화를 나타낸 그림이다. 초결시점은 약 400분으로 전단강도의 급격한 변화시점은 초결시점과 거의 일치하였다. CP에 비해 초결시점은 400분, 종결시점은 1100분으로 증가했다. 온도가 일정한 구간은 약 200분 정도 유지되었으며 이는 유도기간에 해당한다.

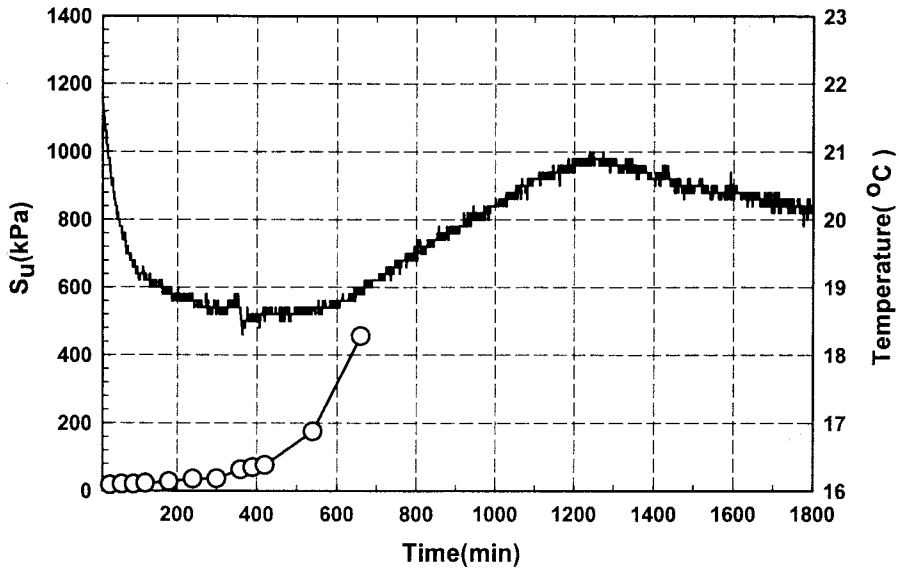


그림 4-17 시간에 따른 수화열과 전단강도(Su)의 변화(CPS2)

그림 4-17은 CPS2의 수화열 변화와 전단강도 변화를 나타낸 그림이다. 이 역시 전단강도의 급격한 변화시점과 초결시점이 유사하였다. 초결시점은 600분, 종결시점은 1220분으로 증가했다. 그리고 유도기간은 약 400분으로 CPS1에 비해 200분 증가하였다.

그림 5.14는 CPS3의 수화열 변화와 전단강도 변화를 나타낸 그림이다. 초결시점은 뚜렷하지 않지만 약 700분으로 전단강도의 급격한 변화시점은 CP에 비해 초결시점보다 약 200분 이전에서 발생하였다. 즉 초결이 발생하기 전에 전단강도가 급격하게 증가한다는 것을 의미한다. 초결시점은 700분, 종결시점은 1300분으로 증가했다. 유도기간은 약 600분으로 CPS2에 비해 200분 증가하였다.

CPS3의 경우에는 수화열 증가가 완만하게 증가하여 초결시점을 정확히 확인할 수 없



었다. 이는 수화생성물(C-S-H, ettringite)이 급격하게 생성되지 않고 서서히 생성되어 일어나는 현상이라고 판단된다(Chen,1992)

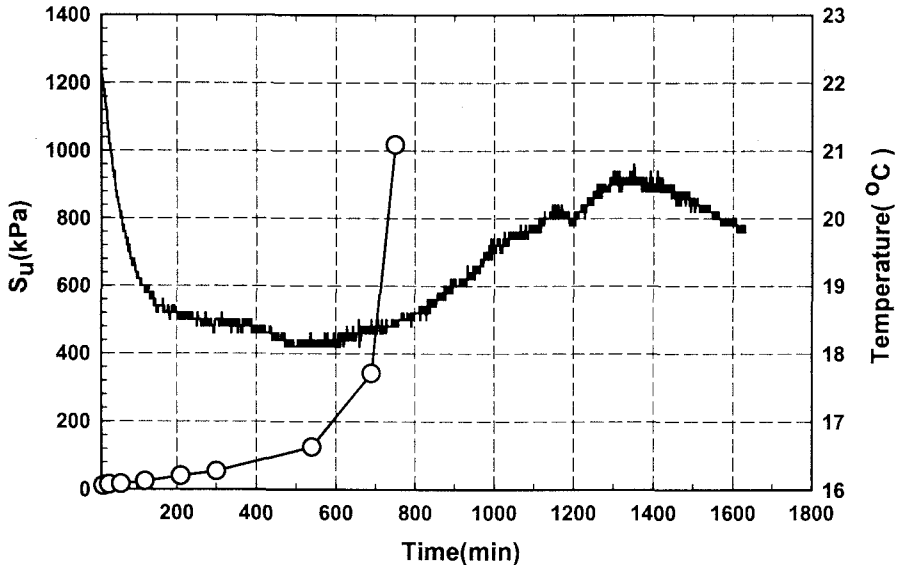


그림 4-18 Comparison of Cu and Heat of hydration with time(CPS3)

흡의 양이 증가할수록 수화가 본격적으로 발생하는 시점인 초결이 400, 600, 700분으로 지연되었으며 절대적 발열량 역시 감소하였다. 또한 유도기간(induction period)이 200, 400, 600분으로 증가하였는데 이는 유기물 간섭효과로(waste-binder interference effects) 인한 수화방해로 강도증진의 원인이 되는 수화생성물(C-S-H)이 늦게 생성되었기 때문이라고 판단된다.

폴콘으로 구한 진단강도의 시간에 따른 변화를 통해 흡의 양이 증가할수록 진단강도의 급격한 변화시점이 증가하였으며 그 시점은 초결시점과 대체적으로 유사하였다. 그림 419는 초기 수화열 온도로 정규화하여 각 혼합물의 열 증분을 나타낸 그림이다. 흡의 양이 증가할수록 수화가 지연되는 것을 나타내며 초결시점과 종결시점을 나타낸 그림이다.

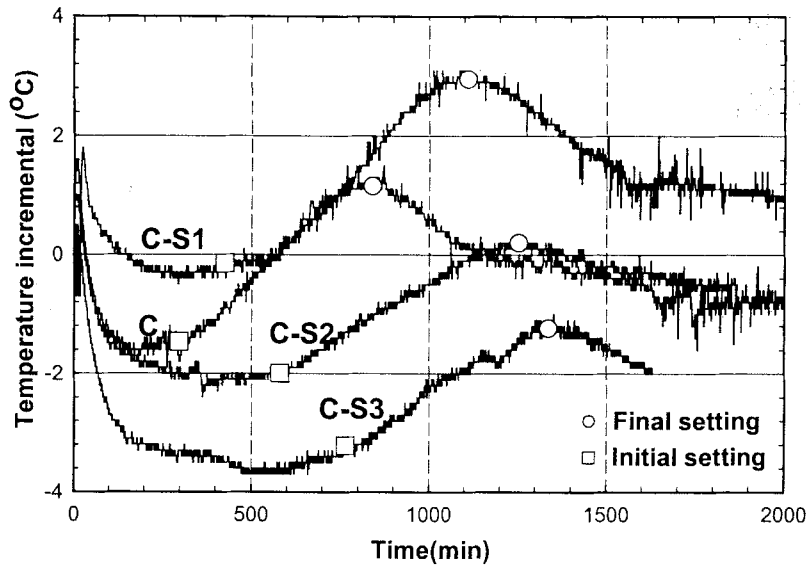


그림 4-19 수화반응의 지연

바. 다짐상태시 수화열과 관입량 관계

그림 4-20은 시멘트 페이스트(CP)의 관입량 변화, 수화열 변화와 함께 상변화에 대한 정성적 판단기준을 같은 그림안에 나타낸 것이다. 그림을 보면 Marginally state와 유도기간이 유사하다는 것을 알 수 있으며 정성적 다짐가능 상태인 1mm이하의 관입량과 수화열 변화를 비교해보면 다짐가능한 시점은 초결이 약간 지난 시점이었다. 시멘트 페이스트에서의 유도기간은 소성상태에 해당하므로 Marginally compactable 상태가 소성 상태라는 정성적 판단기준과 일치한다는 것을 알 수 있다. 또한 초결시점에서의 관입량은 약 4mm였다.

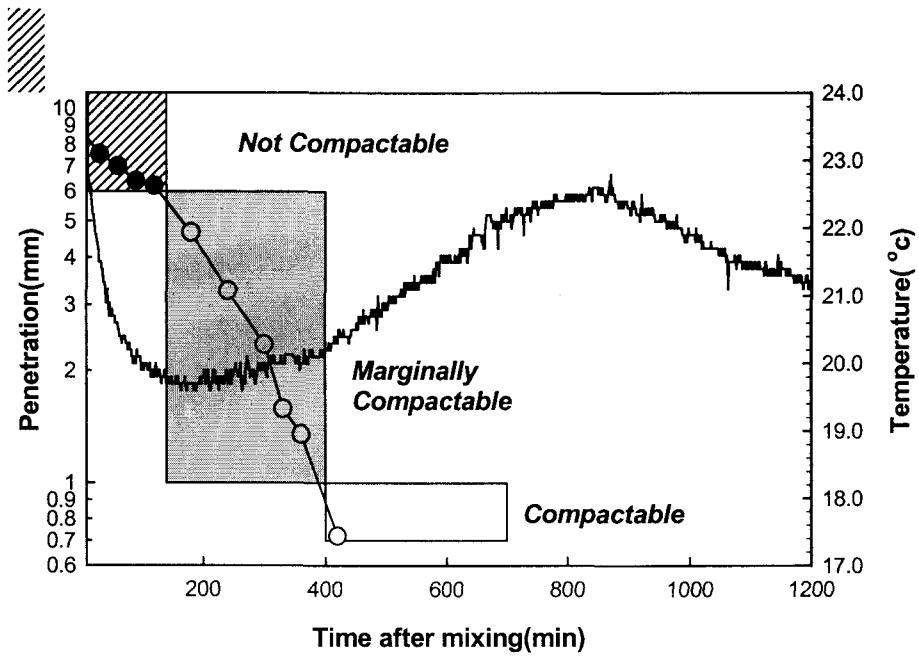


그림 4-20 다짐상태의 변화에 따른 폴콘 관입량과 수화열 변화(CP)

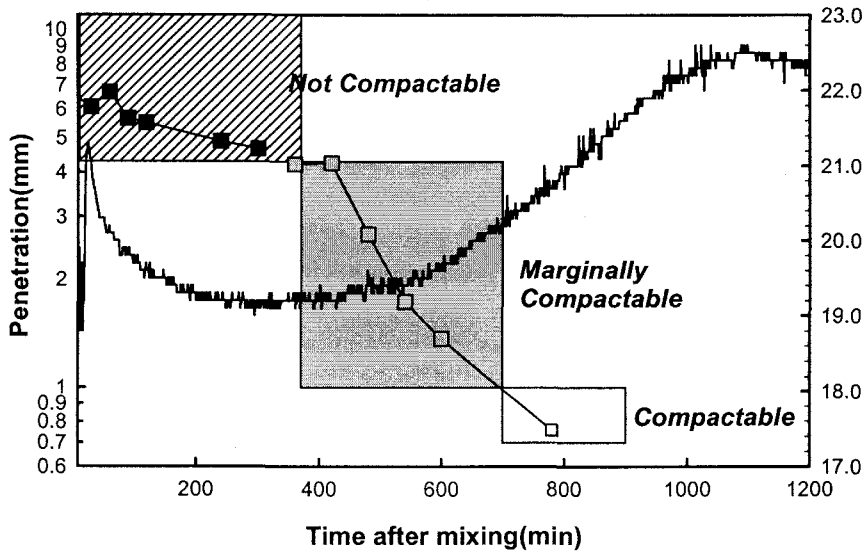


그림 4-21 다짐상태의 변화에 따른 폴콘 관입량과 수화열 변화(CPS1)

그림 4-21은 CPS1에 대한 관입량 변화와 수화열 변화를 나타낸 그림이다. 유도기간과 Marginally state 구간이 일치하지는 않지만 이 배합비에 대해서도 경험적 다짐상태인 관입량 1mm이하의 초결에서 약간 지난 시점이었다. 초결에서의 관입량은 약 4.2mm였다.

그림 4-22는 CPS2에 대한 관입량 변화와 수화열 변화를 나타낸 그림이다. 유도기간이 Marginally compactable 구간에 해당하며 경험적 다짐상태인 관입량 1mm이하의 역시 초결시점을 약간 지난 초결과 종결사이에 위치한다. 초결에서의 관입량은 약 2.5mm였다

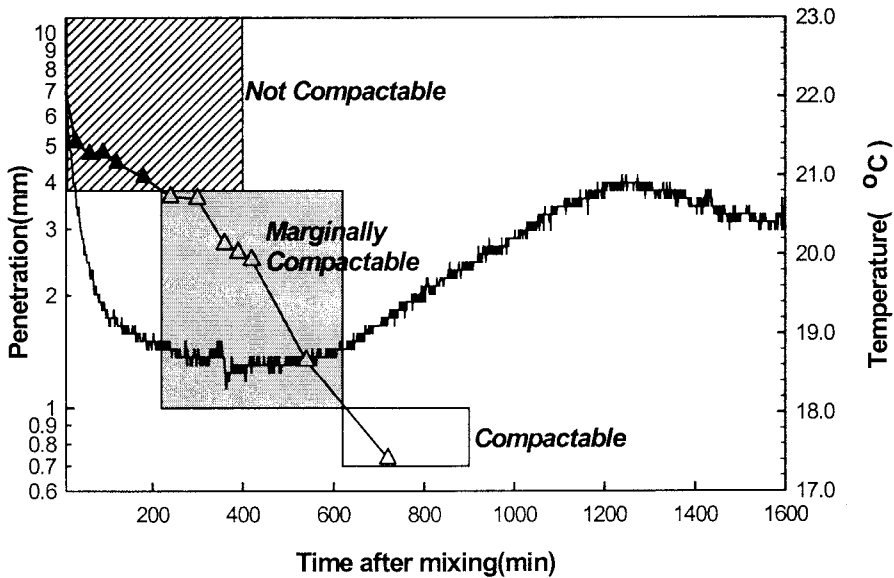


그림 4-22 다짐상태의 변화에 따른 폴콘 관입량과 수화열 변화(CPS2)

그림 4-23은 CPS3에 대한 관입량 변화와 수화열 변화를 나타낸 그림이다. 유도기간이 Marginally compactable 구간에 해당하며 경험적 다짐상태인 관입량 1mm이하의 역시 초결시점을 약간 지난 초결과 종결사이에 위치한다. 초결에서의 관입량은 약 1.8mm였다.

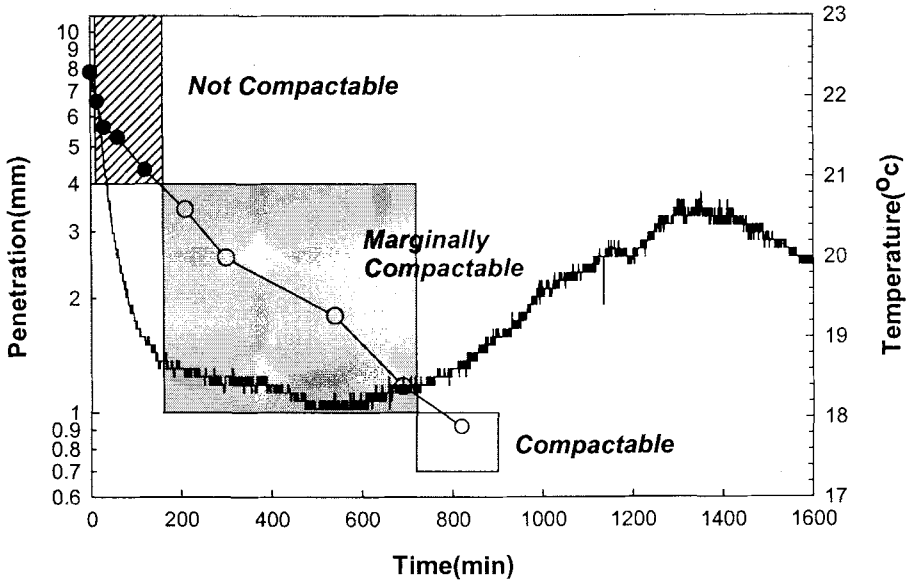


그림 4-23 다짐상태의 변화에 따른 폴콘 관입량과 수화열 변화(CPS3)

사. 방치시간과 배합비 관계

위 수화열과 관입량 비교를 통한 상변화 판단기준을 바탕으로 표 4-7의 혼합물을 다짐 상태가 될 때까지 필요로 하는 방치시간과 시멘트 배합비, 시료의 자연 함수비 관계를 알아보았다. 이러한 관계를 통해 방치시간별 다짐상태에 도달하는 배합비를 찾을 수 있다. 그림 4-24는 이러한 관계를 시료의 초기 함수비에 따라 나타낸 그림이다. 다짐상태에 도달하는 방치시간을 보면 시멘트 양과 방치시간이 선형적인 음의 관계를 나타낸다. 이 관계는 시멘트와 흙의 입도, 시멘트의 분말도, 방치온도, 유기물 함량 등에 좌우되므로 이에 대한 영향을 고려하는 추가적인 연구가 필요하다.

