

631.29
L 293 L

GOVP 12009272

최 종
보 고 서

농업구조물에의 이용을 위한
보강흙벽 및 공법개발

Development of Reinforced Soil Wall
for Agricultural Structures

서울대학교 농업생명과학대학

농 립 부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농업구조물체의 이용을 위한 보강흙벽 및 공법개발” 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

199

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 장 병 옥

연 구 원 : 이 상 호

연 구 원 : 송 창 섭

연 구 원 : 김 성 환

연 구 원 : 이 행 우

연 구 원 : 박 영 곤

연 구 원 : 우 철 응

요 약 문

I. 제 목 : 농업구조물에의 이용을 위한 보강흙벽 및 공법개발

모래, 자갈, 돌등과 같은 건설재료의 고갈 및 콘크리트의 이용에 따른 전체 환경의 부조화 등은 새로운 대체 건설재료에 대한 요구를 가져오고 있으며, 따라서 자연재, 특히 흙 자체를 구조물로 이용하는 것에 대한 연구에 그 관심이 증대되고 있다.

그 가운데 주택의 주요부분을 차지하는 벽체 부분을 기존 콘크리트벽에서 흙벽으로 대체코자 하는 욕구가 커지고 있는 실정이다. 흙벽은 뛰어난 보온·보습성을 가진 것으로 알려져 있으며 또한 자연친화적인 재료라는 점이 장점이다. 흙벽은 농업용 구조물로서 농산물 저장 축벽과 같은 비내력벽으로써, 그리고 농가주택의 벽체로써 이용 가능할 것으로 사료된다.

흙은 三相(固相, 液相, 氣相)으로 존재하고 있으며 또한 불연속체이기 때문에 그 자체로는 임의의 형상을 가진 구조물로서의 기능을 유지하기 어렵다. 또한 하중에 대한 강도도 콘크리트에 훨씬 미치지 못하기 때문에 흙을 구조물로 이용할 경우 이에 대한 보강이 필요하다.

그러나 기존의 흙의 보강에 대한 연구는 주로 보강토 용벽에 대한 연구에 집중되어져 왔으며, 구조물의 벽체로써 보강흙벽에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 자연친화적이고 환경친화적인 재료인 흙을 이용한 보강흙벽에 대한 연구로서, 흙과 보강재의 특성에 대한 연구와 보강흙벽의 특성에 대한 연구, 보강흙벽의 시공 및 경제성에 대한 연구 등을 수행하였다.

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 연구개발의 필요성

기존의 흙의 보강에 대한 연구는 보강토 용벽에 집중되어 있으며, 구조물로서의 보강벽체에 대한 연구는 미비한 실정이다. 또한 흙벽은 뛰어난 보온·보습성을 가진 것으로 알려져 있으나

그 효과에 대한 과학적이고 체계적인 자료가 미비하며 비내력벽체에 환경친화적이고 인간에 친근한 재료에의 관심이 높는데 반하여 체계적인 연구와 그에 근거한 시공실적이 없는 실정이다.

기존의 농업구조물의 노후화에 따른 개·보수가 필요한 실정이며 이때에 보강흙벽을 사용할 수 있으며 그에 따른 연구가 필요하며, 비내력벽체에 보강흙벽을 사용함으로써 사회적인 환경에 대한 관심 및 욕구의 충족에 일조할 수 있을 것이다.

2. 연구개발의 목적과 전망

보강 흙벽은 흙이라는 자연 친화적인 재료를 이용하여 만든 구조물이기 때문에 보온·보습성 등과 같은 여러 가지 장점을 가지고 있다. 따라서 향후 기존 보강 옹벽의 대체 옹벽으로서, 농업수로의 대체 보강수로로서, 곡물저장창고의 측벽 구조물로서, 그리고 더 나아가 주택의 벽체로서 아주 광범위한 적용 가능성을 가지고 있다고 사료된다.

보강 흙벽에 대한 공법과 해석은 국내뿐 만 아니라 외국의 경우도 이에 대한 체계적인 연구가 진행되지 못한 상태이다. 따라서 기술도입이 사실상 불가능한 상태라고 판단된다.

본 연구팀에 의해 개발된 연구결과는 기존 농업구조물의 대체 벽체로 이용할 수 있으며 또한 이를 위해서 그에 따른 현장기술 및 신공법이 개발될 것으로 판단된다. 따라서 이와 같은 공법 및 신기술로서 국내뿐 만 아니라 선진외국에서도 특허를 얻을 수도 있을 것으로 판단된다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 외국 기술현황 조사 및 기술개발 방향 정립

가. 외국 연구성과 종합, 자료수집

나. 연구방향 정립

2. 흙과 보강재의 물성 및 강도특성 분석

가. 흙의 기초물성 분석

나. 흙의 강도특성 분석

다. 보강재의 기초물성 분석

- 라. 보강재의 강도특성 분석
3. 흙-보강재의 다짐 및 강도, 동결융해특성 분석
 - 가. 흙-보강재의 마찰특성 분석
 - 나. 흙-보강재의 다짐특성 분석
 - 다. 흙-보강재의 전단강도특성 분석
 - 라. 흙-보강재의 동결융해특성 분석
 - 마. 흙-보강재의 크리프 및 기타 특성 분석
 4. 시공성 및 실용성을 위한 보강흙벽 제작 및 양생/건조 기술개발
 - 가. 기존의 벽체 제작기술 수집 및 분석
 - 나. 보강재에 따른 보강흙벽 제작기술 개발
 - 다. 보강벽체 건조를 위한 양생기술 개발
 - 라. 현장시공기계 활용성 검토
 5. 현장에서의 흙벽 모형실험을 통한 보강흙벽의 효과 구명
 - 가. 곡물저장고의 비내력벽으로서의 효과 구명을 위한 흙벽 모형실험
 - 나. 보온 및 보습성 효과 구명을 위한 흙벽내 환경계측
 - 다. 장기적인 계측결과 및 자료의 분석
 6. 보강흙벽의 외관처리 기술개발
 - 가. 기존 벽체 외관에 대한 문헌고찰
 - 나. 직용장소에 따른 외관처리방식 규정
 - 다. 보강흙벽의 외관처리 기술개발
 7. 보강흙벽에 대한 경제성 분석
 8. Web Site를 통한 연구결과의 홍보

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발결과

가. 흙과 보강재의 각 재료의 특성과 재료의 혼합에 따른 특성을 시험을 통하여 고찰하였다.

- 보강흙벽에 사용할 수 있는 흙재료의 입도분포의 상한과 하한을 제시하였고, 보강재의 특성을 조사·분석하였다.
- 흙과 섬유와 상호마찰 특성을 평가하기 위하여 직접전단시험과 섬유인발시험을 실시하여 흙재료와 섬유에 따른 마찰특성을 제시하였다.
- 보강토에 대한 다짐시험을 통하여 보강토의 최적함수비를 고찰하고 최적의 흙-보강재의 혼합조건을 제시하였다.
- 보강의 강도특성 및 균열특성을 분석하기 위하여, 공시체를 제작하여 재령 및 혼합상태에 따른 일축압축강도를 측정하여 강도특성이 최적인 되는 혼합조건을 제시하였고, 몇 종류의 첨가제의 배합비에 따른 균열특성도 분석하였다.
- 보강흙벽체의 동결융해에 대한 저항성을 분석하기 위하여 일련의 동결융해 시험을 실시하여 보강재료에 따른 강도의 변화를 고찰하였다.

나. 수원과 발안 지역의 점토질 흙과 모래질 흙에 시멘트, 생석회, 토목 섬유 등의 보강재를 조합하여 제작한 보강 흙벽체에 대해 일련의 일축압축강도시험을 수행하여 보강재에 따른 강도 특성의 변화를 제시하였다.

다. 흙벽의 열전도 특성을 파악하기 위해 열전도 특성에 영향을 미치는 여러 요인과 벽체의 종류에 따라 실험을 실시하여 각 조건에 따른 보강흙벽체의 열전도율과 열관류율을 산정·비교하였다.

라. 보강토를 이용함으로써 발생하는 경제적인 이점을 정리하고, 본 연구에서 제작한 보강흙벽돌 및 보강흙타일의 제작단가를 타 제품과 비교하였다.

마. 보강흙벽체의 재료들에 대한 적정혼합조건을 제시하였고, 보강흙벽체의 시공과정과 시공과정의 기계화에 대하여 제안하였다.

바. 연구결과의 홍보를 위하여 Web site를 구축하였다.

2. 기대효과와 활용방안

가. 현재 노후화된 기존의 농촌구조물에 본 연구의 결과물인 보강흙벽체를 이용하여 개·보수가 가능할 것이다.

나. 보다 발전된 연구가 진행된다면 농업수로의 시공에 있어서 기존의 콘크리트를 대체할 수 있는 재료가 될 것이다.

다. 농산물의 저장고 측벽에 보강흙벽이 사용되는 경우 뛰어난 보온·보습효과에 의해 환경 조절비용의 절감효과가 예상된다.

라. 농촌지역과 나아가 도시지역에 흙구조물이 널리 사용되는 경우 본 연구결과가 시공의 기준이 될 수 있을 것이다.

마. 차후 구조물의 해체시 환경에 유해한 건축폐기물의 발생이 감소한다.

바. 비내력벽체에 보강흙벽을 사용함으로써 인간에게 친숙한 친환경적인 주거환경의 조성이 가능하다.

사. 본 연구결과의 홍보를 통하여 보다 많은 연구를 유도할 수 있을 것이다.

3. 건의사항

가. 본 연구에서 제시된 결과물이 보강흙벽의 기준이 될 수 있도록 해주길 바란다.

나. 농촌지역에 건설되는 보다 많은 구조물(농수로, 농도건설에 따른 옹벽 등)에 흙구조물이 이용될 수 있도록 많은 연구를 유도해 주길 바란다.

다. 농촌지역의 주택건설에 있어서 비내력벽에 대하여 보강흙벽 사용의 홍보를 기대한다.

SUMMARY

Agricultural storage building has historically involved the use of wood, concrete, steel, or a combination of these materials, although over the past two decades synthetic fibers have been increasingly used. Many of the conventional materials have been encountered to be shortage due to excessive use by human. Soils are potentially suitable alternatives for use in many environments, however soils without any modifications have been found to be unsuitable for building construction materials. Soils with reinforcement are naturally an answer to these alternatives. Reinforced soils were characterized noncorrosive, lightweight, and rather high strength, good thermal and environmental stabilities.

Interfaces between reinforced materials and soils are known to play an important role in many geotechnical systems, including many foundations, retaining walls and reinforced soil systems. The engineering characteristics for such an application can be evaluated using a number of tests.

Unlike other composite construction materials such as steel, concrete, wood, and geosynthetics, fiber-reinforced soils has had limited use in agricultural building applications to date, and thus there is a lack of information regarding the behavior of systems that include these materials.

To provide some insight into the engineering behaviors and new concept of reinforced soil walls, a serious experimental study was performed to evaluate the importance of various factors, to develop the construction techniques of reinforced soil wall and to evaluate economic aspects.

Experimental data have shown upper and lower limits of grain size distribution of soils and an appropriate criteria of reinforcements for reinforced soil walls. Interfaces between reinforcement materials and soils are evaluated in fiber-reinforced soils. Compressive and tensile strengths, freeze-thaw and creep of fiber-reinforced bricks are

evaluated and also the effect of admixtures such as cement, magnesia, various type of fibers, and their combinations. Environmental advantages of the fiber-reinforced soil wall system are included for the agricultural structures. An appropriate mixing ratio and construction methods for fiber-reinforced soil wall are suggested in practical use.

CONTENTS

Chap. 1 General	1
Sec. 1 Introduction	1
Sec. 2 Goals and Work scopes of the Study	7
Sec. 3 Procedures of the Study Development	9
Sec. 4 Personnels in the Study	9
Sec. 5 Summary and Conclusion	11
Chap. 2 Previous Research, Background and Goals of the Study	12
Sec. 1 Previous Research	12
1. Previous Research of Reinforced Soils	12
2. Previous Research of Soil Wall	17
Sec. 2 Analysis Method of Reinforced Soils	21
1. Basic Concept of Reinforced Soils	21
2. Friction Characteristics between Soils and Reinforcements	28
Sec. 3 Construction Method of Wall	31
1. Old Manufacturing Technique of Soil Brick Wall	31
2. Manufacturing Techniques of the Foreign Country	34
Sec. 4 Establishment of Goals of the Study	38
Sec. 5 Summary and Conclusion	39
Chap. 3 Physical & Mechanical Characteristics of Soils and Reinforcement Materials	41
Sec. 1 Introduction	41
Sec. 2 Selection of Soils and Reinforcements	42
1. Introduction	42
2. Soils	42
3. Reinforcements	43
4. Conclusion	56
Sec. 3 Physical Characteristics of Soils and Reinforcements	57
1. Introduction	57
2. Soils	57
3. Reinforcements	58

4. Conclusion	67
Sec. 4 Friction Characteristics between Soils and Reinforcements	68
1. Introduction	68
2. Background	68
3. Materials and Test Procedure	69
4. Results and Analysis	72
5. Summary and Conclusion	76
Sec. 5 Compaction Characteristics of Reinforced Soils	77
1. Introduction	77
2. Compaction Characteristics of Natural Soil and Reinforced Soils	77
3. Volume Change of Natural Soil and Reinforced Soils	89
4. Summary and Conclusion	96
Sec. 6 Shear Strength and Crack Characteristics of Reinforced Soils	97
1. Introduction	97
2. Shear property of Natural Soil and Reinforced Soils	97
3. Strength of Natural Soil and Reinforced Soils	106
4. Crack Characteristics of Suwon Soil and Reinforced Soils	117
5. Conclusion	121
Sec. 7 Freeze-Thaw and Tensile Strength of Reinforced Soils	123
1. Introduction	123
2. Freeze-Thaw Characteristics	123
3. Tensile Strength	135
4. Conclusion	138
Sec. 8 Shrinkage and Creep of Reinforced Soils	139
1. Introduction	140
2. Long-term Shrinkage of Reinforced Soils	158
3. Long-term Creep of Reinforced Soils	174
4. Conclusion	177
Sec. 9 The other Characteristics of Reinforced Soils	177
1. Introduction	177
2. Fineness of Soil Mixture Powder and Reinforced Soil Mixture Powder	177
3. Setting Time of Soil Mixture Powder and Reinforced Soil Mixture Powder	184

4. Compressive Strength of Soil Mixture Paste and Reinforced Soil Mixture Paste	196
5. Slump and Workability Test of Reinforced Soils	204
6. Conclusion	215
Sec. 10 Summary and Conclusion	217
Chap. 4 Study of Manufacturing and Construction Techniques of Reinforced Soil Brick Walls	223
Sec. 1 Introduction	223
Sec. 2 Bricks	223
1. Origin of Bricks	223
2. Manufacturing	224
3. Type and Use of Bricks	227
Sec. 3 Development of Manufacturing Techniques	228
1. Reinforced Soil Brick	229
2. Absorption Test of Reinforced Soil Brick	235
Sec. 4 Development of Coating Techniques	237
1. Method of Coating of Reinforced Soils	237
2. Preparation	238
3. Coating Technique of Soil Wall	240
4. Natural Products	242
5. paint	243
6. Plastering Materials	245
Sec. 5 Construction Technique of Reinforced Soil Brick Wall	260
Sec. 6 Summary and Conclusion	269
Chap. 5 Model Tests for Effectiveness of Reinforced Soil Brick Wall	271
Sec. 1 Introduction	271
Sec. 2 Background	271
Sec. 3 Materials and Test Procedure	275
Sec. 4 Results	286
1. General	286
2. Effect of Type of Soils and Reinforcements	288
3. Effect of Relative Humidity	291
4. Effect of Temperature	293

5. Effect of Density of Soil Wall	294
6. Comparison of Soil Wall between The others	296
Sec. 5 Summary & Conclusion	299
Chap. 6 Economic Analysis of Reinforced Soil Brick Wall	300
Sec. 1 Introduction	300
Sec. 2 Economic Advantage of Reinforced Soils	300
Sec. 3 Estimated Casts and Total Coasts	301
1. Estimated Costs	301
2. Total Costs	303
Sec. 4 Distributions of Casts	304
1. Consideration on Design	304
2. Consideration on Construction	307
3. Commence Costs and Competition	308
Sec. 5 Cost Difference	309
Sec. 6 Ecology Report	310
Sec. 7 Comparison of Reinforced Soil Bricks and Tile	313
Sec. 8 Summary and Conclusion	316
Chap. 7 Proposals for Reinforced Soil Brick Wall	318
Sec. 1 Introduction	318
Sec. 2 Proposal for Materials	318
1. Mixing Condition against Freeze-Thaw	318
2. Mixing Condition against Volume Change	323
3. Mixing Condition of Reinforcement(I)	326
4. Mixing Condition of Reinforcement(II)	329
Sec. 3 Proposal for Construction Techniques	329
Sec. 4 Proposal for Construction Machine	334
1. Soils	334
2. Mixing of Materials	335
3. Manufacture of Soil Bricks and Soil Panel	335
4. Construction of Soil Brick Wall	336
Sec. 5 Summary and Conclusion	336
Chap. 8 Application of Reinforced Soil Brick Wall and Advertisement of the Results	

	338
Sec. 1. Introduction	338
Sec. 2 Further Applications of Reinforced Soil Brick Wall	339
1. Embankment Design	339
2. Analysis of Construction Method	344
Sec. 3 Advertisement of Results of the Study	347
1. Concept of WWW	347
2. Selection of Web Server System	348
3. Construction of Web Service	349
Sec. 4 Summary and Conclusion	353
Chap. 9 Summary and Conclusion of the Study	354
References	365

목 차

제1장 총론	1
제1절 서론	1
제2절 연구개발의 목표와 내용	7
제3절 연구개발 추진체계	9
제4절 연구진	9
제5절 요약 및 결론	11
제2장 국내외 문헌조사 및 연구방향 정립	12
제1절 연구사	12
1. 보강토에 대한 연구사	12
2. 흙벽에 대한 연구사	17
제2절 보강토의 해석방법	21
1. 보강의 기본개념	21
2. 흙과 보강재의 마찰특성	28
제3절 벽체 제작에 대한 연구	31
1. 재래식 흙벽체 제작 기술	31
2. 외국의 흙벽체 제작 기술	34
제4절 연구방향 정립	38
제5절 요약 및 결론	39
제3장 흙과 보강재의 물리적/역학적 특성	41
제1절 서론	41
제2절 흙과 보강재의 선정	42
1. 서론	42
2. 흙	42
3. 보강재	43
4. 결론	56
제3절 흙과 보강재의 물리적 특성	57
1. 서론	57
2. 흙	57
3. 보강재	58
4. 결론	67

제4절	흠과 보강재의 상호마찰특성	68
1.	서론	68
2.	관련이론	68
3.	재료 및 시험방법	69
4.	결과 및 고찰	72
5.	요약 및 결론	76
제5절	보강토의 다짐 특성	77
1.	서론	77
2.	자연시료 및 혼합토의 다짐 특성	77
3.	자연시료 및 혼합토의 체적변화	89
4.	요약 및 결론	96
제6절	보강토의 전단강도 및 균열 특성	97
1.	서론	97
2.	자연시료 및 섬유혼합토의 전단특성	97
3.	자연시료 및 혼합토의 강도특성	106
4.	수원시료 및 혼합토의 균열특성	117
5.	결론	121
제7절	보강토의 동결융해 및 인장강도 특성	123
1.	서론	123
2.	동결융해 특성	123
3.	인장강도 특성	135
4.	결론	138
제8절	보강혼합토의 크리프 특성	139
1.	서론	139
2.	보강혼합토의 장기적 건조수축 변형	140
3.	보강혼합토의 장기적 크리프 거동	158
4.	결론	174
제9절	보강혼합토의 기타 특성	177
1.	서론	177
2.	토분 및 보강혼합토분의 분말도	177
3.	토분 및 보강혼합토분의 응결시간	184
4.	토분풀 및 혼합토분풀의 압축강도	196
5.	보강혼합토의 슬럼프 및 워커빌리티(workability) 시험	204
6.	결론	215
제8절	요약 및 결론	217

제4장 보강흙벽체의 제작 기술 및 시공성 연구	223
제1절 서론	223
제2절 벽돌	223
1. 벽돌의 기원	223
2. 제조과정	224
3. 벽돌의 종류와 용도	227
제3절 보강흙벽체 제작기술 개발	228
1. 보강흙벽돌 제작	229
2. 보강흙벽돌의 흡수율시험	235
제4절 외관처리 기술에 대한 연구	237
1. 보강토의 걸칠(coating)방법 및 조제법	237
2. 벽 준비 방법	238
3. 보강토 걸칠방법	240
4. 자연제품	242
5. 페인트(Paint)	243
6. 미장재료	245
제5절 보강흙벽체 시공	260
제6절 요약 및 결론	269
제5장 모형실험을 통한 보강흙벽 효과 분석	271
제1절 서론	271
제2절 배경이론	271
제3절 재료 및 시험방법	275
제4절 시험 결과	286
1. 일반적인 경향	286
2. 흙의 종류 및 보강재의 영향	288
3. 상대습도의 영향	291
4. 온도의 영향	293
5. 벽체 밀도의 영향	294
6. 다른 벽체의 실험평가	296
제5절 요약 및 결론	299
제6장 보강흙벽의 경제성 분석	300
제1절 서론	300
제2절 보강토의 경제적 이점	300

제3절	예측비용과 총비용	301
1.	예측비용	301
2.	총비용	303
제4절	비용분배	304
1.	설계시 고려사항	304
2.	건설시 고려사항	307
3.	착수비용과 경쟁	308
제5절	비용격차	309
제6절	생태학 보고서	310
제7절	보강흙벽돌 및 타일 단가 비교	313
1.	보강흙벽돌	313
2.	보강흙타일	315
제8절	요약 및 결론	316
제7장	보강흙벽체의 재료 및 시공에 대한 제안	318
제1절	서론	318
제2절	보강흙벽체의 재료에 대한 제안	318
1.	동결융해시의 강도 특성을 고려한 적정혼합조건	318
2.	체적변화를 저감시키는 보강재의 적정혼합조건	323
3.	강도에 의한 보강재의 적정혼합조건(I)	326
4.	강도에 의한 보강재의 적정혼합조건(II)	329
제3절	보강흙벽체의 시공에 대한 제안	329
제4절	보강흙벽체의 시공 기계화에 대한 제안	334
1.	흙	334
2.	재료 혼합	335
3.	흙벽돌 및 흙패널 제작	335
4.	흙벽체 시공	336
제5절	요약 및 결론	336
제8장	보강흙벽 이용방안 및 연구결과 홍보	338
제1절	서론	338
제2절	연구결과외 타 분야 이용 방안	339
1.	성토설계	339
2.	시공방법 분석	344
제3절	연구결과 홍보	347

1. WWW(World Wide Web)의 개념	347
2. 웹서버 시스템의 선정	348
3. 웹서비스(Web Service) 구축	349
제4절 요약 및 결론	353
제9장 연구 요약 및 결론	354
참고문헌	365

제 1 장 총론

제 1 절 서론

1. 연구의 배경

모래, 자갈, 돌등과 같은 건설재료의 고갈 및 콘크리트의 이용에 따른 전체 환경의 부조화 등은 새로운 대체 건설재료에 대한 요구를 가져오고 있으며 따라서 자연재, 특히 흙 자체를 구조물로 이용하는 것에 대한 연구에 그 관심이 증대되고 있다.

건설재료로서 흙을 포함한 자연물 자체의 이용은 수십년 동안 도외시되어 왔으며, 도시 및 농촌지역은 콘크리트 구조물이 숲을 이루는 살풍경한 모습을 보여주고 있다. 그러나 최근 들어 자연재를 이용한 농가주택 연구에 그 관심이 집중되고 있으며 그 가운데 주택의 주요부분을 차지하는 벽체 부분을 기존 콘크리트벽에서 흙벽으로 대체코자 하는 욕구가 커지고 있는 실정이다.

흙은 三相(固相, 液相, 氣相)으로 존재하고 있으며 또한 불연속체이기 때문에 그 자체로는 임의의 형상을 가진 구조물로서의 기능을 유지하기 어렵다. 또한 하중에 대한 강도도 콘크리트에 훨씬 미치지 못하기 때문에 흙을 구조물로 이용할 경우 이에 대한 보강이 필요하다.

기존의 흙의 보강에 대한 연구는 흙에 신축성이 없는 강철막대를 삽입하는 방법과 신축성이 큰 토목섬유를 삽입하는 방법 2가지로 크게 大別될 수 있다. 그러나 이들 2가지 방법에 의한 연구들이 보강토·옹벽에 대한 연구에만 이루어져 있을 뿐 구조물의 벽체로서 보강 흙벽에 대한 연구는 전무한 실정이다. 흙은 옛부터 인류가 각종 토기, 흙벽돌 등에 사용해 온 자연 친화적인 재료이다. 이와 같은 흙으로 만든 구조물은 다른 재료로 이루어진 구조물보다 탁월한 기능들을 가지고 있는데 그 대표적인 것은 뛰어난 보온 및 보습성을 가지고 있다는 것이다. 따라서 흙을 이용하여 벽체를 만들 경우 인간과 동·식물 그리고 각종 곡물·원예작물 등의 저장고로서 매우 유익한 혜택을 가져다 줄 수 있을 것으로 사료된다.

따라서, 보강 흙벽에 대한 연구는 농업용 구조물로서 농산물 저장 측벽과 같은 비내

력벽으로써, 그리고 농가주택의 벽체로써 이용 가능할 것으로 사료되며, 특히 흙벽은 기존의 콘크리트 구조물 벽체에 식상한 인류에게 “身土不二”적인 자연 구조물로써 다 시금 각광을 받을 것으로 판단된다.

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

흙의 보강(soil reinforcement)은 흙의 강도 및 안정성을 증가시키는데 효과적이고 신뢰성 있는 기술로써 오늘날 옹벽, 제방에서부터 후텁(footing), 노상토의 안정화에 이르기까지 여러 응용분야에서 이용되고 있다. 보강은 형태와 조직 그리고 상대적인 강성 등에 따라 크게 달라지는데 과거에는 전형적으로 미끄러운 표면이나 이랑이 지워진 표면을 가진, 길고 신축성이 있으며 아연도금을 한 강철 막대 등으로 보강하였지만 오늘날에는 낮은 강성을 가진 직물 및 합성섬유 등으로 보강이 이루어지고 있다(Gray, 1983). 보강토에 대하여 전자의 연구는 과거부터 많이 시도되어 왔지만 연성 직물 및 토목섬유를 이용한 연구는 아주 미흡한 실정이다.

지난 20년 동안 흙의 보강에 관한 설계 기법은 제방의 건설, 옹벽 그리고 교량의 교대부분 등과 같은 보강토 옹벽에 대한 연구에 국한되어 왔다. 그리고 이와 같은 보강토 옹벽의 설계방법은 수많은 현장 적용 및 경험 축적에도 불구하고 여전히 단순화된 한계평형해석 또는 반경험적인 방법에 기초하고 있는 실정이다. 본 연구의 관심 대상인 구조물로의 보강벽체에 대한 연구는 현재 전무한 실정이며 따라서 이에 대한 해석은 기존의 보강토 옹벽에 대한 이론 및 해석과는 다른 설계기법이 요구된다. 기존의 보강토 옹벽에 대한 해석상 문제점을 간단히 살펴보면 지반이 연약할 경우 지반침하와 관련하여 구조물의 안전에 큰 영향을 미친다는 점이다. 또한 그 설계방법이 한계 평형법 또는 반경험적인 방법에 기초하고 있기 때문에 지반 침하에 따른 균열문제, 점토질이 많은 뒷채움재의 사용시 배수와 토압 문제, 흙과 보강재 사이의 상호작용과 기존 벽체의 취약성 등을 충분히 반영하지 못하고 있다. 따라서 보강 흙벽을 각종 농업구조물의 벽체 보강 및 옹벽으로 대체하여 이용하기 위해서는 이와 같은 문제점에 대한 충분한

기술적인 검토가 필요하다.

기존의 보강토 연구에서 인장성이 높은 토목섬유로 흙을 보강하였을 경우 파괴후의 전단강도 감소가 타 재료에 비해 극히 적어 파괴에 대한 높은 안전성을 도모할 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 토목섬유 보강토의 파괴특성을 보강토 옹벽과 같은 구조물에 적용한 사례는 많지만 이를 흙벽에 이용한 사례는 전무한 실정이며 또한 이의 파괴특성에 대한 연구도 전혀 없는 실정이다. 따라서 보강 흙벽을 만들었을 때 이에 대한 체계적인 연구가 필요한 실정이다. 또한 보강 흙벽의 장점은 타 재료로 만들어진 벽체보다 뛰어난 보온·보습효과를 가진다는 점이다. 그러나 이와 같은 효과에 대한 연구는 과학적이거나, 체계적이지 못하며 위의 효과를 뒷받침해주는 자료가 전무한 실정이기 때문에 이를 위해선 실제 보강 흙벽 모형을 만들고 지속적으로 계측함으로써 보강 흙벽이 가지는 효과를 정량적·정성적으로 구명하는 것이 필요하다.

나. 경제·사회적 측면

최근에 전 세계적으로 뛰어난 경제성, 수려한 외관 그리고 시공의 간편성 등에 의해 토목섬유(geosynthetics)를 보강재로 이용하는 보강토 구조물의 건설이 나날이 증가하고 있다. 일례로, 유럽의 경우 1977년에 3,800만 m^2 의 토목섬유 시장이, 1989년경에는 24,500만 m^2 로 약 6.5배의 큰 신장율을 보였다(Masami, 1993). 그러나 이와 같이 경제성이 뛰어나고 외관이 아름다운 보강재를 흙벽체에 이용한 사례 및 연구는 없으며, 따라서 경제성 및 시공성에 기초한 보강 흙벽에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

대부분의 농업구조물은 축조된 지 상당히 오랜 기간이 경과되어 구조물이 노후화 되어 있는 상태이다. 또한 이의 개·보수나 새로운 축조 등에 흙벽이 갖는 장점을 살린 보강 흙벽이 이용될 수만 있다면 보다 경제적이고 안전한 구조물이 될 것이다. 따라서 농업구조물의 노후대체 일환으로 보강 흙벽에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

최근 인구의 증가 및 도시화로 인해 각종 공해 및 환경문제가 대두되고, 신도시의 거주공간이 콘크리트로 뒤덮히는 삭막한 주거공간으로 변화되는데 대해 많은 사람들이 우려를 금치 못하고 있다. 또한 이러한 현실 속에서 주거공간인 주택을 자연 친화적인 재료로 이용하고픈 욕구가 점점 증가하고 있는데, 그 중 대표적인 자연친화 재료인 흙

을 이용하여 주택의 벽체로 이용했을 경우 이와 같은 사회적인 우려감 및 욕구 등을 해소시키는데 一助할 수 있으리라 사료된다.

3. 지금까지의 연구개발 실적

가. 국내의 경우

1975년 창원종합 기계공업 기지조성공사에 처음으로 42만 m^2 를 시험 시공한 이후 사용량이 꾸준히 증가하여 현재는 매립, 도로, 항만, 호안, 사면안정, 암거, 터널 공사에 거의 대부분의 토목공사에 연간 약 3,000만~4,000만 m^2 정도(1996년)의 토목섬유가 이용되고 있다. 농업토목에서는 영산강 지구, 삼교천지구, 대호지구 등의 간척사업에서 연약지반의 보강 및 방조제 사면 필터용으로 이미 성공적으로 사용되었으며 그 이용도는 점차 급증하고 있는 실정이다.

이러한 토목섬유는 이제 국내에서도 다양한 제품으로 생산되어 여러 가지 구조물에 사용되고 있지만 아직까지는 그 기능에 대해 완전한 해석이 불가능한 실정이다. 특히 농업토목분야에서 방조제의 기초지반 보강 및 농도에서의 분리와 보강의 일환으로 상당한 양이 사용되어 외형적으로는 성공적인 효과를 인정하고 있지만 설계기준이 확립되지 못하거나 아예 없기 때문에 높은 안전율에 의존하여 설계, 시공하고 있는 실정이며 아직 경험적인 차원에서 벗어나지 못하고 있다.

흙의 보강에 대한 국내 연구는 외국의 연구에 기초하여 기본적인 연구 및 수준에 머무르고 있으며 또한 현재까지 수행된 연구는 전적으로 보강토 옹벽을 중심으로 연구되었다. 따라서 기존 콘크리트 벽체의 대체용으로서 보강 흙벽에 대한 연구는 전무한 실정이다.

나. 국외의 경우

흙의 보강에 대한 외국의 경우는 보강토 옹벽에 대한 연구를 중심으로 이루어졌다. 따라서 흙의 강성을 증가시켜 흙벽체로 이용하려는 시도는 전혀 없었다. 이는 흙 자체

가 삼상으로 존재하며 불연속체이기 때문에 그 자체로는 강성을 지닌 구조물로서 존재하기 어렵고 또한 벽체 구조물로서 이용하려면 흙의 보강문제, 벽면두께 조절 문제 등 많은 기술적인 문제 등이 있기 때문으로 사료된다. 다음은 흙의 보강, 특히 보강토 옹벽에 대한 외국의 연구개발 실적이다.

Lee 등(1973)은 보강토 공법을 옹벽에 이용할 수 있는 가능성을 이론 및 실험에 의해 연구하고자 하였다. 그는 실험실에서 모형옹벽을 나무로 만들고, 흙은 $D_{50}=0.15m$, $C_u=1.5$, $\gamma_{max}=1.64 t/m^3$, $\gamma_{min}=1.31 t/m^3$ 인 모래를 사용하였고, 보강재로는 인장강도가 4.94N인 알루미늄판을 사용하였다. 보강토의 거동을 파악하기 위해 모형옹벽의 변형거동을 스트레인 게이지로 측정한 후 이론식과 비교하였고, 공사비 등을 검토하는 등 그 설계방법을 제시하고자 하였다.

Smith(1976)는 보강토 옹벽에서의 파괴형상을 구명하기 위해 유리로 만든 모형에 모래를 채우고 0.04mm 두께의 알루미늄을 보강재로 하여 모형옹벽을 만든 후 재하에 따른 파괴형상을 방사선 사진을 찍어 관찰하였고 이를 이론식과 비교한바 있다.

Holtz 등(1977)은 보강토 옹벽의 거동을 분석하기 위해 모형내에 자성을 띠는 물체를 삽입하여 토목섬유의 변형을 측정하고 토압계를 매설하여 횡방향 토압을 측정하며 5개의 다이얼 게이지를 부착하여 벽면의 횡방향 변형을 측정하였다. 그 결과 토목섬유는 토압 뿐만 아니라 내부의 변형도 크게 억제시키는 효과가 있었으며 creep에 대한 저항력도 크고 기타 침식에 대한 문제점도 크게 감소되는 효과가 있다고 한 바 있다.

Majes 등(1985)은 연약지반 위에서 토목섬유의 보강효과를 분석하기 위해 모형실험과 유한요소 해석을 실시한 결과 토목섬유는 지반의 횡방향 변위를 억제시키며 최대침하를 감소시키는 등 변위형태를 바꾸어 놓고 지지력을 증가시킨다고 하였다.

그의 보강토에 대한 해석적인 연구는 유한요소 해석과 같이 수치해석적인 방법과 한계평형이론에 의한 이론적인 방법으로 발전되어 왔으나 유한요소 해석은 아직까지 실제적으로 사용할 수 있는 설계자료로 개발되지 못하였으며 단지 고전적인 한계평형해석에 의한 설계방법이 다소 불충분한 상태에서 사용되고 있는 실정이다.

4. 현기술 상태의 취약성

보강토 기술은 지난 수 십년 동안 제방 및 옹벽의 시공 부분에서 널리 이용되어 왔다. 또한 여러 가지 다양한 보강재, 즉 시공을 목적으로 강철띠, 바 매트(bar mat), 토목섬유, 지오그리드 (geogrid) 등과 같은 재료가 개발되어 이용되고 있다. 그러나 보강벽체 특히 보강토류벽의 현재의 기술 및 설계상태는 여전히 단순화된 한계평형분석 또는 반경험적인 방법에 기초하고 있으며 이러한 한계성 때문에 다음과 같은 3가지 문제에 현재 직면하고 있다(Nelson, 1994).

현재 이용하는 대부분의 설계방법은 반 경험적인 방법에 기초하고 있으며 따라서 흙과 보강재의 상호작용에 대한 명확한 해석을 하지 못하고 있는 실정이다.

기존의 보강벽체 및 보강토 옹벽의 이점 중의 하나는 그들이 지반침하로 인한 큰 변형을 견딜 수 있다는 것이다. 그러나 현재의 어떠한 설계방법도 지반침하의 효과를 말해주고 있지는 않다. 또한 그 설계방법에 있어서도 벽체가 단순히 강성 기초위에 건설되는 것으로 가정하며 벽체의 거동에 미치는 지반침하의 효과는 불명확한 상태이다. 게다가 벽 자체의 강성도는 벽체의 거동에 중요한 역할을 한다고 알려져 있는데 현재의 설계방법 중 어떠한 곳에서도 이를 반영하지 않고 있다.

보강토 옹벽의 경우 고전적인 해석 방법은 뒷채움재로 사질토를 필요로 한다. 뒷채움재의 가격이 보강토 옹벽의 전체금액에 중요한 역할을 하기 때문에 점성토를 포함한 현장토를 뒷채움재로 이용하는 것이 가격면에서 아주 효과적이다. 따라서 만약 적절한 조치가 취해진다면 낮은 마찰각을 가진 점성토를 뒷채움재로 이용하는 것이 가능하다.

흙을 보강하여 각종 구조물의 벽체로 이용하기 위해서는 조기에 강도가 발현되어 현재의 콘크리트 벽체의 강도 수준으로 높아져야 한다. 그러기 위해선 적절한 보강재를 이용하여 흙 자체의 특성 및 구조물로서의 기능을 잃지 않도록 해야 한다. 그러나 흙벽에 대한 연구는 보강재의 삽입에 따른 거동해석의 복잡성 등으로 인해 기존의 콘크리트 벽체에 대한 이론과 같이 정립되어 있는 이론이 없으며 보강토에 대한 연구 또한 보강토 옹벽에 대한 연구들 뿐 이어서 그 적용에 있어 한계가 있다.

5. 앞으로의 전망 및 연구성과

보강 흙벽은 흙이라는 자연 친화적인 재료를 이용하여 만든 구조물이기 때문에 보

은·보습성 등과 같은 여러 가지 장점을 가지고 있다. 따라서 향후 기존 보강 용벽의 대체 용벽으로서, 농업수로의 대체 보강수로로서, 곡물저장창고의 측벽 구조물로서, 그리고 더 나아가 주택의 벽체로서 아주 광범위한 적용 가능성을 가지고 있다고 사료된다.

보강 흙벽에 대한 공법과 해석은 국내뿐 만 아니라 외국의 경우도 이에 대한 체계적인 연구가 진행되지 못한 상태이다. 따라서 기술도입이 사실상 불가능한 상태라고 판단된다.

본 연구팀에 의해 개발된 연구결과는 기존 농업구조물의 대체 벽체로 이용할 수 있으며 또한 이를 위해서 그에 따른 현장기술 및 신공법이 개발될 것으로 판단된다. 따라서 이와 같은 공법 및 신기술로서 국내뿐 만 아니라 선진외국에서도 특허를 얻을 수도 있을 것으로 판단된다.

제 2 절 연구개발의 목표와 내용

1. 외국 기술현황 조사 및 기술개발 방향 정립

- 외국 연구성과 종합, 자료수집
- 연구방향 정립

2. 흙과 보강재의 물성 및 강도특성 분석

- 흙의 기초물성 분석
- 흙의 강도특성 분석
- 보강재의 기초물성 분석
- 보강재의 강도특성 분석

3. 흙-보강재의 다짐 및 강도, 동결융해특성 분석

- 흠-보강재의 마찰특성 분석
- 흠-보강재의 다짐특성 분석
- 흠-보강재의 전단강도특성 분석
- 흠-보강재의 동결융해특성 분석
- 흠-보강재의 크리프 및 기타특성 분석

4. 시공성 및 실용성을 위한 보강흠벽 제작 및 양생/건조 기술개발

- 기존의 벽체 제작기술 수집 및 분석
- 보강재에 따른 보강흠벽 제작기술 개발
- 보강벽체 건조를 위한 양생기술 개발
- 현장시공기계 활용성 검토

5. 현장에서의 흠벽 모형실험을 통한 보강흠벽의 효과 구명

- 곡물저장고의 비내력벽으로서의 효과 구명을 위한 흠벽 모형실험
- 보온 및 보습성 효과 구명을 위한 흠벽내 환경계측
- 장기적인 계측결과 및 자료의 분석

6. 보강흠벽의 외관처리 기술개발

- 기존 벽체 외관에 대한 문헌고찰
- 적용장소에 따른 외관처리방식 규정
- 보강흠벽의 외관처리 기술개발

7. 보강흠벽에 대한 경제성 분석

- 보강재 및 보강흠벽에 대한 경제성 분석

8. Web Site 설계 및 적용

- 연구결과 홍보

제 3 절 연구개발 추진체계

본 연구를 위한 연구개발 추진체계는 다음 그림 1-1과 같다.

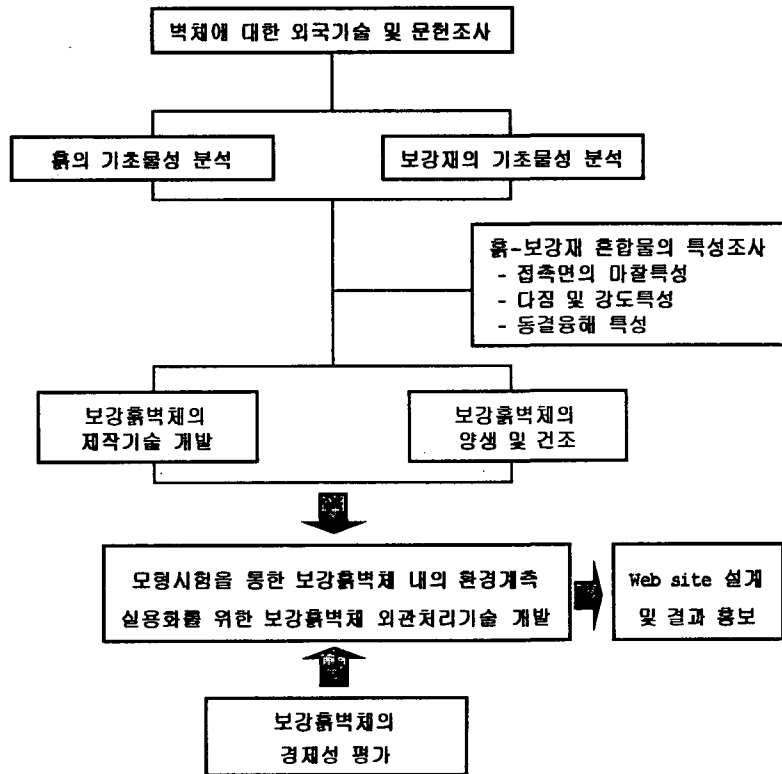


그림 1-1 연구개발 추진체계

제 4 절 연구진

본 연구를 수행한 연구진과 그 주요업무를 정리하면 다음과 같다.

표 1-1 연구진 및 주요업무

구 분	성 명	소 속	연구업 무
총괄책임 연구원	장병욱	서울대학교 농공학과	연구업무 총괄
연구원	이상호	경북대학교 농공학과	크리프 특성 분석
연구원	송창섭	충북대학교 농공학과	경제성 분석
연구원	김성환	한국도로공사 도로연구소	시험결과 검토 및 분석
연구원	이행우	농지개발조합 연합회	외관처리 기술 개발
연구보조원	박영근	서울대학교 대학원	강도 시험 및 특성 분석
연구보조원	우철웅	서울대학교 대학원	강도 시험
연구보조원	유 찬	건국대학교 대학원	강도 시험
연구보조원	정종홍	한국도로공사 도로연구소	흙벽체내 환경계측 결과 분석
연구보조원	원정윤	서울대학교 대학원	다짐시험
연구보조원	김성필	서울대학교 대학원	동결융해시험
연구보조원	차경섭	서울대학교 대학원	Web Site 설계 및 구축
연구보조원	김강석	서울대학교 대학원	제 특성 시험 및 분석
연구보조원	이경호	서울대학교 대학원	흙벽체 수축/균열시험
연구보조원	서동욱	서울대학교 대학원	흙벽체내 환경계측시험
연구보조원	강상욱	서울대학교 대학원	보강 흙벽돌 강도시험

제 5 절 요약 및 결론

본 장에서는 “농업구조물에의 이용을 위한 보강흙벽 및 공법 개발”의 배경과 연구의 필요성, 연구의 목적, 범위, 추진방법 및 전략, 참여연구진을 정리하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

1. 보강 흙벽은 흙이라는 자연 친화적인 재료를 이용하여 만든 구조물이기 때문에 보온·보습성 등과 같은 여러 가지 장점을 가지고 있다. 따라서 향후 기존 보강 옹벽의 대체 옹벽으로서, 농업수로의 대체 보강수로로서, 곡물저장창고의 측벽 구조물로서, 그리고 더 나아가 주택의 벽체로서 아주 광범위한 적용 가능성을 가지고 있다.
2. 본 연구는 흙과 보강재 각각의 물성 및 강도특성, 흙과 보강재를 혼합한 혼합토체의 다짐·강도, 동결융해, 크리프, 그리고 각종 제 특성을 분석하고, 실제 농업용 구조물로 이용할 경우 그 시공성 및 실용성을 고려한 보강흙벽 제작기술 및 이용방법을 제시하고, 흙벽 모형실험을 통한 보강흙벽의 효과를 구명하며, 웹사이트를 통한 연구결과를 홍보하는데 그 목적이 있다.
3. 연구의 추진체계 및 방법을 정리하였으며, 연구의 세부내용을 요약·정리하였다.
4. 본 연구는 1997년 10월에서 1999년 10월(2년간)까지 수행토록 계획되었으며, 1차년도와 2차년도로 구분하여 수행토록 하였다.
5. 본 연구에 참여한 연구진과 그 주요업무를 요약 정리하였다.

제 2 장 국내외 문헌조사 및 연구방향 정립

제 1 절 연구사

1. 보강토에 대한 연구사

가. 섬유혼합토의 응력-변형 연구

1) 뿌리 섬유

뿌리보강에 관련된 연구는 얇고 잔적토 맨들을 가진 사면안정 해석문제 그리고 벌목 후 혹은 목재 수확 후 뿌리강도의 상실과 사면안정 문제 등에 아주 중요하다. 이와 관련된 연구는 다음과 같다.

최초의 연구자중의 한사람인 Kaul(1965)은 조나 수수의 뿌리가 흙 속에 섞여 있을 경우 흙의 마찰각이 18° 에서 34° 로 증가됨을 발견하였다. 그러나 이와 같은 뿌리의 존재는 흙의 점착력만을 증가시키며 ϕ 에는 영향을 미치지 않는다고 결론지었다. 이는 낮은 구속응력에서 마찰각의 겉보기 증가에 대한 Hausmann (1976)의 발견과 관련될 수 있다.

Endo와 Tsuruta(1969)은 살아있는 나무뿌리를 포함한 점토 립(loam)에 대한 대규모 현장직접전단시험을 통해 나무뿌리는 흙의 전단강도를 증가시켰고, 이것으로 Mohr-Coulomb의 파괴포락선에서 점착력 절편의 증가를 설명하였다.

70년대에서 80년대 초에 이에 대한 많은 연구가 UC Berkeley에서 이루어졌다. Manbeian(1972), Waldron(1977), Waldron과 Dakessian(1981), Waldron과 Dakessian (1982), Waldron 등(1983)은 이와 관련된 많은 연구 자료를 보고하였다.

Manbeian(1972)은 흙의 전단강도에 영향을 미치는 뿌리의 매개변수를 밝혀내고, 이와 같은 매개변수인 뿌리의 밀도, 뿌리의 크기, 뿌리의 인장강도, 뿌리의 형태(morphology)가 뿌리 보강토 연구에 중요하다고 하였다.

Waldron(1977)은 작물의 뿌리가 사면의 안정에 미치는 영향을 조사하기 위해 알파파(Alfalfa), 보리(Barley), 황색 소나무 뿌리 등을 각종 토양-실트질 점토 립, 다진 립질

모래, 자갈질 모래-으로 이루어진 인공적인 흙 기둥(soil column)에 적용하여 대형 직접 전단시험을 수행하였다. 여기서 그는 뿌리 투과된 균질하고 층이진 흙의 전단저항을 구명하였고 뿌리섬유 해석과 관련된 기본적인 간단한 ΔS 모델을 제시하였다.

Waldron과 Dakessian(1982)152), Waldron 등(1983)153)은 그들 모델을 증명하기 위해 뿌리 보강된, 특히 보리와 소나무가 혼입된 보강토에 대해 광범위한 직접전단시험을 수행하였다.

Gabr, Akam 및 Taylor(1995)는 7%의 유기물을 함유한 낙엽 및 가지를 시애틀(Seattle) 실트질 모래에 보강하였을 경우 이와 같은 모의뿌리가 실트질 흙의 투수성에 미치는 영향에 대해 연구하였는데 연성벽 및 강성벽 투수시험 실시한 결과 수리 전도도는 몰드내의 함수비가 증가할수록 그리고 건조중량이 증가할수록 감소하였으며 양자 모두 모의뿌리의 함량(%)이 증가할수록 수리 전도도는 감소하였다.

이상의 연구결과를 살펴보면 뿌리섬유에 대한 여러 가지 강도시험은 전단면이 이미 결정되어 있는 직접전단시험에 모두 국한되어 있으며 이에 대한 모델 또한 비교적 단순한 모델이었다. 그러나 뿌리섬유에 대한 연구는 이후의 합성섬유에 대한 섬유혼합토 해석의 기초가 되는 연구이므로 그 연구결과는 중요하다 할 수 있다.

2) 정위된 섬유

정위된 섬유에 대한 최초의 연구는 Gray와 Ohashi(1983)의 섬유보강 모래에 대한 시험으로 그는 섬유 방향에 따른 전단강도의 증가를 설명하기 위해 기존의 ΔS 모델을 수정한 수정 ΔS 모델을 제시하였다. 섬유의 방향은 연직한 경우와 경사진 경우이며 이와 같은 모델을 검증하기 위해 Muskegon 모래에 4종의 보강재 즉, 갈대($\phi 1.8\text{mm}$), 플라스틱 섬유($\phi 2.2\text{mm}$), 팔미라(Palmyra) 야자나무 줄기($\phi 1.2\text{mm}$), 동선($\phi 1.0\text{mm}$)을 사용하여 직접전단시험을 수행하였다. 연구 결과, 섬유는 모래의 마찰특성에 영향을 미치지 않으며 따라서 임의의 한계 구속응력 이상에서 Mohr-Coulomb의 파괴포락선은 비보강된 파괴포락선에 평행하다고 결론지었다. 또한 최대전단강도를 내는 최적의 각도는 전단파괴면에 대해 60° 이며, 전단강도의 증가는 섬유의 혼합비, 형상비에 직접적으로 비례한다고 하였다.

Shewbridge와 Sitar(1989, 1990)는 정위된 삽입제로 보강된 모래의 강도 및 변형 특성에 미치는 영향에 대한 광범위한 연구를 수행하였는데 연구의 주요 부분은 보강재가 전단변형중인 모래의 전단영역에 대한 특성 및 발생에 미치는 영향에 대해서이다. 그는 섬유보강된 모래에 대한 일련의 대규모 직접전단시험을 통해 보강토의 변형에 필요한 일로서 흙-보강재 변형패턴 모델을 제시하였다. 그리고 직접전단시험기가 가진 한계를 극복하기 위해 대규모 비틀림 전단기구를 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 보강토의 강도는 흙의 강도에 의해 제한되며 파괴는 취약한 면을 따라 일어나기 때문에 직접전단시험에 의한 기존 연구결과에서와 같이 더 이상 보강재의 양과 전단강도의 증가 사이에는 선형관계가 되지 않는다고 하였다.

정위된 섬유에 대한 연구는 섬유의 방향 즉, 기울기가 흙의 강도에 미치는 영향을 구명하기 위한 것으로, 섬유혼합된 현장상태의 경우에 연구 결과를 적용시킨다는 것은 다소 무리가 있을 것으로 판단되며 무작위 분포된 섬유 혼합토의 해석에 있어 섬유의 방향성에 대한 기초자료를 제공하고 있다.

3) 무작위 분포된 섬유

무작위 분포된 섬유에 관한 연구는 극히 제한적이다. Hibibagahi와 Mostaghel (1974)은 저가 시공에 널리 이용되는 흙의 인장강도를 개선할 목적으로 석고반죽, 갈대, 대마(hemp), 셀로판 섬유를 흙과 조합하여 실내 시험하였다. 그는 석고를 5% 첨가할 경우 흙의 인장강도는 2배가 되었고, 대마, 셀로판 섬유를 흙에 첨가할 경우 인장강도를 증가시킬 수 있음을 발견하였다.

Hoare(1979))는 2%미만의 중량비로 합성섬유를 모래질 자갈에 무작위 분포시켜 일련의 삼축압축 시험과 CBR 시험을 실시하였다. 그는 섬유의 삽입이 낮은 구속응력에서 특히 흙의 연성(ductility)과 겉보기 내부 마찰각을 증가시킴을 관측하였는데, 다짐된 흙-섬유 혼합물에 대한 삼축시험에서 그는 다음과 같은 결론을 내렸다. 1) 단섬유 및 무작위로 분포된 보강재는 다짐방법에 관계없이 보강재 양에 따라 선형적으로 흙의 다짐저항에 대한 증가를 가져오며 보강재의 특성, 흙의 특성 및 상호작용에 의존한다. 2) 여러 가지 다짐방법을 이용하여 수행된 삼축시험 결과 보강재는 흙의 강도 및 연성에 영향을 미친다. 3) 섬유의 얽힘, 선행응력(prestress) 등으로 인해 다짐 때 두드리는 방

법은 진동방법보다 더 큰 전단강도의 증가를 가져온다.

Freitag(1986))는 보강재로서 나이론 견사(spun nylon string), 폴리프로필렌 로프섬유(rope fiber), 폴리프로필렌 올레핀(olefin) 콘크리트 보강섬유 3종을 이용하였고 이를 모래질 점토(잔적된 석회질토)에 무작위로 섞어서 다진 후 일축압축시험을 실시하였는데, 최적함수비로 다진 보강토의 일축압축강도는 비보강토에 비해 강도가 약 25% 증가함을 밝혀냈다.

Al-Moussawi와 Andersland(1987))은 무작위 분포된 섬유로 보강된 실리카질 모래에 대해 제한된 시험을 실시하였다. 그는 혼합과정에서 흙과 섬유의 분리를 막기 위해 동결 방법을 이용하였고, 일정한 밀도를 가진 모래에 대한 섬유보강은 포화된 동결모래보다 큰 일축압축강도, 파괴시 큰 축변형률, 파괴후 강도감소가 적다는 것을 발견하였다.

Setty와 Rao(1987), Setty와 Murthy(1990)은 무작위로 분포된 폴리프로필렌 섬유로 보강된 실트질 모래와 검은 면화(cotton)재배된 흙에 대해 삼축시험, CBR 시험, 인장강도 시험을 실시하였다. 시험 결과에 따르면, 혼합비를 증량으로 3%까지 증가시킬 경우 점착력 절편은 크게 증가하였고 내부마찰각은 약간의 증가를 보였다.

Maher와 Gray(1990)는 무작위 분포된 단섬유의 정적, 동적 거동 특성과 여러 가지 섬유유의 특성, 흙의 특성, 시험변수 등이 흙의 거동에 미치는 영향을 구명하기 위해 일련의 삼축시험을 실시하였다. 또한 혼합체의 강도에 대해 통계이론에 기초한 모델을 개발하였는데, 모래의 조립형상(granulometry) 즉, 모래의 등급(grade), 평균입경, 모양에 대한 영향과 섬유의 특성인 형상비, 탄성계수 등에 대한 영향을 고려하였다. 모래와 섬유의 혼합체는 곡선 혹은 쌍선형적(bilinear)인 파괴포락선을 가지는데 이때 꺾임(break)이 일어나는 임계 구속응력을 한계 구속응력이라 하였다. 한계 구속응력의 크기는 모래의 등급, 입자의 모난 정도, 섬유의 형상비가 증가할수록 감소하였고 섬유의 탄성계수가 커질수록 증가하였다. 또한 모래의 입경과 섬유의 양에는 그다지 변화를 보이지 않았다. 혼합체의 통계이론에 기초한 이론적인 모델에 의해 예측된 강도의 증가는 측정값과 아주 잘 일치하는 것으로 나타났다.

이상의 연구결과를 살펴보면 섬유혼합토에 영향을 미치는 매개변수로는 흙의 경우 흙의 입경, 흙입자의 형상이며 섬유의 경우는 섬유의 종류 및 형태, 섬유의 길이, 직경, 인장강도, 혼합비에 해당된다. 또한 흙과 섬유의 마찰특성, 섬유혼합토의 구속응력 등을

들 수 있다. 또한 무작위 분포된 섬유혼합토에 대한 대부분의 연구가 조립토 위주로 이루어져 있다.

나. 섬유혼합토의 상호마찰 특성 연구

순수한 섬유(fiber)와 흙과의 마찰특성에 대한 연구를 살펴보면, 건기연(1994)의 섬유 혼합 보강토에 대한 연구에서 5cm×5cm×3cm의 인발상자를 만들어 모래, 실트, 점토와 폴리에스테르(polyester) 섬유에 대한 흙-섬유 인발시험을 실시하였다. 여기서 마찰 특성은 섬유의 직경에 따라 마찰계수의 증가는 아주 미미하였고 모래질 흙일수록 큰 값을 나타내었다.

Michalowski와 Zhao(1996)는 섬유혼합토의 파괴규준을 구명하면서 섬유에 대한 인발 시험을 실시하였으며 강철섬유, 폴리아미드(polyamide) 섬유와 조립토와의 상호 마찰각을 구했다. 여기서 그는 직접전단시험기를 개량한 기기를 사용하였으며, 연직하중에 대한 섬유의 상호마찰각을 구하기 위해 동일한 섬유재질로 만들어진 평면상태의 섬유를 사용하였다.

또한 Ranjan 등(1996)은 섬유혼합토의 마찰특성을 평가하기 위해 섬유인발 시험을 수행하였으며 흙-섬유의 마찰특성을 표면마찰계수(surface friction coefficient) f^* 로 나타내었다.

그 이외에 토목섬유(geotextile) 보강재를 사용하여 마찰특성을 평가한 연구를 살펴보면 Jewell(1980)이 보강토체의 전단면과 보강재의 경사도에 따른 마찰특성을 평가하였고, Juran 등(1988)이 보강재 주변 흙의 부피팽창(dilatancy) 특성에 대해 연구하였으며 Giroud 등(1993)이 구속응력에 따른 흙-보강재의 전단특성을 연구하였다. 또한 Bacot 등(1978)와 Schlosser와 Elias(1978), Ingold(1982, 1984), Sridharan과 Singh(1984, 1986, 1988), Kate 등(1988), Rao와 Pandey 등(1988), Alimi-Ichola 등(1991)은 다양한 크기의 인발상자를 사용하여 흙-토목섬유의 마찰특성을 평가하였고 Costalonga(1988), Fannin과 Raju(1991) 등 인발시험 동안 흙-토목섬유의 전단면에서 점진적인 전단특성이 나타난다고 보고하였으며, Palmeira와 Milligan (1989) 및 Srinivasa Murthy 등(1993)은 인발시험 장치의 크기와 전면벽의 거친정도가 인발시험 결과에 영향을 미친다고 평가

하였으나 아직까지 인발시험 장치의 표준크기는 제안되어 있지 않은 실정이다.

Peterson과 Anderson(1980)과 Jewell 등(1984)은 지오그리드(geogrid) 형태의 토목섬유의 인발저항력 중 그리드에 의한 수동저항력의 기여도를 평가할 수 있는 관계식을 제시하였지만 대부분의 연구들이 양질의 모래를 대상으로 하고 있어 실트나 점토 등의 세립토에 대한 적용성 평가 연구는 미진한 실정이다.

직접전단시험을 통해 보강재와 흙과의 마찰특성을 평가한 연구로는 Jewell 등(1987), 고(1991), 이(1997) 등이 있으며, Stark 등(1996)은 비틀림 링 전단시험을 통해 HDPE 멤브레인과 지오텍스타일의 상호마찰면 전단강도를 평가하였다.

점토질 흙을 대상으로 한 흙-토목섬유의 마찰특성 평가 연구로는 Bergado 등(1993)의 연구가 있다. Kruse와 Voigt(1994)은 쓰레기 매립장의 차폐재로 사용되는 HDPE(high density polyethylen)와 흙과의 상호마찰 특성을 평가하기 위해 직접전단시험을 수행하였고 건기연(1995)에서는 흙-토목섬유 마찰특성을 평가하기 위해 길이 140cm×폭 60cm×높이 60cm의 인발상자를 만들어 인발시험을 수행하여 화강풍화토인 실트질 모래와 지오그리드와의 마찰특성을 평가하였다.

이상의 연구 결과에서 순수한 섬유(fiber)와 흙과의 마찰특성 평가에 관한 연구는 매우 제한적으로 이루어져 왔고 순수한 섬유에 대한 인발시험 관련 기기나 시험방법 등이 명확히 제시되어 있지 못하다. 또한 대부분의 연구가 옹벽 등의 토류구조물 배면토의 보강재로 사용되는 토목섬유나 지오그리드 위주의 인발시험 연구에 국한되어 있는 실정이다.

2. 흙벽에 대한 연구사

인류는 흙벽을 아주 오래 전 페르시아 문명, 앗시리아 문명, 이집트 문명, 그리고 바빌론 문명 때부터 사용하였다. 그리고 오늘날 이라크의 Ctesisiphon 아치, 이집트 사가라(Saggara)의 피라미드들과 석실분묘들(1st dynasty), 남아메리카 pre colombian의 가장 큰 도시인 페루의 찬찬(Chan-Chan)에 있는 유적들은 모두 흙벽으로 이루어져 있다.

흙벽은 아프리카, 중동, 라틴 아메리카, 중국과 인도, 유럽 등지에서 흙으로 만든 건축물의 소재로 남아 있다. 또한 스웨덴, 덴마크, 독일과 동방의 나라들, 동시에 대영제

국과 스페인에서도 흙벽을 볼 수 있다. 프랑스에서는 다양한 사용방법으로 만들어진 많은 예들이 있다.

- 도피네, 리용, 오베르뉴, 브르타뉴, 보스 사람들의 흙
- 가로네 계곡과 일-드-프랑스의 구운 벽돌
- 알자스, 노르망디, 피카르디, 브레스의 벽토(壁土)
- 방데와 카마르그, 등등의 벽토반죽

가. 전통적인 다짐흙벽

Goiffon(1772)과 Cointereaux(1790)의 "The school of rural architecture" 연구에서는 독일과 덴마크 등의 나라에서 전통적인 다짐흙벽으로 Fredericksberg 궁전의 사육장과 2000채 이상의 농가를 1800년과 1870년 사이에 건설하였다는 기록이 있다. 다짐흙벽은 버팀목 없이, 벗짚을 섞지 않고 판자사이에 흙을 다지는 벽이다. 이렇게 다진 흙은 굳게 되고 일정한 높이까지 쌓아올려 일체의 한 벽체를 형성한다. 거푸집은 높이 90cm일 때 마른나무로 된 3개 또는 4개의 판자가 필요하다. 이 판자는 대략 두께가 3cm, 길이 3.25cm, 폭 30cm이며 내부가 미끈하게 마무리되고 판자에 흙덩어리가 붙지 않도록 판자를 대패질한다. 그 후에 판자들을 4개의 기둥 또는 막대기로 한쪽 끝이 폭 27cm, 다른 쪽은 21cm가 되게 조립한다. Goiffon에 의해 제안된 최적규모는 길이 2.6m (최소 1.6m, 최대 4.2m), 높이 80cm이다.

나. 리용과 오베르뉴의 방법

리용과 오베르뉴 지방에서의 흙벽을 쌓는 방법은 우선 기초를 평평하게 하고 종석이 놓일 장소(0.97cm 간격)를 표시한다. 그리고 기초를 대략 80cm 정도 쌓은 벽보다 16cm 높게 종석 사이에 벽돌을 쌓는다. 방금 끝낸 벽돌공사위에 집의 모서리에서부터 거푸집을 설치한다. 그 다음에 쇠기와 기둥을 끈으로 잘 매고 거푸집의 상단을 모서리에 놓는다. 우선 흙을 넣기 전에 구멍이 가장자리에만 모르타르를 얇게 바른다. 그리고 얇은 돌로 종석이 있는 구멍이를 덮는다. 모르타르를 가장자리에만 바르는 것도 거푸집 안에

흙을 처음으로 넣을 때, 이은 자리로 흙이 흘러가는 것을 막고, 마무리를 잘 할 수 있도록 한다. 다음으로 거푸집 안에서 모서리에 벽돌을 쌓아 올린다. 그리고 때때로 실을 사용하여 벽의 수직을 확인한다. 거푸집 안으로 흙을 운반하기. 발로 흙을 고루 펼치기. 흙을 다지는 절구공이로 두께가 8~10cm가 되도록 압축하기. 흙을 모든 방향에서 압축하기 위해 벽의 가장자리를 따라서 누른 후에 방향을 엇갈려 가며 압축한다. 거푸집의 판자를 따라서 세로로 흙을 다지는 절구공이로 두드린다. 첫 번째로 흙을 다질 때는 가장 날카로운 절구공이를 사용해야 하며 절구공이의 끝이 매번 아래층에까지 도달하도록 해야 한다. 이것은 여러 층의 흙이 서로 잘 결합되도록 하기 위함이다. 일단 첫 번째 층이 잘 다져지면, 거푸집이 가득 찰 때까지 한 층씩 이 작업을 되풀이하며 즉시 패킹을 떼어낸다.

다. 뷰게이의 방법

뷰게이(Bugey)지방에서 거푸집은 종석에 의해 고정되는 것이 아니라, 벽 양쪽에 직접 긴 지지대로 떠받친다. 기초가 완성되면 직경 8cm의 나무기둥을 1m마다 외부와 내부에 벽을 따라 수직으로 설치한다. 이러한 틀이 설치되면 거푸집 판자를 수직으로 설치하는 작업이 매우 용이해 진다. 구석에서부터 벽을 시작하면 4줄의 기둥, 거푸집의 측면, 거푸집의 바닥, 벽의 두께는 별로 중요하지 않다. 단지 기둥을 끈으로 다시 조여주기만 하면 된다. 첫 번째 벽표면을 만들고 나서, 양쪽 거푸집을 잘 유지시키면서 끈을 푼다. 거푸집을 다음 기둥으로 미끄러지게 하고 다시 거푸집을 조여준다. 이렇게 건물 둘레를 돌아가며 계속한 후에 칸막이 벽에도 같은 작업을 하기 위해 안쪽으로 받침대를 이동한다.

벽의 두께와 높이 사이의 관계는 10이 약간 넘는다는 것을 발견한다. 이렇게 50cm의 벽은 7m 높이까지 올라갈 수 있다. 흙을 다지는 인부들의 활동이 불편하기 때문에 벽이 더 낮을 경우에도 벽의 두께를 40cm 이하로 감소시킬 필요가 없다.

라. Cointereaux의 연구

Cointereaux(1790)의 연구에 의하면 다짐흙벽은 돌로 지은 벽만큼 오래 견디며 2세기 전부터 전해오는 30피트 높이의 건축물은 현재까지 양호한 상태이며 돌로 쌓은 벽처럼 큰 수리를 하지 않는다. 다짐흙벽은 세 가지 장점이 있는데 신속하게 집을 지을 수 있고 거주하기에 쾌적하고, 경제적이며 파괴시 환경오염을 줄일 수 있다. 또한 다짐흙벽은 압축에 의해 단단해 지며 압축의 결과로 부피가 줄어든다. 그리고 200년 이상 된 것도 자연수분의 완전 증발만 일어나며 흙의 글루텐(gluten)으로 내부 흙입자의 결합이 강해진다.

마. 남도피네 지방의 전통가옥

G.H. 리비에르에 의해 1945년에 발표된 농촌 거주에 대한 조사자료는 흙벽이 사회적 인 용도와 사용된 재료들로부터 공동체의 특별한 표현을 나타낸다고 표현한다. 그 예로 프랑스 남도피네의 벽들은 일정한 가족분위기를 나타낸다. 남도피네 지방의 마을인 브레쟁(Brezins)은 썩앙드레 연안과 썩주와르의 썩에띠엔느 사이에 위치해 있다. 다짐흙벽으로 된 많은 건물들은 비에브로 평야의 전통적인 주거형태를 나타내고 있다.

바. 1970년대의 흙벽

다짐흙벽은 1950년대까지 주로 농촌에서 자주 사용되었으나 이후 농촌사회의 붕괴로 인해 거의 사라지면서 급속히 쇠퇴했다. 세계대전과 산업화, 현대화의 노력, 농촌의 인구감소, 그리고 특히 콘크리트와 같은 건축의 새로운 기술의 발전으로 흙벽은 구건축방식처럼 여겨졌다.

사실상, 전통적으로 사용된 다짐흙벽은 상대적으로 단순하며 집단적인 상부상조의 형태로, 현대 경제에 적응하기 어렵고 경쟁력, 효율, 규격화 생산면에서 효용이 떨어졌다. 그러나 다짐흙벽은 완전히 사라지지 않았으며 다짐흙벽의 기술은 유지, 보수, 관리 등의 다양한 면에서 자격 있는 사람들이 행하는 새로운 기술로 거듭났다. 그렇게 해서, 1970년부터 흙벽은 재건축되기 시작하였고 현재까지 존속하고 있다. 흙벽 전문가인 Huguet는 교회와 시청을 제외하고 모두 다짐흙벽으로 이루어진 건물이 있는

Terres-Froides지방의 꼬르브랭 마을에서 흙건축을 하고 있다.

제 2 절 보강토의 해석방법

1. 보강의 기본개념

가. 등가 구속응력(Equivalent Confining Stress)

흙의 내부에 보강재 혹은 인장재를 삽입할 경우 이들 삽입재는 2가지 측면에서 논의될 수 있다. 하나는 이것이 변형을 구속함으로써 등가 구속응력을 유발한다는 것이고, 다른 하나는 겉보기 점착력을 제공한다는 것이다.

Vidal(1966)은 보강토에 대한 이와 같은 개념에 기초하여 등가 구속응력에 대한 이론적인 기초를 세웠다. Vidal은 그림 2-1과 같이 폭 b 인 금속 띠장이 삽입된 모래층에 연직응력 σ_1 이 증가할 경우 모래속에서 횡방향 변위가 발생되고 따라서 흙과 보강재 사이에는 마찰력이 유발된다. 보강재의 활동단위길이를 Δl 이라 하고, 흙과 보강재의 마찰계수를 f 라 하면 식 2-1과 같다.

$$\Delta T = 2\sigma_1 b f \Delta l \quad (2-1)$$

이때 발생된 보강재의 인장력은 흙의 횡방향 압축응력을 발생시키며 이것은 외부에서 작용되는 구속응력과 유사하다. 그림 2-2에서 Mohr원의 원편은 구속응력 σ_3 를 받는 비보강토를 나타내며, 오른편은 파괴상태의 증가된 구속응력 $\sigma_3 + \Delta\sigma_3$ 를 가진 보강토를 나타낸다. 이 경우 파괴는 보강재의 미끄러짐으로 인한 결합파괴(bond failure)이다.

Yang(1972)155)은 위의 등가 구속응력 개념을 더욱 확장하였다. 그는 모래에 대한 삼축압축시험에서 강철원판인 보강재의 간격이 감소할수록 모래의 압축강도가 증가함을 발견하였다. 또한 Yang은 모래가 일정한 응력비(즉, $\sigma_3 = K_a \sigma_1$)에서 파괴된다고 가정하였고, 압축강도의 증가는 구속응력의 증가에 기인하는 것으로 판단하였다. 따라서 식

2-2와 같은 방정식을 유도하였다.

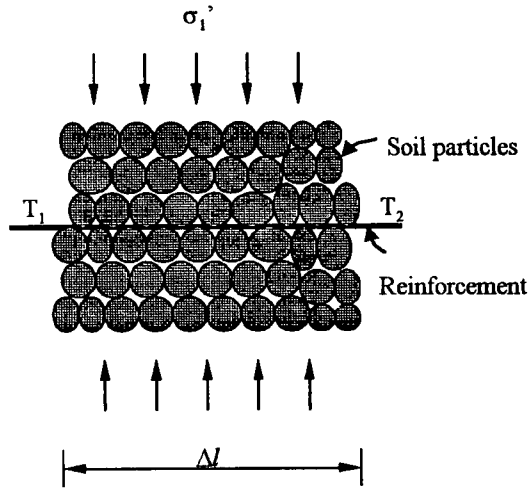


그림 2-1 보강토에 대한 Vidal의 초기개념 (Vidal, 1969)

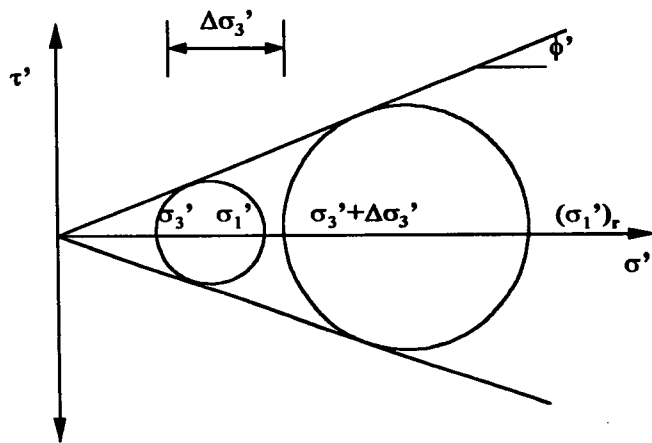


그림 2-2 보강토에 대한 Mohr 응력원 (Ingold, 1982)

$$\sigma_{1f} = (\sigma_3 + \Delta\sigma_3)K_p \quad (2-2)$$

여기서 $\Delta\sigma_3$ 는 σ_{1f} 와 σ_3 를 구할 경우 평가된다. 따라서 식(3.2)는 다음과 같다.

$$\Delta\sigma_3 = K_a\sigma_{1f} - \sigma_3 \quad (2-3)$$

정규화된 등가 구속응력 $(\sigma_3 + \Delta\sigma_3)/\sigma_3$ 과 형상비(시료의 길이에 대한 직경의 비)사이의 관계는 그림 2-3과 같다. Yang은 수치적으로 등가 구속응력의 증가를 증명하였는데, 결과적으로 형상비가 감소함에 따라 압축강도가 증가하였다. 또한 $\Delta\sigma_3$ 가 σ_3 에 대해 선형적으로 증가함을 밝혔다.

섬유유리 망(fiberglass netting)으로 보강된 모래에 대한 두 번째 일련의 시험에서도 등가 구속응력이 구속응력에 선형적으로 증가되는 것을 발견하였는데, 망이 인장파괴에 도달하는 한계구속응력 이상이 되면 $\Delta\sigma_3$ 가 일정해짐을 발견하였다. 이와 같은 강도의 증가 및 한계구속응력에 대한 Yang의 발견은 Broms(1977)에 의해서도 연구되었다.

나. 이방성 겉보기 점착력(Anisotropic Pseudo Cohesion)

Vidal과 Schlosser는 파리에서 Laboratoire Central des Ponts et Chausees(LCPC)를 설립하고 이방성 겉보기 점착력에 대한 개념을 제안, 발전시켰다. 또한 Hausman(1976)도 이와 같은 개념과 유사하지만 독립된 개념으로 발전시켰다.

이방성 겉보기 점착력은 식 2-2와 c- ϕ 흙에 대한 Rankine의 식 2-4를 비교함으로써 식 2-5와 같이 구할 수 있다.

$$\sigma_1 = K_p\sigma_3 + 2C\sqrt{K_p} \quad (2-4)$$

$$C = \frac{\Delta\sigma_3\sqrt{K_a}}{2} \quad (2-5)$$

여기서, C는 보강제로 인한 이방성 겉보기 점착력이다.

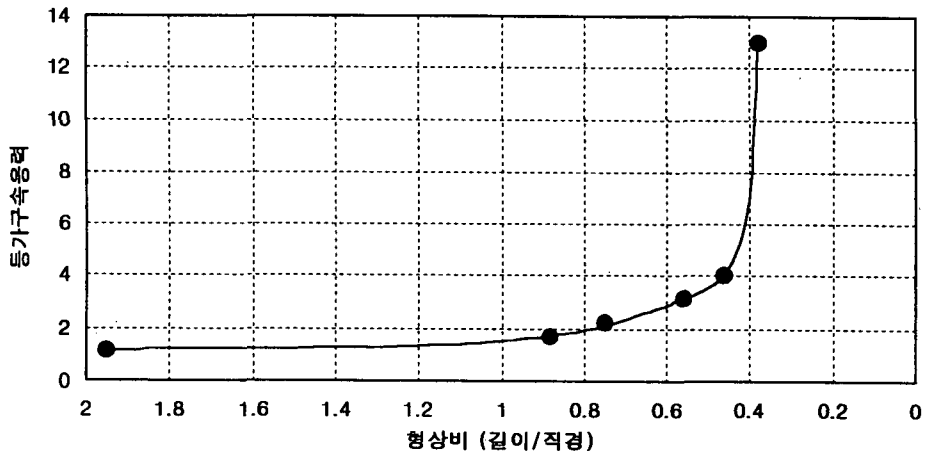


그림 2-3 등가구속응력과 형상비(길이/직경)의 관계

식 2-5에 기초하여 Schlosser와 Long(1973)은 그림 2-4와 같이 축하중을 받는 보강토의 한계평형 해석을 실시하였다. 여기서 주응력 σ_3 와 σ_1 에 의한 힘은 파괴면에 작용하는 보강재로부터 발생하는 인장력 F 을 수반하며, 그 결과 이방성 점착력이 식 2-6과 같이 보강재의 간격 h , 보강재의 단위폭당 인장력 T 의 함수로 표현되었다. 또한 그들은 이와 같은 관계를 실험적으로 증명하였고 그림 2-5와 같이 잘 일치함을 보였다

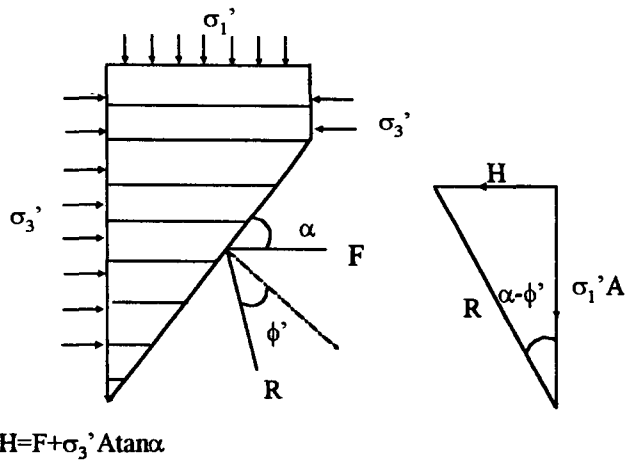


그림 2-4 보강토에 대한 Coulomb의 해석 (Schlosser and Long, 1973)

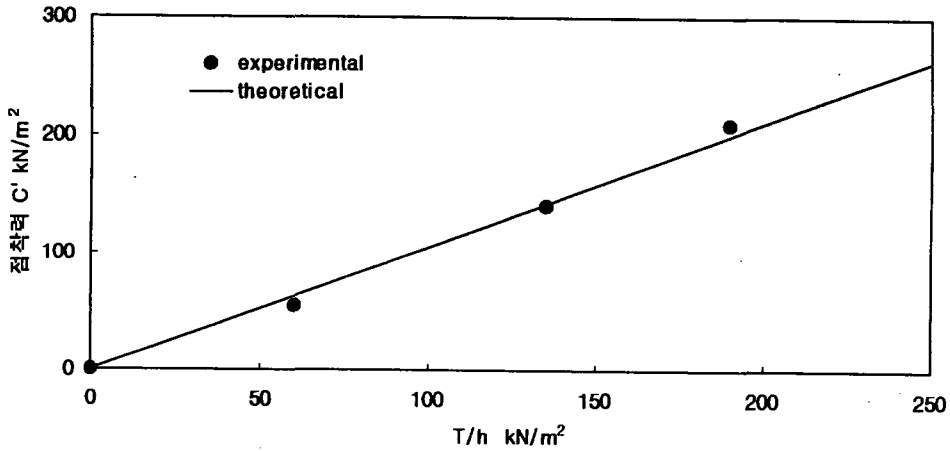


그림 2-5 이론해와 실험결과의 비교 (Scholsser and Long, 1973)

$$C = \left(\frac{T}{h}\right) \left(\frac{\sqrt{K_2}}{2}\right) \quad (2-6)$$

그 후 Bacot(1974), Saran(1978) 등도 식 2-6의 이론치와 시험치가 서로 잘 일치함을 보였다.

Hausman(1976)은 Scholsser와 Long의 연구와 유사하지만 독립적인 이방성 겉보기 점착력을 제안하였다. 그는 결합파괴와 인장파괴 양자를 다루는 "Sigma"와 "Tau"모델 형태로 이방성 겉보기 점착력에 대한 보다 통일된 접근방식을 제안하였다.

"Sigma"모델은 보강재가 흙의 횡방향 팽창을 저지시키는데 도움을 준다고 가정한다. 이것은 흙이 소성평형상태에서 완전히 유동화되는 근본적인 압력을 가지는 것과 유사한데, Rankine은 이것을 $\sigma_3 = K_a \sigma_1$ 로 정의한다. "Tau"모델은 보강재가 초기 주응력 상태에 수평 및 연직 전단응력 τ_f 가 도입된다는 것을 가정한다.

"Sigma"모델에서 Hausman은 보강토가 파괴하는 동안 여러 가지 조건들이 보강재의 파괴에 의해 영향을 받는데, 이는 일정한 압력 σ_r 에 의한 결과로 보았고 또한 토체의 횡방향 팽창이 마찰력과 직접적으로 관계되는 압력을 발생시킨다고 보았다. 따라서 흙

과 보강재 사이에 발생되는 힘의 최대값은 보강재의 인장강도에 의해 제한되기 때문에 이 경우 강도의 증가는 그림 2-6에 보여주듯이, 흙의 점착력 C_r 의 증가에 기인한다. 이를 정리하면,

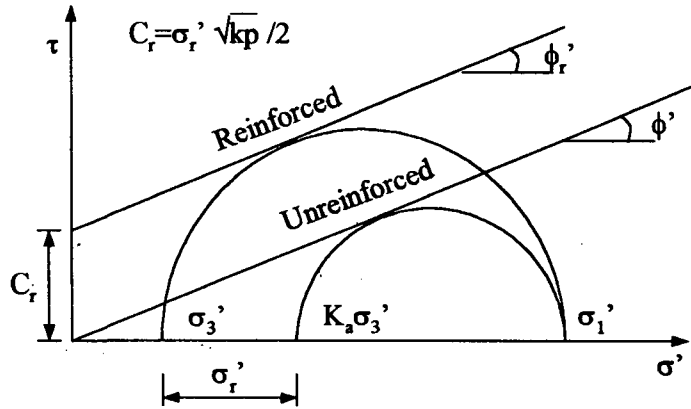


그림 2-6 보강 및 무보강토의 파괴조건 - constant σ_r (Hausmann, 1976)

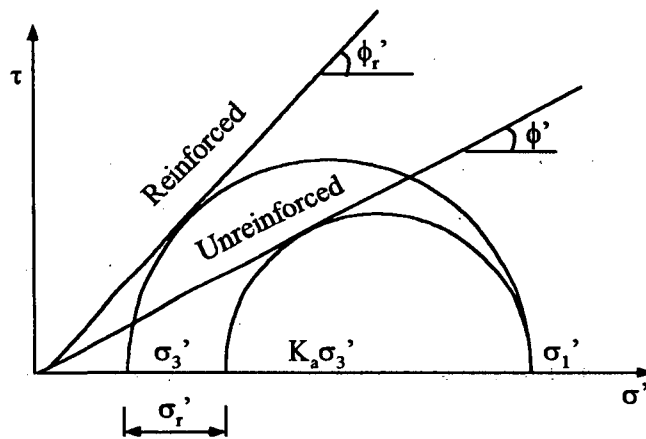


그림 2-7 보강 및 무보강토의 파괴조건 - variable σ_r (Hausmann, 1976)

$$\sigma_3 + \sigma_r = K_a \sigma_1 \tag{2-7a}$$

$$\sigma_1 = K_p \sigma_3 + K_p \sigma_r \tag{2-7b}$$

식 2-4와 식 2-7을 비교하면 식 2-8과 같다.

$$C_r = \sigma_r \left(\frac{\sqrt{K_a}}{2} \right) \quad (2-8)$$

보강재와 흙사이의 미끄러짐에 의해 파괴가 발생하는 경우 Hausman은 보강재를 따라 작용하는 마찰력(F)이 연직응력에 비례한다고 가정하였다. 따라서 σ_r 를 다시 정의하면,

$$\sigma_r = F\sigma_1 \quad (2-9)$$

마찰각의 증가는 그림 2-7에 보여준다. 식 2-7과 2-9로부터 다음과 같은 방정식이 유도된다.

$$\left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1} \right) + F = K_a \quad (2-10)$$

보강된 경우 주응력비($\frac{\sigma_3}{\sigma_1}$)는 또한 보강마찰각 ϕ_r 의 함수로 나타낼 수 있다. 즉,

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_1} = K_{ar} = \frac{1 - \sin \phi_r}{1 + \sin \phi_r} \quad (2-11)$$

식 2-10과 2-11로부터 보강마찰각은 다음과 같이 다시 표현할 수 있다.

$$\sin \phi_r = \frac{K_a + F - 1}{F - K_a - 1} \quad (2-12)$$

F에 대한 ϕ_r 의 변화는 그림 2-8과 같다. Hausman은 이와 같은 이방성 결보기 점착력의 개념 검증을 위해 직경 7cm의 보강된 그리고 비보강된 모래 샘플을 가지고 시험을 실시하였고, 그 결과 낮은 구속응력에서는 파괴가 결합파괴에 의해 발생되고, 높은 구속응력에서는 보강재의 파괴로 발생됨을 보였다.

