

최      중  
연구보고서

# 기계화 경작로 확포장 신공법 개발

Development of the New Pavement Method  
for Farm Roads

충북대학교

농림부



# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “기계화 경작로 확포장 신공법 개발”연구과제의 최종  
보고서로 제출합니다.

주 관 연 구 기 관 : 충북대학교  
협 동 연 구 기 관 : 충남대학교  
참 여 기 업 : 신보산업주식회사  
총 괄 연 구 책 임 자 : 리 신 호  
세 부 과 제 연 구 책 임 자 : 송 창 섭  
세 부 과 제 연 구 책 임 자 : 오 무 영  
협 동 연 구 책 임 자 : 성 찬 용  
연 구 원 : 박 종 화  
연 구 원 : 민 정 기  
연 구 보 조 원 : 반 창 현  
연 구 보 조 원 : 임 성 윤  
연 구 보 조 원 : 장 용 희  
연 구 보 조 원 : 인 현 식  
연 구 보 조 원 : 권 현 일  
연 구 보 조 원 : 서 대 석

## 요 약 문

I. 제 목 : 기계화 경작로 확포장 신공법 개발

### II. 연구개발의 목적 및 중요성

현재의 기계화 경작로는 거의 비포장도로나 콘크리트 포장도로로 건설되고 있는데, 비포장도로의 경우 작업기계의 진·출입은 물론 배수개선에도 많은 문제점을 가지고 있으며, 콘크리트 포장도로의 경우에는 작물의 생장에 영향을 미친다.

본 연구에서는 농작물의 성장에 해를 끼치지 않는 화력발전의 부산물인 석탄회와 무기질 토양고화재를 사용하여 기계화 경작로의 포장재료를 개발하고, 이를 바탕으로 새로운 포장공법을 개발하여 생산기반시설의 확충은 물론 폐기물의 재활용 차원에서 연구의 필요성이 요구된다. 다음은 각 측면에서 연구의 필요성을 요약한 것이다.

#### 가. 기술적 측면

- ① 기계화 경작로 건설을 위한 대체 재료의 개발이 필요
- ② 자연 친화형 기계화 경작로 포장공법 기술 개발의 필요성 증대
- ③ 자연재료와 폐기물(플라이애쉬 등)의 활용으로 자재난 해소의 시급성
- ④ 농한기를 이용하여 간단히 포장할 수 있는 확·포장의 공법의 개발
- ⑤ 연약지반에 적용성이 우수한 공법의 개발이 필요
- ⑥ 기계화 경작로의 유지관리체계 수립의 필요성

#### 나. 경제·산업적 측면

- ① 소규모 도로의 아스팔트, 콘크리트 포장으로 인한 건설자재의

## 과소비 방지

- ② 전력산업 부산물(석탄회)의 활용방안 시급
- ③ 산업폐기물의 매립 또는 처리에 따른 부대비용의 절감
- ④ 아스팔트 및 콘크리트 포장의 농작물 성장 장애 방지
- ⑤ 산업폐기물의 매립지 조성을 줄여 국토의 공간 활용성 극대화

## 다. 사회·문화적 측면

- ① 기계화 경작로의 획일성을 지양하여 지역적, 주변 환경과 조화
- ② 자연 친화형 기계화 경작로의 건설 시급
- ③ 남비즘의 만연으로 인한 혐오시설물 축조 불가능에 따른  
환경시설물 건설 시급
- ④ 폐기물 매립에 의한 환경오염 방지
- ⑤ 농한기 농촌 인력자원의 활용 극대화

## III. 연구개발 내용 및 범위

본 과제에서 수행한 주요 연구내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다

1. 기계화 경작로 포장의 유지관리 및 설계지침 수립
  - 기계화 경작로 포장의 문제점 분석
  - 기계화 경작로 포장의 설계지침 제시
  - 새로운 기계화 경작로 포장의 유지관리체계의 수립
2. 연약지반의 개량공법 조사 및 분석
  - 경작지 연약지반의 특성 분석
  - 연약지반처리공법의 분석
  - 고화처리공법의 분석

### 3. 기계화 경작로의 포장재료의 개발

- 석탄회 혼합토의 특성분석
- 자연친화형 포장재료의 개발
- 포장재료의 각종 강도 및 내구성 시험

### 4. 기계화 경작로의 확·포장공법의 개발

- 확포장 공법의 개발(하중의 크기에 따라 유형별로 개발)
- 경제적인 시공방법의 개발
- 연약지반의 적용성 검토
- 공사비의 산정

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 연구개발의 결과

자연친화적인 기계화 경작로의 포장재료 및 포장공법을 개발하여 생산기반시설의 확충은 물론 국토의 효율적인 관리를 위한 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 제1 세부연구과제에서는 현장방문 및 설문조사를 통하여 기계화 경작로의 문제점을 파악하고 분석하여 개선점을 제시하였다. 아울러, 새로운 기계화 경작로의 포장재료를 이용한 공법으로 시공된 기계화 경작로의 표준시방서, 시공지침 및 유지관리지침 등을 제시하였다.

- 설문조사 결과, 경작로는 농작업기계 이용, 농산물과 농업자재의 신속한 유통, 대형 농기계의 이용에 대비하여, 유지관리가 쉽도록 전폭 포장이 요구되는 것으로 나타났으며, 포장재료는 농작물의 피해, 환경피해를 줄이기 위해 환경친화적 재료가 필요한 것으로 나타났다.

- 시공 지침으로서 조사와 시험, 품질관리 기준, 포장 시공 요령 등의 기본적인 사항을 서술하였으며, 유지관리 사항과 결합 확인 방법, 보수 방법 등을 제시하였다.

- 기계화 경작로 포장의 표준시방서로서 적용 범위와 기준, 재료, 구조 설계, 시공, 품질관리 및 검사 등에 대한 시방 내용을 제시하였다.

나. 제2 세부연구과제에서는 전국의 기포장된 경지정리지구의 경작로 중에서 대표적인 지구를 선정하여 토질조사를 실시하고, 시료를 채취하여 실내시험을 실시하고 현장시험의 결과와 비교·검토하여, 각 지역별 토질특성을 분석하였다. 또, 연약지반처리공법을 분석하여, 앞서 실시된 결과를 바탕으로 기계화 경작로에 경제적으로 적용할 수 있는 연약지반처리공법을 제시하였다.

- 최근 연약지반에 적용되는 공법을 원리별로 요약하여, 기계화 경작로의 지반처리공법으로 활용할 수 있도록 정리하였다.
- 전국의 기계화 경작로를 대상으로 토질분석을 한 결과, 하천주변에 형성된 평야부는 주로 운반되어 퇴적된 지층으로 세립분이 많고 강도가 낮으며 압축성이 크고 노상 또는 성토재로서 부적당한 것으로 조사되었으나, 토양은 비옥한 것으로 나타났다. 반면, 산간지에 형성된 평야부는 사질성분을 많이 함유하고 있어 강도가 크고 지지력이 양호한 것으로 나타났다.
- 연약지반을 통과하는 기계화 경작로의 지반처리공법으로 가장 일반적인 공법은 치환공법으로 가장 확실하고 간단한 방법으로 사료된다. 그러나, 주변에서 양토를 저렴하게 쉽게 구득할 수 있는 경우에는 곳에서는 Geocell등을 이용하는 방법을 권장한다.

다. 제3 세부연구과제에서는 자연재료와 산업폐기물 재활용 측면에서 보조기층 재료 및 표층재료를 개발하고, 재료의 각종 특성을 분석하여 기계화 경작로 재료로서의 적용성을 분석하였다.

- 보조기층재는 약 10% 정도의 석탄회를 혼입하는 석탄회 혼합토와 약 5%정도의 고화재를 함유하는 에코콘크리트가 적당한 것으로 나타났다.
- 표층재는 약 15%정도의 고화재와 자갈 10%, 섬유 0.1%를 함유하는 에코콘크리트가 적당한 것으로 나타났다.

라. 제4 세부연구과제에서는 자연친화적으로 개발된 재료를 사용하여 기계화 경작로 포장설계 방법을 제시하고, 포장공법을 개발하였으며, 현장포장시험을 통하여 적용성을 분석하였다. 또한, 현장포장시험의 결과를 바탕으로 포장의 단가를 비교·분석하였다.

- 현장 흙을 재료로 고화재, 토목섬유, 세골재 및 기타 혼입재를 혼합하여 새로운 포장재료인 에코콘크리트를 사용하여 기계화 경작로 포장공법을 개발하였다.
- 기계화 경작로의 포장공법으로 Geocell을 사용하여 연약지반에 적용이 가능한 Geocell System을 개발하여 그 적용성을 분석하였다.
- 표층재료로 개발된 에코콘크리트를 사용하는 포장공법을 대형차 교통량의 조건에 따라 설계할 수 있도록 새로운 공법을 제시하였다.
- 현장포장시험의 결과로부터 포장공법의 경제성 분석을 실시한 결과, 농림부 단가의 약 37% ~ 73% 범위에서 시공이 가능한 것으로 나타났다.



## 2. 기대효과와 활용에 대한 건의

### 가. 기대효과

본 과제의 성공적인 수행에 따라 다음과 같은 효과가 기대된다.

#### 1) 기술적 측면

- 기계화 경작로 포장의 재료에 대한 재조명으로 자연소재에 개발
- 자연 친화형 소재의 개발
- 경작지 인근에서 쉽게 구득할 수 있는 재료의 개발
- 내구연한이 지난 후에도 폐기물이 되지 않고 토양개량제로 활용할 수 있는 재료 개발
- 흙 재료를 이용한 공법으로 재료비 절감에 따른 공사비 절감
- 혼합재료의 포설공법을 적용하여 공기의 단축
- 간단한 기계류를 사용하는 공법의 개발
- 투수성을 확보하여 지하수의 고갈과 유출량의 감소
- 폐기물의 활용으로 국토의 활용, 자재난의 해소

#### 2) 경제·산업적 측면

- 자연 흙소재의 활용으로 자재난의 해소
- 비환경적 콘크리트 소재의 사용감소와 건설자재의 수입대체 효과
- 산업 폐자재의 활용으로 오염문제의 해소
- 자연 친화형 경작로 포장의 개발로 자연환경과 부합되는 도로 건설
- 자연소재의 활용에 따른 경작로 건설 경비의 절감  
(농림부 단가의 37%~73% 정도)

### 나. 활용 방안 및 건의 사항

- 농촌지역 경작로의 손쉬운 포장으로 농촌의 생활환경 개선

- 연구내용의 현장실험에 의한 효용성 입증으로 환경과 생명을 지키는  
기계화 경작로 포장의 활성화
- 정부의 부분적 도로환경 개선 지원금의 효과적 활용 방안 모색
- 흙 소재의 사용과 산업 폐자재의 활용으로 산업간의 유대 강화
- 농한기를 이용한 경작로 포장으로 농민의 소득 증대
- 환경보전을 필요로 하는 지역의 연결도로로 활용
  - 개발예정공법1 - 경작로 내의 소규모 도로의 포장에 활용
  - 개발예정공법2 - 경작로 내의 간선도로의 포장에 활용
  - 개발예정공법3 - 경작지 간 또는 마을 연결도로의 포장에 활용
- 대규모 경지정리 지역에 포장공법 직접 적용 가능
- 재료 제공과 손쉬운 공법 교육으로 소규모 경작지 연결도로는  
농민 스스로 포장 활용(개발예정공법1 적용)
- 내구연한이 지난 포장재는 토양개량제로 바로 활용

## Summary

The aim of the study is the development of the paving method of the farm roads. The new pavement must be environmental and ecologic.

To review the problems of the farm roads were investigated the requirements of farmers, managers and maintainer to 8 regions. The results of the investigation were showed that the farm roads must be fitted for farming work using agricultural machines, and have the function of the connection road of villages, that the pavement of the whole width of the farm roads is needed for the effective work and maintenance.

The soil properties of the farm roads were analyzed and investigated to 8 regions. The methods of the improvement in soft ground, surface treatment and 'geocell' system, were presented for the farm roads.

The material of road pavement mixed with soil(maimly), aggregates, ESC(excellent soil compound) and fibers, named 'Ecoconcrete' was developed. The ecoconcrete is the environmental and ecological material. The materials of subgrade of farm road is fitted that ecoconcrete with 5% ESC or 10% FA(fly ash). The ecoconcrete with 15% ESC, 10% coarse aggregates and 0.1% fibers is sutable as the materials of the surface pavement.

The methods of pavement were devoloped, geocell system method and ecoconcrete method. The equipments of pavement were introduced according to work process, grading, spreading and mixing. The in-situ tests of pavement were two times. The basic data of unit cost and the calculation process of materials were presented through the economic analysis of the pavement of the farm road.

The guide lines of construction and maintenance and the standard specifications of the pavement of the farm roads were proposed.

## CONTENTS

Chap.1	General	1	
	Sec.1	Introduction	1
	Sec.2	Goals and Work Scopes of the Study	6
	Sec.3	Method and System of the Procedure	11
	Sec.4	Procedures of the Study Development	13
	Sec.5	Expecting Effects and Future Application	15
	Sec.6	Personnels in the Study	17
	Sec.7	Summary and Conclusion	18
Chap.2	Research on the Actual Condition	19	
	Sec.1	Introduction	19
	Sec.2	Questionnaire	19
		1. Research Region	19
		2. Methods	20
		3. Contents	20
		4. Analysis Method	20
		5. Research Results	20
		6. Summary and Discussion	34
	Sec.3	Improvement Direction	36
		1. Methods of the Farm Road	36
		2. Materials	37
		3. Maintenance	37
		4. Durable Time	38
	Sec.4	Summary and Conclusion	39
Chap.3	Development of the Soft Ground Improvement Method	40	
	Sec.1	Introduction	40
	Sec.2	Ground Improvement Method	42
		1. Replacement	42

2. Sand Mat	42
3. Synthetic Fiber Mat	43
4. Vertical Drain	43
5. Sand Compaction Pile	44
6. Step Embankment	44
7. Preloading Method	45
8. Embankment of Light Weight Materials	45
9. Chemical Grouting Method	46
Sec.3 Analysis of Soil Properties of the Farm Road	48
1. Soil Exploration	48
2. Soil Properties	53
Sec.4 Development of Soil Improvement Method	79
1. Surface Treatment	79
2. Geocell System	82
Sec.5 Summary and Conclusion	90
Chap.4 Development of the Pavement Materials	92
Sec.1 Introduction	92
Sec.2 Subgrade Materials	93
1. Introduction	93
2. Materials	93
3. Properties of the Subgrade Materials	95
4. Design of Mix Proportion	95
5. Test Method	96
Sec.3 Properties of the Subgrade Materials	98
1. Introduction	98
2. Properties of the Fly Ash Mixtures	99
3. Properties of the Solidification Mixtures	102
4. Summary	117
Sec.4 Surface Course Materials	118

1. Introduction	118
2. Material and Test	118
3. Result and Discussion	119
4. Summary	128
Sec.5 Properties of the Surface Course Materials	132
1. Introduction	132
2. Materials	132
3. Design of Mix Propdrtion	133
4. Test Method	134
5. Result and Discussion	135
6. Summary	147
Sec.5 Summary and Conclusion	148
Chap.5 Development of the Paving Method	150
Sec.1 Introduction	150
Sec.2 Design Criteria	151
1. Width	151
2. Design Criteria	153
Sec.3 Development of the Paving Method	157
1. Geocell System Method	157
2. Ecoconcrete Method	172
3. Design of the Road Section	184
Sec.4 Paving Equipments	186
1. Procedure of the Paving	186
2. Grading Equipment	186
3. Spreading Equipment	187
4. Mixing Equipment	189
5. Spreading Equipment for Subgrade and Surface Course	193
6. Compacting Equipment	194
Sec.5 In-situ Test	196

1. Primary Test Pavement	196
2. Second Test Pavement	211
Sec.6 Economic Analysis of the Farm Road	219
1. Paving Cost	219
2. Unit Cost	221
3. Equipment Cost	228
4. Basis of the Unit Cost	230
5. Material Calculation of the Surface Course	238
Sec.7 Summary and Conclusion	240
Chap.6 Maintenance	241
Sec.1 Introduction	241
Sec.2 Construction Guideline	241
1. Survey and Test	241
2. Construction Method	243
Sec.3 Maintenance Guideline	244
1. Introduction	244
2. Fault Diagonosis Method	245
3. Repair Method	248
Sec.4 Standard Specification	248
1. General	248
2. Materials	249
3. Construction Design	250
4. Construction	251
5. Quality Control and Inspection	254
Sec.5 Summary and Conclusion	256
Chap.7 Summary and Conclusion of the Study	257
References	263

# 목 차

제 1 장 총론	1
제 1 절 서론	1
제 2 절 연구의 목적과 세부내용	6
제 3 절 추진전략 및 방법	11
제 4 절 연구개발 추진체계	13
제 5 절 기대효과 및 활용방안	15
제 6 절 연구진	17
제 7 절 요약 및 결론	18
제 2 장 기계화 경작로의 실태조사	19
제 1 절 서론	19
제 2 절 기계화 경작로의 설문조사	19
1. 조사지역의 선정	19
2. 조사방법	20
3. 조사내용	20
4. 조사의 분석방법	20
5. 조사결과	20
6. 결과 및 고찰	34
제 3 절 기계화 경작로의 개선 방향	36
1. 경작로의 포장방법	36
2. 경작로의 포장재료	37
3. 경작로의 정비방법	37
4. 경작로의 내구연한	38
제 4 절 요약 및 결론	39
제 3 장 연약지반처리공법의 개발	40
제 1 절 서론	40
제 2 절 연약지반처리공법	42
1. 치환 공법	42



2. 샌드매트 공법	42
3. 토목섬유 매트 깔기 공법	43
4. 수직배수 공법	43
5. 모래다짐말뚝 공법	44
6. 단계 흙쌓기 공법	44
7. 선행재하 공법	45
8. 경량재 쌓기 공법	45
9. 약액주입 공법	46
제 3 절 경작로의 토질특성 분석	48
1. 토질특성을 분석하기 위한 토질조사	48
2. 각 지구의 현황 및 토질특성	53
제 4 절 연약지반처리공법의 개발	79
1. 천층처리공법	79
2. Geocell을 이용하는 공법	82
제 5 절 요약 및 결론	90
제 4 장 포장재료의 개발	92
제 1 절 서론	92
제 2 절 보조기층재의 개발	93
1. 개론	93
2. 사용재료	93
3. 보조기층재의 특성	95
4. 재료 배합 설계와 시험체 제작	95
5. 시험방법	96
제 3 절 보조기층재의 제반 특성 분석	98
1. 개론	98
2. 석탄회(fly ash, FA) 혼입에 따른 특성 분석	99
3. 고화재 혼입에 따른 특성 분석	102
4. 요약	117
제 4 절 포장재료의 개발	118

1. 개론	118
2. 재료와 시험	119
3. 결과 및 고찰	119
4. 요약	128
제 5 절 포장재료의 제반특성 분석	132
1. 개론	132
2. 사용재료	132
3. 재료 배합 설계와 시험체 제작	133
4. 시험방법	134
5. 결과 및 고찰	135
6. 요약	147
제 6 절 요약 및 결론	148
제 5 장 기계화 경작로 포장공법의 개발	150
제 1 절 서론	150
제 2 절 기계화 경작로의 설계조건	151
1. 기계화 경작로의 폭	151
2. 설계기준	153
제 3 절 포장공법의 개발	157
1. 지오셀 시스템 공법	157
2. 에코콘크리트를 이용한 포장공법의 개발	172
3. 포장단면의 설계 예	184
제 4 절 기계화 경작로 포장기기	186
1. 포장공 순서	186
2. 정지용 기기	186
3. 포설용 기기	187
4. 혼합용 기기	189
5. 표층 또는 보조기층 포설용 기기	193
6. 다짐용 기기	194
제 5 절 현장시험포장	196

1. 1차년도	196
2. 2차년도	211
제 6 절 포장공법의 경제성 분석	219
1. 포장단가 비교	219
2. 일위대가	221
3. 중기 단위당 경비	228
4. 산출근거	230
5. 표층 및 보조기층 재료 산출근거	238
제 7 절 요약 및 결론	240
제 6 장 기계화 경작로의 시공과 유지관리 지침	241
제 1 절 서론	241
제 2 절 시공지침	241
1. 조사와 시험	241
2. 포장 시공 요령	243
제 3 절 유지관리 지침	244
1. 개론	244
2. 결함 확인 방법	245
3. 보수 방법	245
제 4 절 표준시방서	248
1. 총론	248
2. 재료	249
3. 구조설계	250
4. 시공	251
5. 품질관리 및 검사	254
제 5 절 요약 및 결론	256
제 7 장 연구요약 및 결론	257
참고문헌	263

# 제 1 장 총론

## 제 1 절 서론

### 1. 연구개발의 배경

WTO 체제의 출범으로 농산물 시장도 본격적인 개방과 경쟁체제에 돌입하게 되어, 농림수산업을 둘러싼 국제경제질서가 급속하게 변화하기 때문에 빠른 시간내에 우리의 농산물도 경쟁력있는 산업으로 키우지 않으면 자생력을 상실하게 될 것이다. 따라서, 생산을 담당하는 생산주체나 기술개발 주체 또는 기술보급 주체에 의해 제기되는 제반 문제점을 해결하여 농어민의 소득증대, 농어민의 복지를 증진시키기 위해서는 생산기반시설의 확충 또는 보완이 시급한 실정이다.

또한, 산업의 원동력인 에너지 자원을 대부분 수입해야 하는 우리나라는 에너지 자원의 부산물을 새로운 대체자원으로서의 활용하는 것이 시급한 실정이다. 특히, 화력발전의 부산물인 석탄회 재활용 기술개발은 중요하고도 매우 시급한 과제이다. 더구나, 날로 심각해지는 환경문제로 인해 이제 더 이상 석탄회를 폐기·매립만 할 수 없는 지경에 이르렀다. 좁은 국토를 유용하게 최대한 활용하기 위해서는, 석탄회 매립지를 최소한으로 줄여 발전소 건설비용의 절감은 물론 새로운 발전소 건설입지 선정에 도움이 되도록 함이 필요하다.

지금까지 우리나라의 석탄회 재활용율은 18 %에도 못미치고 있어 대부분의 석탄회를 매립·폐기하고 있으므로 농경지가 잠식되고 있는 우리의 실정을 감안할 때, 석탄회를 회수하여 여러 가지 고부가 가치의 자원으로서 활용할 수 있도록 연구하는 것이 시급한 실정이다.

현재의 기계화 경작로는 거의 비포장도로나 콘크리트 포장도로로 건설되고 있는데, 비포장도로의 경우 작업기계의 진·출입은 물론 배수개선에도

많은 문제점을 가지고 있으며, 콘크리트 포장도로의 경우에는 작물의 성장에 영향을 미친다. 그러나, 해안이나 저습지에 매립장을 조성하여 매립·폐기되고 있는 석탄회의 가경성을 이용하면 비교적 지지력이 양호한 기계화 경작로의 건설은 물론 환경문제, 국토의 활용, 자원의 재활용 측면에서 매우 효과적이다.

따라서, 본 연구에서는 농작물의 성장에 해를 끼치지 않는 화력발전의 부산물인 석탄회를 사용하여 기계화 경작로의 확·포장공법을 개발하여 생산기반시설의 확충은 물론 폐기물의 재활용 차원에서 새로운 공법의 개발에 필요성을 절감하게 되었다.

## 2. 연구개발의 필요성

### 가. 기술적 측면

- 기계화 경작로 건설을 위한 대체 재료의 개발이 필요
- 자연 친화형 기계화 경작로 포장공법 기술의 개발의 필요성 증대
- 자연재료와 폐기물(플라이애쉬 등)의 활용으로 자재난 해소의 시급성
- 농한기를 이용하여 간단히 포장할 수 있는 확·포장의 공법의 개발
- 연약지반에 적용성이 우수한 공법의 개발이 필요
- 기계화 경작로의 유지관리체계 수립의 필요성

### 나. 경제·산업적 측면

- 소규모 도로의 아스팔트, 콘크리트 포장으로 인한 건설자재의 과소비 방지
- 전력산업 부산물(석탄회)의 활용방안 시급
- 산업폐기물의 매립 또는 처리에 따른 부대비용의 절감
- 아스팔트 및 콘크리트 포장의 농작물 성장 장애를 방지

- 산업폐기물의 매립지 조성을 줄여 국토의 공간 활용성 극대화

#### 다. 사회·문화적 측면

- 기계화 경작로의 확일성을 지양하여 지역적, 주변 환경과의 조화
- 자연 친화형 기계화 경작로의 건설 시급
- 님비즘의 만연으로 인한 혐오시설물 축조 불가능에 따른  
환경시설물 건설 시급
- 폐기물 매립에 의한 환경오염 방지
- 농한기 농촌 인력자원의 활용 극대화

### 3. 국내의 관련기술의 현황과 문제점

현재 우리나라의 석탄회는 발전소에 인접한 지역에 부지를 조성하여 대부분 매립·폐기하고 있는 실정이다. 이들 중에서 일부는 시멘트 원료 또는 대용, 인공경량골재의 제조, 연약지반 성토보조제, 충전제, 규산비료의 원료 등의 측면에서 활용 또는 이용하고 있다. 그러나, 석탄회 정제품의 품질 불균질, 재활용에 대한 인식의 부족, 과다한 수송비, 활용분야의 미비 등의 문제로 재활용율이 18% 정도 밖에 되지 않는 실정이다. 또한, 기계화 경작로의 포장재료로서의 활용은 국내외를 막론하고 거의 연구실적이 빈약한 상태이다.

우리나라의 석탄회 생산량은 1994년에 2,475,000 톤, 1995년에 2,684,000 톤, 1996년에 3,127,000 톤 등 매년 증가하고 있으며, 2005년에는 약 5,713,000 톤 정도 발생할 것으로 예상된다. 하지만, 1995년도를 기준으로 보면 재활용 분야는 레미콘 혼화재, 시멘트 원료, 골재, 벽돌 등에 약 18.3% 정도 활용하고 있다. 반면, 외국 선진국의 경우는 약 60~70%까지 활용하고 있으며, 특히 네덜란드의 경우에는 전부 재활용하고도 외국에

서 수입하고 있는 실정이다.

표 1.1은 우리나라를 비롯한 각국의 재활용 상태를 보이며, 표 1.2는 현재까지 석탄회가 이용되고 있는 분야를 정리한 것이다.

기계화 경작로의 확·포장에 대한 연구는 일본을 중심으로 미국 등지에서 개발되고 있으며, 어떤 공법은 실용화 단계에 들어가고 있으나, 공법의 적용성, 특히 등의 문제점이 있으므로 새로운 공법의 개발이 시급한 실정이다. 또한, 이러한 공법은 주로 시멘트계 고화재를 활용하고 있어 환경적인 문제가 대두되고 있다.

따라서, 우리의 토질, 환경조건에 맞는 공법을 개발하여 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

표 1.1 각국의 석탄회 발생량 및 재활용율(천톤)

국 가	석탄회 발생량	재활용량	재활용율	비고
오스트레일리아	7,900	800	10	1990
프 랑 스	2605	1300	50	1987
독 일	11600	6465	56	1989
일 본	3925	1920	49	1989
영 국	12540	6120	49	1989
미 국	65190	15895	24	1989
중 국	62500	16200	26	1989
한 국	2684	491	18.3	1995

#### 4. 앞으로 전망

경제 및 산업의 발전에 따라 전력의 수요량은 급증하게 되며, 이에 따라 천연 수자원이 부족한 우리나라는 화력 또는 원자력에 의한 발전이 불가피

하게 되며, 그에 따라 석탄회 등의 산업폐기물의 발생량은 증가하지 않을 수 없게 될 것이다. 따라서, 매립지의 확보 및 조성에 어려움이 따르고 자연스럽게 인구밀도가 낮고, 경제성이 적은 토지에 매립지를 조성하게 되어 결과적으로 농경지 또는 그에 준하는 토지의 축소가 당연하게 되어 석탄회

표 1.2 석탄회 이용현황

분야	용도	활용 기술 분야
시멘트	○ 시멘트 원료	• 시멘트 원료 중 점토대용으로 원료량의 4~5 % 대체 사용
	○ 시멘트 혼화제	• 포틀랜드 시멘트에 5% 이하로 혼화 사용
	○ F/A 혼화제	• 종류에 따라 5~30 % 혼화 가능
	○ 레미콘 혼화제	• 레미콘의 경우 10%, 매스콘크리트의 경우 20~39 % 혼화
건축	○ 인공경량 골재	• 자갈 대용으로 사용, 고층 건축물의 경량화 가능
	○ 기와, 세라믹	• 점토대용으로 사용
	○ 기포콘크리트	• 기포콘크리트의 단열 효과
	○ 시멘트 2차제품	• 블록, 흙관, 전주 등의 제조
토목	○ 아스팔트 필러	• 아스팔트 안정제와 골재 틈새의 채움재
	○ 노반재	• 시멘트 안정처리 노반, 석회안정처리 노반의 대체
	○ 노상재	• 한랭지의 동상 방지, 연약지반의 도로 성토용
	○ 매립, 성토용	• 간척사업, 육상 저습지 매립 또는 성토 매립
	○ 충전재	• 탄광, 항내 충전재
	○ 그라우트 공사	• 터널 매립, 보링구멍 매립재
농수산	○ 비료	• 규산비료의 원료
	○ compost	• F/A를 단독 또는 혼합하여 토양개량제로 이용
	○ 인공어초	• 유지, 모래 등을 혼합하여 성형 또는 탈황석고 등으로 경화



의 재활용에 대한 요구가 전망된다.

또한, 각 분야에서 연구의 필요성을 느끼고, 특히 농촌에서의 석탄회 재활용은 불가피하게 될 것이며, 농촌에서의 석탄회를 활용성에 대한 인식도가 높아질 것이다.

- 환경문제의 대두로 폐기물 매립지의 선정에 문제점 발생 및 매립에 따른 부대비용의 증대
- 주변 경관과 합치되는 자연 친화형 사고로의 전환 및 흙을 이용한 농촌도로의 건설기술 개발
- 폐기물의 활용으로 자재난을 해소하려는 연구의 필요성
- 농촌인력을 활용하여 확·포장할 수 있는 공법의 개발이 시급
- 연약지에 적용성이 우수한 공법 및 농민이 주체가 되는 기계화 경작로의 유지관리체계 수립

## 제 2 절 연구의 목적과 세부내용

본 연구에서는 자연상태의 흙을 활용하여 기계화 경작로와 같은 연약지반에 적용이 가능한 새로운 포장공법을 개발하기 위한 것으로, 흙과 고화재, 석탄회, 기타 개량제가 가지는 단점을 보완하기 위하여 지오셀, 섬유등을 혼입하여 내구성, 균열, 동결융해 등에 강하고 시공이 간편한 공법을 개발하는 것이 목표이다.

본 연구를 수행하기 위하여 다음과 같은 세부연구내용을 포함하여 각종 시험과 분석 및 전문가의 자문 및 협의를 통하여 보다 실용적이고 효과적이며 경제적인 공법을 개발하고자 한다.

개발예정공법은 하층의 크기, 경작로의 중요도에 따라 3 개 유형(마을간 연락도로, 간선 및 지선 경작로)으로 구분하여 개발예정공법의 단면은 그림 1.1과 같다.

지오셀(Geocell)로 보강하는 경우에는 전단강도 및 강성을 증가시켜 구조적 채움재의 강도를 증가시키게 된다. 그림 1.2는 지오셀의 보강원리를 도식적으로 나타낸 것이다. (a)의 경우, 보강하지 않은 경우에는 외부하중에 의하여 1 구역의 썩기가 2 및 3구역으로 밀어내면서 급격하게 파괴가 진행하게 되는 반면, (b)의 경우는 GEOWEB의 인장력에 의하여 횡방향 변형이 구속되므로 파괴를 방지하게 되어 흙이 가지지 못하는 인장응력의 단점을 보완하게 된다.

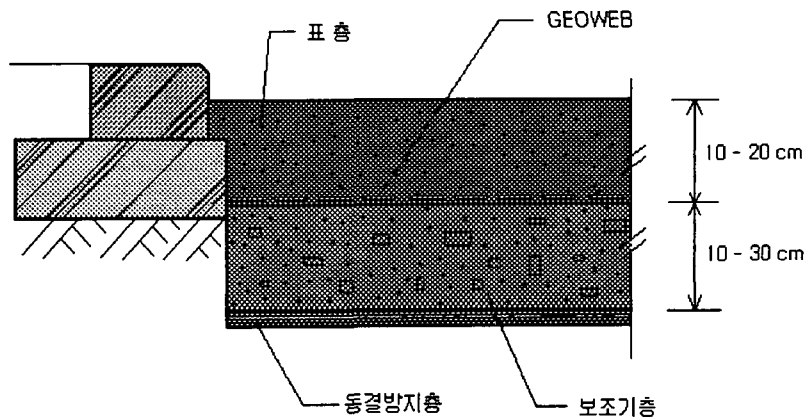


그림 1.1 개발예정 경작로의 단면도

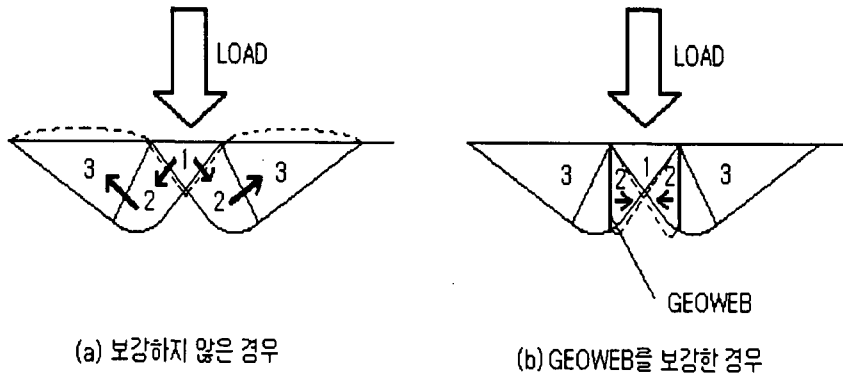


그림 1.2 GEOCELL SYSTEM

1. 연구개발목표와 내용

- 기계화 경작로의 유지관리 및 설계지침 수립
  - 기계화 경작로의 문제점 분석
  - 기계화 경작로의 설계지침 제시
  - 새로운 기계화 경작로의 유지관리체계의 수립
  
- 연약지반의 개량공법 조사 및 분석
  - 경작지 연약지반의 특성 분석
  - 연약지반처리공법의 분석
  - 고화처리공법의 분석
  
- 기계화 경작로의 포장재료의 개발
  - 석탄회 혼합토의 특성분석

- 자연친화형 포장재료의 개발
  - 포장재료의 각종 강도 및 내구성 시험
- 기계화 경작로의 확·포장공법의 개발
- 확포장공법의 개발(하중의 크기에 따라 유형별로 개발)
  - 경제적인 시공방법의 개발
  - 연약지반의 적용성 검토
  - 실적공사비의 산정

## 2. 연차별 연구개발 목표 및 내용

### 가. 1차년도(1998-1999)

#### 1) 연구개발목표

- 기계화 경작로의 분석
- 연약지반개량공법의 분석
- 포장재료의 개발

#### 2) 연구의 주된 내용

- 자료수집 및 연구방향의 설정
  - 관련 국내외 자료수집
  - 경작로의 문제점·개선점 분석
- 연약지반처리공법의 선정
  - 경작로 연약지반의 특성 분석
  - 적용 대상토의 선정
- 실내시험의 수행
  - 시료의 선정 및 분석

- 최적배합비 선정을 위한 시험
- 압축강도 특성 분석
- 지지력(CBR등) 특성 분석
- 내구성 검토 : 동결융해, 수침
- 포장재료의 개발
  - 포장재료의 특성 분석
  - 포장재료의 현장시공

## 나. 2차년도(1999-2000)

### 1) 연구개발목표

- 유지관리 및 설계지침의 수립
- 확·포장공법의 개발
- 기계화 경작로의 적용성 검토

### 2) 연구의 주된 내용

- 시험포장을 통한 현장시험시공
  - 현장시험을 통한 문제점 분석
  - 포장재료의 개선점 도출
  - 동결융해, 내구성, 투수성 분석
- 연약 지반 적용 공법의 개발
  - 현장시험시공 결과의 분석
  - 연약지반적용 가능 공법 개발
  - 설계지침·시방서 작성
- 실용성 검토
  - 공법의 경제성 분석

- 공사비의 산정
- 유지관리체계의 수립
  - 효율적인 관리체계의 수립

## 제 3 절 추진전략 및 방법

### 1. 연구방향의 정립

- 자료의 검색을 통한 각종자료의 수집
- 유사한 공법을 활용한 시공지역의 문제점 분석
- 기계화 경작로의 문제점·개선점 분석
- 전문가의 자문 및 협의를 통한 연구방향의 설정

### 2. 협동연구기관과의 협조방안

- 협동연구기관(충남대학교)의 긴밀한 연구자 회의 개최
- 참여기업(신보산업주식회사)과 혼입재료의 특성 분석, 문제점 보완
- 현장시공시 참여기업의 자문 및 시공공법의 개선
- 전문가의 초청발표를 통한 문제점의 해결

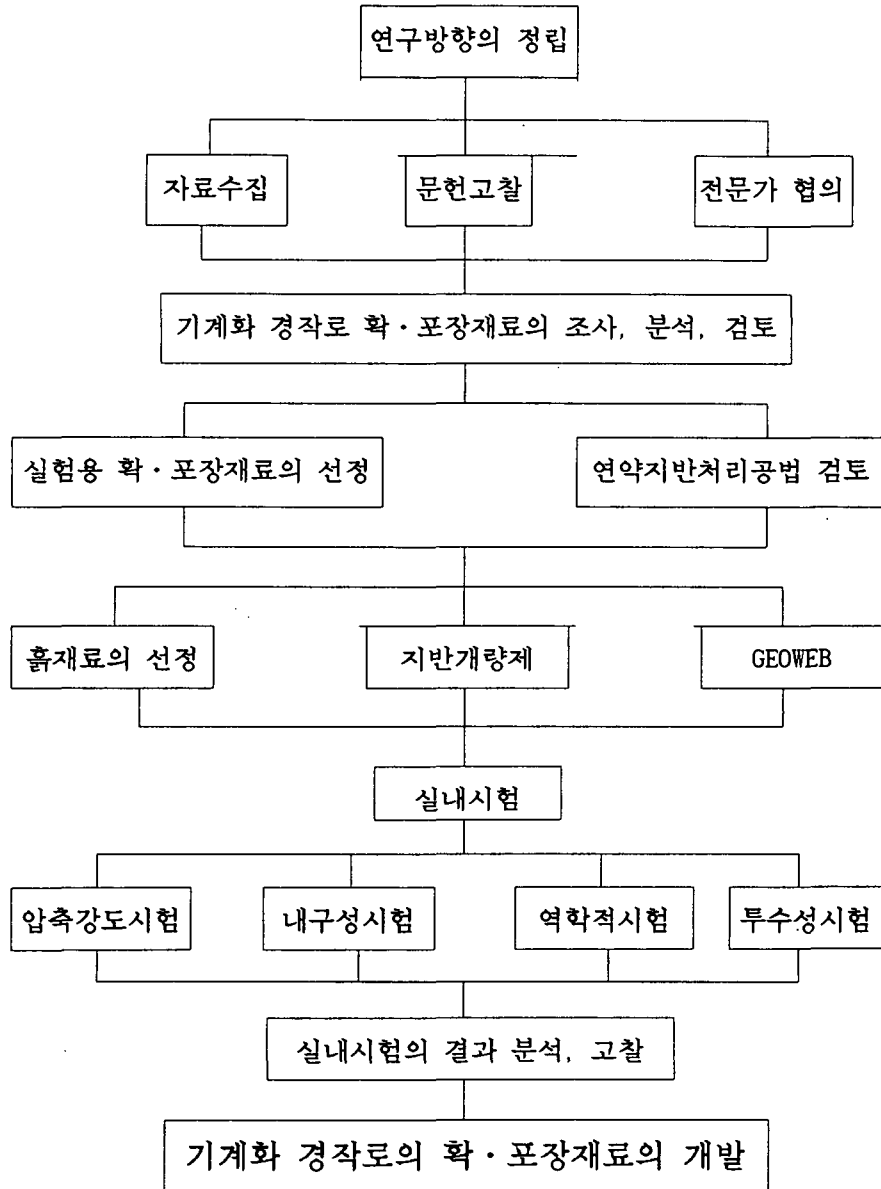
### 3. 연구개발의 추진방법

- 주관연구기관에서 연구의 총괄 및 조정
- 협동연구기관의 연구수행의 독려 및 참여기업의 현장 시공성 검토
- 기계화 경작로의 유지관리체계 및 설계지침 수립
  - 주관연구기관의 책임하에 시공자료를 분석하여 협의·검토 후에 작성
  - 1차년도는 주로 방향의 정립, 2차년도에는 관리체계 및 시공지침서 작성

- 포장재료의 개발
  - 석탄회+현장토+고화재+기타 혼입제의 비율에 따른 각종 강도, 내구성 동결융해시험
  - 실험결과의 분석에 따라 가장 경제적이고 효과가 뛰어난 배합비 선정
  - 선정된 배합비율에 따른 현장 적용성을 고려한 포장재료의 개발
  - 실내시험을 통한 포장재료의 현장 적용성 검토
- 확·포장 공법의 개발
  - 하층의 크기, 경작로의 중요도에 따라 3 개정도의 포장유형 개발
  - 참여기업의 협조하에 현장시공을 통한 문제점, 개선점 보완
  - 연약지반의 적용성 검토
  - 가능하면 겨울철 전에 시공하여 겨울철의 동결융해에 대한 현장시험
  - 현장시공을 통한 실적공사비의 산정

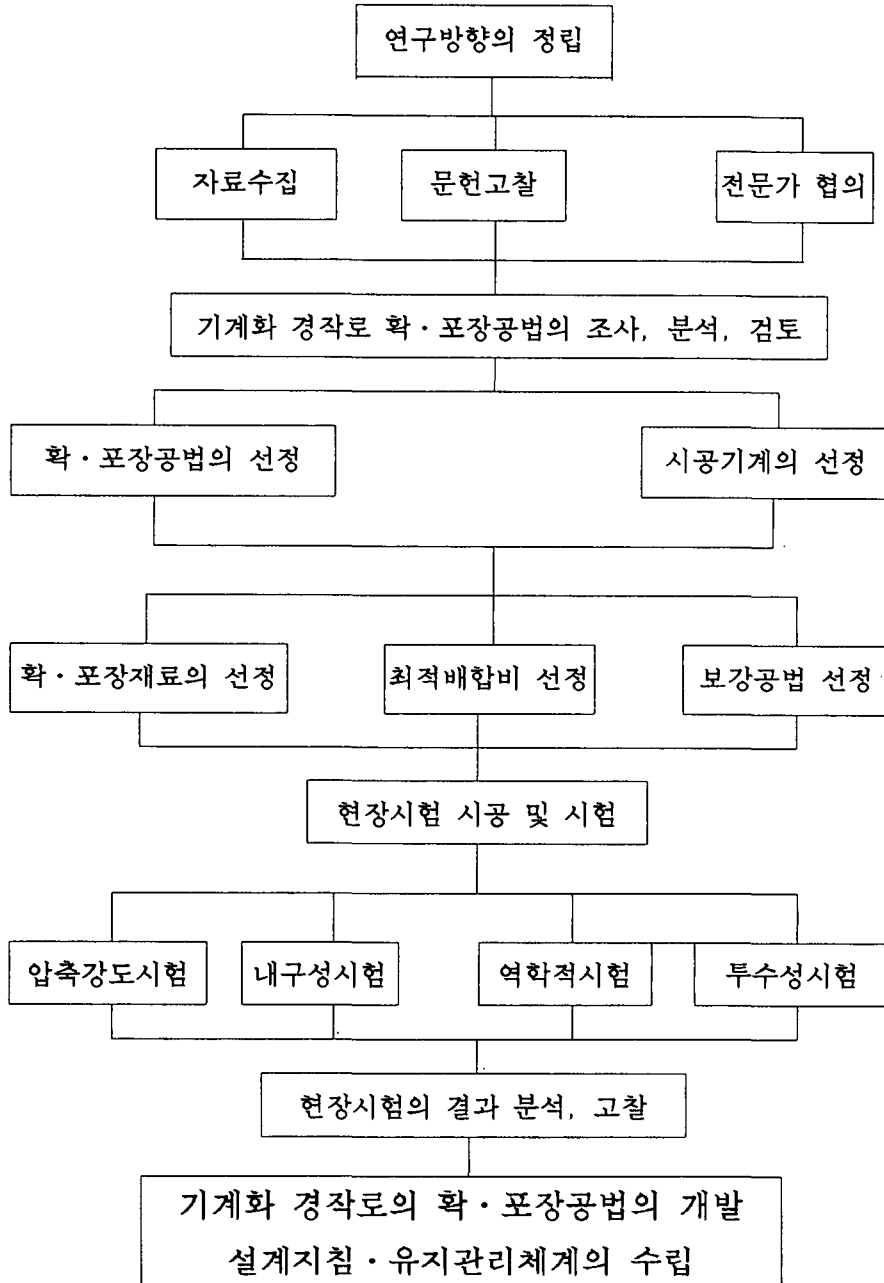
## 제 4 절 연구개발 추진체계

### 1. 1차년도





## 2. 2차년도



## 제 5 절 기대효과 및 활용방안

### 1. 기대효과

화력발전의 부산물로 발생하는 석탄회를 이용한 기계화 경작로의 포장재료 및 공법의 개발인 본 연구가 성공적으로 수행되면 폐기물의 재활용이라는 측면뿐만 아니라 국토의 활용, 환경오염의 방지 등의 효과를 얻을 수 있으며, 동시에 농촌의 자연경관과 부합되는 자연친화형 경작로의 새로운 모델이 제시되어 작업효율과 생산성을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 또, 폐기물을 활용한 포장재료의 개발과 공법의 개발로 경제적인 효과도 동시에 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

#### 가. 기술적 측면

- 기계화 경작로의 재료에 대한 재조명으로 자연소재에 대한  
사용기술의 향상
  - 자연 친화형 소재의 개발
  - 경작지 인근에서 쉽게 구득할 수 있는 재료의 개발
  - 내구연한이 지난 후에도 폐기물이 되지 않고 토양개량제로 활용할 수 있는 재료 개발
- 경작로 건설단가의 절감
  - 혼합재료의 포설공법을 적용하여 공기의 단축 및 공사비의 절감
  - 간단한 기계류를 사용하는 공법의 개발
- 자연재해의 방지
  - 투수성을 확보하여 지하수의 고갈과 유출량의 감소
  - 폐기물의 활용으로 국토의 활용, 자재난의 해소

## 나. 경제·산업적 측면

- 자연 흙소재의 활용으로 자재난의 해소
- 비환경적 콘크리트 소재의 사용감소와 건설자재의 수입대체 효과
- 산업 폐자재의 활용으로 오염문제의 해소
- 자연 친화형 경작로의 개발로 자연환경과 부합되는 도로 건설
- 자연소재의 활용에 따른 경작로 건설 경비의 절감

## 2. 활용방안

- 농촌지역 경작로의 손쉬운 포장으로 농촌의 생활환경 개선
- 연구내용의 현장실험에 의한 효용성 입증으로 환경과 생명을 지키는 기계화 경작로 보급의 활성화
- 정부의 부분적 도로환경 개선 지원금의 효과적 활용 방안 모색
- 흙 소재의 사용과 산업 폐자재의 활용으로 산업간의 유대 강화
- 농한기를 이용한 경작로의 건설로 농민의 소득 증대
- 환경보전을 필요로 하는 지역의 연결도로로 활용
  - 개발예정공법1 - 경작로 내의 소규모 도로의 포장에 활용
  - 개발예정공법2 - 경작로 내의 간선도로의 포장에 활용
  - 개발예정공법3 - 경작지 간 또는 마을 연결도로의 포장에 활용
- 대규모 경지정리 지역에 포장공법 직접 적용 가능
- 재료제공과 손쉬운 공법 교육으로 소규모 경작지 연결도로는 농민 스스로 포장 활용(개발예정공법1 적용)
- 내구연한이 지난 포장재는 토양개량제로 바로 활용

## 제 6 절 연구진

본 연구를 수행한 연구진과 그 주요 업무를 정리하면 표 1.3과 같다.

표 1.3 연구진 및 주요업무

구 분	성 명	소 속	연 구 업 무
총괄책임연구원	리 신 호	충북대학교	연구업무의 총괄
협동책임연구원	성 찬 용	충남대학교	세부연구과제 총괄
세부과제책임자	송 창 섭	충북대학교	"
"	오 무 영	"	"
연구원	박 종 화	"	실태조사
연구원	민 정 기	충남대학교	포장재료의 개발
연구보조원	반 창 현	충북대학교	포장공법 개발
"	임 성 윤	"	"
"	인 현 식	"	"
"	장 응 희	"	연약지반조사
"	강 연 욱	"	"
"	양 기 모	"	"
"	엄 성 준	"	"
"	김 영 익	충남대학교	포장재료 개발 시험
"	서 대 석	"	"
"	노 경 희	"	"
"	남 기 성	"	"
"	한 규 호	"	"
"	이 용 범	충북대학교	포장공법 개발
"	권 현 일	"	"
"	박 민 서	"	현장실문조사
"	이 종 록	"	"
"	김 혜 정	"	"
"	이 은 주	한국방송통신대	자료정리

## 제 7 절 요약 및 결론

본 장에서는 "기계화 경작로 확포장 신공법 개발"의 배경과 연구의 필요성, 연구의 목적과 범위, 추진방법, 참여 연구진 등을 정리하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

1. 기계화 경작로 확포장 신공법 개발의 필요성 및 연구의 목적, 연구의 범위, 개발의 파급효과 등을 요약·정리하였다.
2. 본 연구는 새로운 기계화 경작로의 포장에 필요한 재료의 개발, 포장공법의 개발에 따른 각종 문제점을 사전에 분석하여, 대규모 경지정리와 기계화에 따른 수요를 충족시킬 수 있는 포장의 단면, 규격 등을 제시하는데 그 목적이 있다.
3. 연구의 추진체계 및 방법을 정리하였으며, 연구의 세부내용을 요약·정리하였다.
4. 본 연구는 1998년 6월에서 2000년 9월(2년간)까지 수행하도록 계획되었으며, 1차년도와 2차년도로 구분하여 수행되었다.
5. 본 연구에 참여한 연구진과 그 주요 업무를 요약·정리하였다.
6. 본 연구의 기대효과 및 활용방안에 대하여 요약·정리하였다.

## 제 2 장 기계화 경작로의 실태조사

### 제 1 절 서론

농산물 시장이 본격적인 개방과 경쟁체제에 돌입하게 되어, 농림수산업 을 둘러싼 국제경제질서가 급속하게 변화하기 때문에 빠른 시간 내에 우리의 농산물도 경쟁력 있는 산업으로 키우지 않으면 자생력을 상실하게 될 것이다. 생산을 담당하는 생산 주체(농민)나 기술개발 주체(연구소, 학교) 또는 기술보급 주체(정부)에 의해 제기되는 여러 가지 문제점을 해결하여 농 어민의 소득증대, 농어민의 복지 등을 증진시키기 위해서는 생산기반시설의 확충 또는 보완이 시급한 실정이다.

농지에 이용되는 농업기계가 커지고 농업 인력의 감소로 생산기반시설인 경지를 대구획으로 재정비하면서 경작로가 중요한 문제로 떠올랐다.

이미 시공된 기계화 경작로의 실태를 점검하고, 나아가 문제점을 파악하여 기계화 경작로의 개선점을 찾는 것이 목적이다. 이것을 바탕으로 하여 다음 장부터는 도출된 문제점을 개선하기 위한 공법을 개발하고, 이를 유지 관리하기 위한 새로운 체계를 구축하고자 한다.

### 제 2 절 기계화 경작로의 실태조사

#### 1. 조사 지역의 선정

전국에 흩어진 대표적인 주요 평야지대 중에서 대구획 경지정리사업지구를 중심으로 전국 8개 도(경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남)에서 각 1개 지역을 선정하였다. 조사 지역은 표 2.1과 같다.

## 2. 조사 방법

전국의 대구획 경지정리사업지구를 대상으로 인근 농민과 물 관리를 담당하고 있는 농지개량조합(지금은 농업기반공사로 통합되어 각 지부로 개편되었지만 조사 당시의 편제를 존중하여 그대로 쓰기로 함) 직원에 대하여 설문조사를 실시했다. 설문조사는 직접 방문과 조사지 의뢰 후 회수하는 방법을 함께 썼다.

조사기간은 서기1998년 7월 13일부터 서기1998년부터 9월 25일까지였고, 그 후 서기2000년에 일부 보완하였다.

## 3. 조사 내용

설문조사에서 설정한 항목은 경작로와 관련하여 12개 문항으로 작성하였다.

일정 수의 예를 제시하고 순위를 정하는 문항(5개)과 한가지만 답하는 문항(7개)이 있다.

## 4. 조사의 분석 방법

설문 12개 항목에 대해 각각 농민, 농지개량조합 직원의 경우를 분리하고, 양자의 의견을 통합한 형태 등 3개로 분리하여 정리하고 분석하였다.

순위를 정하도록 한 5개 문항은 그 답에 대해 1위에서 3위까지를 정리하였다.

## 5. 조사 결과

설문조사는 8개 도에서 대구획경지정리사업을 실시하고 있거나 사업이 마무리된 지구를 중심으로 1개 지구씩을 선정하여 실시하였다. 응답자 수는 표 2.1과 같다.

응답자 현황을 보면 농민은 적게는 7명에서 18명이고, 농지개량조합은 이에 협조하지 않은 경우(청원농조)부터 15명까지 답하였으며, 전체적으로 농민 104명, 농조 직원 87명, 총 191명이 응답하였다.

표 2.1 기계화 경작로에 관한 설문조사 지역 및 응답자 수

구 분	지 구 명	관할 농조명	응답자수		
			농 민	직 원	전 체
계			104	87	191
경 기도	안성군 고잔지구	기 호 농 조	14	6	20
강 원 도	철원시 청양지구	중 앙 농 조	13	15	28
충청북도	청원군 학소지구	청 원 농 조	18	0	18
충청남도	예산읍 용리지구	예 당 농 조	7	13	20
전라북도	김제시 죽산지구	동 진 농 조	12	14	26
전라남도	함평읍 월호지구	영산강 농조	15	13	28
경상북도	상주시 낙동지구	상 주 농 조	10	13	23
경상남도	함안군 봉성지구	함 안 농 조	15	13	28

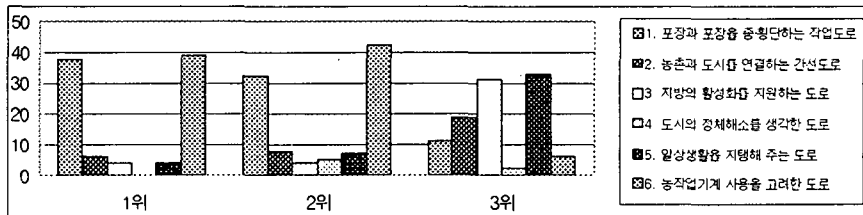


각 설문에 대한 응답 결과를 정리하면 문1)부터 문12)까지의 표와 그림과 같다.