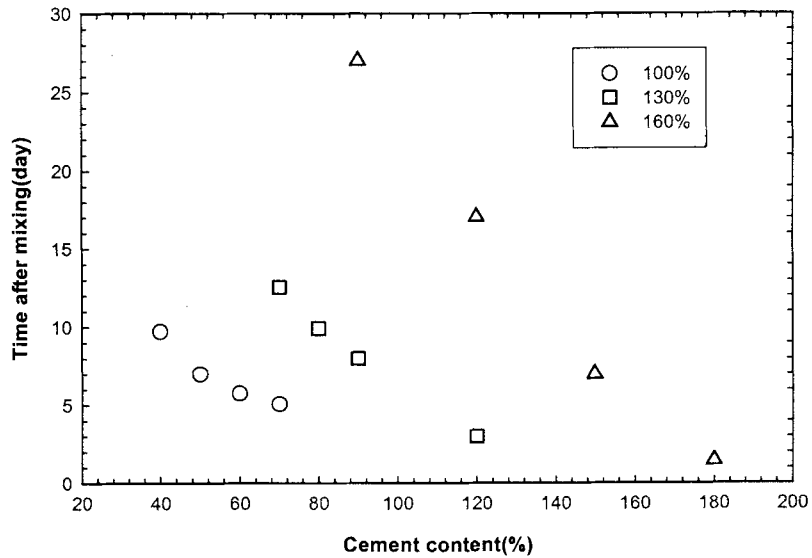


그림 4-24 다짐가능상태에 도달하기 위한 시멘트 배합비별 방치시간

그림 4-25는 100%~160%의 모든 자연 함수비에 대한 시멘트 배합비와 방치시간과의 관계를 찾고자 그림 4-24의 자료를 선형보간하여 요소들간의 관계를 3차원적으로 표현한 그림이다. 식 (4-11)은 이 관계를 나타낸 회귀식이다.

$$C = -48.11 + 1.24W - 0.002T, R2 = 0.963 \quad (4-11)$$

여기에서 C=cement content(%), W=soil water content(%), T=time after mixing(min)이다.

식 (4-11)을 이용하여 시료를 소성한계 이하의 상태로 가는데 필요한 방치시간과 시멘트 함량을 시료의 자연 함수비에 따라 구할 수 있다.

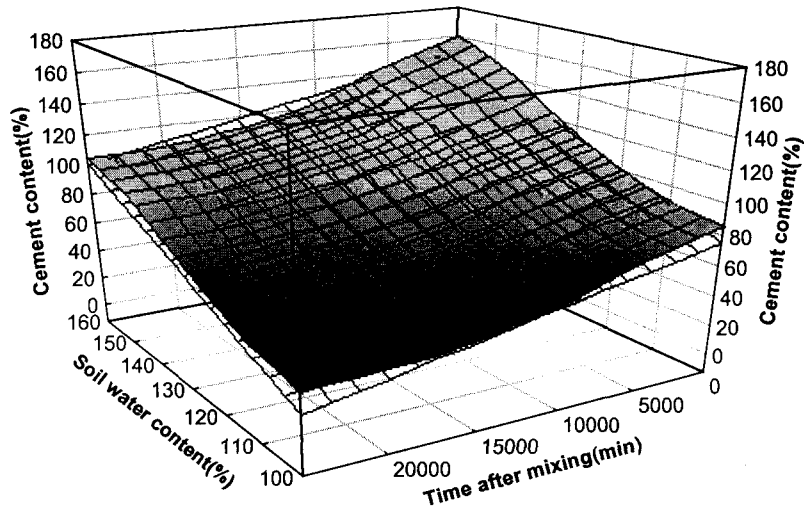


그림 4-25 방치시간에 따른 시멘트 배합비와 함수비의 관계

아. 시멘트 양과 응결시간관계

그림 4-26~4-30은 표 4-9의 배합비로 함수비가 100%, 160% 시료에 시멘트를 첨가한 soil cement의 방치시간에 따른 수화열 변화를 나타낸 그림이다.

1) 시료 함수비 100%

그림 4-26은 100%의 시료 함수비에 시멘트를 30%,70% 섞은 경우의 관입량 변화와 수화열 변화를 나타낸다. 이 배합비는 일정한 흙의 양에 다른 양의 시멘트를 섞은 배합비이므로 수화열 변화가 뚜렷하지 않으며 또한 첨가된 시멘트 함량과 혼합물의 섞은 직후 함수비가 다르지만 초결시간과 종결시간 사이 시점은 다짐상태의 시점과 유사하였다.

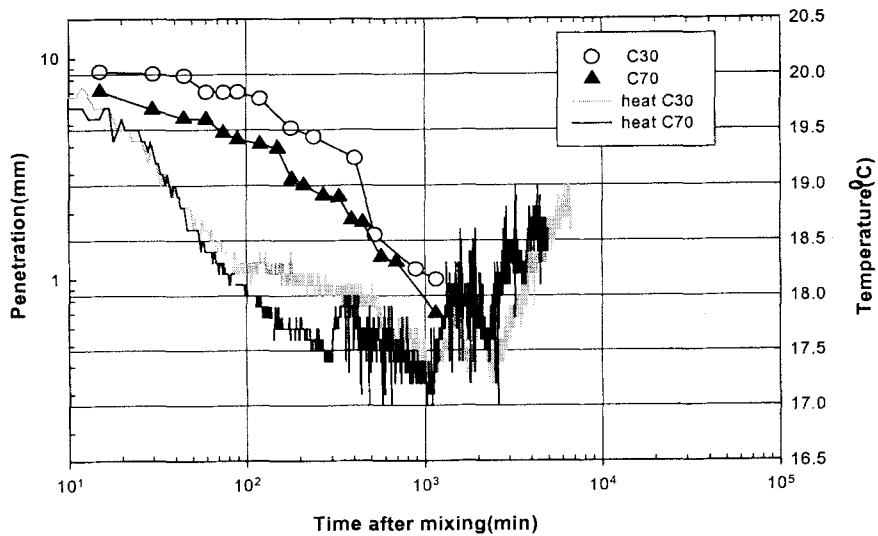


그림 4-26 시간에 따른 관입량과 수화열의 변화(100%)

2) 시료 함수비 160%

그림 4-27은 C140의 방치시간별 수화열 변화와 관입량 변화를 나타낸 그림이다. 수화열 변화가 뚜렷하지 않아 초결시점과 종결시점을 파악할 수 없었다. 이는 고 함수비로 인해 응결시간이 지연되어 일어난 현상이라고 판단된다.

그림 4-28은 C170의 방치시간별 수화열 변화와 관입량 변화를 나타낸 그림이다. 수화열이 급격하게 증가하는 시점을 확인할 수 있으나 변동폭이 크며 정확한 종결시점을 찾기는 어려웠다. 초결시간은 약 800분이었으며 관입량 1mm가 측정된 시점과 초결시간이 일치하였다.



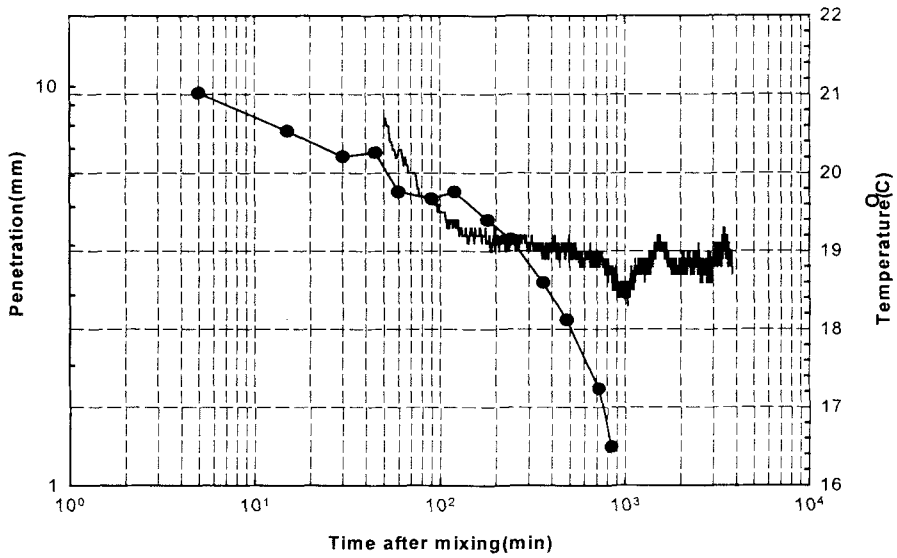


그림 4-27 시간에 따른 관입량과 수화열의 변화(C140)

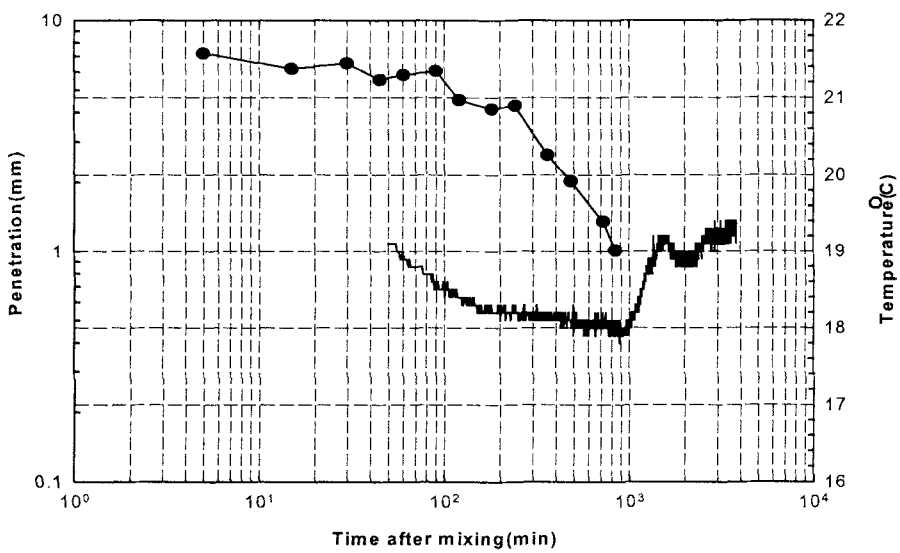


그림 4-28 시간에 따른 관입량과 수화열의 변화(C170)

그림 4-29는 C200의 방치시간별 수화열 변화와 관입량 변화를 나타낸 그림이다. 수화열이 급격하게 증가하는 시점인 초결시간은 약 800분이었으며 관입량 1mm는 초결시간과 종결시간 사이에서 측정되었다.

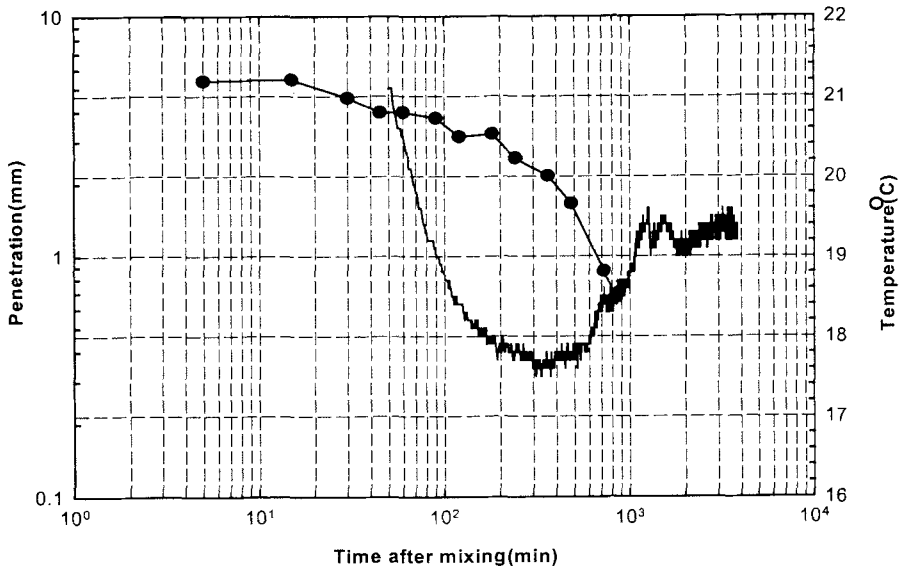


그림 4-29 시간에 따른 관입량과 수화열의 변화(C200)

그림 4-30은 각 배합비에 따른 관입량 변화와 수화열 변화를 그림 위에 함께 나타낸 것이다.

시멘트 풀에 대해서 물 시멘트를 감소시킴으로서 초기 응결시간이 감소되는데 (Leslie J. Struble and Wei-Guo Lei) 이는 물의 양이 많을수록 액성상태에 있으므로 유동성을 상실하기까지 많은 시간이 걸리기 때문이다.

위 혼합물에 대해서도 일정한 흙의 양에 대해서 시멘트 함량이 증가할수록 수화열이 증가하기 시작하는 초결시점이 감소하였다. 이는 높은 시멘트 함량에 의해 함수비가 감소함으로서 초기응결시간이 감소하기 때문이다. 함수비에 차이가 있지만 시멘트 함량이 일정하고 다른 양의 흙을 첨가한 후 동일한 반죽질기 상태의 시료로 실험한 전의 결

과와 비교해 보면 soil cement의 초기응결시간에 가장 크게 영향을 주는 것은 시멘트를 섞은 직후 혼합물의 함수비와 유기물 간섭으로 인한 수화 지연효과라는 것을 알 수 있다.

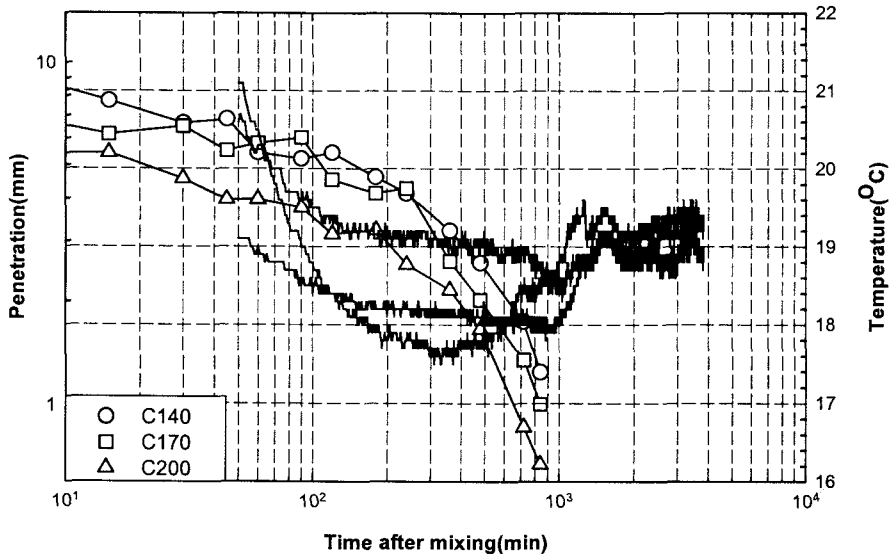


그림 4-30 시간에 따른 관입량과 수화열의 변화

#### 4. 요약

고함수비 퇴적물의 고화처리를 위한 방법으로 soil cement 처리를 하였다. 풀콘 관입량과 수화열 변화를 이용해 soil cement의 상 변화를 정량적으로 판단한 후 이를 근거로 soil cement 혼합물의 다짐가능한 상태(compactable state)를 판단하였다. 다짐상태까지의 방치기간 중 관입량 변화, 시멘트 배합비와 시료 함수비 관계, 시료 배합비와 엑소성 상태 변화등을 알아보았다. 각 관계와 특성에 대한 결론은 다음과 같다.

1. Soil cement의 방치시간에 따른 수화단계와 엑소성 상태 변화를 풀콘시험을 통해 대

략적으로 예측할 수 있다.

2. Soil cement의 다짐가능 상태는 경험적 판단기준에 의해 폴콘 관입량 1mm이하라고 판단되었다.

3. 폴콘 관입량 1mm이하는 수화열이 증가하는 시점(초결)을 지난 직후에 해당하며 이는 유동성이 없어지기 시작한 후 다짐상태에 도달한다는 것을 의미한다.

4. Soil cement의 전단강도가 증가하기 시작하는 시점과 수화열이 증가하기 시작하는 시점은 대략 일치하며, 이 시점을 기준으로 강도증진의 원인이 되는 수화생성물(C-S-H)이 생성되기 때문이다.

5. 일정한 양의 시멘트에 유기물을 가진 흙을 첨가하면 수화지연효과가 발생하여 초결시간이 지연되고 강도가 늦게 발현된다. 그리고 일정한 양의 흙에 시멘트를 첨가하면 시멘트에 의한 함수비 감소로 초결시간이 감소하는데 이러한 반응 모두 폴콘시험을 통해 확인할 수 있다.

6. 결론적으로 중·소하천 및 저수지 퇴적물을 시멘트를 이용하여 고화처리 하는 경우 수화과정에 따른 soil cement의 상 변화를 폴콘 시험을 통하여 확인할 수 있으며, 이를 이용하여 처리과정에 있어서 soil cement의 다짐성을 판단할 수 있다. 따라서 폴콘시험을 통하여 시멘트의 배합비에 따른 다짐성과 상 변화에 따라 다짐상태에 도달하는 시간을 결정할 수 있다.

## 제 5 절 고화재 처리토의 특성 연구

### 1. 개요

본 연구에서는 앞 절에서 제시된 고화처리과정을 거친 고화처리토의 특성을 파악하기 위하여 일련의 실험을 수행하였다. 고화처리된 처리토의 다짐특성을 파악하기 위한 다짐시험을 수행하였으며, 강도실험으로 일축압축강도실험과 CBR(California Bearing Ratio) 시험을 수행하였다. 시험에 사용한 시료는 하천시료로 경기도 수원시 황구지천 상류에서 채취한 시료와 저수지시료로 경기도 화성의 발안저수지에서 채취한 시료를 사용하였다.