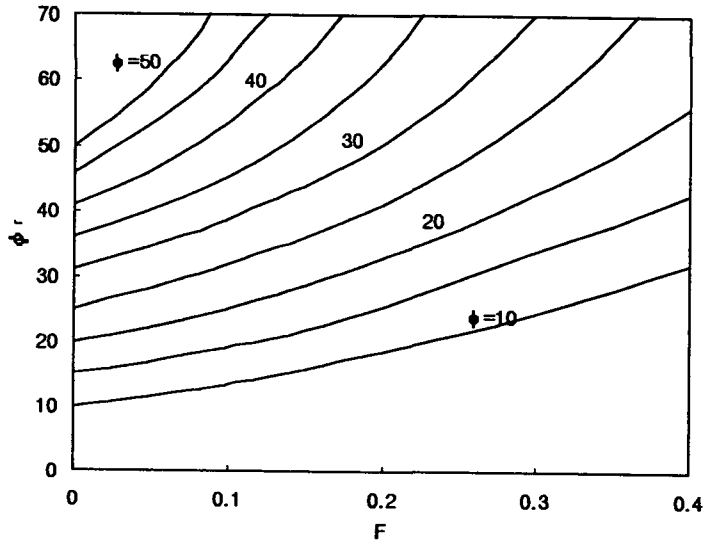


그림 2-8 F와 ϕ (무보강)대한 ϕ_r 의 변화 (Hausmann, 1976)

2. 흙과 보강재의 마찰특성

흙과 보강재의 마찰특성에 대한 연구는 주로 토목섬유 위주의 보강재에 대한 전단강도 측면에서 많이 논의되어 왔다. 따라서 본 연구와 같은 섬유혼합토에 대한 흙-섬유의 상호마찰 특성에 대한 연구는 극히 제한적이다. 본 연구에 사용된 기초이론을 살펴보면 다음과 같다.

Kruse와 Voigt(1994)는 그림 2-9와 같이 흙과 HDPE(high density polyethylen)로 만들어진 쓰레기 매립장의 차폐재의 안정과 내구성 안전도에 대해 여러 가지 서로 다른 차폐 재료사이의 마찰특성을 평가하였다. 여기서 그들은 그림 2-10과 같은 직접전단 시험을 수행하여 차폐재와 주변재료와의 전이가능한(transferable) 전단응력을 다음 식

과 같이 나타내었다.

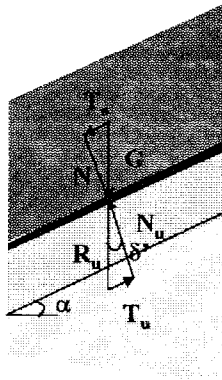
$$\tau_{DB} = \sigma_N \times \tan \delta' + a' \quad (2-13)$$

여기서, τ_{DB} : 차폐재와 흙의 전단강도

σ_N : 유효 연직응력

δ' : 차폐재와 흙사이의 상호마찰각

a' : 차폐재와 흙사이의 부착력



T_o : shear force

T_u : backing and strengthening force

N, G, N_u, R_u

: components of forces

α : slope angle

δ' : angle of

그림 2-9 Combined sealing 요소에 작용하는 힘

식 2-13은 흙-차폐재의 상호마찰각 δ' 과 부착력 a' 의 전단상수를 흙의 내부마찰각 ϕ' 과 점착력 c' 의 전단상수와 유사하게 정의하였다. 흙의 경우 전단강도는 식 2-14와 같다.

$$\tau_f = \sigma_N \tan \phi' + c' \quad (2-14)$$

여기서, τ_f : 흙의 전단강도

ϕ : 흙의 내부마찰각

c' : 흙의 부착력

또한 마찰계수를 $\tan \phi' / \tan \delta'$ 로 정의하였다.

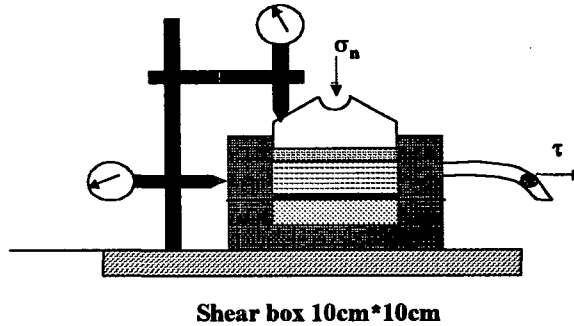


그림 2-10 Sealing strip에 대한 전단시험의 개념도

Ranjan 등(1996)은 표면마찰계수는 연직응력에 의존하며, 인발응력 σ_p 와 연직응력 σ_N 의 그래프로부터 부착력 절편을 구하였다. 부착력과 연직응력의 효과를 설명하기 위해 마찰계수는 식 2-15와 같이 정의되었다.

$$f^s = \frac{c_a}{\sigma_N} + \tan \delta \quad (2-15)$$

여기서, f^s : 표면마찰계수(surface friction coefficient)

c_a : 부착력 절편

σ_N : 연직응력

δ : σ_N - σ_p 직선의 경사

제 3 절 벽체 제작에 대한 연구

1. 재래식 흙벽체 제작 기술

흙벽은 진흙을 주재료로 하여 만들어진다. 흙벽을 원시적인 방법으로 구축하면 건조가 늦어진다는지 수축균열이 생긴다. 그래서 적당한 크기로 성형시켜 벽들과 같은 작은 단위로 쌓아야 한다. 쌓기전에 햇볕에 말려 수축되게 한다. 또한 짧게 절단한 볏짚이나 풀, 기타 식물성 섬유를 진흙이나 점토에 섞으면 접착력이 증대될 뿐만 아니라 내부 수분의 증발이 쉽게 되고 균열의 분산에 효과를 가져온다. 흙벽을 구축하는 방법에는 다음과 같은 것이 있다.

가. 거푸집을 사용하지 않는 흙벽 구축법

절단한 볏짚 등을 물을 먹여 쌓아 두었다가 진흙에 넣어 섞어 거푸집을 사용하지 않고 흙벽을 단단하게 하는 방법이다. 수천 년간 이 방법은 세계 각지에서 활용했었다. 특히 영국의 데번지방에서는 황벽구축법이라고 하여 전해지고 있으며 이러한 일을 하는 사람을 Cob Mason이라 부른다.

점토와 절단한 짚을 알맞은 양으로 혼합하여 굳기 정도를 성형하기 쉽게 조정한다. 비가 올 때 벽이 붕괴되는 것을 막기 위하여 벽 아래쪽은 돌이나 벽돌로 구성하였다. 공법은 발이 세 개인 특수한 포크를 사용하여 흙을 받아 거푸집 없이 약 30cm 높이로 놓고 밟아서 굳게 한다. 이 때 밟을 흙의 층은 다음 층의 흙무게를 지탱하는데 충분한 굳기가 얻어지도록 기다린다. 흙이 예정된 높이표면보다 1인치 혹은 그 이상 돌출하면 흙벽 절단용구로 자른다. 완성된 벽은 2~3개월 동안 방치해두었다가 벽마름을 한다든지 석회를 발라서 보호층을 만들었다. 이것은 빗물 등에 의한 붕괴를 막는 효과가 있다. 보통 벽면에 타르를 바르고 최종적으로 백색도료로 마감한다. 이와 같은 벽은 실제로 수백년 동안 붕괴되지 않았다. 지붕이 길게 내밀어져 있으면 벽의 상부는 비를 맞지 않아 안전하다. 초크 진흙(chalk mud)의 분말과 밀짚의 혼합물, 초크괴의 분말 3에 대해 점토와 밀짚을 각각 1씩 혼합한 것도 사용할 수 있다.

나. 거푸집을 사용하는 흙벽 구축법

이 방법은 흙벽 구축법 중 두 번째로 오래된 것이다. 고대 아일랜드에 존재하고 있던 원형 주거의 벽은 약 30cm 내외의 동심원상의 거푸집 폭을 그의 환상의 공간에 흙을 채워 구축된 것이다. 이 공법의 많은 예는 로마시대 건축물의 발굴로 분명해졌다.

최근에는 튼튼한 목재 거푸집을 사용해서, 프랑스의 삐제 드 델(pis de terre)공법과 같이, 비교적 굳은 혼합물을 찧어 다지는 것을 충분히 할 수 있게 되었다. 이 기술은 유럽, 아프리카, 미국, 극동에서도 사용되었다. 삐제 드 델에서 제일 좋은 재료는 점토분이 30%이하, 나머지는 모래의 혼합물로 이것에 너무 연하지 않을 정도로 물을 더한 것이다. 흙대신에 백아귀를 사용할 수도 있다. 삐제 드 델에 사용한 다지기 도구는 그림 2-11와 같다.

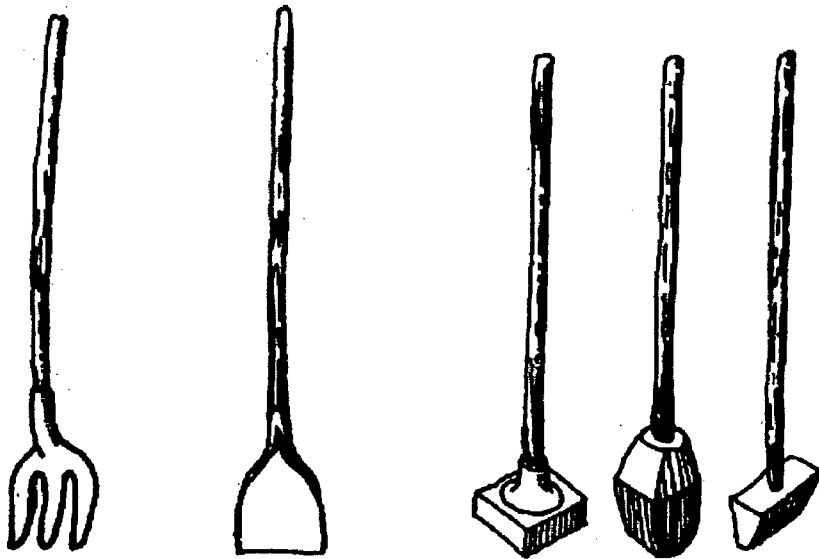


그림 2-11 흙벽공사용 도구 및 흙벽다지기 도구

다. 흙블록을 사용하는 방법

이 흙벽 구축법은 흙을 손으로 적당한 덩어리로 만들어 그것을 쌓는 방법이다. 이 덩어리는 미리 자연 건조시키고 이것을 쌓을 때는 수평층에 진흙 몰탈을 깔로 쌓은 것 같다. 혼합물을 황벽토 구축법에 사용한 것과 같고 이 방법은 지금도 세계의 여러 지방에서 사용되고 있다 또한 진흙의 스페인어인 adobe로 알려져 있는 방법도 대단히 오래된 것이다. 이라크의 하스나라고 하는 곳에서 B.C. 5000년의 것으로 추정되는 대단히 오래된 점토 오막살이가 발견되었다. 아마도 유목민의 것으로 생각되는 간단한 구조로서 점토를 단순히 짊어서 굳게하거나 짓눌러 벽을 구축하였다.

기후가 따뜻한 곳에서는 점토괴를 벽으로 쌓기 전에 햇볕에 굵는 것이 가능하며, 이렇게 함으로써 후에 발생이 예상되는 수축균열을 피할 수 있었다. 쿠웨이트에서는 이 전통적인 공법이 집을 짓는데 사용되었다. 진흙과 절단된 짚이 소성상태가 될 때까지 이겨서 그것을 길게 plano-convex 형(저면은 평평하고 상면은 볼록렌즈상의 덩어리)으로 성형한다. 이 덩어리를 벽으로 쌓기 전에 며칠간 햇볕에 말리고 다시 뒤집어서 2~3일 더 말린다. 쌓기는 밀실하고 안정된 벽체가 구성되도록 밟거나 두드린다. 그 후에 진흙을 발랐다. 이 방법도 세계의 여러 지역에서 사용되었다. 예를 들면 오늘날 서아프리카에서 볼 수 있는 서양배 모양 벽돌, tubali라고 하는 것은 점토, 물, 신선한 풀 또는 건조한 풀을 짧게 잘라 혼합한 것인데 손으로 성형한다. 이 흙벽들은 진흙 몰탈로 쌓았다. 막힌 줄눈이 생기도록 쌓았다.

점토괴의 벽은 18세기까지 영국에서도 제법 사용되었다. 특히 동부와 중부지방의 마을에서 그외 기술이 많이 발달되었다. 예를 들면 외세스터 지방의 '리'라는 마을은 광산의 주택지인데 17~18세기에 있어 진흙시티로서 유명하여 실제 그 마을의 주택은 모두 점토괴의 벽으로 축조되어 있다. 점토 덩어리로 벽을 쌓고 표면을 평활하게 하였다. 그것은 이음을 진흙으로 메워서 평활하게 한 셈이다. 그 위에 백색도료를 발라 마무리하였다.

좋은 흙벽이 되는데는, 어떠한 축조법이든, 밀실하고 내구성이 있는 혼합물을 얻는 것이 가능한지에 달려 있다. 요즘은 소위 석회, 포틀랜드 시멘트 및 역청과 같은 안정제를 강도와 내구성을 증대시키기 위해 혼합물에 첨가하게 되었다. 역청의 안정한 것은 미국에서 사용되었는데 그것을 넣어 만든 생산물을 bitudobe라 부른다. 이것의 표준배합은 역청부제 5~6%를 포함한 흙을 분쇄하여 20%의 물로 이긴 것으로서 길이 15인

치, 폭 12인치, 두께 5인치의 편평한 모양으로 성형하여 이용하였다.

라. 진흙벽돌

가장 편리하고, 더욱이 가장 넓게 사용되고 있는 흙벽조법은 진흙 또는 점토로 적당한 크기의 벽돌을 만들어 자연건조 혹은 햇볕에 쪄인 후 진흙 몰탈로 벽을 쌓는 방법이다. 팔레스타인 지역에서의 발굴에 의해, B.C.6000년 혹은 그 이전 토기사용전의 신석기시대의 A형, B형이라고 하는 2종류의 진흙벽돌 건축의 내용이 밝혀졌다.

Kenyon박사는 두 개의 유형으로 분류해, 아주 초기의 건물은 크기 및 모양이 아주 고만고만한 햇볕을 쪄인 진흙덩어리로 마루바닥 및 벽을 만들고 있고 그의 건물의 평면은 둥글게 한 경향이 있다고 하였다. 이 흙벽돌은 약 15~30cm의 길이를 가졌는데 그는 이것을 되재의 등(hog-back)형이라고 명명했다. 그 후의 B형 건물은 엽권연형 벽돌로 벽을 만들었고 평면은 보다 모져 있다. 그 벽돌은 길이가 약 20~25cm, 폭이 약 7.5cm, 두께가 약 7.5cm로 상면에는 2열로 엄지손가락의 압인이 있었다. 이들 건물의 벽과 바닥은 플라스터로 마감되었다.

진흙벽돌을 사용한 초기의 유적은 중동, 이집트, 인도의 여러 지방에서 발굴되었다. 남아리크에 있는 성도에리도우에서는 이례적인 발굴로 4000년 전의 벽돌로 만든 적어도 18층의 건물이 발견되었다.

아시아의 니네베 근처에서는 B.C.5000년대 후반에 직경 12자 혹은 그 이상의 흙돌건축이 발견되었다. 이러한 건물은 북이라크, 북시리아, 소아시아의 남동부에 현재도 잔존해 있다.

2. 외국의 흙벽체 제작 기술

흙재료는 인장강도가 아주 약하기 때문에 인장응력이 거의 생기지 않는 압축구조로 한다. 그러한 구조는 압축으로 하중을 지탱하는 일반 조적식구조, 아치구조, 볼트(vault) 구조, 도움구조 등이 있다. 외국의 흙벽체 쌓는 기술의 예를 들면 다음과 같다.

가. 아치구조

케이블을 뒤집어 놓으면 아치구조가 되고 이때 순압축이 일어난다. 아치곡선은 현수선이다. 포물선 곡선도 채택된다.

페르시아인은 서기 550년에 진흙벽돌로 이 현수선 아치를 세웠는데 그 규모는 높이 34m, 스패 26m, 아치 하부에서 두께가 7m이다. 이것은 페르시아의 Khosrau 1세 때 궁전 대홀이었다.

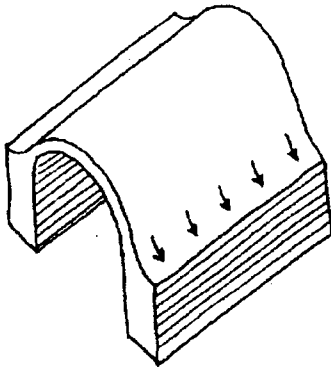


그림 2-12 반원통볼트

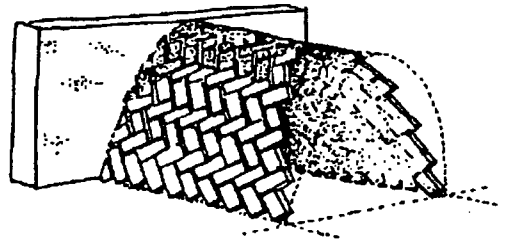


그림 2-13 삿자리무늬식쌓기 흙벽돌 볼울트

나. 볼트구조

볼트는 아치의 연속으로 지붕을 형성한다. 그림 2-12는 볼트의 가장 간단한 형식인 반원통 볼트(barrel vault)이다. 이것은 길이가 긴 아치이다. 벽체는 추력을 흡수할 수 있게 두껍게 되고 벽체의 지지력 약화를 줄이기 위해 창과 같은 개구부를 작게 해야 한다.

그림 2-13은 삿자리 무늬식 흙벽돌 볼트이다. 이러한 쌓기법은 구조의 일체성을 얻는데 알맞다. 볼트를 구축하는데 간단한 공법은 보울트 쌓기용 조립식 지지 아치들을 이용한다. 틀은 해체가 용이하게 하여 틀의 길이에 맞추어 볼트이 일부 벽돌 쌓기가 끝나면 틀을 이동시켜 이어쌓기를 할 수 있다. 틀은 금속이나 목재로 만들어 반복하여 사용

하는데 편리하고 가볍게 만들어지도록 한다.

다. 돔구조

원형 돔구조는 경선방향은 압축이고 위선방향은 돔의 라이즈(rise)에 따라 일부 인장이 생길 수 있는 구조이다. 일례로 중앙 아프리카에 있는 Tchad의 점토로 만든 원시적 돔 오두막이 있다. 이런 원시적인 수단으로, 보다 합리적이고 보다 사용재료의 특성을 살리며 더욱이 구조의 경제성을 경제적인 용구에 맞게 구조물을 세운 사람은 이 세상 누구도 없다고 한다. 인장응력은 이런 구조에서는 대단히 작아서 점토재료로도 견딘다. 이 오두막은 연속적인 원형의 층으로 이어져 있다. 그래서 구조물 구축의 전공정을 통해 거푸집과 비계를 쓰지 않고 안정을 유지한다. 사실, 건설자는 외측 표면에 만든 음기에 비계 대신 덮고서서 구조물을 위쪽으로 만들어 갔다. 이들 포물면상의 주거 마을 전체는 의심없이 하나의 미적인 성질을 가지고 있고, 만약 돔이 그의 위풍에 있어 군주 정치의 상징이라고 한다면, 이들 계란모양 집들의 집합은 도리어 민주주의 건강한 감각을 시사한다고 한다. 그것은 이웃을 이루고 있고 그의 높이는 높낮이 없이 고르기 때문이다.

흙벽돌 돔쌓기의 경우 벽돌의 크기는 $25 \times 15 \times 15\text{cm}$ 이다. 벽돌은 수평으로 쌓지 않고 경사지게 쌓는다. 경사도는 길잡이 막대(rayon)를 이용하여 반경방향과 $10^\circ \sim 15^\circ$ 경사지게 한다. 그리고 환상으로 놓인 벽돌은 반경 방향에 맞추어 반듯하게 쌓지 않고 10° 돌려서 쌓는다. 이것은 벽돌이 미끄러지는 것을 막는다.

제 4 절 연구방향 정립

가. 연구의 기본방향

본 연구는 흙과 보강재 각각의 물성 및 강도특성, 흙과 보강재를 혼합한 혼합토체의 다짐 · 강도, 동결융해, 그리고 각종 제 특성을 분석하고, 실제 농업용 구조물로 이용할 경우 그 시공성 및 실용성을 고려한 보강흙벽 제작기술 및 이용방법을 제시하고, 흙벽

모형실험을 통한 보강흙벽의 효과를 구명하며, 웹사이트를 통한 연구결과를 홍보하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 먼저, 문헌 및 기술자료를 수집하고 이를 통하여 연구의 방향을 정립한다.

먼저 벽체의 기본이 되는 재료들을 선정하고 이들의 특성에 대한 연구를 수행하여 보강흙벽체에 적합한 재료를 선정한다. 재료에 대한 연구를 바탕으로 벽체의 제작 및 양생·건조기술에 대한 연구와 벽체의 기능적 측면에서의 적용성에 대한 연구를 수행한다. 또한 보강흙벽체의 제작에 있어서의 경제적 측면에 대한 연구를 통하여 실제 적용에 있어서의 적용성을 고찰한다.

나. 연구의 세부계획

1) 벽체에 대한 기술 및 문헌조사

본 연구와 관련된 연구는 보강토에 관한 연구, 흙벽체의 제작 및 시공에 관한 연구, 경제성분석에 관한 연구 등이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 연구들에 대한 국·내외의 연구실적에 대한 문헌조사를 먼저 실시한다. 또한 전통적으로 시공되고 활용되어 오고있는 흙벽체의 제작기술에 관한 문헌 및 설문조사를 실시하여 이러한 전통적인 방법들의 장·단점을 분석하여 본 연구에 활용할 수 있도록 한다.

2) 보강흙벽체 재료의 선정 및 특성연구

보강흙벽체는 흙과 보강재의 혼합재료이다. 또한 벽체의 재료는 일반적이고 구득이 용이한 재료가 적합하다. 따라서 본 연구에서는 일반적으로 구득이 용이한 흙재료 및 보강재료를 선정하고 각 재료의 특성 및 재료의 혼합에 따른 특성에 대한 연구를 수행한다.

3) 재료의 혼합에 대한 연구 및 특성연구

일반적으로 벽체가 가져야할 가장 큰 특성은 강도 및 실내·외의 환경에 대한 차폐 역할 그리고 내구성 등이 있다. 본 연구에서 보강재와 흙을 혼합하여 제작한 흙벽들 및 기타 결과물들이 벽체로서 이러한 요건을 충족하는 치에 대한 연구를 실시한다. 이를

위하여 가장 효율적인 강도특성을 나타내는 재료의 혼합비 및 혼합조건을 시험을 통하여 규명하고, 벽체를 통한 열전달특성에 대한 연구를 실시한다. 또한 외부에 노출되었을 경우 동결 및 응해에 의한 벽체의 내구성에 대한 연구를 실시한다.

4) 보강흙벽체의 제작 및 건조·양생에 대한 연구

위의 연구결과를 이용하여 벽체의 제작에 필요한 흙벽돌을 제작하고 벽돌의 건조와 양생조건에 대한 연구를 수행하고 벽체의 시공과 외관처리를 직접 수행한다.

5) 보강흙벽체의 경제성 평가 및 연구결과의 홍보

본 연구에서 수행한 보강흙벽체에 대한 경제성 분석을 실시하여 실제로 벽체를 시공하는 경우에 기존의 벽체에 대한 경제성 여부를 검증하고, web site 구축을 통하여 본 연구결과를 홍보한다.

그림 2-14는 본 연구의 진행과정을 나타낸 것이다.

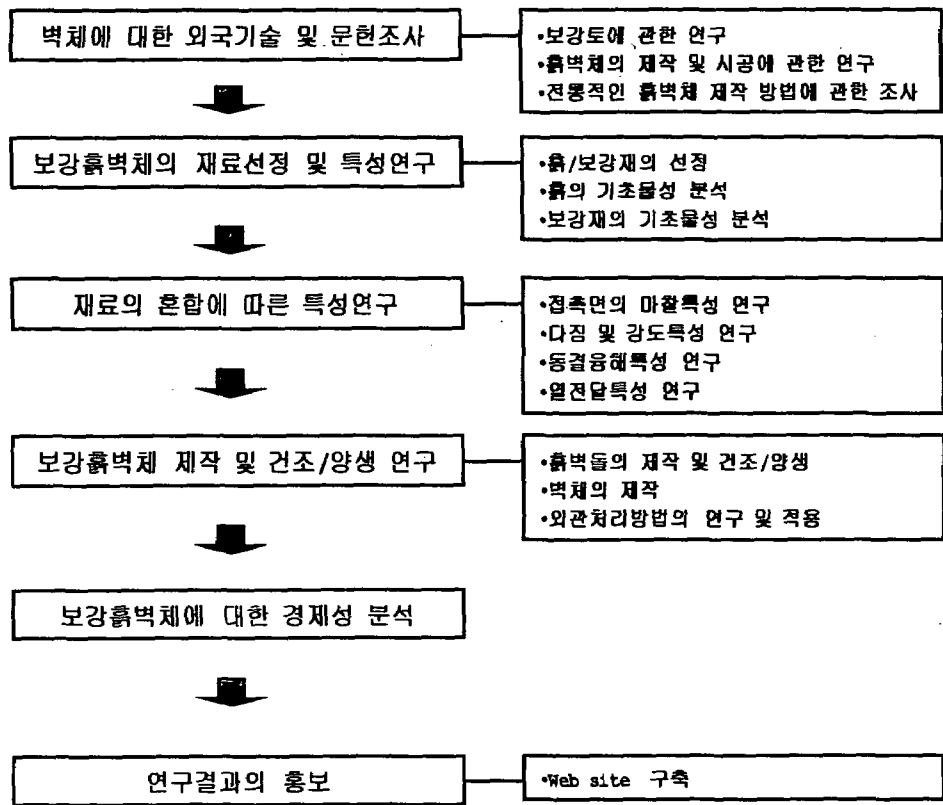


그림 2-14 보강흙벽체 연구의 진행

제 5 절 요약 및 결론

본 장에서는 본 연구와 관련된 연구사를 정리하고 보강토의 해석방법을 정리하였다 또한 본 연구의 기본방향과 세부계획을 정립하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구에 활용할 목적으로 보강토에 관한 기존의 연구와 흙벽에 대한 연구 및 기술에 관하여 조사·정리하였다.
2. 보강재를 이용한 보강의 기본개념과 흙과 보강재의 마찰특성 등의 해석방법을 정리하였다.
3. 기존에 전통적으로 행해지던 흙벽 제작기술을 정리하여 본 연구에의 활용을 도모

하였다.

4. 본 연구의 기본연구방향과 세부계획을 정립하였다

제 3 장 흙과 보강재의 물리적/역학적 특성

제 1 절 서론

본 장에서는 본 연구에서 다루는 보강흙벽체의 기본이 되는 재료인 흙과 보강재의 물리적/역학적 성질에 대하여 다룬다. 흙은 가장 기본이 되는 벽체의 재료로서 구득이 용이하고 벽체에의 사용이 적합하여야 한다. 보강재는 현재 여러 가지가 사용되고 있으며 흙의 성질을 개선하기 위하여 사용된다.

본 장에서는 먼저 연구에 사용될 흙과 보강재를 선정하고 선정된 두 재료의 물리적/화학적 성질을 규명한다. 그리고 보강혼합토의 강도 증가에 영향을 미치는 흙과 보강재의 상호마찰특성을 규명하기 위하여 직접전단시험과 섬유인발시험을 실시하였다.

또한 선정된 재료에 대하여 강도, 균열, 압축성, 시공성 등을 고려한 최적의 배합비를 구하기 위하여 다짐시험을 행하여 최적의 함수비 및 건조단위중량을 측정하였다. 이를 통하여 가장 조밀한 상태를 가질 수 있는 배합비를 도출하였다.

흙벽체의 요구조건 중에서 압축강도는 매우 중요한 것이다. 따라서 흙벽의 강도가 요구되는 곳에 사용할 수 있도록 공시체를 제작하여 재령 및 재료의 혼합상태, 양생기간에 따른 압축강도를 측정하였으며, 몇 종류의 첨가제의 배합비에 따른 균열특성을 분석하였다.

흙벽체가 실내·외에 시공되었을 경우 벽체의 내구성에 영향을 미치는 동결융해에 대한 저항성을 분석하기 위하여 일련의 동결융해 시험을 실시하여 보강재료에 따른 강도의 변화를 고찰하였다.

또한 여러 보강재를 혼합한 보강혼합토의 장기적 건조밀도 및 압축강도 시험과 크리프 시험을 실시하여 흙벽체의 적용성을 고찰하였으며, 기타 여러 가지 보강혼합토의 특성에 대한 연구를 수행하였다.

제 2 절 흙과 보강재의 선정

1. 서론

흙벽체를 제작함에 있어서 가장 기본이 되는 것은 흙재료이고 흙재료의 특성을 보완하기 위하여 보강재가 사용된다. 이러한 재료들의 특성을 파악하는 것은 결과물인 보강 흙벽체의 특성을 파악하는데 중요하다 할 수 있다.

흙은 벽체의 재료로 사용되는 경우, 주위에서 구득이 용이함과 동시에 적절한 특성을 가져야한다. 보강재는 흙의 특성을 보완하고 경제적이며 또한 구득이 용이하여야 한다. 현재 보강재로 사용되는 재료는 매우 많으며, 그 사용목적 또한 매우 다양하다. 본 연구에서는 이러한 조건들을 만족하는 흙과 보강재를 선정하고 이들의 특성을 분석하여 제시한다.

2. 흙

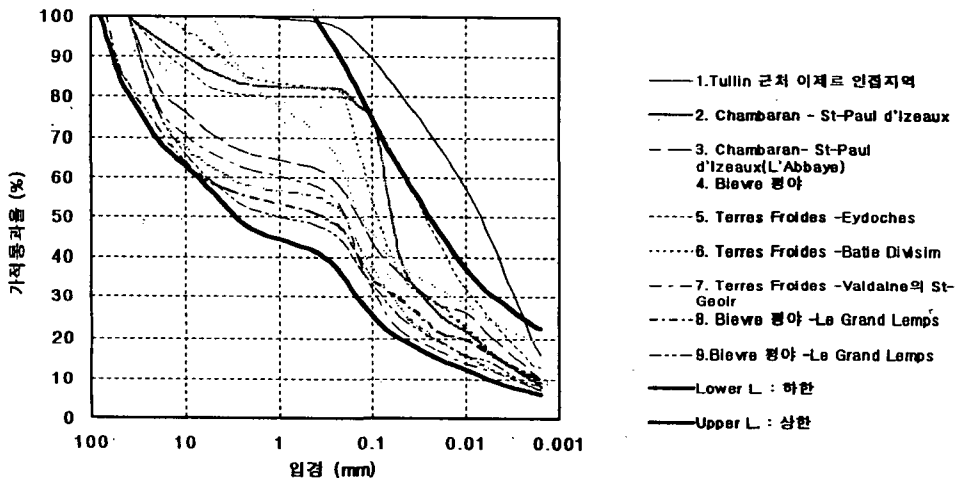


그림 3-1 프랑스 지역에서의 흙 벽체를 구성하는 흙의 입도분포곡선

본 연구에 사용된 흙은 국내의 흙벽에 관한 문헌조사, 국내 토질 및 지질 자료에 대한 조사 그리고 흙벽(토담)이 잔존하는 지역에서의 실제 지반조사 등을 통해 선정되었

다. 또한 재료의 양이 연구에 충분할 정도로 확보되어 있는지, 그리고 재료의 운반 및 구득 용이성 등을 면밀히 조사하여 선정하였다.

그림 3-1은 문헌상의 보강흙벽을 위한 최적 입도곡선(optimum distribution curve)과 프랑스 각 지역에서의 보강흙벽으로 이용된 흙의 입도분포를 도시한 결과이다. 여기서 상한과 하한은 프랑스 여러 지역에서의 조사자료를 바탕으로 흙 벽체를 구성하는 흙의 입도 한계를 나타내는 것으로 이것을 국내조사 자료와 비교한 결과 상한은 거의 일치하는데 반해 하한은 상당한 차이가 있음을 발견할 수 있었다. 따라서 국내 실정에 맞게 작업성을 고려하여 그림 3-2와 같이 상한 및 하한을 재조정하였다.

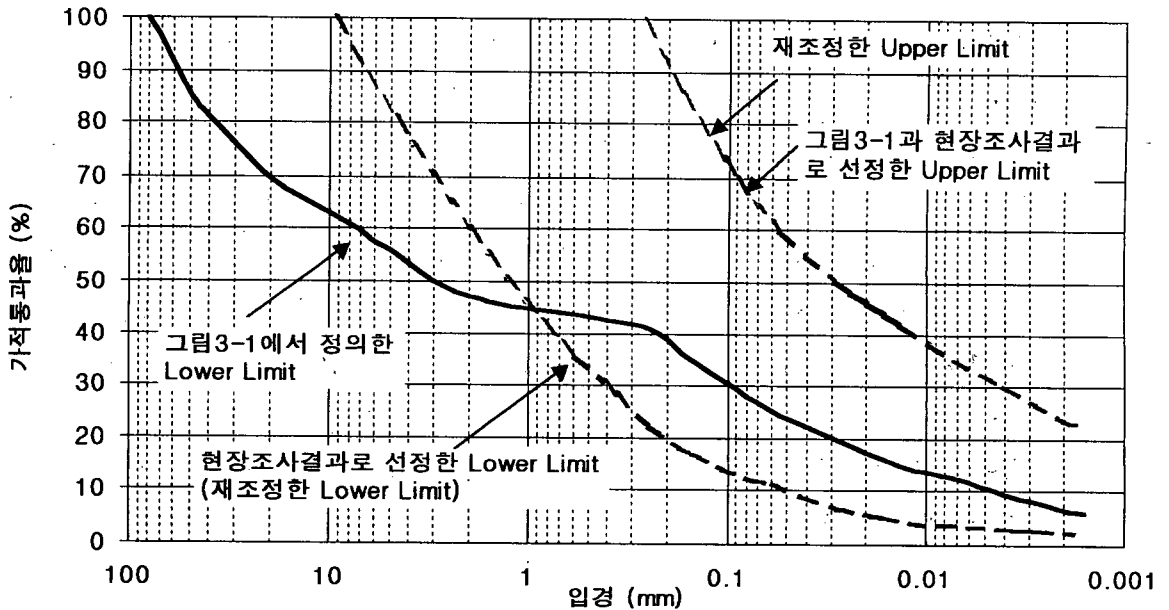


그림 3-2 흙 벽체를 구성하는 흙의 입도 한계 재조정

3. 보강재

가. 보강재의 종류 및 특성

대부분의 구조물들은 약 1세기라는 최소한의 사용연한으로 설계되는 것이 세계적인

추세이다. 물론 사용연한과 존재시간 사이의 차이점을 생각하는 것은 중요한 요인이다. 그러나, 농공학적인 측면에서는 이러한 장구한 내구연한 보다는 조금 수명이 짧더라도 사용이 편리하고, 시공성, 보수성, 유지관리적인 측면에서 우수한 구조물로 설계 또는 축조되는 것이 바람직할 것이다. 또한, 사용연한 동안의 구조물은 안전이 절대적인 개념으로 작용하게 된다. 따라서, 흙의 보강재로 사용되는 재료는 일반적으로 흙 속에 묻혀 흙과 같이 작용하며, 동시에 상당한 수분을 보유하고 있으며 외기에 그대로 노출되는 경우는 거의 없기 때문에 육안 등으로 쉽게 보강재의 파손이나 마모상태를 파악할 수 없어 내구성을 쉽게 측정할 수 있는 방법이 없는 실정이다. 그러므로, 실험실에서 최악의 조건으로 재현된 상태에서 이를 근사적으로 계산하는 것이 일반적이다. 그러나, 본 연구에서는 비내력벽으로 사용가능한 흙-보강재를 주로 취급하는 관계로 장기적인 내구성 보다는 사용연한 동안의 내구성에 더 관심을 두는 것이 바람직할 것이다.

흙-보강재로 요구되는 조건은 크게 두 가지로 구분할 수 있는 데, 하나는 외력에 저항하는 강도의 보강이라는 목적으로 사용하는 경우로 주로 뒤채움재의 보강이나 옹벽이 그 대상이고, 또 하나는 첨가하여 흙이 가지는 여러 가지 단점을 보완 내지는 보강하여 지반안정이 그 목적이다. 본 연구에서는 흙과 보강재의 작용에 의한 외력의 저항도 중요하지만, 비내력벽으로 사용하는 재료를 취급하기 때문에 기계적인 강도보다는 흙 자체의 성질을 개선 또는 보강할 수 있는 재료에 대하여 언급하기로 한다.

따라서, 본 절에서는 현재까지 사용되거나 사용되었던 보강재의 종류를 들고, 각 보강재의 제반특성을 분석하여, 본 연구의 목적인 비내력 옹벽에 사용이 가능한 보강재를 선정하여 것이 목적이다.

1) 보강재의 종류

가) 기계적인 강도의 보강에 사용되는 보강재

현재까지 흙-구조물에 사용된 보강재는 주로 뒤채움의 안정을 기하는 재료를 바탕으로 이용되었다. 이는 주로 금속성의 보강재와 플라스틱 생산물이 주종을 이루고 있다. 금속 생산물은 일반적으로 얇고 긴 도금된 강의 형태나 쇠그물망으로 짜서 사용하였으며, 스테인레스강이나 알루미늄 합금조각을 사용하기도 하였다. 플라스틱은 폴리에스터, 폴리프로필렌, 지오텍스타일 쉬트(geotextile sheets), 폴리에틸렌그리드(polyethylene

grids), 폴리에스터 섬유띠로 싸여진 폴리에틸렌의 형태로 사용하였다. 그외에 콘크리트, 유리섬유, 나무, 고무, 알루미늄, 열가소성 플라스틱 등이 오늘날 주로 사용되고 있으며, 이들의 형태는 스트립, 그리드, 앵커와 슈트, 체인, 두꺼운 판재, 로프, 초목 또는 이들의 복합체를 이루며 사용되고 있다.

(1) 도금강

도금강은 기계적으로 제방을 안정시키는데 광대한 중점을 두고 쓰여진 물질이다. 중요한 요소는 인장력이며, 그 외에 강은 강성, 고탄성계수, 연성, 경제성 등의 측면에서 유리한 면이 있으나 흙 속의 수분에 의하여 강의 부식작용을 억제하기 위하여 표면을 도금처리하여 사용하는 것이 일반적이다. 주로 아연에 의하여 도금 처리하여 사용하고 있다.

(2) 스테인레스강

스테인레스강은 내식성을 높이기 위하여 여러 가지 비율로 크롬을 첨가한 합금이다. 크롬은 산소에 대한 친화력이 커서 용이하게 안정화된 산화피막을 형성하며, 불활성(passivizing)상태로 된다. 스테인레스강 크롬(Cr)의 함유량이 11%를 넘는 강재에 대하여 사용되는 말이다. 보통 크롬의 함유량이 클수록 내식성은 크다. 스테인레스강의 종류는 다음의 3가지로 분류된다. 마텐사이틱(martensitic) 스테인레스강은 탄소함유량이 큰 철과 크롬의 합금강이다. 이들은 높은 내부에너지를 가지며 내식성이 특별히 높은 것은 아니다. 페리틱(ferritic) 스테인레스강은 마텐사이틱과 유사하나 탄소의 함유량이 낮다. 오스테니틱(austenitic) 스테인레스강은 철과 10 % Cr 및 80 % Ni의 합금강이다. 이 합금강이 가장 내식성이 높으므로 일반적으로 많이 사용된다.

스테인레스강의 부식형태는 균일부식, 공상부식, 응력균열(stress cracking), 입간(粒間)부식(intergranular corrosion), 전식, 수소균열(hydrogen cracking), 프레팅(fretting), 기타 미생물에 의한 부식 등이 있으며, 이들 부식 형태 중에서 공상부식, 균열부식은 일반적으로 흙 속의 환경이 부식을 발생시키는데 충분한 산성인 경우에만 발생할 가능성이 있다. 응력부식은 대개 60℃ 이하의 온도에서는 발생하지 않는다.

스테인레스강의 화학조성은 표 3-1과 같다.

표 3-1 스테인레스강의 화학조성

AISI 형식	% C	% Cr	% Ni	% 기타요소
마르텐사이트 크롬강				
410	0.15 max	11.5-13.5	-	-
416	0.15 max	12-14	-	Se, Mo or Zr
420	0.35-0.45	12-14	-	-
431	0.20 max	15-17	1.25-2.5	-
440A	0.60-0.75	16-19	-	-
페르틱 논하드너블 강				
405	0.08 max	11.5-14.5	0.5 max	0.1-0.3 Al
430	0.12 max	14-18	0.5 max	-
442	0.25 max	18-23	0.5 max	-
446	0.20 max	23-27	0.5 max	0.23 N max
오스테이틱 크롬니켈강				
201	0.15 max	16-18	3.5-5.5	5-7.5 Mn 0.25 N max
202	0.15 max	17-19	4-6	7.5-10 Mn 0.25 N max
301	0.15 max	16-18	6-8	2 Mn max
302	0.15 max	17-19	8-10	2 Mn max
304	0.08 max	18-20	8-12	1 Si max
304L	0.03 max	18-20	8-12	1 Si max
310	0.25 max	24-26	19-22	1.5 Si max
316	0.10 max	16-18	10-14	2-3 Mo
316L	0.03 max	16-18	10-14	2-3 Mo
317	0.08 max	18-20	11-14	3-4 Mo
321	0.08 max	17-19	8-11	Ti 4×C min
347	0.08 max	17-19	9-13	Nb+Ta 10×C min

(3) 토목섬유

일반적으로 지오텍스타일과 지오펜브레인의 초기형태는 면을 이용한 직물 또는 코팅 직물이었으며 1926년 미국 South Carolina Highways Department에서 발주한 도로공사에 처음 사용되었다. 합성섬유로 직조된 지오텍스타일은 1950년대 후반에 콘크리트 용벽하단부에 설치, 우수한 성능을 나타내어 1960년대 초기까지 호안보호용으로 사용되었다. 그 후 1962년에는 Memphis District에서 하천의 사면을 보호하기 위하여 여과의 기능으로 직포형 지오텍스타일이 사용되었으며 1950년대 후반부터 최근까지 토목용

섬유제품 발전에 큰 영향을 미친 것은 Dutch Delta Works Scheme로서 이 프로젝트에 사용된 토목용 섬유제품은 약 1,000천만 m²에 이른다. 1968년에는 미국의 FHWA (Federal Highway Administration)에서 아스팔트 표면 균열방지를 위해서 직포형 지오텍스타일을 사용하였고 일본에서는 지진과 폭풍으로 인해 제방이 파괴되는 것을 방지하기 위해 지오네트가 사용되기 시작하였다. 부직포형 지오텍스타일은 1968년 프랑스의 Rhone Poulenc사에서 개발한 "Bidim"과 영국의 ICI사가 개발한 "Teran"등이 그 시초였으며 1970년에 Valcros Dam건설에 처음으로 사용되었다. 그러나 본격적으로 지오텍스타일이 사용된 것은 1960년도 중반이후로, 사면보호용 토목자재의 가격과 운반비용의 상승으로 토목용 섬유제품의 개발과 합성섬유의 발전으로 인해 1981년에는 토목용 섬유제품의 가격이 1970년대 후반과 비교하여 약 60% 정도로 되었다. 최근에는 미국의 American Engineering Fabrics사(AEF), Amoco Fabrics사(Propex), Chemie Linz사(Polyfelt), Dupont사(Typar), Exxon Chemical사(GTF), Hoechst Fibers사(Trevira), Mirafi사(Mirafi)등이 주로 폴리프로필렌, 폴리에스테르 섬유를 이용해 직포 및 부직포형 지오텍스타일을 생산하고 있다. 또한 지오그리드, 지오네트의 개발은 1960년에 영국에서 그 제조방법을 개발한 이래로 Gundle Lining System사(Gundnet), Mirafi사(Para Grid), Tebsar사(SR) 등이 제조, 판매하고 있다. 지오멤브레인은 UCO사(Greenline), Ploy America사(Poly Flex), Palco Linings사(Dynalog), Fundle Lining System사(Gundline) 등이 생산하고 있으며 최근 그 사용량이 토목용 섬유제품 분야에서 급격히 증가하고 있다. 지오웹(Geowebs)은 Presto사가 고밀도 폴리에틸렌 섬유를 이용하여 "Geoweb"이란 상품명으로 판매하고 있으며 지오복합재료는 1969년 수직드레인이 처음으로 개발된 이래로 American Wick Drain사(Amerdrain), Burcan사(Hitek), Geotechnics Holland사(Mebradrain) 등이 제조하고 있으며 토목용 섬유 관련제품은 Construction Techniquet사(Fabriforin), Enka사(Stabilenka) 등이 제조, 판매하고 있다. 한편, 지금까지 사용되는 토목용 섬유제품은 주로 지오텍스타일 제품이 압도적으로 우세하지만 지오멤브레인과 지오그리드의 사용량도 급증하고 있으며 토목건설공사의 특성상 지오컴포지트를 사용하는 경우도 꾸준히 증가하고 있다. 따라서 이들 제품의 용도 확장과 기존제품의 물성개선에 연구개발의 관심이 집중되고 있으며 미국의 경우, 기존의 GRI(Geosynthetic Research Institute)를 GSI(Geosynthetic Institute)로 개편하고 많

은 관련기업들이 컨소시움을 형성하여 토목용 섬유제품의 연구개발에 참여하고 있다.

(4) 특허 보강재

보강토 구조물의 중요성이 증가함에 따라 각종 특허제품이 개발되고 있다. 다음에 기술하는 것은 실용적으로 이용되어 성과를 거둔 특허 보강재이다.

(가) 유리섬유 보강 플라스틱(GRP)

GRP 스트립은 Pilkington형제에 의하여 개발된 것으로, 이는 유리의 연속섬유를 열경화성 폴리마에 혼입한 것이다. 그리고 이들 재료는 직선상의 섬유보강 스트립이 헤어핀의 형상을 하고 있으며, 단부는 루프가 작용하도록 결합되어 있다. 그 앵커홀의 직경은 필요에 따라 여러 가지로 변화시키는데 그 대표적인 성질은 표 3-2와 같다. 이들의 극한강도는 100년 후에도 그 이하로 되지 않으며, 또 GRP는 소성변형이 일어나지 않는다. 흙과의 마찰특성은 표 3-3과 같다.

(나) 지오그리드 텐사

텐사(Tensar)는 흙의 보강재로 개발된 것이며, 소위 폴리머 그리드이다. 그 대표적인 성질은 표 3-4와 같이 흙과의 마찰에 대한 특성은 다른 어느 보강재보다도 뛰어난다(이는 흙과의 역물림이 효과적으로 작용한다고 생각됨). 따라서, 흙과의 마찰계수는 1.0이라고 해도 무방하다. 시험에서는 보다 높은 값으로 나타나는 경우도 있다.

표 3-2 GRP재의 성질(Pilkington Brothers)

형 식	길 이	폭 (mm)	두 겹 (mm)	하중용량 (kN)	유리강화강도 (MN/mm ²)	앵커하중용량 (kN)
48		40	2	16	354	8
96/1	3~10 m	80	2	32	354	16
192/1	기타는	160	2	64	354	32
192/2	특별주문	80	4	64	354	32
240/1		160	2.5	80	354	40

표 3-3 GRP스트립의 마찰특성(전단상자에 의함)

마찰계수와 수평변위각	Bunter모래와 Bunter모래	GRP와 Bunter모래	빙하모래와 Bunter모래	GRP와 빙하모래	PFA모래와 PFA모래	GRP와 FPA
$\tan \psi'$	0.73	0.61	0.73	0.54	0.71	0.53
ψ'	36°	31°	36°	28°	35°	28°

표 3-4 텐사의 성질

재 료	화학성분	인장강도	최대하중 시의신장 율(%)	40%하중 시의 신장율(%)	인장탄성 계수 (N/m ²)	폭(m)	그리드의 피치(mm)
SR 2	고밀도	73	12	3.0		1.0/3.0	23×108
SS 1	폴리에틸렌	20.9 [*] /12.6 ^{**}	-	-	4.1×109	3.0	39.4 ^{**} ×31.0 [*]
SS 2	폴리프로필렌	36.2 [*] /17.0 ^{**}	-	-		3.0	39.4 ^{**} ×27.5 [*]

* 종방향재

** 횡방향재

(다) 직포(Terram RF12)

흙구조물의 보강용으로 광범위하게 사용할 수 있다. Koenen & Welsh(1980), Rankillor(1981)이 멤브레인 보강토로써 ICI에서 개발한 Terram RF12의 표준특성은 표 3-5와 같다. 흙속에서의 직포의 성질은 공기중의 성질과는 매우 다르므로 재료특성에 따라 주의하여 사용하여야 한다.(Mc Cown,1982)

표 3-5 토목섬유 Terram RF12의 성질

화학성분	직 포	두께	폭	길이	허용하중
67%폴리에틸렌 33%폴리에틸렌	무방향성 파괴하중 12t/m	0.7 mm	1.5 m, 3.0m, 6.0m 이상	200 m	4 t/m

(5) 기타 보강재

(가) 알루미늄

최근에는 많이 사용되지 않고 있으나, 내구성이 양호하고 취급운반이 용이하여 다목적으로 사용이 가능하다. 그러나, 제조상의 기술이 요구되고, 표면 마무리용으로는 미관상 문제점이 있으며 전해질적인 부식이 강한 단점이 있다.

(나) 벽돌·석재

일반적으로 흔히 사용되는 재료로서 비교적 소규모 구조물에 적합하다. 미관이 양호하고 내구성은 좋으나 강성벽을 형성하기 때문에 연약지반이나 부등침하의 우려가 있는 지역이나 고층 구조물에는 부적합한 재료이다.

(다) 콘크리트 슬래브

마무리가 양호하고 비교적 염가에 시공이 가능하며 대형 구조물에 적합하다. 그러나, 특히 내구성이 요구되는 곳에서는 공기연행의 필요성이 있으며, 제작수량이 적은 경우에는 제작단가가 높게 되므로 많은 수량이 필요한 곳에서는 경제적으로 유리하다.

(라) 목재류

공급이 용이하고 가공성이 좋으므로 소규모의 단기적인 가설공사에 많이 채용되지만, 내구성이 떨어지므로 대형구조물이나 장기적인 구조물에는 사용이 불가능하다. 또한, 흰개미 등의 곤충이나 미생물에 의한 부식에 주의하여야 한다.

(마) 플라스틱류

매우 경량이고 강도가 크며 마무리, 성형이 용이하고 대량생산이나 운반, 취급이 용이하여 장차 사용성이 우수한 재료로 취급되고 있으나, 비교적 저온에서 용해하는 신소재이므로 내구성, 크리프 등에서 불분명한 점이 많고 자외선에 특히 주의하여야 하는 재료로 현재는 주로 유지공사에 사용되고 있다. 앞으로 이러한 단점을 보완되면 사용량이 급증하게 될 것으로 판단된다.

나. 흙의 성질을 개선하기 위한 보강재

지반에 혼합물을 첨가하는 목적은 체적 안정, 강도와 용력-변형률, 투수성, 내구성 등을 개선하기 위한 것이다. 고강도와 강성의 증가는 공극의 감소, 입자와 혼합물의 결합, 면모구조의 유지, 그리고 팽창의 감소에 의해 이루어진다. 투수성은 공극의 크기와

분포의 개량으로 변화된다. 지반과 혼화제의 적당한 배합은 안정화에 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다. 가장 일반적으로 사용되는 혼화제는 시멘트와 석회이며, 기타 성질을 개선할 목적으로 섬유나 고화제 등을 사용하기도 한다.

일반적으로 사용되고 있는 보강제는 다음과 같다.

(1) 시멘트

어떠한 형태의 시멘트도 지반 안정 처리에 사용될 수 있지만 보통 포틀랜드 시멘트가 주로 사용된다. 보통 포틀랜드 시멘트로 지반의 안정 처리를 위한 적합성을 결정하는 2가지 원론적인 요소로는, 첫째, 흙과 시멘트가 안정적으로 혼합될 수 있는지의 여부, 둘째, 혼합된 상태에서 흙-시멘트가 적당히 경화될 수 있는지의 여부이다. 여분의 칼슘을 함유한 조강시멘트는 유기토에 사용되고, 지연 시멘트는 공사가 지체될 때 사용된다. 내산염 시멘트는 거의 사용되지 않는다.

(2) 석회(생석회)

석회 안정 처리는 생석회나 수산화 칼슘 등과 같은 연소된 석회석 물질의 첨가로 지반을 안정 처리하는 것을 말한다. 대체로 생석회가 경화된 석회보다 흙의 안정처리제로써 더 유효하다. 더욱이 생석회가 슬러리 상태로 첨가될 때가 분말 형태로 첨가될 때보다 더 큰 강도를 얻는다. 그 과정은 석회 안정 처리가 점성토에 대해서는 적합하고 사질토에 대해서는 적합성이 떨어진다는 것을 제외하고는 시멘트 안정 처리와 유사하다. 사실상, 석회의 첨가는 점토 함량이 적거나 없는 흙에서는 효력이 적다. 또한 고유기토에서도 효과가 떨어진다.

본 연구에 사용한 생석회의 성분은 표3-6과 같다.

표 3-6 생석회의 화학성분표(%)

성분	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	기타
%	96.8	0.3	0.5	0.2	0.3	1.9

(3) 석고(gypsum)

석고는 천연석고와 화학석고의 2종이 있다. 천연석고는 석고원석을 180~190℃로 소성한 후 미세분하여 소석고(burnt gypsum)를 만든다. 이것을 다시 약 500℃까지 소성하면 무수석고(anhydrous gypsum, CaSO₄)가 된다. 무수석고는 경화력이 약하므로 여기에 명반, 붕사, 규사, 점토를 소량가하거나 불순석고를 가하여 다시 고온(500~1000℃)으로 소성하면 경화성이 부활된다. 이것을 경석고라 한다. 화학석고는 인산비료공장 등의 화학공장에서 부산물로 생산되는데 일반적으로 불순물의 제거가 곤란하며 순백색의 제품을 얻기 곤란하다. 따라서 정벌용의 플라스틱로서는 부적당하다. 석고는 위생도기, 테라코타 등의 원형제작에 간접적으로 사용되고 대량으로는 석고플라스터의 원료가 되며 서구에서는 각종 석고타일의 제조에도 사용된다.

석고를 사용하여 만든 제품으로는 석고플라스터, 석고판, 석고타일, 석고블록, 석고벽돌, 석고시멘트 등이 있으며, 회반죽에 석고를 약간 혼합하면 수축균열을 방지할 수 있는 효과를 얻을 수 있고, 경화속도, 강도 등이 증대된다.

(4) 마그네시아

마그네시아(MgO)는 산화마그네시아로 일반적으로 시멘트에 경화시간의 촉진, 견고성을 증대시키기 위하여 염화마그네시아 수용액과 사용하여 고급시멘트의 제조에 사용하는 것이 일반적이다. 이는 반투명의 광택이 나는 것이 특징이며, 물에 약하고 습기가 차며 고온에 약한 단점을 가지고 있다.

(5) 고화제

고화제는 분말형태와 용액형태로 사용되고 있으며, 성분에 따라 여러 제품이 생산되고 있다. 주로 시멘트계가 많이 사용되고 있으나, 최근에는 화학제품을 이용한 것도 생산되고 있다.

본 연구에 사용한 고화제는 비스타(Beestar)로 실트나 점질토, 유기질이 많은 토질에도 사용이 가능한 제품으로 지반을 쉽게 안정시키고 식생에도 상당한 효과가 있는 개량제로 화학성분은 표 3-7과 같다.

고화제의 특성은 일축압축강도를 증가시키고 탄성 및 소성을 겸비하여 흙의 변형에 대한 저항성을 증기시키고, 휨강도의 증가로 고화제의 균일성을 향상시키고 화학측면에서는 pH 및 전기전도체의 변화가 적고 안정돼 있어 종래의 시멘트안정처리와 비교하여 처리효과가 탁월하며 중성화의 속도를 늦추는 효과가 있는 것으로 나타나고 있다.

주로 적용되고 있는 곳은 습지, 매립지 등의 연약지반개량, 도로의 지반처리용, 각종 구조물의 기초처리 및 배면 공극 충전, 농업용 수로의 호안기초공사, 산업폐기물의 고화 또는 녹화처리 등에 이용되고 있다.

표 3-7 고화제(Beestar)의 화학성분

성분	KCl	MgCl	NaCl	CaCl ₂	NH ₄ Cl	FeCl ₃	C	기타
%	25	22	20	15	5	2	1	10

(6) 짚(여물, hair)

벽의 바름이나 타설에 있어서 재료의 끈기를 돋우고 재료가 처져 떨어지는 것을 방지하고 흠손질이 쉽게 빠져나가는 효과가 있다. 바름 중에는 보수성을 향상시키고, 바름 후에는 건조에 따라 생기는 균열을 방지한다. 여물의 섬유는 질기고 가늘며 부드럽고 흰색일수록 상품으로 친다. 마디가 있거나 영킨 것은 피하고 섬유 오리가 굵고 빛깔이 짙으며 뻣뻣한 것일수록 하품이고 초벌 바름에 쓴다.

- 짚 여물
 - 짚 여물 : 짚을 5cm정도로 자른 것 (진흙질용)
 - 마분여물 : 마분을 씻어 건진 짚여물 (새벽질용)

- 삼 여물
 - 생 여물 : 생삼을 씻어 바래어 자른 것 (한국산)
 - 로프삼여물: 삼으로 만든 헨 로프나 어망을 풀어 자른 것 (삼밭줄)
 - 헨털삼여물: 마닐라삼의 헨 제품을 풀어 자른 것 (마닐라 삼)

- 기타여물
 - 종이 여물 : 헨 종이를 물에 적셔 두들겨 풀어 만든 것 (펄프)
 - 털 여물 : 헨 모탄자 등을 풀어 자른 것
 - 털종려여물: 종려(棕欖)나무의 외피 털로 만든 것

(가) 수염

줄대 바탕 등에 거리간격 20~30cm마름모형으로 배치하여 못을 박아대고 초벌 바름과 재벌 바름에 각기 한 가닥씩 묻혀 발라 바름벽이 바탕에서 떨어지는 것을 방지하는 역할을 하는 석으로 풀이나 여물과는 다소 다르다.

수염은 충분히 건조되고 질긴 삼(靑麻)·어저귀(줄기 껍질을 이용)·종려털(棕欖毛) 또는 마닐라삼을 쓰며, 길이는 600mm 내외(벽 썸용은 350mm내외)이다.

(나) 풀

풀을 넣으면 粘性이 늘어나 바르기 쉽고 물기를 유지하며 바름 후 부착이 잘 되게 한다. 풀은 주로 해초풀을 써 왔으나 근래에는 합성수지계의 화학합성풀을 쓰기도 한다.

① 해초풀(海草糊)

물에 끓인 해초용액을 체로 걸러 회반죽 등에 섞어 쓰는 풀로서 듭북(角叉)·풀가사리(布海苔·天草)·은행초(銀杏草)등을 쓴다. 미장재료로서는 살이 두껍고 잎이 작은 것이 풀기에 좋다.

② 화학합성풀

㉞ MC(methyl-cellulose) : 수용성의 흰 분말로서 소량으로 점성의 효과를 증대시킨 것이 특징이다.

㉟ PVA(polyvinyl alcohol) : 비닐론(vinylon)제조과정에서 나온 수용성 분말로서 점성은 MC보다 떨어지나 耐水性이 증대한다.

㊱ CMC(carboxymethyl-cellulose) : 펄프에서 제조된 수용성의 분말로서 점성은 우수하나 내수성이 떨어지고 알칼리에 약하다. 섬유벽재로 쓰이고 있다.

㊲ 酢酸비닐에멀전 : 작산비닐을 乳化重合하여 만든 젓빛(乳白)의 용액이다.

㊳ 기타 : 우유단백질인 카제인, 가용성전분이 있다.

(7) 섬유

섬유재료는 주로 콘크리트의 균열제어나 인장강도의 증대를 위해서 주로 사용된 것으로, 강섬유 외에 Acrylic, Cotton, Glass, Nylon, Polyester, Polypropylene, Rayon, Rock wool등의 여러 가지 재료를 사용하고 있으며, 과거에는 천연섬유를 사용하기도

하였으나 최근에는 주로 폴리프로필렌섬유를 사용하고 있다. 현재 사용되고 있는 섬유의 기본적 역학특성은 표 3-8과 같다. 또, 본 연구에 사용한 폴리프로필렌 섬유의 물리적 특성은 표 3-9와 같다.

표 3-8 각종 섬유재료의 기본 특성

섬유의 종류	인장강도(ksi)	탄성계수(103ksi)	극한변형(%)	비 중
Acrylic	30-60	0.3	25-45	1.1
Asbestos	80-140	12-20	-0.6	3.2
Cotton	60-100	0.7	3-10	1.5
Glass	150-550	10	1.5-3.5	2.5
Nylon(high tenacity)	110-120	0.6	16-20	1.1
Polyester(high tenacity)	105-125	1.2	11-13	1.4
Polyethylene	-100	0.02-0.06	-10	0.95
Polypropylene	80-110	0.5	-25	0.90
Rayon(high tenacity)	60-90	1.0	10-15	1.5
Rock wool	70-110	10-17	-0.6	2.7
Steel	40-400	29	0.5-3.5	7.8

표 3-9 폴리프로필렌 섬유의 물리적 특성

항 목	폴리프로필렌 섬유의 물리적 특성
비 중	0.90-0.92
열전도율	6
내 균 성	우수
밀 도	0.89 t/m ³
색 상	흰색
흡 수 율	0
인장강도	5.2-7.7kg/cm ²
발 화 점	538℃
용 용 점	163℃
탄성계수	3.5-3.8×10 ⁴ kg/cm ²
전기전도성	낮음
분 산 성	양호
알칼리 저항도	양호
산 저항도	양호

4. 결론

본 연구에서 사용될 흙재료와 보강재의 선정을 위하여 흙재료의 입도분포의 상한선과 하한선을 제시하였고, 보강재의 종류를 조사하고 각 보강재의 사용목적과 특성을 제시하였다.

가. 문헌상에 나타난 입도분포의 상한과 하한을 이용하여 국내 실정에 맞게 그 한계를 조정·제시하였다.

나. 본 연구에서 사용될 흙재료와 보강재를 선정하였다.

다. 보강재의 종류와 특성을 조사하여 제시하였다.

제 3 절 흙과 보강재의 물리적 특성

1. 서론

보강흙벽은 흙재료와 보강재의 혼합에 의해 그 특성이 나타난다. 이러한 보강흙벽의 특성을 이해하기 위해서는 각 재료의 특성을 이해하는 것이 중요하다. 흙재료의 특성은 일반적인 물리적 특성을 조사하고, 앞 절에서 제시한 입도분포의 상·하한에 포함되는지를 조사한다.

보강재는 강도 안정성(낮은 크리프), 내구성, 취급성, 흙과의 마찰 또는 점착계수가 높을 것 그리고 경제적으로 공급능력 등의 조건을 만족하여야 한다. 따라서 이러한 보강재의 특성에 대하여 조사하고, 각 보강재의 장·단점을 비교분석하여 제시하고자 한다.

2. 흙

표 3-10은 현존하고 있는 심벽 및 토담 벽체의 흙과 이의 인근지역에서 흙을 채취하여 물리적, 역학적 특성을 분석한 결과로써 그중 수원, 발안시료는 본 연구에 사용하기 위해 선정된 흙이고 안성, 합천, 안동시료는 벽체의 흙을 분석한 결과이다.

표 3-10 흙의 물리적인 특성

지역	Gs	LL	PL	PI	USCS	비고
수원	2.62	38	17	21	CL	연구시료
안성	2.63	23	16	7	SM	-
합천	2.63	33	24	9	SM	-
안동	2.63	24	16	8	SC	-
발안	2.67	NP	NP	-	SM	연구시료

그림 3-3은 표 3-10의 흙에 대한 입도곡선으로, 여기서 상한(upper limit) 및 하한(lower limit)은 그림 3-2에서 보여준 재조정된 입도의 한계로 비교를 위해 함께 도시하

였다.

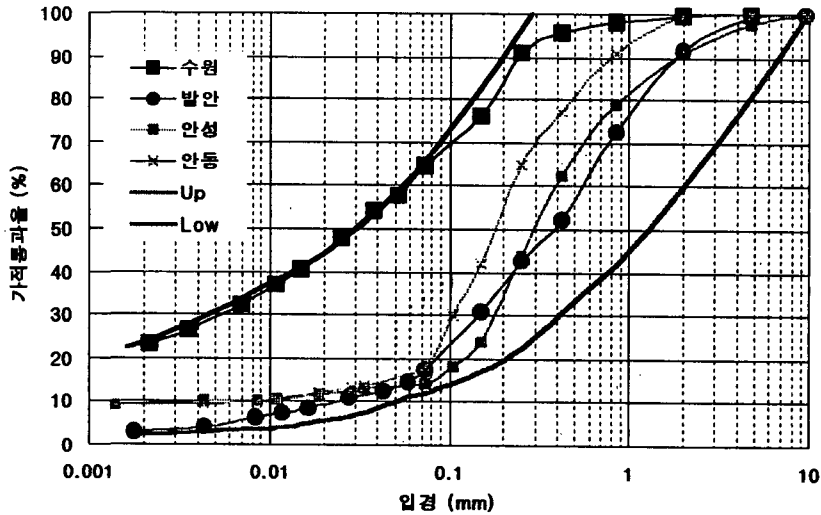


그림 3-3 흙벽체를 구성하는 흙 및 연구시료에 대한 입도분포곡선

3. 보강재

보강재로서 갖추어야 할 성질은 주로 강도 안정성(낮은 크리프), 내구성, 취급성 등이 있고, 흙과의 마찰 또는 점착계수가 높아야하며, 경제적으로 공급능력이 있어야 한다.

마찰계수는 흙과의 마찰계수나 점착계수는 전단상자에 의한 시험으로 구한다. 마찰질토에 대한 마찰계수(μ)는 스트립, 그리드, 쉬트의 경우에 $\alpha \cdot \tan \phi'$ 로 구하며, 여기서 α 는 계수로서 UK설계 지침서에 의하면 표 3-11과 같이 제시하고 있다.

점착성 마찰질토나 점성토에 대해서는 전단상자에 의한 시험으로 확인할 필요가 있으며, 그 예는 표 3-12에 나타나 있다.

보강재는 구조물의 내용년수 이상으로 내구성이 있어야 한다. 흙-구조물의 내용년수는 20-120년으로 큰 차이가 있으나 강성부재는 그 최장년수에 전달 만큼 충분한 두께를 가져야 한다. 필요한 두께의 예를 표 3-13에 제시하였다. 유리섬유나 폴리에틸렌은 내구성이 높으나 후자의 경우에는 특히 자외선에 주의하여야 한다.

표 3-11 각종 스트럽에 대한 2종류의 흙사이의 마찰계수(전단상자에 의함)

토질	보강재 종류	내부 마찰각 (ϕ')	보강재와 흙의 마찰계수(μ)				
			아연 도금 연강	스텐 레스 강	유리섬유보 강플라스틱 (GRP)	알루미늄 피복연강 (Aludip)	플라스틱 피복연강
유효응력범위 (0~40 kPa) LL 42, PI 21	37	0.38	0.40	0.53~0.64	0.51~0.58	0.36	0.42
유효응력범위 (0~100 kPa) LL 30, PI 17	37	0.36	0.39	0.53~0.64	0.51~0.58	0.37	0.40

표 3-12 슈트와 스트럽 보강재의 성질(마찰질토)

재 료	하중을 지지하는 최대두께(mm)	기본허용하중			계수 (α)
		축인장응력 (N/mm ²)	전단응력 (N/mm ²)	지지력 (N/mm ²)	
알루미늄합금 BS4300/8:NS51,H4	6	120	72	180	0.46
동 BS2870:C101, 1/2H:C102, 1/2H	10	108	65	163	0.46
탄소강(아연) BS1449:Pt1:KHR34/20P	10	120	72	200	0.50
탄소강(아연) BS1449:Pt1:KHR54/35P	10	192	115	350	0.50
스텐레스강 BS1449:Pt2:316S16	10	126	75	210	0.46
스텐레스강 BS1449:Pt2:316S16,CR	6	220	132	360	0.46
파라웹(Paraweb) 파이버리틴(Fibreaitain)	표 3-11, 표 3-18 참고				

표 3-13 사용환경에 대한 부식(영국 교통국 BE 3/37)

재 료	각 면의 부식(mm)			
	공 기 중		성 토 중	
	도시, 공장지대,임해공장지대	기 타	마찰질토	점착성 마찰질토
알루미늄합금	--	--	0.15	0.30
동	--	--	0.15	0.30
아연도금강	0.85	0.30	0.75	1.25
스텐레스강	0.00	0.00	0.10	0.20

가. 기계적인 강도의 보강에 사용되는 보강재의 특성

각종 스트립의 성질을 요약하면 표 3-14와 같다.

표 3-14 각종 스트립의 성질

재 료	인장 강도 (N/m ²)	항복 응력 (N/m ²)	비중	탄성 계수 (kN/m ²)	허용인장 응력 (N/mm ²)	허용응력에 대한 신장율 (%)	단위하중 당중량비
알루미늄합금 NS51-H4-BS4300/8							
NS51-H8	270	200	2.68	70	120	0.17	27
동	400	285	2.68	70	170	0.24	19
C101-½H-BS2870							
아연도금연강	245	180	8.93	125	110	0.09	97
KHR34/20P-BS1449:Pt1	340	200	7.85	200	120	0.06	100
아연도금고장력강	540	350	7.85	200	190	0.10	69
KHR54/35P-BS1449:Pt1							
냉압연스텐레스	540	400	7.96	200	220	0.11	44
316S16-BS1449:Pt2							
고압연스텐레스	1150	800	7.96	200	440	0.22	24
316S16-BS1449:Pt2	354	-	-	40	80	0.20	37
유리섬유보강플라스틱 (GRP)	10-100	-	-	-	SF=6.0	1.80	19
폴리마섬유스트립							

나. 흙의 성질을 개선하기 위한 보강재의 특성

1) 시멘트

소량의 시멘트 첨가(약 2%)는 지반의 성질을 수정하는, 반면 과도한 첨가는 급격한 변화를 야기시킨다. 지반을 안정화시키는데 필요한 시멘트 량은 내구성 요구량에 달려 있고, 덧붙여서 말한다면 일정한 온도(25℃)와 함수비로 7일간 양생한 후, 최소 일축 압축 강도가 2.8 KN/m² 가 되게 한다. 사실상, 시멘트 함유량은 흙의 건조 단위 중량에 따라 3~16%범위에 있는데, 표10.1에서 사용된 토질 형태 및 성질에 의한다. 일반적으로

로 흙의 점토 함유율이 증가함에 따라 사용되는 시멘트의 양도 증가한다.

어떠한 형태의 시멘트도 지반 안정 처리에 사용될 수 있지만 보통 포틀랜드 시멘트가 주로 사용된다. 보통 포틀랜드 시멘트로 지반의 안정 처리를 위한 적합성을 결정하는 2가지 원론적인 요소로는, 첫째, 흙과 시멘트가 안정적으로 혼합될 수 있는지의 여부, 둘째, 혼합된 상태에서 흙-시멘트가 적당히 경화될 수 있는지의 여부이다. 여분의 칼슘을 함유한 조강시멘트는 유기토에 사용되고, 지연 시멘트는 공사가 지체될 때 사용된다. 내산염 시멘트는 거의 사용되지 않는다.

2) 석회(생석회)

석회는 일반적으로 소성지수가 10 ~ 50% 범위에 있는 대부분의 흙과 반응한다. 소성지수 10%이하인 흙은 석회와 필요한 작용을 발생하게 하기 위해 포졸란이 필요한데, 보통 플라이 애쉬가 사용된다. 석회 안정 처리의 증진을 위해 사용되는 다른 포졸란에는 고로 슬래그와 팽창성 혈암등이 있다. 석회는 특히 중점토의 안정 처리에 적합하고 점토질 자갈 속에서는 시멘트보다 더 효과적이다. 중점토의 석회 안정 처리는 지반을 무르게 하는데 이는 최대 밀도가 좀 낮게 얻어진다고 해도 작업과 다짐은 보다 쉬워지게 한다. 석회와 montmorillonite 점토와의 반응은 kaolinite점토와의 반응보다 빠르다. 사실 몇 주의 차이가 있다. 그러나, 실리카 표면이 쉽게 교환되지 않는 이온들로 이루어진다면 이용할 수 없게 된다. 따라서, illite와 chlorite는 비록 첨가된다 할지라도 montmorillonite보다 훨씬 작게 반응한다.

석회가 점성토를 안정 처리하는데 사용될 때, 점토입자들을 덮고 연결시켜주는 칼슘 실리카겔이 형성되는데 지반의 공극을 차지하게 된다. 물이 존재하고 점토 광물의 표면으로 칼슘과 수산기 이온을 운반할 수 있을 때만 반응이 계속된다.(다시 말해서 PH값이 높을 때). 결과적으로, 반응은 건조되면 멈추게 되고 매우 건조한 지반에서는 석회와 반응하지 않는다.

첨가되는 석회의 양은 후에 반응할 점토광물량에 관계된다. Ingles와 Metcalf(1972)는 3%까지의 석회 첨가는 실트점토, 중점토, very heavy clay를 수정하는데 반해 3-4%는 실트점토의 안정 처리에, 3-8%는 중점토 그리고 very heavy clay를 안정 처리하는데 사용된다는 것을 제안했다. 그들은 또한 지반속에 10%의 점토분에 대하여 1%의 석회

(지반의 건조중량)를 사용할 수 있다고 제안했다. 더욱 정확한 규정값은 규정값의 각 한계 값에서 시험을 행한 후 만들어 질 수 있다.

시멘트 안정 처리와 같이, 석회 안정 처리는 유기토에서는 별로 효과가 없는데 유기 물질이 경화를 지연시키기 때문이다. 그러나 Kuno et al.(1989)는 20%의(중량비)석고가 생석회나 경화된 석회에 첨가될 때, 이러한 혼합물은 높은 자연함수비가 대단히 높지 않는 한 유기토의 안정처리에 이용될 수 있다고 말했다.

석회 안정 처리에 사용되는 물의 양은 다짐시 필요한양에 지배된다. 그러나 생석회가 사용된다면, 함수비 50%이하인 지반에서 매우 빠른 경화 과정을 수행하려할 때 여분의 물이 필요하게 될 것이다. 더욱이, 석회와 지반의 반응이 완전 용해를 수반하기 때문에, 지반의 함수비가 너무 작아서는 안된다. 그러므로 습윤 양생이 바람직하다.

혼합은 매우 중요하여, 혼합이 석회가 공기에 노출될 때까지 지연된다면 석회의 탄산화는 혼합의 효과를 감소시킬 것이다. 그렇기 때문에 혼합은 가능한 한 빨리 그리고 적어도 공기에 노출된지 24시간 안에 하는 것이 바람직하다.

UBR(미국 재개발국)에 의해 실시된 실험에서 석회 4%의 첨가는 점토의 소성지수를 47%에 12%로 감소시키고 수축 한계는 7%에서 26%로 증가시킨다는 것이 지적됐다.(Anon.1975) 그러나 kaolinite점토는 때로는 석회 처리가 소성지수를 증가시킨다.

일반적으로 점토질 지반에 대한 석회의 첨가는 OMC를 증가시키고, 같은 다짐 효과에서 최대 건조 밀도를 감소시킨다. 이러한 변화는 첨가되는 석회 양과 존재하는 점토 광물의 양에 달려 있다. 석회 처리가 다짐 곡선을 완만하게 함에 따라, 주어진 규정 밀도의 백분율은 함수비의 범위를 상당히 넓게 분포시킬 수 있기 때문에, 물은 통제하기가 쉬워진다.

흙 - 석회 혼합물의 강도는 흙의 형태 첨가된 석회의 형태와 양과 같은 여러 가지 요인에 의한다. 실제로, montmorillonite 점토는 고 칼슘이나 반 수경성 석회보다는 백운암 석회와의 혼합강도가 더 작다.(Bell.1988) 한편 kaolinite점토는 반수경성석회와 혼합될 때 가장 큰 강도를 낳고 고칼슘석회와 혼합될 때 가장 작게 나타난다.

작은 석회량과 혼합된 흙은 보다 많은 석회량이 첨가됐을 때의 시간보다 더 적은 시간 안에서 최대 강도를 얻는다. 강도는 석회량에 따라 선형적으로 증가하지 않고, 사실상 석회의 과다 첨가는 강도를 감소시킨다. 이러한 감소는 석회 자체가 다소의 마찰력

이나 점착력이 없기 때문이다. 최적의 석회 함량은 4.5에서 8%범위에 있고 점토 입자가 많을수록 필요한 석회량이 증가한다. 양생 기간은 석회 안정 처리토의 강도에 영향을 주는 또 한가지의 요소이다 (Bell and Couthard 1990). 한 달에 걸친 강도의 지속적인 증가는 특징적이다. 온도 증가는 양생을 가속시키고, 강도 증가를 가져온다. 흙 - 석회의 반응은 온도가 4℃ 밑으로 떨어지면 지연되거나 멈추게 될 것이다. 그러므로 강도 발현은 추운 날씨에서 다소 멈춰지고, 주기적인 결빙과 해동으로 인한 강도 손실은 겨울철에 누적된다. 결빙 - 해동기간의 끝에 나타나는 잔류 강도는 결과적으로 흙 - 석회층의 보존과 안정성 보장에 안정적이어야 한다.

함수비 증가에 따라 강도가 감소되므로 석회 안정 처리 토의 강도에 영향을 끼치는 또 한가지 요인은 그들의 자연함수비이다. 포화된 함수비가 높은 흙에서의 전단 강도는 낮아진다. 한편 최적함수비에서 다져진 흙 - 석회 혼합물은 짧은 양생기간후 최적 함수비 이하에서 다져진 것보다 높은 강도를 얻는다. 이것은 아마도 석회가 좀더 균질한 양생 환경에서 좀더 균질하게 발휘되고 발생하기 때문일 것이다. 최적함수비에서 또는 그 아래에서 처리된 흙의 강도는 다짐후 각각의 층에 물을 뿌림으로써 개선 될 수 있다.

Al - Rawi와 Awad(1981)은 점성토의 투수성은 후에 흙의 응집을 발생시키는 석회와 처리될 때 증가된다. 점토 입자가 많아질수록 흙 - 석회 혼합물의 투수성은 증가한다. 그들은, 최적함수비의 건조 측에서 다져진 흙들은 최적함수비 습윤측에서 다져진 흙보다 투수성이 높다는 것을 발견했다. 그들은 또한 첨가되는 석회의 양에 관계없이, 흙 - 석회 혼합물의 투수성이 최소가 되게 하는 특정한 성형 함수비를 발견했다. 그러나 시간이 경과함에 따라 투수성은 감소되는데, 이것은 공극을 차지하고 있다가 결국에는 경화되는 아교질성 반응물질의 생성이 증가됨에 기인한다고 Brandl(1981)은 주장했다.

다. 보강재의 성질비교

토질역학적으로 사용되는 보강재의 종류는 앞에서 열거한 재료들이 주로 사용되고 있으며, 이들의 성질을 토질형태, 응력전달기구에 따른 보강재의 장단점을 요약하면 표 3-15와 같다. 이 표는 특정목적에 채용가능한 보강토 공법의 예비선정에 사용될 수 있다.

표 3-15 벽면 보강재의 장단점

재 료	장 점	단 점	비 고
알루미늄	<ul style="list-style-type: none"> • 내구성 양호 • 취급운반이 용이 • 다목적으로 사용가능 • 철도도 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 제조상 기술을 요함 • 표면마무리용으로는 미관상 문제가 있음 • 전해질적 작용이 강함 	<ul style="list-style-type: none"> • 최근에는 많이 사용되지 않음
벽돌·석재	<ul style="list-style-type: none"> • 일반적으로 흔히 사용되는 좋은재료 • 미관이 양호 • 매우 내구적 	<ul style="list-style-type: none"> • 강성벽면을 만들게 되므로 문제, 연약지반이나 부등변위를 일으키는 곳에서는 부적합 	<ul style="list-style-type: none"> • 소규모구조물에 최적
기성콘크리트 슬래브	<ul style="list-style-type: none"> • 기술적으로는 완전함 • 마무리가 양호 • 비교적 염가 • 대형구조물에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> • 고층구조물에는 부적합 • 특히 내구성이 요구되는 곳에서는 공기연행 등이 필요 • 제작수량과 비용면에서 1단위의 성형에는 한계가 있음 • 제작수량과 비용은 사용될 때까지의 여유시간과 깊은 관계가 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 벽면에 가장 많이 채용됨
콘트리트슬래브	<ul style="list-style-type: none"> • 내구성 및 마무리가 양호 • 한번 시스템을 제작하면 그 다음부터는 염가 • 한개의 중량은 1인으로서 취급할수 있는 크기로 취급할수 있는 크기 	<ul style="list-style-type: none"> • 철근이용이 곤란 • 보강재에 철근을 소정간격으로 유지시키기 곤란 • 1단위의 성형에 기술적 한계가 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 최근에는 많이 채용되지 않음
프리스트레스 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> • 이중T와 같은 기성의 제품을 이용하면 매우 편리 • 내구성이 매우 큼 • 운반취급이 용이 • 미관이 양호 	<ul style="list-style-type: none"> • 중,소높이의 구조물에 최적 	<ul style="list-style-type: none"> • 벽면에는 매우 내구성이 있는 부재

표 3-15 벽면 보강재의 장단점(계속)

재 료	장 점	단 점	비 고
직포, 텍스타일, 지오그리드	<ul style="list-style-type: none"> • 매우 경량 • 매우 유연함 • 가설에 최적 • 군사용에 최적 	<ul style="list-style-type: none"> • 미관상 문제가 있음 • 내구성이 작음(자외선, 작은 동물 등) 	<ul style="list-style-type: none"> • 표면을 흙이나 식생으로 피복하여 결점을 보완
유리섬유보강 시멘트(GRC)	<ul style="list-style-type: none"> • 충격에 강함 • 마무리가 양호하고 경제적 • 연결이 용이 • 뽑어뽑이기를 채용하면 공장생산이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 일반적 이해 불충분 • 초기에는 혼합재료를 이용하므로 제품가격이 고가임 	<ul style="list-style-type: none"> • 고가이므로 사용예가 적음
유리섬유보강 플라스틱 (GRP)	<ul style="list-style-type: none"> • 강도가 크고 내구성이 있으며 충격에 강함 • 마무리가 양호 • 매우경량이어서 성형이 용이 • 대량생산이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 자외선, 고열에 주의 	<ul style="list-style-type: none"> • 유지공사 사용
플라스틱재 (PVC,ABS)	<ul style="list-style-type: none"> • 매우 경량, 강도가 큼 • 마무리가 양호 • 성형이 용이 • 대량생산이 가능하고 운반이 용이 • • • 	<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 저온에 음해 • 최신 신재료이므로 내구성에 대하여 불분명한 점이 많음 • 재료에 따라서는 자외선에 약한 것이 있음 • 크리프에 대하여 불분명한 점이 많음 	<ul style="list-style-type: none"> • 유지공사 사용
아연도금	<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 염가 • 운반용이, 대량생산이 가능 • 성형이 용이 • 산업구조물에 최적 	<ul style="list-style-type: none"> • 내구성, 미관상 문제점이 있음 	

표 3-15 벽면 보강재의 장단점(계속)

재 료	장 점	단 점	비 고
스텐레스강 (316)	<ul style="list-style-type: none"> • 내구성이 있음 • 운반이 용이 • 대량생산이 가능 • 성형 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 고가 • 얇은 단면은 매우 유연해짐 	<ul style="list-style-type: none"> • Roman구조물에 최근에 발견되고 있음
내후성강	<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 염가 • 인공 마무리에 흥미가 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 얇은 판을 겹치면 부식 이 큼 	
목재 (두꺼운 판)	<ul style="list-style-type: none"> • 공급이 용이 • 특히 단기수명 가설구조물에 최적 • 제3세계에서는 최적 	<ul style="list-style-type: none"> • 미적인 면에서 약간 문제가 있음 • 환경미에 주의 요망 • 환개미에 주의 요망 	
목재 (합판)	<ul style="list-style-type: none"> • 공급이 용이 • 단기 가설구조물에 최적 • 소규모 구조물에 최적 	<ul style="list-style-type: none"> • 내구성이 문제 	

4. 결론

흙과 보강재의 물리적 특성을 조사하고 분석하였다. 흙의 경우 현존하고 있는 심벽 및 토담 벽체의 흙과 이의 인근지역에서 흙을 채취하여 물리적, 역학적 특성을 분석하였다. 여러 보강재의 마찰특성과 내구성 등을 조사하였고, 시멘트 석회 등과 같이 흙의 성질을 개선하기 위하여 사용되는 보강재의 특성을 조사하였다.