문1) 경작로 정비의 우선 순위

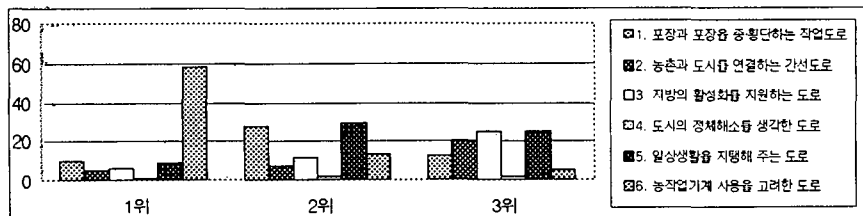
• 농민의 경우

문1-농민) 경작로 정비의 우선 순위	1위	2위	3위
1. 포장과 포장을 중·횡단하는 작업도로	38	32	11
2. 농촌과 도시를 연결하는 간선도로	6	8	19
3. 지방의 활성화를 지원하는 도로	4	4	31
4. 도시의 정체해소를 생각한 도로	0	5	2
5. 일상생활을 지탱해 주는 도로	4	7	33
6. 농작업기계 사용을 고려한 도로	39	42	6



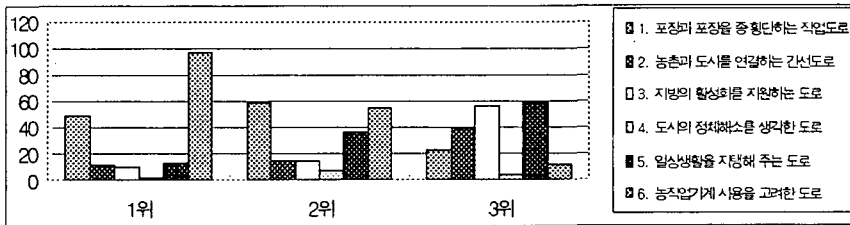
• 농조의 경우

문1-농조) 경작로 정비의 우선 순위	1위	2위	3위
1. 포장과 포장을 중·횡단하는 작업도로	10	27	12
2. 농촌과 도시를 연결하는 간선도로	5	7	20
3. 지방의 활성화를 지원하는 도로	6	11	25
4. 도시의 정체해소를 생각한 도로	1	2	2
5. 일상생활을 지탱해 주는 도로	9	29	25
6. 농작업기계 사용을 고려한 도로	58	13	5



• 농민과 농조 전체의 경우

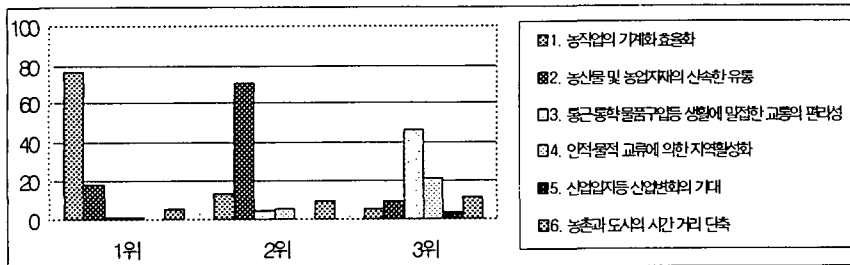
문1-전체) 경작로 정비의 우선 순위	1위	2위	3위
1. 포장과 포장을 중·횡단하는 작업도로	48	59	23
2. 농촌과 도시를 연결하는 간선도로	11	15	39
3. 지방의 활성화를 지원하는 도로	10	15	56
4. 도시의 정체해소를 생각한 도로	1	7	4
5. 일상생활을 지탱해 주는 도로	13	36	58
6. 농작업기계 사용을 고려한 도로	97	55	11



문2) 경작로 필요성의 우선 순위

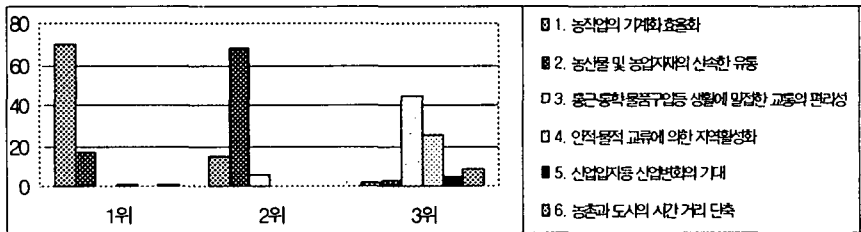
• 농민의 경우

문2-농민) 경작로 필요성의 우선 순위	1위	2위	3위
1. 농작업의 기계화·효율화	77	13	5
2. 농산물 및 농업자재의 신속한 유통	18	70	9
3. 통근통학물품구입등 생활에 밀접한 교통의 편리성	1	4	46
4. 인적·물적 교류에 의한 지역활성화	1	5	21
5. 산업입지 등 산업변화의 기대	0	0	3
6. 농촌과 도시의 시간 거리를 단축	5	9	11



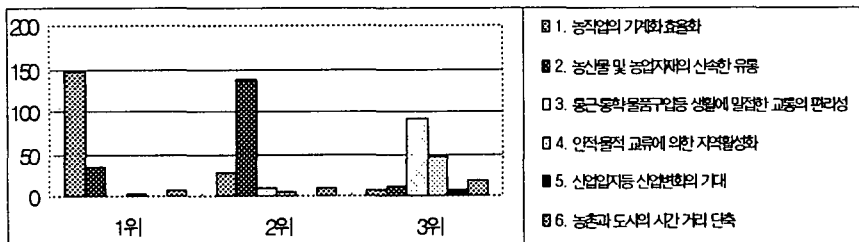
• 농조의 경우

문2-농조) 경작로 필요성의 우선순위	1위	2위	3위
1. 농작업의 기계화·효율화	70	15	2
2. 농산물 및 농업자재의 신속한 유통	17	68	3
3. 통근통학물품구입등 생활에 밀접한 교통의 편리성	0	6	45
4. 인적·물적 교류에 의한 지역활성화	1	0	25
5. 산업입지 등 산업변화의 기대	0	0	5
6. 농촌과 도시의 시간 거리를 단축	1	0	8



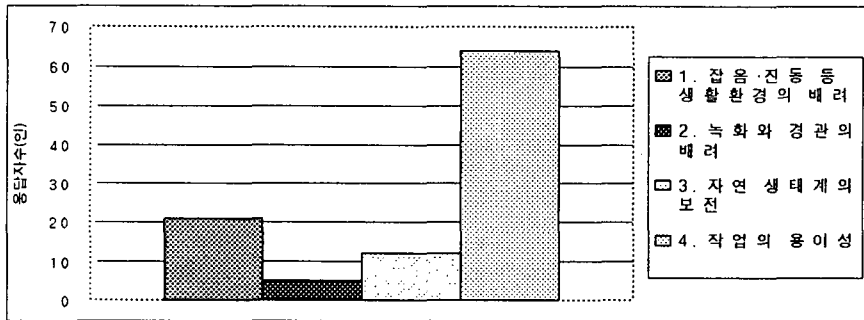
• 농민과 농조 전체의 경우

문2-전체) 경작로 필요성의 우선순위	1위	2위	3위
1. 농작업의 기계화·효율화	147	28	7
2. 농산물 및 농업자재의 신속한 유통	35	138	12
3. 통근통학물품구입등 생활에 밀접한 교통의 편리성	1	10	91
4. 인적·물적 교류에 의한 지역활성화	2	5	46
5. 산업입지 등 산업변화의 기대	0	0	8
6. 농촌과 도시의 시간 거리를 단축	6	9	19

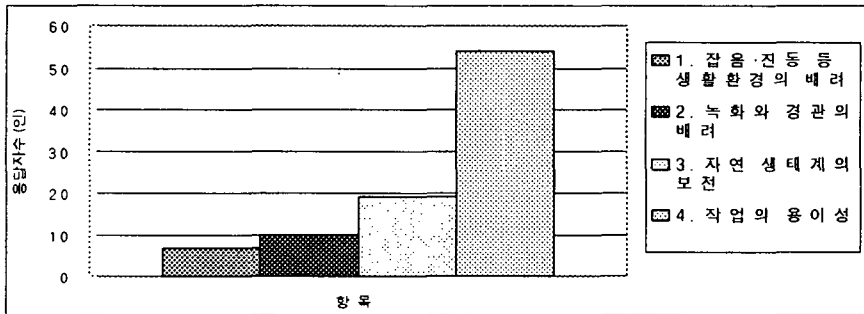


문3) 농촌의 자연환경 · 생활환경을 배려한 경작로 건설에 있어서의 중요도의 우선 순위

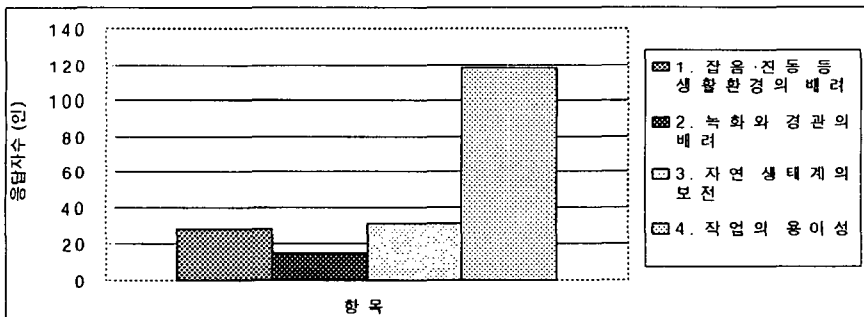
• 농민의 경우



• 농조의 경우

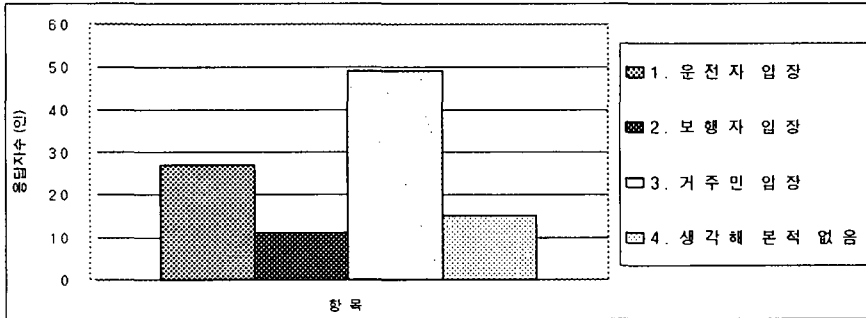


• 농민과 농조 전체의 경우

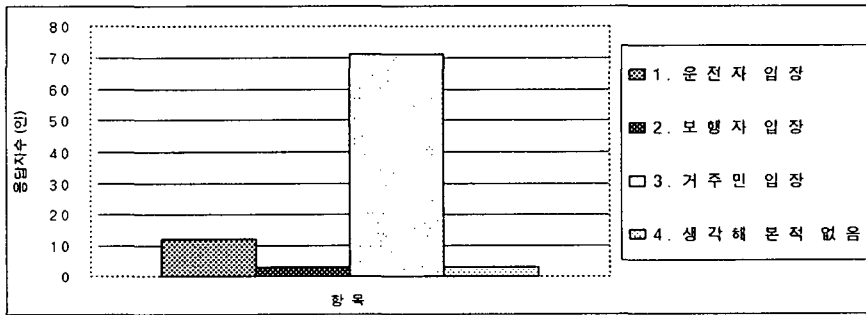


문4) 경작로 이용의 입장에 따른 중요도

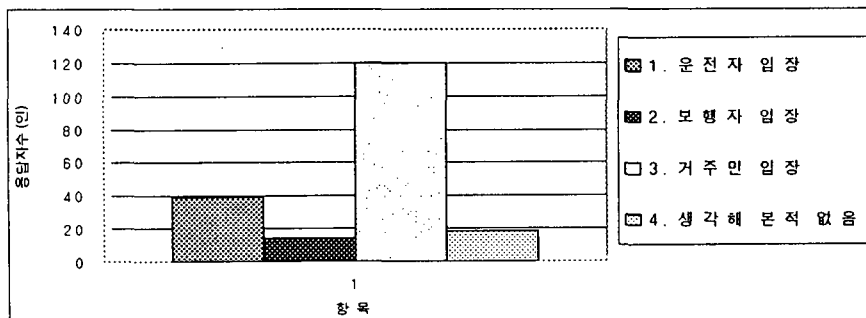
• 농민의 경우



• 농조의 경우

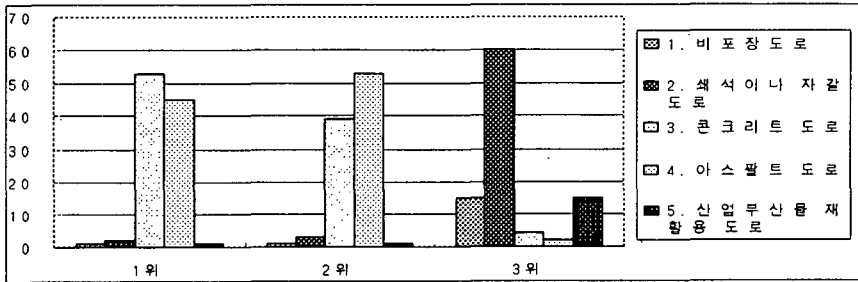


• 농민과 농조 전체의 경우

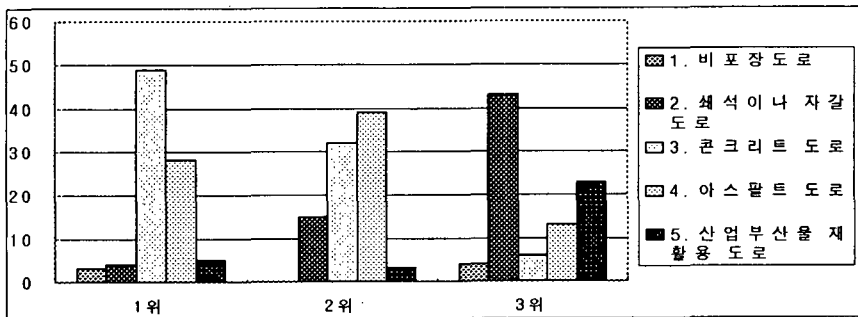


문5) 농작업기계의 활용 효율화를 위해 좋다고 생각되는 포장 우선순위

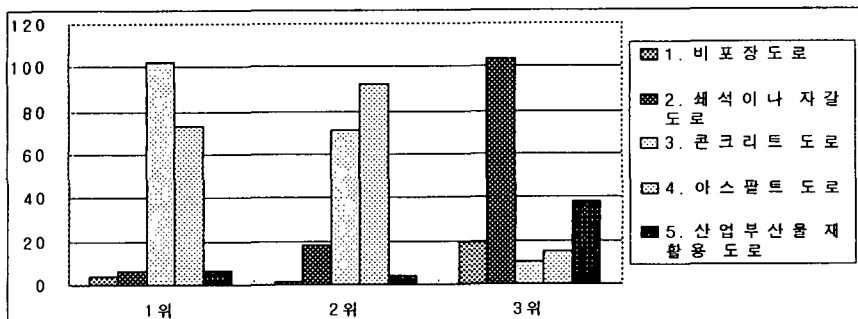
• 농민의 경우



• 농조의 경우

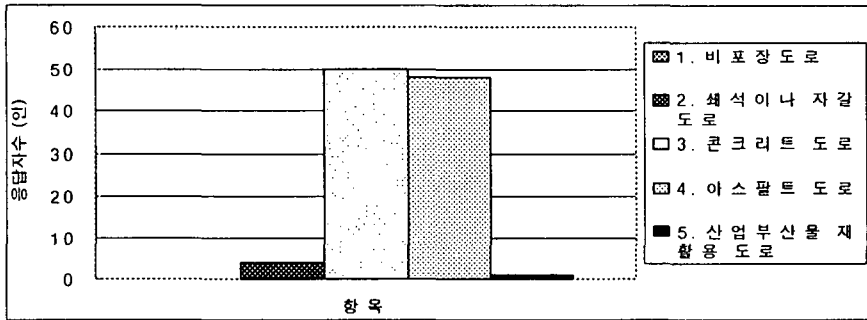


• 농민과 농조 전체의 경우

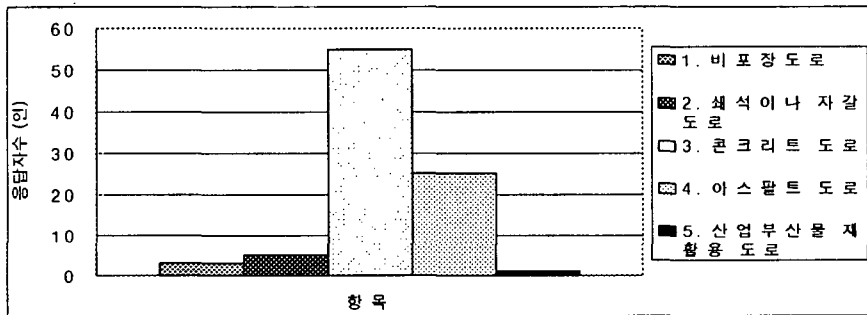


문6) 경작로의 관리가 가장 쉽고 편하다고 생각되는 도로

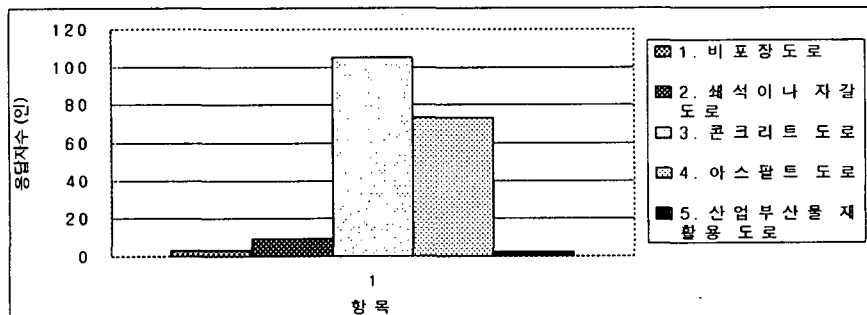
• 농민의 경우



• 농조의 경우

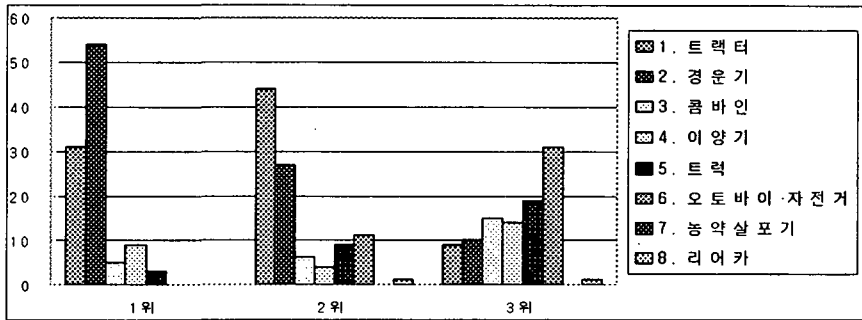


• 농민과 농조 전체의 경우

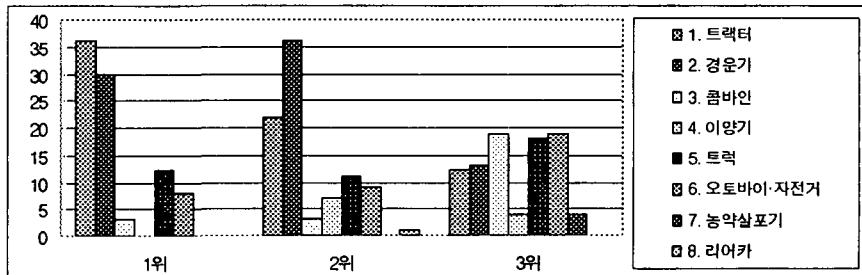


문7) 경작로를 가장 많이 사용하는 농작업 기계의 우선순위

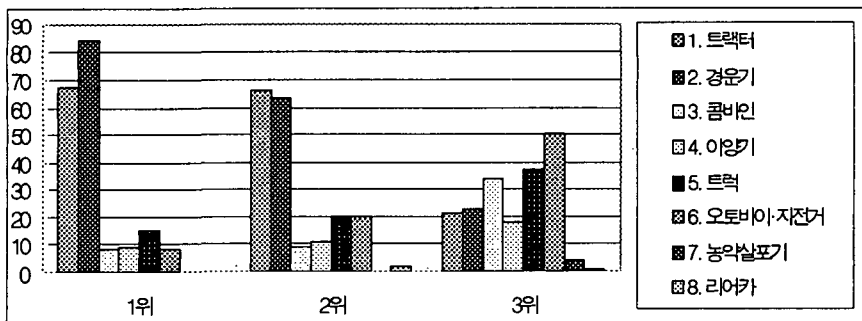
• 농민의 경우



• 농조의 경우



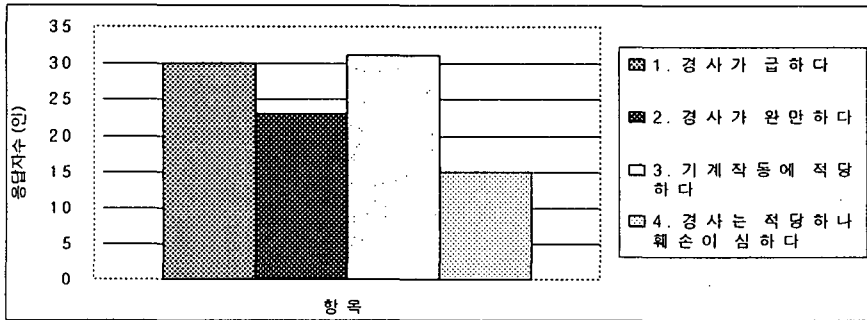
• 농민과 농조 전체의 경우



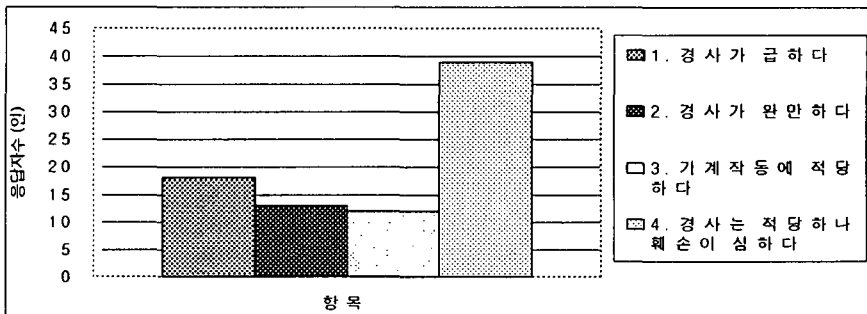


문8) 기존 경작로의 법면 경사

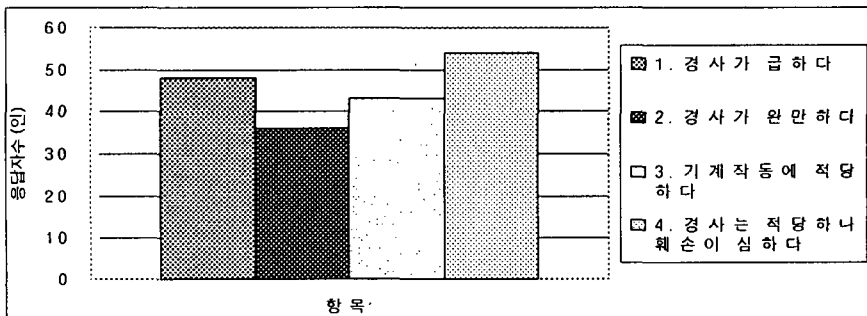
• 농민의 경우



• 농조의 경우

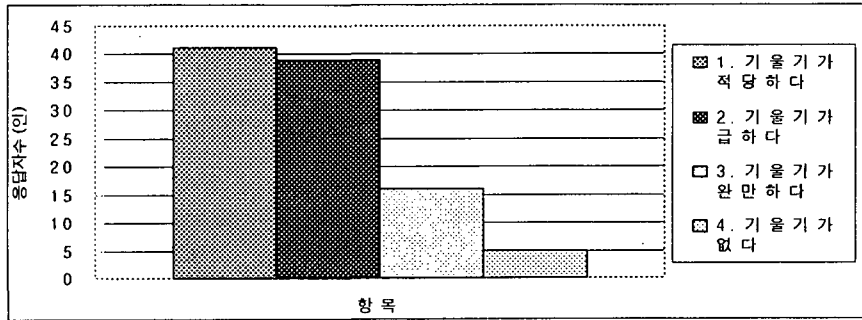


• 농민과 농조 전체의 경우

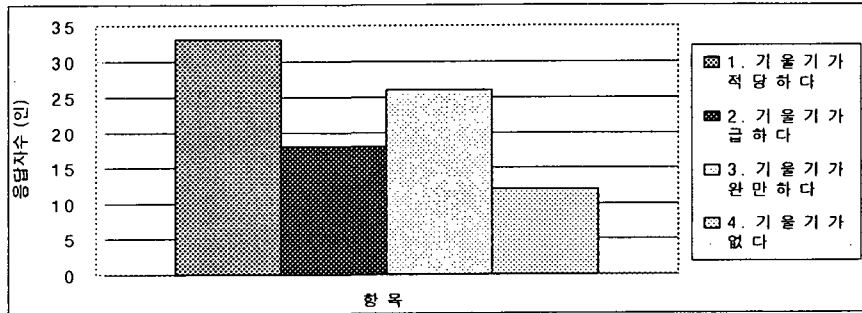


문9) 기존 경작로의 도로면 경사

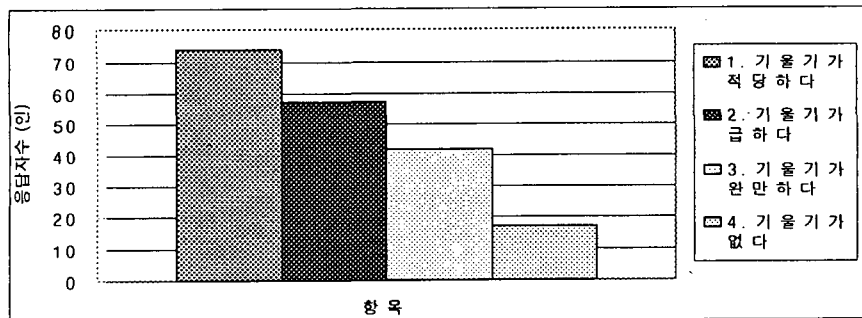
• 농민의 경우



• 농조의 경우

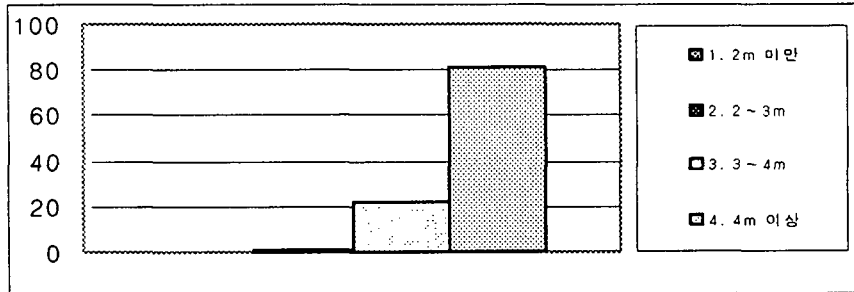


• 농민과 농조 전체의 경우

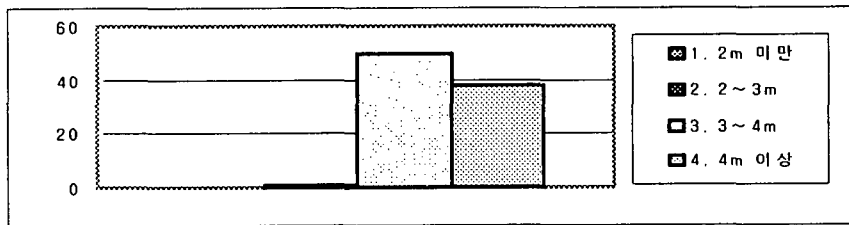


문10) 기계화 경작로의 도로 폭은 어느 정도가 적당한가?

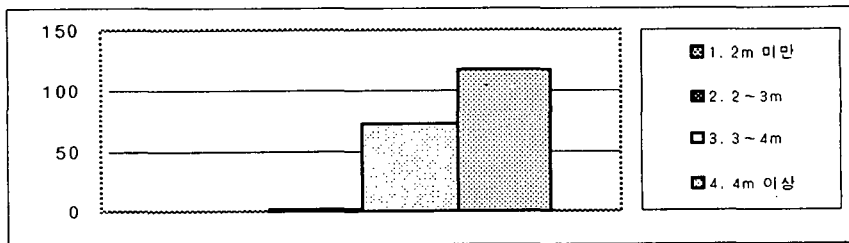
• 농민의 경우



• 농조의 경우

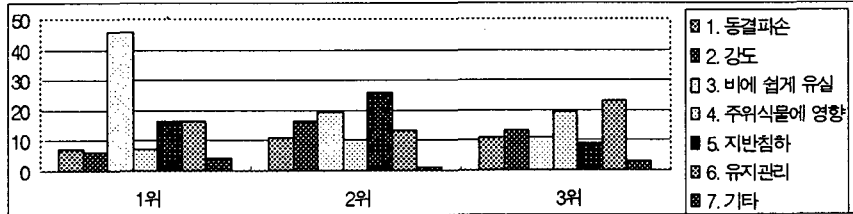


• 농민과 농조 전체의 경우

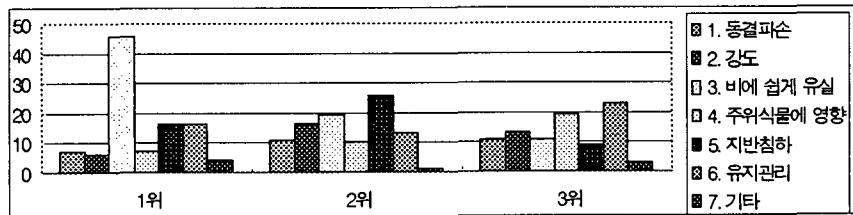


문11) 경작로에서 가장 문제가 되는 점은 무엇인가?

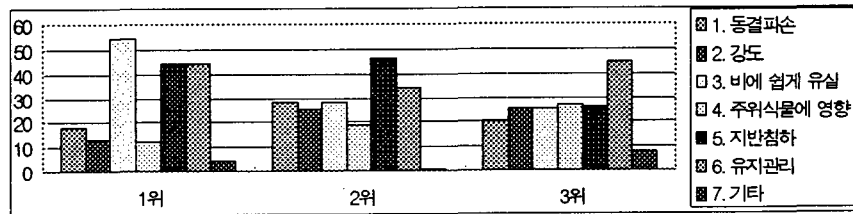
• 농민의 경우



• 농조의 경우



• 농민과 농조 전체의 경우



문12) 경작로 건설에 있어서 요망사항이나 문제점, 개선점

• 경작로 건설에 있어서 문제점

① 경지정리 사업시기와 경작로 건설 시기가 관련 부서 및 시기가 다른 관계로 경작로에서 유실되는 토사량이 많고 눈에 유입되어 경작에 어려움을 초래한다.

② 경작지와 경작로의 턱이 너무 높고 경사가 심하다.

③ 경작로 건설 초기의 정지작업이 원활하게 이루어지지 않아 농작업 기계운행에 불편이 많다.

④ 공사시기 선정이 부적절하여 농작업에 지장을 초래하는 경우가 많다.

⑤ 경작로는 6~7m로 되어 있으나 포장이 3m밖에 되어 있지 않은 관계로 포장이 안된 부분의 유실과 배수문제가 발생하는 곳이 많다.

• 경작로 건설에 있어서 개선점과 요구사항

① 농작업 실시에 적합한 적당한 경작로 폭 설정이 필요하다.

② 경작로 노면경사를 배수로 쪽으로 기울게 하여 배수를 원활하게 해 줄 필요가 있다.

③ 경작로의 포장을 빨리 함으로서 배수와 도로유실을 방지할 필요가 있다.

④ 부실공사에 대한 책임과 관리 감독을 철저히 할 필요성이 요구된다.

⑤ 경작로 건설에 따른 농작물 훼손 경향이 있다. 안전시공이 요구된다.

## 6. 결과 및 고찰

본 조사에서는 경작로 건설에 관한 농민의 의식과 관리기관인 농조 직원에 대한 설문조사를 실시하고 그 결과에 대하여 고찰하였다.

조사된 내용을 요약하면 다음과 같다.

① 경작로 정비는 50%이상이 농작업기계 사용에 적합하도록 해야 한다고 하였다. 이와 함께 경작지와 경작지간에 원활한 소통이 가능한 경작로 건설이 필요한 것으로 파악되었다.

② 경작로는 80%정도가 농작업의 기계화와 효율화를 위해 필요한 것으로 나타났고, 나머지는 농산물과 농업자재의 신속한 유통을 위해 필요한 것으로 나타났다. 따라서, 앞으로는 생산뿐만 아니라 유통에도 관심이 높아져

갈 것으로 생각된다.

③ 농민들의 입장에서 본 자연 환경과 생활 환경에 대한 의식을 조사한 결과, 녹지 공간과 경관에 관한 배려(30%)보다는 작업의 용이성(62%)을 중시하고 있음을 뚜렷하게 보여주었다.

④ 경작로 이용에 있어 어느 입장에서 생각하는가 하는 문제는 차량과 농작업기계 소유 현황에 따라 약간 다른 경향을 나타냈다. 제일 많은 비율은 거주민 입장에서 생각하는 경우(62%)이었으며, 운전자 입장에서 생각하는 경우도 20%를 나타낸 것을 보면, 대형 농기계 보급률이 높아져 가면 이 경향도 높아져 갈 것으로 보인다.

⑤ 농작업 기계의 효율적인 활용과 관리의 효율성을 높이기 위해서는 콘크리트(55%)와 아스팔트(38%) 포장을 해야 한다고 한 경향을 보면, 경작로는 포장을 해야 하는 것은 필수적이다.

⑥ 경작로를 이용하는 농작업기계는 대구획경지정리사업의 추진과 더불어 대형화되어 가는 경향을 보이고 있으며, 얼마 전까지 가장 많은 비중을 차지하던 경운기가 44%이고, 트랙터(35%)와 트럭(8%)이 43%이므로 거의 같은 수준이다. 앞으로는 트랙터와 트럭의 이용이 더욱 증가할 것으로 예상된다.

⑦ 기존 경작로의 법면 경사와 로면 기울기에 있어서는 대부분이 양호하나, 지구에 따라 경작로 표면과 경작지까지의 기울기가 커서 농기계 이용에 불편하다고 하였다. 그리고, 법면 처리와 포장이 경작로 폭의 전체가 아닌 일부만이 되어 있는 관계로 비포장 경작로 면과 법면의 훼손이 크다는 지적이 28%를 나타냈다. 따라서, 전체를 포장하고 법면 처리를 잘 해야 할 것으로 판단된다.

⑧ 기계화 경작로의 폭에 대해서는, 현재 실시하고 있는 4m이상(62%)이 적당하며, 포장을 경작로 폭 전체에 할 수 있도록 하는 것이 중요하다는 응

답이 많았다.

⑨ 지금 하고 있는 경작로에 대한 문제점으로는 경작로 건설은 6~7m로 되어 있으나 포장이 3m밖에 되어 있지 않아 포장이 안된 부분이 비에 쉽게 유실되고 배수문제가 발생함으로서 유지관리가 어려운(52%) 것으로 나타났다.

### 제 3 절 기계화 경작로의 개선 방향

#### 1. 경작로의 포장 방법

경작로의 폭은 6m 이상으로 설계되어 있는데 지금 콘크리트로 포장하는 폭은 3m로 되어 있다. 포장이 안된 나머지는 유실되거나 훼손이 심하다. 경작지(논) 쪽은 경작 과정에서 파먹거나 무너져서 논으로 되어 버리거나 콩 등을 심는 경작지로 둔갑하고, 수로 쪽은 풀이 우거지거나 표면의 굴곡이 심해져서 배수가 제대로 되지 않아 경작로의 기능을 하지 못하고 있다. 따라서, 경작로의 전 폭을 포장하는 대책을 세워야 제 기능을 발휘할 수 있다. 포장면적이 두 배로 늘어나는 문제는 비용이 적게 드는 포장 방법을 개발하여 해결하도록 해야 한다.

경작로의 법면에는 풀이 나서 보호가 되어야 하는데 농민들이 제초제를 사용하여 법면이 보호가 되지 않는 경우가 허다하다. 콩을 심는 경우도 훼손이 되는 것은 어쩔 수 없는 실정이다. 따라서 포장을 할 때 법면까지 포장이 되도록 하는 것이 훼손을 막을 수 있다. 경비 문제는 새로운 포장공법의 개발로 해결하는 것이 바람직하다.

경작로에서 경작지로 내려가는 진입로는 농기계의 특성을 잘 고려하여 기울기를 정해야 할 것이다.

## 2. 경작로의 포장 재료

경작로 포장은 콘크리트가 가장 많이 이용되었고 현재도 콘크리트로 하고 있다. 콘크리트로 포장한 경우 토양에 상당한 나쁜 영향을 미치고 있고, 내구년한이 다하거나 경지정리를 다시 하게 되면 폐기물이 되어 제거해야 한다.

아스팔트 포장인 경우도 기초 지반에 많은 경비가 들고 토양에 나쁜 영향을 미친다. 이 재료도 사용 후에는 폐기물이 되어 제거해야 된다.

농민들 대다수가 경작로의 포장을 요구하고 있으므로 환경친화적인 재료를 사용하여 해결하여야 한다. 이 포장 재료는 콘크리트 포장을 충분히 대체할 수 있고, 사용 후에 쉽게 부스러져서 토양에 섞여도 해를 끼치지 않아야 좋은 재료이다. 그래야 현장에서 쉽게 처리가 가능하며 산업폐기물이 되지 않는 것이다.

따라서, 지금 생산되고 있는 재료 중에서 적합한 재료를 선택하거나 개발을 할 필요성이 있다. 연약지반 개량용으로 많이 쓰이고 있는 고회재 계열의 재료가 대체적으로 환경적이고 흙과 잘 결합되므로 충분히 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 3. 경작로의 정비 방법

경작로를 정비하는 경우 가장 먼저 생각하여야 할 것은 농작업기계의 규모이다. 농작업기계의 폭과 중량 등은 경작로의 크기와 포장 재료에 주된 영향을 미치는 요소이다. 두 번째는 경작지와 경작지간에 원활한 소통이고, 그 다음은 농산물과 농자재의 신속한 유통이다. 그러면 경작로에는 농작업 기계와 농사용 화물차는 왕래가 손쉬워야 하며, 승용차도 잘 다닐 수 있어야 한다.

경작로는 단순히 농사를 짓기 위한 도로에서 마을과 마을을 연결하는 도



로, 마을에서 큰길로 연결되는 도로 기능을 함께 하게 된다. 따라서 경지정리사업에 포함된 경작로의 정비를 벗어나서 인근 마을의 형편을 고려하는 도로 정비의 기능, 즉 경작지와 마을의 네트워크를 구축하는 차원으로 경작로를 정비하는 것이 바람직하다.

#### 4. 경작로의 내구년한

경작로를 포장하면 될 수 있는 데로 오래 써야 좋은 것으로 생각하고 있는데 실제 현장의 조건으로 볼 때 오래 쓸 수도 없고, 경작지의 특성상 대형 농기계가 이용되면 경지정리를 다시 해야 하는 경우가 발생하므로 내구년한 전에 폐기해야 할 경우도 처하게 된다. 그래서 경작로의 경우는 농작업에 편리하게 이용할 수 있으면서 유지보수를 손쉽게 할 수 있는 포장이 적합하다.

따라서, 내구년한을 고려하는 것보다는 농작물에 해를 끼치지 않는 환경친화적이고 흙을 주로 이용할 수 있는 재료를 사용하는 것이 적합하다. 이렇게 하면, 우리는 경작지의 특성에 맞춰 변화무쌍하게 경작로를 만들기도 하고, 필요 없으면 손쉽게 제거할 수 있는 것이다.

## 제 4 절 요약 및 결론

농민과 농조 직원의 설문조사를 통하여 이미 시공된 기계화 경작로의 실태를 점검하고, 문제점을 파악하여 기계화 경작로의 개선점을 찾아보았다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 설문조사 결과, 경작로는 농작업기계 이용이 쉽고, 농산물과 농업자재의 신속한 유통이 가능하도록 정비되어야 하며, 대형 농기계의 이용에 대비하여 설계되어야 한다. 그리고, 유지관리가 쉽도록 전 폭에 걸쳐서 포장되어야 하고, 법면 처리가 잘 되어야 한다고 나타났다.
2. 경작로의 전 폭 포장은 비용이 적게 드는 새로운 포장 방법의 개발로 반쪽 포장비로 전 포장을 할 수 있는 경우 가능하다.
3. 경작로는 포장할 수밖에 없는 현실에서 포장에 따른 농작물의 피해, 나아가 환경 피해를 줄이는 방법은 환경친화적 재료를 사용하는 것인데, 고화재 계열을 이용한 포장이 유리할 것으로 판단된다.
4. 경작로의 정비는 경작지와 경작지, 마을과 경작지간 연결도로, 마을과 마을간 연락도로, 마을 진입로 등의 종합적 기능을 고려한 네트워크를 구축하는 방향으로 추진하는 것이 적합하다.
5. 경작로의 다양한 변화를 위하여 내구년한을 고려하는 것보다는 손쉽게 만들고 없앨 수 있는 흙을 주로 한 환경친화 재료를 사용하는 것이 바람직하다.

## 제 3 장 연약지반 처리공법의 개발

### 제 1 절 서론

각종 건설공사를 수행하는 과정에서 연약지반으로 인하여 공사상의 많은 어려움이 있을 뿐만 아니라 공사기간이 장기화되어 대부분 공사비가 크게 증대된다. 그러나, 공사시행상 연약지반 문제는 반드시 먼저 처리되어야 하고 이를 위해서는 연약지반에 대하여 충분히 인식하지 않으면 안된다.

일반적으로 연약지반이라 함은 ① 간극비가 큰 실트나 점토, ② 압축성이 큰 이탄토(泥炭土)와 같은 특수한 토사, ③ 액상화가 일어날 수 있는 세립의 사질토 지반 등을 의미하고 또, 그렇게 정의하고 있다. 이는 이러한 지반이 대체로 지반반력 또는 지지력이 낮으므로 연약한 것은 사실이다, 그러나, 연약지반이라 함은 상부에서 오는 하중을 배제하고 정의될 수 있는 것이 아니라, 상부하중에 따라 정의되어야 할 것이다, 즉, 같은 점토지반이라도 하중이 작은 구조물을 지지할 수 있는 경우에는 연약지반이 아니고, 하중이 증가하여 현재 지반이 상부하중을 지지하지 못하는 경우에 연약지반으로 분류되어야 할 것이다. 표 3.1은 일반적으로 사용하는 연약지반의 판정기준의 예를 보여주고 있다.

따라서, 이러한 지반을 대상으로하여 공사를 시행할 때는 다음의 문제점들에 대하여 충분한 검토가 있어야 한다.

- ① 지반의 침하(전침하 또는 부등침하)로 인한 포장면의 파괴
- ② 노상의 지지력 부족으로 인한 성토의 파괴
- ③ 하중에 의한 측면지반의 용기

본 절에서는 현재까지 각종 공사에서 사용되고 있는 연약지반처리공법을 소개하였다. 전국을 대상으로 각각의 도별로 이미 시행된 대구획 경지정리

표 3.1 연약지반의 판정기준(예)

구조물의 종류	지반 상태							판 정
	토질	층두께 (m)	$q_u$ ( $tf/m^2$ )	$q_c$ ( $tf/m^2$ )	장기허용 지내력 ( $tf/m^2$ )	함수비	N치	
도 로	유기질토 세립토 조립토		2.5이하 2.5~5 5~10	12.5이하 12.5~25 25~50			2 이하 2~4 4~10	연약지반(초연약) 연약지반(연약) 연약지반(연약)
고속도로	이탄토 점성토 사질토		5 이하 5 이하 5 이하			100 이상 50 이상 20 이상	4 이하 4 이하 10 이하	연약지반 연약지반 연약지반
철 도		2 이상 5 이상 10이상	0 4 이하 10 이하				0 4 이하 10 이하	연약지반 연약지반 연약지반
필 댐			20 이하				20 이하	연약지반
건 축			10 이하		10 이하		10 이하	연약지반

지구를 대상으로 기계화 경작로의 토질특성을 분석하였다. 또한, 분석 결과를 바탕으로 그에 따른 경제적인 연약지반처리공법과 새로운 지반처리공법을 제시하였다. 특히, Geoweb 또는 Geocell을 사용한 연약지반의 처리공법은 비교적 저렴한 공사비로 확실한 처리효과를 나타낼 수 있는 공법으로 사료된다.

따라서, 본 절에서는 조사된 각 지구별 토질특성과 분석결과를 요약 정리하였으며, 주로 사용되는 연약지반처리공법을 소개·설명하였으며 기계화 경작로에 적용이 용이한 Geocell 형태의 보강재를 사용하는 처리공법을 검토하였다.

## 제 2 절 연약지반처리공법

연약지반의 개량원리는 치환, 탈수(배수), 다짐, 고결 등의 방법이 있으나, 토질에 따라 적절한 공법을 적용하여 개량의 목적에 부합된 지반개량이 되도록 계획한다.

연약지반의 개량목적과 지반의 성질에 따라 연약지반처리공법을 분류하면 표 3.2와 같다. 이 중에서 도로공사에 주로 이용되거나 적용되는 공법은 다음과 같으며, 기계화 경작로 등의 소규모인 경우에는 주로 치환 등의 경제적인 공법이 사용되고 있다.

### 1. 치환공법

치환공법은 오래전부터 가장 많이 사용되는 지반개량공법이며, 연약한 점성토를 양질의 사질토 등으로 바꾸어 놓는다.

이 공법은 다른 공법에 비해 확실성이 있으며, 시공관리를 복잡하게 하지 않고 시공기계만 있으면 공기는 충분히 단축시킬 수 있는 장점이 있다.

연약층을 전부 치환하는 것이 일반적이며 가장 확실한 방법이지만 두꺼운 연약지반인 경우는 어디까지 치환할 것인가가 하나의 기술이 된다.

### 2. 샌드매트(sand mat) 깔기공법

연약한 기초지반상에 시공장비의 주행성을 확보하고, 배수층을 형성시키기 위하여 모래층을 까는 것이다.

샌드매트 부설재료는 다음과 같은 기준을 만족하도록 한다.

- $D_{15}$  : 0.075~0.9 mm
- $D_{85}$  : 0.4~0.8 mm
- 75 $\mu$ m체 통과량 : 15% 이하
- 투수계수 :  $1 \times 10^{-3}$  cm/s 이상

샌드매트는 약 0.5~1.0m 정도의 두께로 모래를 포설, 지반의 불균질로 인한 단절부 및 불투수성 재료가 혼입되지 않도록 시공하여야 하며 주행성이 확보되어야 한다.

### 3. 토목섬유 매트 깔기공법(또는 sheet, net 공법의 일종)

연약한 기초지반의 흙과 샌드매트층 모래의 혼합을 방지하고 시공장비의 주행성을 확보하며, 부등침하방지 또는 연약지반의 활동방지를 위하여 기초지반상에 토목섬유를 까는 방법이다.

토목섬유의 품질기준은 설계기준강도에 맞는 소요의 인장강도를 가져야 하며, 인장신도는 10~30%, 봉합강도는 인장강도 이상이 되어야 한다.

투수계수는  $\alpha \times (10^{-2} \sim 10^{-4})$ 의 범위이다.  $\alpha$ 는 계수로서 1~9이다.

매트의 깔기방향은 도로의 횡단방향으로 하며, 현장접합강도는 매트의 인장강도 이상이 되게 해야 한다. 활동방지용 토목섬유 매트를 연약지반과 샌드매트 경계부에 깔고 샌드드레인이나 모래다짐말뚝 등을 시공하면 매트에 구멍이 뚫리게 되므로 충분한 검토 후 시공위치를 결정해야 한다. 토목섬유는 샌드매트를 둘러싸야 하고, 그 폭은 흙쌓기 폭 밖으로 2m이상 여유가 있도록 시공해야 한다.

### 4. 수직배수공법(연직드레인공법)

연약한 점성토의 두께가 두꺼울 경우, 압밀을 촉진시키기 위하여 연약지반 중에 투수성의 재료를 사용하여, 수직배수기둥을 설치하는 것이며, 샌드드레인(sand drain), 페이퍼드레인(paper drain), 팩드레인(pack drain) 공법 등이 있다.

수직배수공에 사용되는 모래의 품질은 다음의 기준에 맞는 것을 선택하여야 한다.

- $D_{15}$  : 0.1~0.9 mm
- $D_{85}$  : 1.0~8.0 mm
- 75 $\mu$ m체 통과량 : 3% 이하
- 투수계수 :  $1 \times 10^{-3}$  cm/s 이상

샌드파일을 연약지반층에 타입, 배수층 거리를 짧게 하여 압밀을 촉진시켜서 공기를 단축하는 공법으로, 샌드파일은 지름이 0.3~0.5m, 간격은 2~4m 정도, 길이는 15m 이하가 효과적이며, 시공전에 설치위치를 표시하여 정확한 위치에 수직으로 시공되도록하고 원지반이 교란되어 강도가 저하되거나 지중에서 단절 및 불투수성 재료에 의하여 배수능력이 저하되지 않도록 주의하여야 한다.

합성수지로 된 드레인 보드를 땅속에 박아 압밀을 촉진시키는 공법으로 드레인 보드의 설치간격, 규격, 배열 방법 등은 설계규격에 맞게 시공하여야 하며, 연약지반에 관입이 완료된 드레인 보드는 샌드매트 상면부에서 30cm의 여유를 두고 절단한 후, 두부에 손상되지 않도록 샌드매트 층내에 매설하여 보호하여야 한다.

#### 5. 모래다짐 말뚝공법(sand compaction pile method)

연약한 기초지반의 강도증진 및 활동방지를 위하여 연약지반 중에 다져진 모래말뚝을 설치하는 작업을 말하며, 압밀촉진 및 침하량 감소효과를 얻을 수 있다.

#### 6. 단계 흡쌍기 공법

연약한 점성토 지반에 급속한 흡쌍기를 하여 활동파괴가 예상될 때, 압밀에 따른 지반의 강도증진을 활용, 안정된 상태에서 흡쌍기 작업을 수행하

기 위하여 단계별로 완속시공하는 흠쌓기 작업을 시행한다.

흠쌓기 단계의 회수 및 각 단계별 흠쌓기 높이 등은 설계규정에 따라 시공계획을 세워 시공하며, 2단계 이후의 흠쌓기 시기 및 흠쌓기 높이는 연약지반에 대한 현장 및 실내시험 성과와 계측성과를 분석하여 그 이후 시공에 적용한다.

각 단계별 흠쌓기 속도는 활동에 대한 안정이 유지되는 범위내에서 흠쌓기 작업을 시행하여야 하며, 우수 등의 침투로 인하여 재료의 함수비가 높아지면 흠쌓기 작업을 중단하여도 하중의 증가로 활동파괴가 발생할 수 있으므로 우기시에는 흠쌓기 작업을 중단하고 우수의 침투를 최소화시켜야 한다.

#### 7. 선행재하공법(preloading method)

연약한 점성토 지반에 구조물을 설치할 경우, 침하에 의한 구조물의 손상을 방지하고 기초지반의 침하 및 강도증진시키기 위하여 먼저, 하중에 의하여 연약지반의 침하 및 강도증진을 유도한 후에 터파기하여 구조물을 시공하는 공법을 말하며, 연약한 점성토 지반에 흠쌓기 또는 구조물을 설치할 때 설계하중보다 큰 하중을 재하하여 압밀을 촉진하고 잔류침하를 감소시키는 공법을 과재(過載) 흠쌓기공이라 한다.

#### 8. 경량재 쌓기공법

연약한 점성토 지반에 흠쌓기를 하거나 교대 등의 구조물 뒷채움을 할 경우, 침하를 감소시키고 활동을 방지하며 편토압에 의한 구조물의 변형을 최소화하기 위하여 경량골재, 발포스티렌(EPS), 속빈 콘크리트 블록 등을 쌓아 하중능 경감시키는 작업을 말한다.

구조물 뒷채움용 발포스티렌(EPS) 블록의 단위하중은  $0.02\sim 0.03\text{tf/m}^3$ ,



단위중량의 편차는 10%, 흡수량은  $1\text{gf}/100\text{cm}^3$ 이하, 연소성은 3초이내, 소하(자기소화성) 1%, 변형시 압축강도는 종류에 따라  $5\sim 10\text{tf}/\text{m}^3$ 이다.

경량재 쌓기부와 흙쌓기부는 상재하중의 차이로 인하여 부등침하가 발생하므로 접속구간을 두어 포장체에 유해한 영향을 미치지 않도록 하여야 하며, 접속부는 설계도서에 의하여 시공하되 침하 및 부등침하가 발생하지 않도록 한다.

### 9. 약액주입공법

약액주입공법은 주입형태가 사질토와 점성토에 따라 달라지기 때문에 토질별로 고려할 필요가 있다.

사질토에서는 개량목적이 지수와 강도증가이고 지수의 경우에는 지반의 투수성 등의 지하수 조사가 주체가 되며, 강도증가가 목적이라면 사질토의 강도를 평가하는 것은 현재 가장 낙후되어 있는 문제에 직면하게 된다. 필요에 따라서는 불교란 시료를 채취하여 삼축압축시험을 실시하고 목표강도를 달성하기 위해 약액의 종류선정 및 주입율의 결정을 위해서는 배합시험도 실시하는 것이 필요하다.

점성토에 대한 개량목적은 지수보다는 강도증가에 있다. 약액주입은 모두 할열주입에 의하기 때문에 지반개량의 강도를 정확히 평가하기 위한 경우에 불교란 시료채취에 의한 일축압축시험에서는 맥상에 발달한 약액의 Homogel 고결체와 흙의 경계부분에서 파괴되어 강도를 정확하게 평가할 수 없는 위험성이 높고 샘플링이 Homogel 고결체에 따라서 곤란한 것이 있다. 따라서, 약액주입으로 개량된 점성토의 강도평가는 원위치 콘관입시험이 가장 좋다. 그러나 맥상에 발달한 호모겔의 부분에서 관입저항이 급격히 증가하는 결과가 생기므로 평가에서는 통계적 처리가 필요하다. 최근에는 전기검층, 전기탐사 등으로 고결범위, 고결도를 추정하는 시험이 행해진다.

표 3.2 개량의 원리, 목적 및 적용지반에 의한 연약지반처리공법의 종류

구분	개량 원리	주요 공법	개량 목적	적용 지반	
하중 조절	경량화	경량자재	지반의 지지력 향상 지반의 전단변형 억제 지반의 침하 억제 활동파괴의 방지 시공기계의 주행성 확보	점성토 지반 유기질토 지반	
	하중 균형	압성토 공법			
	하중 분산	침사공법			
		sheet, net 공법			
		sand mat 공법			
	표층혼합처리공법	점성토, 유기질토 지반			
지반 개량	치환	굴착치환공법	활동파괴의 방지 침하의 감소 지반전단변형의 억제	점성토 지반 유기질토 지반	
		강제치환공법			
	탈수	preloading 공법		압밀침하의 촉진 지반의 강도증가 촉진 활동파괴의 방지	점성토 지반 유기질토 지반
		연직드레 인공법	sand drain 공법		
			paper drain 공법		
			plastic drain 공법		
		지하수위 저하공법	wellpoint 공법		사질토 지반
		deep well 공법	점성토 지반		
		생석회 pile 공법			
	다짐	sand compaction pile 공법		침하의 감소 액상화 방지 활동파괴의 방지	점성토, 사질토, 유기질토
		vibroflotation 공법			사질토 지반
		vibrotamper 공법			점성토, 사질토 지반
		쇄석 pile 공법			사질토 지반
		동압밀공법			
	고결	석회계심층혼합처리공법		활동파괴의 방지 침하의 감소 지반의 전단변형방지 지반의 piping 방지	점성토 지반
시멘트계심층혼합처리공법		점성토, 사질토 지반			
분산교반공법					
동결공법					
지수	약액주입공법		지반의 축방유동방지 차수	사질토 지반	
	분사주입공법			점성토, 사질토 지반	
	지수닐발뚝공법			사질토, 유기질토 지반	
지중 구조 형성	체질성토공법		활동파괴의 방지 축방유동방지	점성토, 사질토 지반	
	pile cap, pile slab 공법			유기질토 지반	

### 제 3 절 기계화 경작로의 토질특성

본 절에서는 기시공된 전국의 대구획 경지정리지구를 대상으로 관련기관의 협조를 받아 각 지역을 대표할 수 있는 지구를 선정하여 토질조사, 설문조사, 시료채취, 실내시험, 현장시험 등을 실시하였다.

#### 1. 토질특성을 분석하기 위한 토질조사

##### 가. 조사항목

어떤 공사의 계획·설계·시공하려고 하는 경우 또는 공법을 선정하는 경우에 가장 먼저 해야할 일은 지반에 관한 필요충분한 정보를 제공하는 토질조사이다.

일반적으로 토질조사 항목과 중요도는 표 3.3과 같다.

표 3.3 조사항목과 중요도

조사항목	중요도
(1) 지반의 3차원적 구성	◎
(2) 지반 지하수의 3차원적 분포와 성질	◎
(3) 지반의 물리적 성질	◎
(4) 지반의 화학적 성질	○
(5) 지반의 강도 특성	◎
(6) 지반의 압밀 특성(점성토)	◎
(7) 지반의 변형 특성	○
(8) 지반의 동적 특성	○

◎ : 매우 필요    ○ : 필요에 따라 조사

##### 나. 토질조사

전국의 기계화 경작로 지반특성을 분석하고, 적절한 처리공법의 선정을

위하여 전국의 8개 지역을 대상을 현장시험을 수행하고, 교란 및 불교란 시료를 채취하여 실내실험을 수행하였다.

#### (1) 조사지역

전국에서 기시공 또는 시공중인 대구획 및 일반 경지정리지구를 중심으로 관련기관의 협조를 얻어 조사지역을 선정하였다. 선정된 지역은 다음과 같다.

- ① 충북 청원군 오창면 학소리 학소지구
- ② 충남 예산군 삽교·고덕면 용리 용리지구
- ③ 경기도 청북면 고잔리 고잔지구
- ④ 전남 김제시 죽산면 서포리 서포지구
- ⑤ 전북 함평군 월호리 월호지구
- ⑥ 경남 함안군 가야읍 상서리 봉안지구
- ⑦ 경북 상주시 낙동면 낙동리 낙동지구
- ⑧ 강원 철원군 청양지구

#### (2) 현장조사 기간 및 장비

현장조사는 1998년 7월 13일부터 1998년 9월 25일까지 약 70일간 조사하였으며, 현장에서 채취한 불교란 시료는 현장조사가 없는 기간에 실내에서 수행되었다.

현장조사에 사용된 장비는 실내시험에 필요한 기기류외에 표 3.4에 열거된 기기를 사용하였다.

표 3.4 현장조사 장비

장비명	규격	수량	비고
표준관입시험기	KS F 2318규정	1조	표준관 2개
콘관입시험기		1조	
샘플러	KS F 2317규정	2조	75cm 5개 50cm 5개
동력 Auger		1조	
기타부대장비			

(3) 조사방법 및 내용

현장조사는 기계화 경작로의 문제점을 파악하기 위한 설문조사와 병행하여 실시되었다. 아래 열거한 것은 현장시험의 종류 및 범위를 열거한 것이다.

① 표준관입시험(SPT)은 측정 종단상으로 1.5 m 마다 각 지구별 3~6개소 실시하였다.

② 콘관입시험(CPT)는 연약지반을 대상으로 도로중심에서 좌·우 2.5 m 마다 각 지구별 2~4개소 실시하였다.

③ 불교란 시료채취는 표준관입시험을 수행하는 근처에서 종단상으로 1.5 m 마다 각 지구별 3~5개소 정도 깊이별로 채취하였다. 채취 후 바로 랩과 파라핀으로 밀봉하여 함수비, 구조 등의 변화가 발생하지 않도록 세심한 주의를 기울여 시험실로 운반하여 실내시험을 수행하였다.

(4) 실내시험

채취된 시료에 대하여 한국산업규격(KS F)에 따라 실내시험 수행  
실내시험의 내용은 다음과 같다.

① 입도분석시험 : KS F 2302

- ② 액·소성한계시험 : KS F 2303, KS F 2304
- ③ 함수량측정 : KS F 2306
- ④ 비중시험 : KS F 2308
- ⑤ 일축압축강도시험 : KS F 2314
- ⑥ 직접전단시험 : KS F 2343
- ⑦ 다짐시험 : KS F 2312
- ⑧ CBR시험 : KS F 2320

(6) 현장조사 과정

그림 3.1은 박벽튜브를 이용한 불교란 시료의 채취광경이다. 그림 3.2는 콘관입시험(CPT)을 행하는 광경이다. 그림 3.3은 표준관입시험(SPT)을 행하는 광경을, 그림 3.4는 파워오거를 이용하여 교란시료를 채취하는 모습을 보여주고 있다.



그림 3.1 박벽튜브를 이용한  
불교란시료채취 장면



그림 3.2 CPT 시험 장면



그림 3.3 SPT 시험 장면



그림 3.4 파워오거를 이용한  
교란시료의 채취 장면

## 2. 각 지구의 현황 및 토질특성

### 가. 전라북도(함평군 월호지구)

#### 1) 지구 현황

본 지역은 북으로 군유산, 불갑산을 경계로 영광, 장선군과 접하고 동으로 광주광역시, 남으로는 나주시, 무안군과 경계를 이루고 있으며, 서해의 함평만을 서쪽에 끼고 있다. 군의 중앙부근에는 노령산맥의 지맥이 천주봉, 고산봉을 이루며 남으로 뻗어 있고, 동부에는 장성호의 수원을 받아 월야평야를 이루고 서남부로는 간척지가 산재하여 대동 저수지에서 발원한 함평천을 중심으로 비교적 넓은 평야가 펼쳐진 있는 지역이다. 또, 본 지역 내에는 대구획으로 구분되는 3개지구(월야, 손불, 함평)와 일반으로 구분되는 7개지구(월호, 동림, 고막, 월야, 예덕, 월악, 용월)로 나누어져 있고, 대구획 지구 및 월야, 예덕, 월악, 용월지구는 시행자가 영산강 농조, 나머지 일반지역은 함평군수가 사업시행자로 되어 있다.



수원유역별로는 영산강에 합류하는 고막원천과 함평천 유역이 전체지역의 대부분을 접하고 있는 가운데 다수의 소하천이 발달되어 있다.

기후특성은 대륙성 온대기후로서 사계절의 변화가 뚜렷한 기온차를 나타내며, 해안에 위치하여 온난다습한 해양성 기후를 나타낸다. 최근 6년간(1989~1994)의 연간 전체기간 중의 맑은날은 평균 70일, 흐리거나 비가 온 날은 240일, 연평균 강우량은 710.2 mm이고, 연평균 기온은 14℃이다.

토지이용현황은 총 38,663 ha중에서 농경지가 1,500ha로 38.8%를 차지하고 있다.

일반 도로망은 국도 76.7 km(포장율 100%), 지방도 23.8 km(포장율 100%), 시·군도 172.2 km(포장율 57.0%)로 되어 있으며, 도로밀도는 705.0 m/km<sup>2</sup>정도이다.

자동차보유대수는 1994년을 기준할 때, 승용차 1,951 대, 화물차 1,986 대, 버스 454 대, 특수차 10 대, 농기계 7,905 대로 총 12,306 대이며, 연평균 승용차는 37.5%, 화물차는 23.2%, 버스는 20.2%, 농기계는 7.0%씩 증가하고 있다.

전체적으로 토질은 비교적 양호한 편이며, 노반 지지력은 보통(설계CBR : 3~6 정도)으로 나타나고 있다.

특히, 월야지구는 지구는 학교면 월호리 영산강 변에 발달된 농경지로서, 지구내로 군도 5호선과 농어촌도로 201호, 306호가 통과하고 있으므로 이와 연계된 경작로를 계획하는 것이 타당하다.

전반적인 경작로의 노반은 사질토층으로 지지력이 보통이며, 전 노선이 노폭이 좁아 부설수로의 병행사업비 요망된다.

## 2) 지구의 사업 평면도

본 지구의 사업 평면도는 그림 3.5와 같다.

# 월호지구 평면도

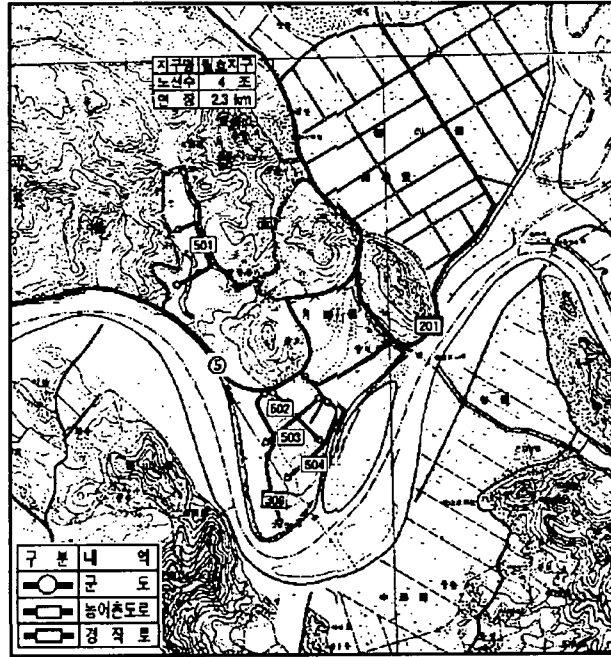


그림 3.5. 전남 함평군 월호지구 사업 평면도

### 3) 지구의 토질특성

본 지구는 화강암이 풍화된 흙을 운반하여 성토 또는 다져서 만든 지구로 비교적 입도분포가 보통인 지역이다.  $D_{10}$ 이 0.08mm,  $D_{30}$ 이 0.18mm,  $D_{60}$ 이 0.29mm이고 균등계수(Cu)가 3.5, 곡률계수(Cg)가 약 1.3 정도를 나타낸다. 도로부를 이루는 흙은 주로 통일분류상 SC에 속하는 흙으로 다짐이 양호하고 압축성 및 팽창성이 약간 있다. 또, 불투수성 재료특성을 보여 배수가 불량하여 겨울철 동결작용이 약간 예상되는 흙이다.

### 가) 입도분포

월호지구의 입도분포는 그림 3.6에 나타나 있다. 통일분류상 SC에 속하는 흙으로,  $D_{10}$ 이 0.08mm,  $D_{30}$ 이 0.18mm,  $D_{60}$ 이 0.29mm이고 균등계수( $C_u$ )가 3.5, 곡률계수( $C_g$ )가 약 1.3 정도를 나타낸다. 성토용 흙으로 일반적으로 사용되는 흙이다.

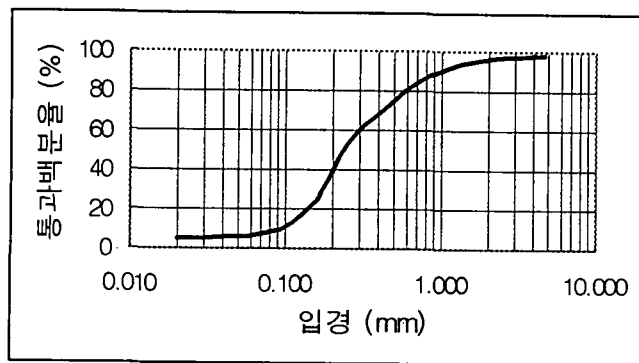


그림 3.6 월호지구의 입도분포곡선

### 나) 물리적 특성

월호지구 흙의 자연함수비는 28.7%정도이며, 비중은 2.50, 액성한계는 47.5%, 소성한계는 27.9%로 소성지수(PI)가 19.6%인 저소성 흙이다. 또, 컨시스턴시 특성을 검토하기 위하여 각 지수를 구하면 액성지수(LI)는 0.04, 컨시스턴시 지수(CI)는 0.96정도로 비교적 안정된 흙의 특성을 보였다.

### 다) 전단특성

월호지구의 전단특성을 검토하기 위하여 불교란시료를 채취하여, 직접전단시험에 의하여 응력-변형을 곡선을 도시하고, 이로부터 점착력과 내부마찰각을 산출하였다. 점착력은  $0.078 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 내부마찰각은 약  $16.4^\circ$

를 나타내었다.

그림 3.7은 월호지구의 직접전단시험에서 나타난 응력-변형을 곡선이다.

또한, 월호지구의 일축압축강도는 약  $1.50 \text{ kgf/cm}^2$  정도로 나타났다.

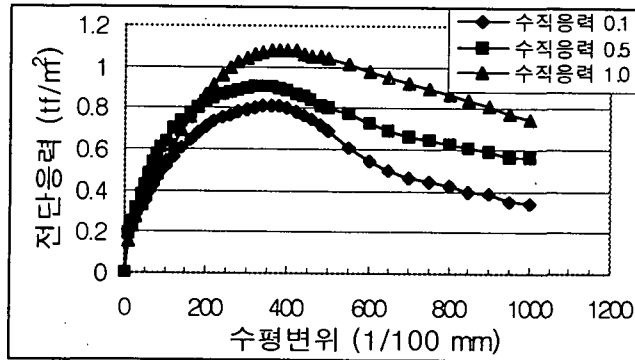


그림 3.7 월호지구의 응력-변형을 곡선

나. 전라북도(김제시 서포지구)

#### 1) 지구 현황

본 지역은 전북 김제시 죽산면 서포리 일대의 평야지대로 연차별로 대구 획 경지정리를 시행한 지구이다. 구획면적이 627 ha, 몽리면적이 558 ha로 서, '96시행 사업기간은 1996. 11 ~ 1997.6로 되어있는 전형적인 평야지대에 속한다.

지구의 중앙부분으로 하천이 흐르고 있어 배수가 상당히 중요한 지구이며, 비교적 입도가 양호한 흙으로 구성되어 있다.

#### 2) 지구의 사업 평면도

본 지구의 사업 평면도는 그림 3.8과 같다.

