



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2015年 8月

박사학위논문

# 식생토 활용을 위한 준설토의 식물생장 특성

조선대학교 대학원

토목공학과

김문채

# 식생토 활용을 위한 준설토의 식물생장 특성

**Characteristics of Growth of Plants in Dredged Soils for Use of  
Vegetation Soils**

2015년 8월 25일

조선대학교대학원

토목공학과

김문채

# 식생토 활용을 위한 준설토의 식물생장 특성

지도교수 김 대 현

이 논문을 공학박사학위신청 논문으로 제출함

2015년 4월

조선대학교 대학원

토 목 공 학 과

김 문 채

## 김문채의 박사학위논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 박 길 현 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 운 중 (인)

위 원 조선대학교 교수 박 정 응 (인)

위 원 전남대학교 교수 김 영 상 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 대 현 (인)

2015년 6월

조선대학교 대학원

# 목 차

## ABSTRACT

제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구배경 및 목적 .....	1
1.2 국내·외 연구 동향 .....	3
1.2.1 국내 연구 동향 .....	3
1.2.2 국외 연구 동향 .....	8
1.3 연구방법 및 범위 .....	12
제 2 장 준설토 활용 .....	14
2.1 국내 준설토의 발생 및 처리 현황 .....	14
2.2 준설토 오염현황 조사 .....	19
2.3 준설토 활용 환경기준 .....	23
2.4 준설토 유효활용 .....	27
제 3 장 실내실험 및 결과 .....	30
3.1 실험에 사용된 식물의 선정 .....	30
3.1.1 실험에 사용된 식물 선정시 고려사항 .....	31
3.1.2 적정 식물 선정 .....	33
3.2 실험재료의 특성 .....	34
3.2.1 준설토 .....	34
3.2.2 산 흙(황토) .....	40

3.2.3 Bio개량제 .....	42
3.2.4 톱밥비료 .....	44
3.2.5 커피슬러지 .....	45
3.3 실내실험에 사용된 시료의 물리적 특성 .....	47
3.4 실내실험 및 결과 .....	50
3.4.1 Bio개량제 1차실험 .....	50
3.4.2 Bio개량제 1차실험결과 .....	53
3.4.3 Bio개량제 추가 2차실험 .....	65
3.4.4 Bio개량제 추가 2차실험결과 .....	69
3.4.5 준설토 및 개량제 종류에 따른 3차실험 .....	80
3.4.6 준설토 및 개량제 종류에 따른 3차실험결과 .....	83
3.4.7 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 4차실험 .....	105
3.4.8 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 4차실험결과 .....	109
제 4 장 현장시험시공 및 결과 .....	115
4.1 현장시험시공 준비 .....	115
4.2 현장시험시공 .....	116
4.2.1 1번 시공대상지 .....	116
4.2.2 2번 시공대상지 .....	118
4.2.3 3번 시공대상지 .....	119
4.3 현장시험시공 진행 .....	120
4.4 현장모니터링 .....	123
4.4.1 1차 발아율 측정(시공 후 14일) .....	123
4.4.2 2차 발아율 측정(시공 후 30일) .....	125
4.4.3 3차 발아율 측정(시공 후 60일) .....	129

4.4.4 4차 발아율 측정(시공 후 180일) .....	131
4.5 현장시험시공 결과 .....	133
4.5.1 발아율 및 피복률 .....	133
4.5.2 처리구별 중량측정 .....	135
4.5.3 이화학분석결과 .....	136
제 5 장 결 론 .....	138
참고문헌 .....	140



## 표 목 차

표 1.1 국내 준설토 현황 .....	3
표 1.2 국외 준설토 현황 .....	8
표 1.3 국외 준설토 사례 .....	10
표 2.1 전국 지방청별 준설토 실적 .....	15
표 2.2 준설토 처리 및 활용 실적 .....	16
표 2.3 준설토방식에 따른 향후 발생예상 준설토량 .....	17
표 2.4 준설토 처리방법에 따른 발생 준설토량 .....	18
표 2.5 준설토 유기물 함유량 조사결과 .....	19
표 2.6 준설토 유기오염물질(COD) 용출률 조사결과 .....	20
표 2.7 항만별 준설토의 중금속 및 유해물질 조사결과 .....	22
표 2.8 분류된 외국 기준 .....	23
표 2.9 토양오염 우려기준 .....	24
표 2.10 준설토 해양배출처리기준 .....	25
표 2.11 오염퇴적물 정화기준 .....	26
표 2.12 준설토의 용도별 유효활용기술 .....	28
표 2.13 준설토의 구성물질에 따른 유효활용 .....	29
표 3.1 준설토 방치 기간 및 위치 .....	34
표 3.2 각 지역별 준설토의 이화학 특성 .....	37
표 3.3 군산 새만금 내 준설토의 토양오염 분석결과 .....	39
표 3.4 산 흙의 물리적 특성 .....	41
표 3.5 커피슬러지의 이화학 특성 .....	46
표 3.6 각 지역 준설토의 물리적 특성 .....	49
표 3.7 Bio개량제 1차실험 배합비 .....	52
표 3.8 Bio개량제 추가 2차실험 배합비 .....	68
표 3.9 준설토 및 개량제 종류에 따른 3차실험 배합비 .....	82
표 3.10 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 4차실험 배합비 .....	108
표 3.11 준설토 개량제 실험 후 군산 C시료 이화학 분석 결과 .....	113

표 4.1 현장 시험시공 후 이화학분석 결과 ..... 136

## 그 립 목 차

그림 1.1 실내실험을 위한 바다 준설토 채취 지점 .....	13
그림 3.1 각 지역별 바다 준설토 채취 모습 .....	36
그림 3.2 산 흙 .....	41
그림 3.3 Bio개량제 .....	42
그림 3.4 톱밥비료 .....	44
그림 3.5 커피슬러지 .....	45
그림 3.6 군산 준설토 입도분포곡선 .....	48
그림 3.7 인천 및 광양 준설토 입도분포곡선 .....	48
그림 3.8 Bio개량제 실험 전경 .....	51
그림 3.9 산 흙 pH 측정 결과 .....	53
그림 3.10 군산 A시료 pH 측정 결과 .....	55
그림 3.11 군산 C시료 pH 측정 결과 .....	57
그림 3.12 군산 D시료 pH 측정 결과 .....	59
그림 3.13 군산 시료 잔디 발아율 측정 결과 .....	62
그림 3.14 Bio개량제 처리에 따른 잔디의 발아율 비교 .....	64
그림 3.15 Bio개량제 추가 실험 전경 .....	67
그림 3.16 군산 A시료 발아율 측정 결과 .....	72
그림 3.17 군산 C시료 발아율 측정 결과 .....	75
그림 3.18 군산 D시료 발아율 측정 결과 .....	78
그림 3.19 준설토 시료에 따른 벼 발아율 비교 .....	79
그림 3.20 준설토 및 개량제 종류에 따른 실험 전경 .....	82
그림 3.21 군산 C시료 발아율 측정 결과 .....	85
그림 3.22 군산 D시료 발아율 측정 결과 .....	88
그림 3.23 군산 현장 시료 발아율 측정 결과 .....	91
그림 3.24 인천시료 발아율 측정 결과 .....	94
그림 3.25 준설토 시료에 따른 잔디 발아율 측정 결과 .....	97
그림 3.26 군산 C시료 식물의 증량 측정 결과 .....	99

그림 3.27	군산 D시료 식물의 중량 측정 결과 .....	101
그림 3.28	최대 생장길이 측정 결과 .....	104
그림 3.29	커피슬러지 개량제 첨가에 따른 실험 전경 .....	107
그림 3.30	커피슬러지 배합비에 따른 pH 측정 결과 .....	109
그림 3.31	커피슬러지 개량제 첨가에 따른 발아율 측정 결과 .....	111
그림 3.32	커피슬러지 개량제 첨가에 따른 잔디 발아율 비교 .....	112
그림 3.33	처리구에 따른 이화학특성 개선 효과 비교 .....	114
그림 4.1	현장시험시공 대상지 전경 .....	116
그림 4.2	현장시험시공 1번 대상지 .....	117
그림 4.3	현장시험시공 2번 대상지 .....	118
그림 4.4	현장시험시공 3번 대상지 .....	119
그림 4.5	현장시험시공 면정리 .....	120
그림 4.6	현장시험시공 전경 .....	122
그림 4.7	1차 발아율 측정결과 .....	124
그림 4.8	시공 후 21일 제설작업 재실시 후 전경 .....	126
그림 4.9	2차 잔디 발아율 측정결과 .....	128
그림 4.10	3차 잔디 발아율 측정결과 .....	130
그림 4.11	4차 잔디 발아율 측정결과 .....	132
그림 4.12	사면 잔디 피복률 측정결과 .....	134
그림 4.13	사면 잔디 중량 측정결과 .....	135

## ABSTRACT

### Characteristics of Growth of Plants in Dredged Soils for Use of Vegetation Soils

Kim, Moon Chae

Advisor : Prof. Kim, Daehyeon, Ph. D.

Department of Civil Engineering

Graduate School of Chosun University

At present, most dredged soil is dumped simply in large dumping areas and buried. Dumping and burying dredged soil has diverse effects, for example, damaging the coastal environment, devastating fishing spots, and destroying sandbars. Also, because heavy metals in the dredged soil can cause secondary pollution, it is necessary to positively recycle the dredged soil. To positively respond to the international regulations for the marine environment, for example, the London Convention(1972) and the Kyoto Protocol(1996), it is also necessary to secure technology for recycling dredged soil. The technology for recycling dredged soil can contribute to preventing environmental pollution and saving national budgets.

The method for making the Goosan Saemangeum reclaimed land is to bury dredged soil, make embankments covered with mountain soil as thick as 30 cm and create a vegetation base in the area of approximately 40,000 ha. However, heavy equipment is used to excavate, transport and lay the mountain soil to cause environmental issues and expenses. The 'Master Plan for Conservation of Topsoil' announced by the MOE(Ministry Of Environment) in 2012 aims to positively conserve soil, making it difficult to excavate mountain soil.

Therefore, the objectives of this study are described below.

Collect a typical type of dredged soil in Goonsan, Incheon and Gwangyang to analyze the physical and physico-chemical properties thereof, and evaluate the effect of physico-chemical improvement depending on improvers (Bio, AC (amino acid), sawdust fertilizer, and coffee sludge) through laboratory experiments.

Mix the collected dredged soil with typical improvers (Bio, AC, sawdust fertilizer) in given ratios to sow, and then analyze the germination rate of areas treated and not treated with the improvers  $\{(the\ maximum\ number\ of\ germinated\ seeds) / (the\ number\ of\ initial\ sowed\ seeds) \times 100\}$  and the growth rate (the maximum weight of plants), and the economic efficiency of the typical improvers.

Mix coffee sludge with typical improvers (AC, sawdust fertilizer) in a given ratio and then sow in the mixture. Analyze the germination rate of areas treated and not treated with the improvers, and the optimized mixing ratio of coffee sludge.

Apply the seed spray technique for the in-situ experiment in Goonsan Saemangeum (about 284m<sup>2</sup> of total area, in which there are two sites of a planar area 10 m × 10 m, and the slope is L21 m × H4 m, Select a 1:1 slope to carry out in-situ experiment) to make a biological environment material that can be used for stabilizing slopes in the civil engineering sites and developing marine spaces as a vegetation base treated at the site with improvers and planted with seeds. The aim is to evaluate the effect of the dredged soil treated with improvers for a vegetation base.

The analysis of physical properties about the exemplary dredged soil samples taken from Goonsan, Incheon and Gwangyang reveals that the Goonsan soil is SM sample, the Incheon soil is CL-ML sample, and the Gwangyang soil is ML sample in the USCS(Unified Soil Classification System classification). The analysis of physicochemical properties following treatment with improvers reveals that the SM

sample which allows easy water sprinkling demonstrates high improvement. Therefore, this suggests that the most effective technique is water sprinkling for the SM sample.

The laboratory test for improving dredged soil as vegetation soil reveals the highest growth rate is shown in 6% of bio improver and 6% of sawdust fertilizer. This suggests that the sawdust fertilizer is a good improver for improving dredged soil as vegetation soil. The sawdust fertilizer costs about 40 times less in terms of economy. The test of adding the improver of coffee sludge which is general waste reveals weak acidity and porosity of coffee sludge contributes to lowering pH. Because of rich organic matters in the coffee sludge, the highest germination rate is obtained in sawdust fertilizer 6% and coffee sludge 8% to improve dredged soil as vegetation soil.

The in-situ test by spraying was carried out. In the fourth measurement (180th day), the covering ratio by no treatment was 65%, and at least 95% by treatment with coffee sludge for slopes. This suggests that coffee sludge used in the field is an effective soil improver for improving dredged soil as vegetation soil physically and physicochemically.

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸인 지리적 요건으로 인해 연안 및 해양 개발에 대한 관심이 항상 집중되고 있으며, 인구밀도가 높고 국토의 70%가 산지로 구성되어 있어 국토의 효율적 이용과 국토 면적의 확장이 필수적이다. 좁은 국토에서 토지 확보를 위한 노력은 앞으로도 매립지 간척 가능 면적이 60만 ha에 달해 지속적으로 이루어질 것으로 보고되고 있다(변재경, 2002). 이러한 임해매립지는 지반을 높이고 매립하기 위하여 많은 양의 토양이 필요하고, 매립토양은 해저에서 준설했던 모래, 미사, 점질 토양, 육지의 구릉지 및 산비탈을 절토한 토양, 건설잔토, 생활 및 산업폐기물 등으로 구성된다. 특히, 군산 새만금 간척지, 인천 송도신도시, 영종도 신공항 등은 바다 준설토를 펌프준설을 통하여 매립한 지역이다.

앞으로도 매립토양은 임해매립지 외에도 여러 방면에서 필요할 것이나, 현재 외부에서 반입되는 산 흙, 준설토 등을 식생토에 사용하기도 한다. 식생토에 조성되는 외부반입토양은 반입하는 토취, 운반, 포설 과정에서 중장비를 이용함으로써 환경적 문제가 발생하고, 토양 확보 시 보상비 등 간접비용이 증가함으로써 토양 확보가 점차 어려워지고 있어, 무리하게 토양을 확보하여 2차적인 환경훼손의 우려가 높다(양재의 등, 2007). 또한 정부에서는 토양을 단순히 ‘흙’이 아닌 ‘질 높은 자원’으로 인식하여 2012년 환경부에서 발표한 ‘표토보전 종합계획’으로 토양의 적극적 보전 사업을 실시하여 산지 토양의 굴취가 어렵게 되었다(환경부, 2013).

토양은 오염물질 정화기능, 대기온도 등의 물질 조절 기능, 수자원 저수 및 홍수 조절 기능, 생활공간 및 환경서비스 기능인 공공적 기능 등을 가지고 있으며, 또한 유기물, 미생물이 풍부해 오염물질 정화, 탄소저장, 대기 냉각 등 물질순환과 유한한 자원이라는 인식을 가지게 되면서 앞으로 임해매립지, 택지 개발, 폐광지 등을 복원하기 위한 공사에 있어 외부반입토의 복토 외 대안이 반드시 필요하다. 이러한 외부토양 반입의 문제점과 어려움 등으로 매립토양 확보에 대한 대책을 마련해야 하는 바, 이에 대처 가능한 자원으로 바다와 강의 퇴적토와 준설토 등을 사용할 수 있다(김정호, 2014).

우리나라의 경우 1960년대부터 대한준설통사가 설립되어 홍수통제, 하천정비, 댐 유지관리, 수로 및 항로의 유지, 간척사업, 저수지의 저수용량 확보, 건설용 골재채취 및



수질개선의 목적으로 하천 및 항만 정비 사업(권영택, 2004)으로 하상토의 준설이 실시되었다. 저수지 및 하천에서 발생하는 준설토를 하천 주변에 임시 적치장을 설치하여 쌓아두었으며 일부 준설토 양은 해양 폐기물로 규정되어 연안투기장에 매립되거나 외해투기로 처리되고 있다. 그러나 2005년에는 관련법 개정을 통해 해양환경 보전을 저해하지 아니하는 범위 내에서 인공습지 조성 등 자연 환경 보전공사에 활용하거나 경량혼합토로 재활용 하도록 하여 그 활용처가 다양해졌다(박준범 등, 2011).

통계청(2012)에 따르면 준설토의 발생량은 1998년부터 조사되었으며 2000년 약 2,500만 $m^3$ 의 준설토를 처리하기 위해 1,800억 원의 처리 비용이 들었고, 2003년 약 4,000만 $m^3$ 의 준설토를 처리하기 위해서 약 2,200억 원의 처리 비용이 들었다. 최근 2012년의 경우 준설토의 발생량은 4,500만 $m^3$ 으로 처리비용은 2,400억 원 정도의 처리비용이 들어감에 따라 준설토의 양과 처리비용은 해마다 꾸준히 상승, 유지하는 추세를 나타냈다.

해양수산부(2007)에서 고시한 “준설토사 처리 및 유효활용”에 의거하여 다량의 준설토가 계속해서 발생될 것으로 예상된다. 현재 준설토 처리는 대부분 대규모 투기장에 단순투기 및 매립에만 의존하고 있는 실정이다. 준설토의 단순 투기 및 매립은 연안환경 피해, 어장의 황폐화 및 갯벌의 파괴 등 다양한 악영향을 미칠 뿐 아니라 오염된 준설토의 경우 중금속 용출 등으로 인한 2차 오염을 유발 할 수 있으므로 준설토의 적극적인 재활용이 필요한 실정이다. 또한 런던협약(1972)과 교토의정서(1996)와 같은 국제 해양환경규제에 능동적인 대체를 위해서도 준설토의 재활용 기술 확보가 시급하다.

또한 군산 새만금 간척지를 조성하기 위해 준설토를 매립하고 제방을 만들어 그 위에 산 흙 30cm를 복토하여 약 4만ha에 해당하는 면적에 식생토를 조성하는 방안을 시행하고 있으나, 산 흙의 경우 토취, 운반, 포설 과정에서 중장비를 이용함으로써 환경적 문제와 비용이 발생하며, 2012년 환경부에서 발표한 ‘표토보전 종합계획’으로 토양의 적극적 보전 사업을 실시하여 산지 토양의 굴취가 어렵게 되었다.

준설토 재활용에 대한 사회적 요구와 효율적인 사용을 위해 본 연구의 목적은 다음과 같다. 식생토로 사용할 수 없는 준설토를 개량[Bio, AC(아미노산), 톱밥비료, 커피슬러지] 처리하여 식생이 가능한 식생토로써 토목현장의 사면안정화 및 해양공간개발에 사용이 가능한 생태 환경형 재료를 개발하는 것이다.

이에 실내실험을 통한 식생배합 결정, 준설토의 이화학특성을 개선, 최적의 식생토 활용 연구를 수행하여 현장시험시공을 통하여 실제 적용가능성을 확인함으로써 준설토를 식생토로 재활용할 수 있는 공법을 개발하고자 하였다.

## 1.2 국내·외 연구 동향

### 1.2.1 국내 연구 동향

먼저 국내 준설토 현황을 살펴보게 되면 표 1.1과 같이 투기장 투기는 80%, 외해투기 9%로 배후부지 매립 등 기타 10%만이 활용되고 있어, 활용률이 극히 낮은 수치를 나타냈다.

표 1.1은 국내 준설토 발생현황을 나타낸 것이다.

표 1.1 국내 준설토 현황(해양수산부, 2007)

년 도	발생량(m <sup>3</sup> )		구 성 비(%)	
2000	25,125,900		8.98	
2001	30,057,600		10.75	
2002	62,198,900		22.24	
2003	48,240,100		17.61	
2004	65,292,400		23.35	
2005-2006	47,827,400		17.08	
계	279,742,300		100.00	
평 균	46,382,980			
구 분	준설토 처리 및 활용 실적			
	계(m <sup>3</sup> )	투기장(m <sup>3</sup> )	외해투기(m <sup>3</sup> )	기타(m <sup>3</sup> )
전국 합계 (14개 항만청)	279,742,352 (100%)	226,512,262 (80.97%)	25,133,375 (8.99%)	28,096,715 (10.04%)

국내에서 준설토를 이용하여 식생토를 조성하는 연구는 임해매립지에서 식생토 조성을 위한 토양 특성에 관한 연구로 식생복원에 대한 연구(구본학, 2000), 인천국제공항 수목식재시험(안봉원, 1998), 경기도 평택지방에서 임해매립지 수목활착율(변재경 등, 2000), 광양만 임해매립지에서 식생토별 곰솔의 연륜 생장 특성 분석(김도균 등, 2002), 광양제철소 임해 매립지의 수목 고사율(박현수 등, 2003), 한국 중부권과 남부권에서 임해매립지 식생토별 조경 수목의 피해 현황 및 요인 분석(최일홍 등, 2002) 등이 있다. 이러한 준설토를 활용한 식생토 조성을 통한 사례들은 토양 이화학특성이 양호한 토양에 대한 연구이며 현장의 바다 준설토 등을 이용한 식생토를 조성한 연구는 실행되지 않았다.

김동욱(2008), 배수연(2005), 윤길림과 조홍연(2002)이 하수 준설토 및 해양 준설토 유해성을 분석하고 재활용 방안에 대한 연구를 수행한 바 있으며, 류성훈(2010), 정직영(2009)은 염생식물을 이용하여 메조코즘(실내실험과 현장실험의 중간단계)의 서식안정성 평가를 수행하고 식생으로 준설토 이용에 관한 연구를 수행하였다.

류성훈(2010)이 염생식물 메조코즘의 준설토를 이용한 인공 염습지를 조성하여 염생식물의 특성과 식물생장에 영향을 미치는 요인을 조사하였다.

3개의 메조코즘은 A, B, C로 구분되어 설치하였는데 퇴적층의 일정한 두께와 형태를 유지하기 위해 L59cm x W42.5cm x H33.5cm의 아크릴 박스에 30cm의 퇴적층을 두어 A에는 7월말에 파종하여 40일간 통통마디를 식재한 갯벌토로 조성, B는 울산 신항에서 채취한 준설토로만 채웠으며, 식생에 의한 정화효과를 다른 탱크와 비교하기 위해 식재 하지 않았으며, C는 7월말에 파종하여 40일간 안정화된 통통마디를 식재한 준설토를 사용하여 조성하였다. 해수는 3시간동안 10cm 높이로 침수되도록 조성하였다.

실험결과, 수온의 변화는 없으나 염분의 경우 모든 메조코즘에서 초기값에 비해 높은 염분 값을 나타내었다. 또한 A와 C에서 식재한 통통마디의 줄기의 길이는 A의 경우 1개월 후 식재 당시의 평균 줄기에 비해 줄기의 길이가 0.6cm 성장했으며, C의 경우 식재 시 평균 줄기의 길이가 0.3cm 성장함을 확인하였다. 본 실험을 통해 준설토 재활용하여 해양환경의 복원이라는 문제점에 대한 대안을 제시하였다.

이미지 등(2014)의 경우 고화준설토의 역학적 특성과 식생 발아 특성을 비교·분석하기 위해 준설토와 화강풍화토를 1:1의 무게비로 혼합한 시료에 고화제를 첨가하여 시료를 제작하고, 역학적 실험과 배합조건에 따른 식생 발아, 중금속 용출 실험을 수행하였다.

실험결과, 준설토가 고화준설토 보다 더 높은 중금속 용출량을 나타내었는데 이는 고화제의 고결화 반응으로 중금속 용출이 저감되었기 때문이고, 고화준설토는 먹는 물의

수질기준, 수질오염물질의 배출허용기준을 만족하였다. 또한 식생 발아 실험 결과, 고화제 함량이 3, 6, 9%로 증가할수록 통통마디의 발아율은 50%씩 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 고화준설토의 pH 범위가 8~11로 증가하여 발아율이 감소하는 것을 확인하였다.

김정호(2014)는 토양개량제 처리에 의한 퇴적토와 준설토의 식물 생육 개선 효과에 대한 연구를 수행하고자 강(호수) 퇴적토, 강(호수) 준설토, 바다 퇴적토, 바다 준설토로 구분하여 각 시료의 이화학 성질을 분석하였고, 그에 따른 적합한 개량 방안 및 식생토 조성 방안을 연구하였다.

토양개량제로는 유기물, 석고 혼합물, 제오라이트 등의 개량물질을 일정 비율로 혼합하여 한라유채와 한국산 겉보리 종자를 사용하였다. 실험결과, 불용토양을 식재용 토양으로 활용하기 위해 개량물질을 이용하여 토양개량제를 제조하였고, 제조된 토양개량제를 상기 불용토양에 혼합함으로써 토양의 이화학성 개선, 중금속 불용화 및 식물의 생육 개선 효과를 확인하였다. 또한 대상지 주변 환경을 고려한 토양개량제의 합리적인 적용의 기준을 제시함으로써 사용되지 못하고 버려지는 강, 바다 퇴적토 및 준설토를 개량하여 재활용함으로써 환경을 보존하면서도 비용 절감의 경제적인 효과를 얻을 수 있었다.

식생토를 활용하기 위한 선행연구를 살펴보면, 대부분 준설토를 활용하여 염습지를 조성하고 식물의 기준을 염생식물로 제한적이므로 일반 육상식물의 적용 시 식생에 대한 신뢰도가 떨어지는 문제점이 있었다. 최근 김정호(2014)는 육상식물에 관심을 갖고 보리와 유채를 사용하여 준설토의 육상식물을 적용한 연구를 하였으나 이 또한 육상식물의 제한된 개체수와 실내실험이 주를 이루어 현장 적용에 대한 신뢰도의 문제점이 제기되었다.

따라서 본 연구에서는 현장에서 개량 및 사용이 가능하며, 일반 육상식물의 적용이 가능하도록 식생토로 처리된 준설토를 개발하여 실내실험과 현장실험을 수행함으로써 적용성을 평가하고자 하였다.

식물이 생육하기에 적합한 환경과 요소들을 제공해주어야 식물은 원활한 생육을 할 수 있다. 식물의 생육에 영향을 미치는 환경요인은 pH(수소이온농도), 유효인산, 화학적 산소 요구량(Chemical Oxygen Demand, COD) 등이며 기타 수온과 전기전도도(Electrical Conductivity, EC), 총질소량(Total Nitrogen, T-N), 총인(Total Phosphorus, T-P) 등이 있는데 토양의 경우 수분공급이 원활하며 뿌리가 내릴 수 있는 18~23cm 정도의 경도를 갖고 있는 토양이 제공되는 곳이면 식물이 생육하기에 적합한 곳이라고

할 수 있다(국토해양부, 2009).

토양은 식물의 생육에 가장 중요한 요소로써 뿌리에 의해 기계적으로 지상의 생물을 지탱해 주며 육상에서는 물과 양분의 공급원이 된다. 토양의 물리적 성질은 화학적 성질 및 미생물적 성질과 더불어 토양의 생성이나 분류 및 이용성과 직접적인 관계가 있다.

이경보 등(2003)은 토양의 물리적 조성인 토성은 통기성(직물, 편물 사이의 공간에서 공기가 유통하는 현상), 보수력(수분을 보유하는 힘), 공극량, 양분흡수능력, 수분함량, 점착력 등을 결정함으로서 식물생육에 영향을 미친다고 하였다.

토양은 기후, 지형, 식생, 시간, 수질, 인위적 간섭 등의 총체적인 산물로서 구성된 것이기 때문에 토양환경을 조사하면 그 지역의 식생의 특성을 이해할 수 있다. 일반적인 식물은 선행된 연구의 결과에 따라 통기성과 보수력 등이 우수하고 수분함량과 함유된 유기물의 정도가 생육에 영향을 미치지만 토양의 상태가 기준보다 불량한 곳이라면 일반적인 식물을 식재하였을 때 양호한 식생군락을 형성하기 어려울 것이다. 따라서 토양의 특징에 따라 생육하는 식물의 종류가 변화 되어야 한다고 하였다.

권병선 등(2003)은 일반적으로 토양의 NaCl농도가 높으면 식물의 생육이 저하된다. 대부분의 신 간척지토양은 점토함량이 적고 미사 함량이 많으며 Na함량이 높기 때문에 염분에 강한 특징을 가진 염생식물(소금기가 많은 땅에서 자라는 식물로 바닷가와 내륙에서는 염분이 있는 지대에서 자라는 식물) 위주로 식재를 해야 하고 입자가 큰 자갈이나 모래로 구성되어있어 공극이 크기 때문에 건조한 토양에서는 건조한 조건에서도 생육이 가능한 건생식물 위주의 식재를 실시하여야 한다고 하였다.

식물 생육에 적합한 토양에 관한 선행연구를 살펴보면, 토양의 성분에 따라 식물 종을 선택하는 것은 훼손지를 복원한 후, 차후에 복원의 질과 주변 환경과의 조화 및 경관의 품질을 결정짓는 중요한 요소이기 때문에 매우 중요하다고 할 수 있다. 또한, 준설토의 활용을 식물의 생육에 영향을 미치는 이화학적 요인이 개량제를 통해 개선되는 것이 중요한 요소이다.

커피슬러지에 대한 선행연구 또한 기초 연구단계에 있다. 국내에서 이광연 등(2011)은 부산인산석고(공장의 탈황 과정에서 부산물로 생성되는 석고)와 활성화 된 커피슬러지와 하수슬러지를 활용하여 인공복토재로 활용하는 방안에 대하여 연구하였다.

김태은(2010)은 광미(슬래그 철을 제련하는 제철 과정에서 발생하는 찌꺼기)와 커피슬러지를 이용한 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs) 흡착제 제조에 관한 연구에서 광미와 커피슬러지 하수슬러지의 적절한 배합을 통한 흡착제를 제조

하여 VOCs에 관한 적절한 흡착조건을 수립하였고, 광미의 부족한 탄소원을 커피슬러지 내에 포함된 고정탄소량을 활용하였다.

김동희 등(2008)은 커피슬러지를 이용한 활성탄 제조에 관한 연구에서 커피슬러지를 활용하여 커피활성탄(Activated Coffee Char)를 제조하여 물리적인 흡착분석을 분석하고 높은 비표면적을 갖고 있는 활성탄을 제조할 수 있는 우수한 재활용 자원으로 평가되었다.

이처럼 다공성구조를 가지고 있는 커피슬러지를 활용한 흡착연구가 계속적으로 진행되고 있으며, 화학적 활성화 과정을 통하여 비표면적을 늘리고 중금속 문제를 해결할 수 있었다.

커피슬러지를 이용한 식생방안의 선행연구는 아직까지 개발되지 않은 연구부분으로서 대부분의 선행연구는 커피활성탄 목적으로 오염된 재료의 물리적인 흡착을 통해 환경적인 요인을 개선하는 목적으로만 사용되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구와는 달리 커피슬러지에 포함되어있는 유기물과 낮은 pH를 가진 특징을 이용하여 준설토의 이화학특성을 개량하고 흡착을 통한 염분 및 중금속을 제거함으로써 무처리와 비교하여 발아 및 생장의 효과를 확인하고자 하였다. 일반 폐기물로 버려지는 커피슬러지와 재활용률이 낮은 준설토를 혼합하여 사용함으로써 식생토로 처리된 준설토가 식물생장에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

## 1.2.2 국외 연구 동향

국외 준설토의 현황을 살펴보면 해안 및 외해투기는 60%에 불과하며 내륙의 육지 및 습지에 활용되는 비율이 약 37%로 국내에 비해 준설토 활용률이 약 20%이상 높은 수치를 나타냈다. 다음 표 1.2는 국외 준설토 현황이다.

**표 1.2 국외 준설토 현황(해양수산부, 2007)**

권역	준설토 처리방법(천m <sup>3</sup> )				합계(%)
	육상	습지	해안	외해	
북유럽	39,196	59,520	42,936	62,044	233,108(22)
지중해	-	13,774	15,001	664	29,439(3)
아프리카	-	152,942	76,471	25,549	254,962(24)
남아시아	62,484	11,197	121,831	89,149	284,661(26)
남동아시아	-	3,078	3,698	15,190	21,966(2)
동아시아	5,783	32,220	102,451	4,323	144,777(13)
남태평양	3,972	2,687	26,335	32,588	65,582(6)
북아메리카	6,012	9,696	8,459	16,549	40,875(4)
카리브	820	646	-	2,484	3,950(0)
합계	118,267 (10.96)	285,760 (26.48)	397,182 (36.80)	248,540 (23.03)	1,079,320(100)

국외에서는 주거지역에 산재되어 있는 공장들을 해안에 인접한 곳으로 이전, 환경오염문제 해결과 생활여건을 개선하고자 임해매립지를 조성하여 바닷가에 공장들을 집단적으로 조성하는 시책들을 시행하고 있는데, 유럽에서는 준설토량의 약 55%가 육상의 객토와 복토, 습지조성, 기타재활용 등으로 재활용 된다. 또한, 일본에서는 동경만 일대, 효고현 등의 임해매립지에 공장, 도시건설 및 대단위 자연공원을 조성하는 등 이미 60년대부터 인공지반의 녹화, 사면녹화, 오염지의 녹화, 답압지의 녹화 및 임해매립지, 저습매립지 등 특수토양 녹화기술에 관한 연구를 수행해 왔다(박준범 등 2011).

Mulligan et al.(2001)은 준설토의 중금속 개선에 대한 평가 기술에 대하여 연구를 수행하였으며 개선에 대한 기술로 전처리, 물리적 분리, 열처리, 생물학적 오염 제거, 고행처리 후 세척 등에 대하여 기술하였다. 검토결과, 고행처리 후 세척은 안정적이지만 상당한 모니터링과 유기물 효율을 감소되는 문제점과 열처리의 경우 휘발성 금속만 제거되고 비용이 높았다. 생물학적 처리는 잠재력이 있고 비용도 저렴하다고 발표하였다.

Teal and Weishar(2005)는 텔러웨어 만 해변 복원을 위한 생태공학적인 적합한 관리 및 복원 관리 방법에 대하여 연구를 수행하였으며, 설계 및 공사는 생태공학적인, 기본 단계를 설정하여 자연생태계 기능을 수행하였고 복원의 설계는 Mitsch, 1996을 수행하여 복원관리 방법을 개발하였다.

Ruiz Diaz et al.(2010)은 비료와 준설토를 혼합하여 금속생물 농축 및 식물 성장 분석에 대한 연구를 수행하였으며, 준설토 및 비료는 식물의 생장이 가능하나 생물체 내에 미량 금속이 축적되어 독성작용의 위험 문제가 남아있다고 하였다. 또한 일리노이 강과 시카고 메트로폴리탄 지구에서 준설토 퇴적물을 사용하였으며 실험 결과, 준설토와 비료의 혼합비율은 준설토 부피에 7:3, 8:2가 적합한 것으로 나타났다.

Chiellini et al.(2013)은 이탈리아 Leghorn 항구 준설토의 오염물질을 제거시킬 목적으로 박테리아 군집의 특성을 사용하여 식생을 하였다.

실험결과, 준설토 75%와 산 흙 25%로 80m<sup>3</sup>분지로 구성하였으며 적용 1년 후에 토양이 안정적으로 평가되는 결과를 발표하였다.

앞서 언급하였듯이 국외의 경우 해양환경 복원 사업의 측면에서 다양하게 준설토가 활용되고 있다. 준설토 활용여부에 관계없이 서식지 조성사업이 활발하게 추진되어 왔으며, 최근에는 준설토를 재활용하는 측면에서도 활발하게 수행되고 있다(윤길림과 조홍연, 2002).

다음 표 1.3은 해양환경복원을 위한 국외 사례조사이다.



**표 1.3 국외 준설토 사례(윤길림과 조흥연, 2002)**

해양환경복원을 위한 국외 사례	
Alabama(USA) 습지 및 인공서식지 조성 (PIANC, 1992)	North Carolina(USA) 조류 산란지 조성
Alabama(USA) 멸종위기에 처한 Pelican 둥지 조성	Suffolk Sizewell B Station(UK) 수초로 조성된 인공모래사주 (Gilbert & Anderson, 1998)
California(USA) Salt Pond 3서식지	Thames Valley(UK) - 인공 조성된 급경사 제방 (조류 서식지)
Connecticut(USA) 조류, 사슴 및 작은 포유류를 위한 Nott Island 서식지	River Tees(UK) 하천 하구에 조성한 조류 서식지 (PIANC, 1992)
Florida(USA) 인공섬 조성 (PIANC, 1992)	Venice Lagoon(Italy) 인공 염습지 (Cecconi, 1997)
Georgia(USA) Buttermink Sound 서식지	양빈(Belgium) (PIANC, 1992)
Texas(USA) Bolivar 반도 서식지	

이 가운데 다수의 사례가 적용된 일본과 미국의 사례를 살펴보면 다음과 같다.

일본에서는 갯벌을 포함한 새로운 서식처 조성을 목적으로 준설토, 갯벌토, 해저모래, 육지(산)의 모래 및 폐각 등을 이용한 다수의 적용사례가 있다. 이 가운데 준설토를 이용한 히로시마현의 이즈카이치(五日市), 미에현의 아이고항(港)과 헤이와도(島)의 사례를 제시하였다.

이즈카이치 인공갯벌은 준설토를 이용하여 24ha 면적으로 조성되었다. 조성된 인공갯벌의 육지방향으로는 기존의 자연갯벌이 존재하였고, 새롭게 조성된 갯벌은 매우 이질적인 퇴적물(heterogeneous sediment)로 구성되었다. 특히 갯벌 주변에 시설된 석축호안에서 부착하여 생활하다가 이탈한 참굴(*Crassostrea gigas*)과 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 많이 서식하고 있었다.

그러나 조성된 지 약 15년이 경과한 현재 일본에서는 실패한 인공갯벌 조성사례의 하나로 알려져 있다. 그 이유는 준설토로 조성한 갯벌의 기반침하에 따른 퇴적물의 유실이 지속적으로 발생하였고, 갯벌 면적도 점진적으로 줄어들고 있기 때문이었다. 따라서 현재는 침하된 갯벌에서 해양으로 유입되는 퇴적물이 인근해역에 미치는 영향을 최대한 줄이기 위한 방안으로 오탁방지막(silt protector)을 설치하여 운영 중에 있다.

미에현 아이고항(港) 인공갯벌은 준설토 혹은 양식장 아래의 퇴적물을 이용하여 필터프레스에서 탈수하고, 이것을 다시 분쇄하여 모래 등과 혼합함으로써 갯벌의 대체 퇴적물로 사용하였다. 특히 퇴적물의 유기물 함량이 초기에 지나치게 높았음에도 불구하고, 시간 경과에 따라 활발한 생물가입과 함께 출현 종수가 증가하는 것을 관찰하였다.

헤이와섬(島) 인공갯벌 조성지는 준설토를 시멘트 등의 견고한 재료로 성형한 후, 새롭게 조성한 갯벌의 기질로 이용하였다. 치사키 해역에서 준설한 점성토를 시멘트로 조립하여 견고화한 것을 현지해역에 투여한 경우이다. 그 결과, 조성된 갯벌의 수소이온농도(pH)는 점차 시간경과에 따라 저감되었고, 일반 해역의 모래퇴적물에서 서식하는 해산갯지렁이(다모류)의 가입이 관찰되어 효과적인 대체 갯벌의 퇴적물로 고려되었다.

미국 텍사스 주에서는 다양한 야생동물의 보호를 위해 서식지와 은신처를 제공하고 자 1993~1994년에 실트질의 준설토를 활용하여 아렌사스 야생동물 보호구역을 조성하였다. 미국 내에서 야생동물 서식지 보호를 위한 준설토 재활용 사례는 빈번하며 저비용이 소요되는 장점이 있다.

습지복원은 준설토의 유용한 활용사례로 가장 빈번히 이루어져 일반적이고 안정적인 기술로 인식되고 있으며 미시시피강 하구습지 복원에서도 시도되었다. 세계적으로도 많은 습지가 인위적인 요인으로 훼손되어 생태계 보호와 생물다양성 보존을 위해서도 습지복원이 필수적인 만큼 장기적인 시각으로 계획, 시공, 관리해야 할 필요가 있다.

미국에서는 부두, 항구, 수로 등의 준설토 연간 수백만 세제곱야드의 준설토가 생산된다. 기존의 준설토 처리방법은 적치장에 처리하거나, 해양, 하구나 습지에 투기하였으나 처리용량의 한계가 제기되어 1970년대 이전에는 준설토를 공항, 부두, 주택, 상업지역의 건설에 일부 사용되어 왔다. 그 후, 준설토의 재활용에 관심이 증가되고 관련기술의 발달로 준설토를 유용하게 재활용하려는 사업들이 전개되어 왔으며, 주로 양식장 바닥, 건설용 골재, 정원이나 농장의 상토 등 농업용으로 사용되거나, 해안침식방지, 해변 모래턱 건설, 토질개선 등의 공학적인 용도로 사용되기도 한다.

### 1.3 연구방법 및 범위

물리성, 화학성에서 수목 식재용으로 사용하기 어려운 바다 준설토를 선정하기 위해서 군산뿐만 아니라 인천, 광양의 대표 지점을 선정하여 시료를 채취하여 이화학 특성 및 물리적 특성을 분석하였다. 각각 바다 준설토가 채취된 지점은 다음 그림 1.1과 같으며, 각 지점의 선정은 지역에 따라 준설토의 특징이 매우 다르기 때문에 각 지역의 대표적인 준설토를 분석하여 이화학 특성, 물리적 특성에 따라 식생이 가능한 식생토를 적용할 수 있는 방안을 모색하고자 다음과 같은 지역을 선정하였다.

실내실험은 1차 실험부터 4차 실험까지 수행을 하였으며 각 차수마다 화분의 크기, 파종 식물 등을 달리하여 실험을 수행하였고 온도의 적정조건을 맞춰가며 실험을 수행하였다.

현장시험 시공은 주변에 식물 침입의 가능성이 적고 실험 면적이 넓은 군산 새만금 현장으로 선정하였고, 현장시험시공 당시 늦은 10월에 파종하였기 때문에 군산지역의 식물 생육상태를 조사하여 늦가을 및 겨울에 발아할 수 있는 파종식물 군을 선정하여 현장실험 시공에 적용하였다.

본 연구방법 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

군산, 인천, 광양의 대표적인 준설토를 채취하여 물리적 특성과 이화학 특성을 분석하였고, 실내실험을 통하여 각각의 개량제 [Bio, AC(아미노산), 톱밥비료, 커피슬러지]에 따른 이화학 특성의 개선 효과를 평가하였다.

채취한 준설토에 각각의 기존 개발된 개량제(Bio, AC, 톱밥비료)를 비율에 따라 혼합 후 씨앗을 심어 무처리와 개량제 처리구의 발아율  $[(\text{최대 발아 수}) / (\text{최초 파종 수}) \times 100]$  및 생장률(식물의 최대 중량)을 비교 분석하고 기존 개량제의 경제성을 평가하였다.

커피슬러지를 이용하여 기존 개발된 개량제(AC, 톱밥비료)를 비율에 따라 혼합 후 씨앗을 심어 무처리와 개량제 처리구의 발아율을 비교 평가하고, 커피슬러지의 최적 배합비를 분석하였다.

현장에서 즉시 개량 처리하여 식생이 가능한 식생토로 토목현장의 사면안정화 및 해양공간개발에 사용이 가능한 생태 환경형 재료를 만들하고자 군산 새만금 현장시험 시공(총 면적 약 284m<sup>2</sup>, 이 중 평면은 10m × 10m로 2 대상지이며, 사면은 L21m × H4m로 1:1 사면을 선정하여 현장시험시공을 계획)을 통해 뿔어붙이기 공법을 이용하여 식

생토로 처리된 준설토가 식물생장에 미치는 영향을 평가하였다. 그림 1.1은 실내실험을 위한 바다 준설토 채취 지점이다.

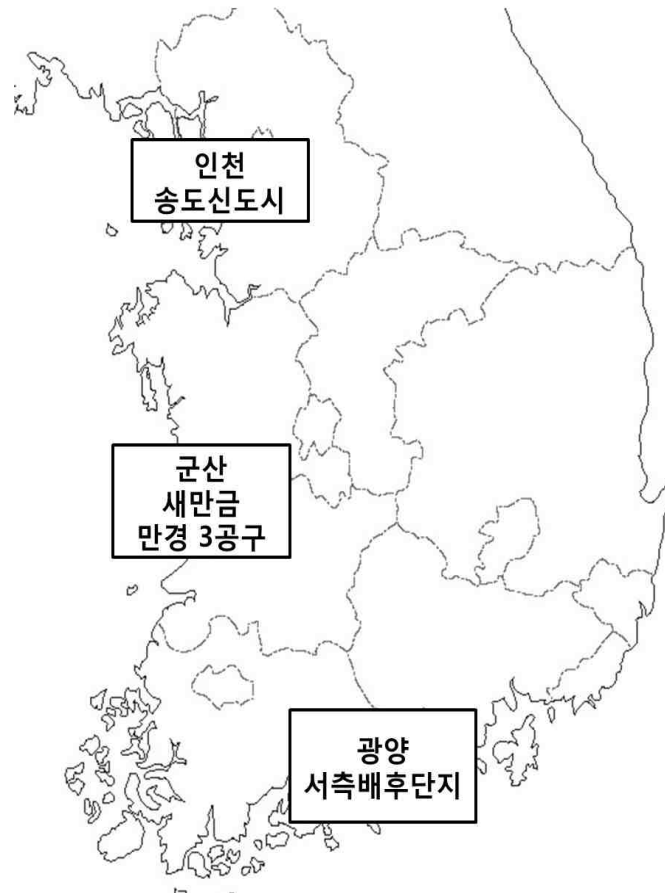


그림 1.1 실내실험을 위한 바다 준설토 채취 지점

## 제 2 장 준설토 활용

### 2.1 국내 준설토의 발생 및 처리 현황

#### (1) 발생 및 처리 현황

국내 준설토의 발생 및 처리에 대한 문헌조사는 2000년 이후부터 2006년까지 하였고 항만은 전국에 위치한 무역항을 대상으로 하였다. 아울러 각 항만에 대한 오염해역 준설에 대한 내용은 제외하였다. 전국의 주요항만 별 준설실적을 조사한 결과 표 2.1에서와 같이 전국적으로 2000년 이후 약 279,742,352m<sup>3</sup>의 준설이 시행되었다(해양수산부, 2007). 지방항만청 별로는 광양컨테이너공단과 부산청이 각각 28.42%와 27.12%로 전체의 약 55%를 차지하였다.