가. 본 연구에서는 흙재료들에 대한 특성을 비교한 결과 수원과 발안에서 채취한 재료를 선정하였다.

나. 보강재에 대한 특성을 조사하여 본 연구에 활용할 수 있도록 하였다.

제 4 절 흙과 보강재의 상호마찰특성

1. 서론

보강 벽체나 옹벽에 쓰이는 보강혼합토는 흙의 전단강도를 증진시키고자 보강재를 흙과 혼합한 혼합체이다. 일반적으로 섬유를 혼합한 보강토의 전단강도는 혼합되는 흙의 입도분포와 흙입자의 형상과 같은 흙의 특성과 섬유의 형태, 길이, 직경, 인장강도, 탄성계수, 마찰계수, 섬유혼합비 등과 같은 섬유의 물리적, 역학적 특성에 따라 다르며 구속응력, 다짐상태 등의 영향을 받는다. 이와 같이 섬유혼합토에 영향을 미치는 인자는 다양하고 해석하기 복잡하다.

섬유혼합토의 전단강도 증가현상은 흙과 섬유의 상호작용의 영향을 받으며 상호작용을 평가하는데 상호마찰각이 중요한 요소이다. 그러므로 흙과 섬유의 상호마찰각을 평가하기 위해 직접전단시험과 인발시험을 수행하였다. 상호마찰각은 흙의 입도와 섬유의 직경, 마찰계수, 면적비에 영향을 받으므로 서로 다른 흙과 섬유를 사용하여 이들의 영향을 알아보았다.

2. 관련이론

섬유혼합토가 외력을 받아 변형이 일어날 때 재질이 서로 상이한 재료인 흙과 섬유는 상호간의 마찰과 섬유의 인장으로 인해 강도가 증가한다. 이러한 섬유혼합토의 전단강도 증가(ΔS)는 예를 들어 식 3-1과 같이 흙의 단위면적 당 섬유의 인장강도(T), 흙의 내부마찰각(ϕ), 전단 뒤틀림각(w) 등에 영향을 받고, 여러 섬유를 사용할 때는 흙의 단위면적 당 섬유의 인장강도, T 를 평가하는 것이 중요하다.

$$\Delta S = T(\sin w + \cos w \tan \phi) \quad (3-1)$$

여기서 인장강도 $T = A\tau_i$ 로 나타낼 수 있고, A 는 흙과 접촉하고 있는 섬유의 표면

적이고, τ_i 는 인장응력이다. T 에는 흙과 섬유의 주변 마찰력과 섬유 자체의 인장강도가 포함이 되나 인발시험에서 섬유 자체의 인장강도는 수직하중보다 훨씬 크기 때문에 섬유 자체의 인장은 무시할 수 있다. 따라서 인발시험에서 구하게 되는 T 는 흙과 섬유의 마찰력만을 고려하게 되며, T 는 인발력과 같게 되고 이로부터 τ_i 는 인발응력이 된다.

흙에서 섬유를 인발하여 얻게되는 τ_i 로부터 상호마찰각이 계산되며, 상호마찰각은 흙과 섬유의 인장강도를 평가하는데 중요한 지표가 된다. 섬유와 흙의 인발응력, τ_i 은 식 3-2와 같이 표현할 수 있다.

$$\tau_i = a_d + \sigma_N \cdot \tan \delta \quad (3-2)$$

여기서, τ_i = 흙-섬유의 인발응력

a_d = 흙-섬유의 부착력(kg/cm^2)

σ_N = 유효수직응력

δ = 흙과 섬유의 상호마찰각

이다. 흙과 섬유의 마찰계수는 흙의 내부마찰각에 대한 흙과 섬유의 상호마찰각의 비로 식 3-3과 같이 나타낸다. 이 마찰계수 f 는 흙과 섬유의 종류에 따라 다르게 나타난다.

$$f = \tan \delta / \tan \phi \quad (3-3)$$

3. 재료 및 시험방법

가. 재료

본 연구에 사용된 흙시료는 수원과 발안시료이며 보강재료, 폴리프로필렌 PF 119(단사)

인 실험태의 합성섬유를 사용하였다.

나. 시험방법

현재 실내에서 보강재의 표면 마찰저항과 수동저항을 규명하기 위한 시험방법으로는 직접전단시험과 인발시험을 들 수 있다. 그림에서는 현재 사용중인 두 시험장비에 대한 개략적인 형태와 마찰계수의 결정방법을 보여준다.

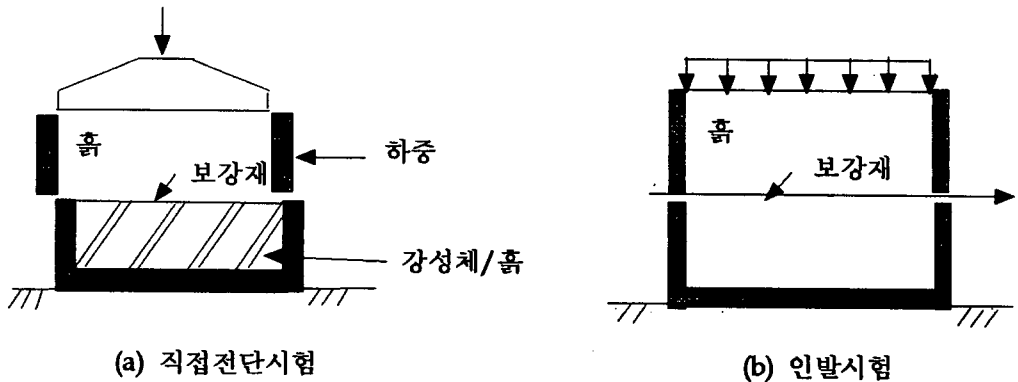


그림 3-4 기존 연구에서의 마찰특성 평가를 위한 시험장비 개요도

인발시험이나 직접전단시험에 의한 마찰특성의 결정도 보강재의 종류에 따라 달리 선정되어야 하는데, 그 예로서 보강재 중 시이트 형태나 돌기없는 대상형 보강재는 간편한 직접전단시험에 의해서, 돌기있는 대상형 보강재나 그리드형 보강재는 인발시험에 의해서 마찰특성을 밝히는 것이 바람직하다. 이는 전단에 따른 보강재 주변 흙의 거동 특성에 기인하는데, 시이트형 보강재와 같이 표면마찰(skin friction)이 우세한 보강재의 마찰특성 평가에는 굳이 힘든 인발시험을 수행할 필요가 없고, 보강재의 특성상 인발에 따른 저항력이 인발방향과 수직인 수동저항 지지부재의 인발과 주변 흙의 변형에 따라 유발되는 그리드형 보강재는 인발시험을 통해 마찰특성을 평가하는 것이 바람직하다. 특히, 실내에서 수행하는 인발시험은 현장과 달리 시험장비의 경계조건에 의해서 영향을 받으므로, 인발시험 장비 선정시 이에 대한 충분한 고려가 있어야 한다.

본 연구에 사용된 보강재인 섬유는 상기의 보강재인 시이트형 보강재와는 달리 선형적인 형태의 보강재이기 때문에 직접전단시험에 의해 섬유와 흙과의 마찰특성을 평가

하는 것이 불가능하며, 따라서 인발시험에 의해 섬유와 흡과의 상호마찰특성이 평가되어야 한다. 섬유와 흡과의 마찰특성을 평가하기 위해 직접전단시험을 수정한 시험방법을 채택하였으며 그 원리는 그림 3-5와 같다.

인발시험은 그림 3-6과 같이 5×5×3cm 크기의 인발상자를 이용하여 디지털 자동기록장치로 변위 및 하중의 데이터를 얻게 된다. 직접전단장치의 전단상자에 다지는 시료의 크기는 10×10×5cm이고, 인발시험과 직접전단 시험 모두 세 가지 시료에 대해 각각 최적함수비로 표준다짐을 하여 재성형하였다. 시험은 모두 변위제어로 수행하였고, 변위속도는 0.1mm/min이다.

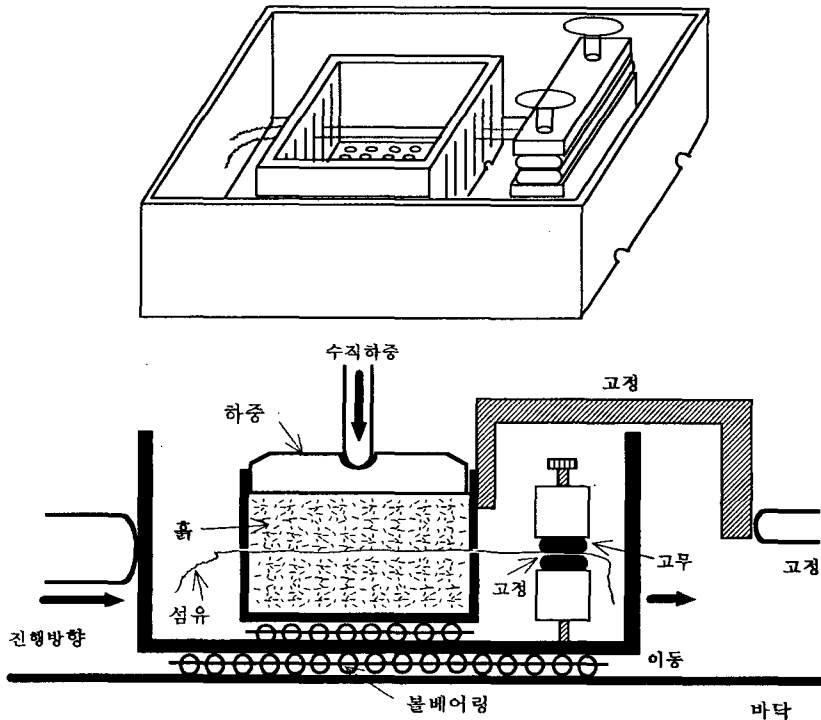


그림 3-5 본 연구에서의 마찰특성 평가를 위한 시험장비 개요도

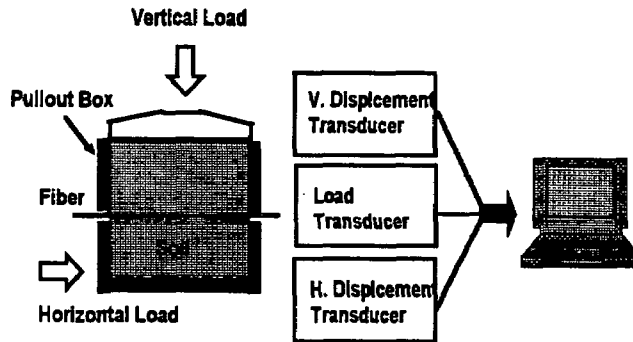


그림 3-6 인발시험의 개략도

4. 결과 및 고찰

세 가지 시료에 대해 인발시험의 하중단계와 동일한 하중을 주어 직접전단시험을 수행한 결과는 표 3-16과 같다. 시료가 모래질일 수록 내부마찰각(ϕ_u)은 증가하고 점착력(c_u)은 감소하는데 이 결과는 흙과 섬유 의 마찰계수를 결정하는데 이용된다.

표 3-16 흙의 강도정수

지역	내부 마찰각 ϕ_u (Deg.)	점착력 c_u (kg/cm^2)
발안	33.6	0.27
수원	30.3	0.33
하동	27.7	0.28

하중을 증가시키면서 인발시험을 한 결과를 응력-변형을 관계로 나타내면 그림 3-7과 같다. 변위는 흙과 접촉하고 있는 섬유의 길이에 대한 인발되는 섬유의 길이비로 나타내었다. $\sigma_N = 1 \sim 2 kg/cm^2$ 의 낮은 수직응력 하에서는 섬유의 최대인발저항이 변위 3~

5%에서 뚜렷이 나타나고 있으며 $\sigma_N = 3 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ 의 높은 수직응력에서는 5%이상에서 최대인발저항이 나타나고 있다. 또한 수직응력이 증가할수록 최대인발저항은 비례적으로 증가한다. 그림 3-8은 섬유수에 따른 인발하중-변형을 관계를 보여주고 있으며 섬유수가 많을수록 비례적으로 인발력도 증가하고 있음을 알 수 있다. 이후의 모든 시험은 섬유수를 10가닥으로 수행하였다. 단, 0.082mm 섬유는 섬유자체 인장강도가 약하기 때문에 120가닥수로 수행하였다.

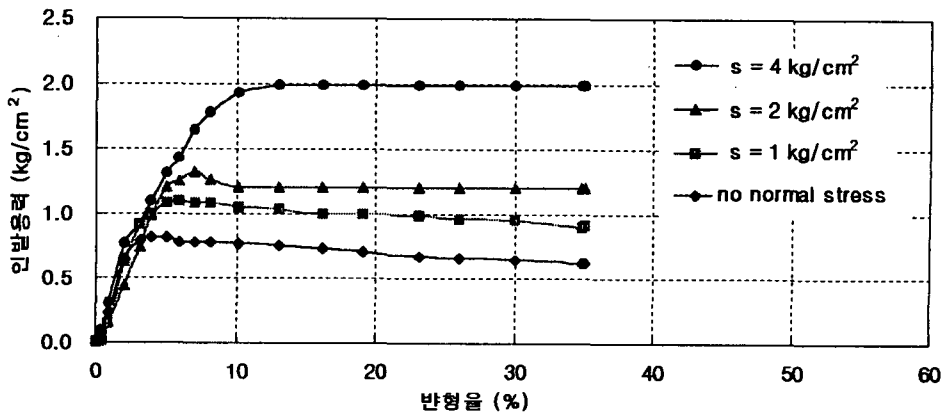


그림 3-7 연직응력에 따른 변형률 및 인발응력 (발안, PEF2)

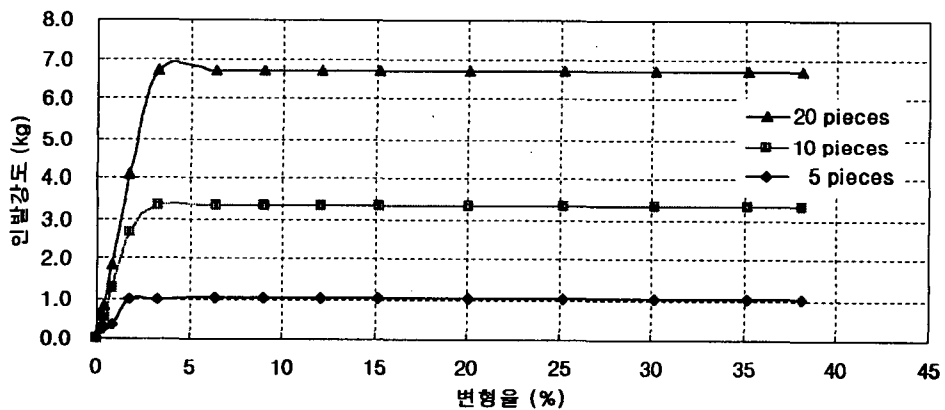


그림 3-8 섬유 수에 따른 인발강도 (수원, PEF2, $\sigma_N = 1 \text{ kg/cm}^2$)

그림 3-9, 10은 섬유의 직경이 각각 0.21mm와 0.27mm인 PEF1과 PEF2에 대해 인발시험을 한 결과이다. 직선의 기울기는 상호마찰각 $\tan \delta$, 절편은 부착력 a_d 를 나타내며 시료의 종류에 따른 상호마찰각의 변화가 잘 나타나고 있다. 이들의 값을 표 3-17에 나타내었다.

세 시료에서 모래질이 많은 발안시료가 가장 큰 상호마찰각을 보이고 있으며 하동시료가 가장 낮은 값을 나타낸다. 부착력도 발안시료가 가장 크고, 수원시료, 하동시료 순인데 모래질 함인 발안시료가 부착력이 크게 나타나는 것은 모래와 섬유의 마찰이 지배적이며 수원 및 하동시료의 점토분이 저소성으로 큰 부착력을 발휘하지 못하기 때문으로 사료된다.

또한 하동시료와 같이 균일한 입도의 점토 및 실트입자, 또는 입도분포가 균일한 흙보다는 발안시료와 같이 흙입자가 골고루 섞인 양입도의 흙에서 상호마찰각이 크게 나타난다고 할 수 있다. 그리고 섬유의 직경이 0.27mm인 PEF2가 직경이 0.21mm인 PEF1보다 상호마찰각이 더 큰 것이 두 그림을 비교해서 알 수 있다.

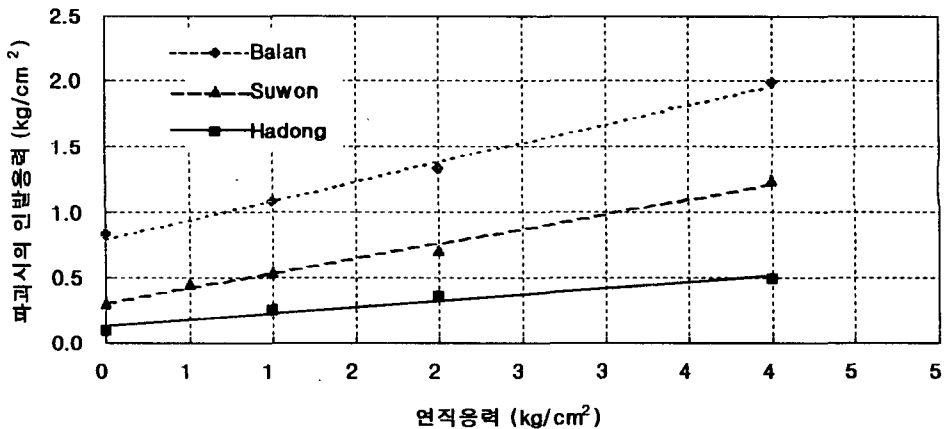


그림 3-9 PEF1에 대한 연직응력 및 파괴시의 인발응력 (0.21mm)

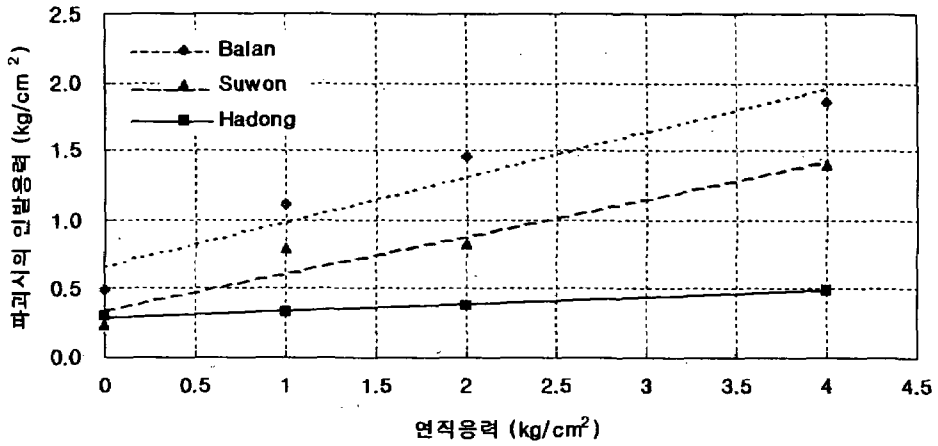


그림 3-10 PEF2에 대한 연직응력 및 파괴시의 인발응력 (0.27mm)

표 3-17 인발시험 결과

Soil \ Fiber	부착력 a_d (kg/cm ²)		상호마찰각 δ (deg)	
	PEF1	PEF2	PEF1	PEF2
Balan	0.80	0.66	16.07	17.95
Suwon	0.31	0.34	12.90	15.12
Hadong	0.12	0.29	5.43	2.88

섬유의 직경별로 마찰계수를 구한 결과는 그림 3-11과 같다. 양입도의 발안시료와 수 원시료에 대해서는 섬유의 직경이 커질수록 마찰계수가 증가하는 경향을 보이고 있지만 점토성분의 균일한 입도의 하동시료는 섬유직경이 증가할수록 마찰계수가 감소하는 것으로 나타난다. 모래와 실트성분이 많은 시료에 대해서는 섬유와 흙입자간의 마찰효과가 크므로 흙과 접촉하고 있는 섬유의 표면적이 커질수록 마찰효과가 증가한다는 것을 알 수 있다. 그러나 점토입자가 대부분인 하동시료에서는 섬유 표면적의 마찰보다는 부착력에 영향을 크게 받으므로 섬유의 직경이 작을수록 부착효과가 큰 것으로 나타난다.

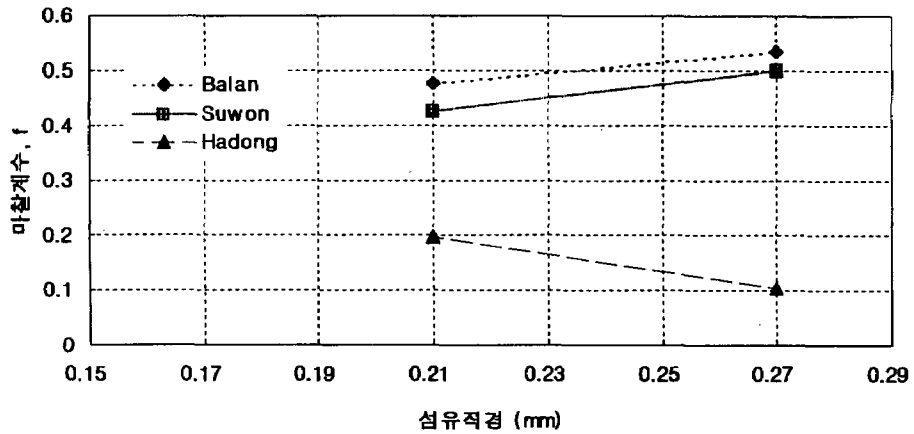


그림 3-11 섬유직경에 대한 마찰계수

5. 요약 및 결론

흙과 섬유의 상호마찰 특성을 평가하기 위해 3종의 흙과 2종의 섬유를 설정하여 직접전단시험과 인발시험을 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 가. 직접전단시험 결과 모래질 시료인 발안시료가 점토질 시료인 다른 지역의 시료보다 큰 내부마찰각을 보였고 점착력은 수원시료가 가장 큰 값을 나타내었다.
- 나. 섬유의 인발응력은 흙, 섬유의 종류에 관계없이 수직응력이 증가할수록 증가하였고 발안시료가 가장 큰 부착력과 상호마찰각을 나타내었다.
- 다. 동일시료에 대한 섬유직경에 따른 마찰계수는 수원 및 발안시료가 섬유의 직경이 커질수록 증가하였고 하동시료는 감소하였다.

제 5 절 보강토의 다짐 특성

1. 서론

본 연구에서는 흙벽의 재료로 사용가능한 시료를 채취하여 이 흙이 가지는 단점을 보완할 수 있는 첨가제를 혼합하여, 요구되는 흙벽으로서의 조건을 만족하는 최적의 배합비를 구하는 것이 목적이다.

이러한 목적을 도출하기 위하여 흙벽으로 사용이 가능한 흙의 상한 및 하한의 범위를 가지는 시료를 채택하여 강도, 균열, 압축성, 시공을 등을 고려한 최적의 배합비를 구하기 위하여 다짐시험을 행하여 최적의 함수비 및 그 때의 건조단위중량을 측정하였다. 그 결과 가장 조밀한 상태를 가질 수 있는 배합비를 도출하고, 이를 바탕으로 다음 절에서 언급하는 체적변화, 일축압축시험을 위한 배합비를 선정하는 것이 목적이다.

일반적으로 흙은 다른 재료에 비하여 균질하지 못하며, 수분의 함유량에 따라 특성이 달라지는 등의 물에 의한 영향이 지대하므로, 함수량의 변화에 대한 연구도 수행하여야 하지만, 본 연구에서는 우선 최적의 강도를 낼 수 있는 함수비의 범위를 선정한 후에 시공성, 압축성을 고려한 시공 최적함수비를 차후에 도출하고자 한다.

흙벽의 재료로 사용가능한 상한의 입도분포를 가지는 흙은 경기도 수원시 서둔동에서 채취하였으며, 하한의 입도분포를 가지는 흙은 경기도 발안 근처에서 채취하기로 하였다.

채취한 시료는 기건 후에 이물질을 제거한 후, 자연시료 또는 혼합시료를 조제한 후에 다짐시험을 행하였다.

2. 자연시료 및 혼합토의 다짐 특성

가. 자연시료의 다짐특성

다짐시험은 A다짐으로 수행하였다. 자연시료는 경기도 수원시 서둔동에서 채취한 상한에 해당하는 시료이다.

자연시료를 기건 후에 이물질과 굵은 자갈을 제거한 후, 다짐시험을 행하였으며, 시험결과, 최적함수비(OMC)는 약 18.9 % 정도, 최대건조밀도(γ_{dmax})는 1.625 t/m³정도로 일반적인 산토의 다짐특성을 보이는 것으로 나타났다.

나. 시멘트혼합토의 다짐특성

지반에 시멘트를 혼합하여 체적안정, 강도와 응력-변형을, 투수성, 내구성 등을 개선할 목적으로 한 연구를 주로 지반안정적인 측면에서 많은 연구가 수행되었으며, 현재도 도로의 지반처리를 목적으로 사용되고 있는 실정이다, 그러나, 흙벽의 재료로 사용하기 위한 연구나 이를 개선할 목적으로 진행되는 경우는 거의 빈약한 실정이다. 그러나, 최근에는 환경적인 측면에서 시멘트 벽이나 바닥에서 인체에 유해한 라돈 등의 방사성 물질이 유출되고 있다는 보고서가 나오면서 흙벽에 대한 인식이 달라지고 있다. 그러나, 흙벽은 자체가 가지는 단점 때문에 시멘트를 혼합하여 사용하고 있는 실정이다.

시멘트를 사용하여 흙의 성질을 개선하는 경우에는, 첫째, 흙과 시멘트가 안정적으로 혼합할 수 일반적으로 시멘트 안정처리인 경우, 소량(약 2%)의 첨가는 지반의 성질을 개선하는 효과가 있으나, 과도한 첨가는 급격한 변화를 야기하기 때문에 사용을 기피하고 있다. 표 3-18은 일반적으로 사용되고 있는 시멘트의 범위를 나타내고 있다.

흙벽재료의 강도를 증진하기 위하여 먼저 시멘트를 혼합하여 시험을 행하였다. 시멘트의 혼합량은 흙의 습윤중량비로 3 %, 6 %, 9 %, 12 %로 배합하여 시료를 조제한 후, 다짐시험을 행하고 결과를 분석하였다. 그림 3-12는 시멘트 혼합비에 따른 다짐곡선을 도시한 것이다.

표 3-18 흙의 종류에 따른 일반적인 시멘트의 범위(after Anon,1990)

통일분류	일반적인 시멘트의 범위(% ,중량)	습윤-밀도 시험에 따른 일반적인 시멘트 함량(ASTM D 558) (% , 중량)	내구성 시험에 대한 일반적인 시멘트 함량(ASTM D 559 & D 506) (% , 중량)
GW,GP,GM,SW,SP,SM	3-5	5	3-5-7
GM,GP,SM,SP	5-8	6	4-6-8
GM,GC,SM,SC	5-9	7	5-7-9
SP	7-11	9	7-9-11
CL,ML	7-12	10	8-10-12
ML,MH,CH	8-13	10	8-10-12
CL,CH	9-15	12	10-12-14
MH,CH	10-16	13	11-13-15

다음의 그림에서 알 수 있듯이 시멘트의 첨가로 인하여 시료의 건조중량은 자연시료에 비해 크게 증가하지 않는 것으로 나타나 비내력벽의 재료로 사용이 가능한 것으로 판단된다. 그러나, 환경적인 측면에서 문제점을 야기하는 것으로 보고되고 있으므로 이에 대한 연구도 차후에 수행되어야 할 것으로 사료된다.

시멘트의 혼합에 따른 건조단위중량과 최적함수비의 변화를 자연시료와 비교하여 도시하면 그림 3-13과 같다. 시멘트를 혼합한 경우, 자연시료에 비해 건조단위중량은 0.4% ~ 1.2% 정도 증가하는 것으로 나타나고 있으며, 본 연구에서 사용한 흙인 경우에는 혼합비가 9% 정도 일 때, 최대의 값을 보이고 있다. 이는 흙의 성분 및 함수비에 따라 시멘트의 경화에 따른 영향으로 사료된다.

최적함수비(OMC)는 0.6% ~ 2.2% 정도 감소하는 것으로 나타나며, 혼합비가 증가할수록 최적함수비는 거의 직선적으로 감소하고 있다. 이는 시멘트 경화에 따른 영향으로 사료된다. 그러나, 흙벽의 시공이 약간 습윤측에서 수행되는 것이 일반적이므로 시공 함수비는 차후에 다른 조건을 고려하여 결정하여야 할 것이다.

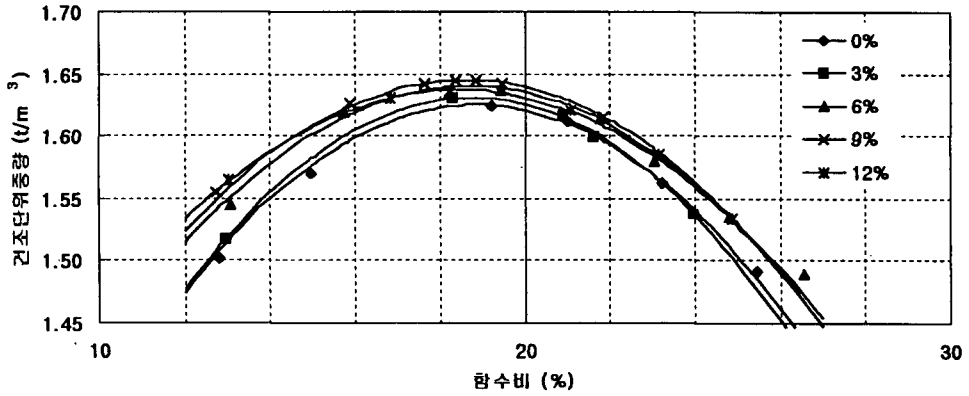


그림 3-12 흙-시멘트 혼합토의 다짐곡선

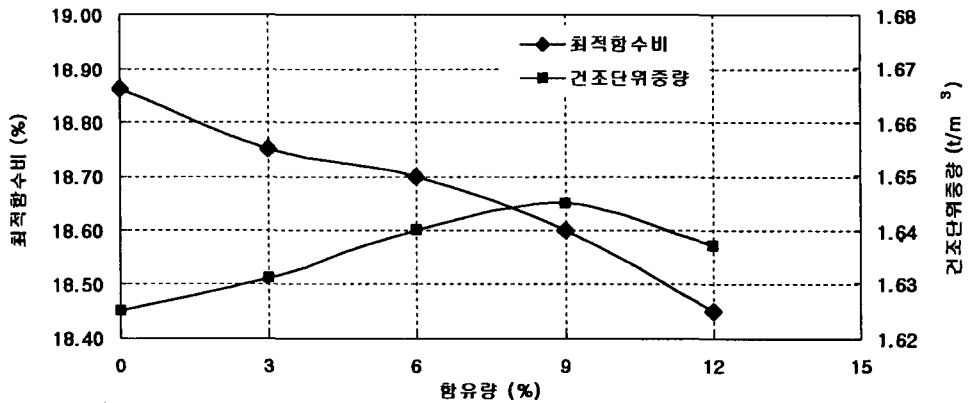


그림 3-13 흙-시멘트 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

다. 마그네시아 혼합토의 다짐특성

흙벽재료의 압축성 또는 균열을 방지할 목적으로 약간의 마그네시아를 혼합하여 시험을 행하였다. 마그네시아의 혼합량은 흙의 습윤중량비로 0.1%, 0.5%, 1.0%, 2.0%로 배합하여 시료를 조제한 후, 다짐시험을 행하고 결과를 분석하였다.

그림 3-14는 마그네시아 혼합비에 따른 다짐곡선을 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 마그네시아의 첨가로 인하여 건조단위중량은 자연시료에 비해 증가하는 것으로 나타나는

데, 이는 마그네시아의 혼합으로 인하여 흙의 점도 또는 찰기를 증대시키기 때문으로 사료된다. 따라서, 비내력벽의 재료에 혼합하여 사용할 경우 시공성을 상당히 높일 수 있을 것으로 판단된다.

마그네시아를 혼합한 경우에는, 자연시료에 비해 건조단위중량은 0.43% ~ 3.08% 정도, 최적함수비(OMC)는 0.21% ~ 1.86% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 마그네시아가 흙 속의 수분과 반응하여 흙의 점도를 높이는 역할을 하기 때문인 것으로 사료된다.

마그네시아 혼합에 따른 건조중량과 최적함수비의 변화를 자연시료와 비교하면 그림 3-15와 같다. 혼합비가 1% 정도에서 가장 큰 건조단위중량을 보이고 있으며, 최적함수비는 혼합비의 증가에 따라 계속 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서, 마그네시아를 혼합하여 흙의 점도를 높이거나 강도를 증진하기 위해서는 약 1% 정도가 타당한 것으로 나타났다.

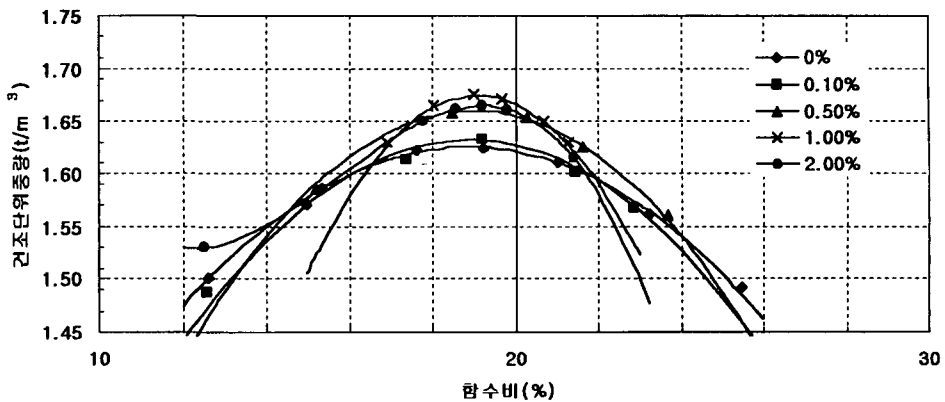


그림 3-14 마그네시아 혼합토의 다짐곡선

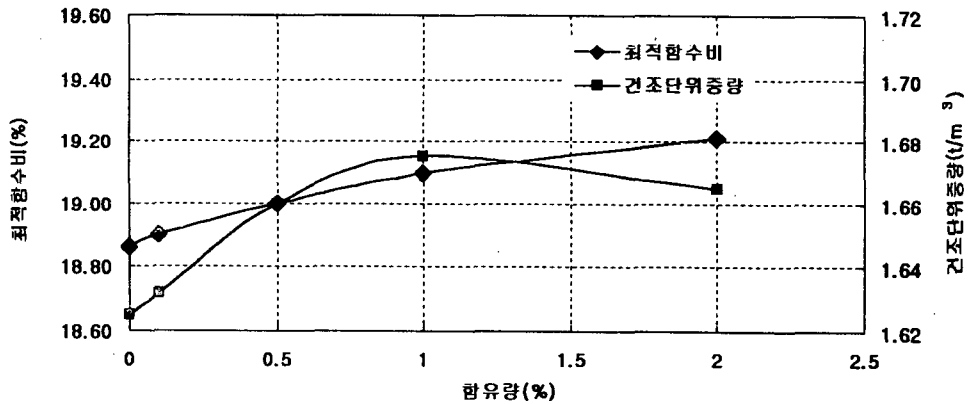


그림 3-15 마그네시아 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

라. 생석회 혼합토의 다짐특성

흙벽재료의 안정과 강도증진을 목적으로 생석회를 혼합하여 시험을 행하였다. 생석회의 혼합량은 흙의 중량비로 3%, 6%, 9%, 12%로 배합하여 시료를 조제한 후, 다짐시험을 행하고 결과를 분석하였다.

그림 3-16은 생석회 혼합비에 따른 다짐곡선을 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 생석회의 첨가로 인하여 건조중량은 자연시료에 비해 감소하는 것으로 나타나 비내력벽의 재료로 사용할 경우 흙의 자중으로 인한 하중을 상당히 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

생석회를 혼합한 경우, 자연시료에 비해 건조단위중량은 3.75% ~ 6.22% 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 최적함수비(OMC)는 5.67% ~ 9.65% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 생석회가 흙 속의 수분과 반응하여 포졸란 반응을 일으키기 때문으로 사료된다.

생석회 혼합에 따른 건조중량과 최적함수비의 변화를 자연시료와 비교하면 그림3-17과 같다. 생석회의 혼합에 따라 건조단위중량을 급격한 감소를 보인다. 혼합비의 증가에 따라서는 거의 직선적으로 건조단위중량이 감소하며, 최적함수비는 혼합비의 증가에 따라 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 생석회의 반응에 흙 속의 수분을 필요로 하기 때문으로 사료된다. 또, 과도한 생석회를 혼합은 재료내부에 생석회 덩어

리(ball)을 형성하게 되고 이는 차후에 벽체를 부풀게 하기 때문에 생석회의 혼합은 약 3%~9%정도가 타당한 것으로 사료된다.

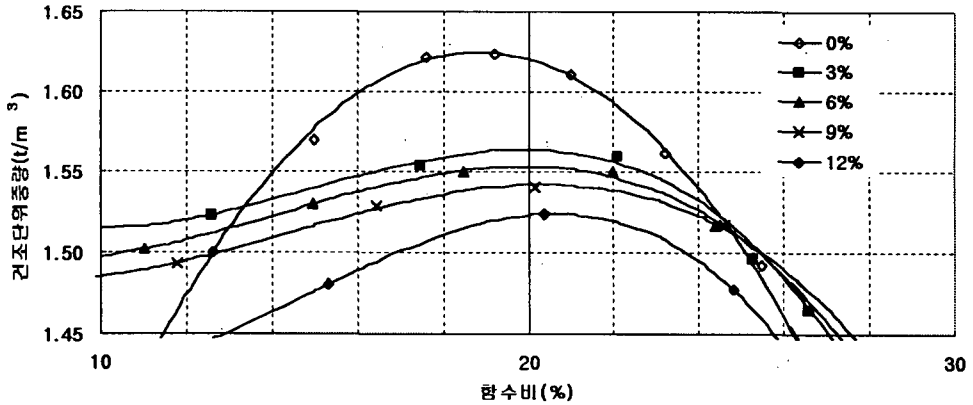


그림 3-16 생석회 혼합토의 다짐곡선

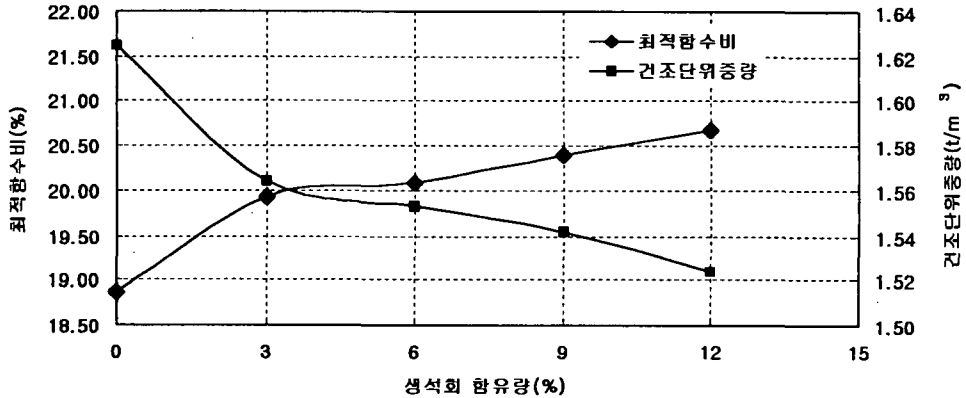


그림 3-17 생석회 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

마. 석고 혼합토의 다짐특성

벽체의 균열과 안정성을 목적으로 석고를 혼합하여 다짐시험을 행하였다. 석고의 혼합량은 흙의 중량비로 0.3%, 0.5%, 1.0%로 배합하여 시료를 조제한 후, 다짐시험을 행

하고 결과를 분석하였다.

그림3-18은 석고의 혼합비에 따른 다짐곡선을 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 생석회의 첨가로 인하여 건조중량은 자연시료에 비해 증가하는 것으로 나타났다.

석고를 혼합한 경우, 자연시료에 비해 건조단위중량은 0.62% ~ 2.46% 정도 증가하는 것으로 나타났으며, 최적함수비(OMC)는 -4.03% ~ 2.33% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 석고 혼합에 따른 건조중량과 최적함수비의 변화를 자연시료와 비교하면 그림 3-19와 같다. 석고의 혼합비가 0.5%일 때, 최대의 건조단위중량을 보이고 이 때의 최적함수비가 최소가 되는 것으로 나타났다. 생석회와 마찬가지로 과도한 석고의 혼합은 재료내부에 석고덩어리(ball)을 형성하게 되고 이는 차후에 벽체를 부풀게 하기 때문에 석고의 혼합은 약 0.5%정도가 타당한 것으로 사료된다.

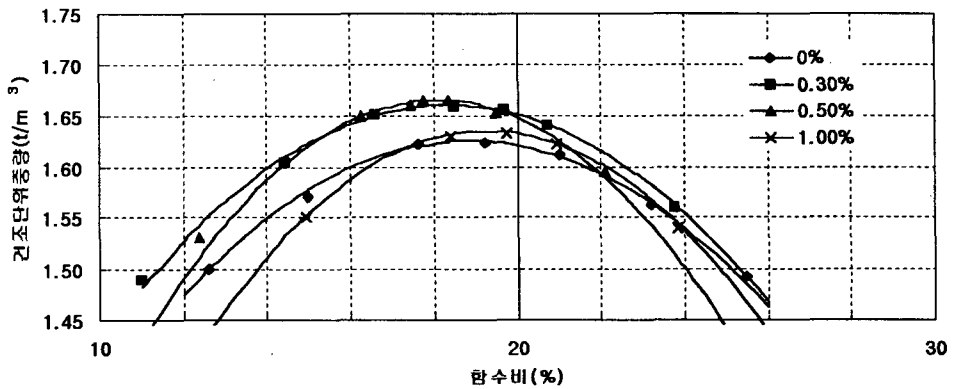


그림 3-18 석고 혼합토의 다짐곡선

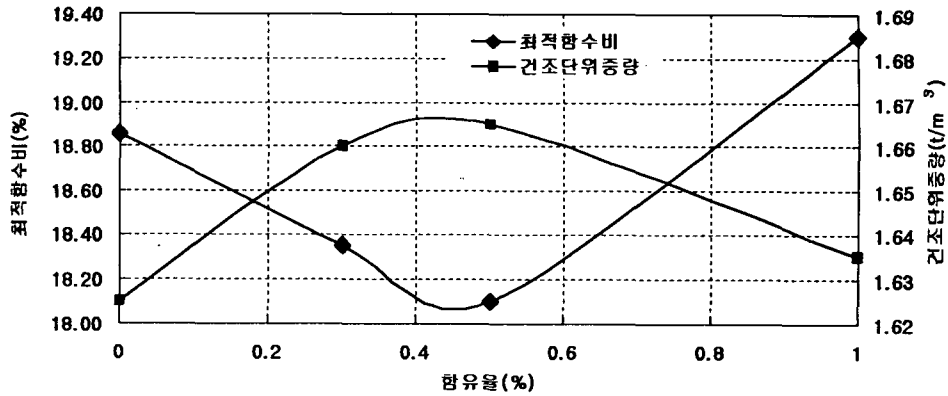


그림 3-19 석고 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

바. 고화제 혼합토의 다짐특성

벽체의 강도의 증진을 목적으로 고화제를 혼합하여 다짐시험을 행하였다. 고화제는 시멘트계의 비스타(Beestar)를 사용하였으며, 이는 분말형태로 물에 녹여 흙과 혼합하여 시료를 조제한 후 다짐시험을 행하였으며, 혼합비는 1.0%, 3.0%, 5.0%, 7.0%, 9.0%로 하였다.

그림 3-20은 고화제의 혼합비에 따른 다짐곡선을 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 생석회의 첨가로 인하여 건조중량은 자연시료에 비해 증가하는 것으로 나타났다.

고화제를 혼합한 경우, 자연시료에 비해 건조단위중량은 1.97% ~ 4.92% 정도 증가하는 것으로 나타났으며, 최적함수비(OMC)는 1.91% ~ 13.04% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 고화제 혼합에 따른 건조중량과 최적함수비의 변화를 자연시료와 비교하면 그림 3-21과 같다. 고화제의 혼합에 따라 건조단위중량은 급격한 증가를 보이고 있어 고화제의 혼합에 따른 강도의 증진 효과를 충분히 예측할 수 있다. 최적함수비는 고화제의 혼합에 따라 선형적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 고화제의 성분이 흙 속의 수분과 반응을 일으키기 때문으로 사료된다. 중량 측면에서는 고화제의 양을 충분히 사용하는 것이 바람직하지만, 고화제의 단가가 비싸고 다량의 고화제를 혼합하는 경우에는 내분 균열이나 표면할렬 등의 우려가 있기 때문에 고화제는 벽체재료로 사용할 경우에는 약 3% ~ 5%정도가 타당할 것으로 판단된다.

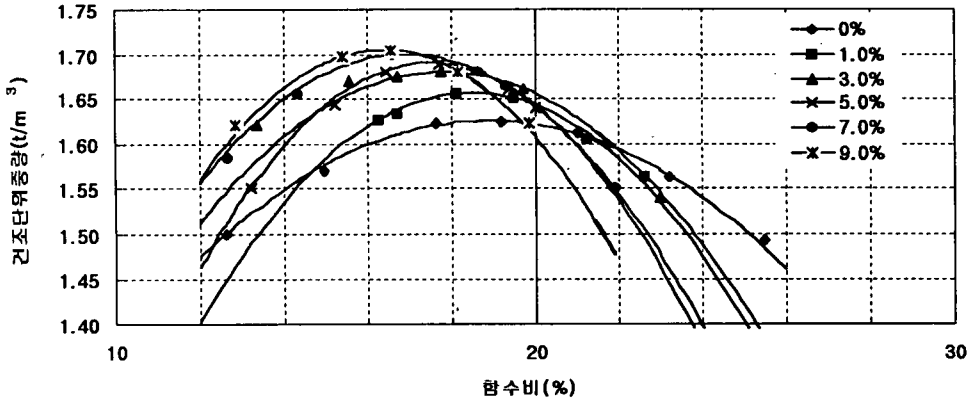


그림 3-20 고화제 혼합토의 다짐곡선

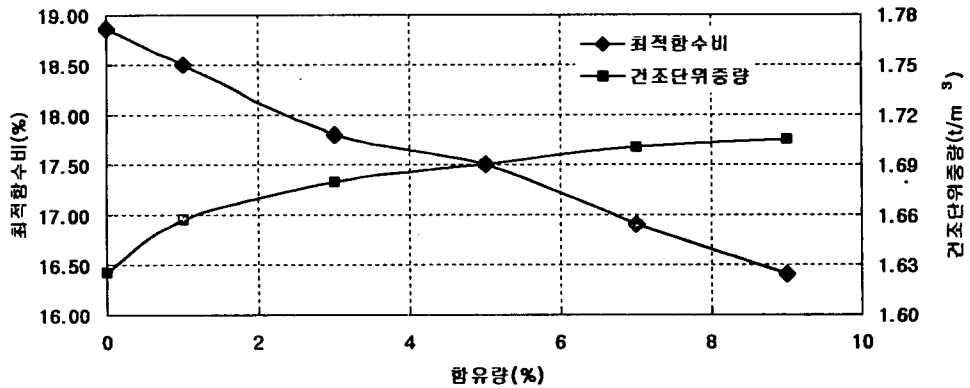


그림 3-21 고화제 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

사. 섬유 혼합토의 다짐특성

벽체의 균열과 내부균열을 방지하고 인장강도의 증진을 목적으로 섬유를 혼합하여 다짐시험을 행하였다. 섬유는 국내 S사의 폴리프로필렌(polypropylene)의 제품으로 단사형과 망사형을 사용하였으며, 혼합비는 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1.0%로 하였다.

섬유의 혼합에 따른 다짐곡선은 그림 3-22(단사형) 및 그림 3-23(망사형)와 같다. 섬유

의 혼합에 따른 건조단위중량은 자연시료보다 낮게 나타나고 있으며, 최적함수비는 자연시료보다 높게 나타나고 있다.

섬유의 혼합에 따른 건조단위중량은 자연시료에 비해 낮게 나타나는데, 단사형에서는 0.12% ~ 1.85%, 망사형에서는 0.62% ~ 2.03% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 최적함수비는 자연시료에 비해 높게 나타나는데, 단사형에서는 0.53% ~ 5.36%, 망사형에서는 1.06% ~ 3.92% 정도 높게 나타나고 있다. 이들의 관계를 도시하면 그림 3-24 및 그림 3-25와 같다.

단사형의 경우는 혼합량의 증가에 따라 건조단위중량의 감소나 최적함수비의 증가가 거의 선형적인 관계를 보이고 있으나, 망사형의 경우는 급격한 변화를 보이고 있는데, 이는 오프의 혼합에 있어 단사형이 망사형보다 혼합이 용이하기 때문으로 사료된다. 그러나, 콘크리트 등 비교적 함수량이 많은 경우에는 혼합이 용이한 망사형이 효과적인 것으로 보고되고 있다. 따라서, 섬유를 오프와 혼합하여 사용하는 경우 최적함수비 근처에서의 비빔은 망사형보다 단사형이 효과적인 것으로 판단된다. 또, 그 사용량은 섬유의 양을 많이 할수록 벽체의 자중을 줄일 수 있는 이점이 있으나, 비비기, 타설 등의 시공성에 문제점이 있고, 마감처리 등이 문제가 되기 때문에 다짐측면에서는 0.3% ~ 0.5%가 적당할 것으로 사료된다.

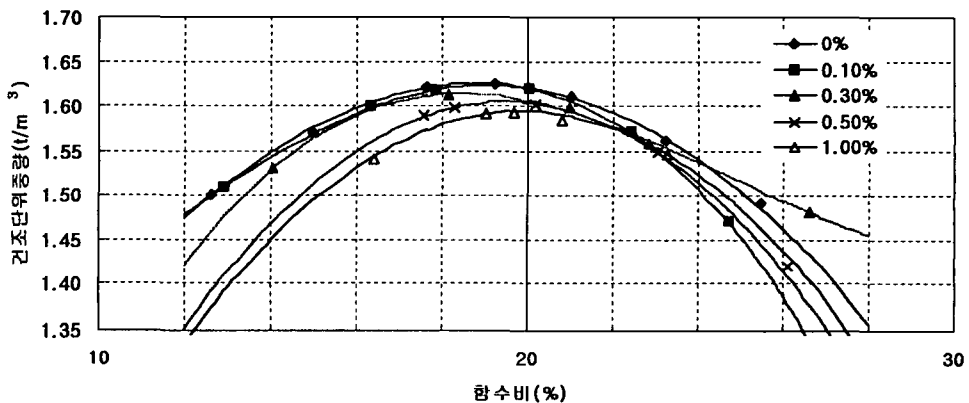


그림 3-22 섬유(단사) 혼합토 다짐곡선

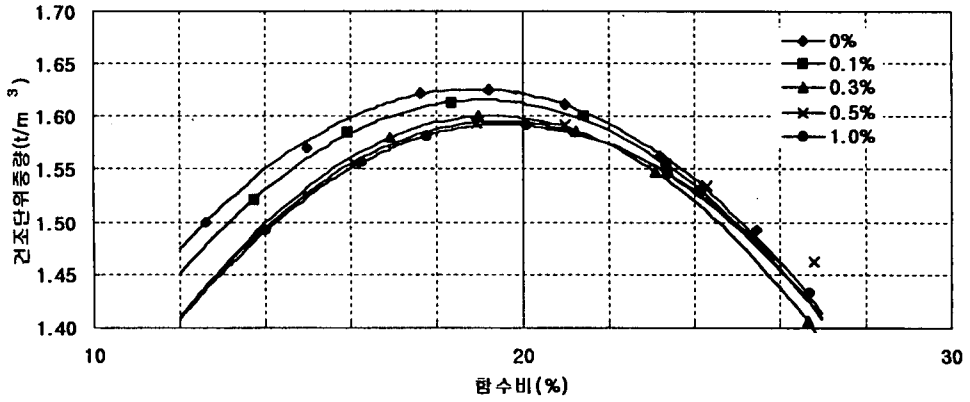


그림 3-23 섬유(망사) 혼합토 다짐곡선

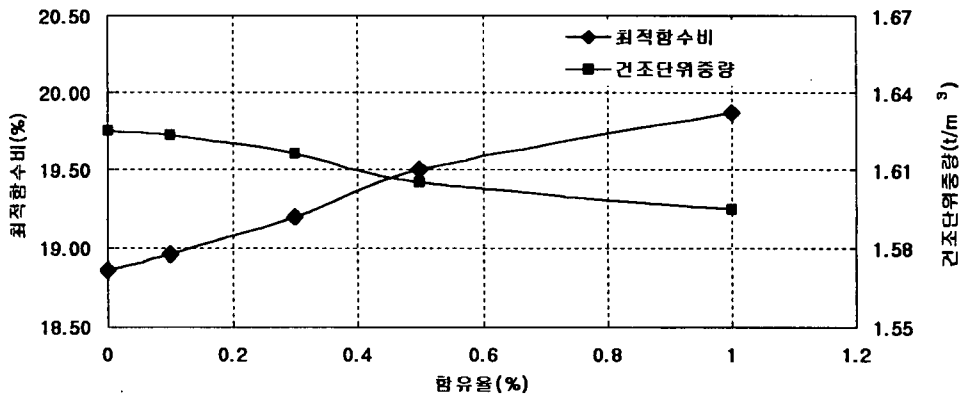


그림 3-24 섬유(단사) 혼합토의 건조단위중량 및 최적함수비

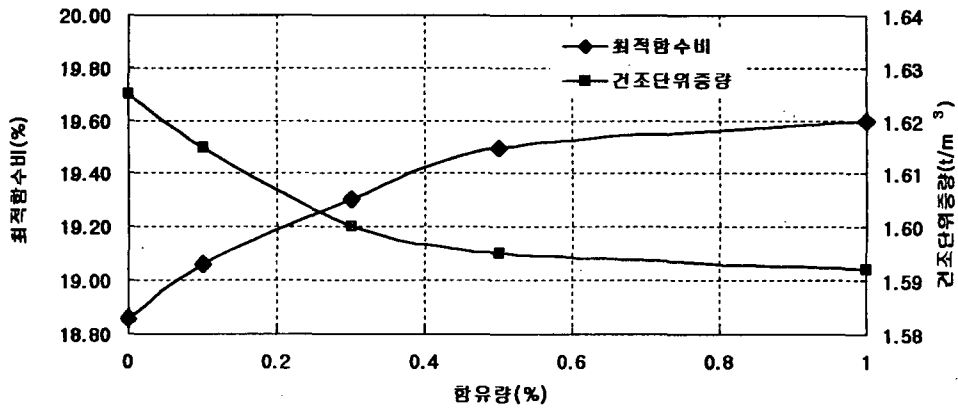


그림 3-25 섬유(망사형) 혼합토의 건조단위증량 및 최적함수비

3. 자연시료 및 혼합토의 체적변화

일반적으로 흙을 재료로 사용하는 경우, 균열 또는 수축은 흙 속에 있는 수분의 증발에 따라 발생하게 되는 것은 당연한 일이다. 벽체의 제작 또는 타설 후 벽체의 균열은 재료의 수축에 따른 체적변화에 기인하게 된다. 그러나, 과도한 균열이나 틈새는 외관적 모양새 뿐만 아니라 여러 측면에서 나쁜 영향을 미치게 되므로 가능한 재료의 수축을 줄일 수 있는 방법을 강구하는 것이 마땅할 것이다.

본 연구에서는 흙이 가지는 단점 중의 하나인 수축에 의한 균열을 줄이기 위하여 몇 종류의 첨가제를 사용하여 건조시간에 따른 체적변화를 측정하였다.

흙의 특성상 모래질을 많이 함유한 경우에는 체적의 변화가 적은 반면 시공성이 나빠진다. 이를 보완하기 위하여 옛날에는 짚이나 말총과 같은 수염 종류를 사용하여 균열이 작게 발생하도록 사용하였으나, 이는 균열의 확산으로 인한 것일 뿐 체적변화 자체를 제어하는 기능은 없다고 할 수 있다. 따라서, 최근에는 토목섬유, 유리섬유 등의 화이버를 이용하여 균열을 넓게 확산분포시킬 뿐만 아니라 팽창제 등을 사용하여 체적변화 자체를 제어하는 방법을 연구하고 있다.

가. 자연시료의 체적변화

자연시료의 체적변화는 건조시간에 따라 2.18%~6.71% 정도 수축하는 것으로 나타났다. 특히, 공시체의 제작 후 급격한 체적의 변화가 발생하여 건조시간 7일까지 거의 수축이 완료되어 건조시간 28일의 약 96% 까지 수축하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 다른 시료에서도 거의 비슷한 양상을 보이고 있으므로 최종 수축량의 추정에는 약 7일 정도의 양생으로도 가능할 것으로 판단된다. 공시체를 제작한 직후 60℃ 건조로에 24시간 건조시킨 후 공기건조시켰으며 공기건조는 일주일 정도면 공시체가 거의 건조된다고 할 수 있다. 따라서 여기서 건조시간이라 함은 공시체 제작직후 24시간 60℃ 건조로에 공시체를 건조시킬 때부터의 건조완료시까지의 시간을 말한다.

나. 시멘트 혼합토의 체적변화

시멘트 혼합토는 다짐시험에서 행한 혼합비를 적용하여 수축량을 측정하였다. 측정 결과 자연시료와 비슷한 경향을 보이고 있으나, 28일 양생 후의 체적변화율은 자연시료의 약 53.8%~17.1% 정도로 나타났다. 시멘트의 혼합량이 많을수록 체적의 변화도 적게 되는 것을 볼 수 있다.

그림 3-26은 자연시료 및 시멘트 혼합토의 체적변화율을 건조시간에 따라 도시한 것이다.

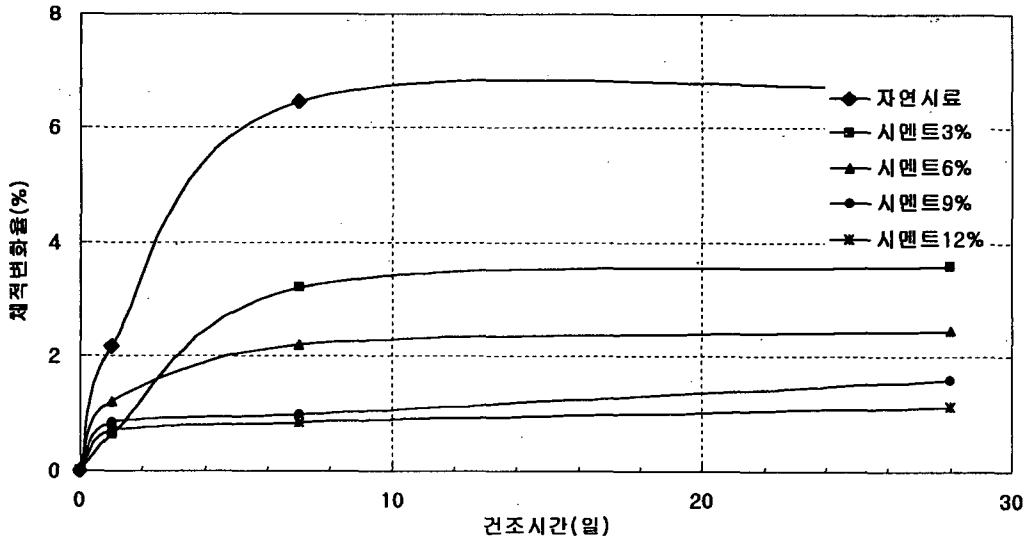


그림 3-26 자연시료 및 시멘트 혼합토의 체적변화율

다. 생석회 혼합토의 체적변화

생석회의 혼합에 따른 체적변화율을 도시하면 그림3-27과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 생석회의 혼합에 따라 체적변화가 상당히 감소되는 것을 알 수 있다. 특히, 생석회의 혼합비가 12% 근처가 되면 건조시간에 따라 체적이 오히려 늘어나는 것을 볼 수 있다. 옛날에는 흙 벽을 심벽으로 타설하는 경우에는 소석회를 혼합하여 사용하였는데 그 이유는 위에서 언급한 바와 같이 석회가 흙 속에서 반응하면서 체적의 팽창을 일으키기 때문이다. 그러나, 과도한 혼합은 흙 속에서 석회 덩어리(ball)를 형성하여 나중에 양생과정에서 벽이 피거나 불록하게 솟구치는 원인이 되므로 피해야 할 것이다.

생석회 혼합토의 체적변화율은 자연시료의 약 36.1%~6.4%정도로 나타났으며, 생석회의 혼합에 따라 체적의 변화가 급격하게 감소하는 것으로 나타났으며, 혼합비의 증가에 따라서도 체적의 변화가 줄어드는 것을 알 수 있다.

따라서, 생석회를 혼합하여 체적의 변화를 줄이고자 할 경우에는 약 3%~9%가 적당할 것으로 판단된다.

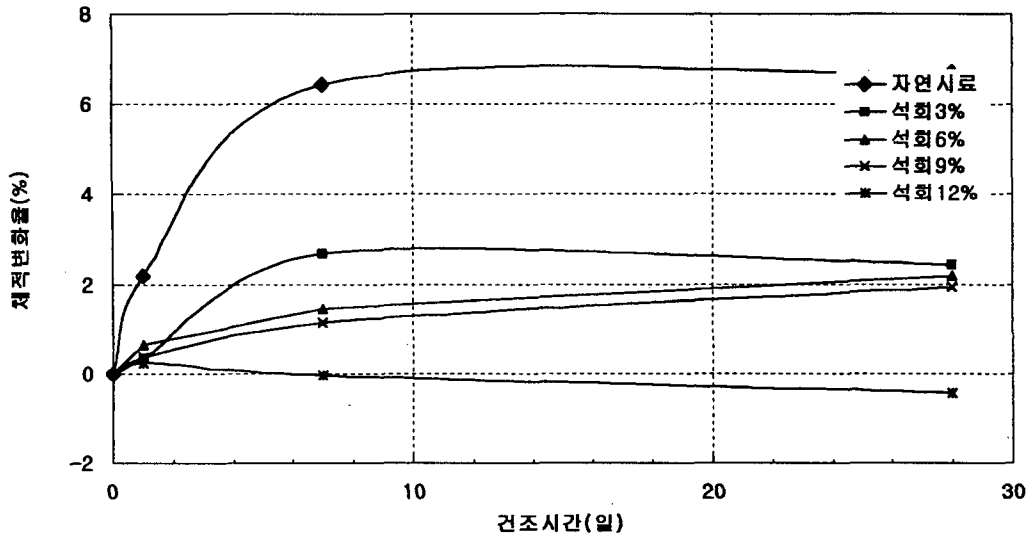


그림 3-27 생석회 혼합토의 체적변화율

라. 마그네시아 혼합토의 체적변화

마그네시아 혼합토의 체적변화는 자연시료의 체적변화와 양상은 비슷하게 나타나고 있으나, 그 내용을 보면 상당한 차이를 보이고 있다. 혼합비가 5%미만인 경우에는 자연시료의 체적변화보다 작게 나타나지만 그 이상의 혼합비에서는 자연시료보다 체적변화가 심하게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히, 1% 혼합에서는 건조시간 28일때의 체적이 7일의 체적보다 늘어나는 것으로 나타났다.

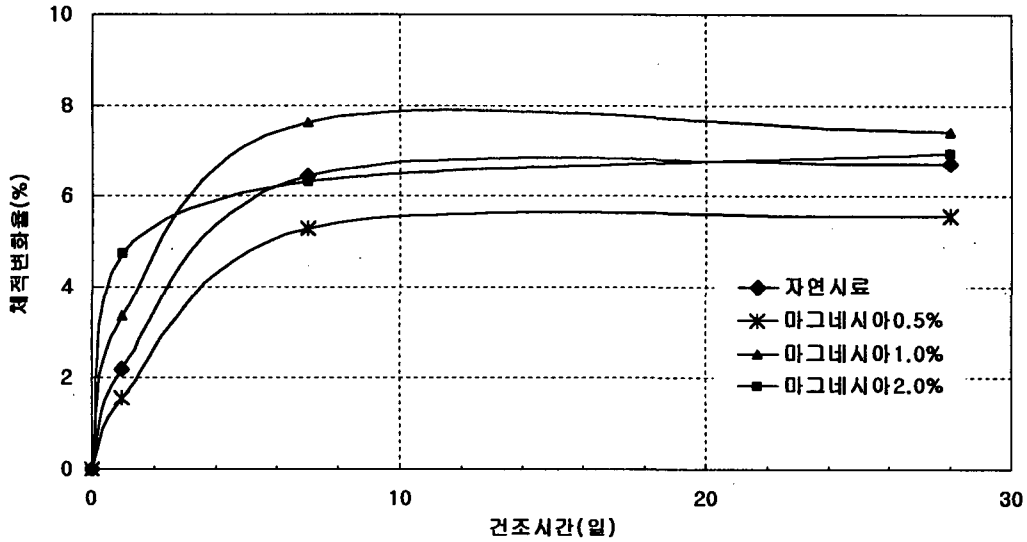


그림 3-28 마그네시아 혼합토의 체적변화율

마. 섬유 혼합토의 체적변화

섬유 혼합토의 체적변화율은 현재 측정이 계속되고 있는 관계로 측정이 완료된 자료를 바탕으로 도시하면 그림 3-29 및 그림 3-30과 같다.

섬유 혼합토의 경우, 단사형인 경우에는 7일 건조시간을 기준으로 자연시료의 약 62.6%~74.3%정도의 수축이 일어나는 것으로 나타났다. 또한, 섬유의 혼합량이 많을수록 체적의 변화가 줄어드는 경향을 보이고 있다.

단사형과 망사형을 비교한 결과는 아직 정확한 결과를 알 수 없으나, 개략적인 경향을 비교해 보면 단사형보다 망사형이 45.0%~83.5% 작은 것으로 보아 수축방지 측면에서는 망사형이 효과적인 것을 알 수 있다.

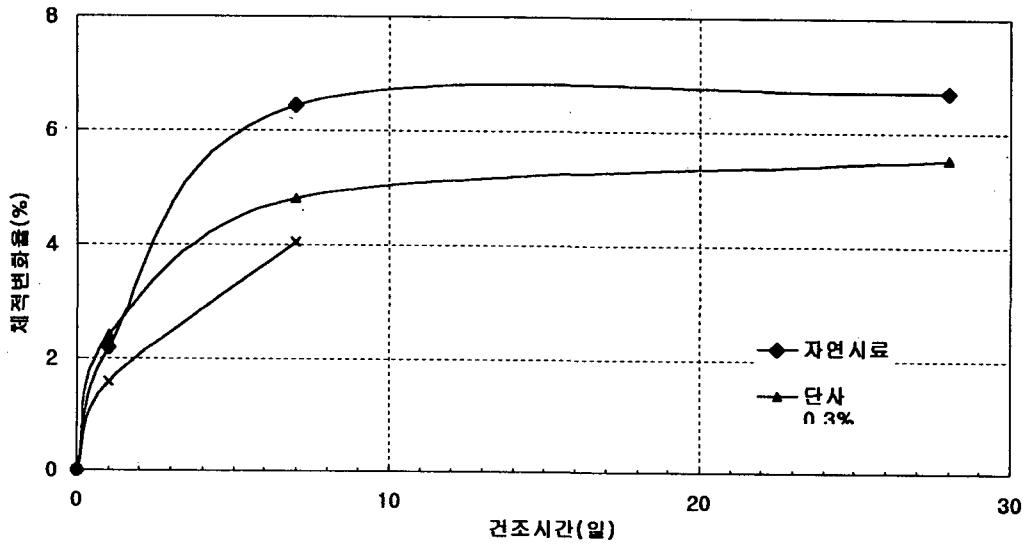


그림 3-29 섬유(단사형) 혼합토의 체적변화

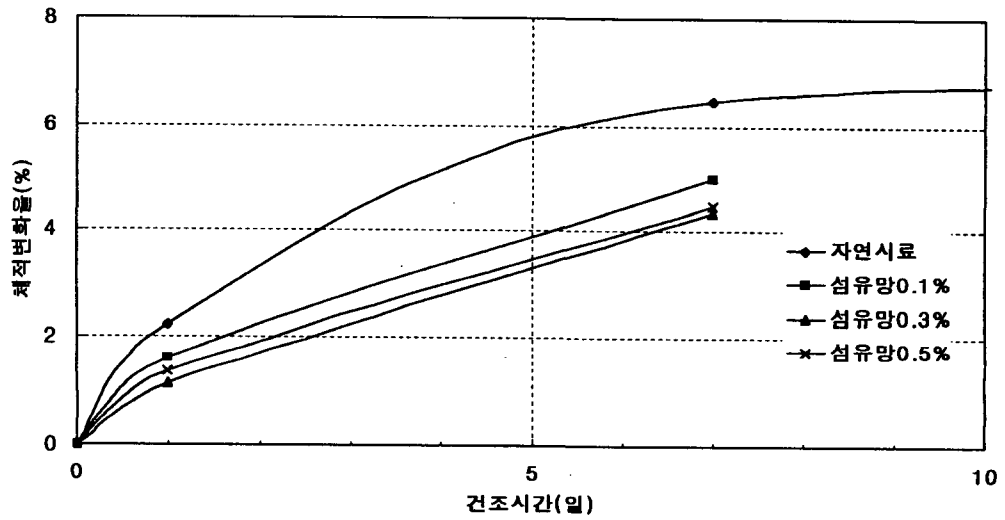


그림 3-30 섬유(망사형) 혼합토의 체적변화

그 밖에 고화제 혼합토 및 석고 혼합토의 체적변화율을 도시하면 그림 3-31 및 그림 3-32와 같다.

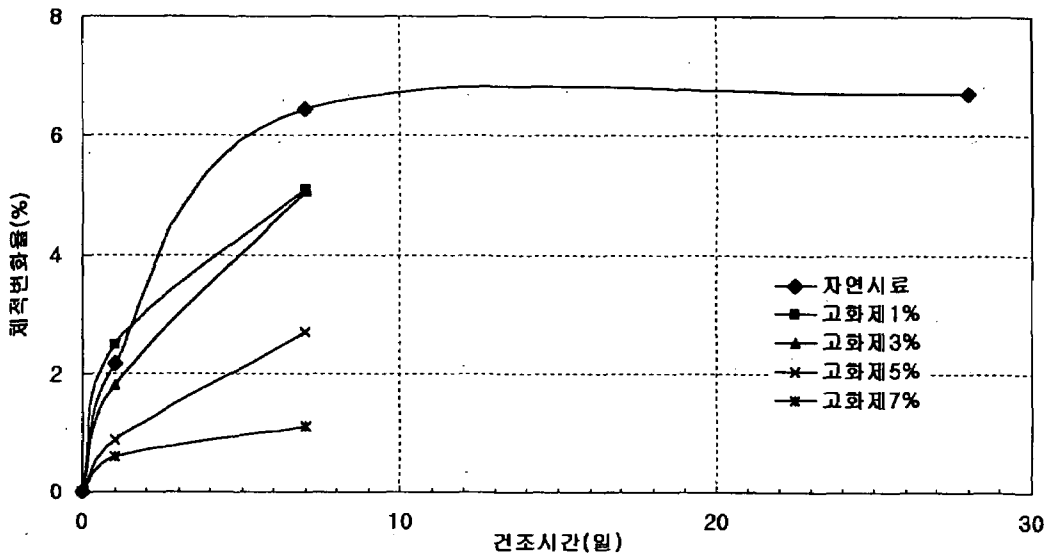


그림 3-31 고화제 혼합토의 체적변화율

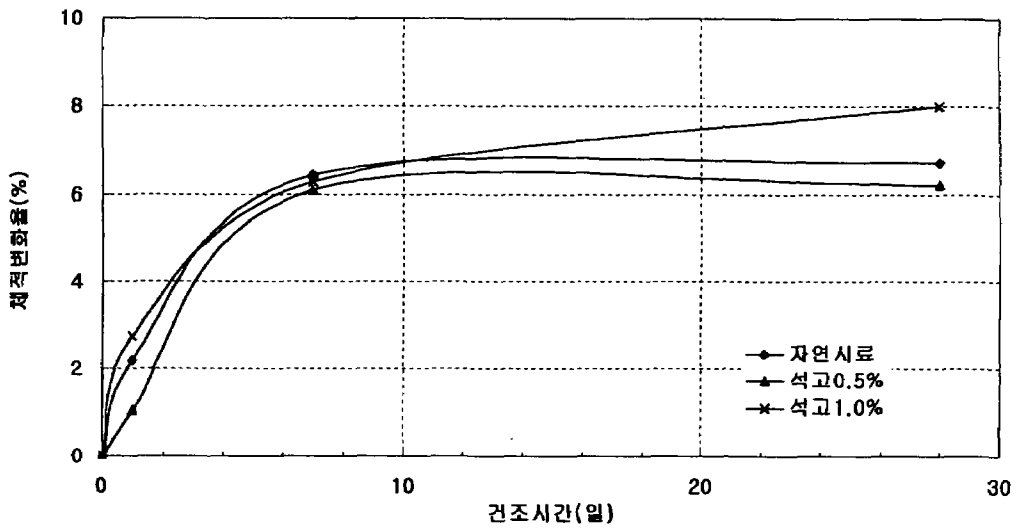


그림 3-32 석고 혼합토의 체적변화율

4. 요약 및 결론

보강토의 다짐특성을 통하여 보강재료의 최적의 혼합비를 제시하기 위하여 자연 흙과 혼합토의 다짐특성과 체적변화에 대한 일련의 시험을 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 가. 수원에서 채취한 무보강 시료의 최적함수비(OMC)는 약 18.9 % 정도, 최대건조밀도(γ_{dmax})는 1.625 t/m³ 정도로 일반적인 산토의 다짐특성을 보이는 것으로 나타났다.
- 나. 각 보강재료를 혼합하여 다짐시험을 실시하였고 정도의 차이는 있으나 각 보강제에서 건조단위중량의 증가와 최적함수비의 감소가 나타났다. 시멘트는 약 9.0%, 마그네시아 1.0%, 생석회 약 3.0~9.0%, 석회 0.5%, 고화제 약 3.0%~5.0% 가 적정한 혼합비인 것으로 나타났다.
- 다. 섬유혼합토의 경우는 자연시료에 비하여 건조단위중량이 약간 감소하는 것으로 나타났으며, 혼합비는 0.3%~0.5%가 적정한 것으로 나타났다.
- 라. 자연시료의 체적변화는 건조시간에 따라 2.18%~6.71% 정도 수축하는 것으로 나타났으며, 공시체의 제작 후 급격한 체적의 변화가 발생하여 건조시간 7일까지 거의 수축이 완료되어 건조시간 28일의 약 96% 까지 수축하는 것으로 나타났다.
- 마. 자연시료에 보강재료를 혼합한 경우에 혼합비에 따른 차이는 있으나 체적변화율이 감소함을 알 수 있다.

제 6 절 보강토의 전단강도 및 균열 특성

1. 서론

흙벽체의 요구조건 중에서 압축강도는 가장 중요한 요소이다. 이는 흙의 다짐특성과 관련이 있으며, 시공시의 함수비, 시공조건, 시공방법 등에 따라 상당한 차이가 나는 것이 일반적이다. 그러나, 비내력벽으로 사용되는 흙벽의 경우에는 강도이외의 다른 요소가 벽체의 조건으로 작용하기 때문에 최종적으로 결정되는 요소는 흙벽의 용도와 내구연한 등에 따라 여러 가지 조건중에서 우선적으로 채택하는 조건에 적합하도록 각종 첨가제의 혼합비를 선정하여야 할 것이다.

본 연구에서는 다른 요소는 차후에 검토하기로 하고, 우선적으로 흙벽의 강도가 요구되는 곳에 사용할 수 있도록 공시체를 제작하여 건조시간에 따라 일축압축강도를 측정하였다. 공시체는 다짐시험의 결과에서 구한 최적함수비 상태에서 표준다짐을 행하여 직경 10.0cm, 높이 12.7cm로 제작하여 양생기간(건조시간 0일, 1일, 7일, 28일)을 달리하여 일축압축시험을 행하고, 각 시료의 혼합상태, 양생기간에 따라 압축강도를 분석하였다. 이 때, 혼합비는 다짐시험에 행한 배합비를 사용하였다.

동시에 흙벽은 강도뿐 만 아니라 외벽의 균열도 문제가 되는 경우가 있으므로, 몇 종류의 첨가제의 배합비에 따른 균열특성도 분석하였다.

2. 자연시료 및 섬유혼합토의 전단특성

가. 재료 및 시험방법

1)재료

본 연구에 사용된 흙시료는 수원시료와 발안시료를 사용하였으며 보강재로는 섬유를 사용하였다. 섬유는 단사인 경우 폴리프로필렌 PF 119 type을 사용하였고, 섬유의 길이 6mm, 12mm, 19mm이다. 또한 망사는 PM 119 type으로 12mm, 25mm, 38mm를 사용하였다.

2)시험방법

자연시료와 섬유혼합된 흙의 전단강도 특성을 분석하기 위해 그림 3-33과 같은 ELE-type 직접전단 시험기를 사용하였으며 시료는 다음과 같은 순서에 의해 성형하였다.

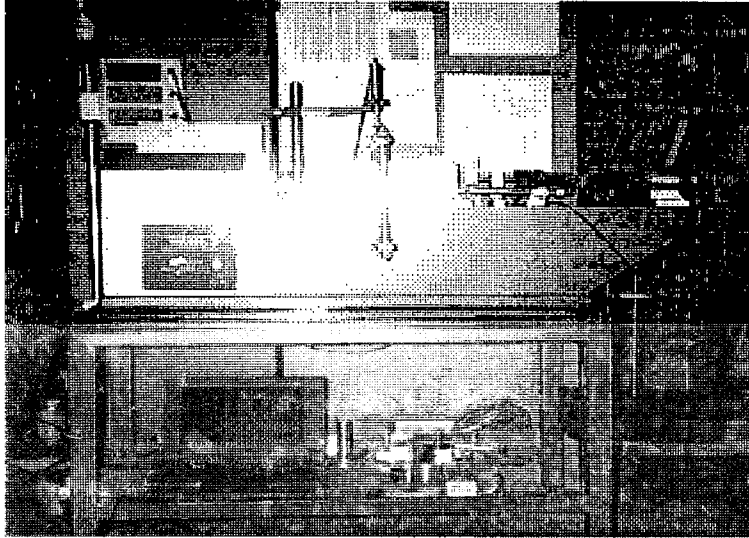


그림 3-33 직접전단시험기

먼저 본 연구에 사용된 전단상자의 크기는 가로, 세로가 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 이고 두께가 5cm 이다. 또한 시료는 노건조된 시료를 사용하였으며 각 흙의 다짐시험에 의해 구한 최적함수비(OMC) 상태로 흙과 보강재를 혼합하였다. 이때 사용된 다짐에너지는 표준다짐 에너지 즉, 3층으로 매층당 50회의 타격을 가하였다.

흙과 섬유를 혼합하게 되면 흙속에서 섬유가 서로 엉키는 현상이 발생하게 되는데, 이러한 엉킴현상은 섬유혼합 보강토의 역학적 특성을 저하시키는 결과를 야기시킨다. 따라서 섬유혼합 보강토에서는 흙과 섬유의 적절한 혼합이 상당히 중요한 인자로 평가될 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 실험결과의 오차를 줄이기 위해 각종 다짐공시체 제조시 손으로 흙과 섬유를 혼합함으로써 섬유가 흙 속에서도 보다 균등하게 분포될 수 있도록 하였으며, 다른 한편으로는 향후 현장 적용성을 고려하여 효율적인 흙+섬유 혼합장비를 도입하여 흙 속에서의 섬유의 엉킴을 최소화할 수 있도록 보완하였다. 흙+섬유 혼합장비는 그림 3-34와 같다. 그림에서 보듯이, 이 혼합장비는 상하로 회전하는 8개의 $10\text{cm} \times 2\text{cm}$ 크기의 날개판

(blade)에 의해 흙과 섬유를 흠뻑려주고 서로 엉키기 시작하는 섬유 덩어리들은 시료통 벽면에 부착된 4개의 고정 날개판(10cm×2cm 크기)과 회전 날개판 사이에서 흠어질 수 있도록 되어 있다. 또한 섬유의 엉킴을 최소화하기 위해 흙과 섬유가 혼합되는 동안 일정량의 섬유가 지속적으로 공급될 수 있도록 공기분사 시스템으로 섬유를 시료통내로 주입하도록 되어 있으며, 섬유 길이를 자동으로 조절하여 절단할 수 있는 시스템이 장착되어 있다.

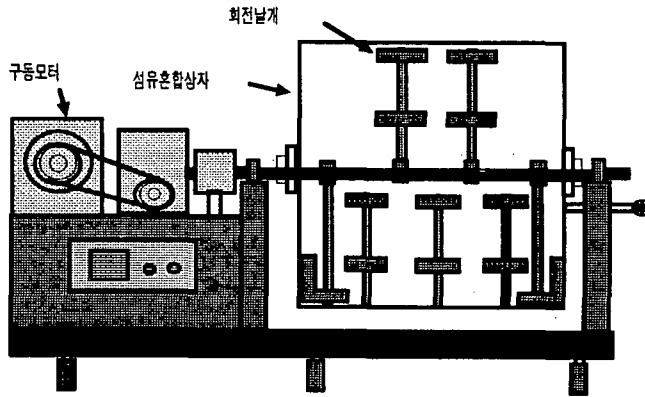


그림 3-34 흙+섬유 혼합장비

나. 시험결과

1) 섬유를 혼합하지 않은 흙의 전단특성

흙의 함수비에 따른 전단강도의 변화는 그림 3-35와 같다. 그림에서, 함수비가 증가함에 따라 전단강도가 감소하였으며, 특히 함수비가 약 21% 이상에서 전단응력이 급격히 감소하였다.