이러한 실험과정을 통하여 본 연구에서 제시된 고화처리 process를 통한 처리토의 재 활용 또는 처리의 적합성을 파악하고자 한다.

### 2. 재료

#### 가. 퇴적물 시료

고화처리토의 특성을 고찰하기 위하여 사용한 퇴적물은 발안저수지 퇴적물과 황구지천 상류에서 채취한 퇴적물이다. 강도 및 CBR 등 경우에 따라서 두 가지 또는 한 가지의 시료에 대하여 시험하였다. 표 4-10은 두 시료에 대한 기초물성을 나타내며, 그림 4-31은 두 시료의 입도분포곡선이다.

표 4-10 퇴적물 시료의 물리적 특성

구분	Gs	LL	PI	U.S.C.S
황구지천 시료	2.551	49.3	24.3	CL
발안저수지 시료	2.649	32.5	11.5	CL

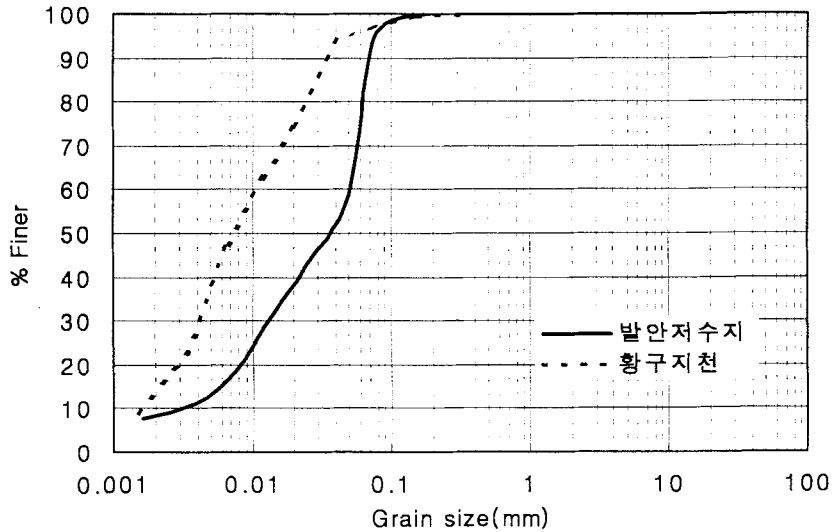


그림 4-31 흙 시료의 입도분포곡선

#### 나. 시멘트 및 첨가제

시멘트는 lump를 제거한 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 각종 첨가제의 강도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 플라이애쉬와 생석회 그리고 황산나트륨( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )를 사용하였다. 황산나트륨은 시멘트 혼합물의 강도 증진에 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

시멘트는 앞서 살펴보았으며, 플라이애쉬 및 생석회에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

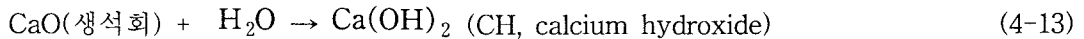
##### 1) 플라이애쉬

플라이애쉬는 화력발전소에서 생산되는 많이 알려진 폐기물이며 포틀랜드 시멘트의 교체재로서 사용된다. 많은 양의 플라이애쉬 처리는 전 세계에 걸쳐 환경적, 생태학적인 문제를 일으키고 있다. 플라이애쉬를 이용하기 위한 노력은 콘크리트에 대한 기술과 지반공학분야에서 지난 25년 동안 꾸준히 진행되어 왔다. 플라이애쉬의 주요 구성성분은  $\text{SiO}_2$ (약 50%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (약 20%)이다. Soil-Fly ash 복합물에서, 플라이애쉬는 기본적인

으로 자력으로 행동할 수 없는 재료이기 때문에 이 계에서 일어난 변화들은 대개 물리적이다. 그리고 플라이애쉬는 초기강도를 감소시킨다. 그러나 플라이애쉬가 lime과 함께 섞일 때, soil-fly ash-lime 결합은 fly ash를 lime-soil에 첨가하여 lime에 의한 반응을 자극시키기 때문에 이러한 결합은 효과적인 것으로 알려져 있다. 이처럼 lime sludge와 결합하는 fly ash는 토양 안정화에 효과적이다.

## 2) 생석회

생석회(calcium oxide, CaO) 는 포졸란의 일종으로 토양의 안정화를 확립하는데 많이 사용되는 재료이다. 반응성이 큰 흙에 생석회를 첨가할 때 , 다짐 후 시간이 지남에 따라 소성의 감소와 강도의 점진적인 증가가 있다. 이때 다음과 반응들이 일어난다. (a) 양이온 교환 (b) 면모화와 집괴화(agglomeration) ,(c)탄산염화작용(carbonation) 그리고 (d) 포졸란 반응이 일어난다. lime은 토양 내 사용할 수 있는 실리카, 알루미나와 화학적으로 반응한다. 반응의 생성물은 경화성의 calcium alumina silicate이다. 이러한 반응은 반응물과 온도의 효율적인 농도에 의존한다. 양이온 교환과 면모화는 즉각적이며 빠르고 개량효과의 원인이다. 탄산염화반응과 포졸란 반응은 느리며 장기간의 반응으로 시멘트성의 상품의 성장을 유도한다. 그리고 lime은 여러 가지 중금속 함유폐기물의 pH를 조절하여 중금속 이온들을 침전시킴으로서 안정화시킬 수 있다. 또한 lime을 토양에 첨가하면 토양의 전단강도를 향상시킨다는 것은 잘 알려진 사실이다. lime이 물과 반응하는 식을 표현하면 다음과 같다.



산화칼슘의 분자량은(Ca=40.078g,O=16g,;CaO=56.078g)이며  $\text{H}_2\text{O}=18\text{g}$  이므로 화학반응식에 따라 lime(CaO)와 반응하는 물의 양을 계산해보면 산화칼슘 1Mol과 물 1Mol이 반응하여 수산화칼슘 1Mol을 생성하므로 lime 56.078g에 물 18g이 반응한다.

### 3. 시험방법

#### 가. 폴콘시험

각 시료에 대한 시멘트 배합비를 산정하기 위하여 앞 절의 '고화처리 process'에서 제 시한 폴콘을 이용한 방법을 사용하였다. 각 시료에 대하여 시멘트의 배합비를 달리하면서 시간에 따른 폴콘 관입량의 변화를 구한 후, 각 배합비에서 '다짐양호(compactable)' 상태에 도달하는 시간을 구하였다. 이때 사용한 황구지천 시료와 발안저수지 시료의 함수비는 각각 160%와 60%이다.

#### 나. 다짐시험

일반적으로 다짐시험은 함수비와 건조단위중량(또는 밀도)의 관계곡선인 다짐곡선을 구하여 최적함수비와 그에 대응하는 최대건조밀도를 구하기 위한 실험이다. 한국공업규격(KS F 2312)에 규정되어 있는 다짐방법과 종류는 표 4-11과 같다.

일반적인 흙에 대하여 시멘트 안정처리를 시행하는 경우 사용되는 시멘트의 함량은 건조된 흙의 무게비로 사질토에서 4~8%, 점성토에서 8~12%를 사용한다.

표 4-11 다짐의 방법과 종류(KS F 2312)

다짐방법	램머 무게 (kg)	낙하 높이 (cm)	몰드 안지름 (cm)	몰드 높이 (cm)	다짐 층수	1층당 다짐 회수	허용최대 입자지름 (mm)	다짐에너지 (kg · cm/cm <sup>3</sup> )
A	2.5	30	10	11.6	3	25	19	6.1
B	2.5	30	15	11.6	3	55	37.5	
C	4.5	40	10	11.6	5	25	19	36.2
C	4.5	40	15	11.6	5	55	19	
E	4.5	40	15	11.6	3	92	37.5	



이상과 같이 최적함수비를 구하기 위한 다짐시험은 함수비를 변화시키면서 건조밀도의 변화를 구하는 것으로, 본 연구의 목적과는 부합되지 않는다. 즉, 준설된 퇴적물은 정도의 차이는 있지만 일정 지구에서 비교적 일정한 함수비의 퇴적물이 준설되며, 이를 고화처리하여 재활용하는 과정에서의 다짐에 대한 것이므로 최적배합비를 구하기 위한 다짐시험이어야 한다. 따라서 본 연구에서는 함수비의 변화가 아닌 시멘트 배합비의 변화에 따른 최대밀도의 변화를 이용하여 다짐에 대한 최적배합비를 구한다. 표 4-12는 본 연구에서 다짐시험에 적용한 시멘트 배합비를 시료별로 정리한 것이다. 발안저수지 시료와 황구지천 시료의 초기 함수비는 각각 60%와 160%였으나 함수비 변화에 따른 다짐 전도의 변화를 살펴보기 위하여 각각 70%와 180%가 되도록 물을 첨가하여 시험을 수행하였다. 이때 사용한 황구지천 시료는 함수비 160%와 180%를 사용하였으며, 발안저수지 시료 60%와 80%를 사용하였다.

표 4-12 다짐시험에 사용한 시멘트 배합비

시료 구분		배합비(%)					
황구지천 시료	160%	-	50	70	100	150	250
	180%						
발안저수지 시료	함수비 60%	3	5	7	10	15	20
	함수비 70%						

#### 다. 일축압축강도시험

시멘트로 고화처리된 soil cement의 강도를 실내시험으로 평가하는 이유는 현장에서 직접 개량효과를 측정하였을 때 개량의 정도는 흙의 간극내에 존재하는 결합재 입자의 농도, 흙 입자 표면이나 간극내에서 결합재의 분포양상이 혼합정도에 따라 다르게 나타날 수 있으며, 같은 토질의 경우에도 시공방법에 따라서 처리토가 다른 역학적 성질을

나타낼 수 있기 때문에 현장과 실내시험간의 상호관계를 파악하기 위해서다. 실내에서 수행하는 여러 가지 강도시험방법 중 일축압축강도시험은 비교적 신속하고 경제적이기 때문에 널리 이용되고 있다. 일반적으로 원지반에 사용되는 고결처리공법의 처리효과를 파악하기 위해서 일축압축시험이 적당하다고 알려져 있다.

일축압축강도시험에서는 황구지천 시료를 사용하였으며, 채취할 당시 시료의 함수비는 약 150%였으나, 시험에서는 100%로 건조시켜 사용하였다.

표 4-13 강도시험을 위한 배합비

Cement	Fly ash	Lime	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Cement	Fly ash	Lime	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
100	0	0	0	80	20	0	0
100	0	0	2	80	20	0	2
100	0	0	4	80	20	0	4
100	0	0	8	80	20	0	8
100	0	3	0	80	20	3	0
100	0	3	2	80	20	3	2
100	0	3	4	80	20	3	4
100	0	3	8	80	20	3	8
100	0	7	0	80	20	7	0
100	0	7	2	80	20	7	2
100	0	7	4	80	20	7	4
100	0	7	8	80	20	7	8
100	0	10	0	80	20	10	0
100	0	10	2	80	20	10	2
100	0	10	4	80	20	10	4
100	0	10	8	80	20	10	8

본 연구에서 수행한 일축압축강도시험은 공시체의 직경이 3.4cm, 높이가 6cm로 하였다. 일축압축강도시험은 우선 시료와 고화재(시멘트 및 첨가제)를 균일하게 혼합한 후 3층에 걸쳐서 표준다짐에너지로 다진 후 파괴시키는 순으로 진행하였다. 표 4-13은 본 연구에서 시멘트의 배합비 및 첨가제의 첨가량에 따른 강도의 변화를 살펴보기 위하여

적용한 시멘트 및 첨가제의 배합비를 나타낸다. 흙에 건조중량비 25%의 시멘트 또는 시멘트+플라이애쉬를 배합하였으며, 표에서 생석회와 황산나트륨은 시멘트 또는 시멘트+플라이애쉬의 중량에 대한 백분율을 나타낸다. 다짐 후 양생기간에 따른 강도의 변화를 살펴보기 위하여 C100혼합물에 대하여 양생기간에 따른 강도의 변화를 살펴보았다.

#### 라. 실내 투수시험

투수시험은 황구지천과 발안저수지 퇴적물에 대하여 최적으로 결정된 배합비로 시멘트를 혼합하여 수행하였다. 시료와 시멘트를 혼합한 후 다짐가능상태에 도달한 혼합물을 다짐시험에서와 같은 직경 10cm, 높이 12cm의 몰드에 표준다짐하여 시료를 제작하여 변수위 투수시험을 수행하였다.

#### 마. 실내 CBR 시험

실내 CBR 시험은 몰드 내에서 다짐한 공시체에 대해 규정된 피스톤(지름 5cm)을 규정 속도(1mm/min)로 관입시켜, 관입량별로 구한 시험하중강도를 표준하중강도에 대한 백분율로 구하는 것이다. CBR은 포장두께의 설계나 지반의 지지력을 판정하는데 이용된다. 본 시험은 KS F 2320에 준하여 수행하였다. CBR 시험과정은 다음과 같다.

○ 각 시료에 대하여 시멘트를 흙과 혼합하여, 지름 약 15cm, 높이 약 17cm(space disk 높이 5cm 포함)의 몰드에서 각 시료에 대하여 다짐시험에서 행한 배합비로 5층 10회, 25회, 55회로 다졌다.

○ 몰드를 뒤집어 아래쪽에 고정판을 설치하고 위쪽에는 양생중 부피변화를 특정할 수 있는 dial gage를 설치하고 수조에 넣어 96시간 동안 수침시켰다.

○ 수침과정을 마친 시료에 대하여 CBR 시험을 수행하였다. CBR 시험에서 관입봉의 지름은 5cm이고 관입속도는 1mm/min이다. 관입량이 0~12.5mm가 될 때까지 정해진 관입량에서의 하중을 측정하고 KS F 2320에 따라 CBR값을 구하였다.

CBR 값을 산정하기 위한 쇄석에 대한 표준단위하중은 표 4-14와 같다. 이를 이용하여 다음의 식 (4-13)으로 CBR 값을 구한다.

표 4-14 CBR 표준단위하중

관입량(mm)	표준단위하중(kg/cm <sup>2</sup> )
2.5	70
5.0	105
7.5	134
10.0	162
12.5	183

$$CBR = \frac{\text{시험단위하중}}{\text{표준단위하중}} \times 100 (\%) \quad (4-14)$$

#### 4. 시험결과 및 고찰

##### 가. 폴콘 및 다짐시험을 이용한 배합비 산정결과

그림 4-32는 발안저수지 시료에 시멘트를 건조중량비로 3%, 5%, 7%, 10% 및 20%를 혼합한 시험결과이다. 그림에서 보듯이 배합비에 따라서 다짐양호 상태에 도달하는 시간이 다르지만 모두 24시간 이내에 다짐양호 상태에 도달하였다. 배합비가 클수록 다짐양호 상태에 도달하는 시간이 빠르며, 배합비가 작을수록 다짐양호 상태에 도달하는 시

간이 오래 걸린다. 이 시험 결과는 모든 배합비에서 24시간 경과 후 다짐이 양호한 상태가 됨을 알 수 있다. 그러나 이는 어디까지나 다짐성의 좋고 나쁨을 나타내며 다짐의 정도를 나타내는 것은 아니므로 위의 배합비에 대한 다짐시험 결과를 함께 비교한다.

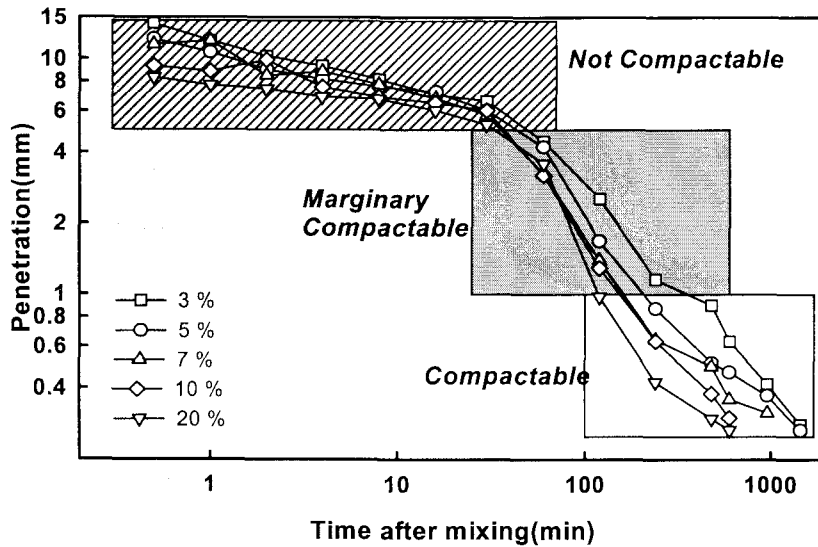


그림 4-32 시멘트 배합비 변화에 따른 폴콘 관입량의 변화(발안저수지 퇴적물)

그림 4-33은 발안저수지 시료에 대한 배합비별 다짐시험 결과를 나타낸다. 일반적인 다짐곡선의 형태는 최적함수비를 정점으로 하여 함수비 건조측과 습윤측이 각각 좌·우의 아래로 향한 형태, 즉 위로 볼록한 곡선이지만 그림에서 보듯이 일정한 함수비에 대한 시멘트 배합비에 따른 단위중량곡선은 특정 배합비에서 꺾어지는 형태로 나타난다. 본 연구에서 사용한 함수비 60%의 발안저수지 퇴적물에 대한 시험에서는 시멘트 배합비 7%이후로 꺾어지는 형태로 나타났다.