준설토에 대한 활용방법은 크게 투기장, 외해투기, 기타방법으로 활용되고 있다. 표 2.2는 전국 항만청의 준설토 처리 및 활용 실적을 나타낸 것이다(해양수산부, 2007). 구체적으로 살펴보면 준설토의 대부분(80.97%)인 226,512,262m<sup>3</sup>가 투기장으로 투기되고 있고 다음으로 배후부지 매립 등 기타 방법이 10.04%로 활용되고 있으며, 나머지 8.99%는 외해투기를 하고 있는 실정이다. 이와 같이 현재 국내에서 항만 공사로 인해 발생하는 준설토는 유효활용보다는 대부분이 투기 또는 처분되고 있는 실정으로 활용률이 극히 낮았다.

표 2.1 전국 지방청별 준설실적(해양수산부, 2007)

지 방 청	준설실적(m <sup>3</sup> )	비 율(%)
군산청	5,112,800	1.83
대산청	1,716,000	0.61
동해청	91,900	0.03
마산청	1,286,376	0.46
목포청	2,679,000	0.96
부산청	75,880,000	27.12
여수청	47,707,000	17.05
울산청	4,510,000	1.61
인천청	25,892,000	9.26
제주청	59,885	0.02
광양컨테이너공단	79,490,000	28.42
평택청	31,980,000	11.43
포항청	287,400	0.10
부산항만공사	3,050,000	1.09
전 국	279,742,352	100.00

표 2.2 준설토 처리 및 활용실적(해양수산부, 2007)

지 방 청	계(m <sup>3</sup> )	준설토 처리 및 활용 실적		
		투기장(m <sup>3</sup> )	외해투기(m <sup>3</sup> )	기 타(m <sup>3</sup> )
군산청	5,112,800	5,112,800	-	-
대산청	1,716,000	1,250,000	-	466,000
동해청	91,900	83,700	8,200	-
마산청	1,286,376	286,762	818,856	180,749
목포청	2,679,000	1,569,000	260,000	850,000
부산청	75,880,000	56,560,000	19,320,000	-
여수청	47,707,000	46,209,000	-	1,498,000
울산청	4,510,000	-	4,510,000	-
인천청	25,892,000	24,649,000	-	1,243,000
제주청	59,885	-	44,919	14,966
광양컨테이너공단	79,490,000	78,650,000	-	840,000
평택청	31,980,000	8,980,000	-	23,000,000
포항청	287,400	112,000	171,400	4,000
부산항만공사	3,050,000	3,050,000	-	-
전 국	279,742,352 (100%)	226,512,262 (80.97%)	25,133,375 (8.99%)	28,096,715 (10.04%)

(2) 장래 준설 및 처리 계획

전국 28개 무역항 및 24개의 연안항을 대상으로 “전국항만기본계획”에 의거 장래 준설계획을 조사하였다. 각 항만청별로 조사한 결과, 표 2.3에서 보는 바와 같이 장래 총 준설계획량은 548,739,196m<sup>3</sup>에 달하며, 신항만으로 지정된 부산청(부산신항), 평택청(평택·당진항), 여수청(광양항) 등의 준설량이 상대적으로 많은 것으로 조사되었다. 또한 준설방식으로 보면 항로준설로 인한 준설량이 352,789,000m<sup>3</sup>로 가장 많은 양을 차지하였으며, 유지준설 155,362,000m<sup>3</sup>, 기초 및 박지 준설량 40,588,196m<sup>3</sup>이 발생할 것으로 조사되었다.

조사결과를 기준으로 볼 때 향후 신규항만시설 조성에 따른 준설은 점차 줄고 해상항로 및 항만유지에 따른 준설량이 점차 증가하는 것으로 분석되었다.

**표 2.3 준설방식에 따른 향후 발생예상 준설량(해양수산부, 2007)**

구 분	총 발생량(m <sup>3</sup> )	준설방식에 따른 발생량		
		항로준설(m <sup>3</sup> )	기초 및 박지(m <sup>3</sup> )	유지준설(m <sup>3</sup> )
군산청	37,365,500	13,282,000	6,911,500	17,172,000
대산청	3,166,000	1,883,000	1,283,000	-
동해청	-	-	-	-
마산청	2,200,696	-	2,200,696	-
목포청	5,210,000	2,520,000	2,290,000	400,000
부산청	182,800,000	182,800,000	-	-
여수청	121,788,000	110,566,000	11,202,000	20,000
울산청	610,000	60,000	3,000,000	250,000
인천청	13,527,000	10,190,000	3,337,000	-
인천항만공사	44,508,000	31,488,000	13,020,000	-
제주청	-	-	-	-
광양컨테이너공단	-	-	-	-
평택청	137,520,000	-	-	137,520,000
포항청	44,000	-	44,000	-
전 국	548,739,196	352,789,000	40,588,196	155,362,000



또한 장래 발생된 준설토 중 393,130,400m<sup>3</sup>를 투기장으로 투기할 계획이며, 외해투기 51,619,433m<sup>3</sup>, 기타방법으로 103,989,363m<sup>3</sup>를 처리할 것으로 조사되었다.

**표 2.4 준설토 처리방법에 따른 발생 준설량(해양수산부, 2007)**

구 분	총 발생량(m <sup>3</sup> )	준설토 처리방법에 따른 처리량		
		항로준설(m <sup>3</sup> )	기초 및 박지(m <sup>3</sup> )	유지준설(m <sup>3</sup> )
군산청	37,365,500	37,365,500	-	-
대산청	3,166,000	1,283,000	-	1,883,000
동해청	-	-	-	-
마산청	2,200,696	1,658,900	199,433	342,363
목포청	5,210,000	4,260,000	950,000	-
부산청	182,800,000	133,000,000	49,800,000	-
여수청	121,788,000	121,085,000	-	703,000
울산청	610,000	-	360,000	250,000
인천청	13,527,000	13,077,000	310,000	140,000
인천항만공사	44,508,000	-	-	44,508,000
제주청	-	-	-	-
광양컨테이너공단	-	-	-	-
평택청	137,520,000	81,360,000	-	56,160,000
포항청	44,000	41,000	-	3,000
전 국	548,739,196	393,130,400	51,619,433	103,989,363

## 2.2 준설토 오염현황 조사

### (1) 조사항만 및 조사항목

국내에서 발생하는 준설토 오염현황은 주요 10개 항만에 대해 유기오염(COD, 강열감량) 및 중금속(Cu, Cd, Pb, Zn, As, Cr, Hg)오염도를 조사하였다. 또한, 중금속류 외의 유해물질은 유분, 페놀화합물, 유기인 항목에 대하여 조사를 실시하였다.

### (2) 유기물 오염도 조사결과

해저퇴적물 중 유기물량은 퇴적물의 환경을 평가하는데 중요한 척도 중의 하나로 사용된다. 표 2.5는 준설토 유기물 함유량 조사결과이다. 본 조사지역의 COD 조사결과는 평균 6,011~16,115mg/kg 범위로 나타났으며, 인천신항에서 COD가 가장 낮게 조사되었고, 광양항은 COD가 높은 것으로 조사되었다.

**표 2.5 준설토 유기물 함유량 조사결과(해양수산부, 2007)**

조사항만 \ 조사항목	COD (mg/kg)	강열감량 (%)
군·장항	6,802	4.0
대산항	8,706	4.3
목포신항	10,934	4.3
부산신항	13,129	4.8
여수신항	11,690	4.9
속초신항	16,115	6.5
영일신항	8,009	4.2
울산신항	12,235	4.7
인천신항	6,011	3.5
평택항	15,854	6.0
광양항	12,515	7.7
부산항	8,107	7.6

표 2.6은 준설토 유기오염물질 용출을 조사결과이다. COD와 마찬가지로 저질의 유기물량을 나타내는 지표중 하나인 강열감량 조사결과는 평균 3.5~7.7% 범위이며 인천신항에서 가장 낮게 조사되었고, 광양항에서 가장 높은 것으로 조사되었다.

**표 2.6 준설토 유기오염물질(COD) 용출률 조사결과(해양수산부, 2007)**

조사항목 조사항만	총농도 (mg/kg)	용출농도 (mg/kg)	용출률 (%)
군·장항	6,802	67.3	0.99
대산항	8,706	108.7	1.25
목포신항	10,934	134.3	1.23
부산신항	13,129	169.8	1.29
여수신항	11,690	142.6	1.22
속초신항	16,115	197.7	1.23
영일신항	8,009	104.1	1.30
울산신항	12,235	146.6	1.20
인천신항	6,011	59.6	0.99
평택항	15,854	163.8	1.03
광양항	12,514	160.6	1.28
부산항	8,107	128.1	1.58

### (3) 중금속 및 유해물질 조사결과

중금속류는 해양에 극히 미량 존재하나, 연안 해역에서는 산업 활동이 급격히 증가하여 산업폐수 또는 기타 오염원 등에 의해 유해중금속들이 유입되어 그 존재량이 급격히 증가하는 추세에 있다. 대부분의 중금속들은 분해되지 않기 때문에 해수의 장기적 오염원으로 작용할 뿐 아니라 생물 체내에 축적되어 독성작용을 나타내기도 한다. 윤길림과 배윤신(2011)이 조사한 항만별 준설토의 중금속 유해물질 조사결과는 표 2.7과 같다.

표 2.7 항만별 준설토의 중금속 및 유해물질 조사결과(해양수산부, 2007)

(단위 : mg/kg)

구 분	Cu	Cd	Pb	Zn	As	Cr	Hg	페놀	유기인	PCB
군·장항	18.837	0.152	20.436	52.213	7.848	44.795	0.130	N·D	N·D	0.090
대산항	18.103	0.139	22.492	45.172	2.868	43.379	0.020	N·D	N·D	0.130
목포신항	39.790	0.176	31.977	45.009	3.341	52.452	0.037	N·D	N·D	0.210
부산신항	19.132	0.311	26.830	100.737	4.139	39.833	0.023	N·D	N·D	0.200
여수신항	23.092	0.228	26.387	104.517	3.443	43.162	0.033	N·D	N·D	0.210
속초신항	24.370	0.258	40.550	68.647	3.476	35.150	0.035	N·D	N·D	N·D
영일신항	29.236	0.228	40.146	56.548	3.942	27.367	0.017	N·D	N·D	0.150
울산신항	33.959	5.487	45.594	57.824	9.259	45.364	0.010	N·D	N·D	0.160
인천신항	8.603	0.088	18.447	55.637	3.133	32.847	N·D	N·D	N·D	N·D
평택항	28.561	0.141	24.549	77.751	3.098	45.950	0.003	N·D	N·D	N·D
광양항	21.724	0.284	30.549	95.975	3.953	40.378	0.022	N·D	N·D	0.200
부산항	20.884	0.164	21.521	42.838	9.678	30.913	0.060	N·D	N·D	0.120
평 균	24.128	0.681	29.814	69.094	4.409	40.971	0.033	N·D	N·D	0.123

## 2.3 준설토 활용 환경기준

### (1) 준설토의 기준적립 필요성

현재 항만개발 및 항로유지준설로 인해 발생하는 준설토는 막대한 양이며 자원으로 이용될 수 있는 준설토가 폐기물로 취급되어 활용되지 못하고 투기장에 투기되거나 해양 투기되고 있는 실정이다. 미국 및 유럽국가의 경우에는 준설토 활용기준이 있으며 자원으로 활용 사례가 많다. 외국의 준설토 활용기준은 퇴적물의 화학적인 분석, 생물학적 영향에 기초하여 만들어졌다. 그러나 우리나라는 퇴적물의 화학적인 분석은 실시하였으나 생물영향과 연계된 데이터가 부족하기 때문에 자체기준을 개발한다는 것은 현실적으로 매우 어려운 실정이다.

### (2) 국외 준설토 활용기준

외국의 각 국가별로 기준은 부록에 수록 하였으며, 기준의 정도에 따라 4개의 그룹으로 분류하면 표 2.8과 같다. 미국 육군공병단, 핀란드 네덜란드, 호주는 중금속 외의 여러 항목에 대해 기준을 포함하는 가장 엄격한 기준을 제시하고 있다.

**표 2.8 분류된 외국 기준**

NO.	그 룹	비 고
1	미국 위스콘신주, 핀란드, 영국, 덴마크	엄격한 기준
2	벨기에, 스웨덴, 프랑스, 네덜란드, 아일랜드	1그룹보다 높은 기준
3	독일, 스페인, 호주	2그룹보다 높은 기준
4	미국 육군공병단, 노르웨이	가장 높은 기준

### (3) 국내 준설토 활용기준

#### 가. 준설토 육상관련 기준

준설토 오염도 평가기준은 준설토의 처리, 처분 및 재활용 방법에 따라 달라질 수 있다. 육상의 성토재로 이용하는 경우는 표 2.9에서 보는 바와 같이 환경부의 토양환경보전법 시행령과 토양환경보전법 시행규칙에 의거 적용하고 있다.

**표 2.9 토양오염 우려기준(환경부, 2001)**

(단위: mg/kg)

구 분	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr	Zn
1지역	4	150	25	4	200	5	300
2지역	10	500	50	10	400	15	600
3지역	60	2,000	200	20	700	40	2,000
구 분	Ni	Fluorine	Organophosphorus	tPCBs	Cyan	Phenol	Benzene
1지역	100	400	10	1	2	4	1
2지역	200	400	10	4	2	4	1
3지역	500	800	30	12	120	20	3
구 분	Toluene	Ethyl benzene	Xylene	Petroleum hydrocarbon	Trichloro ethylene	Tetrachloroethylene	Benzo(a) pyrene
1지역	20	50	15	500	8	4	0.7
2지역	20	50	15	800	8	4	2
3지역	60	340	45	2,000	40	25	7

- 1지역 : 전, 답, 과수원, 목장용지, 주거지, 학교용지, 공원, 사적지, 구거, 광천지, 양어장, 묘지 및 어린이 놀이터
- 2지역 : 임야, 대, 창고용지, 하천, 유지, 수도용지, 체육용지, 유원지, 종교용지 및 잡종지
- 3지역 : 공장용지, 주차장, 주유소, 도로, 철도용지, 염전, 제방, 잡종지

나. 준설토 해양관련 기준

준설토 해양배출기준은 표 2.10에서 보는바와 같이 해양오염방지법 시행규칙에 의거 관리하고 있으며, 여기에서 준설토 해양배출 처리기준이 신설(1, 2기준) 되었고, 1기준과 2기준 사이는 생물독성 시험방법에 의한 평가로 분류되었다.

**표 2.10 준설토 해양배출처리기준(해양수산부, 2007)** (단위 : mg/kg)

구 분	Cd	Zn	Cu	Cr	Hg	As	Pb	Ni
제1기준	370	410	270	10	1.2	70	220	52
제2기준	80	200	65	2.5	0.3	20	50	35

국토해양부에서 제시한 항만지역에서 발생하는 준설토 활용을 위한 오염물질과 오염물질 농도 기준은 표 2.11과 같다.



표 2.11 오염퇴적물 정화기준(해양수산부, 2005)

구 분	오염퇴적물 정화복원기준	
	Lower Level	Higher Level
Parameter	mg/kg dry weight	
Ag	1	3.7
As	9	41.6
Cd	0.68	4.21
Cr	80	370
Cu	24	108
Hg	0.15	1
Ni	23	52
Pb	50	220
Zn	200	410
Parameter	μg/kg dry weight	
Chlordane	0.5	6
Dieldrin	0.02	8
DDT	1.6	46
tPCB	21.6	189
Parameter	μg/kg dry weight	
Acenaphthene	16	500
Acenaphthlene	44	640
Dibenzo(a,h)anthracene	63	260
Anthracene	85	1,100
Benzo(a)anthracene	261	1,600
Benzo(a)pyrene	430	1,600
Chrysene	384	2,800
Fluoranthene	600	5,100
Fluorene	19	540
2-Methylnaphthalene	-	-
Naphthalene	160	2,100
Phenanthrene	240	1,500
Pyrene	-	-
LPAH	552	3,160
HPAH	1,700	9,600
tPAH	4,000	45,000

## 2.4 준설토 유효활용

### (1) 유효활용 배경

준설토의 유효활용(Beneficial Uses)은 준설토를 생산적 자원으로써 취급하고 활용하는 것을 의미한다. 준설토를 처리하는 기존의 방법은 주로 매립(Landfill) 혹은 해양, 강, 호수, 습지 및 강어귀 등에 투기하는 등의 경우 국제협약, 처분시설의 포화상태 및 지역의 민원 및 환경적 문제로 인하여 많은 제한이 따르고 있다.

해외의 경우, 과학기술 발달과 시민의식의 변화가 준설토를 가치 있는 자원으로써 유효활용을 가능하게 해주고 있다. 1970년대 이전에는 준설토의 유효활용은 대부분 공항, 항구, 주거지 및 상업지의 건설 및 확장이었지만 현재는 많은 사례들을 통하여 다양한 목적으로 유효활용이 이루어지고 있다.

유효활용의 범위는 불필요한 준설토 혹은 처분의 수위를 낮추기 위하여 전통적인 처분을 수행할 수 있다. 준설토의 생산적 활용에서 경제적, 사회적 및 다른 이익들을 창출할 수 있지만 준설토를 활용한 지역에 대해서 지속적인 모니터링을 통하여 사업의 성공여부를 평가해야 할 것이다. 그리고 현재의 활용기술뿐만 아니라 지속적인 연구개발을 통하여 활용기술의 범위는 계속 증가할 것으로 나타났다.

### (2) 국외 준설토 유효활용 범위

미공병단(US Army Corps of Engineers, 이하 USACE)에서 규정하고 있는 준설토의 유효활용기술의 범위는 표 2.12와 같다.

표 2.12 준설토의 용도별 유효활용기술(USACE, 2006)

농업 및 생산적 이용	공학적 이용	환경개선용
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건설재료 (Construction material)</li> <li>- 수산양식(Aquaculture)</li> <li>- 표토(Topsoil)</li> <li>- 조경 및 관상용 제품의 생산 (Decorative Landscaping Products)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 부지 형성(Land Creation)</li> <li>- 부지 개량(Land Improvement)</li> <li>- 연안 조성(Berm Creation)</li> <li>- 해안 보호(Shore Protection)</li> <li>- 양빈(Beach Nourishment)</li> <li>- 치환 채움(Replacement Fill)</li> <li>- 덮개/복토재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조류/야생 서식처 (Wildlife Habitats)</li> <li>- 어장 개선 (Fisheries Improvement)</li> <li>- 습지 복원 (Wetland Restoration)</li> </ul>

미국의 경우 준설토 해양투기는 식료·환경보호법(Food and Environment protection Act, 이하 FEPA)에 의거하여 엄격하게 규제 및 관리되며 동법에 준하여 라이선스가 없는 경우에는 해양투기가 불가능하도록 되어있다. 해양에서의 허가 및 환경에 관한 부서(Marine Consents and Environmental Unit, 이하 MCEU)가 준설토의 해양투기에 관한 라이선스를 발행하며, 유효활용이 가능(준설토의 오염이 보이지 않고, 유효활용 가능한 경우)한 경우에는 해양투기의 라이선스가 발행되지 않는다.

### (3) 준설토 유효활용 판단과정

준설토적토의 적정 처리·처분을 위해서는 먼저 준설토적토의 성분 분석을 통하여 오염된 퇴적물의 양과 오염 정도를 파악한 후 처리방안을 수립하여야 한다.

(4) 준설토 공학적 특성에 따른 유효활용 기준

가. 준설토 입도기준

미공병단에서는 준설토 재료의 입도에 따른 분류 및 유효활용이 가능한 범위를 표 2.13에서 보는바와 같이 제시하고 있다.

표 2.13 준설토의 구성물질에 따른 유효활용(USACE, 2006)

유효활용기술		준설토 입자의 성분				
		암석	자갈 및 모래	압밀된 점토	실트	혼합물질
공학적 이 용	부지 형성	●	●	●	●	●
	부지 개량	●	●	●	●	●
	제방 공사	●	●	●		●
	해안 보호	●	●	●		
	해빈 보완	●	●			●
	치환 채움		●			
	덧개/복토재		●			●
농업용/ 생산물지	건설 재료	●	●	●	●	●
	수산양식			●	●	●
	조경 재료 표토				●	●
환경 증진용	조류/ 야생 서식처	●	●	●	●	●
	어장 개선	●	●	●	●	●
	습지 복원			●	●	●

## 제 3 장 실내실험 및 결과

### 3.1 실험에 사용된 식물의 선정

식물을 선택하는 경우에는 식물의 사용목적이 명확하여야하고, 그 목적에 적합한 식물을 선택하여야 한다. 예로 토양 보전을 통한 안전성 확보와 식생의 유지 그리고 경관유지 등의 사용목적에 합당한 것을 선택해야 한다. 또한 현존 식생의 복원을 도모하는 경우에는 복원시의 장·단점과 대상지에서 원활한 식생 천이를 고려해야 한다. 이밖에도 토양조건과 기상조건에 적합한 식물을 선택해야 한다.

다양한 종류의 녹화식물 가운데 대상지의 환경조건과 목적에 적합한 식물이 우선적으로 선정되어야 하며, 녹화 식물의 종류가 정해지면 식물의 특성에 적절한 녹화방법에 의해 녹화한다. 식재 방법에 있어서도 식물의 종류는 물론 식재지의 제반 여건에 따라 많은 차이가 있다.

적합한 녹화식물을 선정하기 위해 무엇보다 녹화 대상지의 기상조건을 철저히 조사하여야 한다. 일반적으로 식물을 결정하는 가장 큰 요인인 온도조건도 면밀히 검토하여야 한다. 따라서 겨울철의 최저기온 및 평균기온, 서리, 강수량, 최대풍속, 적설량 등과 같은 자연환경 조건에 대하여 조사한다. 일반적인 환경조건을 조사한 후에는 식물의 광합성에 영향을 주는 조도 및 일사량을 조사한다. 이와 같은 조건들이 면밀히 조사되면 토양의 배수성, 토양의 물리적 성질, 화학적 성질, 경사도 등의 토양조건 및 주어진 녹화 지반의 특수한 환경조건을 조사한다. 대상 녹화지의 규모를 조사하고 원래의 자연적인 분위기 또는 연출하고자 하는 경관의 유형에 대하여 검토한다. 또한 녹화식물의 목적이 단순히 경관을 창출뿐만 아니라 사면의 토양침식 및 붕괴를 방지하거나 섬광이나 복사열 방지 등과 같은 부수적인 기능을 동반하여야 하는가를 조사하여야 한다. 끝으로 지금까지 조사된 내용을 분석하고 종합한 내용을 바탕으로 식물을 선정하고 기본적인 설계를 실시한다.

일반적으로 사면의 토양은 유기물이 부족하고 이화학 특성이 불량한 곳이 많으며, 극히 악조건을 나타내는 곳이 많으므로 선택하는 식물은 이러한 악조건에서도 활발히 생장하는 것이 요구된다. 예를 들어 비탈면 녹화용 식물의 조건의 경우에는 지상부의 생장과 확대가 빠르며 근계의 발달이 좋은 식물, 적응력이 큰 식물로 활착이 확실하고 염해 및 건조에 견디어야 하고 병해충 및 풍해에 강하며 한해에 강한 식물, 갱신이 쉬

운 식물로 종자가 풍부하여 천연 갱신이 쉽고, 상록성인 식물로 사계절 푸른 식물, 양묘가 쉽고 대량생산이 되는 식물로 번식과 대량생산이 가능한 식물, 내음성(어두운 곳에서도 광합성을 하여 독립 영양하는 식물의 성질)이 강한 식물, 파종 및 식재 시기의 폭이 넓은 식물 등이다. 위와 같은 조건을 만족시키는 식물을 찾기는 어려우며, 필요한 시공조건을 충분히 고려하여 이에 적합한 식물을 선택해야 한다.

### 3.1.1 실험에 사용된 식물 선정 시 고려사항

사면을 보호하기 위한 수단으로 식물을 과거부터 현재에 이르기까지 많이 활용하여 왔으며 특히 최근에 친환경적인 개발 요구가 증대됨에 따라 그 이용이 더욱 증가되는 추세이다. 생태적 복원 계획을 위한 적정식물의 선정은 준설토 사면의 토양 염분농도를 고려하여 경제성, 경관성, 관리성, 생태성을 식물의 기준으로 하였으며, 또한 식물은 사면의 안정에 긍정적인 영향을 미치기도 하고, 부정적인 영향을 미치기도 하므로 안정성 측면에서 식물의 영향으로 인한 공학적 특성을 고려하여 친환경 사면 보호공법이 가능한 식물을 선정하였다.

#### (1) 안전성

식물은 수문학적인 측면에서 흙 속의 수분함량에 대한 영향을 통하여 간접적으로 사면안정에 영향을 미친다. 식물은 잎이나 줄기 등의 구성요소를 통하여 강우를 차단함으로써 지표면의 유출량을 제한하고, 흐름 속도를 저하시켜 부분적으로 침식에너지를 흡수하여 안전성에 기여한다. 또한 역학적인 측면에서 식물의 뿌리는 흙을 보강시키고 저항력을 증가시키는 역할을 한다. 그러나 식물의 뿌리부분으로 인하여 투수계수, 침투량, 간극수압이 증가되므로 수문학적인 측면에서는 사면에 불안정적인 역할을 하며 역학적인 측면에서도 바람에 의한 저항력이 사면에 하중으로 작용하여 사면에 불안정적인 요소가 될 수 있으므로 식물 선정 시 고려해야 한다.

#### (2) 경관성

방조제 진입로 콘크리트 라이닝 사면 및 기타 경관을 필요로 하는 지역과 이용객의 출입이 많은 곳은 아름답고 쾌적한 공간으로서 경관성이 매우 중요하다.

한편, 그 범위를 항상성과 시거리를 경관에 대한 기준으로 정해야 한다. 대상에 대한

시거리가 변한다면 대상에 대한 시각은 시각의 법칙에 따라 변화하는 것임에도 불구하고, 외관의 크기는 비교적 항상성을 유지해야 한다.

### (3) 생태성

생태적 환경복원을 위한 적정식물 선정에 있어서 우선으로 고려되어야 할 사항은 식물의 생육환경이다. 특히, 해안 간척지 초기의 토양은 일반적으로 가용성 염류와 치환성 나트륨이 과다하게 함유되어 염분농도가 대단히 높기 때문에 식물의 선정이 중요하다. 염생식물의 분포는 지채, 통통마디(함초), 칠면초, 갯질경이, 나문재가 토양의 염농도가 높은 지역(제1군 : 1.0-3.5dS/m)에서 성장하며 중간지역(제2군 : 0.5-1.5dS/m)은 갈대, 갯개미취, 갯잔디, 천일사초, 비쭉, 갯능쟁이, 버들명아주가 성장하며 염분농도가 낮은 지역(제3군 : 0.2-0.5dS/m)에서 강아지풀, 산조풀, 사데풀, 띠가 성장하며 중성식물은(제4군 : 0.2dS/m이하) 벌노랑이, 자귀풀, 토끼풀 등(민병미, 1985)이 성장 할 수 있으므로 이상의 토양 염도를 고려하여 식물 선정 시 고려하여야 한다.

### (4) 경제성

방조제 사면 지역은 면적이 넓고 각종 공사의 해사 준설토로 구성되어 있어 토양내 염분농도가 높기 때문에 전체를 일반 조경 녹지로 조성하려면 외부에서 흙을 반입하여야 한다. 지역특성상 일반 흙을 쉽게 구하기도 어려울 뿐만 아니라 식생토 조성과 수목 식재공사에 대단히 많은 예산이 필요하게 된다.

### (5) 관리성

방조제 해사 준설토 사면지역에 파종할 초종(처음 심을 식물의 종)은 주변 지역에서 자라는 억새, 나문재, 갯질경이, 칠면초, 갈대 등의 염생식물을 채종하여 파종 시 관리가 양호하다. 그러나 경관성을 고려한 녹화에서는 양잔디, 야생화 등을 파종하거나 해당화, 순비기 등의 자생식물을 식재하는 방법도 있으나 식재비와 제초 작업비, 비배관리비(토질을 기름지게 하여 식물을 가꾸는 비용) 등의 많은 비용이 필요하다. 또한, 토양의 염분농도가 높으므로 초기 발아에 어려움이 있으므로 식생토에 대한 검토가 이루어져야 한다.

### 3.1.2 적정 식물 선정

방조제 사면은 면적이 넓고 이용객들에게 최초의 이미지를 심어주는 공간으로서 아름답고 쾌적한 경관이 매우 중요하나 토양의 염분농도가 높아 식물의 생육이 대단히 어렵다. 따라서 생태적 환경복원을 위하여 주변지역에서 자라고 있는 식물과 해안가에서 자생하는 식물들을 적정식물로 선정하는 것이 무엇보다 중요하다.

주변 간척지 지역에서 자라는 식물은 염분이 많은 토양에서 자라는 토끼풀, 모새달, 갯개미취, 갯드렁새, 갈대, 술패랭이, 통보리사초 등이며 탈염이 어느 정도 진행된 지역에서 자라는 식물은 벌노랑이, 유채, 구절초, 망초, 쑥, 가을강아지풀, 패랭이, 억새, 민들레 등이 자라며 식생천이가 활발히 진행되는 것으로 나타났다.

주변 간척 지역의 식생환경과 토양조사 결과와 방조제 사면의 해사 준설토양의 조사 결과를 토대로 안전성, 생태성, 경관성을 고려하여 생태적 환경복원을 위한 식물의 선정기준에 따라 실내실험 종자로는 주변식물(토끼풀, 술패랭이), 자생식물(유채, 구절초, 벌노랑이, 민들레), 도입초종(양잔디) 중심으로 적정식물을 선정하였다. 또한 본 연구 해당지역은 추후 농경지로 사용되는 지역이므로 보리, 벼 등의 경작 식물을 적정식물로 선정하여 연구를 수행하였다.

현장시험 시 사용된 종자는 연구 대상지의 토양조사 결과처럼 해사 준설토의 염분농도가 비교적 식물적용 한계의 수준이므로 안전성 및 생태성을 고려하여 토끼풀, 벌노랑이, 양잔디, 민들레, 술패랭이 등을 g당 씨앗개수를 중량비로 계산하여 5종 배합 총 1만 분을 뽑어 붙이기 공법으로 시공하였다.



## 3.2 실험재료의 특성

### 3.2.1 준설토

#### (1) 통일분류법(USCS)에 따른 흙 분류

본 연구는 물질 배합을 통한 준설토 개량공법을 개발하여 이화학특성 개선, 실내실험을 통한 최적 식생배합조건 결정, 현장에 적용하여 실제 가능성을 검증함으로써 준설토를 식생토로 재활용할 수 있는 공법을 개발하고자 하였다. 이에 따라 선행연구조사를 통하여 준설토 발생량이 많은 지역의 대표시료를 채취하였다.

준설토는 새만금 현장에서 채취한 시료로서 A시료의 경우 승수로 연약지반 구간에서 약 1년 정도 방치된 시료를 채취하였으며 ML(실트)로 분류되었고, B와 C시료의 경우 SM(실트질 모래)으로 준설토기간이 다르나 물리적 특성을 분석한 결과 동일한 것으로 확인되어 B시료는 제외하였다. D시료의 경우 SM(실트질 모래)으로 현장에서 즉시 채취한 준설토이다. 광양 시료의 경우 #200 통과량이 50% 이상이고 점성이 많은 시료로써 CL(점토)로 분류되었고, 인천 시료의 경우 CL-ML(실트질 점토) 시료로 분류되었다. 그림 3.1은 시료를 채취한 해당 지역의 모습이며, 표 3.1은 준설토 방치 기간 및 위치를 나타냈다.

**표 3.1 준설토 방치 기간 및 위치**

구 분	위 치	준설토방치기간	USCS 분류 결과
군산 A시료	군산 새만금 승수로 구간 채취	13. 11월 - 14. 07월	ML(실트)
군산 B시료	군산 새만금	13. 6월 - 14. 07월	SM(실트질 모래)
군산 C시료		13. 11월 - 14. 07월	SM(실트질 모래)
군산 D시료		현장 준설토	SM(실트질 모래)
군산 현장 시료	군산 새만금 현장 시험시공 대상지	13. 11월 - 14. 07월	SM(실트질 모래)
광양 시료	광양항 서측배후단지	현장 준설토	CL(점토)
인천 시료	인천송도	현장 준설토	CL-ML(실트질 점토)



(a) 군산



(b) 인천



(c) 광양

그림 3.1 각 지역별 바다 준설토 채취 모습

## (2) 준설토의 이화학특성

군산, 인천, 광양에서 채취한 준설토 시료는 직사광선이 닿지 않는 장소에서 통풍이 잘 되도록 펼쳐놓고 공기건조 시킨 다음 고무망치로 살살 부수면서 2mm체를 통과시킨 것을 이화학 분석에 사용하였으며, 이화학 분석은 전문기관인 (재)한국환경조사평가원에 의뢰하여 실험을 수행하였다.

실내실험에 사용한 군산 A, B, C, D 시료 중 B와 C시료는 물리적 특성이 같은 결과로 나타나 B시료는 실험 조건에서 제외하였다. 실내실험에 사용될 군산 준설토의 이화학 분석결과, 모두 pH의 경우 7.2-7.5 사이이며, 유기물 및 유효인산의 경우 D시료에서 가장 낮게 나타났고, 염분농도 및 EC(전기전도도)는 가장 높게 나타나 현장에서 바로 준설토 시료가 수목생장조건에 가장 맞지 않은 것을 확인하였다. 또한 A시료 및 C시료 경우 수목생장조건 기준에 현저히 미달되는 수치인 것을 확인하였고, 준설토 개량이 필요하였다.

현장시험 시공을 수행하기 위해 군산 현장시험 시공 대상지의 준설토를 채취하여 이화학특성을 분석하였다. 이화학특성 분석결과, pH는 실내실험(군산 A, C, D) 시료보다 약간 높았으나, 실내 C시료와 비슷한 결과를 나타냈다. 이 또한 수목생장조건 기준치에 현저히 미달되는 수치이므로 준설토의 개량이 필요하였다.

인천 준설토의 경우 군산 준설토에 비해 유기물의 함량이 높으며 유효인산이 높은 것으로 나타났으며, 마찬가지로 광양 준설토 경우도 인천 준설토와 마찬가지로 유기물과 유효인산이 높고 대체적으로 군산 준설토의 시료보다 수목생장조건이 좋은 것으로 확인 되었으나 수목생장조건 기준치에 미달되는 수치임을 확인하였다.

다음 표 3.2는 각 지역별 준설토의 이화학 특성이다. EC(Electric Conductivity)는 전기전도도, C.E.C(Cation Exchange Capacity)는 양이온 교환용량, T-N(Total Nitrogen)은 총 질소(전질소량)이다.

**표 3.2 각 지역별 준설토의 이화학 특성**

시료명	pH	유기물 (%)	유효인산 (mg/kg)	염농도 (%)	EC (dS/m)	C.E.C (cmol <sup>+</sup> /kg)	T-N (mg/kg)
군산 A	7.46	1.152	31.100	0.597	9.325	-	-
군산 C	7.55	1.220	12.732	0.070	1.099	-	-
군산 D	7.28	0.468	10.171	0.747	11.669	-	-
군산 현장시험	8.37	0.789	14.390	0.034	0.537	0.854	235.821
인천	7.37	1.545	40.722	0.029	0.447	17.325	298.465
광양	7.77	3.617	50.425	0.017	0.265	19.194	332.164
수목 생장조건	5.5-6.5	3.00이상	100이상	0.05미만	0.4미만	12-20	0.25이상

### (3) 준설토의 토양오염 분석결과

본 토양오염분석은 군산 실내실험 A, C, D시료에 한하여 Hg(수은), As(비소), Cd(카드뮴), Cr6+(6가크롬), Pb(납)에 대해 토양오염분석을 수행하였다.

안필균 등(2012)는 오염된 해역에서 발생하는 정화용 준설토 등 중금속과 발암물질이 다량 함유되어 있는 준설토는 생물이나 인간에게 위해를 가할 수 있는 위험성을 잠재 하고 있기 때문에 재활용 하거나 처분함에 있어 많은 어려움이 따른다고 하였다. 그러나 군산에서 채취한 준설토의 토양오염 분석을 한 결과, 중금속은 1지역 우려/대책 허용기준치에 들어와 오염되지 않은 것을 확인하였다. 이는 기존 선행연구와 달리 지역에 따라 준설토의 특성이 다를 것으로 판단이 되고, A 시료의 경우 실트질이 많이 함유된 시료이기 때문에 As, Pb 등 토양오염의 정도가 C 시료 및 D 시료보다 높게 나타났다(박경호 등, 2012).

식물생장에 영향을 미치는 요소 중에서 중금속은 크게 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었으나, pH의 경우 염기성으로 기준치보다 높은 수준이며 유기물은 매우 낮은 수준이고 식물 생장에 가장 큰 영향을 미치는 염분도 높은 수준이다. 대체적으로 모든 조건이 식물생장에 열악한 조건임을 확인하였다. 다음 표 3.3은 군산 새만금 내 준설토의 토양오염 분석결과이다.

따라서 각 지역별 통일분류법(USCS)에 따른 흙 분류, 이화학특성 분석결과, 토양오염 분석결과를 종합해볼 때, 전반적으로 수목생장조건에 부적합하므로 개량제 첨가에 의한 개량이 필수적인 것으로 확인되었다.

표 3.3 군산 새만금 내 준설토의 토양오염 분석결과

(단위 : mg/kg)

구 분		Hg	As	Cd	Cr6+	Pb
군산 A		불검출	3.550	불검출	불검출	8.055
군산 C		불검출	3.259	불검출	1.766	5.202
군산 D		불검출	3.328	불검출	0.778	6.919
토양 오염 기준	1지역 (우려/대책기준)	4/12	25/75	4/12	5/15	200/600
	2지역 (우려/대책기준)	10/30	50/150	10/30	15/45	400/1200
	3지역 (우려/대책기준)	20/60	200/600	60/180	40/120	700/2100
준설토사	활용/우려기준	0.32/2.47	21/65	1.55/11.8	-	62/404

### 3.2.2 산 흙(황토)

#### (1) 황토의 정의

점토를 구성하고 있는 물질은 1차 광물(조암광물)인 장석, 석영 등 조립 광물과 2차 광물(1차광물의 풍화작용에 의한 광물)인 점토광물로 이루어져 있으며(이기식, 2003) 일반적으로 황토는 1차 점토에 속한다. 점토광물은 물을 다량으로 함유하고 있는 규산염 형태의 화학조성을 갖게 된다(문희수, 1996). 일반적으로 황토는 비옥한 토양으로 이루어져 있어 농업에 적합하기 때문에 항상 인구 집중에 영향을 미쳐 왔다(류, 1997). 황토의 입자는 주로 0.02~0.05mm (중량비의 50%)이며, 탄산칼슘에 의해 느슨하게 고결되어 있고, 대개 균질하고 층리가 발달되어 있지 않으며, 공극률이 50~55%로 크다(최희용, 2002).

한편, 우리나라의 황토는 대부분 고령토의 표층에 분포하는 빨간 흙을 의미한다. 국내 서해 내륙지방에 분포된 적황토는 중국의 황토(Loess)와는 다르며 국제적인 명칭으로 적황토는 Laterite로 구분되어 있으며 중국 황토와 비교하여 물리·화학적 성질이나 광물학적 형태가 다르다(Derbyshire, and Mellors, 1988; 정두영, 2008). 본 연구에서 적용된 황토는 적황토(Lateriticsoil)를 의미한다.

#### (2) 황토의 유용한 기능

황토는 입자가 곱고 많은 산소를 함유하고 있으며 정화능력이 뛰어나고 탈취, 탈지의 성질이 있는 등 지구 표면에 있는 60여종의 흙 가운데 가장 우수한 광물질로 평가받고 있다(윤원태, 2001). 이러한 황토 한 스푼에는 약 2억 마리의 미생물이 살고 있기 때문에 매우 다양한 효소들이 순환작용을 하며 흙속을 정화시키는 역할을 한다(이경호, 2002). 또한 이기식(2003)은 양파를 이용한 식물 성장실험을 통해 황토의 효능을 검증하였고, 서정근과 김지희(2007)는 황토와 진흙의 혼용 배지를 이용해 식물의 생육 및 개화에 미치는 실험 중 황토 배합구에서 식물의 뿌리생장이 높게 나타나는 결과를 도출하였다.

한편, 황토는 흡착력이 강하여 여름철 해양에서 적조 구제물질로 통상적으로 많이 쓰이고 있다. 이경호(2002)는 황토의 중금속 흡착제로서 효과를 알아보기 위해 흡착 실험

을 실시한 결과, 중금속의 흡착 제거율은 납, 구리, 아연의 순서로 나타났고 활성탄에 비해 흡착 제거율은 낮았으나 경제성이 있는 유용한 흡착제이다.

한편, 황토는 예로부터 식물 식재용 토양으로 광범위하게 이용되어지고 있으며, 식물을 활성화하는 효과가 뛰어난 것으로 알려져 있다.

식물은 토양 속의 화학물질에 민감하게 반응하기 때문에 토양 pH는 중요한 요소이며 여러 종류의 토양 양분이 중성에 가까운 pH 6~7에서 최고의 가용성을 유지하기 때문에 대부분의 식물은 pH 6~7을 선호한다(신현동 등 2005). 또한 산성 황토는 식재용 토양으로서 이상적인 흙이라는 것을 알 수 있다. 산성이 강한 황토는 알칼리성인 토양과 배합하여 pH 6~7의 범위를 맞춰주면 식물이 성장하기에 좋은 조건이며, 실험 후 시료를 채취하여 이화학특성을 분석한 결과 표 4.1(p.119)과 같이 준설토의 이화학특성이 개선되는 것을 확인하였다.

본 연구에서 사용된 황토는 그림 3.2와 같이 일반적으로 시중에서 판매되는 흙을 사용하였다. 물성실험결과 표 3.4와 같이 통일분류법에 의하여 ML시료로 분류되었다.



그림 3.2 산 흙

표 3.4 산 흙의 물리적 특성

Soil	$G_s$	$W_n$ (%)	#200 (%)	$r_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	OMC (%)	LL	PL	PI
산 흙	2.845	14.60	40.82	1.795	15.97	31.11	25.35	5.76



### 3.2.3 Bio개량제

본 연구에서 사용된 Bio개량제는 6군 11~13종류의 물질로 구성되어 있으며 토양 물리·화학적 조성과 개량에 작용하는 완속도가 높은 양질의 동·식물성 유기물 군으로 조성되어 있다. 토양 C.E.C 증대, 약취 흡착 작용, 광물질군, 생장에 필요한 요구도별 양분공급 무기물군, 경제적 성장 촉진, 환경친화적 개량작용 물질군, 과다염 치환작용 물질군, 토양 물리, 화학성 개량과 유기성 질소 생성 미생물군 등으로 구성되어 있다.

주 재료원인 유기물의 특성에서 공극량과 팽창력이 높은 식물성 유기물을 최첨단 미생물 공법으로 식물이 이용할 수 있는 유기물 형태로 순수 유기물 함량이 15%이상 높은 유기물 주재료원으로 적정량의 환경친화적 개량을 위한 작용을 한다.

Bio개량제의 작용효과는 양질의 유기물 공급으로 식물생장에 적절한 토양 물리·화학적 개량 작용을 한다. 작용효과로는 바다저, 강저 퇴적토의 통기성을 증가, 배수를 촉진하며 물리성 개량과 성장 부적합 pH 교정, 과다 유해물질에 대한 완충, 화학성을 개량하여 보비력 증대, 과다염 치환, 과다 중금속 불용화, 중금속을 고정시켜 소거, 미생물군 작용에 의한 물리성 개량 등이 있다.

그림 3.3은 본 연구에 사용된 Bio개량제이다.



그림 3.3 Bio개량제

Bio개량제의 효과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 물리성 개량

통기, 배수 불량인 토양의 토양입자를 공극이 큰 폐알(토양 입자가 모여 만들어진 입단으로 형성된 토양의 물리적 구조)조직화하여 통기, 배수촉진 반대로 보수력이 낮은 모래질 토양의 보수력 증대의 물리성 개량 작용을 한다.

(2) 화학성 개량

생장에 부적합한 산성, 알칼리성의 산도(pH)와 과다물질, 유해물질에 대한 완충작용, 시용 공급된 양분을 이용할 수 있는 형태로 토양에 보관 또는 흡수 이용율을 높이는 등 식물 생장에 적절한 토양 화학성 조성 개량 작용을 한다.

(3) 미생물 공급

Bio개량제의 발효공법에 사용되는 5종류의 유익 미생물의 교질작용으로 토양 입단화의 지속과 유지, 토양을 활성화하는 개량 작용을 한다.

(4) 환경친화적 개량 물질의 적정량 공급

적정량 배합된 환경친화적 물질의 개량작용으로 인하여 무기양분의 흡수능력이 개선되어 유실되는 무기양분으로 인하여 수질·토양 환경이 오염되는 것을 예방 및 방지하는 개량작용을 한다.

(5) 중금속 불용화, 고정 작용물질 공급

개량제의 작용으로 피해발생이 예상되는 과다 중금속이 식물체내에 농축되지 않도록 불용화, 고정되어 중금속에 의한 피해를 소거하는 개량 작용을 한다.