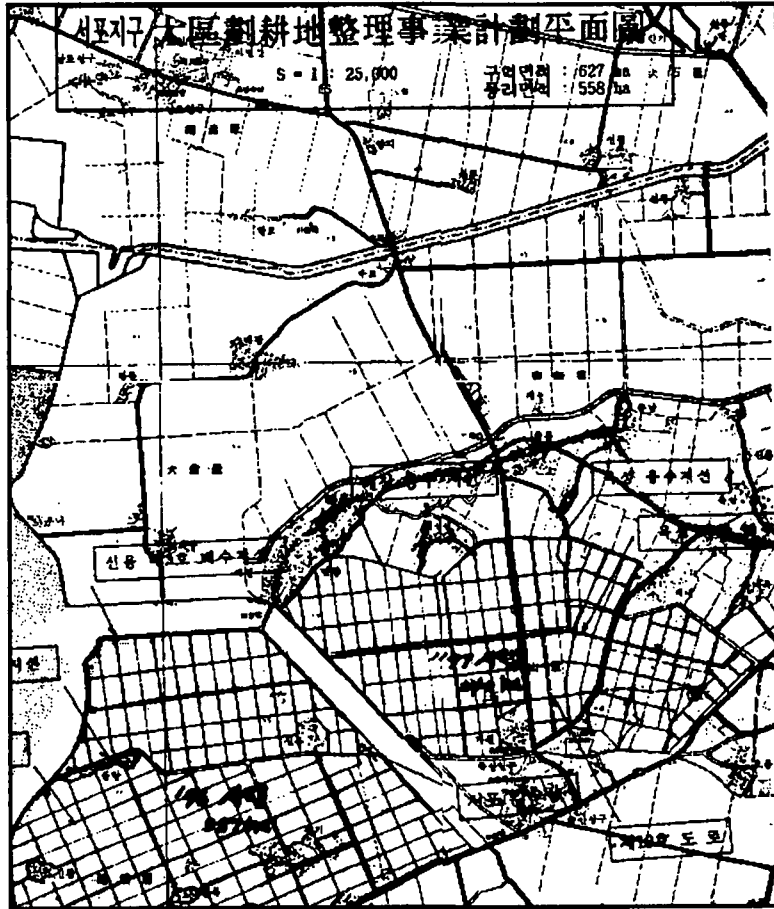


그림 3.8 서포지구 대구획 경지정리 계획 평면도

### 3) 지구의 토질특성

본 지구는 화강암이 풍화된 흙을 운반하여 성토 또는 다져서 만든 지구로 비교적 입도분포가 양호한 지역이다.  $D_{10}$ 이 0.05mm,  $D_{30}$ 이 0.11mm,  $D_{60}$ 이 0.22mm이고 균등계수( $C_u$ )가 4.4, 곡률계수( $C_g$ )가 1.1정도를 나타낸다. 도로부를 이루는 흙은 주로 통일분류상 SC에 속하는 흙으로 다짐이 양호하고

압축성 및 팽창성이 약간 있다. 또, 불투수성 재료특성을 보여 배수가 불량하여 겨울철 동결작용이 약간 예상되는 흙이다.

#### 가) 입도분포

서포지구의 입도분포는 그림 3.6에 나타나 있다. 통일분류상 SC에 속하는 흙으로,  $D_{10}$ 이 0.08mm,  $D_{30}$ 이 0.18mm,  $D_{60}$ 이 0.29mm이고 균등계수( $C_u$ )가 3.5, 곡률계수( $C_g$ )가 약 1.3 정도를 나타낸다. 성토용 흙으로 일반적으로 사용되는 흙이다.

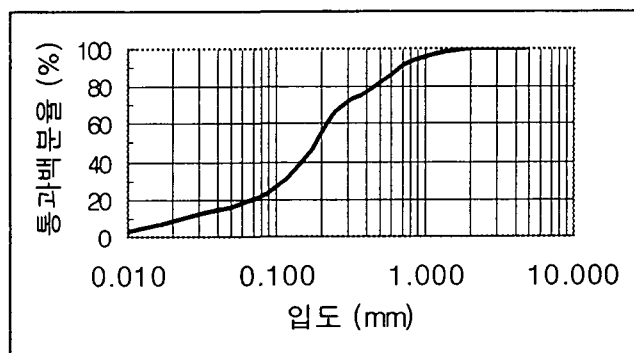


그림 3.9 서포지구의 입도분포 곡선.

#### 나) 물리적 특성

서포지구 흙의 자연함수비는 33.2%정도이며, 비중은 2.54, 액성한계는 34.7%, 소성한계는 23.7%로 소성지수(PI)가 11.0%인 저소성 흙으로, 자연상태의 함수비가 거의 액성한계에 도달해 있었다. 또, 컨시스턴시 특성을 검토하기 위하여 각 지수를 구하면 액성지수(LI)는 0.86, 컨시스턴시 지수(CI)는 0.14정도로 비교적 불안정된 흙의 특성을 보였다.

다) 전단특성

서포지구의 전단특성을 검토하기 위하여 불교란시료를 채취하여, 직접전단시험에 의하여 응력-변형을 곡선을 도시하고, 이로부터 점착력과 내부마찰각을 산출하였다. 점착력은  $0.034 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 내부마찰각은 약  $26.3^\circ$ 를 나타내었다.

그림 3.10은 서포지구의 직접전단시험에서 나타난 응력-변형을 곡선이 다.

또한, 서포지구의 일축압축강도는 약  $1.18 \text{ kgf/cm}^2$ 정도로 나타났다.

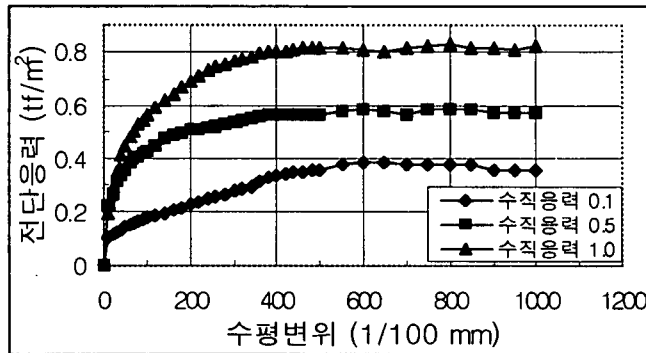


그림 3.10 서포지구의 응력-변형을 곡선

다. 충청북도(청원군 학소지구)

1) 지구 현황

본 지구는 충북 청원군 오창면 여천, 화산, 유, 학소, 보정, 일신리 일원의 구역으로 이루어져 있으며, 구역면적은 279.65 ha, 몽리면적이 246.89 ha이다. 지구 옆으로 미호천이 흐르고 있으며 반대편으로 중부고속도로가 건설되어 있고, 토질은 주로 사질성 실트로 구성되어 있다.

2) 지구의 사업 평면도

본 지구의 사업 평면도는 그림 3.11과 같다.

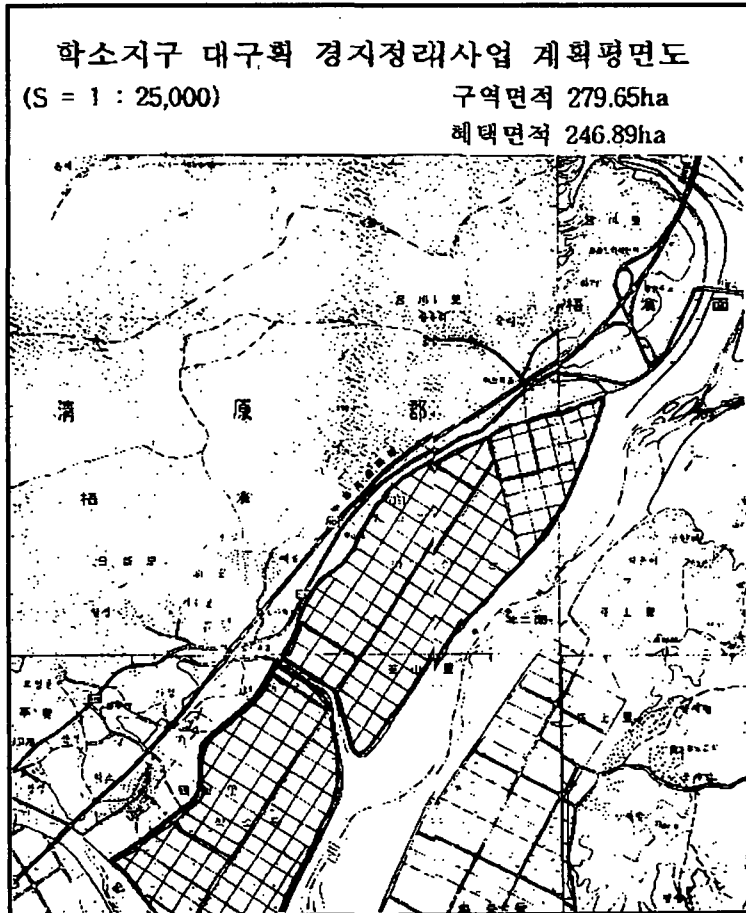


그림 3.11 학소지구 대구획 경지정리 사업 계획 평면도

3) 지구의 토질특성

본 지구는 미호천의 범람으로 사질성 세립분을 많이 함유하고 있으며



입도분포는 비교적 양호한 지역이다.  $D_{10}$ 이 0.05mm,  $D_{30}$ 이 0.11mm,  $D_{60}$ 이 0.22mm이고 균등계수( $C_u$ )가 4.4, 곡률계수( $C_g$ )가 1.1정도를 나타낸다. 도로부를 이루는 흙은 주로 통일분류상 SC에 속하는 흙으로 다짐이 양호하고 압축성 및 팽창성이 약간 있다. 또, 불투수성 재료특성을 보여 배수가 불량하여 겨울철 동결작용이 약간 예상되는 흙이다.

#### 가) 입도분포

학소지구의 입도분포는 그림 3.12에 나타나 있다. 통일분류상 SM에 속하는 입도가 양호한 흙으로,  $D_{10}$ 이 0.08mm,  $D_{30}$ 이 0.15mm,  $D_{60}$ 이 0.43mm이고 균등계수( $C_u$ )가 5.4, 곡률계수( $C_g$ )가 약 1.5 정도를 나타낸다. 성토용 흙으로 일반적으로 사용되는 흙이다.

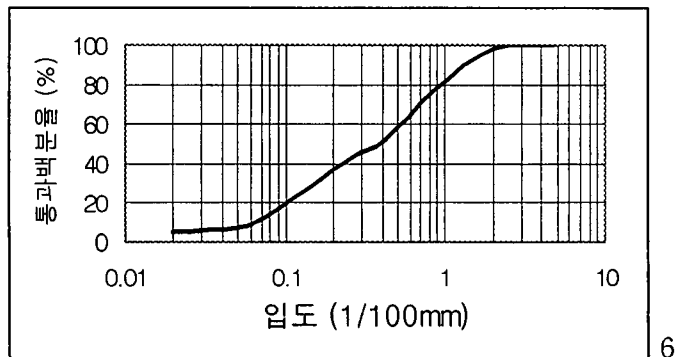


그림 3.12 학소지구의 입도분포 곡선

#### 나) 물리적 특성

학소지구 흙의 자연함수비는 27.3%정도이며, 비중은 2.56, 액성한계는 33.4%, 소성한계는 23.6%로 소성지수(PI)가 9.8%인 저소성 흙으로, 자연상

태의 함수비가 소성한계에 도달해 있었다. 또, 컨시스턴시 특성을 검토하기 위하여 각 지수를 구하면 액성지수(LI)는 0.33, 컨시스턴시 지수(CI)는 0.68정도로 비교적 안정되고 단단한 흙의 특성을 보였다.

#### 다) 전단특성

학소지구의 전단특성을 검토하기 위하여 불교란시료를 채취하여, 직접전단시험에 의하여 응력-변형을 곡선을 도시하고, 이로부터 점착력과 내부마찰각을 산출하였다. 점착력은  $0.033 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 내부마찰각은 약  $30.2^\circ$ 를 나타내었다.

그림 3.13은 학소지구의 직접전단시험에서 나타난 응력-변형을 곡선이다.

또한, 학소지구의 일축압축강도는 약  $0.44 \text{ kgf/cm}^2$ 정도로 나타났다.

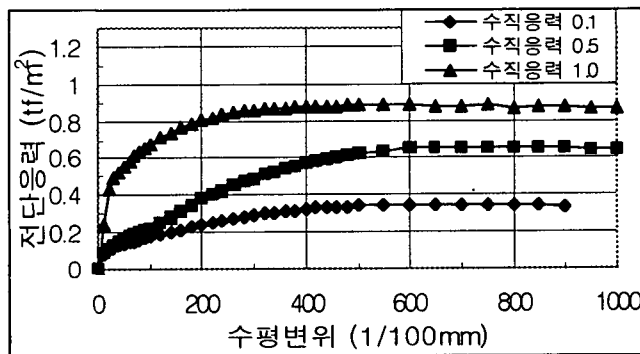


그림 3.13 학소지구의 응력-변형을 곡선

라. 충청남도(예산군 용리지구)

1) 지구 현황

본 지구는 충남 예산군 삽교, 고덕면 용리 외 2개리의 구역을 경지정리한 지구로서, 구역면적은 200.47 ha, 물리면적이 177.46 ha이다. 지구 옆으로 삽교천이 흐르고 있으며 용수는 예당용수간선으로 공급받는 구역이며, 지구내로 대전-당진간 산업도로가 건설될 예정이다.

2) 지구의 사업 평면도

본 지구의 사업 평면도는 그림 3.14와 같다.

3) 지구의 토질특성

본 지구는 삽교천의 범람으로 풍부한 양분을 공급받으며 생성된 사질성 세립분을 많이 함유한 구역이다. 입도분포는 아주 양호하며,  $D_{10}$ 이 0.015mm,  $D_{30}$ 이 0.03mm,  $D_{60}$ 이 0.15mm이고 균등계수( $C_u$ )가 10.0, 곡률계수( $C_g$ )가 2.5 정도를 나타낸다. 도로부를 이루는 흙은 주로 통일분류상 SM에 속하는 흙으로 다짐이 양호한 흙이다.

가) 입도분포

용리지구의 입도분포는 그림 3.15에 나타나 있다. 통일분류상 SM에 속하는 입도가 양호한 흙으로,  $D_{10}$ 이 0.015mm,  $D_{30}$ 이 0.03mm,  $D_{60}$ 이 0.15mm이고 균등계수( $C_u$ )가 10.0, 곡률계수( $C_g$ )가 2.5 정도를 나타낸다.

입도분포가 양호하므로 성토용 흙으로 사용할 경우에는 다짐이 아주 잘 될 것으로 추정된다.

# 용리지구 평면도

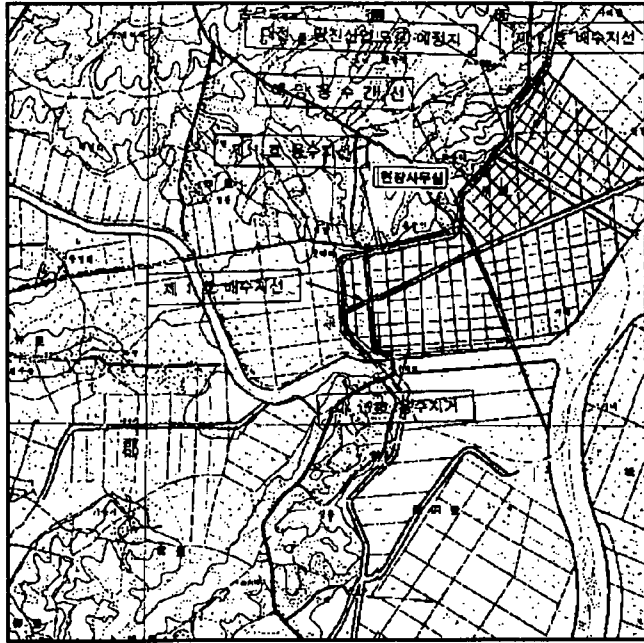


그림 3.14 용리지구 경지정리 사업 계획 평면도

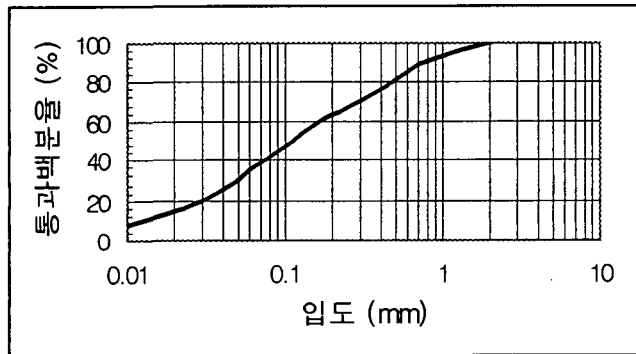


그림 3.15 용리지구의 입도분포 곡선

나) 물리적 특성

용리지구 흙의 자연함수비는 10.4%정도이며, 비중은 2.60, 액성한계는 32.7%, 소성한계는 26.0%로 소성지수(PI)가 6.7%인 저소성 흙으로, 자연상태의 함수비가 소성한계보다 낮아 아주 단단한 성질을 보인다. 또, 컨시스턴스 특성을 검토하기 위하여 각 지수를 구하면 액성지수(LI)는 -2.60, 컨시스턴스 지수(CI)는 3.60정도로 과압밀되고 안정된 단단한 흙의 특성을 보였다.

다) 전단특성

용리지구의 전단특성을 검토하기 위하여 불교란시료를 채취하여, 직접전단시험에 의하여 응력-변형을 곡선을 도시하고, 이로부터 점착력과 내부마찰각을 산출하였다. 점착력은  $0.053 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 내부마찰각은  $36.1^\circ$ 를 나타내었다.

그림 3.16은 용리지구의 직접전단시험에서 나타난 응력-변형을 곡선이다.

또한, 용리지구의 일축압축강도는  $1.32 \text{ kgf/cm}^2$ 정도로 나타났다.

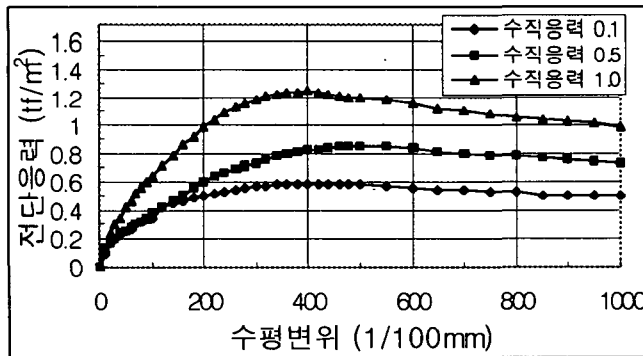


그림 3.16 용리지구의 응력-변형을 곡선

마. 경상북도(상주시 낙동지구)

1) 지구 현황

본 지구는 경북 상주시 낙동면 낙동리 일원의 평야지대로, 구역면적은 102.30 ha, 물리면적이 88.95 ha이다. 지구의 말단부는 낙동강과 인접하며, 지구는 상단부의 산에서 풍화된 흙이 하천을 따라 흘러들어 퇴적된 비옥한 토양으로 구성되어 있다.

2) 지구의 사업 평면도

본 지구의 사업 평면도는 그림 3.17와 같다.

## 낙동지구 위치도

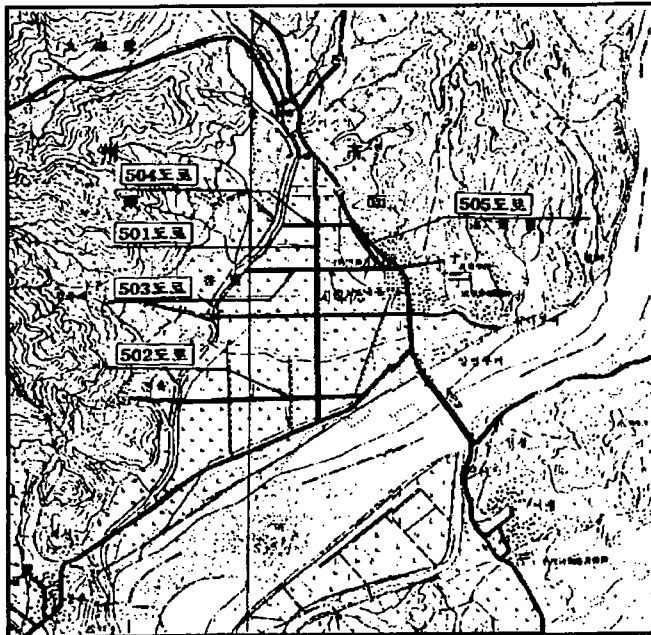


그림 3.17 낙동지구의 경지정리사업 계획 평면도

### 3) 지구의 토질특성

본 지구는 상류층의 화강암이 풍화된 흙이 퇴적되어 형성된 산간지 평야 지대로 비교적 조립성 사질분을 많이 함유한 구역이다. 입도분포는 불량하며,  $D_{10}$ 이 0.093mm,  $D_{30}$ 이 0.17mm,  $D_{60}$ 이 0.27mm이고 균등계수( $C_u$ )가 2.9, 곡률계수( $C_g$ )가 1.2정도를 나타낸다.

#### 가) 입도분포

낙동지구의 입도분포는 그림 3.18에 나타나 있다. 통일분류상 SP에 속하는 입도가 불량한 흙으로,  $D_{10}$ 이 0.093mm,  $D_{30}$ 이 0.17mm,  $D_{60}$ 이 0.27mm이고 균등계수( $C_u$ )가 2.9, 곡률계수( $C_g$ )가 1.2 정도를 나타낸다.

입도분포가 불량하므로 성토용 흙으로 사용할 경우에는 다짐은 어느 정도 할 수 있으나, 배수에 문제가 있을 것으로 추정된다.

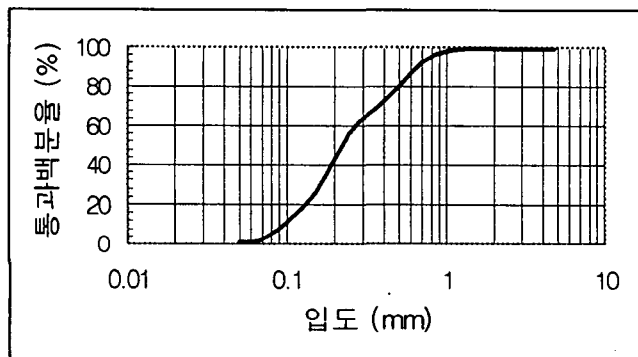


그림 3.18 낙동지구의 입도분포 곡선

#### 나) 물리적 특성

낙동지구 흙의 자연함수비는 17.5%정도이며, 비중은 2.57, 액성한계는

32.4%, 소성한계는 22.0%로 소성지수(PI)가 10.4%인 저소성 흙으로, 자연상태의 함수비가 소성한계보다 낮아 아주 단단한 성질을 보인다. 또, 컨시스턴시 특성을 검토하기 위하여 각 지수를 구하면 액성지수(LI)는 -0.44, 컨시스턴시 지수(CI)는 1.44정도로 과압밀되고 안정된 단단한 흙의 특성을 보였다.

#### 다) 전단특성

낙동지구의 전단특성을 검토하기 위하여 불교란시료를 채취하여, 직접전단시험에 의하여 응력-변형을 곡선을 도출하고, 이로부터 점착력과 내부마찰각을 산출하였다. 점착력은  $0.026 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 내부마찰각은  $34.2^\circ$ 를 나타내었다.

그림 3.19은 낙동지구의 직접전단시험에서 나타난 응력-변형을 곡선이다.

또한, 낙동지구의 일축압축강도는  $2.35 \text{ kgf/cm}^2$ 정도로 나타났다.

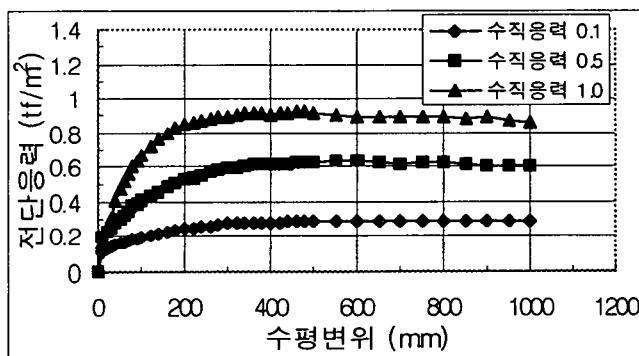


그림 3.19 낙동지구의 응력-변형을 곡선



바. 경상남도(합안군 봉성지구)

1) 지구 현황

본 지구는 경남 합안군 성안면 봉성리 일대의 봉성지구로, 구역면적은 111.96 ha, 물리면적이 100.50 ha이다. 지구는 함안천에 인접하며 주로 화강토 성분의 흙이 하천을 따라 퇴적된 비옥한 토양으로 구성되어 있다.

2) 지구의 사업 평면도

본 지구의 사업 평면도는 그림 3.20과 같다



그림 3.20 봉성지구 경지정리사업 계획 평면도

### 3) 지구의 토질특성

본 지구는 상류층의 화강암이 풍화된 흙이 퇴적되어 형성된 산간지 평야 지대로 비교적 조립성 사질분을 많이 함유한 구역이다. 입도분포는 불량하며,  $D_{10}$ 이 0.093mm,  $D_{30}$ 이 0.17mm,  $D_{60}$ 이 0.27mm이고 균등계수(Cu)가 2.9, 곡률계수( $C_g$ )가 1.2정도를 나타낸다.

#### 가) 입도분포

봉성지구의 입도분포는 그림 3.21에 나타나 있다. 통일분류상 SP에 속하는 입도가 불량한 흙으로,  $D_{10}$ 이 0.085mm,  $D_{30}$ 이 0.13mm,  $D_{60}$ 이 0.28mm이고 균등계수(Cu)가 3.3, 곡률계수( $C_g$ )가 0.71 정도를 나타낸다.

입도분포가 불량하므로 성토용 흙으로 사용할 경우에는 다짐은 어느 정도 할 수 있으나, 배수에 문제가 있을 것으로 추정된다.

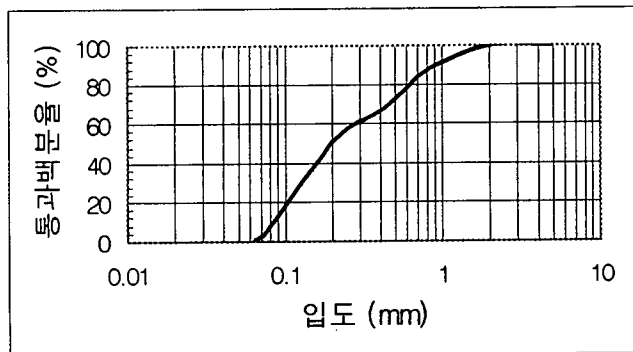


그림 3.21 봉성지구의 입도분포 곡선

나) 물리적 특성

봉성지구 흙의 자연함수비는 40.6%정도이며, 비중은 2.59, 액성한계는 39.7%, 소성한계는 27.4%로 소성지수(PI)가 12.3%인 저소성 흙으로, 상태의 함수비가 소성한계보다 낮아 아주 단단한 성질을 보인다. 또, 컨시스턴시 특성을 검토하기 위하여 각 지수를 구하면 액성지수(LI)는 1.07, 컨시스턴시 지수(CI)는 -0.07정도로 과압밀되고 안정된 단단한 흙의 특성을 보였다.

다) 전단특성

봉성지구의 전단특성을 검토하기 위하여 불교란시료를 채취하여, 직접전단시험에 의하여 응력-변형을 곡선을 도시하고, 이로부터 점착력과 내부마찰각을 산출하였다. 점착력은  $0.043 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 내부마찰각은  $18.5^\circ$ 를 나타내었다.

그림 3.22은 봉성지구의 직접전단시험에서 나타난 응력-변형을 곡선이다.

또한, 봉성지구의 일축압축강도는  $0.60 \text{ kgf/cm}^2$ 정도로 나타났다.

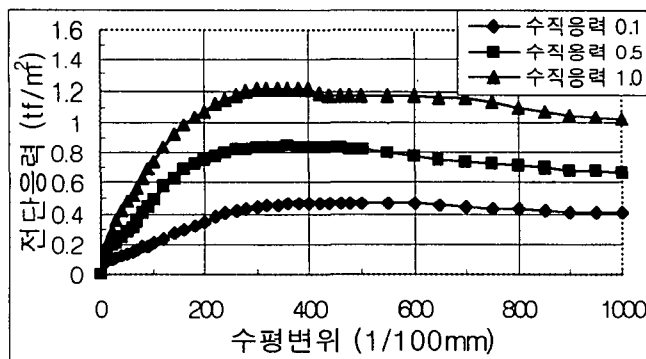


그림 3.22 봉성지구의 응력-변형을 곡선

사. 경기도(평택시 고잔지구)

1) 지구 현황

본 지구는 경기도 평택시 청북면 일대의 고잔지구로서, 구역면적은 6.73 ha, 물리면적이 5.53 ha의 소규모 지역이다. 본 지구는 소규모 지역이 산재하여 있으며, 지대가 비교적 낮고 세립성분이 많고 비옥한 토양로 구성되어 있다.

2) 지구의 사업 평면도

본 지구의 사업 평면도는 그림 3.23과 같다.

## 고잔지구 평면도

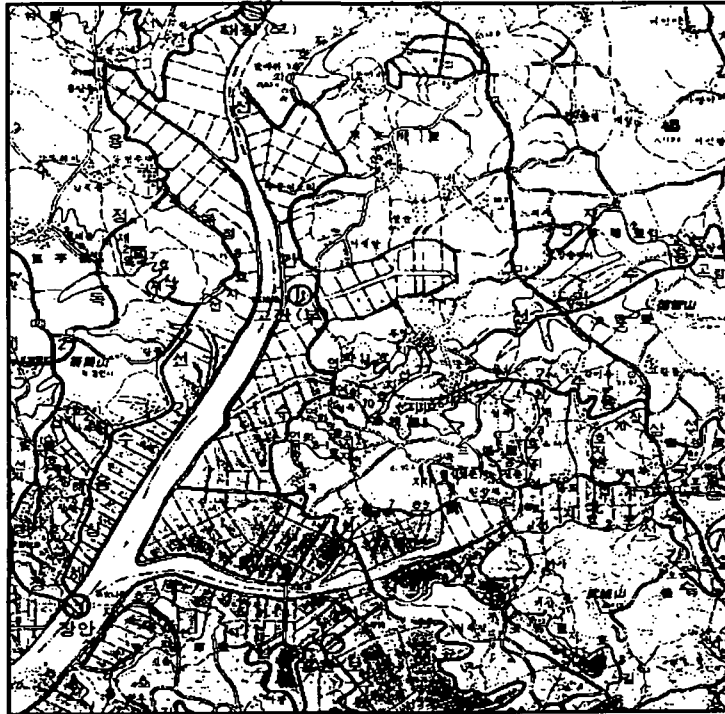


그림 2.23 고잔지구 경지정리사업 계획 평면도

### 3) 지구의 토질특성

본 지구는 퇴적되어 형성된 평야지대로 세립분이 위주로 구성된 구역이다. 입도분포는 아주 불량하며,  $D_{10}$ 이 0.001mm,  $D_{30}$ 이 0.018mm,  $D_{60}$ 이 0.1mm이고 균등계수( $C_u$ )가 100.0, 곡률계수( $C_g$ )가 0.31정도를 나타낸다.

#### 가) 입도분포

고잔지구의 입도분포는 그림 3.24에 나타나 있다. 통일분류상 CL에 속하는 입도가 불량한 흙으로,  $D_{10}$ 이 0.001mm,  $D_{30}$ 이 0.018mm,  $D_{60}$ 이 0.1mm이고 균등계수( $C_u$ )가 100.0, 곡률계수( $C_g$ )가 0.31 정도를 나타낸다.

입도분포가 불량하므로 성토용 흙으로 사용할 경우에는 많은 문제가 있을 것으로 추정된다.

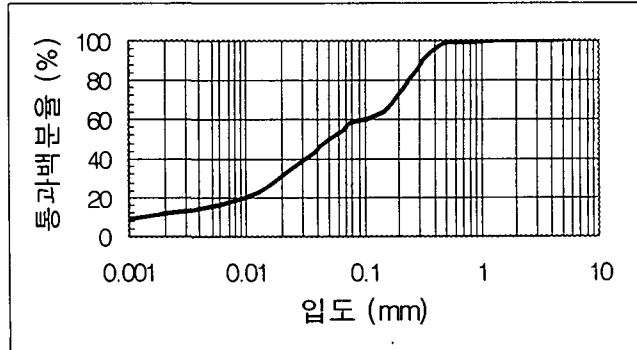


그림 3.24 고잔지구의 입도분포 곡선

나) 물리적 특성

고잔지구 흙의 자연함수비는 25.1%정도이며, 비중은 2.69, 액성한계는 36.3%, 소성한계는 20.9%로 소성지수(PI)가 15.4%인 중간 정도의소성.2가지는 흙이다. 또, 컨시스턴시 특성을 검토하기 위하여 각 지수를 구하면 액성지수(LI)는 0.27, 컨시스턴시 지수(CI)는 0.73정도로 과압밀되고 단단한 흙의 특성을 보였다.

다) 전단특성

고잔지구의 전단특성을 검토하기 위하여 불교란시료를 채취하여, 직접전단시험에 의하여 응력-변형을 곡선을 도시하고, 이로부터 점착력과 내부마찰각을 산출하였다. 점착력은  $0.031 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 내부마찰각은  $14.8^\circ$ 를 나타내었다.

그림 3.25는 고잔지구의 직접전단시험에서 나타난 응력-변형을 곡선이다.

또한, 고잔지구의 일축압축강도는  $0.84 \text{ kgf/cm}^2$ 정도로 나타났다.

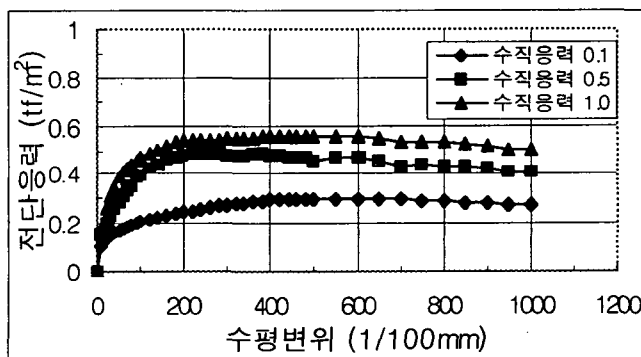


그림 3.25 고잔지구의 응력-변형을 곡선

아. 강원도(철원군 청양지구)

1) 지구 현황

본 지구는 강원도 철원군 김화읍 청양리 일대의 청양지구로서, 구역면적은 139.6 ha, 물리면적이 139.6 ha인 지구이다.

2) 지구의 사업 평면도

본 지구의 사업 평면도는 그림 3.26과 같다.

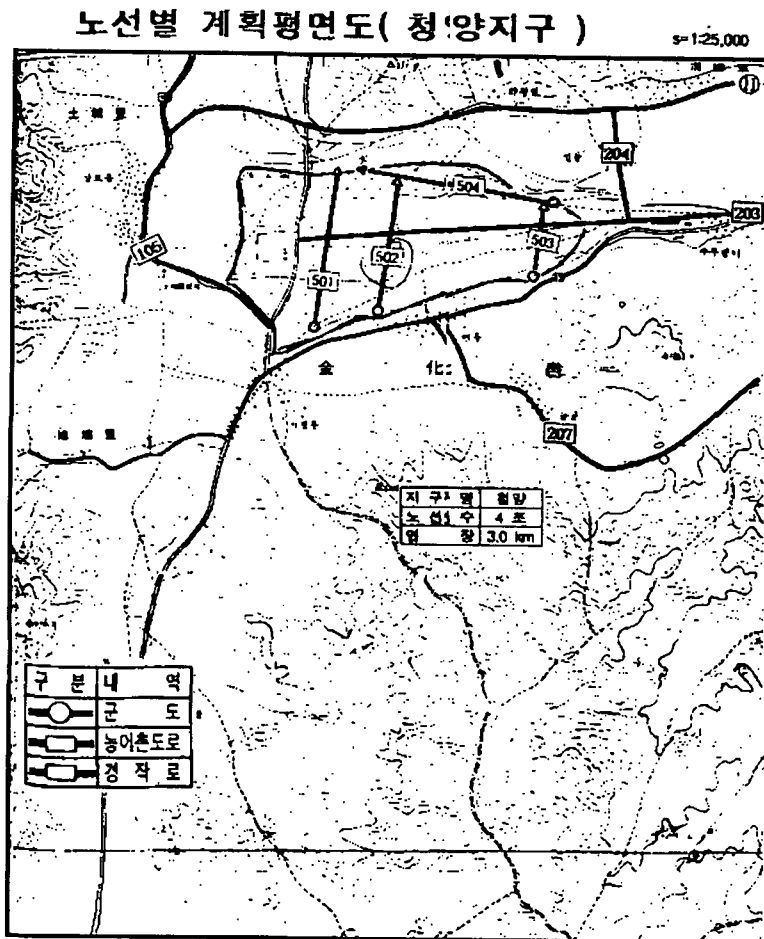


그림 3.26 청양지구 경지정리사업 계획평면도

### 3) 지구의 토질특성

본 지구는 산간지에 형성된 평야지대로 조립분이 위주로 구성된 구역이다. 입도분포는 비교적 양호하며,  $D_{10}$ 이 0.01mm,  $D_{30}$ 이 0.2mm,  $D_{60}$ 이 0.6mm이고 균등계수(Cu)가 60.0, 곡률계수(Cg)가 0.15정도를 나타낸다.

#### 가) 입도분포

청양지구의 입도분포는 그림 3.27에 나타나 있다. 통일분류상 SC에 속하는 입도가 양호한 흙으로,  $D_{10}$ 이 0.01mm,  $D_{30}$ 이 0.2mm,  $D_{60}$ 이 0.6mm이고 균등계수(Cu)가 60.0, 곡률계수(Cg)가 0.15 정도를 나타낸다.

입도분포가 양호하여 성토용 흙으로 사용할 경우에는 다짐, 투수 등에 적당할 것으로 판단된다.

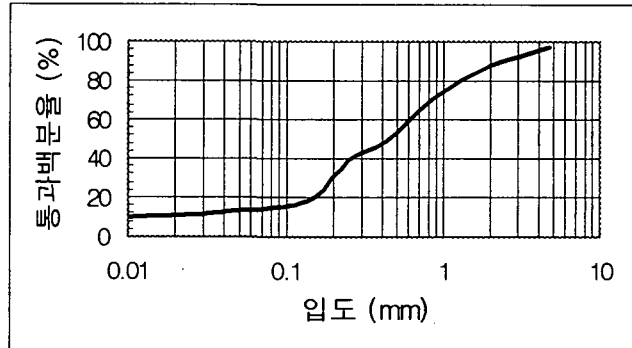


그림 3.27 청양지구의 입도분포 곡선



나) 물리적 특성

청양지구 흙의 자연함수비는 25.1%정도이며, 비중은 2.69, 액성한계는 28.4%, 소성한계는 20.9%로 소성지수(PI)가 9.3%인 중간 정도의 소성을 가지는 흙이다. 또, 컨시스턴시 특성을 검토하기 위하여 각 지수를 구하면 액성지수(LI)는 0.11, 컨시스턴시 지수(CI)는 0.89정도이다.

다) 전단특성

청양지구의 전단특성을 검토하기 위하여 불교탄시료를 채취하여, 직접전단시험에 의하여 응력-변형을 곡선을 도시하고, 이로부터 점착력과 내부마찰각을 산출하였다. 점착력은  $0.069 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 내부마찰각은  $38.0^\circ$ 를 나타내었다.

그림 3.28은 청양지구의 직접전단시험에서 나타난 응력-변형을 곡선이다.

또한, 청양지구의 일축압축강도는  $1.05 \text{ kgf/cm}^2$ 정도로 나타났다.

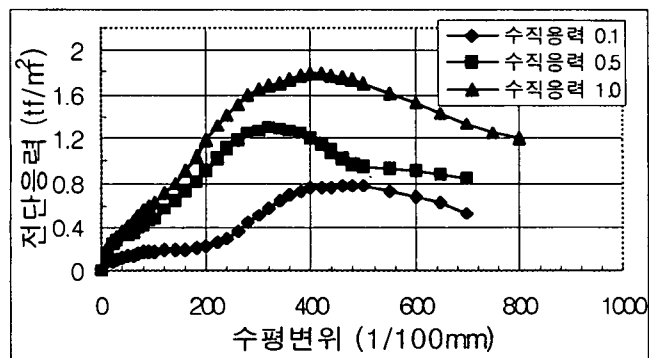


그림 3.28 청양지구의 응력-변형을 곡선

## 제 4 절 연약지반처리 공법의 개발

본 절에서는 경작지의 특성에 따라 크게 두가지 방향으로 공법을 소개하고자 한다. 우선 비교적 지반이 양호한 경우에는 고화재 등을 이용하여 천층처리하는 공법을 추천한다. 이 방법은 시공이 간단하고 차후 연결되는 표층의 시공과도 밀접한 관계를 가지게 된다. 또 다른 방법은 Geocell 또는 Geoweb를 이용한 방법을 추천한다. 이 방법은 고가인 만큼 초연약지반에 간단하게 안정하게 상부의 하중을 지지할 수 있는 장점을 가지게 된다. 그러나 이 방법을 사용할 경우에는 사전에 충분한 시공지식과 지지원리 등을 주지하여 시공에 세심한 주의를 요하게 된다. 또 이 방법은 Geocell을 부설하지 못할 정도로 연약한 경우에는 지면에 Geotextile을 부설하고 그 위에 Geoweb나 Geocell을 설치하여 사용할 수도 있다. 그러나, 토질조사 결과 전국의 기계화 경작로 포장구간에는 이 정도로 연약한 지반은 없는 것으로 나타났다. 이는 토공단면을 조성하는 과정에 치환 등의 방법에 의하여 이미 연약지반이 많이 개량되었으며, 토공단면 조성 후 약 1년정도의 방치기간을 두고 포장을 시공하기 때문에 지반에 상당한 수준까지 좋아진 것으로 판단된다. 그러나, 차후 경지정리의 과정이 달라지는 경우에는 현재의 방법을 탈피하여 지반조성과 도로형성 및 포장이 동시에 이루어지는 경우에는 이러한 병용방법에 대해서도 검토가 있어야 할 것이다.

### 1. 천층처리 공법

최근 국내의 협소한 국토사정으로 임해연약지대나 각지의 특수토 지대에서도 토지이용도를 높여서 각종 건설공사가 수행되고 있거나 수행되고 있다. 이러한 연약지대의 공사를 가능케 하는 것은 새로운 연약지반 처리공법에 의해서만 가능하다. 따라서, 새로운 처리공법이 각종 문헌 또는 연구는

문, 시공실적 등에서 소개되고 있다. 그러나, 그 중에는 상당한 부분이 아직 검증이 되지 못하고 시험시공의 수준이 이르는 공법도 소개되고 있다. 하지만, 그 원리를 보면 토질공학을 전공하였거나 전공한 기술자가 쉽게 이해할 수 있는 내용이다 또한, 같은 공법이라도 토질조건과 시공조건, 기대 효과에 따라서 그 방법이 다양하게 적용될 수 있는 것이다. 주로 요구되는 목적을 보면 지지력 증대이거나 투수성 개선이 주류를 이루고 있으며, 공법을 원리에 따라 분류하면 다음과 같다.

#### 가. 입도조정

이 방법은 양질의 자갈, 쇄석 등의 재료를 연약한 지반에 혼합하여 지지력을 개선하는 방법이다. 자갈길의 보수나 노상, 노반재 등 옛부터 이용되어 온 직접적이고 가장 기본적인 안정처리 방법이다.

#### 나. 함수량 조정

흙의 간극수를 탈수 또는 감소시킴으로써 강도의 증가를 꾀하는 방법이다. 고풍수 점성토를 공기를 혼입하여 건조시키는 방법, 지하수위를 저하시키는 방법 또는 간극수를 냉동·고화시키는 동결공법도 이 범주에 포함된다.

#### 다. 다짐

- 밀도가 크고 잘 다져진 흙은 지지력이 크고 투수성이 작아진다. 로울러 전압 등 기계력에 의한 다지기는 보통 많이 사용되고 또 초연약 점성토의 비교적 표층부의 압밀축진을 위하여 대기압 공법이 사용될 수도 있다.

#### 라. 혼입재 혼합

이 방법은 주로 흙과 생석회의 화학반응을 이용하여 지지력의 증대를 꾀하는 방법이다. 혼입재로서는 소석회, 생석회, 시멘트류, 아스팔트류가 사용되고, 근래에는 수지 등의 공장 폐기물의 이용도 시도되고 있다. 이 중 특히 석회류는 옛부터 건축재로서 이용되어 온 외에 도로노반이나 표층부의 개량에도 사용되어 오고 있다.

#### 마. 치환

위에서 언급한 방법은 원위치에서 토성의 개선을 꾀하는 것이 주체이지만, 대상지반이 극히 연약할 경우에는 연약토를 굴착·제거하여 양질의 재료로 치환하는 방법이 사용된다. 그러나, 이 방법은 대규모 공사인 경우에는 경제성, 시공상의 어려움이 있다.

#### 바. 네트공법

이 방법은 연약지반의 표층부근에 부설재나 보강재를 포설, 설치하여 토사를 덮을 때 불균일한 함몰을 방지하거나 지반의 과소한 지지력을 보충하는 방법으로, 옛날 이탄지나 간척지 등에 사용된 깔짚나무나 뗏목공법과 원리는 같다. 특히, 최근에 조상된 간척지나 초연약지, 준설토, 매립층인 경우에는 중장비의 주행성(trafficability)을 확보하기 위하여 상부에 모래 등을 부설하고 그 위에 시트를 부설하는 방법을 사용하기도 한다.

## 2. Geocell(또는 Geoweb)을 이용하는 방법

### 가. 개요

지반의 지지력 향상을 위하여 종래의 마찰력, 다공조직, 얽힘 조직의 원리를 이용한 섬유나 망 형태의 토목 섬유를 이용하는 것보다는 지반 보강재가 토양을 수용할 수 있는 복합 구조체를 사용할 경우 월등히 큰 효과를 얻을 수 있다.

이러한 복합구조체는 입상토(granular soil)의 전단 강도를 현저하게 향상시킬수 있다는 사실이 3축 전단시험 등을 통해 입증된 바 있으며 흙을 구속시킴으로써 전단 강도가 증가하여 상당한 지지력이 발생된다.

미공병단(C.O.E)의 수로 시험소(web)에서 수많은 구속 시스템이 시험되어졌는데, 모래를 짙은 플라스틱 파이프에 넣어 다발로 묶어 세우는 방법으로 시작하여 알루미늄 다공판으로 만든 입체적 셀(cell) 방식을 거쳐 샌드그리드(sand grid)나 지오웹(geoweb)라 불리는 조립식 고분자 화합물의 시스템을 이루기까지 많은 시험과 연구가 행하여 졌다.

이러한 시스템은 최근 폭 20cm, 두께 약 1.2mm의 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)의 띠로 만들어지고 있다. 이 지오웹 시스템은 20cm 폭을 따라서 약 33cm의 간격으로 초음파 용접되어 만들어지며, 접은 형태로 되어 있어 현장에서의 운반 및 설치가 용이하게 되어 있다.

현장에서는 geoweb를 아코디안과 같은 모양으로 펼쳐서 노상토에 바로 설치한다.

이 시스템을 사용하여 주행 실험을 한 결과, 24 ton의 탠덤 축 하중이 10,000회를 통과하였을 때 약간의 바퀴 자국이 남았을 뿐이다. 이 시스템이 없을 경우 똑같은 트럭으로 10회 통과하였을 때 28cm 깊이의 바퀴자국이 생겨서, 바퀴가 빠져 버렸다.

### 나. 공법의 원리

정적 하중하의 얇은 기초의 지지력 해석에 사용되는 재래의 소성한계에 서의 역학적 평형원리(equilibrium mechanism)를 적용해 보면 그 파괴 성향은 개개의 셀의 역할에 의해 저지된다. 그림 3.29는 이 시스템의 파괴양상을 도시한 그림이다. (a)는 셀이 없는 경우에 발생하는 파괴형태이며, (b)는 셀에 의하여 측방향 구속력이 지지되므로 지지력의 증가를 나타내는 메카니즘을 나타낸다. 이러한 파괴가 일어나면 그림 (b)에서 보는 바와 같이 특정 셀내의 모래는 우선 셀 벽에서 발생하는 마찰력을 극복하여 관입 전단 파괴를 일으켜, 셀을 벗어나 매트리스의 하단 아래로 모래를 밀어내어야 한다.

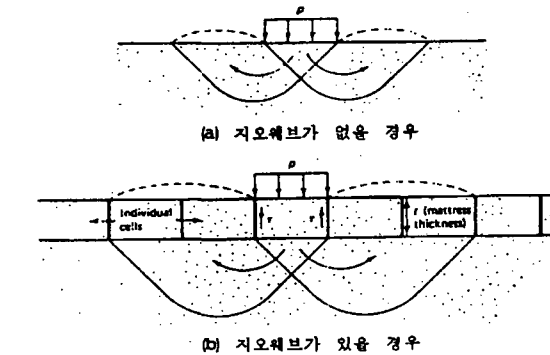


그림 : 지오셀브 구속 시스템이 있을때와 없을때의 지지력 비교

그림 3.29 Geocell system의 파괴형태

그러나 이러한 지지력의 파괴는 상재 하중의 양적 효과(positive effect)와 셀의 모래의 밀도가 조밀하여 짐으로써 억제된다.

이와 관련된 지지력은 다음과 같다.

① 매트리스(mattress)가 없을 경우

$$P = c \cdot N_c \cdot \zeta_c + q \cdot N_q \cdot \zeta_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_r \cdot \zeta_r$$

② 매트리스가 있을 경우

$$P = 2 \cdot \tau + c \cdot N_c \cdot \zeta_c + q \cdot N_q \cdot \zeta_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_r \cdot \zeta_r$$

여기서, P는 극한 지지력, C는 점착력, q는 상재하중 (=  $\gamma_q D_q$ ),  $\gamma_q$ 는 지오셀내의 흙의 자중,  $D_q$ 는 지오셀의 높이, B는 하중이 작용하는 시스템의 폭,  $\gamma$ 는 파괴 영역내의 흙의 단위 중량,  $N_c, N_q, N_r$ 는 지지력 계수 ( $\phi$ 의 방정식인데,  $\phi$ 는 흙의 마찰각),  $\zeta_c, \zeta_q, \zeta_r$ 는 형상계수,  $\tau$ 는 지오셀 벽과 그안에 구속된 흙간의 전단강도 (=  $\sigma_h \tan \delta$  (입상토에 대하여)),  $\delta_h$ 는 지오셀 내의 평균 수평하중 (=  $pK_a$ ), P는 연직압력,  $K_a$ 는 Rankin의 주동 토압 계수 (=  $\tan^2(45 - \theta/2)$ ),  $\delta$ 는 흙과 CELL벽 재료사이의 전단 저항각도 (= 모래와 HDFE와 15~20°, 모래와 부직포와는 25~35°)를 의미한다.

다음 그림 3.30은 셀이 있는 없는 경우와 있는 경우의 지지력을 비교한 것이다. (a)는 지오셀이 없는 경우, (b)는 30 cm의 지오셀이 설치된 경우에 대하여 모래의 극한 지지력을 비교한 것이다. 사용된 흙의 단위중량은 16 kN/m<sup>3</sup>이고, 내부마찰각은 27° 이라면 각각의 지지력을 구하면 다음과 같다.

(a) Geocell이 없는 경우

$$\begin{aligned} P &= c \cdot N_c \cdot \zeta_c + q \cdot N_q \cdot \zeta_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_r \cdot \zeta_r \\ &= 0 + 0 + (0.5)(16)(0.3)(14.47)(0.6) \\ &= 20.84 \text{ kPa} \end{aligned}$$



(a) Geocell이 없는 경우 (b) Geocell이 있는 경우

그림 3.30 Geocell이 작용하는 지반 조건

(b) Geocell이 있는 경우

$$\begin{aligned}
 P &= 2 \cdot \tau + c \cdot N_c \cdot \zeta_c + q \cdot N_q \cdot \zeta_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot \zeta_\gamma \\
 &= (2)(20)(\tan 18^\circ) + 0 + (0.2)(16)(13.2)(1.51) \\
 &\quad + (0.5)(16)(0.3)(14.47)(0.6) \\
 &= 97.62 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

따라서, 위의 계산에서 확인할 수 있듯이 Geocell의 설치로 인하여 약 5배의 지지력 증가를 보이게 되므로 초연약지반에서도 사용이 가능할 것으로 사료된다.

$$\begin{aligned}
 P &= c \cdot N_c \cdot \zeta_c + q \cdot N_q \cdot \zeta_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot \zeta_\gamma \\
 &= 0 + 0 + (0.5)(16)(0.3)(14.47)(0.6) \\
 &= 20.84 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= c \cdot N_c \cdot \zeta_c + q \cdot N_q \cdot \zeta_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot \zeta_\gamma \\
 &= 0 + 0 + (0.5)(16)(0.3)(14.47)(0.6) \\
 &= 20.84 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$



#### 다) 공법의 특징

이 상에서 언급한 본 공법의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- (1) geocell의 사용으로 상당한 지내력의 향상을 기할 수 있다.
- (2) 지지력의 향상은 geocell의 깊이가 클수록 비례한다.
- (3) geocell을 사용할수록 위의 예보다 더 많은  $\delta$ 값을 얻을 수 있다.
- (4) 지지력 향상은 밀도가 증가할수록 비례하여 증가한다.
- (5) 지오셀 시스템 아래에 작용하는 모래의 동적 효과와 차량의 움직임으로 인한 원위치에서의 점진적인 부상(lifting up)현상은 고려되지 않았다. 이것에 대한 수량적 해석방법은 아직 제시된바 없다.
- (6) 위의 해법은 정적 지지력에 관한 것이기 때문에 건물 기초나, 제방, 흙 댐, 옹벽 같은 구조물에는 잘 적용된다.
- (7) 기초조건이나 되메우기의 방법에는 점착력이 없는 흙을 사용하여서는 안된다.
- (8) Geocell system을 사면안정 공법에 적용하는 것은 흥미있는 일이나 분석이 매우 어렵다.

#### 라) 기존의 연약지반 개량공법과의 비교

전통적인 연약지반 처리방법은 먼저 ①연약 지반을 제거, ②연약지반을 선택층으로 치환, ③사전재하에 대한 압밀 촉진 공법(경우에 따라 WICK DRAIN과 병행하여 시행)하거나, ④파일 공법, 또는 ⑤도로의 선형을 변경하여 연약지반을 처리하는 것이 일반적이다.

대안으로는 지오텍스타일 혹은 지오그리드 등을 사용하는데, 이 목적은 ①연약 지반상의 보강성토, ②분리, ③보강, ④지반안정, ⑤인장 보강 등이다.

마) 기계화 경작로에서의 토목섬유의 기능

특히, 본 연구의 주안점이 기계화 경작로의 포장이므로 도로 등에서 토목섬유나 Geocell의 기능은 다음과 같다.

#### (1) 분리 기능

노상 상부나 보조기층재 상단에 설치된 토목섬유 등은 세립토가 간극으로 이동함에 따라 골재가 노상에 침투하는 것을 방지하며, 보조기층재가 기층으로 관입하는 것을 방지한다. 따라서, 지반의 강도저하, 유효단면의 감소 등을 억제하는 지반 또는 포장체의 내구성을 증진한다.

또, 토목섬유 등은 상부의 급격한 재하중에 의한 연약지반 또는 하층에 가해지는 압력에 의해 세립토가 이동하여 과도한 간극압력(PORE PRESSURES)의 발생을 방지하며, 발생된 과잉 간극수압을 분산시키거나 포화된 지반으로부터 배제하는 역할을 한다. 이로서, 지반의 마찰 저항과 골재의 지지력의 상실을 방지하는 역할을 하게 된다.

그림 3.8은 지반에 설치된 토목섬유의 분리기능을 나타낸 것이다.

#### (2) 수평 보강 기능

수평방향으로 구속되지 않은 기층재 혹은 표층재가 골재의 전단 강도 저하에 의해 국부지지력 파괴(SHOVING)를 일으키게 된다. 그 결과, 표층의 파괴와 포장 단면의 유효 두께를 감소시킨다. 토목 섬유나 지오그리드의 효율적 적용을 위하여서는 그 설치 위치가 치명적인 요인이 될 수 있다. 토목섬유는 이러한 수평방향으로 구속하여 보강기능을 하게 된다.

### (3) 지반의 안정

노상토에 작용하는 과도한 응력은 국부전단 파괴를 일으키게 되는데, 토목섬유는 국부전단 파괴를 방지하기 위하여 수평, 수직 방향으로 억제시킨

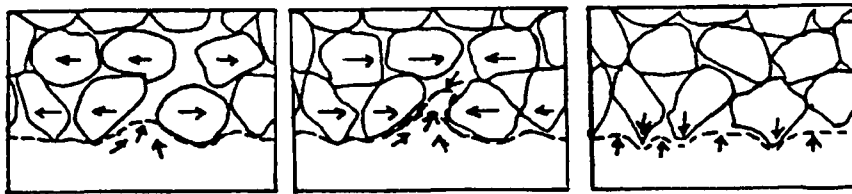
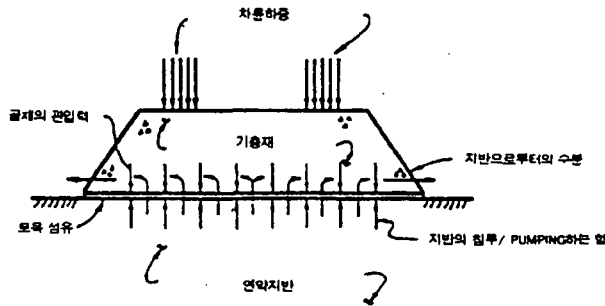


그림 3.31 지반 분리 기능에 있어서의 토목섬유에 미치는 힘

다. 이러한 전단 파괴는 지반의 안정성을 지배한다. 특히, 지오셀은 지반의 응력을 감소시키고, 표층재의 전단 파괴를 방지한다.

### (4) 인장 보강 효과

차륜의 주행 부위 아래의 노상토의 압밀은 지반의 영구적 변형을 일으킴으로써 침하된 부분은 수분을 모으게 되고 강도를 잃게 되어 완전히 파괴될 때까지 바퀴자국이 계속되게 된다.

상대적으로 고강도의 토목 섬유는 바퀴자국이 생긴 부분을 연결하여 수직변위에 대한 인장 저항력을 확보하여 준다. 그러나, 인장 보강재는 인장력을 발휘하기까지 상당한 진행이 발생하게 된다.

지오셀은 사전에 바퀴자국을 발생시키지 않고 지반의 변형에 대한 저항력을 확보하여 준다.

바) 기계화 경작로에서의 Geocell의 기능

- (1) 후프 강도 (HOOP STRENGTH)와 인접 셀의 수동반력에 의한 채움재의 하중-변형의 성능개선.
- (2) 하중 분포를 향상시켜 최소 변형과 고강도의 강성(HIGH FLEXURAL STIFFNESS)의 확보.
- (3) 셀벽의 전단 저항력에 의한 연약지반에서의 입상재의 지지력 개선.
- (4) 표층 가까이에서의 불량한 채움재의 사용을 가능케 한다.
- (5) 동하중(dynamic loading)에서의 입상재의 횡방향의 변위를 방지한다.
- (6) 운반, 설치에 용이함-입상재의 취득이 불가능하거나 비싼 지역에서 특히 경제적이다. (해안 매립지, 산간 도서 등 벽지, 도심지 등)

## 제 5 절 요약 및 결론

본 절에서는 기계화 경작로 포장구간의 연약지반을 처리하기 위하여 각 지구별로 경작로의 토질특성을 조사·분석하였으며, 나아가 이를 바탕으로 경작로에 적합한 처리공법을 제시하였다.

본 절에서 연구하고 검토된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 최근 연약지반에 적용되는 공법을 원리별로 요약하여, 기계화 경작로의 지반처리공법으로 활용할 수 있도록 정리하였다.
2. 기 시공된 대규모 경지정리 지구를 대상으로 기계화 경작로의 토질을 조사하였으며, 이를 바탕으로 각 지역별 경작로 토질특성을 분석하였다.
3. 전남·북 지역의 토질은 주로 서해안에 연하여 상류의 토사가 운반되어 퇴적되어 형성된 대규모 평야지대를 이루고 있으며, 입도는 세립분이 많고 강도가 낮아 성토 또는 도로 노상의 재료로는 부적합하다. 따라서, 기건설된 기계화 경작로의 대부분은 인근에서 채취하여 성토한 것으로 나타났으며, 통일분류상 SC에 속하는 흙으로 조사되었다.
4. 경남·북 지역의 토질은 주로 산간지에서 풍화된 흙이 하천을 따라 운반되고 퇴적되어 형성된 평야부가 발달한 지역이 많았다. 또한, 사질성분을 많이 함유한 SP 또는 SM에 속하는 흙으로 성토부를 이루고 있어 노상토로 적당한 것으로 나타났다.
5. 충남·북 지역의 토질은 하천을 따라 발달한 비옥한 토양의 평야부가 널리 분포되어 있었다. 논의 토질은 세립분을 함유한 점성토가 주류를 이루고 있으나, 성토부는 인근에서 쉽게 양질의 토사로 치환되어 있어 노상토로 양호한 SM계열의 흙으로 조사되었다.
6. 경기도 지역의 토질은 주로 퇴적되어 형성된 평야부를 구성하고 있어, 입도가 아주 가는 CL 계통의 흙으로 분류되었다. 세립분을 많이 함유하

고 있는 관계로 성토재료로 사용할 경우에는 인근의 양호한 흙으로 치환하거나 지반안정처리를 한 후 시공하는 것이 좋을 것으로 조사되었다.

7. 강원도 지역의 토질특성은 산간지의 풍화토가 퇴적된 곳이 많고 양호한 입도를 가지는 흙으로 조사되었으며, 성토부나 노상토로 적당한 것으로 조사되었다.
8. 기계화 경작로의 토질특성을 바탕으로 경제적으로 시공이 가능한 공법은 옛부터 시공되었던 치환공법이 가장 확실하고 간단한 방법으로 사료된다. 그러나, 주변에서 양토를 저렴하게 쉽게 구득할 수 있는 경우에는 이러한 방법이 효과적이거나 아주 연약하고 양토를 쉽게 구할 수 없는 곳에서는 Geocell 등을 이용하는 방법을 권장한다.

## 제 4 장 포장재료의 개발

### 제 1 절 서 론

농업의 국제 경쟁력 확보를 위한 농업생산성의 유지 및 증대를 위해서는 우리 나라 농촌의 현실에 맞는 농업기반시설을 갖추는 일이 선행되어야 한다.

특히, 농촌도로는 농촌주민의 일상생활은 물론 농업생산과 유통을 위한 생활 및 생산기반일 뿐만 아니라 농촌지역의 발전을 선도·지원하는 기본적인 사회간접자본이다. 따라서 농촌도로가 얼마나 합리적으로 정비되어 있는가에 따라 농촌주민의 생활 및 생산활동을 위한 교통의 편의도와 그 지역의 공간생활체계가 얼마나 효과적으로 운용되고 있는가를 판단할 수 있을 만큼 중요한 요소가 된다.