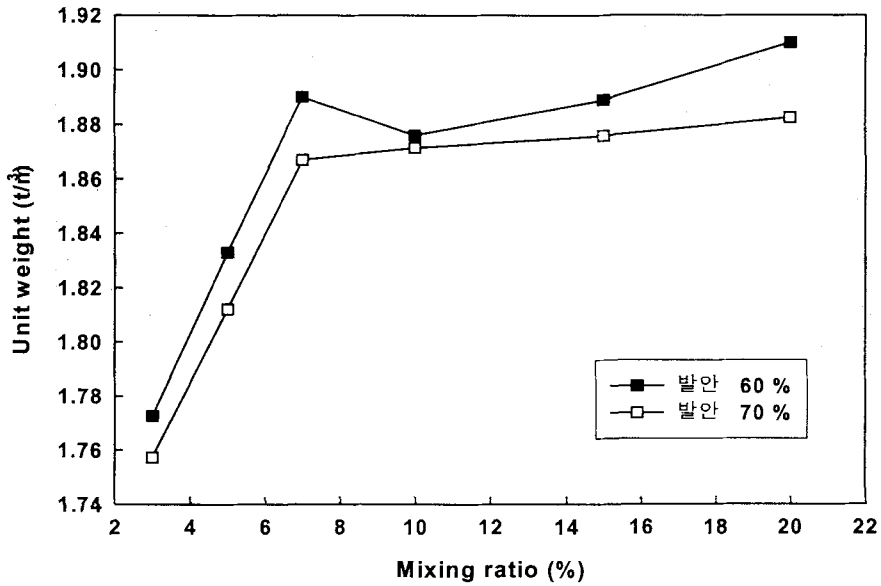


그림 4-33 배합비에 따른 다짐시험결과 (발안저수지 시료)

그림 4-32와 그림 4-33의 결과를 조합하면, 각 시료에 대하여 다짐이 양호한 정도에 도달하는 배합비는 여러 가지가 있으며, 배합비를 증가시키면 다짐이 양호한 상태에 도달하는 시간이 단축되는 장점이 있다. 또한 다짐에 의한 최대밀도를 얻기 위해서 배합비를 증가시키면 가능하지만 일정 배합비 이상이면 배합비 증가에 따른 단위중량의 증가의 효율은 극대 떨어진다.

이상의 결과에서 발안저수지에서 채취한 퇴적물을 처리 또는 활용하기 위한 다짐을 실시하는 경우, 고화처리를 실시하지 않은 상태에서 다짐은 불가능하다. 다짐이 양호한 상태로 만들기 위하여 시멘트를 혼합한 후, 다짐시험을 실시한 결과 혼합비 7%에서 가장 경제적이고 다짐에 의한 효과가 양호한 것으로 나타났다.

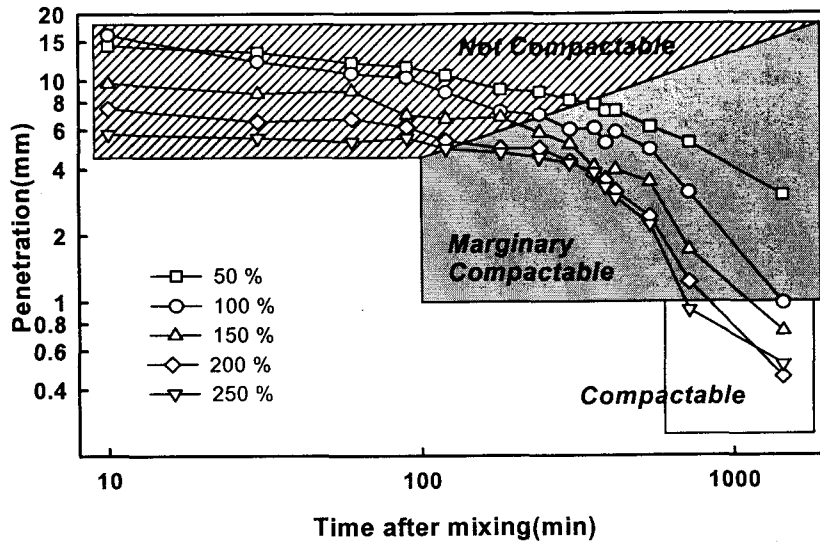


그림 4-34 시멘트 배합비 변화에 따른 폴콘 관입량의 변화(황구지천 퇴적물)

그림 4-34는 황구지천 시료에 시멘트를 건조중량비로 50%, 100%, 150%, 200% 및 250%를 혼합한 시험결과이다.

그림에서 보듯이 발안저수지 시료와 마찬가지로 배합비에 따라서 다짐양호 상태에 도달하는 시간이 다르며 50% 배합비의 경우 24시간 경과후에도 다짐이 가능한 상태에 도달하지 않았다. 역시 마찬가지로 배합비가 클수록 다짐양호 상태에 도달하는 시간이 빠르며, 배합비가 작을수록 다짐양호 상태에 도달하는 시간이 오래 걸린다. 그림 4-35는 발안저수지 시료에 대한 배합비별 다짐시험 결과를 나타낸다.

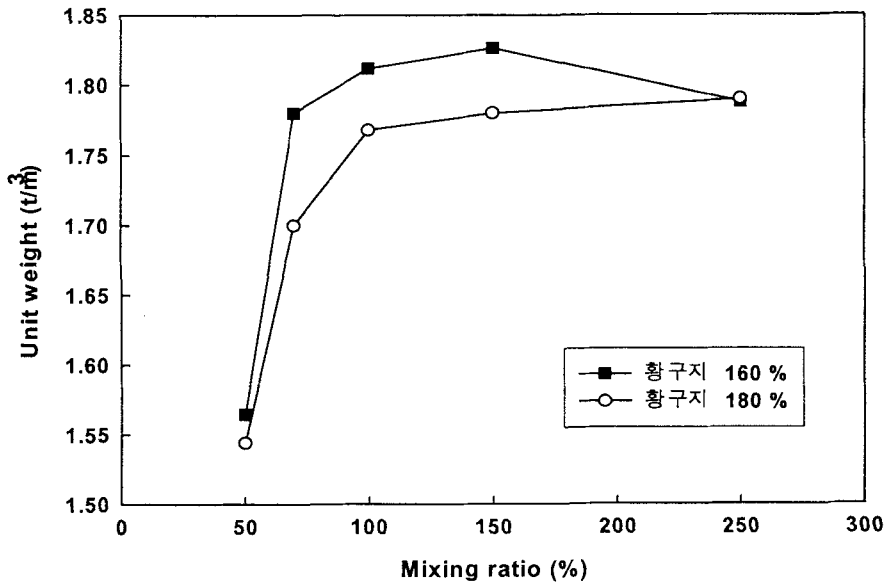


그림 4-35 배합비에 따른 다짐시험결과 (황구지천 시료)

발안저수지 시료와 마찬가지로 황구지천 시료 또한 비슷한 형태로 나타났으며, 시멘트 배합비 70%와 100% 사이에서 꺾어지는 형태로 나타났다. 발안저수지 지료와 마찬가지로 고화처리를 실시하지 않은 상태에서 다짐은 불가능하였으며, 다짐이 양호한 상태로 만들기 위하여 시멘트를 혼합한 후, 다짐시험을 실시한 결과 혼합비 100%에서 가장 경제적이고 다짐에 의한 효과가 양호한 것으로 나타났다.

#### 나. 고화처리토의 강도특성

##### 1) 양생기간에 따른 강도의 변화

그림 4-36은 함수비 100% 황구지천 시료에 건조중량비로 시멘트 25%(C100)를 혼합한 경우와, 시멘트와 플라이애쉬를 8:2의 비율로 25%(C80F20)를 혼합한 경우, 그리고 생석회와 황산나트륨을 각각 고화재 중량비로 7%(C100L7) 및 4%(C100SS) 혼합한 경우의 양생기간에 따른 일축압축강도를 나타낸다.



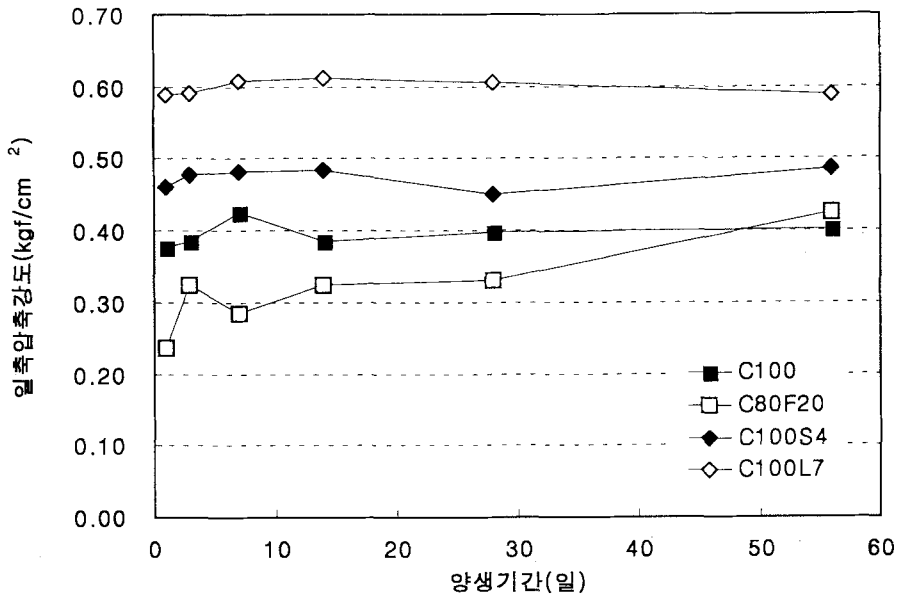


그림 4-36 양생기간에 따른 일축압축강도의 변화 I

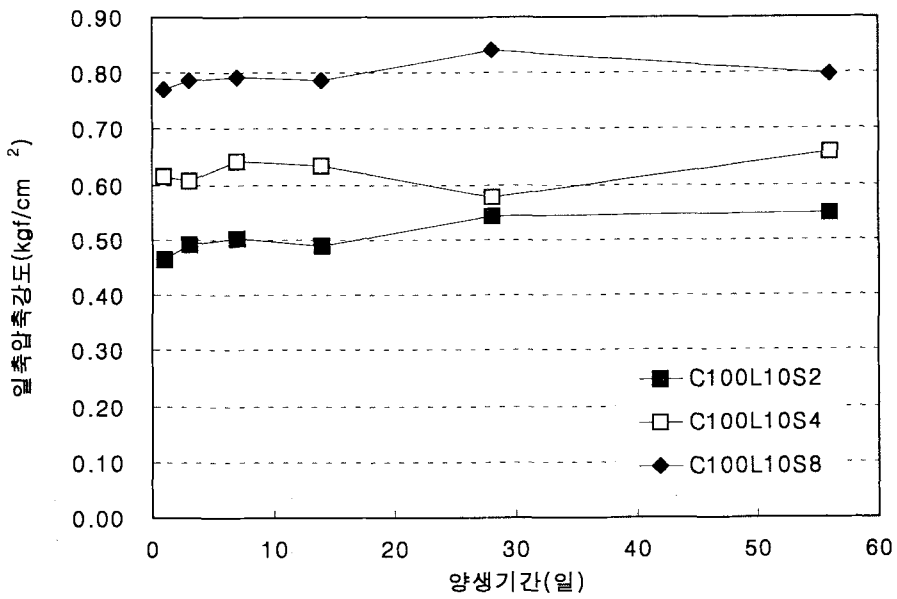


그림 4-37 양생기간에 따른 일축압축강도의 변화 II

보통의 경우 고화재와 처리 대상물을 혼합후 양생기간이 지남에 따라 일정기간동안은 강도가 증가하는 것으로 알려져 있으나 그림에서 보듯이 고화재 및 첨가제의 종류에 따른 강도의 차이는 있으나, 양생기간에 따른 강도의 변화는 없다. 이는 본 연구에서 제시한 고화 및 처리방법이 고화재 혼합후 다짐가능상태로 상이 변화하면 다짐하여 처리하는 것이므로 다짐 후의 양생이 큰 의미가 없기 때문이다. 이는 그림 4-37과 같이 생석회와 황산나트륨을 함께 첨가한 경우에도 동일한 경향으로 나타난다.

## 2) 황산나트륨의 첨가

그림 4-38과 그림 4-39는 각각 C100과 C80F20를 25%혼합한 후 황산나트륨을 0, 2, 4, 8%첨가한 경우에 대한 강도의 변화를 나타낸다.

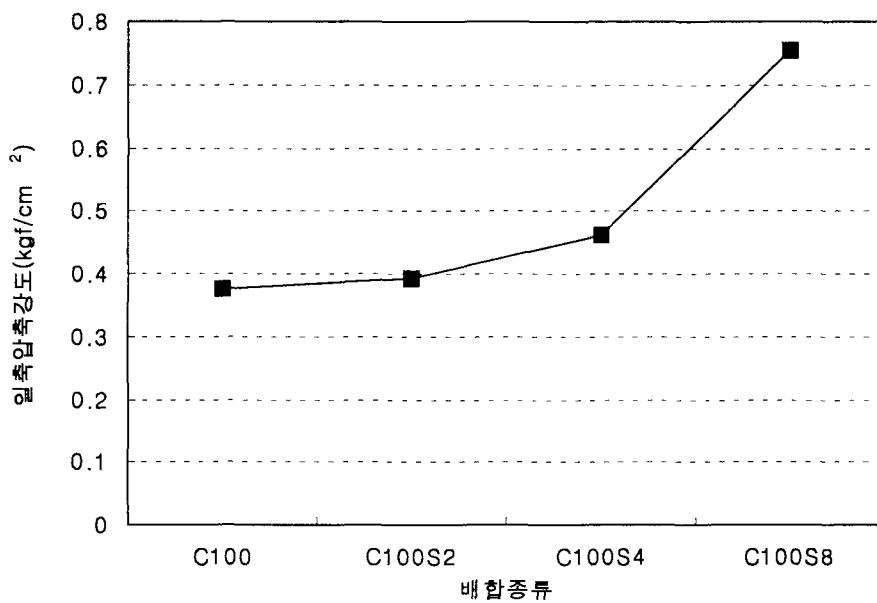


그림 4-38 황산나트륨 첨가에 따른 강도의 변화 (C100)

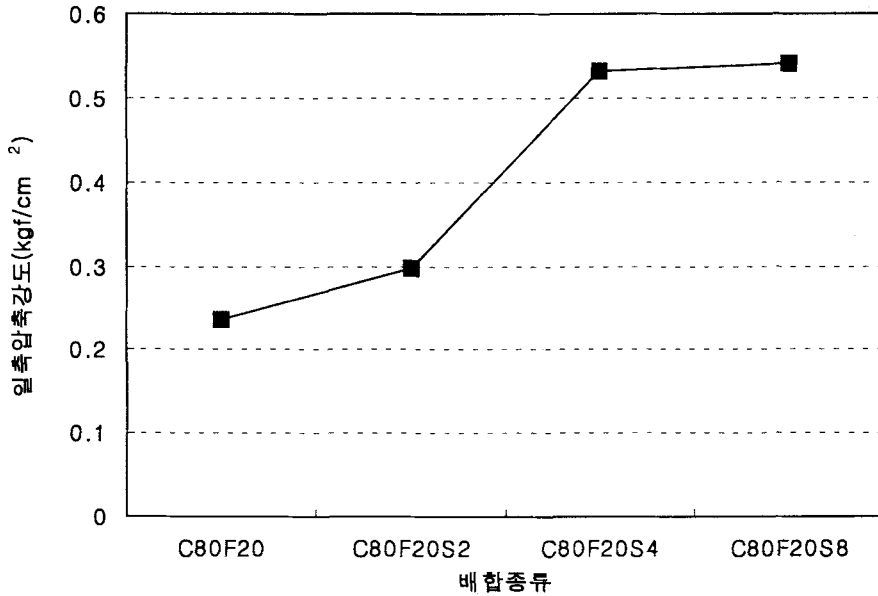


그림 4-39 황산나트륨 첨가에 따른 강도의 변화 (C80F20)

그림 4-38에서 보듯이 시멘트만 첨가한 경우보다, 황산나트륨을 첨가하면 강도증진에 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 를 첨가하면 pH가 증가되고 포졸란의 용해가 가속화되며,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 포졸란 사이의 포졸란 반응이 빨라진다. 그리고 황산염 ( $\text{SO}_4^-$ )의 농도를 증가시켜 결국 대조군 시멘트 풀보다 더 많은 AFt가 형성되는데 AFt의 발생은 구조의 밀도를 높이며 경화된 lime-pozzolan paste의 초기강도를 증가시킨다.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 이 첨가된 시멘트 풀의 초기강도의 원인을 2가지로 요약하면 첫째로 초기 포졸란 반응의 가속화이며 둘째는 수화생성물인 AFt의 양이 증가되기 때문이다.

그림 4-39에서 보듯이 C80F20의 경우에도 황산나트륨을 첨가하면 강도증진에 효과가 있는 것으로 나타났다.