### 3.2.4 톱밥비료

본 연구에서 사용된 톱밥비료의 제품은 20kg/포대 당 톱밥 70%, 계분 10%, 미생물 5%, 부속촉진제 15%로 일반 비료보다 유기물함량이 풍부한 톱밥 유기질 비료이고, 토양에 비숙을 생성시키는 리그닌(고등 식물)이 풍부하여 일반 유기질비료보다 유기물함량이 높은 특징이 있다. 또한 작물의 후기 생육을 좋게 하는 톱밥비료로서 Bio개량제보다 악취가 없고 위생적이며, 유기물 지속기간이 일반 유기질보다 장기간 지속되어 사용 보관이 좋다. 또한 염기치환용량이 높아 연작지에도 좋은 톱밥비료로 일반적으로 시중에서 판매되는 톱밥비료를 사용하였다.

그림 3.4는 본 연구에 사용된 톱밥비료이다.



그림 3.4 톱밥비료

### 3.2.5 커피슬러지

커피는 일상에서 대표적인 기호식품 중의 하나로서 커피의 수입량은 2002년 이후 매년 연 10~20%대의 지속적인 증가를 나타내고 있다. 2009년도 국내 커피소비량은 10만 902톤으로 이에 따라 발생하는 부산물인 커피슬러지도 매년 꾸준히 증가하고 있는 실정이다. 2012년 관세청 자료에 따르면 최근 커피수입량은 30만 톤으로 2011년 대비 43.8%로 급증하였고, 하루 커피 소비량은 약 320ton/day이고 슬러지로 배출되는 양은 소비량의 70%인 약 225ton/day로 일반폐기물로 처리되고 있다. 커피슬러지는 입자 크기가 크고 다공성이며 통기성이 좋고, 유기물 함량이 높다(류태준, 2011).

아직까지 국내에서는 전량 수입에 의존하고 있으며 커피슬러지는 가정이나 원두커피 전문점, 또는 인스턴트커피를 제조하는 과정에서 많은 양이 발생하고 있다. 또한 커피 전문점에서 발생하는 커피슬러지는 전량 위탁 처리되고 있는 실정임으로 이에 따라 커피슬러지를 활용한 연구의 필요성이 증가되고 있다. 커피슬러지를 활용한 중금속 제어에 관한 연구에서 납과 크롬, 카드뮴을 충분한 조건에서 효율적으로 제어할 수 있다는 결과를 도출하였다(김충곤 등, 2005). 또한, 하수슬러지와 생석회와의 혼합에서 높은 pH에 의한 중금속 재 용출 우려가 있으므로 커피슬러지를 활용하여 제어할 수 있는 가능성을 평가하였다. 따라서 현장에서 처리가 가능한 개량제의 요건을 충족시키기 위해서 폐기물인 커피슬러지를 선택하여 사용하였다.

그림 3.5는 본 연구에 사용된 커피슬러지다.



그림 3.5 커피슬러지

본 연구에서 사용된 커피슬러지는 현재 시중의 프렌차이즈 커피전문점 3사에서 사용하는 원두인 아라비카종으로 거의 같은 원두를 사용하였다. 커피슬러지는 1일 1회 수거한 커피슬러지를 sample pan 1개당 3일 분량을 잘게 부순 후 나누어 담고, 자연건조 후 사용하였다.

커피슬러지의 이화학 특성을 분석한 결과, 수목생장조건 중 다수 항목을 충족시키는 것을 확인하였고 유기물 공급체로서의 가능성을 확인하였다. 표 3.5는 커피슬러지의 이화학 특성이다.

**표 3.5 커피슬러지의 이화학 특성**

시료명	pH	유기물 (%)	유효인산 (mg/kg)	염농도 (%)	EC (ds/m)	C.E.C (cmol <sup>+</sup> /kg)	T-N (mg/kg)
커피 슬러지	6.59	37.007	246.597	0.711	11.102	17.382	2365.625
수목 생장조건	5.5-6.5	3.00이상	100이상	0.05미만	0.4미만	12-20	0.25이상

### 3.3 실내실험에 사용된 시료의 물리적 특성

안필균(2012)은 토양의 물리적 성질, 화학적 성질 및 미생물적 성질과 더불어 토양의 생성이나 분류 및 이용성과 직접적인 관계가 있고, 토양의 물리적 조성인 토성은 통기성, 보수력, 공극량, 양분흡수능력, 수분함량, 점착력 등을 결정함으로써 식물생육에 영향을 미친다고 하였다. 또한 토양의 성분에 따라 식물 종을 선택하는 것은 훼손지 복원 후, 차후에 복원의 질과 주변 환경과의 조화 및 경관의 품질을 결정짓는 중요한 요소이므로 매우 중요하다고 하였다.

따라서 각 지역에서 채취된 준설토의 물리적 특성을 파악하기 위해 한국 공업규격에 준하여 비중시험(KS F 2308), 체가름시험(KS F 2309), 입도시험(KS F 2302), 함수량 시험(KS F 2306), 비중계시험(KS F 2302), 액·소성한계시험(KS F 2303~4)을 실시하였다.

군산 A시료, 인천 및 광양 시료의 경우 #200체 통과량이 50% 이상이며, 액성한계(Liquid Limit, LL), 소성한계(Plastic Limit, PL), 소성지수(Plastic Index, PI)가 다음 결과와 같이 측정되었다. 또한 군산 C, D시료 및 군산 현장시험의 시료는 #200체 통과량이 13~28% 사이이며 LL, PL, PI는 측정할 수 없었다.

물성시험결과에 의하여 흙의 공학적 분류법 중 통일분류법(USCS)에 의하여 군산 A시료 및 산 흙은 ML(실트), 군산 C, D시료 및 군산 현장시료는 SM(실트질 모래)으로 분류되었다. 인천 시료는 CL-ML(실트질 점토), 광양시료는 CL(점토)로 분류되었다.

그림 3.6과 3.7은 시료의 각 지역 준설토의 입도분포 곡선이며 표 3.6은 준설토의 물리적 특성을 나타낸 것이다.

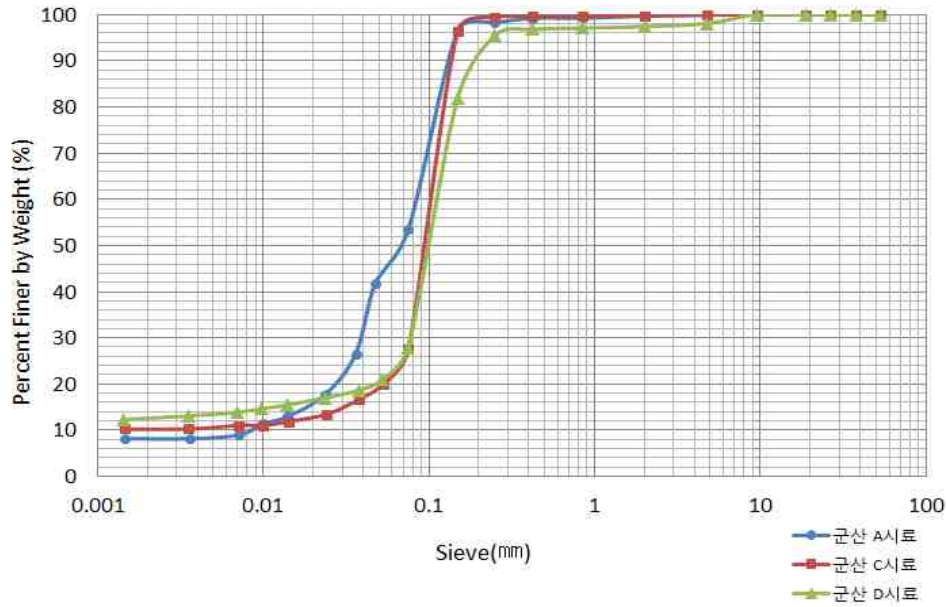


그림 3.6 군산 준설토 입도분포곡선

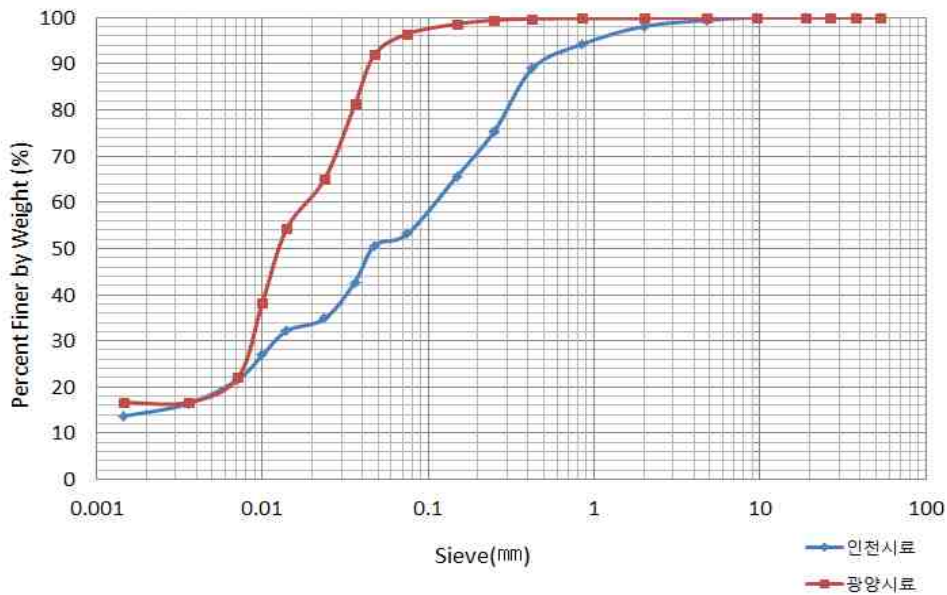


그림 3.7 인천 및 광양 준설토 입도분포곡선

표 3.6 각 지역 준설토의 물리적 특성

Soil	$G_s$	$W_n$ (%)	#200 (%)	$r_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	OMC (%)	LL	PL	PI
군산 A	2.641	29.91	53.41	1.546	21.9	26.25	20.71	5.54
군산 C	2.583	19.3	27.47	1.505	18.07	NP	NP	NP
군산 D	2.607	23.05	27.85	1.548	19.01	NP	NP	NP
군산 현장	2.597	22.41	13.46	1.504	19.35	NP	NP	NP
인천	2.630	42.19	53.17	1.880	11.58	29.96	24.33	5.63
광양	2.623	29.91	96.50	1.560	23.40	31.20	22.32	8.88



### 3.4 실내실험 및 결과

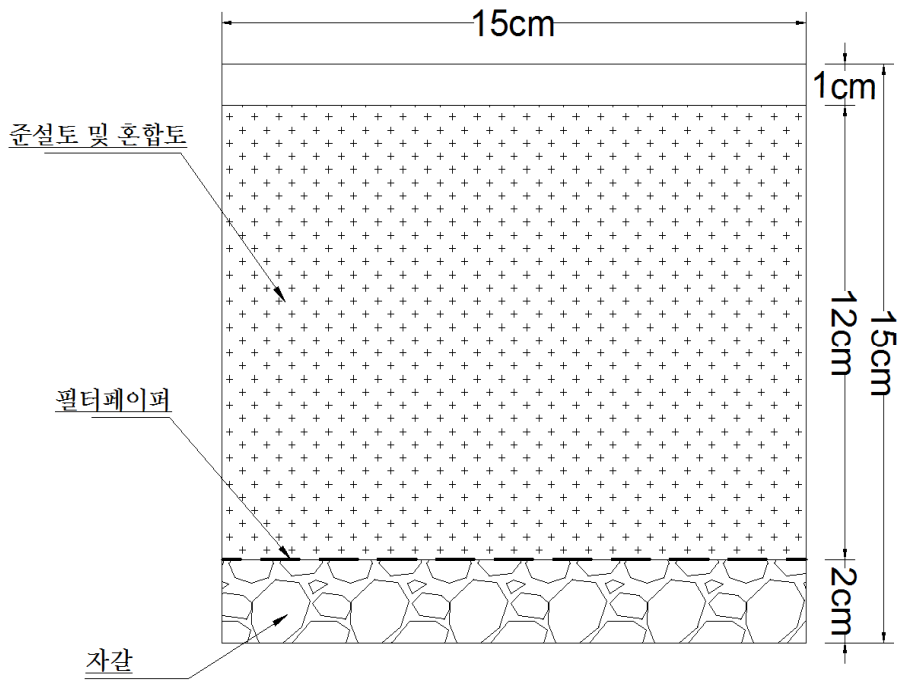
#### 3.4.1 Bio개량제 1차실험

본 실험에서는 실내실험 시료인 군산 A, C, D시료에 산 흙과 기존 개발된 Bio개량제 배합정도에 따른 발아율을 확인하고자 배합비를 다양하게 선정하였다. 또한 시료를 채취한 군산 새만금 부지는 추후 농경지로 경작되는 지역이므로 보리, 벼와 같은 경작식물과 유채 3가지 중을 선정하여 연구를 수행하였다.

D15cm × H15cm의 Pot을 이용하여 준설토 건조시료의 pH, 염분, 시료의 간극, 입자 등의 식물생장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 40°C에서 시료를 완전히 건조시킨 후 일반 육상식물 중 보리, 유채 2종을 10입, 잔디 0.5g을 파종하였다.

그림 3.8(a)는 Bio개량제 실험 Pot의 도면이고, 케이스의 조성은 바닥층에 2cm 자갈을 넣어 배수층을 확보하고 관수 시 유실되는 준설토 SM(실트질모래)의 특성 상 이를 방지하기 위하여 자갈층위에 D15cm의 필터 페이퍼를 설치하였으며, 12cm의 높이로 시료를 충전 후, 상층에 1cm의 여유를 두었다. 또한 1케이스를 1/3으로 나누어 보리, 유채, 잔디의 씨앗을 파종하여 세팅을 완료하였다.

그림 3.8(b)는 Bio개량제 실험 셋팅 후 전경이며, 시료 3종(군산 A, C, D시료) × 배합비 3종(준설토 100%, 준설토 80% : 산 흙 20%, 준설토 60% : 산 흙 40%) × 개량제 4종(Bio개량제 0, 3, 6, 9%) × 1케이스(잔디, 보리, 유채 3종의 씨앗을 케이스에 1/3씩 분할하여 파종을 실시함)와 산 흙 100%로 총 37 케이스를 실내온도 28-30°C를 유지하여 실험을 수행하였다. 표 3.7은 실내실험 배합비이다.



(a) Bio개량제 실험 Pot



(b) Bio개량제 실험 (D15cm × H15cm : 유채, 보리, 잔디)

그림 3.8 Bio개량제 실험 전경

표 3.7 Bio개량제 1차실험 배합비

시 료	씨 앓	사 용 재 료		
		준설토(%)	산 흙(%)	Bio개량제(%)
산 흙	유채, 보리, 잔디	0	100	0
군산 A 군산 C 군산 D	유채 보리 잔디	100	0	0
		100	0	3
		100	0	6
		100	0	9
		80	20	0
		80	20	3
		80	20	6
		80	20	9
		60	40	0
		60	40	3
		60	40	6
		60	40	9

<주> 위 배합비는 준설토 + 산 흙의 중량비 100%를 기준으로 개량제를 첨가하여 실험을 진행함

### 3.4.2 Bio개량제 1차실험결과

#### (1) pH 측정

pH변화를 측정하기 위하여 1일 1회 같은 시간에 관수 후 케이스를 통과한 물을 받아 pH를 측정하였다. 초기 pH는 산 흙 및 Bio개량제의 영향으로 pH가 감소하였으나 측정이 거듭될수록 관수한 수돗물의 영향으로 pH가 증가하는 경우를 확인하였다. 그림 3.9는 산 흙 케이스의 pH 측정된 결과이다. 본 연구에서 사용된 산 흙의 경우 7.01 정도의 pH를 나타내는 것을 확인하였다.

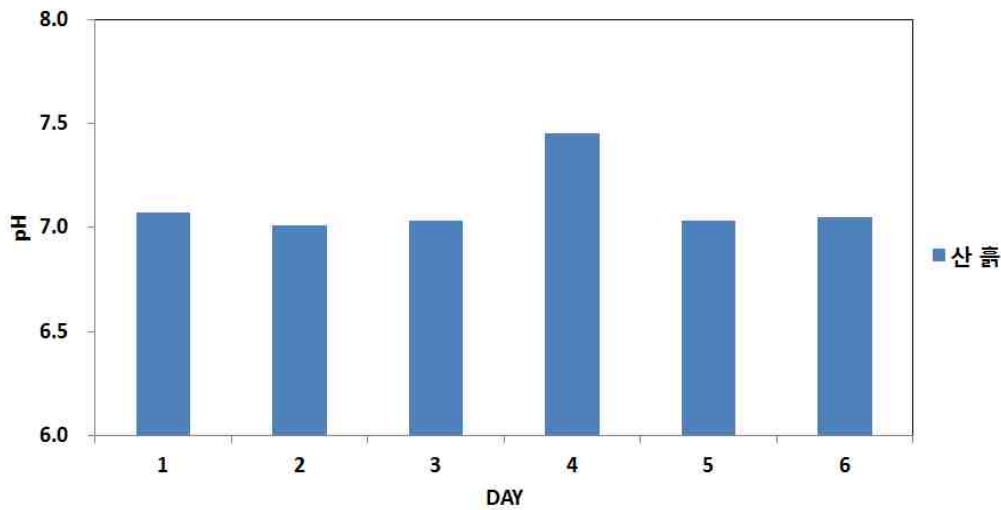


그림 3.9 산 흙 pH 측정 결과

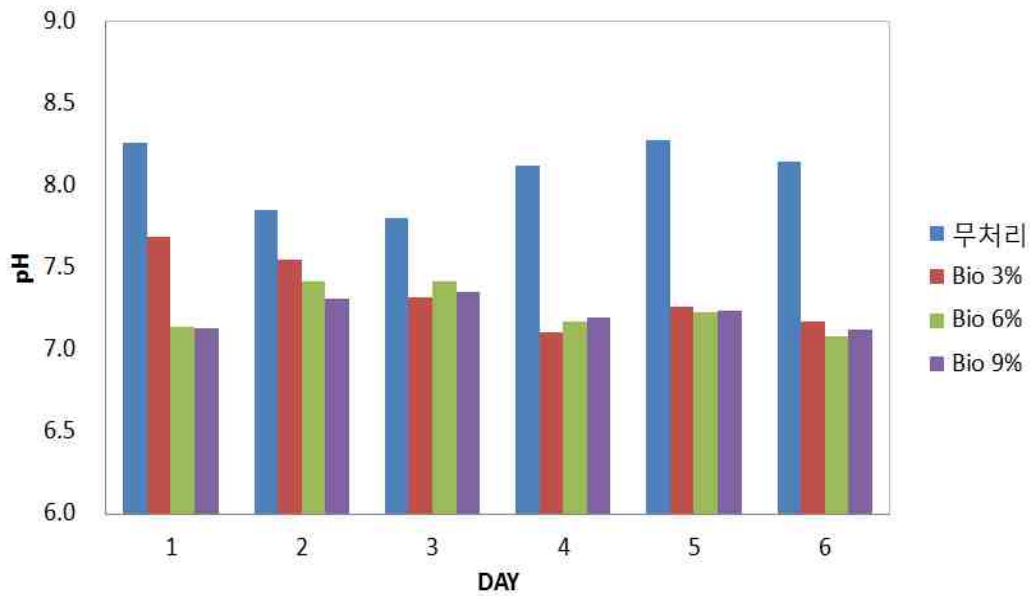
그림 3.10은 군산 A시료에 대한 시간에 따른 pH 측정 결과이다. 그림 3.10(a)는 준설토 100% + Bio개량제(3, 6, 9%)로 배합하였으며, 그림 3.10(b)는 준설토 80% + 산 흙 20% + Bio개량제(3, 6, 9%)를 배합하였고, 그림 3.10(c)는 준설토 60% + 산 흙 40% + Bio개량제(3, 6, 9%)를 배합하여 시료를 셋팅 후 용출수의 pH를 측정하였다.

그림 3.10(a)는 무처리의 경우 평균 8.07로 pH가 상승하는 것을 확인하였고, 관수를 통하여 시간이 지나도 pH가 안정되지 않는 것을 확인하였다. 또한 pH 8.07은 약염기성으로서, 일반 육상식물의 성장을 위해서는 부적합한 것을 확인하였다. Bio개량제

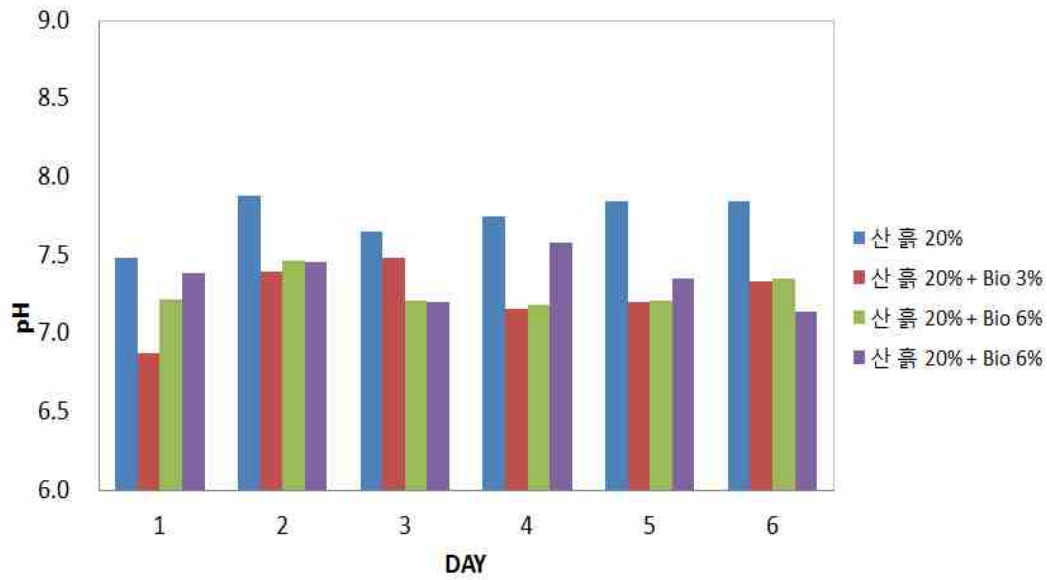
3%일 때 7.35, 6%일 때 7.24, 9%일 때 7.22로 나타나 Bio개량제 첨가 시 pH가 감소하는 결과를 확인하였고, Bio 개량제 9%일 때 가장 큰 pH의 감소효과를 확인하였다. 또한 시간이 지날수록 큰 증감을 보이지 않고 안정화 되는 것을 확인하였다.

그림 3.10(b)의 경우 산 흡 20% 첨가된 경우 평균 7.75로 무처리 보다 감소하는 것을 확인하였고, Bio개량제 3% 첨가 시 7.24, 6%일 때 7.27, 9%일 때 7.35로 평균 7.3의 식물 생장에 안정적인 pH의 수준을 유지하는 것으로 나타났다.

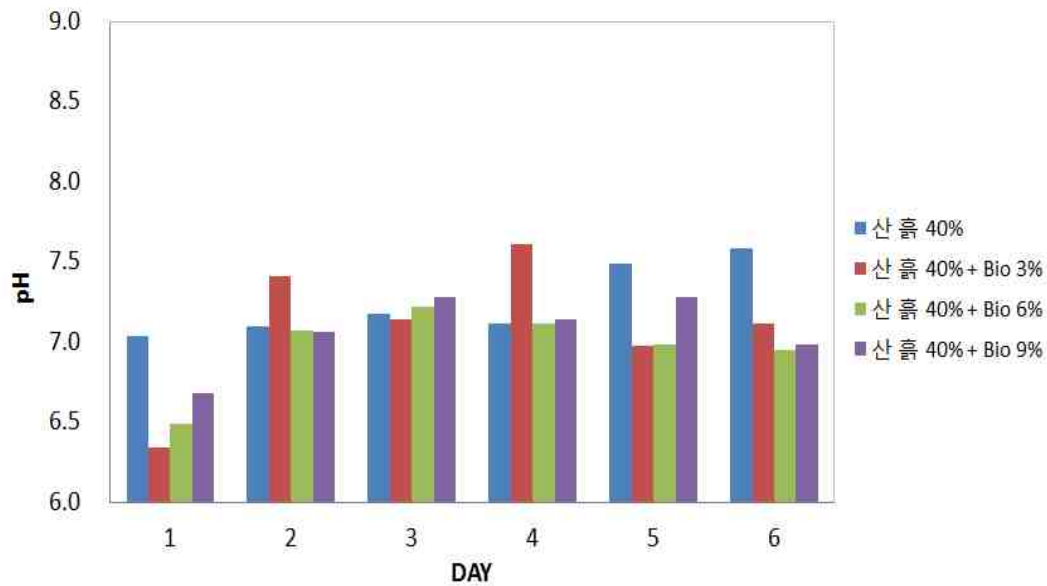
그림 3.10(c)의 경우 산 흡 40%가 첨가된 경우 평균 7.25로 나타났으며, Bio개량제 3% 첨가 시 7.1, 6%일 때 7.0, 9%일 때 7.1로 시간이 지날수록 산 흡과 유사한 pH를 확인하였다.



(a) 군산 A시료 무처리에 따른 pH 변화



(b) 군산 A시료 산 흙 20% 첨가에 따른 pH 변화



(c) 군산 A시료 산 흙 40% 첨가에 따른 pH 변화

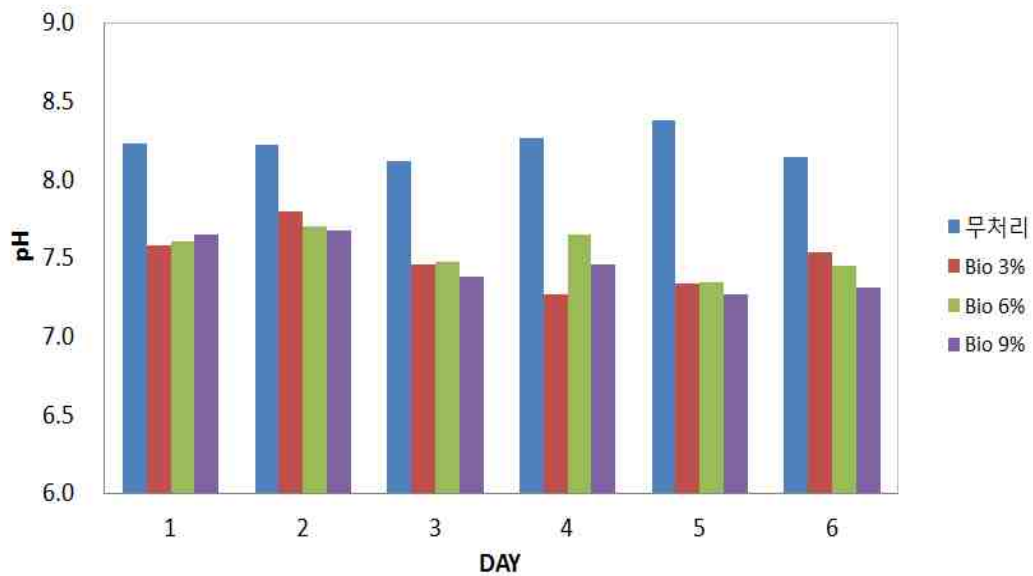
그림 3.10 군산 A시료 pH 측정 결과

그림 3.11은 균산 C시료에 대한 시간에 따른 용출수의 pH를 측정하였다.

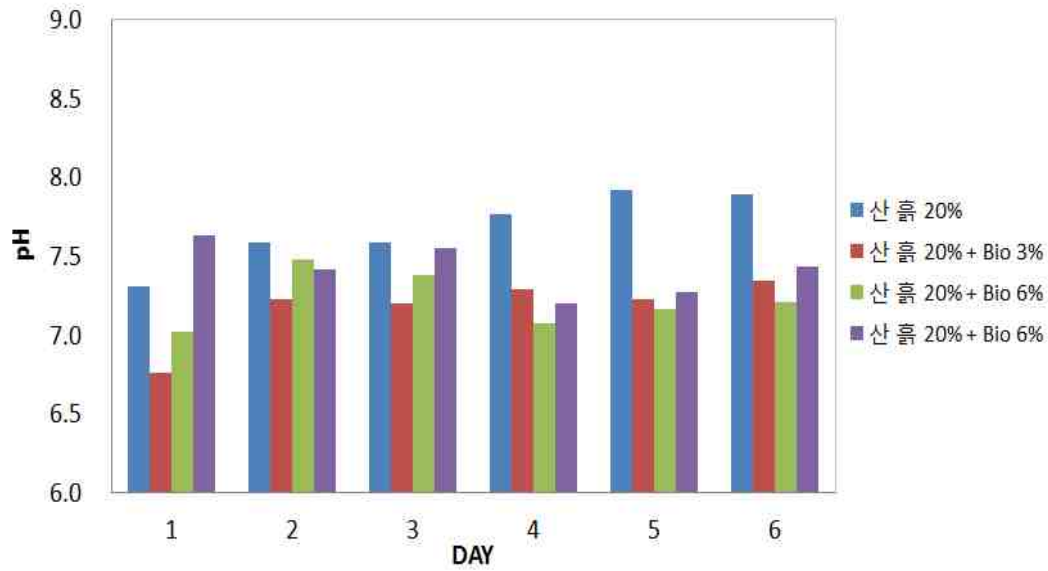
그림 3.11(a)는 무처리의 경우 평균 8.22로 pH가 증가하는 것을 확인하였고, 관수를 통해 시간이 경과되어도 pH가 안정되지 않는 것을 확인하였다. 또한 pH 8.22은 약염기성으로서, 일반 육상식물의 성장조건에는 부적합한 것을 확인하였다. Bio개량제 3% 첨가 시 7.50, 6%일 때 7.54, 9%일 때 7.45로 나타났으나, 전체적으로 초기 pH보다 감소하는 것을 확인하였고, 시간이 지날수록 큰 증감을 보이지 않고 안정화 된 pH를 확인하였다.

그림 3.11(b)의 경우 산 흡이 20% 첨가된 경우 평균 7.67로 무처리 보다 감소하는 것을 확인하였고, Bio개량제 첨가 시 3%일 때 7.17, 6%일 때 7.22, 9%일 때 7.40로 평균 7.3의 안정적인 pH의 수준을 유지하는 것으로 나타났다.

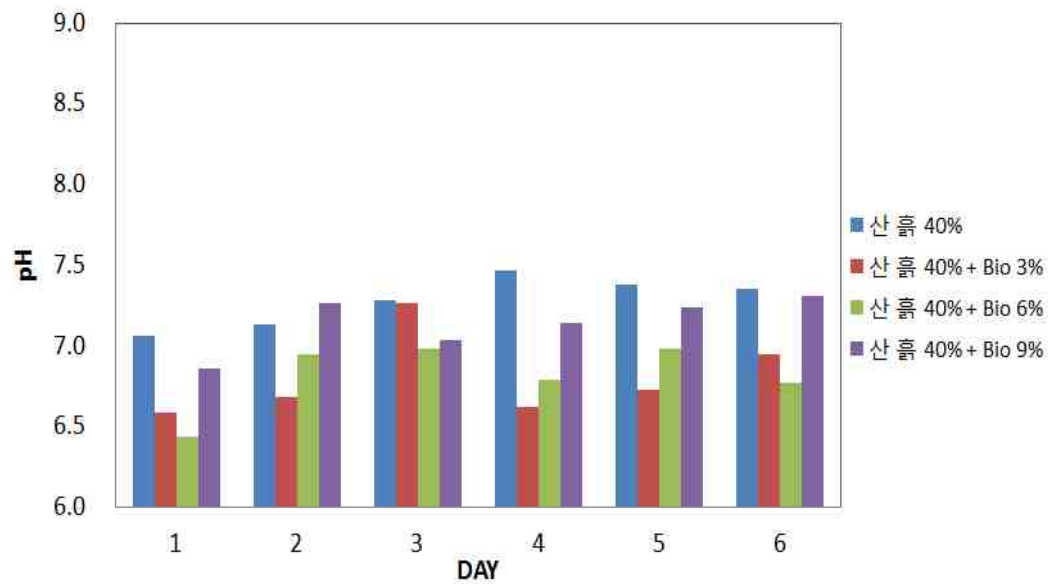
그림 3.11(c)의 경우 산 흡 40% 첨가된 경우 평균 7.28로 나타났으며, Bio개량제 3%일 때 6.8, 6%일 때 6.8, 9%일 때 7.1로 시간이 지날수록 산 흡과 유사한 pH를 나타내는 것을 확인하였다.



(a) 균산 C시료 무처리에 따른 pH 변화



(b) 군산 C시료 산 흙 20% 첨가에 따른 pH 변화



(c) 군산 C시료 산 흙 40% 첨가에 따른 pH 변화

그림 3.11 군산 C시료 pH 측정 결과

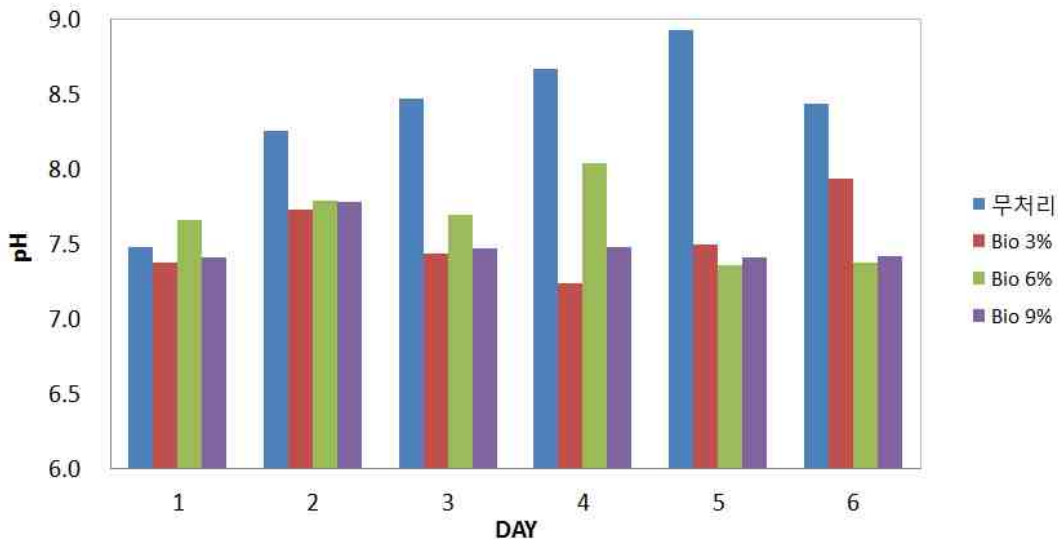


그림 3.12는 균산 D시료에 대한 시간에 따른 용출수의 pH를 측정하였다.

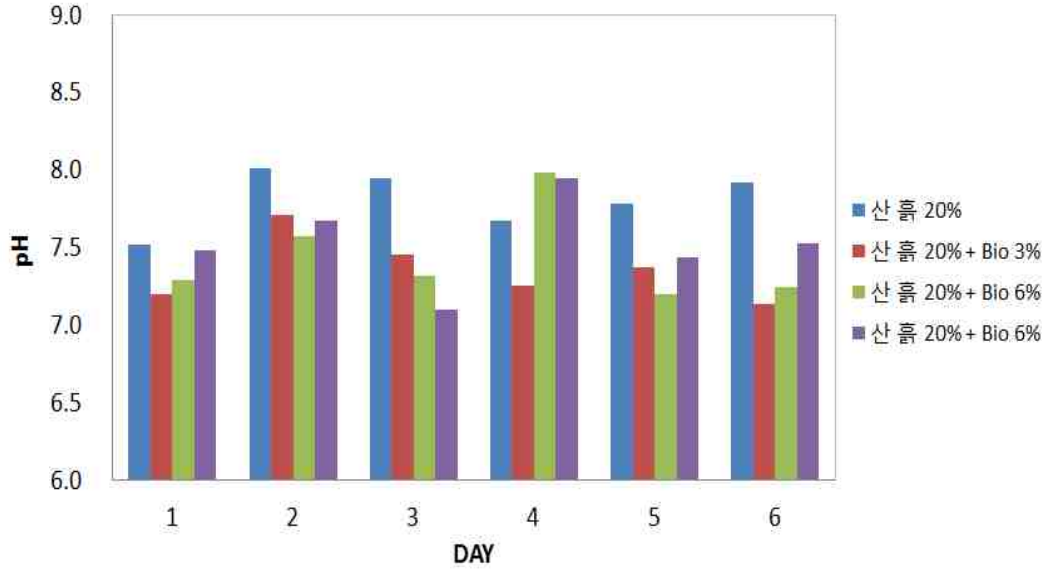
그림 3.12(a)는 무처리의 경우 평균 8.38로 pH가 증가하는 것을 확인하였고, 관수를 통해 시간이 경과해도 pH는 안정되지 않는 것을 확인하였다. 또한 pH 8.38은 약염기 성으로서 일반 육상식물의 성장을 위해서는 부적합한 것을 확인하였다. Bio개량제 3% 첨가 시 7.53, 6%일 때 7.66, 9%일 때 7.50로 나타났으나, 전체적으로 초기 pH보다 감소하는 것을 확인하였고, 시간이 경과할수록 큰 증감을 보이지 않고 안정화 된 pH를 확인하였다.

그림 3.12(b)의 경우 산 흡 20% 첨가된 경우 평균 7.81로 무처리 보다 감소하는 것을 확인하였고, Bio개량제 3% 첨가 시 7.35, 6%일 때 7.44, 9%일 때 7.53로 평균 7.5의 안정적인 pH의 수준을 유지하는 것으로 나타났다.

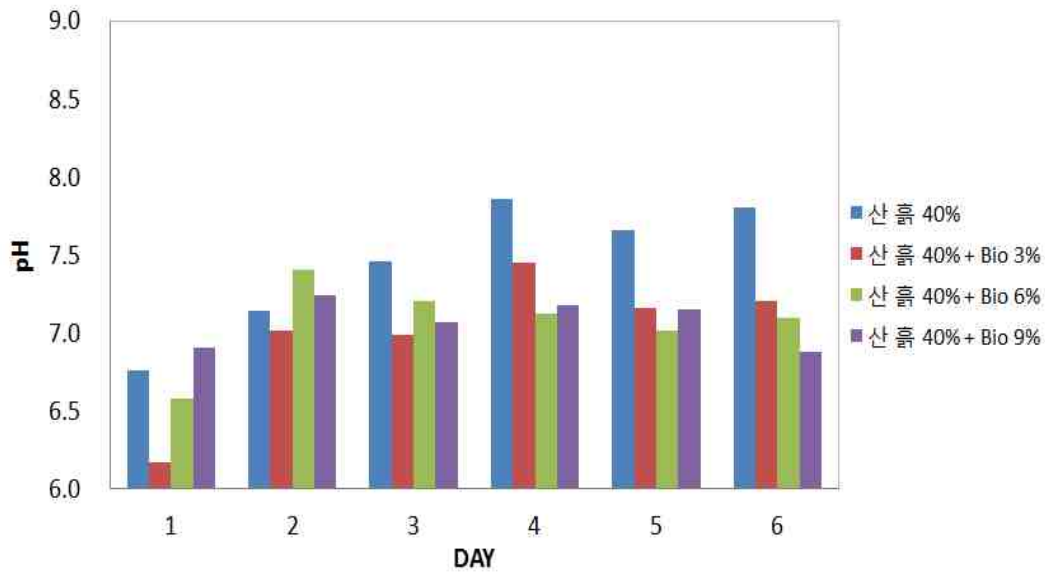
그림 3.12(c)의 경우 산 흡 40% 첨가된 경우 평균 7.45로 나타났으며, Bio개량제 3% 첨가 시 7.00, 6%일 때 7.07, 9%일 때 7.07로 시간이 경과할수록 산 흡과 유사한 pH를 나타냈다.



(a) 균산 D시료 무처리에 따른 pH 변화



(b) 군산 D시료 산 흙 20% 첨가에 따른 pH 변화



(c) 군산 D시료 산 흙 40% 첨가에 따른 pH 변화

그림 3.12 군산 D시료 pH 측정 결과

## (2) 발아율 측정

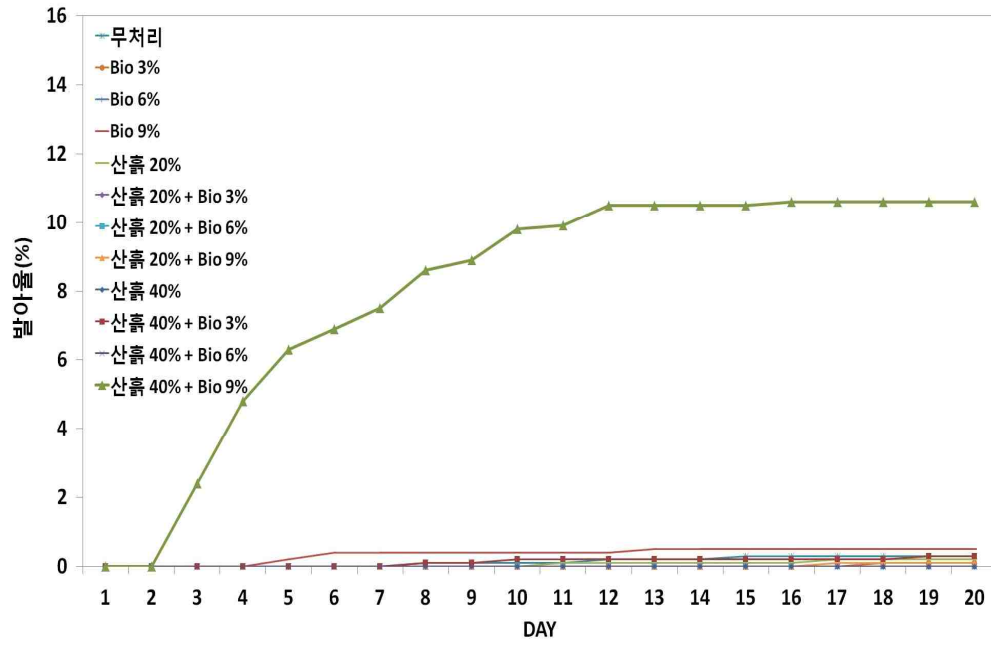
그림 3.13은 최초 발아 후 1일 1회 동시간대에 발아된 씨앗의 개수를 측정한 그래프이다. 그림 3.13(a)는 군산 A시료의 잔디 발아율이며 산 흙 40% + Bio 9%에서 10%의 가장 높은 발아율을 확인하였고 대부분의 케이스에서 발아율 1%로 매우 낮았다. 그림 3.13(b)는 군산 C시료의 잔디 발아율이며 산 흙 40% + Bio 9%에서 16%의 가장 높은 발아율을 확인하였고 산 흙 20%에서 4%의 발아율을 확인하였으나 대부분의 케이스에서 잔디 발아율은 2%로 매우 낮았다. 그림 3.13(c)는 군산 D시료의 잔디 발아율이며 산 흙 40% + Bio 9%에서 6%의 가장 높은 발아율을 확인하였으나 대부분의 케이스에서 4%이하의 발아율로 매우 낮았다.

실험 계획 당시 예상했던 발아율 결과를 얻지는 못했으나, 벤트그라스(양잔디)의 경우 발아율은 저조하나 개량제를 이용한 케이스가 무처리 보다 발아율 및 최대생장 길이가 더 높은 것을 확인하였다.

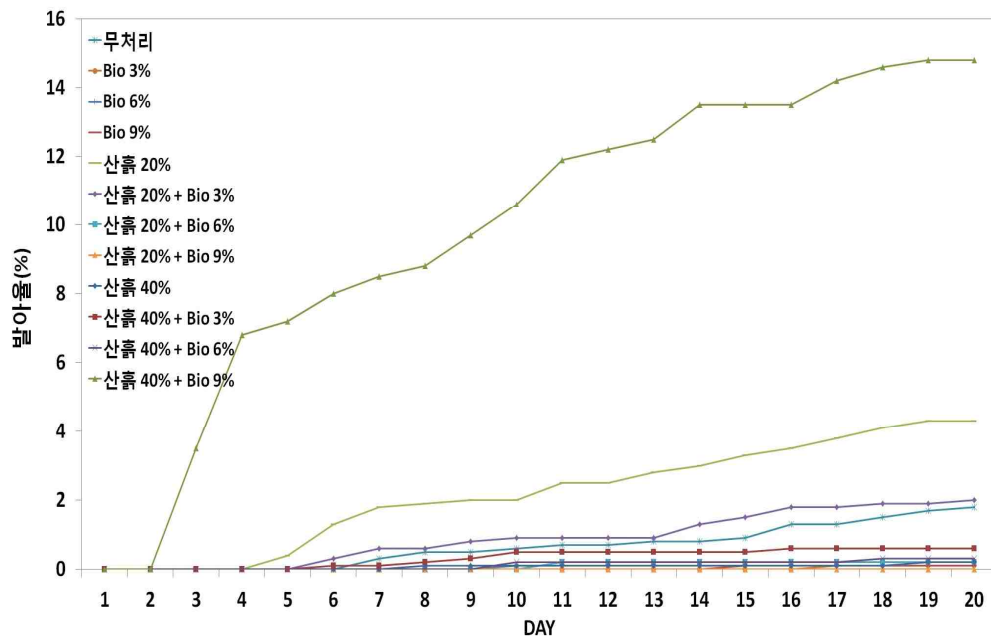
발아율이 저조한 원인을 분석한 결과, pH 측정을 위한 1일 1회 관수로 인하여 CL(점토)인 A시료의 경우 배수성이 급격히 감소하였고 SM(실트질 모래)인 C, D시료에 비하여 발아율이 매우 저조한 것을 확인하였다. 또한 관수 시 시료의 압밀이 진행되어 표면에서 1cm 이내로 파종하였던 씨앗도 4~5cm 침전이 발생한 것을 확인하였다.

실내실험 시 관수로 인한 시료의 압밀로 배수성이 급격히 감소한 것을 보고 관수의 중요성을 확인하였다. 개량제를 첨가한 케이스의 경우에는 개량제의 입자가 크고 거칠어 공극을 유지함으로써 무처리 보다 공극률과 발아율이 좋은 것을 확인하였으나, 배수가 원활하지 않은 경우에는 개량제가 첨가된 케이스가 무처리 보다 씨앗이 급속도로 썩는 것을 확인하였다.