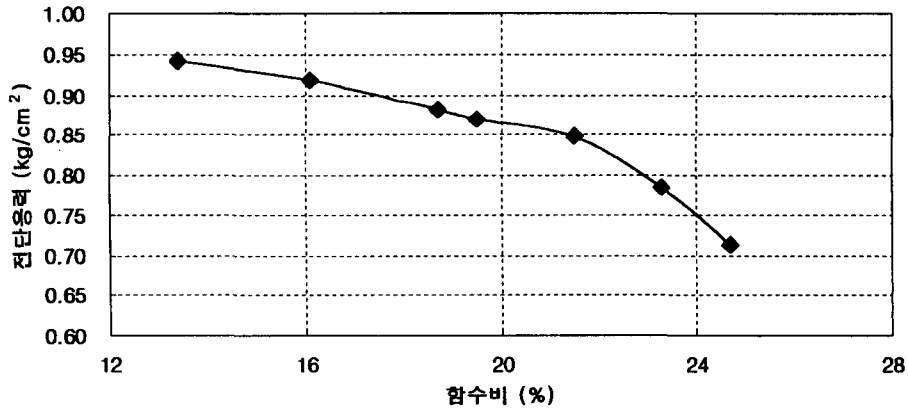


그림 3-35 함수비에 따른 전단응력의 변화($\sigma = 1\text{kg/cm}^2$, 수원시료)

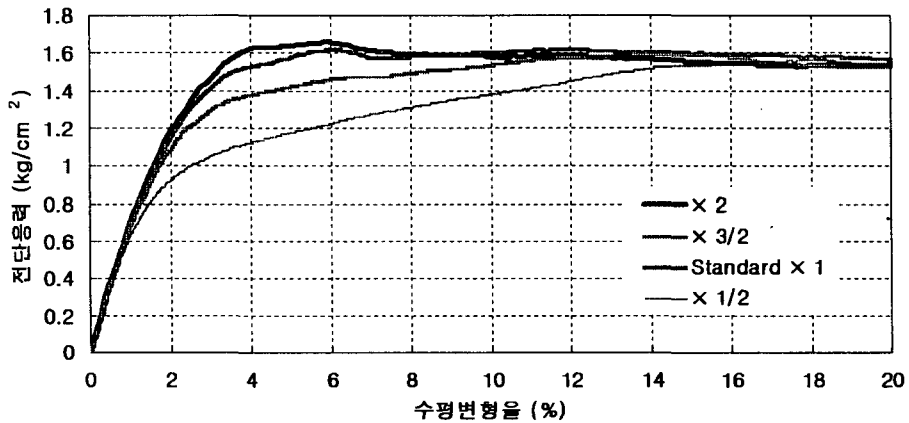


그림 3-36 다짐에너지에 따른 전단응력의 변화 (OMC, $\sigma = 2\text{kg/cm}^2$, 수원시료)

다짐에너지에 대한 전단강도의 변화는 그림 3-36과 같은데, 다짐에너지가 증가함에 따라 전단응력이 증가하였고 다짐에너지가 낮을수록 체적변화는 정규압밀 거동을 보였으며, 표준다짐에너지의 2배인 경우는 그림 3-37과 같이 과압밀거동을 보였다.

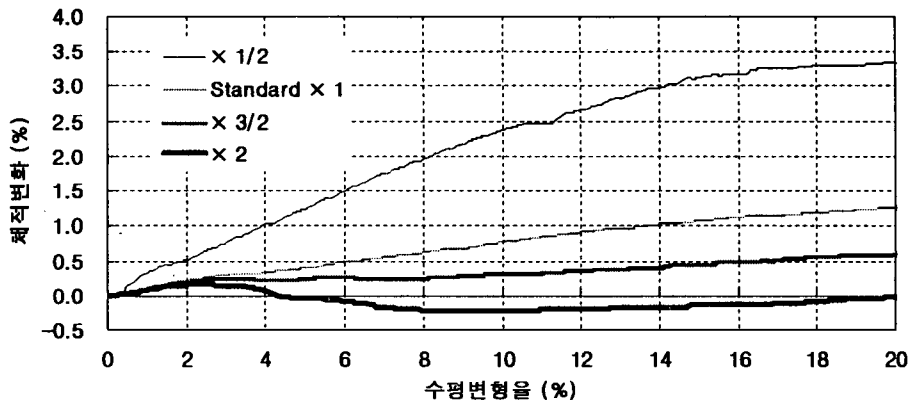


그림 3-37 다짐에너지에 따른 체적변화 (OMC, $\sigma = 2\text{kg/cm}^2$, 수원시료)

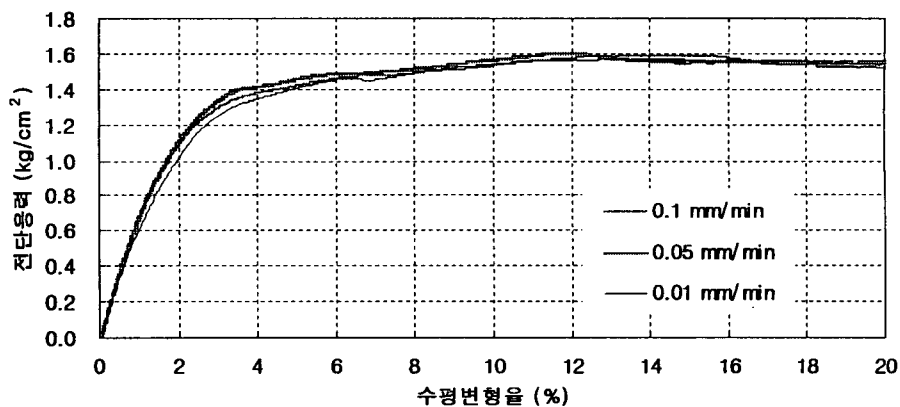


그림 3-38 전단속도에 따른 전단응력의 변화 (OMC, $\sigma = 2\text{kg/cm}^2$, 수원시료)

전단속도에 의한 영향을 살펴보기 위해 전단상자의 전단속도를 분당 0.1mm, 0.05mm, 0.01mm의 3가지 속도로 시료를 전단시켰다. 그 결과는 그림 3-38과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 전단속도에 따른 전단응력의 차이는 거의 나타나지 않았다.

각각의 구속응력(수직응력)에 따른 전단강도의 변화는 그림 3-39와 같으며 그 결과를 표 3-19에 정리하였다. 수원시료의 점착력과 내부마찰각은 각각: 0.33kg/cm^2 , 30.3° 였으며, 발

안시료의 점착력과 내부마찰각은 각각 0.27 kg/cm^2 , 33.6° 로, 점착력은 수원시료가 약간 크게 나왔고 내부마찰각은 발안시료가 더 크게 나왔다.

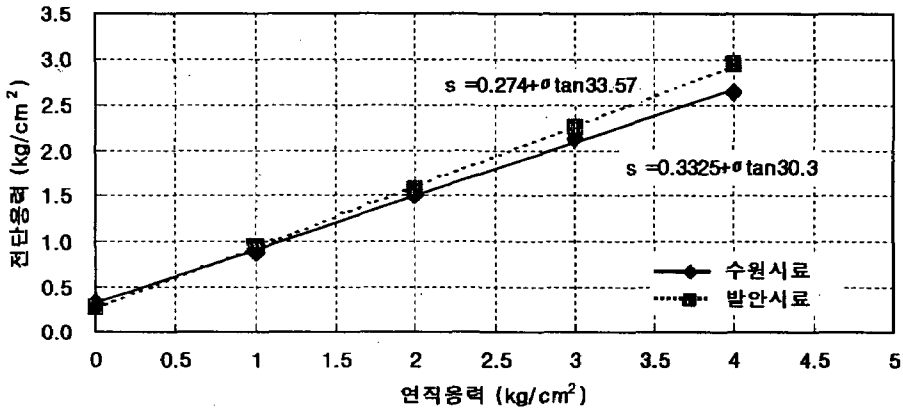


그림 3-39 전단응력-연직응력 관계 (OMC, 수원 및 발안시료)

표 3-19 흙시료에 대한 직접전단시험 결과

구분	점착력 (Cohesion, kg/cm^2)	내부마찰각 (Internal friction angle, degree)
수원시료	0.33	30.3
발안시료	0.27	33.6

2) 섬유혼합토의 전단특성

섬유혼합비의 영향을 살펴보기 위해 섬유혼합비를 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1.0%로 각각 증가시켜 시험을 실시하였다.

그림 3-40은 단사혼합비에 따른 전단응력의 변화로, 흙은 수원시료를 사용하였으며 연직응력은 1 kg/cm^2 이다. 이때 사용된 단사의 길이는 6mm와 12mm를 사용하였다. 또한 그림 3-41은 연직응력을 2 kg/cm^2 으로 사용하였을 때 동일한 흙에 혼입된 망사혼합비에 따른 전단응력의 변화를 도시한 결과로써, 사용된 망사의 길이는 12mm와 19mm이다. 그림에서 섬유의 혼합비가 증가함에 따라 전단응력이 증가하였고, 혼합비 1.0%일 때 전단응력이 가장 높고, 단사

12mm는 약 9%, 단사 6mm는 약 6%의 강도증가가 있었다. 따라서 단사 12mm가 단사 6mm보다 효과가 좋은 것으로 나타났다. 망사인 경우에도 12mm보다 19mm가 더 효과가 좋았다.

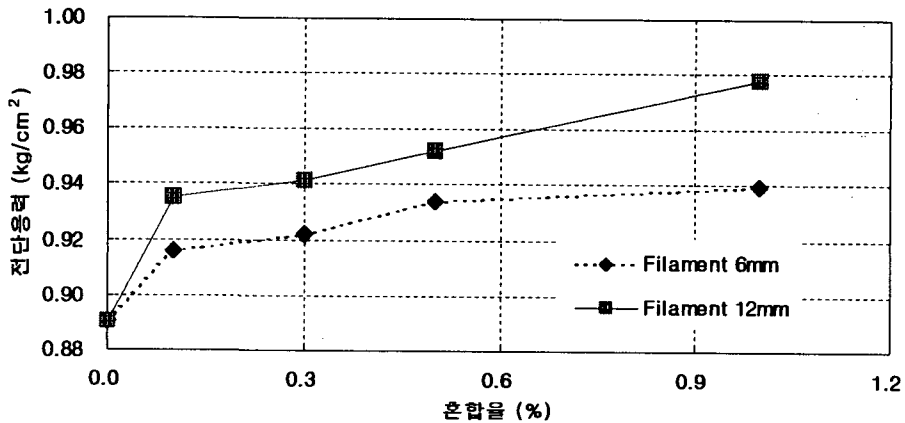


그림 3-40 단사 혼합율에 따른 전단응력의 변화 (OMC, $\sigma = 1\text{kg/cm}^2$, 수원시료)

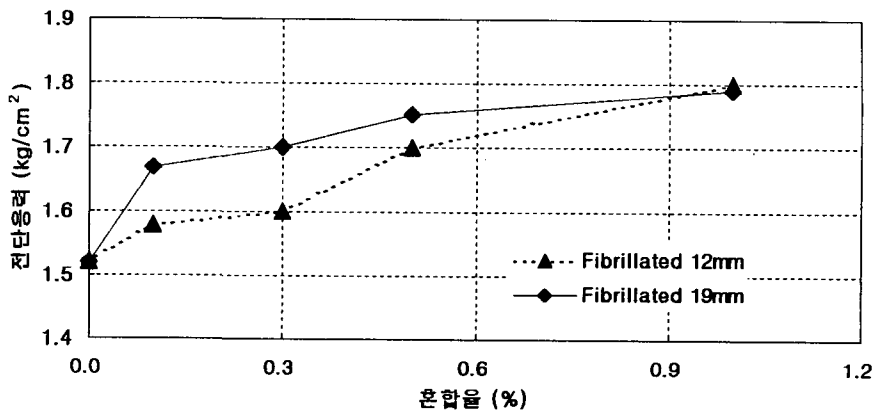


그림 3-41 망사 혼합율에 따른 전단응력의 변화 (OMC, $\sigma = 2\text{kg/cm}^2$, 수원시료)

그림 3-42와 그림 3-43은 섬유형태 및 길이에 따른 전단강도의 영향을 살펴보기 위해 전단강도 시험을 실시한 결과이다. 그림에서, 단사인 경우 단사 12mm가 전단응력이 가장 높고,

망사인 경우 망사 19mm가 가장 높게 나타났다.

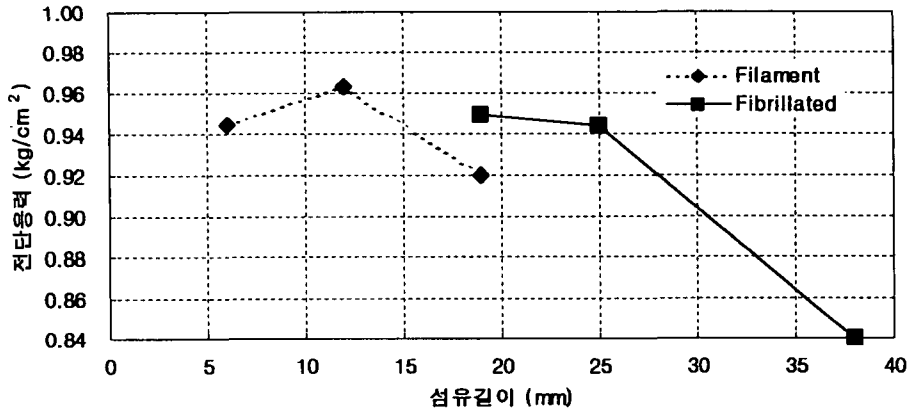


그림 3-42 섬유길이에 따른 전단응력의 변화 (0.5%의 혼합율, OMC, $\sigma = 1 \text{ kg/cm}^2$, 수원시료)

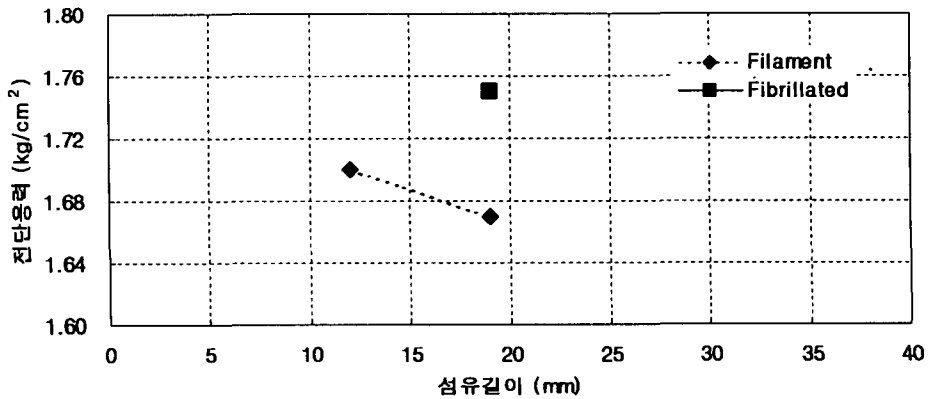


그림 3-43 섬유길이에 따른 전단응력의 변화 (0.5%의 섬유혼합율, OMC, $\sigma = 2 \text{ kg/cm}^2$, 수원시료)

구속응력 증가에 따른 전단응력의 변화는 그림 3-44, 그림 3-45와 같고 그 결과를 표 3-20에 정리하였다. 그림에서 섬유의 혼합량이 증가함에 따라 파괴포락선의 기울기가 증가하였고, 섬유혼합율이 0.1%의 경우에는 점착력이 비보강 흙의 점착력보다 크게 증가하였다. 그러나

나머지 경우에 대해서는 약간 감소하였다. 또한 망사19mm가 단사19mm보다 점착력과 마찰각이 증가하였다.

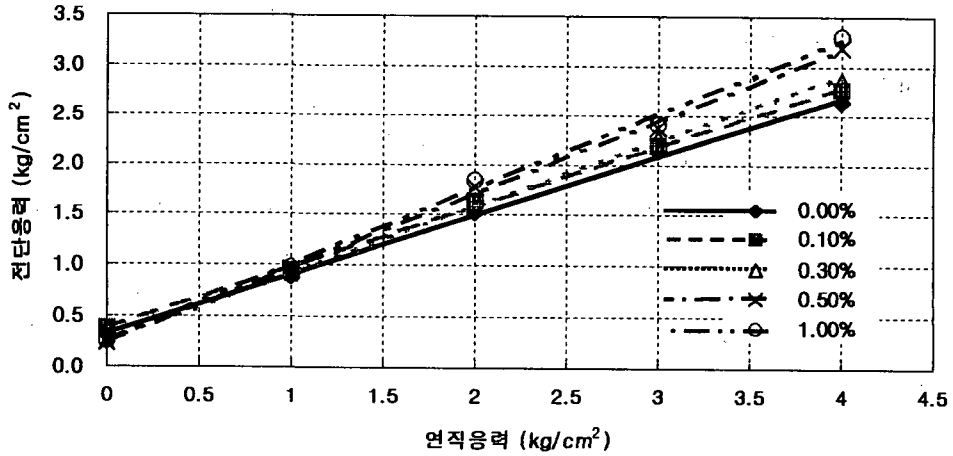


그림 3-44 단사 12mm의 혼합율에 따른 $\sigma - \tau$ 관계 (수원시료)

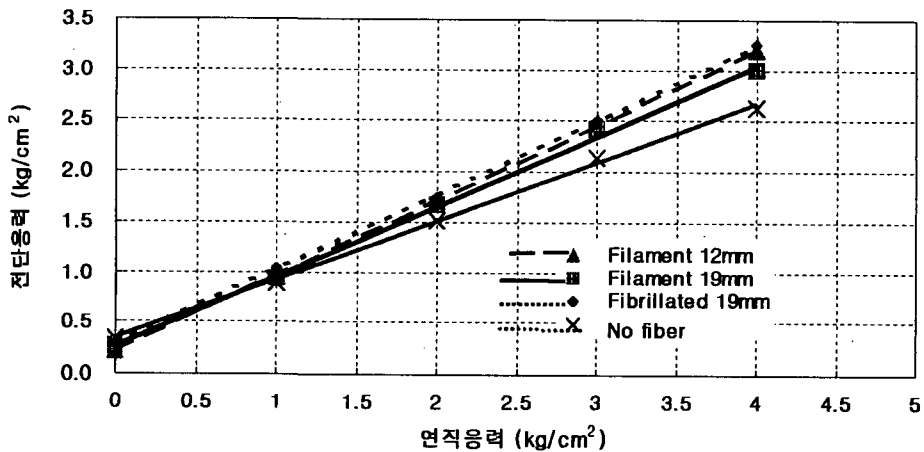


그림 3-45 섬유 형태의 따른 $\sigma - \tau$ 관계 (섬유혼합율 0.5%, 수원시료)

표 3-20 섬유혼합도에 대한 직접전단시험 결과

구분	섬유		점착력 (kg/cm ²)	내부마찰각 (degree)
	섬유형태	섬유혼합율(%)		
수원시료	단사 12mm	0.1	0.37	31.1
		0.3	0.25	33.5
		0.5	0.24	36.2
		1.0	0.25	37.0
	단사 19mm	0.5	0.27	34.8
	망사 19mm	0.5	0.29	36.4
발안시료	-	-	0.27	33.6

3. 자연시료 및 혼합토의 강도특성

가. 수원시료의 강도특성

수원시료의 최적함수비 상태에서 제작한 공시체의 건조시간에 따른 압축강도를 도시하면 그림 3-46과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 자연 흙으로 공시체를 제작하는 경우에는 약 7일 정도가 경과하면 거의 건조상태에 도달하여 약 12 kg/cm² 정도의 강도를 나타내는 것으로 나타났다. 또, 건조시간 28일 강도와 비교하면 7일 이후의 건조에 따른 압축강도 증가는 약 7%정도로 거의 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 또, 공시체의 피크(peak)시의 변형율을 보면 건조시간이 길수록 점차 작은 변형에서 파괴되는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 흙재료를 사용하는 구조물에서 거의 비슷한 양상을 보이고 있는 것이 특징이다. 그러나, 짚이나 여물, 섬유 등을 첨가하는 경우에는 인성의 증가로 인하여 상당한 변위에도 강도가 유지되며 동시에 잔류강도도 크게 나타난다.

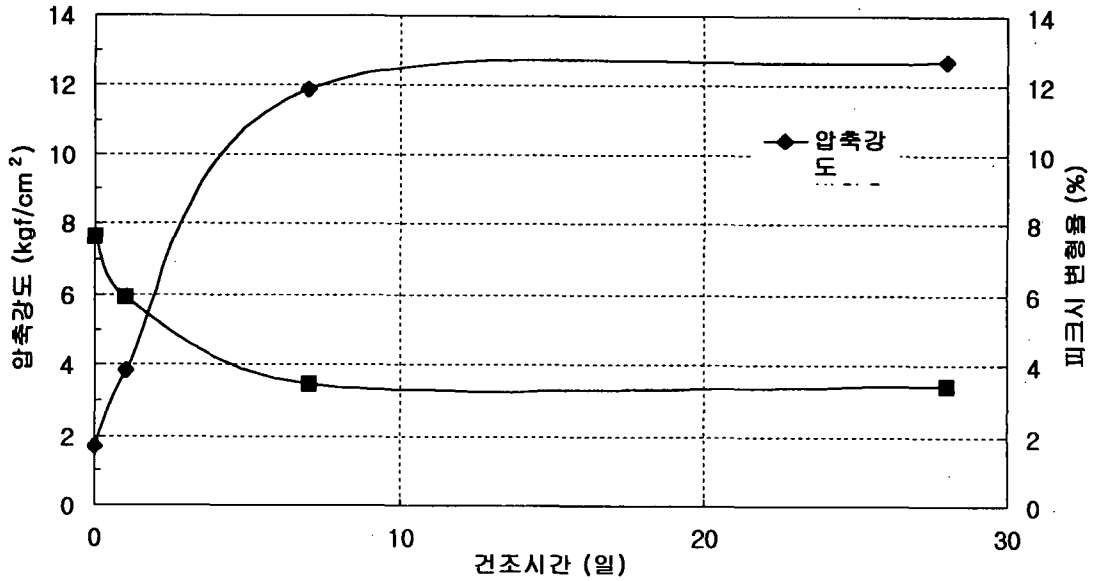


그림 3-46 수원시료의 건조시간에 따른 압축강도

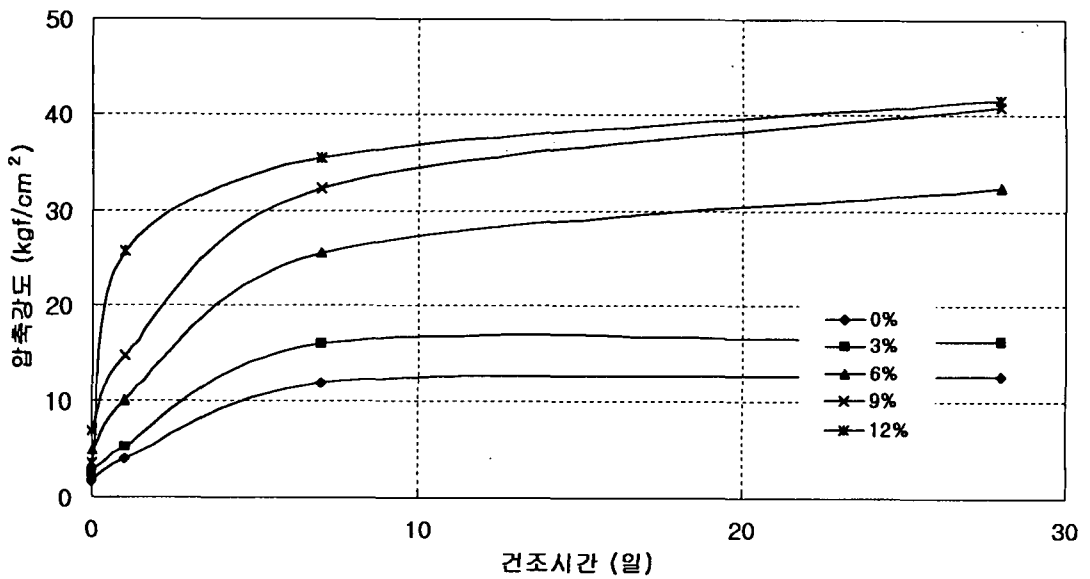


그림 3-47 시멘트 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도

나. 시멘트 혼합토의 강도특성

시멘트 혼합도에 대하여 최적함수비 상태에서 제작한 공시체의 건조시간에 따른 압축강도를 수원시료와 비교하여 도시하면 그림 3-47과 같다.

그림에서 보듯이 시멘트 혼합량이 증가할수록 압축강도는 증가한다. 그러나, 취성 또한 증가되기 때문에 흙벽의 재료로 시멘트를 혼합하는 경우에는 시멘트량이 증가할수록 취성에 대한 위험을 줄이기 위하여 인장강도를 증대시킬 수 있는 보강재를 동시에 사용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

따라서, 강도적인 측면에서는 시멘트의 양을 증가시키는 것이 좋겠으나, 환경적인 측면, 내부균열, 작업성 등을 고려하면 본 시료의 경우에는 3%~6%가 적당할 것으로 사료된다.

다. 마그네시아 혼합토의 강도특성

마그네시아 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도를 도시하면 그림 3-48과 같다. 양생초기에는 2% 혼합토를 제외하고는 수원시료와 거의 비슷한 강도를 나타내지만, 그 이후에는 건조시간에 따라 급격한 강도의 증가를 보여 수원시료보다 큰 강도를 나타내고 있다. 그러나, 2% 혼합토의 경우는 압축강도의 양상이 달라지게 되는데, 초기에는 비교적 큰 강도를 발현하여 건조시간 7일 근처에서 최대강도를 보이다가 건조시간이 28일 되면 오히려 강도가 저하하는 것을 볼 수 있다. 그러나, 건조시간이 28일 정도가 되면 혼합비에 거의 영향을 받지 않고 강도가 거의 비슷한 것을 볼 수 있다.

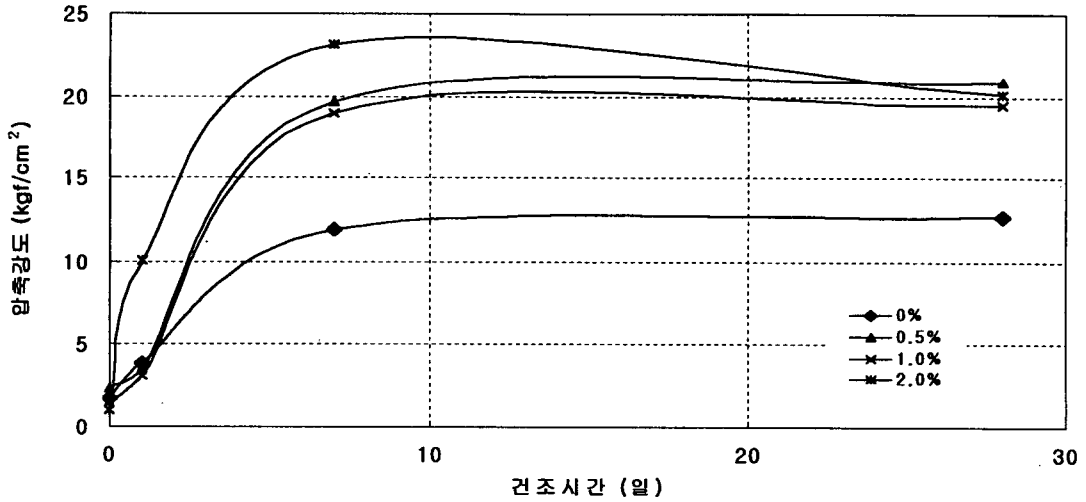


그림 3-48 마그네시아 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도

마그네시아는 강도 뿐 만 아니라 시공성 문제로 혼합하는 경우가 많으므로, 본 연구의 결과에 따르면 마그네시아는 0.5%~1.0%를 혼합하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

라. 석고 혼합토의 강도특성

석고 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도를 도시하면 그림 3-49와 같다. 초기의 압축강도는 수원시료와 거의 비슷하나, 건조시간에 따라 거의 직선적으로 강도가 증가되는 것을 볼 수 있다.

석고는 주로 흙의 단점인 균열이나 체적변화를 줄이기 위하여 사용하거나 단열성을 증대시키기 위하여 사용되는 것이 일반적이다. 그러나, 그림에서와 같이 적당한 함수비로 조절하여 잘 다진다면 강도의 증대효과도 가져올 수 있음을 알 수 있다.

본 연구의 결과에 따르면 석고를 혼합하는 경우에는 강도의 측면에서는 약 0.5%가 적당한 것으로 나타났다.

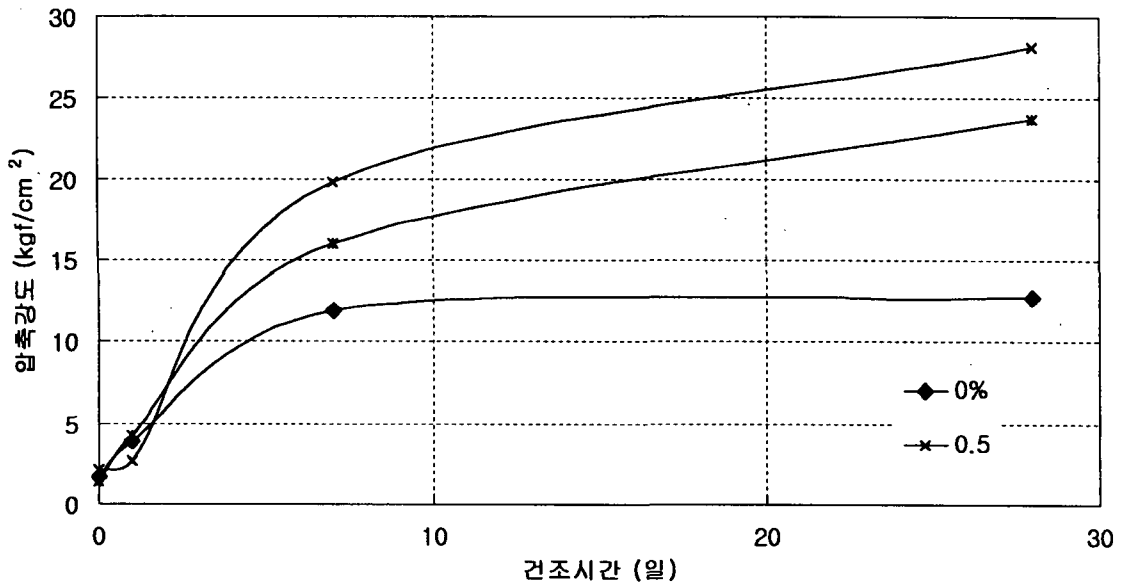


그림 3-49 석고 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도

마. 생석회 혼합토의 강도특성

생석회 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도를 도시하면 그림 3-50과 같다. 양생초기에는 수 원시료보다 강도가 크게 나타나지만 건조시간에 따라 강도의 증가가 둔하게 되어 건조시간이 28일 정도가 되면 3% 혼합토를 제외하고는 수원시료보다 오히려 강도가 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 생석회가 흙 속의 수분과 반응하여 체적의 증가 또는 팽창을 가져오기 때문으로 사료된다. 따라서, 생석회를 혼합하여 사용하는 경우에는 강도의 측면보다는 균열이나 체적변화를 줄이기 위하여 사용하는 것이 일반적이다. 그림을 해석하여 생석회를 혼합하는 경우에는 3%~9%가 적당할 것으로 판단된다.

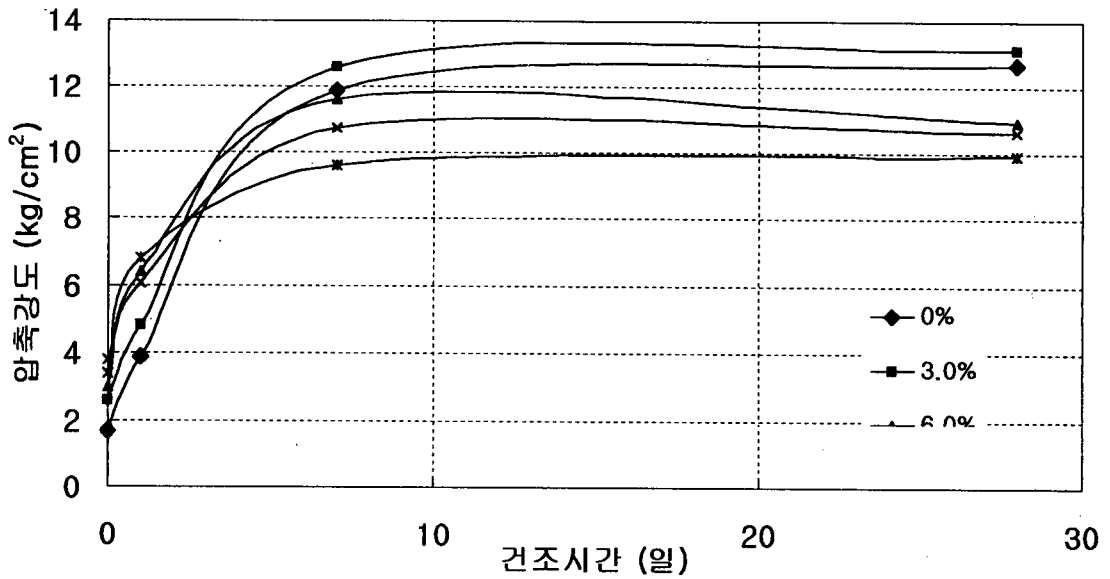


그림 3-50 생석회 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도

바. 고화제 혼합토의 강도특성

고화제 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도를 도시하면 그림 3-51과 같다. 그림에서 보듯이 고화제 혼합토는 1% 혼합토를 제외하고는 건조시간 7일까지의 강도가 수원시료보다 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

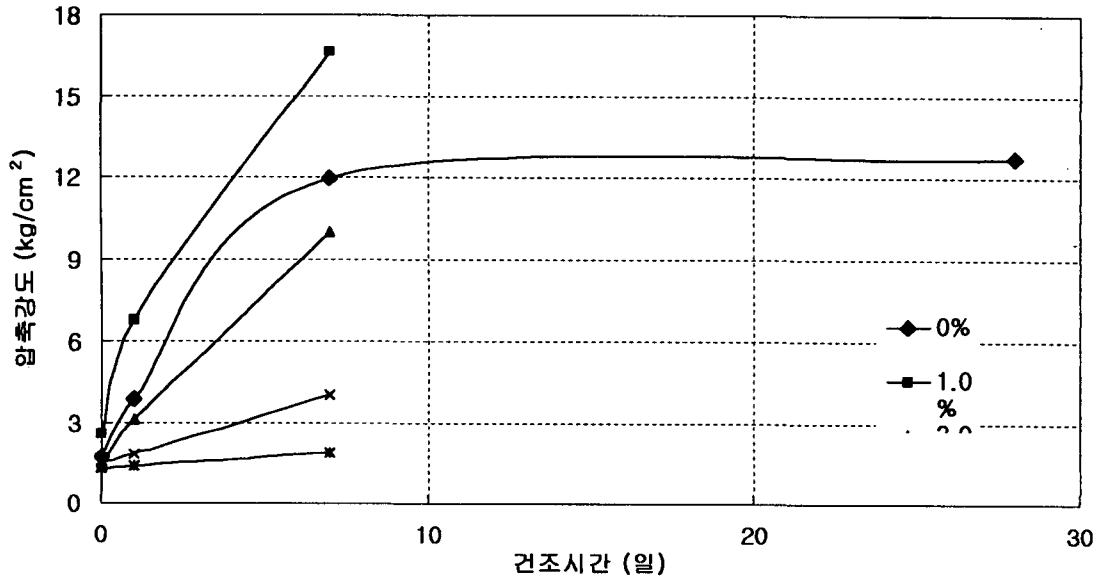


그림 3-51 고화제 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도

고화제는 일반적으로 흙의 강도증진을 목적으로 사용하게 되는데, 본 연구에서 사용한 비스타는 시멘트계로 일정량의 시멘트를 함유하고 있는 경우에 최대강도를 발현하는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 여기에 사용에는 고화제만을 사용하였기 때문에 강도가 작게 나타난 것으로 사료된다. 또한, 고화제 혼합토의 경우는 다른 혼합토와는 달리 양생이 아주 느린 것으로 나타나고 있어, 차후에 건조시간 28일 강도를 측정하여야 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

사. 섬유 혼합토의 강도특성

섬유 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도를 도시하면 그림 3-52 및 그림 3-53과 같다. 전자는 단사형에 대한 압축강도이고, 후자는 망사형에 대한 결과이다. 단사형 및 망사형의 건조시간에 따라 강도는 혼합비에 따라 거의 직선적으로 증가되는 것을 볼 수 있다.

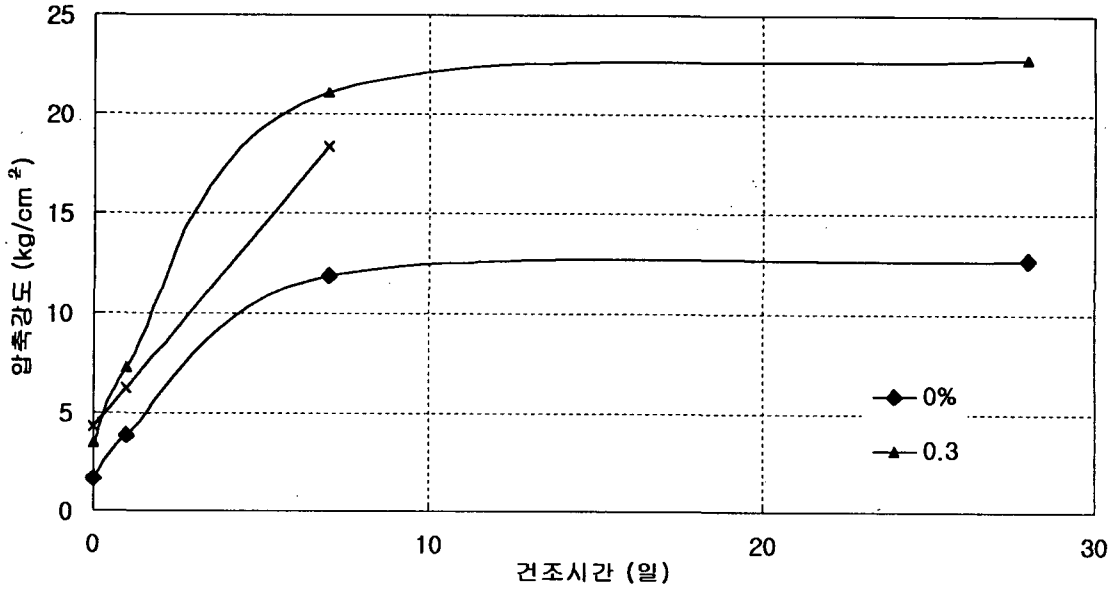


그림 3-52 섬유(단사형) 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도

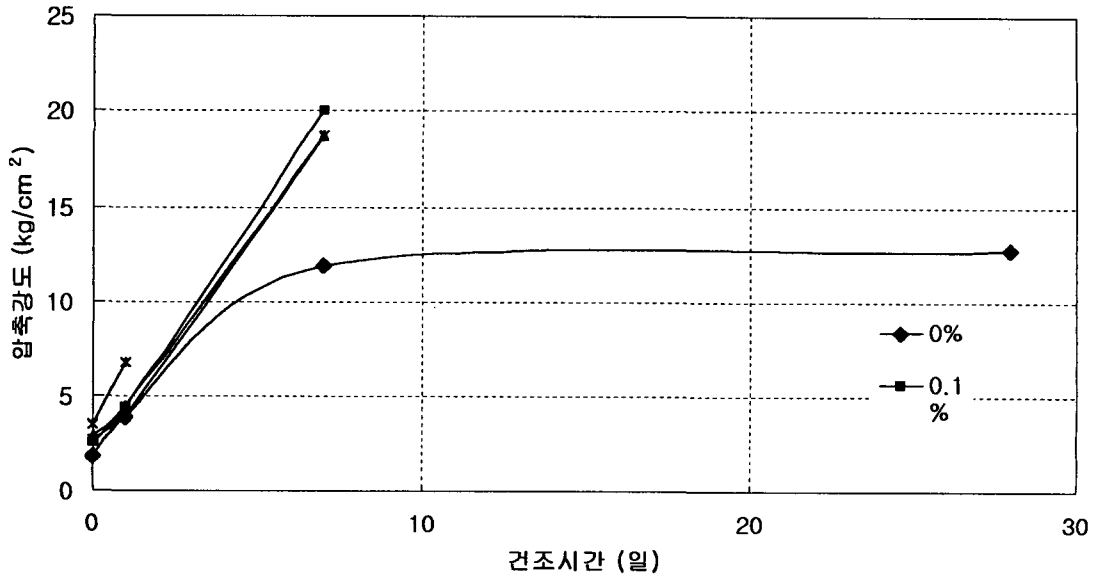


그림 3-53 섬유(망사형) 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도

아. 발안시료 및 혼합토의 강도특성

발안시료 또한 수원시료와 마찬가지로 각종 보강재를 혼합하여 그 강도특성을 검토하였다. 여기서 사용된 보강재는 섬유와 석회이며 섬유는 단사와 망사, 각각 2종을 사용하였다. 혼합 조건은 섬유 혼합비 0.3%, 석회의 경우는 6% 혼합에 공기중 14일 기건시켰다. 시험결과는 그림 3-54와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 석회혼합토의 경우에는 강도는 크게 나오지만 변형률은 비혼합토 보다 작게 나왔으며 강도 및 변형률에서 망사38mm의 경우가 가장 크게 나타났다.

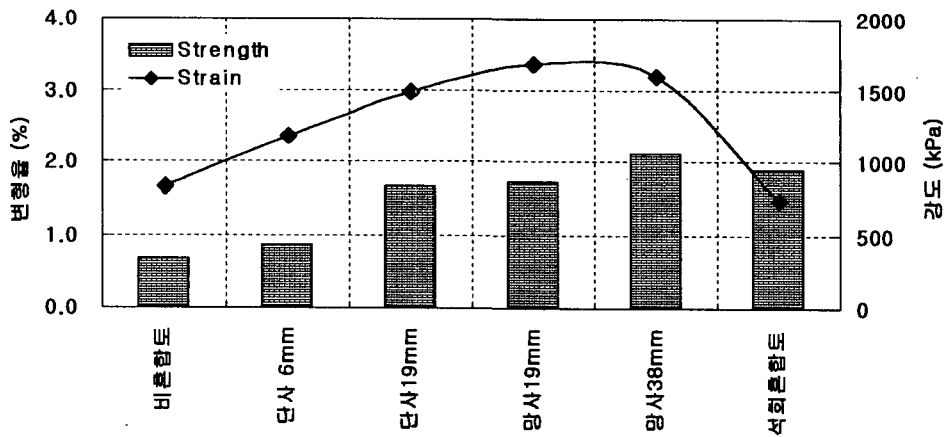


그림 3-54 발안시료의 압축강도

다음 표와 그림은 상기의 결과를 요약 정리한 것이다.

표 3-21 보강혼합토의 압축강도 요약

흙시료	보강재	건조 시간 (day)	압축강도 (kg/cm ²)											
			0%	0.1%	0.3%	0.5%	1%	2%	3%	5%	6%	7%	9%	12%
수원 시료	-	0	2											
		1	4											
		7	12											
		28	12.5											
	시멘트	0							2		4.5		7	7
		1							5		10		15	26
		7							16		26		33	36
		28							16.5		32		41	42
	마그 네시아	0				2.5	2	1.5						
		1				3.5	3.5	10						
		7				19.5	19	23						
		28				22	19.5	20						
	석고	0				2.2	1.5							
		1				3	4.5							
		7				20	16							
		28				28	24							
	생석회	0							2.5		2.8		3.9	3.5
		1							4.8		6.2		6	6.6
		7							12.6		11.7		11.6	9.5
		28							13.2		11.0		11.4	9.9
	고화제	0					2.9		1.5	1.6			1.6	
		1					7		3	2			1.7	
		7					16.6		10	4.5			2	
		28					-		-	-			-	
	섬유 (단사)	0			3.5	4.8								
		1			7.5	6.5								
		7			21.5	18								
		28			22.8	-								
섬유 (망사)	0		2.5	2.5	2.5	3								
	1		4.8	4.8	4.8	7								
	7		20	18	18	-								
	28		-	-	-	-								

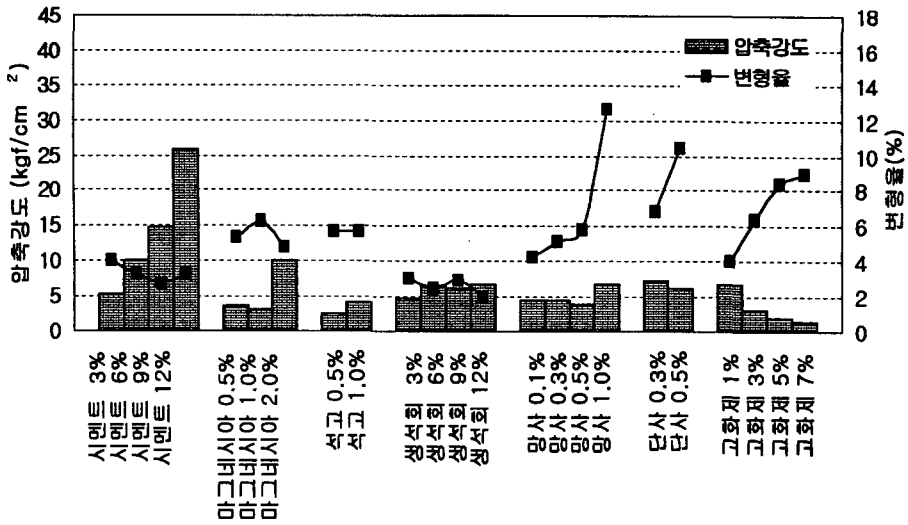


그림 3-55 건조시간 1일 후 보강혼합토의 압축강도 및 변형률 비교

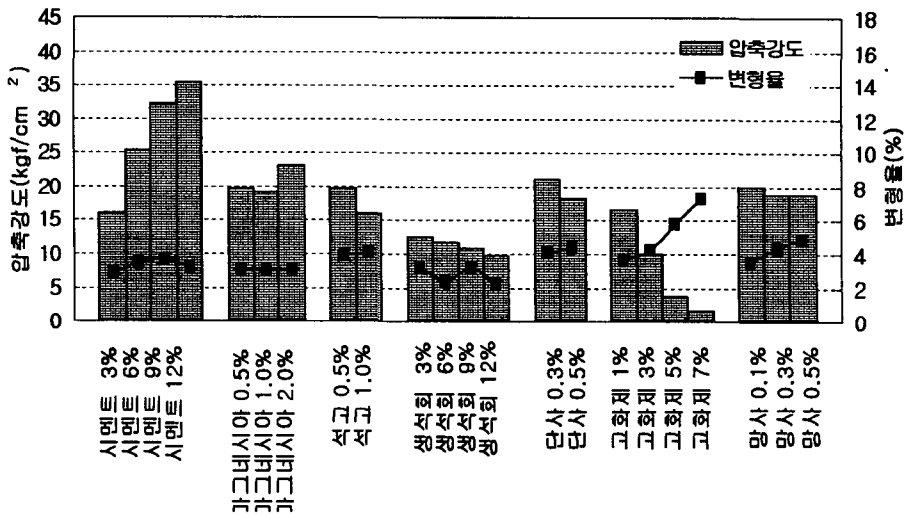


그림 3-56 건조시간 7일 후 보강혼합토의 압축강도 및 변형률 비교

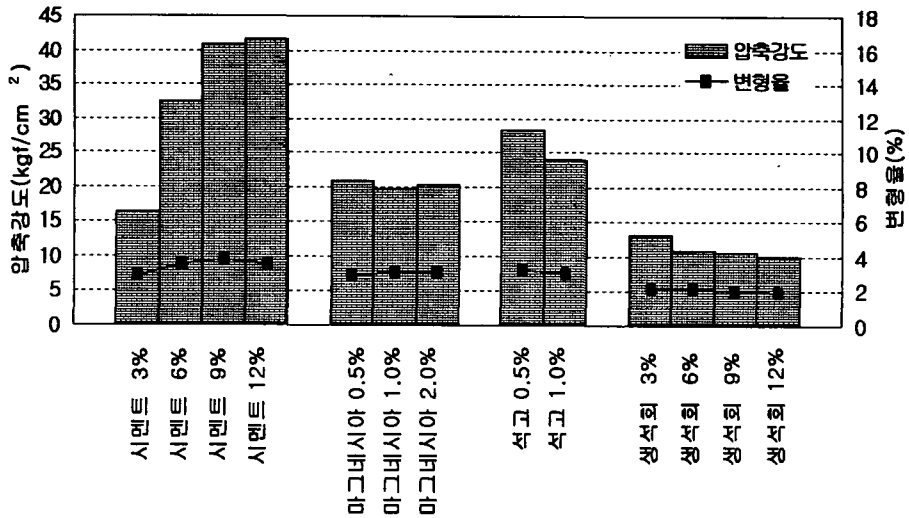


그림 3-57 건조시간 28일 후 보강혼합토의 압축강도 및 변형률 비교

4. 수원시료 및 혼합토의 균열특성

흙벽을 시공한 후, 시간의 경과에 따라 흙재료의 건조에 따라 수축을 하게 되면서 벽체는 서서히 균열이 발생하게 된다. 이러한 건조수축에 의한 균열은 흙 재료의 특성상 방지할 수 있는 대안이 없다. 그러나, 적당한 첨가제를 혼합하여 균열을 넓게 끌고루 분포시키면 사용상 또는 구조상에 별다른 문제점을 일으키지 않게 된다.

본 연구에서는 흙벽의 균열을 방지할 수 있는 첨가제를 적당한 비율로 혼합하여 시간의 경과에 따른 균열갯수, 균열폭, 균열길이 등을 측정하여 첨가제의 균열제어 특성을 검토하였다.

첨가제는 고화제 및 섬유(폴리프로필렌섬유계)를 사용하였으며, 섬유는 19mm로 단사형과 망사형에 대해서 비교하였다.

약 2일정도 경과한 후에 초기균열이 시작하여 약 11일 정도가 지나면 더 이상의 균열의 확장이 없는 것으로 나타났다. 표 3-22는 자연시료 및 혼합토의 균열제원을 요약한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 자연시료의 경우 약 10% 정도의 균열이 발생하는 것으로 나타나는데 비하여 고화제의 경우는 약 5%~9%, 섬유의 단사형인 경우는 약 6%~8%, 망사형인 경우는 4%~8% 정도의 균열면적이 발생하는 것으로 나타나고 있다.

표 3-22 자연시료 및 혼합토의 균열 제원

구분	혼합비 (%)	균열갯수	균열폭 (mm)	균열길이 (mm)	균열면적		
					면적	비율(%)	상대비율(%)
자연시료	0	60	0.3-10.0	10-880	54926.5	10.17	100.0
섬유 (단사)	0.1	63	0.5-11.0	10-870	44000.6	8.15	80.0
	0.3	114	0.1-8.0	10-300	35023.0	6.45	64.0
	0.5	149	0.1-4.0	10-220	31002.0	5.74	56.0
섬유 (망사)	0.1	62	0.4-7.0	15-500	42547.0	7.88	77.0
	0.3	94	0.3-5.8	20-230	33189.4	6.15	60.0
	0.5	113	0.3-4.0	20-180	20458.5	3.79	37.0
고화제	0.1	43	0.5-10.0	10-880	48384.0	8.96	88.0
	0.3	58	0.6-7.5	30-883	34481.5	6.39	63.0
	0.5	149	0.4-6.0	20-890	26545.5	4.92	48.0

이러한 균열특성을 분석하기 위하여 각 첨가제의 혼합비에 대해서 시간에 따라 균열면적을 도시하면 그림 3-58에서 그림 3-60과 같다. 그림 3-58은 고화제의 혼합비에 따른 균열면적이다. 그림에서 알 수 있듯이 혼합비에 따라 균열이 급격하게 줄어드는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 섬유 혼합토에서도 명백하게 나타난다.

고화제 및 섬유의 균열제어특성을 비교하기 위하여 각 혼합토의 비율에 따른 상대균열 면적비를 도시하면 그림 3-61과 같다. 그림에서 보듯이 균열제어 특성은 섬유의 망사형이 훨씬 효과적임을 알 수 있으며, 혼합비가 증가할수록 그 효과는 증대하지만 강도 등의 측면도 고려하여야 하기 때문에 혼합비는 이들을 종합적으로 고려하여 판단하여야 할 것이다.

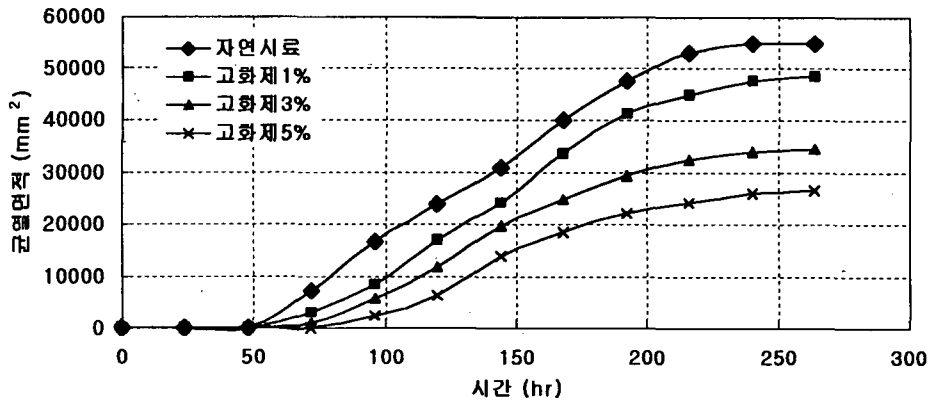


그림 3-58 고화제 혼합도의 시간에 따른 균열면적 비교

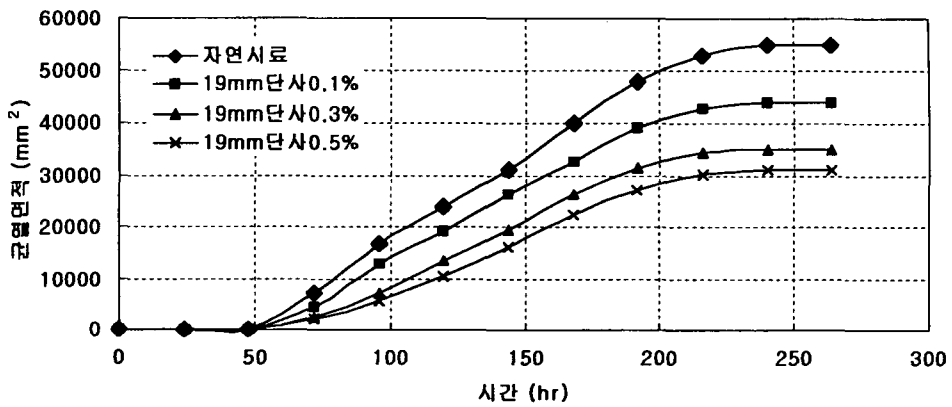


그림 3-59 섬유(단사형) 혼합도의 시간에 따른 균열면적 비교

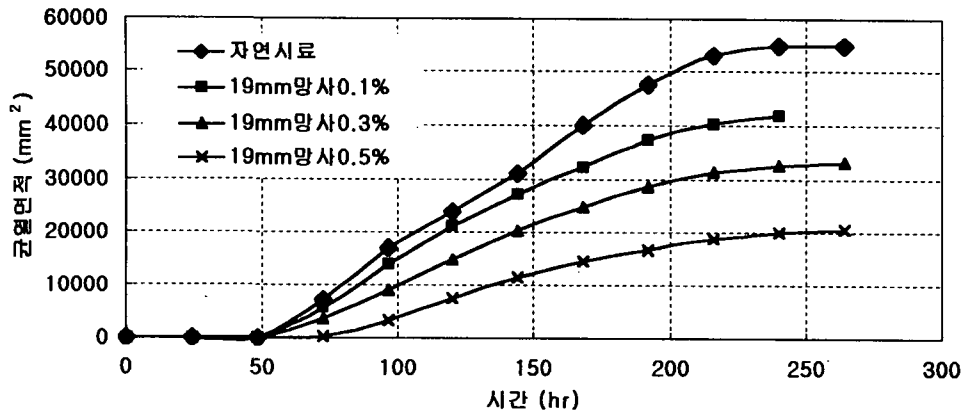


그림 3-60 섬유(망사형) 혼합토의 시간에 따른 균열면적 비교

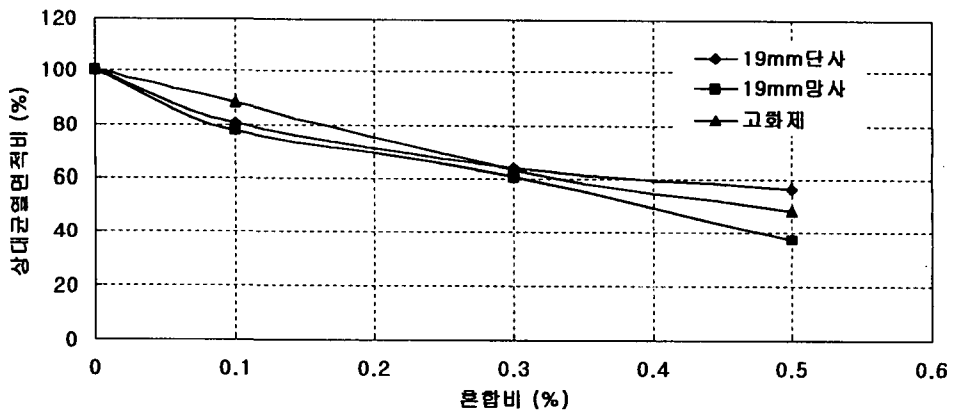


그림 3-61 각 혼합토의 상대균열 면적비 비교

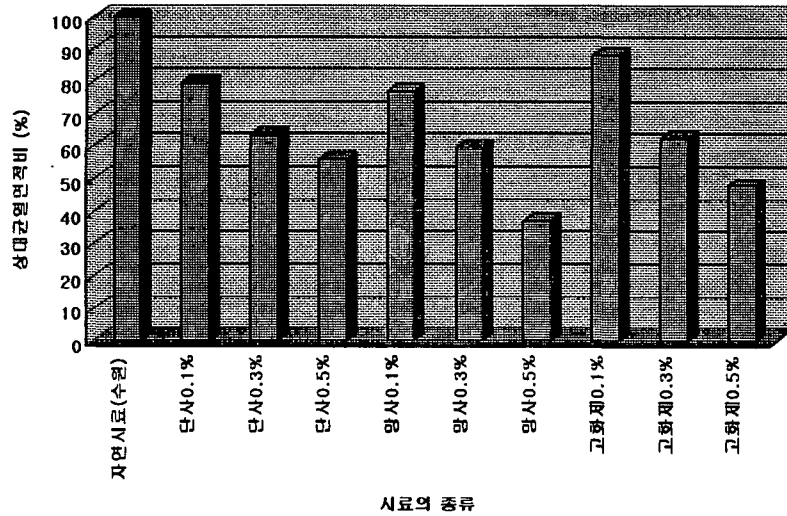


그림 3-62 자연시료 및 보강 혼합토의 상대균열 면적비

5. 결론

보강토의 압축강도특성을 알아보기 위하여 공시체를 제작하여 건조시간에 따른 일축압축강도시험을 실시하였다. 또한 몇 종류의 첨가제의 배합비에 따른 균열특성도 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

가. 섬유에 대한 인발시험 결과 수원시료의 부착력 및 상호마찰각은 각각 0.37kg/cm^2 , 6.8° , 발안시료의 부착력과 상호마찰각은 각각 0.84kg/cm^2 , 7.38° 로 나타났으며 모래질 성분이 많은 발안시료가 부착력 및 상호마찰각이 크게 나타났다.

나. 섬유의 인발응력은 구속응력이 증가함에 따라 일정하게 증가하며, 섬유의 면적비가 증가할수록 인발응력도 커진다.

다. 흙시료에 대한 직접전단시험 결과 수원시료의 점착력 및 내부마찰각은 0.33kg/cm^2 , 30.3° , 발안시료의 점착력 및 내부마찰각은 0.27kg/cm^2 , 33.6° 로 나타났다.

라. 섬유혼합토는 비보강 흙보다 섬유의 혼합율이 증가할수록 마찰각은 증가하지만 점착력

은 일정하지 않다.

마. 섬유혼합토의 전단강도는 섬유의 길이에 크게 영향을 받지 않는다.

바. 시멘트를 첨가한 보강혼합토(수원시료)의 강도는 9% 이상 사용할 경우 그 강도가 40kg/cm^2 을 넘었으며 보강재 가운데 가장 높은 강도를 나타내었다.

사. 마그네샤와 석고를 혼합한 각각의 보강혼합토(수원시료)의 경우는 0.5% 혼합율에서 최대강도를 나타내었으며 그 값은 약 30kg/cm^2 이었다.

아. 보강재로 섬유를 사용한 경우(수원시료)는 단사가 망사보다 훨씬 높은 강도를 보였다. 하지만 기존 문헌에 따르면 망사가 높이 나타나는 것으로 되어 있어 혼합 방법에 문제가 있는 것으로 사료된다.

자. 보강혼합토의 균열은 자연시료(수원시료)의 경우 약 10%의 균열을 보이지만 고화제, 섬유(단사 및 망사) 등을 사용할 경우 10% 미만의 균열이 발생하는 것으로 나타났다. 그 중 균열방지에 가장 큰 효과를 나타내는 것은 섬유(망사) 0.5%를 섞은 경우이다.

차. 발안시료의 압축강도는 3kg/cm^2 정도로 아주 낮았으며, 섬유를 첨가할 경우 최대 압축강도가 망사 19mm에서 17kg/cm^2 정도를 나타내었다.

제 7 절 보강토의 동결융해 및 인장강도 특성

1. 서론

시공된 흙벽체는 외부에 노출되는 경우 외부의 환경에 지속적으로 영향을 받는다. 이 중에서 계절적인 영향에 의한 동결과 융해의 반복은 벽체의 내구성에 큰 영향을 미칠 수 있다.

본 장에서는 보강혼합토의 동결융해 특성을 파악하여 흙벽체가 실내외에 시공되었을 경우 동결융해에 대한 저항성을 파악하고, 강도가 어떻게 변화하는지에 대하여 정성적, 정량적으로 분석한다. 이를 통하여 동결융해에 대한 저항성이 높은 재료를 선택하고 이러한 특성을 가지는 보강재를 사용하여 시공하기 위함이다. 따라서 본 연구에서는 일련의 보강공시체를 제작하고 이에 대한 동결융해시험을 실시하여 각 보강재료에 따른 강도의 변화특성을 고찰하고자 한다.

또한 본 장에서는 보강공시체에 대한 인장강도 시험을 실시하여 일반적으로 인장강도가 매우 취약한 무보강토에 대한 보강토의 인장강도 증가에 대하여 고찰한다.

2. 동결융해 특성

가. 시험공시체의 제작함수비와 강도

섬유혼합토의 동결융해특성을 분석하기 위해선 먼저 시험 공시체를 제작해야 한다. 시험공시체는 보강재가 혼합된 경우와 혼합되지 않은 경우를 상호 비교하기 위해 보강재가 혼합되지 않은 경우에 대한 기초물성 시험을 먼저 실시한 다음, 보강재가 혼합된 공시체와 함께 동결융해 시험을 실시하였다. 시험공시체의 초기조건 및 방법에 대해 살펴보면 다음과 같다.

시험에 사용된 공시체의 크기는 직경 10cm × 높이 20cm이며, 공시체 개수는 한 시험당 3개를 제작하였고 그 평균치를 구하여 결과에 이용하였다.

공시체의 초기 조건은 최적함수비인 19.6% 이상의 함수비를 적용하였고 다짐은 표준다짐에너지를 가했으며 60℃의 건조 장치를 이용하여 4일 동안 건조시킨 후 10일간 공기중에서 건조시켰다.

건조후 공시체 조건을 살펴보면, 함수비는 6.72% ~ 8.29%로 분포하였고, 체적변화는 그림 3-63과 같다. 그림에서 공시체 제작시의 함수비가 커질수록 건조후 부피감소가 크게 나타났다.

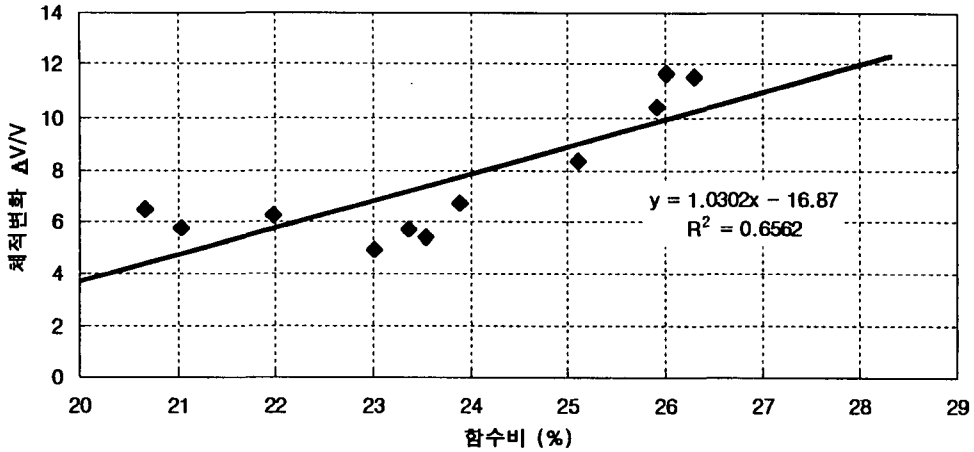


그림 3-63 제작함수비와 부피변화

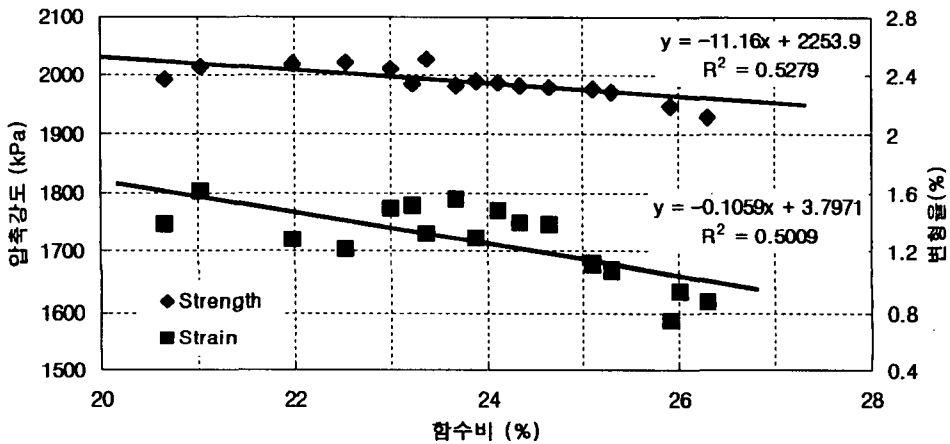


그림 3-64 제작함수비와 일축강도 및 변형률

건조토의 공시체 제작 함수비에 따른 일축압축강도와 파괴시 변형률을 살펴보면 그림 3-64

와 같은데, 그림에서 제작함수비가 증가하면 건조한 공시체의 일축압축강도와 파괴시의 변형율이 작아진다. 함수비는 최적함수비보다 1~7%이상 높은 함수비를 나타내었고 일축압축강도는 1929~2025kPa (평균 1988kPa, 표준편차 25.5kPa)을 보였다. 또한 파괴시의 변형율은 0.75~1.61% (평균 1.27%, 표준편차 0.25%)을 나타내었다.

나. 섬유혼합토의 혼합조건에 따른 강도와 변형률의 관계

1) 시료의 혼합과 공시체의 제작

사용된 섬유는 단사6mm, 단사12mm, 단사19mm, 망사19mm, 망사25mm, 망사38mm인 6종류이며 공시체는 섬유를 혼합하지 않은 경우와 마찬가지로 제작하였다. 개략적인 초기 함수비는 20~23%이며 혼합시 대형 섬유혼합기를 사용하였다. 혼합시간은 섬유의 종류와 섬유의 길이에 따라 각기 차등을 두었는데, 이는 섬유의 형태와 길이에 따라 섬유의 엉킴현상 등이 서로 상이한 차이를 보이기 때문에 수 차례의 시행오차를 거쳐 결정하였다. 단사6mm와 단사12mm는 30분, 단사19mm와 망사19mm는 1시간, 망사25mm와 망사38mm는 1시간 30분 동안 혼합하였다.

2) 일축압축강도와 파괴시 변형률

일축압축강도 측정에 사용된 기구는 독일 Zwick사의 Z101 모델인 만능재료시험기 (Universal Testing Machine, UTM)로서 최고 10tf까지 재하할 수 있다. 일축압축강도 시험은 KSF 2405를 따랐으며, 재하속도는 3mm/min으로 일정하게 하였다. 그림 3-65는 망사 38mm, 1%의 섬유를 혼합하였을 경우 일축압축강도 시험 장면을 보여준다. 그림에서 변형이 상당히 진행되었는데도 불구하고 급작스런 파괴가 발생하지 않는 것을 볼 수 있다.

각 섬유에 대한 결과를 정리하면 그림 3-66과 같다. 그림에서 섬유의 양이 증가할수록 일축압축강도는 증가하였으며, 단사6mm, 단사12mm, 망사38mm에서는 이와 다른 결과를 보여주었다. 단사 6mm의 경우에는 0.2%에서 강도는 약간 감소하였고, 단사 12mm의 경우에는 0.3%~1.0%까지 강도는 점차적으로 감소하였으며, 망사 38mm의 경우에는 1.0%에서 강도가 급격히 감소하였다. 섬유의 양이 증가하면 대체적으로 일축압축강도가 증가하지만 섬유의 길이가 대단히 긴 경우에는 섬유혼합의 효과를 크게 기대할 수 없었다.

섬유를 혼합한 경우 파괴시 변형률은 그림 3-67과 같다. 그림에서, 섬유의 양이 증가할수록 모든 경우에 있어서 파괴시의 변형률이 증가하였으며 단사6mm의 경우, 1.0% 혼합시 비혼합 토에 비해 변형률이 약 70%정도 증가하였고, 망사38mm의 경우 10배정도 큰 변형률에서 최대 일축압축강도가 발현하였다.

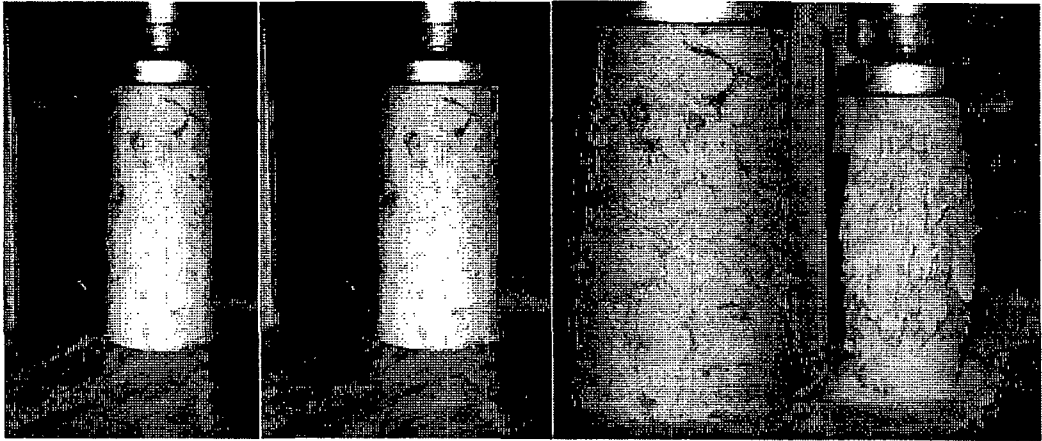


그림 3-65 망사 38mm / 1.0% 섬유 혼합토의 파괴 진행모습

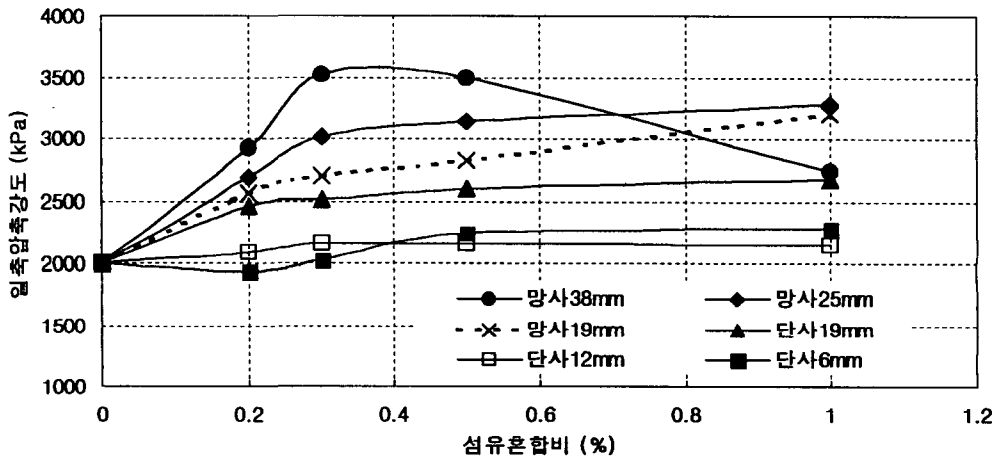


그림 3-66 섬유혼합비 및 종류에 따른 일축압축강도

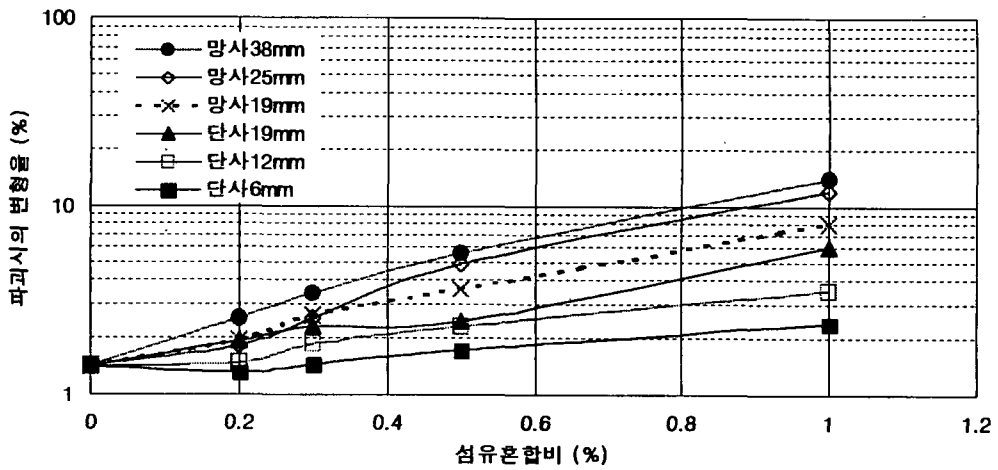


그림 3-67 섬유혼합비 및 종류에 따른 파괴시의 변형을

시험된 섬유혼합도의 일축압축강도-변형을 곡선을 정리하면 그림 3-68과 같다. 그림에서, 섬유의 길이가 증가할수록 최대일축압축강도는 증가하며 변형률도 증가하였고, 섬유를 혼합하지 않은 흙의 경우나 단사 6mm를 0.3% 혼합한 경우에 있어서 건조토의 강도 및 변형률에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 망사38mm의 경우 파괴(최대일축압축강도) 이후에도 커다란 강도를 발현하였다.

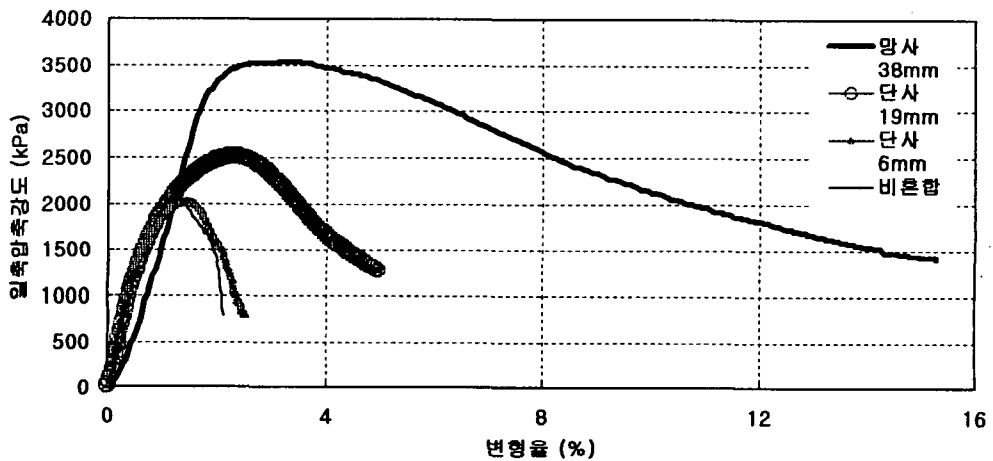


그림 3-68 일축압축강도와 변형을

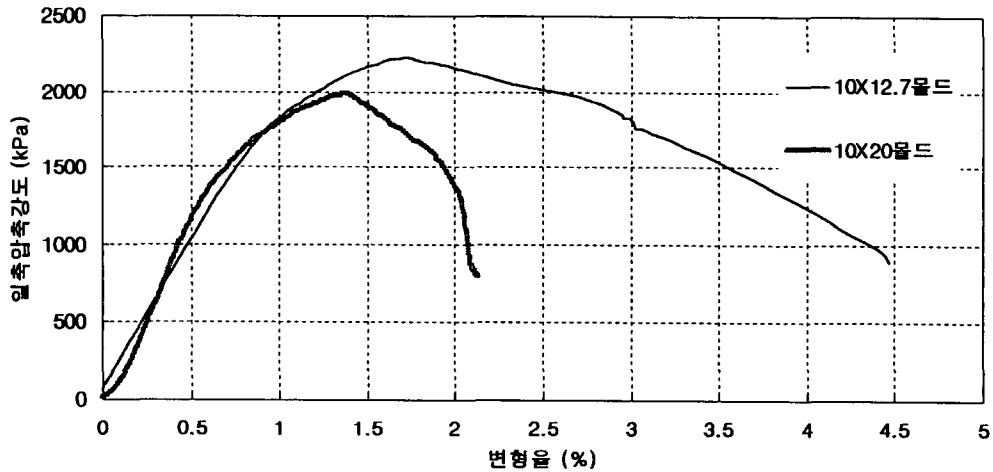


그림 3-69 공시체의 크기와 압축강도

3) 공시체의 크기가 강도에 미치는 영향

공시체의 종류와 강도와의 차이를 살펴보기 위해 직경 10cm, 높이 12.7cm인 경우와 본 시험에 사용된 직경 10cm, 높이 20cm의 공시체에 대한 일축압축강도 시험을 실시하였다. 그 결과를 정리하면 그림 3-69와 같다. 그림에서, 일축압축강도는 10cm × 12.7cm 몰드의 경우 약 12% 정도 더 큰 강도가 나왔으며 이 때의 변형률은 약 24% 더 크게 나타났다. 따라서 강도 실험을 할 경우 공시체의 크기를 고려해야 하는 것이 중요하다.

다. 동결융해 특성

1) 시험방법

급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법(KSF 2456)에는 수중급속동결융해의 시험방법 A와 공기중에서 급속동결하여 수중에서 융해하는 시험과정이 B가 있으며 동결융해 사이클은 공시체의 온도를 2시간 내기 4시간 사이에 교대로 4℃에서 -18℃로 떨어뜨리고 다음에 -18℃에서 4℃로 상승시킨다. 따라서, 본 연구에서 사용한 동결융해 방법은 공기중에서 동결시키고 공기중에서 융해시키는 방법을 채택하였으며 동결주기와 시간은 그림 3-70과 같고 사용된 동결융해시험기는 그림 3-71과 같다.

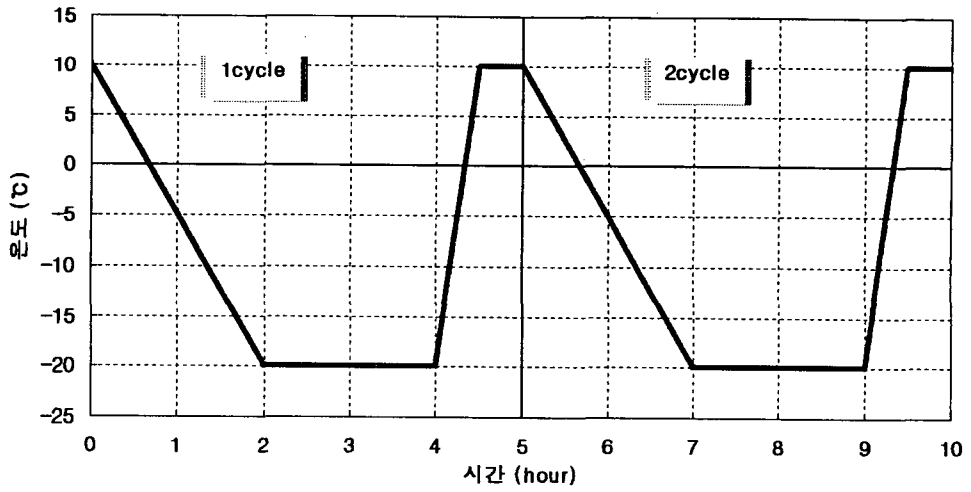


그림 3-70 동결 주기

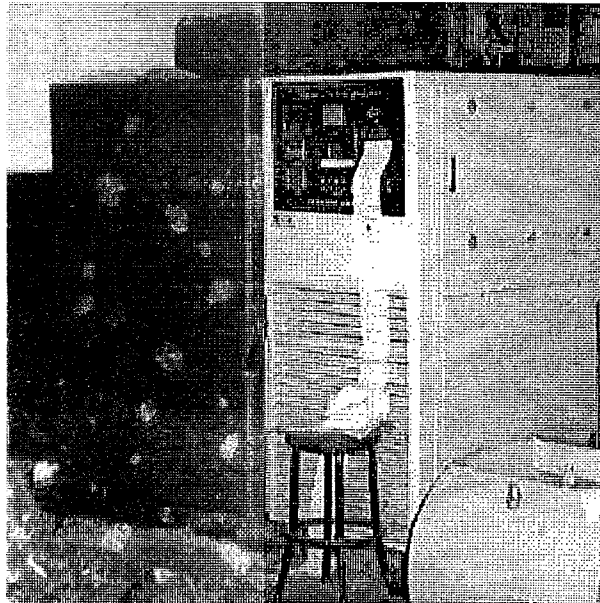


그림 3-71 동결융해시험기

2) 석회혼합토의 동결융해와 강도

가) 시험방법

석회 혼합토는 건조시킨 흙과 석회를 혼합한 후 물을 조금씩 넣으며 혼합하였고 공기중에서 7일간 양생한 후 강도시험을 수행하였다. 혼합조건은 건조한 흙의 중량에 대한 중량비가 각각 2%, 4%, 6%, 8%이며 강도시험을 수행하기 전에 공시체의 높이와 직경을 측정하여 각각의 혼합조건에 대해서 부피변화를 측정하였다. 양생방식은 공기중에서 7일간 양생하였으며 공시체의 초기함수비는 20%이다.

시험결과는 그림 3-72, 그림 3-73과 같다.