### 3) 생석회의 첨가

그림 4-40과 그림 4-41은 각각 C100과 C80F20를 25%혼합한 후 생석회를 0, 3, 7, 10%

첨가한 경우에 대한 강도의 변화를 나타낸다. 그림 4-40에서 생석회의 첨가에 따른 강도증진 효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 생석회는 원래 점진적으로 소성을 감소시키고 강도를 증진시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있으므로 이와 같은 결과는 예상 가능하다. 그러나 그림 4-41에서처럼 플라이애쉬와 생석회가 함께 사용되는 경우 생석회의 첨가에 따라 강도의 증진효과가 크게 나타난다. 이는 플라이애쉬가 흙-생석회에 첨가되는 경우 lime에 의한 반응을 자극시키기 때문이며, 이러한 결합은 상당히 효과적인 것으로 알려져 있다. 따라서 황산나트륨과는 달리 장기적으로 강도의 증가가 필요한 경우와 플라이애쉬를 일종의 충전제로서 사용하고자 하는 경우 생석회를 첨가하는 것이 바람직하다.

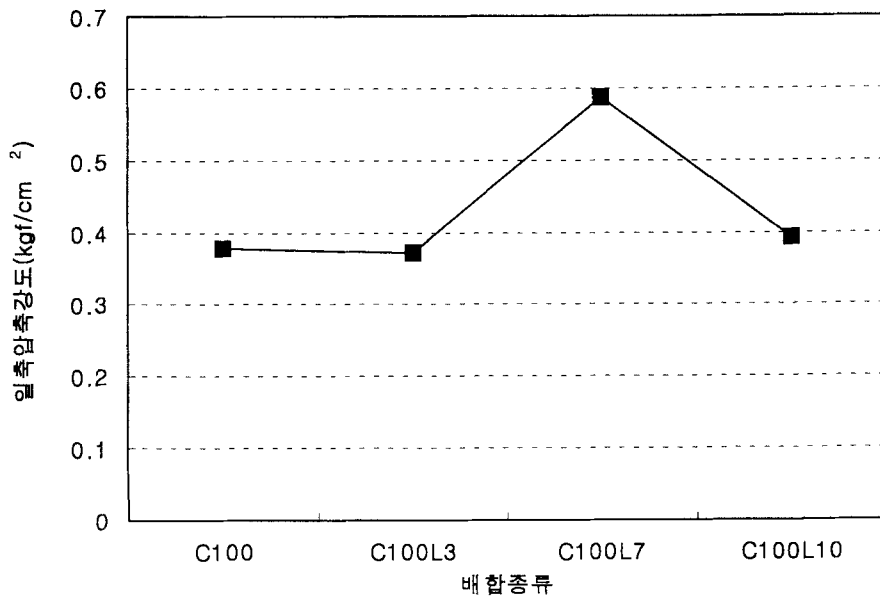


그림 4-40 생석회 첨가에 따른 강도의 변화 (C100)

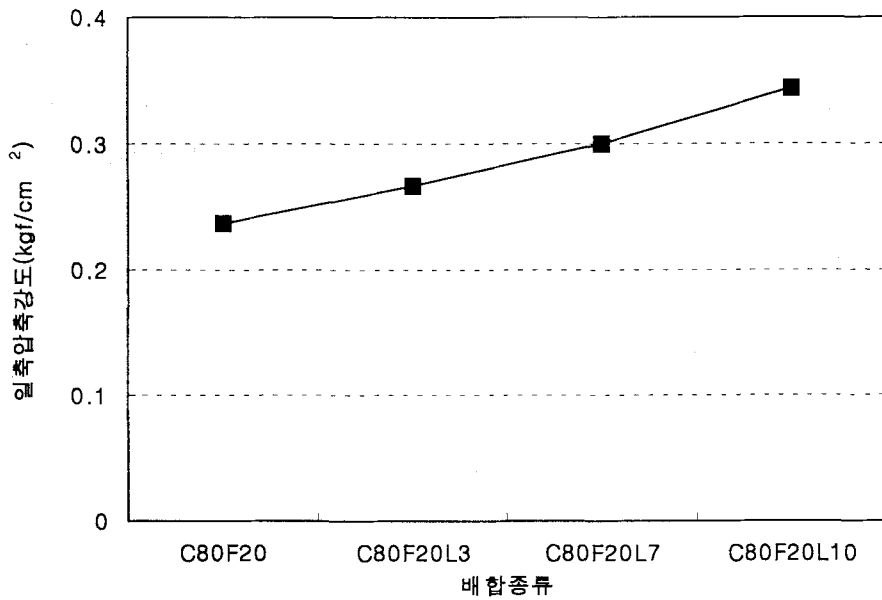


그림 4-41 생석회 첨가에 따른 강도의 변화 (C80F20)

#### 4) 혼합효과

그림 4-42와 그림 4-43은 표 00에서 제시한 배합비에 대한 강도의 결과를 종합한 것이다. 그림 4-42와 그림 4-43에서 플라이애쉬를 시멘트와 함께 첨가한 경우 강도는 대체적으로 감소함을 알 수 있다. 고화과정 중인 혼합물을 다짐 가능한 상태에서 다짐한 경우에 생석회의 첨가에 따른 강도증가의 효과는 미미하며, 플라이애쉬를 생석회와 함께 배합한 경우 강도의 증가효과가 나타남을 알 수 있다. 본 연구에서 제안한 고화재 혼합 후 다져 처리하는 경우에 강도증진효과는 황산나트륨을 첨가한 경우에 크게 나타남을 알 수 있다.

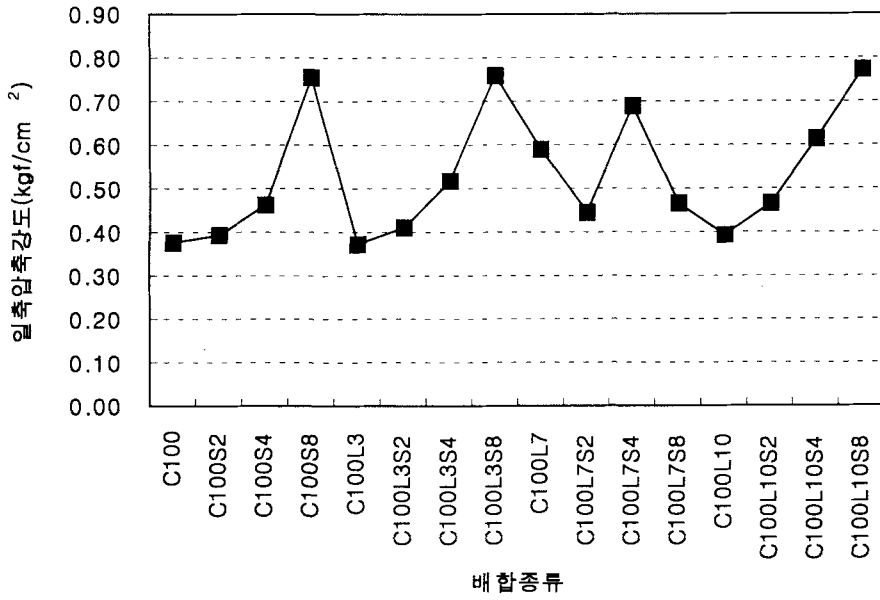


그림 4-42 배합비에 따른 일축압축강도(플라이애쉬 무첨가)

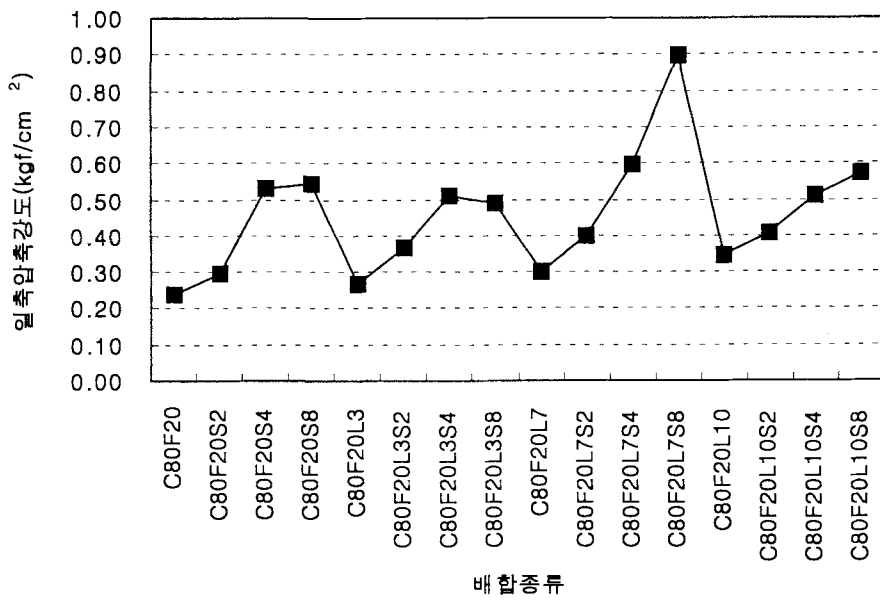


그림 4-43 배합비에 따른 일축압축강도(플라이애쉬 첨가)

다. 고화처리토의 투수특성

그림 4-44와 그림 4-45는 각각 발안저수지 퇴적물시료와 황구지천 퇴적물시료에 대한 시멘트 배합비에 따른 투수시험결과이다.

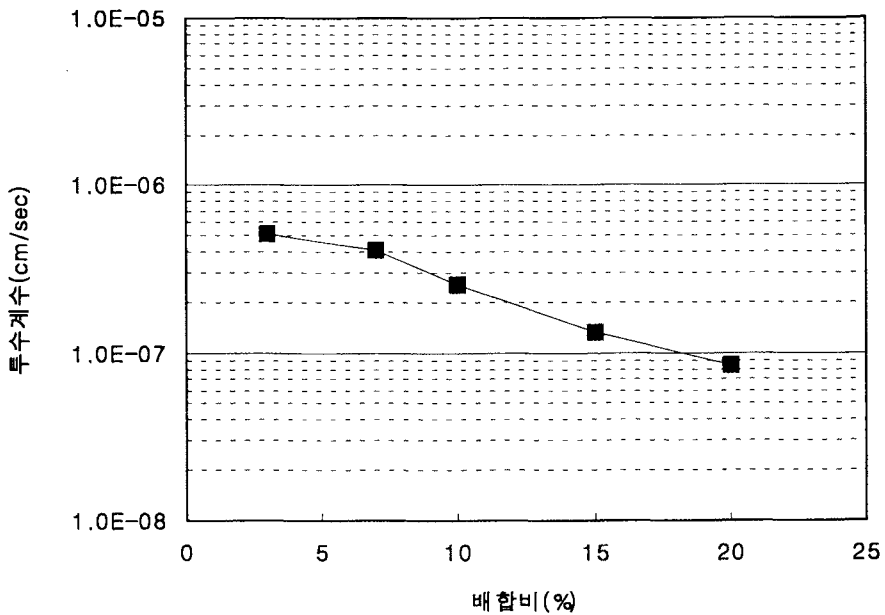


그림 4-44 시멘트 배합비에 따른 투수계수(발안저수지)

그림 4-44에서 각 시료에 대하여 시멘트 배합비가 증가할수록 투수계수가 감소하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 폐기물 매립장의 차수재는 투수계수가 1.0E-07이하가 되도록 한다. 그림 4-44에서 보면 발안저수지 퇴적물의 경우 배합비 15%까지는 이 조건을 만족시키지 못하고 있다. 배합비 20%에서 차수재의 투수성 조건을 만족시킨다. 다짐시험의 결과에서 배합비 7%이상에서 다짐의 효과가 크게 향상되지 않음을 고려하면 배합비의 증가에 따라 단위중량의 증가는 미미하지만 투수계수의 감소는 상대적으로 크게 나타난 것이다.

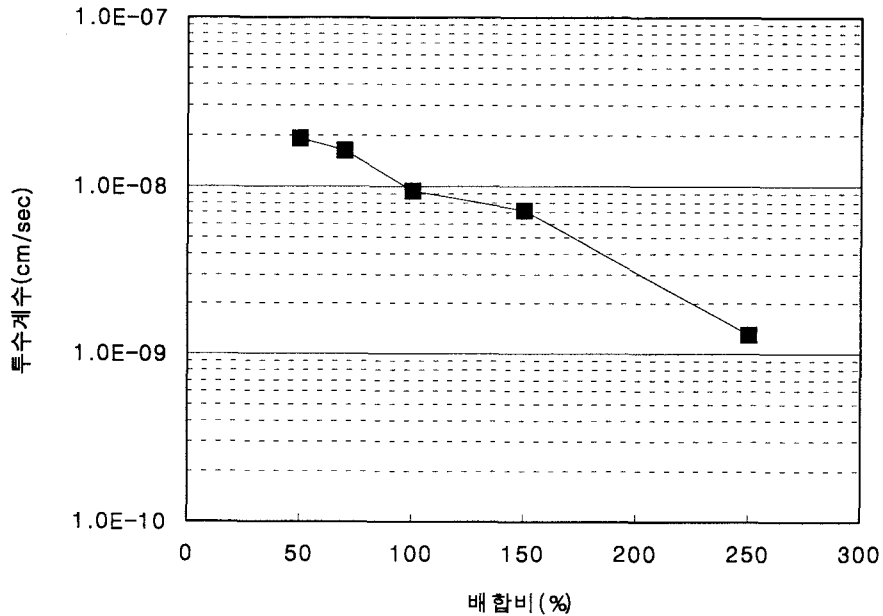


그림 4-45 시멘트 배합비에 따른 투수계수(황구지천)

이러한 경향은 그림 4-45에서 보듯이 황구지천 시료에서도 나타난다. 황구지천 시료의 경우 배합비 100%이상에서부터 투수계수가 1.0E-07이하로 나타난다.

그림 4-46은 발안저수지 퇴적물과 황구지천 퇴적물에 시멘트를 각각 7%와 100%를 혼합하여 다짐가능상태에서 다진후 시간의 경과에 따른 투수계수의 변화를 나타낸 그림이다.

그림 4-46에서 보듯이 다짐후 시간의 경과에 따른 투수계수의 변화는 약간 감소한다고 볼 수도 있으나 뚜렷한 경향을 가지진 않는다. 이는 수화반응을 거치는 과정에서 다짐에 의해 반응이 중단되면서 다짐후의 경과시간이 양생의 개념을 벗어나기 때문인 것으로 판단된다. 일반적인 경우라면 양생기간이 경과하면서 수화생성물에 의해 공극이 메워지면서 투수계수가 감소되는 것을 기대할 수 있으나 본 연구에서는 이러한 경우를 기대할 수 없다.



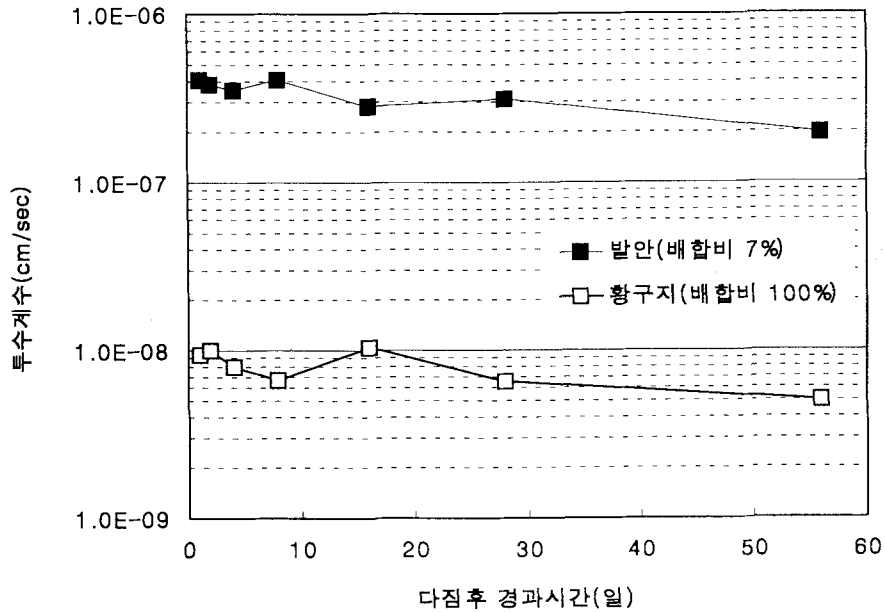


그림 4-46 다짐후 경과시간에 따른 투수계수

#### 라. 고화처리토의 CBR 특성

그림 4-47은 발안저수지 퇴적물에 대한 시멘트 배합비에 따른 CBR이다. 그림에 나타난 바와 같이 시멘트 배합비가 증가할수록 함수비 60%와 70% 모두에서 CBR값이 증가하였다. 폴콘시험과 다짐시험에서 구한 배합비 7%에서는 약 15%의 CBR값이 나타났으나, 이후 10% 이상에서는 CBR값이 서서히 증가하는 형태이며, 함수비 60%와 70% 시료에 있어서 CBR값의 차이가 미미하였다. 배합비 7% 이하인 3%에서는 KSF 2320에서 요구하는 기층이나 보조기층에 대한 CBR의 최소값 10%에 근접하는 값으로 나타났다.