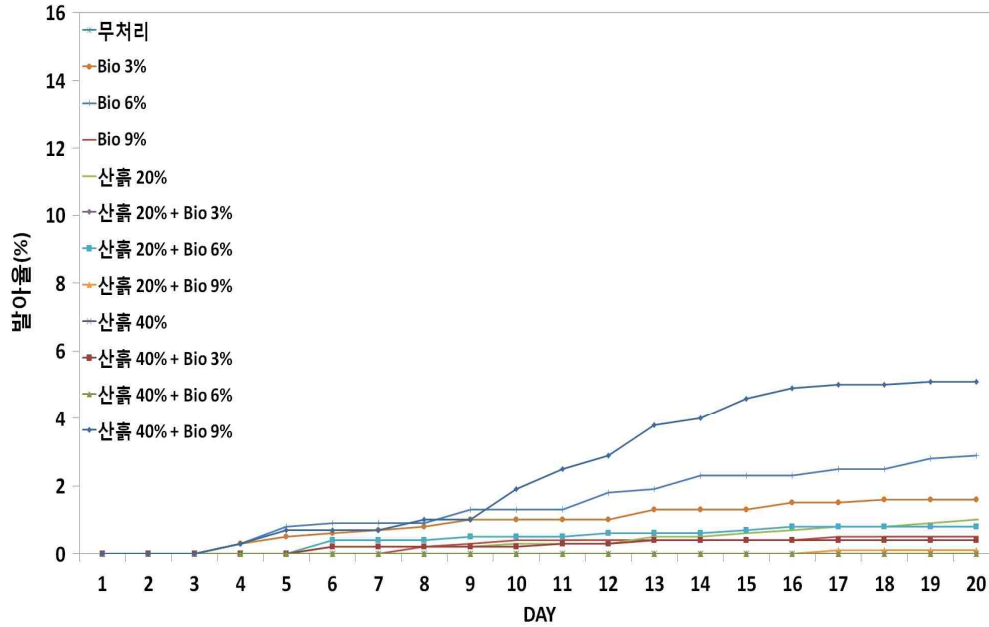
최대생장길이의 경우 발아 후 벼, 보리의 경우 10cm~15cm정도 생장이 가능하나 더 이상은 생장이 되지 않고 시들어지는 것을 확인하였다. 준설토의 경우 유기물이 매우 부족하기 때문에 유기물을 공급하는 방법이 필요한 것을 확인하였다.



(a) 군산 A시료 잔디 발아율



(b) 군산 C시료 잔디 발아율



(c) 군산 D시료 잔디 발아율

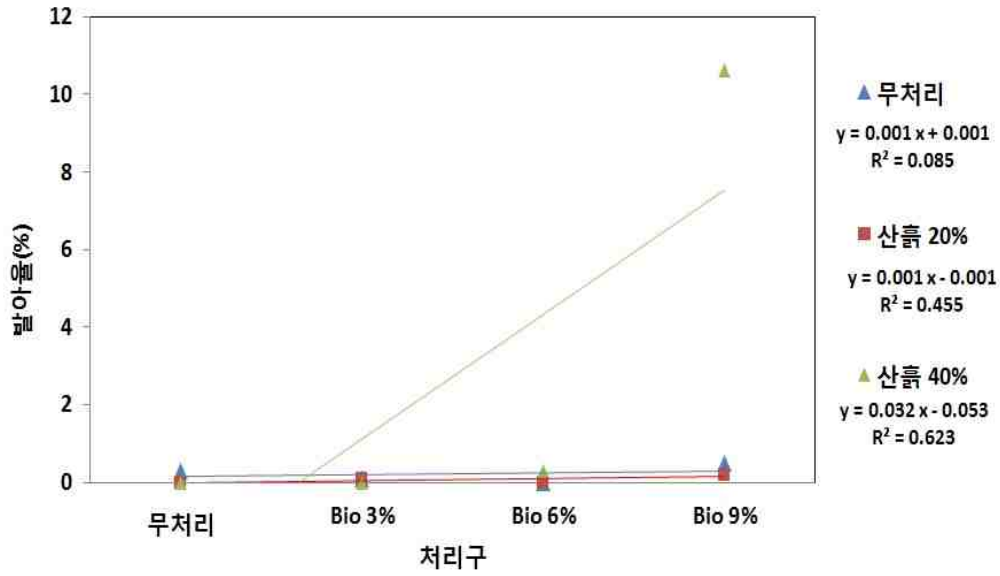
그림 3.13 군산 시료 잔디 발아율 측정 결과

그림 3.14는 Bio개량제의 배합비에 따른 효과를 확인하고자 잔디를 각 토양별 케이스에 파종 후, 무처리 및 Bio개량제(3, 6, 9%) 처리구의 발아율을 비교하였다.

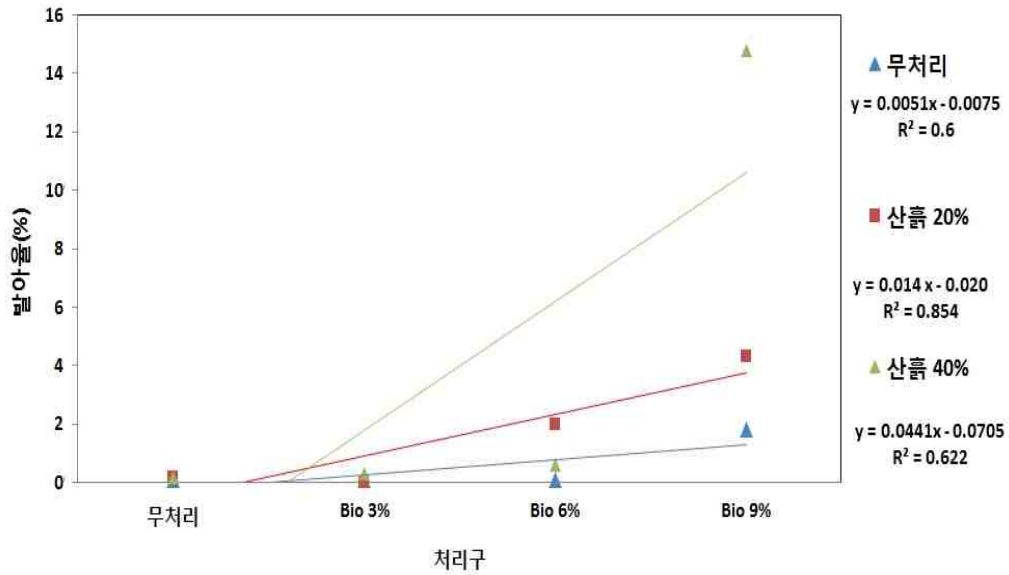
그림 3.14(a)는 군산 A시료의 잔디 발아율을 측정한 결과이며 무처리에서  $R^2=0.084$ , 산 흙 20%는  $R^2=0.454$ , 산 흙 40%는  $R^2=0.622$ 로 무처리의 경우에는 적절한 상관관계를 확인하기 어려웠으나, 산 흙의 첨가량이 증가할수록 상관관계가 증가하는 것을 확인하였다.

그림 3.14(b)는 군산 C시료의 잔디의 발아율을 측정한 결과이며 무처리에서  $R^2=0.6$ , 산 흙 20%는  $R^2=0.854$ , 산 흙 40%는  $R^2=0.622$ 로 위와 같이 산 흙의 양이 증가할수록 상관관계도 증가하는 것을 확인하였다.

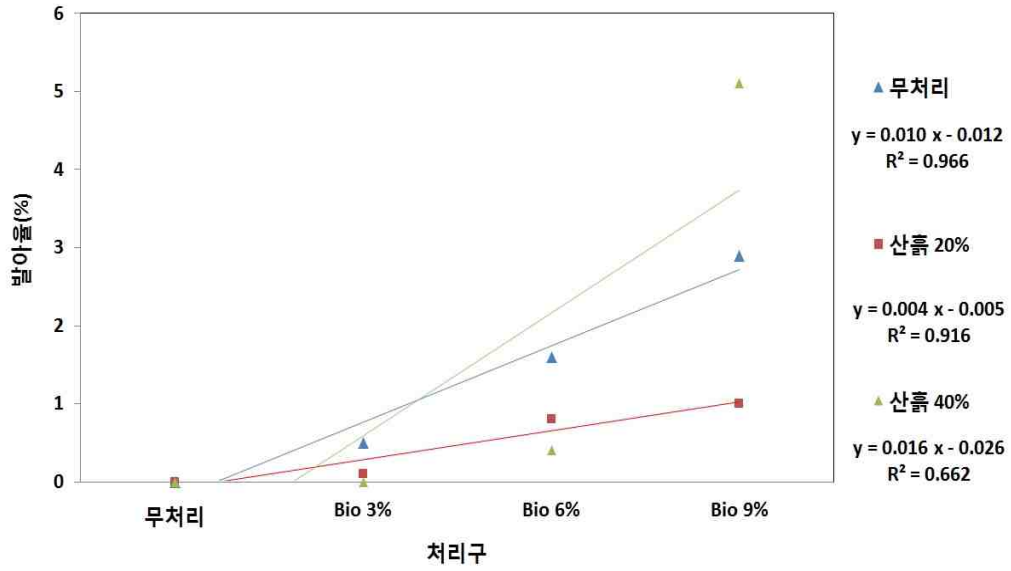
그림 3.14(c)는 군산 D시료의 잔디의 발아율을 측정한 결과이며 무처리에서  $R^2=0.966$ , 산 흙 20%는  $R^2=0.915$ , 산 흙 40%는  $R^2=0.662$ 로 모든 처리구에서 비교적 높은 상관관계를 확인하였다.



(a) 군산 A시료 Bio개량제 처리에 따른 잔디 발아율 비교



(b) 군산 C시료 Bio개량제 처리에 따른 잔디 발아율 비교



(c) 군산 D시료 Bio개량제 처리에 따른 잔디 발아율 비교  
 그림 3.14 Bio개량제 처리에 따른 잔디의 발아율 비교

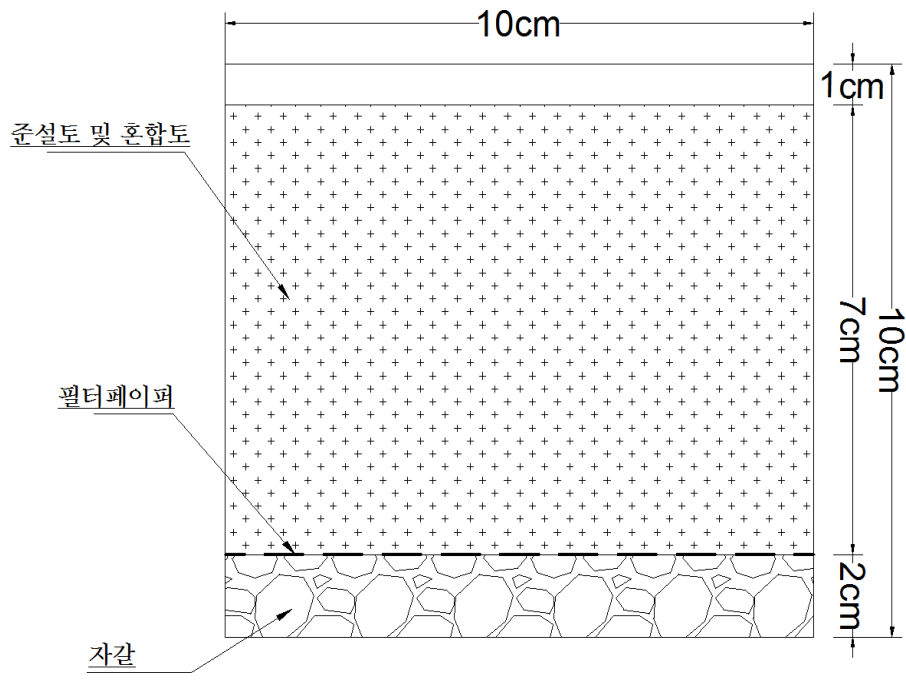
### 3.4.3 Bio개량제 추가 2차실험

Bio개량제 추가 실험에서는 군산지역에 분포된 식물의 종류를 늘리고 산 흙의 배합비를 달리하여 실험을 수행하였다. 또한 주변 간척 지역의 식생환경과 토양조사 결과와 방조제 사면의 해사 준설토양의 조사 결과를 토대로 안전성, 생태성 및 경관성을 고려하여 생태적 환경복원을 위한 식물을 선정하였다. 따라서 선정된 종자는 주변식물(숯패랭이, 쭉부쟁이), 자생식물(구절초), 염생식물(함초), 도입초종(양잔디) 등을 적정식물로 선정하였고, Bio개량제 실험(1차실험)과 마찬가지로 경작식물인 보리, 벼를 포함하여 총 7종을 선정하였다.

그림 3.15(a)는 Bio개량제 추가 실험의 도면이며, 케이스의 조성은 바닥층에 2cm 자갈을 넣어 배수층을 확보하고 관수 시 유실되는 준설토 SM(실트질모래)의 특성 상 이를 방지하기 위하여 자갈층위에 필터 페이지를 설치하였으며, 7cm의 높이로 시료를 충전 후, 상층에 1cm의 여유를 두었다. 또한 D10cm × H10cm의 Pot을 이용하여 잔디, 함초, 구절초, 숯패랭이, 쭉부쟁이를 각각 1 케이스에 10입씩 파종하였으며, D15cm × H15cm의 Pot에서는 1 케이스를 절반으로 분할하여 벼, 보리 2종자를 10입씩 파종하여 셋팅하였다.

그림 3.15(b)는 Bio개량제 추가 실험의 셋팅 후 전경이며, 시료 3종(군산 A, C, D시료) × 배합비 2종(준설토 100%, 준설토 80% : 산 흙 20%) × 개량제 3종(Bio개량제 0, 3, 6%) × 식물 7종(D15cm × H15cm : 벼, 보리를 1 케이스에 2종씩 파종, D10cm × H10cm : 잔디, 함초, 구절초, 숯패랭이, 쭉부쟁이를 1 케이스에 1종씩 파종)으로 총 108 케이스를 실내온도는 18~20°C를 설정하여 실험을 수행하였다. 표 3.8은 실내실험 배합비이다.





(a) Bio개량제 추가 실험 Pot



(b) Bio개량제 추가 실험(D10cm × H10cm : 잔디, 합초, 구질초, 숯패랭이, 썩부쟁이)



(c) Bio개량제 추가 실험(D15cm × H15cm : 벼, 보리)

그림 3.15 Bio개량제 추가 실험 전경

표 3.8 Bio개량제 추가 2차실험 배합비

시 료	씨 앓	사 용 재 료		
		준설토(%)	산 흙(%)	Bio개량제(%)
군산 A시료 군산 C시료 군산 D시료 (D15cm × H15cm)	벼 보리	100	0	0
		100	0	3
		100	0	6
		80	20	0
		80	20	3
		80	20	6
군산 A시료 군산 C시료 군산 D시료 (D10cm × H10cm)	잔디 합초 구절초 슬패랭이 쭉부쟁이	100	0	0
		100	0	3
		100	0	6
		80	20	0
		80	20	3
		80	20	6

<주> 위 배합비는 준설토 + 산 흙의 중량비 100%를 기준으로 개량제를 첨가하여 실험을 진행함

### 3.4.4 Bio개량제 추가 2차실험결과

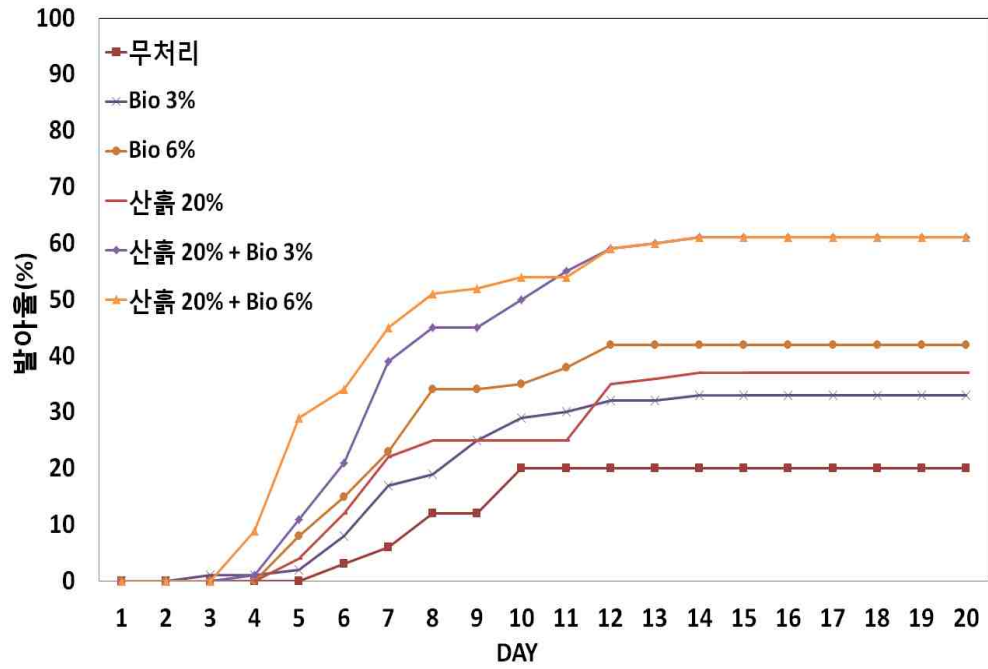
1차 군산 C시료의 실험결과, 산 흙 첨가량이 20%일 때, Bio개량제 6%와 9% 처리구의 발아율 차이가 약 2%인 것을 확인하였다. 따라서 2차 실험 진행 시 산 흙의 첨가량을 최소화 시키고자 산 흙 20% + Bio 개량제 6%로 1일 1회 관수하여 진행하였다.

실험결과, 그림 3.16~그림 3.18과 같이 개량제 6% 첨가 시 발아율이 증가하는 것을 확인하였고, 산 흙을 배합 할 경우 발아율이 더 증가하는 경향을 확인하였다.

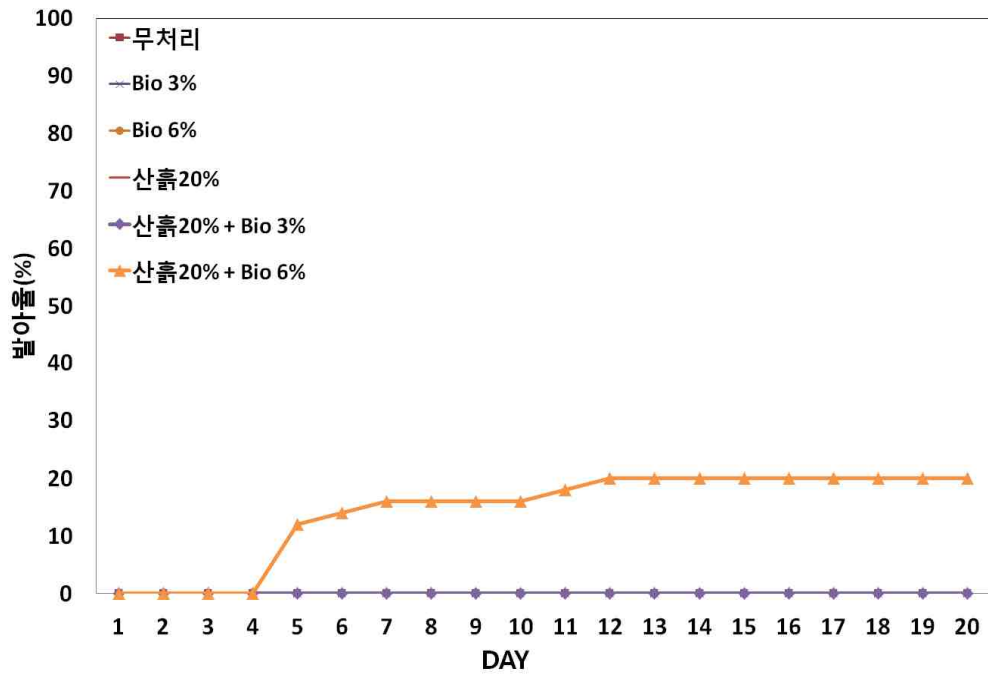
발아가 되지 않은 구절초, 쪽부쟁이는 씨앗이 미립하고 지속적인 관수로 시료와 씨앗이 동시에 압밀됨에 따라 1차실험과 같이 발아되지 않은 것으로 확인되었다. 염생식물인 함초(통통마디)의 경우 초기 발아율은 높은 것을 확인하였으나, 관수와 개량제의 영향으로 염분이 감소하여 무처리에 비하여 급속도로 죽는 것을 확인하였다. 이를 통해 파종 전 관수를 통하여 염분 제어의 가능성을 확인하였다. 식물생장의 다양한 변수 및 준설토의 유기물 부족으로 발아 후 지속적인 생장이 불가능한 것을 확인하였다.

그림 3.16의 경우 군산 A시료의 발아율 측정 결과 벼, 보리, 잔디, 술패랭이, 함초 등은 무처리에 비해 Bio개량제 3% 첨가 시 벼, 술패랭이 케이스에서 3.5~4배 이상 발아율 증가하였으며, 나머지 케이스는 무처리와 비슷한 발아율을 보였다. Bio개량제 6% 첨가 시 벼, 보리, 잔디, 술패랭이에서 무처리에 비해 발아율이 5~7배 이상 발아율이 증가하였다.

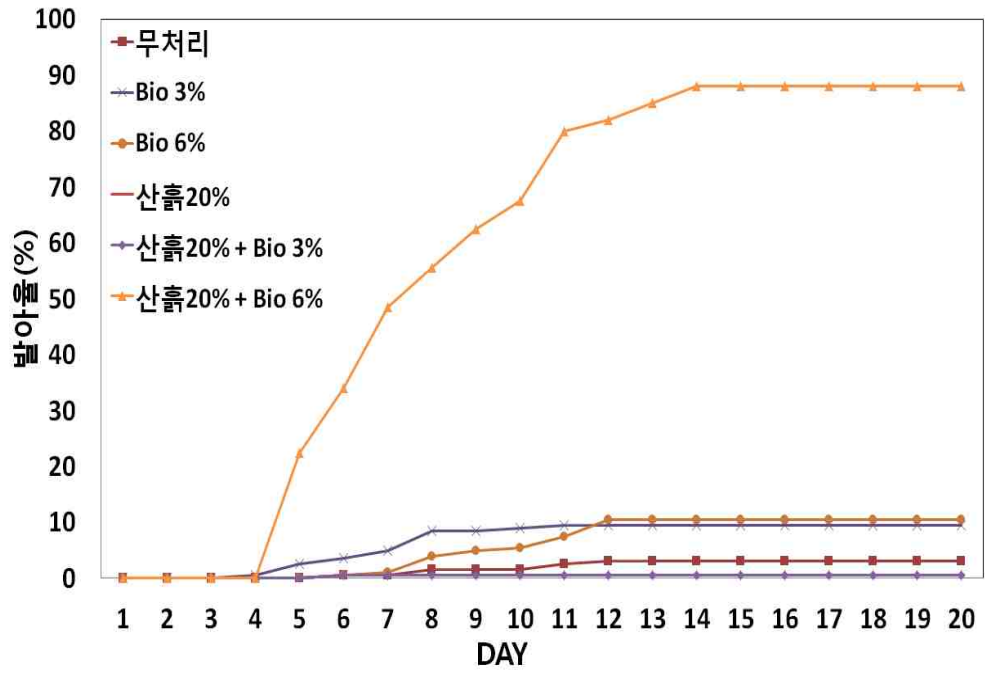
산 흙 20% 처리구에서는 무처리에 비해 벼, 잔디, 함초에서 2~7배 이상 발아하였으며, 나머지 케이스에서는 무처리와 비슷한 발아율을 보였다. 산 흙 20% + Bio 3%의 처리구에서는 무처리에 비해 모든 처리구에서 3~7배 이상 발아율이 증가하는 것을 확인하였고, 산 흙 20% + Bio 6% 처리구에서는 무처리에 비해 모든 케이스에서 5~9배로 가장 높은 발아율을 확인하였다. 따라서 Bio개량제를 이용한 준설토의 개량효과를 확인하였다.



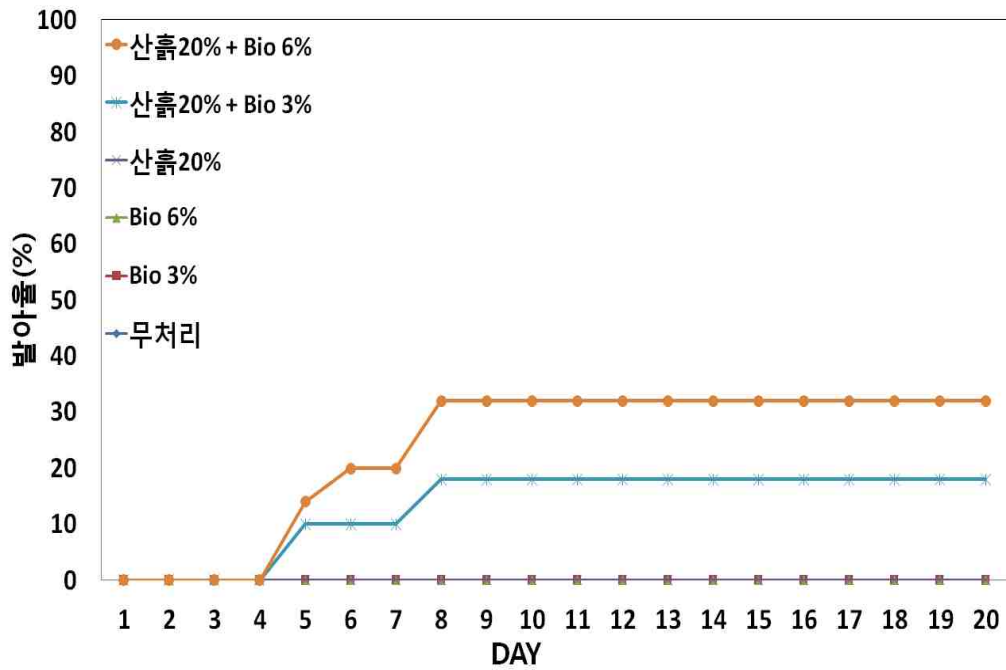
(a) 벼 발아율



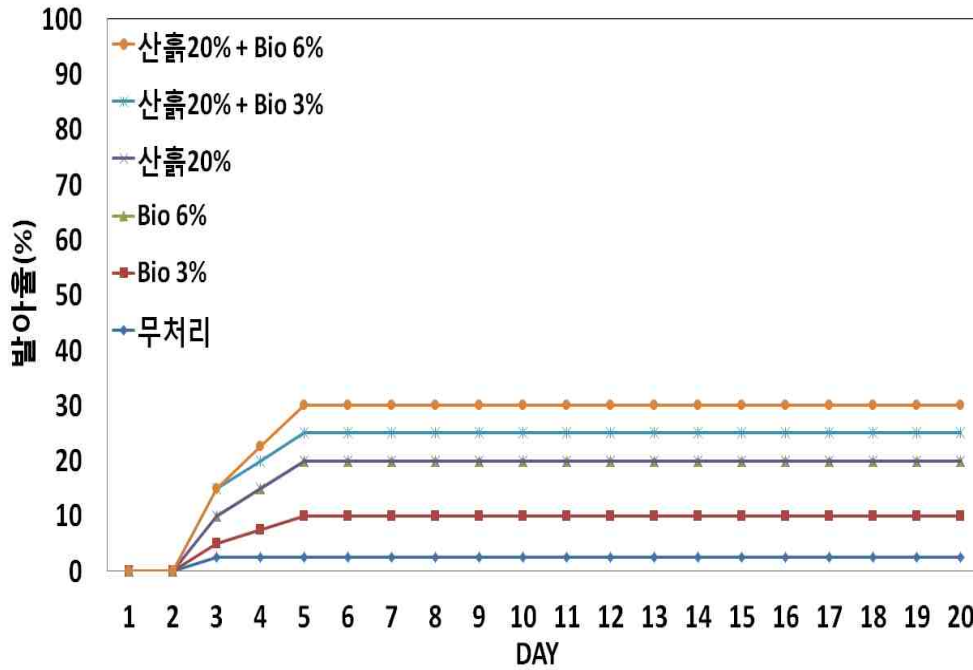
(b) 보리 발아율



(c) 잔디 발아율



(d) 슬패랭이 발아율

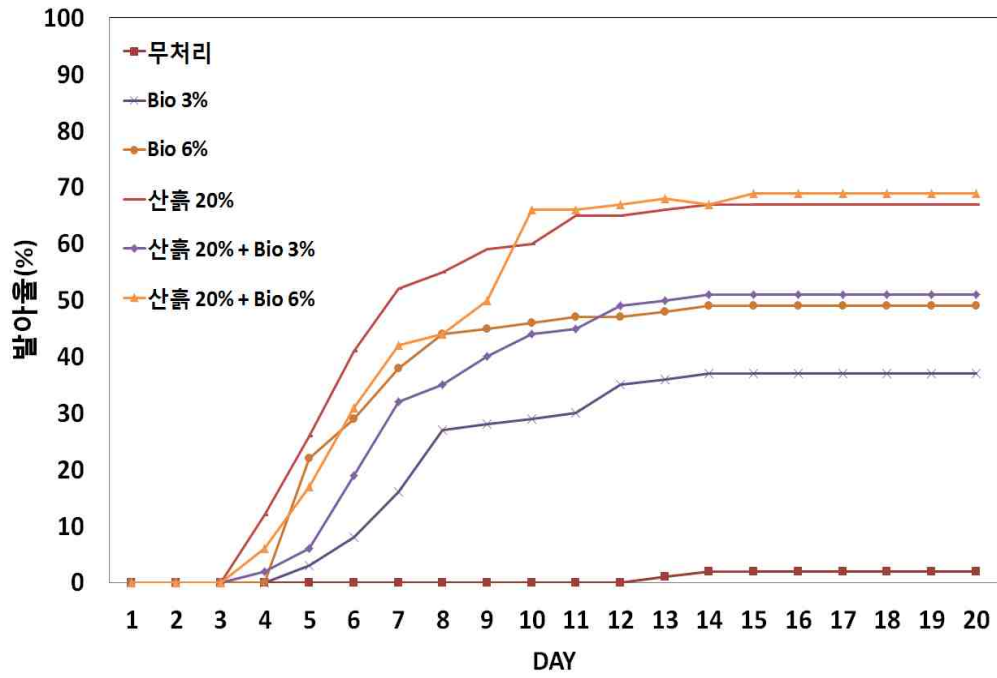


(e) 함초 발아율

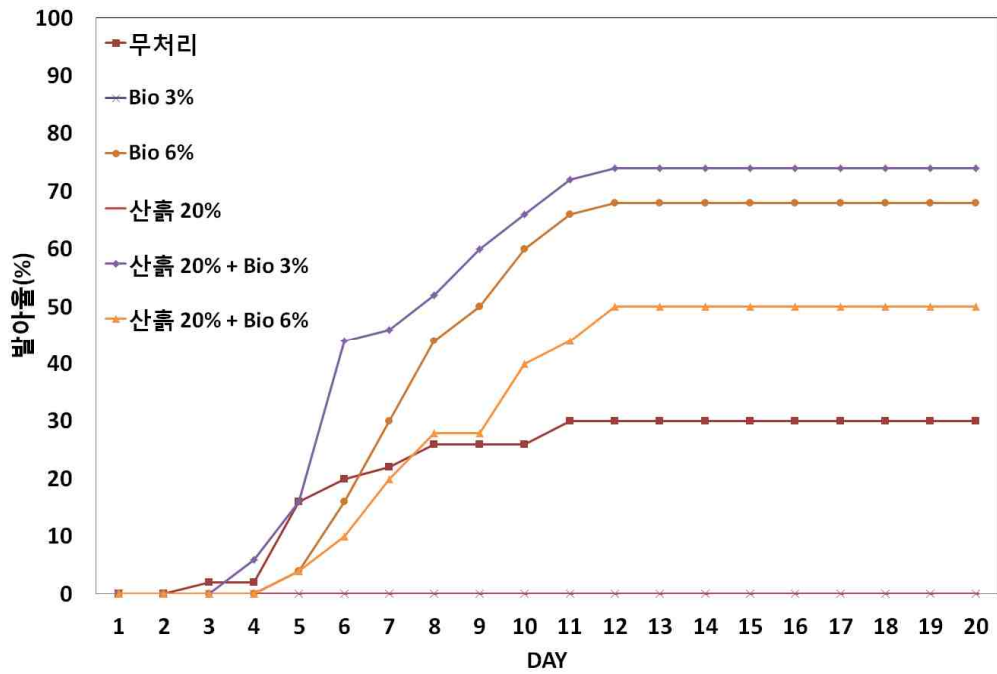
그림 3.16 군산 A시료 발아율 측정 결과

그림 3.17의 경우 군산 C시료의 발아율 측정 결과 Bio개량제 3% 첨가 시 벼, 보리, 잔디, 술패랭이, 함초 등 무처리에 비해 벼, 잔디, 함초에서 발아율이 1~3배 이상 증가하였고, 나머지 케이스에서는 무처리와 비슷한 발아율을 보였다. Bio개량제 6% 첨가 시 잔디, 함초 케이스에서 무처리 보다 2배 이상 발아율이 증가하였으며, 나머지 케이스에서는 무처리와 비슷한 발아율을 확인하였다.

산 흙 20% 처리구에서는 무처리에 비해 벼, 함초에서 2~4배 이상 높은 발아율을 보였으며, 나머지 케이스에서는 무처리와 비슷한 발아율을 확인하였다. 산 흙 20% + Bio 3%의 처리구에서는 무처리에 비해 벼, 술패랭이, 함초에서 2~6배 이상 높은 발아율을 확인하였고, 산 흙 20% + Bio 6% 처리구에서는 무처리에 비해 모든 케이스에서 2~9배의 가장 높은 발아율을 확인하였다. 따라서 Bio개량제를 이용한 준설토 개량효과를 확인하였다. 군산 C, D시료의 경우 미세한 모래질 성분이 많은 SM(실트질 모래)의 특성 상 지속적으로 관수를 할 경우 시료내의 침전이 발생하게 되므로 관수처리 및 시료 수축 문제해결의 중요성을 확인하였다.

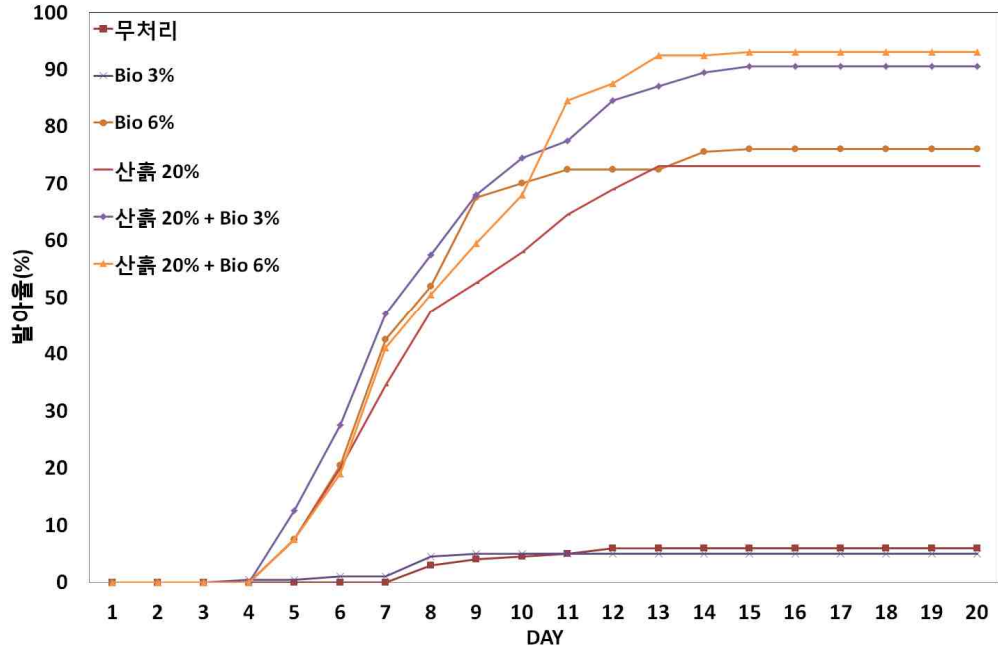


(a) 벼 발아율

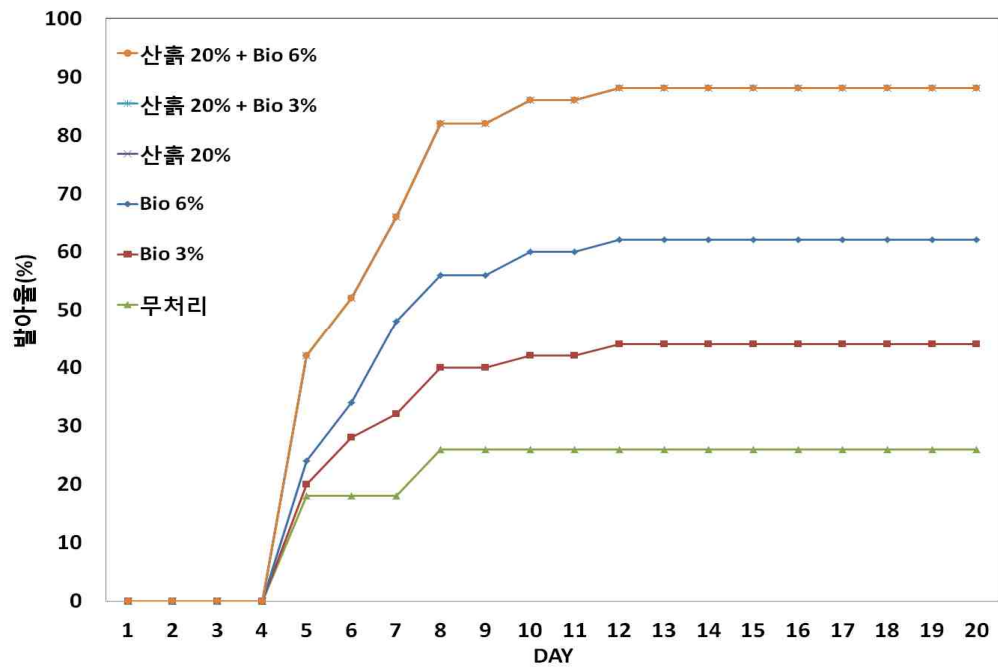


(b) 보리 발아율

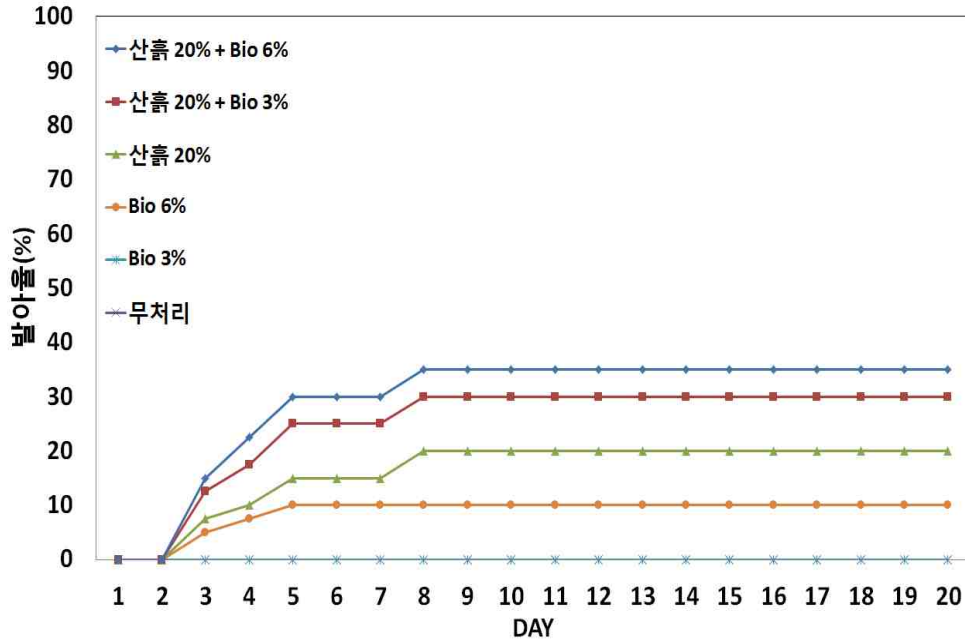




(c) 잔디 발아율



(d) 숯패랭이 발아율

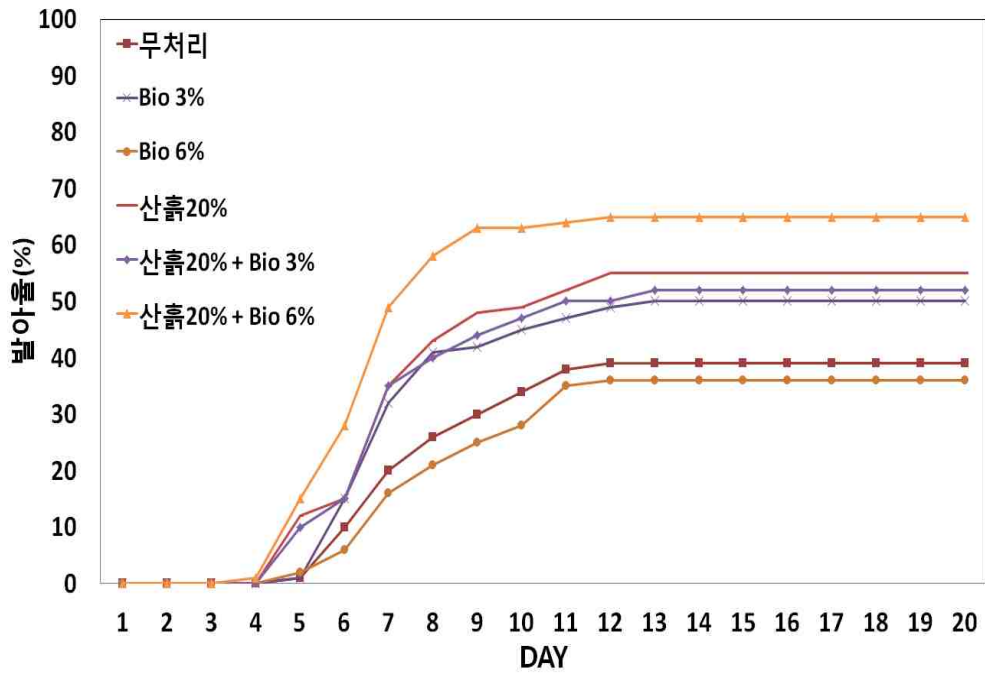


(e) 함초 발아율

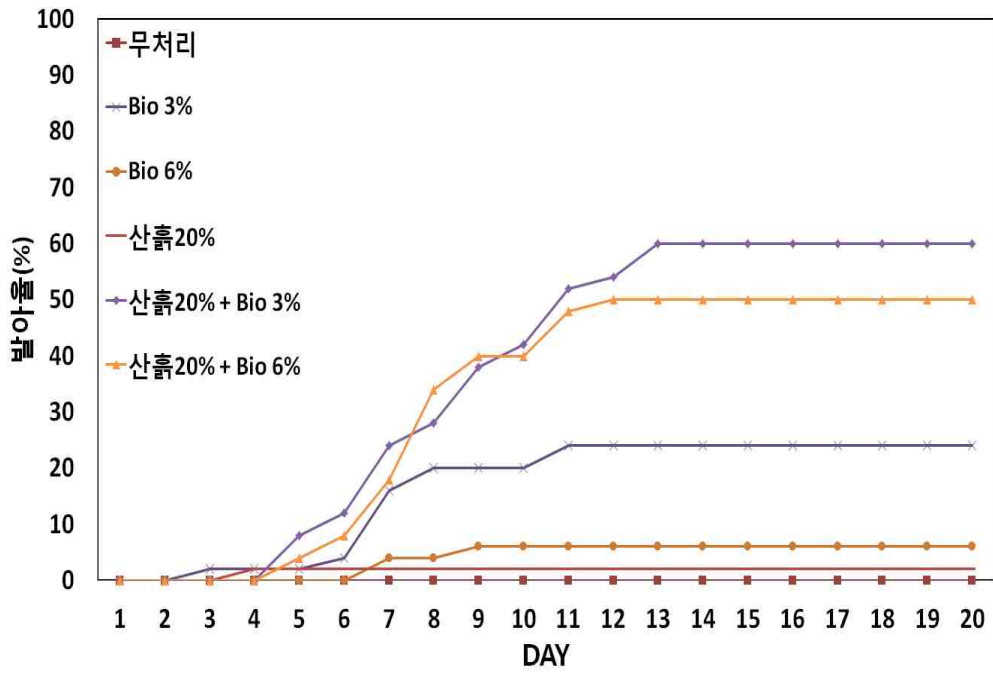
그림 3.17 군산 C시료 발아율 측정 결과

그림 3.18의 경우 군산 D시료의 발아율 측정 결과 벼, 보리, 잔디, 술패랭이, 함초 등에서 Bio개량제 3%, 6% 첨가 시 벼, 보리, 술패랭이, 함초에서 3~5배 이상 높은 발아율을 확인하였으며, 나머지 케이스에서는 무처리와 비슷한 발아율을 확인하였다.