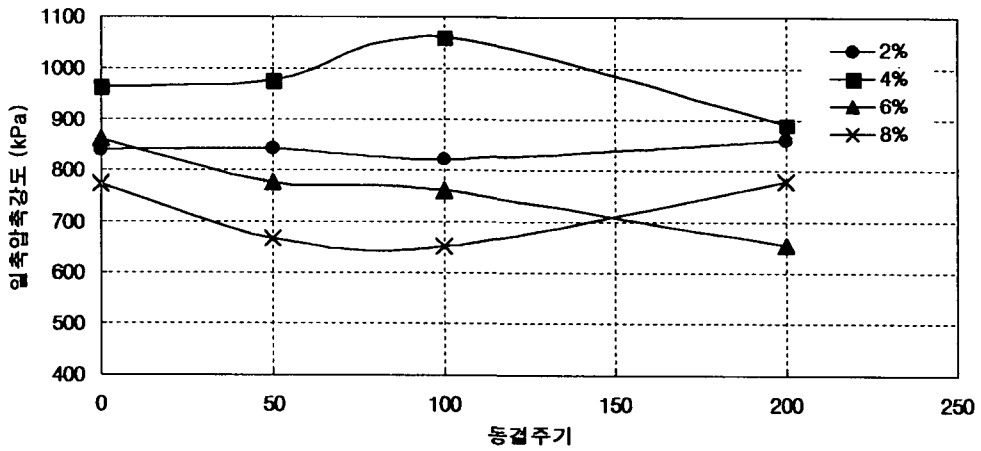


그림 3-72 동결주기와 석회혼합토의 일축압축강도

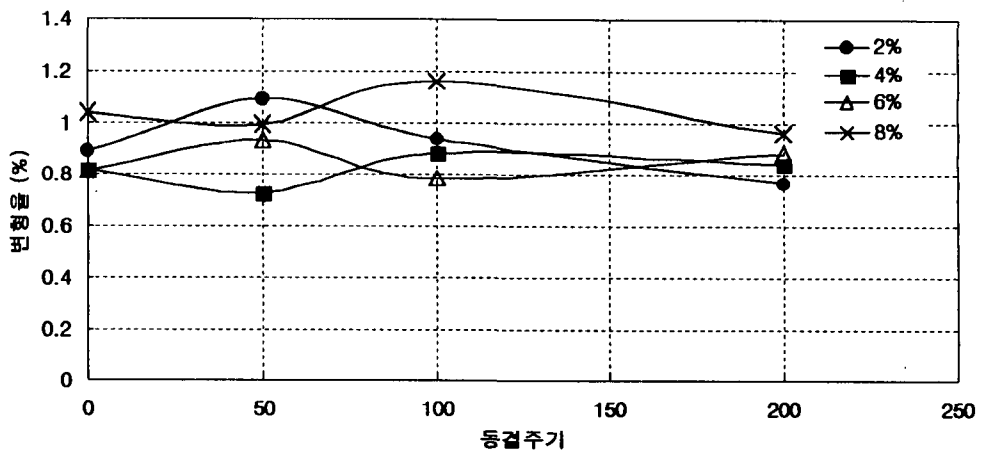


그림 3-73 동결주기와 석회혼합토의 변형율

석회혼합토의 일축압축강도는 비혼합토의 압축강도인 2000kPa에 비해 매우 작은 편이었는데, 이는 지반에 적용할 때와는 달리 지속적인 수분 공급이 되지 않기 때문에 양생과정에서 석회와 흙, 물이 제대로 반응하지 못한데 기인된다고 사료된다.

석회혼합 공시체에 대한 동결융해 시험에서 강도의 변화양상은 일정하지 않았으며 최대압축강도를 발현할 때의 변형률은 비혼합토의 1.4%에 비해 모두 작은 결과를 보여 주었다. 또한 동결융해로 인한 변형률은 0.73~1.56%로 전체적으로 일정한 경향을 나타내지 않았다.

나) 석회의 양생조건에 따른 일축압축강도의 변화

석회의 양생조건에 따른 일축압축강도의 변화를 살펴보기 위해 시험 대상 공시체에 사용된 석회는 약 6%이며, 공시체 제작시 함수비는 20%였다. 이를 일축압축강도시험을 수행한 결과 그림 3-74과 같은 결과를 얻었다. 여기서, 공시체를 제작한 후 양생시간이 증가할수록 석회혼합토의 일축압축강도는 증가하였으며, 변형률은 감소하는 추세이지만 어느 정도의 양생기간이 지나면 그 이후에는 큰 차이가 없었다.

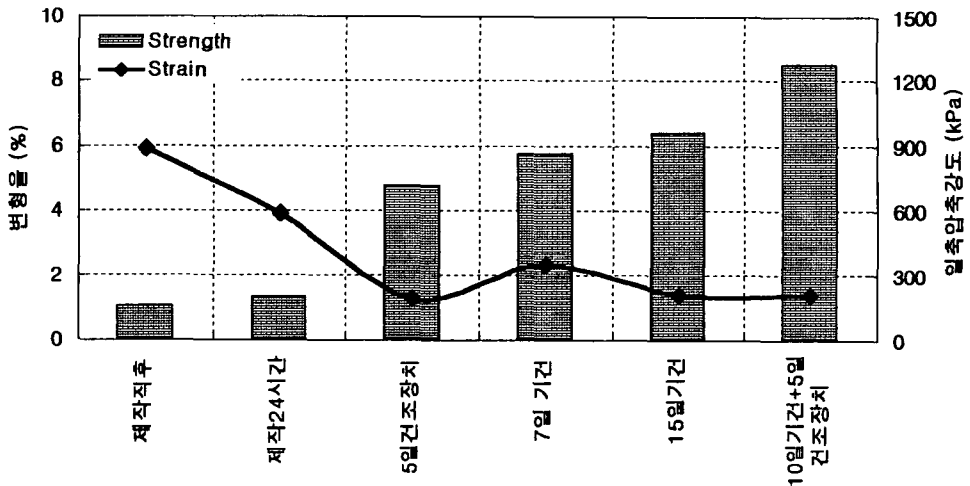


그림 3-74 석회의 양생과 일축압축강도

3) 섬유혼합토의 동결융해와 강도

섬유의 양은 한 종류 즉, 0.3%에 대해서만 수행하였으며, 그 시험결과는 그림 3-75, 그림 3-76과 같다. 시험 결과 강도는 모든 경우에 있어서 동결융해로 인해 강도는 감소하였으며, 섬유를 혼합하지 않은 경우에는 200주기의 동결융해 후 강도는 처음의 70% 수준으로 감소하

였다.

섬유를 혼합한 경우에는 망사38mm의 경우가 가장 큰 강도를 발현했지만 처음에 비해 강도가 크게 감소하였고, 단사19mm나 망사19mm의 경우는 200주기의 동결융해를 겪은 후에도 비혼합토 이상의 강도를 발현하였다. 파괴시의 변형률은 동결주기가 망사38mm의 경우에는 변형율이 크게 증가하였지만 나머지의 경우는 차이가 크지 않았다.

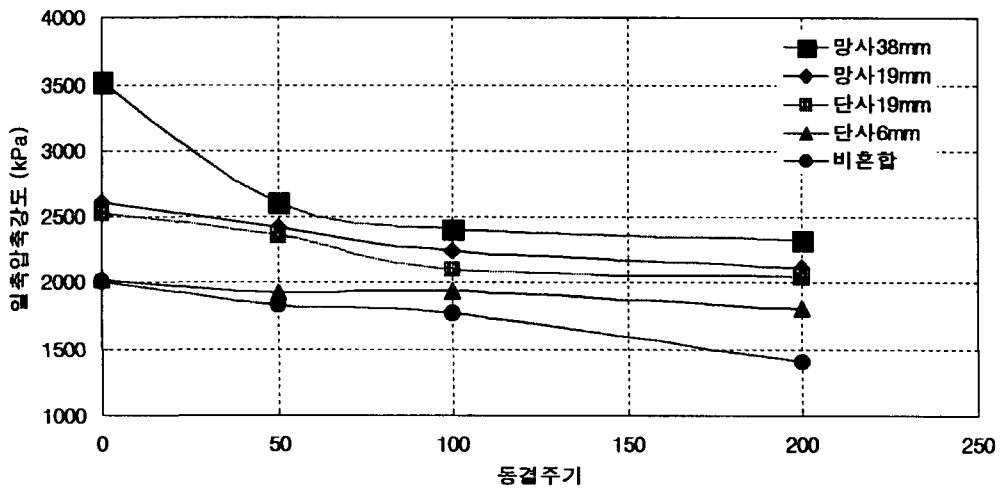


그림 3-75 동결주기와 섬유혼합토의 일축압축강도

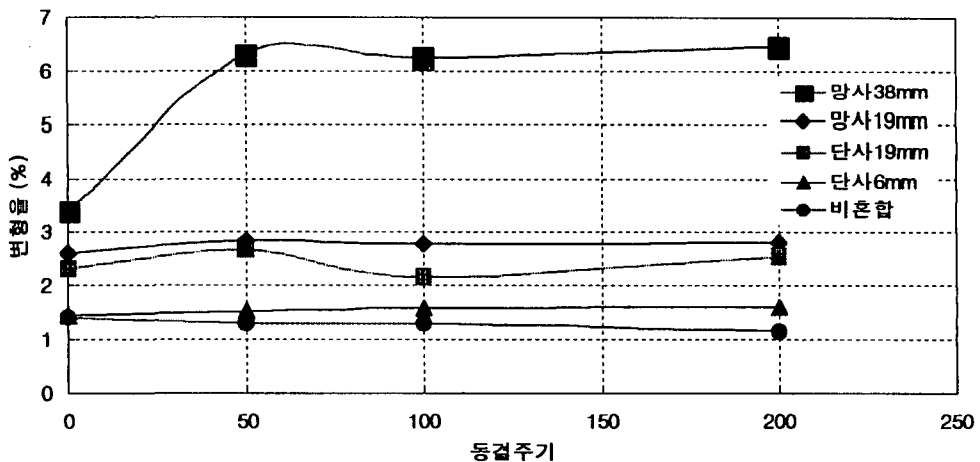


그림 3-76 동결주기와 섬유혼합토의 변형율

4) 시멘트 혼합토의 동결융해와 강도

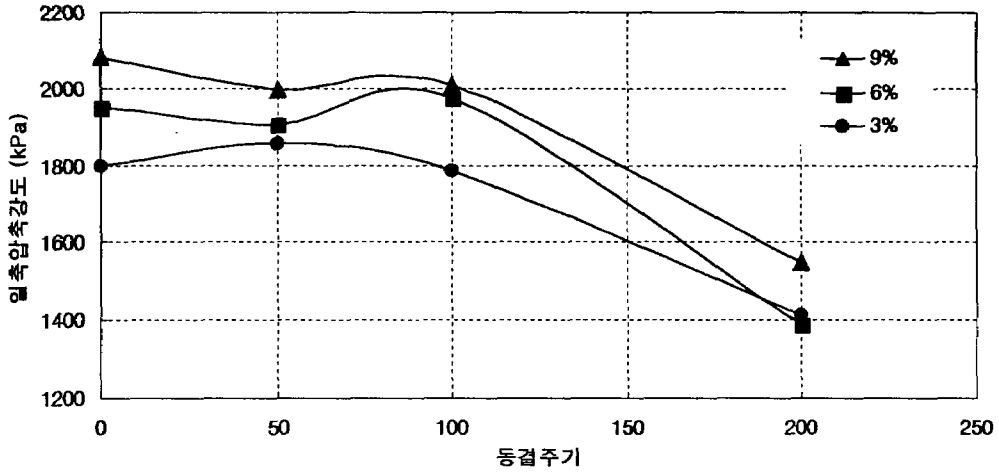


그림 3-77 동결주기와 시멘트혼합토의 일축압축강도

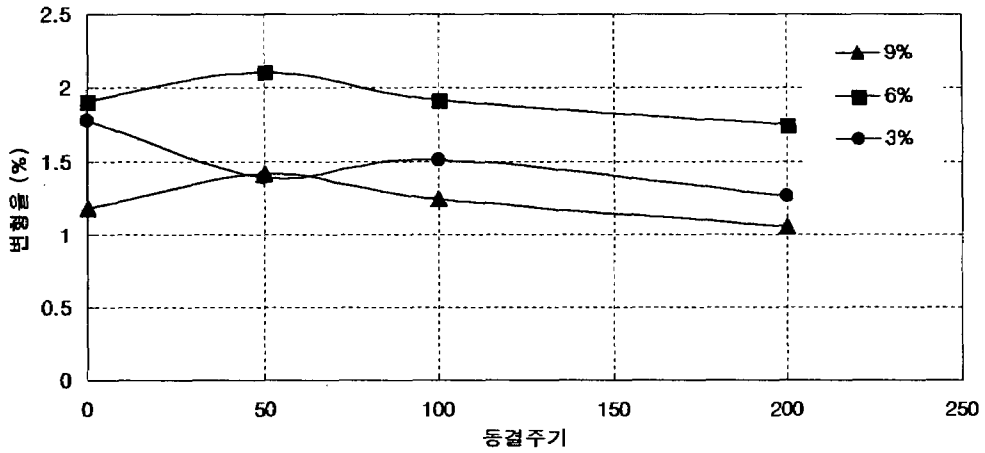


그림 3-78 동결주기와 시멘트혼합토의 변형율

시멘트 혼합토에 대한 동결융해시험 결과는 그림 3-77, 그림 3-78과 같다. 그림에서, 시멘트 혼합토의 강도는 시멘트의 양이 증가할수록 증가하였고, 9%를 혼합하였을 경우에는 비혼합토의 강도보다 크게 나왔다. 또한 동결융해를 받았을 경우 강도는 100주기까지는 큰 변화가 없

다가 200주기에서는 급격하게 감소하였다.

파괴시의 변형률은 시멘트의 양이 가장 많은 9%의 경우에 변형률이 모든 주기에서 가장 작게 나왔으며 6%의 경우에 가장 큰 변형률을 보였다.

5) 석회와 섬유를 혼합한 흙의 동결융해와 강도

가) 시험대상 및 조건

석회와 섬유를 혼합한 흙의 강도를 알아보기 위해 섬유는 단사6mm, 혼합비는 0.3%로 하여 실험을 수행하였다. 공시체를 만든 조건은 함수비가 20%, 공기중에서 7일건조 양생하였다. 시험결과는 그림 3-79, 그림 3-80과 같다.

그림에서, 석회의 양이 증가하면 오히려 강도는 감소하였으며 6%, 9%, 12%에서의 일축압축강도에 있어서의 차이는 미미하였으며, 섬유를 혼합한 관계로 석회만 혼합한 경우보다 강도가 증가하였다. 또한 모든 경우에 있어서 석회 3%를 혼합한 경우가 강도 및 변형율에서 최대 값을 보여주었다.

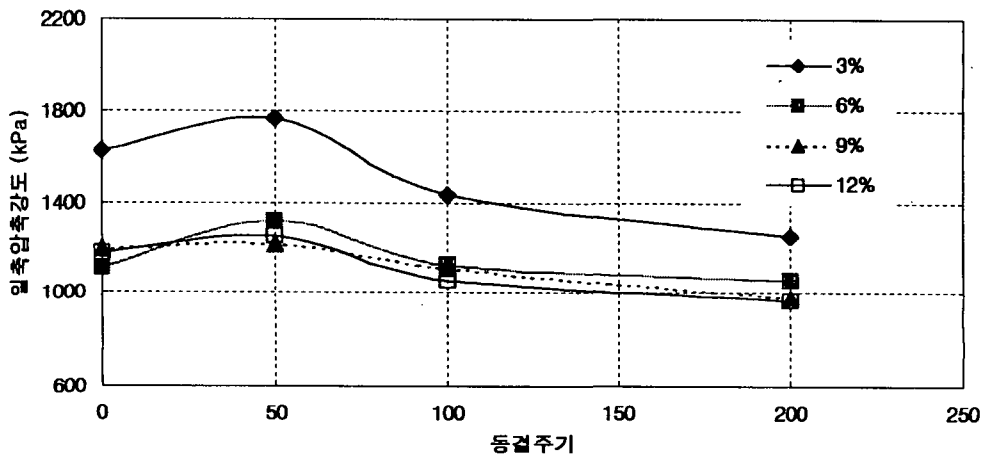


그림 3-79 석회/섬유 혼합토의 동결주기와 일축압축강도

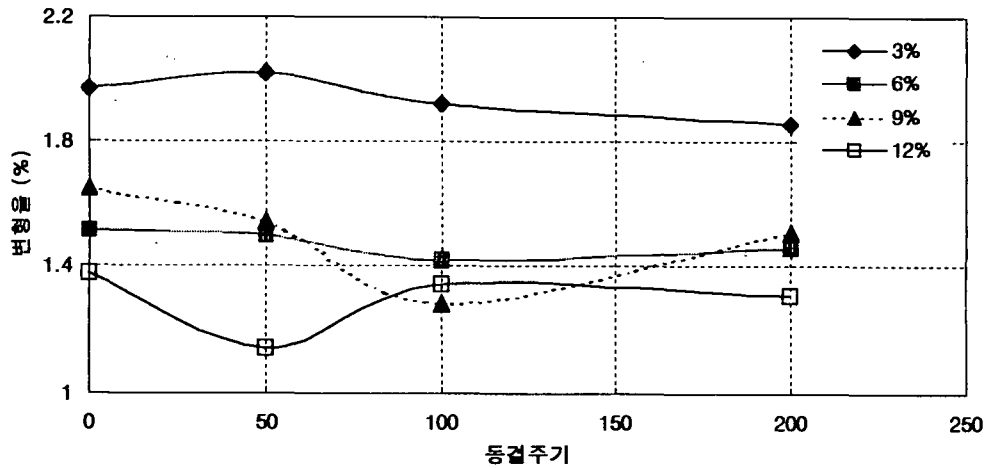


그림 3-80 석회/섬유 혼합토의 동결주기와 변형률

3. 인장강도 특성

가. 섬유혼합토의 인장강도

인장강도 특성을 분석하기 위해 사용된 섬유의 형태는 단사6mm, 단사19mm, 망사19mm, 망사38mm 등 4종이며, 혼합량은 건조토에 대한 중량비로 0.3% 혼합하였다. 시험방법은 KSF 2423의 활렬인장시험에 의해 수행하였고 사용된 공시체의 크기는 직경 10cm, 높이는 20cm이다.

시험결과를 정리하면 (그림 3-81)과 같다. 그림에서, 섬유의 양이 증가하면 인장강도와 변형률이 증가하였고, 망사38mm를 혼합하였을 경우 인장강도는 비혼합토의 2.2배, 변형률은 4.1배 증가하였다.

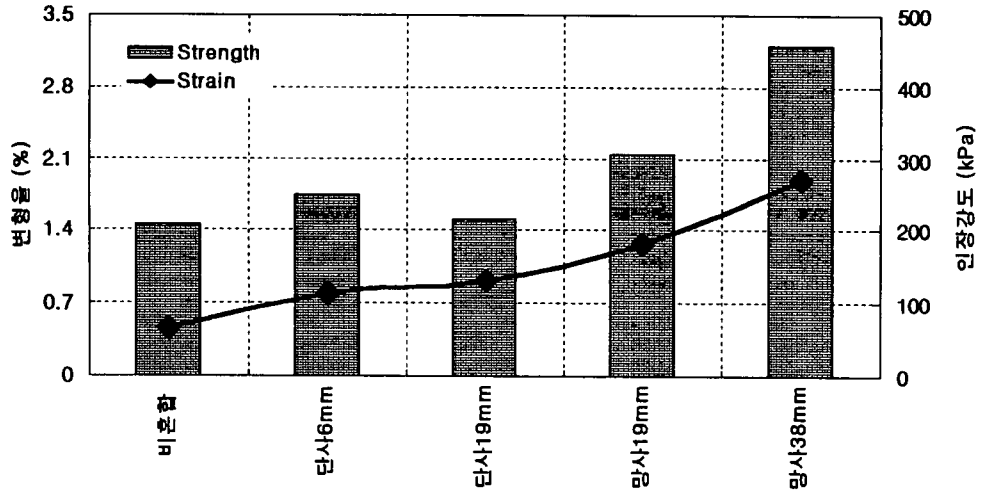


그림 3-81 섬유 혼합토의 인장강도

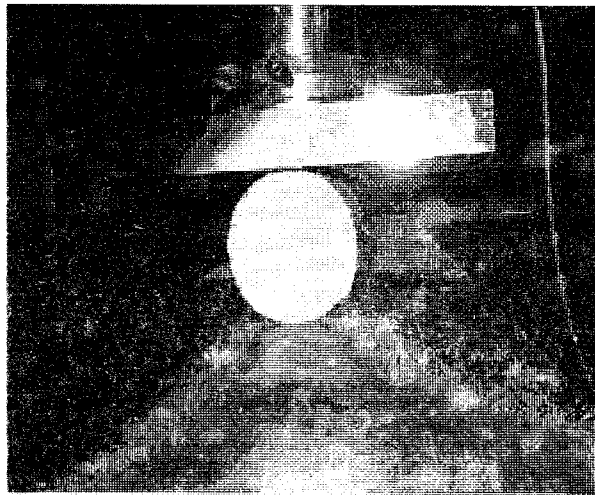


그림 3-82 인장시험 장면

나. 석회 및 시멘트의 인장강도시험

석회 및 시멘트 보강토의 인장강도를 분석하기 위해 사용된 석회의 혼합비는 2%, 4%, 6%, 8%의 4가지 경우이며, 시멘트의 혼합비는 3%, 6%, 9%의 3가지 경우이다. 시험된 결과를 그림으로 도시하면 그림 3-83, 그림 3-84와 같다. 그림에서 석회의 양이 증가할수록 오히려 강

도와 변형율이 감소하였으며 비혼합토의 인장강도와 변형율이 각각 208.3kPa, 0.464%인 것과 비교할 때 강도는 59%~39%수준이고 변형률은 60%~50%수준으로 나타났다.

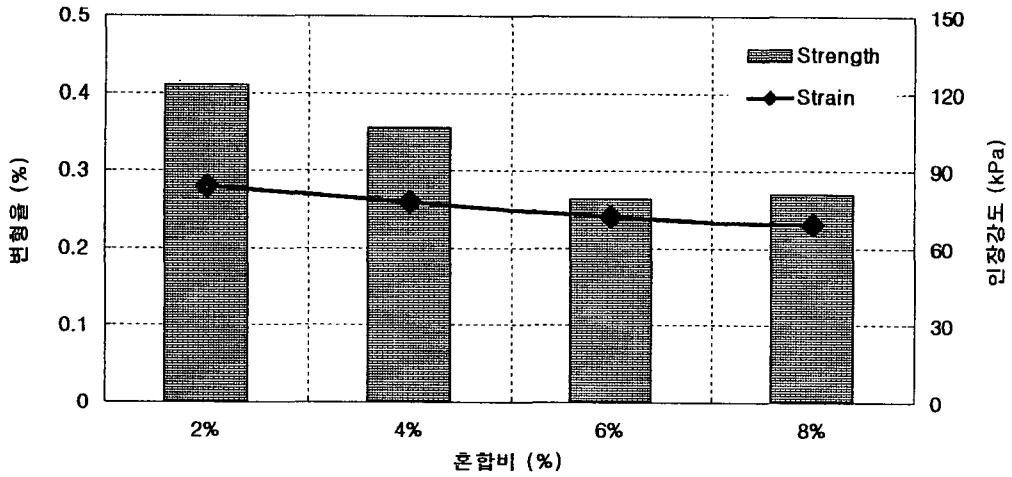


그림 3-83 석회혼합토의 인장강도

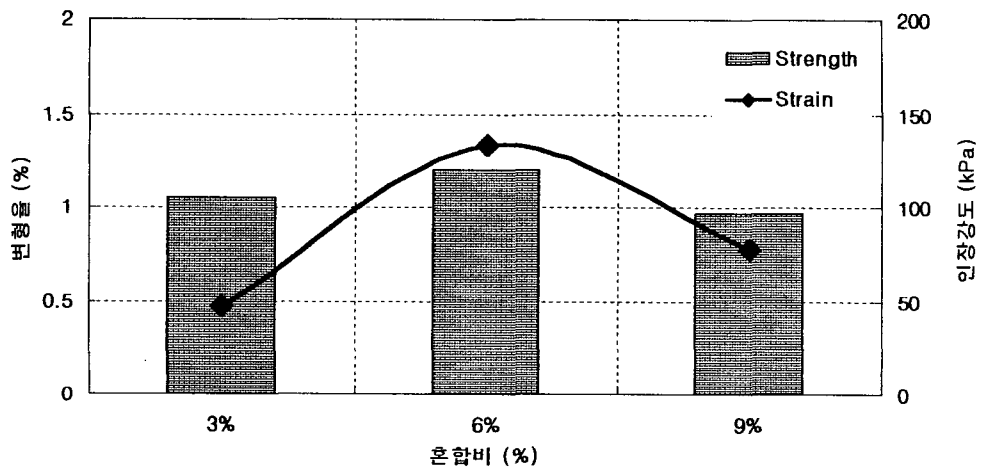


그림 3-84 시멘트 혼합토의 인장강도

4. 결론

- 가. 섬유유 형태에 관계없이 섬유유 양이 증가할수록 최대건조밀도는 감소하였고 최적함수비는 증가하였다.
- 나. 석회 보강혼합토의 경우 동결융해로 인한 강도의 변화양상은 일정하지 않지만 섬유 보강혼합토는 동결융해로 인해 강도가 감소한다. 하지만 단사 19mm와 망사 19mm를 섞은 보강혼합토는 200주기 이상의 동결융해를 겪은 후에도 비혼합토 이상의 강도를 나타내었다.
- 다. 시멘트 보강 혼합토의 경우 강도는 100주기의 동결융해까지는 큰 변화가 없다가 200주기에서 급격히 감소하였다.
- 라. 석회 보강 혼합토의 경우 강도는 100주기 이상에서 크게 감소하였고, 섬유유와 같이 혼합할 경우 그 혼합율이 0.3%에서 가장 효과가 좋았다.
- 마. 섬유혼합토의 인장강도 및 변형률은 섬유유양이 증가할수록 증가하였다.
- 바. 시멘트 혼합토의 인장강도는 혼합비에 따라 강도에 있어서는 큰 차이가 없지만 변형률은 일정한 경향을 찾기 어려웠다.
- 사. 시멘트 혼합토의 강도는 비혼합토의 최고 56%수준이고 변형률은 최고 2.8배였다.

제 8 절 보강혼합토의 크리프 특성

1. 서론

보강토는 Henri Vidal(1969)에 의해 개발된 이후, 이에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으며 그 이용 또한 급속히 확산되고 있다. 보강토의 기본적인 현상은 흙의 성질을 개선하기 위한 것이다. 흙과는 다른 물질인 보강재를 사용하여 흙과 보강재의 마찰을 통하여 인장에 약한 흙의 특성을 보완하는 것으로 흙 속의 어느 한 부분에서 흙과 보강재의 마찰에 의하여 발휘되는 점착력과 마찰 저항력이 흙덩이 전체에 걸쳐서 전달되고, 이때 보강재의 배치 방향은 자유로이 조절할 수 있으므로 보강토는 모든 방향으로 강도를 나타낼 수 있다. 또한 보강토는 유연성이 있을 뿐만 아니라 높은 인장응력을 가질 수 있다. 이와 같이 흙은 전단력에는 어느 정도 강하나 인장력에는 약하므로 흙의 하중 지지 능력을 증가시키기 위해서 흙의 약점인 인장응력 증가에 대한 연구가 오래 전부터 시도되어 왔다.

우리 나라에서는 전통주택의 벽이나 토담을 축조함에 있어서 흙에 짚, 나무가지, 생석회 등을 혼합하여 단단한 벽돌이나 벽체 등을 만들어 구조물의 재료로 사용하였다. 그러나 이런 재료에 대한 공학적인 연구는 국내외적으로 미흡한 실정이어서 현대구조물에 적용하기는 어려움이 있다. 따라서 자연상태의 흙이 지닌 성질을 개선하고 농업구조물 특히, 곡물저장고 및 농가주택의 비내력벽에 부재료로서 이용하기 위해서는 구조물의 적합한 재료의 개발이 필요하다. 보강재를 사용한 보강혼합토를 구조물의 비내력벽에 사용할 경우 실내 온·습도를 조절함으로써 에너지 절감효과와 콘크리트 구조물에 비해 구성재료비가 저렴하여 공사비를 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

보강재료로서는 전통적인 방법에서 새로운 기술 개발로 인하여 강판, 알루미늄 등이 쓰이다가 최근 들어 섬유공업의 발달로 주로 합성섬유가 보강재로 쓰이게 되었다. 합성 섬유가 본격적으로 실용화된 후에는 토목분야에서도 콘크리트의 인장력을 증가시키기 위해 섬유혼합 콘크리트가 사용되고 있고 최근에는 흙에도 점차 이용되고 있다.

흙에 섬유를 보강재로 사용한 토목섬유보강의 역학적 기본 개념은 인장강도가 크고 탄성계수가 큰 재료를 흙 속에 매설함으로써 압축력에는 비교적 강하나 인장력에는 약

한 흙의 성질을 개선하여 보강구조물의 지반 안정과 내구성을 증진시켜주는 것이다.

석회 또한 보강재로 널리 사용되고 있다. 흙에 석회를 섞으면 '이온교환'과 '포졸란반응' 등의 수많은 복잡한 반응이 발생한다. 그 결과 미세한 입경의 점토나 콜로이드입자는 서로 결합하여 큰 입자가 되거나 결합한 흙 입자를 고화시키는 물질이 장기간 생성되어 흙의 강도 및 내구성을 증진시킨다.

석회는 천연적으로 생산된 석회석을 석탄이나 증유, 가스등에 의하여 1,000℃ 이상으로 가열하여 소성한 것으로서 공학적으로는 생석회와 소석회로 분류한다. 소석회는 생석회에 물을 섞어 소화작용을 한 것으로서 이 생석회가 소석회로 변화하는 과정에서는 많은 물을 흡수하고, 많은 열을 방출한다. 이와 같은 원리를 통해 반죽덩어리가 된 점토에 생석회를 섞으면 굳어지고 강도를 증진시켜준다.

이에 본 연구는 국내 부존자원으로서 매장량이 비교적 풍부한 석회석에서 제조된 생석회, 탄산석회, 시멘트 및 보강구조물의 보강재로 널리 사용되고 있는 폴리프로필렌 섬유를 흙과 혼합한 보강혼합토의 장기적 건조밀도 및 압축강도 시험과 크리프 시험을 실시하여 보강흙벽의 보강재료로서 이용 가능성을 도모하고자 하였다.

2. 보강혼합토의 장기적 건조수축 변형

가. 공시체에 대한 장기 건조수축 변형

보강혼합토의 장기 건조수축의 변형에 따른 적정 함수비를 결정하고자 시험을 실시하였다.

1) 사용재료

가) 흙

본 연구에 사용된 흙 시료는 경기도 수원시에서 채취한 시료로서 점토질 성분을 많이 함유하였으며, 입도분포곡선은 그림 3-85와 같고 기초 물리적 특성 표 3-23과 같다.

표 3-23 수원시료의 물리적 특성

비중	액성한계 (%)	소성지수 (%)	최대건조밀도 (g/cm ³)	OMC (%)	USCS**
2.63	38.5	21	1.652	18.23	CL

* OMC : 최적함수비

** USCS : 통일분류법

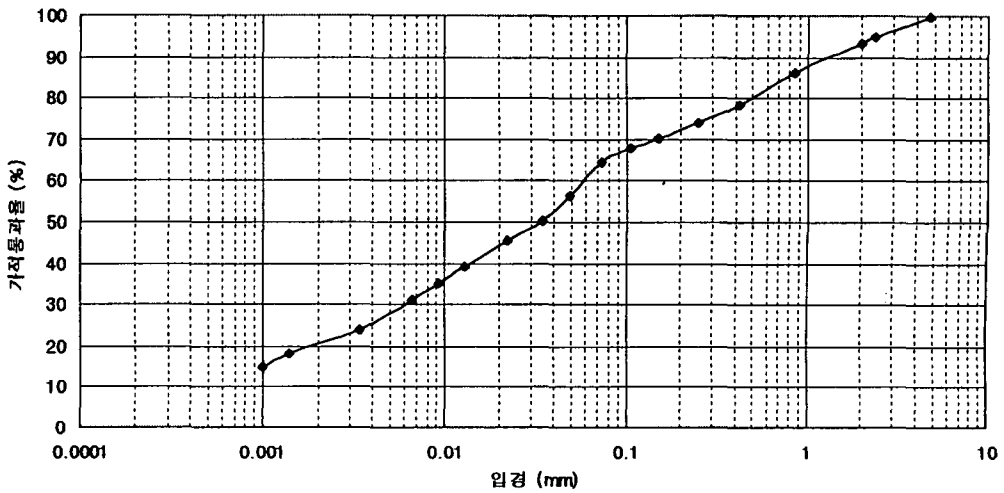


그림 3-85 수원시료의 입도분포곡선

나) 보강재료

본 연구에서는 일반적으로 널리 보강재료로 사용되고 있는 석회, 시멘트, 섬유를 사용하였다.

(1) 탄산석회

탄산석회는 점토의 소성지수를 감소시키고, OMC를 증가시킬 목적으로 사용되었으며 본 시험에서 사용한 것은 중질 탄산석회로 물리적 특성은 표 3-24,3-25과 같다.

표 3-24 탄산석회(CaCO₃)의 물리적 특성

비중	흡수량 (cc/g)	함수율 (%)	pH	평균 입경 (μm)	325체 잔류량 (%)
2.70	0.3	0.16	8.7	3.6	0.01

표 3-25 탄산석회의 화학적 성분 (Unit : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Ig-Loss
1.25	0.21	0.12	54.46	0.61	43.18

(2) 생석회

생석회는 점토의 안정 처리에 적합하여 점성을 향상시킬 목적으로 사용하였으며, 본 시험에서 사용한 것은 국내 B사의 제품으로서 그 화학적 특성은 표 3-26과 같다.

표 3-26 생석회(CaO)의 화학적 특성

비중	CaO	MgO	SiO ₂
2.76	83.51	1.42	4.21

(3) 시멘트

H회사에서 생산된 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 물리적 특성은 표 3-27과 같다.

표 3-27 시멘트의 물리적 특성

비중	비표면적 (cm ² /g)	응결시간		압축강도(kg/cm ²)		
		초 결 (분)	종 결 (시간)	3 일	7 일	28 일
3.15	3507	4:28	6:05	259	321	404

(4) 섬유

섬유는 보강구조물의 재료로 널리 사용되고 있는 폴리프로필렌 섬유를 사용하였다. 폴리프로필렌 섬유는 제조 방식 및 형태에 따라 단사(monofilament fiber)와 망사(fibrillated fiber)가 있으며 본 연구에서는 섬유의 절단길이에 따른 단사19mm와 망사 19mm 2종을 선정하였으며 섬유의 비중은 0.91이며 섬유의 물리적 특성은 표 3-29에 나타내었다.

표 3-28 섬유(망사형)의 물리적 특성

비중	인장강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)	융점 (°C)	입경 (mm)
0.91	3287.6	39,550	168	0.08

(5) 촉진제

촉진제로서 염화칼슘(CaCl₂)은 시멘트의 응결경화를 촉진하여 조기강도의 증대 및 동결온도를 저하시킨다. 이에 본 연구는 염화칼슘을 시멘트 및 석회에 적정량을 혼합하여 장기적 건조수축변형에 따른 건조밀도 및 압축강도를 알아보고자 사용하였다.

2) 실험장치 및 방법

가) 보강혼합토의 건조수축시험

보강혼합토의 공시체 제작은 그림 3-86과 같이 직경이 10cm이고 높이가 20cm인 몰드에 혼합한 시료를 넣어 4층 24회씩 다짐을 하여 제작하였다. 이때 래머의 중량은 2.85kg, 낙하고는 29cm, 다짐에너지(E)는 5.625 kg·cm/cm³로 하였으며, 몰드 해체는 공시체의 급작스런 표면균열 등의 우려가 있기 때문에 3시간 동안 공기 중에 건조시킨 후 몰드를 해체하여 시험을 실시하였다. 또한 공시체의 각 재령별 길이와 직경은 버니어캘리퍼스(±0.05mm)를 이용하여 측정하였다.

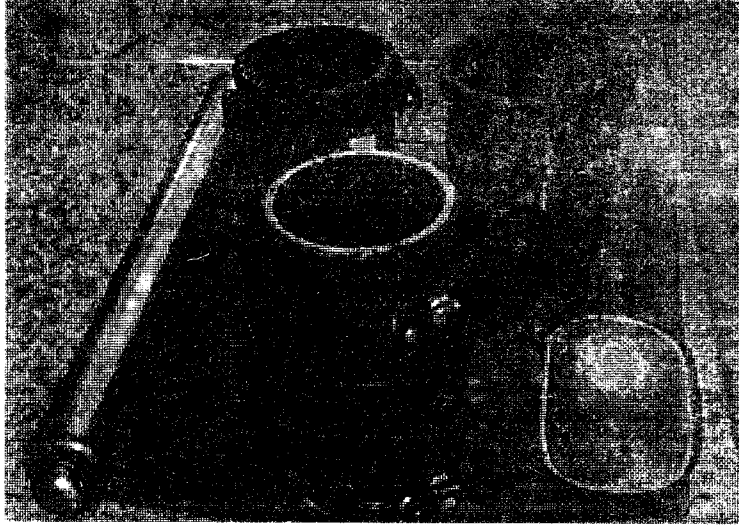


그림 3-86 공시체 제작용 시험기구



그림 3-87 몰드 해체전 정면도

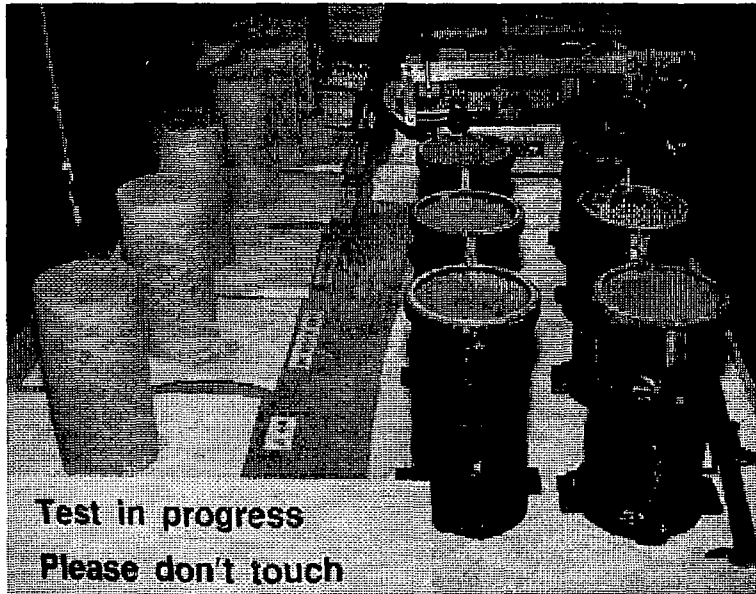


그림 3-88 몰드 해체전 측면도

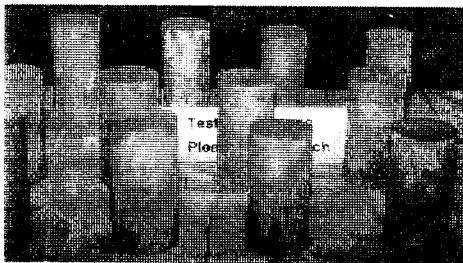


그림 3-89 몰드 해체후 정면도

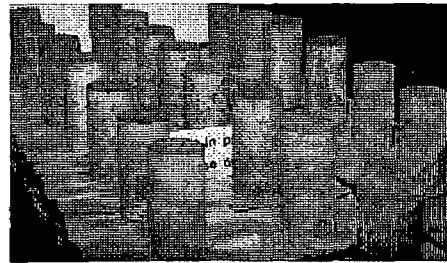


그림 3-90 몰드 해체후 측면도

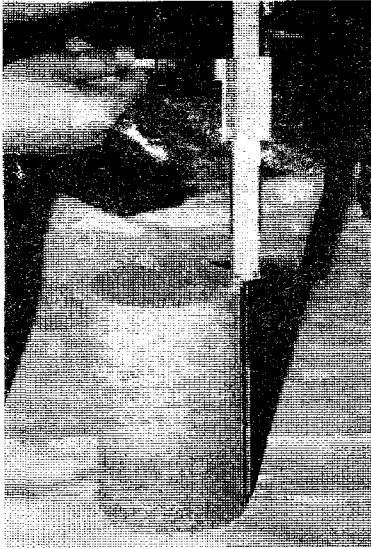


그림 3-91 공시체의 길이 측정

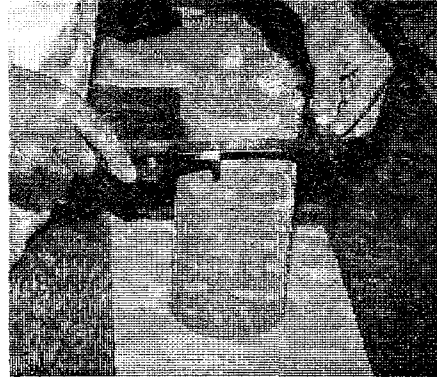


그림 3-92 공시체의 직경측정

나) 보강혼합토의 압축강도시험

압축강도시험은 관련 규격 KS L 5105의 시험방법으로 실시하였다. 보강혼합토의 압축하중을 재하하여 최대하중을 읽고 원단면적으로 나누어 압축강도를 구하였다.

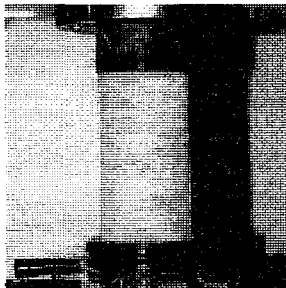


그림 3-93 하중 재하전

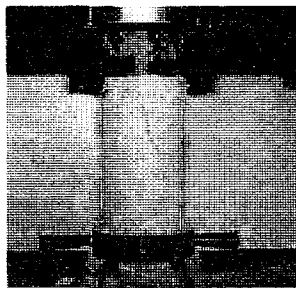


그림 3-94 하중 재하시

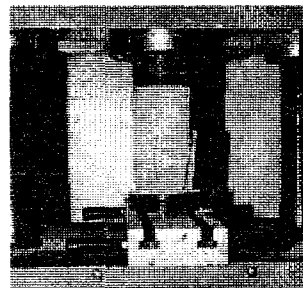


그림 3-95 공시체 파괴시

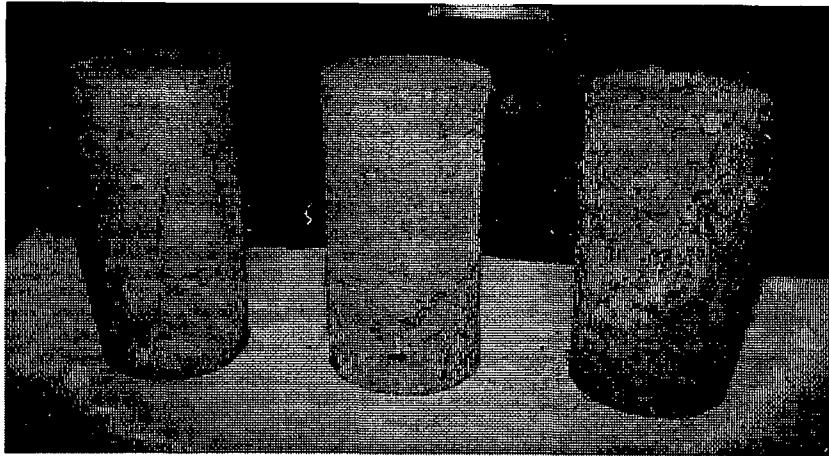


그림 3-96 압축강도 시험후 공시체

3) 시료조성

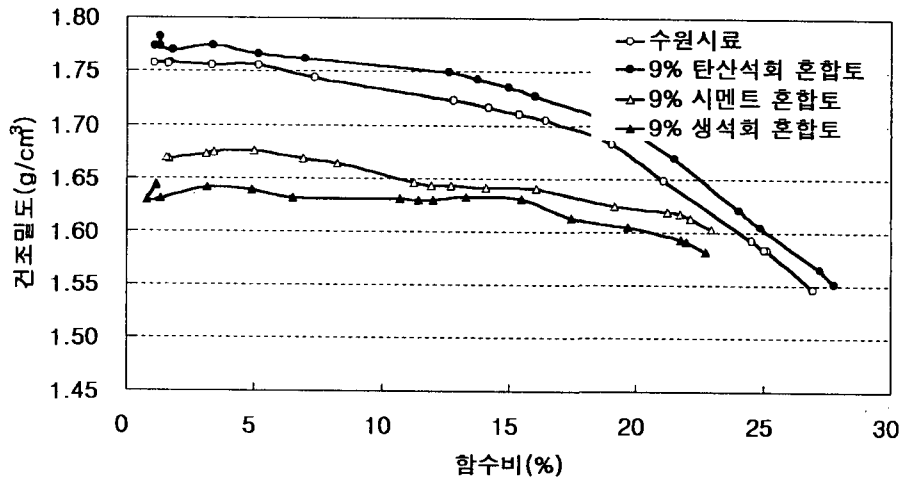
보강혼합토의 건조수축을 및 일축압축강도시험을 하여 보강재의 적정 혼합비와 함수비 결정을 위한 시료 혼합은 표 3-29와 같다.

표 3-29 보강혼합토의 시료조성

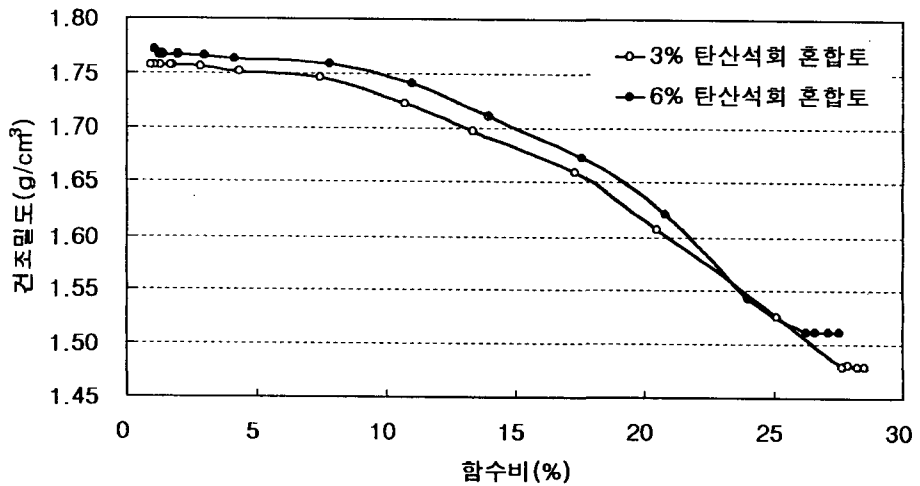
사용재료	혼합비 (%)					함수비 (%)	비고
	탄산석회	생석회	시멘트	섬유	축진제		
수원시료	-	-	-	-	-	20, 30, 40	수원토 자체
탄산석회 혼합토	3	-	-	-	-	20	노건조 수원토에 대한 중량비
	6	-	-	-	-	20	
	9	-	-	-	-	20, 30, 40	
생석회혼합토	-	9	-	-	-	20, 30, 40	
시멘트혼합토	-	-	9	-	-	20, 30, 40	
섬유혼합토	-	-	-	0.3	-	20, 30, 40	
	-	-	-	0.5	-	20	
	-	-	-	1.0	-	20	
축진제 혼합토	9	-	-	-	1	20	노건조 석회에 대한 중량비
					2	20, 30, 40	
					3	20	
	-	-	9	-	2	20, 40	노건조 시멘트에 대한 중량비

나. 결과분석 및 고찰

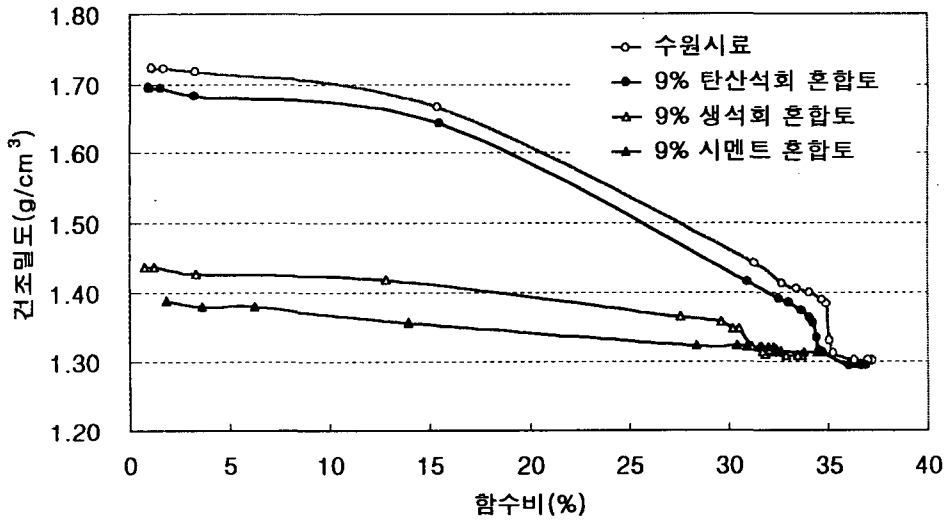
1) 보강혼합토의 건조밀도 변화



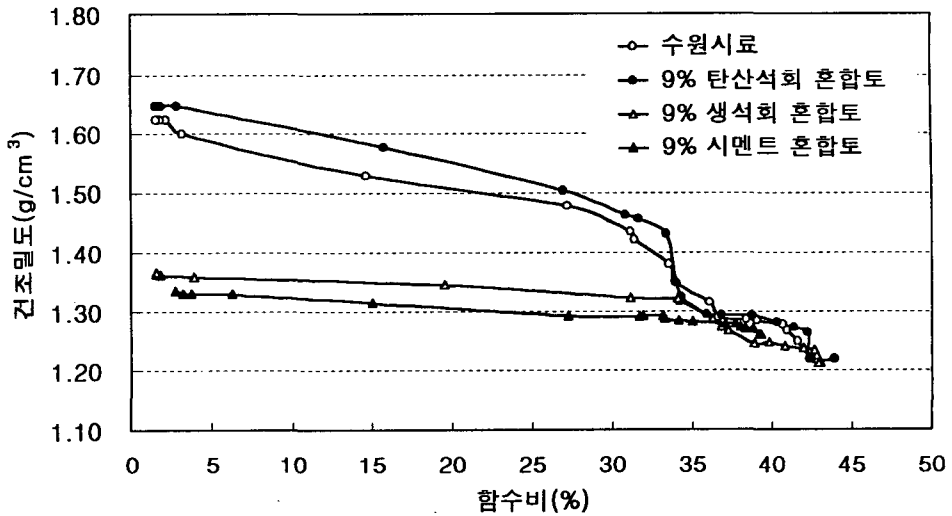
(a) 초기함수비 20%



(b) 초기함수비 20%



(c) 초기함수비 30%



(d) 초기함수비 40%

그림 3-97 보강혼합토의 함수비에 따른 건조밀도 변화

보강혼합토의 함수비에 따른 건조밀도 변화는 그림 3-97과 같다. 함수비 20%에서의

혼합토는 9%탄산석회 혼합토의 건조밀도가 가장 높게 나타나는 경향을 보였으나 시간의 경과에 따라 수원토와 같이 건조밀도 감소의 폭이 크게 나타났다. 이것은 점토 성분이 많은 수원토는 많은 함수량을 요구하므로 다짐 상태에서는 점토 함유량이 증가함에 따라 토립자간의 공극량이 증대되어 이 공극에 토립자 대신 물로 채워져 있기 때문이다. 따라서 건조밀도의 변화가 큰 원인도 물의 증가량이 많을수록 흙이 감소되므로 비중이 물보다 훨씬 큰 흙의 감소는 건조밀도를 감소시키는 것으로 사료된다.

탄산석회를 9% 혼합하였을 때 건조밀도가 급격히 감소되는데 이는 입자가 가는 탄산석회도 점토와 같은 역할을 하기 때문으로 사료되며 탄산석회 혼합량이 증가할수록 건조밀도의 감소율이 커지는 이유는 점토에 비하여 비중이 작은 석회가 비중이 큰 흙과 대체되기 때문으로 판단된다.

한편, 9%시멘트 혼합토 및 9%생석회 혼합토의 건조수축은 전반적으로 변화가 작게 나타났다. 이 원인은 시멘트의 수화반응에 의한 주산물은 시멘트겔로서 흙과 혼합시 건조 수축에 영향을 주는 중요한 물질이다. 시멘트겔은 거의 비결정질 물질로서 화학성분이 유동적이어서 시간, 온도, 함수량등의 조건에 따라 조금씩의 변화가 일어난다. 따라서 비표면적이 점토에 비해 작기 때문에 건조수축을 구속하는 효과가 클 것으로 생각된다.

흙에 석회를 섞으면 '이온교환'과 '포졸란반응' 등의 수많은 복잡한 반응이 발생한다. 그 결과 미세한 입경의 점토나 콜로이드입자는 서로 결합하여 큰 입자가 되거나 결합한 흙 입자를 고화시키는 물질이 장기간 생성된다. 이와 같이 응집과 분해작용으로 인하여 흙의 내구성을 증진시키고 체적팽창작용을 하여 건조밀도의 변화를 작게 일으킬 것으로 사료된다.

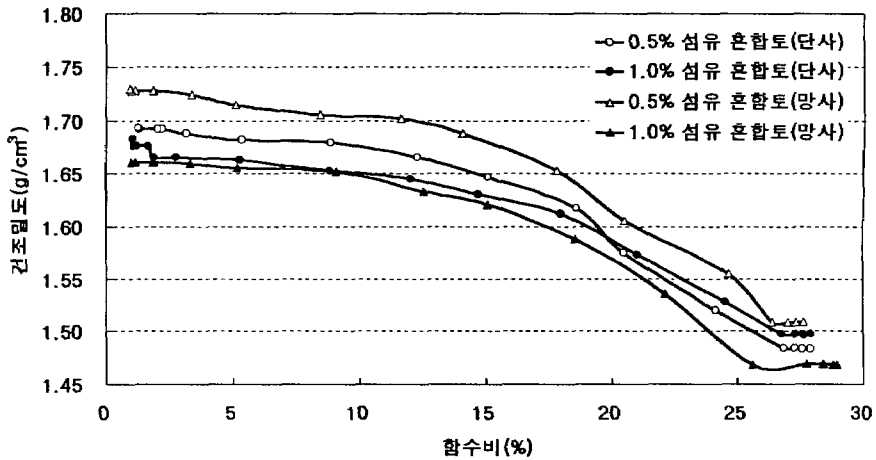
석회는 천연적으로 생산된 석회석을 석탄이나 중유, 가스등에 의하여 1,000℃ 이상으로 가열하여 소성한 것으로서 공학적으로는 생석회와 소석회로 분류한다. 소석회는 생석회에 물을 섞어 '소화'라고 불리는 화학반응을 일으킨 것을 가리키지만, 이 생석회가 소석회로 변화하는 과정에서는 많은 수분을 흡수하고 높은 열을 방출한다.

생석회혼합토는 생석회의 칼슘(Ca^{2+})이온이 점토표면에 흡착하여 미립자를 응집시키는 작용을 하여 초기 재령의 강도 증가, consistency 변화에 영향을 준다. 토립자에 흡착된 칼슘(Ca^{2+})이온은 흙 속의 SiO_2 (산화규소), Al_2O_3 (산화알루미늄)과 반응을 하여 결

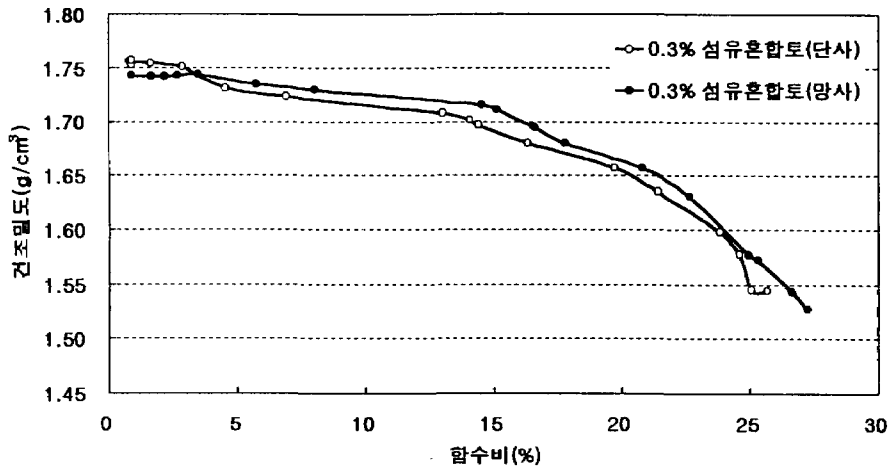
정광물로 변한다. 토립자중 결정수의 일부가 CO₂의 작용으로 H₂CO₃로 치환하여 보다 안정한 점토광물로 변하는 탄산화 반응을 한다. 이 반응으로 점토와 생석회간의 응결작용을 한다. 생석회는 수화작용으로 흙 속의 함수량 저하와 체적팽창 작용을 한다. 이와 같은 원리를 통해 반죽덩어리가 된 점토에 생석회를 섞으면 굳어진다.

화학반응식은 $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 15.6\text{kcal/mol}$ 이다.

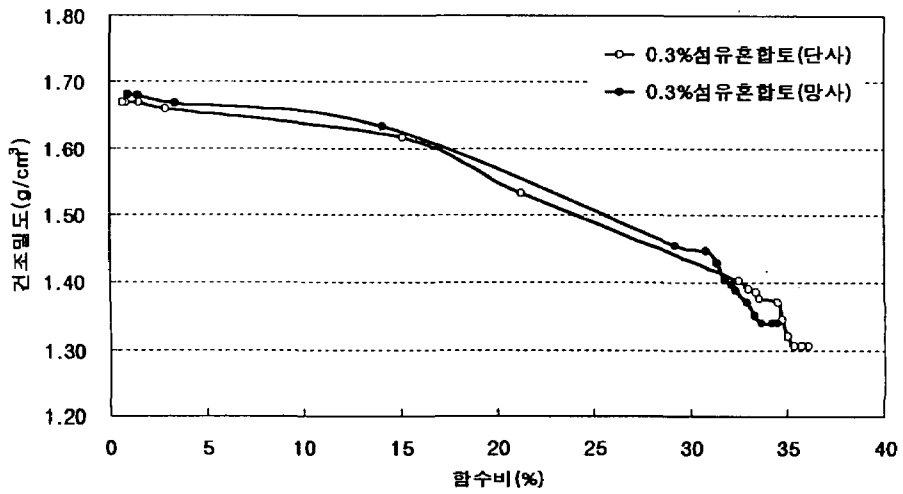
생석회는 소화흡수와 팽창작용 및 발열반응이 일어나고, $\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{점토광물} \rightarrow \text{모세관 흡수와 흡착작용 및 수화물생성이 이루어진다.}$



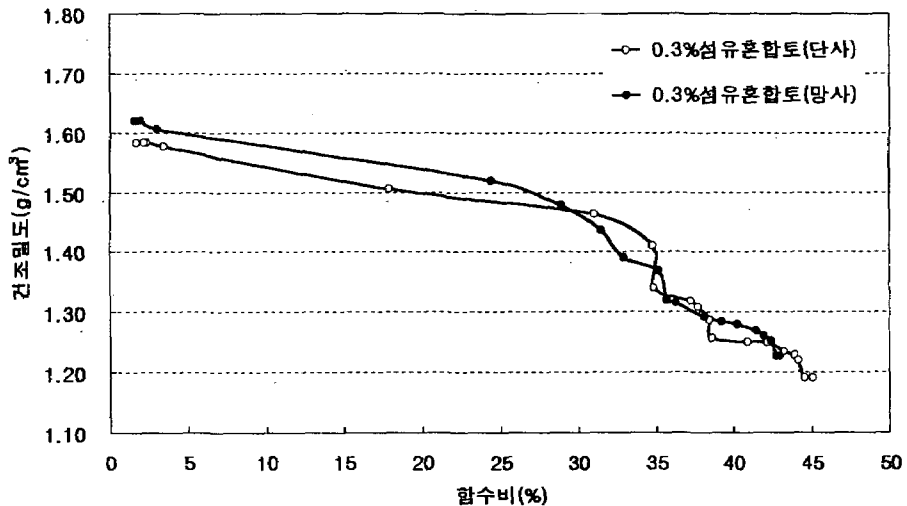
(a) 초기함수비 20%



(b) 초기합수비 20%



(c) 초기합수비 30%

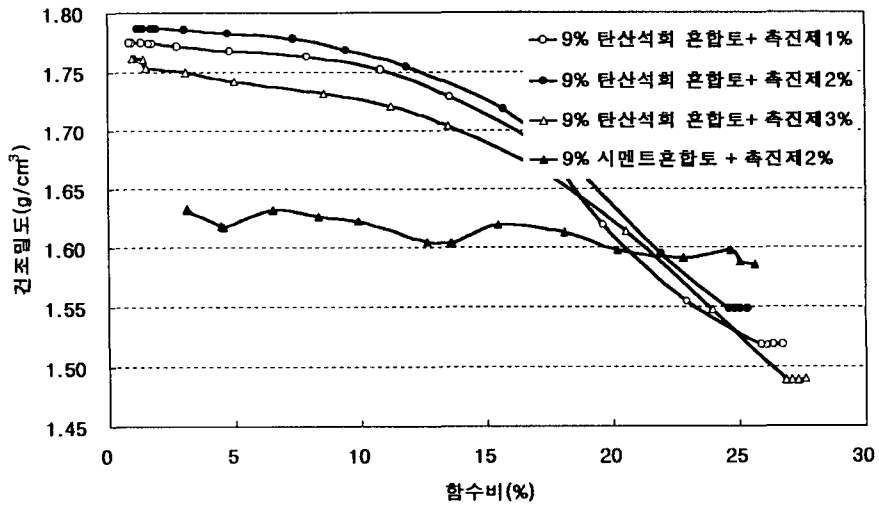


(d) 초기함수비 40%

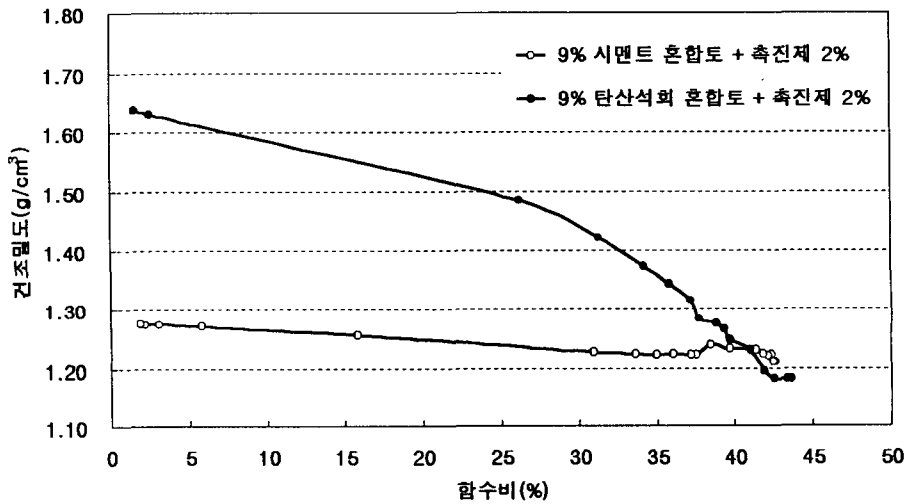
그림 3-98 섬유혼합토의 함수비에 따른 건조밀도 변화

그림 3-98은 섬유혼합토의 함수비에 따른 건조밀도변화를 나타낸 것으로서 섬유양이 증가함에 따라 건조밀도는 감소하였는데 이는 섬유양이 증가할수록 흙이 차지하는 체적과 중량이 상대적으로 감소하기 때문이다. 또한 섬유양에 따른 건조밀도는 섬유양에 따라서 다소 차이는 있지만 단사, 망사 2종 모두 건조밀도는 감소하는 경향을 보였다.

단사의 경우 혼합률이 1% 이상 되면 섬유양이 많아 혼합토내에서 낮은 단위중량의 섬유가 차지하는 부피가 커질 뿐만 아니라 섬유의 스폰지현상이 보다 크게 발휘될 것으로 판단된다. 그러나 섬유는 동일한 혼합률에서 망사보다 단사의 양이 많을 뿐만 아니라 서로 엉킴현상이 일어나 작업시 어려움이 다소 있다. 이러한 현상은 섬유의 혼합률이 증가할수록 점점 심해졌다. 한편 0.3%섬유혼합토 단사와 0.3%섬유혼합토 망사에 초기함수비가 20%, 30%, 40%를 각각 혼합한 결과 단사가 망사보다 건조밀도가 전반적으로 낮은 이유는 점토의 점착성 때문에 흙과 섬유의 혼합이 용이하지 않아 섬유의 엉켜진 덩어리 형태가 존재하기 때문으로 사료된다.



(a) 초기합수비 20%



(b) 초기합수비 40%

그림 3-99 보강혼합토에 축진제를 첨가한 건조밀도 변화

보강혼합토에 축진제를 첨가한 결과 건조밀도의 변화는 그림 3-99와 같다. 9%탄산석

회혼합토에 촉진제 1, 2, 3%를 혼합한 결과 염화칼슘을 2% 첨가한 탄산석회혼합토에서 건조밀도가 가장 높게 나타났으나 9%탄산석회혼합토와 9%시멘트혼합토의 건조밀도 변화의 폭이 촉진제를 혼합하지 않은 경우와 비슷하였다. 따라서 촉진제는 탄산석회 및 시멘트혼합토의 건조밀도에는 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

2) 보강혼합토의 압축강도 시험

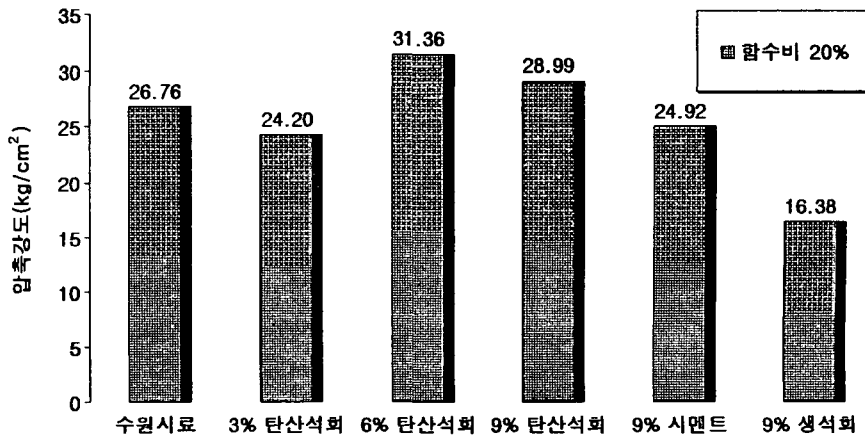


그림 3-100 재령 60일에 대한 보강혼합토의 압축강도시험(함수비 20%)

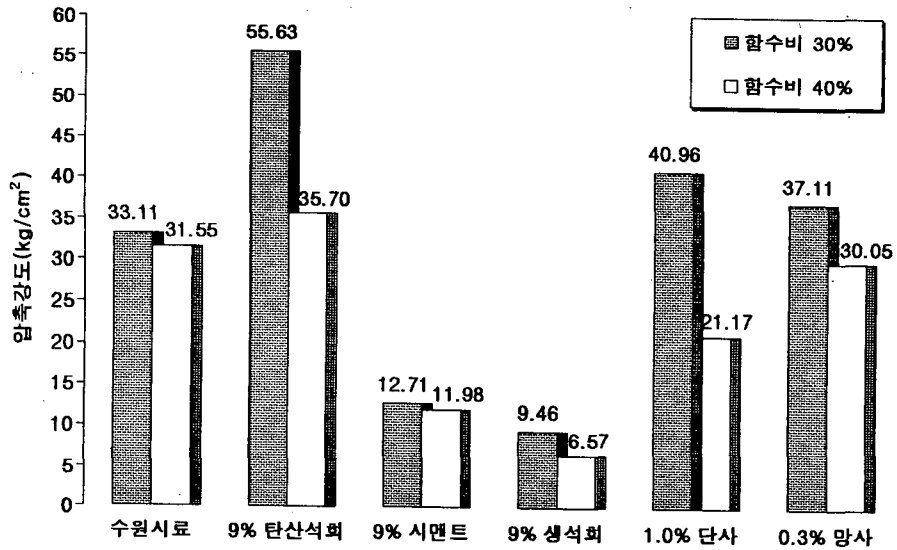


그림 3-101 재령 60일에 대한 보강혼합토의 압축강도시험(함수비 30%, 40%)

수원시료 자체 및 보강재를 혼합한 보강혼합토의 공시체를 60일간 건조시킨 후 압축 강도시험을 실시한 결과 그림 3-100, 101과 같다. 함수비가 20%에서는 6%탄산석회, 9%탄산석회혼합토 순으로 강도가 크게 나타났으며 9%시멘트 및 9%생석회는 수원시료 자체보다 강도가 낮다. 이 결과로 9%시멘트 및 생석회혼합토에 의한 보강 효과는 기대할 수 없을 것으로 사료된다.

또한 함수비 30%에서 9%탄산석회 혼합토의 강도가 가장 높게 나타난 것처럼 함수비는 압축강도 시험에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

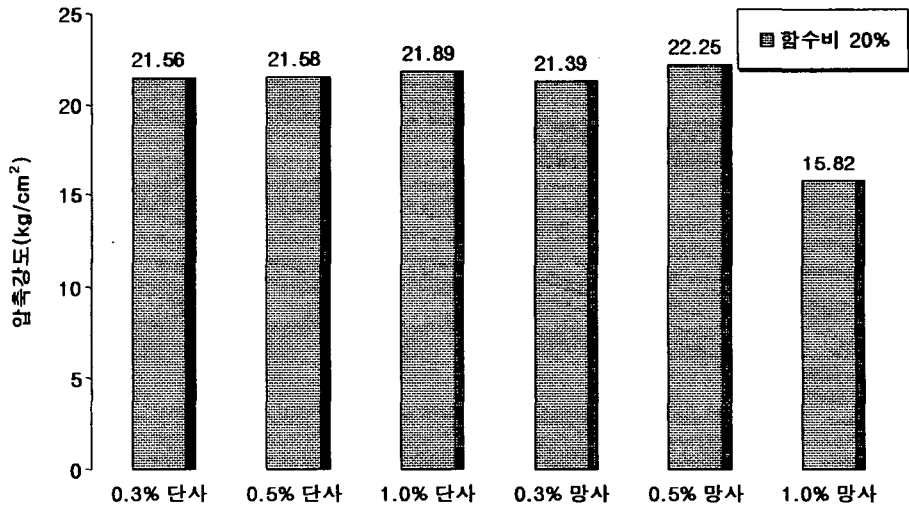


그림 3-102 재령 60일에 대한 섬유혼합토의 압축강도시험

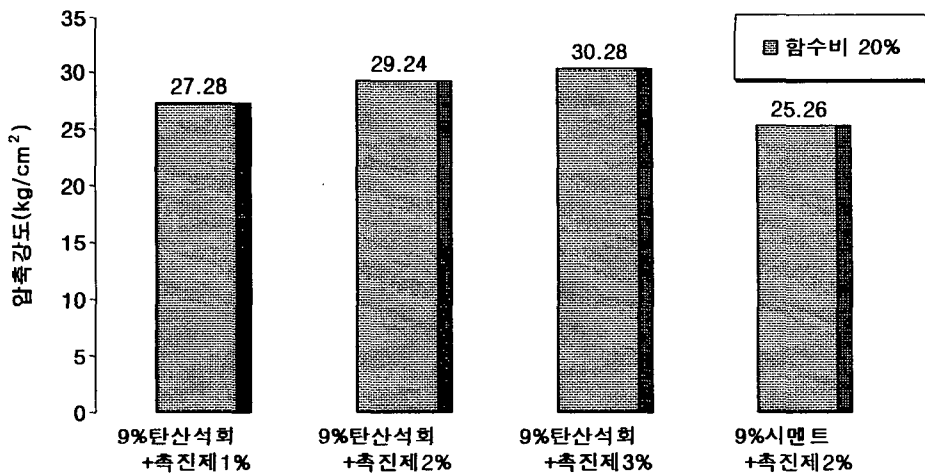


그림 3-103 촉진제를 첨가한 보강혼합토의 재령 60일에 대한 압축강도시험

섬유혼합토 및 촉진제를 첨가한 보강혼합토의 재령 60일에 대한 압축강도 시험 결과는 그림 3-102, 103과 같다. 섬유혼합토의 경우 단사의 양이 증가할수록 강도가 높게

나타났으나, 망사의 경우 혼합량 1.0%에서는 강도가 오히려 급격히 감소하였다. 따라서 망사의 경우 1.0%이상 혼합시 보강효과가 떨어질 것으로 판단된다.

촉진제를 첨가한 보강혼합토의 경우 9%탄산석회혼합토에 촉진제3%를 첨가한 공시체의 강도가 9%시멘트혼합토 촉진제2%를 첨가한 공시체보다 높게 나타났다. 그러나 촉진제를 첨가하지 않은 공시체에 비해 강도의 효과가 미비한 것으로 보아 보강혼합토에 촉진제의 영향이 크지 않은 것으로 사료된다.

3. 보강혼합토의 장기적 크리프 거동

가. 보강혼합토의 크리프 시험

크리프와 건조수축은 구조물의 균열과 내구성에 관계되고 발생한 후부터는 제어가 어렵다는 것이 문제이다. 따라서 보강혼합토의 크리프 특성을 파악하여 크리프 발생을 최대한 억제하기 위한 조건을 결정하는 것이 필요하다.

1) 실험장치 및 방법

가) 실험장치

압축형 크리프 시험기(creep test apparatus)는 성형한 보강혼합토 원주 공시체($\phi 15 \times 30$ cm)가 일정한 응력상태에서 재하시간에 따른 변형량을 측정하는 장치이다(그림 3-104).

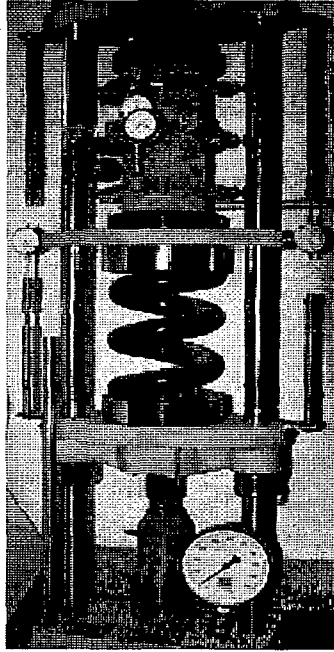


그림 3-104 압축형 크리프 시험기

나) 공시체의 성형 및 양생

보강혼합토의 포아슨비 시험에서와 같이 시험용 원주 공시체는 표준다짐에너지를 이용하여 최대건조밀도의 95%다짐으로 3개를 성형한 후 공기건조상태에서 양생한다.

다) 실험방법

보강혼합토의 크리프 시험은 KS F 2453 규격에 의하여 시험을 하였다. 크리프 시험 전 공시체의 압축강도시험을 하여 최대하중을 구한 다음 최대하중의 40%에 해당하는 하중을 시험하중으로 한다. 제작한 공시체를 재하판 중앙에 중심을 맞추어 올려놓고 하중을 가하여 재하판을 올린다. 시험하중에 도달하면 좌우 반력지지용 너트로 고정시킨 다음 변형 측정용 다이얼게이지의 눈금을 0으로 맞춘후 각 재하시간에 따른 변형량을 측정한다. 시험기간중에 재하하중이 설정치보다 떨어지면 설정재하하중이 되도록 반력 지지용 너트를 돌려서 조정한다. 제작된 3개의 공시체중 1개는 압축강도 시험에 사용하고 1개는 하중을 재하하여 변형을 측정하고 나머지 1개는 하중이외의 원인으로 일어나는 변형을 조사하기 위하여 재하하지 않고 시험상태와 동일한 조건으로 둔다.

2) 실험목록

보강혼합토의 크리프 시험을 위한 시료의 조성 및 재하조건은 표 3-30과 같다.

표 3-30 보강혼합토의 크리프 시험에 대한 시료조성

사용재료	혼합비 (%)		재하시의 재령 (day)	함수비 (%)	재하시간 (day)
	탄산석회	단사			
탄산석회 혼합토	9	0	7, 14	20	30
섬유 혼합토	0	0.3	7, 14	20	30
섬유 / 탄산석회 혼합토	9	0.3	7, 14	20	30

3) 결과분석 및 고찰

0.3%섬유혼합토 단사 및 9%탄산석회혼합토의 압축시험에 의한 하중과 응력 그리고 크리프 시험시 하중과 응력은 표 3-31, 3-32와 같다.

표 3-31 0.3%섬유혼합토 단사의 크리프 시험시 재하하중

재령(day)	파괴하중(kg)	파괴응력(kg/cm ²)	시험하중(kg)	시험응력(kg/cm ²)
7	1860	10.53	500	2.83
14	2520	14.26	1000	5.66

표 3-32 9%탄산석회혼합토의 크리프 시험시 재하하중

재령(day)	파괴하중(kg)	파괴응력(kg/cm ²)	시험하중(kg)	시험응력(kg/cm ²)
7	870	4.92	350	1.98
14	1810	10.24	730	4.13

가) 0.3%섬유혼합토 단사의 크리프 시험

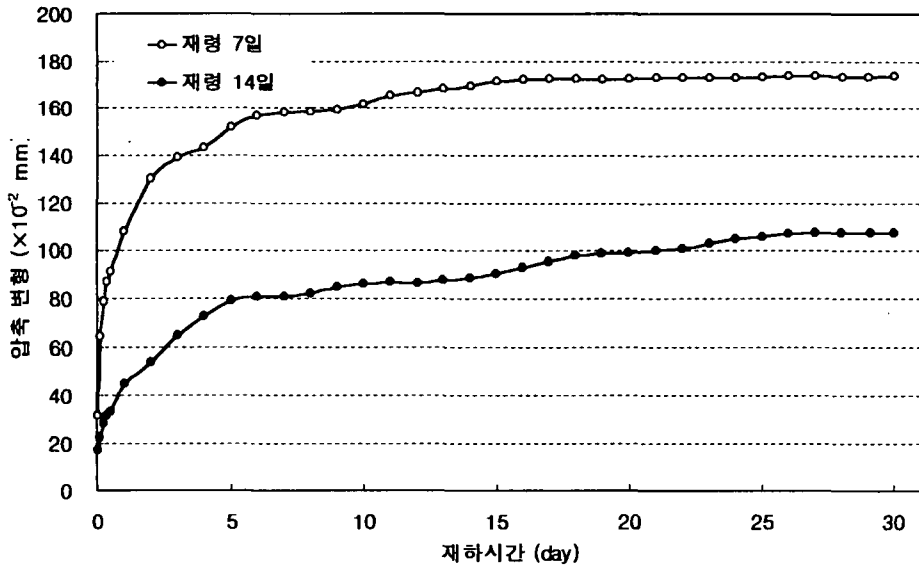


그림 3-105 0.3%섬유혼합토 단사의 크리프시험에 의한 압축변형

그림 3-105는 크리프시험에 의한 0.3%섬유혼합토 단사의 재하시간에 대한 압축변형을 나타낸 것이다. 재하시의 재령이 7일인 경우 1.70mm, 재령이 14일인 경우 1.07mm의 크리프 압축변형을 보였다. 또한, 30일 동안의 전체변형량에 대한 각 재하시간대별 변형은 재령 7일, 14일 모두에서 하중을 재하한 후 초기변형은 급격하게 변화하였지만 재하시간이 길어질수록 압축으로 인한 크리프 변형은 점차 안정화되는 것으로 나타났다. 섬유는 건조수축하는 성질이 아주 미소하기 때문에 흙에 섬유를 혼합한 0.3%섬유혼합토 단사에서 섬유에는 압축응력이 일어나고 흙에는 인장응력이 발생한다. 이것으로 인해 섬유가 흙의 건조수축을 구속하여 섬유와 흙 사이의 마찰력이 커지므로 인해서 크리프 변형이 작게 나타나는 것으로 판단된다. 그리고 재하시 재령이 증가할수록, 재하 전 함수비가 작을수록 크리프 변형은 감소할 것으로 사료된다.

나) 9%탄산석회혼합토의 크리프 시험

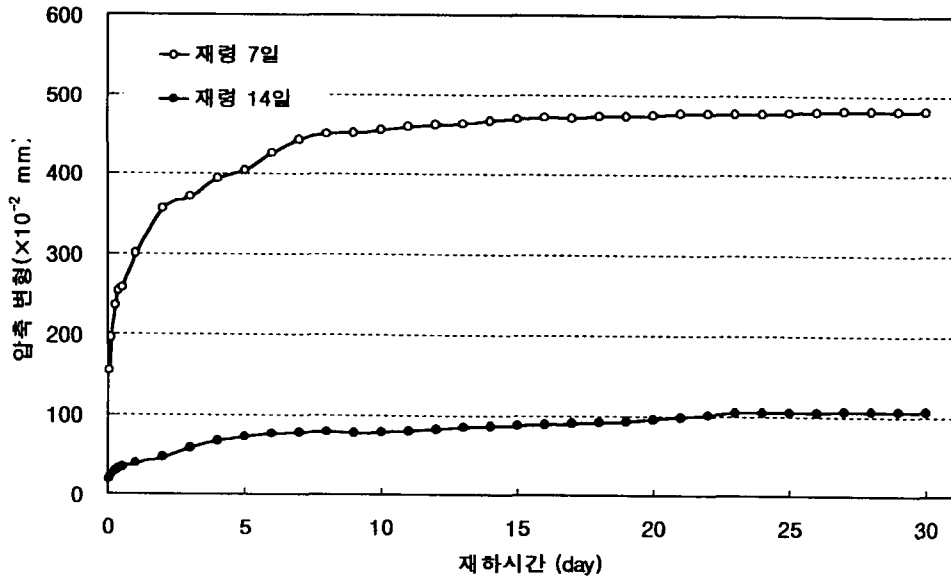


그림 3-106 9%탄산석회혼합토의 크리프시험에 의한 압축변형

그림 3-106은 크리프시험에 의한 9%탄산석회혼합토의 재하시간에 대한 압축변형을 나타낸 것이다. 재하시의 재령이 7일인 경우 4.80mm, 재령이 14일인 경우 1.07mm의 압축변형을 보였다. 9%탄산석회혼합토에서는 크리프시험전 함수비가 크리프변형에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 탄산석회를 혼합한 후 공시체내에 자유수가 머물러 있다 가 공시체가 대기중에 방치될 때 증발이 생긴다. 그 결과로 인해 공시체에는 건조수축이 발생하게 된다. 크리프 시험전 함수비는 재령 7일에서 14.46%, 재령 14일에서 4.11%를 나타내었다. 재령이 7일에서는 재하된후 초기에 급격한 변화를 보이다가 재하시간이 경과할수록 점차 크리프 변형이 안정되는 변화를 보인 반면 재령 14일에서는 재하시간 전체에 걸쳐서 안정화된 크리프변형을 보였다. 이것은 재하시의 재령이 짧은 경우 공시체의 건조가 충분하지 못하여 변화가 큰 것으로 판단된다. 재하시의 재령이 길어질수록 건조로 인한 크리프변형은 점차 감소할 것으로 예상된다. 30일 동안의 전체변형량에 대한 각 재하시간대별 변형은 재령 7일인 경우 5일의 재하시간에 80%가 이루어진 반면 재령 14일의 경우 15일의 재하시간에 80%가 이루어진 것으로 나타났다.

다) 보강혼합토의 크리프 시험(0.3%섬유혼합토 단사 / 9%탄산석회혼합토)

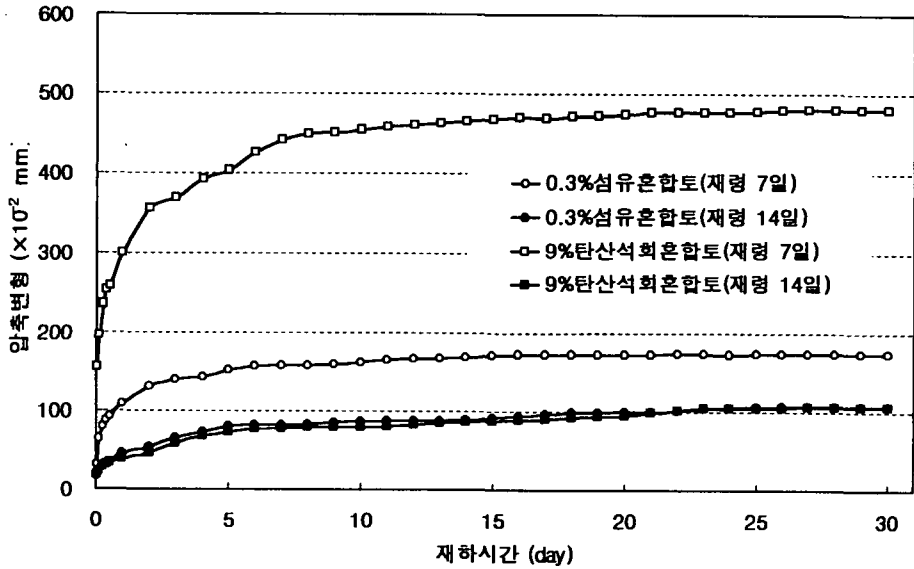


그림 3-107 보강혼합토의 크리프시험에 의한 압축변형

그림 3-107은 0.3%섬유혼합토 단사 및 9%탄산석회혼합토의 재령 7, 14일에 대한 크리프 시험을 나타낸 것이다. 재하시의 재령이 7일에서는 탄산석회를 혼합한 보강토가 섬유를 혼합한 것보다 압축에 의한 변형이 큰 것으로 나타난 반면 재령 14인 경우에는 탄산석회 및 섬유를 혼합한 모두에서 거의 비슷한 변형량을 보였다. 구조물의 사하중이 구속하중으로 작용하는 부재에 보강혼합토를 사용하기 위해서는 구조물의 균열에 관계된 크리프를 제어가 필요하다. 따라서 본 시험에서 양생기간이 짧은 경우 섬유를 보강재로 선정하는 것이 크리프제어를 위해서 적절할 것으로 판단된다.