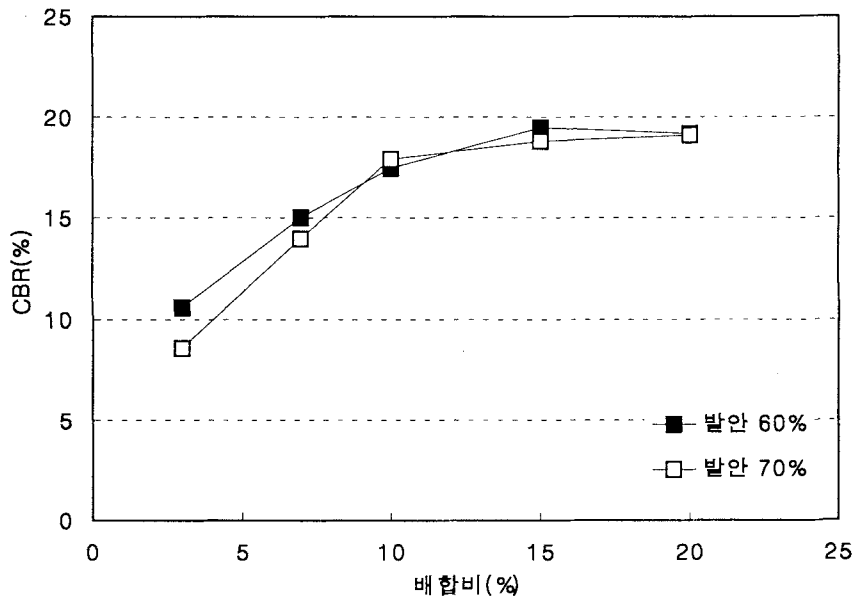


그림 4-47 배합비에 따른 CBR(발안저수지)

이상에서 발안저수지 퇴적물은 시멘트에 의한 고화처리 이전의 CBR값은 기층 및 보조 기층 재료로 사용할 수 없는 값이지만 배합비 7%이상의 시멘트에 의한 고화처리에 의해 사용가능한 재료가 됨을 알 수 있다.

그림 4-48은 황구지천 퇴적물에 대한 시멘트 배합비에 따른 CBR이다. 그림에서 발안저수지 퇴적물과 마찬가지로 시멘트 배합비가 증가할수록 함수비 160%와 180% 모두에서 CBR값이 증가하였다. 폴콘시험과 다짐시험에서 구한 배합비 100%에서는 약 50%의 CBR값이 나타났다. 이후 150% 이상에서는 CBR값이 거의 증가하지 않았다. 배합비 100% 이하인 70%에서는 KSF 2320에서 요구하는 기층이나 보조기층에 대한 CBR의 최소값 10%를 만족하지만 배합비 50%에서는 최소값에 인접하고 있으며, 무엇보다 다짐이 가능한 상태에 도달하는 시간이 매우 오래걸린다.

이상에서 황구지천 퇴적물은 시멘트에 의한 고화처리 이전의 CBR값은 기층 및 보조기층 재료로 사용할 수 없는 값이지만 배합비 100% 이상의 시멘트에 의한 고화처리에 의해 사용가능한 재료가 됨을 알 수 있다.

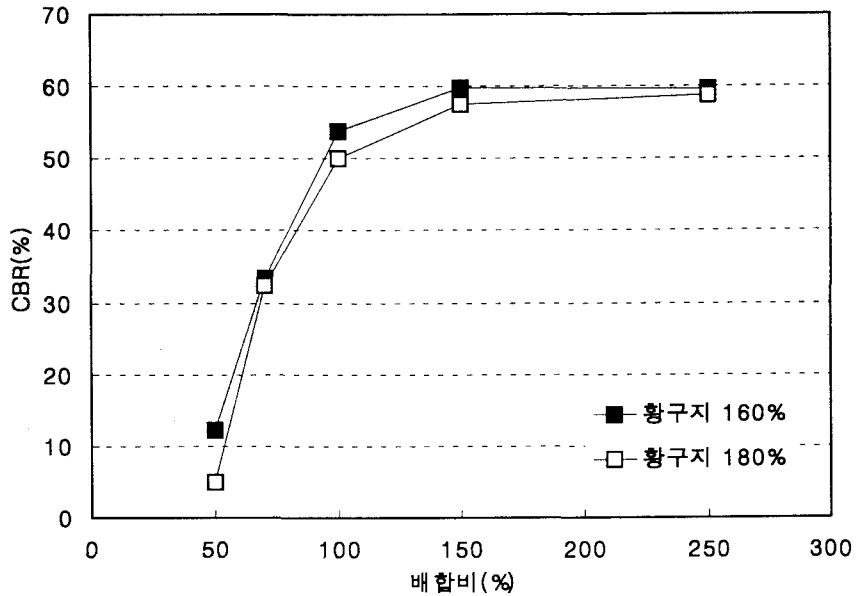


그림 4-48 배합비에 따른 CBR(황구지천)

## 5. 요약

본 절에서는 앞 절에서 제안한 준설 퇴적물에 대한 주고화재인 시멘트와 시멘트 배합에 대한 처리프로세스를 발안저수지와 황구지천에서 채취한 퇴적물에 적용하여 고화처리된 혼합물의 특성에 대하여 고찰하였다. 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

1. 발안저수지와 황구지천에서 채취한 준설퇴적물에 대하여 폴콘시험으로 다짐가능상태에 도달하기 위한 일종의 최소배합비를 산정하고 다짐시험에서 최대단위중량을 얻을 수 있는 최소 배합비를 산정하는 방법으로 시멘트의 적정배합비를 산정하였다.
2. 혼합물에 대한 다짐시험 결과 일정배합비 이상에서는 단위중량의 증가효과가 더 이상 커지지 않는 것으로 나타났다.

3. 혼합물의 강도에 대한 시험 결과, 다짐후 시간의 경과에 따른 강도의 증가는 크게 나타나지 않았으며, 강도를 증가시키기 위해서는 황산나트륨( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )을 소량 첨가하는 것이 효과가 큰 것으로 나타났다. 또한 생석회와 플라이애쉬를 함께 혼합하는 경우에도 강도증가에 효과가 있는 것으로 나타났다.

4. 투수시험결과 시멘트 배합비가 증가할 수록 투수계수는 감소하는 것으로 나타났으며, 그 효과는 다짐시험과는 달리 시멘트배합비가 증가할수록 투수계수의 감소효과는 계속되었다. 투수계수의 경우에도 일축압축강도와 마찬가지로 다짐후 시간의 경과에 따른 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

5. CBR 시험결과 시멘트 배합후 일정방치시간이 경과한 후 다짐가능 상태에서 다지는 방식으로 시멘트 배합비에 따라서 CBR값이 증가되었다. CBR값은 다짐시험에서 정한 배합비까지 급속하게 증가하고 이후에는 완만한 증가를 보이는 것으로 나타났다.

## 제 6 절 요약 및 결론

본 장에서는 고탐수비의 준설퇴적물의 처리에 사용되는 고풀-안정화 처리의 일반적인 내용을 고풀하고 농촌 중·소하천 및 저수지 준설토에 적합한 고풀처리 방법을 선정하였다. 그리고 Soil-cement의 특성에 대한 개략적인 내용을 정리하고, 고풀처리과정을 제시한다. 그리고 제시된 고풀처리과정을 거친 고풀처리토의 공학적 특성에 대하여 고풀하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 고풀재 및 첨가재의 종류와 그 작용기작에 대하여 살펴보았으며, 본 연구에 대상이 되는 농촌 중·소 하천 및 저수지 준설토에 적합한 고풀처리 방법으로 기초적이면서 중금속의 처리에 효과적인 시멘트기초법을 선정하고 필요한 경우 첨가제를 추가하는 방법을 선정하였다.

2. 고풀처리 프로세스에 대한 연구로서 시멘트를 기초로 준설토를 처리하는 경우 발생하는 수화단계별 상변화와 그에 따른 다짐성의 판단에 대한 연구결과는 다음과 같다.

가. Soil cement의 방치시간에 따른 수화단계와 엑소성 상태 변화를 풀콘시험을 통해 대략적으로 예측할 수 있었으며, soil cement의 다짐가능 상태는 경험적 판단기준에 의해 풀콘 관입량 1mm이하라고 판단되었다.

나. 풀콘 관입량 1mm이하는 수화열이 증가하는 시점(초결)을 지난 직후에 해당하며 이는 유동성이 없어지기 시작한 후 다짐상태에 도달한다는 것을 의미한다.

다. Soil cement의 전단강도가 증가하기 시작하는 시점과 수화열이 증가하기 시작하는 시점은 대략 일치하며, 이 시점을 기준으로 강도증진의 원인이 되는 수화생성물(C-S-H)이 생성되기 때문이다.

라. 일정한 양의 시멘트에 유기물을 가진 흙을 첨가하면 수화지연효과가 발생하여 초결시간이 지연되고 강도가 늦게 발현된다. 그리고 일정한 양의 흙에 시멘트를 첨가하면 시멘트에 의한 함수비 감소로 초결시간이 감소하는데 이러한 반응 모두 폴콘시험을 통해 확인할 수 있다.

마. 결론적으로 중·소하천 및 저수지 퇴적물을 시멘트를 이용하여 고화처리 하는 경우 수화과정에 따른 soil cement의 상 변화를 폴콘 시험을 통하여 확인할 수 있으며, 이를 이용하여 처리과정에 있어서 soil cement의 다짐성을 판단할 수 있다. 따라서 폴콘시험을 통하여 시멘트의 배합비에 따른 다짐성과 상 변화에 따라 다짐상태에 도달하는 시간을 결정할 수 있다.

3. 준설 퇴적물에 대한 주고화재인 시멘트와 시멘트 배합에 대한 처리프로세스를 발안 저수지와 황구지천에서 채취한 퇴적물에 적용하여 고화처리된 혼합물의 특성에 대하여 고찰하였다. 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

가. 발안저수지와 황구지천에서 채취한 준설퇴적물에 대하여 폴콘시험으로 다짐가능상태에 도달하기 위한 일종의 최소배합비를 산정하고 다짐시험에서 최대단위중량을 얻을 수 있는 최소 배합비를 산정하는 방법으로 시멘트의 적정배합비를 산정하였다.

나. 혼합물에 대한 다짐시험 결과 일정배합비 이상에서는 단위중량의 증가효과가 더 이상 커지지 않는 것으로 나타났다.

다. 혼합물의 강도에 대한 시험 결과, 다짐후 시간의 경과에 따른 강도의 증가는 크게 나타나지 않았으며, 강도를 증가시키기 위해서는 황산나트륨( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )을 소량 첨가하는 것이 효과가 큰 것으로 나타났다. 또한 생석회와 플라이애쉬를 함께 혼합하는 경우에도 강도증가에 효과가 있는 것으로 나타났다.

라. 투수시험결과 시멘트 배합비가 증가할수록 투수계수는 감소하는 것으로 나타났으며, 그 효과는 다짐시험과는 달리 시멘트배합비가 증가할수록 투수계수의 감소효과는 계속되었다. 투수계수의 경우에도 일축압축강도와 마찬가지로 다짐후 시간의 경과에 따른 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

마. CBR 시험결과 시멘트 배합후 일정방치시간이 경과한 후 다짐가능 상태에서 다지는 방식으로 시멘트 배합비에 따라서 CBR값이 증가되었다. CBR값은 다짐시험에서 정한 배합비까지 급속하게 증가하고 이후에는 완만한 증가를 보이는 것으로 나타났다.

## 제 5 장 퇴적물 고화처리에 관한 제언

### 제 1 절 개요

본 연구에서는 지금까지 농어촌 중·소하천 및 저수지의 준설 퇴적물의 처리 및 재활용 방안에 대하여 기술하였다. 본 장에서는 본 연구에서 제안한 고화처리 방법을 실제 적용함에 있어 퇴적물과 고화재의 혼합 및 시공시 품질관리를 위한 공정상의 문제들에 대하여 제언한다. 실제 본 연구에서 제안한 방법은 혼합에 있어서는 대상이 되는 준설물과 고화재 및 첨가제를 혼합하는 지반개량공법과 유사하고, 흙을 처리 및 활용하는 경우 다짐에 있어서는 일반 성토 다짐공정과 유사하다.

본 장에서는 퇴적물의 고화재의 혼합에 필요한 고화처리플랜트의 개념적 설계와 고화처리의 대상이 되는 퇴적물 및 고화재의 준비와, 다짐 그리고 품질관리 등에 대하여 기술한다.

### 제 2 절 고화처리플랜트

본 연구에서 제안한 퇴적물의 처리 및 활용방안은 기본적으로 고전적인 흙 재료로서 사용이 가능한 물리/화학적 특성을 가진 경우 특성에 적합한 곳에 활용하거나, 사토장에 다짐하여 처리하는 것이다. 이외에 퇴적물의 특성을 개량할 필요가 있는 경우, 본 연구에서는 기본적인 재료와 시험과정을 거쳐 고화재를 배합하고 다짐 시공이 가능한 상태에서 다짐 공정을 거쳐 처리 및 활용하는 것이다. 따라서 대량으로 발생하지 않는 퇴적물이면서 간단한 공정으로 고화재를 혼합할 수 있는 처리플랜트가 필요하다.

#### 1. 원위치 교반



원위치 교반이란 지반개량에 있어서 현장에서 지반개량제를 직접 살포하고 교반기로 그 위치에서 혹은 공사 진행방향으로 움직이면서 혼합하는 것을 말한다. 도로 노반용 성토공사처럼 선형공사에서 흙과 지반개량제를 혼합할 때, 트랙터의 후면에 진행방향과 직각으로 위치한 축에 교반을 위한 일련의 돌기가 부착된 장비 또는 레이커(raker)와 할로우(harrow) 장치를 사용하는 경우가 한 예가 될 수 있다.

이러한 원위치 교반을 본 연구에 적용하면, 퇴적물을 준설하여 사토처리 또는 활용하고자 하는 농도 및 하천제방 등이 위치한 곳으로 운반하여 포설한 후, 정해진 배합비로 고화재를 살포하고 교반하는 방법이 될 수 있다. 이후 미리 실험에 의해 정해진 다짐 가능상태의 도달시간이 경과한 후 다짐장비를 이용하여 다짐을 실시한다.

이러한 방법은 점성토의 경우 보통의 교반장치를 이용한 고화재 혼합이 용이하지 않다는 점을 보완할 수 있다는 점과, 고화재 살포 후 농기계 등을 간단한 혼합장치로 활용할 수 있다는 점이 장점이 될 수 있으나 퇴적물이 점성토인 경우 흙의 분쇄과정이 전 처리로 필요할 수 있다는 점과 혼합의 균질성을 확보하기 어렵다는 점이 큰 단점이 될 수 있다. 하지만 소규모 공사인 경우 매우 경제적일 수 있다.

## 2. 플랜트(Plant) 혼합

플랜트 혼합은 대규모 공사시나 혼합물량의 확보와 용이한 지반개량제의 적용 및 균질한 혼합을 위하여 사용된다. 플랜트 혼합에는 다음과 같은 종류가 있다.

### 가. 연속흐름방식(continuous flow type)

연속흐름방식 교반기는 대규모 현장에서 적합한 장치로 그 구성은 대략 그림 5-1과 같다. 컨베이어를 따라 준설한 퇴적물이 이동할 때 고화재가 그 위로 투입되고 교반장치로 들어간다. 다른 관으로부터 물이 첨가되면서 고른 혼합이 이루어질 때까지 교반을 계속한다. 본 연구에 대상 퇴적물이 대부분 현장에서 준설되어 운반되므로 함수비가 상대적으로 높으므로 물을 추가하는 경우는 제외한다.

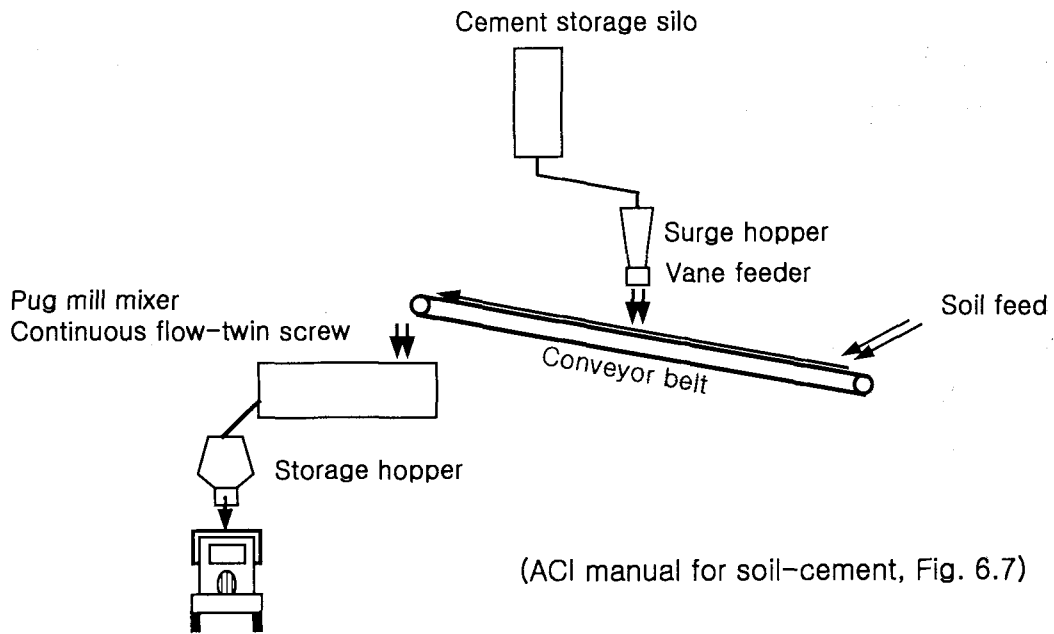


그림 5-1 연속흐름방식 혼합기의 구성

이 방법은 고화재 혼합에 있어서 품질관리가 가장 용이한 방법 중의 하나라고 할 수 있다. 이 방법의 경우에도 반드시 대규모뿐만 아니라 소규모 혼합에 적용할 수 있는 유연성을 가진다고 할 수 있다. 본 연구에 적용하면 준설에 의해 지속적으로 퇴적물을 공급하고 개량된 고화재를 공급한 후 혼합하고 방지한 후 운반하거나, 목적지가 비교적 장거리인 경우 운반중 다짐가능상태가 되도록 시간 및 배합비를 조정할 수 있다. 단 이 방법은 하천과 같이 준설 퇴적물의 공급원이 선형으로 길게 존재하는 경우문제가 될 수 있다. 즉, 플랜트 전체를 이동시키거나, 준설토를 컨베이어 벨트로 공급하기 위해 지속적으로 준설 퇴적물의 운반량이 발생하게 된다.