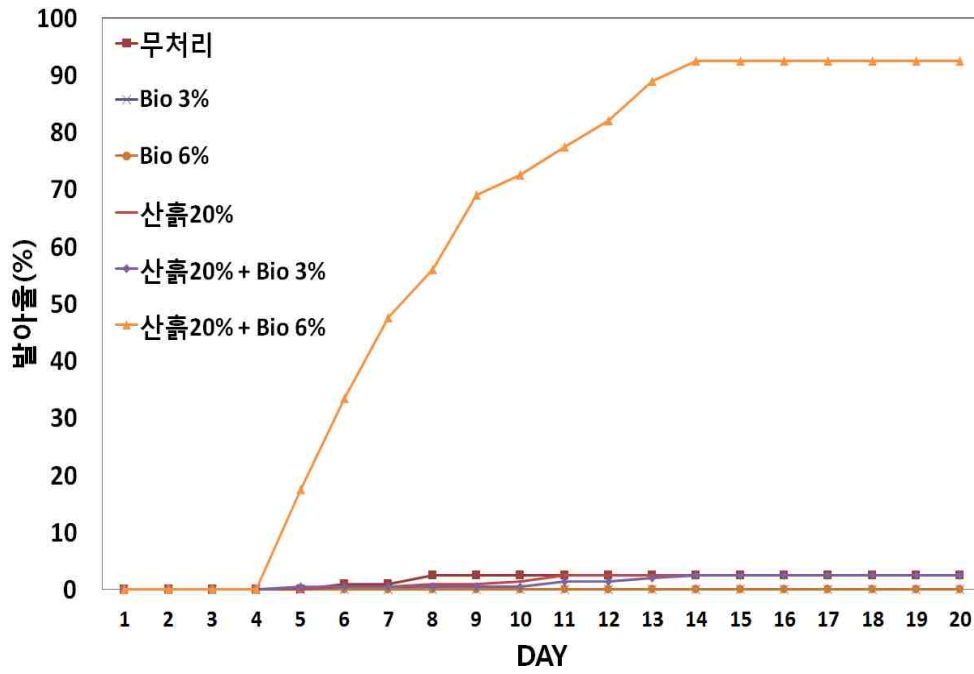
산 흙 20%, 산 흙 20% + Bio 3%, 산 흙 20% + Bio 6% 처리구의 경우 무처리에 비해 벼, 보리 술패랭이, 함초에서 2~4배 이상 높은 발아율을 확인하였으며, 나머지 케이스에서는 무처리와 비슷한 발아율을 확인하였다. 따라서 Bio개량제를 이용한 준설토 개량효과를 확인하였다. 군산 C, D시료의 경우 미세한 모래질 성분이 많은 SM(실트질 모래)의 특성 상 지속적으로 관수를 할 경우 시료내의 침전이 발생하게 되므로 관수처리 및 시료수축 문제해결의 중요성을 확인하였다.



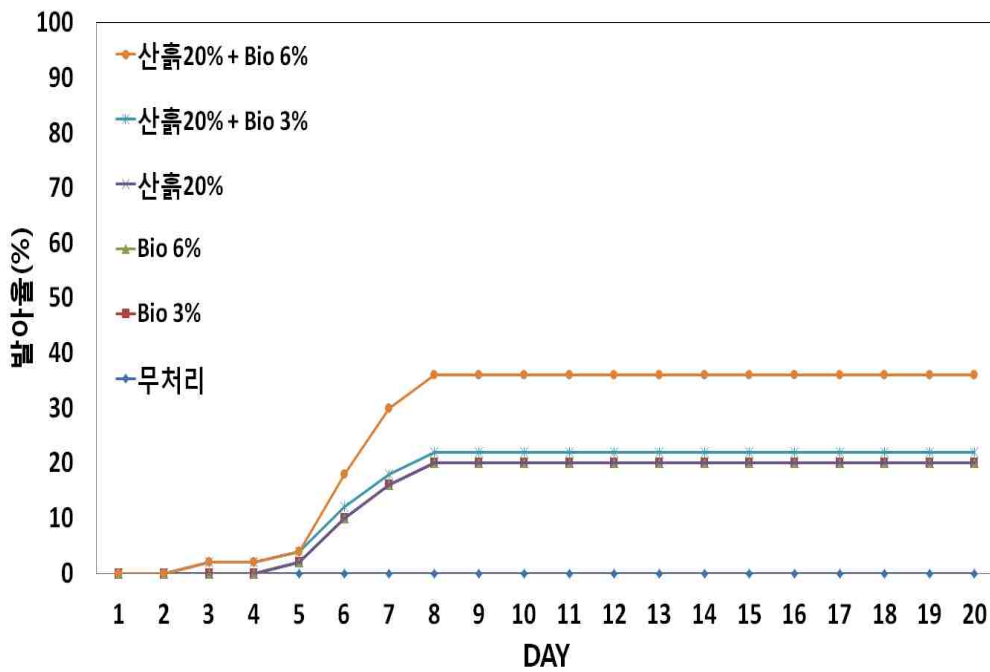
(a) 벼 발아율



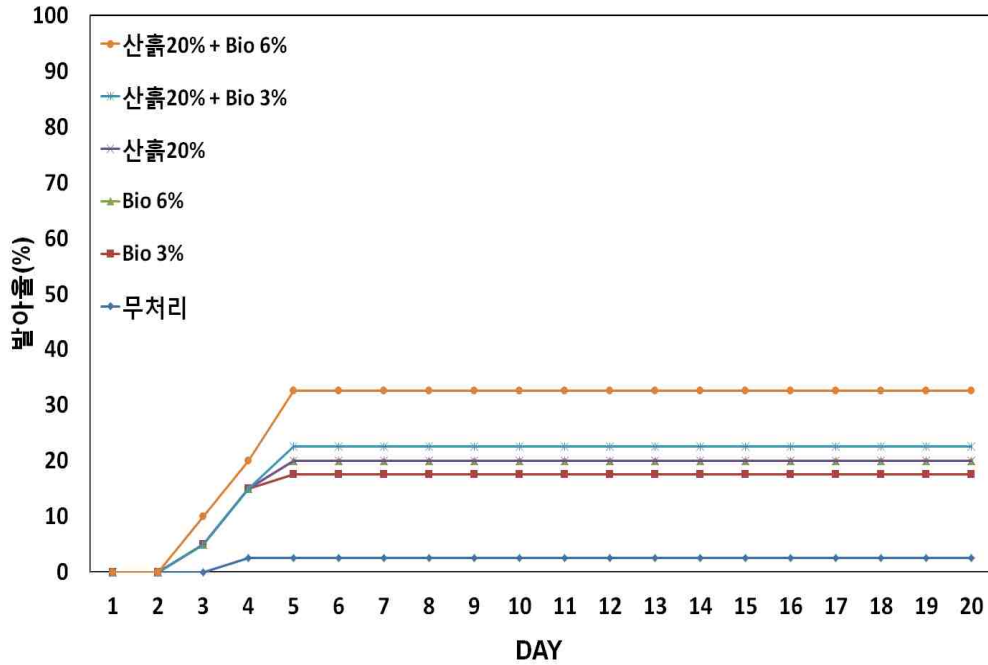
(b) 보리 발아율



(c) 잔디 발아율



(d) 술포레이 발아율



(e) 함초 발아율

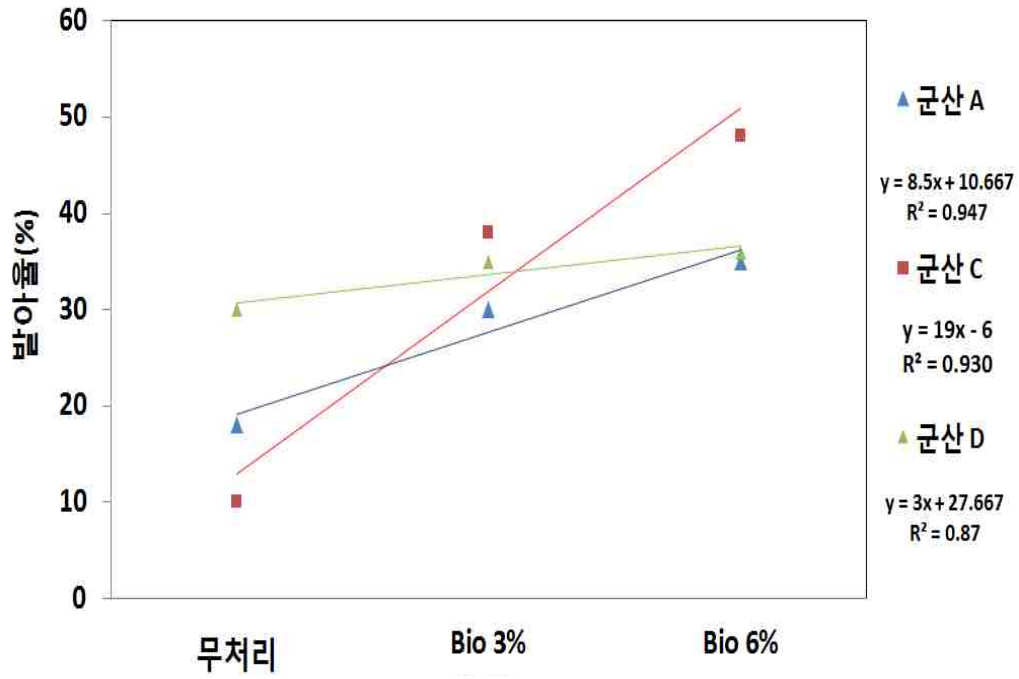
그림 3.18 군산 D시료 발아율 측정 결과

그림 3.19는 Bio개량제의 개량 효과를 확인하기 위하여 벼, 보리, 잔디, 슬페랭이, 함초를 각 토양별 처리구에 파종 한 뒤 가장 발아율이 좋은 벼를 이용하여 Bio개량제 무처리와 Bio개량제(3, 6, 9%) 처리구의 발아율을 비교하였다.

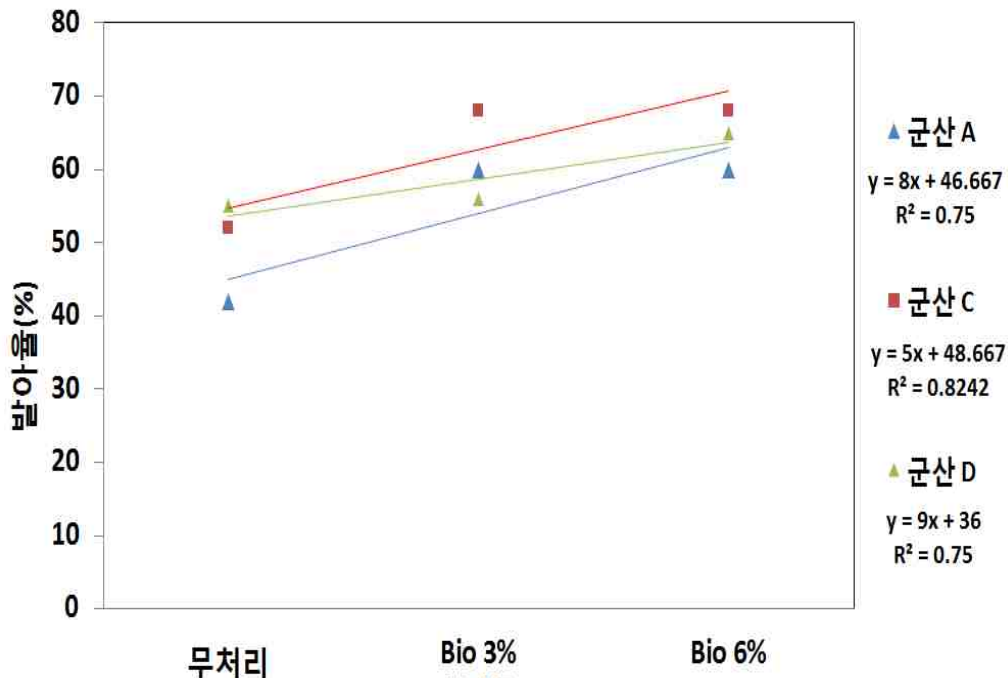
그림 3.19(a)는 군산 A, C, D시료를 이용하여 준설토 100% 시료에서 벼의 발아율을 측정된 것으로 군산 A시료의 경우  $R^2=0.946$ , 군산 C시료의 경우  $R^2=0.930$ , 군산 D시료의 경우  $R^2=0.871$ 로 모든 케이스에서 Bio개량제의 첨가량이 증가할수록 상관관계가 증가하는 것을 확인하였다.

그림 3.19(b)는 군산 A, C, D시료를 이용하여 준설토 80% : 산 흙 20%의 배합에서 벼의 발아율을 측정된 결과, 군산 A시료의 경우  $R^2=0.75$ , 군산 C시료의 경우  $R^2=0.824$ , 군산 D시료의 경우  $R^2=0.75$ 로 모든 케이스에서 무처리 보다 Bio개량제의 첨가량이 증가할수록 상관관계가 증가하는 것을 확인하였다.

군산 C, D시료인 SM(실트질 모래)시료에서 발아율이 군산 A시료인 ML(실트)시료보다 높은 것을 확인하였다. 이는 관수 시 ML(실트)시료는 배수가 되지 않으므로 씨앗이 썩거나, 시료의 침하로 인하여 발아율이 낮은 것을 확인하였다.



(a) 준설토 시료에 따른 벼 발아율 측정 결과(준설토 100%)



(b) 준설토 시료에 따른 벼 발아율 측정 결과(준설토 80% : 산 흙 20%)

그림 3.19 준설토 시료에 따른 벼 발아율 비교

### 3.4.5 준설토 및 개량제 종류에 따른 3차실험

1·2차 실험 결과, 발아율이 매우 저조하였고 원인분석을 위하여 관수량 및 관수 횟수를 감소시키고 산 흙 첨가량을 50%로 증가한 후 1회 관수 후 2일 완전건조를 거쳐 1회 관수 후 건조를 반복하여 종자를 파종하였다. 종자 파종 전 발아율의 증가시키고자 종자를 24시간동안 물에 불린 후 파종하였다.

본 실험에서 사용된 개량제의 종류는 아미노산 비료를 이용한 AC개량제와 준설토의 공급유지 및 유기물 공급에 효과적인 톱밥비료, 기존 실험에서 사용한 Bio개량제를 이용하여 실험을 진행하였다. 또한 군산 A, C, D시료, 군산 현장시료, 인천 시료 및 광양 시료 총 6종류의 시료를 사용하였다. 준설토에서 점토에 해당하는 군산 A시료와 광양 시료는 다른 케이스와 같이 셋팅을 하였으나, 관수 후 완전건조 시 굳어버리는 것이 확인되어 실험에서 제외하였다. 이는 1차실험 및 2차실험에서 얻어진 데이터를 바탕으로 점토에서는 관수가 어렵고 건조 시 시료가 굳는 성질로 인하여 식물의 정상적인 생장이 불가능하였다.

그림 3.20(a)는 준설토 및 개량제 종류에 따른 실험의 도면이며, 케이스의 조성은 바닥층에 1cm 자갈을 넣어 배수층을 확보하고 관수 시 유실되는 준설토 SM(실트질 모래)의 특성 상 이를 방지하기 위하여 자갈층 위에 필터 페이퍼를 설치하였고, 3cm의 높이로 시료 충전 후, 상층에 1cm의 여유를 두었다.

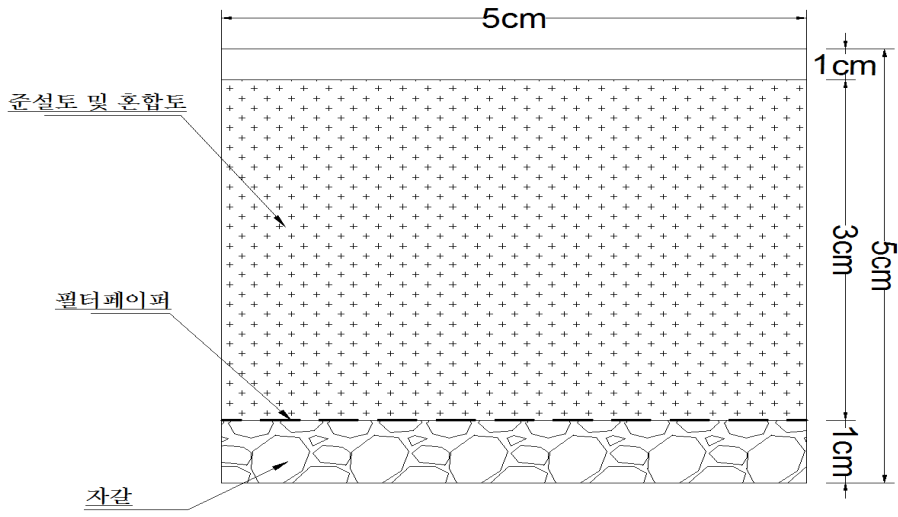
본 실험에서는 D5cm × H5cm Pot을 사용하였고, 현장시험시공 예상시기(2015년 10월 중순)를 고려하여, 늦가을(10월~11월)에도 발아가 가능한 종자로 솔페랭이(20립), 구절초(20립), 벤투그라스(20립), 유채(10립)를 선정하였고, 군산 새만금의 용도를 고려하여 벼(15립), 보리(15립)를 선정하였다. 매우 미립한 씨앗의 경우 20립의 중량을 3회 측정 후 평균을 구하여 중량비로 파종하였고, 결과 값의 신뢰도를 증가시키기 위하여 동일한 케이스를 4배로 증가시켜 실험하였다.

이때 4배수로 실험을 수행한 이유는 일반적인 식물의 발아율 측정실험 시 동일한 조건에 3~4배수의 실험을 수행하여 가장 발아율이 높은 자료를 선택하여 결과를 표시하기 때문에 다음과 같이 4배수 실험을 하였다(김정호, 2014)에 근거하여 실험을 수행하였다.

그림 3.20(b)는 준설토 및 개량제 종류에 따른 실험의 셋팅 후 모습이며, 시료 4종(군산 C, D시료, 군산 현장시료, 인천 시료) × 배합비 2종(준설토 100%, 준설토 50% : 산

흡 50%) × 개량제 3종(Bio개량제, AC개량제, 톱밥비료) × 식물 6종(보리, 벼, 잔디, 유채, 술패랭이, 구절초) × 4배수로 총 576 케이스를 실험하였다.

현장시험시공조건과 최대한 비슷하도록 씨앗 파종 후부터 야외에서 실험을 진행하였고, 온도와 습도를 유지하고 주변 환경의 해로부터 케이스를 보호하여 발아가 잘 될 수 있도록 그림 3.20(c)와 같이 비닐하우스를 제작하여 진행하였다. 표 3.9은 준설토 및 개량제 종류에 따른 실험의 배합비이다.



(a) 준설토 및 개량제 종류에 따른 실험 Pot



(b) 준설토 및 개량제 종류에 따른 실험(D5cm × H5cm : 벼, 보리 외 4종)





(c) 인공 비닐하우스 제작

그림 3.20 준설토 및 개량제 종류에 따른 실험 전경

표 3.9 준설토 및 개량제 종류에 따른 3차실험 배합비

시 료	씨 앓	사 용 재 료				
		준설토 (%)	산 흙 (%)	Bio 개량제 (%)	AC 개량제 (%)	톱밥 비료 (%)
군산 C 군산 D 군산 현장 인천 광양	보리 벼 잔디 유채 술패랭이 구절초	100	0	0	0	0
		100	0	6	0	0
		100	0	0	6	0
		100	0	0	0	6
		50	50	0	0	0
		50	50	6	0	0
		50	50	0	6	0
		50	50	0	0	6

<주> 위 배합비는 준설토 + 산 흙의 중량비 100%를 기준으로 개량제를 첨가하여 실험을 진행함

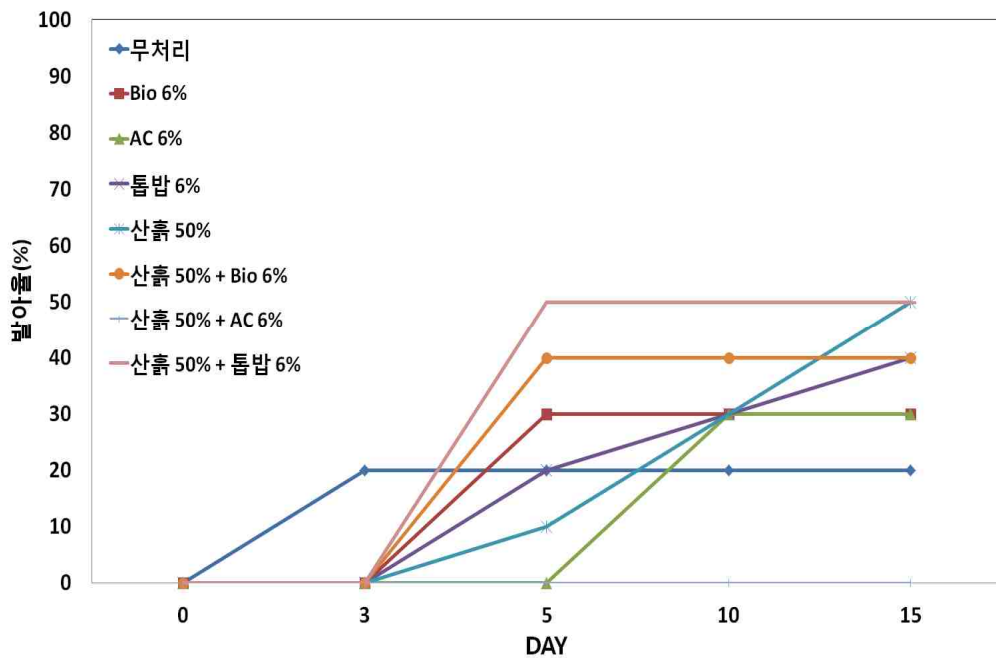
### 3.4.6 준설토 및 개량제 종류에 따른 3차실험결과

#### (1) 발아율 측정

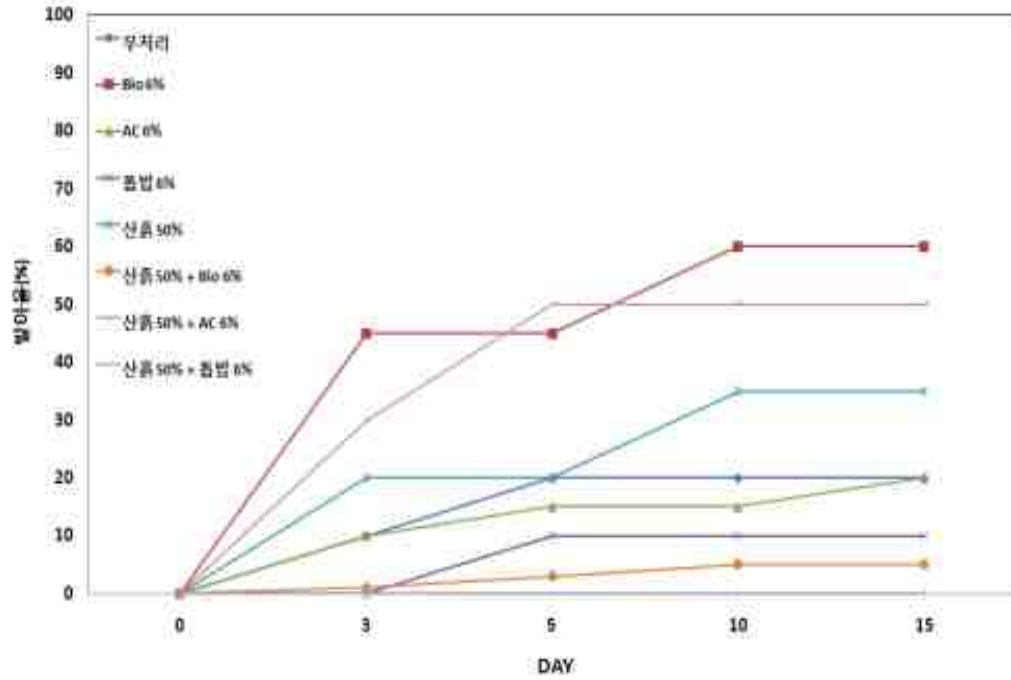
1회 관수 후 2일동안 완전건조를 거쳐 1회 관수 후 종자를 파종하였다.

군산 C시료의 실험 결과, 벼, 보리, 잔디, 유채, 슬패랭이의 발아율은 그림 3.21과 같다.

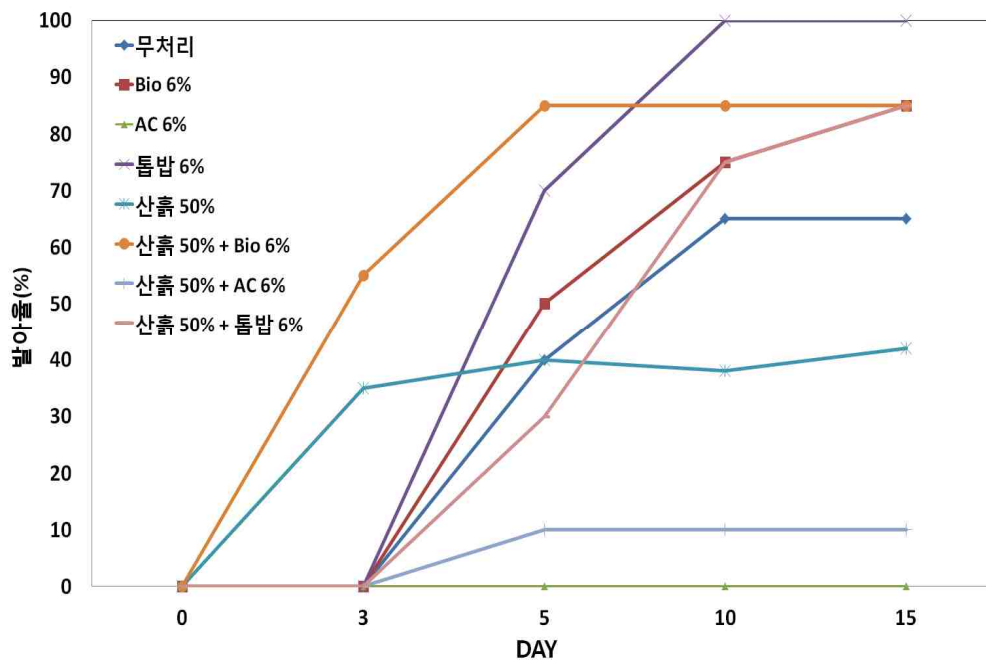
발아율 측정 결과, 벼, 보리, 잔디, 유채, 슬패랭이의 모든 씨앗의 발아율이 무처리에 비해 산 흙 50% + 톱밥 6%에서 2.5배 정도의 가장 높은 발아율을 나타냈으며, 산 흙 50% + Bio 6%의 경우 비슷한 발아율을 확인하였다. AC개량제의 경우에는 무처리에 비해 발아율이 무처리와 비슷하거나 극히 낮은 것을 확인하였다. 이는 AC개량제의 주 성분이 단백질(pH 9~11)로 구성되어 준설토 배합 시 pH가 급격히 증가하여 발아율이 매우 낮았다.



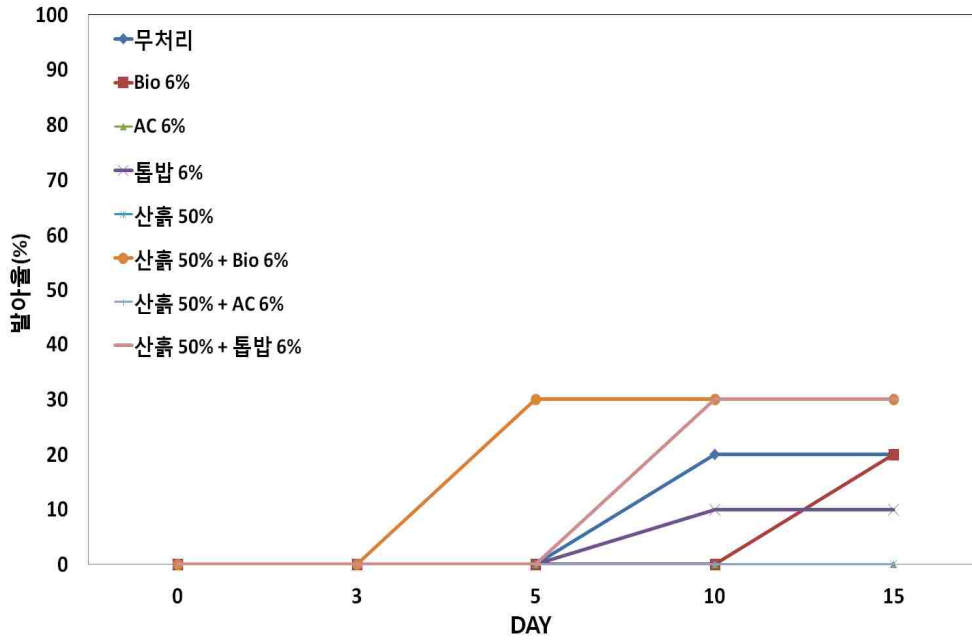
(a) 벼 발아율 측정 결과



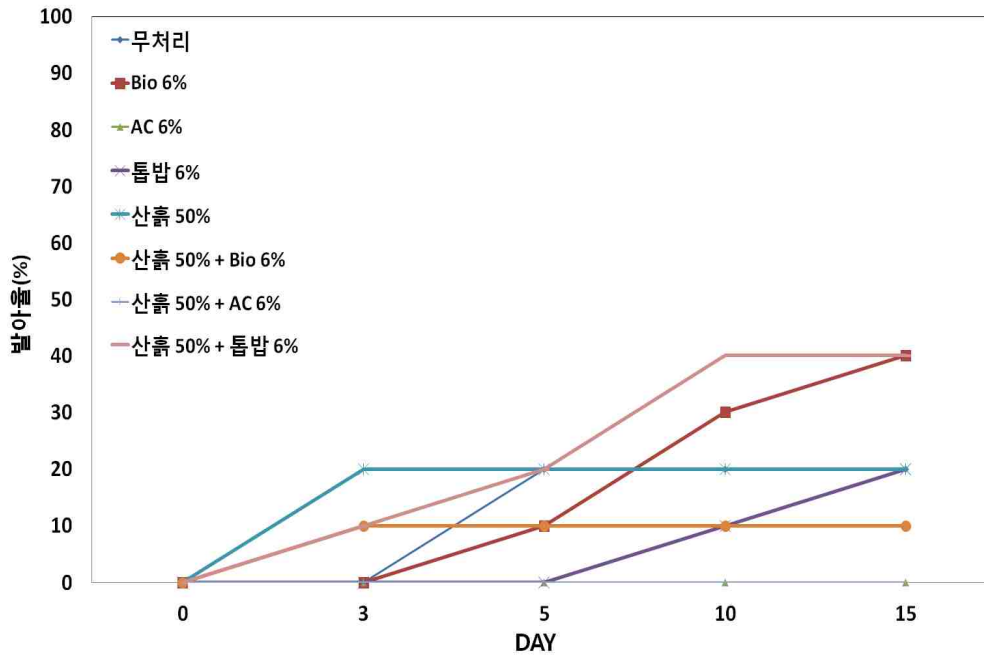
(b) 보리 발아율 측정



(c) 잔디 발아율 측정



(d) 유채 발아율 측정

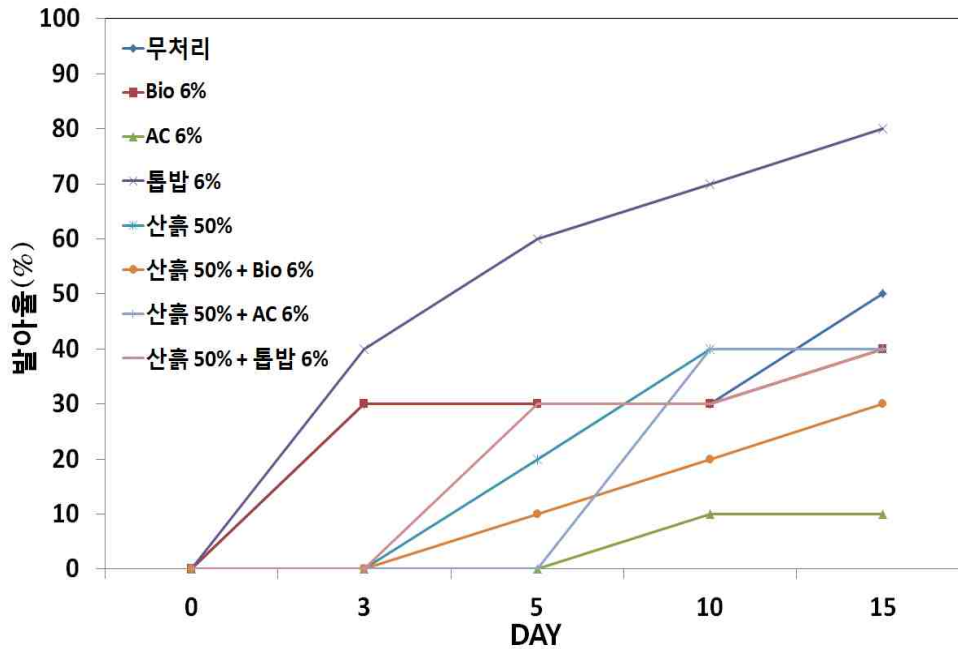


(e) 술패랭이 발아율 측정

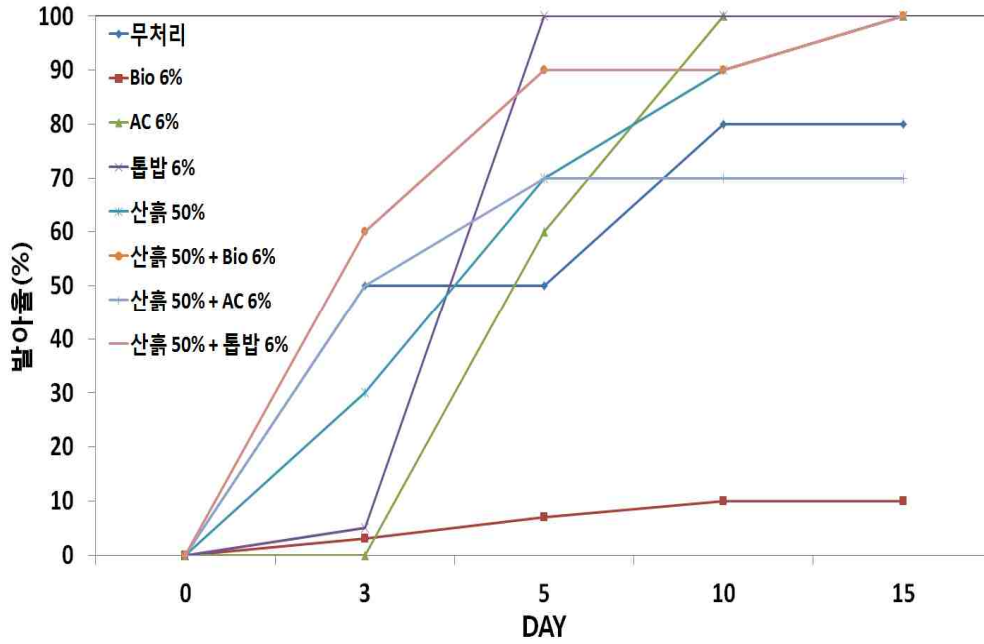
그림 3.21 군산 C시료 발아율 측정 결과

그림 3.22와 같이 균산 D시료 실험결과 벼, 보리, 잔디, 유채, 슬패랭이의 발아율이 나타났다.

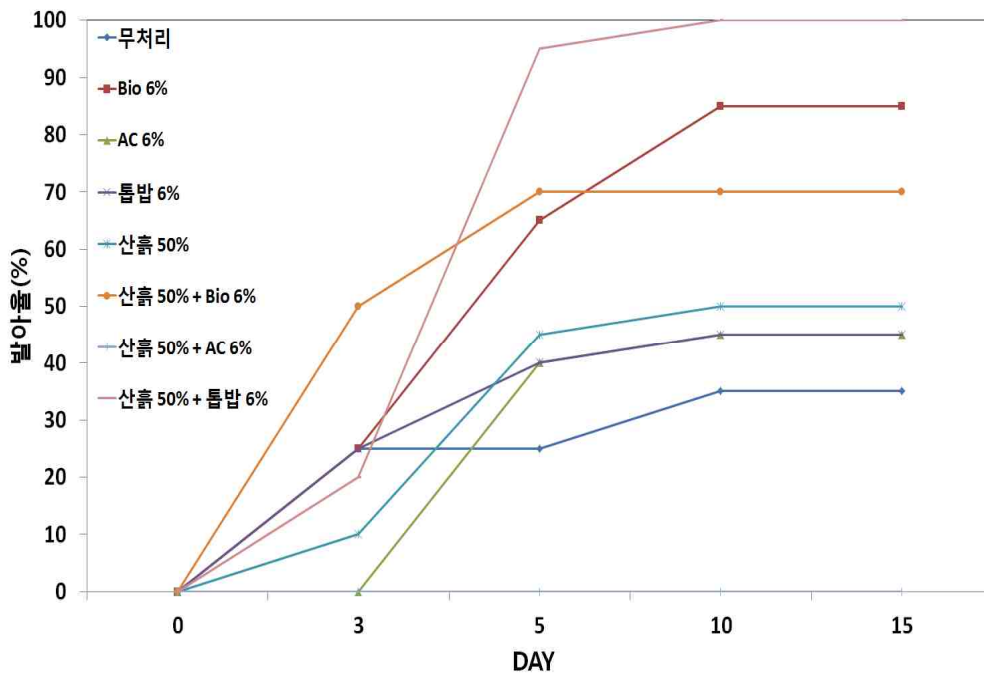
발아율 측정 결과, 벼, 보리, 잔디, 유채, 슬패랭의 모든 씨앗의 발아율이 무처리에 비해 산 흙 50% + 톱밥 6%에서 약 2~5배 높은 발아율이 나타났으며, 산 흙 50% + Bio 6%의 경우 비슷한 발아율을 보였다. 또한 AC 개량제의 경우 발아율이 무처리와 비슷하거나 극히 낮은 것을 확인하였다. 이는 AC 개량제의 주성분이 단백질(pH 9~11)로 구성되어 준설토 배합 시 pH가 급격히 증가하여 발아율이 매우 낮았다.



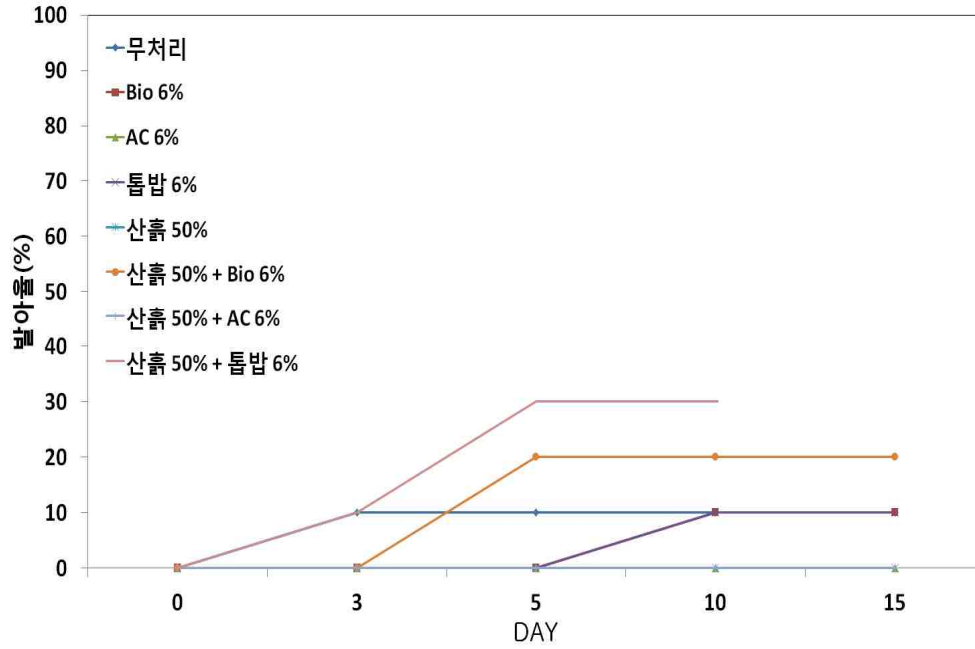
(a) 벼 발아율 측정



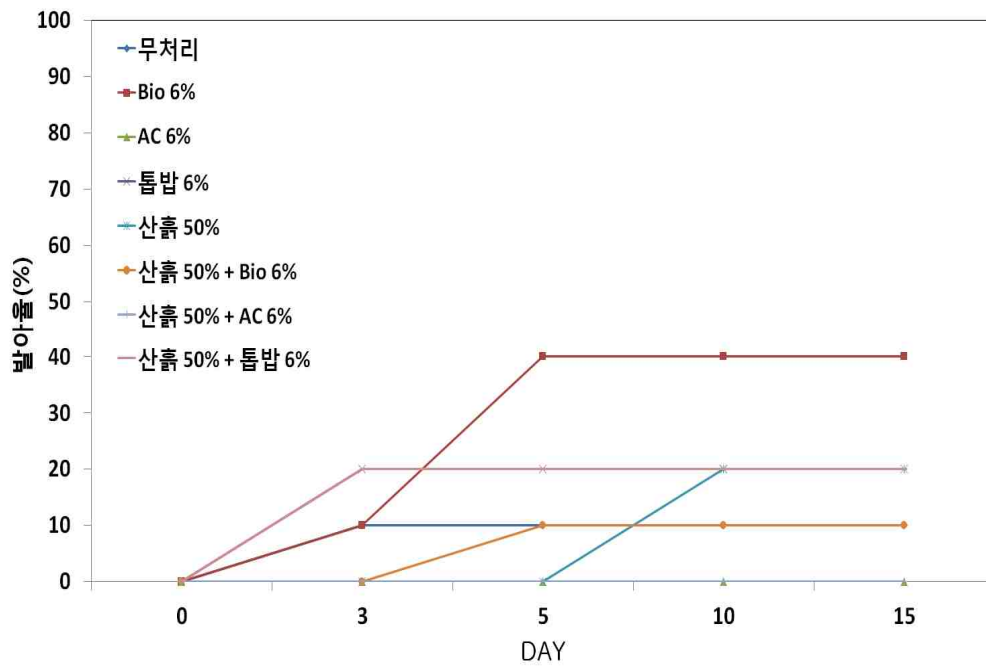
(b) 보리 발아율 측정



(c) 잔디 발아율 측정



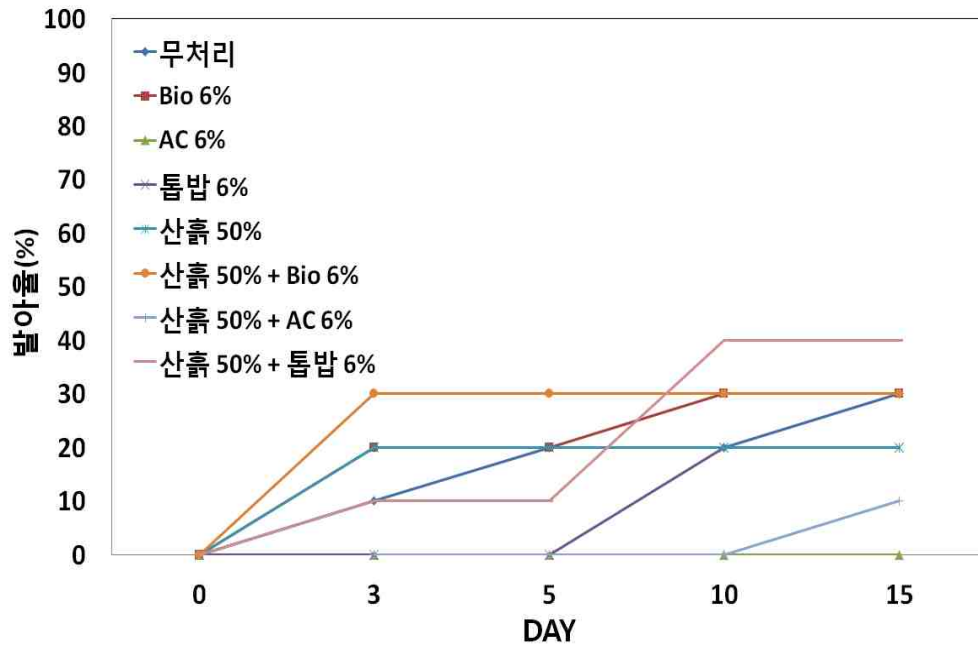
(d) 유채 발아율 측정



(e) 술페랭이 발아율 측정

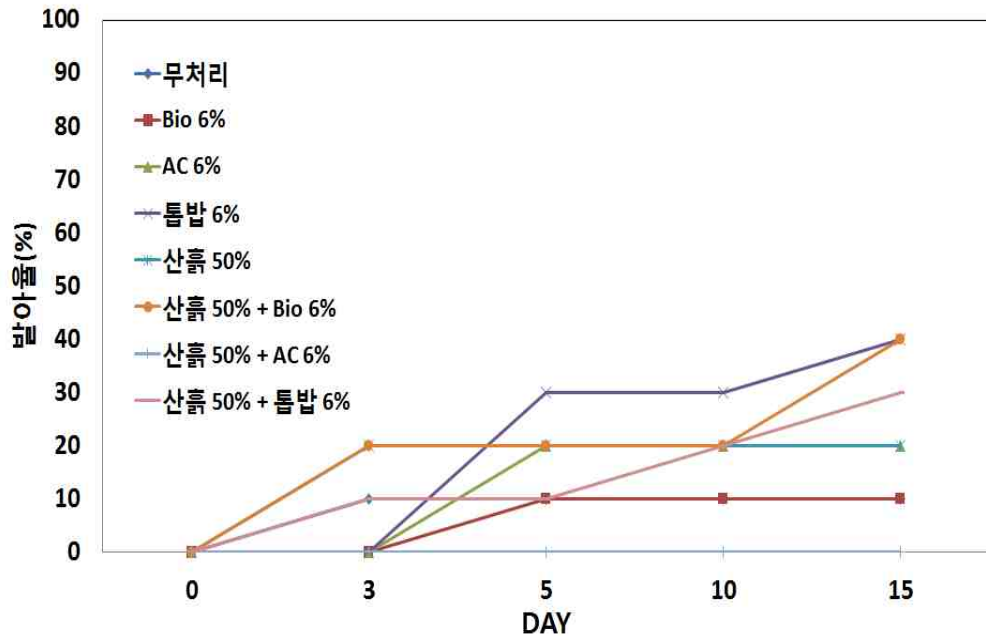
그림 3.22 군산 D시료 발아율 측정 결과

그림 3.23과 같이 군산 현장시험시료의 경우 Bio개량제와 톱밥비료에서 무처리에 비해 약 2.5~4.0배 정도 높은 발아율이 나타났으며, Bio개량제와 톱밥비료를 비교 할 경우 톱밥비료의 생장이 더 우수한 경우도 있었다. AC개량제의 경우 무처리와 비슷하거나 더 낮은 생장길이가 나타났으며, 군산 C, D시료의 결과와 마찬가지로, AC개량제는 높은 pH 및 미소한 입자크기로 인하여 뿌리가 정착하지 못하므로 발아가 되더라도 정상적으로 성장하지 못하는 것으로 나타났다.