나. 보강혼합토의 포아슨비 시험

1) 실험장치 및 방법

가) 실험장치

포아슨비 시험기(Poisson's Ratio apparatus)는 성형한 보강혼합토 원주 공시체(ϕ

15×30 cm)가 압축하중을 받았을 때의 가로 및 세로변형을 측정하여 포아슨비를 구하는 장치로 그림 2-108과 같다.

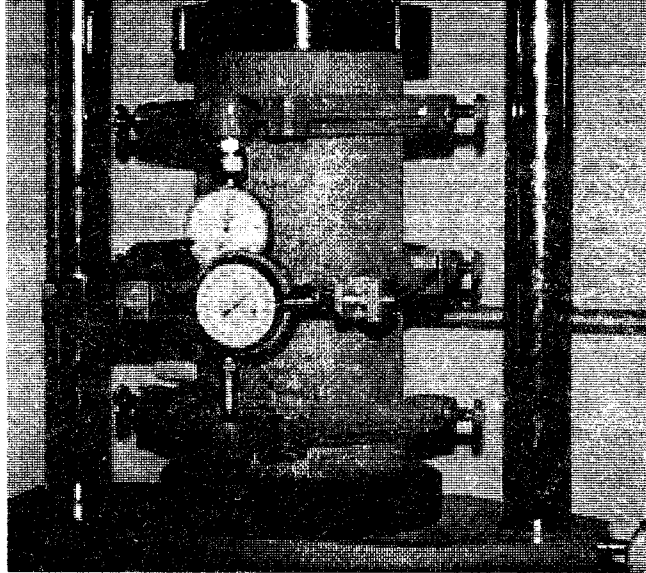


그림 3-108 포아슨비 측정 장치

나) 공시체의 성형 및 양생

시험용 원주 공시체는 표준다짐에너지를 이용하여 최대건조밀도의 95%다짐으로 3개를 성형한 후 공기건조상태에서 양생한다.

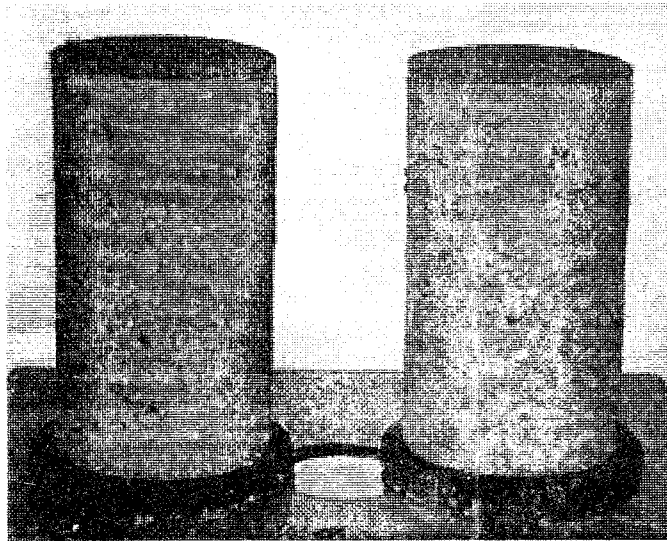


그림 3-109 포아스비 시험용 공시체

다) 실험방법

보강혼합토분의 포아스비 시험은 KS F 2438에 의하여 시험을 하였다. 공시체 중앙부의 2개소이상의 직경을 길이방향에 직각으로 0.01mm단위까지 측정하여 이것의 평균치를 공시체의 직경으로 정하고 공시체의 길이를 0.01mm단위까지 측정한다. 같은조 공시체중에서 포아스비 측정을 위한 공시체가 아닌 다른 공시체로 압축강도 시험을 실시하여 파괴하중의 40%의 하중을 계산하여 시험하중으로 한다. 공시체의 변형을 측정하는 컴프레소미터 및 익스텐소미터를 소정의 방법으로 공시체의 중앙부에 고정시킨 후 시험하중을 가한 다음 좌우 반력지지용 너트를 이용하여 하중을 고정시킨다. 공시체 변형측정용 다이얼게이지의 눈금을 0으로 고정시킨 후 재하시간에 따른 변형을 측정하였다. 공시체의 압축변형인 세로변형은 $\times 0.01\text{mm}$ 단위로 측정을 하고 인장변형인 가로변형은 $\times 10^{-6}\text{mm}$ 단위로 측정을 하였다.

포아스비의 계산은 다음식으로 계산을 하였다.

$$\mu = \frac{\frac{d_{t_2} - d_{t_1}}{d}}{\frac{l_{t_2} - l_{t_1}}{l}} \quad (3-4)$$

여기서, μ : 포아슨비

d_{t_2} : 재하시간 t_2 에서 공시체 높이의 중앙에 생긴 가로변형(mm)

d_{t_1} : 재하시간 t_1 에서 공시체 높이의 중앙에 생긴 가로변형(mm)

l_{t_2} : 재하시간 t_2 에서 공시체 길이방향의 세로변형(mm)

l_{t_1} : 재하시간 t_1 에서 공시체 길이방향의 세로변형(mm)

d : 재하전 공시체의 직경(mm)

l : 재하전 공시체의 길이(mm)

2) 실험목록

보강혼합토의 포아슨비 시험을 위한 시료의 조성 및 재하조건은 표 3-34와 같다.

표 3-33 보강혼합토의 포아슨비 시험에 대한 시료조성

사용재료	혼합비 (%)		재하시의 재령 (day)	함수비 (%)	재하시간 (day)
	탄산석회	단사			
탄산석회 혼합토	9	0	7, 14	20	30
섬유 혼합토	0	0.3	7, 14	20	30
섬유 / 탄산석회 혼합토	9	0.3	7, 14	20	30

3) 결과 및 고찰

0.3%섬유혼합토 단사 및 9%탄산석회혼합토의 강도시험결과와 포아슨비 시험시의 재하하중은 크리프 시험시의 값과 동일하다.

가) 0.3%섬유혼합토 단사의 포아슨비 시험

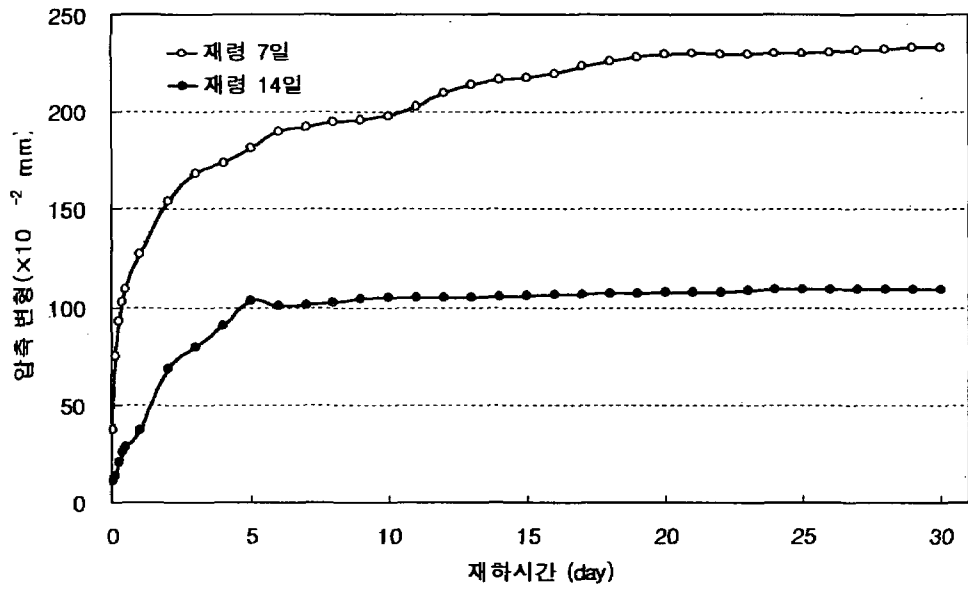


그림 3-110 0.3%섬유혼합토 단사의 재하시간에 따른 압축변형

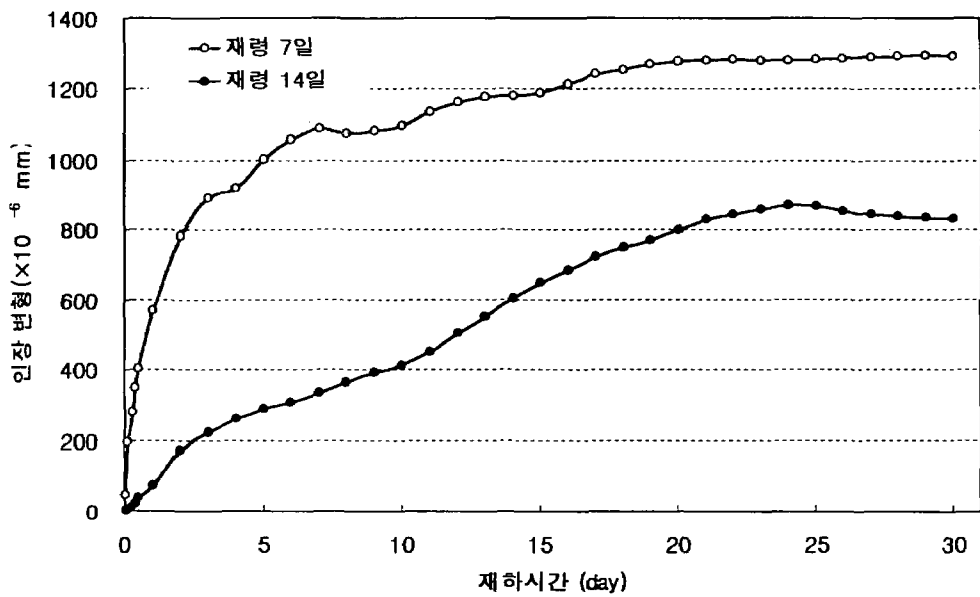


그림 3-111 0.3%섬유혼합토 단사의 재하시간에 따른 인장변형

그림 3-110, 3-111 은 공시체 파괴하중의 40%에 해당하는 지속하중을 가한 경우 0.3%섬유혼합토 단사의 재하시간에 따른 압축 및 인장변형을 나타낸 것이다. 재하시의 재령에 따른 압축변형은 재하시의 재령이 7일인 경우 2.32mm, 재령이 14일에서는 1.18mm이었다. 또한, 인장변형은 재령 7일인 경우 1.31×10^{-4} mm, 재령 14일인 경우 8.1×10^{-4} mm로 압축 및 인장변형 모두에서 재하시의 재령이 길수록 크리프 변형이 작게 나타났다.

0.3%섬유혼합토 단사에서 공기건조상태일 때 함수비의 감소는 흙 자체의 함수비 감소로 인한 것이며 재령7일인 경우 크리프 시험전 함수비는 15.68%, 재령 14일인 경우 12.08%이었다. 크리프 시험시 재하하중은 공시체에 구속응력으로 작용하고 구속응력이 클수록 크리프 변형은 크게 된다. 그러나, 0.3%섬유혼합토 단사에서는 섬유와 흙의 맞물림으로 인해 마찰력이 증대되어 흙자체의 변형을 억제하기 때문에 크리프 변형량이 작은 것으로 판단된다.

또한, 하중을 재하한 한 초기 압축 및 인장변형은 재령 7일의 경우에는 급격한 변화를 나타내고 재하시간이 길어질수록 점차 크리프 변형이 안정화되는 반면 재령 14일에서는 압축변형에서는 재령7일과 유사한 변형형태를 나타내고 재령 14일에서는 재하시간이 길어질수록 일정한 변화를 나타내었다.

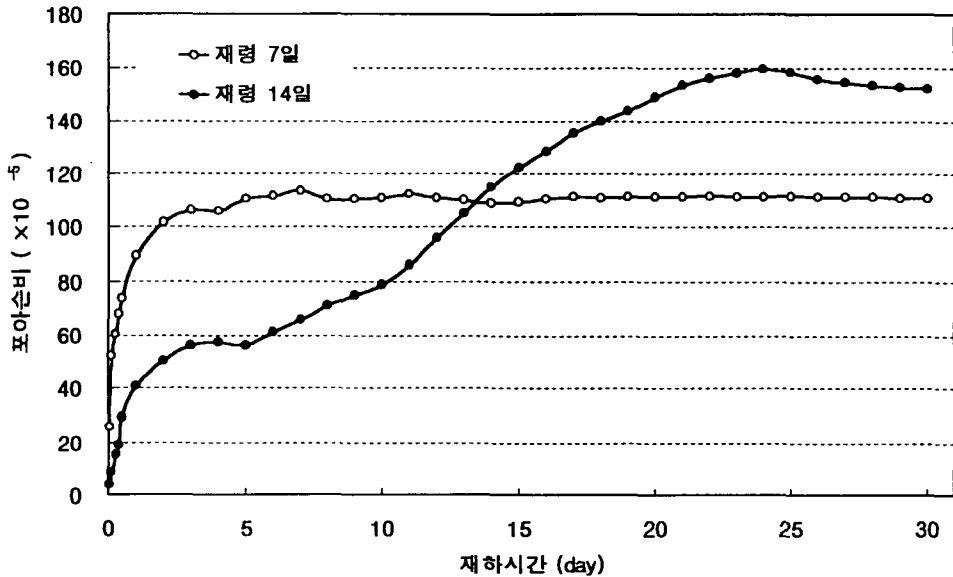


그림 3-112 0.3%섬유혼합도 단사의 재하시간에 따른 포아슨비

그림 3-112는 0.3%섬유혼합도 단사의 재하시간에 따른 포아슨비를 나타낸 것이다. 포아슨비는 각 측정시간에 대한 종방향 및 횡방향 변형량을 기준으로 하여 산출하였다. 재령 7일인 경우 하중을 재하한 후 초기에는 종방향 변형보다 횡방향 변형이 급격히 변화하였으며 재하시간이 길어질수록 종방향 및 횡방향의 변화폭이 거의 일정하게 변하는 것을 포아슨비의 변화로부터 알 수 있다. 그러나 재령 14일인 경우 재하시간이 증가할수록 포아슨비는 증가하여 종방향보다 횡방향 변화가 큰 것으로 나타났다.

나) 9%탄산석회혼합도의 포아슨비 시험

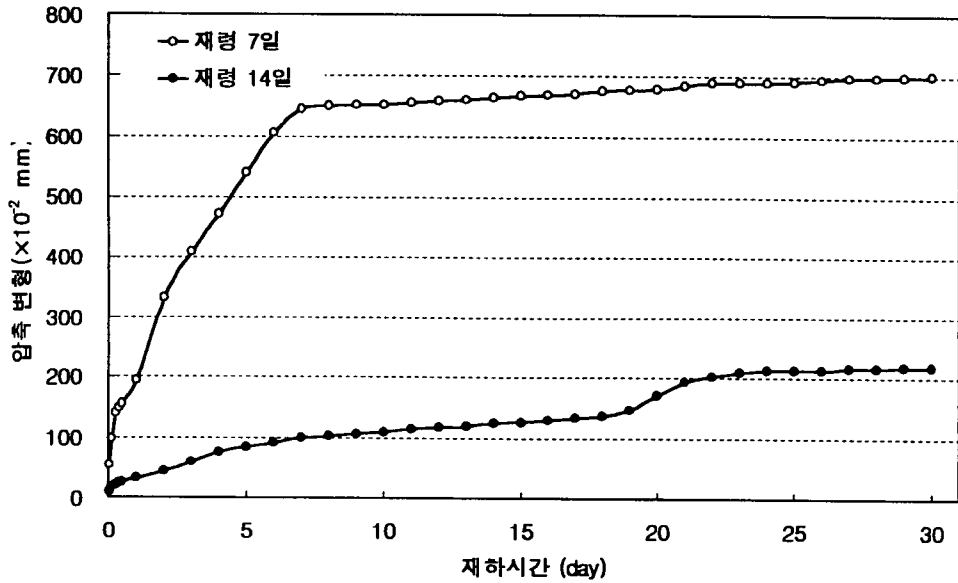


그림 3-113 9%탄산석회혼합토의 재하시간에 따른 압축변형 시험

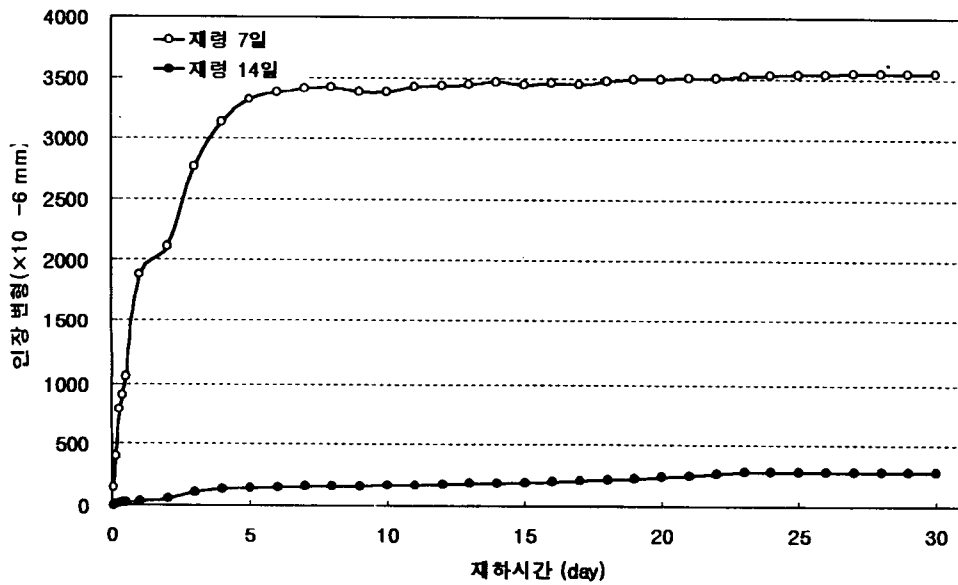


그림 3-114 9%탄산석회혼합토의 재하시간에 따른 인장변형 시험

그림 3-113, 3-114은 공시체 파괴하중의 40%에 해당하는 지속하중을 가한 경우 9%탄산석회 혼합토의 재하시간에 따른 압축 및 인장변형을 나타낸 것이다. 재하시의 재령에 따른 압축변형은 재하시의 재령이 7일인 경우 7.23mm, 재령이 14일에서는 2.26mm이었다. 또한, 인장변형은 재령 7일인 경우 $3.55 \times 10^4 \text{mm}$, 재령 14일인 경우 $2.94 \times 10^4 \text{mm}$ 로 압축 및 인장변형 모두에서 0.3%섬유혼합토 단사에서와 마찬가지로 재하시의 재령이 길수록 크리프 변형이 작게 나타났다. 공기건조상태로 양생하여 크리프시험 전 함수비는 재령 7일에서 14.46%, 재령 14일에서 4.11%이었다. 크리프시험전 공시체의 함수비가 크면 건조수축으로 인한 크리프변형이 커지게 된다. 흙에 탄산석회를 첨가하면 함수비 저하를 촉진시키며 입도가 커지게 되어 2~3일후 부터는 강도증가효과가 있지만 구속응력이 작용하는 크리프시험에서는 공시체의 변형을 억제하는 효과가 크지 않은 것으로 나타났다. 재령 7일에서 9%탄산석회혼합토의 크리프 변형율은 낮은 재하하중에서 비교적 큰 값을 보이는 것은 건조로 인한 공극의 형성으로 인한 것으로 판단된다. 또한, 30동안의 전체변형량에 대한 각 재하시간대별 변형율은 재령 7일의 경우에서 변형이 보다 조기에 이루어지는 것으로 나타났다.

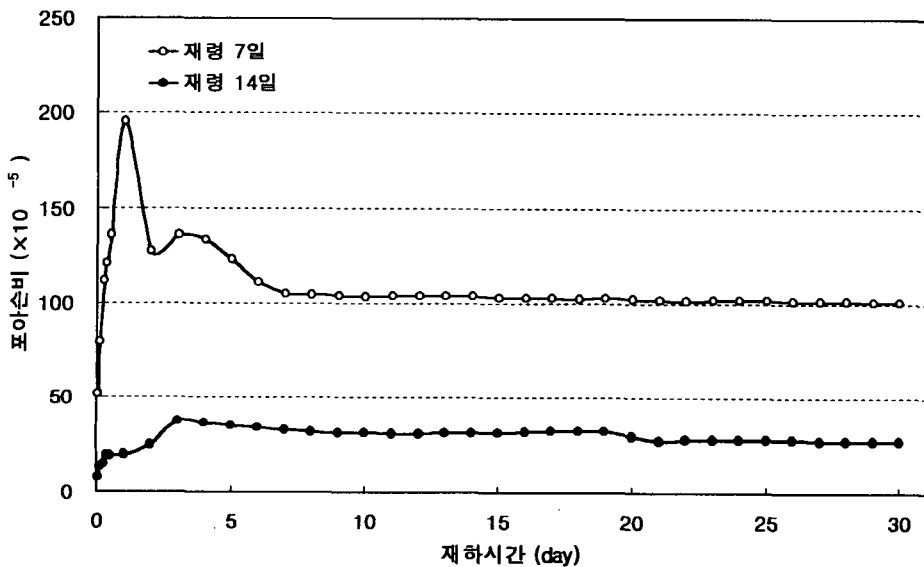


그림 3-115 9%탄산석회혼합토의 재하시간에 따른 포아슨비

그림 3-115는 9%탄산석회혼합토의 재하시간에 따른 포아슨비를 나타낸 것이다. 재하시의 재령이 7일인 경우 하중을 재하한 후 초기 포아슨비는 불안한 변화를 보였지만 재하시간이 증가할수록 점차 안정화되었다. 재령 14일인 경우 30일의 재하시간동안 횡방향 및 종방향 크리프 변형은 거의 비슷한 폭으로 변하는 것을 포아슨비에서 알 수가 있다. 이런 변화는 건조로 인한 수축으로 공시체내의 수분이 급속히 감소한 때문이다. 공시체내의 수분감소는 공극의 형성이 많아지고 작용하는 구속응력으로 인해 공시체의 크리프 변형이 커지는 것으로 판단된다.

다) 보강혼합토의 포아슨비 시험 (0.3%섬유혼합토 단사 / 9%탄산석회혼합토)

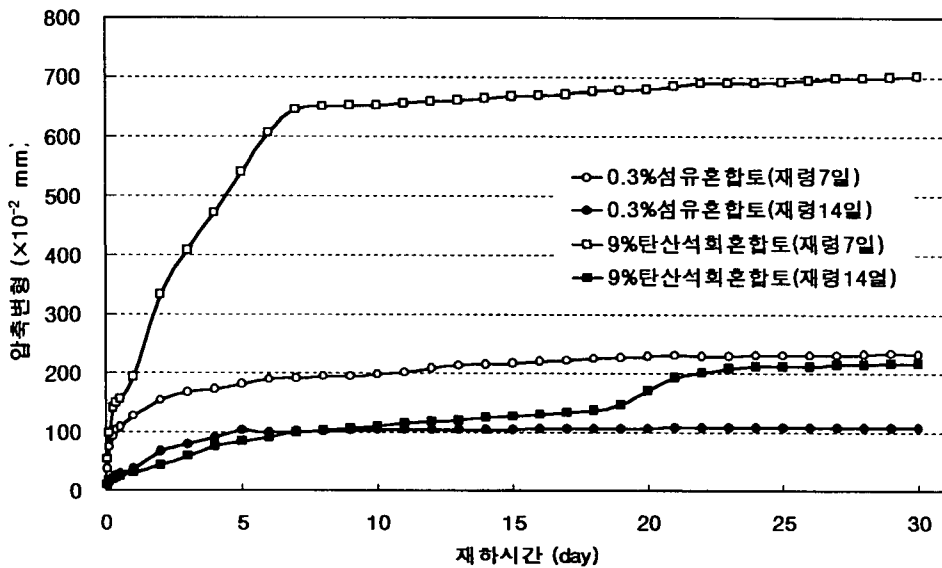


그림 3-116 보강혼합토의 재하시간에 따른 압축변형

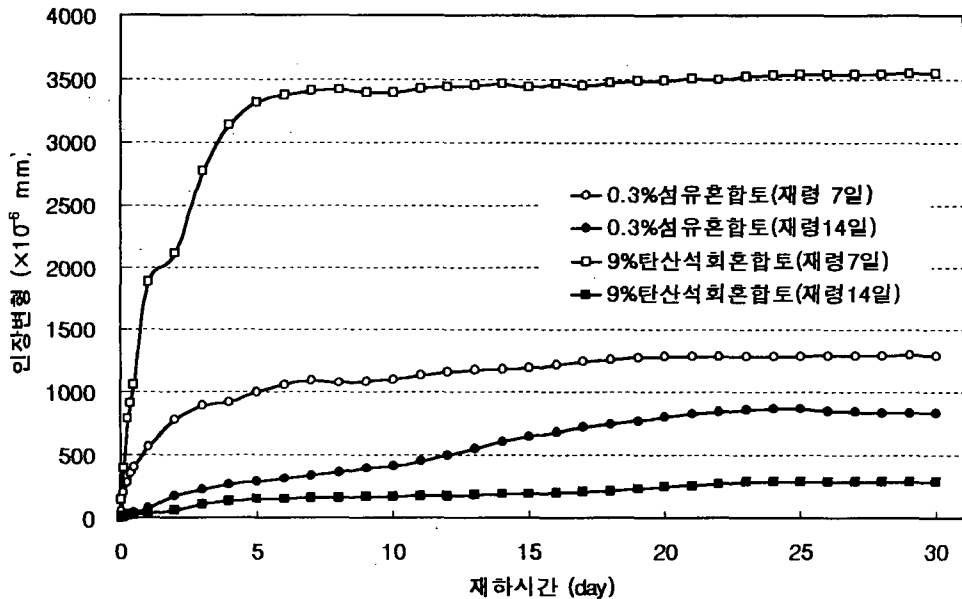


그림 3-117 보강혼합토의 재하시간에 따른 인장변형

그림 3-116, 3-117은 포아슨비 시험에 의한 보강혼합토의 재하시간에 따른 압축변형과 인장변형을 나타낸 것이다. 압축변형에서는 크리프 시험에서와 비슷한 변화형태를 보였지만 인장변형에서는 재령 14일에서 0.3%섬유혼합토 단사의 변형량이 탄산석회혼합토의 변형량보다 재하시간이 길어질수록 커지는 것으로 나타났다. 압축변형에서 탄산석회혼합토의 급작스런 증가는 공기건조상태에서 실내습도의 영향(장마기간)인 것으로 판단된다. 인장변형에서 0.3%섬유혼합토 단사에서는 재령 7일과 14일의 변화폭이 크지 않은 것으로 나타난 반면 9%탄산석회혼합토에서는 재령에 따른 변화폭이 큰 것으로 나타났다. 이것은 섬유를 혼합한 보강혼합토에서는 함수비의 감소에 따른 변화가 적은 반면 탄산석회를 첨가한 보강혼합토에서는 함수비의 변화에 따라 변형량이 크게 영향을 받는 것으로 사료된다. 따라서 탄산석회를 보강재로 사용할 경우 양생기간의 결정이 중요할 것으로 판단된다.

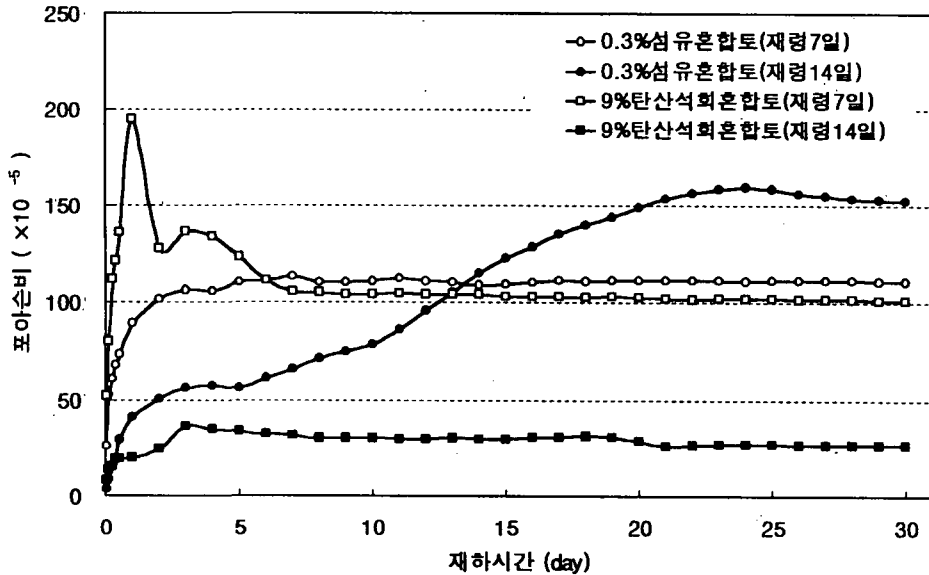


그림 3-118 보강혼합토의 각 재하시간에 따른 포아손비

그림 3-116, 3-117에서 나타난 보강혼합토의 압축 및 인장변형량으로부터 각 재하시간에 따른 포아손비를 그림 3-118에 나타내었다. 0.3%섬유혼합토 단사의 경우 재령7일에서는 재하초기 횡방향변형량의 증가폭이 컸으나 재령 14일에서는 재하시간에 따른 횡방향변형량이 지속적으로 변하는 것으로 나타났다. 9%탄산석회혼합토에서는 재령 7일에서 재하후 초기 횡방향변형량의 변화가 있었고 이후 변화는 안정된 반면 재령 14일에서는 변화가 조기에 안정된 것으로 나타났다. 9%탄산석회혼합토의 재령 7일에서 포아손비의 초기변동은 Poisson's Ratio시험시 외부충격이나 습도의 영향으로 인한 것으로 판단된다.

4. 결론

가. 보강혼합토의 장기적 건조수축 변형

보강흙벽의 재료개발에 대한 기초 연구로서 수원지역에서 채취한 점토질 흙에 탄산

석회, 시멘트 및 19mm섬유 단사, 망사를 일정한 비율로 배합하여 장기적 건조수축 시험을 하였다. 또한 촉진제를 9%시멘트 혼합토에 2%를, 9%탄산석회 혼합토에 1, 2, 3%를 첨가하여 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 9%탄산석회 혼합토에서 건조밀도가 전반적으로 크게 나타났으며 함수비 30%에 압축강도가 가장 크게 나타났다.
- 2) 생석회와 시멘트를 사용한 보강혼합토의 경우 다른 보강혼합토 보다 건조밀도의 변화는 미소하였으나 강도는 흙 자체보다는 낮게 나타났다. 따라서 생석회 및 시멘트혼합토는 연약지반보강시 이용가능할 것으로 판단되나 보강흙벽으로는 부적합할 것으로 사료된다.
- 3) 섬유혼합토의 섬유의 양이 증가함에 따라 건조밀도는 감소하였다.
- 4) 섬유를 혼합한 보강토의 압축강도는 단사의 양이 증가할수록 강도는 대체적으로 증가하지만 혼합비가 1.0%이상인 망사에서는 강도가 감소한다.
- 5) 9%탄산석회 및 섬유혼합토의 공시제작업은 시료배합 및 다짐에 있어서 다소 차이가 있으나 함수비 30%가 적당할 것으로 판단된다.
- 6) 보강혼합토에 촉진제 혼합은 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

나. 보강혼합토의 장기적 크리프 거동

건조수축은 구조체에 응력을 유발시키고 크리프는 이완시키는 차이가 있다. 구조물에 균열이 생기면 제어가 어렵기 때문에 이에 대한 적절한 조치가 필요하다. 따라서 수원토에 보탄산석회, 섬유를 혼합한 보강혼합토의 크리프 특성을 파악하기 위한 크리프 및 포아슨비의 시험결과는 다음과 같다.

- 1) 일정한 구속응력이 작용하는 상태에서 0.3%섬유혼합토 단사의 경우 크리프 변형은 섬유의 혼합으로 인해 흙의 건조수축을 억제한다. 그래서 크리프 시험전 함수비가 높은 경우에도 압축으로 인한 종방향 및 횡방향 변형량은 크지 않은 것으로 나타났다.

- 2) 9%탄산석회혼합토에서 압축으로 인한 크리프 변형은 공시체의 건조수축으로 인한 공극의 형성이 이루어진다. 이 결과 종방향 및 횡방향 크리프 변형량은 큰 값을 나타내었다.
- 3) 하중을 재하한 후 초기의 크리프 변형은 급격히 변하는 불안정한 상태를 보였으며 재하시간이 길수록 크리프 변형은 점차 안정하게 되는 것으로 나타났다.
- 4) 재하시 재령이 길수록, 크리프 시험전 함수비가 낮을수록 크리프 변형량이 작게 나타나기 때문에 보강흙벽의 제작시 건조시기를 결정하는 데 있어서 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

제 9 절 보강혼합토의 기타 특성

1. 서론

보강혼합토는 농업용 곡물저장고의 비내력벽과 농가주택의 천연재료로 곡물에 있어서 온·습도를 조절하여 에너지 절감효과를 기대할 수 있으며 콘크리트 구조물에 비해 구성재료비가 싸고, 재료의 공급과 시공이 간편하여 공사비를 줄일 수 있다.

흙에 첨가되는 보강재에 대한 국내 연구는 시멘트를 섞은 soil-cement에 대하여 부분적으로 연구되었을 뿐 흙에 섞을 수 있는 모든 재료를 대상으로 한 경우는 없었고, 이에 대한 연구 결과도 빈약한 실정이다. 흙에 시멘트를 첨가하면 시멘트의 수화작용에 의해서 시멘트입자가 공극 및 표면에 흡착된다. 흙과 시멘트의 상호작용은 응집력을 크게 하고, 시멘트 함량이 증가할수록 시멘트 입자의 수화작용에 의해서 흙덩어리 사이의 공극을 채우게 되므로 역학적으로 큰 강도를 나타낸다.

시멘트의 수화반응을 촉진하는 물질로 칼슘이나 나트륨의 염화물, 탄산염, 황산염 등의 무기물이 있다. 이들 중 염화칼슘(CaCl_2)은 시멘트의 응결경화를 촉진하여 조기발열의 증가, 조기강도의 증대 및 동결 온도의 저하에 따른 한중에 있어서 강도를 높일 목적으로 사용할 수 있다. 이 효과는 염화칼슘의 순도, 시멘트의 종류, 혼합율과 물-시멘트 비, 혼합율에 따른 수축율등에 의하여 달라진다.

보강혼합토의 보강재로 사용되는 생석회(CaO)는 발열반응과 화학반응에 의하여 여러 효과를 나타낸다. 발열반응으로 인하여 수분이 증발되어 강도가 높아지고, 여러 가지 화학 반응으로 인하여 수화물이 생성된다. 따라서 재령이 크면 클수록 강도가 점점 커진다.

이에 본 연구는 국내 부존자원으로서 매장량이 비교적 풍부한 석회석에서 제조된 생석회와 탄산석회 및 시멘트를 보강재로 사용한 보강혼합토분에 대하여 분말도, 응결시간, 재령별 압축강도실험을 실시하여 보강흙벽의 재료 개발에 기초 자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

2. 토분 및 보강혼합토분의 분말도

소정의 기공을 상태에서 시료의 분말도는 단위중량당 비표면적으로 결정되고 흙 내부 토분의 건조속도와 고화제의 수화속도에 영향을 미친다.

가. 사용재료

본 연구에 사용된 수원토는 국내의 흙벽에 관한 문헌을 통하여 문헌상의 보강흙벽을 위한 최적 입도 곡선과 프랑스 지역에서의 보강흙벽으로 이용된 흙의 입도 결과를 가지고 국내 흙벽이 남아 있는 현장에서의 흙을 채취하여 보강흙벽 시공에 적합한 흙의 범위를 규정하고, 이중 연구에 필요한 흙 시료를 충분히 확보할 수 있는 지역을 선정하여 흙을 채취하였다.

분말도 실험을 하기 위하여 수원토의 시료를 실험실에서 체분석을 하여 200번체 통과분을 사용하였으며 보강재료는 탄산석회(CaCO_3), 생석회(CaO), 시멘트를 사용하였다. 그리고 토분 및 보강혼합토분은 토분, 탄산석회, 생석회, 시멘트 자체와 노건조 토분에 대한 중량혼합비를 변화시킨 탄산석회, 생석회, 시멘트 혼합토분을 100ml 병 안에 넣고 밀봉하여 2분간 흔들어서 입자를 고르게 섞은 다음 실험을 하였다.

1) 흙

본 연구에 사용된 흙 시료는 경기도 수원시에서 채취한 시료로서 점토질 성분을 많이 함유하였으며, 입도분포곡선은 그림 3-85와 같고 기초 물리적 특성 표 3-23과 같다.

2) 보강재료

본 연구에서는 일반적으로 널리 보강재료로 사용되고 있는 석회, 시멘트, 섬유를 사용하였다.

탄산석회 점토의 소성지수를 감소시키고, 최적함수비를 증가시킬 목적으로 사용되었으며, 생석회는 점토의 안정 처리에 적합하여 점성을 향상시킬 목적으로 사용되었다. 시멘트는 H회사에서 생산된 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 촉진제로서 염화칼슘(CaCl_2)은 시멘트의 응결경화를 촉진하여 조기강도의 증대 및 동결온도를 저하시킨다. 이에 본 연구는 염화칼슘을 시멘트 및 석회에 적정량을 혼합하여 보강혼합토의 물리적

을 알아보고자 사용하였다.

본 연구에서 사용된 보강재료들의 물리적·화학적 특성은 표 3-24~3-28과 같다.

나. 실험장치 및 방법

1) 실험장치

블레인 분말도 시험기 (Blain air-permeability apparatus)는 소정의 체적을 갖는 공기투과 셀에 장착된 시료의 공기투과 속도를 측정할 수 있도록 고안된 장치이며 그림 3-119와 같다.

2) 실험방법

보강혼합토분의 분말도 실험은 KS L 5106 규격으로 실험을 하였다. 비표면적($3,210 \text{ cm}^2/\text{g}$)이 기지인 표준시멘트(JIS, 102-I)를 공기투과 셀에 소정의 방법으로 장착하여 마노미터(Manometer) 상부에 끼우고 고무구에 의하여 마노미터액을 상승시킨 뒤 B표선으로부터 C표선까지 강하하는 시간을 측정하여 표준시멘트의 강하시간으로 하고 (표준화 시험) 측정시료에 대하여 동일한 방법으로 실험을 수행하여 표준시료의 강하속도와 의 비로서 비표면적을 결정하였다.

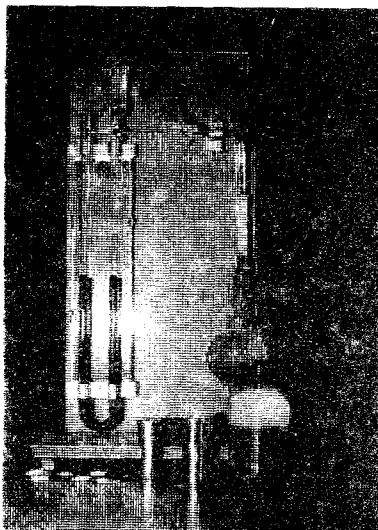


그림 3-119 블레인 분말도 시험기

분말도 실험에서 투과셀에 들어갈 시료의 중량은 다음의 식 3-5로, 측정시료의 비표면적은 다음 식 3-6으로 구하였다.

$$W = \rho V (1 - e) \quad (3-5)$$

여기서, W : 투과셀에 들어갈 시료의 중량 (g)

ρ : 투과셀에 들어갈 시료의 비중 - <표 7-6>

V : 투과셀 내의 시료벳 체적 (cm³)

e : 시료벳의 기공율 (혼합토분: 0.60, 탄산석회: 0.60, 생석회: 0.55, 시멘트: 0.5)

$$S = \frac{S_s (1 - e_s) \sqrt{e} \sqrt[3]{T}}{\sqrt{e_s} \sqrt[3]{T_s} (1 - e)} \quad (3-6)$$

여기서, S : 측정시료의 비표면적 (cm²/g)

S_s : 표준시료의 비표면적 (cm²/g)

T : 측정시료에 대한 마노미터액의 강하시간 (sec)

T_s : 표준시료에 대한 마노미터액의 강하시간 (sec)

e : 측정시료의 기공율

e_s : 표준시료의 기공율

다. 혼합토분의 비중

표 3-34는 토분, 탄산석회, 생석회, 시멘트의 비중을 KS F 2308, KS L 5110 규격에 의해 보강혼합토분의 비중을 구한 것이다.

표 3-34 보강혼합토분의 비중

혼 합 비 (%)	비 중		
	탄산석회 혼합토분	생석회 혼합토분	시멘트 혼합토분
0	2.630	2.630	2.630
1	2.631	2.631	2.635
3	2.632	2.634	2.645
6	2.634	2.637	2.659
9	2.636	2.641	2.673
12	2.638	2.644	2.686
15	2.639	2.647	2.698
20	2.642	2.652	2.717
100	2.700	2.760	3.150

라. 실험목록

분말도 실험의 시료 조성은 아래 표 3-35와 같다.

시료에 노건조 토분에 대한 중량의 1, 3, 6, 9, 12, 15, 20%의 탄산석회, 생석회, 시멘트를 각각 혼합하여 비표면적 실험을 실시하였다.

표 3-35 실험목록 - 분말도 실험

시 료 명	혼 합 비 (%)			비 고
	탄산석회	생석회	시멘트	
토분, 탄산석회, 생석회, 시멘트				토분 (수원토의 200번체 통과분), 탄산석회, 생석회, 시멘트 자체
탄산석회 혼합토분	1, 3, 6, 9, 12, 15, 20	0	0	노건조 토분에 대한 중량혼합비
생석회 혼합토분	0	1, 3, 6, 9, 12, 15, 20	0	
시멘트 혼합토분	0	0	1, 3, 6, 9, 12, 15, 20	

* 노건조 상태 시료 사용

마. 결과 및 고찰

토분 및 보강재 자체의 비표면적에 대한 실험결과를 분석 고찰하면 다음과 같다.

토분 및 보강재 자체의 비표면적은 탄산석회, 토분, 생석회, 시멘트의 순으로 크게 나타났다. 다음 표 3-36은 토분 및 보강재의 비표면적 실험 결과이다.

표 3-36 토분 및 보강재의 비표면적 (cm²/g)

시 료 명	토분	탄산석회	생석회	시멘트
비표면적	4,028	5,801	3,388	3,230

보강혼합토분의 비표면적은 탄산석회, 생석회 및 시멘트의 중량혼합비에 의하여 이론치를 환산한 결과 그림 3-120과 같다.

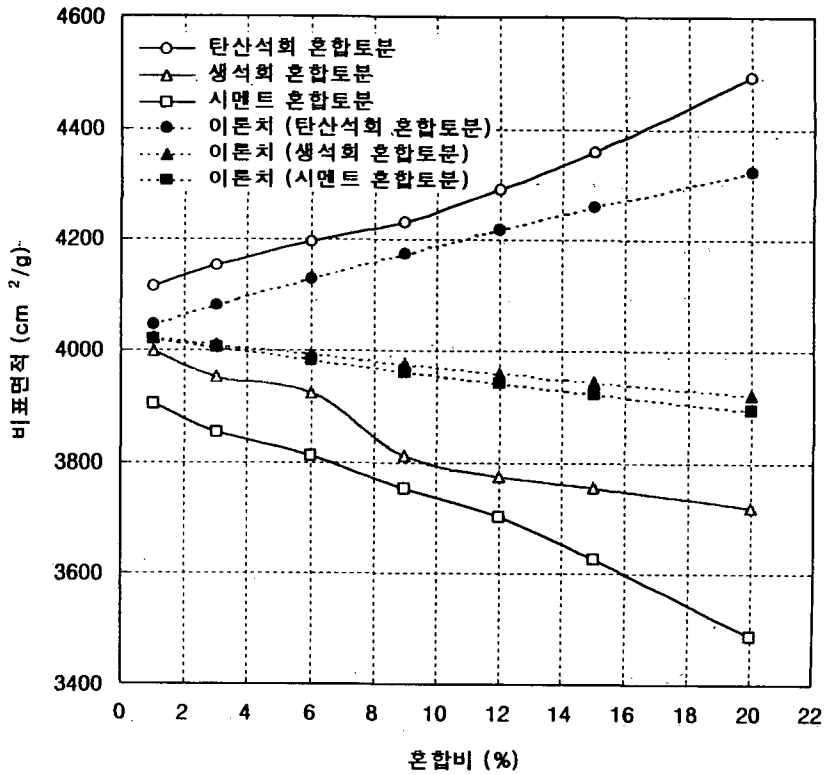


그림 3-120 보강혼합토분의 비표면적

탄산석회의 비표면적은 토분보다 크나 생석회 및 시멘트의 비표면적은 작기 때문에 혼합비가 1%~20%로 증가됨에 따라 탄산석회 혼합토분의 비표면적 실험치는 4,113~4,495로 증가하였으나 생석회 및 시멘트 혼합토분은 3,998~3,721 및 3,903~3,487로 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 비표면적의 실험치와 이론치는 탄산석회 혼합토분에서는 비교적 근소한 차이를 보였으나 전반적으로 이론치가 실험치보다 작게 나타났다. 반면에 생석회 혼합토분과 시멘트 혼합토분의 비표면적 이론치는 거의 일치하는 것으로 나타났으나 실험치와 이론치의 차는 생석회 혼합토분에서는 다소의 차이를, 시멘트 혼합토분에서는 상당한 차이를 보였으며 시멘트 혼합토분에서는 전반적으로 이론치가 실험치보다 크게 나타났다. 비표면적의 실험치와 이론치의 차는 보강재의 혼합비가 증가할수록 크게 나타나는 경향을 보였다.

3. 토분 및 보강혼합토분의 응결시간

시료 중에 있는 입자가 용해 석출 과정을 거쳐서 시료의 입자 수를 감소시키므로 미소입자는 서로 붙어서 응집체를 만들고 응결의 정도에 의하여 오랫동안 입자가 부유하거나 바로 침강한다. 그리고 시료 중에 분산하고 있는 입자는 매우 불안정해서 응집을 통하여 비표면적을 줄인다. 흙 및 보강혼합토의 응결과 경화는 건조로 인한 흙 내부 미세립 토분의 응집력 증가와 고화재의 수화작용에 의한 것으로 이 두 과정에 의하여 토립자가 결합하게 되고 흙 및 보강혼합토에 성형성이 부여된다.

가. 사용재료

시료는 앞 절과 동일한 시료를 사용하였고, 보강재료에 시멘트의 수화 작용을 촉진시키는 염화칼슘(CaCl_2)을 첨가하였다.

토분 및 보강혼합토분은 토분, 탄산석회, 생석회, 시멘트 자체와 노건조 토분에 대한 중량 혼합비를 변화시킨 탄산석회, 생석회, 시멘트 혼합토분으로 시료를 조성하였고, 촉진제는 노건조 탄산석회, 시멘트에 대한 중량혼합비를 변화시킨 촉진제를 탄산석회 및 시멘트 혼합토분에 사용하였다.

나. 실험장치 및 방법

1) 실험장치

비िका 장치 (Vicat apparatus)는 원뿔대 링 속에 채워진 시료에 플런저(Plunger)를 낙하시켜 그 관입 깊이로 표준주도 상태와 응결시간을 결정할 수 있도록 고안된 장치로서 플런저의 일단은 10mm 직경으로 되어 표준주도 상태를 판단할 때 사용되고 타단은 직경 1mm의 침으로 되어 응결상태를 판단할 때 사용하였다(그림 3-121, 122).



그림 3-121 비이카 장치 - 표준주도 시험

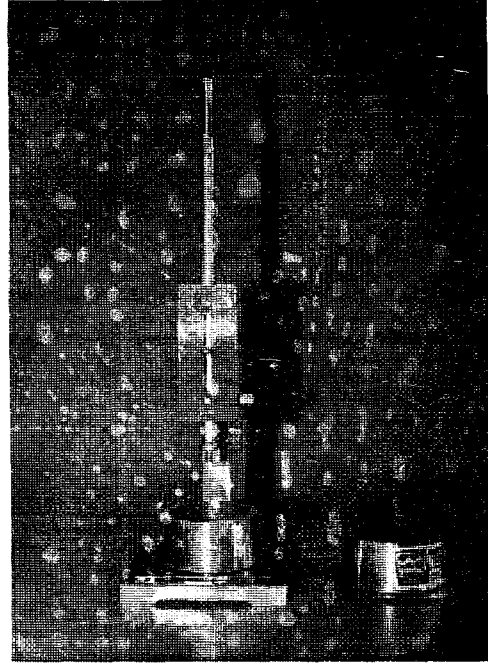


그림 3-122 비이카 장치 - 응결시험

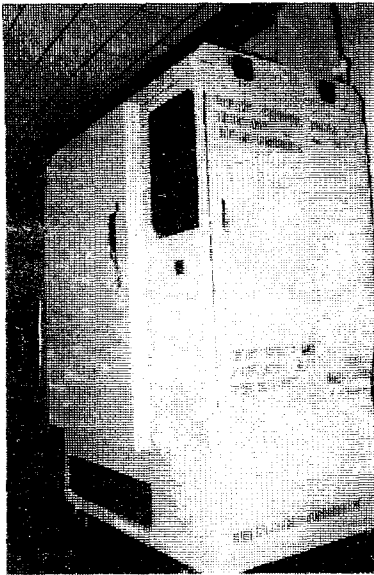


그림 3-123 항온항습기

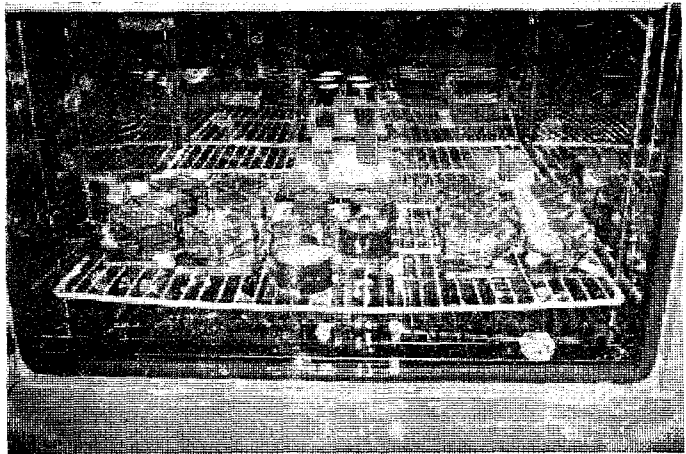


그림 3-124 항온항습기 내의 공시체와 몰드
- 응결시험 및 압축강도 시험용

2) 실험 방법

응결 및 침입도 실험은 KS L 5103의 시험방법에 준하여 시험하였다. 표준주도 및 응결상태의 함수비를 측정하기 위하여 시료에 적당량의 물을 첨가하여 혼합기로 소정의 방법으로 혼합하여 구형(球形)으로 만들고 양손으로 번갈아 던진 후 시료를 링 속에 채워 플런저 하부에 놓고 플런저의 굽은 단을 낙하시켜 10mm 관입 했을 때를 표준주도 상태로 하였다. 표준주도 상태의 시료를 항온함습기에 넣고 응결상태로 추정되는 시점부터 15분 간격으로 응결시험을 수행하였다. 응결시험은 표준주도 시험과 동일한 방법으로 시료를 채운 링을 플런저 하부에 놓고 플런저의 침을 낙하시켜 그 관입깊이를 측정한다. 관입깊이가 25mm일 때를 응결상태로 하고 표준주도 상태부터 그때까지의 시간을 응결시간으로 하였다.

다. 실험목록

표 3-37 실험목록 - 응결시험

시 료 명	혼 합 비 (%)				비 고
	탄산석회	생석회	시멘트	축진제	
토분, 탄산석회, 생석회, 시멘트					토분 (수원토의 200번체 통과분), 탄산석회, 생석회, 시멘트 자체
탄산석회 혼합토분	3, 6, 9, 12	0	0	0	노건조 토분의 중량혼합비
생석회 혼합토분	0	3, 6, 9, 12	0	0	
시멘트 혼합토분	0	0	3, 6, 9, 12	0	
축진제 혼합토분	6	0	0	1, 2, 3	노건조 탄산석회 및 시멘트에 대한 중량 혼합비
	9	0	0	1, 2, 3, 6	
	0	0	6	1, 2, 3	
	0	0	9	1, 2, 3	

* 양생조건: 항온함습기 (25℃, 50%)

표 3-37은 응결 시험에 대한 혼합토분의 혼합비의 실험목록이다.

시료에 탄산석회, 생석회, 시멘트를 각각 노건조 토분 중량의 3, 6, 9, 12%를 혼합하여 응결실험을 하였으며, 촉진제는 6%, 9% 탄산석회 혼합토분 및 6%, 9% 시멘트 혼합토분에 1, 2, 3%의 촉진제를 첨가하여 응결시간을 측정하였다.

라. 결과 및 고찰

토분 및 보강재, 촉진제로서 염화칼슘을 혼합하여 응결시간과 표준주도 함수비, 응결상태 함수비에 대한 실험결과를 분석하면 다음과 같다.

1) 토분, 탄산석회, 생석회 및 시멘트의 응결시간

토분 및 보강재 자체의 응결시간은 토분, 탄산석회, 생석회, 시멘트 순으로 진행되었다. 표 3-38은 토분 및 보강재의 응결시간의 시험 결과이다. 이것은 건조에 의한 토분의 응집력 증가속도와 보강재의 수화작용 속도에 의한 것으로 사료된다.

표 3-38 토분 및 보강재의 응결시간 (hr)

시 료 명	토분	탄산석회	생석회	시멘트
응결시간	52.0	11.8	6.0	3.0

2) 보강재 및 촉진제 혼합토분의 응결시간

그림 3-125는 탄산석회, 시멘트 및 생석회 혼합토분의 응결시간에 대한 결과로서 보강재 및 촉진제 혼합토분의 응결시간은 보강재의 혼합비가 3%~12%로 증가함에 따라 응결시간은 탄산석회 혼합토분에서는 32hr~31hr 정도의 범위로 가장 길게, 생석회 혼합토분에서는 30hr~20hr 정도, 시멘트 혼합토분에서는 24hr~13hr 정도의 범위로 가장 짧게 나타났다.

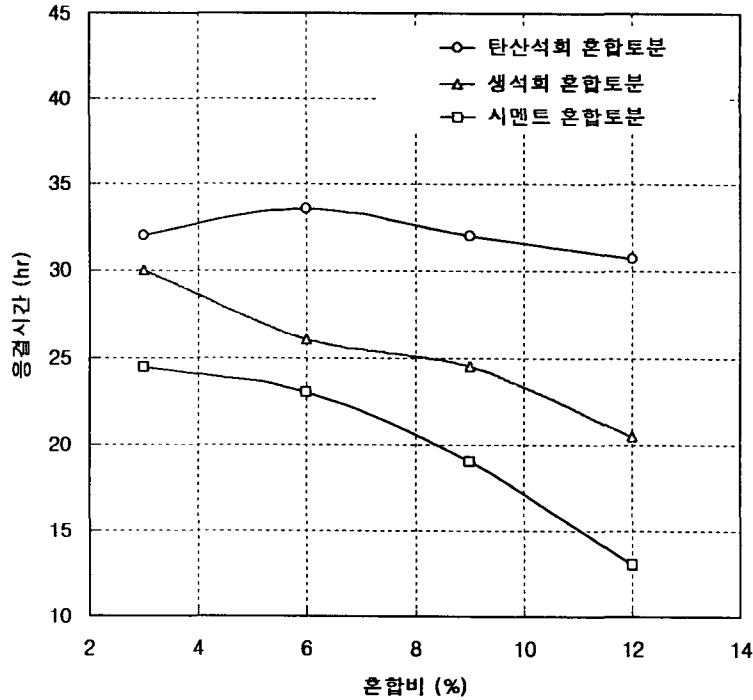


그림 3-125 탄산석회, 시멘트 및 생석회 혼합토분의 응결시간

이 결과 시멘트의 수화반응 속도가 가장 빠름을 알 수 있다. 그리고 응결시간은 전반적으로 보강재의 혼합비율이 클수록 감소하였다. 이것은 토분에 비하여 응결속도가 빠른 보강재가 응결 촉진 효과에 영향을 주기 때문이다.

시멘트 혼합비의 증가에 따른 시멘트 혼합토분의 응결시간 감소는 일정하게 변화하였다.

보강혼합토분에 촉진제를 첨가한 후 응결시간을 측정된 결과 그림 3-126과 같이 나타났다. 촉진제 혼합비를 1%~6%로 증가함에 따른 9% 탄산석회 혼합토분에 대한 응결시간은 35hr~44hr로 증가하였으나 9% 시멘트 혼합토분에 대한 응결시간은 20hr~15hr로 감소하였다. 9% 탄산석회 혼합토분에서는 응결촉진제에 의한 응결시간 감소효과 없이 오히려 응결지연제로 작용되었다. 염화칼슘은 탄산석회를 제조할 때 사용하는 용액이므로 촉진제로 사용한 염화칼슘은 탄산석회의 응결시간에는 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.

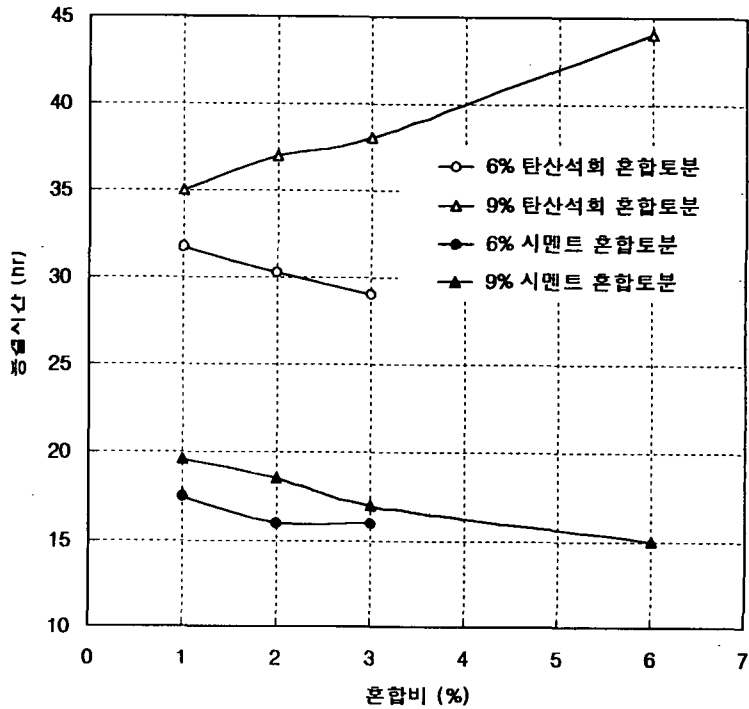


그림 3-126 촉진제-보강혼합토분의 응결시간

2종의 시멘트 혼합토분에 대한 응결시간은 촉진제 혼합비가 증가할수록 다소 감소하는 경향을 보였고, 탄산석회 혼합토분에 대한 응결시간은 6%의 혼합에서는 감소하였으며 9%의 혼합에서는 증가하는 것으로 나타났다. 탄산석회 혼합토분에 대한 촉진제의 장기강도 증진효과는 예상되나 탄산석회의 혼합비율이 증가할수록 촉진제가 응결시간에 미치는 영향은 현저히 감소 될 것으로 판단된다.

3% 촉진제-시멘트 혼합토분에 대한 응결시간은 6% 시멘트 혼합토분에서 촉진제를 사용하지 않은 경우보다 7hr 정도, 9% 시멘트 혼합토분에서는 2hr 정도 단축되었으며, 3% 촉진제-탄산석회 혼합토분에 대하여 6% 탄산석회 혼합토분에서 5hr 정도 단축되었으나 9% 탄산석회 혼합토분에 대해서는 오히려 6hr 정도 연장되어 전반적으로 촉진제의 응결촉진 효과는 시멘트 혼합토분에서 크게 나타났다.

3) 토분, 탄산석회, 생석회 및 시멘트의 표준주도 및 응결상태의 함수비

토분, 탄산석회, 생석회 및 시멘트의 표준주도 와 응결상태의 함수비는 아래 표 3-39 와 같다.

표 3-39 토분, 석회 및 시멘트의 표준주도 및 응결상태의 함수비 (%)

시 료 명	토분	탄산석회	생석회	시멘트
표준주도	48.46	29.13	45.13	26.80
응 결	30.33	20.00	41.51	19.20

이 결과 토분 및 보강재의 표준주도 상태의 함수비는 토분, 생석회, 탄산석회, 시멘트 순으로, 응결상태의 함수비는 생석회, 토분, 탄산석회, 시멘트 순으로 크게 나타났으며 표준주도 및 응결상태 함수비의 차는 토분에서 18% 정도로 가장 크게, 탄산석회에서 9% 정도, 시멘트에서 8% 정도, 생석회에서는 4% 정도로 현저하게 작게 나타났다. 생석회는 초기에 급격한 수화작용에 의하여 수분이 제거되면서 소석회(Ca(OH)₂)로 되기 때문인 것으로 사료된다.

4) 보강재 및 축진제 혼합토분의 표준주도 및 응결상태 함수비

그림 3-127은 보강혼합토분에 대한 표준주도 및 응결상태의 함수비를 시험한 결과로서 보강재 혼합비의 증가에 따른 보강혼합토분의 표준주도 상태의 함수비는 생석회 혼합토분에서 54%~53% 정도로 가장 크게, 탄산석회 혼합토분에서는 46%~44% 정도의 범위로 거의 변화가 없었으며, 혼합비가 9%까지는 완만하게 감소하는 추세이나 그 이상에서는 증가하는 경향을 보였다.

탄산석회 혼합토분의 응결상태 함수비는 30%~32% 정도로 비교적 균일하였으나 생석회는 수화작용에 의하여 혼합토분에서는 상당한 차이를 보였고 시멘트 혼합비의 변화에 따른 시멘트 혼합토분에 대한 표준주도 및 응결상태의 함수비 측정치는 시멘트의 수화작용에 의하여 전반적으로 균일하지 못하였다.

표준주도와 응결상태의 평균함수비 차는 혼합된 보강재의 종류에 관계없이 공히

13%~14%로 나타났다.

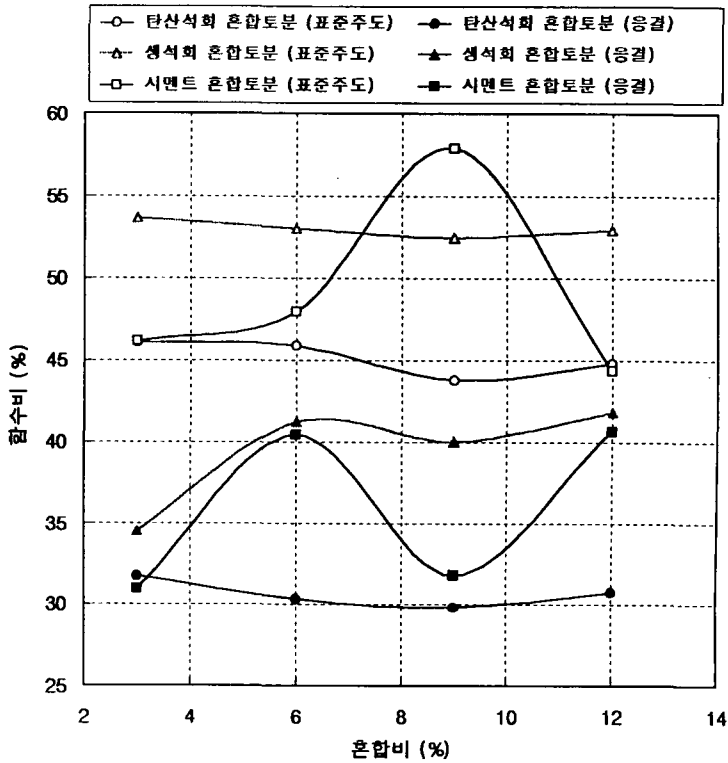


그림 3-127 보강혼합토분에 대한 표준주도 및 응결상태의 함수비

보강혼합토분에 대한 표준주도 상태의 평균함수비는 표 3-39와 비교한 결과 토분 자체에서보다 탄산석회 혼합토분에서 3% 정도 크게, 생석회 및 시멘트 혼합토분에서는 1%~5% 정도 작게 나타났으며 응결상태의 평균함수비는 탄산석회, 생석회 및 시멘트 혼합토분에서 공히 0%~9% 정도로 작게 나타났다.

보강혼합토분에 촉진제를 첨가한 후 표준주도 및 응결상태의 함수비를 시험한 결과 그림 3-128과 같이 나타났다. 촉진제 혼합비를 1%~6% 변화시키에 따른 촉진제 보강 혼합토분의 표준주도 상태의 함수비는 시멘트 혼합토분에서 49%~47% 정도, 탄산석회 혼합토분에서 44%~47% 정도의 범위를 보여 시멘트 혼합토분에서 다소 크게 나타났으

며, 시멘트 혼합토분에서는 촉진제 혼합비의 증가에 따라 다소 감소하는 경향을 보였다.

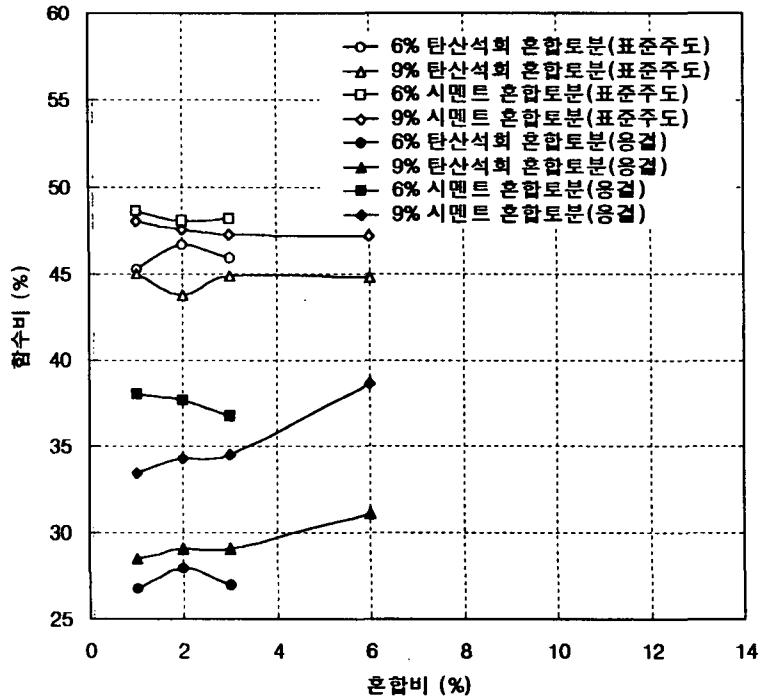


그림 3-128 촉진제를 첨가한 보강혼합토분에 대한 표준주도 및 응결상태의 함수비

응결상태의 함수비는 시멘트 혼합토분에서 33%~39% 정도, 탄산석회 혼합토분에서 27%~31% 정도의 범위로 시멘트 혼합토분에서 상당히 크게 나타났으며 2종의 보강혼합토분에서 모두 보강제의 혼합비가 9% 일때는 촉진제의 증가에 따라 현저하게 증가하는 것으로 나타났다. 함수비의 증가에도 불구하고 응결이 현저하게 촉진되었다.

표준주도와 응결상태 평균 함수비의 차는 6% 탄산석회 혼합토에서 19% 정도로 가장 크게, 6% 시멘트 혼합토분에서 11% 정도로 가장 작게 나타났다.

촉진제 혼합토분에 대한 표준주도 상태의 평균함수비는 표 3-39와 비교한 결과 토분 자체에서 보다 탄산석회 및 시멘트 혼합토분에서 0%~4% 정도로 공히 작게 나타났으며 응결상태의 평균함수비는 탄산석회 혼합토분에서는 3% 정도 크게 시멘트 혼합토분에서는 5%~7% 정도 작게 나타나 촉진제를 사용하지 않은 보강혼합토분의 경우와 거

의 유사하게 변화하였다.

5) 보강혼합토분에 대한 비표면적과 응결시간

가) 보강재의 종류별 보강혼합토분의 비표면적과 응결시간

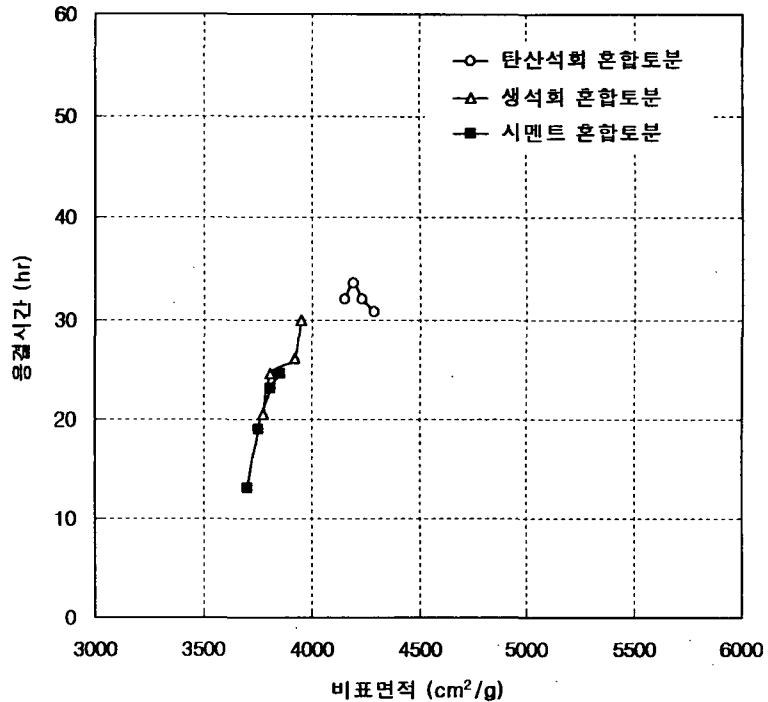


그림 3-129 보강혼합토분의 비표면적에 대한 응결시간

그림 3-129는 보강재의 종류별 보강혼합토분의 비표면적과 응결시간을 분석한 것으로 탄산석회 혼합토분의 경우에는 그 혼합비의 변화에 따라 비표면적에 대한 응결시간은 4,152~4,288cm²/g 범위의 비표면적에 대하여 31hr~34hr의 범위로 분포하였으며 비표면적과 응결시간은 거의 상관성이 없는 것으로 나타났으나 생석회 혼합토분에서는 비표면적이 3,703~3,854로 증가함에 따라 응결시간은 13hr~24hr 정도로, 시멘트 혼합토분에서는 3,777~3,952로 증가함에 따라 20hr~30hr 정도로 2종의 보강혼합토분에서 공히 급격히 증가하였다. 이것은 보강재의 혼합비율이 증가될수록 비표면적이 감소되므

로 비표면적의 증가에 대하여 보강재의 혼합비가 감소되었기 때문으로 사료된다.

나) 시멘트, 생석회 및 보강혼합토분의 비표면적과 응결시간의 상관성.

그림 3-130, 3-131은 시멘트, 생석회 및 보강혼합토분의 비표면적과 응결시간을 도시하였다.

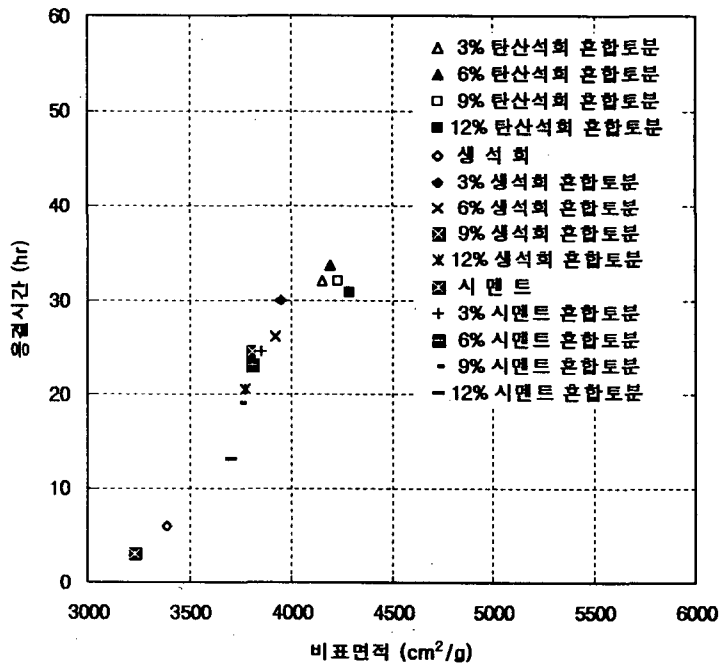


그림 3-130 시멘트, 생석회 및 혼합토분에 대한 비표면적과 응결시간의 관계

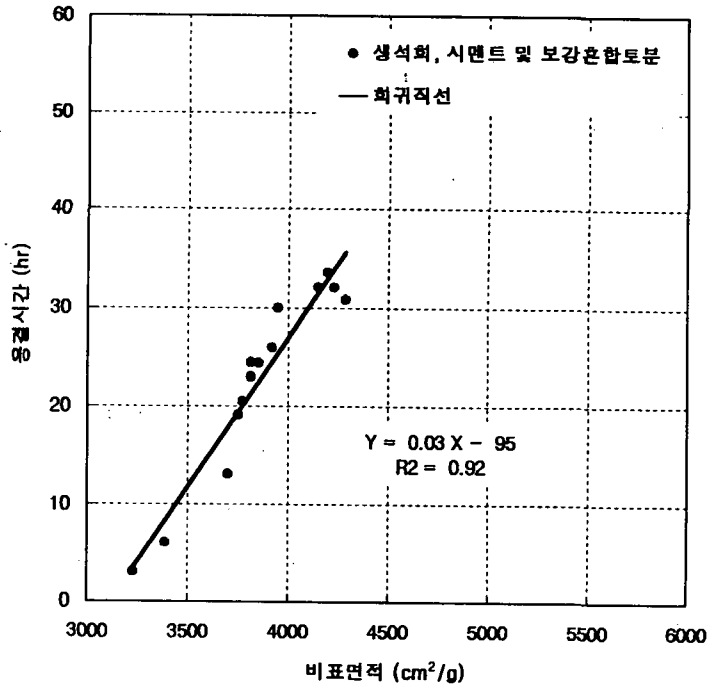


그림 3-131 비표면적과 응결시간의 상관도

이 결과 시멘트와 생석회혼합토분은 혼합비율이 작을수록 비표면적이 크고, 응결시간이 길어지는 반면, 탄산석회혼합토분은 혼합비율이 12%에서 비표면적이 가장 크고, 응결시간이 가장 짧은 것으로 사료된다. 시멘트, 생석회 및 각종 보강혼합토분에 대하여 전반적으로 비표면적이 증가할수록 응결시간은 직선적으로 증가하는 것으로 나타났으며 회귀직선식으로는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 hr &\approx 0.03 A_s - 95 & R^2 &= 0.92 \\
 A_s &\approx 33 hr + 3,167 & & (3-7)
 \end{aligned}$$

여기서, hr : 응결시간 (hr)

A_s : 비표면적 (cm²/g)

4. 토분풀 및 혼합토분풀의 압축강도

흙 내부의 토분 및 보강재 혼합토분에 물을 첨가한 토분풀 및 보강재 혼합토분풀은 흙 또는 보강혼합토 내부에서 토립자를 결합시키는 중요한 역할을 하며 궁극적으로 재료의 강도에 지대한 영향을 미친다.

가. 사용재료

사용 재료로는 200번체 통과분의 토분에 탄산석회(CaCO_3), 생석회(CaO), 시멘트를 보강재로 사용하였으며 염화칼슘(CaCl_2)을 촉진제로 사용하였다. 토분풀 자체 및 노건조 토분에 대한 중량혼합비를 변화시킨 탄산석회, 생석회, 시멘트 혼합토분풀을 조성하였고, 촉진제는 노건조 탄산석회, 시멘트에 대한 중량혼합비를 변화시킨 촉진제를 탄산석회 및 시멘트 혼합토분풀에 사용하였다.

나. 실험장치 및 방법

플로우 시험기 (Flow test apparatus)는 KS L 5111의 시험방법으로 실시하였으며, 토분 및 혼합토분풀의 압축강도시험용 시료의 주도결정을 위한 장치로 플로우 테이블 (Flow table)과 플로우 몰드(Flow mold)로 구성되어있다. 플로우 시험 (Flow test apparatus)은 토분 및 보강재 혼합토분풀의 종류별 표준주도 평균 함수비에 따라 조제된 시료를 플로우 몰드(Flow mold)에 소정의 방법으로 채워 플로우 테이블에 놓고 몰드를 들어올린 후 테이블을 15초 동안 25회 낙하시켜 시료의 원직경에 대한 하부 직경 증가분의 백분율로 플로우치를 결정하였다(그림 3-132).

그림 3-133, 3-134의 만능재료시험기와 3연형 큐브몰드는 큐브몰드로 성형된 시료에 편심되지 않게 압축하중을 가하여 최대하중을 읽었다. 압축강도시험은 관련 규격 KS L 5105의 시험방법에 의하여 플로우 시험 후 시료를 소정의 다짐방법으로 큐브몰드에 채우고 항온항습기(그림 3-123, 3-124)에 넣어 소정의 재령까지 양생시킨 후 만능재료 시험기를 이용하여 압축하중을 재하하여 최대하중을 읽고 원단면적으로 나누어 압축강도

를 구하였다. 항온항습기는 온도 25℃, 습도 50%로 하였으며 플로우 시험 및 압축강도 시험 후 함수비를 측정하였다.

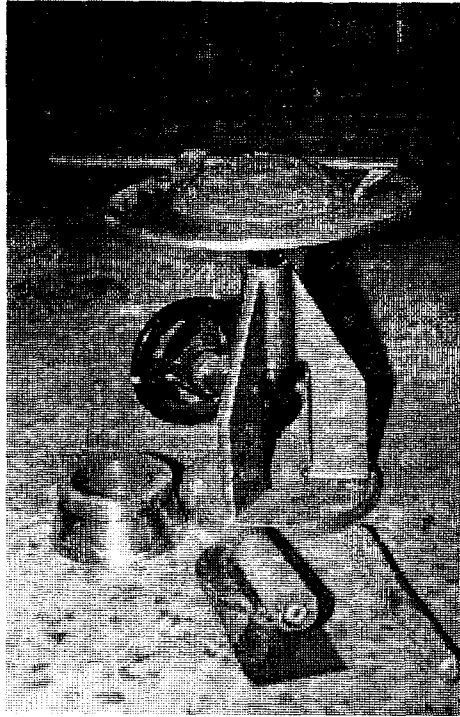


그림 3-132 플로우 시험기

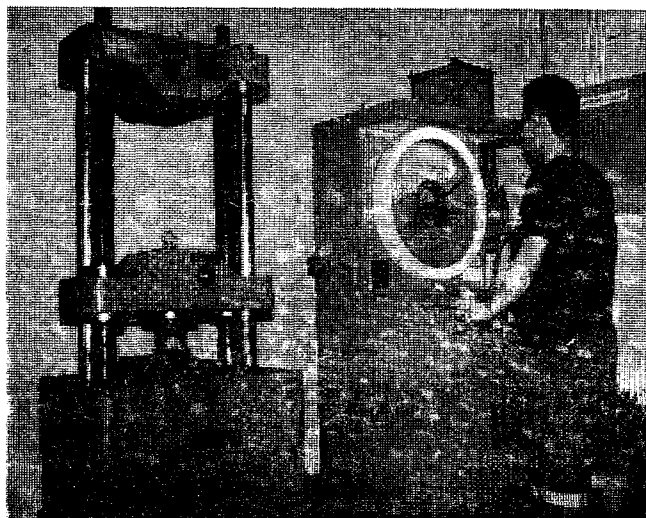


그림 3-133 만능재료시험기

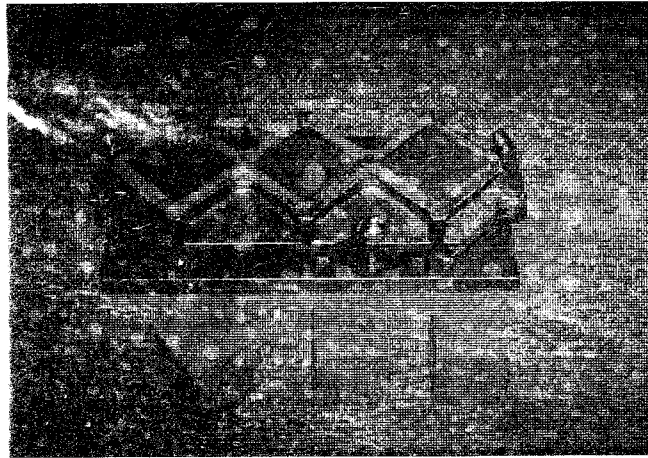


그림 3-134 큐브몰드와 공시체

다. 실험목록

플로우 시험 전 시료반죽의 함수비는 표준주도 함수비의 평균치로서 토분 48%, 탄산석회, 생석회, 시멘트 혼합토분에 대하여 46%, 52%, 47% 사용하였다.

토분풀 및 혼합토분풀의 플로우 시험 및 압축강도 시험의 실험 목록은 아래 표 3-40과 같다. 토분풀 및 9%의 탄산석회 혼합토분풀, 생석회 혼합토분풀, 시멘트 혼합토분풀은 재령 3, 7, 14, 28일의 압축강도를 측정하였고, 6%의 탄산석회 혼합토분풀, 생석회 혼합토분풀, 시멘트 혼합토분풀과 2%축진제를 첨가한 9% 탄산석회 혼합토분풀, 9% 시멘트 혼합토분풀은 재령 3, 7, 14일로 하였다.

표 3-40 실험목록 - 플로우시험 및 압축강도시험

시료명	혼합비 (%)				재령(일)	비고
	탄산석회	생석회	시멘트	축진제		
토분풀	0	0	0	0	3, 7, 14, 28	토분풀 (수원토의#200 통과분)자체
탄산석회	6	0	0	0	3, 7, 14	노건조 토분에 대한 중량혼합비
혼합토분풀	9	0	0	0	3, 7, 14, 28	
생석회	0	6	0	0	3, 7, 14	
혼합토분풀	0	9	0	0	3, 7, 14, 28	
시멘트	0	0	6	0	3, 7, 14	
혼합토분풀	0	0	9	0	3, 7, 14, 28	
축진제	9	0	0	2	3, 7, 14	노건조 탄산석회 혹은 시멘트에 대한 중량혼 합비
혼합토분풀	0	0	9		3, 7, 14	

* 양생조건: 항온항습기(25℃, 50%)

라. 결과 및 고찰

토분풀 및 보강혼합토분풀에 대한 압축강도의 실험과 재령과 함수비, 함수비와 압축강도에 대한 실험결과를 분석하면 다음과 같다.