준설 퇴적물이 점성토인 경우, 또는 고화재가 혼합된 후 물과 혼합되었을 때 덩어리로 뭉치는 경향이 있으므로 균질한 혼합과 함께 혼합 후 다짐을 위한 적절한 재료의 크기를 유지하기 위해 재료의 크기별 분류가 가능한 power screen과 같은 분류기의 사용이 필요하다.

#### 나. 배치형(batch type)

배치형 혼합기는 흙, 고화재, 물이 계획된 양 만큼씩 투입된 상태에서 혼합함으로써 배치 용량만큼씩 혼합된 처리토를 얻는 방법이다.

#### 다. 회전식 드럼형(rotary drum type)

회전식 드럼형 혼합기는 연속흐름방식처럼 컨베이어 벨트를 사용하지는 않지만 기본적으로 준설 퇴적물, 고화재, 물을 연속적으로 혼합, 교반할 수 있는 장치이다. 또한 준설되는 퇴적물의 양과 혼합기의 수를 적절히 운용할 수 있다.

### 3. 고화처리플랜트의 제안

준설 퇴적물은 그 물리/화학적 특성에 따라서 사토처리 또는 활용이 가능하다. 그러나 재료측면에서 다짐이 불가능하거나 다짐을 위하여 많은 전처리가 필요한 경우 고화처리를 실시하게 된다.

고화처리하여 농도의 노상토나 하천제방 등의 선형구조물에 활용하고자 하는 경우 앞서 언급한 원위치 교반 방식을 적용하기는 어려울 것으로 예상된다. 고화처리가 필요한 준설 퇴적물의 경우 일반적으로 세립토일 경우가 많고, 함수비가 높기 때문에 원하는 위치에 원하는 두께로 포설하는 것이 어렵기 때문이다. 그러나 상대적으로 넓은 사토장에 포설하고 다지는 경우나 부지조성을 위한 재료로 활용하고자 하는 경우에는 준설 퇴적물을 포설하기가 상대적으로 용이하므로 원위치 교반 방식을 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 단지, 고화재의 살포와 혼합에 있어 균질성을 확보하기 위해 세심한 관리가 필요할 것이다.

플랜트 혼합방식의 경우 어떠한 처리 및 활용방법에도 적용이 가능할 것으로 판단된다. 단지 본 연구에서 제안한 방식의 경우 고화재의 혼합 후 다짐상태가 될 때까지의 일정 방치기간이 필요하므로 이를 고려하지 않는 경우 혼합토의 방치장소가 필요하다. 이러

한 경우, 혼합 후 처리 및 활용장소까지의 운반거리와 시간을 고려하여 운반차량대수 및 혼합기대수 등을 배치하면 효율적인 운용이 가능할 것으로 판단된다.

## 제 3 절 시공에 관한 제언

### 1. 준비 및 혼합

#### 가. 준설 퇴적물

본 연구에서 제안한 시멘트를 기초로 한 고화처리에 있어서 시멘트는 분말형 고화재로서, 이는 모래질 흙과 점토질 흙 모두에 적용 가능하다. 특히 점성토의 경우 고화재와 혼합하기 전에 흙의 분쇄에 주의가 필요하다. 소성지수가 8보다 큰 점토의 경우 덩어리화되는 경향이 있으며, 이는 고화재로 처리된 후에도 고화재와 제대로 혼합이 되지 않는다는 것을 의미한다. 이 경우 혼합물이 강우에 노출되면 점토 덩어리가 혼합물로부터 씻겨나가 처리층에 구멍이 생기는 경우가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 미국 Bureau of Reclamation에서는 25mm보다 큰 점토 덩어리는 지반개량제와 혼합전 제거하고 전체 흙 중에서 25mm체를 통과하는 점토 덩어리의 양이 10%가 넘지 않을 것을 요구하고 있다.

또한 점성토의 흙은 함수비 조절도 사질토에 비하여 어렵다. 따라서 준설 퇴적물 또는 혼합된 처리토가 강우에 노출되어 배합비의 산정에서 사용된 시료의 함수비와 크게 달라진 경우 예상과 달리 다짐이 되지 않는 등 문제가 될 수 있으므로 주의하여야 한다. 모래질의 경우 점성토와 달리 상대적으로 함수비 조절이 용이하고 고화처리가 용이하다. 하지만 어떤 종류의 모래질 준설토에 있어서는 일반적인 경우에 적용되는 혼합비만큼의 시멘트만으로 처리가 되지 않는 경우가 있다. pH가 2.5이하이거나 유기물함량이 2%보다 큰 경우를 예로 들 수 있는데, 이러한 경우 앞서 간단하게 언급한 pH조절용 첨가제나 생석회 등을 혼합하는 방안을 강구해야한다.

## 나. 혼합함수비

혼합시 필요한 플랜트에 대해서는 앞서 언급하였다. 혼합시 준설 퇴적물과 고화재의 준비와 함께 혼합시 함수비가 매우 중요하다.

점토를 포함한 흙에서 함수비에 따라 투수계수가 변화하는 것은 점토의 조직, 즉 점토 입자들의 배열과 구조가 함수비에 따라 바뀌기 때문이다. 최적함수비를 중심으로 건조측에서 습윤측으로 시료 내 물의 양이 많아질수록 투수계수는 감소하게 된다. 이처럼 투수계수의 문제뿐만 아니라, 본 연구에서는 혼합시 함수비의 변화에 의해 다짐이 불가능한 상태가 되어 방치기간이 예상보다 길어지거나 아예 다짐가능상태에 도달하지 못할 수도 있으므로 주의해야 한다.

## 2. 다짐

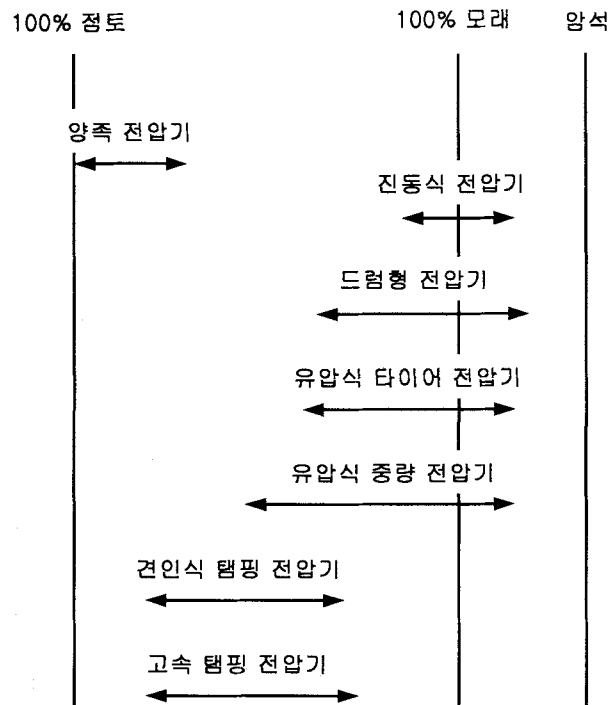


그림 5-2 토질에 따른 가용전압장비의 선택(Caterpillar Tractor Co., 1977)

현장 다짐시 다짐장비의 무게와 다짐회수가 증가할수록 그리고 다짐층의 두께가 작아질수록, 즉 다짐에너지가 커질수록 다짐된 층의 건조밀도는 증가한다. 또한 다짐장비의 전압부위 표면의 형상도 다짐결과에 영향을 준다. 일반적으로 고화처리된 흙을 다지는 경우와 흙만을 다지는 경우 사용되는 장비의 선택기준은 동일하며 대상 흙의 종류에 따라 결정된다. 그림 5-2는 다짐대상의 종류에 따른 사용가능 다짐장비의 선택 예를 나타낸다.

본 연구에서의 경우 처리대상 준설토의 경우 일반적으로 점토의 함량이 높은 경우가 대부분이므로 양족롤러(sheepfoot roller)가 가장 좋을 것으로 판단된다. 또한 차수성이 요구되는 경우 장비의 무게가 영향을 미친다. 따라서 이러한 경우라면 양족롤러와 함께 무거운 전압장비를 조합하는 것이 바람직할 것이다.

또한 다짐층의 두께는 투입되는 다짐에너지에 영향을 미치므로 다짐층의 깊이에 따른 다짐효과를 고려하여 세심하게 결정되어야 하며, 점성토의 경우 1층 다짐의 높이를 다짐전 23cm 이하, 다짐후 15cm 이하가 되도록 하는 것이 일반적인 기준이다.

이외에 다짐에 있어서 다짐장비의 운전속도, 층간 경계면과 시공경계면의 처리 그리고 경사면 다짐 등에 주의가 요망된다.

### 3. 양생과 보호

건조균열이 크게 문제가 되는 경우는 특히 차수성이 필요한 경우에 나타난다. 일반적으로 건조균열은 표면의 건조현상에 의해 발생하므로 표면의 물기를 유지함으로써 막을 수 있다.

고화재 및 개량제로 처리된 다짐층의 건조균열을 방지하는 방법은 흙만을 사용한 경우와 유사하다. 일반적인 양생방법으로 (1) 추가 피복층을 설치하거나 (2) 주기적으로 살수하거나 (3) 양생포 설치후 주기적 살수 등을 통해 다짐층 표면에 습기를 유지하는 것이다. 도로 노반용 성토체의 경우에 역청재로 도포하기도 하는데, 사용되는 양은 특정 재료에 따라 달라지나  $0.7\sim 1.4 \text{ l/m}^2$ 의 범위에 있다. 대부분의 경우 역청재를 도포하기 전에 다짐층표면을 물로 먼저 적시는 것이 일반적이다.

건조균열과 함께 동결/융해의 피해에 대해서도 흙만으로 시공한 경우와 마찬가지로 주의가 요구된다. 특히 시멘트로 고화처리하는 경우 지나치게 낮거나 높은 온도에서는 수화반응에 영향을 미치게 되며, 이는 본 연구에서 제안한 다짐가능상태에 도달하는 시간에 영향을 미치므로 철저한 관리가 요구된다.

## 제 4 절 품질관리에 대한 제언

### 1. 분쇄정도의 평가

고화 및 개량의 대상이 점성토인 경우 혼합전 대상 흙의 분쇄가 매우 중요하다. 특히 혼합 플랜트를 이용하는 경우 사전 분쇄과정을 거치지 않은 점성토가 지반개량제와 고르게 혼합되기는 힘들다.

미국의 포틀랜드 시멘트 협회(PCA, Portland Cement Association)에서는 혼합이 완료되었을 시점에서 혼합된 흙은 4번체(4.75mm)를 80% 이상 통과하여야하며 체 눈이 2.5cm인 체는 100% 통과하여야한다는 기준을 제시하고 있다. 점성토의 분쇄정도의 판단기준으로 분쇄율을 사용한다. 분쇄율은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{분쇄율} = \frac{\text{4번체를 통과한 혼합토의 건조중량}}{\text{4번체에 걸린 자갈을 제외한 전체 샘플의 건조중량}} \times 100 \quad (5-1)$$

분모인 '4번체를 통과한 혼합토의 건조중량'에는 자갈만 제외하고 4번체에 남은 점토 덩어리도 포함된다. 현장에서 신속한 분쇄율의 산정을 위해 시험에 사용된 시료를 건조시키지 않고 물이 포함되어 있는 그대로 측정하기도 한다. 분쇄의 정도는 개별 공사마다 공사 특별시방서에서 지정하는 빈도로 수행하면 되지만, 분쇄율 산정시 양은 현장의 상태를 대표할 만큼 충분해야 한다.

## 2. 고화재의 함량

혼합 플랜트를 사용하면 사용되는 지반개량제의 양을 용이하게 조절할 수 있다. 흙과 지반개량제가 서로 다른 경로로 교반기에 투입되기 때문에 이송용 컨베이어 벨트 단위 길이 당 혹은 단위 혼합 배치 당 필요한 지반개량제의 양을 본시공전에 결정함으로써 정량적인 조절이 가능하다. 그러나 공사 규모가 작고 현장혼합장비로 고화재나 지반개량제를 운반/교반할 경우 현장에서 적용할 수 있는 간이 측정법의 도입이 필요하다.

## 3. 혼합의 균질성

혼합의 균질성은 고화재로 처리된 흙의 강도, 투수특성 등 공학적 특성에 가장 중요한 요소중의 하나이다. 현장에서 혼합된 균질성은 육안관찰로 간단하게 판단할 수 있다. 즉 고화재와 흙이 섞여 그 색깔이 전체적으로 같아질 때까지 혼합을 계속한다.

또는 페놀프탈레인(phenolphthalein,  $C_{20}H_{14}O_4$ )을 지시약으로 하여 시멘트나 시멘트가 주성분인 지반개량제와 흙의 혼합정도를 판단할 수 있다. 방금 다짐이 끝난 성토층의 단면을 잘라 페놀프탈레인 2% 희석액을 뿌린다. 페놀프탈레인은 산 염기로 알칼리성인 지반개량제와 닿아 붉은 색으로 변하지만, 지반개량제가 섞이지 않은 흙에는 색깔이 변하지 않는다는 원리를 이용한 것이다.



## 제 5 절 요약 및 결론

본 장에서는 퇴적물의 고화재의 혼합에 필요한 고화처리플랜트의 개념적 설계와 고화처리의 대상이 되는 퇴적물 및 고화재의 준비와, 다짐 그리고 품질관리 등에 대하여 기술하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

1. 고화처리시 준설 퇴적물과 고화재의 혼합에 있어서 원위치 교반이나 플랜트를 이용한 혼합 모두 가능할 것으로 판단되지만, 원위치 교반의 경우, 고화재의 살포와 혼합에 있어 균질성을 확보하기 위해 세심한 관리가 필요할 것이다. 플랜트 혼합방식의 경우 어떠한 처리 및 활용방법에도 적용이 가능할 것으로 판단된다. 단지 본 연구에서 제안한 방식의 경우 고화재의 혼합후 다짐상태가 될 때까지의 일정 방치기간이 필요하므로 이를 고려하지 않는 경우 혼합토의 방치장소가 필요하다. 이러한 경우, 혼합후 처리 및 활용장소까지의 운반거리와 시간을 고려하여 운반차량대수 및 혼합기대수 등을 배치하면 효율적인 운용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 처리의 대상이 되는 준설토는 특히 점성토의 경우 점토 덩어리의 분쇄와 함수비 관리에 주의가 요망되며, 시공과정에서 일반적인 흙의 다짐성토관리와 마찬가지로 주의가 필요하다.

3. 시공과정에서 적용할 수 있는 품질관리 방안으로 분쇄율을 들 수 있으며, 고화재의 함량과 혼합의 균질성을 판단할 수 있는 방안을 제시하였다.

## 제 6 장 요약 및 결론

### 제 1 장 총론

제 1 장에서는 “농어촌 하천 및 저수지의 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용 공법 연구”의 배경과 연구의 필요성, 연구의 목적 및 범위, 추진방법과 전략 그리고 참여 연구진을 정리하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

1. 농어촌 지역의 저수지와 중·소하천은 각각 관개면적의 약 55%와 30%에 농업용수를 공급하고 있는 용수원이다. 따라서 이들에 기능에 영향을 미치는 퇴적물의 준설 및 처리는 매우 중요하다.
2. 농어촌 하천의 중소하천 및 저수지의 경우 생활 및 농업용수의 공급원으로서의 활용뿐만 아니라 그 자체로 생활환경의 기능을 수행한다. 이러한 농어촌 하천의 환경정비 차원에서도 오염된 퇴적물의 처리 및 재활용에 대한 연구는 그 가치를 지닌다.
3. 이에 농어촌 중·소하천 퇴적물의 현황을 파악하고 이들의 처리 및 재활용에 영향을 미치는 오염정도를 파악하고 이들 퇴적물의 처리 및 재활용을 위한 조사 및 실험을 통하여 실제적인 방안을 제시하는 것을 본 연구의 목적으로 설정하였다.
4. 연구의 추진체계 및 방법을 정리하였으며, 연구의 세부내용을 3개년의 연차별로 요약·정리하였다.
5. 본 연구에 참여할 연구진과 그 주요업무를 요약·정리하였다.