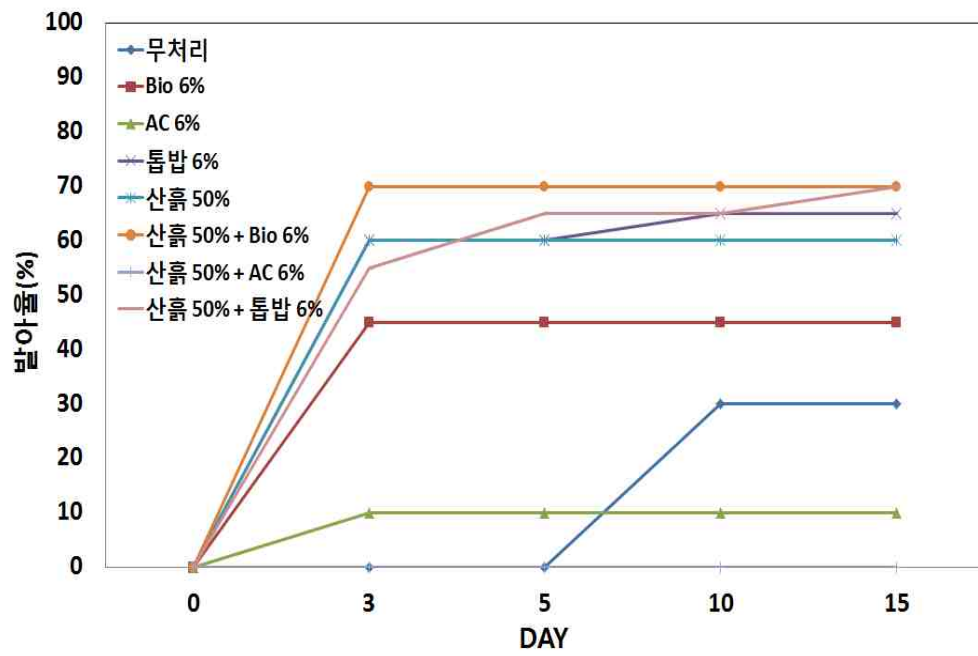


(a) 보리 발아율 측정

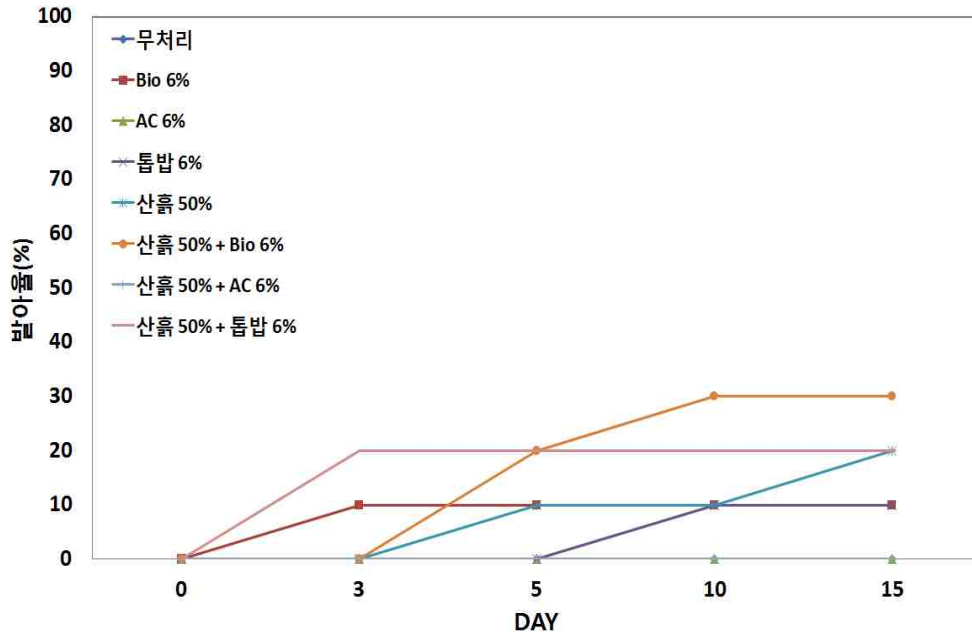




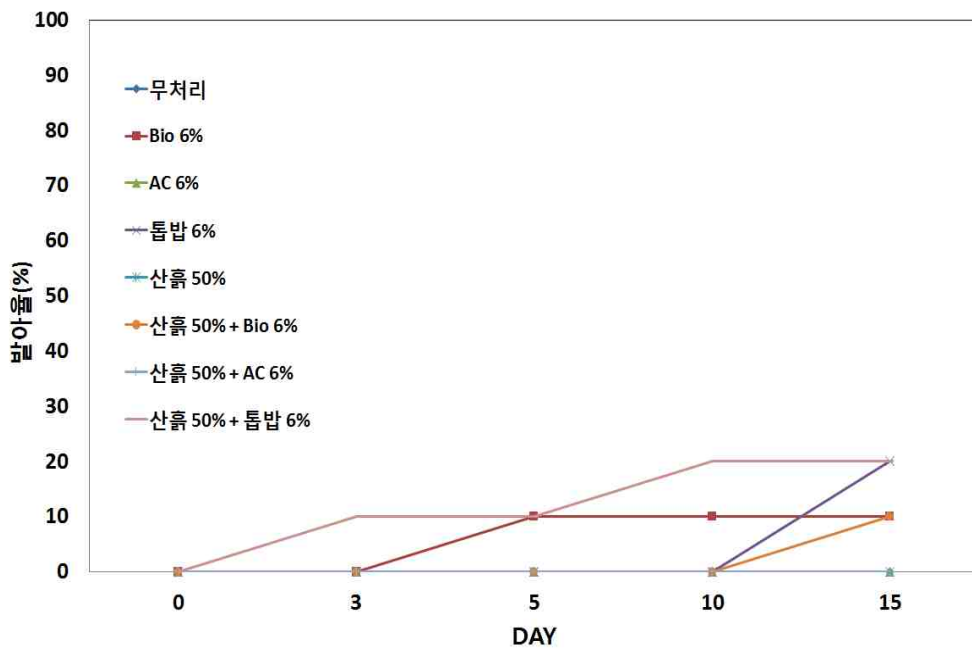
(b) 벼 발아율 측정



(c) 잔디 발아율 측정



(d) 유채 발아율 측정



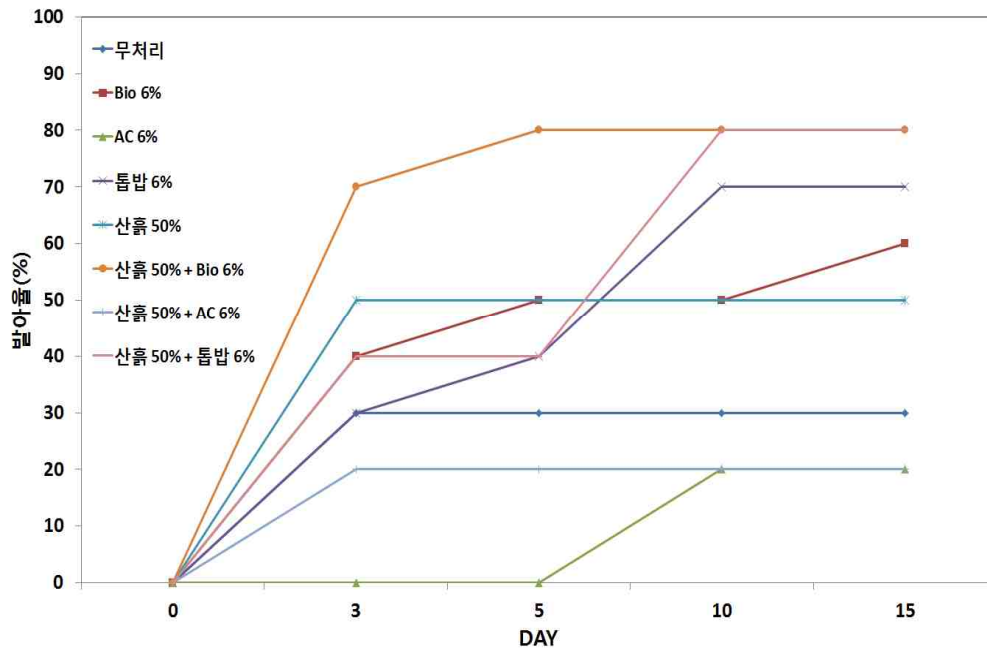
(e) 술패랭이 발아율 측정

그림 3.23 군산 현장 시료 발아율 측정 결과

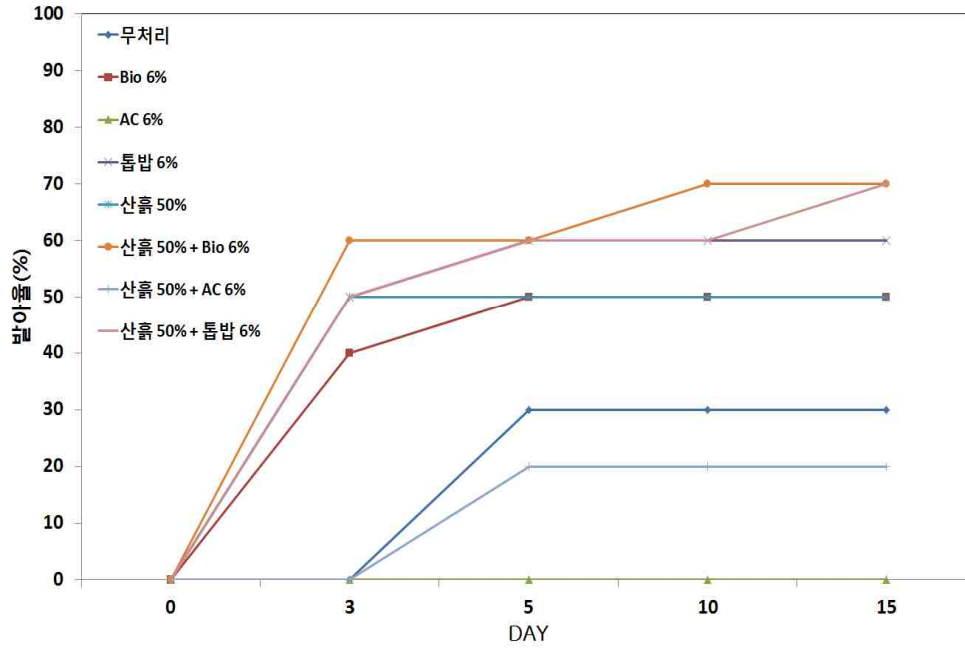
실험결과, 광양 준설토의 경우 CL(점토)로 #200체 통과량 90% 이상으로 배수성이 현저히 떨어지므로 관수를 통하여 염분을 제어하는 것이 어려우며 지속적인 수분공급이 되지 않는 경우 시료가 굳는 성질이 있어 식물의 발아 및 생장이 낮은 것을 확인하였고, 그림 3.24와 같이 인천시료의 발아율을 측정하였다.

인천시료의 경우 Bio개량제와 톱밥비료에서 무처리에 비해 약 2.5배 이상 우수한 발아율이 나타났으며, CL-ML(실트질 점토) 특성상 SM(실트질 모래)시료보다 배수능력이 떨어지므로 관수를 통한 염분제어를 시도할 경우 오히려 식물 생장에 더 큰 피해를 입히는 것을 확인하였다.

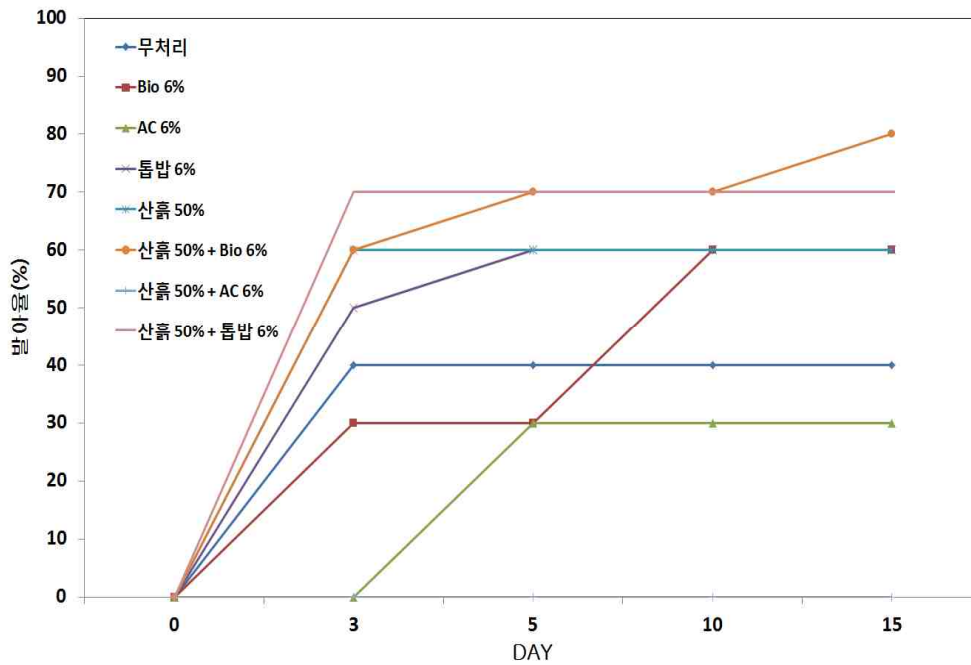
Bio개량제의 경우 초기 발아율은 높으나, 최종 발아율 측정 시 톱밥비료와 산 흙이 첨가된 경우와 큰 차이를 보이지 않았다. AC개량제의 경우 균산시료와 마찬가지로 높은 pH 영향으로 발아율이 매우 낮은 것으로 나타났다.



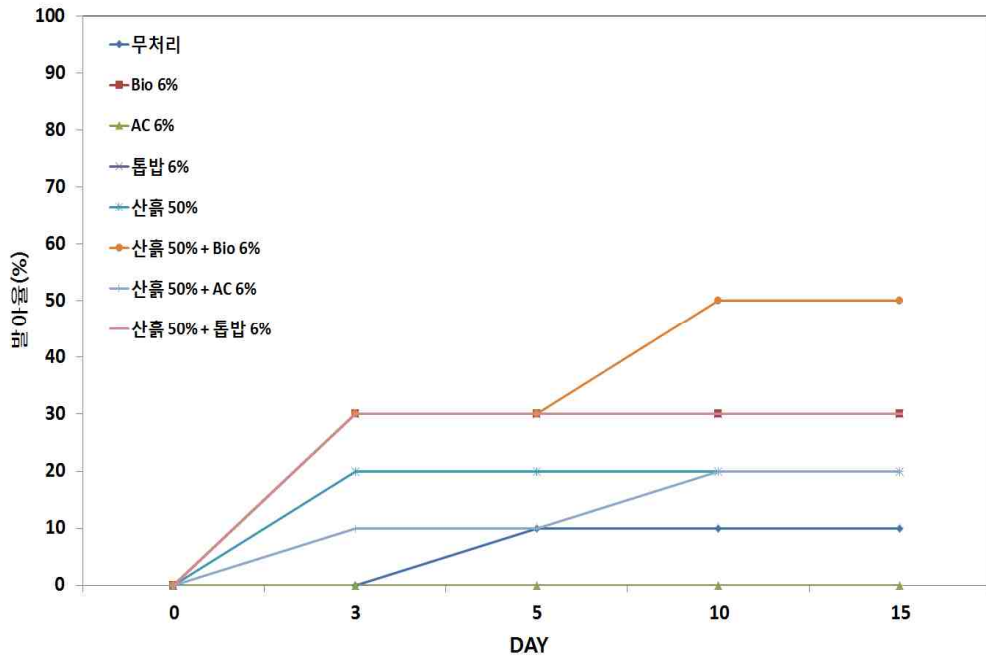
(a) 보리 발아율 측정



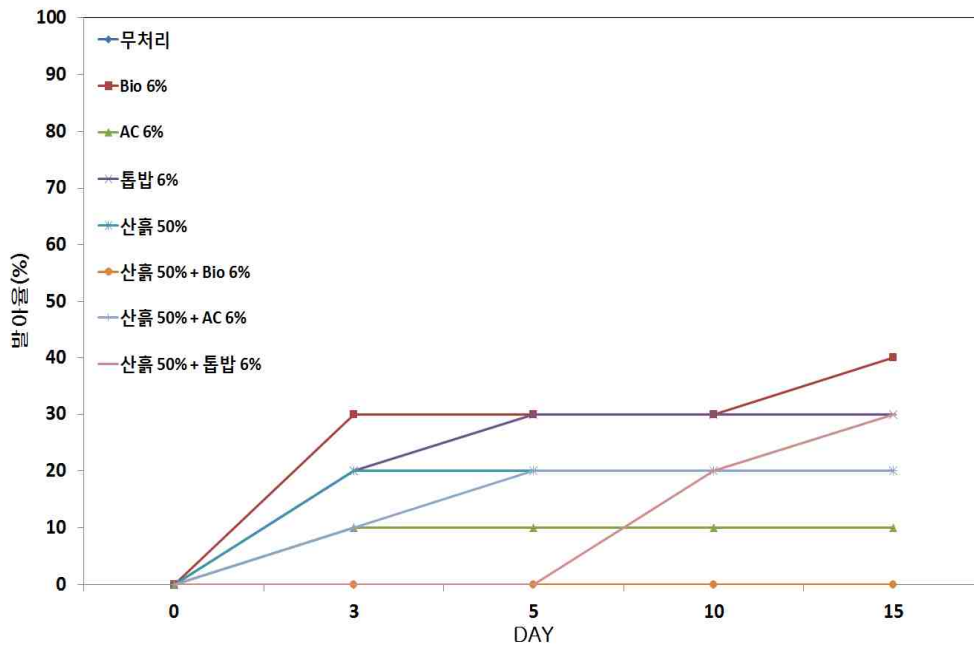
(b) 벼 발아율 측정



(c) 잔디 발아율 측정



(d) 유채 발아율 측정



(e) 술패랭이 발아율 측정

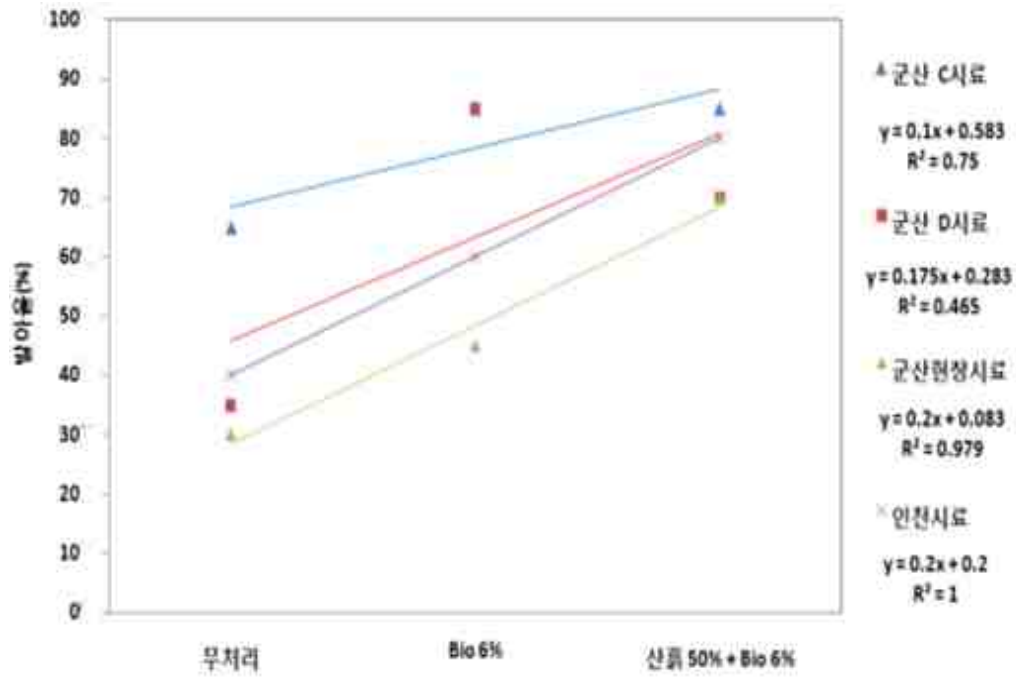
그림 3.24 인천시료 발아율 측정 결과

그림 3.25는 배합비 별 Bio개량제, AC개량제, 톱밥비료의 개량 효과를 확인하기 위하여 벼, 보리, 잔디, 슬페랭이, 함초를 각 토양별 처리구에 파종 한 후 발아율이 가장 높은 잔디를 이용하여 무처리, 개량제 6%, 산 흙 50% + 개량제 6% 처리구의 발아율을 비교하였다.

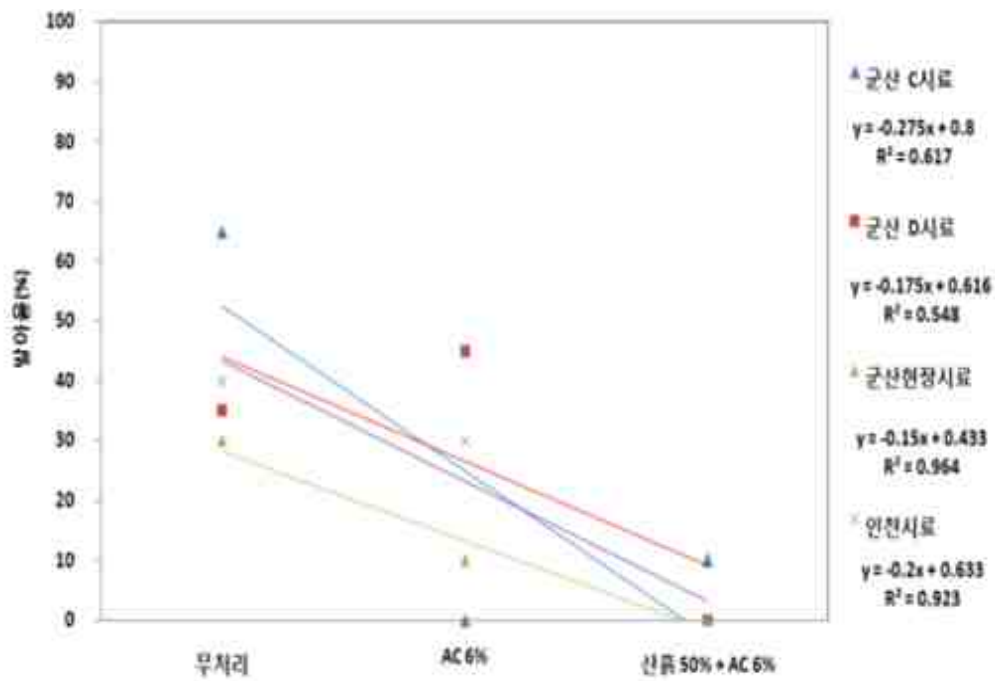
그림 3.25(a)는 군산 C, D 및 군산현장, 인천시료 무처리, Bio개량제 6%, 산 흙 50% + Bio개량제 6%에 의해 처리된 잔디의 발아율을 측정한 결과이다. 군산 C시료의 경우  $R^2=0.75$ , 군산 D시료의 경우  $R^2=0.465$ , 군산현장 시료의 경우  $R^2=0.979$ , 인천시료의 경우  $R^2=1$ 로 모든 케이스에서 무처리 보다 Bio개량제 및 산 흙의 첨가량이 증가 할수록 발아율이 증가하는 것을 확인하였으며, 상관관계도 증가하는 것을 확인하였다.

그림 3.25(b)는 군산 C, D 및 군산현장, 인천시료 무처리, AC개량제 6%, 산 흙 50% + AC개량제 6%에 의해 처리된 잔디의 발아율을 측정한 결과이다. 군산 C시료의 경우  $R^2=0.617$ , 군산 D시료의 경우  $R^2=0.548$ , 군산현장 시료의 경우  $R^2=0.964$ , 인천시료의 경우  $R^2=0.923$ 으로 모든 시료에서 무처리 보다 산 흙 첨가량이 증가하여도 AC개량제 첨가량이 증가할수록 발아율은 감소하는 것을 확인하였다. 이는 AC개량제의 주 성분이 단백질(pH 9~11)로 이루어져 준설토의 pH를 증가시키므로 식물생장에 악영향을 미친 것으로 나타났다. 또한 산 흙의 첨가량이 증가될수록 준설토 내 점토성분이 증가하여 AC개량제의 잔류시간을 증가시켜 토양 pH 강염기성으로 변하여 식물생장이 어려운 것을 확인하였다.

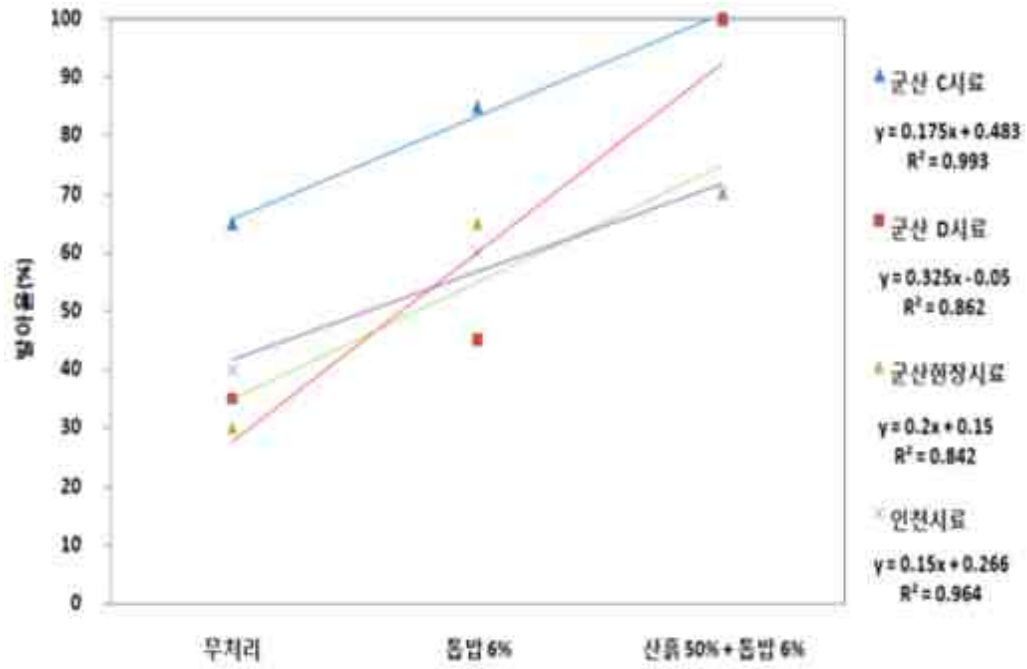
그림 3.25(c)는 군산 C, D 및 군산현장, 인천시료의 무처리, 톱밥비료 6%, 산 흙 50% + 톱밥비료 6%에 의해 처리된 잔디 발아율을 측정한 결과이다. 군산 C시료의 경우  $R^2=0.993$ , 군산 D시료의 경우  $R^2=0.862$ , 군산현장 시료의 경우  $R^2=0.842$ , 인천시료의 경우  $R^2=0.964$ 로 모든 케이스에서 무처리 보다 톱밥비료와 산 흙의 첨가량이 증가할수록 발아율과 상관관계가 증가하는 것을 확인하였다.



(a) Bio개량제 처리에 따른 잔디 발아율 비교



(b) AC개량제 처리에 따른 잔디 발아율 비교

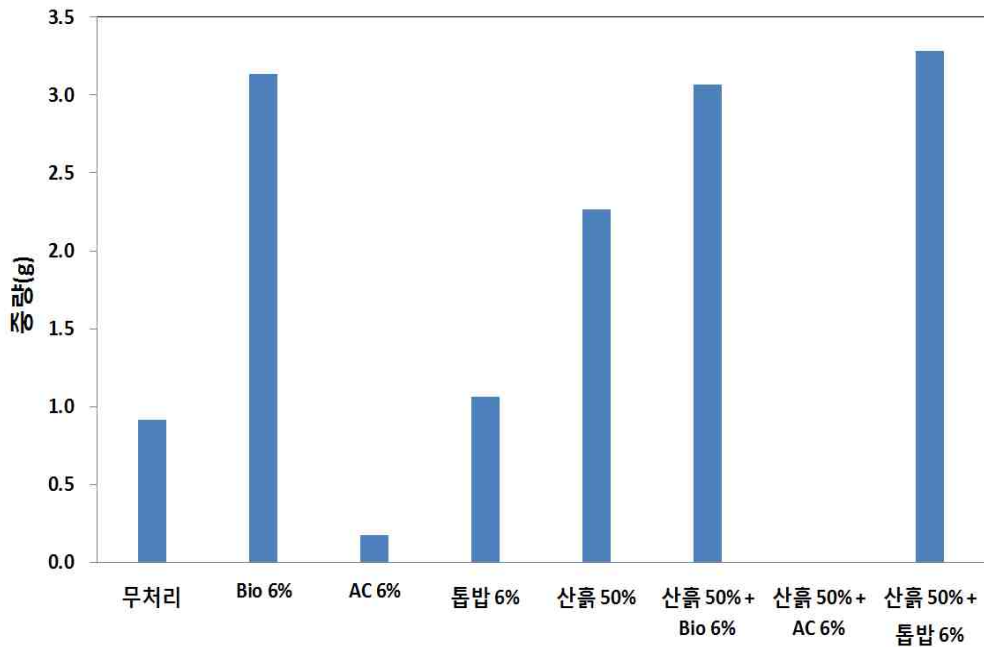


(c) 톱밥비료 처리에 따른 잔디 발아율 비교  
 그림 3.25 준설토 시료에 따른 잔디 발아율 비교

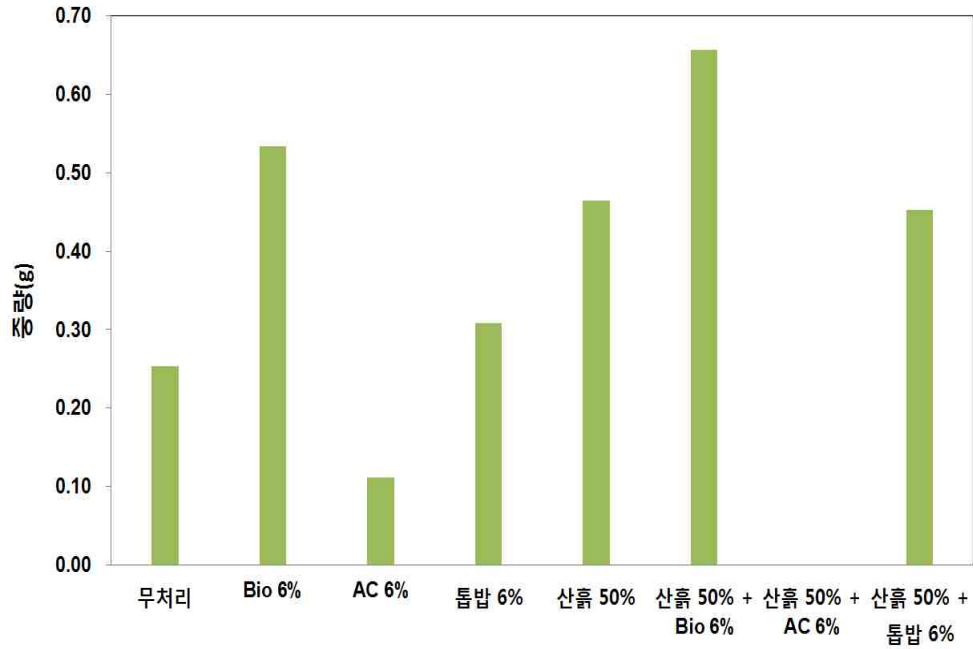


(2) 식물의 중량 측정

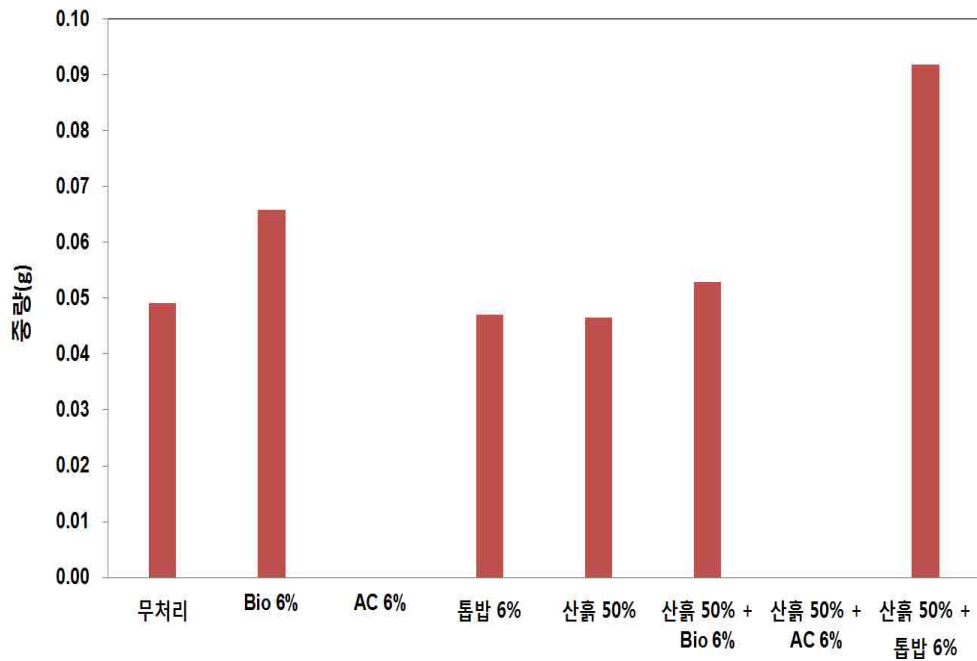
식물생장의 영향을 정확히 확인할 수 있는 보리, 벼, 잔디를 중심으로 측정하였다. 그림 3.26, 그림 3.27과 같이 군산 C, D시료 모두 개량제 처리에 따른 차이를 보였는데 Bio개량제 및 톱밥비료에서 무처리에 비해 1.5~3배 가량 높은 중량 차이를 보였으며, 두 개량제의 중량 차이가 크지 않았다. 또한 AC개량제의 경우 무처리 보다 더 낮은 중량을 나타냈는데 이는 AC개량제의 입자가 매우 미소하여 준설토의 공극을 메움으로써 발아가 안되고, pH가 높아 뿌리가 정착하지 못하는 것을 확인하였다.



(a) 보리 중량 측정

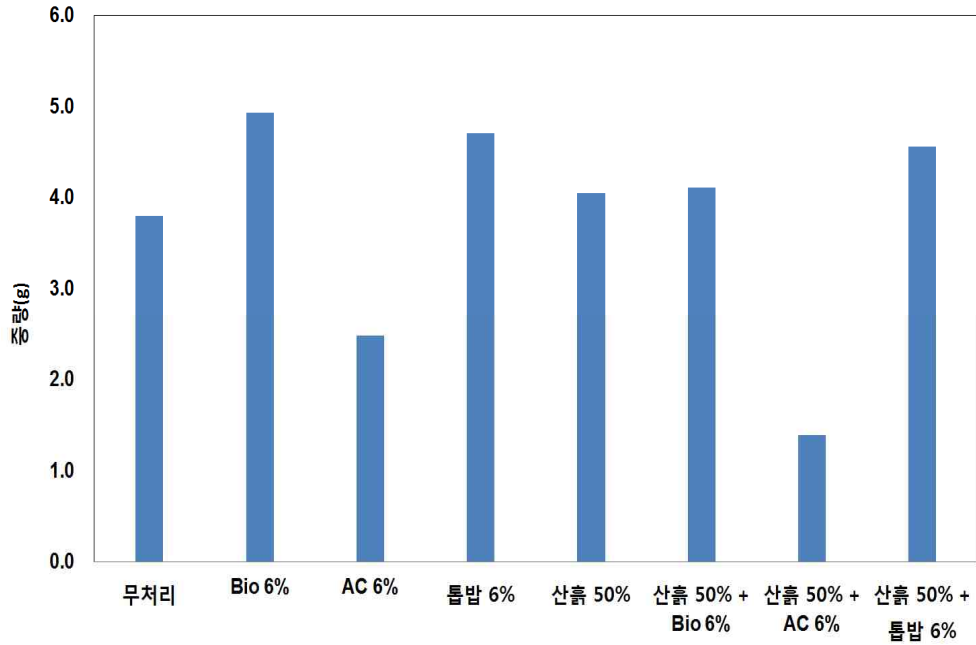


(b) 벼 중량 측정

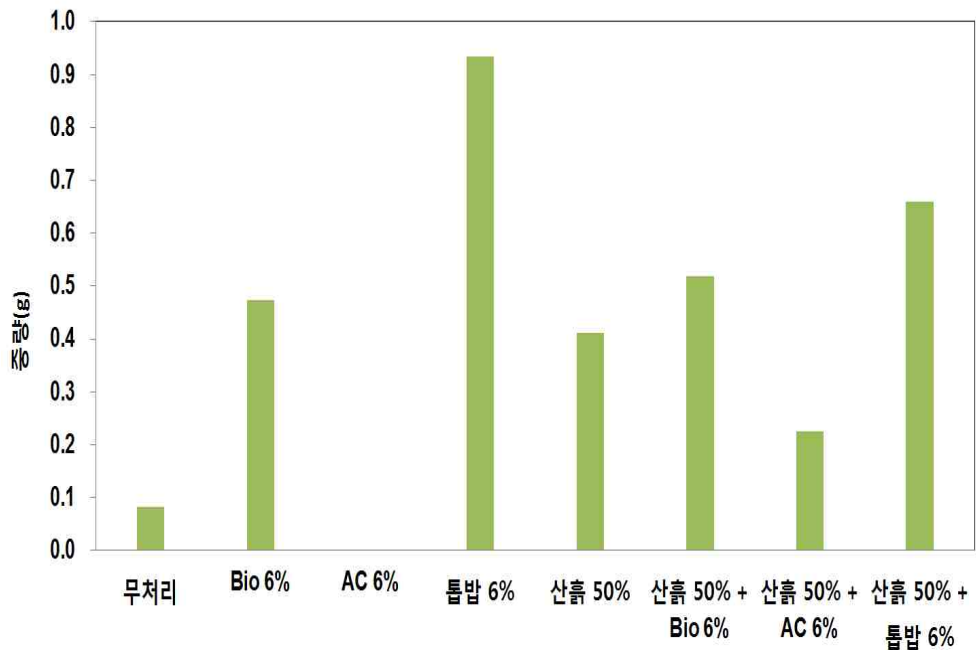


(c) 잔디 중량 측정

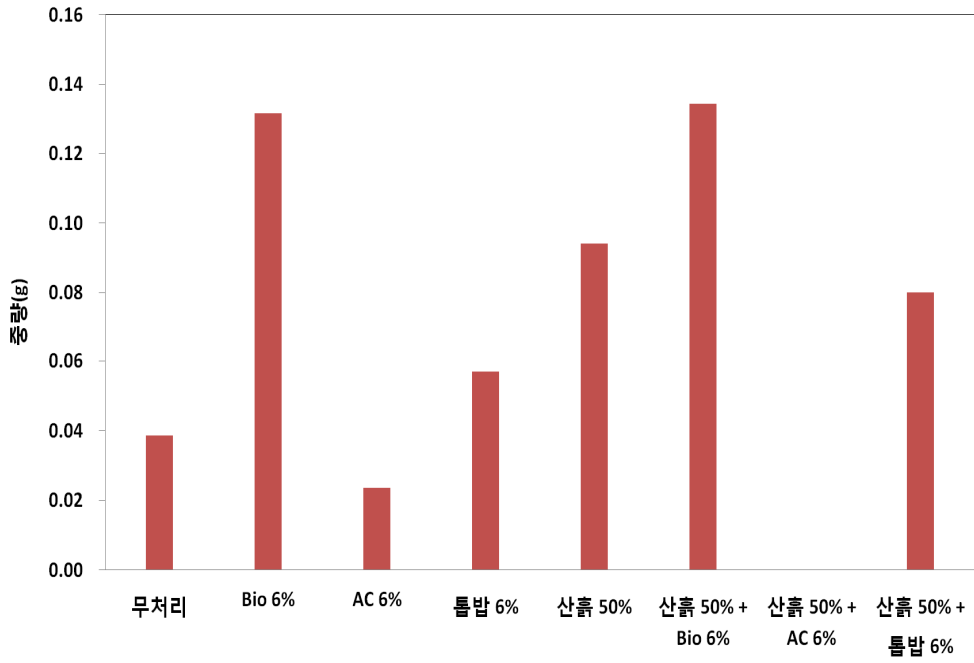
그림 3.26 군산 C시료 식물 중량 측정 결과



(a) 보리 중량 측정



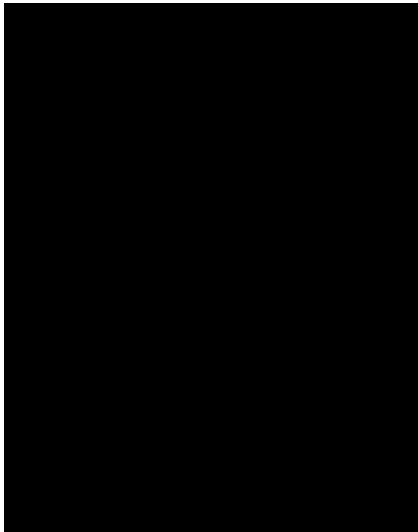
(b) 벼 중량 측정



(c) 잔디 중량 측정  
 그림 3.27 군산 D시료 식물의 중량 측정 결과

### (3) 최대 성장길이 측정

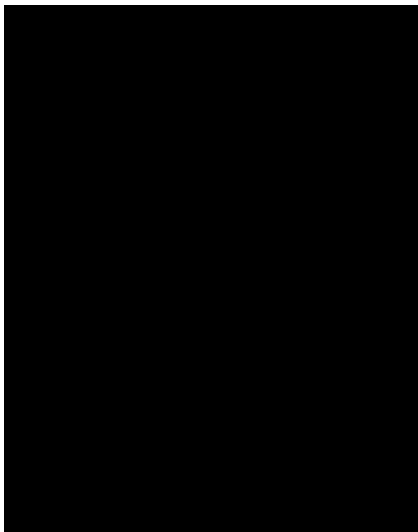
그림 3.28은 최대 성장길이 측정결과이다. Bio개량제 처리구에서 식물의 성장 길이 대비 뿌리가 많이 발달하였으며, 유기물이 부족한 무처리의 특성상 3주 경과 후 잎이 시들기 시작하였다. Bio개량제와 톱밥비료에서 생기가 있고 힘이 있는 뿌리의 개수가 많이 발달하는 것을 확인하였다. 또한 기존 개발된 Bio개량제(650원/m<sup>3</sup>)보다 가격 대비 톱밥비료(17.5원/m<sup>3</sup>)가 약 40배 정도 경제적 효율을 확인하였으나, 경제성 분석에 있어 더 많은 요소가 반영되어야하고 장기적으로 본 연구를 진행할 필요성이 있다. 또한 현장시공시험을 통하여 현장에서의 다양한 변수와 조건을 고려한 추가시험이 필요하다.



무처리



Bio개량제 6%



AC 6%



톱밥 6%

(a) 균산 C시료 최대 성장길이 측정



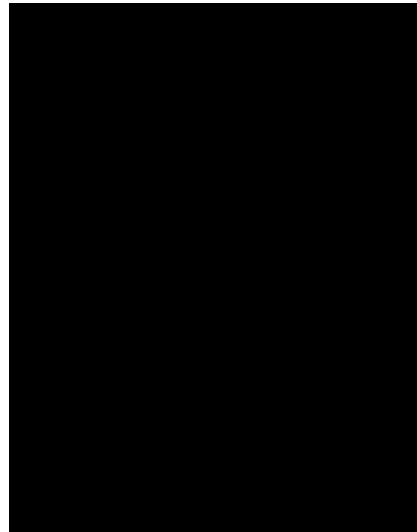
무처리



Bio 6%



AC 6%



톱밥 6%

(b) 군산 D시료 최대 성장길이 측정

그림 3.28 최대 성장길이 측정 결과

### 3.4.7 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 4차실험

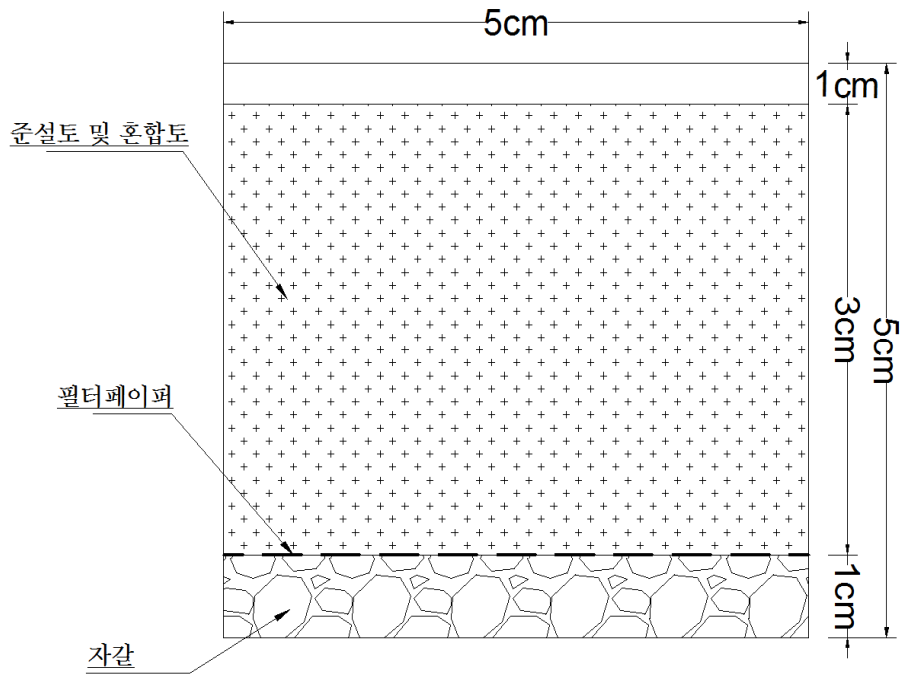
3차 실험결과를 통하여 1·2차 실험의 발아율이 저조한 원인을 파악하였다. 따라서 산 흡 첨가량을 감소시키고 개량제 배합을 통하여 식물생장에 필요한 조건을 충족하고자 일반경작용으로 사용되는 톱밥 함량 70%의 유기질 비료와 커피슬러지를 첨가하여 본 실험을 수행하였다. 또한 최대 커피슬러지 첨가량을 확인하고자 30%까지 섞어 실험을 수행하였다.