1) 토분풀 및 보강토분풀의 압축강도

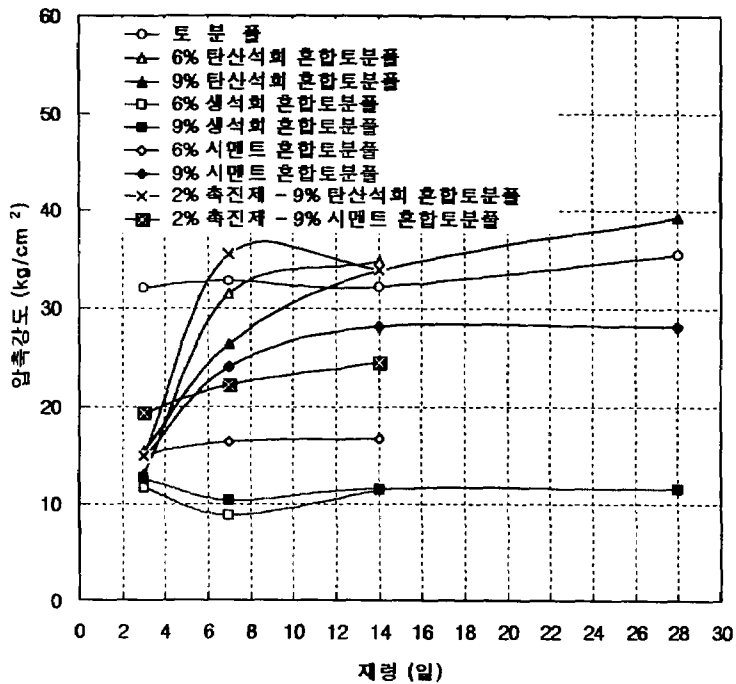


그림 3-135 토분풀 및 보강혼합토분풀에 대한 재령과 압축강도의 관계

토분풀 및 보강토분풀에 대한 재령과 압축강도의 관계를 시험한 결과는 그림 3-135와 같이 나타났다. 토분풀 및 대부분의 보강재 혼합토분풀의 압축강도는 재령이 증가함에 따라 다소 상이한 증가율을 보였으며, 생석회 혼합토분에서는 생석회와 물의 화학적 반응에 의하여 7일까지는 감소하는 경향으로 나타났다.

토분풀의 압축강도는 재령이 증가함에 따라 완만하게 증가하는 경향으로 나타나 재령 3일 및 28일의 압축강도는 각각 32kg/cm^2 및 36kg/cm^2 로 나타났으며 특히 9% 탄산석회 혼합토분에서는 16kg/cm^2 및 40kg/cm^2 로 비교적 크게 증가하는 것으로 나타났다.

대부분의 보강혼합토분풀에서 압축강도는 보강재의 혼합비가 6%에서 9%로 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으며 그 증가율은 시멘트 혼합토분에서 현저하였다.

촉진제 혼합토분에 대한 압축강도는 보강재의 종류에 따라 상이한 차이를 보여 재령이 증가함에 따라 시멘트 혼합토분에서는 완만하게 증가하는 것으로 나타났으나 탄산

석회 혼합토분에서는 탄산석회와 촉진제의 화학적 반응에 의하여 재령 7일 강도에서 최대로 나타났으며, 7일 이후에는 감소하는 경향을 보였다.

9% 시멘트 혼합토분에 대하여 촉진제를 첨가한 경우에는 첨가하지 않은 경우보다 초기강도가 훨씬 증가하였다.

온도 25℃ 및 습도 50%의 항온항습 상태에서 시멘트 혼합토분풀의 압축강도는 시멘트 혼합비에 관계없이 28일 재령으로 거의 최대도에 도달하였으나 나머지 토분풀 및 대부분의 보강 혼합토분풀의 압축강도는 28일 재령 이후에도 완만하게 증가될 것으로 판단된다.

2) 토분풀 및 보강혼합토분풀의 재령과 함수비

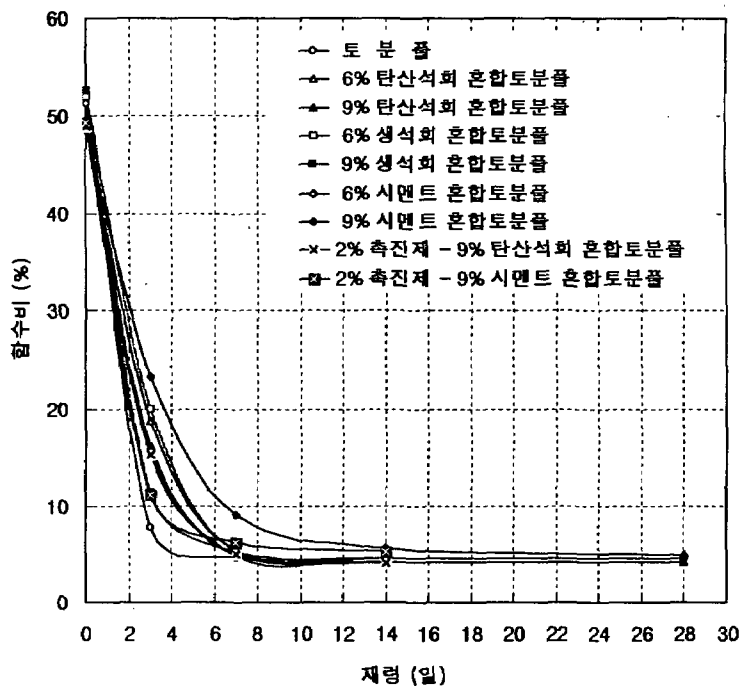


그림 3-136 토분풀 및 보강혼합토분풀에 대한 재령과 함수비의 관계

그림 3-136은 토분풀 및 보강혼합토분풀의 재령과 함수비를 시험한 것으로 이 결과

온도 25℃ 및 습도 50%의 항온항습 상태의 양생조건에서 보강혼합토분풀의 건조상태를 결정하는 함수비는 전반적으로 재령 7일까지는 급격하게 감소하였으나 그 이후로는 완만하게 감소하여 재령 14일 이후부터는 거의 변화가 없는 것으로 나타났으며 토분풀 자체에서는 보다 조기에 안정되어 4일 이후에는 변화가 없는 것으로 나타났다.

토분풀 및 대부분의 보강혼합토분풀의 초기함수비(플로우시험 직후)는 50%정도로, 초기함수비에서 재령 28일 함수비는 5%정도로 나타나 45%정도의 감소를 보이는 것으로 나타났다.

시멘트 혼합토분풀의 재령 3일~7일의 함수비는 다른 종류의 보강혼합토분풀에서 보다 다소 크게 나타났다.

3) 토분풀 및 보강혼합토분풀에 대한 함수비와 압축강도

그림 3-137, 3-138은 토분풀 및 보강혼합토분풀에 대한 함수비와 압축강도를 분석한 것이다.

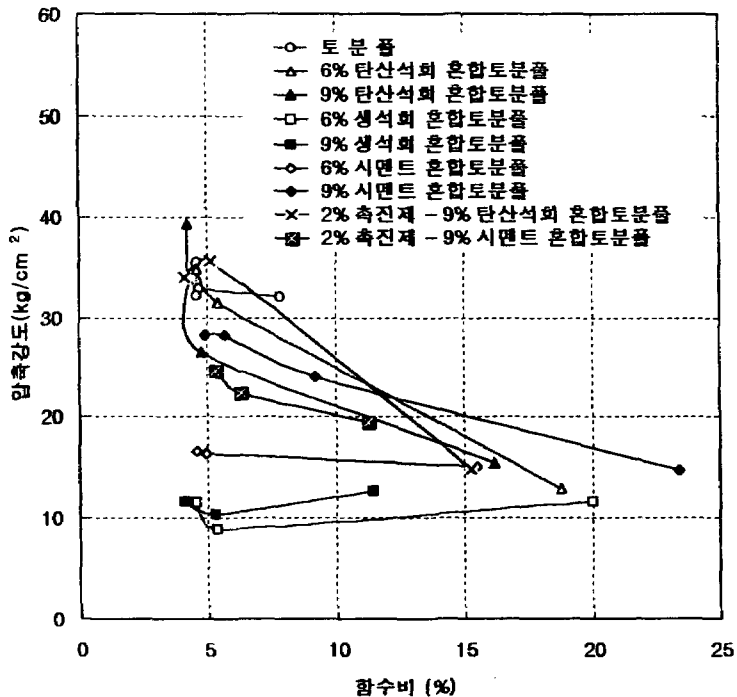


그림 3-137 토분풀 및 보강혼합토분풀의 함수비와 압축강도의 관계

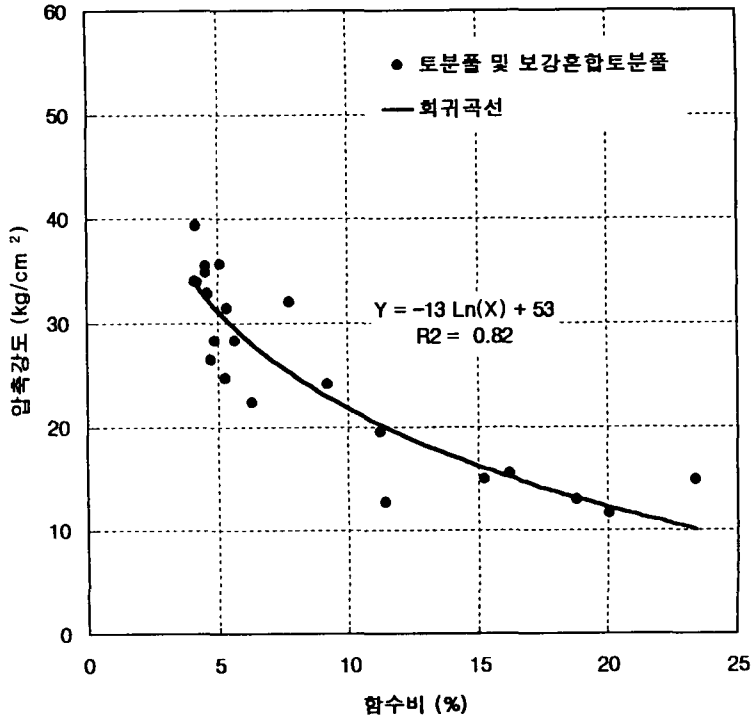


그림 3-138 함수비와 압축강도의 상관도

이 결과 전반적으로 함수비가 감소할수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났으며 그 증가율은 보강혼합토분풀의 종류에 따라 다양하게 나타났다. 생석회의 경우에는 생석회의 수화 및 발열 반응에 의하여 함수비 4%~5%에서는 압축강도가 감소하였으나 이후 함수비가 증가할수록 오히려 압축강도도 증가하는 것으로 나타났다.

6% 시멘트 혼합토분풀과 생석회의 혼합토분풀을 제외하면 함수비가 증가할수록 압축강도는 대체로 로그함수의 형태로 변화하였으며 회귀곡선은 아래와 같다.

$$\sigma \approx -13 \ln(\omega) + 53 \quad R^2 = 0.82 \quad (3-8)$$

$$\omega \approx e^{-0.08\sigma + 4.08}$$

여기서, σ : 압축 강도 (kg/cm^2)

w: 함수비 (%)

5. 보강혼합토의 슬럼프 및 워커빌리티(workability) 시험

가. 사용재료

흙 시료 및 탄산석회, 생석회, 시멘트는 앞 절에서 사용한 재료를 사용하였으며, 섬유는 보강구조물의 재료로 널리 사용되고 있는 폴리프로필렌 섬유를 사용하였다. 폴리프로필렌 섬유는 제조 방식 및 형태에 따라 단사(monofilament fiber)와 망사(fibrillated fiber)가 있으며 본 연구에서는 섬유의 절단길이에 따른 단사19mm와 망사19mm 2종을 선정하였으며 섬유의 비중은 0.91이며 섬유의 물리적 특성은 표 3-41에 나타내었다.

표 3-41 섬유(망사형)의 물리적 특성

비중	인장강도 (kg/cm^2)	탄성계수 (kg/cm^2)	융점 ($^{\circ}\text{C}$)	입경 (mm)
0.91	3287.6	39,550	168	0.08

나. 시험방법 및 장치

1) 슬럼프 시험

슬럼프 시험은 KS F 2402의 시험방법으로 실시하였으며 시험기는 그림 3-139와 같다. 수원토 및 혼합토의 반죽결기를 측정하는 방법으로서 밀면의 안지름이 20cm, 윗면의 안지름이 10cm, 높이가 30cm인 슬럼프 콘에 시료를 3층으로 나누어 각 층을 지름 16mm, 길이가 60cm인 다짐봉으로 25회씩 단면을 골고루 다진 후, 슬럼프콘을 수직 방향으로 벗긴 다음 무너진 시료를 슬럼프치로 정하였다. 그림 3-140은 슬럼프 시험과정을 나타낸다.

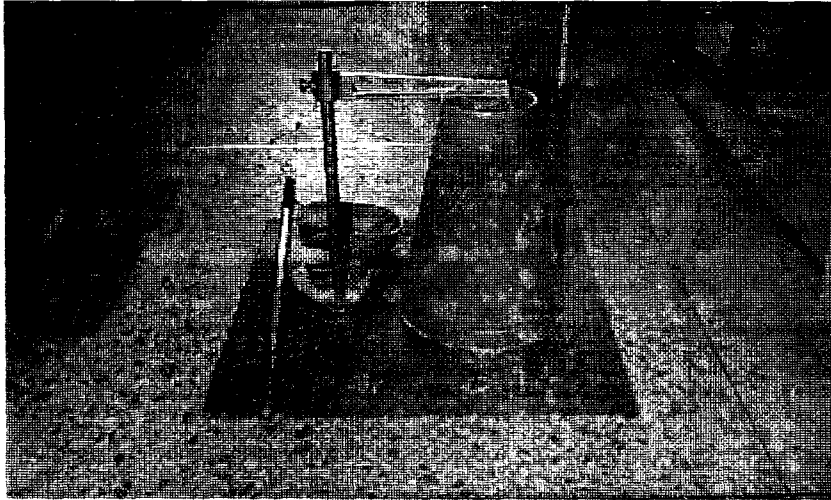


그림 3-139 슬럼프 시험기

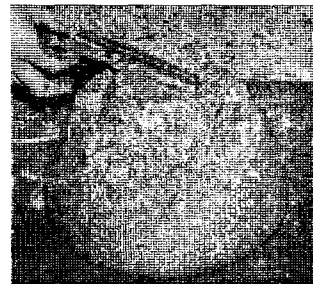
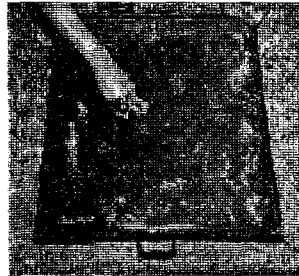
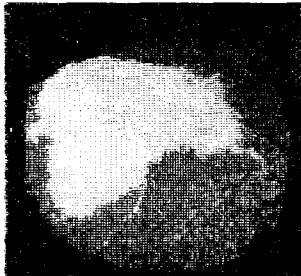


그림 3-140 슬럼프시험 과정

2) 워커빌리티(Workability) 시험

본 연구는 워커빌리티 시험을 통하여 작업의 난이도 및 적정함수비를 판단하여 시공 조건성을 살펴보고자 실시하였다.

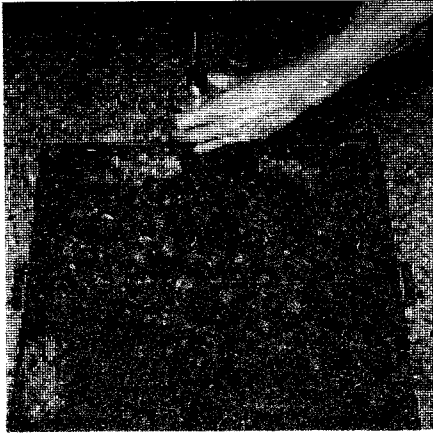


그림 3-141 다짐봉으로 다짐시험

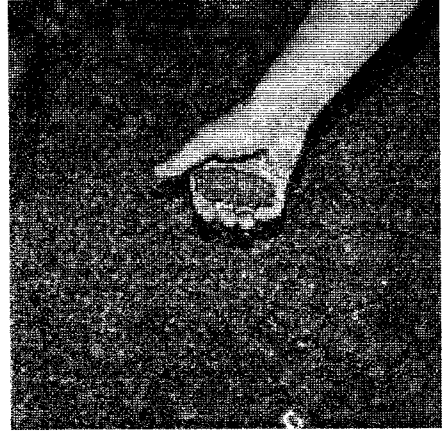


그림 3-142 손으로 뭉쳐보기

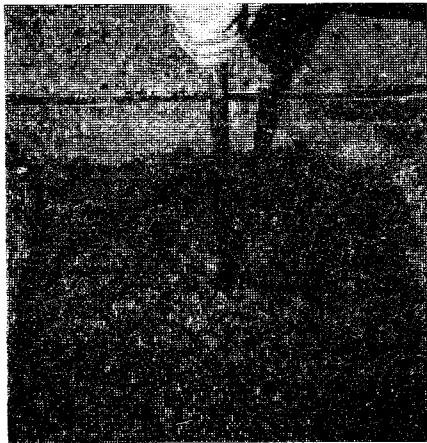


그림 3-143 붓으로 찌르기

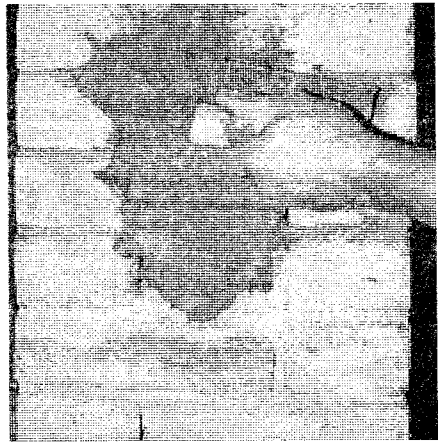


그림 3-144 벽면 바르기

다. 시료 조성

보강혼합토에 대한 위커빌리티 및 슬럼프 시험의 실험목록은 표 3-42와 같다. 초기 함수비는 현장시공에 있어서 최적의 함수비를 얻고자 최적함수비보다 높은 25~40%를 혼합토에 첨가하여 실험을 실시하였다.

표 3-42 실험목록 - 보강혼합토에 대한 위커빌리티 및 슬럼프 시험

사용재료	혼합비 (%)				초기 함수비 (%)	비고
	석회	시멘트	섬유	촉진제		
수원토	0	0	0	0	25, 30, 35, 40	• 수원토 자체
석회혼합토	6, 9	0	0	0	25, 30, 35, 40	• 석회, 시멘트, 섬유 혼합비: 노건조 흙에 대한 중량비
시멘트혼합토	0	6, 9	0	0	25, 30, 35, 40	
섬유혼합토	0	0	0.1	0	25, 30, 35, 40	
			0.2		25, 30, 35, 40	
			0.3		25, 30, 35, 40	
			0.5		25, 30, 35, 40	
			1.0		25, 30, 35, 40	
촉진제 혼합토	9	0	0	1	25, 30, 35, 40	• 촉진제 혼합비: 노건조 석회에 대한 중량비
				2	25, 30, 35, 40	
				3	25, 30, 35, 40	

라. 결과 및 고찰

그림 3-145는 수원토, 석회 및 시멘트혼합토의 슬럼프치를 도시한 것으로 보강혼합토의 슬럼프시험에서 흙자체, 석회 및 시멘트혼합토에 대한 슬럼프치는 함수비의 증가에 따라 슬럼프치가 전반적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 석회혼합토의 첨가량이 많을수록 슬럼프치가 높게 나타났다.

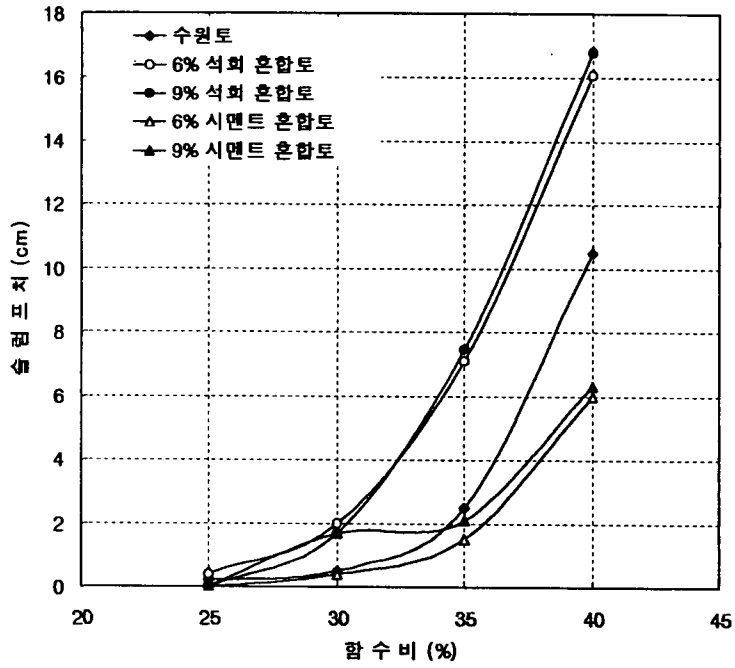


그림 3-145 수원토, 석회 및 시멘트혼합토의 슬럼프치

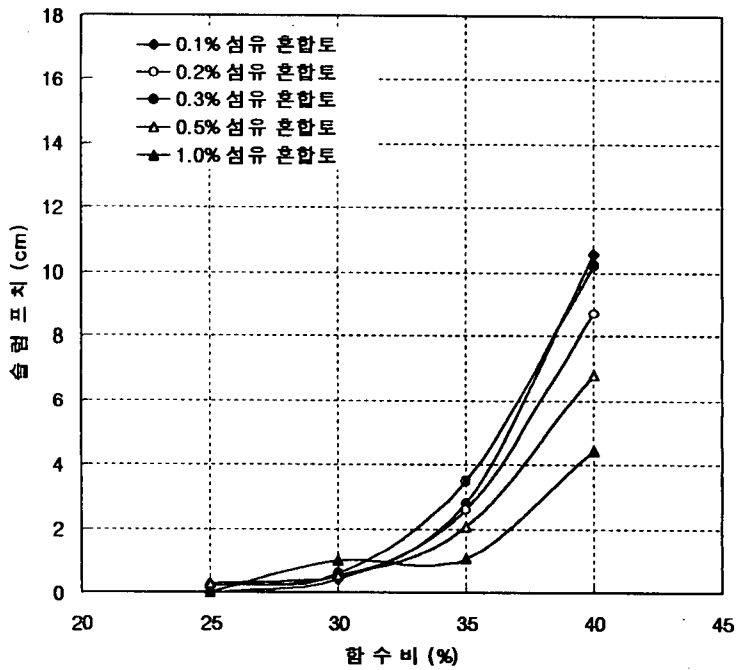


그림 3-146 섬유혼합토의 슬럼프치

섬유혼합토의 슬럼프치는 그림 3-146과 같이 나타났으며 이 때 함수비가 25~30%까지는 슬럼프치가 비교적 근소하게 증가하였으나 함수비가 증가할수록 점차 큰 폭의 변화를 보였다. 또한 함수비가 40%에서는 0.1%섬유혼합토가 0.3%섬유혼합토에 비해 증가하는 것으로 나타났다.

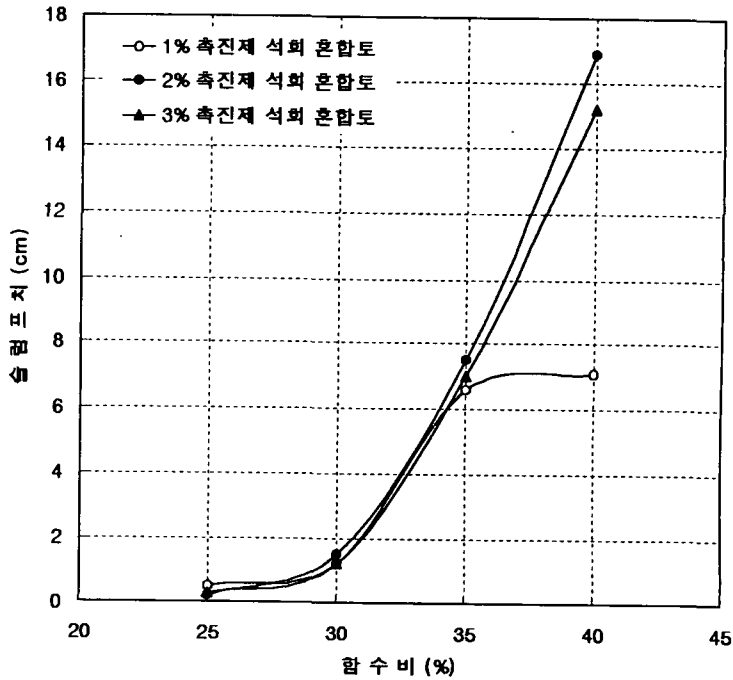


그림 3-147 촉진제 - 9%석회혼합토의 슬럼프치

그림 3-147은 촉진제에 9%석회혼합토의 슬럼프치를 나타낸 것으로 석회혼합토에 촉진제 1, 2, 3%를 첨가한 결과 그림 3-145, 3-146에 비해 35~40%에서 슬럼프치가 증가하는 것으로 나타났다.

슬럼프치는 전반적으로 35~40%의 함수비에서 증가폭이 크게 나타났고, 35~40% 함수비에서는 흙벽 작업시 흘러 붓기 시공에 적합한 상태라고 판단된다.

표 3-43 수원토의 함수비에 대한 건조밀도, 반죽질기, 슬럼프치, 워커빌리티 및 적정 시공조건

함수비 (%)	성형 건조밀도 (t/m ³)	반죽질기	슬럼프치 (cm)	워커빌리티	적정 시공조건
15		손으로 뭉쳐지나 던지면 흐트러짐	슬럼프콘이 벗겨지지 않음	수분이 적어 혼합 불량, 응집력 불량	
20	1.13	손으로 뭉쳐지고, 던지면 덩어리로 부서짐	슬럼프콘 두드려 벗겨짐 슬럼프치: 0	다지면 응집력 양호, 혼합시 시료가 삽에 접촉되지 않음	다짐기에 의한 다짐 시공 양호
25	1.16	손으로 잘 뭉쳐지고 던지면 형태는 다소 변하나 부서지지 않음	0.2	혼합후 시료가 부정형 소피로 뭉쳐지고 일부가 삽에 접촉	뭉쳐 던지기 시공 양호
30	1.27	손으로 뭉치면 시료 덩어리가 무정형 상태로 성형되고 던지면 퍼짐	0.5	시료의 상당부분이 삽에 접촉되어 삼비비기 작업이 난이함	나무 흙손에 의한 바르기 시공 양호, 체중에 의한 발다짐 양호
35	1.28	손으로 뭉쳐질 수 없을 정도로 질고 던지면 얇게 퍼짐, 다짐봉으로 찌르면 구멍이 생긴 후 천천히 메워짐, 손 반죽이 가능함	2.5	삼비비기 작업이 난이하고 흙손으로 문지르면 광택이 남	나무흙손에 의한 바닥 바르기 시공 가능
37	1.25	다짐봉으로 찌르면 구멍이 생긴 후 메워짐, 손으로 반죽이 가능함	3.9	힘들이지 않고 삽으로 뜰 수 있으나 치기 작업시 시료가 삽에 달라붙음	
38.5	1.28	손으로 힘들이지 않고 손으로 반죽이 가능함 다짐봉으로 찌르면 구멍이 생기나 바로 메워짐	7.4	더욱 힘들이지 않고 삽으로 뜰 수 있으나 치기 작업시 시료가 삽에 많이 달라붙음	홀러붓기 시공 양호
40	1.24	다소 유동성이 있음	10.5	치기작업시 시료가 삽으로부터 흘러내림	
45	1.19	유동성 더욱 증가	19.0		

* 상기 분석은 추가 워커빌리티 시험과 타 연구자의 결과에 따라 추후 수정, 보완 단순화 및 적정 함수비 범위설정 등이 이루어져야 할 것임.

표 3-44 6%, 9% 석회혼합토의 함수비에 대한 건조밀도, 반죽질기, 슬럼프치, 워커빌리티 및 적정 시공조건

함수비(%)	성형 건조밀도 (t/m ³)		반죽질기	슬럼프치 (cm)		워커빌리티	적정 시공조건
	6%	9%		6%	9%		
20			손으로 뭉쳐지고, 던지면 덩어리로 부서짐	슬럼프콘이 벗겨지지 않음		다지면 응집력 양호, 혼합시 시료가 삽에 접촉되지 않음	함수비 1~2% 정도 증가하면 다짐기에 의한 시공 양호
25	1.17	1.13	손으로 잘 뭉쳐지고, 던지면 형태는 다소 변하나 부서지지 않음	0.4	0.0	혼합후 시료가 부정형 소괴로 뭉쳐지고 시료의 일부가 삽에 접촉됨	함수비 1~2% 정도 증가하면 뭉쳐 던지기 시공 양호
30	1.35	1.29	손으로 뭉치면 시료 덩어리가 부정형 상태로 성형되고 던지면 퍼짐	2.0	1.7	시료의 상당부분이 삽에 접촉되어 삽비기 작업이 난이함	함수비 1% 정도 증가하면 나무 흙손에 의한 벽면 및 바닥 바르기 시공 양호, 체중에 의한 발다짐 시공 양호
35	1.33	1.26	손으로 뭉쳐질 수 없을 정도로 절고 던지면 얇게 퍼짐, 다짐봉으로 찌르면 구멍이 생긴 후 천천히 메워짐, 손으로 반죽이 가능함	7.1	7.45	삽비비기 작업이 난이하고 흙손으로 문지르면 광택이 남	함수비 1% 정도 증가하면 나무 흙손에 의한 바닥 바르기 시공 가능
40	1.24	1.21	다소 유동성이 있음	16.1	16.8	치기작업시 시료가 삽으로부터 흘러내림	함수비 1% 정도 증가하면 흘러받기 시공 양호

*상기 분석은 추가 워커빌리티 시험과 타 연구자의 결과에 따라 추후 수정, 보완, 단순화 및 적정 함수비 범위설정 등이 이루어져야 할 것임.

표 3-45 6%, 9%시멘트혼합토의 함수비에 대한 건조밀도, 반죽질기, 슬럼프치, 워커빌리티 및 적정 시공조건

함수비 (%)	성형 건조밀도 (t/m ³)		반죽질기	슬럼프치 (cm)		워커빌리티	적정 시공조건
	6%	9%		6%	9%		
20			손으로 잘 뭉쳐지고 던지면 형태가 변하지 않고 부서지지 않음	슬럼프콘이 벗겨지지 않음		다지면 응집력 양호, 혼합시 시료가 삼에 붙지 않음	함수비 2~3% 정도 증가하면 다짐기에 의한 시공 양호
25	1.10	1.08	손으로 잘 뭉쳐지고, 던지면 형태는 다소 변하나 부서지지 않음	슬럼프콘이 벗겨지지 않음		혼합후 시료가 부정형 소괴로 뭉쳐지고 시료가 삼에 일부 접촉됨	함수비 2~3% 정도 증가하면 뭉쳐 던지기 시공 양호
30	1.23	1.22	손으로 뭉치면 시료 덩어리가 부정형 상태로 성형되고 던지면 퍼짐	0.4	1.7	시료가 삼에 많이 접촉되어 삼비비기 작업이 난이함	함수비 2% 정도 증가하면 나무 흙손에 의한 벽면 및 바닥 바르기 시공 양호, 체중에 의한 발다짐 시공 양호
35	1.26	1.28	손으로 뭉쳐질 수 없을 정도로 질고 던지면 얇게 퍼짐, 다짐 붓으로 찌르면 구멍이 생긴 후 천천히 메워짐, 손으로 반죽이 가능함	1.5	2.1	삼비비기 작업이 난이하고 흙손으로 문지르면 광택이 남	함수비 2% 정도 증가하면 나무 흙손에 의한 바닥 바르기 시공 가능
40	1.23	1.24	다소 유동성이 있음	6.0	6.3	치기 작업시 시료가 삼으로부터 흘러내림	함수비 1% 정도 증가하면 흘러 붓기 시공 양호

* 상기 분석은 추가 워커빌리티 시험과 타 연구자의 결과에 따라 추후 수정, 보완, 단순화 및 적정 함수비 범위설정 등이 이루어져야 할 것임.

* 동일한 함수비에서 수원토 및 석회 혼합토보다 반죽질기가 다소 작게 나타남.

표 3-46 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.5%, 1.0% 섬유 혼합토의 함수비에 대한 건조밀도, 반죽 질기, 슬럼프치, 위커빌리티 및 적정 시공조건

함수비(%)	성형 건조밀도 (t/m ³)					반죽질기	슬럼프치 (cm)					위커빌리티	적정 시공조건
	0.1%	0.2%	0.3%	0.5%	1.0%		0.1%	0.2%	0.3%	0.5%	1.0%		
20						손으로 뭉쳐지나 던지면 호트러짐	슬럼프콘이 벗겨지지 않음					수분이 적어 혼합 불량, 응집력 불량	
25	1.10	1.10	1.13	1.11	1.08	손으로 뭉쳐지고 던지면 형태가 거의 변하지 않고 부서지지 않음	0.0	0.2	0.2	0.3	0.0	다지면 응집력 양호, 혼합시 시료가 삼에 접촉되지 않음, 0.5%, 1.0% 섬유 혼합토분 응집력 불량	다짐기에 의한 다짐 시공양호 (0.5%, 1.0% 섬유 혼합토는 부적합)
30	1.24	1.31	1.20	1.23	1.16	손으로 잘 뭉쳐지고 던지면 두껍게 퍼짐	0.5	0.5	0.6	0.6	1.0	혼합시 시료가 삼에 접촉되고 된 반죽으로 삼비비기 작업이 난이함, 점착성이 최대로 됨	뭉쳐 던지기 시공 양호, 함수비 3%정도 증가하면 나무 흠손에 의한 벽면 및 바닥 바르기 시공 양호, 체중에 의한 발다짐 시공 양호
35	1.27	1.26	1.27	1.27	1.19	손으로 뭉쳐질 수 없을 정도로 질고 던지면 얇게 퍼짐	2.8	2.6	3.5	2.1	1.1	삼비비기 작업이 난이하고 반죽질기가 크며 응집력이 불량함	함수비 3% 정도 증가하면 나무 흠손에 의한 바닥 바르기 시공 가능
40	1.23	1.22	1.23	1.21		다소 유동성 있음	10.6	8.7	10.2	6.8	4.5	치기 작업시 시료가 삼으로부터 흘러내림	함수비 3% 증가 하면 흘러 붓기 시공 양호

* 동일한 함수비에서 수원토 및 석회, 시멘트 혼합토보다 된 반죽으로 되고 섬유 혼합비가 증가함에 따라 더욱 된 반죽으로 됨.

* 0.5%, 1.0% 섬유 혼합토는 경제성, 시공성 측면에서 부적합한 재료로 판단됨

표 3-47 1%, 2%, 3% 축진제 혼합토(9% 석회)의 함수비에 대한 건조밀도, 반죽질기, 슬럼프치, 워커빌리티 및 적정 시공조건

함수비 (%)	성형 건조밀도 (t/m ³)			반죽질기	슬럼프치 (cm)			워커빌리티	적정 시공조건
	1%	2%	3%		1%	2%	3%		
20				손으로 뭉쳐지고, 던지면 덩어리로 부서짐	슬럼프콘이 벗겨지지 않음			다지면 응집력 양호, 혼합시 시료가 삼에 접촉되지 않음	함수비 1~2% 정도 증가하면 다짐기에 의한 시공 양호
25	1.10	1.15	1.06	손으로 잘 뭉쳐지고, 던지면 형태는 다소 변하나 부서지지 않음	0.5	0.2	0.3	혼합후 시료가 부정형 소괴로 뭉쳐지고 시료의 일부가 삼에 접촉됨	함수비 1~2% 정도 증가하면 뭉쳐 던지기 시공 양호
30	1.32	1.33	1.33	손으로 뭉치면 시료 덩어리가 부정형 상태로 성형되고 던지면 퍼짐	1.2	1.5	1.2	시료의 상당부분이 삼에 접촉되어 삼비비기 작업이 난이함	함수비 1% 정도 증가하면 나무 흙손에 의한 벽면 및 바닥 바르기 시공 양호, 채중에 의한 발다짐 시공 양호
35	1.29	1.29	1.28	손으로 뭉쳐질 수 없을 정도로 질고 던지면 얇게 퍼짐, 다짐봉으로 찌르면 구멍이 생긴 후 천천히 메워짐, 손으로 반죽이 가능함	6.6	7.5	7.0	삼비비기 작업이 난이하고 흙손으로 문지르면 광택이 남	함수비 1% 정도 증가하면 나무 흙손에 의한 바닥 바르기 시공 가능
40	1.24	1.22	1.25	다소 유동성이 있음	7.1	16.9	15.2	치기작업시 시료가 삼으로부터 흘러내림	함수비 1% 정도 증가하면 흘러붓기 시공 양호

* 석회 혼합토와 유사함

6. 결 론

토분 및 고화제 혼합토분을 사용한 최적의 보강혼합토분을 구하기 위하여 탄산석회, 생석회, 시멘트의 보강재를 각각 일정한 비율로 배합하여 분말도와 응결시간, 압축강도 시험을 실시하였다.

또한, 촉진제를 6%, 9%탄산석회 혼합토분과 6%, 9%생석회 혼합토분에 1, 2, 3%를 첨가하여 응결시간 및 압축강도시험을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 가. 보강재의 혼합비가 증가함에 따라 탄산석회 혼합토의 비표면적은 증가하였으나 생석회 및 시멘트 혼합토분의 비표면적은 감소하였다.
- 나. 생석회 혼합토분과 시멘트 혼합토분의 비표면적 이론치는 거의 일치하였다.
- 다. 표준주도와 응결상태 함수비의 차는 혼합된 보강재의 종류에 관계없이 13%~14%의 범위를 보였다.
- 라. 생석회 혼합토분 및 시멘트 혼합토분은 비표면적이 감소함에 따라 응결시간이 급격히 단축되었으며 시멘트, 생석회 및 각종 보강혼합토분의 비표면적과 응결시간은 직선적으로 변화하는 것으로 나타났다.
- 마. 생석회 토분풀을 제외하면 토분풀 및 대부분의 보강재 혼합토분의 압축강도는 재령과 보강재의 혼합비가 증가함에 따라 증가하였으며 혼합비의 증가에 따른 시멘트 혼합토분풀의 압축강도는 현저하게 증가하였다.
- 바. 시멘트 혼합토분에 2%촉진제를 첨가한 압축강도는 촉진제를 첨가하지 않은 경우보다 초기강도가 상당히 증가하였고, 재령이 길어짐에 따라 압축강도는 지속적으로 증가될 것이다.
- 사. 온도 25℃ 및 습도 50%의 항온항습 상태에서 시멘트 혼합토분풀의 압축강도는 시멘트 혼합비에 관계없이 재령 28일로 거의 최대강도의 도달하였으나 나머지 토분풀 및 대부분의 보강혼합토분풀의 압축강도는 재령 28일 이후에도 완만하게 증가될 것으로 판단된다.
- 아. 상기의 양생조건에서 보강혼합토분풀의 건조상태를 결정하는 함수비는 재령 7일까지는 급격하게 감소하였으나 그 이후에는 완만하게 감소하여 재령 14일 이후

부터는 거의 변화가 없는 것으로 나타났으며 토분폴 자체에서는 보다 조기에 안정되어 4일 이후에는 변화가 없는 것으로 나타났다.

자. 토분폴 및 대부분의 보강혼합토분폴의 함수비와 압축강도는 로그함수의 형태로 변화되었다.

제 10 절 요약 및 결론

본 장에서는 본 연구에서 사용되는 흙과 보강재를 선정하였고 각 재료의 특성에 대한 연구와 재료의 혼합에 따른 특성을 시험을 통하여 고찰하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구에서 사용될 흙재료의 입도분포의 상한과 하한을 제시하였고, 연구의 재료를 선정하였다.

2. 흙과 보강재의 물리적 특성을 조사하고 분석하였다. 흙을 채취하여 물리적, 역학적 특성을 분석하였으며, 여러 보강재의 마찰특성과 내구성 등을 조사하였고, 시멘트 석회 등과 같이 흙의 성질을 개선하기 위하여 사용되는 보강재의 특성을 조사하였다.

3. 흙과 섬유유의 상호마찰 특성을 평가하기 위하여 직접전단시험과 섬유인발시험을 실시하였다.

가. 직접전단시험 결과 모래질 시료인 발안시료가 점토질 시료인 다른 지역의 시료보다 큰 내부마찰각을 보였고 점착력은 수원시료가 가장 큰 값을 나타내었다.

나. 섬유유의 인발응력은 흙, 섬유유의 종류에 관계없이 수직응력이 증가할수록 증가하였고 발안시료가 가장 큰 부착력과 상호마찰각을 나타내었다.

다. 동일시료에 대한 섬유직경에 따른 마찰계수는 수원 및 발안시료가 섬유유의 직경이 커질수록 증가하였고 하동시료는 감소하였다.

4. 보강토의 다짐특성을 통하여 보강재료의 최적의 혼합비를 제시하기 위하여 자연 흙과 혼합토의 다짐특성과 체적변화에 대한 일련의 시험을 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

가. 수원에서 채취한 무보강 시료의 최적함수비(OMC)는 약 18.9 % 정도, 최대건조밀

도(γ_{dmax})는 1.625 t/m³ 정도로 일반적인 산토의 다짐특성을 보이는 것으로 나타났다.

- 나. 각 보강재료를 혼합하여 다짐시험을 실시하였고 정도의 차이는 있으나 각 보강재에서 건조단위중량의 증가와 최적함수비의 감소가 나타났다. 시멘트는 약 9.0%, 마그네시아 1.0%, 생석회 약 3.0~9.0%, 석회 0.5%, 고화제 약 3.0%~5.0% 가 적정한 혼합비인 것으로 나타났다.
- 다. 섬유혼합토의 경우는 자연시료에 비하여 건조단위중량이 약간 감소하는 것으로 나타났으며, 혼합비는 0.3%~0.5%가 적절한 것으로 나타났다.
- 라. 자연시료의 체적변화는 재령에 따라 2.18%~6.71% 정도 수축하는 것으로 나타났으며, 공시체의 제작 후 급격한 체적의 변화가 발생하여 재령 7일까지 거의 수축이 완료되어 재령 28일의 약 96% 까지 수축하는 것으로 나타났다.
- 마. 자연시료에 보강재료를 혼합한 경우에 혼합비에 따른 차이는 있으나 체적변화율이 감소함을 알 수 있다.

5. 보강의 강도특성 및 균열특성을 분석하기 위하여, 공시체를 제작하여 재령 및 혼합상태에 따른 일축압축강도를 측정하였다. 몇 종류의 첨가제의 배합비에 따른 균열특성도 분석하였다.

- 가. 섬유에 대한 인발시험 결과 수원시료의 부착력 및 상호마찰각은 각각 0.37kg/cm², 6.89° , 발안시료의 부착력과 상호마찰각은 각각 0.84kg/cm², 7.38° 로 나타났으며 모래질 성분이 많은 발안시료가 부착력 및 상호마찰각이 크게 나타났다.
- 나. 섬유의 인발응력은 구속응력이 증가함에 따라 일정하게 증가하며, 섬유의 면적비가 증가할수록 인발응력도 커진다.
- 다. 흙시료에 대한 직접전단시험 결과 수원시료의 점착력 및 내부마찰각은 0.33kg/cm², 30.3° , 발안시료의 점착력 및 내부마찰각은 0.27kg/cm², 33.6° 로 나타났다.
- 라. 섬유혼합토는 비보강 흙보다 섬유의 혼합율이 증가할수록 마찰각은 증가하지만

점착력은 일정하지 않다.

- 마. 섬유혼합토의 전단강도는 섬유의 길이에 크게 영향을 받지 않는다.
- 바. 시멘트를 첨가한 보강혼합토(수원시료)의 강도는 9% 이상 사용할 경우 그 강도가 $40\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 넘었으며 보강재 가운데 가장 높은 강도를 나타내었다.
- 사. 마그네시아와 석고를 혼합한 각각의 보강혼합토(수원시료)의 경우는 0.5% 혼합율에서 최대강도를 나타내었으며 그 값은 약 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 이었다.
- 아. 보강재로 섬유를 사용한 경우(수원시료)는 단사가 망사보다 훨씬 높은 강도를 보였다. 하지만 기존 문헌에 따르면 망사가 높이 나타나는 것으로 되어 있어 혼합방법에 문제가 있는 것으로 사료된다.
- 자. 보강혼합토의 균열은 자연시료(수원시료)의 경우 약 10%의 균열을 보이지만 고화제, 섬유(단사 및 망사) 등을 사용할 경우 10% 미만의 균열이 발생하는 것으로 나타났다. 그 중 균열방지에 가장 큰 효과를 나타내는 것은 섬유(망사) 0.5%를 섞은 경우이다.
- 차. 발안시료의 압축강도는 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도로 아주 낮았으며, 섬유를 첨가할 경우 최대 압축강도가 망사 19mm에서 $17\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도를 나타내었다.

6. 보강흙벽체의 동결융해에 대한 저항성을 분석하기 위하여 일련의 동결융해 시험을 실시하여 보강재료에 따른 강도의 변화를 고찰하였다.

- 가. 섬유의 형태에 관계없이 섬유의 양이 증가할수록 최대건조밀도는 감소하였고 최적함수비는 증가하였다.
- 나. 석회 보강혼합토의 경우 동결융해로 인한 강도의 변화양상은 일정하지 않지만 섬유 보강혼합토는 동결융해로 인해 강도가 감소한다. 하지만 단사 19mm와 망사 19mm를 섞은 보강혼합토는 200주기 이상의 동결융해를 겪은 후에도 비혼합토 이상의 강도를 나타내었다.
- 다. 시멘트 보강 혼합토의 경우 강도는 100주기의 동결융해까지는 큰 변화가 없다가 200주기에서 급격히 감소하였다. .
- 라. 석회 보강 혼합토의 경우 강도는 100주기 이상에서 크게 감소하였고, 섬유와 같

이 혼합할 경우 그 혼합율이 0.3%에서 가장 효과가 좋았다.

마. 섬유혼합토의 인장강도 및 변형률은 섬유양이 증가할수록 증가하였다.

바. 시멘트 혼합토의 인장강도는 혼합비에 따라 강도에 있어서는 큰 차이가 없지만 변형율은 일정한 경향을 찾기 어려웠다.

사. 시멘트 혼합토의 강도는 비혼합토의 최고 56%수준이고 변형률은 최고 2.8배였다.

7. 여러 보강재를 혼합한 보강혼합토의 장기적 건조밀도 및 압축강도 시험과 크리프 시험을 실시하였다.

가. 보강혼합토의 장기적 건조수축 변형

보강흙벽의 재료개발에 대한 기초 연구로서 수원지역에서 채취한 점토질 흙에 탄산석회, 시멘트 및 19mm섬유 단사, 망사를 일정한 비율로 배합하여 장기적 건조수축 시험을 하였다. 또한 촉진제를 9%시멘트 혼합토에 2%를, 9%탄산석회 혼합토에 1, 2, 3%를 첨가하여 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 9%탄산석회 혼합토에서 건조밀도가 전반적으로 크게 나타났으며 함수비 30%에 압축강도가 가장 크게 나타났다.
- 2) 생석회와 시멘트를 사용한 보강혼합토의 경우 다른 보강혼합토 보다 건조밀도의 변화는 미소하였으나 강도는 흙 자체보다는 낮게 나타났다. 따라서 생석회 및 시멘트혼합토는 연약지반보강시 이용가능할 것으로 판단되나 보강흙벽으로는 부적합할 것으로 사료된다.
- 3) 섬유혼합토의 섬유의 양이 증가함에 따라 건조밀도는 감소하였다.
- 4) 섬유를 혼합한 보강토의 압축강도는 단사의 양이 증가할수록 강도는 대체적으로 증가하지만 혼합비가 1.0%이상인 망사에서는 강도가 감소한다.
- 5) 9%탄산석회 및 섬유혼합토의 공시제작업은 시료배합 및 다짐에 있어서 다소 차이가 있으나 함수비 30%가 적당할 것으로 판단된다.
- 6) 보강혼합토에 촉진제 혼합은 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

나. 보강혼합토의 장기적 크리프 거동

건조수축은 구조체에 응력을 유발시키고 크리프는 이완시키는 차이가 있다. 구조물에 균열이 생기면 제어가 어렵기 때문에 이에 대한 적절한 조치가 필요하다. 따라서 수원에 보탄산석회, 섬유를 혼합한 보강혼합토의 크리프 특성을 파악하기 위한 크리프 및 Poisson's Ratio의 시험결과는 다음과 같다.

- 1) 일정한 구속응력이 작용하는 상태에서 0.3%섬유혼합토 단사의 경우 크리프 변형은 섬유의 혼합으로 인해 흙의 건조수축을 억제한다. 그래서 크리프 시험전 함수비가 높은 경우에도 압축으로 인한 종방향 및 횡방향 변형량은 크지 않은 것으로 나타났다.
- 2) 9%탄산석회혼합토에서 압축으로 인한 크리프 변형은 공시체의 건조수축으로 인한 공극의 형성이 이루어진다. 이 결과 종방향 및 횡방향 크리프 변형량은 큰 값을 나타내었다.
- 3) 하중을 재하한 후 초기의 크리프 변형은 급격히 변하는 불안정한 상태를 보였으며 재하시간이 길수록 크리프 변형은 점차 안정하게 되는 것으로 나타났다.
- 4) 재하시 재령이 길수록, 크리프 시험전 함수비가 낮을수록 크리프 변형량이 작게 나타나기 때문에 보강흙벽의 제작시 건조시기를 결정하는 데 있어서 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

8. 토분 및 고화재 혼합토분을 사용한 최적의 보강혼합토분을 구하기 위하여 탄산석회, 생석회, 시멘트의 보강재를 각각 일정한 비율로 배합하여 분말도와 응결시간, 압축강도시험을 실시하였다.

또한, 축진제를 6%, 9%탄산석회 혼합토분과 6%, 9%생석회 혼합토분에 1, 2, 3%를 첨가하여 응결시간 및 압축강도시험을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 보강재의 혼합비가 증가함에 따라 탄산석회 혼합토의 비표면적은 증가하였으나 생석회 및 시멘트 혼합토분의 비표면적은 감소하였다.

나. 생석회 혼합토분과 시멘트 혼합토분의 비표면적 이론치는 거의 일치하였다.

다. 표준주도와 응결상태 함수비의 차는 혼합된 보강재의 종류에 관계없이 13%~14%의 범위를 보였다.

- 라. 생석회 혼합토분 및 시멘트 혼합토분은 비표면적이 감소함에 따라 응결시간이 급격히 단축되었으며 시멘트, 생석회 및 각종 보강혼합토분의 비표면적과 응결시간은 직선적으로 변화하는 것으로 나타났다.
- 마. 생석회 토분풀을 제외하면 토분풀 및 대부분의 보강재 혼합토분의 압축강도는 재령과 보강재의 혼합비가 증가함에 따라 증가하였으며 혼합비의 증가에 따른 시멘트 혼합토분풀의 압축강도는 현저하게 증가하였다.
- 바. 시멘트 혼합토분에 2%축진제를 첨가한 압축강도는 축진제를 첨가하지 않은 경우보다 초기강도가 상당히 증가하였고, 재령이 길어짐에 따라 압축강도는 지속적으로 증가될 것이다.
- 사. 온도 25℃ 및 습도 50%의 항온항습 상태에서 시멘트 혼합토분풀의 압축강도는 시멘트 혼합비에 관계없이 재령 28일로 거의 최대강도의 도달하였으나 나머지 토분풀 및 대부분의 보강혼합토분풀의 압축강도는 재령 28일 이후에도 완만하게 증가될 것으로 판단된다.
- 아. 상기의 양생조건에서 보강혼합토분풀의 건조상태를 결정하는 함수비는 재령 7일까지는 급격하게 감소하였으나 그 이후에는 완만하게 감소하여 재령 14일 이후부터는 거의 변화가 없는 것으로 나타났으며 토분풀 자체에서는 보다 조기에 안정되어 4일 이후에는 변화가 없는 것으로 나타났다.
- 자. 토분풀 및 대부분의 보강혼합토분풀의 함수비와 압축강도는 로그함수의 형태로 변화되었다.

제 4 장 보강흙벽체의 제작 기술 및 시공성 연구

제 1 절 서 론

본 장에서는 보강흙벽체의 제작에 따른 재료 및 기술적인 연구와 시공성에 대한 연구를 다룬다. 먼저 흙벽체의 기본이 되는 흙벽돌을 다루기 전에 벽돌의 기원 및 제조과정 그리고 현재 사용되는 벽돌에 대하여 정리하고 본 연구에서 사용한 보강흙벽돌의 제작과정 및 사용된 재료에 따른 일축압축강도를 시험을 통하여 고찰하였다. 그리고 보강흙벽돌의 사용 중의 강도에 영향을 미치는 벽돌의 흡수율에 대한 시험을 실시하였다. 또한 벽체를 완성한 후에 필요한 외관처리 기술을 정리하였고, 외관처리의 한 방법으로 사용되는 타일에 대하여 정리하였다. 마지막으로 실제 벽체를 시공하면서 11가지의 외관처리 방법을 적용하여 보강흙벽체의 시공성과 외관처리기술의 적용성에 관하여 고찰하였다.

제 2 절 벽돌

1. 벽돌의 기원

벽돌의 기원은 매우 오래 전에서부터 찾을 수 있다. 이집트 나일강 깊은 곳에서는 B.C. 1 만년쯤에 제조된 것으로 추정되는 벽돌파편이 발굴된 바 있고, 고대 바빌론에서도 벽돌로 궁전을 세웠으며 회람, 로마 등의 여러 건물에서도 벽돌이 사용된 흔적을 찾아볼 수 있다.

그러나, 동양에서의 벽돌사용은 이보다 훨씬 뒤의 일로 추측되며, 가장 먼저 사용한 나라는 중국이다. 중국에서는 B.C. 1천 5백년에 벽돌의 기원인 날벽돌을 썼으며, 당대에 그 전성기를 이루었다 한다.

우리 나라에서는 B.C. 3백년 고구려 초기에 압록강을 중심으로 한 북방만주일대와 서북쪽의 중국접경지역에서 전돌을 쓴 흔적이 발견되었으며, 삼국시대에 와서는 많은 건물이나 시설물들의 축조에 전돌이 사용되기 시작했다. 특히 통일신라 때에는 전성기

를 맞아 특수벽돌도 생산되었다.

그 후 조선시대에 이르러 화재에 대비한 불연벽돌을 만들어 사용했는데, 현재 남아있는 한옥들에서 이 벽돌의 사용을 볼 수 있다.

일본은 다른 나라들로부터 벽돌이 따로 전래된 바 없어 그 유래를 찾아볼 수 없고, 다만 1천 8백년 대에 서양건축양식의 도입으로 한때 벽돌이 많이 쓰이다 관동대지진의 피해를 입고 난 후 이를 거의 기피하고 있다.

2. 제조과정

벽돌의 제조공법은 동·서양 모두 비슷해 큰 차이는 없다. 우리 나라에서는 당초 기와 굽는 방식을 썼으나 구한말 서구식의 붉은 벽돌이 수입되기 시작하면서 벽돌제조방법도 서구식으로 바뀌었고, 현재는 대부분의 벽돌공장들이 기계화되어 있다.

가. 원료

벽돌을 만드는데 쓰이는 원료는 흔히 찰흙 또는 진흙이라 불리는 점토로서 각종 암석이 오랫동안 풍화작용을 거치면서 분해된 흙이다. 점토의 주성분은 알루미늄과 실리카(silica:규토)로 된 것이 벽돌제조에 쓰이며, 점토 채취는 대개 야산에서 인력 또는 굴착기에 의해 이루어진다.

나. 배합 및 석별

채취된 점토는 먼저 표토를 제거시킨 후 배합기로 보내져서 가는 모래성분인 보명토와 혼합된다. 이때 잘 섞여지지 않으면 후에 소성시 금이 가거나 틀어지는 현상이 생긴다.

배합기에서 섞여진 점토는 석별기로 보내어져, 필요한 흙 이외의 돌이나 오물을 골라내게 되고, 이것은 다시 미세한 입자로 분해되기 위해 분쇄기로 보내어진다.

다. 분쇄

원재료는 되도록 미세한 상태로 분해시켜야 한다. 분해하는 방법은 분쇄기를 사용하는 외에도 체거름, 풍화 등의 방법이 있다. 이때 치장벽돌이나 특수벽돌을 만들고자 할 때는 필요에 따라 여러 종류의 혼화재료를 섞어 넣는다.

라. 성형

이렇게 해서 원재료가 미세한 입자로 분해되면, 성형을 위해 토련기로 들어간다. 규모가 작은 공장에서는 아직도 손박죽·발밧기 등의 수공업적 방법을 쓰고 있으나, 대개의 경우 토련기에서 반죽을 하고, 진공실을 두어 수분함유율이 일정비율이 되도록 건조시킨다.

이렇게 건조된 벽돌은 잘 다듬어져서 절단기를 통해 실제 필요한 크기의 치수로 잘려 나오게 되는데, 이때 절단방법은 주로 철선자르기(wire cut)이며, 한번에 잘려 나오는 벽돌은 10~18 개 정도이다.

즉 진공토련기를 통해 성형되어 나오는 벽돌은 이미 모양과 크기를 갖춘 반제품이라 할 수 있다.

마. 건조

절단되어서 나온 벽돌은 컨베이어를 통해 건조대로 보내지기 위해 건조대차에 실리게 된다. 이때 컨베이어를 통과하면서 좋지 않은 것은 검사원에 의해 골라내어져 다른 컨베이어를 통해 다시 진공토련기로 보내어지고, 통과된 것만 건조장으로 실려간다. 건조의 방법은 소성가마를 만드므로 그 위에 건조실을 축조하여 건조하는 방법이 있고, 가열시킬 수 있는 바닥으로 설치한 건조실을 만드는 방법이 있다. 가열바닥식의 경우에는 일반적으로 건조가 늦고 불규칙한 결함이 있다.

이외에도 밀실을 만들어 건조하는 방법이 있으나 대개는 소성가마를 이용해서 건조시키는 방법이 많이 쓰인다.

이때 벽돌을 골고루 건조시키기 위해 건조대차에 실을 때 벽돌은 되도록 지그재그로

쌓는 것이 일반적이다. 이 건조대에서 건조되는 벽돌의 양은 건조실의 크기에 따라 다르나 보통 정도의 규모를 갖춘 벽돌공장이라면 하루 9만장 정도를 건조해 낼 수 있다.

바. 소성

건조가 끝나면 소성대로 가게 되는데, 건조는 대개소성대의 열을 이용하기 때문에 위치 상 가까운 곳에 있게 마련이다.

건조대에서 바로 소성대로 들어가게 되면, 고열에 벽돌이 파손될 위험이 있어, 먼저 예비건조장에서 약간의 온도로 덥혀지도록 한다. 소성대에 들어가서도 바로 소성에 들어가는 것이 아니고 일단 예열대를 거친 뒤 들어가게 된다.

소성온도는 대개 800~1,300 °C 정도로 소성과정에서 벽돌의 비중과 색조가 변하게 되고, 이를 냉각시키면 밀착되어 강도가 증대되는 것이다.

소성과정에서는 성형 및 건조과정에서 만들어진 형상을 그대로 유지하면서 구워서 굳히는 것으로 이 소성의 결과여하에 따라 제품이 강도나 질이 판가름난다. 이때 면이 고르지 못한 것은 면고르기 등으로 마무리를 한다.

소성할 때는 대개 소성가마라고 불리는 것을 쓰는데, 이것은 여러 칸으로 나누어져 있으며 한 칸에 4만장 이상의 벽돌을 넣을 수 있다. 이때 역시 벽돌을 지그재그로 쌓되 벽돌모양이 이지러지지 않도록 주의한다.

가마의 종류는 상염가마·하염가마·터널가마·오름가마·등근가마 등이 있으나 이중 벽돌제조에 주로 쓰이는 것은 오름가마와 등근가마이며, 그 외의 것들은 기와나 타일을 굽는데 쓰인다. 특히 독일의 호프만이 만들었다하여 호프만가마라고도 불리는 등근가마는 변색벽돌제조에 많이 쓰인다.

소성과정이 끝난 벽돌은 단단하게 하기 위해 냉각시켜진다. 이 냉각과정이 벽돌제조 과정에서는 마지막 과정이며, 비로소 사용 가능한 벽돌이 되어 나오는 것이다. 예열·소성·냉각은 대개 한 소성대에서 이루어진다.

사. 출하

대개 웬만한 규모의 공장이면 배합에서 소성에 이르는 모든 공정이 기계화되어 있는 것이 보통이지만 아직 우리 나라에서는 인력을 필요로 하는 부분이 많이 남아 있는 실정이다.

제조과정이 모두 끝나면 선별을 하여 불량제품은 다시 건조, 또는 소성대로 보내지고, 통과된 제품은 몇 개씩 묶어져 야적장으로 보내져 출하를 기다리거나 상차하게 된다.

3. 벽돌의 종류와 용도

벽돌은 대개 보통벽돌과 이형벽돌, 특수벽돌 및 치장벽돌로 크게 나눌 수 있다. 보통벽돌은 20 cm × 10 cm × 5~6 cm 크기의 직육면체의 벽돌이고, 이형벽돌은 크기는 보통벽돌과 비슷하나 모양이 다른 것이며, 특수벽돌은 재질이나 용도가 특이한 벽돌이다. 또 치장벽돌은 건물의 특수한 부분을 위한 치장에 주로 쓰이는 벽돌이다.

가. 보통벽돌

일반적으로 가장 많이 쓰이는 벽돌로서 대개는 내부벽에 사용되는 것을 말한다. 따라서 강도·내구성이나 외관은 그리 중요하지 않으며, 특히 칸막이에 사용되는 벽돌은 되도록 경량이면 좋고, 위층에 사용될 경우는 속이 빈 것이거나 구멍이 뚫린 것이 하중을 줄일 수 있어 좋다.

외벽에 사용할 때도 특히 무거운 하중을 지지하는 경우가 아니면 강도는 크게 중요하지 않으며, 대개의 경우 색깔이나 무늬는 중요하지 않다. 다만 수평방습층을 위한 벽돌은 주의 깊게 선별해야 하는데, 이것은 벽돌의 내구성에 영향을 미치며, 땅으로부터 염류를 흡수, 강도를 저하시키기 때문이다.

나. 이형벽돌

이형벽돌은 원형·8모·6모 등 형태가 매우 다양하여 특수한 곳에 많이 쓰인다.

예각 및 둔각으로 된 모서리에는 빗벽돌이 사용되고, 내민 창끝 또는 계단실 및

높은 연들의 구축에는 둥근 모양의 벽돌이 쓰인다. 대개 벽돌공사의 마무리에 쓰이는 벽돌도 모두 이형벽돌에 속하는 것들이다.

다. 특수벽돌

벽돌에 구멍이 뚫려 있거나, 속이 비어있는 벽돌을 말하며, 건조와 소성과정에서 능률적이어서 연료가 절감되고, 무게가 가볍고 취급하기가 쉬워 운반비가 절감된다.

이 특수벽돌 중 특히 내화벽돌은 굴뚝·난로·보일러 등의 안쌍기에 가장 적합한데, 그것은 고온에 저항할 수 있기 때문이다. 내화벽돌에는 내화점토벽돌·규토벽돌·가니스터벽돌·보오크사이트벽돌 등이 있다.

라. 치장벽돌

건물의 치장을 위해 쓰이는 벽돌로 여러 계통의 색이 있으며 러버·커터벽돌과 시유벽돌로 나눌 수 있다. 주로 아치부분이나 창옆기둥에 쓰이는 러버·커터벽돌은 부드러운 색조로 붉은색·흰색·우황색이 있고, 손제작으로 성형, 가마에서 구워낸다. 벽돌의 특징은 전체적으로 색조가 균일하며 결이 가늘고 부드럽다는 점이다.

내화점토나 이판암으로 만드는 시유벽돌은 불투수성으로서 화장실, 걸레받이에 쓰이는 오지벽돌과 유약을 발라 많은 색깔을 낼 수 있는 유약벽돌이 있다.

마. 기타

이외에도 벽돌은 석회벽돌, 유리벽돌, 시멘트벽돌 등이 있지만, 많이 쓰이는 벽돌이 아니므로 여기서는 생략한다.

제 3 절 보강흙벽체 제작기술 개발

인류는 오래 전부터 흙을 벽돌, 벽체 등 건축구조물의 재료로 사용해왔다. 따라서 흙

의 강도 및 벽체의 안정성 증가는 매우 중요한 관심사였다. 과거에는 흙의 보강을 위해 짚, 뿌리 등의 식물성 섬유를 사용해왔고, 근래에는 시멘트, 석회, 플라이애쉬 등의 분말형태의 재료와 토목섬유를 이용하였다. 그러나 흙의 보강과 관련된 연구들은 주로 옹벽이나 기초 지반 등 토류 구조물을 대상으로 이루어져왔고 건축 구조물의 재료로서의 흙의 보강에 대한 연구는 미흡한 편이다.

따라서 본 연구에서는 점토질 흙과 모래질 흙에 보강 재료로 널리 사용되고 있는 시멘트, 석회, 토목 섬유를 혼합한 보강 흙벽돌을 제작하여 무보강된 흙벽돌의 일축압축 강도와 상호 비교 분석함으로써 가장 큰 강도를 나타내는 보강재를 밝혀내어 보강 흙벽돌의 실제 건축 구조물로서의 이용 가능성을 도모하고자 하였다.

1. 보강흙벽돌 제작

가. 보강 재료

본 연구에서는 일반적으로 널리 보강재료로 사용되고 있는 시멘트, 석회, 토목 섬유를 사용하였다.

1) 시멘트, 생석회

시멘트와 생석회는 시중에서 구득이 용이한 재료를 사용하였다.

2) 토목 섬유

토목 섬유는 국내의 S사에서 제작된 폴리프로필렌 단섬유(staple fiber)로써 콘크리트 보강재료로 널리 사용되고 있다. 본 연구에는 그 중에서도 흙에 대해 보강효과가 가장 높은 길이19mm인 망사형태의 섬유를 선정하여 사용하였다.

나. 시험방법

1) 시료의 혼합

흙 시료 각각의 최적함수비를 기준으로 이미 계량된 시멘트, 생석회, 토목 섬유 등의

보강재와 흙, 물을 섬유혼합기(fiber mixer)에 넣고서 약 5~10분 가량 재료를 혼합하였다. 각 재료의 혼합비는 건조토의 중량에 대한 보강재의 중량비로써 각각 시멘트 9%, 석회 3%, 섬유 0.3%의 비를 사용하였다.

2) 시험기구

시험에 사용된 만능재료 시험기(Universal Testing Machine)은 최고 100tf의 하중을 재하할 수 있다.

3) 벽돌의 제작과 건조

그림 4-1은 흙벽돌 제작을 위한 몰드를 조립하고 있는 그림이다.



그림 4-1 벽돌제작용 몰드



그림 4-2 비닐하우스에서 건조중인 벽돌

벽돌의 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 15, 30, 10cm 이다. 보강재를 포함하여 총 중량이 9kg인 재료를 특수 제작한 벽돌 제작용 몰드에 넣고 만능재료 시험기를 이용하여 5tf의 하중을 재하 하였다. 각 조건의 실험에 대해서 2개의 벽돌을 제작하여 평균값을 취하였다. 제작된 벽돌은 그림 4-2에서와 같이 60℃의 건조로에서 1일 건조한 후 약 40℃정도의 실외 온실에서 5일간 더 건조하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 보강재에 따른 보강 흙벽돌의 강도 특성

흙과 보강재의 종류에 따른 벽돌의 일축압축강도는 그림 4-3과 같다. 그림에서 보강재의 종류에 따라 강도의 차이가 현저히 발생하였다. 특히, 시멘트와 섬유를 함께 혼합한 경우 강도가 최대로 나타났으며 시멘트만 혼합한 경우에도 상당히 큰 강도 증가를 가져왔고 섬유 또한 약간의 보강효과를 나타내었다. 하지만 생석회는 점토질 흙의 경우 급격한 강도의 감소를 가져와 무보강된 경우보다 강도가 크게 감소했고 다른 보강재와 함께 생석회를 섞은 경우에도 강도의 감소를 가져왔다. 그러나 모래질흙에서는 석회가

약간의 강도증진 효과를 내었다. 이와 같은 현상은 점토질 흙의 경우 투수계수가 적고 물과 석회간에 화학반응이 발생할 시간에 건조가 신속히 진행되어 화학반응이 충분히 일어날 수 없었기 때문인 것으로 사료된다.

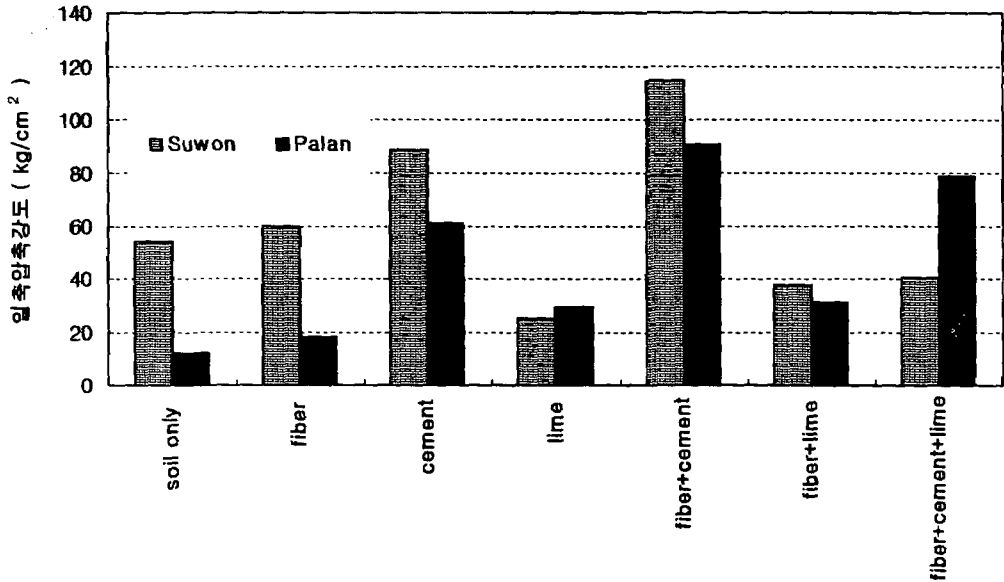


그림 4-3 보강제에 따른 흙벽돌의 일축압축강도

2) 보강제에 따른 강도-변형 특성

보강흙벽돌의 일축압축강도와 변형률의 관계를 각각의 보강재료에 대해 비교해 보면 그림 4-4, 4-5, 4-6, 4-7과 같다. 그림에서 섬유를 0.3% 혼합한 벽돌의 경우 그렇지 않은 경우에 비해 파괴시의 변형률이 크게 증가하였고 파괴 후 강도저하가 크게 감소되었다. 따라서 섬유는 흙벽돌의 인장균열 및 급작스런 파괴를 방지하는데 아주 효과적인 보강재로 판단된다.

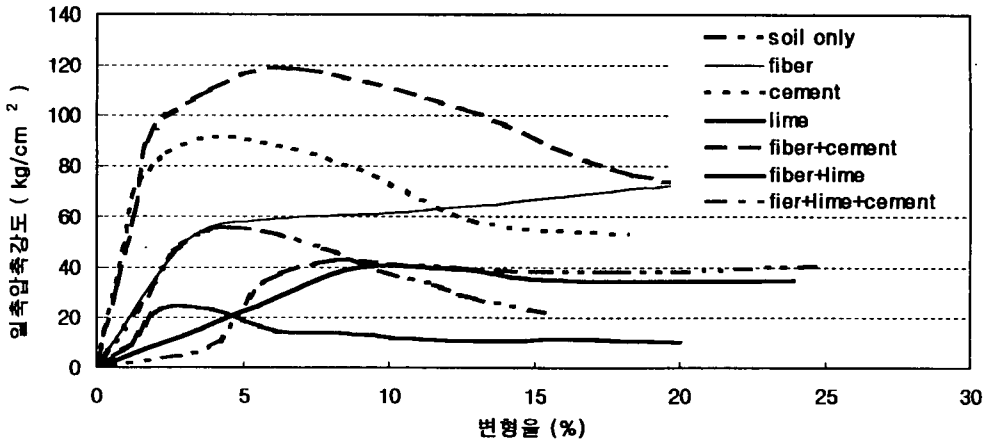


그림 4-4 점토질 흙의 응력-변형률 관계 (수원시료)

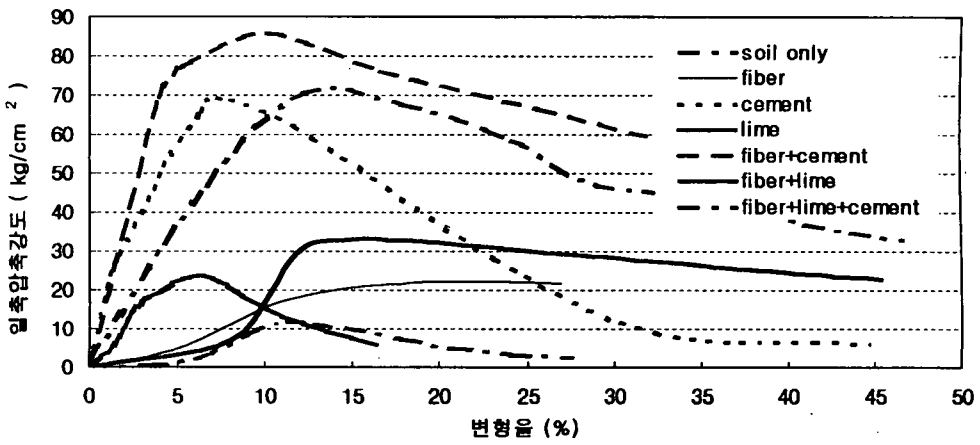


그림 4-5 모래질 흙의 응력-변형률 관계 (발안시료)

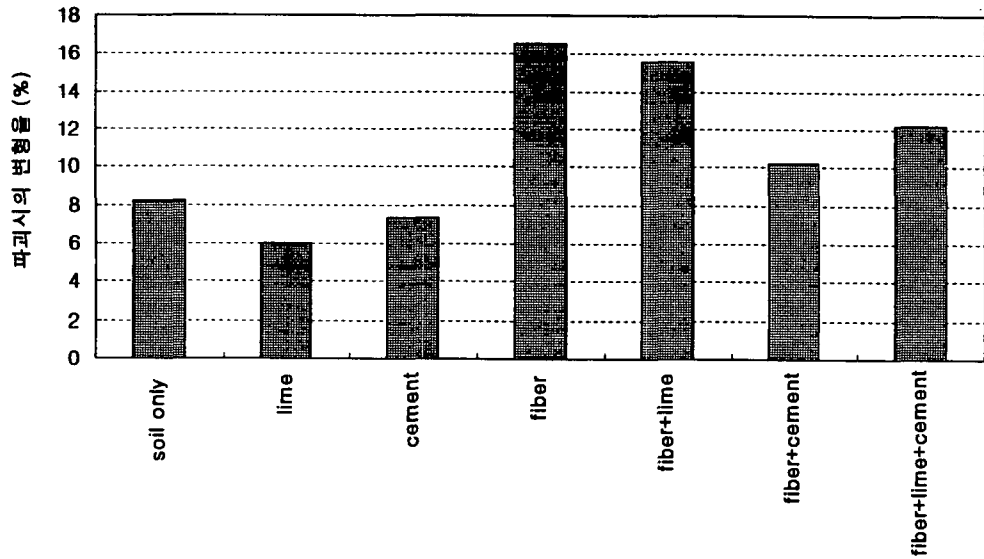


그림 4-6 점토질 흙의 파괴시의 변형률 (수원시료)

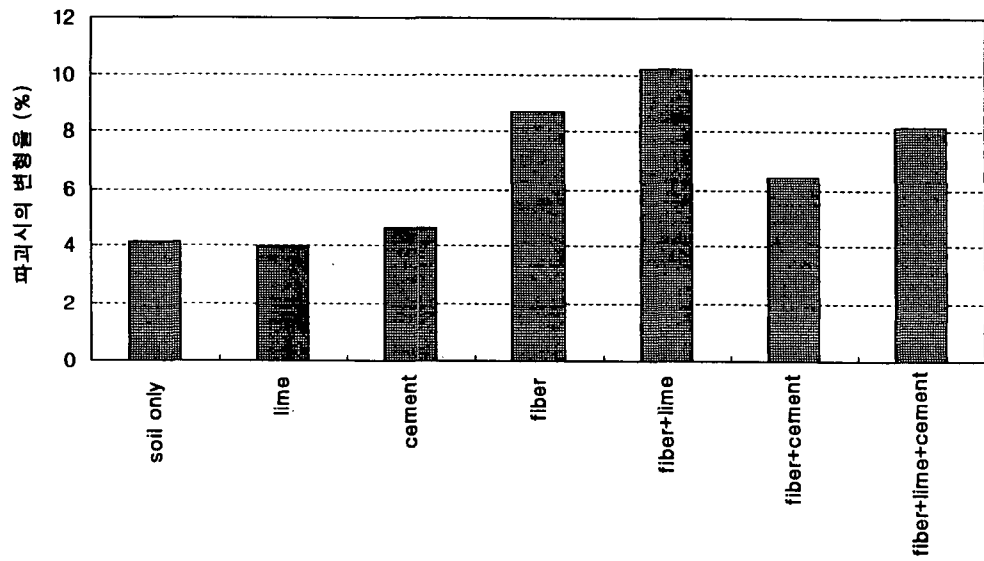


그림 4-7 모래질 흙의 파괴시의 변형률 (발안시료)

2. 보강흙벽돌의 흡수율시험

가. 실험방법

시험체를 15~25℃의 맑은 물 속에 담가 약 24시간이 경과한 후에 꺼내어 빨리 각 면을 닦고 즉시 닦았을 때의 무게를 흡수시의 무게로 한다. 다음에 이것을 온도 약 105℃를 유지하는 공기건조기 안에 넣어 약 24시간이 지난 후에 꺼내어 상온까지 냉각시킨 후, 달았을 때의 무게를 건조시의 무게로 한다.

흡수율은 식 4-1로 계산한다.

$$\text{흡수율(\%)} = \frac{\text{흡수시의 무게} - \text{건조시의 무게}}{\text{건조시의 무게}} \times 100 \quad (4-1)$$

나. 실험결과

본 실험에 사용한 벽돌은 시멘트와 섬유를 혼합한 것이다. 시멘트와 섬유의 비는 흙시료의 건조시의 중량비로 시멘트는 9%, 섬유는 0.3%를 사용하였고 함수비는 최적함수비를 사용하였다.

1) 흡수율

흡수율은 60분, 120분, 240분, 1440분, 2880분에 측정하였다. 그림 4-8에서 보는 바와 같이 초기 60분에서의 흡수율은 약 9%정도였으며 이후에는 흡수율이 조금씩 증가하여 기준이 되는 1440분 때의 흡수율은 12.2%의 값을 나타내었다.

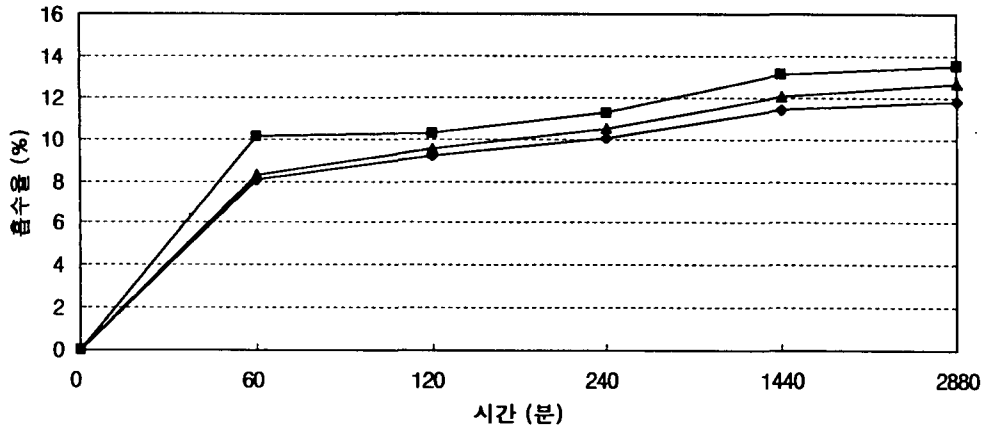


그림 4-8 시간에 따른 흡수율 변화

일반적으로 사용되는 상용 시멘트 벽돌의 흡수율과 비교한 값을 다음 그림 4-9에 나타내었다. 시멘트벽돌의 경우 물에 담근 후 약 2시간이 지난 후 흡수가 끝났음을 알 수 있다. 그리고 시멘트 벽돌의 흡수율은 2.04% 로 나타났다. 따라서 보강흙벽돌의 흡수율이 상당히 높다고 할 수 있다.

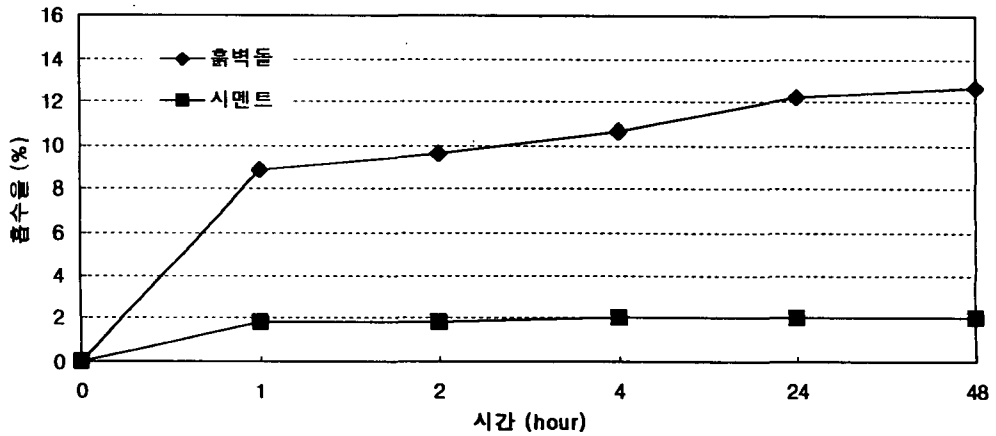


그림 4-9 흙벽돌과 시멘트벽돌의 흡수율 비교

2) 흡수시간에 따른 강도변화

흡수 시간에 따른 강도 변화를 살펴보았다. 각각의 벽들을 1일, 2일, 3일 동안 물 속에 담가둔 후 일축압축시험을 행하였다. 결과는 그림 4-10과 같이 흡수시간이 증가함에 따라 강도가 매우 많이 감소함을 알 수 있다. 건조시에 보강흙벽들은 약 1100 t/m^2 의 값을 나타내었지만 1일 후에는 급격히 감소하여 약 620 t/m^2 의 강도를 나타내었고 이후에는 강도의 감소가 줄어들었지만 3일 후에는 약 400 t/m^2 까지 떨어졌다.

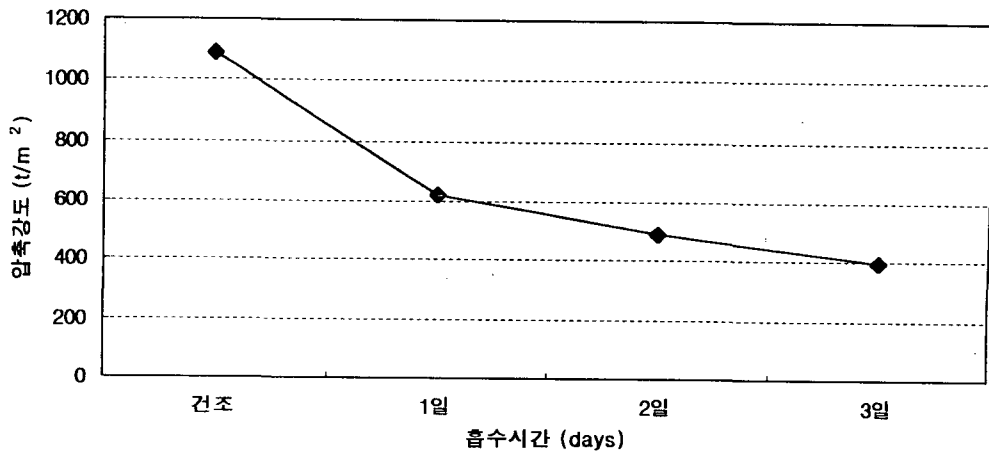


그림 4-10 흡수시간에 따른 강도변화 추이

제 4 절 외관처리 기술에 대한 연구

1. 보강토의 곁칠(coating)방법 및 조제법

흙벽의 곁칠에 관한 4가지 프로그램(program)으로는 1932년에 시작된 Agricultural experiment station, South-Dakota state college(USA), 1952년에 시작된 CSIRO, Sidney (호주), 1954년의 National Laboratory of buildings and civil engineering, Dakota(세네갈) 그리고 1955년에 시작된 National Laboratory of the civil engineering, Brazzaville (콩고)가 있다.