그러므로, 우리 나라의 농지정리가 필요한 지역의 경우, 기계화 영농을 위한 충분한 경작로의 확보와 포장 등으로 농업여건을 개선하여야 할 것이다.

이러한 농업기반시설의 정비는 공학적 기술만으로 적용할 수 없으며, 다양한 인자와 환경적·역사적 제한조건을 충족시켜야 하는데, 농업생산성 증대만을 위주로 농업의 환경친화적 기능을 저하하거나, 환경보전적 기능과 역할을 염두에 두지 않은 단편적인 개발을 피하여 온 것 등의 문제점을 안고 있다.

따라서, 본 장에서는 농업생산성의 증대와 환경 보전을 전제로 하는 자연친화적인 기계화 경작로의 포장을 위하여, 경작로의 흙을 기본재료로 하고, 흙의 단점을 보완할 수 있는 고화재, 석탄회, 자갈 등을 혼입하여 자연친화적인 보조기층과 표층 포장재료를 개발하고 이를 현장에 적용하기 위한 기초자료를 수립하는데 그 목적이 있다.

## 제 2 절 보조기층재의 개발

### 1. 개 론

기계화 경작로의 보조기층재는 환경친화적인 재료의 개발에 주안점을 두고서, 현장에 있는 흙을 기본 재료로 하고 내구성 및 강도의 증진을 위한 석탄회(fly ash), 고화재 등을 활용하는 방법을 강구한다.

### 2. 사용 재료

#### 가. 흙

경작로 현장의 흙으로, 포장 전에 채취하여 사용한다.

본 연구에서는 기계화 경작로 포장 시험 지역인 충청북도 청원군 오창면 학소지구와 가곡지구의 경작로 표층의 흙을 사용하였으며, 그 일반적 성질은 표 4.1과 같고 입도분포곡선은 그림 4.1과 같다.

#### 나. 석탄회

석탄회는 화력 발전의 부산물로서 토양개량재로 활용되므로 농작물에 해가 없는 재료이다.

본 연구에 활용한 석탄회는 아산 지역에 있는 화력발전소 부산물을 사용하였으며, 그 물리적, 화학적 특성은 표 4.2와 같다.

표 4.1 General properties of soil used

Specific gravity (20°C)	Atterberg limits			Grain size distribution (passing. %)					Region
	LL, %	PL, %	PI	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	0.005mm	
2.66	36.8	-	12.9	97.6	91.7	82.1	45.9	10.0	가곡
2.40	41.4	29.5	11.9	그림 4.1참조					학소



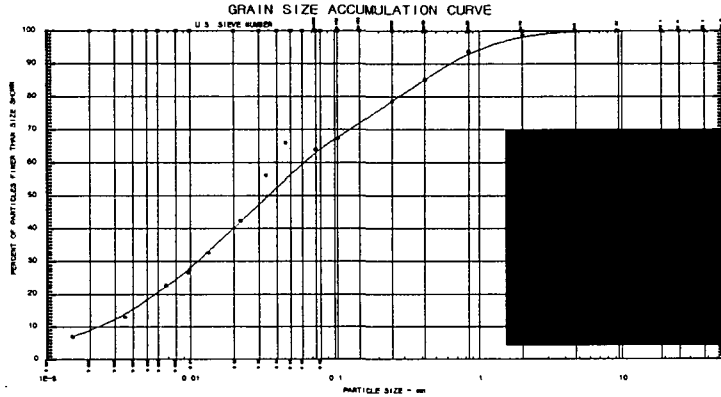


그림 4.1 학소지구 흙의 입도분포 곡선

표 4.2 Physical properties and chemical compositions of FA

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Specific gravity (20°C)	Specific surface	Ig. loss	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
59.9	25.2	2.39	3.152	3.84	1,072

#### 다. 고화재

고화재는 분상의 재료로 팽창성이면서 토양의 입자를 결합하여 땅을 고결시키는 재료로서 사질토, 점성토, 개펄, 산업부산물 등을 유효하게 고화시킨다.

여기에 사용한 고화재는 참여기업인 신보산업(주)에서 생산한 ESC 제품으로, 주원료인 시멘트에 수종의 혼입물을 가한 분상의 재료로 농작물에 피해를 주지 않도록 유해한 물질을 포함하지 않았으며, 필요한 강도를 얻을 수 있는 팽창성 고화재로 수화작용시 에트링자이트를 효과적으로 생성시킨다. 사용한 고화재의 화학성분은 표 4.3과 같다.

표 4.3 Chemical composition of ESC(excellent soil compound)

(Unit:%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig. loss
23.9	8.4	2.2	54.6	2.5	6.6	1.8

### 3. 보조기층재의 특성

보조기층은 표층의 하층을 전달받아 지반에 골고루 분산시켜 주는 역할을 한다. 경작로 보조기층에는 측면 눈에서 수분의 유입이 잘 되지 않도록 하는 것이 좋다.

보조기층의 혼입재로 석탄회와 고화재를 이용하였다. 석탄회는 흙 입자 사이에 골고루 퍼지면 접착력이 증가되면서 고결되므로 강도가 증진하여 지반이 보강된다. 고화재는 수화반응을 통해 흙 입자사이의 접착력을 증가시켜 강도와 내구성의 증진을 위해 사용되었다.

석탄회, 고화재 등을 혼입한 보조기층 포장재료는 필요한 강도와 내구성을 지니도록 배합설계를 한다. 이 혼합토는 배합만 골고루 잘 하면, 숙련된 기술이 없어도 비교적 쉽게 시공할 수 있을 뿐만 아니라 환경오염이 적고, 작물의 생육에도 영향을 주지 않아 농촌의 실정에 적합하다.

### 4. 재료 배합 설계와 시험체 제작

#### 가. 배합 설계

##### 1) 석탄회 혼합토

석탄회를 중량비로 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% 등 6가지 종류로 혼입하여 다짐, 강도, 지지력 등을 시험하여 비교 검토하였다.

## 2) 고화재 혼합토

재료로 사용할 흙의 최적함수비와 다짐의 편의성, 강도 등을 고려하여 최적 배합을 한다. 흙은 노건조 상태의 것을, 자갈은 표면건조포화상태의 것을 사용하였고(자갈의 물리적 특성은 제5절의 표 4.17 참조), 예비실험을 통해 적절한 강도와 내구성 및 경제성을 갖도록 흙, 자갈, 고화재의 양을 변화시킨 15종류의 배합으로 하였으며, 그 배합설계는 표 4.4와 같다.

### 나. 시험체 제작

재료의 혼합은 각 재료들의 특성을 고려하여 흙과 자갈 및 고화재를 잘 섞은 후 물을 혼입하여 혼합하였다.

공시체의 제작은 D-2 Type의 다짐에너지를 고려하여 3층으로 나누어 각 층 사이의 분리가 생기지 않고 충분한 다짐이 되도록 제작하였으며, 제작 즉시 탈형하여 소정의 기간동안  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ , 습도 70%의 실험실에서 기건 양생 하였다.

## 5. 시험방법

혼합토 시험체의 시험은 KS와 BS에 규정된 방법에 따라 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과값으로 하였다.

### 가. 다짐시험

보조기층 시공시 최적의 함수비와 다짐상태를 규명하기 위해 다짐시험을 수행한다.

### 나. 투수시험

사용시 보조기층에 물이 침투되는 정도를 알기 위해서 변수두 투수시험 법에 투수계수를 측정한다.  $\phi 100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 의 시험체를 제작하여 KS F 2322(흙의 투수 시험 방법)에 규정된 방법에 준하여 측정하였다.

표 4.4 Mixing proportions of materials for soil mixed ESC

(Unit : wt.%)

Mix type name	Soil	Coarse aggregate	Excellent soil compound	Water
E <sub>1</sub>	100	0	0	18.70
E <sub>2</sub>	95	0	5	19.00
E <sub>3</sub>	90	0	10	19.30
E <sub>4</sub>	85	0	15	19.50
E <sub>5</sub>	80	0	20	19.60
E <sub>6</sub>	90	10	0	16.83
E <sub>7</sub>	85	10	5	17.10
E <sub>8</sub>	80	10	10	17.37
E <sub>9</sub>	75	10	15	17.55
E <sub>10</sub>	70	10	20	17.64
E <sub>11</sub>	80	20	0	14.96
E <sub>12</sub>	75	20	5	15.20
E <sub>13</sub>	70	20	10	15.44
E <sub>14</sub>	65	20	15	15.60
E <sub>15</sub>	60	20	20	15.68

다. CBR 시험

보조기층재의 다짐강도를 알기 위해서 KS F 2320에 규정된 방법에 의해 수정CBR 시험을 한다

라. 단위중량 및 중량변화 시험

단위중량 시험은 60mm×60mm×240mm인 시험체를 제작하여, 제작후의 중량과 재령 7일, 28일, 91일의 중량을 측정하였고, 중량 감소율을 산출하였다.

마. 동탄성계수

동탄성계수는 60mm×60mm×240mm인 시험체의 길이방향의 양면 중앙에 종진동에 의한 공명진동 측정기를 부착하여 BS 1881 Part 209(콘크리트의 동탄성계수 측정방법)에 규정된 방법에 준하여 재령 7일, 28일, 91일에 측정하였다.

바. 초음파진동속도

60mm×60mm×240mm인 시험체의 길이방향에 직경 50mm의 변환기를 부착하여 BS 1881 Part 203(콘크리트의 초음파진동속도 측정방법)에 규정된 방법에 준하여 재령 7일, 28일, 91일에 측정하였다.

사. 압축강도시험

φ75mm×150mm의 시험체를 제작하여 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 재령 7일, 28일, 91일에 측정하였다.

아. 휨강도시험

60mm×60mm×240mm의 시험체를 제작하여 KS F 2407(콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 재령 7일, 28일, 91일에 측정하였다.

### 제 3 절 보조기층재의 제반특성 분석

#### 1. 개 론

기계화 경작로의 현장 흙과 흙의 단점을 보완할 수 있는 석탄회, 고화재 등을 혼입한 재료의 여러 가지 실험 결과로부터 보조기층재의 사용 가능성

과 최적배합비를 도출한다. 표층재의 사용가능성과 기본 배합 추정도 함께 이루어진다.

## 2. 석탄회(fly ash, FA) 혼입에 따른 특성 분석

### 가. 다짐시험

석탄회의 혼입량이 증가할수록 최적함수비는 증가하는 경향을 보이는 반면, 최대건조밀도는 혼입비 약 10%까지 증가하다가 감소하는 것으로 나타났다(표 4.5 참조).

다짐의 측면에서는 석탄회를 10%를 혼입한 경우가 가장 우수한 것으로 나타났다(표 4.5). 그림4.2는 석탄회 10% 혼합토의 다짐곡선이다.

표 4.5 석탄회 혼합토의 다짐시험 결과

FA 혼입비	최적함수비 (%)	최대건조밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	최대건조밀도시 습윤밀도(g/cm <sup>3</sup> )
0%(흙 100%)	14.2	1.831	2.091
5%(흙 95%)	15.1	1.884	2.122
10%(흙 90%)	15.5	1.901	2.193
15%(흙 85%)	16.0	1.772	2.055
20%(흙 80%)	16.5	1.762	2.052
25%(흙 75%)	17.2	1.722	2.018
30%(흙 70%)	17.8	1.691	1.991

### 나. 투수계수

석탄회 혼합토의 투수성은 표 4.6과 같이 석탄회 혼입비의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.

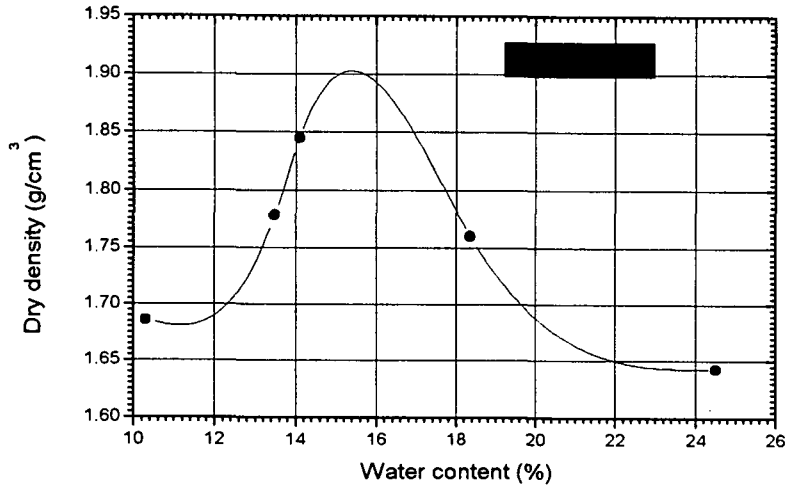


Fig. . Compaction curve : Fly ash 10%

그림 4.2 석탄회 10% 혼합토의 다짐곡선

표 4.6 석탄회 혼합토의 투수시험 결과

FA 혼입비	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
투수계수 (cm/sec)	4.680 $\times 10^{-7}$	1.340 $\times 10^{-7}$	1.212 $\times 10^{-7}$	1.009 $\times 10^{-7}$	8.904 $\times 10^{-8}$	8.552 $\times 10^{-8}$	8.082 $\times 10^{-8}$

다. 수정 CBR

석탄회 혼입비의 증가에 따라 수정CBR은 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈는데(표 4.7 참조), 10%의 혼입비에서 최대값이 나왔다.

표 4.7 석탄회 혼합토의 수정CBR값

FA 혼입비	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
수정CBR (%)	12.0	19.0	25.0	20.0	19.0	18.0	16.0

라. 단위중량 및 동탄성계수

석탄회 혼합토의 단위중량은 혼입비가 증가하면 감소하는데 이는 석탄회의 비중이 흙보다 작기 때문이고, 재령이 많아도 감소하는 것은 건조가 되어 수분이 줄어들기 때문으로 판단된다(표 4.8 참조)

동탄성계수의 변화를 보면, 표 4.8과 같이 재령에 따라 증가하는 반면 혼입비가 증가하면 감소하는 경향을 보였다.

표 4.8 석탄회 혼합토의 단위중량 및 동탄성계수

FA 혼입비	단위중량 (kgf/cm <sup>3</sup> )				동탄성계수 (10 <sup>2</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )			
	재령 0일	재령 1일	재령 7일	재령 28일	재령 0일	재령 1일	재령 7일	재령 28일
0%	2.077	2.064	1.956	1.904	9.0	12.8	24.6	37.07
5%	2.074	2.055	1.951	1.891	6.2	10.1	24.0	35.35
10%	2.050	2.020	1.957	1.851	5.3	8.4	20.7	28.48
15%	2.013	2.012	1.931	1.805	3.9	5.9	16.2	23.92
20%	1.964	1.963	1.930	1.779	3.6	5.2	13.2	13.99
25%	1.963	1.953	1.884	1.717	1.8	3.8	12.0	12.72
30%	1.923	1.922	1.796	1.675	1.6	3.5	10.6	10.6



마. 초음파진동속도 및 압축강도 변화

석탄회 혼합토의 초음파진동속도는 재령에 따라 증가하는 반면 혼입비가 많아지면 감소한다(표 4.9 참조).

압축강도는 혼입비가 증가하면 약간씩 감소하는 반면 재령에 따라서는 급격하게 증가한다(표 4.9 참조).

3. 고화재 혼입에 따른 특성 분석

고화재 혼합토의 시험은 보조기층재의 적정 혼입비를 개발하면서, 표층재의 개발을 위한 예비 시험을 함께 하였다.

가. 중량변화시험

양생에 따른 시험체의 건조상태는 경작로의 포장 후에 양생에 필요한 수분을 얼마나 보유하고 있는가를 측정할 수 있는 기준이 된다. 특히 팽창성 고화재를 사용하는 경우에 수분의 상태는 수화반응에 영향을 미치게 된다.

양생기간에 따른 배합별 중량변화는 표 4.10과 그림 4.3a, b, c와 같다.

표 4.9 석탄회 혼합토의 초음파진동속도 및 압축강도

FA 혼입비	초음파 진동속도 (m/s)				압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )			
	재령 0일	재령 1일	재령 7일	재령 28일	재령 0일	재령 1일	재령 7일	재령 28일
0%	1021	1200	1382	1485	11.42	12.01	34.28	48.62
5%	955	1060	1346	1455	9.34	11.38	29.14	45.83
10%	839	1029	1318	1387	9.15	11.22	24.74	43.44
15%	720	905	1205	1343	6.91	8.29	19.43	28.84
20%	526	798	1125	1258	6.26	8.05	16.79	25.96
25%	440	608	944	1107	5.63	6.26	15.19	19.95
30%	418	596	903	1032	5.00	5.50	13.90	17.25

표 4.10과 그림 4.3a, b, c에서 보는 바와 같이, 고화재 혼합토의 중량변화는 골재와 고화재의 혼입량이 많을 수록 대체적으로 작게 나타났으며, 재령 7일, 28일, 91일 다 같이 E<sub>15</sub>에서 중량 감소율이 가장 작게 나타났다.

골재를 사용하지 않은 E<sub>1</sub>~E<sub>5</sub>의 배합에서는 고화재의 혼입량이 증가할수록 재령에 따른 중량감소율이 작게 나타났고(그림 4.3a), 골재의 사용량이 증가함에 따라 중량감소율보다 작게 나타났다. 이러한 이유는 골재의 혼입량이 증가되면 상대적으로 수분을 증발시키는 부분이 줄어들고, 고화재의 혼입량이 증가되면 수분이 수화반응에 사용되어 증발되는 수분의 양이 적게 되기 때문이라고 생각된다.

표 4.10 고화재 혼합토의 중량변화

Mix type name	Mass loss ratio (%)		
	0~7 days	0~28 days	0~91 days
E <sub>1</sub>	8.65	12.40	12.90
E <sub>2</sub>	7.38	11.64	11.92
E <sub>3</sub>	6.83	10.72	10.84
E <sub>4</sub>	6.27	9.29	10.06
E <sub>5</sub>	5.66	8.48	9.39
E <sub>6</sub>	8.53	9.06	8.82
E <sub>7</sub>	6.45	8.12	8.78
E <sub>8</sub>	6.12	7.73	8.31
E <sub>9</sub>	5.25	6.27	6.82
E <sub>10</sub>	4.10	4.42	5.12
E <sub>11</sub>	7.62	8.74	9.23
E <sub>12</sub>	6.11	6.86	7.82
E <sub>13</sub>	5.12	6.35	7.26
E <sub>14</sub>	3.65	4.42	4.93
E <sub>15</sub>	1.95	2.25	2.46

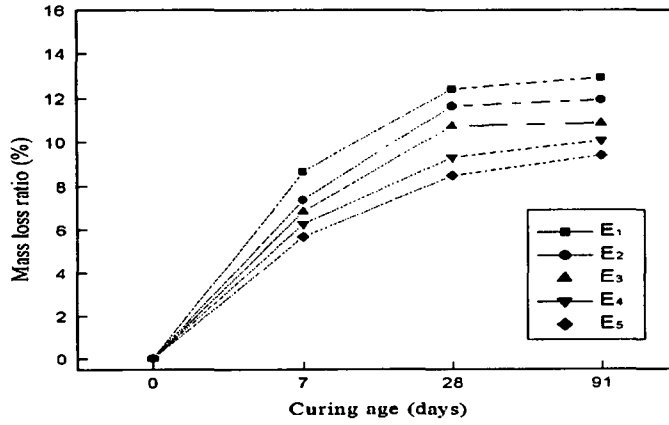


그림 4.3 고화재 혼합토의 재령별 증량변화  
a. 고화재량 변화

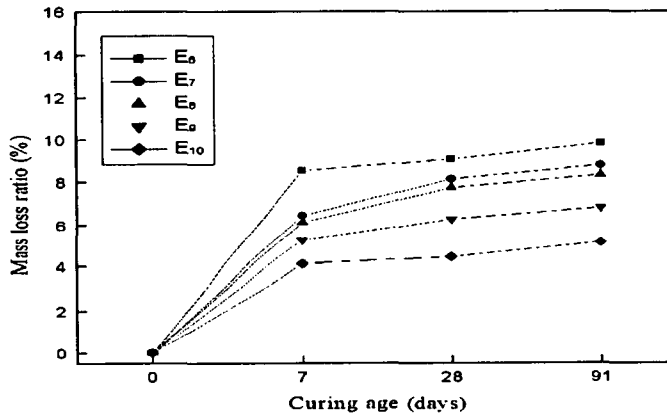


그림 4.3 고화재 혼합토의 재령별 증량변화  
b. 자갈 10%, 고화재량 변화

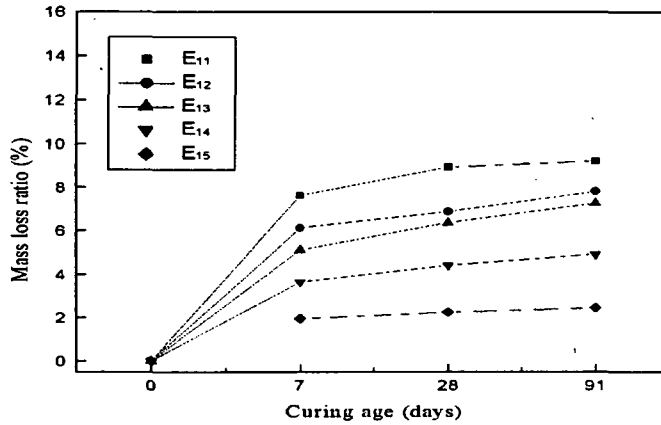


그림 4.3 고화재 혼합토의 재령별 중량변화  
c. 자갈 20%, 고화재량 변화

재령 28일까지의 중량감소율이 5% 이하인 배합비는 골재의 혼입량이 10%, 고화재의 혼입량이 20%이고(E<sub>10</sub>), 골재의 혼입량이 20%, 고화재의 혼입량이 각각 15%, 20%이었다(E<sub>14</sub>, E<sub>15</sub>). 이 배합비를 표층재에 적용하는 것이 건조수축에 따른 팽창률이 작고 동결융해 저항성이 커 포장재료로 가장 적합할 것으로 생각된다.

#### 나. 압축강도

재료의 역학적 특성을 나타내는 압축강도는 각종 구조물의 설계 기준이 될 뿐만 아니라 인장강도, 휨강도, 탄성계수 등을 추정 할 수 있는 기초자료가 된다.

각 배합비에 따른 포장재료의 압축강도를 비교하면 표 4.11과 그림 4.4a, b, c와 같다.

표 4.11 고화재 혼합토의 압축강도

Mix type name	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )			Increasing ratio of strength (%)	
	7 days	28 days	91 days	7-28 days	28-91 days
E <sub>1</sub>	10.81	17.37	18.87	60	8
E <sub>2</sub>	18.36	22.16	27.36	20	23
E <sub>3</sub>	21.44	34.28	48.18	59	40
E <sub>4</sub>	23.46	49.24	59.56	109	20
E <sub>5</sub>	26.94	61.24	69.98	127	14
E <sub>6</sub>	12.57	19.02	20.97	51	10
E <sub>7</sub>	21.36	24.26	30.42	13	25
E <sub>8</sub>	23.95	39.74	53.22	65	33
E <sub>9</sub>	26.99	61.64	65.19	128	5
E <sub>10</sub>	28.76	68.84	75.30	139	9
E <sub>11</sub>	13.46	23.81	25.01	76	5
E <sub>12</sub>	22.86	30.37	36.27	32	19
E <sub>13</sub>	31.65	53.59	59.23	69	10
E <sub>14</sub>	32.36	64.50	71.34	99	10
E <sub>15</sub>	36.40	70.10	80.21	92	14

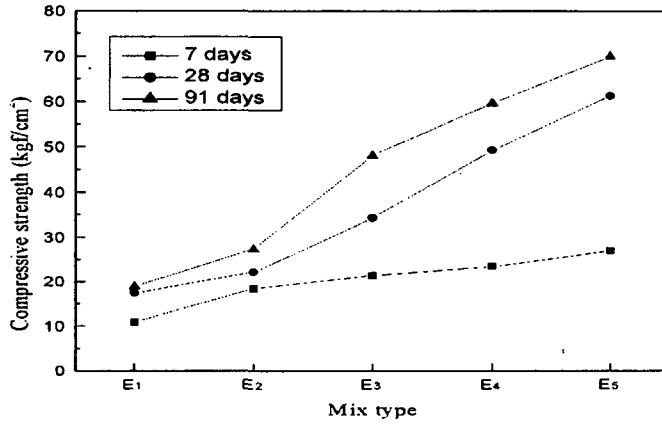


그림 4.4 고화재 혼합토의 압축강도 변화

a. 고화재량 변화

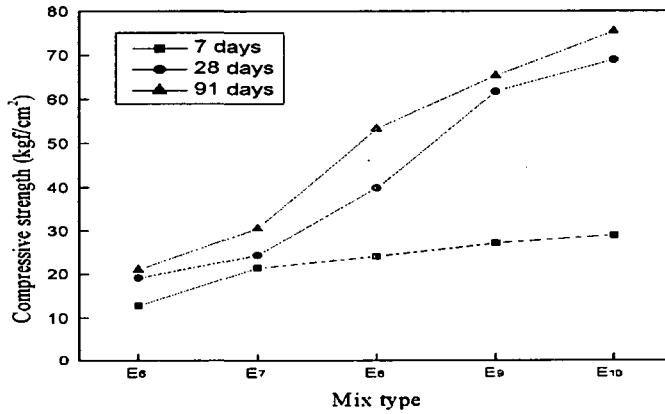


그림 4.4 고화재 혼합토의 압축강도 변화

b. 자갈 10%, 고화재량 변화

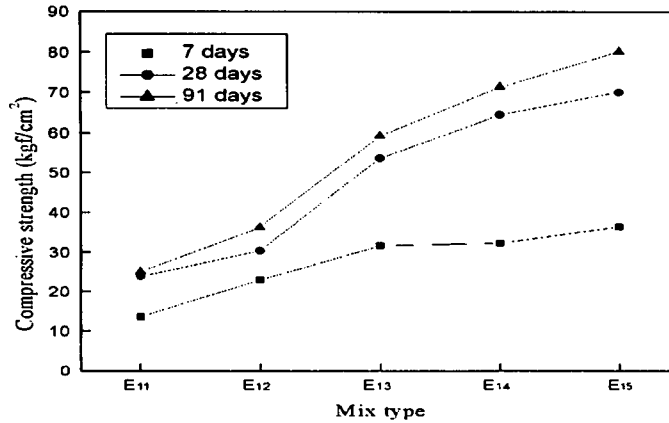


그림 4.4 고화재 혼합토의 압축강도 변화  
c. 자갈 20%, 고화재량 변화

고화재 혼합토의 압축강도는 배합비와 재령에 따라 다르게 나타났다. 고화재만 혼입한(E<sub>1</sub>~E<sub>5</sub>) 재령 7일의 경우 자연 흙E<sub>1</sub>이 10.81 kgf/cm<sup>2</sup>인데 비해 18.36 kgf/cm<sup>2</sup>(E<sub>2</sub>) 이상 나오므로 고화재 5%정도면 보조기층재로 충분하다. 경작로 보조기층재는 7일 강도가 15 kgf/cm<sup>2</sup> 이상이면 적합하다.

7일 압축강도를 보면(표 4.11), 자갈 10% 혼입까지는(E<sub>1</sub>~E<sub>10</sub>) 30 kgf/cm<sup>2</sup>가 되지 않고, 자갈 20%와 고화재 10%이상이 혼입되면(E<sub>13</sub>~E<sub>15</sub>) 이 값보다 커지므로 표층재는 이 범위의 배합비에서 결정되어야겠다. 농작업기계의 통행을 생각하면, 기계화 경작로의 압축강도는 대체적으로 50~70 kgf/cm<sup>2</sup>이면 적절하므로, 경작로의 포장에 이용될 수 있는 배합 설계는 E<sub>5</sub>와 E<sub>9</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>14</sub> 및 E<sub>15</sub>로 생각된다. 이 배합비는 고화재 15%, 20%, 자갈 10%, 20% 이므로 고화재가 비싼 점을 고려하면, 고화재 15%, 자갈 10%가 적합하다고 판단된다.

다. 휨강도

각 배합비에 따른 포장재료의 휨강도 시험결과를 나타내면 표 4.12와 그림 4.5a, b, c와 같다.

표 4.12 고화재 혼합토의 휨강도

Mix type name	Flexural strength (kgf/cm <sup>2</sup> )			Increasing ratio of strength (%)	
	7 days	28 days	91 days	7-28 days	28-91 days
E <sub>1</sub>	2.29	5.33	7.72	132	44
E <sub>2</sub>	3.91	5.84	7.86	49	34
E <sub>3</sub>	4.39	6.17	8.08	40	30
E <sub>4</sub>	7.57	8.26	10.80	9	30
E <sub>5</sub>	8.13	8.62	11.48	6	33
E <sub>6</sub>	2.65	5.83	7.82	120	34
E <sub>7</sub>	4.18	6.32	7.90	51	25
E <sub>8</sub>	4.75	6.74	8.17	41	21
E <sub>9</sub>	7.95	9.11	11.72	14	28
E <sub>10</sub>	9.06	9.58	12.25	5	27
E <sub>11</sub>	2.91	6.47	8.62	122	33
E <sub>12</sub>	4.59	6.95	8.69	51	25
E <sub>13</sub>	5.22	7.41	8.98	41	21
E <sub>14</sub>	8.74	10.02	12.99	14	29
E <sub>15</sub>	9.97	10.54	13.47	5	27



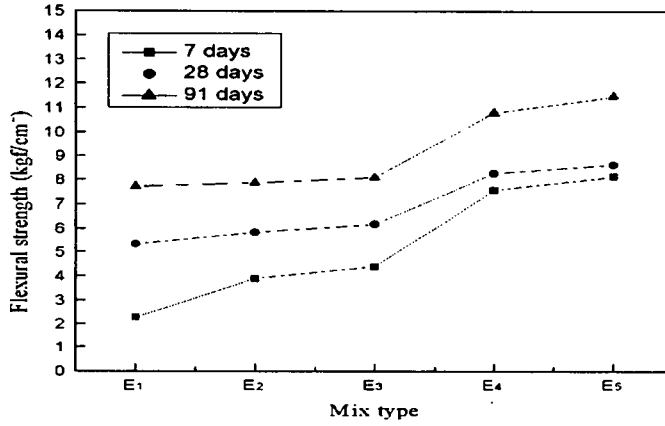


그림 4.5 고화재 혼합토의 휨강도 변화  
a. 고화재량 변화

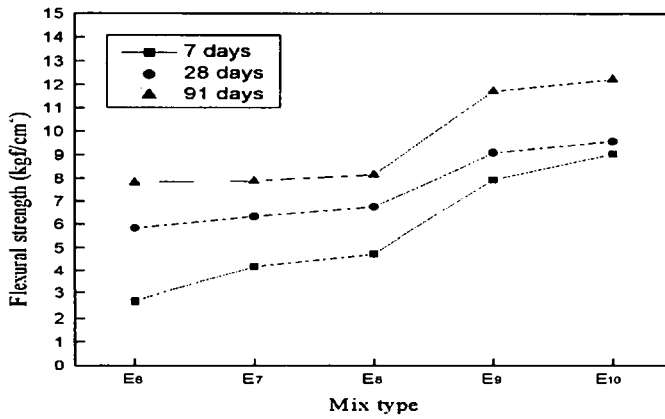


그림 4.5 고화재 혼합토의 휨강도 변화  
b. 자갈 10%, 고화재량 변화

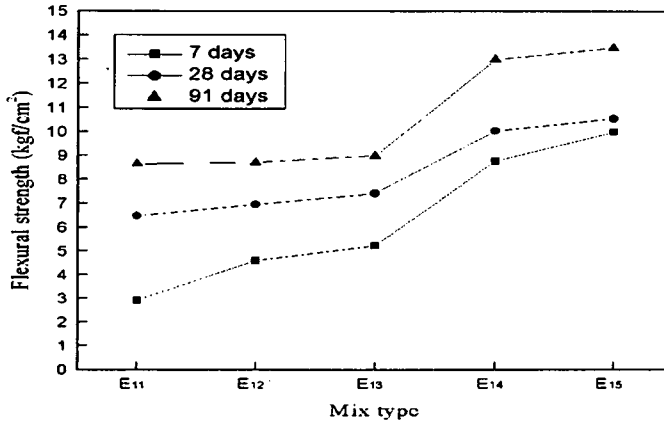


그림 4.5 고화재 혼합토의 휨강도 변화  
c. 자갈 20%, 고화재량 변화

그림 4.5를 살펴보면, 고화재 혼합토의 휨강도는 고화재량 5%와 10%는 7일 강도는 어느 정도 증가하나, 28일 강도와 91일 강도는 증가하는 정도가 작았다. 고화재량 15%이면 전 재령에서 50%이상 눈에 띄게 강도가 증가하였다. 그리고, 자갈이 혼입되면 휨강도가 다소 증가하나 그 정도가 작았다.

휨강도가 커야 좋은 표층재는 고화재량이 15%이상 포함되어야 겠고, 자갈 혼입은 휨강도 증진에는 별로 효과가 없다. 기계화 경작로의 휨강도는 10~15 kgf/cm<sup>2</sup>이면 적절할 것으로 생각되므로, 표층재로 이용될 수 있는 배합은 E<sub>5</sub>, E<sub>9</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>14</sub>, E<sub>15</sub> 등으로 고화재의 값이 비싼 것을 고려하면, 고화재 15%, 자갈 10% 혼입이 적절할 것으로 생각된다.

라. 초음파진동속도

초음파진동속도시험은 초음파를 방사해서 그 전파시간으로부터 얻어지는 전파속도에 의해 부재나 구조물의 성능을 시험하는 방법으로써 수 cm에서 수 m에 이르기까지 적용할 수 있는 비파괴시험 방법이다.

고화재 혼합토의 초음파진동속도 시험결과를 나타내면 표 4.13과 그림 4.6a, b, c와 같다.

표 4.13 고화재 혼합토의 초음파진동속도

Mix type name	Ultrasonic pulse velocity (m/s)		
	7 days	28 days	91 days
E <sub>1</sub>	1,812	1,895	1,984
E <sub>2</sub>	1,838	2,006	2,097
E <sub>3</sub>	1,860	2,070	2,178
E <sub>4</sub>	1,934	2,217	2,284
E <sub>5</sub>	1,984	2,316	2,357
E <sub>6</sub>	1,902	1,989	2,083
E <sub>7</sub>	1,935	2,105	2,207
E <sub>8</sub>	1,958	2,179	2,293
E <sub>9</sub>	2,036	2,334	2,405
E <sub>10</sub>	2,088	2,438	2,481
E <sub>11</sub>	1,997	2,088	2,187
E <sub>12</sub>	2,093	2,234	2,314
E <sub>13</sub>	2,158	2,332	2,385
E <sub>14</sub>	2,415	2,575	2,626
E <sub>15</sub>	2,587	2,737	2,788

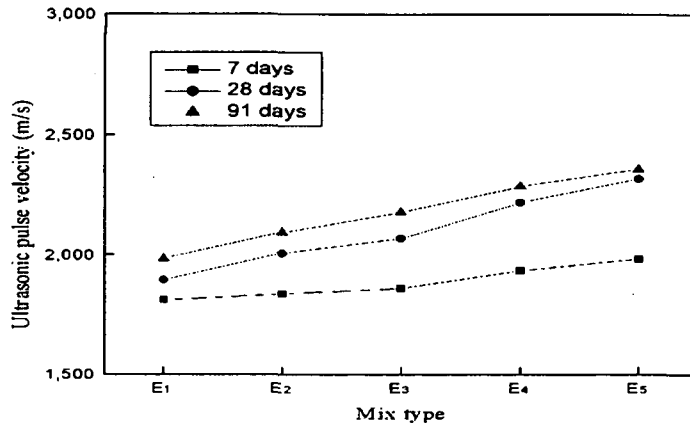


그림 4.6 고화재 혼합토의 초음파진동속도 변화  
a. 고화재량 변화

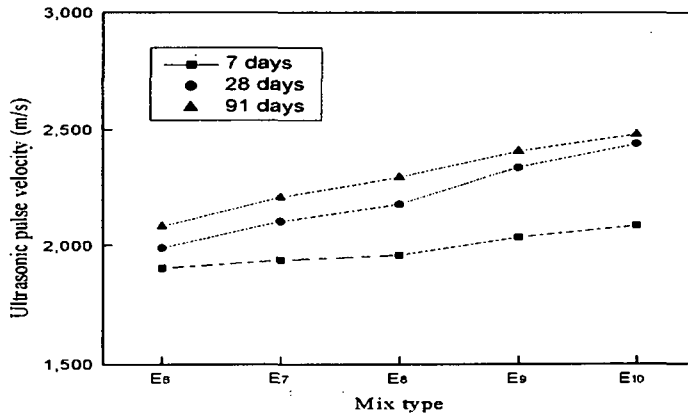


그림 4.6 고화재 혼합토의 초음파진동속도 변화  
b. 자갈 10%, 고화재량 변화

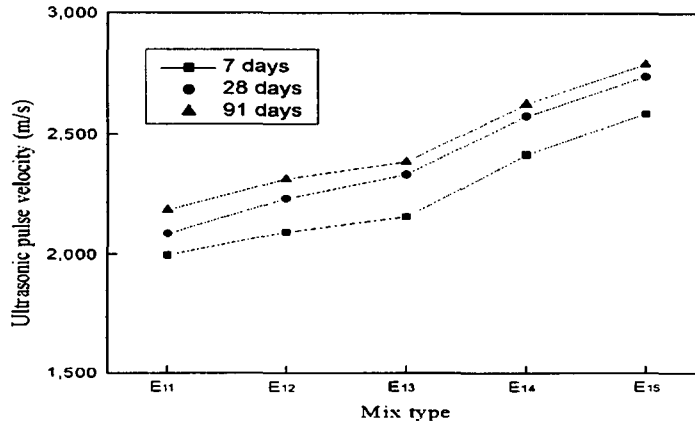


그림 4.6 고화재 혼합토의 초음파진동속도 변화  
c. 자갈 20%, 고화재량 변화

배합에 따른 초음파진동속도는 고화재와 골재의 혼입량이 많을수록 크게 나타났다. 이러한 이유는 흙 보다 입자가 작은 고화재의 미세 공극충진효과와, 골재의 양이 증가되어 전파의 흐름을 방해하는 요인이 감소되었기 때문이라고 생각된다. 따라서, 고화재와 자갈의 혼입량이 많을수록 내구성은 커진다.

#### 마. 동탄성계수

동탄성계수는 구조물의 비파괴 성능시험을 하는 방법중의 하나로, 전혀 하중을 가하지 않고 전파를 시험체의 상대편에서 방사하여 측정된 주파수로 그 값을 구한다. 일반적으로 동탄성계수가 작으면 재료의 변형량이 크고, 동탄성계수가 크면 강도도 크게 나타난다는 것을 의미한다.

배합비에 따른 동탄성계수 시험결과를 나타내면 표 4.14와 그림 4.7a, b, c와 같다.

표 4.14 고화재 혼합토의 동탄성계수

Mix type name	Dynamic modulus of elasticity ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )		
	7 days	28 days	91 days
E <sub>1</sub>	81	93	117
E <sub>2</sub>	92	142	157
E <sub>3</sub>	101	172	181
E <sub>4</sub>	131	192	220
E <sub>5</sub>	152	206	246
E <sub>6</sub>	89	102	128
E <sub>7</sub>	97	150	166
E <sub>8</sub>	103	182	191
E <sub>9</sub>	138	209	222
E <sub>10</sub>	161	227	253
E <sub>11</sub>	93	107	134
E <sub>12</sub>	105	169	191
E <sub>13</sub>	123	211	230
E <sub>14</sub>	171	230	257
E <sub>15</sub>	210	243	276

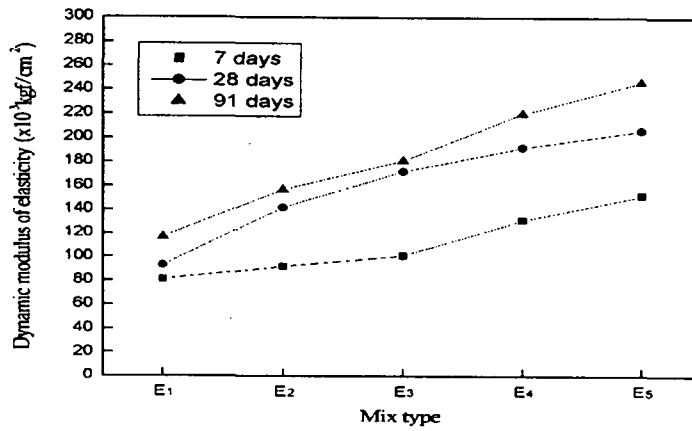


그림 4.7 고화재 혼합토의 동탄성계수 변화  
a. 고화재량 변화

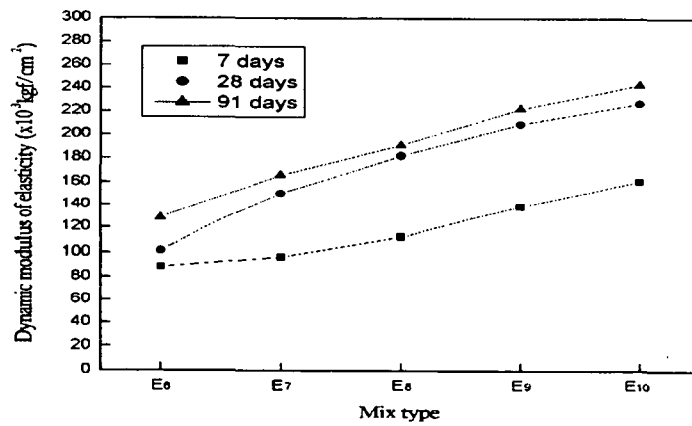


그림 4.7 고화재 혼합토의 동탄성계수 변화  
b. 자갈 10%, 고화재량 변화

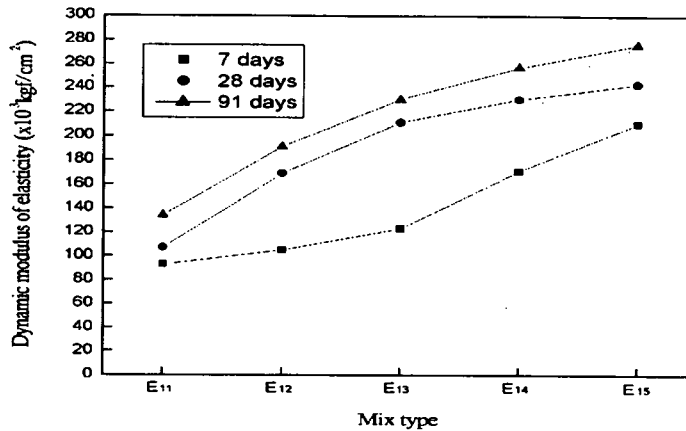


그림 4.7 고화재 혼합토의 동탄성계수 변화  
c. 자갈 20%, 고화재량 변화

동탄성계수는 초음파진동속도와 같이 고화재, 골재의 혼입량이 많을수록 크게 나타났는데, 초음파진동속도와 같은 원인으로 생각된다. 따라서, 고화재 혼합토는 고화재와 자갈이 많이 혼입될수록 강도, 내구성 모두 좋아진다.

#### 4. 요약

석탄회, 고화재 등을 혼입한 재료의 여러 가지 실험 결과로부터 보조기층재의 최적배합비와, 표층재의 사용 가능성과 기본 배합 추정을 한 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 석탄회 혼합토는 강도 증진 효과는 없으나 다짐 효과는 좋아지고 투수계수는 약간 감소하므로, 산업부산물 활용 차원에서 보조기층재에 사용할 수는 있으나 표층재로는 사용할 수 없다.



② 석탄회 혼합토를 보조기층재에 사용하는 경우, 석탄회 배합량은 5%에서 10%까지가 적당하다.

③ 고화재 혼합토의 중량변화는 골재와 고화재의 혼입량이 많을수록 작게 나타났으며, 이러한 원인은 배합에 사용되는 수분의 양이 고화재의 혼입량이 증가되면 수화반응에 사용되어 손실되는 수분의 양이 줄어들기 때문이라고 생각된다.

④ 고화재 혼합토의 압축강도, 휨강도, 초음파진동속도와 동탄성계수는 모든 재령과 배합에서 다같이 고화재, 골재의 혼입량이 많을수록 크게 나타났으며, 고화재의 혼입량에 의한 증가 정도가 골재의 혼입량에 대한 증가보다 크게 나타났다.

⑤ 보조기층재는 필요한 성질과 경제성을 고려하면 고화재 5%를 혼입하면 그 기능을 충분히 할 수 있다.

⑥ 표층재의 경우, 배합별 시험 결과를 종합하면, 자갈 10%, 고화재 15% 이상이면 현장 시공에 있어서 적절할 것으로 판단된다. 고화재 혼입에 의한 특성 개선 효과가 더 높지만 고화재의 가격이 비싼 점을 고려하면 자갈 10%, 고화재 15% 정도가 혼입되면 될 것으로 여겨진다.

⑦ 고화재 혼합토는 고화재와 자갈의 혼입량이 많아지면 압축강도와 휨강도가 증가하므로 현장 조건에 맞게 적절한 배합을 사용한다면 기계화 경작로 뿐만 아니라 마을 안길 포장에도 충분히 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 제 4 절 표층재료의 개발

### 1. 개론

기계화 경작로의 표층재는 작물의 생육에 지장이 없고 환경친화적인 재

료로 이루어져야하고 내구성과 시공성, 경제성이 좋아야 한다. 적합한 혼입 재료와 배합비를 선정하기 위하여 제3절에서 나온 시험 결과를 참고하고 예비 시험을 한다.

## 2. 재료와 시험

### 가. 재료

시험체는 자연 흙에 고화재, 시멘트, 석고, 마그네샤, 섬유, 자갈 등을 혼입하여 사용한다. 예비 시험을 통하여 각 혼입재의 혼입비를 산출한 후, 시험체를 만들어 사용한다.

섬유는 길이는 19mm, 30mm, 40mm이고, 단사형과 망사형 두 가지 형태, 중량비 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1.0% 등으로 혼입하였다.

시멘트는 습윤중량비로 3%, 6%, 9%, 12% 등으로 혼입하였다.

마그네샤의 혼입은 습윤중량비 0.1%, 0.5%, 1.0%, 2.0% 등으로 하였다.

석고는 중량비로 0.3%, 0.5%, 1.0% 등으로 혼입하였다.

고화재의 혼입비는 1.0%, 3.0%, 5.0%, 7.0%, 9.0% 등이며, 고화재의 종류는 분말 형태의 비스타(Beestar)를 사용하였다.

### 나. 시험

혼합 시험체는 6 종류의 재료별 혼입량에 따라 다짐 시험, 압축강도 시험, 균열 시험 등을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 다짐 특성

#### 1) 섬유 혼합토

섬유를 혼입한 흙으로서, 단사형과 망사형 섬유 별 다짐 특성은 각각

그림 4.8, 그림 4.9와 같다.

섬유 혼입비의 증가에 따라 최적함수비, OMC는 증가하고, 건조단위중량,  $\gamma_{dmax}$ 는 감소한다. 단사형과 망사형의 차이는 별로 없다.

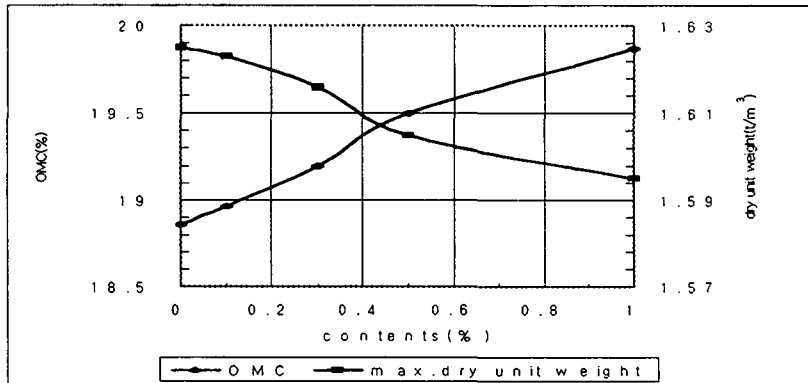


그림 4.8 단사형 섬유 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

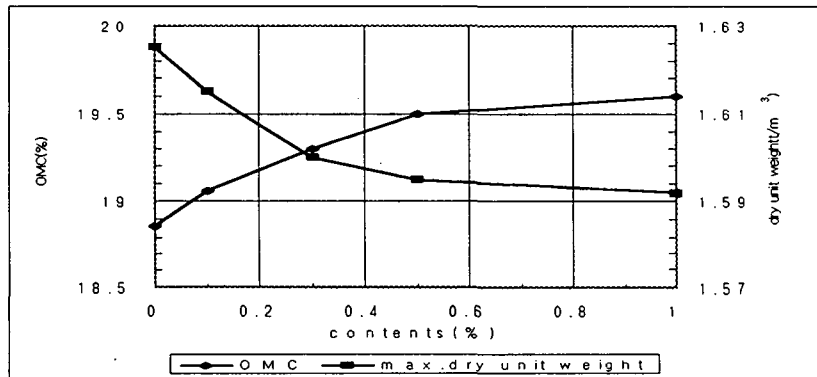


그림 4.9 망사형 섬유 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

## 2) 시멘트 혼합토

시멘트 혼합토의 다짐 특성은 그림 4.10과 같다.

자연 흙에 비해 시멘트 혼합토의 건조단위중량은 0.4 % ~ 1.2 % 정도 증가하였다. 시멘트 혼입비가 9 % 일 때 최고 크게 나타났다.

최적함수비(OMC)는 시멘트 혼합토가 0.6 % ~ 2.2 % 정도 감소하였다.  
 혼입량이 증가할수록 최적함수비는 직선적으로 감소하였다.

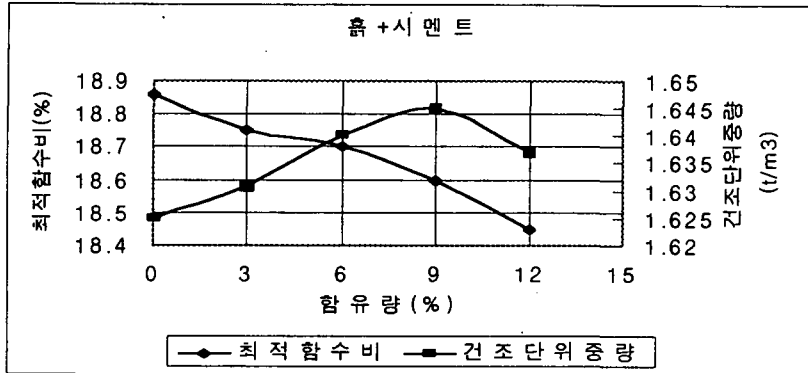


그림 4.10 시멘트 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

### 3) 마그네샤 혼합토

마그네샤 혼합토의 다짐 특성은 그림 4.11과 같다.

마그네샤의 혼입으로 건조단위중량은 자연 흙에 비해 0.43% ~ 3.08% 증가하였고, 혼입비가 1 % 정도에서 가장 큰 건조단위중량을 보였다.

최적함수비(OMC)는 0.21% ~ 1.86% 증가하였는데, 이것은 마그네샤가 흙 속의 수분과 반응하여 흙의 점도를 높이는 역할을 하기 때문이다.

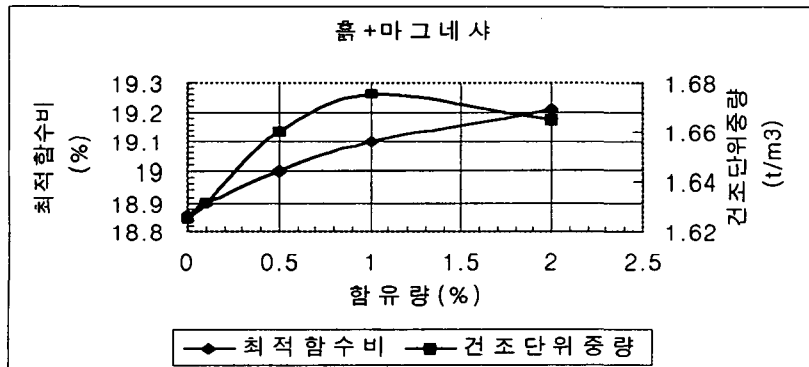


그림 4.11 마그네샤 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

#### 4) 석고 혼합토

석고 혼합토의 다짐 특성은 그림 4.12와 같다. 석고의 혼입으로 건조단위중량은 자연 흙에 비해 0.62% ~ 2.46% 증가하였다. 석고의 혼입비가 0.5%일 때, 건조단위중량은 최대로 되었고, 최적함수비는 최소로 되었으므로 석고의 혼입은 0.5% 정도가 타당한 것으로 사료된다.

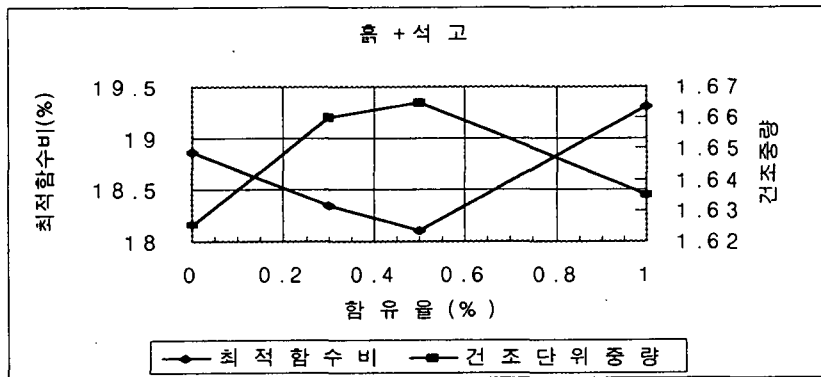


그림 4.12 석고 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

#### 5) 고화재 혼합토

고화재 혼합토의 다짐 특성은 그림 4.13과 같다.

고화재의 혼입으로 건조단위중량은 자연 흙에 비해 1.97% ~ 4.92% 증가하였고, 최적함수비(OMC)는 1.91% ~ 13.04% 감소하였다. 고화재 혼입에 따라 건조단위중량은 급격한 증가를 하므로 강도의 증진 효과는 충분할 것으로 판단된다. 고화재 혼입비는 표면할렬과 내부균열 방지를 위하여 3% ~ 5%정도가 타당하다.

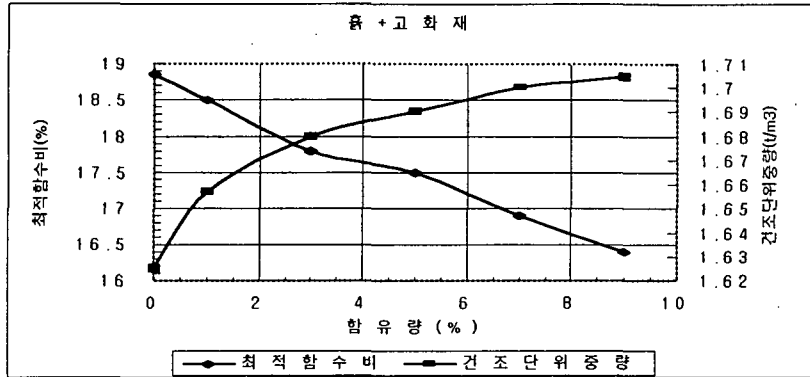


그림 4.13 고화재 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

나. 강도 특성

1) 섬유 혼합토

단사형 섬유 혼합토의 재령과 혼입량에 따른 압축강도 변화(그림4.14)와 망사형 섬유혼합토의 재령과 혼입량에 따른 압축강도 변화(그림4.15), 단사형과 망사형 섬유 혼합토의 강도 비교(그림4.16)를 살펴보면, 망사형이 단사형보다 강도가 우수하고 섬유 혼입량이 많을수록 강도 증가율도 더 크게 나타났다.

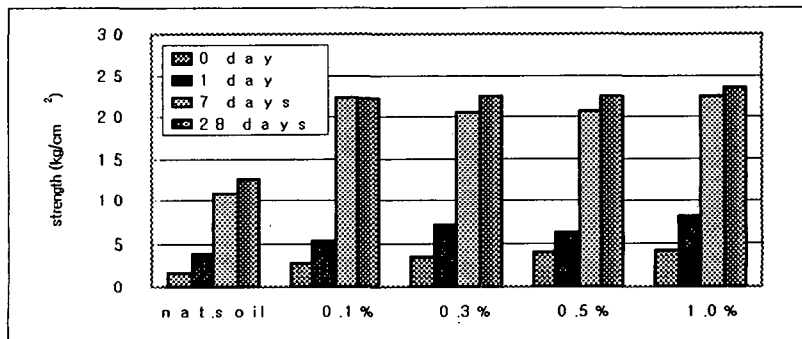


그림 4.14 단사형 섬유 혼합토의 압축강도 비교

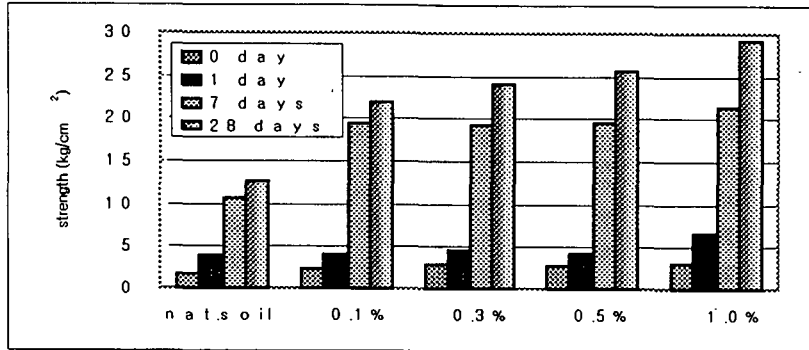


그림 4.15 망사형 섬유 혼합토의 압축강도 비교

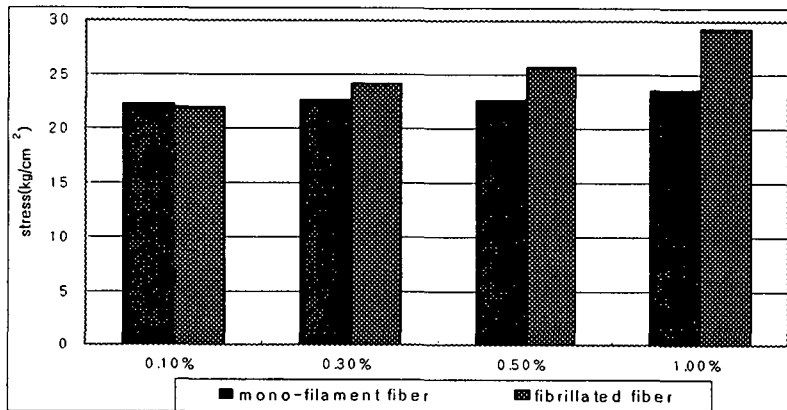


그림 4.16 단사형 및 망사형 섬유 혼합토의 강도비교

망사형 섬유 혼합토의 혼입비에 따른 응력-변형률 곡선(그림4.14)을 살펴보면 혼입량이 많으면 강도 증진뿐만 아니라 변형률도 증가되어 내구성이 높아지게 된다.

따라서, 섬유는 망사형을 사용하는 것이 유리하고, 혼입량은 1.0%가 좋으나 시공성 등 다른 요소에 따라 결정되어야 한다.

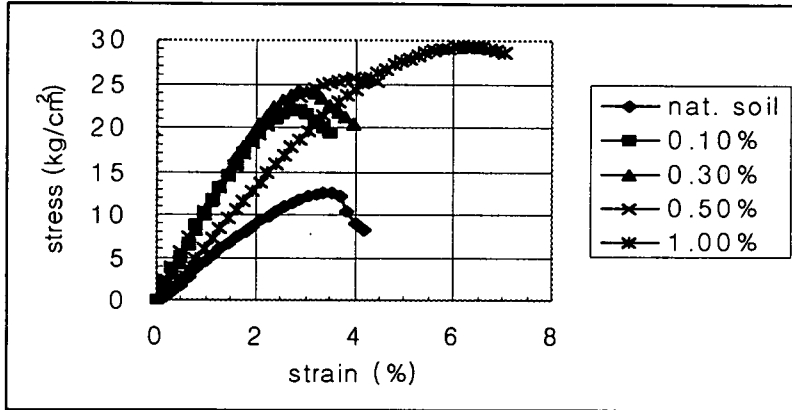


그림 4.17 망사형 섬유 혼합토의 응력-변형을 곡선

## 2) 시멘트 혼합토

시멘트 혼합토의 재령별, 혼입량별 압축강도 변화는 그림 4.18과 같다. 시멘트 혼입량이 증가할수록 압축강도는 증가하고, 동시에 취성도 증가한다.

강도 측면에서는 많이 혼입하는 것이 좋으나, 기계화 경작로 포장인 점, 취성 등의 다른 요소를 감안할 때 3%~6%가 적당할 것으로 사료된다.

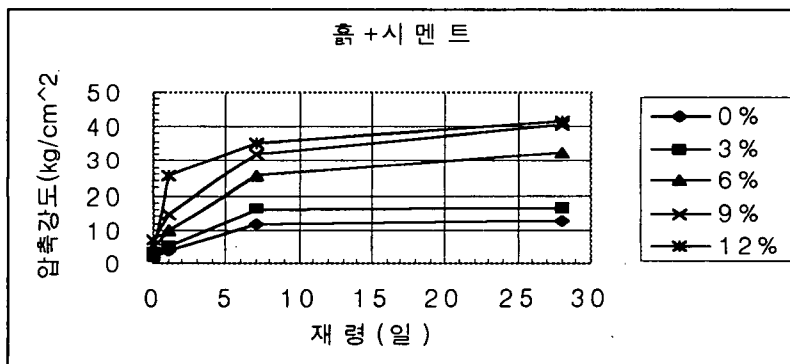


그림 4.18 시멘트 혼합토의 압축강도 변화



### 3) 마그네샤 혼합토

마그네샤 혼합토의 압축강도 변화는 그림4.19와 같다. 강도 변화 특성을 살펴보면, 양생 초기에는 혼입량 2% 제외하고는 자연 흙과 거의 비슷한 강도를 나타내었고, 재령에 증가하면 급격한 강도의 증가를 보여 자연 흙보다 큰 강도를 나타냈다.

혼입량 2% 경우는 압축강도의 양상이 다른데, 초기에는 비교적 큰 강도를 발현하여 재령 7일 근처에서 최대강도를 보이다가 재령 28일 되면 오히려 강도가 저하된다. 재령 28일이 되면 혼입량에 거의 영향을 받지 않고 강도가 거의 비슷해졌다.

따라서, 마그네샤의 혼입비는 0.5%~1.0% 정도가 타당한 것으로 사료된다.