## 제 2 장 퇴적물 현황조사

제 2 장에서는 경기도내 중·소 하천 및 저수지 일부의 퇴적물에 대한 공학적, 화학적 특성에 대하여 분석하고 이들 퇴적물의 오염정도를 지표화하기 위한 연구를 수행하였다. 또한 중·하천에 있어서 퇴적물 준설을 실시하는 경우 준설량을 판단하기 위하여 조사구간을 선정하고 조사방법 및 조사결과를 제시하였다. 본 장의 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 여러 하천 및 저수지 퇴적물에 대한 입도시험을 실시한 결과 유역의 특성 등에 따른 특성을 관측되지 않았으며, 기타 물성치에서 특이사항은 발견되지 않았다. 화학성분에 대한 분석결과 토양 오염물질로 규정된 항목 중에서 6가크롬(Cr+6), PCB, 유기인, 시안(CN)은 검출되지 않았으며, 일부 지역에서 페놀과 TPH가 토양오염 우려기준을 초과하는 것으로 나타났다. 또한 검출되지 않아야 할 BTEX가 검출된 지역이 있어 주의가 필요한 것으로 판단된다.
2. 퇴적물의 활용측면에서 문제가 되는 유기물의 경우 최대 9% 이상의 유기물 함량을 나타내었으므로 성토재료 등으로 활용하고자 하는 경우 대책일 필요한 것으로 나타났다.
3. 토양오염지표를 이용하여 퇴적물의 오염정도를 분석한 결과, 몇몇 시료의 경우 토양오염등급 2, 3등급으로 토양오염의 우려가 있는 것으로 나타났다. 따라서 이들 지역에 있어서 유역의 오염원에 대한 관리 및 하상 퇴적물의 오염정도 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.
4. 본 연구에서 사용한 토양오염지표에서 나아가 농어촌의 지역특성, 생활특성 및 산업특성을 반영하는 보다 합리적인 하천 및 저수지 퇴적물의 오염지표의 개발이 필요할

것이다.

5. 하천 퇴적물 준설량을 판단하기 위하여 조사구간을 선정하였으며, 하천의 원 바닥과 그 상부의 퇴적층을 구분하고 퇴적물에 대한 샘플링을 실시하고 준설량을 산정한 결과, 580m의 시험조사구간에서 10,036.64m<sup>3</sup>의 준설이 필요한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 조사 단면의 불규칙성과 하천선형을 감안하더라도 큰 차이는 없을 것으로 판단된다.

### 제 3 장 준설 퇴적물의 처리 및 재활용 방안 연구

제 3 장에서는 먼저 현재의 준설현황 및 준설 퇴적물의 처리현황에 대하여 고찰하였다. 준설퇴적물의 재활용 또는 사토처리를 위해서는 적정 운반거리 이내에 재활용이 가능한 장소, 즉 재활용에 대한 요구가 있어야 하며, 준설 퇴적물이 요구에 대한 특성을 만족하여야 한다. 만약 그 특성에 부적합한 경우 적절한 처리 방법에 의하여 특성을 변화시키거나 사토처리하게 된다. 본 절에서 언급한 바를 요약하면 다음과 같다.

1. 저수지 준설은 매년 저수용량의 확보를 위하여 대상 저수지를 선정하여 수행되고 있으며, 이로 인하여 상당량의 퇴적물이 준설되고 있다. 이들 준설된 퇴적물은 대부분 사토처리되고 있으며, 일부 활용되는 경우 복토용 또는 골재 및 성토재료로 활용되고 있다.
2. 준설 퇴적물의 객·복토용 재료, 골재 및 도로 성토용 재료로의 활용을 위하여 각 재료의 기준에 대하여 고찰하였다.
3. 본 연구에서 채취한 퇴적물의 처리방안에 대하여 고찰한 결과, 객·복토용 재료로 활용할 경우 pH 및 중금속 기준 등 대부분의 경우에 문제점은 발견되지 않았다. 단지

수는 함량이 대부분 높게 나타나 주의가 요구되며, 유기물 함량이 낮은 경우에는 퇴비나 유기질의 시용 등 토양개량에 대한 적절한 대책의 수립이 요구된다.

4. 골재 및 성토재료로의 활용에 있어 대부분의 퇴적물이 골재 또는 성토재료의 노상, 기층 등에 재료로 활용이 가능할 것으로 나타났다. 단지 모든 재료 기준에 적합할 수는 없으므로 적절한 활용처를 찾거나 특성의 개량이 필요할 것이다.

5. 준설 퇴적물의 처리에 있어서 단순한 사토처리 보다는 어떠한 형태로든 활용이 되도록 하는 것을 기본으로 그 결정에 대한 간략한 지침으로 흐름도를 제시하였다.

## 제 4 장 퇴적물의 고화처리에 관한 연구

제 4 장에서는 고함수비의 준설퇴적물의 처리에 사용되는 고화-안정화 처리의 일반적인 내용을 고찰하고 농촌 중·소하천 및 저수지 준설토에 적합한 고화처리 방법을 선정하였다. 그리고 soil cement의 특성에 대한 개략적인 내용을 정리하고, 고화처리과정을 제시한다. 그리고 제시된 고화처리과정을 거친 고화처리토의 공학적 특성에 대하여 고찰하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 고화제 및 첨가제의 종류와 그 작용기작에 대하여 살펴보았으며, 본 연구에 대상이 되는 농촌 중·소 하천 및 저수지 준설토에 적합한 고화처리 방법으로 기초적이면서 중금속의 처리에 효과적인 시멘트기초법을 선정하고 필요한 경우 첨가제를 추가하는 방법을 선정하였다.

2. 고화처리 프로세스에 대한 연구로서 시멘트를 기초로 준설토를 처리하는 경우 발생하는 수화단계별 상변화와 그에 따른 다짐성의 판단에 대한 연구결과는 다음과 같다.

가. Soil cement의 방치시간에 따른 수화단계와 엑소성 상태 변화를 풀콘시험을 통해 대략적으로 예측할 수 있었으며, soil cement의 다짐가능 상태는 경험적 판단기준에 의해 풀콘 관입량 1mm이하라고 판단되었다.

나. 풀콘 관입량 1mm이하는 수화열이 증가하는 시점(초결)을 지난 직후에 해당하며 이는 유동성이 없어지기 시작한 후 다짐상태에 도달한다는 것을 의미한다.

다. Soil cement의 전단강도가 증가하기 시작하는 시점과 수화열이 증가하기 시작하는 시점은 대략 일치하며, 이 시점을 기준으로 강도증진의 원인이 되는 수화생성물 (C-S-H)이 생성되기 때문이다.

라. 일정한 양의 시멘트에 유기물을 가진 흙을 첨가하면 수화지연효과가 발생하여 초결시간이 지연되고 강도가 늦게 발현된다. 그리고 일정한 양의 흙에 시멘트를 첨가하면 시멘트에 의한 함수비 감소로 초결시간이 감소하는데 이러한 반응 모두 풀콘시험을 통해 확인할 수 있다.

마. 결론적으로 중·소하천 및 저수지 퇴적물을 시멘트를 이용하여 고화처리 하는 경우 수화과정에 따른 soil cement의 상 변화를 풀콘 시험을 통하여 확인할 수 있으며, 이를 이용하여 처리과정에 있어서 soil cement의 다짐성을 판단할 수 있다. 따라서 풀콘시험을 통하여 시멘트의 배합비에 따른 다짐성과 상 변화에 따라 다짐상태에 도달하는 시간을 결정할 수 있다.

3. 준설 퇴적물에 대한 주고화재인 시멘트와 시멘트 배합에 대한 처리프로세스를 발안 저수지와 황구지천에서 채취한 퇴적물에 적용하여 고화처리된 혼합물의 특성에 대하여 고찰하였다. 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

가. 발안저수지와 황구지천에서 채취한 준설퇴적물에 대하여 풀콘시험으로 다짐가능상태에 도달하기 위한 일종의 최소배합비를 산정하고 다짐시험에서 최대단위중량을

얻을 수 있는 최소 배합비를 산정하는 방법으로 시멘트의 적정배합비를 산정하였다.

나. 혼합물에 대한 다짐시험 결과 일정배합비 이상에서는 단위중량의 증가효과가 더 이상 커지지 않는 것으로 나타났다.

다. 혼합물의 강도에 대한 시험 결과, 다짐후 시간의 경과에 따른 강도의 증가는 크게 나

타나지 않았으며, 강도를 증가시키기 위해서는 황산나트륨( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )을 소량 첨가하는 것이 효과가 큰 것으로 나타났다. 또한 생석회와 플라이애쉬를 함께 혼합하는 경우에도 강도증가에 효과가 있는 것으로 나타났다.

라. 투수시험결과 시멘트 배합비가 증가할 수록 투수계수는 감소하는 것으로 나타났으며, 그 효과는 다짐시험과는 달리 시멘트배합비가 증가할수록 투수계수의 감소효과는 계속되었다. 투수계수의 경우에도 일축압축강도와 마찬가지로 다짐후 시간의 경과에 따른 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

마. CBR 시험결과 시멘트 배합후 일정방치시간이 경과한 후 다짐가능 상태에서 다지는 방식으로 시멘트 배합비에 따라서 CBR값이 증가되었다. CBR값은 다짐시험에서 정한 배합비까지 급속하게 증가하고 이후에는 완만한 증가를 보이는 것으로 나타났다.

## 제 5 장 퇴적물 고화처리에 관한 제언

제 5 장에서는 퇴적물의 고화제의 혼합에 필요한 고화처리플랜트의 개념적 설계와 고화처리의 대상이 되는 퇴적물 및 고화제의 준비와, 다짐 그리고 품질관리 등에 대하여

기술하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

1. 고화처리시 준설 퇴적물과 고화재의 혼합에 있어서 원위치 교반이나 플랜트를 이용한 혼합 모두 가능할 것으로 판단되지만, 원위치 교반의 경우, 고화재의 살포와 혼합에 있어 균질성을 확보하기 위해 세심한 관리가 필요할 것이다. 플랜트 혼합방식의 경우 어떠한 처리 및 활용방법에도 적용이 가능할 것으로 판단된다. 단지 본 연구에서 제안한 방식의 경우 고화재의 혼합후 다짐상태가 될 때까지의 일정 방치기간이 필요하므로 이를 고려하지 않는 경우 혼합토의 방치장소가 필요하다. 이러한 경우, 혼합후 처리 및 활용장소까지의 운반거리와 시간을 고려하여 운반차량대수 및 혼합기대수 등을 배치하면 효율적인 운용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 처리의 대상이 되는 준설토는 특히 점성토의 경우 점토 덩어리의 분쇄와 함수비 관리에 주의가 요망되며, 시공과정에서 일반적인 흙의 다짐성토관리와 마찬가지로 주의가 필요하다.

3. 시공과정에서 적용할 수 있는 품질관리 방안으로 분쇄율을 들 수 있으며, 고화재의 함량과 혼합의 균질성을 판단할 수 있는 방안을 제시하였다.



## 참고문헌

1. 김기현, 김세현, 최영천, 1996. 중금속 토양 오염: 한국중부지역의 농경지를 중심으로, 대한자원환경지질학회지, Vol. 29, No. 6, pp. 725~732
2. 김영수 외 1, 토질시험법, 형설출판사
3. 김주용, 정철환, 오강호, 고영구, 문정준, 유경아, 1999. 광주부근 영산강과 광주천의 하상퇴적물의 중금속 오염, 한국지구과학회지, Vol. 20, No. 1, pp. 96~100
4. 김진택, 박승우, 1993. 관개용 저수지의 퇴사량과 포착효율의 추정, 한국수문학회지, Vol. 26, No. 3, pp. 63~74
5. 농림부, 1996. 저수지 준설토의 효율적 활용방안 연구
6. 농림부, 1998. 농어촌지역 소하천의 환경정비기법 개발
7. 농업기반공사, 2000. 농업생산기반정비사업 조사·설계실무편람
8. 박용하, 1996. 중금속 및 비소오염 토양질 평가를 위한 토양오염지표의 고안과 응용 가능성, 한국토양환경학회지, Vol. 1, No. 1, pp. 47~54
9. 박용하, 윤정호, 이승희, 김강석, 1996. 토양오염지표에 의한 국내 토양의 중금속과 비소 오염도 및 향후 전망, 한국토양환경학회지, Vol. 1, No. 1, pp. 55~65
10. 심상철, 토양비료개론, 선진문화사
11. 서울특별시, 1992. 하수슬러지 최종 처리·처분 방안 개선연구
12. 윤연흠, 박돈희, 김용웅, 조완현, 박천영, 윤정환, 2000. 여천공단 주변 토양의 중금속함량에 관한 연구, 대한자원환경지질학회지, Vol. 33, No. 5, pp. 379~389
13. 이광식, 1990. 농업용수 수질오염이 작물에 미치는 영향, 농공기술, 농업진흥공사 농업토목시험연구소, Vol. 7, No. 2, pp. 127~134
14. 이유대, 노영재, 1991. 수영만의 퇴적물 및 중금속 분포에 관한 연구, 한국지구과학회지, Vol. 12, No. 4, pp. 362~370
15. 이평구, 최상훈, 김성환, 윤성택, 2000. 주요산업활동 유형에 따른 서울시 도로변 하수퇴적물의 중금속오염 특성, 한국지하수토양환경학회, 춘계학술발표회논문집, pp.

16. 장인성, 정창모, 임계규, 1999. 토양오염지표에 의한 천안시 토양환경 평가, 한국토양환경학회지, Vol. 4, No. 2, pp. 185~192
17. 정인준, 김명모 역, 토질역학원론, 구미서관
18. 정찬호, 정기영, 2000. 벤토나이트의 중금속 흡착제거에 대한 pH와 지하수 음이온의 영향, 대한자원환경지질학회지, Vol. 33, No. 1, pp. 31~40
19. 장병욱 외 7, 최신토목시공학, 반도출판사
20. 배재근 외 1, 토양오염학, 신광문화사
21. 정하우, 김기성, 도덕현, 이남호, 이정재, 최수명, 황한철, 농촌계획학, 동명사
22. 한국도로공사, 도로설계요령
23. 환경부, 대기오염공정시험방법
24. 환경처, 1994. 환경오염물질의 위험성 확인 및 독성평가에 관한 연구(II), 환경위해성 평가 및 관리기술 보고서, 한국화학연구소
25. ACI Committee 229, Controlled Low Strength Materials(CLSM) ,ACI 229R-94 Report
26. ACI Committee 230(1190), State of the art Report on Soil Cement, ACI Material journal. no.87-M43
27. Adaska A., and others. Second Edition(1998), Solidification /Stabilization of Wastes Using Portland Cement. PCA Publication No.:EB071
28. B.C.Ball(2000), Soil compactibility in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK, soil & Tillage Research 57(2000),83-91
29. B.W.Langan(2002), Effect of silica fume and fly ash on heat of hydration of portland cement, Cement and Concrete Research 32,1045-1051
30. British Standards Institution(1975), Methods of test for soils for civil engineering purpose, BS1377. London; BSI
31. Chen,y.; Odler(1992), I.Cem.Concr.Res, 22, 1130-1140
32. Colin D.Hills(1997), The influence of interference effects on the mechanical,

- microstructural and fixation characteristic of cement -solidified hazardous waste forms, Journal of hazardous Material 52,171-191
33. David J. Hassett and Kurt E.Eylands(1997), Heat of hydration of fly ash as a predictive tool, Fuel Vol.76. No.8, 807-809
  34. EPA, Solidification/Stabilization Resource Guide, www.epa.gov clue-in.org
  35. F.P.Glasser(1997), Fundamental aspects of cement solidification and stabilization, Journal of Hazardous Materials 52, 151-170
  36. G.T.Houlsby,1982, Theoretical analysis of the fall cone test, Geotechnique 32,No.2 ,111-118
  37. Geert De Schutter (1999), Hydration and temperature develop ment of concrete made with blast furnace slag sement, Cement and Concrete Reserach 29,143-149
  38. Hansbo,S(1957), A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall cone test. Proceedings of the Royal Swedish Geotechnical Institute, Stockholm,No.14.
  39. Hiroshi UCHIKAWA(1994), Influence of kind and added timing of organic admixture on the composition, structure and property of fresh cement paste, Cement and Concrete Research, Vol.25, No2, 252-364
  40. J.-N.Diet(1998), Behavior of ordinary Portland cement during the stabilization /solidification of synthetic heavy metal sludge: macroscopic and microscopic aspects, Waste Management 18,17-24
  41. L.Nachbaur(2001), Dynamic mode rheology of cement and tricalcium silicate pastes form mixing to setting, Cement and Concrete Research 31, 183-192
  42. Larry W. Jones, Interference mechnics in waste stabilization /solidification process, U.S.Army Engineer Waterways Experime nt station PO Box 631 Vicksburg, MS 39180-0631
  43. Leslie j. Struble(1995), Rheological Changes Associated with Setting of cement paste, Advanced cement based materials 2, 224-230

44. M.Frias, The pozzolanic activity of different materials, its influence on the hydration heat in mortars, Cement and concrete Research, Vol.26, No.2, 203-213
45. S.valls(2000), Stabilization and solidification of sewage sludges with portland cement. Cement and Concrete Research 30, 1671-1678
46. Serge Leroueil and Jean-Pierre Le Bihan(1996), Liquid limits and fall cones, Can.Geotech.J.33: 793-798
47. Stone,K.J.L. & Phan.K.D(1995), Cone penetration test near the plastic limit. Geotechnique 45, No 1.155-158
48. Stone,K.J.L. (1995), Cone penetration tests near the plastic limit, Geotechnique 45.No.1, 155-158
49. T.KOUMOTO(2000), Theory and practice of the fall cone test, Geotechnique 51.No.8,701-702
50. Wood,D.M. (1985), Some fall cone tests, Geotechnique, 35(1),64-68
51. Yunsheng Zhang(2001), Study on the hydration heat of binder paste in high-performance concrete, Cement and Concrete Research 32, 1483-1488
52. Yunsheng Zhansg(2002), Study on the hydration heat of binder paste in high-performance concrete, Cement and Concrete Research 32.1483-1488
53. M.A.Gab(2000), Controlled low-strength material fly ash and AMD sludge, Journal of Hazardous Material 76.251-263