그림 3.29(a)는 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 실험의 도면이며, 케이스의 조성은 바닥층에 1cm 자갈을 넣어 배수층을 확보하고 관수 시 유실되는 준설토 SM(실트질 모래)의 특성 상 이를 방지하기 위하여 자갈층 위에 필터 페이퍼를 설치하였고, 3cm의 높이로 시료를 충전 후, 상층에 1cm의 여유를 두었다.

식물은 군산 현장시험시공과 동일하게 잔디(30립), 술패랭이(20립), 토끼풀(20립)을 선택하였고, 매우 미립한 씨앗의 경우 20립의 3회 중량을 측정 후 평균값을 구하여 중량비로 파종하였고, 결과 값의 신뢰도를 증가시키기 위하여 케이스를 3배수로 증가시켜 실험하였다.

그림 3.29(b)는 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 실험의 셋팅 후 전경이며, 시료 1종(군산 C시료) × 배합비 2종(준설토 100%, 준설토 70% : 산 흡 30%) × 개량제 3종(AC개량제, 커피슬러지, 톱밥비료) × 식물 3종(잔디, 술패랭이, 토끼풀) × 3배수로 총 54 케이스를 실험하였다. 또한 현장시험시공과 유사한 환경을 조성하고자 시료 셋팅 완료 후부터 야외에서 진행하였고, 온도와 습도를 유지하고 주변 환경의 해로부터 케이스를 보호하여 발아율을 증가시키기 위하여 그림 3.29(c)와 같이 비닐하우스 제작하여 실험을 진행하였다. 표 3.10은 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 실험의 배합비이다.





(a) 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 실험 Pot



(b) 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 실험 (D5cm × H5cm : 토끼풀, 잔디 외 1종)



(c) 인공 비닐하우스 제작

그림 3.29 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 실험 전경

**표 3.10 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 4차실험 배합비**

시 료	씨 앳	사 용 재 료				
		준설토 (%)	산 흙 (%)	AC 개량제 (%)	커피 슬러지 (%)	톱밥 비료 (%)
균산 C	토끼풀 잔디 숯패랭이	100	0	0	3	6
		100	0	0	6	6
		100	0	0	9	6
		100	0	0	12	6
		100	0	0	15	6
		100	0	0	20	6
		100	0	0	30	6
		100	0	6	9	0
		70	30	0	3	6
		70	30	0	6	6
		70	30	0	9	6
		70	30	0	12	6
		70	30	0	15	6
		70	30	0	20	6
		70	30	0	30	6
		70	30	6	9	0

<주> 위 배합비는 준설토 + 산 흙의 중량비 100%를 기준으로 개량제를 첨가하여 실험을 진행함

### 3.4.8 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 4차실험결과

2012년 관세청 자료에 따르면 최근 커피수입량은 30만 톤으로 2011년 대비 43.8%로 급증하였고, 일일 커피소비량은 약320ton/day이며 이중에 커피슬러지로 배출되는 양은 70%에 달하는 약 225ton/day으로 현재 일반폐기물로 처리되고 있다. 선행연구조사 결과, 커피슬러지는 다공성 물질로써 입자 크기가 크고 통기성이 우수하며 유기물을 함유량이 높은 것을 확인하였다.

그림 3.30과 같이 물 500ml에 준설토 100g, 커피슬러지 0, 1, 3, 6, 9%를 혼합하여 30분경과 후 pH를 측정하였다. 무처리에서 pH 8.65로 가장 높게 측정되었고, 커피슬러지 9%에서 pH 7.46으로 측정되었다. 이에 대해 pH 감소의 가능성을 확인하고 톱밥비료에 커피슬러지를 배합하여 실험을 수행하였다.



(a) 준설토 100g + 커피슬러지 0, 1, 3, 6, 9% 혼합 후 셋팅



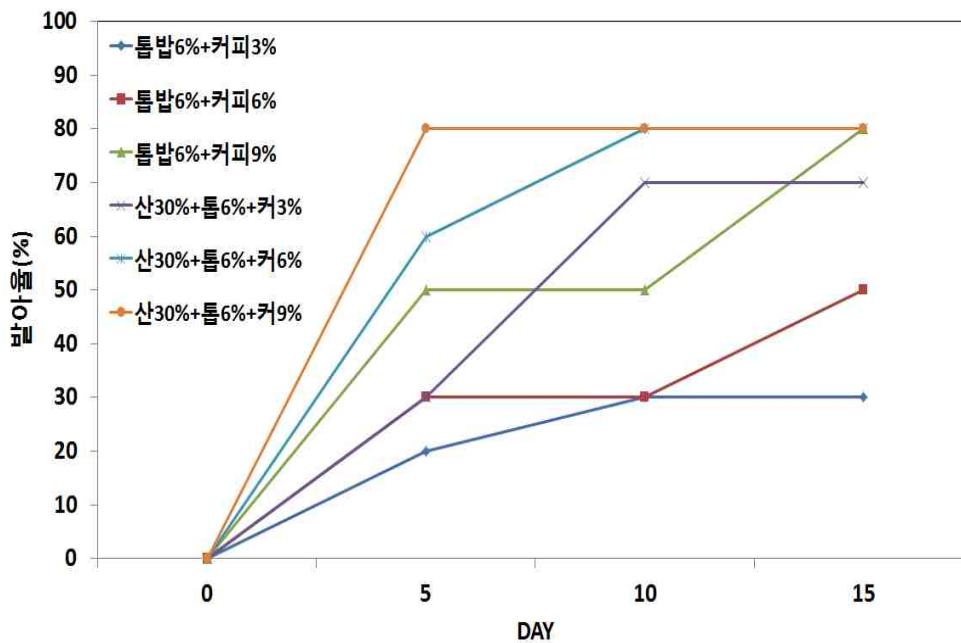
(b) pH 측정

그림 3.30 커피슬러지 배합비에 따른 pH 측정 결과

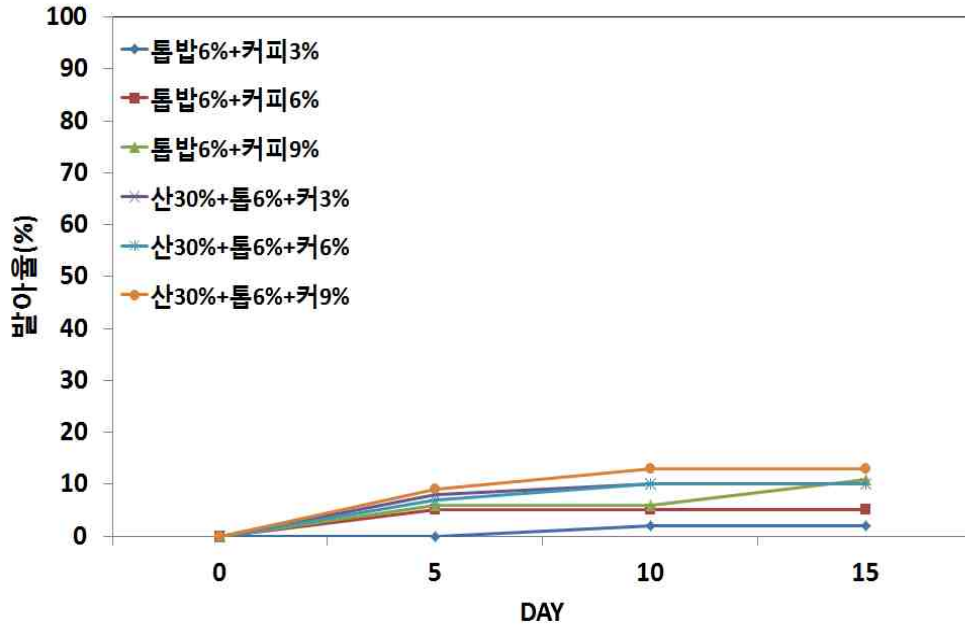
본 실험에서는 식물의 수목생장조건인 최저온도인 15°C로 진행하였다. 최초 발아까지 2주 정도의 장기간이 소요되었으며 성장속도 또한 다른 실험에 비하여 매우 늦는 경향을 확인하였고, 12%이상에서 발아율 측정은 불가하였다.

이는 준설토, 톱밥비료, 커피슬러지를 혼합한 다음 관수를 할 경우 커피슬러지의 미립하고 비중이 가벼운 입자들이 떠올라 흙의 표면을 덮어 씨앗이 자라지 못하도록 흙 표면을 차단하는 역할을 하였고, 커피슬러지에 함유된 유분(식물성 기름)은 시료 내에서 수분을 유지하는 역할을 하나 커피슬러지가 흙 표면을 덮을 경우 흙 속으로 투과되는 산소를 차단함으로써 식물이 발아되지 않았다. 따라서 최대 9%의 커피슬러지를 함유량이 가장 적정한 것으로 나타났다.

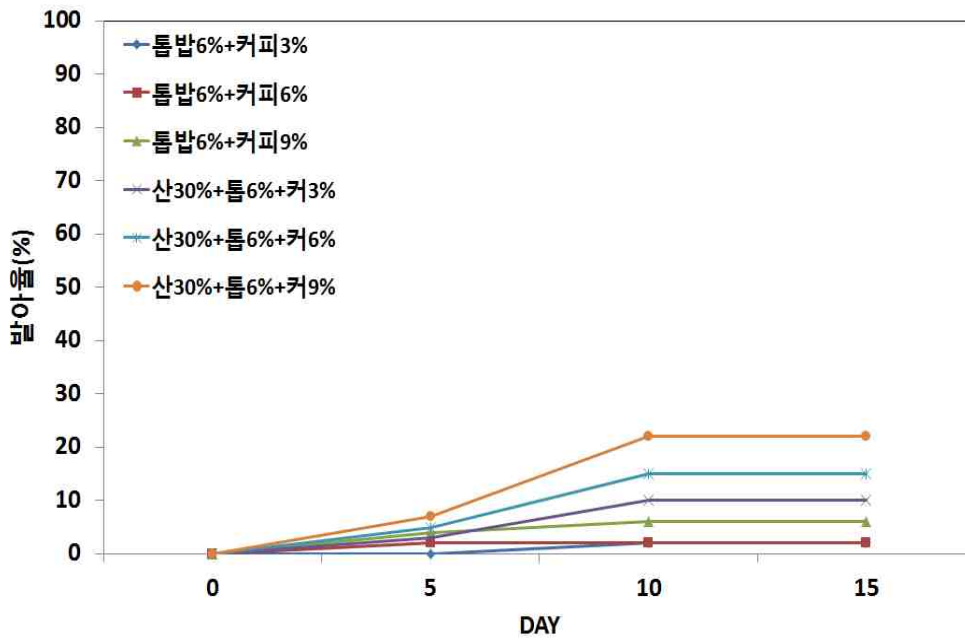
최초 발아 후 14일부터 발아율 측정을 하였으며 이후 5일 간격으로 측정한 결과 그림 3.31과 같이 나타났다. 준설토 100% + 톱밥비료 6% + 커피슬러지 9%, 준설토 70% + 산 흙 30% + 톱밥비료 6% + 커피슬러지 9%를 비교하였을 때 15일 경과 후 발아율이 비슷한 것을 확인하였으며 따라서 톱밥비료와 커피슬러지를 활용하여 준설토의 개량을 확인하였다.



(a) 잔디 발아율 측정



(b) 토끼풀 발아율 측정



(c) 술패랭이 발아율 측정

그림 3.31 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 발아율 측정 결과

그림 3.32는 배합비 별로 배합된 톱밥비료에 커피슬러지를 첨가하여 준설토 개량 효과를 확인하고자 다음과 같이 잔디, 토끼풀, 슬패랭이를 각 토양별 처리구에 파종한 후 발아율이 높은 잔디를 이용하여 각 처리구의 발아율을 측정하였다.

군산 C 시료를 이용하여 톱밥비료 6% + 커피슬러지 3%, 6%, 9%와 산 흙 30% + 톱밥비료 6% + 커피슬러지 3, 6, 9%의 6개의 처리구에 대한 잔디의 발아율을 측정하였다.

준설토 100%의 경우 커피슬러지 첨가량이 3%, 6%, 9% 증가할 때  $R^2=0.986$ , 준설토 70% : 산 흙 30%의 경우 커피슬러지가 3%, 6%, 9% 증가할 때  $R^2=0.75$ 로 모든 케이스에서 커피슬러지의 첨가량이 증가할수록 발아율이 증가하는 것을 확인하였고, 상관관계도 증가하였다.

따라서 커피슬러지를 이용할 경우 발아율이 증가하는 것을 확인하였고 이는 커피슬러지에 함유되어 있는 유기물 성분과 커피슬러지의 약산성 성질로 준설토의 강염기성 pH를 낮추어 씨앗의 발아에 상당한 도움이 되었고, 커피슬러지를 이용한 준설토 개량 효과를 확인하였다. 따라서 추가적인 실험을 통해 커피슬러지의 허용 최대사용량을 결정하고자 한다.

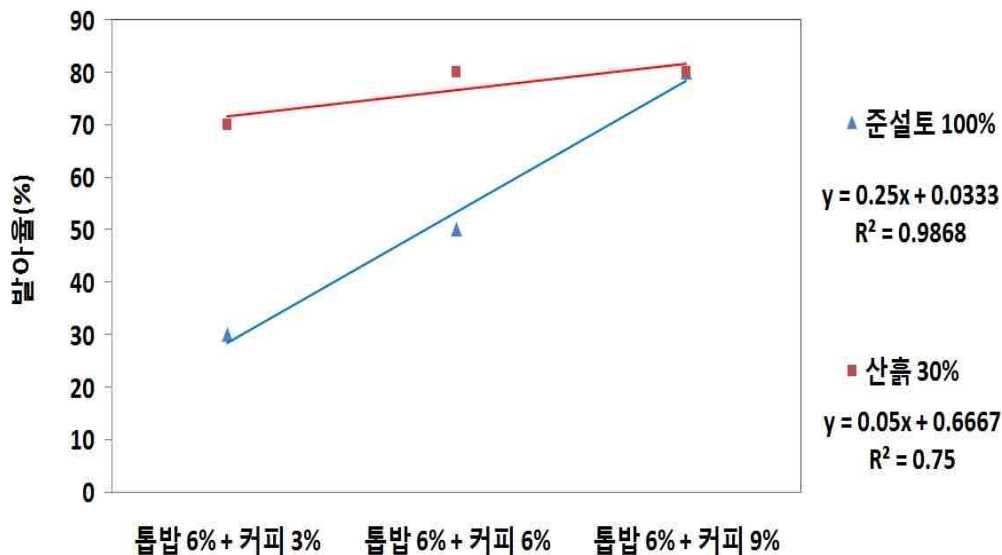


그림 3.32 커피슬러지 개량제 첨가에 따른 잔디 발아율 비교

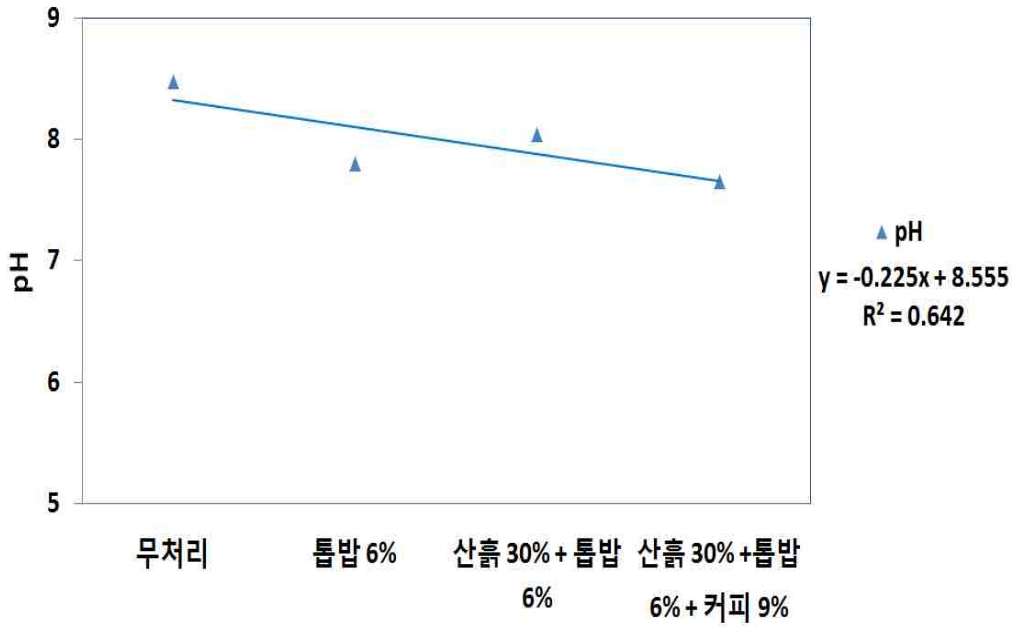
식물의 최대생장이 끝나고 실험이 종료된 후 시료를 채취하여 이화학 분석을 실시한 결과는 표 3.11과 같다. pH 항목을 제외한 다른 항목들은 Bio개량제보다 산 흙, 톱밥 비료, 커피슬러지를 이용하는 것이 우수한 것을 보고 모든 식물생장 조건을 충족시키는 방안 중 가장 높은 것을 확인하였다.

무처리, 톱밥 6%, 산 흙 30% + 톱밥 6%, 산 흙 30% + 톱밥 6% + 커피슬러지 6%의 이화학특성이 그림 3.33과 같이 개선됨을 확인하였다. 이화학 분석 중 발아율에 미치는 영향이 큰 유기물의 함량(발아율 및 지속적인 식물생장의 조건)과 pH를 비교 분석하였다. 분석결과, pH의 경우  $R^2=0.642$ 로 pH가 처리구에 따라 감소하였고 이는 커피슬러지의 중성화로 인한 효과로 확인되었다. 또한 유기물의 증가는  $R^2=0.832$ 로 처리구에 따라 유기물의 증가로 인해 식물의 생장조건이 개선된 것을 확인하였다. 기존 개발된 Bio개량제의 경우 이화학특성 개선에 효과적이거나 염분농도의 경우에는 Bio개량제를 혼합하여도 염분이 낮아지는데 6개월이 소요된다. 따라서 개량제의 효과가 있으나 자연방치를 통한 기상현상이 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

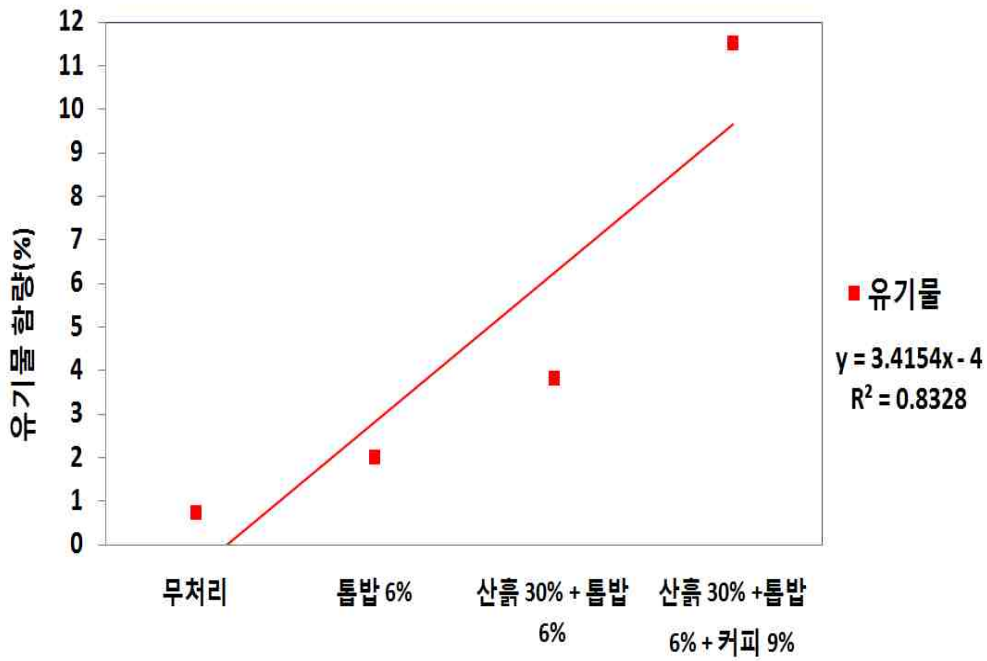
**표 3.11 준설토 개량제 실험 후 군산 C시료 이화학 분석 결과**

시료명	pH	유기물 (%)	유효인산 (mg/kg)	염농도 (%)	EC (ds/m)	C.E.C (cmol <sup>+</sup> /kg)	T-N (mg/kg)
무처리	8.48	0.755	11.618	0.085	1.328	1.909	92.459
Bio 6%	7.19	1.030	187.316	0.445	6.960	11.108	152.654
톱밥 6%	7.80	2.022	110.932	0.029	0.455	0.392	216.547
무처리+ 산흙30%	8.04	3.935	9.283	0.017	0.266	2.308	485.264
산흙30% +Bio 6%	6.95	3.267	93.352	0.544	8.501	16.234	359.495
산흙30% +톱밥6%	7.55	3.845	52.968	0.027	0.426	1.555	492.661
산흙30% +톱밥6% +커피9%	7.65	11.532	78.381	0.037	0.581	3.318	1829.117
수목생장 조건	5.5-6.5	3.00이상	100이상	0.05미만	0.4미만	12-20	0.25이상





(a) 처리구에 따른 pH 개선 효과 비교



(b) 처리구에 따른 유기물 개선 효과 비교

그림 3.33 처리구에 따른 이화학특성 개선 효과 비교

## 제 4 장 현장시험시공 및 결과

### 4.1 현장시험시공 준비

현장시험 시공은 2014년 11월 10일에 시공하였으며 시공 대상지는 군산 새만금 만경 3공구 내 방조제 시공현장에서 시공하였다. 시공 시 사용된 종자는 군산지역 총출현종, 식생피복도, 상대 우점도 등을 조사하고 늦가을(10월) 중에도 발아가 가능한 종자를 중심으로 토끼풀, 벌노랑이, 양잔디(벤트그라스), 민들레, 술페랭이를 선정하였다. 씨앗은 중량비로 계산하여 5종을 배합 총 1만 본으로 하였고 뿔어붙이기(Seed Spray) 공법으로 시공하였다. 그림 4.1은 현장시험시공 전 인공사면을 조성하고 준설토의 영향을 반영하고자 면정리 후 25t 덤프 1대 분량의 준설토를 포설한 시험시공대상지의 전경이다.



(a) 사면



(b) 평지

그림 4.1 현장시험시공 대상지 전경

## 4.2 현장시험시공

현장시험시공은 총 3개 대상지로 구분하였으며 현장시험시공 총 면적은 약 284m<sup>2</sup> 이다. 이 중 평면은 10m × 10m로 2개 대상지이며 사면은 L 21m × H 4m로 1:1 사면을 선정하여 현장시험시공을 수행하였다.

### 4.2.1 1번 시공대상지

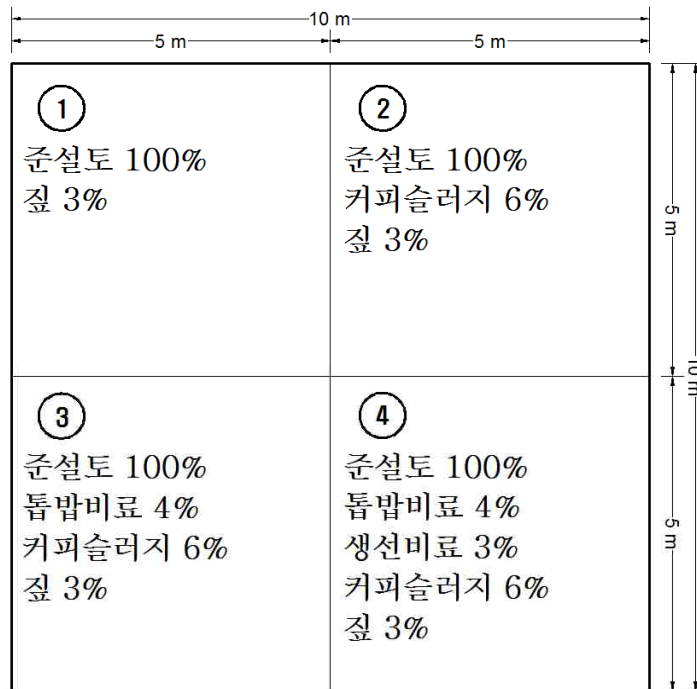
그림 4.2는 1번 대상지 시공계획이며 3T 두께로 배합비에 따라 장비를 이용하여 뿔어붙이기 공법으로 시공하였다.

1번 대상지는 ①은 준설토 100%, ②는 준설토 100% + 커피슬러지 6%, ③은 준설토 100% + 톱밥비료 4% + 커피슬러지 6%, ④는 준설토 100% + 톱밥비료 4% + 생선비료 3% + 커피슬러지 6%로 배합하여 시공하였다.

현장시험시공계획 당시 준설토 재활용 제한요소 중 하나인 바람에 준설토가 날리는 현상을 방지하고 추후 유기물 공급 목적으로 짚 3%를 파쇄한 후 배합하여 뽐어붙이기 공법으로 시공할 계획이었으나, 현장여건 상 짚을 파쇄하지 않고 거적을 덮는 방식으로 시공하였다. 계획안의 짚 3% 중량과 거적의 중량이 거의 비슷하였다.

짚은 사면의 경우 안전하게 부착시켜줄 뿐 만 아니라 유기물질이므로 일반적으로 뽐어 붙이기 공법에 사용되는 재료이다. 생선비료도 마찬가지로 유기물이 다량 포함되어 있어 일반적인 뽐어 붙이기 공법에 사용되는 재료이기 때문에 다음과 같이 첨가하여 시공하였다.

종자는 토끼풀, 벌노랑이, 양잔디, 민들레, 슬패랭이를 사용하였으며 씨앗 본 수는 g 당 중량비로 계산하여 5종 배합 총 1만 본으로 파종하였고, 뽐어 붙이기 공법으로 시공하였다.



<파종종자 : 토끼풀, 벌노랑이, 양잔디, 민들레, 슬패랭이>

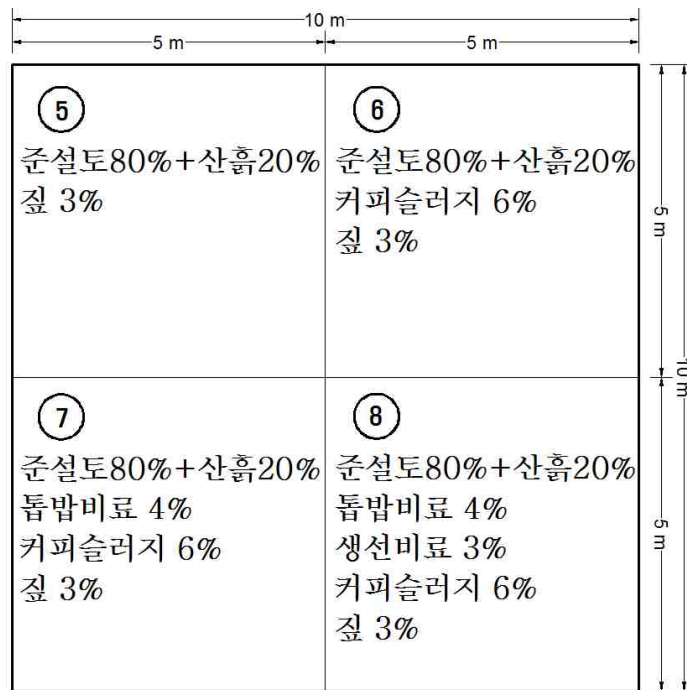
그림 4.2 현장시험시공 1번 대상지

### 4.2.2 2번 시공대상지

그림 4.3은 2번 대상지 시공계획이며 3T 두께로 배합비에 따라 장비를 이용하여 뽑아붙이기 공법으로 시공하였다.

2번 구간은 ⑤는 준설토 80% + 산 흙 20%, ⑥은 준설토 80% + 산 흙 20% + 커피슬러지 6%, ⑦는 준설토 80% + 산 흙 20% + 톱밥비료 4% + 커피슬러지 6%, ⑧ 준설토 80% + 산 흙 20% + 톱밥비료 4% + 생선비료 3% + 커피슬러지 6%로 배합하여 시공하였다. 1번 구간과 마찬가지로 짚 3%의 중량비에 달하는 양의 거적을 덮어 시공하였다.

종자는 토끼풀, 벌노랑이, 양잔디, 민들레, 술패랭이를 사용하였으며 씨앗 본 수는 g 당 중량비로 계산하여 5종 배합 총 1만 본으로 하였고, 뽑아붙이기 공법으로 시공하였다.



<과중종자 : 토끼풀, 벌노랑이, 양잔디, 민들레, 술패랭이>

그림 4.3 현장시험시공 2번 대상지

### 4.2.3 3번 시공대상지

그림 4.4는 3번 대상지 시공계획이며 3T 두께로 배합비에 따라 장비를 이용하여 뽑아붙이기 공법으로 시공하였다.

3번 대상지는 사면에 대한 뽑아 붙이기로 파종식물은 양잔디(벤트그라스)를 사용하였으며, 배합비는 ① 준설토 100%, ② 준설토 100% + 톱밥비료 7%, ③ 준설토 100% + 톱밥비료 7% + 커피슬러지 6%를 배합하여 시공하였다.

앞의 구간과 같이 짚 3%의 중량비에 달하는 양의 거적을 덮어 시공하였으나, ①의 무처리는 거적을 덮지 않고 시공하였다.

시공 후 2주 동안 초기 발아율을 안정적으로 확보하고 일정온도 유지, 해풍에 의한 영향을 방지하기 위하여 농업용 비닐(투명)을 덮어 식물의 정상적인 발아 및 성장을 할 수 있도록 하였다. 초기 발아가 시작 후 햇빛에 의해 새싹이 타버릴 우려가 있어 발아 시작 후에는 비닐을 제거하였다.

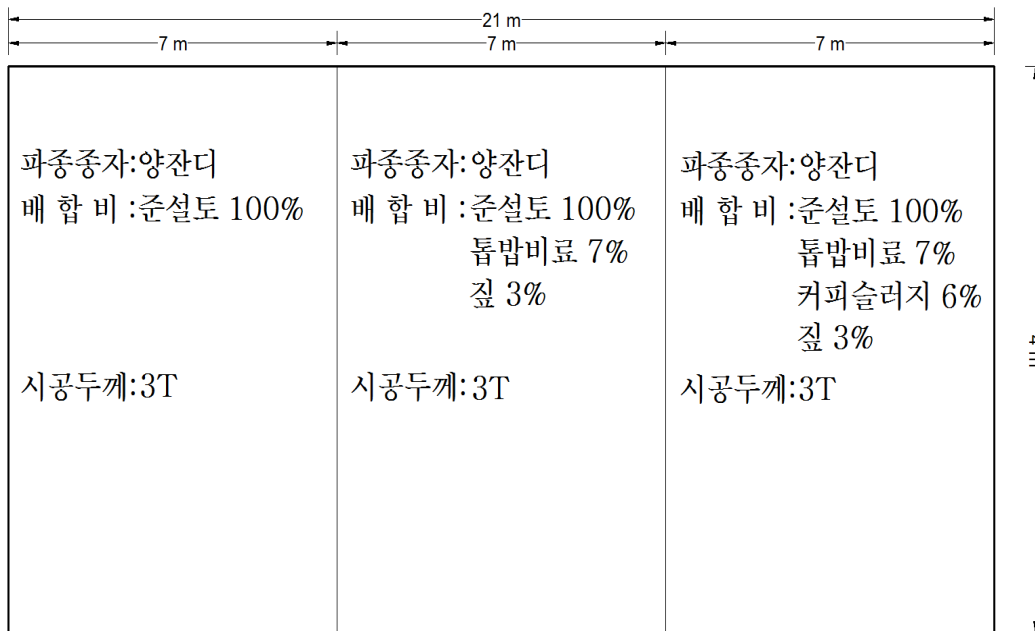


그림 4.4 현장시험시공 3번 대상지

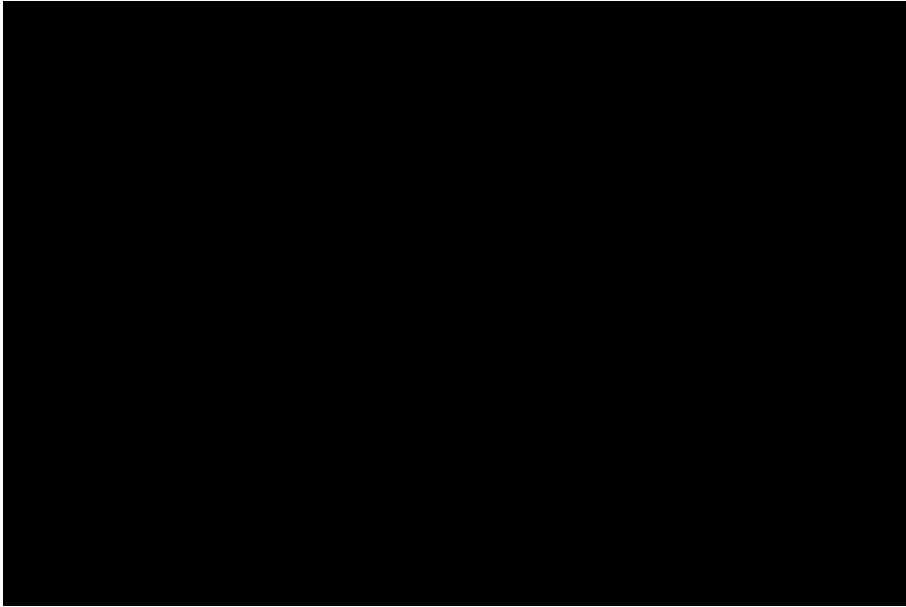
### 4.3 현장시험시공 진행

현장시험시공을 위하여 준설된 기간이 짧은 준설토를 이용하여 사면 4m × 7m크기 3필지, 평지 5m × 5m 크기 8필지 총 284㎡을 연장 및 조성하였다. 평지의 경우에는 준설토의 영향 확인 및 배수를 위한 구배 확보를 위하여 25톤 덤프 1대 분량의 준설토를 재복토하여 그림 4.5와 같이 조성하였다. 면정리는 2014년 10월 10일 완료되어 적색 로프를 이용하여 각 구획을 정하였고, 현장시험 시공 당일까지 지반 및 토양 안정화를 위하여 자연방치 하였다.

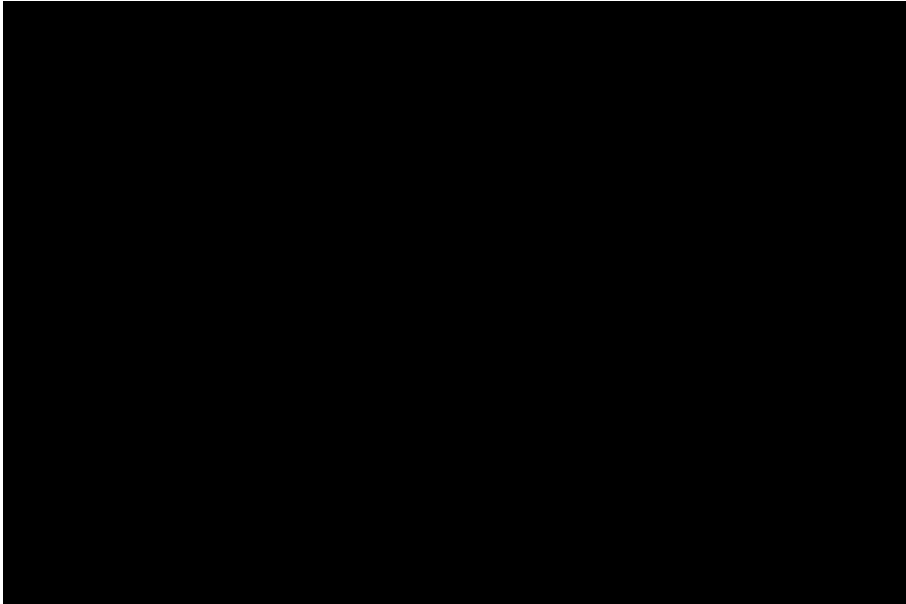


그림 4.5 현장시험시공 면정리

그림 4.6은 현장시험 시공 장면이다. 현장시험 시공은 2014년 11월 10일 실시하였으며, 준설토의 즉시 재활용 및 사용의 제한사항 중 바람에 의해 준설토가 날리는 현상을 방지하고, 공극의 부족으로 인한 식물 뿌리 발달불량 문제를 해결하고 또한 짚이 유기물질이므로 짚을 분쇄하여 준설토에 혼합 후 뽐어붙이기 공법을 시공하려고 하였으나, 바람에 날리는 문제를 해결하기 위해서는 분쇄하는 방법보다는 짚으로 덮는 것이 더 효과적으로 판단되어 짚을 덮어 시공하였다.

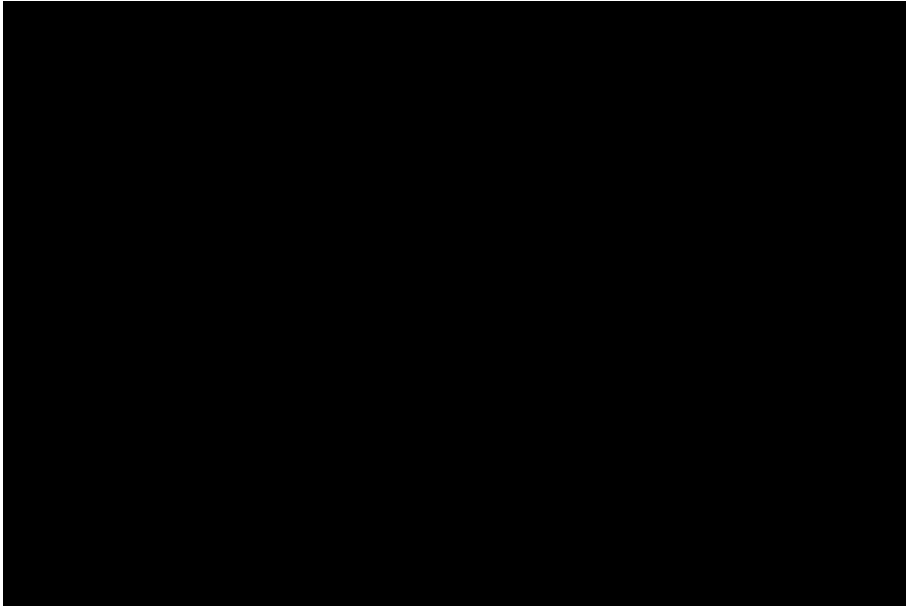


(a) 벗짚 시공

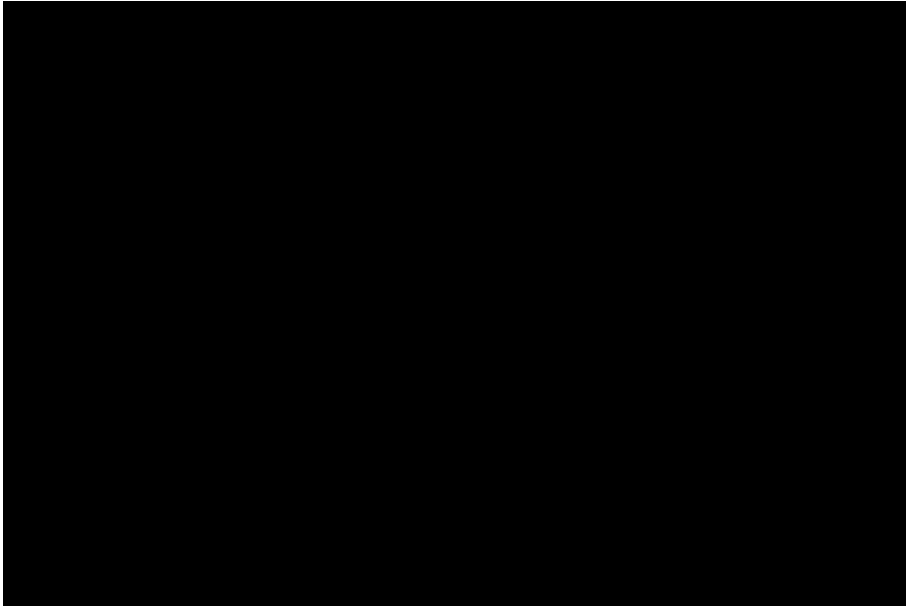


(b) 배수로 확보





(c) 뽑어붙이기



(d) 비닐 시공

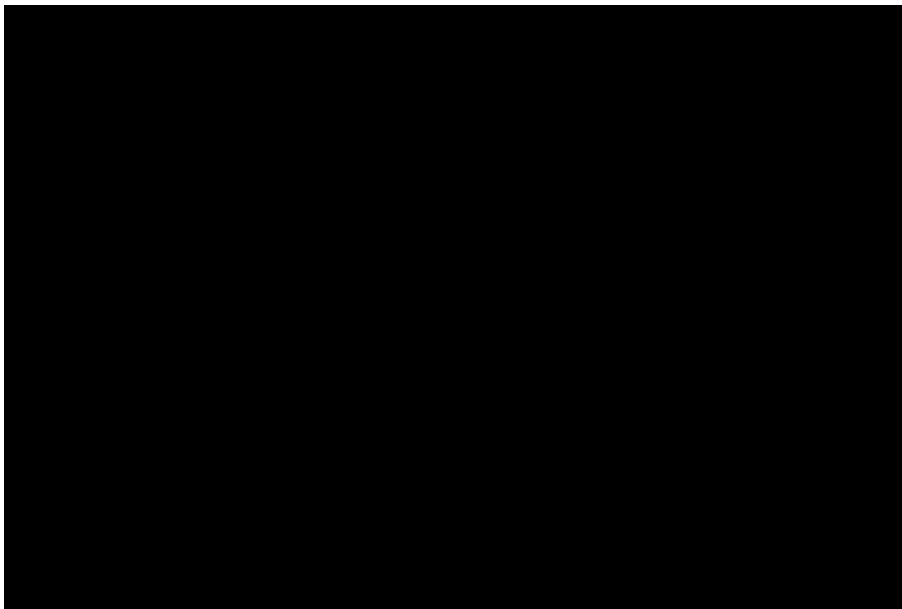
그림 4.6 현장시험시공 전경

## 4.4 현장모니터링

현장 시공 후 맑은 날씨가 장기간 지속되어 수분공급이 이루어지지 않아 발아 및 생장에 해를 입을 우려가 있어 약 1주일 간격으로 1일 2회 총 2t의 물을 관수하였다. 동시에 생장률, 피복률을 측정하였다. 1주일 간격으로 피복률을 측정하였으나, 결과가 비슷한 측정결과를 제외하고 초기, 중기, 후기로 나누어 기록하였다.

### 4.4.1 1차 발아율 측정(시공 후 14일)

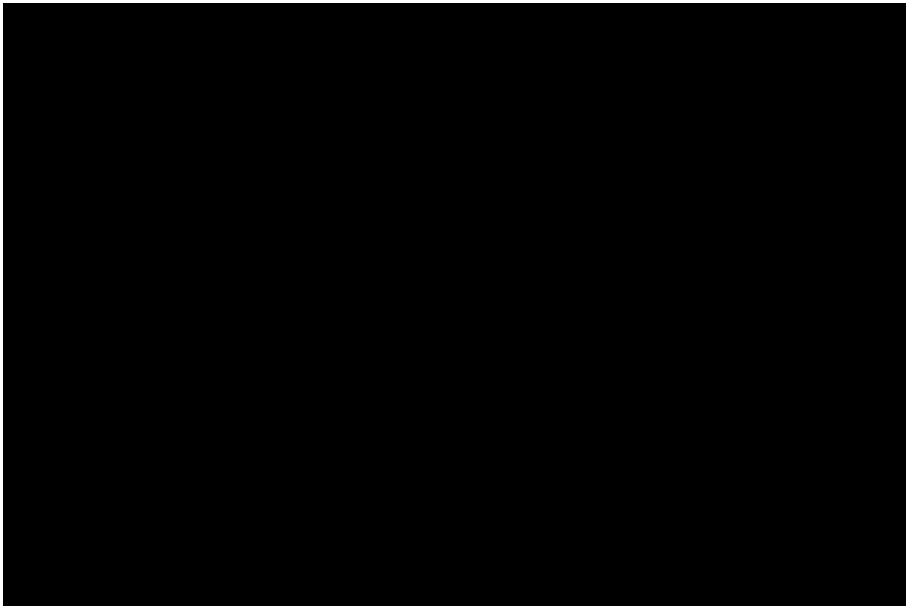
그림 4.7은 1차 발아율 측정 전경이다. 2014년 11월 27일 시공 후 14일에 발아가 시작되어 비닐을 제거한 후 1차 발아율을 측정하였다. 측정은 50cm × 50cm 방형구를 제작하여 가장 발아율이 좋은 곳을 선정하고 표시한 후, 비슷한 위치에서 반복측정을 실시하였다.