### 4) 석고 혼합토

석고를 혼입하면 압축강도의 변화가 그림4.20과 같다. 초기의 압축강도는 자연 흙과 거의 비슷하나, 재령에 따라 거의 직선적으로 강도가 증가하였다. 혼입량과 0.5%와 1.0%는 강도의 차이가 크지 않았다.

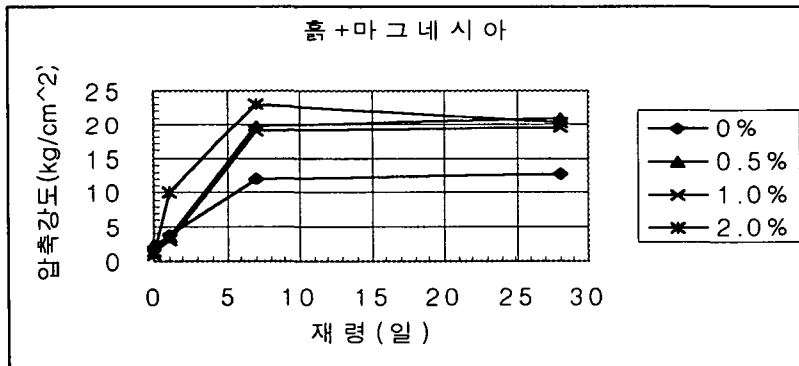


그림 4.19 마그네샤 혼합토의 압축강도 변화

실험에서 함수비를 잘 조절하여 다진다면 강도의 증대 효과도 가져올 수 있음을 확인하였다.

석고를 혼입하는 경우에는 강도적인 측면에서 0.5%가 적당하다고 생각한 다.

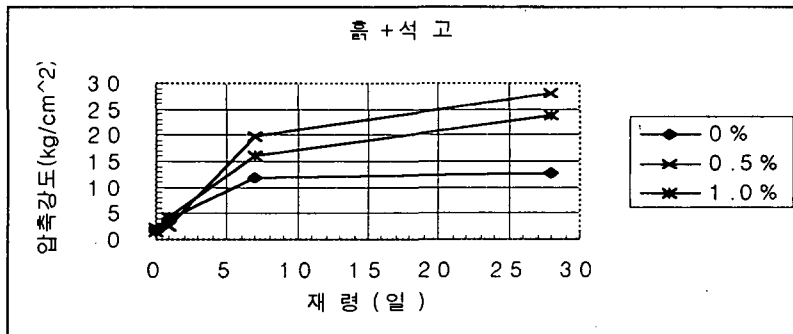


그림 4.20 석고 혼합토의 압축강도 변화

#### 5) 고화재 혼합토

Beestar 고화재를 혼입한 시험체의 압축강도 변화는 그림4.21과 같다. 혼입량 1%를 제외하고는 재령7일까지의 강도가 자연 흙보다 작게 나타났다.

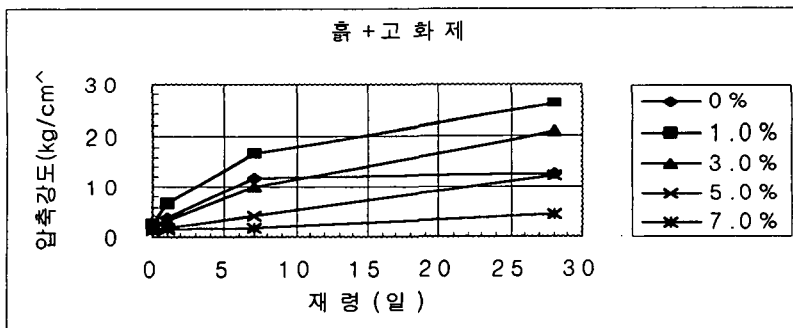


그림 4.21 고화재 혼합토의 압축강도 변화

그림 4.21을 살펴보면, 고화재 혼합토의 경우는 다른 혼합토와 달리 양생이 아주 느린 것으로 나타났다.

여기서 사용한 비스타는 일정량의 시멘트를 넣어야 제대로 강도를 발현하는데 고화재만을 사용하였기 때문에 강도가 작게 나타난 것으로 판명되었고, 현장 시험 포장에서 시공성이 떨어져 제3절에서 사용한 팽창성 고화재 ESC를 사용하는 것이 적합하다.

#### 다. 균열 특성

##### 1) 섬유 혼합토

단사형과 망사형 섬유 혼합토의 균열 상수는 표 4.15와 표 4.16과 같고, 19mm 단사형과 망사형 섬유의 균열 사진은 그림 4.22와 그림 4.23과 같다.

섬유의 길이가 커지고 혼입비가 증가할수록 균열 폭과 균열 길이는 감소하여 섬유의 균열 제어 효과는 충분히 나타났다(그림 4.24 참조). 망사형 섬유는 단사형 보다 초기균열 억제 효과가 두드러졌고, 상대 균열 면적이 작았다(그림 4.25, 그림 4.26 참조).

따라서, 균열 억제 측면에서는 단사형보다 망사형이 효과적이고, 혼입량은 0.5%가 좋으나, 시공성을 고려하여 혼입량은 0.3% 정도하면 될 것 같다.

#### 4. 요약

표층재를 개발하기 위하여 여러 가지 재료를 혼입하여 시험한 결과(제3절 연구 결과 포함), 다음과 같은 결과를 얻었다. 이 결과를 기준으로 제5절에서 표층재의 제반 특성을 시험하여 적합한 배합비를 산정한다.

① 환경 생태성, 강도 특성, 시공성 등을 종합적으로 고려하면, 시멘트, 석고, 마그네샤 등의 재료보다는 팽창성 고화재인 ESC(제3절)가 혼입하는

주 재료로 적합하다.

② 고화재의 기준 혼입량은 15%, 20%가 적당하고, 섬유의 혼입량은 0.1%, 0.3%, 자갈은 10%, 20%를 기준으로 하는 것이 좋다.

표 4.15 단사형 섬유 혼합토의 균열상수

Sample	Volume fraction(%)	Crack number	Crack width(mm)	Crack length(mm)	Crack area		
					Area	Ratio (%)	Relative ratio(%)
Soil	0	60	0.3-10	10-880	54926.5	10.17	100
19mm Polypropylene fiber	0.1	63	0.5-9.8	10-870	44000.6	8.15	80.1
	0.3	144	0.1-8	10-300	35023.0	6.49	63.8
30mm Polypropylene fiber	0.5	149	0.1-6.4	10-220	31002.0	5.74	56.4
	0.1	90	0.3-9	20-490	39600.5	7.33	72.1
40mm Polypropylene fiber	0.3	127	0.3-5.7	20-230	31520.7	5.84	57.4
	0.5	138	0.2-4.9	20-210	27901.8	5.17	50.8
Polypropylene fiber	0.1	82	0.5-7.7	20-360	36189.9	6.70	65.9
	0.3	230	0.2-4.5	15-220	30060.7	5.57	54.7
	0.5	239	0.2-3.3	15-180	25562.1	4.73	46.5

표4.16 망사형 섬유 혼합토의 균열상수

Sample	Volume fraction(%)	Crack number	Crack width(mm)	Crack length(mm)	Crack area		
					Area	Ratio (%)	Relative ratio(%)
Soil	0	60	0.3-10	10-880	54926.5	10.17	100.0
19mm Polypropylene fiber	0.1	62	0.3-7.5	15-500	42547.0	7.88	77.5
	0.3	94	0.3-5.8	20-230	33189.4	6.15	60.4
	0.5	113	0.3-5.1	20-180	20458.5	3.79	37.2
30mm Polypropylene fiber	0.1	86	0.3-7	30-370	38292.3	7.09	69.7
	0.3	128	0.3-5.2	20-220	29870.5	5.53	54.4
	0.5	141	0.3-4.5	20-180	18412.7	3.41	33.5
40mm Polypropylene fiber	0.1	82	0.3-6.3	10-350	35244.4	6.53	64.2
	0.3	136	0.3-4.2	15-210	25479.6	4.72	46.4
	0.5	164	0.3-3.1	20-170	17255.5	3.20	31.4

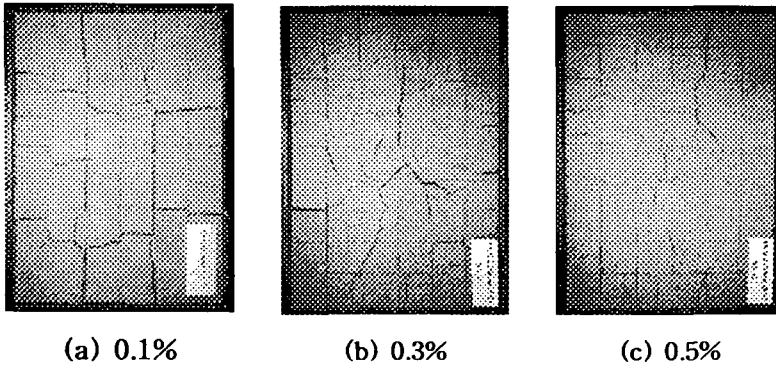


그림 4.22 19mm 단사형 섬유 혼합토의 균열 사진

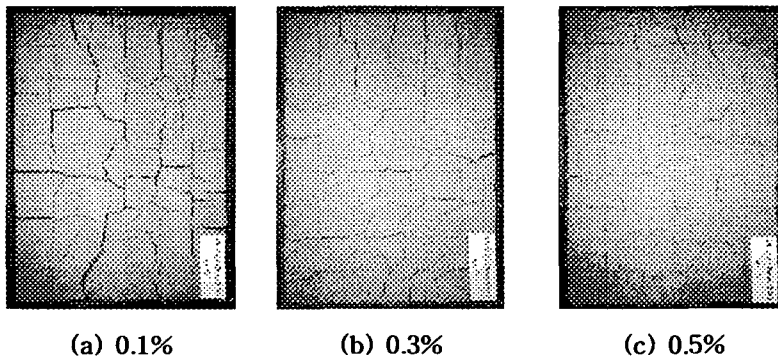


그림 4.23 19mm 망사형 섬유 혼합토의 균열 사진

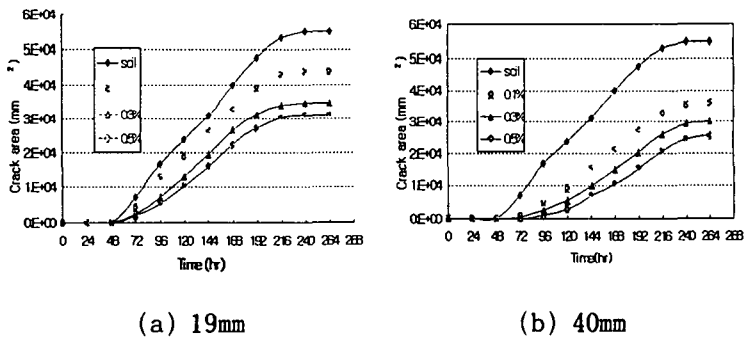


그림 4.24 단사형 섬유 혼합토의 경과시간에 따른 균열면적

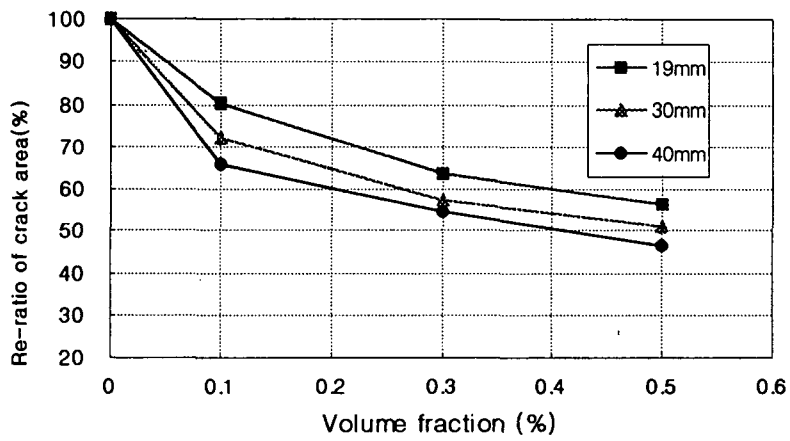


그림 4.25 단사형 섬유 혼합토의 상대 균열면적비 비교

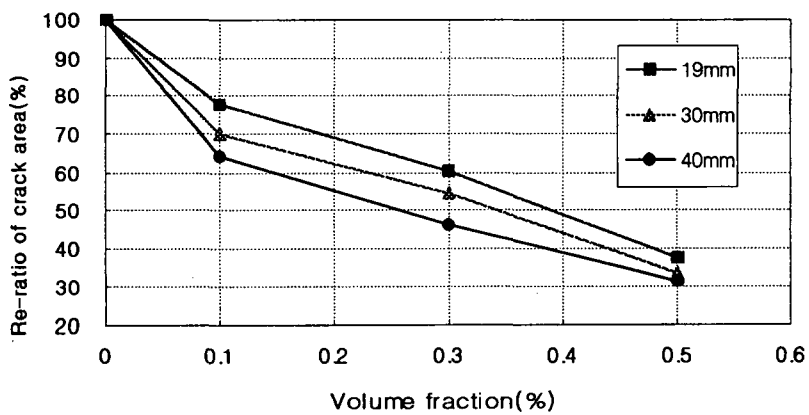


그림 4.26 망사형 섬유 혼합토의 상대 균열면적비 비교

## 제 5 절 표층재료의 제반 특성 분석

### 1. 개론

기계화 경작로의 표층재 개발은 제3절과 제4절에서 시험한 내용을 기초로 하여 흙의 단점을 보완할 수 있는 고화재, 자갈, 섬유 등의 혼입율을 조정하여 그 특성을 분석한다. 여기서 나온 결과와 시공성, 경제성 등을 고려하여 표층재의 적절한 배합 설계를 제시한다.

### 2. 사용 재료

#### 가. 흙

기계화 경작로의 시험 포장지역인 충청북도 청원군 오창면 가곡지구 경작로 표층의 흙을 사용하였으며, 그 일반적 성질은 표4.1(제2절에 있음)과 같다.

#### 나. 자갈

자갈은 금강 유역에서 채취한 표면건조포화상태의 천연 골재로써, 그 물리적 성질은 표 4.17과 같다.

표 4.17 자갈의 물리적 성질

Classification		Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	F. M	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
Coarse aggregate	Rounded river gravel	4.76~10	2.64	2.62	7.28	1,502

다. 섬유

포층재의 균열 방지와 휨강도의 증진을 위해 사용된 섬유는 길이가 19mm, 망사형이고, 재질은 폴리프로필렌으로서, 물리적 성질은 표 4.18과 같다.

표 4.18 섬유의 물리적 성질

Item	Absorption (%)	G <sub>s</sub>	Melt point	Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Young's modulus (kgf/cm <sup>2</sup> )	Acid and alkali resistance
Homopolymer polypropylene	0	0.91	162℃ over	3,500~7,700	35×10 <sup>3</sup>	very high inactivity

라. 고화재

보조기층재 개발(제 2 절 과제 3절)에 사용한 팽창성 고화재 ESC를 혼입 하였으며, 화학성분은 표 4.3(제 2 절)과 같다.

3. 재료 배합 설계와 시험체 제작

가. 배합 설계

예비 시험(제4절)을 통해 적절한 강도와 내구성 및 경제성을 갖도록 자연 흙에 자갈 혼입량 10%, 20%, 고화재 혼입량 10%, 20%, 섬유 혼입량 0.1%, 0.3% 등을 변화시킨 9종류의 배합으로 하였으며, 그 배합설계 내용은 표 4.19와 같다.



표 4.19 표층재의 배합 설계

(Unit : wt.%)

Mix type name	Soil	Coarse aggregate	Excellent soil compound	Polypropylene fiber	Water
S <sub>1</sub>	100.0	0	0	0	18.70
S <sub>2</sub>	79.9	10	10	0.1	17.35
S <sub>3</sub>	69.9	10	20	0.1	17.62
S <sub>4</sub>	79.7	10	10	0.3	17.31
S <sub>5</sub>	69.7	10	20	0.3	17.58
S <sub>6</sub>	69.9	20	10	0.1	15.42
S <sub>7</sub>	59.9	20	20	0.1	15.66
S <sub>8</sub>	69.7	20	10	0.3	15.38
S <sub>9</sub>	59.7	20	20	0.3	15.62

나. 시험체 제작

포장재의 혼합은 각 재료들의 특성을 고려하여 흙과 골재 및 고화재를 잘 섞은 후 물을 혼입하여 혼합한 후 망사형의 폴리프로필렌 섬유를 혼입하여 혼합하였다.

시험체 제작과 양생방법은 제2절의 보조기층재 개발과 같다.

4. 시험 방법

시험체의 성질 시험은 KS와 BS에 규정된 방법에 따라 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 사용하였다.

- 1) 중량변화 시험, 2) 압축강도 시험, 3) 휨강도 시험, 4) 초음파진동속

도 측정, 5) 동탄성계수 측정, 6) 투수계수 측정 등은 제2절에서 한 시험 방법과 동일하다.

7) 동결융해 시험은 60×60×240mm의 시험체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2456(급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 실시하였으며, 50 cycle마다 동탄성계수를 측정하여 상대동탄성계수와 내구성지수를 산출하였다.

## 5. 결과 및 고찰

### 가. 증량변화시험

양생에 따른 시험체의 건조상태는 경작로의 포장 후에 양생에 필요한 수분을 얼마나 보유하고 있는가를 측정할 수 있는 기준이 된다. 특히 시멘트계의 고화재를 사용하는 경우에 수분의 상태는 수화반응에 영향을 미치게 된다. 양생기간에 따른 배합별 증량변화는 표 4.20과 그림 4.27과 같다.

표 4.20 표층재의 증량변화 시험 결과

Mix type name	Mass loss ratio (%)		
	0~7 days	0~28 days	0~91 days
S <sub>1</sub>	8.65	12.40	12.90
S <sub>2</sub>	6.16	7.84	8.76
S <sub>3</sub>	4.15	4.57	5.20
S <sub>4</sub>	7.55	10.18	10.75
S <sub>5</sub>	4.44	4.81	5.39
S <sub>6</sub>	5.24	6.59	7.59
S <sub>7</sub>	2.05	2.37	2.65
S <sub>8</sub>	5.76	6.88	8.00
S <sub>9</sub>	2.31	2.63	2.98

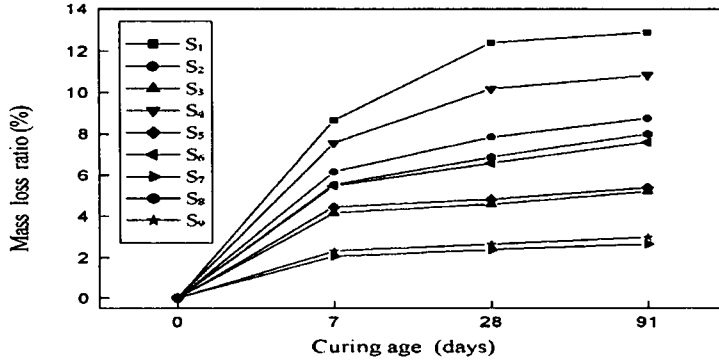


그림 4.27 표층재의 증량 변화

표 4.20과 그림 4.27에서 보는 바와 같이, 표층재의 증량변화는 자갈과 고화재의 혼입량이 많을수록 작게 나타났고, 섬유의 혼입량이 많을수록 대체적으로 크게 나타났으며, 재령 7일, 28일, 91일 다같이 자갈 20%, 고화재 20%, 섬유 0.1%, S<sub>7</sub> 배합에서 증량 감소율이 가장 작게 나타났다.

이러한 이유는 자갈의 혼입량이 증가되면 상대적으로 수분을 증발시키는 부분이 줄어들고, 고화재의 혼입량이 증가되면 수분이 수화반응에 사용되어 증발되는 수분이 적게되기 때문이며, 섬유의 혼입량이 증가하면 표층재의 표면에 노출된 섬유의 부분을 통해 재료 내부의 증발이 쉽게 일어나기 때문 이라고 생각된다.

따라서, 증량감소율이 가장 작은 S<sub>7</sub> 배합을 표층재로 사용하는 것이 건조수축에 따른 팽창율이 작고 동결융해 저항성이 커 표층재로 가장 적합할 것으로 생각된다.

나. 압축강도

재료의 역학적 특성을 나타내는 압축강도는 각종 구조물의 설계 기준이 될 뿐만 아니라 인장강도, 휨강도, 탄성계수 등을 추정 할 수 있는 기초자료가 된다. 각 배합비에 따른 표층재의 압축강도를 비교하면 표 4.21과 그림 4.28과 같다.

표층재의 압축강도는 배합비와 재령에 크게 의존 되었으며, 재령 7일의 경우 26.95~40.46 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 자연 흙, S<sub>1</sub>에 비해 S<sub>2</sub>~S<sub>9</sub>에서 2.49~

표 4.21 표층재의 압축강도 시험 결과

Mix type name	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )			Increasing ratio of strength (%)	
	7 days	28 days	91 days	7-28 days	28-91 days
S <sub>1</sub>	10.81	17.37	18.87	160	108
S <sub>2</sub>	26.95	41.32	58.76	153	142
S <sub>3</sub>	31.78	76.34	83.98	240	110
S <sub>4</sub>	29.51	49.41	60.27	167	121
S <sub>5</sub>	34.55	79.37	85.94	229	108
S <sub>6</sub>	34.51	62.45	65.38	180	104
S <sub>7</sub>	40.10	77.33	89.34	192	115
S <sub>8</sub>	34.99	65.09	69.26	186	106
S <sub>9</sub>	40.46	87.96	91.34	217	103

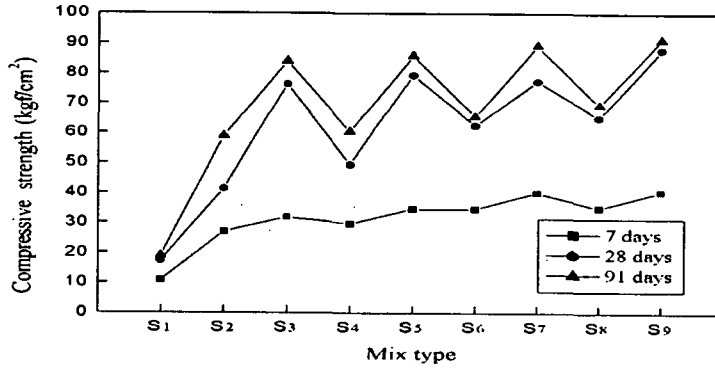


그림 4.28 표충재의 압축강도 변화

~3.74배 크게 나타났고, 재령 28일의 경우는 41.32~87.96 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 자연 흙에 비해 2.37~5.06배 크게 나타났으며, 재령 91일의 경우 58.76~91.34 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 자연 흙에 비해 3.11~4.84배 크게 나타났다.

표충재의 재령 28일 압축강도는, 자갈량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 1~51%의 강도 증가를 나타냈고, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 23~84% 크게 나타났으며, 섬유량이 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 3~19% 크게 나타났다. 한편, 재령 91일 압축강도는 자갈량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 6~14%의 강도증가를 나타냈고, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 31~42% 크게 나타났으며, 섬유량이 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 2~5% 크게 나타났다.

또한, 재령 7일에 대한 28일의 강도증가가 재령 28일에 대한 재령 91일의 강도증가보다 크게 나타나 초기재령에서의 강도증가가 크게 나타났다.

재령에 따른 압축강도가 고화재, 자갈, 섬유의 혼입량이 많을수록 크게 나타난 이유는 자갈량의 증가에 따른 흙에 대한 고화재의 양이 상대적으로

증가되었기 때문이며, 섬유유 양이 증가되면 토립자 사이에 섬유유로 인한 구속력이 증가되었기 때문이라고 생각된다.

기계화 경작로 표층의 재령 7일과 28일 압축강도는 현재 사용중인 농작업기계로 볼 때 대체적으로  $30 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $50 \text{ kgf/cm}^2$  이상이면 무난할 것으로 생각되어, 표층재 포장에 사용할 수 있는 배합은  $S_3$ 에서  $S_9$ 까지이다.

#### 다. 휨강도

각 배합비에 따른 표층재의 휨강도 시험 결과를 나타내면 표 4.22와 그림 4.29와 같다.

재령 7일 휨강도의 경우  $5.24 \sim 13.99 \text{ kgf/cm}^2$ 로  $S_1$ 에 비해  $S_2 \sim S_9$ 에서 2.29~6.10배 크게 나타났고, 재령 28일의 경우는  $6.85 \sim 17.26 \text{ kgf/cm}^2$ 의 범위로  $S_1$ 에 비해 1.28~3.23배 크게 나타났으며, 재령 91일의 경우에는  $8.26 \sim 20.06 \text{ kgf/cm}^2$ 의 범위로 자연 흙에 비해 1.06~2.59배 크게 나타났으며, 재령 91일의 강도는 재령 28일의 강도에 비해 12~33% 크게 나타났다.

재령 28일의 경우, 자갈량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 0.6~64%의 강도 증가를 나타냈으며, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 49~91%의 강도 증가를 나타냈고, 섬유유량이 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 3~67%의 강도 증가를 나타냈으며, 재령 91일의 휨강도는 자갈량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 4~54%의 강도 증가를 나타냈고, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 41~64%의 강도 증가를 나타냈으며, 섬유유량이 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 2~41%의 강도 증가를 나타냈다.

재령 7일에 대한 28일의 강도 증가가 재령 28일에 대한 91일의 강도 증가보다 대체적으로 크게 나타나 초기재령에서 강도 증가가 크게 나타났다.

각각의 재령에 대한 휨강도는 고화재, 자갈, 섬유유 혼입량이 많을수록 크게 나타났는데, 이러한 이유는 자갈량의 증가에 대한 상대적인 고화재량

의 증가와 섬유가 토립자 사이의 구속력을 증가시켰기 때문이라고 생각된다.

경작로 표층의 휨강도는 농작업기계별로 차이는 있으나, 대체적으로 재령 28일에  $8\text{kgf/cm}^2$  이상이면 적절할 것으로 생각되므로, 배합비  $S_3$ 부터는 적용이 가능하다.

표 4.22 표층재의 휨강도 시험 결과

Mix type name	Flexural strength ( $\text{kgf/cm}^2$ )			Increasing ratio of strength (%)	
	7 days	28 days	91 days	7-28 days	28-91 days
$S_1$	2.29	5.33	7.72	232	144
$S_2$	5.24	6.85	8.26	130	120
$S_3$	9.93	10.21	13.62	102	133
$S_4$	7.34	8.95	11.42	121	127
$S_5$	13.59	17.15	19.27	126	112
$S_6$	6.75	9.75	12.76	144	130
$S_7$	13.43	16.75	19.51	124	116
$S_8$	7.85	10.32	13.45	131	130
$S_9$	13.99	17.26	20.06	123	116

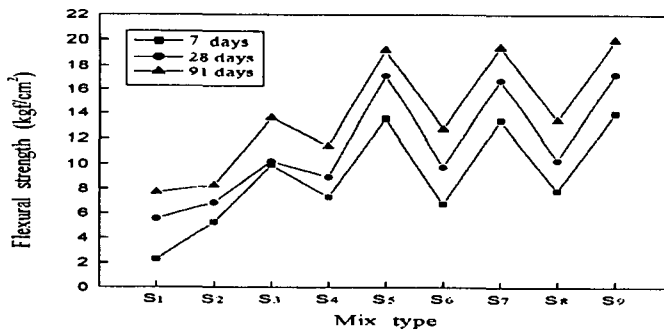


그림 4.29 표층재의 휨강도 변화

#### 라. 초음파진동속도

표층재의 초음파진동속도 시험결과를 나타내면 표 4.23과 그림 4.30과 같다.

재령 7일의 초음파진동속도는 1,977~2,654m/s의 범위로 S<sub>1</sub>에 비해 S<sub>2</sub>~S<sub>9</sub>에서 1.16~1.51배 크게 나타났으며, 재령 28일에서는 2,201~2,864m/s의 범위로 S<sub>1</sub>에 비해 1.18~1.53배 크게 나타났고, 재령 91일에서는 2,316~2,905m/s의 범위로 S<sub>1</sub>에 비해 1.16~1.46배 크게 나타났다.

재령 28일의 경우 자갈량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 4~12% 크게 나타났으며, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 11~17% 크게 나타났고, 섬유량이 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 3~8% 크게 나타나 고화재량의 증가에 대한 초음파진동속도의 증가량이 다소 크게 나타났다.

재령 91일의 경우는 자갈량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 4~12% 크게 나타났으며, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 8~16% 크게 나타났고, 섬유량이 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 3~7% 크게 나타나 고화재량의 증가에 대한 초음파진동속도의 증가량이 재령 28일의 경우와 같이 크게 나타났다.

재령에 따른 초음파진동속도는 고화재, 자갈, 섬유의 혼입량이 많을수록 크게 나타났는데, 이러한 이유는 고화재의 입자가 토립자보다 작아 토립자의 미세공극을 충전 시켜주고, 자갈과 섬유의 양이 증가되어 초음파진동속도를 방해하는 요인이 감소되었기 때문이라고 생각된다.

#### 마. 동탄성계수

배합비에 따른 동탄성계수 시험 결과를 나타내면, 표 4.24와 그림 4.31과 같다.

재령 28일의 동탄성계수는 S<sub>1</sub>에 비해 S<sub>2</sub>~S<sub>9</sub>에서 자갈량이 10%에서 20%로



표 4.23 표층재의 초음파진동속 시험 결과

Mix type name	Ultrasonic pulse velocity (m/s)		
	7 days	28 days	91 days
S <sub>1</sub>	1,812	1,895	1,984
S <sub>2</sub>	1,977	2,201	2,316
S <sub>3</sub>	2,109	2,462	2,506
S <sub>4</sub>	2,082	2,384	2,471
S <sub>5</sub>	2,438	2,674	2,695
S <sub>6</sub>	2,179	2,355	2,409
S <sub>7</sub>	2,613	2,764	2,816
S <sub>8</sub>	2,204	2,493	2,579
S <sub>9</sub>	2,654	2,864	2,905

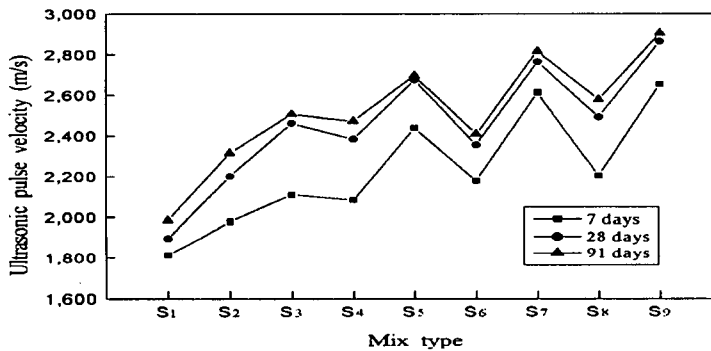


그림 4.30 표층재의 초음파진동속도 변화

증가함에 따라 7~25% 크게 나타났으며, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 9~24% 크게 나타났고, 섬유량이 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 3~14% 크게 나타났으며, 재령 91일의 경우에는 자갈량이 10%에서 20%로 증

가함에 따라 10~35% 크게 나타났고, 고화재량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 6~31% 크게 나타났으며, 섬유량이 0.1%에서 0.3%로 증가됨에 따라 3~16% 크게 나타났다.

표4.24 표층재의 동탄성계수 측정 결과

Mix type name	Dynamic modulus of elasticity ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )		
	7 days	28 days	91 days
S <sub>1</sub>	81	93	117
S <sub>2</sub>	106	187	196
S <sub>3</sub>	166	233	251
S <sub>4</sub>	124	198	204
S <sub>5</sub>	203	241	268
S <sub>6</sub>	116	217	237
S <sub>7</sub>	216	251	284
S <sub>8</sub>	152	248	276
S <sub>9</sub>	240	272	295

배합에 따른 동탄성계수는 고화재, 자갈, 섬유의 혼입량이 많을수록 크게 나타났는데, 이러한 이유는 흙 보다 입자가 작은 고화재의 미세공극충진효과와, 자갈과 섬유의 양이 증가되어 전파의 흐름을 방해하는 요인이 감소되었기 때문이라고 생각된다.

#### 바. 투수계수

표층재의 투수계수를 나타내면 표 4.25와 그림 4.32와 같다.

표층재의 투수계수는 자갈과 고화재의 혼입량이 증가할수록 작아지고 섬유의 혼입량이 증가할수록 커지는 경향을 나타냈는데, 이러한 이유는 고화

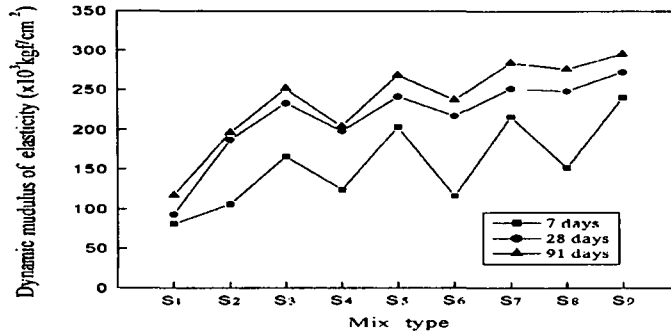


그림 4.31 표층재의 동탄성계수 변화

재의 혼입으로 인한 흡입자 내부의 미세공극충진과 고화재의 수화반응에 따른 에트링자이트의 생성으로 흡입자를 치밀하게 하였기 때문이라 생각된다. 모든 배합에서 자연 흡, S<sub>1</sub> 보다 투수계수가 작게 나타났으며, 고화재가 혼입되면 시멘트 콘크리트 이상으로 투수가 되지 않는다.

표 4.25 표층재의 투수계수 시험 결과

Mix type name	Coefficient of permeability(cm/s)
S <sub>1</sub>	$6.151 \times 10^{-7}$
S <sub>2</sub>	$2.905 \times 10^{-7}$
S <sub>3</sub>	$6.051 \times 10^{-8}$
S <sub>4</sub>	$3.747 \times 10^{-7}$
S <sub>5</sub>	$9.523 \times 10^{-8}$
S <sub>6</sub>	$3.495 \times 10^{-8}$
S <sub>7</sub>	$4.163 \times 10^{-8}$
S <sub>8</sub>	$5.386 \times 10^{-8}$
S <sub>9</sub>	$5.969 \times 10^{-8}$

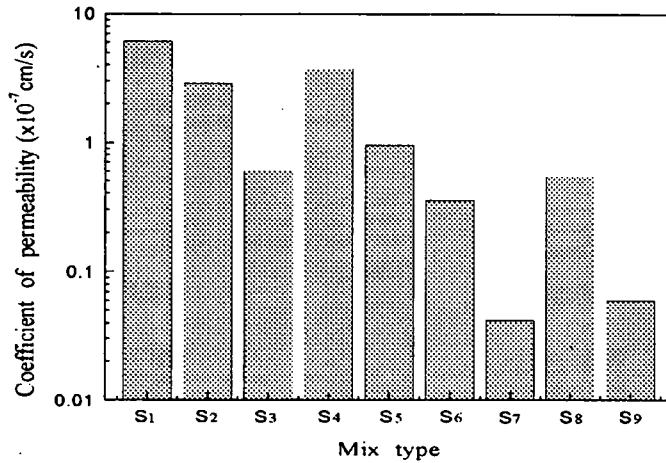


그림 4.32 표층재의 투수계수 변화

#### 사. 동결융해시험

동결융해시험은, 심한 기상작용, 특히 한랭지 겨울에 수분이 동결함으로써 체적이 팽창하고, 미세 균열이 발생하여 강도 저하는 물론 심한 경우에는 표면에 박리현상이 일어나는데, 이러한 현상을 인공적으로 발생시켜 재료의 동결에 대한 저항성을 측정하는 것이다. 동결융해시험 중, 매 50 cycle 마다 표층재의 동탄성계수를 측정하여 동결융해에 따른 표층재의 내구성을 측정하였으며, 동결융해시험 후의 상대동탄성계수와 내구성지수를 나타내면 표 4.26과 그림 4.33과 같다.

상대동탄성계수와 내구성 지수는 배합비 S7에서 가장 크게 나타났으며, 동결융해에 대한 저항성은 자갈과 고화재의 혼입량이 증가함에 따라 크게 나타났고, 섬유 혼입량이 증가함에 따라 작게 나타났는데,

표 4.26 표충재의 동결융해시험 결과

Mix type name	Relative dynamic modulus of elasticity (%)							Durability factor (D.F)
	0	50	100	150	200	250	300	
	cycle	cycle	cycle	cycle	cycle	cycle	cycle	
S <sub>1</sub>	100	93.6	91.5	88.9	87.1	86.2	84.5	84.5
S <sub>2</sub>	100	97.9	96.5	95.3	93.1	91.2	89.0	89.0
S <sub>3</sub>	100	98.2	96.6	95.4	93.7	92.0	90.7	90.7
S <sub>4</sub>	100	97.8	95.3	94.0	92.5	90.7	88.2	88.2
S <sub>5</sub>	100	98.0	96.0	94.3	92.7	91.6	89.8	89.8
S <sub>6</sub>	100	98.5	97.1	95.6	93.5	92.8	91.0	91.0
S <sub>7</sub>	100	99.0	97.9	96.3	95.3	94.1	92.9	92.9
S <sub>8</sub>	100	98.0	96.8	95.4	93.5	92.5	90.8	90.8
S <sub>9</sub>	100	98.6	97.0	95.7	94.6	93.1	91.7	91.7

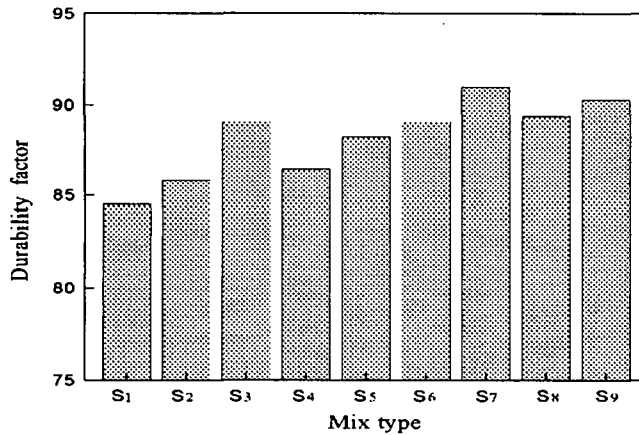


그림 4.33 표충재의 내구성 지수 변화

이러한 이유는 자갈과 고화재의 혼입량이 많아지면 투수계수가 작게 나타나고, 섬유의 혼입량이 많아지면 투수계수가 크게 나타난 원인과 유사한 결과라 하겠다.

따라서, 동결융해에 잘 견디는 표층재를 포장하기 위해서는 고화재와 자갈의 양이 많은 배합이 적합하다.

## 6. 요약

① 표층재의 중량변화는 자갈과 고화재의 혼입량이 많을수록 작게 나타났고, 섬유의 혼입량이 많을수록 대체적으로 크게 나타났으며, 재령 7일, 28일, 91일 다같이 고화재 20%, 자갈 20%, 섬유 0.1% 배합에서 중량감소율이 가장 작게 나타났다.

② 표층재의 압축강도, 휨강도, 초음파진동속도, 동탄성계수 등은 다같이 자갈, 고화재, 섬유의 혼입량이 많을수록 크게 나타났으며, 고화재량의 증가가 가장 큰 영향을 나타냈다.

③ 표층재의 투수계수는 자갈과 고화재의 혼입량이 증가할수록 작게 나타났고, 섬유의 혼입량이 증가할수록 크게 나타났으며, 고화재 20%, 자갈 20%, 섬유 0.1% 배합에서  $4.163 \times 10^{-9} \text{cm/s}$ 로 다른 표층재에 비해 투수계수가 가장 작게 나타났다.

④ 표층재의 동결융해에 의한 내구성 시험결과는 자갈과 고화재의 혼입량이 증가할수록 크게 나타났고, 섬유의 혼입량이 증가함에 따라 다소 작게 나타났으며, 고화재 20%, 자갈 20%, 섬유 0.1%, S<sub>7</sub>의 배합에서 동결융해에 대한 내구성 지수가 가장 크게 나타났다.

⑤ 위의 시험 결과로 보면, 고화재, 자갈, 섬유의 배합량이 각각 20%, 20%, 0.1%의 배합이 가장 좋지만, 경제성과 시공성을 고려하여 배합비를 결정하면 된다.

⑥ 표층재에서 섬유량이 많아지면, 현장 시공시 섬유가 뭉침 현상으로 인해 강도 및 기타 성능을 저하시킬 수 있기 때문에 현장 배합시 세심한 주의가 요망된다.

## 제 6 절 요약 및 결론

농업생산성의 증대와 환경 보전을 전제로 하는 자연친화적인 기계화. 경작로의 포장에 위하여, 경작로의 흙을 기본재료로 하고, 흙의 단점을 보완할 수 있는 고화재, 석탄회, 자갈, 섬유 등을 혼입하여 자연친화적인 보조기층과 표층 포장재료를 개발하기 위하여 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 석탄회 혼합토는 강도 증진 효과는 없으나 다짐 효과는 좋아지고 투수계수는 약간 감소하므로, 산업부산물 활용 차원에서 보조기층재로 사용할 수는 있다.
2. 보조기층재에 사용하는 석탄회 혼합토의 석탄회 배합량은 5%에서 10%까지 적당하다.
3. 고화재 혼합토의 중량변화는 골재와 고화재의 혼입량이 많을수록 작게 나타났고, 압축강도, 휨강도, 초음파진동속도, 동탄성계수 등은 모든 재령과 배합에서 다같이 고화재, 골재의 혼입량이 많을수록 크게 나타났으며, 고화재의 혼입량에 의한 증가 정도가 골재의 혼입량에 대한 증가보다 크게 나타났다.
4. 보조기층재는 필요한 성질과 경제성을 고려하면, 고화재 5%를 혼입하면 그 기능을 충분히 할 수 있다.
5. 환경 생태성, 강도 특성, 시공성 등을 종합적으로 고려하면, 시멘트, 석고, 마그네샤 등의 재료보다는 팽창성 고화재인 ESC가 혼입하는 주 재료

로 적합하다.

6. 표층재의 경우, 고화재, 자갈, 섬유의 배합량이 각각 20%, 20%, 0.1%의 배합이 가장 좋다.
  7. 경제성과 시공성을 고려하면, 고화재의 기준 혼입량은 15%, 20%가 적당하고, 섬유의 혼입량은 0.1%, 0.3%, 자갈은 10%, 20%를 기준으로 하는 것이 좋다. 고화재 혼입에 의한 성질 개선 효과가 더 높지만 고화재의 가격이 비싼 점을 고려하면 자갈 10%, 고화재 15% 정도가 혼입되면 될 것으로 판단된다.
  8. 고화재 혼합토는 고화재와 자갈의 혼입량이 많아하면 압축강도와 휨강도가 증가하므로 현장 조건에 맞게 적절한 배합을 사용한다면 기계화 경작로 뿐만 아니라 마을 안길 포장에도 충분히 이용할 수 있을 것으로 판단된다.
- \* 이 연구에서 개발된 포장 재료는 에코콘크리트(Eco-concrete)로 명명한다.



## 제 5 장 기계화 경작로 포장공법의 개발

### 제 1 절 서론

기계화 경작로는 경지정리된 농지의 간지선 경작로를 포함함으로써 효율적인 경작로 개발을 위한 체계적인 경작도로망의 확립, 농산물의 생산지, 가공, 유통시설간의 농로를 확보함으로써 농업 기계화의 촉진 및 기계화 영농 등으로 농업 경쟁력 재고는 물론 국도, 지방도 및 농어촌도로 정비사업과 연계·개발하여 도로이용을 재고 및 농어촌 생활환경개선에 기여함을 목적으로 한다. 따라서, 기계화 경작로는 내구성, 안전성, 대상지역의 기후조건, 토질특성 등에 맞도록 설계가 되어야 하며, 용·배수도가 있는 경우에는 이들과의 관계도 검토하여 용·배수관리가 용이하도록 하여야 한다.

기계화 경작로는 농어촌 정비법 제2조 및 농어촌발전특별조치법 제2조에 규정되어 있는 “농업생산기반조성정비사업으로 설치된 도로 또는 농어촌의 생활과 농수산물의 생산 및 수송에 주로 이용되는 도로로서 도로법에 규정되어 있지 않는 도로”를 말한다. 이와 관련된 것으로 농림부의 계획설계기준(농도편)에서는 농도를 기간 농도와 경지내 농도로 구분하고, 경지내 농도는 다시 간선 농도, 지선 농도, 경작도로 구분하고 있는데, 여기서 언급하는 기계화 경작로는 지선 농도 또는 경작도의 규모에 해당한다. 또한, 농어촌도로법에서는 농어촌도로를 면도, 리도 및 농도로 구분하고 있는데, 여기서 언급하는 농도에 해당하는 도로이다.

이러한 농도 또는 기계화 경작로가 도로법에 규정되어 있지 않다고 해서 도로의 구조시설기준에 관한 규정을 적용하지 않는다는 것이 아니라 현장과 여건에 맞도록 수정·적용하여야 할 것이다.

따라서, 본 절에서는 앞서 개발된 포장재료를 바탕으로 기계화 경작로에 적용할 수 있는 공법을 언급하고자 한다.

## 제 2 절 기계화 경작로의 설계조건

### 1. 기계화 경작로의 폭

기계화 경작로의 유효폭은 계획된 농기계 (자동차포함)가 안정하게 통행할 수 있게 결정해야 한다. 기계화 경작로의 포장폭은 3m(1차선) 수준을 기준으로라고, 확장계획을 수립시 확장폭은 5.0m 이상으로 계획하며 포장부분에서 50cm 이상의 길섶(길어깨)을 확보해야 한다. 그러나, 최근 대구획 경지정리의 시행에 따른 대규모 농기계의 차량폭을 검토하여 결정하여야 한다. 표 5.1은 각종 농업용 차량의 차륜폭을 나타내고 있다. 또한, 기계화 경작로는 농기계가 교차통행을 할 수 있도록 교차로 등 여유공간에 포장폭을 포함하여 5.5m 폭 정도가 되어야 하며, 이보다 작은 경우에는 교차지역을 두어야 한다.(대피소 등의 설치)

표 5.1 각종 농업용 기계의 차륜폭

명 칭	차륜폭 (m)	명 칭	차륜폭 (m)
승용차	1.7	씨드드릴 (종자파종기)	3.0
대형트럭 (6톤이상)	2.5	롤러	2.4
소형트럭 (2톤이상)	1.7	매뉴얼 스프레더 (퇴비살포기)	2.0
경자동차	1.4	브러시 브레이커	1.8
경운기 (5ps 미만)	0.6	디스크 해로우	2.3
" (5ps 이상)	0.7	라임 소우어(석회살포기)	3.5
승용트랙터 (30ps미만)	1.1	농장용 왜곤	2.0
" (30ps 급)	1.7	스피이드 스프레이어 (400 l)	1.0
" (50ps이상)	2.3	" (800 l)	1.5
콤바인 (1조)	1.3	" (1,500 l)	1.6
" (2조)	1.6	사료작물 수확기	2.4~30
" (3조)	1.7	옥수수 수확기	0.1
" (20ps 급)	2.3	크롭케리(6m <sup>3</sup> )	2.4
" (50ps 급)	3.5	" (13m <sup>3</sup> )	2.6
" (90ps 급)	3.5	건초 포장기	2.4
자전거	1.0		
트레일러	1.9		
헤드트랙터	1.3		

3m의 포장만을 계획하는 경우는 기계화 경작로 폭이 최소한 5m 이상이 되어야 한다. 확·포장시 부지는 기존의 농지개량시설(기존의 토공수로등) 부지를 최대한 활용한다.

차량이 비키는 간격 0.5m, 차량 외측방향의 여유폭을 양쪽에 각각 0.3m 씩, 그리고 간선농도의 여유폭은 트럭(폭 2.4m)과 트랙터(폭 2.0m)의 교차를 예상해서 5~6m 정도로 한다.

표 5.2는 농림부에서 추천하는 기계화 경작로의 확·포장사업에서 적용하는 기준이다. 이는 기계화 경작로뿐만 아니라 농어촌도로에도 적용하는 기준이다. 여기서는 지선농도인 경우에는 콤팩트의 주행을 고려해서 5~6m 정도, 경작도로인 경우에는 일반적으로 4m 정도를 추천하고 있다.

표 5.2 기계화 경작로의 종류별 설계 폭

구분	차 량 종 류 별	기본폭	교차간격	여유폭	길섶폭	계	도로폭
간선	자동차 대 자동차	5.0	0.5	0.6	1.0	7.0	7.0
	자동차 대 대형농기계	4.8	0.5	0.6	1.0	7.0	7.0
지선	자동차 대 자동차	5.0	0.3	0.2	0.5	6.0	6.0
	자동차 대 대형농기계	4.8	0.3	0.2	0.5	5.8	6.0
	대형농기계	3.5	0.3	0.2	0.5	4.5	5.0
	대형농기계	3.5	0.3	0.2	0.5	4.5	5.0
	대형농기계	4.6	0.3	0.2	0.5	5.6	6.0
경작도	자동차 일방통행	2.5	-	-	1.0	3.5	4.0
	대형농기계 일방통행	2.3	-	-	1.0	3.4	3.5
	대형농기계 대 우마차	3.5	-	-	1.0	4.5	4.0
	대형농기계 대 리어커	3.3	-	-	1.0	4.3	4.0

## 2. 설계기준

기계화 경작로의 설계기준은 별도의 기준을 적용하는 것보다 현재 소규모 도로나 농어촌 도로 등에 적용하는 기준을 현장의 상태에 맞도록 변경하여 사용하는 것이 타당하다고 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 농림부(1996)의 “기계화 경작로 확·포장 사업계획 설계 및 시공”에서 제시된 기준을 바탕으로 농민들의 요구사항과 건의사항(제 2장 참조)을 검토하여 수정하여 적용하였다. 그외의 기준은 앞서 언급한 기준을 적용하도록 권장한다.

### 가. 일반사항

1) 기계화 경작로의 높이는 농기계의 진·출입이 용이하도록 논바닥에서 0.4~0.5m 정도를 기준으로 한다. 외측사면 경사는 1:1~1.5를 기준으로 한다. 발지역에서는 도로면의 높이는 발바닥과 같거나 조금 높게 하는 것이 좋다.

2) 기계화 경작로의 종단 최대기울기는 보통 8%이며, 특별한 경우는 12%를 표준으로 하며, 횡단기울기는 노면중앙을 양측보다 높게 하여 노면배수를 용이하게 한다. 사리도는 3~6%, 콘크리트 및 아스팔트 포장도는 1.5~2.0%, 본 연구에서 적용한 재료의 경우는 2.0% 정도를 표준으로 한다.

### 나. 설계속도

일반도로에서 적용되는 설계속도는 평균적인 기량을 가진 운전자가 도로의 어느 구간에서 쾌적성을 잃지 않고, 유지할 수 있는 속도를 말하며, 곡선반경, 시거, 종단기울기, 편기울기 등 도로의 기하학적 구조를 검토하고, 결정하기 위하여 기본이 되는 속도이다.

그러나, 기계화 경작로의 경우에는 도로의 쾌적성 또는 이동성보다는 접

근성을 더 중시하는 도로이므로, 농어촌도로에서 적용하는 면도(기간농도, 간선농도)에서 설계속도보다는 농도(지선농도, 경작도)의 기능을 고려하여 설계속도의 하한값을 20 km/h로 한다. 표 5.3은 농어촌도로의 구조·시설기준에 관한 규칙에서 정한 설계속도를 나타낸다. 또, 표 5.4는 주요 농기계의 주행속도를 나타낸다.

표 5.3 농어촌도로의 설계속도

구 분		설계속도	차도폭
면도(기간농로, 간선농로)	평지	50 km/h	6.0 m이상
	산지	40 km/h	
리도(지선농도)		40 km/h	5.0 m이상
농도(경작도)		20 km/h	3.0 m이상

표 5.4 주요 농기계별 주행속도

농업용 기계별	주행속도 (km/h)	농업용 기계별	주행속도 (km/h)
경운기( 5PS 미만)	5~15	승용트랙터( 30PS 이상) 콤바인	22~31 2~8
경운기( 5PS 이상)	11~15		
승용트랙터( 30PS 미만)	12~15		

#### 다. 평면선형

차도의 굴곡부는 곡선형으로 한다. 곡선형은 교차량이 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있도록 곡선반경, 곡선길이, 곡선부의 확폭, 완화구간, 편기울기, 시거 등을 종합적으로 검토하여 결정한다.

이러한 규정은 차량의 안전을 위하여 정하고 있는데, 기계화 경작로인 경우는 과속이나 고속주행이 거의 없고, 앞서 언급한 바와 같이 접근성에

우선을 두고 있기 때문에 농림부의 기계화 경작로 규정을 그대로 적용한다.

라. 종단선형.

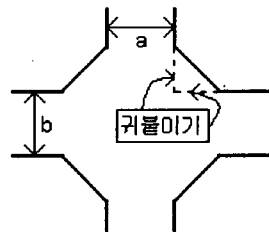
차도의 종단선형은 교통차량의 주행속도의 저하, 오르막능력, 시거 등을 감안하여 교통의 혼란, 안전성의 저하가 발생되지 않도록 한다. 그 결정에서는 종단기울기, 종단곡선의 최소길이 등을 종합적으로 검토한다.

마. 교차부근의 설계

교차점 부근의 계획에서는 계획교통량, 교통기종, 교통제어 및 교통방법 등을 적절하게 정하여 구조를 결정하는 것이 일반적이다. 그러나, 기계화 경작로의 경우에는 대형 교통량이 적고 저속 주행의 차량이 주류를 이루고 있으므로 이의 규정을 정하는 것보다 교차점 부근의 귀불이기를 두고 차량의 교행을 원활하게 하여야 한다. 표 5.5는 교차점의 귀불이기 1변의 길이를 표시한 것이다.

표 5.5 귀불이기의 한변길이 (단위:m)

교차하는 도로의 차도폭		a		
		3	4	5
b	3	2.0	1.5	1.0
	4	1.5	1.0	0.5
	5	1.0	0.5	0



바. 횡단면

차도는 차량의 통행을 목적으로 하는 도로의 일부분이며, 차량주행용 차선, 농작업상 필요에 따라 설치되는 주차대, 대피소, 교행장소 등으로 구성

된다.

차선폭은 중대형 자동차의 폭이 2.5m이므로 교차시의 안전간격 0.5m와 외측차선의 여유폭 0.5m를 합하여 결정하는 것이 좋다.

특히, 기계화 경작로는 횡단기울기를 설치하여 노면의 배수를 보장하는 동시에 교통차량에 대해서도 안전하고 지장이 없도록 해야 한다. 표 5.6은 농어촌도로에 적용하는 횡단기울기를 나타낸다.

표 5.6 횡단 기울기

노면의 종류	횡단 기울기(%)
아스팔트 및 콘크리트 포장	1.5~2.0
간이 포장도로	2.0~4.0
토사계 포장도로	3.0~6.0

#### 사. 배수

기계화 경작로의 배수는 특히 주의하여야 한다. 기계화 경작로의 노면 또는 보조기층 부분은 경우 상당히 긴 시간을 물과 접하거나 물을 포함하고 있기 때문에 이에 따른 주의를 기울여야 한다.

기계화 경작로의 배수는 위치에 따라 표면배수, 지하배수, 비탈면배수, 구조물의 배수 등으로 구분할 수 있으나, 종류의 구분보다는 배수의 지체로 인한 문제점을 파악하고 이에 대한 대책을 강구하여야 할 것이다. 특히, ① 노면배수의 지체로 인한 교통정체나 미끄럼(slip)사고, ② 노면 또는 인접부에서 유입하는 표면수가 도로 내부로 침투함으로 인한 도로의 파괴, ③ 도로에 인접하는 지대에서 유입하는 물과 지하수위의 상승으로 인한 도로의 노화 및 파괴, ④ 비탈면의 침식 및 파괴, ⑤ 구조물의 기능 저하 및 파괴 등을 검토하여야 한다. 동시에 동상현상에 대해서도 검토해야 한다.

### 제 3 절 포장공법의 개발

본 절에서는 기계화 경작로의 포장을 설계하기 위한 방법과 각 공법의 설계 예를 언급하고 있다. 특히, 지오셀 시스템(Geocell system)을 이용한 포장공법은 초연약지반에 적용이 용이한 공법이며, 경제적인 장점을 가지고 있다. 그러나, 앞장에서 조사된 바와 같이 대규모 경지정리지구 뿐만 아니라 일반지구에서도 도로의 단면을 형성한 후, 상당한 기간이 지난 뒤에 기계화 경작로를 포장하기 때문에 연약지반은 거의 개량이 되어 상당히 지지력을 가지게 되므로 다른 연약지반처리공법이 필요하지 않는 것으로 판단된다. 따라서, 이 방법은 상당한 차륜하중을 지지하므로 항구적인 도로보다는 공사용 또는 진·출입용 가설도로 등에 쉽게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

두번째로 소개되는 방법은 기계화 경작로에 적용이 아주 용이하고 경제적이며, 시공이 간단한 방법이다. 본 연구에서도 이 방법을 사용하여 현장 포장시험을 수행하여 아주 우수한 결과를 도출한 방법으로 각 기관에서는 널리 홍보하여 보급할 수 있도록 권장하고 싶다.

#### 1. 지오셀 시스템(Geocell System) 공법

##### 가. 공법의 개요

본 공법은 Geocell을 바탕으로 상부에 아스콘 또는 콘크리트 포장을 하는 경우에 적용한다. 또한, 연약지반인 경우에 지반처리용으로 사용한 Geocell의 상부에 바로 포장체를 구성할 수 있는 특징을 가지고 있다.

차륜의 주행 부위 아래의 노상토의 압밀은 지반의 영구적 변형을 일으킴으로써 침하된 부분은 수분을 모으게 되고 강도를 잃게 되어 완전히 파괴될 때까지 바퀴자국이 계속되게 된다.

상대적으로 고강도의 토목 섬유는 바퀴자국이 생긴 부분을 연결하여 수



직변위에 대한 인장 저항력을 확보하여 준다. 그러나, 인장 보강재는 인장력을 발휘하기까지 상당한 진행이 발생하게 된다.

지오셀은 사전에 바퀴자국을 발생시키지 않고 지반의 변형에 대한 저항력을 확보하여 준다.

그림 5.1은 차륜에 의한 바퀴자국 메카니즘을 보여주며, 그림 5.2는 비포장 도로에서의 지오텍스타일(Geotextile)에 의한 기층재의 횡적구속에 대한 하중지지 개념을 보여준다.

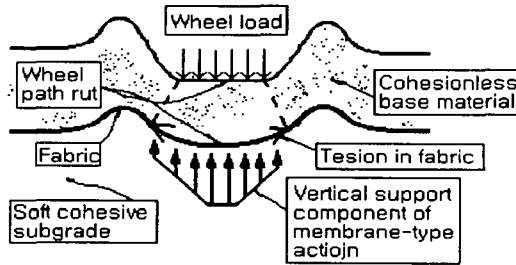


그림 5.1 차륜에 의한 토목섬유의 바퀴자국

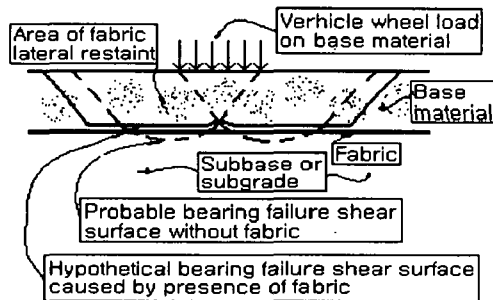


그림 5.2 비포장 도로에서의 Geotextile 하중지지 개념도

## 나. 공법의 특징

- (1) 후프 강도 (HOOP STRENGTH)와 인접 셀의 수동반력에 의한 채움재의 하중-변형의 성능개선.
- (2) 하중 분포를 향상시켜 최소 변형과 고강도의 강성(HIGH FLEXURAL STIFFNESS)의 확보.
- (3) 셀벽의 전단 저항력에 의한 연약지반에서의 입상재의 지지력 개선.
- (4) 표층 가까이에서의 불량한 채움재의 사용을 가능케 한다.
- (5) 동하중 (DYNAMIC LOADING)에서의 입상재의 횡방향의 변위를 방지한다.
- (6) 운반, 설치에 용이함-입상재의 취득이 불가능하거나 비싼 지역에서 특히 경제적이다. (해안 매립지, 산간 도서 등의 벽지, 도심지 등)

## 다. 설계시 조건 및 제한

본 공법은 Boussinesq의 이론을 바탕으로 상부에서 가해지는 타이어 접지압(contact pressure), 지반 강도(CBR, Cu 등), 교통량(ESAL), 허용 침하량 등을 설계조건으로 반영한다.

또, 본 공법은 교통량이 < 10,000 ESAL, 세립토의 노상 CBR이 3.0이내인 지역에 적용이 적당하며 비교적 교통량이 많은 곳에서는 다른 공법을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

## 라. 설계방법

본 공법은 경험적 방법을 통하여 반이론적으로 설계하게 된다. 즉, 차량의 운하중에 의한 지반반력이 지반이 가지는 허용지지력보다 같거나 작게 포장체를 구성하는 것이다.

1) 지반의 극한 지지력

비보강시의 지반의 극한 지지력은 Terzaghi의 지지력 공식에 의해서 구한, 국부 전단 파괴시의 극한 지지력으로 본다. 이 때, 지지력계수는 국부 전단파괴에 해당하는 값을 사용하며, 교통량에 따라 그 값을 달리 사용한다. 즉, 비보강시 지반의 극한 지지력은 다음과 같다.

$$q_u = N \cdot c_u \dots\dots\dots (5.1)$$

여기서,  $q_u$ 는 지반의 극한 지지력,  $c_u$ 는 지반의 전단강도이며, 실험에 의한 값을 사용하는 것이 원칙이지만, 실측치가 없는 경우에는 표 5.7을 참고하여 결정할 수 있다.  $N$ 은 지지력계수로 다음과 같다.

- $N = 3.0$  (국부 전단, Terzaghi)
- $N = 2.8$  ( > 1,000 ESAL, RUT < 50 mm )
- $N = 3.3$  ( < 1,000 ESAL, RUT > 100mm )

표 5.7 점질토의 지반 강도 계수의 관계표

CBR (%)	Cu (psi)	N (bls/ft)	현장에서의 구분
<0.4	<1.7	<0.24	매우 연약(손으로 찢을 때 빠져 나옴)
0.4-0.8	1.7-3.5	2-4	연약(손가락으로 가볍게 눌렀을 때 들어감)
0.8-1.5	3.5-6.9	4-8	중간(손가락으로 세게 눌렀을 때 들어감)
1.6-3.2	6.9-13.9	8-15	견고(엄지손가락으로 쉽게 들어가나 세게 눌러도 들어가지 않는다)
3.2-6.4	13.9-27.7	15-30	매우 견고(엄지 손톱으로 쉽게 들어간다)
>6.4	>27.7	>30	강함(엄지 손톱으로는 어렵다)

2) 차륜하중에 의한 지반반력

Boussinesq의 방정식을 이용하여 깊이 z에서의 연직응력의 증가는 다음과 같다.

$$\sigma_z = \sigma_0 \left[ 1 - \left( \frac{1}{1 + (r/z)^2} \right)^{3/2} \right] \dots\dots\dots (5.2)$$

여기서,  $\sigma_z (= q_u)$ 는 깊이 z에서의 연직응력,  $\sigma_0$ 는 접지압, z는 심도 (포층의 두께), r은 재하면적의 반경(타이어) ( $= \sqrt{P/(\pi\sigma_0)}$ ), P는 차륜하중(복륜)을 의미한다.