(a) 50×50cm 방형구를 이용한 발아율



(b) 무처리(시공 후 14일)

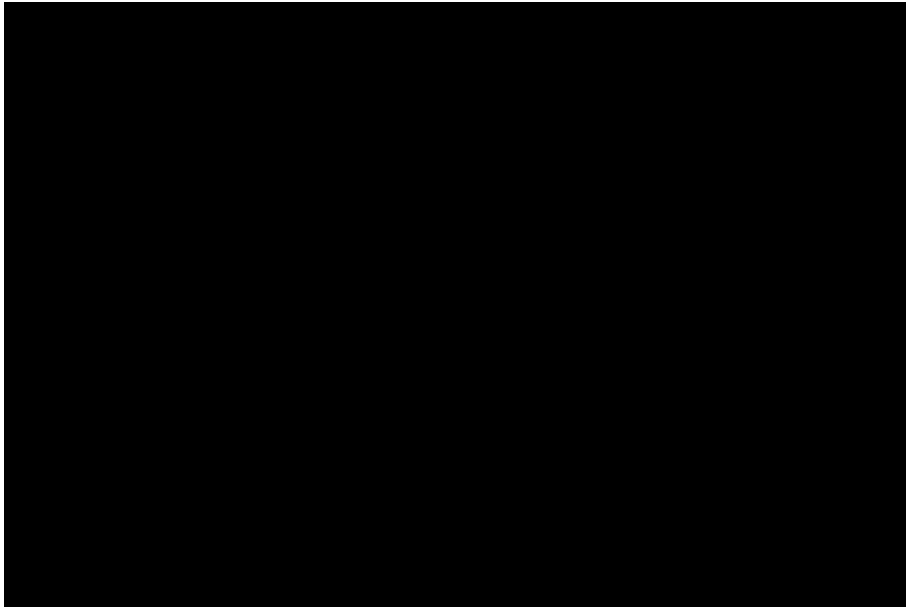


(c) 커피슬러지 첨가(시공 후 14일)

그림 4.7 1차 발아율 측정 결과

#### 4.4.2 2차 발아율 측정(시공 후 30일)

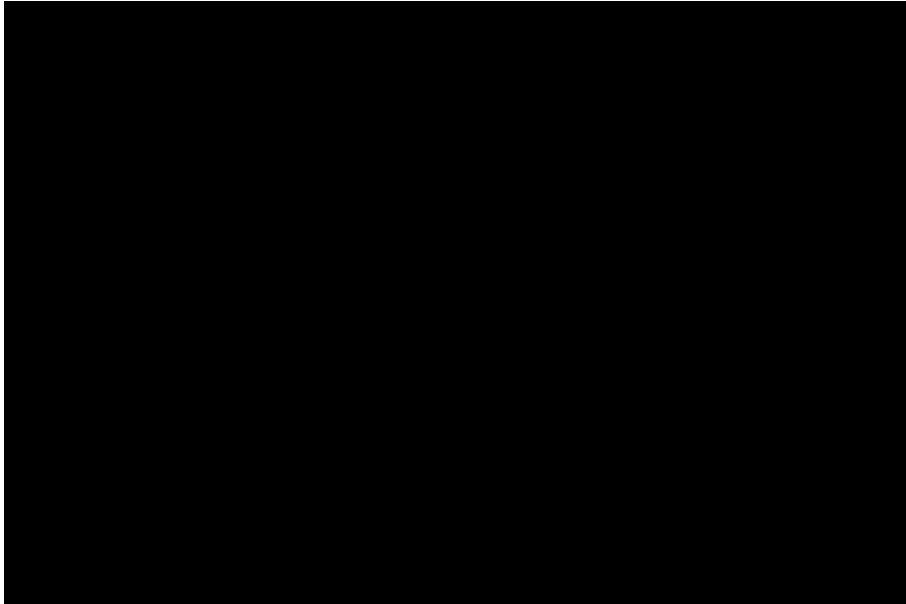
그림 4.8은 시공 후 30일에 폭설이 내린 전경이다. 2014년 12월 01일(시공 후 21일)부터 군산 옥서면 일대에 적설량 30cm의 폭설이 내려 12월 02일(시공 후 22일) 제설을 실시하였고, 12월 05일(시공 후 25일) 제설작업을 재실시하였다. 시공 후 30일에 2차 발아율을 측정하였다.



(a) 현장 전경(시공 후 21일)



(b) 현장 전경(시공 후 22일 제설작업)

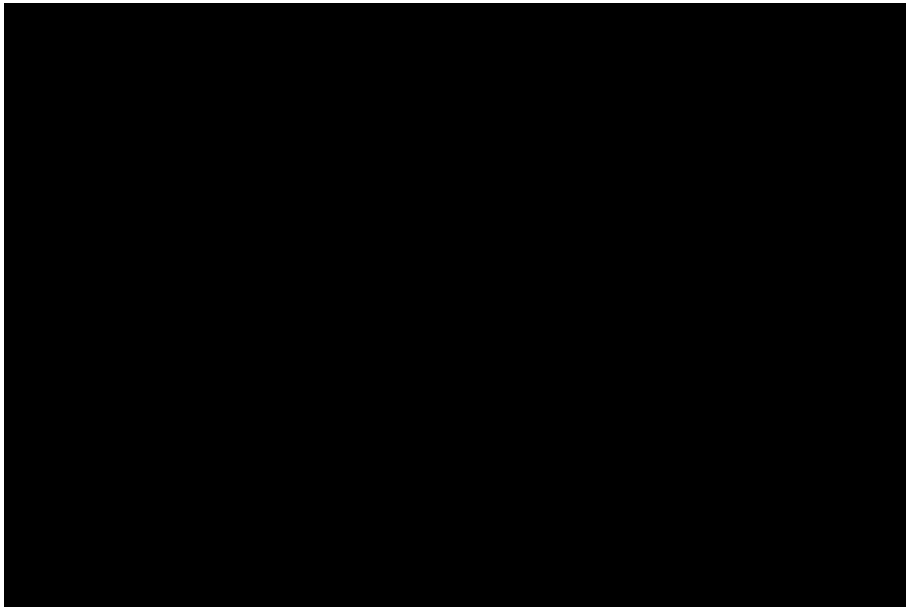


(c) 제설 작업 후 잔디 생장 전경

그림 4.8 시공 후 21일 제설작업 재 실시 후 전경

그림 4.9의 경우 2차 발아율 측정 전경이다. 그림 4.9(a) 사면의 잔디 경우에는 80% 이상의 활착률로 제설 작업 후에도 개체수의 변화가 거의 없었으나, 평지의 4종 식물(토끼풀, 벌노랑이, 민들레, 패랭이)은 급격한 개체수가 감소하였다.

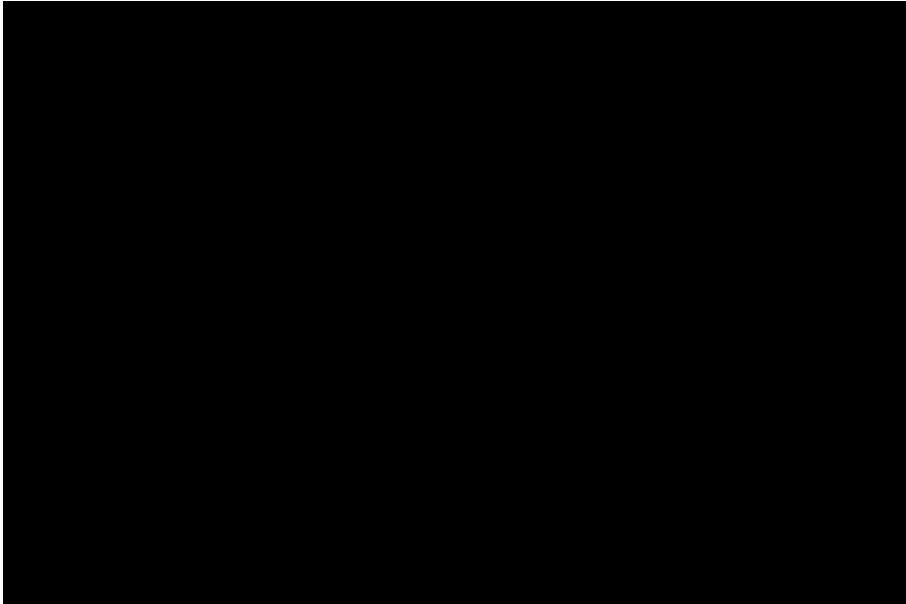
그림 4.9(b)의 잔디를 심은 사면의 경우 무처리는 피복률 70%, 그림 4.9(c)의 커피슬러지를 첨가한 경우에는 초기 발아속도는 무처리 보다 늦었으나, 발아 후 최대생장길이는 6cm 및 피복률 90%이상의 결과를 확인하였다. 무처리와 비교하였을 때, 커피슬러지를 첨가한 경우가 가장 우수하였다.



(a) 현장 전경(시공 후 30일)



(b) 무처리 잔디 생장(시공 후 30일)



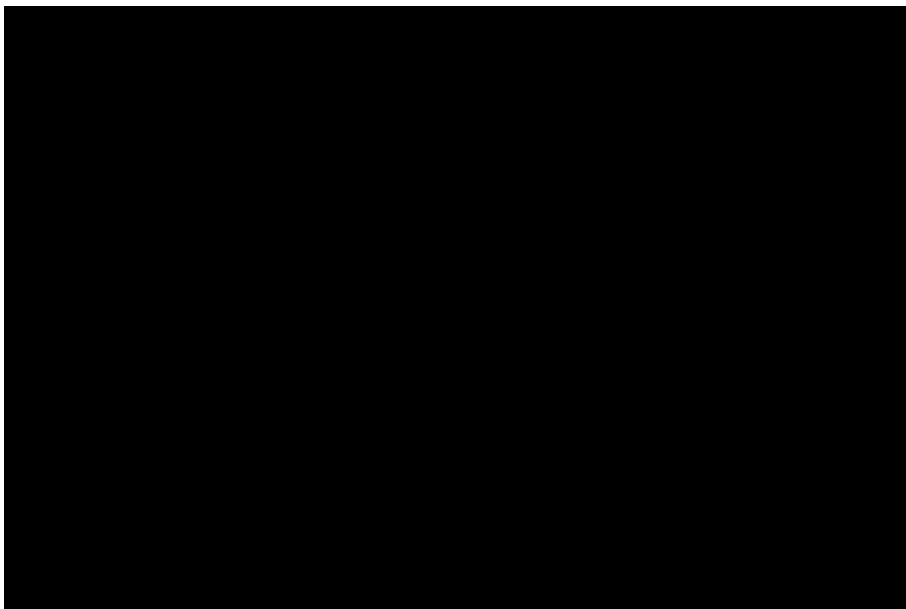
(c) 커피슬러지 첨가 잔디 생장(시공 후 30일)

그림 4.9 2차 잔디 발아율 측정결과

#### 4.4.3 3차 발아율 측정(시공 후 60일)

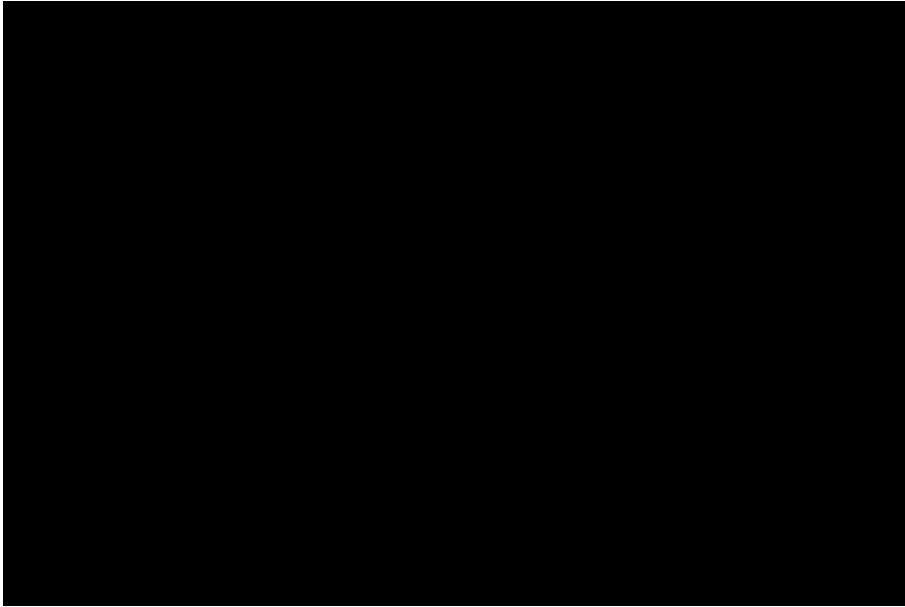
그림 4.10은 2015년 01월 11일 3차 발아율 측정 모습이다. 폭설로 인하여 개체수가 급격히 감소한 평지에 비하여, 사면의 잔디는 지속적으로 성장하였다. 계절적인 영향으로 잔디의 경우 동면기에 들어간 상태이며 개체수도 상당수가 감소하였다. 그림 4.10(a)는 사면의 잔디 성장 전경이며, 그림 4.10(b)는 무처리의 잔디 성장 후기, 그림 4.10(c)는 커피슬러지 첨가 처리구의 잔디 성장 후기이다.

동면기에 들어간 상태임에도 커피슬러지를 사용한 사면은 1차, 2차 측정과 거의 같은 피복률을 유지하고 있으나, 무처리의 경우는 확연히 개체수가 감소하였다.

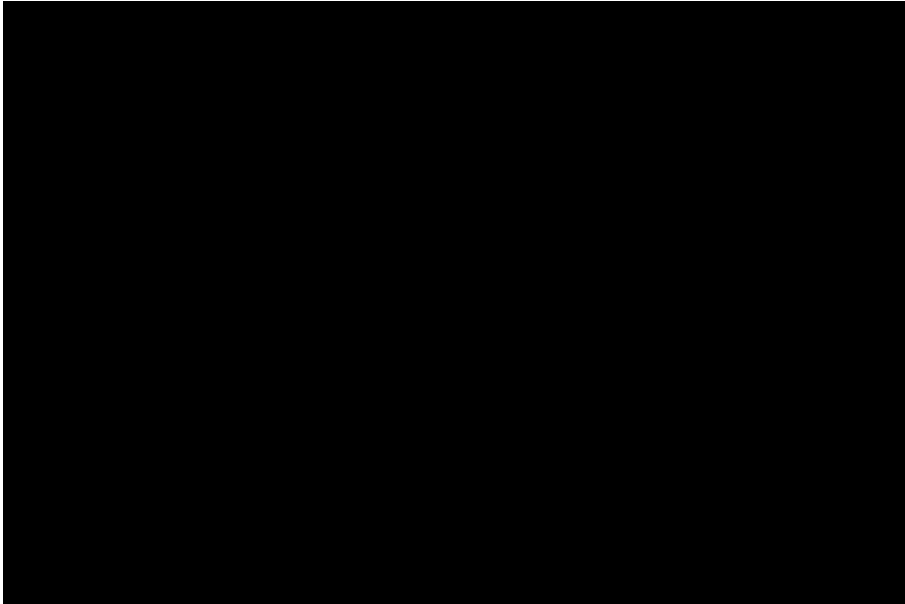


(a) 사면 잔디 성장(시공 후 60일)





(b) 무처리 잔디 생장(시공 후 60일)



(c) 커피슬러지 첨가 잔디 생장(시공 후 60일)

그림 4.10 3차 잔디 발아율 측정결과

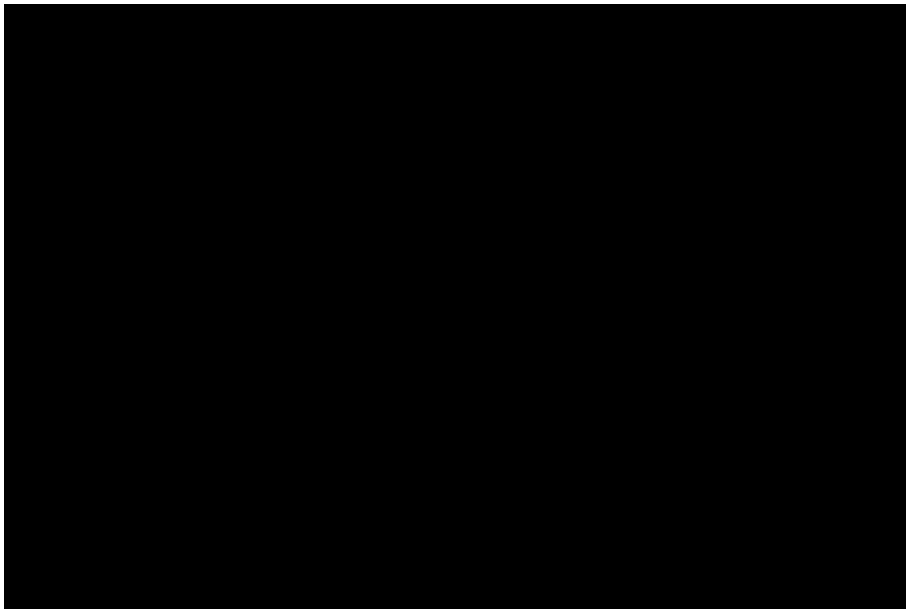
#### 4.4.4 4차 발아율 측정(시공 후 180일)

그림 4.11은 2015년 05월 11일 4차 발아율 측정 모습이다. 3차 발아율 측정 시 폭설 및 계절적인 영향으로 동면기에 들어갔으나, 3월 이후 동면기가 풀리면서 잔디의 경우 개체수가 상당히 증가한 것을 확인하였다.

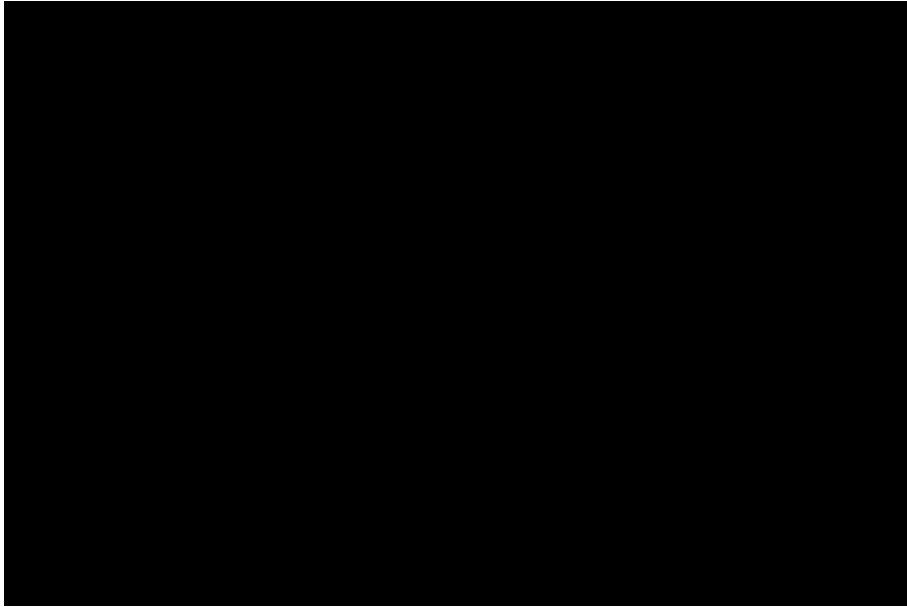
그림 4.11(a)는 사면 구간의 잔디 성장 전경이며, 그림 5.11(b)는 무처리의 잔디 성장 후기, 그림 4.11(c)는 커피슬러지가 첨가된 잔디의 성장 후기이다.

무처리의 경우 사면에서 높은 잔디 발아율을 확인하였으며, 평지의 경우 폭설로 인해 다수가 발아되지 못하였고 커피슬러지가 첨가된 경우 사면에서 무처리 보다 약 1.5배 이상 피복률이 증가하였으며, 평지의 경우 무처리에 비해 커피슬러지가 첨가된 경우 가 90%이상의 피복률을 나타내었다.

처음 식물이 발아되는데 필요한 지반의 영향범위는 약 3cm~5cm이므로 2회 관수 및 건조과정과 뽐어붙이기 공법으로 3T로 시공하여 초기발아 영향범위를 확보하였다. 그 후 식물이 성장하는데 필요한 영향범위는 약 30cm~50cm이므로 뿌리가 활착되는 동안 기상현상에 의해 그림 4.11과 같이 영향범위 확보가 가능한 것을 확인하였다.



(a) 사면 잔디 성장(시공 후 180일)



(b) 무처리 잔디 성장(시공 후 180일)



(c) 커피슬러지 첨가 잔디 성장(시공 후 180일)

그림 4.11 4차 잔디 발아율 측정결과

## 4.5 현장시험시공 결과

시험시공 2주 후 초기발아가 시작된 때부터 7일 간격으로 발아율을 측정한다. 발아율은  $[(\text{발아율 측정 시 개수}) / (\text{과중 개수})] \times 100\%$ 로 표시한다. 종자의 생장은 잎의 끝이 시들고, 동면기에 접어들어 색이 변하기 시작한 후 식물을 전체적으로 구분하여 최대생장길이를 측정하고 소수점 5자리까지 측정이 가능한 저울을 이용하여 식물 중량을 측정하였다. 실험이 끝난 후 현장시험시공 대상지 시료를 채취하여 이화학특성 및 토양 오염분석을 수행하였다.

### 4.5.1 발아율 및 피복률

발아된 식물의 개수를 세는 것이 제한적이므로 50cm × 50cm 방형구를 제작하여 발아율이 가장 높은 위치를 선정한 후 발아율과 피복률을 같은 개념으로 보고 측정을 실시하였다. 1차 발아율을 측정 후 위치를 표시하여 최대한 위치가 변하지 않고 반복측정을 실시하였다. 그림 4.12는 사면의 잔디 피복률을 나타낸 것이다. 무처리와 톱밥비료, 커피슬러지를 첨가한 경우는 1차 발아율 측정 시 70~80%로 높은 발아율을 확인하였으나, 그 이후 측정에서 큰 변화를 보이지 않고 동면기에 들어가면서 개체수가 감소한 것을 확인하였다.

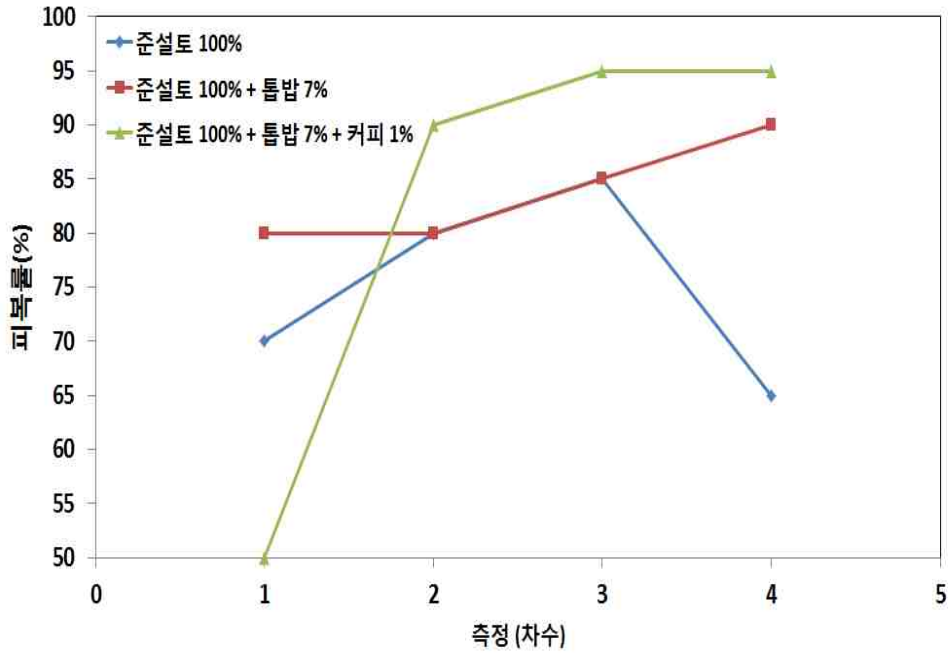


그림 4.12 사면 잔디 피복률 측정결과

커피슬러지를 첨가한 케이스의 경우에는 실내실험을 결과와 달리, 초기 발아율은 약 50%정도 측정되었으나 2차 측정 당시에는 발아율이 90%의 높은 피복률을 확인하였다. 실내실험 진행 시 커피슬러지 배합 후 표면을 걷어야 하나 현장시험시공에서는 표면을 걷어내지 않고 뽑어 붙이기 공법으로 시공한 것이 원인인 것으로 확인되었다. 1차, 2차 측정동안 기상현상에 의해 표면이 걷어진 것으로 확인되었다.

무처리의 경우에는 초기 피복률은 우수하나, 측정이 거듭될수록 큰 변화를 보이지 않고 시간이 경과될수록 비, 눈, 바람과 같은 자연현상으로 인하여 잔디가 시료와 유실되는 것을 확인하였다.

#### 4.5.2 처리구별 중량측정

2015년 03월 06일에 사면의 잔디를 25cm × 15cm 크기로 채취하여 흙을 포함한 잔유물을 세척한 후 식물개체만 채취하여 자연건조 후 2015년 03월 12일에 중량측정을 실시하였다. 그림 4.13과 같은 결과를 얻었다.

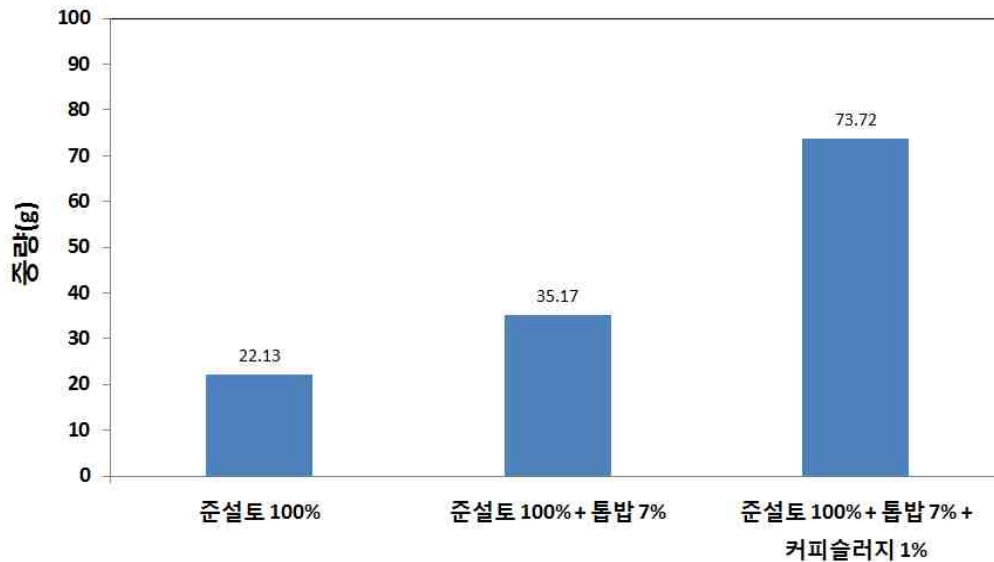


그림 4.13 사면 잔디 중량 측정결과

위와 같이 톱밥비료 첨가의 경우를 무처리와 비교하였을 때, 피복률의 경우 차이를 보였으나, 중량의 차이는 크게 없는 것을 확인하였다.

커피슬러지 첨가의 경우는 건기에도 커피슬러지가 함유하고 있는 유분으로 인하여 다른 처리구보다 수분유지기간이 긴 특성이 있어 계절적 영향으로 성장속도는 늦었으나, 다른 케이스와 비교하였을 때 더 장기간 생장이 지속된 것으로 확인되었다.

### 4.5.3 이화학분석결과

2015년 03월 09일 현장에서 사면의 시료를 처리구 별 25cm×15cm 크기로 채취하여 (재)한국환경조사평가원에 이화학분석을 의뢰하였다. 표 4.1은 사면의 이화학분석 결과이다.

**표 4.1 현장 시험시공 후 이화학분석 결과**

시료명	토양PH	유기물 (mg/kg)	유효인산 (mg/kg)	염농도 (%)	EC (ds/m)	C.E.C	T-N
군산 현장시험	8.37	0.789	14.390	0.034	0.537	0.854	235.82
무처리	7.37	0.277	11.328	0.040	0.633	3.568	71.26
톱밥비료	7.23	5.680	14.161	0.148	2.314	3.929	350.48
커피슬러지 첨가	6.93	22.213	16.976	0.091	1.424	4.441	1518.51
수목 성장조건	5.5-6.5	3.00이상	100이상	0.05미만	0.4미만	12-20	0.25이상

무처리의 경우에는 실내실험 결과와 같이 유기물이 0.277%로 거의 없는 것을 확인하였고, C.E.C(양이온 교환용량), 전기전도도(EC), 전질소량(T-N)이 현저히 부족한 것을 확인하였다. 예상결과와 다르게 염농도가 낮은 결과는 시험시공기간동안 잦은 비와 눈으로 인한 자연현상으로 감소되었다. 이것은 실내실험 시 2회 관수 및 완전건조를 반복한 후 실험을 진행한 방법과 동일한 과정으로 확인되었다.

커피슬러지를 첨가한 케이스의 경우 커피슬러지의 약산성 성질 및 다공성 성질로 인하여 pH가 감소된 것을 현장시험시공에서도 실내실험과 같은 결과를 확인하였으며, 염농도는 커피가 함유하고 있는 자체의 염분이 있으므로 무처리 보다 높은 것을 확인하였다. 이를 제외한 나머지 항목들은 모두 높은 결과가 나타났다.



## 제 5 장 결 론

본 연구는 각 준설토의 성질을 분석하고, 환경성 평가를 실시하여 준설토의 개량 방안 및 식생토 조성 방안을 연구하고자 하였다. 실험을 통해 무처리와 개량제의 배합비에 따라 혼합하여 성장 및 발아율을 비교 평가하였다. 또한 현장시험시공을 통해 준설토가 식물생육에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 군산, 인천, 광양의 대표적인 준설토의 물성시험 결과, 토질시험법 통일분류법에 의하여 군산시료는 SM(실트질 모래), 인천시료는 CL-ML(실트질 점토), 광양시료는 CL(점토)로 분류되었으며, 준설토의 이화학분석을 실시한 결과, 유기물은 매우 낮고, 유효인산 및 EC 등의 기본적인 이화학 성질 모두 수목생장의 기준치에 현저히 미달되는 수치를 확인하였다. 따라서 준설토의 기본적 이화학 특성이 식생에 열악한 조건임을 확인하였고, 식생을 위해서는 반드시 개량이 필요하다. 또한 군산 준설토의 경우 토양오염분석 결과, 중금속은 1지역 우려/대책 허용기준치에 들어와 오염이 되지 않은 것을 확인하였다.
2. 개량제 처리구 별로 발아율, 식물성장속도, 최대성장길이 등의 차이가 있으나, Bio 개량제 6%와 톱밥비료 6%에서 가장 높은 발아율 및 성장률을 확인하였다. 군산 C, D 시료, 군산현장, 인천 시료의 경우 모든 시료 케이스에서 Bio개량제, 톱밥비료, 산 흙 함량이 증가할수록 모든 케이스에서 무처리 보다 발아율이 증가하였다. 그러나 AC개량제의 경우 주성분이 단백질(pH 9~11)로 이루어져 산 흙의 함유량을 증가시켜도 발아율이 나타나지 않음을 확인하였다.

3. 개량제 처리에 따른 케이스의 이화학특성을 분석한 결과, 무처리에 비해 커피슬러지를 첨가한 처리구에서 pH가 약 20%정도 감소하였고, 유기물의 함량은 약 20배 이상 개선되는 효과를 확인하였다. 따라서 커피슬러지가 함유하고 있는 유기물 및 약산성 성질이 준설토 배합 시 충분히 개량효과가 있는 것을 확인하였다. 또한 기존의 Bio개량제와 본 연구를 통하여 개발된 톱밥비료 + 커피슬러지 개량제의 경제성 분석결과, Bio개량제(650원/m<sup>3</sup>) 보다 톱밥비료(17.5원/m<sup>3</sup>)가 약 40배 정도 경제적인 것으로 나타났다.
4. 현장시험 시공 결과, 커피 슬러지를 이용한 경우 표면을 걷어내지 않고 뽑어붙이기 공법으로 시공한 경우 초기 발아율이 저조하였으나, 4차 측정(시공 후 180일)시 사면의 경우 무처리 일 때 피복률 65%, 커피슬러지 처리구의 경우 95% 이상의 우수한 피복률을 확인하였다. 현장시공 시 커피슬러지를 개량제로 활용할 경우 준설토의 개량효과가 우수하였다.
5. 현장시험시공 시료를 채취하여 이화학분석을 실시한 결과, 실내실험 시 관수 및 완전건조 과정을 통하여 염분을 제어한 것과 같이 현장에서는 기상현상(눈, 비 등)이 같은 역할을 하는 것을 확인하였다. 이는 실내실험과 유사하게 관수 및 건조, 자연방치를 통하여 염분제어의 충분한 가능성을 확인하였다. 커피슬러지를 첨가한 케이스의 경우 커피슬러지의 약산성 성질 및 다공성 성질로 인하여 pH가 감소된 것을 실내실험과 같이 현장시험시공에서도 확인하였다. 염분농도는 커피가 함유하고 있는 자체의 염분이 있으므로 감소량이 무처리 케이스보다 작았으나, 이를 제외한 나머지 항목들은 우수하였다.
6. 추후 준설토를 이용하여 사면을 조성할 경우 SM시료 물리적 특성 상 자립능력이 부족하여 기상현상에 의해 주변 환경에 피해를 유발하고, 식물과 유실되는 것을 확인하였다. 따라서 준설토를 이용하여 사면 조성 시 다짐도를 증가시킬 방안이 필요하다.

## 참 고 문 헌

1. 구본학(2000), “임해매립지에서 식재기반 조성을 위한 토양특성에 관한 연구”, 한국생태학회지논문집, 제 13권, 제 1호, pp.89-95.
2. 국토해양부(2009), 국토의 계획 및 이용에 관한 연차보고서, 국토해양부 보고서
3. 권병선, 백선영, 임준택, 신동영, 김학진, 현규환, 신정식(2003), “토양의 염분농도 차이가 벼의 수량에 미치는 영향”, 한국자원식물학회지논문집, 제 16권, 제 1호, pp.79-82.
4. 권영택(2004), “마산만 오염 준설토 투기지역 퇴적물 및 패류의 중금속 오염도 평가”, 한국해양환경공학회지논문집, 제 27권, 제 2호, pp.17-32.
5. 김경훈, 우보명(1999), “비탈면 녹화용 재료로서 산림 표층토의 적정 채취시기 및 이용방법”, 한국환경복원기술학회지논문집, 제 2권, 제 2호, pp.53-61.
6. 김도균, 박원규, 서정욱(2002), “광양만 임해매립지의 곰솔 이식 이후의 연륜생장 특성”, 한국환경생태학회지논문집, 제 16권, 제 1호, pp.1-9.
7. 김동욱(2008), 골재부산물을 재활용한 비탈면 녹화용 토양재 개발, 서울시립대학교 석사학위논문
8. 김동희, 최병혁, 정진희, 김재홍, 정병길, 하상안, 김정권(2008), “커피부산물을 이용한 활성탄의 제조 및 인공폐수의 중금속 흡착 특성”, 한국폐기물학회 춘계학술연구회발표논문집, pp.156-159.
9. 김정호(2014), 토양개량제 처리에 의한 퇴적토와 준설토의 식물 생육 개선 효과 연구, 고려대학교 석사학위논문
10. 김태은(2010), 폐자원으로 제조한 외장재의 표면활성화에 의한 VOCs 흡착 특성, 강원대학교 석사학위논문
11. 류성훈(2010), 해양 준설토를 이용한 염생식물 메조코즘의 서식안정성 평가에 관한 연구, 부경대학교 석사학위논문
12. 류태준(2011), 副産인산석고와 活性化된 커피슬러지를 活用한 下水슬러지의 人工覆土材로 活用, 충남대학교 석사학위논문
13. 문희수(1996), 점토광물학, 민음사
14. 민병미(1985), 한국 서해안 간척지의 토양과 식생변화, 서울대학교 박사학위논문
15. 박경호, 김대현, 김병호, 고영진(2013), “페로니켈슬래그(FNS)가 토질 및 수질오염에 미치는 영향”, 한국토목섬유학회지논문집, 제 12권, 제 4호, pp. 21-33.
16. 박준범, 우희수, 이광현, 이진우(2011), “국내준설토 처리의 문제점과 재활용 증대방안”, 대한토목학회지논문집, 제 59권, 제 3호, pp.65-75.

17. 박현수, 이상석, 이상철(2003), “임해매립지 조경수목의 생리적 특성과 식재수목의 고사율”, 한국조경학회지논문집, 제 31권, 제 2호, pp.94-101.
18. 배수연(2005), 하수 준설토 등의 유해성 검토 및 재활용 방안 연구, 동국대학교 산업기술연구원 보고서
19. 변재경(2002), “임해매립지 토양의 특성 및 관리 방안”, 2002년 환경과 조경 1월, 제 175호, pp. 158-163.
20. 변재경, 김영걸, 성주한, 김춘식, 유정환, 이충화, 최경, 류택규, 김기환, 임재철(2000), “임해매립지에서 복토 높이가 수목의 고사율 및 생장에 미치는 영향”, 한국임학회 정기학술발표논문집, pp.55-58.
21. 서정근, 김지희(2007), “머드 혼용 배지가 몇가지 원예식물의 생육 및 개화에 미치는 효과”, 한국식물, 인간, 환경학회지논문집, 제 10권, 제 4호, pp.162-168.
22. 신현동, 최철호, 권오섭, 송홍규, 양성렬, 오계현, 이의삼(2005), 토양미생물학의 원리와 응용, 동화기술
23. 안봉원(1998), “수목식재”, 인천국제공항 식재지반조성 학술연구발표회논문집, pp.34-43.
24. 안필균(2012), 준설토 식생기반 개선에 따른 파종식물의 생육 특성 연구, 단국대학교 석사학위논문
25. 양재의, 옥용식, 박용하(2007), “광산 훼손지역의 생태 공학적 산림복구 방안”, 광해방지기술지논문집, 제 1권, pp.67-75.
26. 윤길림, 배윤신(2011), “준설토 활용을 위한 환경기준과 처리공법에 대한 고찰”, 한국재난정보학회지논문집, 제 7권, 제 4호, pp.247-258.
27. 윤길림, 조홍연(2002), “준설토 재활용 방안 및 적용사례 분석”, 한국지반환경공학회논문집, 제 3권, 제 2호, pp.48-63.
28. 윤원태(2001), 생태건축과 전통흙집, 생태건축사
29. 이광연, 한재혁, 류태준, 윤주영, 이우성, 이철희, 박기정(2011), “부산 인산석고 및 커피슬러지를 활용한 하수슬러지의 인공복토재 평가”, 한국폐기물자원순환학회지논문집, 제 2011권, 제 1호, pp.224-226.
30. 이경보, 김창환, 이덕배, 김종구, 박찬원, 나승용(2003), “만경강 상류 수질 및 식생 분포와 토양환경에 따른 하천 식생의 종 다양성”, 한국환경농학회지논문집, 제 22권, 제 2호, pp.100-110.
31. 이경호(2002), “수중 속에 존재하는 중금속에 대한 황성탄과 황토의 흡착거동”, 한국환경분석학회지논문집, 제 5권, 제 2호, pp.123-130.
32. 이기식(2003), 황토재료가 동식물의 생장에 미치는 영향에 관한 연구, 목포대학교 산업기술대학원 석사학위논문

33. 이미지(2014), “고화준설토의 역학적 특성과 식생 발아 특성”, 한국지반환경공학회 지논문집, 제 15권, 제 3호, pp. 33-40.
34. 전기성(2004), “도로비탈면의 환경인자를 고려한 식생구조분석에 관한 연구”, 한국환경복원녹화기술학회지논문집, 제 10권, 제 1호, pp.100-113.
35. 정두영(2008), “황토와 적황토는 다르다”, 한국지반공학회지논문집, 제 24권, 제 3호, pp.54-56.
36. 정직영(2009), 염생식물 식재 기질로서 준설토 이용에 관한 연구, 부경대학교 석사학위논문
37. 최일홍, 황경희, 이경제(2002), “임해 매립지 조경수목의 피해현황 및 요인분석”, 한국생태학회지논문집, 제 16권, 제 1호, pp.21-32.
38. 최희용(2002), 황성황토의 건설자원화에 관한 연구, 충남대학교 박사학위논문
39. 통계청 홈페이지, <http://www.nso.go.kr>
40. 한국건설기술연구원(1999), 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침, 국토해양부 보고서
41. 환경부(2001), 토양환경보전법
42. 환경부(2006), 우리나라 서남해안 염습지 염생식물 군락의 생태적 현장 보존 및 관리기술 개발, 환경부보고서
43. 환경부(2013), 표층토양 보전을 위한 5개년 종합계획수입
44. 해양수산부(2005), 해양오염퇴적물 조사 정화복원체계 구축, 한국해양연구원 연구보고서
45. 해양수산부(2007), 준설토사 처리 및 활용 환경기준 개발, 한국해양연구원 연구보고서
46. Chiellini, C., Iannelli, R. and Petroni, G.(2013), “Temporal Characterization of Bacterial Communities in a Photoreactivation Pilot Plant Aimed at Decontaminating Polluted Sediments Dredged from Leghorn Harbor, Italy”, *New Biotechnology*, Vol. 30, pp.772-779.
47. Derbyshire, E. and Mellors, T. W.(1998), “Geological and Geotechnical Characteristics of some Loess and Loessic Soils from China and Britain : a Comparison”, *Engineering Geology*, Vol. 25, pp.135-175.
48. Mulligan, C. N., Yong, R. N. and Gibbs, B. F.(2001), “An Evaluation of Technologies for The Heavy Metal Remediation of Dredged Sediments”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 85, pp.145-163.
49. Ruiz Diaz, D. A., Darmody, R. G., Marlin, J. C., Bollero, G. A. and Simmons, F. W.(2010), “Trace Metal Bioaccumulation and Plant Growth on Dredged River

- Sediments and Biosolids Mixtures”, Water Air Soil Pollut, Vol. 206, pp.321-333.
50. Teal, J. M. and Weishar, L.(2005), "Ecological Engineering, Adaptive Management, and Restoration Management in Delaware Bay Salt Marsh Restoration”, Ecological Engineering, Vol. 25, pp.304-314.
51. US Army Corps of Engineers(2006), Engineering and Design : Beneficial Uses of Dredged Material, Engineer Manual No 1110-2-502.

## 감 사 의 글

본 논문이 끝나기까지 많은 분들의 도움과 격려에 지면을 통하여 감사의 마음을 전합니다. 돌이켜 보면 바쁘고 힘든 일정이었지만 회사와 학교생활을 함께 하면서 보낸 지난시간들이 매우 뜻깊게 여겨지며 감회가 새롭습니다.

논문이 완성되기까지 한결같이 학문의 길로 이끌어 주신 바쁜 학사일정에도 아낌없이 깊은 관심과 애정으로 지도와 격려해주신 김대현 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 부족한 논문을 지도해주시고 심사위원장이신 박길현 교수님을 비롯하여 심사위원이신 김운중 교수님, 박정웅 교수님, 전남대학교 해양토목학과 김영상 교수님과 대학원 수업시간에 애정적으로 가르쳐 주셨던 김성홍 교수님, 박상준 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다.

또한 대학원을 졸업하기까지 도움을 주시고 조언과 따뜻한 마음을 주신 박사졸업하신 신성토건(주) 김현대 전무님, (주) 포스코 A&C 임재춘 과장님, 건일제약(주) 허홍균 호남지사장님과 특히 논문을 마치기까지 불철주야 함께 연구 활동에 매진하여 보람된 땀방울의 결실을 맺기까지 동고동락하며 힘이 되어주신 토질연구실 박사과정 박경호, 석사과정 송민우, 김민석, 학부과정 양열호, 나승주, 김완민 정말 고생 많았습니다.

아울러 토질연구실 원로 회원이신 최영 고문님을 비롯한 회원 모든 분들에게 깊은 감사를 드리며, 직장생활과 학교생활을 병행하여 함께 할 수 있도록 도와주신 대선건설(주) 대표이사인 회장 송영삼님, 정창원 사장님, 오권철 사장님, 김국엽 전무님, 이주상 전무님 및 임직원 여러분께도 감사를 드립니다.

끝으로 가장 큰 사랑과 믿음으로 언제나 저의 곁에서 묵묵히 지켜봐주시며, 성원해주신 부모님과 본가, 처가 모든 가족 분들에게 진심으로 감사의 말씀을 전하며, 어려운 여건 속에서도 그동안 가정의 평온과 사랑을 위하여 인내로 한결같이 꾸준한 헌신적인 사랑으로 정성을 다하여 내조해준 사랑하는 아내 송연숙 여사와 멀리서 직장생활에 매진하는 아들 양신, 학생들을 열심히 가르치는 며느리 정다이, 대학생활을 열심히 잘하는 딸 다영, 진월회, 6.3회, 동광 OB회 모든 회원들과 함께하고 싶습니다.

앞으로도 더욱 정진하여 지금까지 도와주신 모든 분들에게 보답하고 기쁨을 드릴 수 있도록 항상 최선의 노력을 다하겠습니다.

2015년 6월

김문채 배상