3) 비보강시의 포장두께

식(5.2)로부터 차륜의 접지압에 의한 지반반력과 지반의 최대 허용지지력이 같아지는 깊이가 포장의 두께가 되므로, 깊이 z에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$z_n = \frac{r}{\sqrt{\left(1 - \frac{q_u}{\sigma_0}\right)^{2/3} - 1}} \dots\dots\dots (5.3)$$

4) 토목섬유로 보강했을 때의 포장두께

토목섬유 등으로 보강한 경우에는 지반의 허용 지지력이 토목섬유의 인장력에 의하여 증가하게 된다. 즉, 토목섬유로 보강된 지반의 허용지지력은 다음과 같다.

$$q_r = N_r \cdot c_u \dots\dots\dots (5.4)$$

여기서,  $N_r$ 은 지지력계수로 보강된 토목섬유의 유무 및 종류, 교통량 등에 따라 달라지는데, 권장치는 다음과 같다.

$N_r = 5.0$ , Geotextile보강시 ( > 1,000 ESAL-RUT < 50mm )

$N_r = 6.0$ , Geotextile보강시 ( < 1,000 ESAL-RUT > 100mm )

$N_r = 6.2$ , Polypropylene Geogrid 보강시

이 식을 식(5.2)에 대입하여,  $z$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$z_r = \frac{r}{\sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{q_r}{\sigma_0}\right)^{2/3}} - 1}} \dots\dots\dots (5.5)$$

#### 5) 지오셀로 보강했을 때의 포장두께

Geocell 등으로 보강한 경우에는 제3장에서 언급한 바와 같이 Geocell에 의한 지지력의 증가로 인해서 포장체의 두께를 아주 작게 할 수 있다. 다음의 과정을 통하여 구하는 방법을 설명하고자 한다. 그림 5.3은 Geocell로 보강한 지반과 보강하지 않은 지반의 파괴거동을 나타낸 것이다.

#### 가) Geocell로 보강한 지반의 허용 지지력

Geocell로 보강한 지반의 허용 지지력은 다음과 같다.

$$q_g = N \cdot c_u + \sigma_g \dots\dots\dots (5.6)$$

여기서,  $\sigma_g$ 는 지오셀을 통한 응력 감소를 나타내며, 이는 지오셀에 의한 지지력( $\text{tf/m}^2$ )과 같으며, 다음의 순서에 의하여 계산한다.

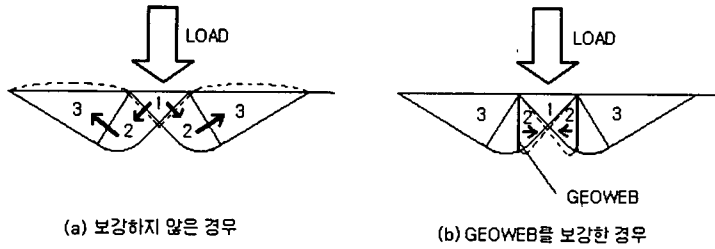


그림 5.3 GEOCELL SYSTEM

나) Geocell에 의한 허용 지지력( $\sigma_g$ ) 계산

Geocell에 의한 허용 지지력은 지오셀의 벽면 마찰력이 지지력의 증가에 기인한다. 즉, 측면에 작용하는 토압에 의하여 지지된다고 가정한다. 이는 이미 다른 연구자의 실험에 의하여 밝혀진 사실이다.

(1) 지오셀 상·하단의 연직 응력

Boussinesq의 이론식에 의하여 점지압에 의한 깊이  $z$  지점에서의 연직응력은 식(5.2)에 의하여 구할 수 있는데, Geocell 하단의 연직응력은 다음과 같다.

$$\sigma_{vb} = \sigma_0 \left[ 1 - \left( \frac{1}{1 + (r/z_2)^2} \right)^{3/2} \right] \dots\dots\dots (5.7)$$

여기서,  $r$ 은 접지압이 작용하는 반경으로  $r = \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot \sigma_0}}$ 이며,  $z_2$ 는 포장두께로 처음에는 가정된 값을 사용하여 최종적으로 구한 포장두께와 비교하면서 시산한다.

또한, Geocell의 상단에 작용하는 수직응력은 다음의 식(5.8)과 같다. 그러나, Geocell이 표층에 있는 경우는 연직응력과 접지압이 같게 된다.

$$\sigma_{vt} = \sigma_0 + \gamma \cdot z_1 \dots\dots\dots(5.8)$$

여기서,  $z_1$ 은 표면에서 Geocell 상단 까지의 깊이이다.

### (2) 지오셀 상·하단의 수평응력

Geocell 상·하단의 수평응력은 Rankine의 토압을 적용한다. 따라서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma_{ht} = K_a \cdot (\sigma_{vt} + \gamma \cdot z_1) \dots\dots\dots (5.9)$$

$$\sigma_{hb} = K_a \cdot (\sigma_{vb} + \gamma \cdot z_2) \dots\dots\dots (5.10)$$

여기서,  $K_a$ 는 Rankine의 주동토압계수( =  $\tan^2(45 - \pi/2)$ )이며,  $\gamma$ 는 채움재의 단위중량을 나타낸다.

### (3) 지오셀 벽에 작용하는 평균 수평 응력

상단 및 하단의 수평응력의 평균은 산술평균을 사용하면 다음과 같다.

$$\sigma_{avg} = (\sigma_{ht} + \sigma_{hb})/2 \dots\dots\dots (5.11)$$

(4) 채움재와 지오셀 벽사이의 전단 저항력

Geocell의 채움재와 벽면사이의 전단력은 채움재와 셀의 마찰각을 이용하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tau_g = \sigma_{avg} \cdot \tan \delta_g \quad \dots\dots\dots (5.12)$$

여기서,  $\delta_g$ 는 지오셀과 흙사이의 전단 저항각 (°)으로 나타내며, smooth Geocell인 경우에는  $0.67 \cdot \phi_f$ 를, diamond geocell인 경우에는  $0.85 \cdot \phi_f$ 를 권장한다. 이 때  $\phi_f$ 는 채움재의 내부마찰각(°)을 나타낸다.

(5) 지오셀에 의한 응력감소(지지력)

위에서 구한 전단저항력을 이용하여 Geocell에 의한 응력감소분을 구하면 다음과 같다.

$$\sigma_g = 2 \cdot \tau_g \cdot (H/D) \quad \dots\dots\dots (5.13)$$

여기서,  $H$ 는 지오셀의 높이(m),  $D$ 는 지오셀의 지름(m),  $\tau_g$ 는 지오셀과 흙사이의 전단 저항력(tf/m<sup>2</sup>)을 나타낸다.

(다) Geocell로 보강했을 때의 포장두께

지반과 Geocell 시스템의 허용 지지력은 식(5.6)에 의하여 구하고, 이를 다시 식(5.2)에 대입하여,  $z$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다. 이것은 식(5.7)의  $z_2$ 와 같게 되도록 시산하여 구한다.



$$z_g = \frac{r}{\sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{q_g}{\sigma_0}\right)^{2/3}} - 1}} \dots\dots\dots (5.14)$$

마. 도로 설계의 예

다음은 위의 이론에 의하여 Geocell 보강시스템으로 설계한 경우와 보강하지 않은 경우, Geotextile로 보강한 포장두께를 비교한 것이다.

1) 설계조건

정기적인 정지작업을 하는 것으로 가정하여, 중장비 통행을 위한 공사용 비포장 가설도로를 설계하라.

Boussinesq 이론(또는 탄성포장이론)에 의하여 지반에 과도한 응력이 발생하지 않도록 하고, 포장단면(입상재)에 의하여 지반에 과도한 응력이 발생하지 않도록 포장단면(입상재)의 최소두께를 비교하며, 지반은 국부 전단 파괴를 가정하여 지지력을 산정한다.

- 지반 조건 : CBR = 1.2
- 차륜 하중 : 1축 복륜 하중,  $P = 53.4 \text{ kN}$
- 타이어 접지압 :  $\sigma_0 = 690 \text{ kPa}$
- 설계수명 기간중의 교통량 : 10,000 ESAL
- 채움재 : 단위중량,  $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ , 내부 마찰각  $\phi_g = 40^\circ$
- Geocell 규격 :  $H \times D = 0.2\text{m} \times 0.175\text{m}$

2) 비보강시의 포장두께

가) 지반의 극한 지지력 계산

주어진 조건에 의하여, 등가단축하중(ESAL)이 10,000이므로 중교통량에 해당하므로  $N$ 은 2.8을 채택하고, 주어진 CBR을 이용하여 표 5.1로부터  $c_u$ 는 5.2 psi(=35.8 kPa)를 구할 수 있다. 따라서, 극한 지지력은 다음과 같다.

$$q_u = 2.8 \times 35.8 = 100 \text{ kPa}$$

나) 타이어의 접지반경 계산

차륜하중( $P$ )이 53.4 kN이고, 접지압( $\sigma_0$ )이 690 kPa이므로 접지반경은 다음과 같이 계산된다.

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot \sigma_0}} = \sqrt{\frac{53.4}{690 \times 3.14}} = 0.157 \text{ m}$$

다) 비보강시의 포장두께

따라서, 차륜하중에 의한 지반의 연직응력이 지반이 가지는 극한 지지력과 같아지도록 식(5.3)에 대입하여  $z$ 를 구하면, 이것이 과도한 침하를 일으키지 않는 포장의 두께가 되므로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} z_n &= \frac{r}{\sqrt{\frac{1}{(1 - q_u/\sigma_0)^{2/3}} - 1}} = \frac{0.157}{\sqrt{\frac{1}{(1 - 100/690)^{2/3}} - 1}} \\ &= 0.472 \text{ m} \end{aligned}$$

### 3) Geotextile 보강시의 포장두께

Geotextile 등으로 지반을 보강한 경우에는 Geotextile의 인장력이 지반의 지지력을 증가시키게 되므로, 식(5.4)에 의하여 구하면 다음과 같다. 이 때, 지지력 계수는 중교통량일 때, 5.0을 채택한다.

$$q_r = 5.0 \times 35.8 = 179 \text{ kPa}$$

이것을 식 (5.5)에 대입하여, Geotextile 보강시의 포장두께를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} z_{gt} &= \frac{r}{\sqrt{\frac{1}{(1-q_r/\sigma_0)^{2/3}} - 1}} = \frac{0.157}{\sqrt{\frac{1}{(1-179/690)^{2/3}} - 1}} \\ &= 0.332 \text{ m} \end{aligned}$$

따라서, Geotextile 등으로 보강한 경우의 포장두께는 비보강시보다 약 14.0cm(약 30 %)정도 절약할 수 있게 된다.

### 4) Geocell 시스템 보강시 포장두께

#### (1) 지오셀 상·하단의 수직응력

상단의 수직응력은 Geocell이 표층에 있는 경우에는 접지압과 같으므로 다음과 같다.

$$\sigma_{vt} = 690 \text{ kPa}$$

또, 지오셀 하단의 수직응력은 식(5.7)에 의하여 구할 수 있다. 이 때, 접지압이 작용하는 반경은 위에서 계산된 바와 같이  $r = 0.157 \text{ m}$ 이다.

그런데, 깊이  $z$ 는 아직 정해진 값이 아니고 구해야 할 값이므로 가정하여 선정한다. 그리고 마지막에서 구해진 포장두께와 비교하여 반복하여 계

산한다. 우선 여기서는  $z = 30.0 \text{ cm}$  로 가정한다. 따라서, 지오셀 하단의 수직응력은 식(5.7)에 대입하여 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\sigma_{vb} &= \sigma_0 \left[ 1 - \left( \frac{1}{1 + (r/z)^2} \right)^{3/2} \right] \\ &= 690 \left[ 1 - \left( \frac{1}{1 + (0.157/0.30)^2} \right)^{3/2} \right] \\ &= 210.09 \text{ kPa}\end{aligned}$$

### (2) 지오셀 상·하단의 수평응력

주어진 조건에 의하여 지오셀 채움재의 내부 마찰각은  $40^\circ$  , 단위중량은  $19.0 \text{ kN/m}^3$ 이므로 계산하면 다음과 같다.

토압계수는 Rankine의 주동토압계수를 적용한다.

$$\text{따라서, } K_a = \tan^2(45 - 40/2) = 0.217$$

또, 위에서 계산된 접지압에 의한 지오셀 상·하단의 연직응력과 채움재의 자중을 고려하여 수평응력을 계산하면 다음과 같다.

$$\sigma_{ht} = K_a \cdot (\sigma_{vt} + \gamma \cdot z_1) = 0.217 \cdot (690 + 0) = 150 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{hb} = K_a \cdot (\sigma_{vb} + \gamma \cdot z_2) = 0.217 \cdot (210.09 + 19.0 \cdot 0.3) = 48.83 \text{ kN/m}^2$$

### (3) 지오셀 벽의 평균 수평 응력

$$\sigma_{avg} = (\sigma_{ht} + \sigma_{hb})/2 = (150 + 48.83)/2 = 99.42 \text{ kN/m}^2$$

### (4) 채움재와 지오셀 벽간의 전단 저항력

smooth Geocell로 간주하여, 전단저항각  $\delta_g = 0.67 \cdot \phi_g$ 를 채택하고,  $\phi_g$ 는 주어진 조건에 의하여  $40^\circ$  를 대입하여 계산한다.

$$\delta_g = 0.67 \cdot \phi_g = 0.67 \cdot 40 = 26.8^\circ$$

$$\tau_g = \sigma_{avg} \cdot \tan \delta_g = 99.42 \cdot \tan(26.8) = 50.22 \text{ kN/m}^2$$

(5) 지오셀을 통한 응력 감소

$$\sigma_g = 2 \cdot \tau_g \cdot (H/D) = 2 \cdot 50.22 \cdot 0.2/0.175 = 114.79 \text{ kN/m}^2$$

(6) 지오셀로 보강한 지반의 허용 지지력

$$q_g = N \cdot c_u + \sigma_g = 100 + 114.79 = 214.79 \text{ kN/m}^2$$

(7) 지오셀을 포함한 포장 단면의 두께

$$z_g = \frac{r}{\sqrt{\frac{1}{(1 - q_g/\sigma_0)^{2/3}} - 1}} = \frac{0.157}{\sqrt{\frac{1}{(1 - 214.79/690)^{2/3}} - 1}}$$

$$= 0.296 \text{ m}$$

이는 처음 가정한  $z = 0.3 \text{ m}$ 와 차이가 나므로  $z = 0.296 \text{ m}$ 로 수정하여 위의 과정을 반복하여 계산한다. 즉,

$$\sigma_{vt} = 690 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{vb} = \sigma_0 \left[ 1 - \left( \frac{1}{1 + (r/z)^2} \right)^{3/2} \right]$$

$$= 690 \left[ 1 - \left( \frac{1}{1 + (0.157/0.296)^2} \right)^{3/2} \right]$$

$$= 214.27 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{ht} = K_a \cdot (\sigma_{vt} + \gamma \cdot z_1) = 0.217 \cdot (690 + 0) = 150 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{hb} = K_a \cdot (\sigma_{vb} + \gamma \cdot z_2) = 0.217 \cdot (214.27 + 19.0 \cdot 0.296) = 47.27 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{avg} = (\sigma_{ht} + \sigma_{hb})/2 = (150 + 47.27)/2 = 98.86 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_g = \sigma_{avg} \cdot \tan \delta_g = 98.86 \cdot \tan(26.8) = 49.94 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = 2 \cdot \tau_g \cdot (H/D) = 2 \cdot 49.94 \cdot 0.2/0.175 = 114.15 \text{ kN/m}^2$$

$$q_g = N \cdot c_u + \sigma_g = 100 + 114.15 = 214.15 \text{ kN/m}^2$$

$$z_g = \frac{r}{\sqrt{\frac{1}{(1 - q_g/\sigma_0)^{2/3}} - 1}} = \frac{0.157}{\sqrt{\frac{1}{(1 - 214.15/690)^{2/3}} - 1}}$$

$$= 0.296 \text{ m}$$

따라서, 다시 가정된 값과 같으므로 Geocell system으로 보강한 지반의 포장두께는 29.6 cm로 한다.

#### 5) 각 방법에 의한 포장두께의 비교

앞에서 지반을 보강하지 않은 경우, Geotextile 등으로 보강한 경우와 Geocell로 보강한 지반에 대한 포장두께를 비교하면 표 5.8과 같다.

따라서, 표에서 보는 바와 같이 비보강시 약 47 cm 정도의 포장두께가 필요한 지반에 Geotextile로 보강하여 포장하는 경우에는 약 14 cm(약 30%)의 절감할 수 있으며, Geocell로 보강하는 경우에는 약 18 cm(약 37%) 정도의 두께를 절감할 수 있게 되어 아주 경제적인 포장을 할 수 있게 된다.

표 5.8 지반 보강방법에 따른 포장두께의 비교

지반 보강방법	포장두께(cm)	비교
비보강시	47.2 cm	100 %
Geotextile 보강시	33.2 cm	29.7 %
Geocell 보강시	29.6 cm	37.3 %

## 2. 에코콘크리트(ecoconcrete)를 이용한 포장공법의 개발

본 공법은 고화재와 망사형태의 짧은 폴리프로필렌 섬유를 자연상태의 흙과 혼합하여 에코콘크리트를 구성하여 기계화 경작로를 포장하는 공법이다.

과거에 소일시멘트를 이용하여 보조기층 또는 기층재로 사용한 실적이 많이 있으며, 현재에도 연약지반의 처리공법으로 시멘트 또는 석회를 사용하여 연약지반을 개량하여 사용하기도 한다. 그러나, 이러한 공법은 흙의 강도나 지지력 증진에 목적을 두었기 때문에 흙의 신축에 따른 내부균열, 입자의 점착력 부족에 따른 분리 등을 방지하지 못하였다. 따라서, 표층 또는 표면에 사용할 수 없는 단점을 가지고 있으나, 본 연구에서 개발된 재료는 이러한 단점을 보완하고 강도, 지지력 등 흙이 가지는 고유한 공학적 문제점을 개선하였고, 흙이 가지는 자연 친화적인 특성을 그대로 재료에 반영하였다.

### 가. 공법의 개요

본 공법은 크게 두 가지 개념을 가지고 설계하였다. 첫째, 기계화 경작로는 일반도로와는 달리 대형 교통량이 작고 주로 농기계류가 주행하기 때문에 서비스 개념을 포함하지 않고 설계하였다. 따라서, 기계화 경작로는 농기계류의 접지압 또는 윤하중에 맞게 포장구조가 지지하도록 설계하였다. 둘째, 본 공법은 사용빈도상 일반도로의 기능을 가지는 것이 타당하지만 주로 사용되는 기간이 농번기에 집중되기 때문에 농사를 짓지 않는 동절기에는 어느 정도 노상의 동결을 허용하는 것으로 설계하여 경제적인 도로개념을 도입하였다.

기계화 경작로 확·포장 사업계획 설계 및 시공(농림수산부, 1996)에 따르면, 기계화 경작로의 포장공법으로 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘

크리트 포장의 설계법을 소개하고 있으나, 실제로 기계화 경작로의 포장은 주로 시멘트 콘크리트 포장을 시행하고 있다. 이 공법은 정확한 품질관리와 철저한 시공에 의하면 아주 내구성이 우수한 장점을 가지고 있으나, 현재 시행되는 단가 등의 문제로 말미암아 보조기층의 시공, 표층의 품질 등의 미비에 따라 원래의 내구성을 발휘하지 못하고 있는 실정이다.

본 공법은 아스팔트 콘크리트 포장의 유연성과 시멘트 콘크리트 포장의 내구성을 동시에 가지는 포장공법이며, 농한기를 이용하여 주민에 의해서 쉽게 포장할 수 있는 시공을 가지는 공법이다.

본 공법은 기존의 포장에 비하여 통기성 등이 뛰어나므로 생태환경적인 면에서 우수한 공법이다. 그림 5.4는 본 공법이 기존의 공법에 비교하여 친환경적인 공법임을 도시한 그림이다.

#### 나. 포장설계 방법

##### 1) 포장의 요건

기계화 경작로의 포장요건은 일반도로나 농어촌도로와 다르게 적용하여야 한다. 물론 상부에서 오는 교통하중을 안전하게 지지하여야 하는 조건은 동일하지만, 그외에 일반도로가 차량통행을 위한 주행성 및 쾌적성을 확보에 관점을 두고, 농어촌도로는 농산물 수송, 영농, 농업시설의 이용에 보다

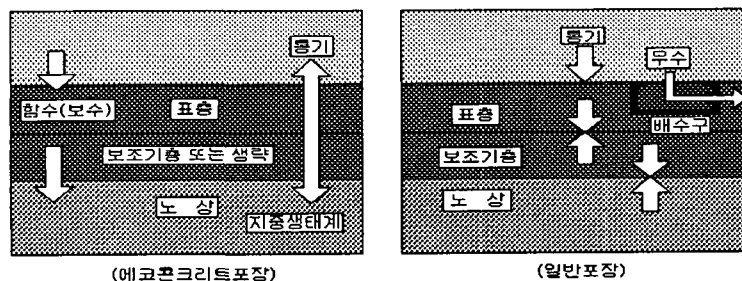


그림 5.4 포장단면의 비교



많은 관심을 두는 반면에 기계화 경작로는 경작지 내의 기계의 주행, 영농, 진·출입에 보다 큰 관심을 두게 된다.

따라서, 기계화 경작로의 포장요건을 요약하면 다음과 같다.

- 교통하중을 충분히 지지할 것
- 노상 및 노반의 변형에 대응할 수 있는 가요성을 가질 것
- 노상 및 노반이 침투수에 강할 것
- 노면이 치밀하고 평탄할 것
- 기상조건에 강할 것
- 표층의 마모, 손상이 최소가 될 것

## 2) 교통조건

예상교통량자료(교통량 추정)을 이용하여 설계기간동안에 설계차선을 통과하는 전체 교통량을 5.0t 단축하중으로 환산하여 일평균 교통량으로 표시한다. 일반도로의 경우에는 8.2t 단축하중으로 환산하여 사용하고 있으나, 기계화 경작로의 경우에는 이것으로도 충분하다고 판단된다. 또 이는 AASHTO의 도로시험에서 인위적으로 택한 것으로, 몇 회 주행하므로써 포장 전체가 공용한계에 이르게 되는가 하는 개념이며 8.2t 단축하중을 기준으로 택한 것은 별다른 의미가 없다.

### 가) 추정 교통량

발생교통량, 전환교통량, 유발교통량을 합하여 교통량을 산출하며 연평균 증가율을 보정하여 산출한다. 경작로 교통량 추정에는 농작업기계(화물차포함)도 고려되도록 한다.

나) 장래 교통량 추정

장래 교통량 추정은 지역 및 지세, 도로의 세력권 기타조건을 고려하여야 하며 추정방법으로는 유사 기존 도로를 이용하는 방법, 인접 기존 도로를 이용하는 방법 등이 있으나 경작로에서는 추정하기가 곤란하므로 IBRD 5차 차관도로 사업시 조사된 교통 증가율을 적용하여 장래 교통량을 계산한다.

다) 포장두께의 설계에 사용되는 교통량

5년후의 대형차의 1일 1방향 추정통과대수로 하며, 그 대수에 따라 표 5.9와 같이 교통량을 구분함을 원칙으로 한다. 다만, 현지의 특수사정에 따라 계획교통량이 대폭 변동되는 사태가 예측되는 경우에는 그 환경조건을 고려하여 교통구분을 검토한다.

3) 하중조건

기계화 경작로의 설계교통량은 시공 5년후 대형차의 1일 일방향교통량으로 한다. 그러나, 기계화 경작로의 경우에는 대형차의 진·출입이 거의 없

표 5.9 교통량의 구분

교통량의 구분		대형차량 교통량(대/일)
L	0	경차량의 교통만 어느 정도 예상되는 경우
	I	15 미만
	II-1	15 이상 40 미만
	II-2	40 이상 100 미만
A	III	100 이상 250 미만
B	IV	250 이상 1,000 미만

주) 교통량이 1,000대 이상일 때는 일반도로 포장 설계시공지침에 의함.

는 상태이나 현재 진행되는 대구획 경지정리의 실시에 따라 대형 농기계의 통행이 예상되므로 여기서는 대형차의 1일 1방향 통과대수로 한다.

또한, 설계 율하중은 대형교통량이 많은 도로에서 사용하나 농어촌도로 또는 기계화 경작로에서는 생략해도 무방하다.

#### 4) 포장두께의 설계

##### 가) 포장의 합계두께

포장의 합계두께는 노상의 설계 CBR에 의하여 결정된다. 종래의 아스팔트 포장에서 적용하던 포장의 합계두께를 구하는 설계곡선은 식 (5.15(a))와 같이 표현된다. 그러나, 에코콘크리트인 경우에는 아스콘에 비하여 강도가 떨어지므로 이를 환산하여 계산하면 식 (5.15(b))와 같다.

$$H = \frac{58.5 \cdot P^{0.4}}{CBR^{0.6}} \dots\dots\dots (5.15(a))$$

$$H = \frac{83.6 \cdot P^{0.4}}{CBR^{0.6}} \dots\dots\dots (5.15(b))$$

여기서, H는 포장의 합계두께(cm), P는 율하중(tf), CBR은 노상토의 설계 CBR을 의미한다.

그림 5.5는 율하중의 크기에 따라 계산된 포장의 합계두께를 설계 CBR에 따라 도시한 것이다. 이 때 율하중은 위에서 언급한 교통량의 구분에 해당하는 율하중을 사용하였다.

또한, 동결을 받는 한랭지역에서는 그 지역의 동결깊이를 구하여 설계곡선에서 구한 합계두께와 비교하여 큰 값을 합계두께로 결정한다.

또, 일반도로에서는 아스팔트 포장의 경우에는 각 층의 두께를 표층인 아스콘의 두께로 환산하여 계산하는 TA법을 사용하여 설계하고 있으나, 본

연구의 대상이 되는 기계화 경작로의 경우에는 2층 또는 1층으로 포장하는 경우가 많으므로 이러한 방법에 대해서는 생략하기로 한다. 그러나, 위에서 언급한 이상의 교통량이 발생하는 도로에 적용하는 경우에는 다음과 같은 방법으로 설계하여도 무방하다. 즉, 본 포장재료인 에코콘크리트의 재질에 대한 실험결과 표층인 경우에는 T<sub>A</sub>법에 적용하는 등치환산계수가 약 0.70, 보조기층인 경우에는 약 0.35정도를 적용하여 아스콘 등치두께로 환산하여 설계할 수도 있다.

포장두께 지수(thickness index) D는 AASHTO 시험 및 일본의 실시한 조사 결과 다음과 같이 표시된다.

$$D = \frac{2.2 P^{0.64}}{CBR^{0.3}} \dots\dots\dots (5.16)$$

여기서, D는 AASHTO 시험에서 정의된 것으로 다음과 같이 계산된다.

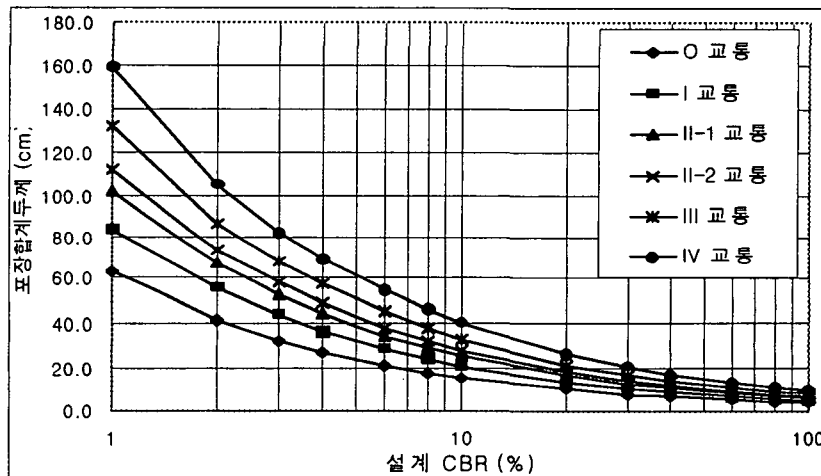


그림 5.5 포장합계두께 설계곡선

$$D = A_1D_1 + A_2D_2 + A_3D_3 \dots\dots\dots (5.17)$$

여기서,  $A_1$ 는 표층의 상대강도계수로 가열혼합식 아스콘의 경우는 0.44,  $A_2$ 는 상층보조기층의 상대강도계수로 입도조정의 경우 0.14,  $A_3$ 은 하층보조기층의 상대강도계수로 모래 섞인 자갈의 경우 0.11이며,  $D_1, D_2, D_3$ 은 각층의 두께(inch)를 의미한다.

그런데, 도로포장설계·시공지침에는 포장두께지수  $D$  대신에 아스팔트 콘크리트 등치두께  $T_A$ 로 정의하고 있다.

$$T_A = a_1T_1 + a_2T_2 + \dots\dots\dots + a_nT_n \dots\dots\dots (5.18)$$

여기서,  $a_1, a_2 \dots a_n$ 는 각 층의 포장재료의 등치환산계수,  $T_1, T_2 \dots T_n$ 는 포장을 구성하는 각 층의 두께(cm)이다.

따라서, 식(5.16) 또는 식(5.16)에 정의된 포장두께지수  $D$ 를 아스콘 등치두께  $T_A$ 로 환산하면 다음과 같다. 즉, 1 inch 아스콘의  $A_1$ 은 0.44이므로  $D$ 는 0.44이고 이에 해당하는  $T_A$ 는 2.54 cm가 되어 환산식은 식((5.19(a))와 같다.

$$T_A = \frac{2.54}{0.44} D = \frac{12.7 P^{0.64}}{CBR^{0.3}} \dots\dots\dots (5.19(a))$$

그런데, 본 연구에서 사용된 포장재료로 환산하는 경우에는 다음과 같다. 즉, 표층재료의 등치환산계수가 아스콘에 비하여 0.70, 보조기층재는 0.35이므로 이를 상대강도계수로 환산하면 표층재료는 약 0.308정도가 되므로 예코콘크리트에 대한 등치환산두께는 식 (5.19(b))와 같다.

$$T_A = \frac{2.54}{0.308} D = \frac{18.1 P^{0.64}}{CBR^{0.3}} \dots\dots\dots (5.19(b))$$

이것은 표준 운하중을 5 tf으로 취하여 1일 평균 300대의 교통량이 약 10년간 통행할 때, 포장의 수명이 다하는 것으로 간주한 것이다. 이는 AASHTO 도로시험의 결과에서 도출한 것이다.

따라서, 1일 1차선당 통과차량이 N대인 경우에는 그에 해당하는 설계 운하중을 계산하여 사용하여야 한다. 운하중 P(tf)인 경우에는 5 tf에 비하여 도로를 파괴하는 비율이 식 (5.20)과 같으므로 이에 따라 보정된 설계 운하중은 식(5.21)과 같다.

$$\text{운하중이 도로를 파괴하는 비율} = \left(\frac{P}{5}\right)^4 \dots\dots\dots (5.20)$$

따라서, N 대/1일/1차선에 해당하는 설계 운하중은 다음과 같다.

$$P = 5 \left(\frac{N}{300}\right)^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots (5.21)$$

나) 표층의 두께

표층의 두께는 운하중에 의하여 슬라브에 발생하는 휨응력에 의하여 계산한다. 콘크리트 슬라브에 발생하는 휨응력을 계산하는 공식은 많이 있으나, 일반적으로 많이 사용되고 비교적 정확한 Sheets 공식을 사용한다. 이 공식은 Arlington의 반경험식과 잘 일치하며 간단한 특징을 가진다.

$$\text{우각부를 보강한 경우} : \sigma = \frac{2.4 WC}{h^2} \dots\dots\dots (5.22)$$

$$\text{우각부를 보강하지 않은 경우 : } \sigma = \frac{1.92 WC}{h^2} \dots\dots\dots (5.23)$$

여기서,  $\sigma$ 는 운하중에 의하여 슬라브에 발생하는 휨응력(kgf/cm<sup>2</sup>), W는 충격을 고려한 운하중(kgf), h는 슬라브의 두께(cm)이며, C는 보조기층의 지지력에 관한 계수로 그림 5.6을 이용하여 구할 수 있다. 또, K<sub>75</sub>는 평판재하시험으로부터 구할 수 있으며, K<sub>30</sub>과의 관계는 식 (5.24)와 같다.

$$K_{75} = \frac{1}{2.2} K_{30} \dots\dots\dots (5.24)$$

여기서, K<sub>30</sub> 및 K<sub>75</sub>는 직경이 30 cm 및 75 cm인 재하판으로 시험한 K값이다. 그러나, 소규모 공사이거나 평판재하시험을 행하시 어려운 곳에서는 설계 CBR을 이용하여 K<sub>75</sub>를 추정하기도 한다. 그림 5.7은 K<sub>75</sub>와 CBR과의 관계를 도시한 것이다.

본 연구에서는 포장재료의 휨응력 시험결과, 표층재의 휨응력은 고화재의 비율에 따라 달라지지만 가장 최적의 배합비에 대한 휨응력은 15.0 kgf/cm<sup>2</sup>로 설정하였다. 그러나, 대형 교통량이 예상되는 지역이나 도로에서는 이에 맞도록 표층 또는 보조기층의 재료를 달리하여 적용할 수 있도록 설계방법을 제시하였다. 이를 위하여 재료시험을 병행하거나 앞장에서 언급한 방법에 의하여 성분 배합비를 구할 수 있다.

표 5.10은 슬라브의 휨응력과 보조기층의 K치에 따른 표층의 두께를 계산한 것이다. 이로부터 보조기층의 재료와 표층의 재료에 따라 각 운하중 또는 설계 교통량에 대응하는 표층을 선정할 수 있다.

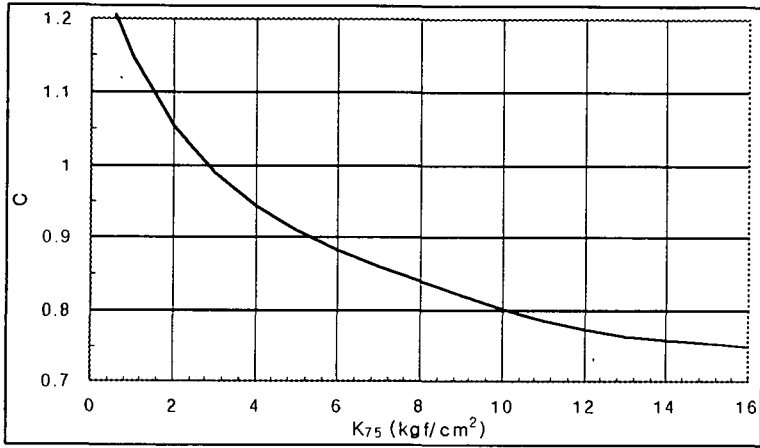


그림 5.6 C와 K<sub>75</sub>의 관계

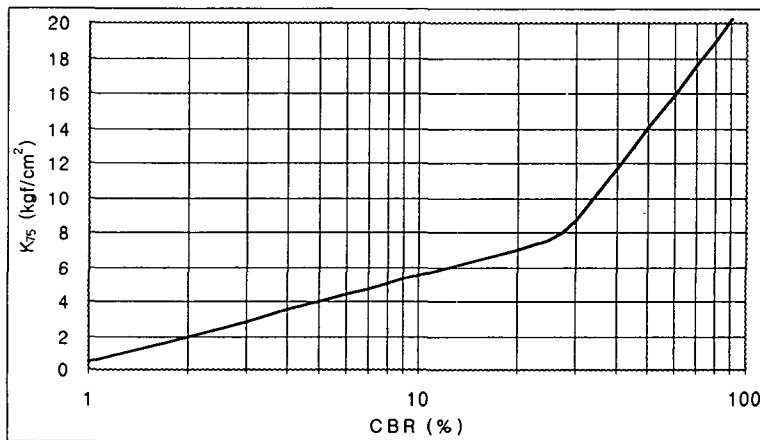


그림 5.7 K<sub>75</sub>와 CBR의 관계



표 5.10 표층의 두께 (단위 : cm )

휨응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	K <sub>75</sub> (kgf/cm <sup>3</sup> )	0 교통	I 교통	II 교통		III 교통	IV 교통
				II-1 교통	II-2 교통		
5	3	15.3	21.9	27.9	31.4	38.4	48.7
	4	14.9	21.3	27.2	30.6	37.5	47.5
	5	14.6	21.0	26.8	30.1	36.9	46.7
	7	14.2	20.4	26.0	29.3	35.8	45.4
10	3	10.8	15.5	19.7	22.2	27.2	34.5
	4	10.5	15.1	19.2	21.7	26.5	33.6
	5	10.3	14.9	18.9	21.3	26.1	33.0
	7	10.1	14.4	18.4	20.7	25.3	32.1
15	3	8.8	12.6	16.1	18.2	22.2	28.1
	4	8.6	12.3	15.7	17.7	21.6	27.4
	5	8.4	12.1	15.5	17.4	21.3	27.0
	7	8.2	11.8	15.0	16.9	20.7	26.2
20	3	7.6	11.0	14.0	15.7	19.2	24.4
	4	7.4	10.7	13.6	15.3	18.7	23.7
	5	7.3	10.5	13.4	15.1	18.4	23.4
	7	7.1	10.2	13.0	14.7	17.9	22.7

다) 포장단면 설계

기계화 경작로의 포장의 구조는 노상 또는 노반 위에 보조기층을 설치하고, 그 위에 에코콘크리트를 포설하고 다져서 만든 표층의 구조를 가진다. 특히, 표층과 보조기층의 합계두께는 노상의 설계 지지력비계수(CBR)에 의하여 결정하도록 하였으며, 표층의 두께는 표층 슬라브의 휨응력과 보조기층의 지지력계수를 바탕으로 산정하였다.

표 5.11은 노상의 지지력비 계수와 교통량에 따라 목표로 하는 합계두께와 에코콘크리트 환산두께(T<sub>A</sub>)를 나타낸 것이다. 여기서 합계두께는 약 4/5

정도 까지 감소시킬 수 있다. 또한 설계 CBR이 2이하인 경우에는 차단층을 두는 것을 원칙으로 한다.

환산두께를 산정할 때, 표층에 대한 보조기층의 등치환산계수는 0.5를 채택한다.

표 5.11 에코콘크리트 포장의 목표로 하는 합계두께와  $T_A$

설계 CBR	0교통		I 교통		II-1교통		II-2교통		III교통		IV교통	
	두께	$T_A$	두께	$T_A$	두께	$T_A$	두께	$T_A$	두께	$T_A$	두께	$T_A$
2	41.5	9.3	55.4	14.8	67.2	20.2	73.9	23.5	86.8	30.4	105.0	41.2
3	32.5	8.2	43.4	13.1	52.7	17.9	58.0	20.8	68.1	26.9	82.3	36.5
4	27.4	7.6	36.6	12.0	44.4	16.4	48.8	19.1	57.3	24.7	69.3	33.5
6	21.4	6.7	28.7	10.6	34.8	14.5	38.2	16.9	44.9	21.9	54.3	29.6
8	18.0	6.1	24.1	9.8	29.3	13.3	32.2	15.5	37.8	20.1	45.7	27.2
12	14.2	5.4	18.9	8.6	22.9	11.8	25.2	13.7	29.6	17.8	35.8	24.1
20이상	10.4	13.9	13.9	7.4	16.9	10.1	18.6	11.8	21.8	15.2	26.4	20.6

#### 5) 동결에 대비한 포장단면 검토

노상토의 설계 CBR이 2이상 3미만일 때는 노상의 일부로서 두께 15~30cm의 차단층(Blanket Course)을 설치하며, 이 경우 포장두께 결정에는 차단층을 제외한 노상토의 설계 CBR을 사용하여 계산한다.

동상방지 대책상 필요한 치환깊이는 경험치나 실제깊이를 그대로 적용하고 동결지수에 의한 이론적인 최대동결깊이의 70%값을 사용하거나, 노상동결허용관입법에 의하여 설계한다.

계획지구의 동결깊이를 구하여 표 5.11의 목표 전두께 또는 전두께에 필요한 차단층 두께를 더한 것과 비교하여 동결깊이가 큰 경우에는 동결깊이 까지 비동상재료로 치환하고 이 부분은 노상의 일부로 생각하여  $T_A$ 계산에

포함시키지 않는다. 표 5.12는 각 지역의 측후소 및 농업기상 관측분실의 동결지수 및 동결기간을 나타낸 것이다.

표 5.12 측후소 및 농업기상 관측분실의 동결지수 및 동결기간

측후소	지반고 (m)	동결지수 (°F일)	동결 기간	측후소	지반고 (m)	동결지수 (°F일)	동결 기간
속초	25.8	382	56	부산	69.2	116	44
대관령	820.0	1439	114	여수	67.0	130	56
춘천	74.0	823	79	진주	25.0	250	60
강릉	26.0	309	60	이천	98.0	745	112
서울	85.5	736	61	안성	24.2	766	60
인천	68.9	672	61	충주	50.0	802	112
수원	36.9	801	60	영동	40.0	708	60
서산	19.7	613	60	홍성	48.0	652	61
대전	77.1	623	60	남원	115.0	465	60
포항	5.6	213	56	장흥	40.0	328	60
대구	57.8	342	56	구례	53.0	323	57
전주	51.2	393	60	문경	52.0	533	57
광주	70.9	302	80	합천	30.9	416	57
울산	31.5	174	56	경주	39.0	213	60

### 3. 포장단면의 설계 예

앞 절에서 언급한 포장재료를 바탕으로, 본 연구에서는 기계화 경작로 포장의 단면을 3개 유형으로 개발하고자 한다.

개발유형(I)인 그림 5.8은 대형차의 통행이 거의 없거나 15대/일 이하의 소규모 기계화 경작로 또는 통작로, 산책로, 보도, 자전거도 등의 용도로 사용될 수 있는 단면을 보인다. 표 5.9의 L-교통의 0 또는 I 교통에 해당한다.

그림 5.9는 II-1교통 또는 II-2교통에 해당하는 도로단면인데, 대형차의 하루 통행량이 100대 미만인 지역에 사용하는 것이 좋다. 주로 경지지구내의 간선도로에 해당하는 도로에 적용한다.

그림 5.10은 III교통에 해당하는 단면으로, 대형차의 교통량이 100대/일 이상 259 대/일미만의 도로에 적용된다. 주로 경작지의 연결 또는 마을간 연결도로의 포장에 적당하다.

그림 5.11은 위에서 언급한 도로의 노상토의 설계 CBR이 2미만인 경우에는 차단층을 설치하게 되는데, 보조기층의 하부에 지오셀을 설치하여 차단층의 역할과 지반의 지지력을 증대시키는 역할을 동시에 만족시키도록 설계된 단면이다.

또한, 위의 각 단면은 대표적인 노상토의 지지력비에 의하여 설계된 단면이므로 그 지역의 동결심도와 비교하여 포장이 동결하는 곳에서는 동상방지층을 설치하여야 한다. 이 때, 동상방지층은 노상토관입허용법에 의하여 설계하도록 한다.

예코콘크리트	10.0 cm
보조기층	10.0 cm

그림 5.8 포장단면 유형(I)

예코콘크리트	20.0 cm
보조기층	30.0 cm

그림 5.10 포장단면 유형(III)

예코콘크리트	15.0 cm
보조기층	20.0 cm

그림 5.9 포장단면 유형(II)

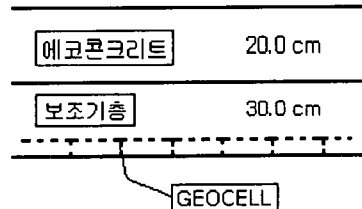


그림 5.11 연약지반 포장 단면

## 제 4 절 기계화 경작로 포장기기

본 절에서는 연구에서 개발된 공법을 효과적으로 시공하기 위한 여러 포장 및 다짐기계에 관하여 언급하고자 한다. 특히, 본 공법에서 가장 중요한 것은 각각의 성분을 균등하게 배분하여 어떻게 효과적으로 혼합하는가 하는 것이다. 이를 위하여 기존의 토공용 기기를 선택하거나 새로운 기기의 설계 또는 개발이 요구된다.

### 1. 포장공의 순서

기계화 경작로의 포장은 일반도로의 포장공과 유사한 과정을 겪는다. 다만, 일반도로에 비하여 규모가 적고 추수가 끝난 늦가을에서 초겨울에 시공이 이루어지는 특징이 있다. 특히, 본 공법은 농한기를 이용하여 농민 또는 주민 스스로 포장에 참여할 수 있도록 공법을 개발하였기 때문에 겨울철에 발생할 수 있는 여러 문제점에 대하여 반드시 검토하여 시공계획을 작성하여야 한다.

그림 5.12는 기계화 경작로 포장의 일반적인 과정을 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 일반도로의 시공과정에서 나타나는 것과 큰 차이를 보이지 않고 있으나, 본 공법에서는 현장토를 이용한 보조기층 또는 표층재료를 혼합, 포설, 다져서 단면을 완성하게 되므로 앞서 언급한 바와 같이 혼합과정에 특히 주의하여야 한다.

### 2. 정지용 기기

기계화 경작로의 경우, 보통 도로의 단면은 경지정리 기간에 완성되어 약 1년 정도의 방치기간이 경과한 후, 포장을 하는 것이 현재의 실정이다. 그러므로, 포장시점의 기계화 경작로는 그간의 영농에 따른 각종 농기계의 진·출입에 의하여 상당히 많은 부분이 파손 또는 유실되어 있으며, 주변에

서 잡초 등이 무성하여 노반의 정리하여야 한다.

이 때에는 주로 백호 등의 유압식 기기를 이용하여 정리한다. 때에 따라서는 불도우져(그림 5.13 참고) 등을 이용하기도 하는데, 이는 현장의 여건을 고려하여 선정하는 것이 좋다.

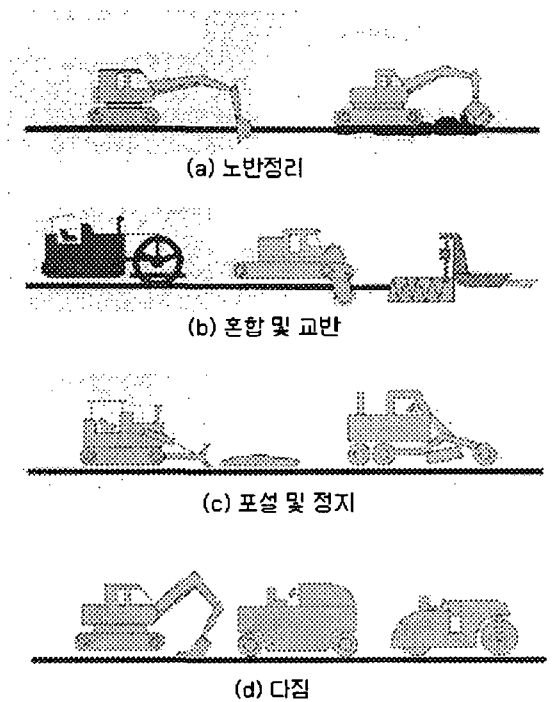


그림 5.12 기계화 경작로 포장 과정

### 3. 포설용 기기

고화재의 포설은 소규모인 경우에는 수작업에 의하여 포설하는 것이 능률적이고 좋은 배합을 만들 수 있다. 그러나 대규모 공사인 경우에는 전문적인 포설용 기기를 사용하는 것이 효과적이다.

그림 5.14 및 그림 5.15은 고화재 포설용 기기를 보여준다.

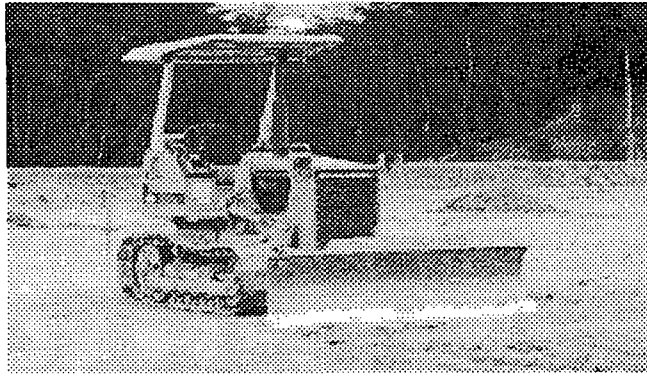


그림 5.13 불도우저

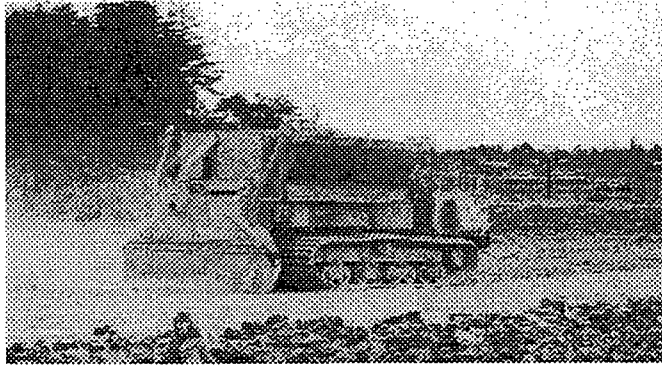


그림 5.14 고회재 포설용 기기(I)

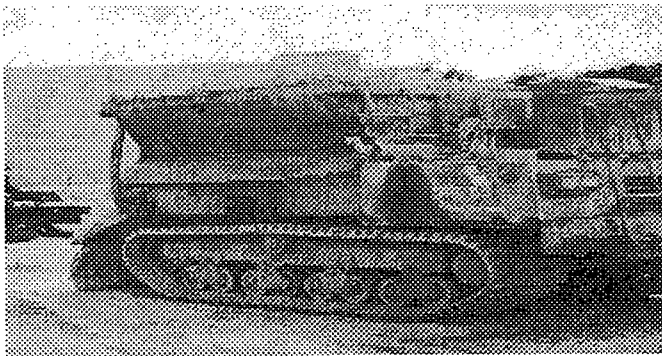


그림 5.15 고회재 포설용 기기(II)

#### 4. 혼합용 기기

혼합용 기기는 표층의 종류에 따라 달라지며, 흙의 종류, 상태, 주변여건, 혼합목적 등에 따라 달라진다. 특히, 흙의 함수상태에 따라 여러 종류를 사용하고 있다.

그림 5.16은 자주식 혼합버켓(바스켓스테빌라이저, basket-stabilizer)으로 사용이 간단하고, 혼합상태가 양호하여 가장 많이 사용하고 있다. 특히, 백호의 선단에 연결하여 사용하기 때문에 운반이나 사용에 용이하다. 이러한 버켓은 주로 사질성 흙이나 함수비가 적은 표층용 흙을 부수거나 혼합할 때 사용한다.

그림 5.17은 갈퀴식 버켓으로 주로 점성토 지반이나 함수비가 많은 흙의 혼합에 사용된다. 자주식과 마찬가지로 주로 백호의 선단에 그림 5.18과 같이 연결하여 긁어면서 혼합하므로 포장장소에서 직접하는 경우에 유리하다.

그림 5.19는 불도우저의 니퍼(nipper)를 사용하여 혼합하는 경우이다. 주로 지반상태가 양호하고 넓은 면적을 포설하는 경우에 사용되나, 혼합의 상태가 좋지 못하므로 정밀한 시공에는 사용하지 않는 것이 좋다.

그림 5.20 및 그림 5.21은 로타리식 혼합기기로 그림 5.20은 불도우저 뒤에 탈착이 가능하도록 별도로 제작된 혼합용 기기이다. 반면에 그림 5.21은 표층용 또는 보조기층용 재료의 노상 혼합용으로 개발된 스테빌라이저(stabilizer)이다. 이는 기계화 경작로의 공사처럼 좁고 긴 지역을 가지는 현장에 적합하다. 따라서, 앞으로 이러한 로드 스테빌라이저를 개량 또는 개발하여 사용하면, 기계화 경작로의 포장단가를 현저하게 낮출 수 있다.

그림 5.22는 농업용 트랙터를 이용하는 경우에는 로타리 날을 사용하여 표층용 흙의 분쇄와 혼합에 사용하는 경우이다. 로타리의 날은 고속으로 회전하면서 밭의 흙을 잘게 부수는 역할로 개발되었기 때문에 이를 사용할 때에는 가능한 날의 회전속도를 줄여 토립자의 파쇄를 방지하도록 하여야 한



다. 또한, 기기의 특성상 깊게 혼합을 하지 못하고 입자를 파쇄, 분리하는 기능이 있으므로 고화재와 흙, 또는 기타의 혼입재가 분리되지 않도록 하여야 한다. 주로 소규모 공사에 적합한 기기이다.

그림 5.23은 대규모 또는 정밀한 포장을 요구하는 경우에 사용되는 혼합용 기기이다. 현장 인근에 가설하여 흙과 혼입재, 고화재 등을 정밀한 배합비로 혼합이 가능하다. 따라서, 좋은 품질이 요구되는 표층용 혼합기기로 사용하는 것이 타당하나, 비교적 비용이 많이 드는 단점이 있다.

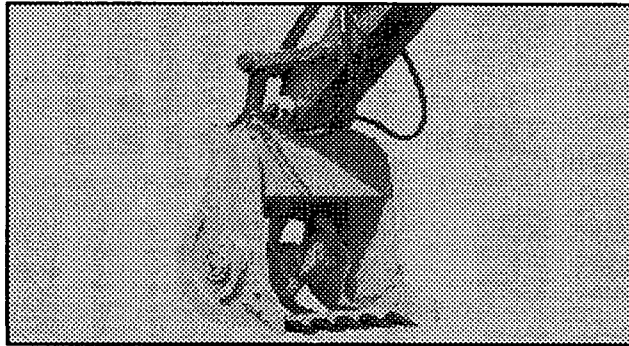


그림 5.16 자주식 혼합버킷

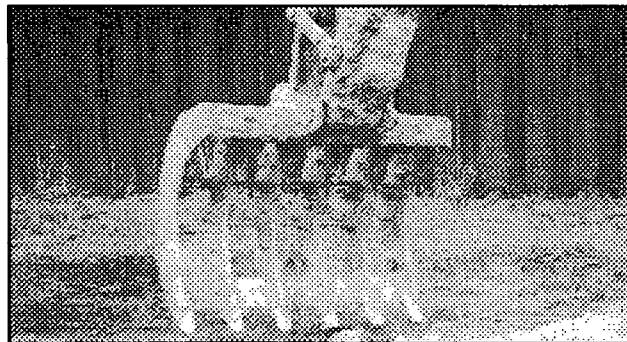


그림 5.17 갈퀴식 버킷

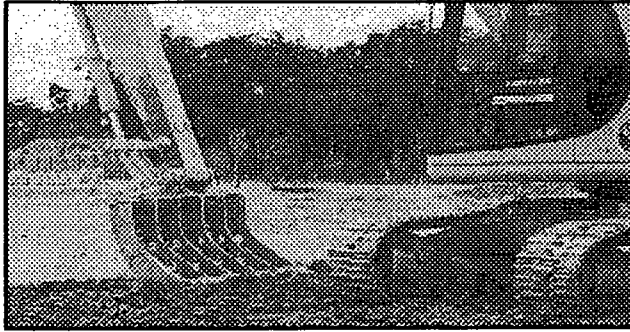


그림 5.18 갈취식 혼합기기

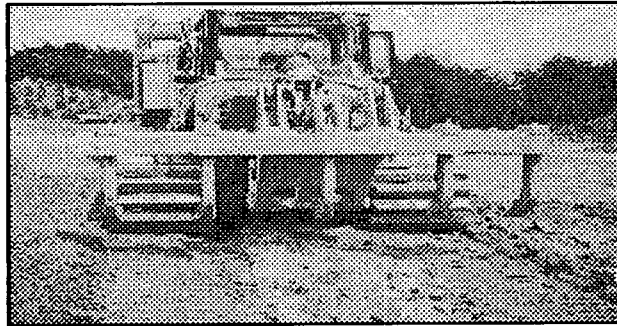


그림 5.19 니퍼식 혼합기기



그림 5.20 로타리식 혼합기기( I )

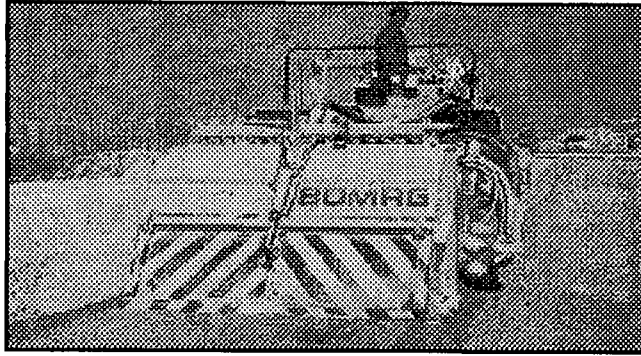


그림 5.21 로타리식 혼합기기(II)

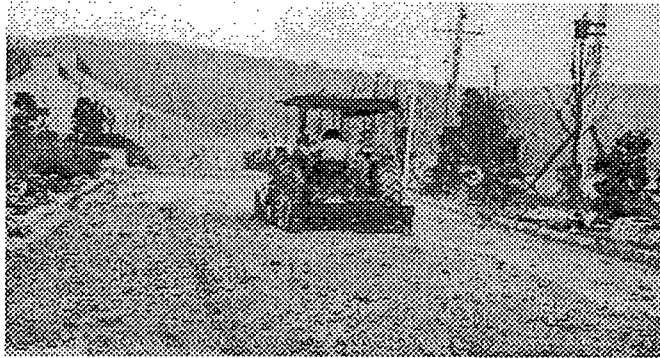


그림 5.22 트랙터를 이용한 혼합

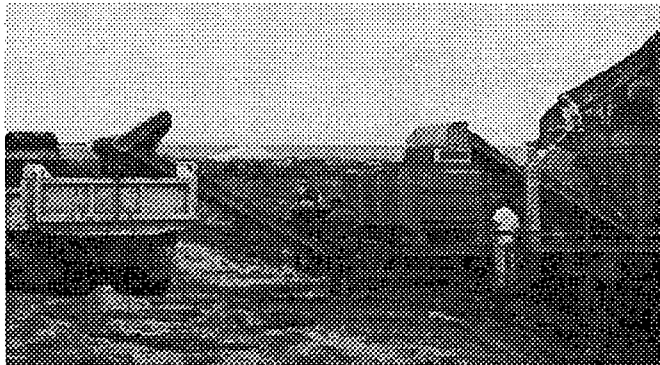


그림 5.23 표층용 혼합기기

## 5. 표층 또는 보조기층 포설용 기기

보조기층이나 표층의 혼합재료를 포설하는 경우에는 주로 그레이더를 사용한다. 그림 5.24 및 그림 5.25는 그레이더의 작업과정을 보여준다. 그레이더는 작업기기의 특성상 좁고 긴 지역을 왕복하면서 포설하는 것이 효과적이다.

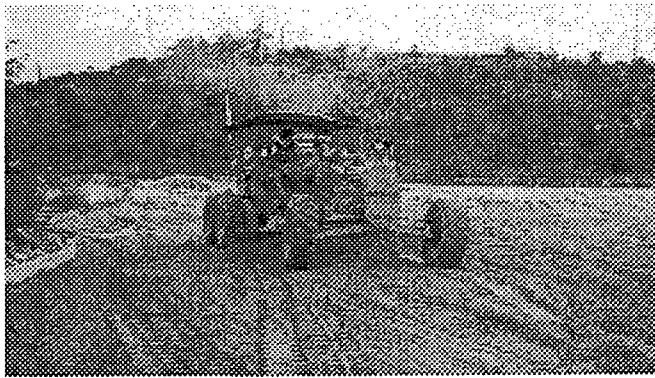


그림 5.24 그레이더를 사용한 표층의 포설과정(Ⅰ)



그림 5.25 그레이더를 사용한 표층 포설작업(Ⅱ)

## 6. 다짐용 기기

다짐용 기기는 일반도로에서 사용하는 다짐기구를 사용한다. 그러나, 일반도로처럼 대형차의 교통량이 많지 않기 때문에 진동 또는 대형 로울러를 사용하는 것이 피해야 한다. 물론 노상이나 노반을 정리하는 경우에는 사용할 수 있으나, 일반적으로 기계화 경작로가 위치한 지역이 논 또는 밭지역이므로 대체로 지반이 연약하기 때문에 이러한 대형 로울러의 사용은 피하는 것이 좋다.

기계화 경작로 포장에서는 보조기층이나 표층의 1차 다짐에는 텐덤 로울러나 머캐덤 로울러를 사용하는 것이 좋다. 비교적 표면이 매끈한 로울러를 사용하여 다짐을 좋게 하여 강도를 높인다. 그 뒤 2차 다짐 또는 마무리 다짐은 타이어 로울러를 사용하여 차륜자국이나 요철 등을 수정한다.

그림 5.26는 텐덤 로울러의 작업과정을 보인 것이다. 그림 5.27은 타이어 로울러를 보여주며, 그림 5.28은 중규모의 도로에 사용하는 중전압용 로울러를 보여준다. 산책로 등 소규모 도로나 지반이 연약한 곳에서는 그림 5.29와 같은 핸드 로울러를 사용하여 다지는 것이 효과적이다.

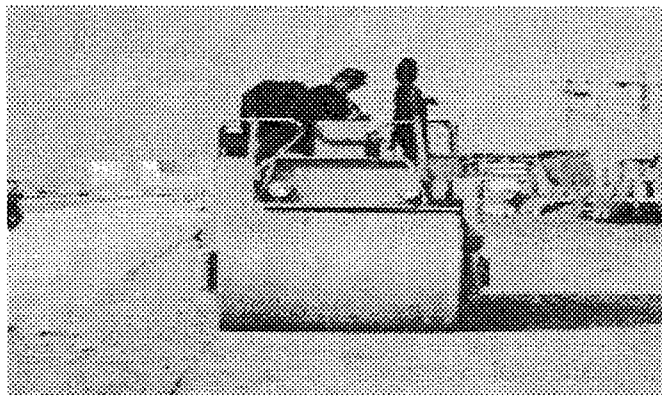


그림 5.26 텐덤 로울러

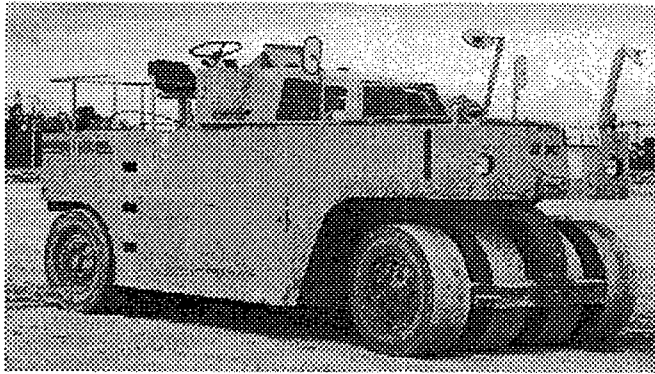


그림 5.27 타이어 로울러

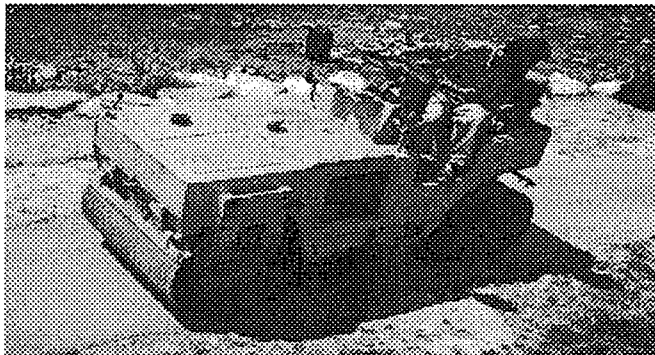


그림 5.28 중전압용(2톤) 텐덤 로울러

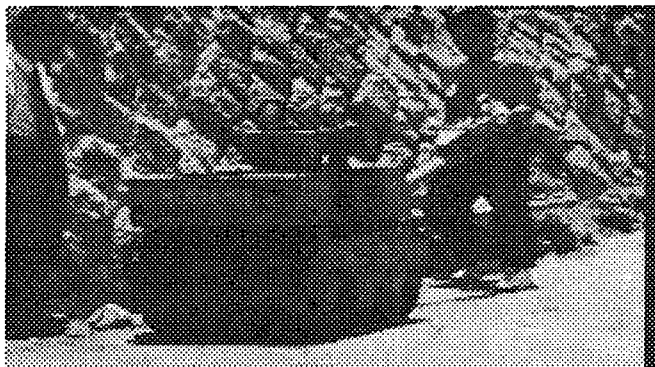


그림 5.29 소규모 핸드 로울러

## 제 5 절 현장시험포장

본 절에서는 포장재료의 개발과 병행하여 개발된 공법을 현장에 적용한 결과를 분석하였다. 특히, 현장시험포장을 통하여 발생한 문제점과 개선방향을 정리하였으며, 현장에서 발생 가능한 문제점과 민원문제에 대한 개선방향을 정리하였다.

현장포장시험은 2개년에 걸쳐서 약 600 m 구간에 표층재료, 보조기층의 재료, 포설공법 등을 달리하여 포장하여 시간의 경과에 따른 포장상태, 강도 등을 측정하여 포장의 적용성을 검증하였다.

### 1. 1차년도

#### 가. 지구현황

본 지역은 충북 청원군 오창면 여천, 화산, 유, 학소, 모정, 일신리 일원에 위치한 학소지구 대구획 경지정리 구간으로, 구역면적은 279.65 ha, 물리면적 246.89 ha이다.

동쪽으로는 미호천이 북쪽에서 남으로 흐르고, 서쪽에는 중부고속도로가 위치하고 있어 서쪽이 높고 앞쪽인 동쪽이 낮은 지역이다. 중앙의 미호천을 사이에 두고 서쪽에는 본 지구인 학소들과 화산들이 주류를 이루고 있으며, 동쪽에는 북이면의 화죽들이 펼쳐진 지역이다.

본 지역은 미호천을 끼고 형성된 평야지대로 비교적 세립분을 많이 함유한 흙으로 구성되어 있다. 특히, 기계화 경작로를 구성하는 흙의 입도는 비교적 불량하고, 토질공학적으로 저소성 실트질 모래에 해당하는 흙이다.

그림 5.30은 학소지구의 계획 평면도를 보인 것이다. 그림에서 붉은색으로 표시된 부분이 본 연구에서 1차 포장시험구간으로 선정된 구역으로 길이는 약 400 m 정도이다.

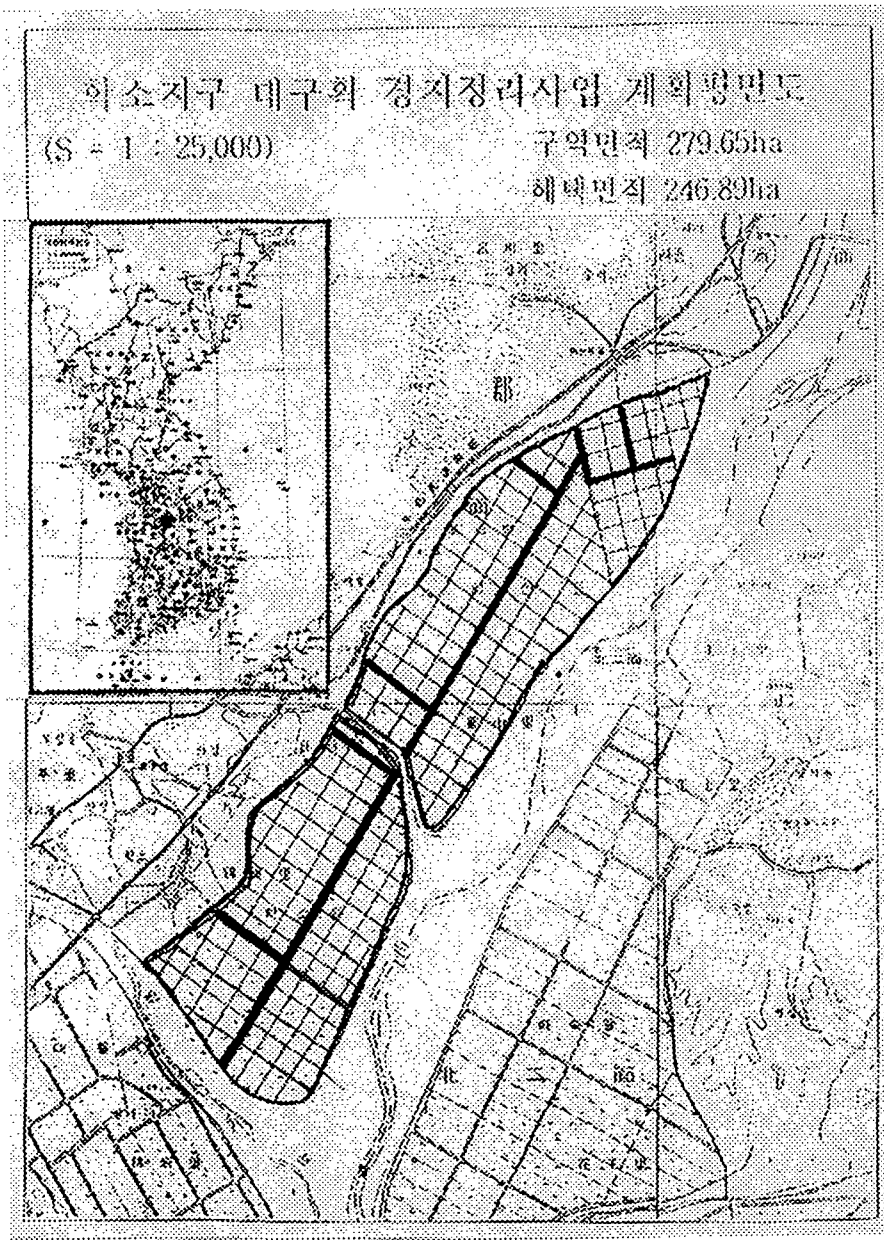


그림 5.30 학소지구 시험포장 평면도



## 나. 현장포장

현장포장은 관련기관의 협조를 얻어 영농기간을 피하여 실시하였다. 앞서 연구된 보조기층재와 표층재의 배합비를 달리하여 몇 개 구간으로 나누어 포장을 실시하였다.

포장의 과정은 다음 그림에서 보는 과정을 통하여 이루어졌으며, 추후 각 구간의 상태를 측정하여 포장의 적용성을 검토하였다.

그림 5.31은 시공전 현장의 모습을 보여주고 있다. 사진에서 보는 바와 같이 노면이 상당히 불규칙적인 것을 알 수 있다.

그림 5.32는 노반의 정리 과정의 모습을 보여주는 것이다.

### 1) 보조기층의 시공

그림 5.33에서 그림 5.38까지는 석탄회 혼합토를 이용하여 보조기층을 시공하는 장면을 보여주는 것이다.



그림 5.31 현장모습(학소지구)

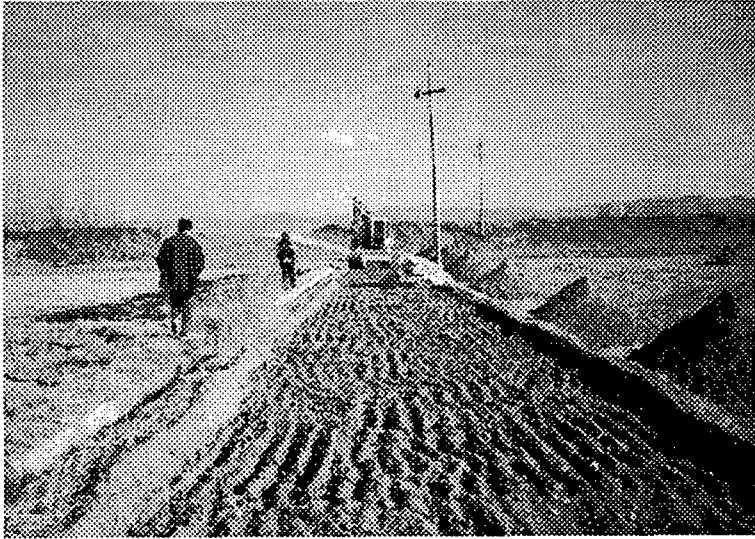


그림 5.32 현장 정리 및 노반 정리 장면

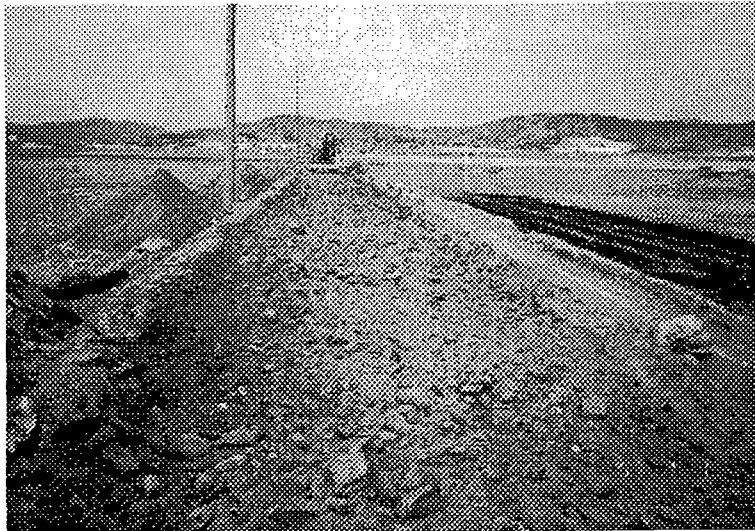


그림 5.33 석탄회 포설 장면

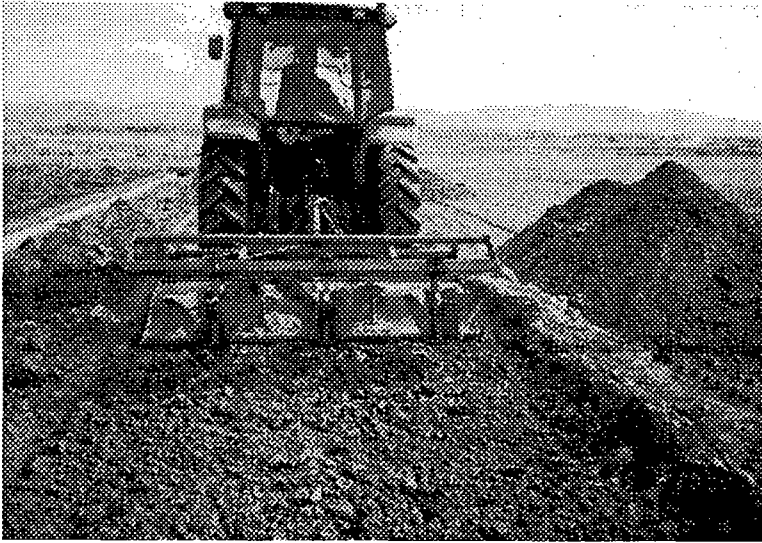


그림 5.34 석탄회 혼합 과정

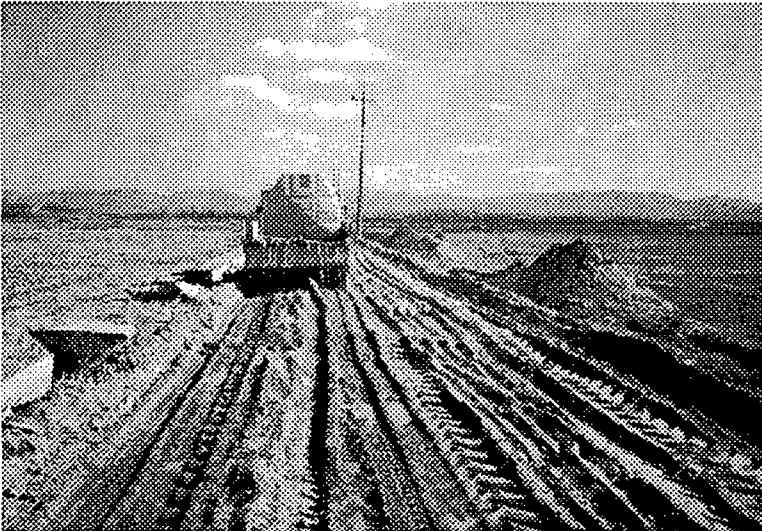


그림 5.35 살수과정(최적함수비 상태)

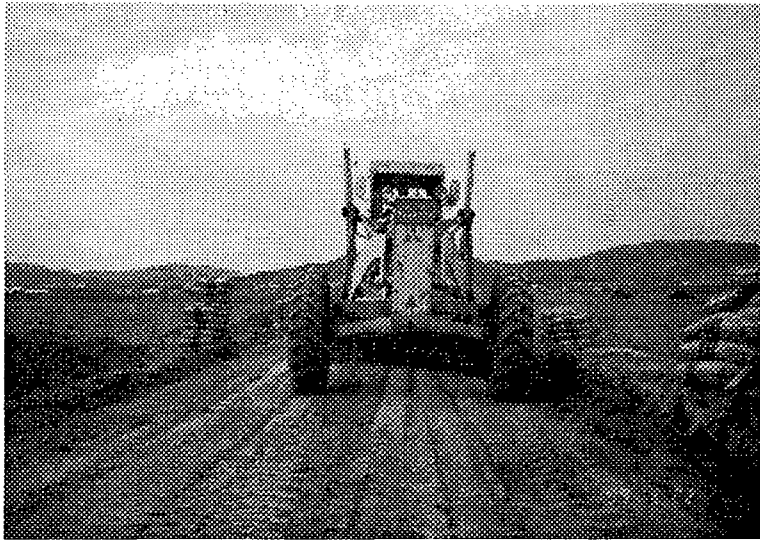


그림 5.36 Grading 과정

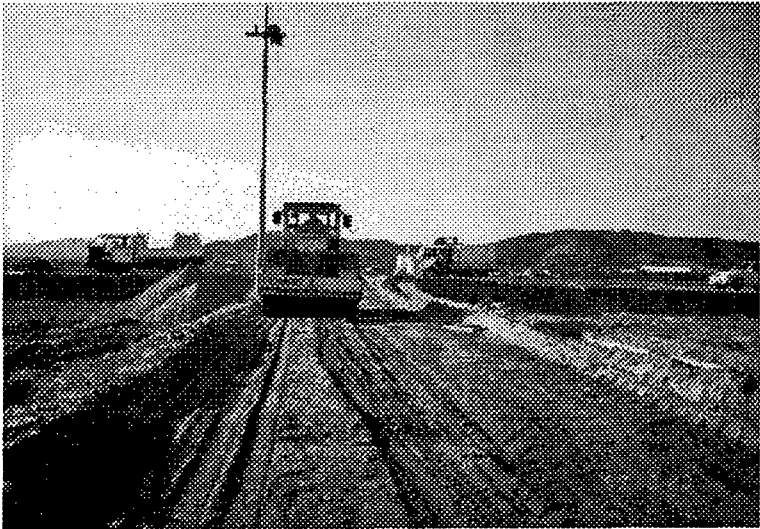


그림 5.37 1차다짐 과정

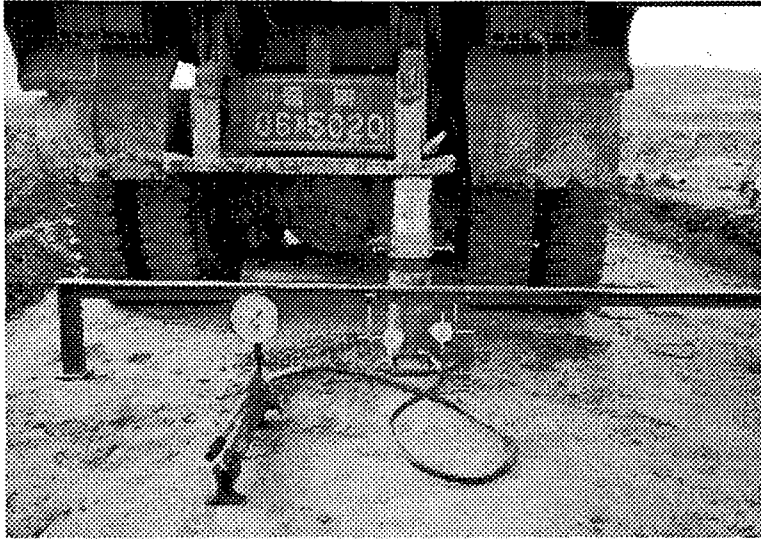


그림 5.38 보조기층의 현장 CBR 측정 장면

## 2) 표층의 시공

표층은 3개의 시료(시료 I, 시료 II, 시료 III)에 대하여 시공하였으며, 시료 I은 주로 연약지반에 적용이 가능한 것이다. 그림 5.39 그림 5.40까지는 표층재료(I)의 혼합과정을 나타낸 것이다.

그림 5.41은 지오셀 포설 장면을 보여주는 것이다. 그리고 표층시료(I)의 포설장면은 그림 5.42 및 그림 5.43에 나타나 있다.

시료 II는 현장에서 혼입재 및 흙시료를 혼합하여 간편하게 시공이 가능하도록 하였다. 이때 표층시료(II)의 포설 장면은 그림 5.44에 나타나 있고 표층시료(II)의 혼합 장면은 그림 5.45에 나타나 있다.

시료 III은 중하중 또는 교통하중이 많을 것으로 예상되는 구간에 적용이 가능하도록 하였다. 표층시료(III)의 혼합 장면은 그림 5.46에 나타나 있다.

그림 5.47 및 그림 5.48에는 표층의 Grading 및 다짐장면은 나타내었다.

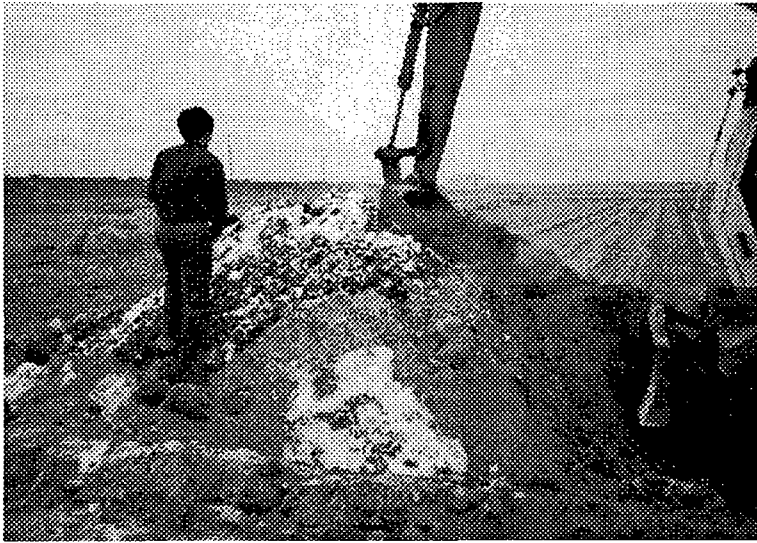


그림 5.39 표층재료 혼합 장면

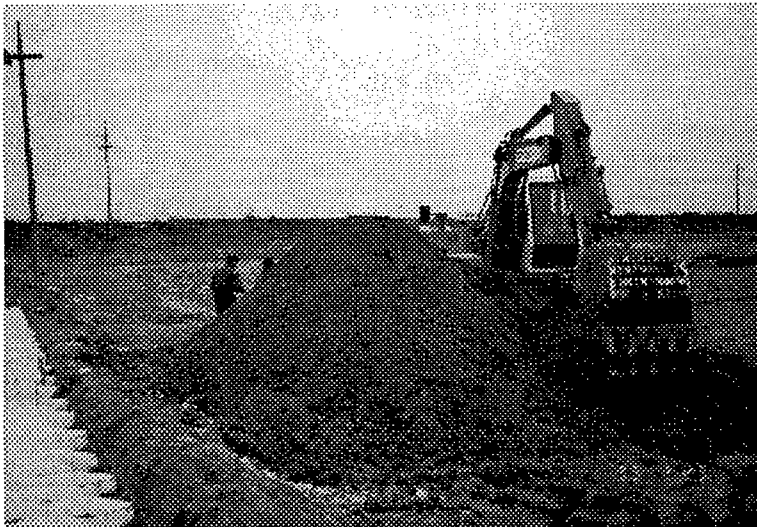


그림 5.40 표층혼합시료

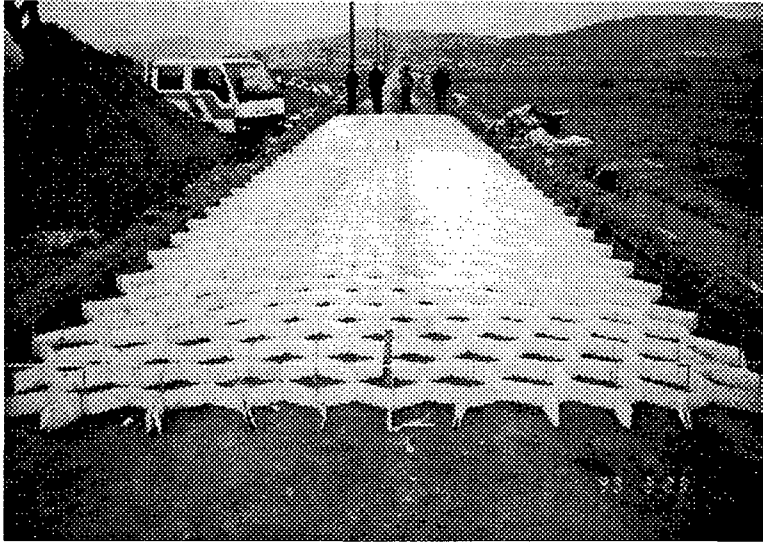


그림 5.41 GEOCELL 포설 과정

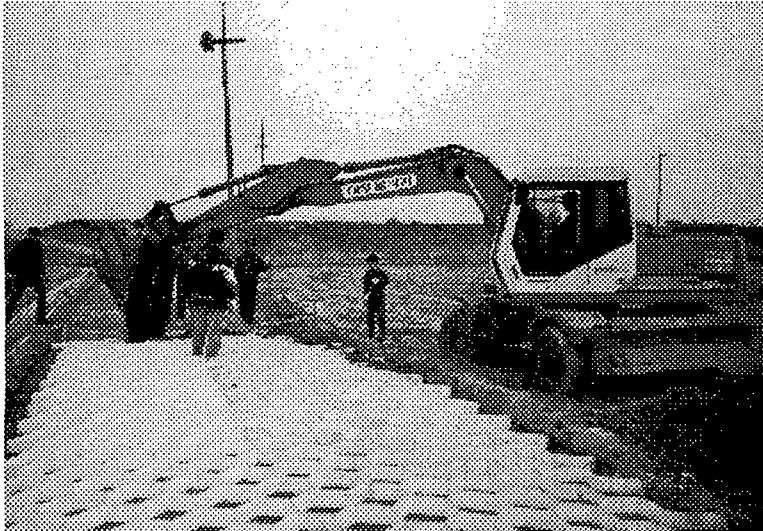


그림 5.42 표층재료(I)의 포설 장면(1)

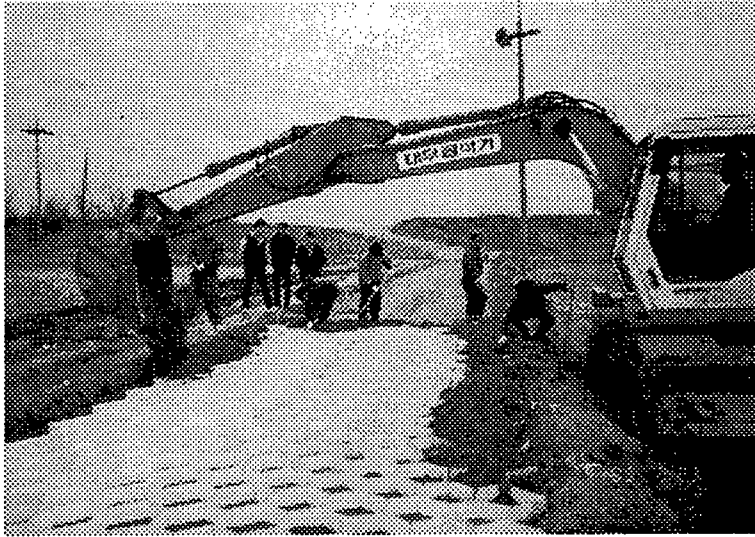


그림 5.43 표층재료(Ⅰ)의 포설장면(2)



그림 5.44 표층재료(Ⅱ)의 포설 과정



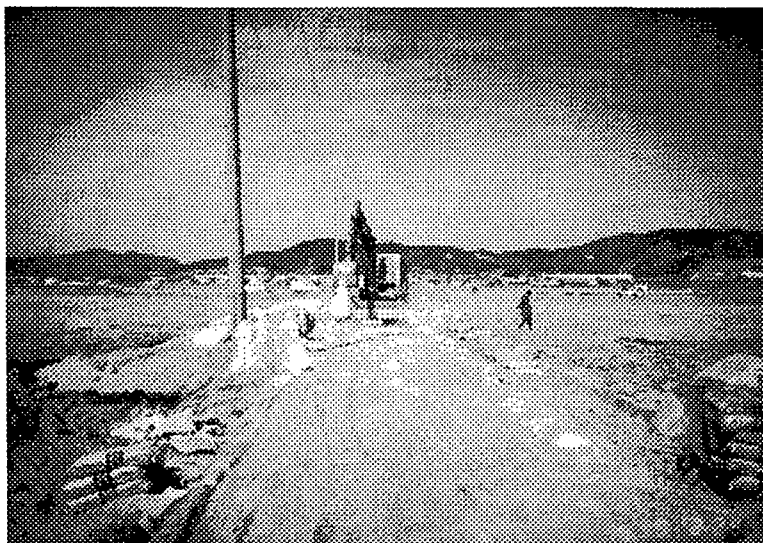


그림 5.45 표층재료(Ⅱ)의 혼합과정

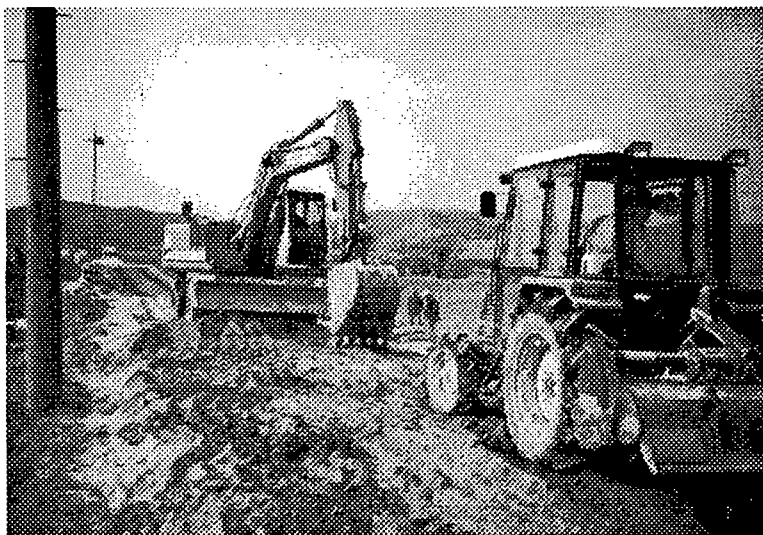


그림 5.46 표층재료(Ⅲ)의 혼합 과정

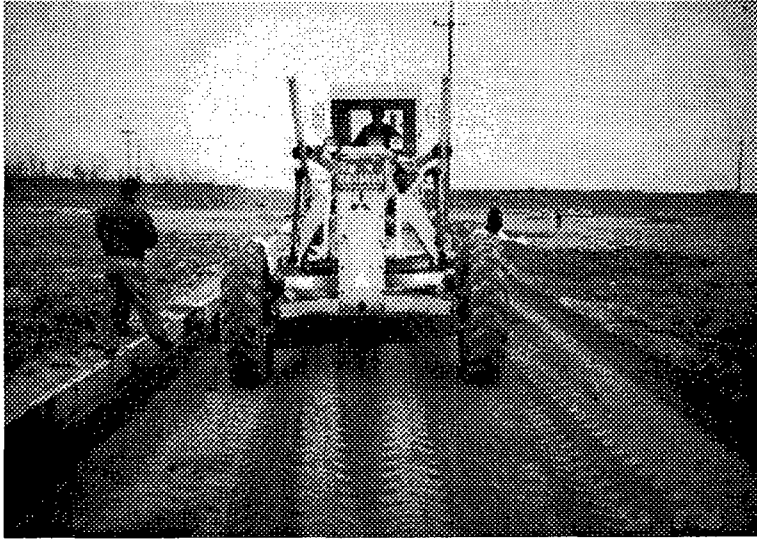


그림 5.47 표층재료의 Grading 과정

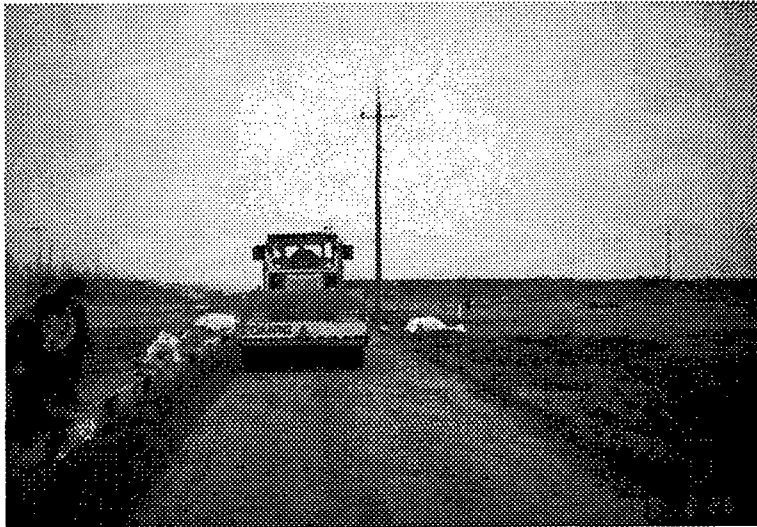


그림 5.48 표층재료의 다짐 과정

### 3) 마무리 및 답면 정리

표층 마무리 후의 모습은 그림 5.49에 나타내었다.

마지막으로 시공 후 주변 정리 및 답면 정리의 장면은 그림 5.50에 나타내었다.

### 4) FA 콘크리트 포장

내구성 비교를 위하여 FA 콘크리트 포장을 약 30 m 정도 시공하여 예정 공법과 비교하였다. FA 콘크리트 포장의 시공 장면은 그림 5.51에서 그림 5.53까지 나타내었다.

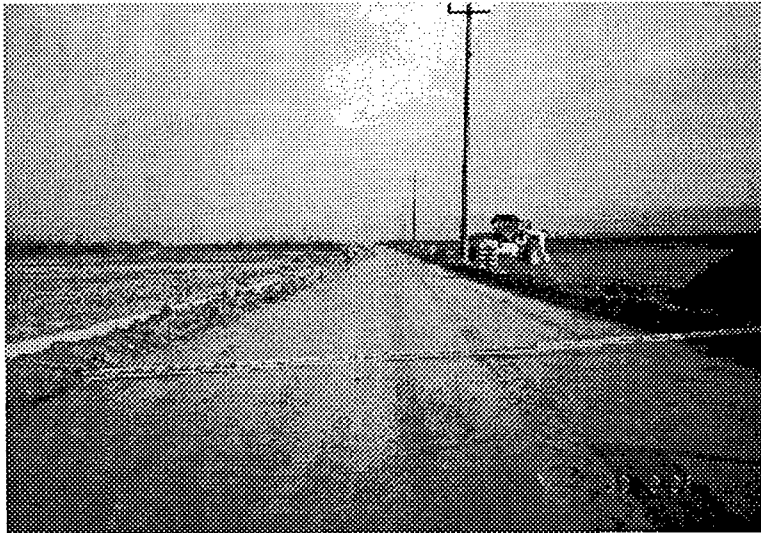


그림 5.49 표층 마감 후의 모습

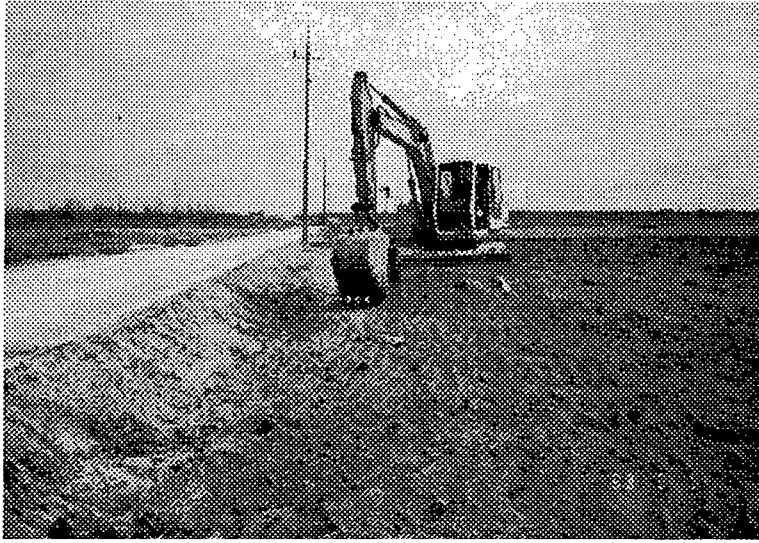


그림 5.50 현장 정리 장면

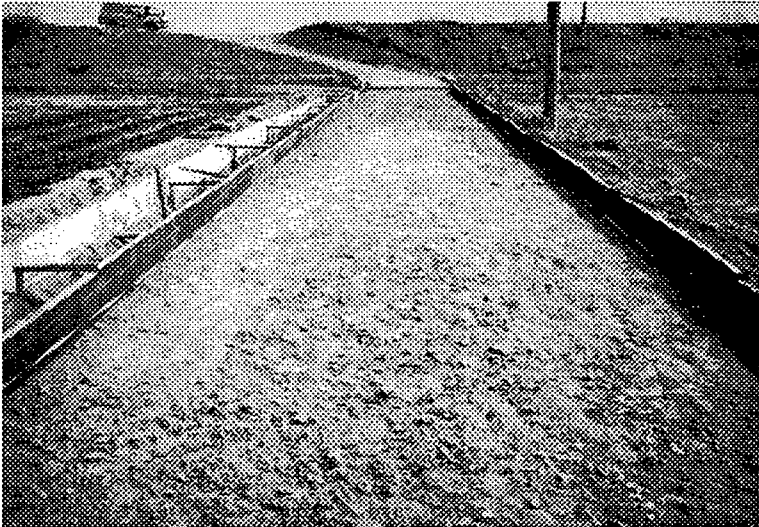


그림 5.51 표층 슬라브(IV) 타설전 현장

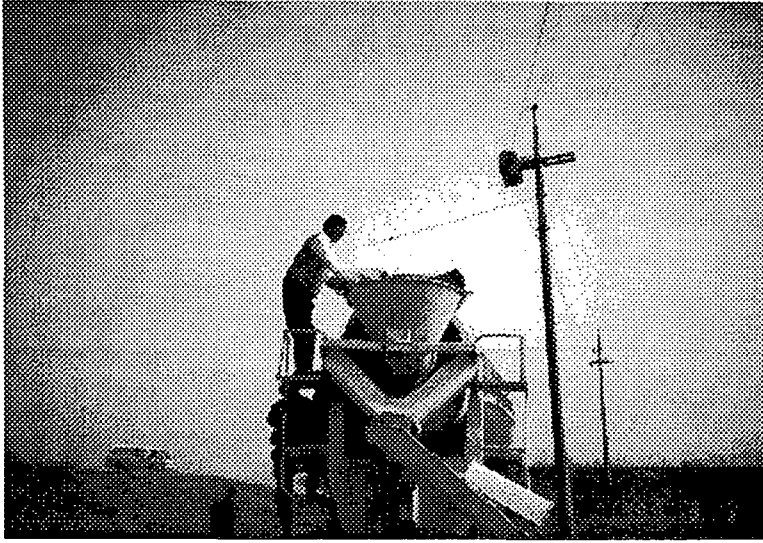


그림 5.52 석탄회 혼합 장면

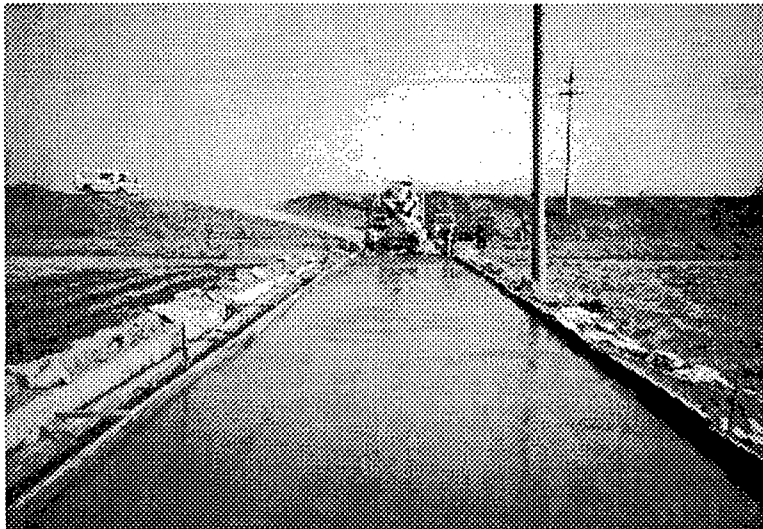


그림 5.53 석탄회 콘크리트 슬라브 타설 장면

## 2. 2차년도

### 가. 지구 현황

본 지역은 충북 청원군 오창면 소재의 가곡지구 대구획 경지정리사업지역으로, 1차년도의 학소지구 근처에 위치한 곳이다. 그림 5.54는 가곡지구의 계획 평면도를 보인 것이다. 그림에서 붉은색으로 표시된 부분이 본 연구에서 2차 포장시험구간으로 선정된 구역으로 길이 약 300 m 정도이다.



그림 5.54 가곡지구 평면도

## 나. 현장포장

### 1) 현장의 전경

그림 5.55는 가곡지구 현장의 전경을 보여준다. 또, 그림 5.56은 가곡지구 현장의 노면상태를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 본 지구는 연약지반의 발달하여 약간의 비만 오더라도 쉽게 진탕이 되는 곳으로, 일반적인 기계화 경작로의 문제점을 내포하고 있는 지구이다.

### 2) 보조기층의 시공

그림 5.57는 보조기층의 시공을 위하여 노반 부분을 정리하는 과정이며, 그림 5.58은 보조기층의 포설 및 다지는 과정이다.

### 3) 표층의 시공

그림 5.59은 표층재로 사용될 흙을 선별하는 과정이다. 그림 5.60은 자주식 버킷을 사용하여 표층재로 이용될 흙의 굵은 입자의 분쇄하는 과정이며, 그림 5.61 및 그림 5.62은 표층재료의 혼합과정을 나타낸다.

그림 5.63 및 그림 5.64는 표층재의 그레이더를 이용하여 포설하는 과정을, 그림 5.65 및 그림 5.66는 템덤 로울러를 이용한 표층재의 1차 다짐작업, 그림 5.67 및 그림 5.68은 타이어 로울러를 이용한 표층재의 2차 다짐작업 과정을 보여준다.

그림 5.69은 핸드 로울러를 이용한 길섶부분의 다짐과정을, 그림 5.70은 법면정리 및 다짐과정을 보인다.

그림 5.71는 양생포를 사용한 양생과정을 보여주고 있으며, 그림 5.72은 백호를 이용한 마무리 작업으로 답면고르기 및 마무리 작업을 보여준다.



그림 5.55 가곡지구 현황



그림 5.56 기계화 경작로 노면 상태

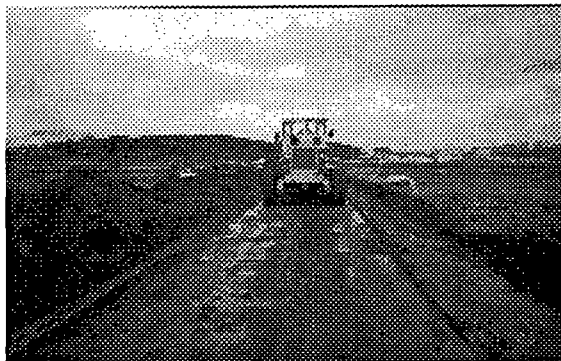


그림 5.57 기반정비 작업



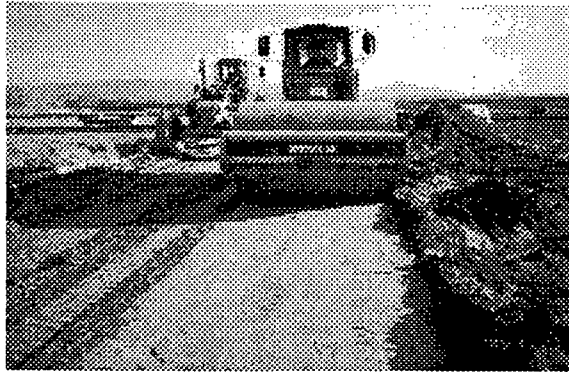


그림 5.58 기반정리 및 보조기층 다짐



그림 5.59 표층재료의 선별

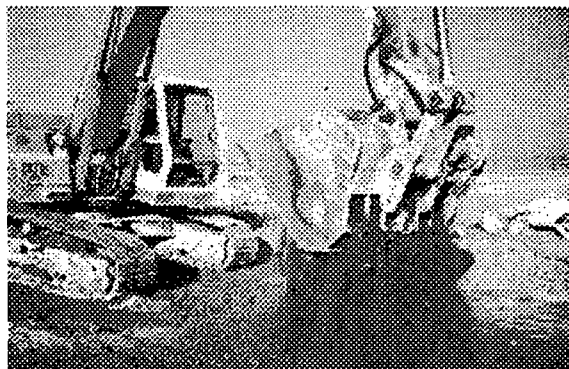


그림 5.60 굵은 입자의 분쇄



그림 5.61 표층재료의 1차 혼합과정

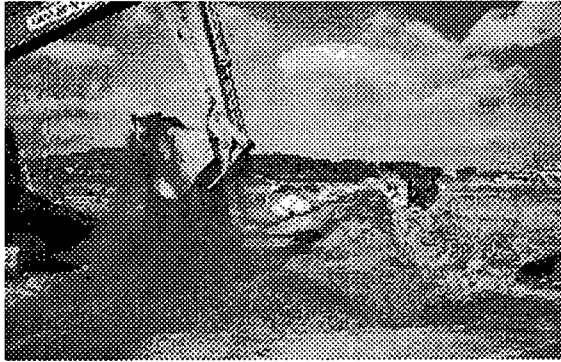


그림 5.62 표층재료의 2차 혼합과정



그림 5.63 표층재료의 포설 과정

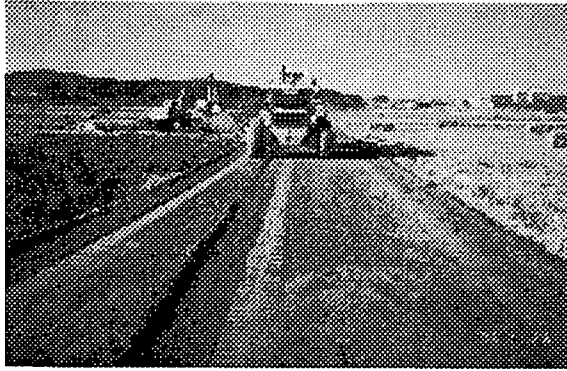


그림 5.64 표층재료의 포설 과정(2)

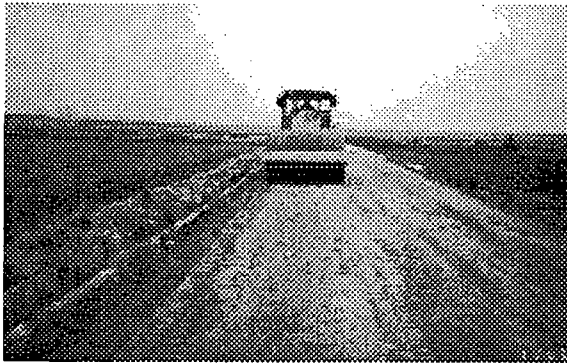


그림 5.65 표층재료의 1차 다짐 과정

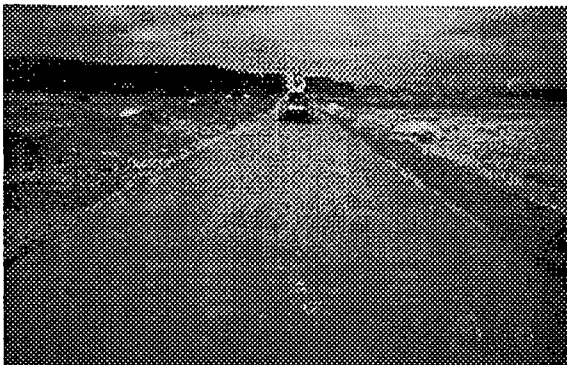


그림 5.66 표층재료의 1차 다짐 과정(2)

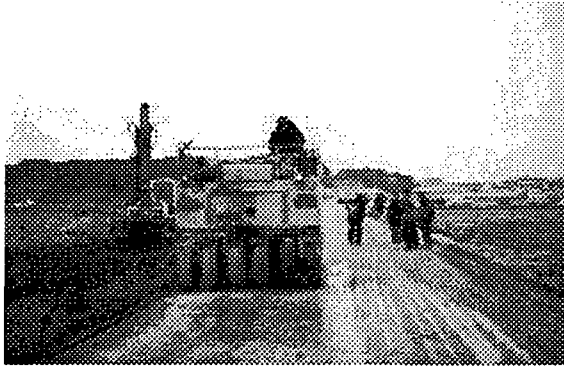


그림 5.67 표층재료의 2차 다짐 과정



그림 5.68 표층재료의 2차 다짐 과정(2)



그림 5.69 길섶부분 다짐 과정

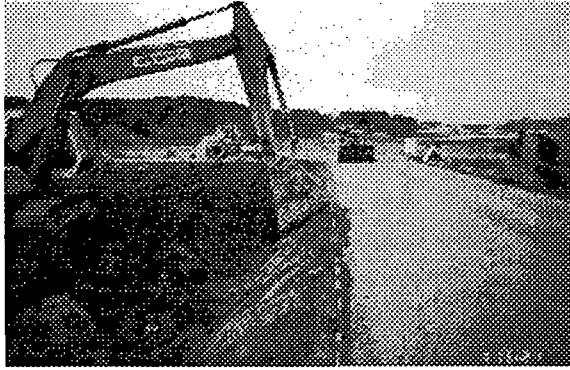


그림 5.70 법면정리 과정

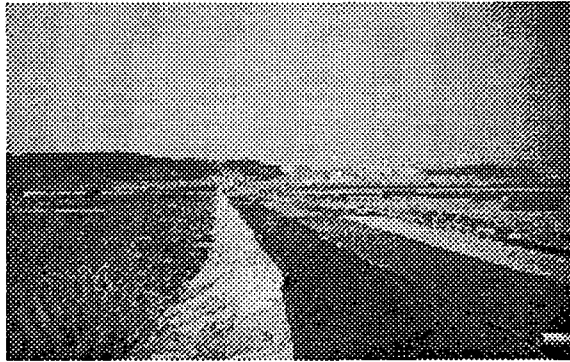


그림 5.71 양생과정



그림 5.72 답면정리 작업

## 제 6 절 포장공법의 경제성 분석

본 절에서는 기계화 경작로의 확포장에 소요되는 공사비를 바탕으로 현재 책정되어 있는 예정가격을 분석하고, 앞서 개발된 공법의 현장포장시험에 실시 투입된 단가를 대상으로 경제성을 분석하였다.

포장단가는 에코콘크리트를 사용하는 경우, 앞서 개발예정인 3개 유형의 단면에 대하여 비교·분석하였다.

### 1. 포장단가의 비교

에코콘크리트를 이용한 포장의 단가는 시중노임과 품셈을 참고하여, 현장포장시험에서 실시 투입된 품을 바탕으로 산출하였다.

표 5.13은 보조기층 10 cm, 표층 10 cm로 포장하는 경우에 적용된 1 a 당 단가이다. 표 5.14는 보조기층 20 cm, 표층 15 cm로 포장하는 경우에, 표 5.15는 보조기층 30 cm, 표층 20 cm로 포장하는 경우에 적용된 1 a 당 단가이다.

표 5.13 에코콘크리트 포장 단가 ( 보조기층 10cm, 표층 10cm)  
(1 a 당)

	규격	수량	단위	노무비	재료비	경비	합계	비고
표토 제거	0.15	1	a	3,495	1,485	3,630	8,610	제1호
보조기층공	5%	1	a	90,630	181,390	22,847	294,867	제2호
표층공	15%	1	a	279,124	614,824	20,817	914,765	제5호
양생		1	a	13,744	46,400	-	60,144	제8호
소계				386,993	844,099	47,294	1,278,386	

표 5.14 에코콘크리트 포장 단가 ( 보조기층 20cm, 표층 15cm)

(1 a 당)

	규격	수량	단위	노무비	재료비	경비	합계	비고
표 토 제 거	0.15	1	a	3,495	1,485	3,630	8,610	제1호
보 조 기층공	5%	1	a	175,151	357,725	37,823	570,699	제3호
표층공	15%	1	a	355,886	917,783	24,972	1,298,641	제6호
양 생		1	a	13,744	46,400	-	60,144	제8호
소 계				548,276	1,323,393	66.425	1,938,094	

표 5.15 에코콘크리트 포장 단가 ( 보조기층 30cm, 표층 20cm)

(1 a 당)

	규격	수량	단위	노무비	재료비	경비	합계	비고
표 토 제 거	0.15	1	a	3,495	1,485	3,630	8,610	제1호
보 조 기층공	5%	1	a	258,506	533,158	50,900	842,564	제4호
표층공	15%	1	a	359,064	1,219,851	29,134	1,608,049	제7호
양 생		1	a	13,744	46,400	-	60,144	제8호
소 계				634,809	1,800,894	83,664	2,519,367	

이를 바탕으로 농림부에서 시행하는 기계화 경작로 포장단가를 3m<sup>2</sup>당 환산하여 비교하면 표 5.16과 같다.

따라서, 본 연구에서 개발된 공법으로 포장을 시행하는 경우, 약 30%이상의 경비절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

표 5.16 포장 단가 비교

	길이 1 m당 단가(원)	비 교
농림부 시행 단가	104,000	100 %
개발공법 I	38,352	37 %
개발공법 II	58,143	56 %
개발공법 III	75,581	73 %

## 2. 일위대가

포장공의 실시를 위하여 각 공종별 일위대가를 작성하였다. 일위대가는 시행당시의 시중노임, 증기단가, 재료단가, 유류단가 등을 바탕으로 산정하는 것이 원칙이므로 추후에 이에 대한 보정이 있어야 한다. 또, 작업과정에서 누락된 부분이나 현장의 여건에 따라 가감하여야 할 공정이 발생하는 경우에는 다음의 일위대가를 바탕으로 수정·보완하여 사용하여야 한다.

부분일위대가에 대한 산출근거 및 재료산출은 다음 절에 명시하였다. 제 1 호표는 표토제거, 제 2 호표에서 제 4 호표까지는 보조기층공, 제 5 호표에서 제 7 호표까지는 표층공, 제 8 호표는 양생과정의 일위대가표를 정리한 것이다.

### 제 1 호표 표토제거 ( 1 a 당 , 두께 0.15 m )

종 별	규격 치수	원 수	단위	총액		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단위	금액
표 토 제 거	백호 0.7m <sup>3</sup>	15.0	m <sup>3</sup>	574	8,610	233	3,495	99	1,485	242	3,630



제 2 호표 보조기층공 ( 1 a 당 , 두께 0.10 m )

종 별	규격 치수	원수	단위	총액		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
집 토	도져 19t	20.8	m <sup>3</sup>	817	16,994	243	5,054	237	4,930	337	7,010
혼 합 (5%)	백호 0.7m <sup>3</sup>	10.4	m <sup>3</sup>	468	4,867	168	1,747	71	738	229	2,382
적 재	백호 0.7m <sup>3</sup>	10.4	m <sup>3</sup>	399	4,150	162	1,685	69	718	168	1,747
운 반	D/T 15t	10.4	m <sup>3</sup>	965	10,036	232	2,413	384	3,993	349	3,630
포 설	Grader	10.4	m <sup>3</sup>	658	6,843	241	2,506	199	2,070	218	2,267
다 짐	진동 10t	10.4	m <sup>3</sup>	1,132	11,773	337	3,505	241	2,506	554	5,762
특 부		0.1	인	48,620	4,862	48,620	4,862				
인 부		2.0	인	34,360	68,720	34,360	68,720				
고 화재	ESC	925	kg	176	162,800			176	162,800		
살 수비		1	ton	265	265	138	138	78	78	49	49
잡 재료	2 %	1	식		3,557				3,557		
소 계					294,867		90,630		181,390		22,847

제 3 호표 보조기층공 ( 1 aa 당 , 두께 0.20 m )

종 별	규격 치수	원수	단위	총액		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
집 토	도져 19t	36.4	m <sup>3</sup>	817	29,739	243	8,845	237	8,627	337	12,267
혼 합 (5%)	백호 0.7m <sup>3</sup>	20.8	m <sup>3</sup>	468	9,734	168	3,494	71	1,477	229	4763
적 재	백호 0.7m <sup>3</sup>	20.8	m <sup>3</sup>	399	8299	162	3,370	69	1,435	168	3,494
운 반	D/T 15t	20.8	m <sup>3</sup>	965	20,072	232	4,826	384	7,987	349	7,259
포 설	Grader	20.8	m <sup>3</sup>	330	6,864	121	2,517	100	2,080	109	2,267
다 짐	진동 10t	20.8	m <sup>3</sup>	754	15,683	224	4,659	161	3,349	369	7,675
살 수		2	ton	265	530	138	276	78	156	49	98
특 부		0.2	인	48,620	9724	48,620	9,724				
인 부		4.0	인	34,360	137,440	34,360	137,440				
고 화재	ESC	1,850	kg	176	325,600			176	325,600		
잡재료	2 %	1	식		7,014				7,014		
계					570,699		175,151		357,725		37,823

제 4 호표, 보조기충공 ( 1 a 당 , 두께 0.3 m )

종 별	규 격 치 수	원수	단위	총액		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
집 토	도져 19t	52	m <sup>3</sup>	817	42,484	243	12,636	237	12,324	337	17,524
혼 합 (5%)	백호 0.7m <sup>3</sup>	31.2	m <sup>3</sup>	468	14,602	168	5,242	71	2,215	229	7,145
적 재	백호 0.7m <sup>3</sup>	31.2	m <sup>3</sup>	399	12,449	162	5,054	69	2,153	168	5,242
운 반	D/T 15t	31.2	m <sup>3</sup>	965	30,108	232	7,238	384	11,981	349	10,889
포 설	Grader	31.2	m <sup>3</sup>	219	6,833	80	2,496	66	2,069	73	2,278
다 짐	진동 10t	31.2	m <sup>3</sup>	503	15,693	150	4,680	107	3,336	246	7,675
살 수		3	ton	265	795	138	414	78	234	49	147
특 부		0.3	인	48,620	14,586	48,620	14,586				
인 부		6.0	인	34,360	206,160	34,360	206,160				
고 화재	ESC	2,775	kg	176	488,400			176	488,400		
잡 재료	2%	1	식		10,454				10,454		
계					842,564		258,506		533,158		50,900

제 5 호표 표층공( 1 a 당 , 두께 10 cm )

종별	규격	수량	단위	총액		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
혼합 (15%)	백호 0.7m <sup>3</sup>	10.4	m <sup>3</sup>	566	5,886	203	2,111	86	894	277	2,881
적재	백호 0.7m <sup>3</sup>	10.4	m <sup>3</sup>	399	4,150	162	1,685	69	718	168	1,747
운반	DT 15t	10.4	m <sup>3</sup>	965	10,036	232	2,413	384	3,994	349	3,629
포설	Grader	10.4	m <sup>3</sup>	987	10,265	361	3,754	299	3,110	327	3,401
다짐	머개덤 12t	10.4	m <sup>3</sup>	1,363	14,175	620	6,448	323	3,329	420	4,368
다짐	타이어 10t	10.4	m <sup>3</sup>	1,296	13,478	526	5,470	314	3,266	456	4,742
살수		1.0	ton	265	265	138	138	78	78	49	49
특부		0.1	인	48,620	4,862	48,620	4,862				
인부		2.0	인	34,360	68,720	34,360	68,720				
고화재	ESC	2,775	kg	176	488,400			176	488,400		
세골재	8 mm	1.35	m <sup>3</sup>	13,000	17,550			13,000	17,550		
섬유	망사 19 mm	18.5	kg	4,400	81,400			4,400	81,400		
포설공		3.3	인	55,613	183,523	55,613	183,523				
잡재료	2 %				12,055				12,055		20,828
계					914,765		279,124		614,824		20,817

제 6 호표 표층공 ( 1 a 당, 두께 15 cm )

종별	규격	수량	단위	총액		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
혼합 (15%)	백호 0.7m <sup>3</sup>	15.6	m <sup>3</sup>	566	8,830	203	3,167	86	1,342	277	4,321
적재	백호 0.7m <sup>3</sup>	15.6	m <sup>3</sup>	399	6,224	162	2,527	69	1,076	168	2,621
운반	D/T 15t	15.6	m <sup>3</sup>	965	15,054	232	3,619	384	5,990	349	5,445
포설	Grader	15.6	m <sup>3</sup>	658	10,265	241	3,760	199	3,104	218	3,401
다짐	머캐덤 12t	15.6	m <sup>3</sup>	908	14,165	413	6,443	215	3,354	280	4,368
다짐	타이어 10t	15.6	m <sup>3</sup>	865	13,494	351	5,476	210	3,276	304	4,742
살수		1.5	ton	265	398	138	207	78	117	49	74
특부		0.2	인	48,620	9,724	48,620	9,724				
인부		4.0	인	34,360	137,440	34,360	137,440				
포설공		3.3	인	55,613	183,523	55,613	183,523				
고화재	ESC	4,163	kg	176	732,688			176	732,688		
세골재	8 mm	2.04	m <sup>3</sup>	13,000	26,520			13,000	26,520		
섬유	망사 19 mm	2708	kg	4,400	122,320			4,400	122,320		
잡재료	2 %	1	식		17,996				17,996		
계					1,298,641		355,886		917,783		24,972

제 7 호표 표층공 ( 1 a 당 , 두께 20 cm )

종별	규격	수량	단위	총액		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
혼합 (15%)	백호 0.7m <sup>3</sup>	20.8	m <sup>3</sup>	566	11,773	203	4,222	86	1,789	277	5,762
적재	백호 0.7m <sup>3</sup>	20.8	m <sup>3</sup>	399	8,299	162	3,370	69	1,435	168	3,494
운반	D/T 15t	20.8	m <sup>3</sup>	965	20,072	232	4,826	384	7,987	349	7,259
포설	Grader 3.6m	20.8	m <sup>3</sup>	494	10,275	181	3,765	149	3,099	164	3,411
다짐	머캐덤 12t	20.8	m <sup>3</sup>	682	14,186	310	6,448	162	3,370	210	4,368
다짐	타이어 10t	20.8	m <sup>3</sup>	648	13,478	263	5,470	157	3,266	228	4,742
살수		2.0	ton	265	530	138	276	78	156	49	98
특부		0.2	인	48,620	9,724	48,620	9,724				
인부		4.0	인	34,360	137,440	34,360	137,440				
포설공		3.3	인	55,613	183,523	55,613	183,523				
고화재	ESC	5,550	kg	176	976,800			176	976,800		
세골재	8 mm	2.71	m <sup>3</sup>	13,000	35,230			13,000	35,230		
섬유	망사 19 mm	37.0	kg	4,400	162,800			4,400	162,800		
잡재료	2%		식		23,919				23,919		
계					1,608,049		359,064		1,219,851		29,134

제 8 호포 양생 ( 1 a 당)

	규격	수량	단위	총액		노무비		재료비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
비닐		100	m <sup>2</sup>	260	26,000			260	26,000		
양생재		12	kg	1,700	20,400			1,700	20,400		
인부		0.4	인	34,360	13,744	34,360	13,744				
계					60,144		13,744		46,400		

3. 증기 단위당 경비

다음은 증기의 물량당 단가를 공종별로 계산한 것이다.

공종	증기	시간당 경비(원/hr)			시간당 작업량 (m <sup>3</sup> /hr)	단위당 경비(원/m <sup>3</sup> )			소계 (원/m <sup>3</sup> )
		노무비	재료비	경비		노무비	재료비	경비	
1. 포토제거	백호 0.7m <sup>3</sup>	16,046	6,808	16,655	68.94	233	99	242	574
2. 집토비	불도져 19t	16,046	15,669	22,261	66.11	243	237	337	817
3. 혼합(5%)	백호 0.7m <sup>3</sup>	16,046	6,808	21,832	95.49	168	71	229	468
3. 혼합(15%)	백호 0.7m <sup>3</sup>	16,046	6,808	21,832	78.88	203	86	277	566
4. 적재	백호 0.7m <sup>3</sup>	16,046	6,808	16,655	99.21	162	69	168	399

공 종	중 기	시간당 경비(원/hr)			시간당 작업량 (m <sup>3</sup> /hr)	단위당 경비(원/m <sup>3</sup> )			소계 (원/m <sup>3</sup> )
		노무비	재료비	경비		노무비	재료비	경비	
5.운반	15t D/T L=500	9,509	15,742	14,339	41.03	232	384	349	965
6.보조기층 포설 (10 cm)	Grader 3.6m	16,046	13,225	14,526	66.58	241	199	218	658
6.보조기층 포설 (20 cm)	Grader 3.6m	16,046	13,225	14,526	133.16	121	100	109	330
6.보조기층 포설 (30 cm)	Grader 3.6m	16,046	13,225	14,526	199.74	80	66	73	219
7.보조기층 다짐 (10cm)	진동 Roller 10t	12,276	8,799	20,194	36.48	337	241	554	1,132
7.보조기층 다짐 (20cm)	진동 Roller 10t	12,276	8,799	20,194	54.72	224	161	369	754
7.보조기층 다짐 (30cm)	진동 Roller 10t	12,276	8,799	20,194	82.08	150	107	246	503
8.살수비	5,500 ℓ	9,509	5,400	3,352	69.07	138	78	49	265
9.표층공 포설 (10 cm)		16,046	13,225	14,526	44.39	361	299	327	987
9.표층공 포설 (15 cm)		16,046	13,225	14,526	66.58	241	199	218	658
9.표층공 포설 (20 cm)		16,046	13,225	14,526	88.78	181	149	164	494



공 종	사 용 증 기	시간당 경비(원/hr)			시간당 작업량 (m <sup>3</sup> /hr)	단위당 경비(원/m <sup>3</sup> )			소계 (원/m <sup>3</sup> )
		노무비	재료비	경비		노무비	재료비	경비	
10. 표층공 다짐 (10 cm)	머캐덤 10~12t	12,276	6,398	8,314	19.8	620	323	420	1,363
10. 표층공 다짐 (15 cm)	머캐덤 10~12t	12,276	6,398	8,314	29.7	413	215	280	908
10. 표층공 다짐 (20 cm)	머캐덤 10~12t	12,276	6,398	8,314	39.6	310	162	210	682
11. 표층공 다짐 (10 cm)	타이어 10~12t	12,276	7,331	10,642	23.33	526	314	456	1,296
11. 표층공 다짐 (15 cm)	타이어 10~12t	12,276	7,331	10,642	34.99	351	210	304	865
11. 표층공 다짐 (20 cm)	타이어 10~12t	12,276	7,331	10,642	46.66	263	157	228	648

#### 4. 산출근거

가. 터파기 및 표토제거 THICK = 15cm, 점질토

i) 작업량

유압식 백호 0.7m<sup>3</sup>,  $f = 1/1.30 = 0.77$ ,  $K = 0.90$

$E = 0.75$ ,  $C_m = 19\text{초}(90^\circ \text{선회})$

$$Q = \frac{3600 \times 0.7 \times 0.90 \times 0.77 \times 0.75}{19} = 68.94 \text{ m}^3/\text{hr}$$

ii) 경비계산

· 경비  $77,535,000 \times 2148 \times 10^{-7} = 16,655 \text{ 원/hr}$

• 노무비

$$\text{운전기사 } 1\text{인} \times 56,517 \times \frac{1}{8} \times \frac{25}{23.5} \times \frac{16}{12} = 10,021 \text{ 원/hr}$$

(월근무일수 25일, 잡업시수 8hr,

중기작업일수 23.5일, 상여금 300%, 퇴직금 100%)

$$\text{조장 } 0.2\text{인} \times 63,589 \times \frac{1}{8} \times \frac{25}{23.5} \times \frac{16}{12} = 2,255 \text{ 원/hr}$$

$$\text{조수 } 0.5\text{인} \times 42,524 \times \frac{1}{8} \times \frac{25}{23.5} \times \frac{16}{12} = 3,770 \text{ 원/hr}$$

소계 : 16,046 원/hr

iii) 연료비 : 경유  $10.51 \times 518.18 = 5,446 \text{ 원/hr}$

잡유  $5,446 \times 0.25 = 1,362 \text{ 원/hr}$

소계 : 6,808 원/hr

나. 집토비

i) 작업량

$$19\text{t Dozer, } L = 20 \text{ m, } q = 3.2 \times 0.96 = 3.07 \text{ m}^3, f = 1/1.36 = 0.77$$

$$L = 20\text{m, } E = 0.55, v_1 = 40 \text{ m/min, } v_2 = 46 \text{ m/min}$$

$$C_m = \frac{20}{40} + \frac{20}{46} + 0.25 = 1.18\text{분}$$

$$Q = \frac{60 \times 3.07 \times 0.77 \times 0.55}{1.18} = 66.11 \text{ m}^3/\text{hr}$$

ii) 경비계산

• 경비 :  $103,635,000 \times 2,148 \times 10^{-7} = 22,261 \text{ 원/hr}$

• 재료비 : 경유  $23.81 \times 518.18 = 12,338 \text{ 원/hr}$

잡유  $12,338 \times 0.27 = 3,331 \text{ 원/hr}$

소계 : 15,669 원/hr

• 노무비 : 16,046 원/hr

다. 혼합(5%) - 보조기충용 재료 혼합

백호  $0.7\text{m}^3$  + 바스켓빌라이저, 8 hr 작업,  $100\text{m}^3$  혼합

i) 백호  $0.7\text{m}^3$

$q = 0.7\text{m}^3$ ,  $f = 0.77$ ,  $K = 1.10$ ,  $E = 0.85$ ,  $C_m = 19$  초

$$Q = \frac{3600 \times 0.7 \times 0.77 \times 1.1 \times 0.85}{19} = 95.49\text{ m}^3/\text{hr}$$

• 경비 : 백호 16,655 원/hr

바스켓빌라이저  $10,000,000 \times 5,177 \times 10^{-7} = 5,177$  원/hr

소계 : 21,832 원/hr

• 노무비 : 16,046 원/hr

• 재료비 : 6,808 원/hr

라. 적재

백호  $0.7\text{m}^3$ ,  $q = 0.7\text{m}^3$ ,  $K = 1.10$ ,  $f = 0.80$ ,  $E = 0.85$ ,  $C_m = 19$  초

$$Q = \frac{3600 \times 0.7 \times 1.10 \times 0.8 \times 0.85}{19} = 99.21\text{ m}^3/\text{hr}$$

• 경비 : 16,655 원/hr

• 노무비 : 16,046 원/hr

• 재료비 : 6,080 원/hr

마. 운반

D/T 15t,  $\ell$  (운반거리) = 500m,  $\gamma_t = 1.95\text{ t/m}^3$ ,  $L = 1.25$

$$q = \frac{15}{1.95/1.25} = 9.62\text{ m}^3/\text{대}$$

$$n = \frac{Q_t}{qK} = \frac{9.62}{0.7 \times 1.1} = 12.5\text{ 회(백호)}$$

$$t_1 = \frac{C_m \cdot n}{60 E_s} = \frac{19 \times 12.5}{60 \times 0.85} = 4.66\text{ 분}$$

$$t_2 = \frac{0.5}{15} \times 2 \times 60 = 4\text{ 분} (v_1 = v_2 = 15\text{ km/hr})$$

$$t_3 = 1.05 \text{ 분}, t = 10.13 \text{ 분}$$

$$Q = \frac{60 \times 9.62 \times 0.8 \times 0.9}{10.13} = 41.03 \text{ m}^3/\text{hr}$$

i) 연료비  $21.11 \times 518.18 = 10,939 \text{ 원/hr}$

잡유  $10,939 \times 0.44 = 4,813 \text{ 원/hr}$

소계 :  $15,742 \text{ 원/hr}$

ii) 노무비

$$\text{조종원 1인} \times 53,633 \times \frac{1}{8} \times \frac{25}{23.5} \times \frac{16}{12} = 9,509 \text{ 원/hr}$$

iii) 경비  $53,824,000 \times 2,664 \times 10^{-7} = 14,339 \text{ 원/hr}$

바. 포설

Grader 3.6m, 보조기층 4회 부설,  $\ell = 2.9 \text{ m}$ ,  $L = 50 \text{ m}$ ,  $H = 0.1 \text{ m}$

$v_1 = 6.0 \text{ km/hr}$ ,  $v_2 = 6.5 \text{ km/hr}$ ,  $f = 1.0$ ,  $E = 0.6$ ,  $p = 4\text{회}$ ,  $t = 5\text{분}$

$$C_a = 0.06 \left( \frac{50}{6.0} + \frac{50}{6.5} \right) + 2 \times 0.5 = 1.96 \text{ 분}$$

\* 작업량 계산

$$\begin{aligned} 1) H = 0.1 \text{ m 일 때, } Q &= \frac{60 \times 2.9 \times 0.1 \times 50 \times 1.0 \times 0.6}{4 \times 1.96} \\ &= 66.58 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) H = 0.2 \text{ m 일 때, } Q &= \frac{60 \times 2.9 \times 0.2 \times 50 \times 1.0 \times 0.6}{4 \times 1.96} \\ &= 133.16 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) H = 0.3 \text{ m 일 때, } Q &= \frac{60 \times 2.9 \times 0.3 \times 50 \times 1.0 \times 0.6}{4 \times 1.96} \\ &= 199.74 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

\* 경비 계산

i) 연료비  $15.41 \times 518.18 = 7,985 \text{ 원/hr}$

잡유  $7,985 \times 0.66 = 5,270 \text{ 원/hr}$

소계 : 13,255 원/hr

ii) 경비  $83,965,000 \times 1,730 \times 10^{-7} = 14,526$  원/hr

iii) 노무비 16,045 원/hr

사. 다짐(보조기충공 다짐)

진동 Roller 10t,

\* 작업량 계산

1) H = 10cm 일 때, p = 6회

v = 4 km/hr, w = 1.9 m, D = 0.1m, E = 0.4, N = 6회

f = 0.9/1.25 = 0.72

$$Q = \frac{1000 \times 4 \times 1.9 \times 0.1 \times 0.4 \times 0.72}{6} = 36.48 \text{ m}^3/\text{hr}$$

2) H = 20cm 일 때, p = 8회

D = 0.2m, N = 8회

$$Q = \frac{1000 \times 4 \times 1.9 \times 0.2 \times 0.4 \times 0.72}{8} = 54.72 \text{ m}^3/\text{hr}$$

3) H = 30cm, p = 8회

$$Q = \frac{1000 \times 4 \times 1.9 \times 0.3 \times 0.4 \times 0.72}{8} = 82.08 \text{ m}^3/\text{hr}$$

\* 경비 계산

i) 경비 :  $54,460,000 \times 3708 \times 10^{-7} = 20194$

ii) 노무비 조종원 1인 : 10,021 원/hr

조장 1인 : 2,255 원/hr

소계 : 12,276 원/hr

iii) 연료비 경유  $11.71 \times 518.18 = 6,068$  원/hr

잡유  $6,068 \times 0.45 = 2,731$  원/hr

소계 : 8,799 원/hr

아. 살수비

물탱크 5,500 ℓ, L = 500m, v = 20 km/hr

t<sub>1</sub> = 15분(흡입준비 5분+ 흡입 10분 )

$$t_2 = 0.5 \times \frac{2}{20} \times 60 = 3\text{분}$$

$$C_m = 15 + 3 + 20 + 5 = 43\text{분}$$

$$Q = \frac{60 \times 5500 \times 0.9}{43} = 6,906.98 \text{ kgf/hr}$$

\* 작업량 계산

① 보조기층 두께 10cm

$$100 \text{ m}^2\text{당 } 1 \text{ ton 살수} \rightarrow 1 \text{ m}^3\text{당} = \frac{1t}{100 \times 0.1} = 0.1 \text{ ton}$$

$$Q = \frac{6906.98}{100} = 69.07 \text{ m}^3/\text{hr}$$

② 보조기층 20cm

$$100 \text{ m}^2\text{당 } 2 \text{ ton 살수} \rightarrow 1 \text{ m}^3\text{당} = \frac{2t}{100 \times 0.2} = 0.1 \text{ ton}$$

$$Q = 69.07 \text{ m}^3/\text{hr}$$

③ 보조기층 30cm

$$Q = 69.07 \text{ m}^3/\text{hr}$$

\* 경비 계산

i) 노무비 증기차 운전 1인 9,509 원/hr

ii) 재료비 경유 10.21 × 518.18 = 5,291 원/hr

잡유 5,291 × 0.33 = 1,746 원/hr

소계 : 7,037 원/hr

· 재료비 수정 : 7,037 × (43-10)/43 = 5,400 원/hr

iii) 경비 : 13,233,000 × 2,533 × 10<sup>-7</sup> = 3,352 원/hr

자. 혼합(15%) 표층용 재료 혼합

8 hr 작업 => 75 m<sup>3</sup>/hr 혼합, C<sub>m</sub> = 23초(180° 회전)

$$\text{백호 } Q = \frac{3600 \times 0.7 \times 0.77 \times 1.1 \times 0.85}{23} = 78.88 \text{ m}^3/\text{hr}$$

- i) 경비 : 21,832 원/hr
- ii) 노무비 : 16,046 원/hr
- iii) 재료비 : 6,808 원/hr

차. 포설(표층용), p = 6회

$$\begin{aligned} 1) H = 10 \text{ cm 일 때, } Q &= \frac{60 \times 2.9 \times 0.1 \times 50 \times 1.0 \times 0.6}{6 \times 1.96} \\ &= 44.39 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) H = 15 \text{ cm 일 때, } Q &= \frac{60 \times 2.9 \times 0.15 \times 50 \times 1.0 \times 0.6}{6 \times 1.96} \\ &= 66.58 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) H = 20 \text{ cm 일 때, } Q &= \frac{60 \times 2.9 \times 0.20 \times 50 \times 1.0 \times 0.6}{6 \times 1.96} \\ &= 88.78 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

- i) 연료비 : 13,255 원/hr
- ii) 경비 : 14,526 원/hr
- iii) 노무비 : 16,046 원/hr

카. 표층다짐 1, 머캐덤 Roller 10~12 t

w = 0.8, v = 2.5 km/hr, E = 0.55, f = 0.72

1) H = 10 cm 일 때, N = 4 회

$$Q = \frac{1000 \times 2.5 \times 0.8 \times 0.1 \times 0.55 \times 0.72}{4} = 19.8 \text{ m}^3/\text{hr}$$

2) H = 15 cm 일 때, N = 4회

$$Q = \frac{1000 \times 2.5 \times 0.8 \times 0.15 \times 0.55 \times 0.72}{4} = 29.7 \text{ m}^3/\text{hr}$$

3) H = 20 cm 일 때, N = 4회

$$Q = \frac{1000 \times 2.5 \times 0.8 \times 0.2 \times 0.55 \times 0.72}{4} = 39.6 \text{ m}^3/\text{hr}$$

i) 재료비 : 경유  $10.29 \times 518.18 = 5,332$  원/hr

잡유  $5,332 \times 0.2 = 1,086$  원/hr

소 계 : 6,398 원/hr

ii) 노무비 : 12,276 원/hr

iii) 경비 :  $39,386,000 \times 2,111 \times 10^{-7} = 8,314$  원/hr

타. 표층다짐 2, 타이어 로올러 8~12 t

N = 10회, w = 1.8 m, v = 4.0 km/hr, f = 0.72, E = 0.45

$$\begin{aligned} 1) H = 10 \text{ cm 일 때, } Q &= \frac{1000 \times 4 \times 1.8 \times 0.1 \times 0.45 \times 0.72}{10} \\ &= 23.33 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) H = 15 \text{ cm 일 때, } Q &= \frac{1000 \times 4 \times 1.8 \times 0.15 \times 0.45 \times 0.72}{10} \\ &= 34.99 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) H = 20 \text{ cm 일 때, } Q &= \frac{1000 \times 4 \times 1.8 \times 0.2 \times 0.45 \times 0.72}{10} \\ &= 46.66 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

i) 경비 :  $50,411,000 \times 2,111 \times 10^{-7} = 10,642$  원/hr

ii) 재료비 : 경유  $11.79 \times 518.18 = 6,109$  원/hr

잡유  $6,109 \times 0.2 = 1,222$  원/hr

소 계 : 7,331 원/hr

iii) 노무비 : 12,276 원/hr



### 5. 표층 및 보조기층 재료 산출 근거

표층용 재료의 단위 중량  $\gamma_t = 1.850 \text{ tf/m}^3$ , 손실은 4%로 간주하여 계산한다. 표층용 에코콘크리트의 구성은 전체 중량에서 고화재가 15%, 세골재가 10%(손실을 10%), 폴리프로필렌 섬유가 0.1%, 흙이 74.9%로 구성된다.

따라서, 1 a 당 계산하면 다음과 같다.

1) H = 10 cm 일 때,

$$V = 100 \text{ m}^2 \times 0.1 \text{ m} = 10 \text{ m}^3$$

$$W = 10 \times 1,850 = 18,500 \text{ kg}$$

$$\cdot \text{혼합토량} : 10 \times 1.04 = 10.4 \text{ m}^3$$

$$\text{i) 고화재} : 18,500 \times 0.15 = 2,775 \text{ kg}$$

$$\text{ii) 세골재} : 18,500 \times 0.10 = 1,850 \text{ kg}$$

$$1,850 \div 1500 \times 1.1 = 1.35 \text{ m}^3$$

$$\text{iii) 섬유} : 18,500 \times 0.001 = 18.5 \text{ kg} \rightarrow 21 \text{ bag}$$

2) H = 15 cm 일 때

$$V = 100 \text{ m}^2 \times 0.15 \text{ m} = 15 \text{ m}^3$$

$$W = 15 \times 1,850 = 27,750 \text{ kg}$$

$$\cdot \text{혼합토량} : 15 \times 1.04 = 15.6 \text{ m}^3$$

$$\text{i) 고화재} : 27,750 \times 0.15 = 4,163 \text{ kg}$$

$$\text{ii) 세골재} : 27,750 \times 0.10 = 2,775 \text{ kg}$$

$$2,775 \div 1500 \times 1.1 = 2.04 \text{ m}^3$$

$$\text{iii) 섬유} : 27,750 \times 0.001 = 27.8 \text{ kg}$$

3) H = 20 cm 일 때

$$V = 100 \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ m} = 20 \text{ m}^3$$

$$W = 20 \times 1,850 = 37,000 \text{ kg}$$

- 혼합토량 :  $20 \times 1.04 = 20.8 \text{ m}^3$
- i) 고회재 :  $37,000 \times 0.15 = 5,550 \text{ kg}$
- ii) 자갈 :  $37,000 \times 0.10 = 3,700 \text{ kg}$   
 $3,700 \div 1500 \times 1.1 = 2.71 \text{ m}^3$
- iii) 섬유 :  $37,000 \times 0.001 = 37.0 \text{ kg}$

보조기층용 재료의 단위 중량  $\gamma_t = 1.850 \text{ tf/m}^3$ , 손실은 4%로 간주하여 계산한다. 집토는 표층과 보조기층을 동시에 하며, 보조기층용 에코콘크리트는 전체 중량에서 고회재가 5%를 차지하는 것으로 간주한다.

따라서, 1 a 당 계산하면 다음과 같다.

1) H = 10 cm 일 때,

$$V = 100 \text{ m}^2 \times (0.1+0.1) \text{ m} = 20 \text{ m}^3$$

$$W = 10 \times 1,850 = 18,500 \text{ kg}$$

- 집토량 :  $20 \times 1.04 = 20.8 \text{ m}^3$
- 혼합토량 :  $10 \times 1.04 = 10.4 \text{ m}^3$
- 고회재 :  $18,500 \times 0.05 = 925 \text{ kg}$

2) H = 20 cm 일 때

$$V = 100 \text{ m}^2 \times (0.15+0.2) \text{ m} = 35 \text{ m}^3$$

$$W = 20 \times 1,850 = 37,000 \text{ kg}$$

- 집토량 :  $35 \times 1.04 = 36.4 \text{ m}^3$
- 혼합토량 :  $20 \times 1.04 = 20.8 \text{ m}^3$
- 고회재 :  $37,000 \times 0.05 = 1,850 \text{ kg}$

3) H = 30 cm 일 때

$$V = 100 \text{ m}^2 \times (0.2+0.3) \text{ m} = 50 \text{ m}^3$$

$$W = 30 \times 1,850 = 55,500 \text{ kg}$$

- 집토량 :  $50 \times 1.04 = 52.0 \text{ m}^3$
- 혼합토량 :  $30 \times 1.04 = 31.2 \text{ m}^3$
- 고화재 :  $55,500 \times 0.05 = 2,775 \text{ kg}$

## 제 7 절 요약 및 결론

본 장에서는 포장공법을 개발하기 위하여 포장재료를 개발하여 그 특성을 분석하고, 현장시험포장을 통하여 새로운 포장공법의 개발과 설계방법을 요약하여 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 장에서는 현장 흙을 재료로 고화재, 토목섬유, 세골재 및 기타 혼입재를 혼합하여 새로운 포장재료인 에코콘크리트를 사용하여 기계화 경작로 포장공법을 개발하였다.
2. 기계화 경작로의 설계기준을 검토하여 새로운 설계조건을 제시하였다.
3. 기계화 경작로의 포장공법으로 Geocell을 사용하여 연약지반에 적용이 가능한 Geocell System을 개발하여 그 적용성을 분석하여, 그 효과를 분석하였다.
4. 표층재료로 개발된 에코콘크리트를 사용하는 포장공법을 대형차 교통량의 조건에 따라 설계할 수 있도록 새로운 공법을 제시하였다.
5. 에코콘크리트 포장공법은 3개 유형으로 현장적용이 용이하도록 개발하였다.
6. 기계화 경작로의 포장재료의 개발을 검증하기 위하여 2개년에 걸쳐 현장포장시험을 수행하여, 그 적용성을 분석하였다.
7. 현장포장시험의 결과로부터 포장공법의 경제성 분석을 실시한 결과, 농림부 단가의 약 37 % ~ 73 % 범위에서 시공이 가능한 것으로 나타났다.

## 제 6 장 기계화 경작로의 시공과 유지 관리

### 제 1 절 서론

농업 인구의 감소로 생산 활동에 기계의 필요성이 점점 커지고, 국제 경향으로 농작업기계는 점점 대형화되고 있다. 이에 대처하기 위해 기계화 경작로의 포장은 실태 조사(제2장)에서도 나타난 바와 같이 꼭 필요하게 되었다. 생산 활동에 필요한 경작로의 포장은 일반 도로와는 달리 농작물의 성장에 장애를 주어서는 안되므로 흙을 주 재료로 한 환경친화형 포장 공법을 개발하였다. 이것은 에코콘크리트(Ecoconcrete) 포장 공법으로 이름을 붙였다.

본 연구에서 제시한 에코콘크리트 포장 공법은 아스콘 또는 콘크리트 포장과는 시공 과정이 다르므로 이에 준하여 시공이나 유지 관리를 하기는 어렵다. 따라서, 에코콘크리트 공사를 할 때 계획에서 시공까지의 시공 지침과, 포장이 제 기능을 발휘하도록 하는 유지 관리 지침, 포장 공법의 기본적인 표준시방 등을 제시하는 것이 필요하다.

### 제 2 절 시공 지침

#### 1. 조사와 시험

기계화 경작로 포장 공사를 계획할 때 통행차량, 현장조건, 토질 등에 대한 조사와 시험을 하여, 지반보강여부, 보조기층과 표층의 두께, 고화재량 등을 경제성을 고려하여 합리적으로 설계를 한다.

① 통행차량 조사 - 통행차량의 종류(농작업기계, 농사용 화물차 등)와 하중

② 현장 조건 조사 - 동결심도, 배수조건, 강우량, 시공시기 등

③ 토질 조사 - 비중시험, 액성한계시험, 다짐시험, 입도시험, 함수량시험, CBR시험 등

기계화 경작로 포장에 사용하는 흙에 대한 시험 결과로부터 다음과 같은 사항을 결정한다.

① 흙의 분류시험 결과 - 흙의 종류에 따라 자갈 혼입량을 결정한다.

② 다짐시험 결과 - 현장에서 시공할 때 전압, 최적함수비, 최대건조밀도 등을 결정하여 최적 다짐기의 종류와 크기를 결정한다.

③ 압축강도시험 결과 - 고화재와 자갈의 혼합 비율에 따른 결과를 비교 검토하여 가장 경제적이고, 양호한 각 재료의 배합비율을 결정하고, 현장에서 시공할 때 고화재의 혼입량을 결정한다.

표 6.1 기계화 경작로 포장 공사의 품질관리 기준

항 목	조 건	규 격
포 장 두 겹	50m마다 1개소	규정두께
입 도	1~2개/100㎡	반입토의 경우
함 수 비	수 시	최적함수비 유지
고 화 재 량	1~2회/일	±1.0%
혼 합 상 태	1회/1000㎡	93%

기계화 경작로 포장은 기상, 통행차량, 생산활동 등 외부 영향을 많이 받으므로 시공에 정성을 들여야 하고, 소요의 품질관리 시험을 하여 품질 수준을 확인하여야 한다. 포장 공사의 품질 관리 기준은 표6.1과 같다.

## 2. 포장 시공 요령

기계화 경작로 포장은 다음과 같은 순서로 실시하며, 더 나은 포장을 위하여 감독관과 협의하여 변경할 수 있다.

### ① 노반 정리를 한다.

경작로의 표면에서 풀, 거름, 농업 부산물 등을 깨끗이 제거한다. 이런 재료가 포함되면 포장강도를 저하시키고, 표층박리가 일어나는 등 내구성이 떨어진다.

### ② 설계 깊이까지 파서 큰 흠덩이가 없도록 깬다.

포장재로 사용하는 자갈보다 직경이 큰 재료는 제거하여야 하나, 부득이한 경우는 포장 두께의 1/2이하, 10cm까지는 보조기층에는 사용하되 분리가 일어나지 않도록 주의해야 한다.

③ 판 흙을 혼합기가 있는 곳으로 옮긴다. 노반에서 직접 혼합할 때는 옮길 필요가 없다. 혼합기가 없으면, 혼합할 곳의 바닥을 깨끗이 정리한 다음 사용한다.

### ④ 고화재, 자갈, 섬유 등을 배합비율에 따라 흙과 함께 혼입한다.

현장 배합 비율에 따라  $m^2$ 당 필요량을 규칙적으로 혼입한다. 포장 규모가 작은 경우는 인력 혼입을 하고, 규모가 크면 기계 혼입을 한다.

※ 보조기층이 있는 경우는 보조기층의 배합을 먼저 하고 표층의 배합을 한다.

⑤ 모든 재료가 흙과 잘 섞이도록 혼합한다. 노반에서 직접 혼합하는 경우는 혼합을 해가면서 포설한다.

재료의 함수비가 부족한 경우는 물을 뿌리면서 혼합을 한다.

### ⑥ 설계 두께의 포장이 되도록 잘 퍼면서 노면 기울기를 잡는다.

포장 두께가 30cm를 넘지 않으면 한번에 시공하는 것이 좋다. 구조물과 접촉하는 부분의 포장은 잘 섞은 재료를 손으로 고루 퍼서 접촉부에서 하

자가 없도록 유의해서 시공해야 한다.

⑦ 다짐기를 이용하여 소정의 밀도가 얻어지도록 다진다.

다짐 작업 중 건조가 심한 경우는 알맞게 살수하여 최적함수비 상태에서 다지는 것이 효과적이다. 수분함량이 너무 많아 다짐이 안 될 때는 건조를 기다려 다지면 된다. 때에 따라서는 고화재를 조절하여 추가하면 좋다. 이 때 표면박리와 균열이 일어나지 않도록 적합 중량의 장비를 사용해야 한다.

⑧ 횡방향의 시공이음 부분은 반드시 수직으로 절취하여 처음 시공부분과 잘 밀착되도록 시공한다.

⑨ 시공 길이는 3~4시간 내에 완성하는 정도로 구분하여, 연속적으로 작업하는 것이 좋다.

응결이 완전히 되기 전에 다짐이 끝나도록 해야 한다.

※ 기초지반의 작업이 완료된 후 표층 작업을 한다.

⑩ 다진 후는 비가 와도 아무 상관이 없으며 보조기층은 3시간 후 통행을 개방해도 좋으나 표층은 시공 후 최소 3일이 지난 뒤에 개방해야 한다.

### 제 3 절 유지 관리 지침

#### 1. 개론

경작로 포장은 여러 가지 요인에 의해 파손되고 훼손될 가능성이 많다. 경작로는 중장비가 통행하는 곳이 아니므로 결정적인 결함이 생기기는 어려우나, 농업 생산 활동이 계속되므로 사소한 결함이 생기기는 쉽고, 훼손 가능성도 많다. 본 연구에서 제시하는 포장공법은 특별한 유지관리를 필요로 하지는 않으나, 경작로 기능에 영향을 줄 수 있는 유지관리사항을 제시하고 그에 대한 보수대책 및 방법을 설명한다.

여기서 제시하는 보수 및 보강대책은 주위 환경이나 상황에 따라 적용이

되지 않을 수도 있고 새로운 보수대책이 있을 수 있으므로, 관리자는 상황에 따라 적절히 판단하여야 한다.

## 2. 결함 확인 방법

경작로 포장의 상태 진단을 위한 결함 확인은 눈으로 보아서 하며, 결함의 원인과 현상은 표6.2와 같다. 포장에 생긴 결함의 원인이 10개 항목 중 어디에 속하는지 확인하여 그에 대한 대책을 수립하도록 한다.

포장의 적절한 유지관리를 위해서는 경작 활동을 시작하기 전과 경운을 하고 모심기 전, 경작활동을 마무리한 후 등 정기 점검을 3차례 실시하고, 많은 비가 온 후에는 특별 점검을 실시한다.

## 3. 보수 방법

포장을 보수하는 경우, 결함의 원인과 실태를 충분히 파악하고, 보수 보강이 필요한지를 판단한 후 적절한 재료와 방법을 선택해야 한다.

일반적으로 시공 불량과 설계 착오로 오는 균열과 박리 현상은 없어야 된다. 이것은 시공 전 설계 내용을 잘 점검하고 시공시기를 잘 선택하여 감독을 철저히 하는 것이 가장 좋은 방법이다.

### 가. 균열의 보수

#### 1) 표면처리 공법(균열 폭이 작은 경우)

균열 폭이 작고 내부 균열이 발생하지 않았으면, 포장 강도와는 무관하고 미관상 관련된 일이므로 고화재(20%)와 모래(80%)를 섞은 모르터를 표면 전체에 발라 피막을 형성시킨다.



표 6.2 경작로 포장의 결함 원인과 현상

기본원인	현상		
	균열	박리	표면붕괴
1. 시공불량	●	●	
2. 설계착오	●	●	
3. 건조수축	●		
4. 외기변화	●		
5. 포장의 수분흡수	●		
6. 화학반응	●	●	●
7. 동결융해, 침식		●	●
8. 충격	●	●	●
9. 마모(침식)			●
10. 인위적 훼손			●

2) 접착공법(균열의 폭이 비교적 큰 경우)

균열 폭이 크고 내부균열이 없으면, V자형 또는 U자형으로 파낸 후 고화재 20%, 모래 20%, 흙 60%를 섞은 후 주입하여 붙인다.

3) 주입공법(내부 균열까지 있는 경우)

내부균열이 발생한 경우는 내부의 틈까지 메워야 하므로 가압기를 이용

하여 주입한다. 고화재 30%, 모래 30%, 흙 40%를 섞은 재료를 사용하는데, 잘 되지 않으면 에폭시 수지를 사용한다.

#### 4) 대체공법(횡으로 균열이 전부 있는 경우)

경작로의 횡 방향으로 균열이 전부 발생한 경우는 표층 깊이까지 30cm 폭으로 파낸 후 설계량보다 고화재량을 5% 많이 하여 재 시공을 한다.

#### 나. 박리 부분의 보수

표면 박리가 일어나거나 부분적인 마모가 많이 일어나면 겨울에 물이 모여 얼게 되어 주위로 박리현상이 점점 확산된다. 따라서 박리 깊이 10mm기준으로 보수여부를 결정한다.

박리 깊이가 10mm이상이 되면, 결합부분을 깊이 5cm, 직경 5cm 크기로 파낸 후 고화재와 모래를 1:2로 섞어 직접 타설한다.

#### 다. 표면붕괴의 보수

표면 붕괴는 표층 손실을 가져오는 것으로 법면 부분에 가장 많이 발생하는데, 동결융해나 비에 의한 침식과 농민에 의한 훼손이 대부분이다.

붕괴가 일어난 부분은 시공이 용이하도록 표층 깊이까지 파내고 다듬은 후 고화재량을 설계량 보다 5% 더 혼입하여 다시 시공하여 형성시킨다.

법면 붕괴를 방지하기 위해서는 경작로 포장을 할 때 법면이 완전히 포장되도록 하는 것이 좋고, 그렇지 않은 경우는 풀이 자라도록 하고 제초제를 쓰지 않고 베어 내도록 지도하여야 한다.

## 제 4 절 표준 시방서

### 1. 총론

#### 가. 개론

기계화 경작로 포장 공법은 흙에 고화재, 자갈, 섬유 등을 적절히 배합하여 경작로에 필요한 강도를 발현하도록 한 환경친화형 포장 공법이다. 농작업기계의 하중을 충분히 받을 수 있는 압축강도를 발현하고 동결융해 저항성을 포함한 내구성이 충분하다. 경작로의 전 폭을 포장할 수 있을 정도로 경제적이며, 흙을 주 재료로 하는 만큼 환경친화적이며 사용 후에 토양에 섞여도 해가 없다.

본 시방서에 명시되지 않은 사항은 건설부 포장공사 시방서에 준한다.

#### 나. 적용범위와 기준

기계화 경작로 포장 공법은 경작로의 간선에 적용되는 공법으로 설계되었으며 배합비의 변경으로 경작로의 지선, 마을 안길, 산책로 등에 다양하게 적용할 수 있다.

포장에 적용할 때 기준은 다음과 같다.

- ① 흙의 분쇄도와 최대입경
- ② 흙의 함수량과 최적함수비
- ③ 자갈의 최대입경과 사용량
- ④ 고화재의 성질과 사용량
- ⑤ 포장의 두께
- ⑥ 포장의 다짐도
- ⑦ 포장의 압축강도
- ⑧ 포장 마감면의 기울기
- ⑨ 포장 법면의 다짐도

## 2. 재료

### 가. 개요

기계화 경작로 포장 공법에 사용되는 각종 재료는 공사 착수 전에 충분히 조사 시험하여 재료의 양과 함수비를 조정하여 사용하여야 한다. 특히 고화재를 바꾸고자 할 때는 공인된 시험기관으로부터 동등 이상의 성능을 발휘할 수 있는지에 대한 물성시험과 기초시험을 거친 후 감독관의 승인을 받아야 하며 경제성 검토도 고려되어야 한다.

### 나. 재료

#### 1) 흙

입도조건에는 제한이 없지만, 풀, 거름, 농업부산물 등은 제거되어야 하며 직경 20mm 이상되는 자갈 및 석재가 섞여 있어서는 안된다.

흙의 물리적 특성은 시험하여야 하며, 이에 따라 고화재의 사용량도 조절할 수 있다.

반입토를 사용할 경우에는 감독관의 승인을 받아야 하고 반드시 소정의 관리시험을 통하여 고화재 사용량과 함수비를 조절하여야 한다.

#### 2) 자갈

자갈의 최대입경은 설계대로 하고 켄 자갈이나 강자갈을 사용한다. 켄 자갈의 경우 지나치게 석분이 많으면 소정의 시험 분석을 통하여 사용량을 정해야 한다.

#### 3) 고화재

고화재는 팽창성 경화재이어야 한다. 고화재는 연약지반 및 일반토에 혼합 양생되었을 때 팽창성에 의한 강도 증진, 지반 안정 및 엔트린자이드를 형성하는 제품이어야 한다. 본 연구에서 사용한 고화재는 ESC(신보산업)이다.

생산품은 잘 혼합된 균질한 품질의 공장제품이어야 한다. 도급자는 고화재의 취급, 개량, 사용 등에 대해서 공사감독의 승인을 받아야 하며, 공사감독의 승인을 받아 벌크 고화재 또는 1톤 자루 고화재를 사용할 수 있다.

#### 4) 섬유

섬유는 폴리프로필렌 망사형, 길이 19mm를 사용하여야 하며, 동일 규격의 셀룰로오스 섬유를 사용하면 더 좋다.

#### 5) 물

물은 깨끗하여야 하며 하수, 기름, 산, 강알칼리, 유기물 등이 섞여서는 안된다.

혼입되는 물의 양은 흙의 자체 함수비에 따라 조절하여야 한다.

#### 다. 재료의 혼합

재료의 혼합은 각 재료별 적정 배합비율을 지켜야 하며, 각 재료가 골고루 섞이도록 혼합시간과 회수를 조절하여 한다.

재료의 배합은 경작로 포장용 혼합기를 사용하는 것이 좋다. 그렇지 않은 경우 잘 섞이었는지 공사 감독의 확인을 받아야 한다.

고화재의 양은 설계내용 기준으로 하되 반드시 현장 토질에 따라 강도시험을 한 결과에 따라 결정한다.

### 3. 구조설계

#### 가. 개요

기계화 경작로 포장 공법은 경작로의 기초지반의 상태를 조사하여 포장 규모를 결정해야 한다. 배수는 잘 되고 법면 침식이 없도록 적절한 횡단 기울기를 결정한다.

#### 나. 설계

기계화 경작로 포장 두께는 자연 상태의 지반 상태와 경작로 등급에 따라 보조기층과 표층의 두께를 결정한다. 보강이 필요할 정도의 연약지반의 경우는 Geoweb나 Geocell로 보조기층을 하는 것이 좋다.

횡단 기울기는 배수가 잘 되도록 2%를 표준으로 한다.

법면의 안정을 위해 적절한 공법을 선택하여 설계한다.

### 4. 시공

#### 가. 개요

기계화 경작로 포장 공법을 적용함에 있어 소정 품질의 재료를 확보하고, 적절한 장비, 인원을 투입하여 소정의 품질을 갖는 포장이 될 수 있도록 치밀한 시공계획을 세워야 한다.

#### 나. 일기제한

대기온도가 0℃ 이하인 경우, 일기조건이 24시간 이내에 0℃이하로 되어 질 것으로 예상되는 경우, 안개가 심하거나 비가 오는 경우, 흙이 얼어 있는 경우 등에는 별도 지시가 없는 한 작업을 중지하여야 한다.

#### 다. 장비 사용

장비는 작업에 들어가기 전에 종류, 중량, 작업방법 등에 의한 적합 여부를 감독관의 승인을 받아서 사용해야 한다.

#### 라. 순서

기계화 경작로의 포장 공법은 일반적으로 현장 흙의 굴착 분쇄 → 혼합물의 혼합 → 혼합토 또는 에코콘크리트의 포설 → 다짐 → 양생 → 통행개

방의 순서로 시행한다.

#### 1) 흙의 분쇄

습윤 상태에서 2인치 체를 100% 통과하고, 3인치 체를 80% 통과하도록 분쇄하여야 한다.

#### 2) 혼합물의 혼합

흙의 함수량은 혼합하는 동안 흙과 고화재, 자갈, 섬유 등이 골고루 잘 섞이도록 적당하여야 하며 시방된 최적함수비를 초과해서는 안된다.

각 재료가 정해진 양대로 혼합기 내에 공급할 수 있도록 공급장치와 개량장치가 갖추어 져야 하고, 재료가 멎쳐지지 않고 잘 섞인 혼합물이 형성 될 때까지 충분히 혼합한다.

※ 연약지반인 경우 혼합하는 동안 Geoweb나 Geocell을 규모에 맞게 포설한다.

#### 3) 혼합토 또는 에코콘크리트의 포설

포설 장비를 이용하여 균일한 층이 되도록 습기있는 노반 위에 포설하며, 시공 이음이 생기는 경우를 제외하고는 포설 경과시간은 3시간을 초과하지 않도록 한다. 혼합의 시작에서 다짐이 시작되기까지 사이의 소요시간은 90분을 초과해서는 안된다.

#### 4) 다짐

다짐을 할 때는 시방된 함수비보다 높지 않아야 하고, 최적함수비에서  $\pm 2\%$  내에 있어야 한다.

시방된 함수비 또는 최적함수비와 밀도는 함수비-밀도 방법에 의해 현장에서 결정하여야 한다.

포설된 느슨한 상태의 포장재는 시방된 다짐 밀도가 될 때까지 3시간 이내에 균등하게 다지고 완료되어야 한다. 다짐 장비는 적합한 종류와 중량을 선택하여 두 세 종류의 이용하고, 다짐 두께는 30cm 이하를 철저히 준수하

여야 하며 도급인은 이를 감독관에게 보고하여야 한다.

#### 5) 양생

최적함수비를 유지하도록 물을 뿌리거나 함수량의 변화가 없도록 양생포를 덮는다. 표면 건조로 수분 부족현상이 생기면 고화 진행을 방해할 뿐만 아니라 수축 균열 발생의 원인이 되므로 주의해서 양생시켜야 한다.

표층의 경우 다짐 후 양생이 완료되지 않았을 때는 증량있는 물체의 하중을 주어서는 안되며 양생기간은 7일 이상을 원칙으로 한다.

#### 6) 통행개방

양생기간이 충분히 지나서 표면 균열이 없다고 판단되고, 채취한 코아의 압축강도가 충분히 발현되면 통행을 개방한다.

#### 마. 시공이음과 신축이음

기계화 경작로는 폭이 7m 이내로서 한쪽이 개방되어 있고, 고화제가 팽창성이므로 신축이음이 필요 없을 것으로 판단된다. 그러나, 이것은 장기관측이 필요하므로(5년 이상) 앞으로 결정될 사항이다(연구기간이 2년).

시공이음은 경작로 폭을 가로지르는 횡 방향으로 두어야 하고, 이 시공이음은 절단기로 절단하여 해당 부위가 보존될 수 있도록 포설과 다짐에 주의하여야 한다. 특히 이미 시공된 부위가 손상되지 않도록 주의하여야 한다.

#### 바. 시공 제한 사항

다짐 전에 비에 젖어 시방된 함수비의 허용오차를 초과하는 경우에는 수급자 부담으로 영향받은 부위를 재시공하여야 한다.

시공이음 부위에서 적절히 다짐되지 않은 모든 재료는 수급자 부담으로 제거하고 치환하여야 하며, 적절한 함수 상태의 포장재로써 시방된 밀도가



되도록 하여야 한다.

배합설계를 할 때 고화재 총 사용량의  $\pm 0.5\%$ 미만은 설계 변경 및 재시공하지 않는다.

## 5. 품질관리 및 검사

### 가. 개요

기계화 경작로 포장 공법은 일반 도로 포장공법과는 전혀 다른 공정과 강도 발현 역학을 가지고 있으므로 이에 부합되는 기준을 통한 품질관리와 검사가 필요하다.

### 나. 시험관리

1) 수급인은 재료의 시험결과를 공사에 사용하기 전에 감독관에게 제출해서 승인을 받아야 하며, 승인을 받은 후 품질의 변화가 생긴 경우에는 즉시 감독관의 승인을 받아야 한다.

2) 고화재의 배합량은 설계를 기준으로 하며, 사용되는 흙의 특성에 따라 시공하기 이전에 일축 압축강도시험을 하여 배합비를 조정하여야 한다.

3) 고화재 배합비가 다른 여러 시료는 자연 함수비 상태에서 다짐하여 일축 압축강도를 구하며, 자연 함수비가 최적함수비보다 낮은 경우에는 최적함수비 상태로 다진다.

4) 시험 결과로 고화재 단위량 대 일축 압축강도의 도표와 고화재 단위량대 밀도의 도표를 그리며, 현장 혼합에 따른 일축 압축강도의 압축 강도비(현장/시험실) 효율은 0.8에서 0.9정도이다.

5) 고화재의 단위량은 시험실의 일축 압축강도와 현장 효율로부터 결정되며 보조기층 및 표층의 일축 압축강도는 토질 선 시험 후 시공하되 표층의 7일 압축 강도는  $30\text{kg}/\text{cm}^2$  이상, 보조기층의 압축강도는  $15\text{kg}/\text{cm}^2$  이상으로

한다.

6) 자갈이나 섬유의 양은 배합설계 기준을 현장에 그대로 적용한다.

#### 다. 유지 관리

1) 수급자는 자비 부담으로 감독관이 만족하는 조건으로 보조기층 및 표층을 작업 시작에서 종료될 때까지 유지관리 하여야 한다.

2) 유지 관리는 경작로 포장 전후에 일어나는 어떠한 결함이라도 즉시 보수하는 것을 포함하며, 보수작업은 균질의 표면이 형성되어야 하고 보수된 부위가 내구성을 갖출 수 있는 방법으로 시행되어야 한다.

보수를 하는 경우, 보수 전후에 감독관의 확인을 받아야 한다.

#### 라. 시공 관리

도급자는 설계로부터 얻은 배합비를 사용하여 시공하고, 완전한 시공을 위하여 감독관의 판단에 따라 시공 관리 시험을 행하여야 한다.

- 1) 흙의 분쇄도 시험
- 2) 흙의 입도 측정 - 체 분석
- 3) 흙의 함수량 - 관리시험 철저
- 4) 고화재량 - 함수비와 토질 상태에 의하여 조정
- 5) 혼합의 균일성 - 육안 관측
- 6) 다짐도 - 시공 후 건조 밀도를 측정
- 7) 보조기층의 압축강도 - 토질시험 방법에 의한 공시체 제작
- 8) 표층의 압축강도 - 코어 채취하여 7일, 28일 압축강도 시험
- 9) 효율적이고 능률적인 공사 방법 채택

## 제 5 절 요약 및 결론

기계화 경작로 포장 공사를 할 때 필요한 시공 지침과, 유지 관리 지침, 표준시방서 등을 제시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기계화 경작로의 시공 지침으로서 조사와 시험, 품질관리 기준, 포장 시공 요령 등의 기본적인 사항을 서술하였다.
2. 포장 상태가 경작로 기능에 영향을 줄 수 있는 유지 관리 사항과 결합 확인 방법, 보수 방법 등을 제시하였다.
3. 기계화 경작로 포장 공법의 표준시방서로서 적용 범위와 기준, 재료, 구조 설계, 시공, 품질관리 및 검사 등에 대한 시방 내용을 제시하였다.

## 제 7 장 연구요약 및 결론

제 1 장에서는 "기계화 경작로의 확포장 신공법 개발"의 배경과 연구의 필요성, 연구의 목적과 범위, 추진방법, 참여 연구진 등을 정리하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

1. 기계화 경작로 확포장 신공법 개발의 필요성 및 연구의 목적, 연구의 범위, 개발의 파급효과 등을 요약·정리하였다.
2. 본 연구는 새로운 기계화 경작로의 포장에 필요한 재료의 개발, 포장공법의 개발에 따른 각종 문제점을 사전에 분석하여, 대규모 경지정리와 기계화에 따른 수요를 충족시킬 수 있는 포장의 단면, 규격 등을 제시하는데 그 목적이 있다.
3. 연구의 추진체계 및 방법을 정리하였으며, 연구의 세부내용을 요약·정리하였다.
4. 본 연구는 1999년 10월에서 2000년 9월(2년간)까지 수행하도록 계획되었으며, 1차년도와 2차년도로 구분하여 수행되었다.
5. 본 연구에 참여한 연구진과 그 주요 업무를 요약·정리하였다.
6. 본 연구의 기대효과 및 활용방안에 대하여 요약·정리하였다.

제 2 장에서는 농민과 농조 직원의 설문조사를 통하여 이미 시공된 기계화 경작로의 실태를 점검하고, 문제점을 파악하여 기계화 경작로의 개선점을 찾아보았다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 설문조사 결과, 경작로는 농작업기계 이용이 쉽고, 농산물과 농업자재의 신속한 유통이 가능하도록 정비되어야 하며, 대형 농기계의 이용에 대비하여 설계되어야 한다. 그리고, 유지관리가 쉽도록 전 폭에 걸쳐서 포장

되어야 하고, 법면 처리가 잘 되어야 한다고 나타났다.

2. 경작로의 전 폭 포장에 비용이 작게 드는 새로운 포장 방법의 개발로 반쪽 포장비로 전 포장을 할 수 있는 경우 가능하다.
3. 경작로는 포장할 수밖에 없는 현실에서 포장에 따른 농작물의 피해, 나아가 환경 피해를 줄이는 방법은 환경친화적 재료를 사용하는 것인데, 고화재 계열을 이용한 포장이 유리할 것으로 판단된다.
4. 경작로의 정비는 경작지와 경작지, 마을과 경작지간 연결도로, 마을과 마을간 연락도로, 마을 진입로 등의 종합적 기능을 고려한 네트워크를 구축하는 방향으로 추진하는 것이 적합하다.
5. 경작로의 다양한 변화를 위하여 내구년한을 고려하는 것보다는 손쉽게 만들고 없앨 수 있는 흙을 주로 한 환경친화 재료를 사용하는 것이 바람직하다.

제 3 장에서는 기계화 경작로 포장구간의 연약지반을 처리하기 위하여 각 지구별로 경작로의 토질특성을 조사·분석하였으며, 나아가 이를 바탕으로 경작로에 적합한 처리공법을 제시하였다. 본 장에서 연구하고 검토된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 최근 연약지반에 적용되는 공법을 원리별로 요약하여, 기계화 경작로의 지반처리공법으로 활용할 수 있도록 정리하였다.
2. 기 시공된 대규모 경지정리 지구를 대상으로 기계화 경작로의 토질을 조사하였으며, 이를 바탕으로 각 지역별 경작로 토질특성을 분석하였다.
3. 전남·북 지역의 토질은 주로 서해안에 연하여 상류의 토사가 운반되어 퇴적되어 형성된 대규모 평야지대를 이루고 있으며, 입도는 세립분이 많고 강도가 낮아 성토 또는 도로 노상의 재료로는 부적합하다. 따라서,

기건설된 기계화 경작로의 대부분은 인근에서 채취하여 성토한 것으로 나타났으며, 통일분류상 SC에 속하는 흙으로 조사되었다.

4. 경남·북 지역의 토질은 주로 산간지에서 풍화된 흙이 하천을 따라 운반되고 퇴적되어 형성된 평야부가 발달한 지역이 많았다. 또한, 사질성분을 많이 함유한 SP 또는 SM에 속하는 흙으로 성토부를 이루고 있어 노상토로 적당한 것으로 나타났다.
5. 충남·북 지역의 토질은 하천을 따라 발달한 비옥한 토양의 평야부가 널리 분포되어 있었다. 답면의 토질은 세립분을 함유한 점성토가 주류를 이루고 있으나, 성토부는 인근에서 쉽게 양질의 토사로 치환되어 있어 노상토로 양호한 SM계열의 흙으로 조사되었다.
6. 경기도 지역의 토질은 주로 퇴적되어 형성된 평야부를 구성하고 있어, 입도가 아주 가는 CL 계통의 흙으로 분류되었다. 세립분을 많이 함유하고 있는 관계로 성토재료로 사용할 경우에는 인근의 양호한 흙으로 치환하거나 지반안정처리를 한 후 시공하는 것이 좋을 것으로 조사되었다.
7. 강원도 지역의 토질특성은 산간지의 풍화토가 퇴적된 곳이 많고 양호한 입도를 가지는 흙으로 조사되었으며, 성토부나 노상토로 적당한 것으로 조사되었다.
8. 기계화 경작로의 토질특성을 바탕으로 경제적으로 시공이 가능한 공법은 옛부터 시공되었던 치환공법이 가장 확실하고 간단한 방법으로 사료된다. 그러나, 주변에서 양토를 저렴하게 쉽게 구득할 수 있는 경우에는 이러한 방법이 효과적이거나 아주 연약하고 양토를 쉽게 구할 수 없는 곳에서는 Geocell등을 이용하는 방법을 권장한다.

제 4 장에서는 농업생산성의 증대와 환경 보전을 전제로 하는 자연친화적인 기계화 경작로의 포장을 위하여, 경작로의 흙을 기본재료로 하고, 흙

의 단점을 보완할 수 있는 고화재, 석탄회, 자갈, 섬유 등을 혼입하여 자연 친화적인 보조기층과 표층 포장재료를 개발하기 위하여 시험한 결과를 요약 하면 다음과 같다.

1. 석탄회 혼합토는 강도 증진 효과는 없으나 다짐 효과는 좋아지고 투수계 수는 약간 감소하므로, 산업부산물 활용 차원에서 보조기층재로 사용할 수는 있다.
2. 보조기층재에 사용하는 석탄회 혼합토의 석탄회 배합량은 5%에서 10%까지 적당하다.
3. 고화재 혼합토의 중량변화는 골재와 고화재의 혼입량이 많을수록 작게 나타났고, 압축강도, 휨강도, 초음파진동속도, 동탄성계수 등은 모든 재령과 배합에서 다같이 고화재, 골재의 혼입량이 많을수록 크게 나타났으며, 고화재의 혼입량에 의한 증가 정도가 골재의 혼입량에 대한 증가보다 크게 나타났다.
4. 보조기층재는 필요한 성질과 경제성을 고려하면, 고화재 5%를 혼입하면 그 기능을 충분히 할 수 있다.
5. 환경 생태성, 강도 특성, 시공성 등을 종합적으로 고려하면, 시멘트, 석고, 마그네샤 등의 재료보다는 팽창성 고화재인 ESC가 혼입하는 주 재료로 적합하다.
6. 표층재의 경우, 고화재, 자갈, 섬유의 배합량이 각각 20%, 20%, 0.1%의 배합이 가장 좋다.
7. 경제성과 시공성을 고려하면, 고화재의 기준 혼입량은 15%, 20%가 적당하고, 섬유의 혼입량은 0.1%, 0.3%, 자갈은 10%, 20%를 기준으로 하는 것이 좋다. 고화재 혼입에 의한 성질 개선 효과가 더 높지만 고화재의 가격이 비싼 점을 고려하면 자갈 10%, 고화재 15%, 섬유 0.1% 정도가 혼

입되면 될 것으로 판단된다.

8. 고화재 혼합토는 고화재와 자갈의 혼입량이 많아하면 압축강도와 휨강도가 증가하므로 현장 조건에 맞게 적절한 배합을 사용한다면 기계화 경작로 뿐만 아니라 마을 안길 포장에도 충분히 이용할 수 있을 것으로 판단된다.
9. 이 연구에서 개발된 포장 재료는 에코콘크리트(Ecoconcrete)로 명명한다.

제 5 장에서는 포장공법을 개발하기 위하여 포장재료를 개발하여 그 특성을 분석하고, 현장시험포장을 통하여 새로운 포장공법의 개발과 설계방법을 요약하여 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 현장 흙을 재료로 고화재, 토목섬유, 세골재 및 기타 혼입재를 혼합하여 새로운 포장재료인 에코콘크리트를 사용하여 기계화 경작로 포장공법을 개발하였다.
2. 기계화 경작로의 설계기준을 검토하여 새로운 설계조건을 제시하였다.
3. 기계화 경작로의 포장공법으로 Geocell을 사용하여 연약지반에 적용이 가능한 Geocell System을 개발하여 그 적용성을 분석하여, 그 효과를 분석하였다.
4. 표층재료로 개발된 에코콘크리트를 사용하는 포장공법을 대형차 교통량의 조건에 따라 설계할 수 있도록 새로운 공법을 제시하였다.
5. 에코콘크리트 포장공법은 3개 유형으로 현장적용이 용이하도록 개발하였다.
6. 기계화 경작로의 포장재료의 개발을 검증하기 위하여 2개년에 걸쳐 현장 포장시험을 수행하여, 그 적용성을 분석하였다.



7. 현장포장시험의 결과로부터 포장공법의 경제성 분석을 실시한 결과, 농림부 단가의 약 37 % ~ 73 % 범위에서 시공이 가능한 것으로 나타났다.

제 6 장에서는 기계화 경작로 포장 공사를 할 때 필요한 시공 지침과, 유지 관리 지침, 표준시방서 등을 제시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기계화 경작로의 시공 지침으로서 조사와 시험, 품질관리 기준, 포장 시공 요령 등의 기본적인 사항을 서술하였다.
2. 포장 상태가 경작로 기능에 영향을 줄 수 있는 유지 관리 사항과 결함 확인 방법, 보수 방법 등을 제시하였다.
3. 기계화 경작로 포장 공법의 표준시방서로서 적용 범위와 기준, 재료, 구조 설계, 시공, 품질관리 및 검사 등에 대한 시방 내용을 제시하였다.

## 참 고 문 헌

1. 농어촌진흥공사. 1997. 기계화 경작로 확포장사업 기본조사 보고서(전남 함평군).
2. 농업진흥공사, 1989, 수리시설 개보수 기술 훈련 보고서, 동국대학교 산업기술연구소.
3. 농업진흥공사, 1986, 농어촌도로포장공법연구보고서(soil-cement 공법의 이론과 실제) : pp.70~82
4. 농림수산부, 농업진흥공사, 1989, 수리시설 실태조사 결과(농지개량조합 관리).
5. 농림수산부. 1996. '96 기계화 경작로 확포장사업 단가표.
6. 도덕현, 1979, 첨가제에 의한 soil-cement의 성질개량, 한국농공학회지 21(1) : pp.63~77
7. 박연상. 1986. 보조기층 재료로서의 흙의 석회안정처리에 대한 실험적 연구. 동아대학교 대학원 석사학위 논문.
8. 반창현. 2000. Soilcrete의 강도 및 동결융해 특성. 충북대학교 대학원 석사학위 논문.
9. 송창섭, 리신호, 반창현, 인현식. 1998. 섬유보강토의 균열 특성. 1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집.
10. 송창섭, 장병욱, 이용범, 임성운. 1998. 섬유보강토의 다짐 및 강도 특성. 1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집.
11. 송창섭, 임성운, 이용범. 1999. 섬유보강토의 전단강도 특성. 1999년도 한국농공학회 학술발표회 논문집.
12. 송창섭, 반창현, 장윤희. 1999. Soilcrete의 동결융해특성. 1999년도 한국농공학회 학술발표회 논문집.

13. 송창섭, 리신호, 장병욱, 반창현. 1999. 섬유보강토의 균열 특성. 한국농공학회지 41(3). pp.59-65.
14. 송창섭, 장병욱, 임성윤, 이용범. 1999. 섬유보강토의 다짐 및 강도 특성. 한국농공학회지 41(5). pp.93-98.
15. 송창섭, 성찬용, 리신호. 2000. 플라이 애시를 혼입한 콘크리트의 물리·역학적 특성. 한국농공학회지 42(3). pp.107-113.
16. 송창섭, 임성윤. 2000. 섬유보강토의 전단특성. 한국농공학회지 42(5) : pp.93-98.
17. 이용범. 2000. 섬유보강토의 입도분포에 따른 균열 특성. 충북대학교 대학원 석사학위 논문.
18. 임성윤. 2000. 섬유보강토의 전단 특성. 충북대학교 대학원 석사학위 논문.
19. 전인식. 2000. 건설표준 품셈. 건설연구사.
20. 쌍용양회공업(주) 중앙연구소, 1998, 경교통 도로포장(농로, 산책로) 적용에 관한 시공 연구 보고서.
21. 우기형 역. 1997. 최근의 연약지반처리공법. 기술경영사.
22. 토목공법연구회. 1995. 연약지반 대책공법-조사·설계·시공-. 창우출판. pp.21-37.
23. 한국도로공사. 1995. 시멘트 콘크리트 포장의 유지보수 체계에 관한 연구.
24. AASHTO. 1981. Design of Pavement Structures.
25. Bergado D.T. 1996. Soft Ground Improvement. ASCE press.
26. Biot M.A. 1941. General Theory of Three-Dimensional Consolidation. J. of Applied Physics. Vol.12, pp.155-164.
27. Brandt A.M., Cement-based composites (materials, mechanical properties and performance), E & FN spon : pp.35~46

28. Carl Zweben and Tsu-wei chou., 1989, Mechanical behavior and properties of composites materials, Technomic Publishing Co. Inc : pp.17~43
29. Carl Zweben and Tsu-wei chou., 1989, Mechanical behavior and properties of composites materials, Technomic Publishing Co. Inc : pp.17~43
30. Catton, M. D., 1959, Early soil-cement research and development, Journal of the Highway Division ASCE : pp.1~16
31. f S. 2000. Soil-Cement and Other Construction Practices in Geotechnical Engineering. ASCE. Geotech. Special Publ. No.95.
32. k H. 1994. Morden Construction and Ground Engineering Equipment and Methods. Longman Scientific & Technical.
33. GEOWEB Cellular confinement system. 1997. 보강기술(주).
34. Ingold T.S. 1994. Geotextilea and Geomembranes manual. Elsevier.
35. Jorge G. Z. and B.R. Christopher. 2000. Advanced in Transportation and Geoenvironmental Systems Using Geosynthetics. ASCE. Geotech. Special Publ. No.103.
36. Kenneth G. Mcconnel., 1995, Vibration testing (theory and practice), John Willey & Sons Inc : pp.261~278
37. Klink, S. A., 1985, Actual elastic modulus of concrete, ACI Journal : pp.630~633
38. Koerner R.M.1998. Design with Geosynthetics. Prentice Hall.
39. Luisoni, S. A. and Somenson, H. M., 1974, Nondestructive test for determining compressive strength, ACI Journal : pp.132~133
40. Malhotra, V. M. and N. J. Carino., 1991, Handbook on nondestructive testing of concrete, CRC Press : pp.407~432

41. Michael S.M. 2000. Pavement Subgrade Unbond Materials and Nonbonddestructive Testing. ASCE. Geotech. Special Publ. No.98.
42. Nagataki, N. and H. Gomi., 1998, Expansive admixtures, Cement & Concrete Composites : pp.163~170
43. Neville A.M., 1995, Properties of concrete, 4rd Ed., Longman Malaysia, London : pp.666~674
44. Peter W. R. Beaumont., and Klaus Friedrich., 1989, Filure analysis of composite materials, Technomic Publishing Co. Inc : pp.9~20
45. Popovics, S., Rose, J. L. and Popovics, J. S., 1990, The Behaviour of ultrasonic pulses in concrete, Cement & Concrete Res 20 : pp.259~270
46. Roy E.H. 1984. Geotechnical Engineering Investigation Manual. McGraw-Hill.
47. Sakurai S. 1988. Field Measurements in Geomechanics. Balkema.
48. Swamy, R. N. and A. H. Al-Hamed., 1984, The use of pulse velocity measurements to estimate strength of air-dried cubes and hence in situ strength of concrete, Journal of the ACI, 81(2) : pp.247~276.
49. Swamy, R. N. and G. Rigiby., 1971, Dynamic properties of hardened paste, Mortar and concrete, Relem, 14(19) : pp.13~40
50. Vernon R.S. 1997. Ground Improvement. Geotechnical Special Publication No.69. ASCE .
51. Wolfgang Czernin., 1980, Cement chemistry and physics for civil engineers, Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH : pp.10~17.