각 종류별 특징은 다음과 같다.

- 흙 겔칠 : 벽에 사용하는 흙에 모래를 조금 더 섞은 다음 자연 제품(natural product)으로 안정화시킨다. 식물성 섬유질이 가장 적합하다.
- 시멘트로 섞은 흙겔칠 : 흙 : 시멘트 = 10 : 1의 비율로 취한다. 이 겔칠은 시멘트로 안정된 벽에 쓰인다.
- 석회를 섞은 흙겔칠 : 흙 : 석회 = 5 : 1로 섞는다. 이 겔칠은 석회나 시멘트로 안정된 벽에 쓰인다. 여기에 시멘트를 1/4 정도 첨가할 수 있다.
- 시멘트와 석회를 섞은 모래 겔칠("절충식"겔칠) : 모래 m^3 당 200에서 500kg의 결합제를 섞은 것으로, 보통 벽돌공사의 겔칠로 사용한다. 시멘트/석회의 비율은 1/3~1 사이에서 변화한다. 이 겔칠은 너무 강하기 때문에 기계적인 연결시스템에 사용하는 것이 좋다.
- 화산재를 섞은 겔칠 : 시멘트, 석회 또는 화산재로 안정된 벽 위에 사용한다.
- 석고 겔칠 : 석고는 흙벽과 잘 어울린다. 섬유질(지푸라기 등등)로 강화된 바탕에 칠하는 겔칠을 사용하는 것이 적당하다. 이것은 건물의 외벽에 가장 흔하게 사용되는 겔칠이다.
- 섬유질로 강화된 겔칠 : 겔칠은 자연섬유 혹은 인공섬유(natural fibres 또는 artificial fibres(유리섬유, 폴리프로필렌)로 강화할 수 있다. 이것들은 겔칠의 충격과 파손에 대한 강도를 높이고, 작은 균열들을 감소시킨다. 보통 흙 m^3 당 20~30kg의 섬유질을 첨가한다.
- 경량 코팅 : 경량 코팅은 공업적으로 제조된 겔칠이다. 이것은 시멘트, 석회, 가벼운 골재, 그리고 보조제(방수제와 공기유도제)의 혼합이다. 매우 부드럽고 방습의 기능이 뛰어나지만 벽에 고정시키는 시스템을 필요로 한다.
- 공 : 직경 5~7cm의 흙 공은 벽을 향해 힘껏 던져져, 벽 위에 부딪쳐 으깨진다. 따라서 벽은 역동적으로 부딪힌 10cm의 반원으로 뒤덮인다. 수축은 공들 사이에서만, 즉 물로부터 보호된 부분에서만 발생한다. 울퉁불퉁한 표면처리는 빗물이 빨리 흘러내리는 것을 방지하고, 빗물에 의해 겔칠이 움푹 파이는 것을 방지한다.

2. 벽 준비 방법

벽 준비 과정은 다음과 같다.

- 먼지 털기 : 단단한 또는 금속제의 솔을 사용한다. 벽의 윗 부분에서부터, 그리고 먼지를 털 때 바람이 불어오는 쪽부터 시작한다. 이것은 다른 준비과정들에서, 한 과정이 끝날 때마다 시행해야 한다.
- 굽기 : 쇠스랑으로 재료에 손상 입히지 않도록 하면서, 방향을 엇갈리게 해서 벽의 표면을 굽는다.
- 끌로 파기 : 석재(mason)의 끌 또는 큰 가위가 달린 톱니 모양의 공기(pneumatic) 끌로 벽을 판다. 이 작업은 오랜 시간이 걸리지만 표면을 단단하게 한다.
- 바탕층에 구멍파기 : 먼지를 털어 내고, 굽은 표면 위에, 흐르는 상태로 준비하여 초벌칠을 한다. 이것이 거의 말랐을 때, 섬유지로 강화하여 보다 퇴직한 상태의 두 번째 층을 1.5cm 두께로 바른다. 두 번째 층위에 적당한 연장으로 7cm 간격으로 직경 2cm의 구멍을 뚫는다. 이렇게 해서, 마무리 층은 더 강하게 안정될 수 있다.
- 못 박기 : 아무 것도 바르지 않은 벽에 직경 4cm의 구멍에 못을 박는다. 또는 7mm의 초벌칠 위에, 12cm마다 머리가 큰 7cm의 도금못을 박는다. 이 못들은 길게 균열이 생기는 것을 피하기 위해 무질서하게 박아 넣는다.
- 철사망 : 20cm마다 7~10cm의 못을 벽의 표면에서 5~8mm 나오게 박는다. 그리고 나서 0.5에서 0.7mm의 철사로 못들을 연결하여 그물 망처럼 만든다.
- 철망 : 5mm 크기의 육각형으로 된 철망은 7cm의 고리로 벽에 고정된다. 또한 천장에 붙이는 철망(두꺼운 종이를 제거하고) 또는 펼친 금속(unfolded metal)을 사용할 수 있다.
- 부순 도자기(pottery) : 쌓아 다지는 동안, 흙벽 속에 거꾸집의 길이에 15cm마다 도자기 부스러기를 넣는다. 건조된 후에 이 도자기 부스러기 주위의 흙을 긁어낸다. 이곳에는 걸칠이 칠해진다.
- 이은 자리 긁어내기 : 벽들로 된 벽의 연결부분을 2cm 깊이로 조심스럽게 긁어낸다.

- 흠이 파인 벽돌 : 흠이 파인 벽돌은 벽의 외부에 흠이 있도록 만들어진 것으로, 걸칠이 잘 고정되도록 한다.
- 나무부품 : 나무부품들(횡목, chaining, etc)은 걸칠하기 전에 크라프트지로 포장한다. 그 다음 20cm가 넘는 철망을 놓고 벽에 못으로 박는다.

표 4-1 걸칠의 고정 시스템

과정	시공 (construction)	관측 (observation)	과정의 효율성
굽기	흠	체계적으로 실행한다.	보잘 것 없다
끝로 파기	흠	지루하다	보잘 것 없다
구멍이 있는 바탕층	흠	안정되지 않은 벽위에 안정된 걸칠을 할 때 특별히 사용한다.	아주 좋다
못박기	흠	지루하다	보통
철사망	모든 것	비싸다: 특히 약한 벽에 사용한다.	아주 좋다
철망	모든 것	매우 비싸다: 연약한 버팀목에 특히 좋다.	아주 좋다
도자기 부스러기	흠	부스러기는 잘 박아 넣어야 한다.	좋다
이른자리 굽어내기	다져만든 아도베 벽돌	작은 벽돌로 하는 것이 보다 효과적이다.	아주 좋다
흠이 파인 벽돌	다져만든 벽돌	특별한 벽돌	좋다

3. 보강토 걸칠방법

가. 주의사항

- 1) 너무 추울 때(5 °C이하)나 너무 더울 때(30 °C이상)는 걸칠을 발라서는 안된다.
- 2) 햇빛과 너무 강한 바람은 피한다.
- 3) 초벌칠을 하기 전에 벽을 흠뻑 적신다.
- 4) 10~20cm의 널빤지를 만드는 방법으로 수직 혹은 수평연결을 한다.
- 5) 한 면을 하루에 끝낸다.

- 6) 문과 장문 끼우기를 조심스럽게 한다.
- 7) 토대와 horizontal pants에는 걸칠을 하지 않는다.
- 8) 걸칠의 너무 빠른 건조는 피한다.

나. 실행

전통적으로 걸칠은 3층으로 되며, 각 층마다 그 역할이 있다.

1) 교정 혹은 초벌층 : 잘 준비된 벽 위에 유동성이 많은 모르타르를 흙손으로 힘껏 던진다. 이층은 벽과 걸칠 사이의 연결을 견고하게 한다. 두께는 2~4mm사이에서 변화한다. 칠의 평평함에 관해서는 신경 쓰지 않아도 된다. 단순히 벽이 <칠해지기>만 하면 된다.

2) 걸칠의 본부분 : 초벌칠을 끝내고, 2일에서 8일 후에 8에서 20mm두께로 한층 또는 두 층을 칠한다. 이 층은 내구력이 있고 방수이다. 이 층을 자를 사용하여 두께가 일정하게 칠을 한다. 굳히는 시간 후에, 밀도를 보장하고 가는 균열을 메우기 위해 걸칠의 표면을 때린다. 이 층은 마지막 층과의 연결을 보장하기 위해, 흙손으로 줄무늬를 만들거나 빗어 준다.

3) 마무리층 : 이것은 3에서 6mm의 장식용 층이다. 이 층에는 원하는 효과에 따라 다양한 처리를 할 수 있다.

- 곱이 오돌토돌하게 칠한 상태 그대로 내버려둔다.(티를 지방의 걸칠)
- 굳어지기 전에 작업한다 : 빗자루, 흙반이 솔로 걸칠에 무늬를 낸다. (리베의 걸칠) 다른 부분도 매끄럽게 하고, 어떤 부분은 긁어서 장식효과를 낼 수도 있다.
- 굳어진 후에 작업한다 : 톱니바퀴 모양의 금속 롤러, 줄칼로 깎아내어 장식효과를 낸다.

다. 분사에 의한 특별기술

손으로 작업하는 매우 전문화된 인부의 평균 작업능률은 하루에 걸칠을 10~20m³정도 한다. 이 수치는 다양한 기계의 사용에 의해 개선될 수 있다.

- 1) 티를 지방의 방법 : 이것은 손으로 작동하는 브러시가 돌아가고, 모르타르를 분출하는 금속상자이다.
- 2) 갈때기가 달린 진공총 : 손으로 잡은 총의 갈때기 속으로 모르타르는 부어지고, 총은 걸칠을 분출한다. 총은 신공압축기와 연결되어 있다.
- 3) 반죽 혼합기와 걸칠 분사기 : 이 기계는 모르타르를 반죽하여, 유연성 있는 관을 통해 분출되는 입구까지 보낸다. 이 기계는 30cm높이에 70cm 떨어진 곳까지 펌프질할 수 있다. 기계의 효율은 걸칠의 본부분을 시간당 80에서 120m³정도 할 수 있다. 이같이 해서 3명에서 4명의 인부로 된 한 팀이 하루 150m³의 걸칠을 할 수 있다.

4. 자연제품

자연제품의 종류는 다음과 같다.

- 용설란 : 이것은 멕시코의 식물이다. 이것의 즙은 알콜음료나 안정제를 만들 수 있다.
- 과수버터 : 이것은 골람(golam)버터라고도 불리는 식물성 기름의 일종이다. 이것은 열대 아프리카 식물인 과수(적철과)의 열매에 함유된 식용씨에서 추출된다. 다 자란 어른 나무는 대략 1년에 3.5kg의 씨를 제공한다. 사람들은 끓는 물속에 가루로 만든 씨를 던져 넣어 표면에 뜨는 기름을 모은다. 이것은 37 °C 근처에서 굳어져서 과수버터가 된다. 흡을 안정시키기 위해 식용의 제품을 사용하는 것이 어찌면 남비일 수도 있다. 그러나 찌꺼기를 사용할 수 있다. 이것은 대개아라비아고무와 함께 사용한다.
- 쇄똥 : 이것은 걸칠의 응집력을 강화하기 위해 결합제로 사용한다.
- Optuntia 선인장 : 이것은 바르바리아 지역의 무화과 나무와 비슷한 기름진 식물이다. 이것의 즙은 독성이 있다.

- 밀가루 : 220리터의 물속에 15리터의 밀가루를 넣고 반죽을 얻을 때까지 끓인다. 그다음 흙에 섞는다.
- 버들잎의 유액 : 이것은 흰색의 유액을 함유한 초질(草質)의 식물(대극과 大戟科)이다. 이 유액은 강력한 방부제이고, 눈에 닿으면 위험하다; 2,3일 내에 장님으로 만들 수 있다. 안정에 대한 효과는 논의의 여지가 있다.
- 비레(Neve) : 6월 달에 열매속에 있는 가루를 달여서 얻어진 짙은 붉은 색의 액체를 사용한다.
- Peulh 비누 : 이것은 용해되고 반죽처럼 치대어진 카세인이다. 이것은 나무의 풀(glue)과 비슷하다. 흙에 첨가하기 전에, 벽돌가루와 조심스럽게 섞는 것이 적당하다.
- 기타 : 섬유질과 섞은 짐승의 오줌을 사용하기도 했다.

5. 페인트(Paint)

가. 백색도료(whitewash)

복잡하지도, 비싸지도 않은 백색도료는 확실히 흙벽에 가장 적합한 페인트이다. 이것은 햇빛을 잘 반사하고, 좋은 방부제이다. 이것은 알칼리와 역청(bitumen)의 삼출(渗出, exudation)에 강하다. 그러나 영구적이지 않기 때문에, 악천후에 대한 저항력을 보강하기 위해 보조제가 필요하다. 이것은 분무기로, 또는 솔로 바르고, 매우 쉽게 달라 붙는다. 보통 1년에 두 번 석회를 발라야 한다 : 가을 전과 겨울 후 또는 우기 전과 후.

나. 바나나 나무의 즙

바나나 나무의 즙을 얻기 위해, 작은 조각으로 자른 바나나 나무의 잎과 줄기를 계속 으면서 물 속에서 익힌다. 액체가 걸쭉해졌을 때, 액체를 거른다. 이것을 그대로 사용할 수도 있고, 홍토(紅土)와 혼합하여 사용할 수도 있다. 이 페인트는 1년에서 3년을 견딜 수 있고, 억수로 쏟아지는 소나기에도 견딜 수 있다.

다. 산업 페인트

다음과 같은 종류가 있다.

- 물과 섞어 사용하는 페인트 : 부서지기 쉬운 벽을 제외하고, 모든 벽에 사용 가능하다. 다른 페인트를 바르기 전에 완전히 제거해야 한다.
- 실리콘 페인트 : 늘 좋은 결과를 제공하지는 않는다.
- 라텍스 페인트 : 시멘트로 안정된 흙 위에 바를 때 매우 효과적이다.
- 시멘트 페인트 : 시멘트로 안정된 벽에 바른다. 이것은 8년에서 10년 동안 견딜 수 있다.
- 기름 페인트 : 벽의 알칼리성을 중화시키고, 역청(bitumen)의 삼출(exudation)을 없애기 위해 기초층(primary coat)이 필요하다.
- 역청(bitumen)을 주성분으로 하는 페인트 : 역청으로 안정된 벽위에 역청을 주성분으로 하는 페인트를 바를 것을 권한다.
- 합성수지(resins)를 주성분으로 하는 페인트 : 종종 효과적이다.
- Cut-backs : 회색 또는 검정색으로 변하는 벽 위에 직접 바를 수 있다.

라. 화학제품들

벽이나 걸칠에 자주 사용되는 찰흙의 몇몇 화학적 안정제는 페인트처럼 사용될 수 있다. 반죽하는 동안 흙과 혼합되는 대신 벽의 표면에 바른다. 이 제품은 재료 속으로 스며들어가지만 표면을 안정시킨다.

- 나트륨 규산염(sodium silicate) : 나트륨 규산염(보오메 비중계 40) 1에 물 3의 용액을 솔로 바른다. 계속해서 두 층을 발라야 한다.
- 파라핀 : 파라핀은 휘발유에 녹인다. 이것을 21 °C 이상의 온도에서 바른다.
- Hydrophobants : 이것은 실리콘을 주성분으로 하는 제품이다.

마. 자연제품들

겉칠에 사용될 수 있는 천연 안정제들은 페인트로 사용될 수 있다. 이미 인용된 제품들의 리스트에 아교(glue)와 세탁비누를 첨가할 수 있다. 세탁비누는 물 15리터에 스테아린산 비누를 녹여 만든다. 이것에 시멘트 2리터와 모래 2리터를 첨가하면 페인트가 된다.

6. 미장재료

가. 개요

미장재료(plastering materials)는 건축물의 내외벽, 바닥, 천장 등의 미화, 보호, 보온, 방습, 방음, 내화, 내마멸 등을 목적으로 적당한 두께로 발라 마무리하는 재료이다. 도장재료와는 여러 가지로 구별할 수 있겠으나 일반적으로 도장재료는 두께가 얇은 재료임에 비하여 미장재료는 어느 정도의 두께를 갖는 재료라 할 수 있다. 미장바름 재료란 미장재료(원료)를 현장에서 배합하여 만든 것을 말하며, 그 종류는 여러 가지가 있다.

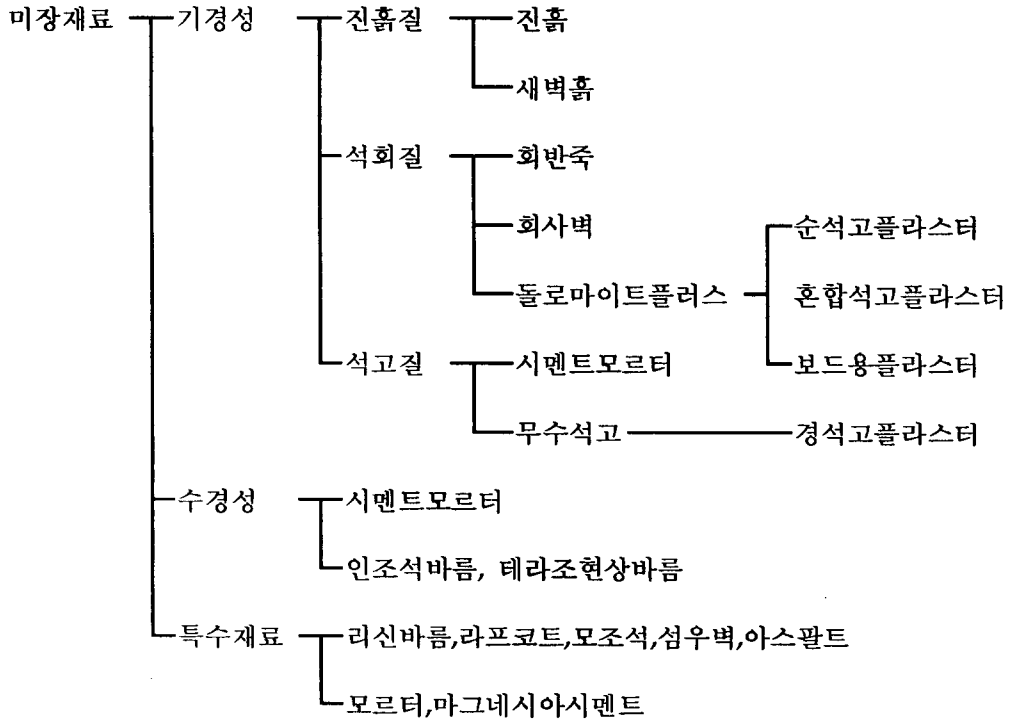


그림 4-11 미장재료의 분류

나. 미장재료의 분류

미장재료는 몇가지 원료를 배합하여 사용하는데, 각 성분의 역할에 따라 고결재, 결합재, 골재로 분류할 수 있다. 고결재는 그 자신이 물리적 또는 화학적으로 고화하여 미장바름의 주체가 되는 재료로 소석회 및 돌로마이트석고, 마그네시아시멘트, 점토 등이 있다. 결합재는 고결재의 결점인 수축균열과 점성 및 보수성의 부족을 보완하고 또는 응결경화시간의 조절을 목적으로 쓰이는 재료로 여물, 풀, 수염등이 있다. 골재는 주로 증량 또는 치장의 목적으로 혼합되며 그 자신은 직접 고화에 관계하지 않는 재료로 모래 등이 있다. 위와 같은 재료 이외에 미장바름에 쓰이는 여러 가지 착색제가 있고 방수, 내화, 단열, 차음, 방재, 음향 등의 처리를 위한 재료가 있다. 또한 미장바름에 있

어서 응결시간을 단축시켜 신속하게 하거나 반대로 연장시키기 위한 첨가재료로 촉진제, 급결제 등이 있다. 이러한 재료들은 미장바름의 목적, 바탕의 재료 및 형상 등에 따라 선택 사용되어야 한다. 미장재료를 고결과정별로 구분하면 그림 4-11과 같다.

다. 각종 미장재료

1) 시멘트 모르터(cement mortar)

시멘트 모르터는 시멘트를 고결재로 하고 모래를 골재로 하여 이를 혼합해서 몰반죽하여 쓰는 미장재료로서 다른 미장재료보다 내구성 및 강도가 크고 또한 가장 많이 사용하고 있는 재료이다. 보통 모르터바름(cement mortar coating, cement plastering)이란 시멘트 모르터바름을 말한다. 시멘트모르터에 사용하는 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트(portland cement), 고로시멘트, 실리카시멘트(silica cement) 및 백색 포틀랜드시멘트(white portland cement)가 대부분 쓰이고, 모래는 깨끗하고 유기물질이나 기타 유해물이 함유되지 않는 양질의 것을 체로 쳐서 사용한다. 또한 모래는 초벌, 재벌용은 굵은 모래(5mm체에 100%통과, 0.15mm체에 10%이하 통과)를 쓰고 정벌용은 가는 모래(2.5mm체에 100%통과, 0.15mm체에 10%통과)를 쓴다.

시멘트 모르터는 시멘트, 모래 이외에 각종 혼화제를 사용하기도 하는데 여기에 사용하는 혼화제로서는 돌가루, 플라이애시, 돌로마이트플라스터, 소석회 등의 무기물계의 혼화제와 각종 합성수지의 합성수지계 혼화제가 있다.

2) 회반죽

(가) 석회(lime)

보통 석회라 하면 소석회를 말하는 것으로 화학적으로는 수산화칼슘[Ca(OH)₂]이다. 천연산 탄산석회석인 석회암, 굴, 조개껍질 등을 하소하여 생석회(CaO)를 만들고, 여기에 물을 가하면 발열하며 팽창 붕괴되어 수산화석회, 즉 소석회가 된다. 이렇게 만든 소석회를 분쇄기로 가늘게 분쇄한 것이 미장용소석회이다. 생석회에 가하는 물이 소량이면 분말소석회가 되고 다량일 때에는 가소성의 석회죽(석회크림)이 되는데 이 작용을 소화라 하고, 전자를 건식소화법, 후자를 습식소화법이라고 한다.

건식소화법은 미장용으로는 적당하지 못한 것이 일반적이고, 습식소화법은 소화과정에서 발생하는 열이 물에 흡수되어 저온 소화가 되므로 가소성이 풍부한 소석회가 되고 충분히 소화가 되므로 일반적으로 습식소화법이 좋다. 조개껍질을 원료로 하는 석회를 각기 굴회, 조개회라 하는데, 이는 질과 순도가 높은 고급석회로서 일반석회와 혼용하면 균열을 방지하는데 효과가 있다.

(나) 회반죽(lime plaster)

소석회에 모래, 해초풀, 여물 등을 혼합하여 바르는 미장재료로서 목조바탕, 콘크리트 블록 및 벽돌바탕 등에 바른다. 회반죽바름은 일반적으로 연약하고 비내수성이며 경화 건조에 의한 수축률은 미장바름중 가장 크나 여물로서 균열을 분산, 경감시킨다. 모래는 바름두께가 클수록 많이 넣되 정벌용에는 넣지 않는다. 회반죽은 일본에서 주로 쓰인 바름벽재료이고 우리 나라에도 오래 전부터 전래되어 쓰여 왔다. 회반죽은 다른 미장재료에 비해 건조에 시일이 걸리고 다소 연질이기는 하나 외관이 온유하고 시공을 잘하면 균열이 발생할 우려가 없는 비교적 값이 싼 재료이다.

(다) 회사벽

석회죽에 모래를 넣어 반죽한 것을 회사벽이라 하고, 필요에 따라 시멘트 또는 여물을 혼입한다. 또 석회죽과 모래, 황토, 회백토(풍화토)를 섞어 쓸 때가 있는데 이것을 회사물 또는 회삼물이라고도 한다. 회사벽은 재래부터 흙벽 위의 정벌 바름에 쓰이고 회사물은 내부 벽돌 또는 회반죽 바름의 고름질, 재벌바름 등에 쓰인다.

3) 돌로마이트플라스터

돌로마이트(마그네시아석회)에 모래, 여물을 섞어 반죽한 바름벽 재료로서 필요에 따라 시멘트를 혼입할 때도 있으며 초벌용과 정벌용의 등급이 있다. 돌로마이트플라스터(dolomite plaster)는 소석회보다 점성이 커서 풀을 넣을 필요가 없기 때문에 변색, 냄새, 곰팡이가 없으며 보수성이 크고 응결시간이 길어 바르기도 좋다. 또한 회반죽에 비하여 초기강도 및 최종강도가 크고 착색이 쉽다. 그러나 건조수축이 커서 균열이 생기기 쉽고 수증기나 물에 약한 것이 결점이다. 돌로마이트플라스터의 규격은 한국공업규격(KS F 3508)에 규정되어 있다.

4) 석고플라스터

(가) 석고(gypsum)

석고는 천연석고와 화학석고의 2종이 있다. 천연석고는 석고원석을 180~190℃로 소성한 후 미세분하여 소석고(burnt gypsum)를 만든다. 이것을 다시 약 500℃까지 소성하면 무수석고(anhydrous gypsum, CaSO₄)가 된다. 무수석고는 경화력이 약하므로 여기에 명반, 붕사, 규사, 점토를 소량 가하거나 불순석고를 가하여 다시 고온(500~1000℃)으로 소성하면 경화성이 부활된다. 이것을 경석고라고 한다. 화학석고는 인산 비료공장 등의 화학공장에서 부산물로 생산되는데 일반적으로 불순물의 제거가 곤란하며 순백색의 제품을 얻기 곤란하다. 따라서 정별용의 플라스터로서는 부적당하다. 석고는 위생도기 테라코타 등의 원형제작에 간접적으로 사용되고 대량으로는 플라스터의 원료가 되며 서구에서는 각종 석고타일의 제조에도 쓰인다.

석고를 사용하여 만든 제품으로서 석고플라스터, 석고판, 석고타일, 석고블록, 석고별돌, 석고시멘트 등이 있다. 회반죽에 석고를 약간 혼합하면 수축균열을 방지할 수 있는 효과가 있고 경화속도, 강도 등이 증대되기도 한다.

(나) 석고플라스터(gypsum plaster)

석고를 주원료로 하고 혼화제(돌로마이트플라스터, 점토 등), 접착제(풀 등), 응결시간 조절제(아교질제 등) 등을 혼합한 플라스터로서 벽, 천장 등의 미장재료이다. 석고플라스터에는 소석고플라스터와 경석고플라스터의 2종이 있다. 소석고플라스터에는 혼합석고플라스터, 순석고플라스터(크림용 석고플라스터), 보드용 석고플라스터가 있는데 실제 사용되고 있는 것은 대부분이 혼합석고플라스터이고 보드용 석고플라스터도 사용이 늘고 있다. 석고플라스터의 규격은 한국공업규격(KSF 3507)에 규정되어 있다.

석고플라스터에는 혼합석고플라스터, 보드용 석고플라스터, 순석고플라스터(크림용 석고플라스터), 경석고플라스터(킨스시멘트) 등이 있다.

5) 인조석 바름, 테라조 현장바름

(가) 인조석 바름(artificial stone finish)

인조석 바름은 모르타로 바름 바탕을 한 위에 종석(화강석, 석회석 등의 부순 돌)과 보통 포틀랜드시멘트 또는 백색 포틀랜드시멘트와 안료, 돌가루 등을 배합 반죽하여 바

르고 씻어내기, 갈기, 잔다듬 등으로 마무리한 것이다.

인조석 바름에서 씻어내는 면, 갈아내는 면, 다음은 면 등은 바른 후의 처리에 따라 다르며, 인조석 바름 전에 모르터를 바르고 그 위에 인조석 바름으로 마감 처리하는 것이 공통된 시공방법이다. 인조석 바름으로 한 마감면은 다른 미장재료로 마감한 면보다 수밀하고 내구성이 있으며 외관이 좋을 뿐만 아니라 시공방법도 쉬운 편이어서 바닥, 벽, 계단 등에 널리 쓰인다. 인조석 바름이 굳어버리기 전에 솔 또는 분무기로 표면에 시멘트풀(cement paste)을 씻어내어 표면에 종석만 나타나게 한 것을 인조석 씻어내기라 하고 인조석에 정벌바름 후에 슷돌이나 그라인더(grinder)로 매끈하게 마감한 것을 인조석 갈기(artificial grinding stone)라고 한다.

고급으로 할 때에는 수산가루를 뿌려 닦아내고 왁스(wax)를 바르며 광내기 마무리를 한다. 인조석 바름이 굳은 후에 적당한 석공용 다듬망치로 마감한 것을 인조석 잔다듬이라 한다. 일반적으로 현장바름은 보통 잔다듬으로 하고 돌다듬기와 같이 하여 자연석과 근사하게 마무리하는 시멘트제품을 모조석 또는 캐스트스톤(cast stone)이라 한다.

(나) 테라조 현장바름(terrazzo finish)

테라조는 알이 크고 좋은 종석을 쓰고, 갈기횟수를 늘려 잘 갈아낸 인조석의 하나이다. 테라조에 사용하는 시멘트는 백시멘트만을 쓰고 안료를 충분히 사용하여 종석은 대리석, 화강석 등으로 한다. 마감은 갈기로서 최후에 수산으로 청소하고 왁스로 광내기를 한다.

테라조에는 현장바름과 공장에서 제작한 테라조판이 있다. 테라조 현장바름은 주로 바닥에 쓰이고 벽에는 공장제품 테라조판을 붙인다. 테라조 바름후에 습기유지에 유의하여 급격한 건조를 피하고, 충분히 경화시킨 다음(여름은 3일 이상, 기타 7일 이상 방치) 갈기 시작한다.

테라조 현장갈기는 현장바름이 굳은 후에 표면을 돌알이 균등하게 나타나도록 슷돌로 갈고 물씻기 청소 후 테라조와 같은 색의 시멘트풀을 문질러 바르고 잔구멍 등을 메운 다음 광내기 마무리를 한다.

(다) 종석

인조석 또는 테라조에 쓰이는 잘게 부순돌(쇄석)을 종석이라 하고 화강석, 백회석, 대리석, 기타 자연석을 부수어 잔알로 만든 것이다. 인조석 바름용 종석은 주로 백색 석

회석의 부순들을 쓰고 알의 크기는 5.0mm체에 100% 통과하고 2.5mm체에 약 50%내외가 통과, 1.7mm체에 통과분이 없는 것으로 한다. 테라조용 종석은 주로 대리석을 부순 것으로 15mm체에 100% 통과하고 5mm체에 50% 통과, 2.5mm체에 통과분이 없는 것으로 한다.

(라) 안료(pigment)

인조석 바름 또는 테라조 현장바름에 사용하는 안료는 무수용성이고 내식성이 있으며, 특히 내알칼리성이고 태양광선 또는 100℃ 이하에서는 변질되지 않는 것이어야 한다. 안료는 퇴색하지 않는 안정하고 미소분말인 것일수록 고급이다.

안료의 종류는 노랑에는 황토, 산화황토, 바름, 크롬황, 빨강에는 산화철, 산화망간, 갈색에는 앰버(amber), 파랑에는 코발트청, 군청, 초록에는 크롬초록, 코발트초록, 검정에는 망간검정, 카본검정이 있다.

(마) 돌가루(석분, stone dust)

돌가루는 시멘트와 종석만으로는 밀실하게 다지기가 곤란하며, 부배합의 시멘트가 건조 수축할 때 생기는 균열을 방지하기 위해 혼입하는 것이다. 대개는 백색 미세분 돌가루로 하고 시멘트와 동량이하로 혼입한다.

6) 흙바름

흙바름은 진흙, 사벽토, 모래, 짚여물 등을 물반죽하여 외바탕, 산자바탕 등에 바르는 제래식 공법이다. 흙바름은 공정상 대체로 초벌바름(초벽)과 재벌바름(재벽)에서 끝나고 정벌바름은 회반죽바름, 회사벽바름 또는 종이바름(도배)을 한다.

진흙은 잔돌알, 불순물이 혼입되지 않은 부드럽고 차진 것으로 15mm체를 통과하는 정도의 것을 쓴다. 여물은 벗짚을 약 6cm 정도의 길이로 썰어 진흙반죽에 혼입하여 균열을 방지할 목적으로 쓰이는데, 이 대신 섬, 가마니, 새끼 등의 헨 것을 이용하기도 한다. 지나치게 차진 것은 모래 또는 풍화토를 넣어 다시 이기고 물을 충분히 주어 2~3일 놓아 둔다. 바를 때 적당한 뭍기로 다시 이겨 쓴다.

7) 특수미장바름

(가) 리신바름(lithin coat)

돌로마이트에 화강석 부스러기, 색모래, 안료 등을 섞어 정벌바름하고 충분히 굳지 않은 때에 표면에 거친 솔, 알레빗같은 것으로 긁어 거친 면으로 마무리하는 것으로 일종의 인조석 바름이다.

(나) 라프코트(rough coat)

시멘트, 모래, 잔자갈, 안료 등을 섞어 이긴 것을 바탕 바름이 마르기 전에 뿌려 붙이거나 또는 바르는 것으로 일종의 인조석 바름이며 이를 거친 바름 또는 거친면 마무리고도 한다.

(다) 모조석(imitation stone)

백시멘트와 종석, 안료를 혼합하여 천연석과 유사한 외관을 간이 인조석으로 만든 것으로 이를 캐스트스톤(cast stone)이라고도 한다.

(라) 섬유벽

목면, 펄프, 인견, 각종 합성섬유, 톱밥, 왕겨, 코르크분, 수목껍질, 암면 등의 각종 섬유상의 물질조각을 호료로 접합해서 벽에 바른 것을 총칭하여 섬유벽이라고 한다. 같은 종류의 색 차이나 입자의 크기가 다른 것을 조합한 것, 수종의 섬유제를 배합한 것이 있다. 제품에는 가용성이 호료를 배합해 둔 것과 그렇지 않은 것이 있다. 대개는 황각, 미역풀물 등 미장용 호료로 반죽해 쓴다.

8) 여물 등 결합재

(가) 여물(hair)

바름에 있어 재료의 끈기를 돋우고 재료가 처져 떨어지는 것을 방지하고 흠손질이 쉽게 퍼져나가는 효과가 있으며, 바름 중에는 보수성을 향상시키고, 바름 후에는 건조에 따라 생기는 균열을 방지한다. 여물의 섬유는 질기고 가늘며 부드럽고 흰색일수록 상품으로 친다. 마디가 있거나 엉킨 것은 피하고 섬유 오리가 굵고 빛깔이 짙으며 뽕뽕한 것일수록 하품이고 초벌바름에 쓴다.

(나) 수염

줄대 바탕 등에 거리간격 20~30cm 마름모형으로 배치하여 못을 박아대고 초벌바름과 재벌바름에 각기 한 가닥씩 문혀 발라 바름벽이 바탕에서 떨어지는 것을 방지하는 역할을 하는 석으로 풀이나 여물과는 다소 다르다. 수염은 충분히 건조되고 질긴 삼,

어저귀, 종려털 또는 마닐라삼을 쓰며, 길이는 600mm 내외이다.

(다) 풀

풀을 넣으면 점성이 늘어나 바르기 쉽고 물기를 유지하며 바름 후 부착이 잘 되게 한다. 풀은 주로 해초풀을 써왔으나 근래에는 합성수지계의 화학합성 풀을 쓰기도 한다.

9) 미장용 혼화재료

미장용 혼화재료로는 콘크리트용 혼화재료와는 같은 것이나 미장공사의 현장시공용 반죽에 혼화재료를 사용하면 작업성의 증대, 방수, 방동 등의 저항성을 착색 또는 응결 시간 조절이나 강도증진의 역할을 하게 된다. 작업성을 좋게 하고 재료의 경제성을 높여주기위한 혼화재로서 종래에는 화산회가 쓰여졌으나 근래에는 규산백토, 가용성백토 등이 쓰이고 최근에는 플라이애시, 포졸란이 사용되고 있다.

방수효과를 내기 위하여 사용되는 방수제로는 공극충진에 의한 것으로 소석회, 점토, 석분 등이 있고 화학반응에 의한 것은 몰유리 등이 있으며, 바름 방수제로서 방수성질을 가진 화학적 화합물을 용제에 녹인 것과 산알미늄, 실리콘수지용제 용액, 염화비닐 용액등이 쓰인다.

방동을 목적으로 사용되는 방동제로서 염화석회 도는 식염이 주로 쓰인다. 또 미장바름 속에 기포를 만들어 동결에 의한 팽창력을 완충시킴으로써 파괴를 피하고자 하는 생각에서 AE방동제로 사용하는 수도 있다.

미장용 착색제로서는 무기질의 금속산화물이 쓰이는데, 인공적인 것보다는 천연적인 것이 많다. 천연산으로 얻을 수 없는 색에는 인공의 무기질 안료나 유기질 안료가 쓰인다. 이들 안료는 단독으로나 적당 비율로 혼합하여 각종 색깔을 만들어 쓴다. 착색제에는 합성산화철, 카본블랙, 이산화망간, 산화크롬 등이 있다.

응결시간조절을 위해 미장바름에 첨가되는 재료를 응결조정제라고 하는데 응결조정제 중 응결시간을 단축시키는 것을 촉진제(accelerator admixtures), 특히 응결시간을 신속히 단축시키는 것을 급결제(quick setting admixtures), 반대로 응결시간을 연장시키는 것을 지연제(retarder)라고 한다.

촉진제 또는 급결제의 대상이 되는 것은 주로 포틀랜드시멘트의 경우로 누수 구멍막

음, 물체고정등 급속한 응결을 요할 때 사용한다. 촉진제로서는 염화석회, 물유리 등이 있고 급결제로서는 염화칼슘, 규산소다 등이 있다. 치완제의 대상이 되는 것은 석고플라스티(소석고)이다. 석고플라스티에 사용하는 치완제로서는 아라비아고무, 해초풀, 젤라틴(아교) 등이 있다.

10) 타일(tile)

(가) 타일의 정의

타일은 점토 또는 암석의 분말을 성형, 소성하여 만든 제품(두께 약 5mm정도)을 총칭한 것이다.

미국재료시험협회(ASTM)에 의하면 “요업제품으로서 보통은 표면적에 비하여 상당히 얇고 점토 또는 점토와 다른 원료와의 혼합물로 만든다. 시유 또는 무유로써 제조과정 중에서 적열이상의 온도로 소성하여 특별한 물리적 성질 및 특징을 갖게 한 것을 말한다.”라고 되어 있다.

(나)타일의 역사

타일이란 어원은 프랑스어 ‘Tuile’에서 유래되었다고 전하고 있다. 타일은 바빌로니아, 앗시리아, 페르시아의 건축에서부터 사용되기 시작하였고 터기 건축에서 시유한 타일이 사용되었다고 한다. 그러나 이것은 얇은 벽돌모양의 것에 지나지 않는 것이었다.

벽돌조의 표면 마무리재로서 규격화된 타일이 공장 생산화된 것은 19세기 중엽부터이다. 우리 나라에서 타일이 처음 사용된 건물은 1900년대에 덕수궁 석조전, 운현궁 본관 등이고, 1920년대에는 한국은행 본관 등에 외국산 타일을 사용하였으나, 1930년대에 와서 처음 타일을 국내에서 생산하게 되었다. 국산타일이 처음 사용된 건물은 서울대 의대 본관이라고 하며, 1954년경부터 외장타일과 모자이크타일이 생산되었고, 1964년부터 자기질 무유 모자이크타일이 생산되었으며 1966년부터 시유모자이크타일이 터널가마솥에 의해 대량 생산되기 시작하였다.

(다) 타일의 원료

타일의 소지원료로는 가소성부분, 결정부분을 구성하는 장석, 고령토, 점토, 규산등이 있다. 유약원료는 장석, 석회석, 규회석, 고령토, 규석 등 원료광물과 화공약품을 적당량 배합하여 착색한다. 착색제는 거의 금속성 산화물이며 소성중 안정화를 위하여 백옥화

및 착색화(pigment)시켜서 사용하며 특수한 경우 금산화물 자체를 사용하기도 한다.

(라) 타일의 제조

타일의 일반적 제조공정은 건식제법과 습식제법이 있는데, 건식제법은 원료의 건조분쇄, 기타처리 -> 원료의 조합 -> 미분쇄 -> 물비빔 -> 압노 -> 건조 -> 분쇄 -> 함수 -> 가압성형 -> 소성 -> 검사 -> 시유 -> 소성 -> 선별검사의 과정으로, 습식제법은 원료의 건조분쇄, 기타처리 -> 원료의 조합 -> 미분쇄 -> 물비빔 -> 압출성형 -> 건조 -> 소성 -> 검사 -> 시유 -> 소성 -> 선별검사의 과정으로 제조되고 있다.

타일의 성형에는 건식과 습식의 2가지 방법이 있으며, 이들 방법의 특징은 표 4-2와 같다. 건식은 소지재를 건조분말로 하여 여기에 약간의 습기를 주어 형틀에 넣고 가압성형한 방식이고 습식은 소지재를 균일한 플라스틱 상태로 반죽하여 찍어내는 방식 또는 형틀에 넣어 성형하는 방식이다.

표 4-2 건식과 습식타일의 특징

명칭	성형방법	제조가능한 형태	정밀도	용도
건식타일	프레스성형	보통타일 (간단한 형태)	치수, 정밀도가 높고 고능률이다.	내장타일 바닥타일 모자이크타일
습식타일	압출성형	보통타일 (복잡한 형태도 가능)	프레스성형에 비해 정밀도가 낮다.	외장타일 바닥타일

(마) 타일의 종류

타일의 종류는 호칭에 의한 구분, 소지의 질에 의한 구분, 호칭 및 소지의 질에 의한 구분, 유약의 유무에 의한 구분, 등급별 구분 등으로 구분한다.

(바) 타일의 형상 및 치수

타일은 형상에 따라 여러 가지가 있으나 보통 정사각형, 직사각형, 정육각형, 팔각형이 많이 쓰이며, 특수형으로는 보더타일(border tile), 모자이크타일(mosaic tile), 등근모타일, 볼록타일(면이 볼록한 것), 7자형타일(모서리형), 면접기 타일 등이 있다. 특수용도에 쓰이는 것으로는 창인방용(물 꿇기 홈이 있는 것)타일, 창대용 타일, 논슬립(non

slip)타일 등이 있다.

면처리한 것으로는 스크래치타일(scratch tile), 태피스트리타일(tapestry tile), 천무늬 타일, 클링커타일(clinker tile)등이 있다. 보더타일은 가늘고 길게 된 타일로서 특수한 장식적인 시유품으로 걸레받이 등에 쓰인다. 타일의 치수는 표 4-3과 같다.

표 4-3 타일의 치수

종류	형상	치수 측정 위치	치 수															
			60	76	90	100	108	150	152									
외 장 타 일	정사각형	A	60	76	90	100	108	150	152									
	직사각형	A	57	87	100	100	108	150	180	180	200	200	200	227	190	227	187	187
		B	40	57	50	60	60	75	57	87	50	60	100	60	90	90	60	87
	모서리	A	87	108	108	160	168	200	200	200	190	190	190	180	87			
		B	85	60	60	60	60	50	60	100	90	90	90	57	57			
		C	40	50	55	50	50	100	100	100	90	45	40	40	57			
내 장 타 일	정사각형 일면떼기 이면떼기	A	52	55	60	75	76	90	97	100	102	108	150	200				
	직사각형	A	52	100	100	108	150	152	200	200	200							
		B	25	50	60	60	75	76	50	60	100							
	보더	A	108	108	150	150	152	152	200	200								
		B	12	25	12	25	12	25	12	25								
	블록죽편	A	76	76	97	97	108	108	108	108	108	150	152	152				
		B	23	25	25	38	23	25	30	33	38	25	25	38				
	오목죽편	A	76	76	97	97	108	108	108	108	108	150	150	152	152			
		B	13	15	15	25	13	15	20	23	25	12	25	15	25			
	블록삼각	B	23	25	30	33	38											
		B	13	15	20	23	25											
	블록밀	A	23	25	30	33	38											
B		15	15	20	23	25												
오목밀	A	23	25	30	33	38												
	B	13	15	20	23	25												
바 다 타 일	정사각형	A	75	76	102	108	150	152	182									
	직사각형	A	108	150	152	200	194											
		B	60	75	76	100	92											
	정육각형	A	75	76	100	102	108	150	152									
	팔각형	A	75	76	108	150	152											
		B	25	26	40	55	55											
계단용	A	90	100	150	152	180	200											
	B	45	50	75	76	90	100											
	D																	
모자 이크 타일	정사각형	A	19	25	35	40	45	47	50	52	55	59	90	21	28	58	88	
	직사각형	A	40	50	52	89	93	21	28									
		B	19	25	25	43	45	45	59									
정육각형	A	25	50	51	58	58												

(사) 타일의 용도

타일은 용도상 외부용과 내부용으로 구분되고, 또 각기 벽용과 바닥용으로 구분된다. 내외부 벽용은 최근에는 벽용, 바닥용 구별 없이 쓰인다. 외부벽용 타일은 흡수성이 적고 외기에 대해 저항력이 강한 단단한 것이 좋고 모양은 정사각형(비교적 작은 것), 마구리형, 길이형 등이 많이 쓰인다.

외부벽용 타일은 흡수성이 다소 있고 외기에 저항력이 적은 것이 쓰이지만 미려하고 위생적이며, 청소가 용이한 것이 많이 쓰이고 모양은 정사각형(대형)이 많이 쓰인다.

내부벽용 타일은 단단하고 마모에 강하며 흡수성이 적은 것이 좋고, 자기질, 석기질의 무유 또는 시유품으로 표면이 미끄럽지 않은 것이 쓰이며, 모양은 대개 직사각형이나 정육각형, 팔각형 등이고 외부바닥용으로 클링커 타일이 주로 쓰인다.

타일의 용도에 따른 적합성을 표시한 것이 표 44이다.

표 44 타일의 용도별 적합성

제법 품질		건식								습식							
		자기				석기		도기		자기				석기		도기	
품명	용도	자기	자기	모자	모자	석기	석기	도기	도기	자기	자기	모자	모자	석기	석기	도기	도기
		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
외부	일반벽	○	△	○	○	○		×	△	○	△	○		×	×	○	△
	바닥	△	○	△	○	△		×	△	△	○	△		○	○	×	△
	한랭지벽	○	△	○	○	○		×	×	○	△	○		×	×	×	△
내부	일반벽	○	△	○	△	○		○	○	○	△	○		×	×	○	○
	바닥	△	○	△	○	△		△	○	△	○	△		○	○	×	○
	한랭지벽	○	△	△	△	○		×	○	○	△	○		×	×	×	○
기타	바닥	△	○	△	○	△		△	△	△	○	△		×	×	×	△
	욕실벽	○	△	○	△	○		○	△	○	△	○		×	×	○	△
	내산실벽	○	△	×	×	△		×	×	○	△	×		×	×	×	×
	바닥	△	○	×	×	△		×	×	△	○	×		○	○	×	×

(아) 타일의 붙임재료

타일붙임재료의 종류는 무기질 시멘트모르터와 유기질 고무계 또는 에폭시계로 대별된다. 붙임재료는 접착력이 강하고 작업상이 있어야 하며 내구성이 강하고 경제적인 재료여야 한다. 접착력은 최소한 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상 확보하여야만 타일의 탈락현상과 동해에 의한 내구성의 저하를 방지할 수 있다.

(자) 타일의 시공

① 타일의 시공법

타일의 붙임공법을 대별하면 떠붙임공법과 압착 및 밀착공법이 있으며 이외에도 이들 공법을 약간씩 변형시킨 개량압착공법 등이 있다.

떠붙임공법(재래식 공법)은 타일 뒷면에 붙임용 모르터를 바른 뒤 바탕면에 타일을 한 장씩 두드리며 눌러 붙이는 공법으로 내, 외벽 공사시 가장 널리 사용되는 공법으로서 빈틈이 생기지 않게 눌러 붙인다. 압착공법은 타일붙임 바탕에 붙임용 모르터를 먼저 바르고 그 위에 타일을 붙이기에 많이 사용한다.

밀착공법은 타일붙임용 바이브레이터를 사용하여 타일에 충격을 주면서 접착하는 공법으로서 1980년경에 일본에서 개발되어 보급된 공법이다. 밀착공법은 붙임모르터가 타일줄눈 사이로 밀려나올 때까지 충격을 주면서 붙이는 공법이기 때문에 별도의 줄눈재료가 필요치 않아 일명 동시줄눈공법이라고 한다.

개량떠붙임공법은 바탕에 얇게 바탕모르터를 바른 뒤, 타일 뒷면에 떠붙임공법보다 붙임모르터를 얇게 바르고 바탕에 눌러 붙이는 공법이다.

개량압착공법은 떠붙임공법과 압착공법을 개량하기 위하여 바탕과 타일 뒷면에 붙임용 모르터를 각각 바르고 타일을 붙이는 공법이다. 압착공법에 사용하는 붙임용 모르터 대신에 유기질 접착제를 사용하여 붙이는 공법을 특히 접착제붙임공법이라 한다.

② 타일의 백화현상

타일의 뒷면에 물이 침투되면 물은 바탕모르터 속에 들어 있는 석회를 용해시켜서 수산화석회를 생성하는데, 이와 같이 생성된 수산화석회가 벽의 외부로 표출되면서 공기중의 탄산가스등과 반응하여 석회석으로 변하여 타일의 표면을 오염시키는 현상을 타일의 백화현상이라 한다.

백화의 방지를 위해서는 우선 타일과 건물사이에 물이 침투하지 않도록 하여야 하며,

그러기 위해서 타일과 건물사이에 공극이 발생치 않도록 모르터를 충분히 타일 뒷면에 채워서 접착하되 붙임모르터의 두께는 균등하도록 하여야 한다.

특히 떠붙임공법에 의해서 타일접착시공을 할 때 시멘트페이스트(paste)를 줄눈에 뿌리는 것은 백화현상을 촉진시키는 요인이 된다. 현재까지는 타일의 백화현상을 방지할 수 있는 특별한 공법이 개발되지 않고 있는 실정이므로 백화방지를 위해서는 품질이 좋은 타일을 사용하고 정밀 시공을 하는 것이 최선의 방법이라 하겠다.

제 5 절 보강흙벽체 시공

1. 흙벽 현장답사

흙벽을 시공하기 위한 사전답사를 다닌 가운데 경기도 안성 부근의 한 지방의 대표적인 사례를 소개한다. 다음 그림 4-12는 경기도 안성 배티고개 부근의 외장흙벽을 개조한 주택의 모습이다. 미관을 고려하여 외장 부분을 짚을 섞어 순수한 흙으로 처리하였다. 그림 4-16은 경기도 안성의 어느 한 농가의 흙벽을 담은 사진이다. 대부분의 흙벽이 농가 벽체들로 이루어져 있으며, 형태는 크게 두 가지로 심벽 형태와 벽돌조적 형태이다. 심벽은 나무로 틀을 짜서 그 사이에 짚과 흙을 섞어 벽체를 만든 것이고, 벽돌조적은 짚과 흙을 섞어 일정한 크기로 벽돌을 만들어 벽체를 만들었다. 농가주택의 대부분이 내력벽인 심벽이고 벽돌조적벽은 비내력벽인 간이벽, 담벽 등으로 구성되어 있는 것을 발견하였다.

현장에서 쓰이는 흙벽들은 거칠고 표면이 매끄럽지 못하였는데 이를 이용하여 벽체를 만들 경우 일반 벽돌처럼 깨끗한 마무리 처리를 필요로 했다. 비내력벽으로 사용된 흙벽들은 직접 육안으로 확인할 수 있었고 매우 단단한 경도를 가지고 있었으며 강도 시험 결과 매우 큰 강도를 보이고 있었다. 또한 흙벽은 칠 때 고른 흙만을 사용한 것이 아니라 자갈, 짚 등을 혼합하여 썼으며 벽돌조적벽의 높이는 약 1.5~2.0m 높이였다.

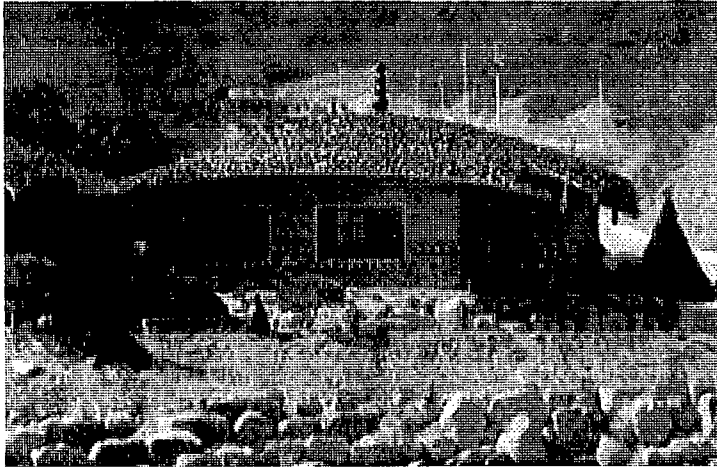


그림 4-12 외장 흙벽 개조 주택 전경

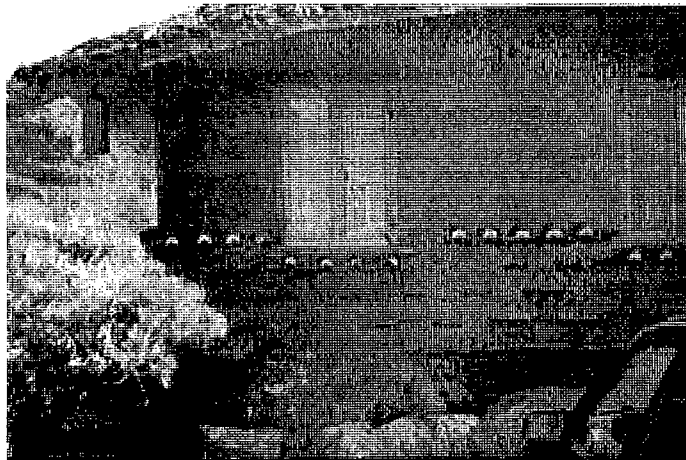


그림 4-13 외장 흙벽 개조 주택 벽체 전면

그림 4-15는 흙과 짚을 섞어 외장처리를 한 경우로 금(crack)이 많이 발생한 모습을 보여준다. 이 경우 미관을 목적으로 하였기 때문에 금(crack)이 발생한 것은 문제가 되지 않았으나 외장처리 후 벽표면 건조 직후 햇볕에 장시간 노출로 인해 발생했던 금이라고 한다. 그림 4-16은 흙벽돌로 시공한 벽체의 표면이며 아무런 외장처리를 하지 않

았음을 보여준다. 그림 4-18은 흙벽돌이 아니라 거꾸집을 대고 흙을 다져서 만든 심벽을 보여주고 있으며 벽체 내부에 대나무를 보강한 모습이 보이며 벽표면에는 아무 외장처리를 하지 않았다.

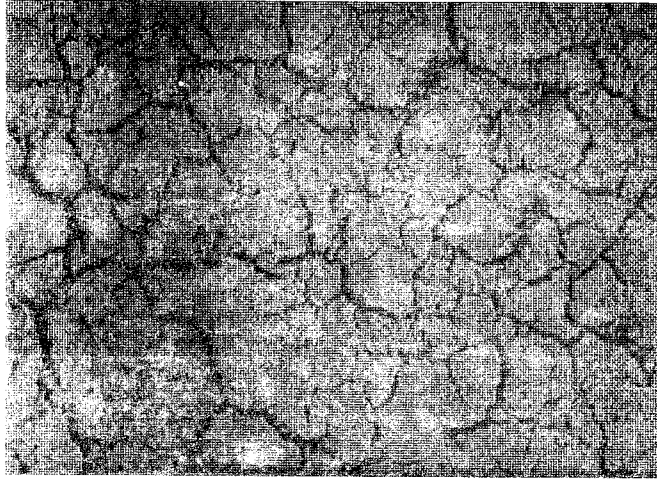


그림 4-14 외장 흙벽 개조 주택 벽체 표면



그림 4-15 흙벽돌 주택의 한 벽체

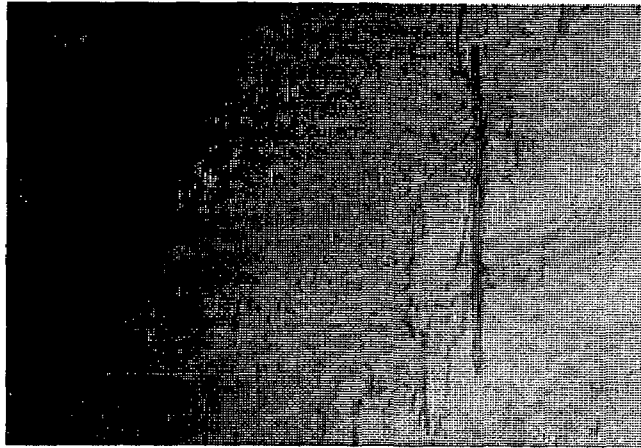


그림 4-16 흙벽돌 벽체 전경

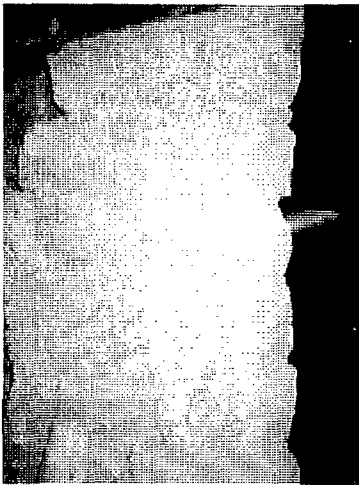


그림 4-17 흙벽돌로 조적된 벽체



그림 4-18 심벽 전경

2. 보강흙벽체 시공

보강 흙벽체를 시공하기 위해 보강흙벽돌 및 보강흙타일을 제작하였다. 보강 흙벽체는 온실의 실내벽체에 적용하였는데, 흙벽체 제작에는 보강흙벽돌과 보강흙타일을 이용하여 시공하였다. 벽체시공에 사용된 접착제는 진흙을 사용하였으며, 보강흙타일을 벽

면에 부착하는 데에는 흙+모르터를 사용하였다. 벽체 제작에 사용된 기구는 흙칼, 삽, 수준의, 추 등이며, 벽체를 쌓기 전에 기초를 먼저 처리하여 지반으로부터 유입되는 지열, 수분 등의 영향을 최소화하였다.

다음 그림 4-19는 벽체를 시공하는 과정을 보여주며, 그림 4-20, 4-21은 완성된 후의 벽체 모습 및 벽체 표면의 모습을 보여준다.

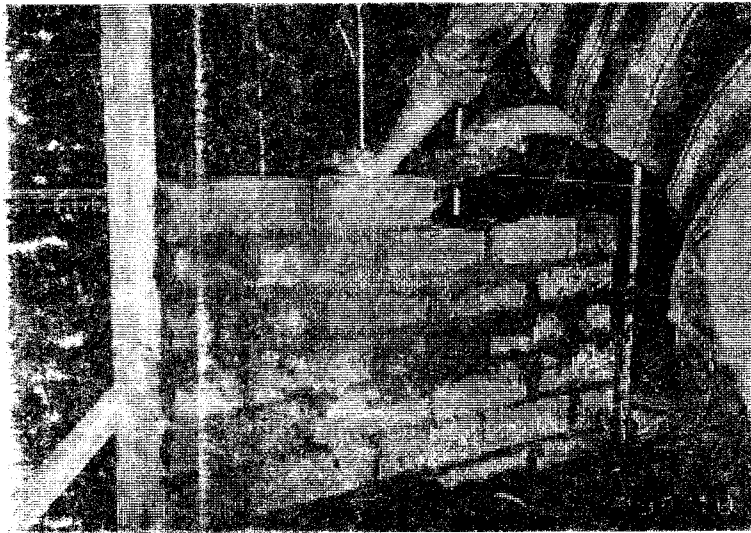


그림 4-19 흙벽돌을 조적하는 장면



그림 4-20 완성한 흙벽돌 조적 모습

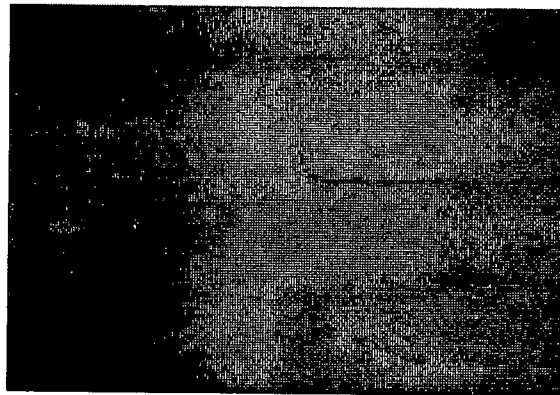


그림 4-21 흙벽돌로 조적한 벽표면

벽체의 외관처리는 제2절에서 논의된 바와 같이 여러 가지 방법이 있는데, 여기서는 벽체의 미관 및 시공의 편의성 등을 고려하여 11가지 방법으로 외장 처리를 하였다. 또한 이들 각각의 경우에 대해 섬유를 증량비로 외장재료 무게의 0.1%씩 넣어 외장처리를 한 것과 비교하였다.

1. 흙벽체 그대로 사용
2. 흙으로 미장 (그림 4-22), 흙과 섬유0.1%로 미장 (그림 4-23)
3. 석회로 미장 (그림 4-24), 석회와 섬유로 미장 (그림 4-25)
4. 흙 : 시멘트 : 석회(8 : 1 : 1)로 혼합한 후 미장 (그림 4-26), 섬유추가 (그림4-27)
5. 시멘트 : 석회(1 : 1)로 혼합한 후 미장 (그림 4-28), 섬유추가 (그림4-29)
6. 흙타일로 외관처리 (그림 4-30)
7. 흙타일 + 페인트로 외관처리 (그림 4-31)

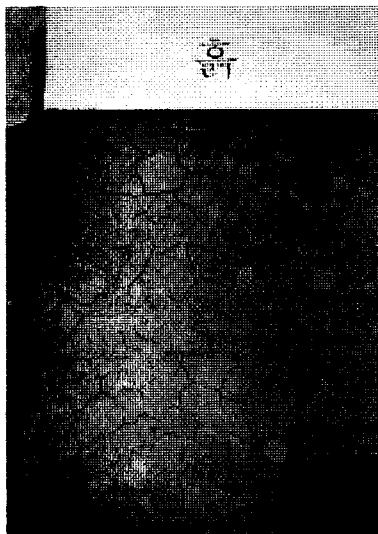


그림 4-22 흙으로 미장한 벽표면

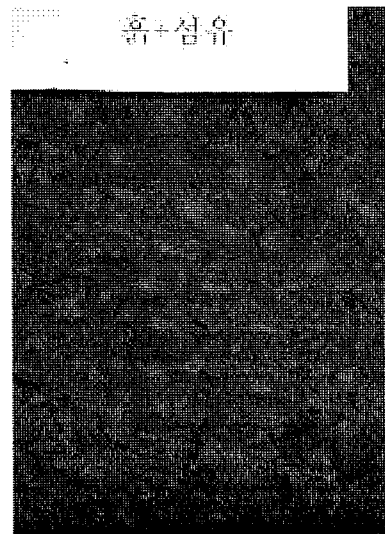


그림 4-23 흙과 섬유로 미장한 벽표면

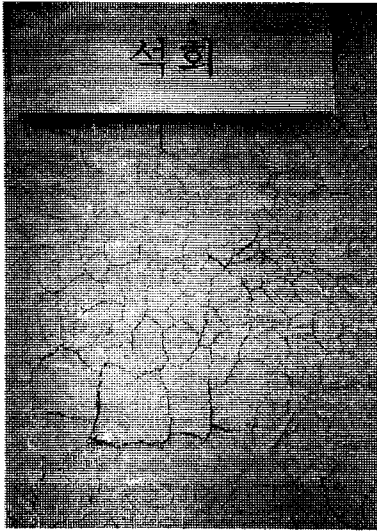


그림 4-24 석회로 미장한 벽표면

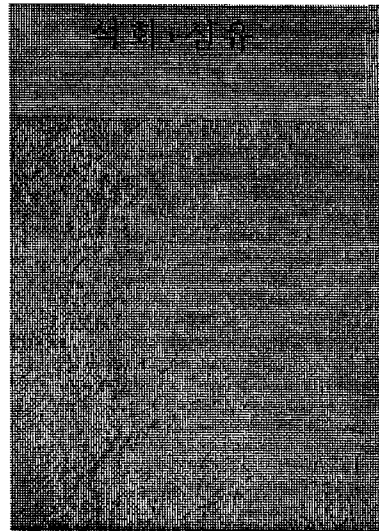


그림 4-25 석회와 섬유로 미장한 벽표면

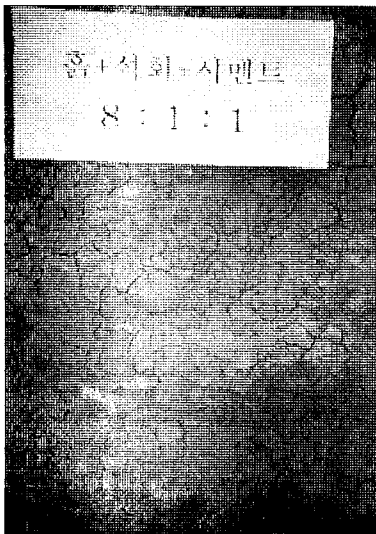


그림 4-26 흙, 석회, 시멘트로 미장

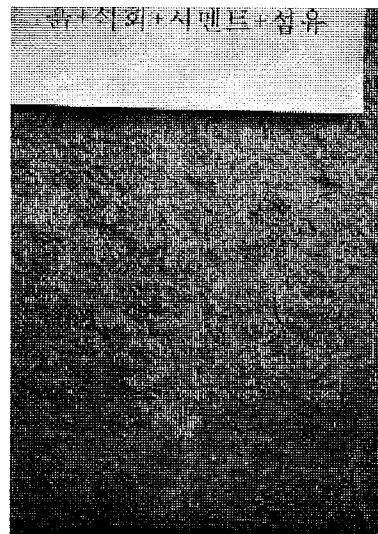


그림 4-27 흙, 석회, 시멘트, 섬유 사용

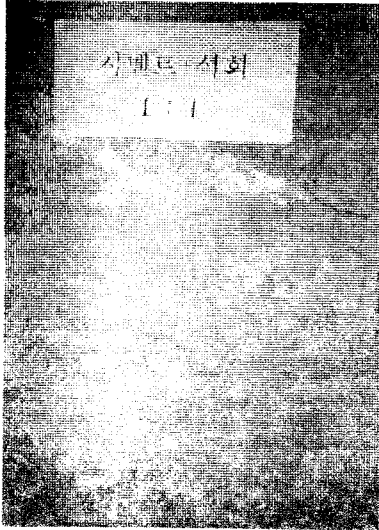


그림 4-28 시멘트, 석회로 미장

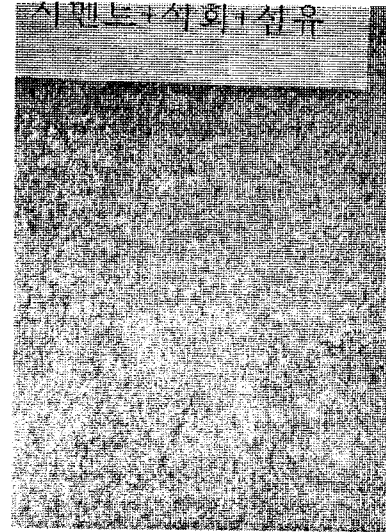


그림 4-29 시멘트, 석회, 섬유로 미장

흙과 석회만을 단독으로 미장한 벽표면은 표면이 건조되면서 많은 잔금이 발생하였다. 흙과 석회, 시멘트를 소량씩 혼합하여 미장한 벽표면은 흙과 석회를 단독으로 사용한 벽표면보다는 금이 덜 발생하였고 시멘트와 석회를 혼합한 벽표면은 금이 아주 미량만 발생하였다.

이들 각각의 경우에 섬유를 0.1% 첨가하였을 경우는 그림에서 보는 바와 같이 금의 발생이 현저히 줄었음을 볼 수 있다. 섬유는 금의 발생을 억제하는데 효과적인 보강재로서 흙벽의 미장에 사용을 권장할 수 있다.

그림 4-30은 30×30×2.5cm 크기의 압축타일을 제작하여 벽표면을 외장처리한 모습이며 그림 4-31은 흙타일표면에 페인트칠을 한 경우이다.

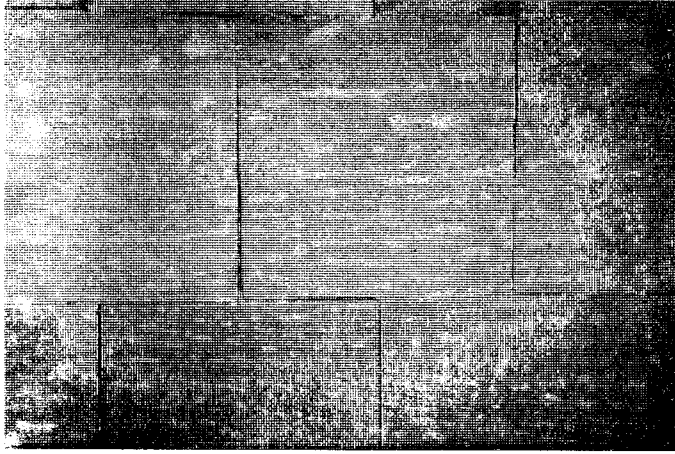


그림 4-30 흙타일로 외관처리한 벽표면

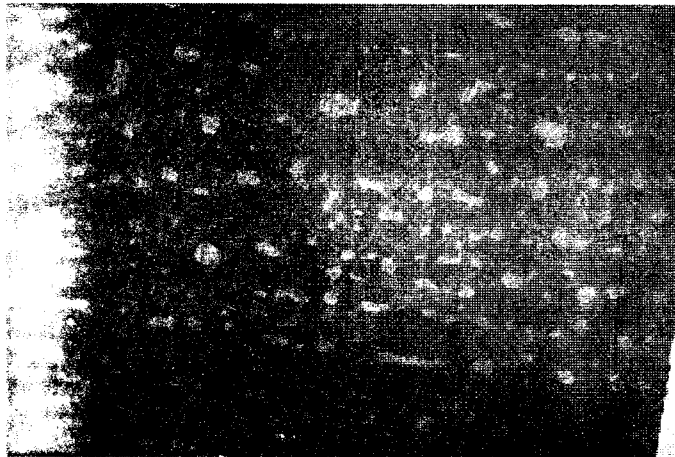


그림 4-31 흙타일에 페인트처리를 한 벽표면

제 6 절 요약 및 결론

본 장에서는 벽체의 기본이 되는 벽돌에 대하여 정리하였고, 본 연구에서 사용한 보강 흙벽돌의 제작과정 및 사용된 재료에 따른 일축압축강도를 시험을 통하여 고찰하였다. 그리고 보강흙벽돌의 사용 중의 강도에 영향을 미치는 벽돌의 흡수율에 대한 시험을 실시하였다. 또한 벽체의 외관처리 기술을 정리하였고, 마지막으로 실제 벽체를 시공하

면서 7가지의 외관처리 방법을 적용하여 보강흙벽체의 시공성과 외관처리기술의 적용성에 관하여 고찰하였다.

그 결과는 다음과 같다.

1. 일반적으로 사용되는 벽들의 기원과 종류 그리고 제조과정을 정리하였고, 이를 본 연구의 보강흙벽들의 제작에 참조하였다.
2. 수원에서 채취한 점토질 흙에 시멘트와 토목 섬유를 혼합하여 제작한 흙벽들은 무보강된 흙벽들에 비해 2배 정도의 강도 증진 효과를 나타내었고, 발안에서 채취한 모래질 흙의 경우는 8배 정도의 강도 증진 효과를 나타내었다. 따라서 보강재로 인한 강도증진 효과는 점토질 흙의 경우보다 모래질 흙에서 크게 나타났다.
3. 석고를 보강재로 사용하였을 경우 점토질 흙에서는 강도를 크게 저하시켰지만 사질토의 경우는 강도 저하가 미비하거나 약간의 강도 증진 효과를 나타내었다.
4. 섬유를 혼합한 흙벽들에서는 점토질 및 사질 흙 모두 파괴시의 변형률이 증가하는 경향을 나타내었다.
5. 본 연구에서 제작한 보강흙벽들의 흡수율은 약 12.2%로 일반 시멘트벽들의 2.04%보다 상당히 큰 것으로 나타났으며, 흡수 시간에 따른 일축압축강도의 변화를 살펴본 결과 흡수 시간에 따라서 강도가 크게 감소하는 것으로 나타났다.
6. 벽체의 외장처리에 사용되는 여러 방법과 제품을 정리하였다.
7. 보강흙벽들을 이용하여 벽체를 시공하였으며, 11가지의 외관처리 방법을 적용하였다. 섬유를 0.1% 첨가하면 금의 발생을 억제하는 효과가 있으므로 흙벽의 미장에 사용을 권장할 수 있다.

제 5 장 모형실험을 통한 보강흙벽 효과 분석

제 1 절 서론

흙은 어디서나 쉽게 구할 수 있는 환경친화적인 재료이며 인류는 오래 전부터 흙을 벽돌, 벽체 등의 건축재료로 이용하였다. 오늘날 시멘트, 콘크리트 구조물이 절대 다수를 차지하고 있으나 최근 흙집과 같은 흙을 이용한 건물에 대한 관심이 증가하고 있다.

건물 내부 실내환경의 쾌적성과 에너지 절약을 위해서 건물 벽체의 단열성능 시험과 단열재에 대한 연구가 수없이 이루어져 왔다. 그러나 흙을 이용하여 건물을 지을 경우 흙벽체의 단열성능시험에 대한 연구는 국내에는 거의 이루어지지 않은 실정이다.

건물의 많은 부분을 차지하는 벽체에서는 외부 기상조건과 벽체의 열성능으로 인하여 복사, 대류, 전도에 의한 열전달 현상이 일어난다. 벽체의 이러한 열전달 특성은 건물 열환경의 중요한 평가기준이 되며 대표적으로 열전도율(thermal conductivity), 열관류율(coefficient of thermal transmission)로 나타낸다. 따라서 흙벽의 보온효과는 바로 열전도율과 열관류율의 크기로 설명될 수 있다.

흙벽의 열전달 특성은 흙벽을 이루고 있는 재료의 특성에 따라 다르다. 흙벽의 열전달 특성에 영향을 미치는 인자들로는 흙의 종류, 보강재 사용여부, 흙벽의 밀도, 벽체의 통기성 및 흡수율 등과 같은 벽체 자체의 물리적인 요인과 온도, 상대습도, 시간 등과 같은 환경적인 요인이 있다.

흙벽의 보온 및 보습효과를 알아보기 위한 본 연구에서는 모형실험장비를 만들어 흙벽체를 사이에 두고 한쪽에 열을 가하여 다른 한쪽의 온도분포를 통해서 흙벽의 열성능을 평가하였다. 또한 본 연구에서는 흙벽체의 열전달 특성을 실험적으로 구명하고자 흙의 종류, 흙벽의 밀도, 보강재 사용여부, 온도, 상대습도에 따른 흙벽의 열전도율과 열관류율을 조사하고자 한다.

제 2 절 배경이론

열전달(heat transfer)이란 두 물질 사이에 온도차가 존재하는 경우 그 온도차에 따른 열에너지의 이동현상을 가리키며, 하나의 매체에서나 두 매체들 사이에 온도차가 존재하면 반드시 열전달이 일어난다. 정지하고 있는 고체나 유체의 매체내에 온도구배가 존재할 때, 그 매체를 통해 발생하는 열전달을 전도(conduction)라고 하며, 표면과 이와 다른 온도를 가지고 운동하고 있는 유체 사이에서 발생하는 열전달을 대류(convection)라 하고, 유한한 온도의 모든 표면이 전자기파의 방식으로 에너지를 방출함으로 인하여 일어나는 것을 복사라고 한다.

열전도 방정식으로 Fourier 법칙이 알려져 있으며 1차원 평면벽에 대한 방정식은 다음과 같다.

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (5-1)$$

열유속(heat flux) q_x'' (W/m^2)은 전달방향에 수직인 단위면적당 x 방향으로의 열전달률이며, 이 방향으로의 온도구배 dT/dx 에 비례한다. 비례상수 k 는 열전도율(thermal conductivity, $W/m \cdot K$)이라고 하는 물성치이며 벽재료의 특성을 나타낸다. 음의 부호는 열이 고온에서 저온으로 전달된다는 것을 뜻한다.

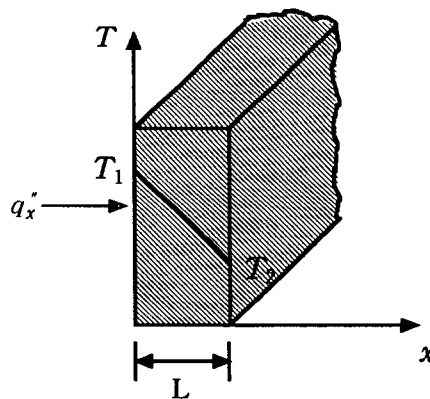


그림 5-1 전도에 의한 1차원 열전달

정상상태에서의 온도분포가 선형(linear)인 경우 온도구배는 다음과 같다.

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (5-2)$$

그리고 열유속은 다음과 같다.

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (5-3)$$

따라서 q_x'' 는 다음과 같다.

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (5-4)$$

면적이 A 인 평면벽을 통한 전도에 의한 열전달률 $q_x(W)$ 는 열유속과 면적의 곱인 $q_x = q_x'' \cdot A$ 이다.

위 식으로부터 열전도율은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$k = -\frac{q_x''}{(\partial T/\partial x)} = -\frac{q_x}{\Delta T \cdot A} L \quad (5-5)$$

한편, 건물의 벽체를 통과하는 열의 이동은 열전도와 열대류, 열관류로 이루어진다. 열전도는 열이 벽체 속에서 고온측으로부터 저온측으로 흐르는 현상이며, 열대류는 열이 벽체 표면으로부터 실내 공기로 또는 그 역으로 흐르는 현상이다. 그리고 열관류는 벽체 양쪽의 공기온도가 다를 때 그림 5-2와 같이 고온측에서 저온측으로 열이 관통하는 현상으로서 열대류→열전도→열대류의 3과정이 조합되어 이루어지는 열전달 현상이다.

KSF 2273에 제시되어 있는 열관류율과 열컨덕턴스는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$U = \frac{Q}{(\theta_{Ha} - \theta_{Ca}) \cdot A} \quad (5-6)$$

$$C = \frac{Q}{(\theta_{HS} - \theta_{CS}) \cdot A} \quad (5-7)$$

U : 열관류율(Coefficient of thermal transmission)(W/m² °C) {kcal/m²h °C}

C : 열컨덕턴스(Thermal conductances)(W/m² °C) {kcal/m²h °C}

Q : 가열 상자의 발생 열량(W) {kcal/h}

여기서, Q = P(W) [Q = 0.86 × P(kcal/h)]

θ_{Ha} : 가열쪽의 공기 온도(Temp. of air in heating room)(°C)

θ_{Ca} : 냉각쪽의 공기 온도(Temp of air in constant temp. room)(°C)

θ_{HS} : 가열쪽의 표면 온도(Temp. of wall surface in heating room)(°C)

θ_{CS} : 냉각쪽의 표면 온도(Temp. of wall surface in constant temp. room)
(°C)

A : 가열 상자의 안쪽 면적(Area)(m²)

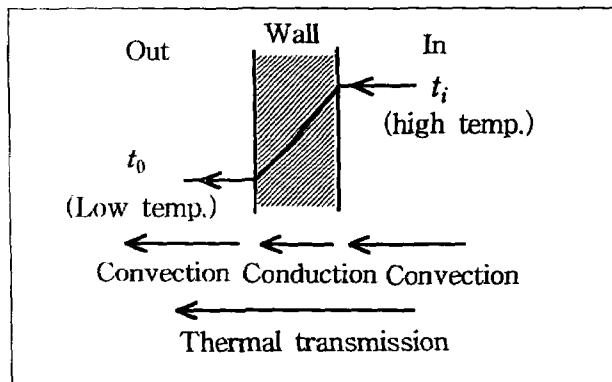


그림 5-2 흠벽체를 통한 열전달 과정

제 3 절 재료 및 시험방법

1. 재료

시험에 사용된 흙은 국내에 널리 분포하며 물리적 특성이 다른 점토질 흙과 모래질 흙을 선정하였다. 열전도율은 흙을 구성하고 있는 모래입자와 점토입자 등 흙의 종류와 관계가 큰 것으로 알려져 있기 때문이다. 흙의 채취장소는 수원 및 발안지역이며 입도 분포곡선은 그림 5-3과 같고 기초 물성치는 표 5-1에 정리하였다.

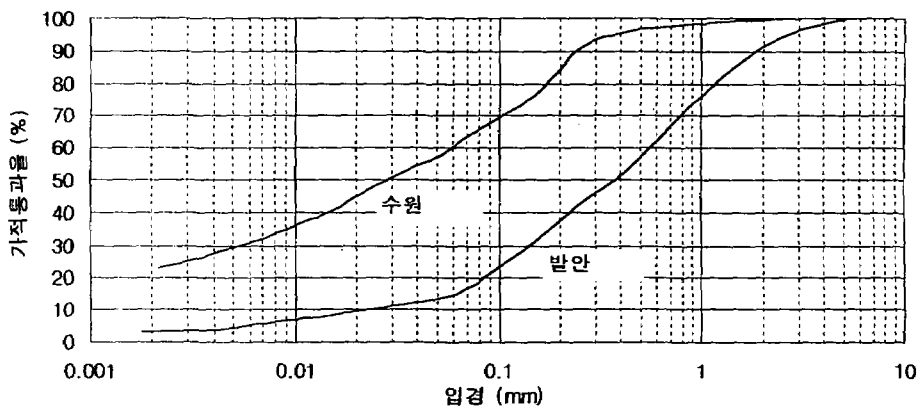


Fig. 5-3 흙재료의 입도분포곡선

표 5-1 흙재료의 물성치

채취장소	비중 (G_s)	액성한계 (%)	소성지수 (%)	통일 분류	OMC(%)	최대건조단위 중량 (g/cm^3)
수원	2.62	38.4	17.2	CL	19.2	1.70
발안	2.67	NP	NP	SM	14.1	1.78

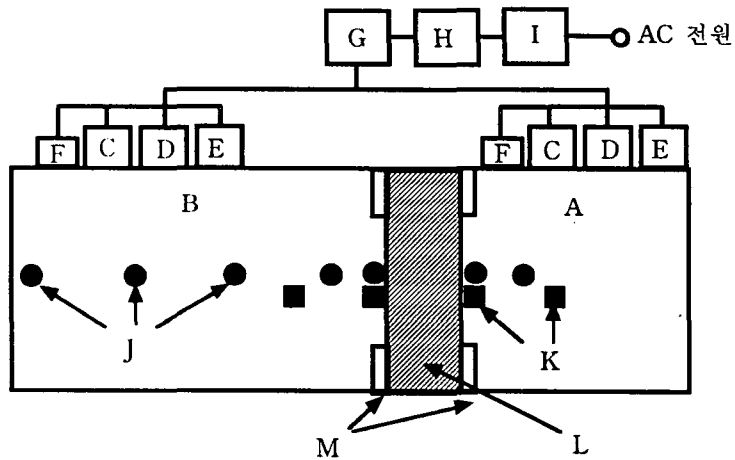
벽체의 강도 증진을 위해 사용된 보강재는 섬유와 시멘트로써 길이가 19mm인 폴리

프로필렌 망사형 섬유 0.5%를, 일반 포틀랜드 시멘트 9%를 흙에 동시에 첨가하였다. 또한 시멘트벽체는 일반 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2. 시험 장치

가. 시험 장치의 구성

시험장치는 그림 5-4와 같이 가열, 냉각 장치, 가습 장치, 온습도 조절기, 온도측정 기기, 전원 장치 등으로 되어 있다.



- | | |
|----------------|--------------|
| A : 가열실 | G : 전력제어기 |
| B : 항온실 | H : 전류계와 전압계 |
| C : 가열, 냉각 장치 | I : 전원 안전 장치 |
| D : 가습 장치 | J : 온도 센서 |
| E : 자동 온습도 조절기 | K : 습구온도계 |
| F : 송풍장치 | L : 시험체 |
| | M : 단일 칸막이 |

그림 5-4 시험 장치의 구성도

그림 5-5와 5-6은 실험장치의 전경과 내부의 사진이다.

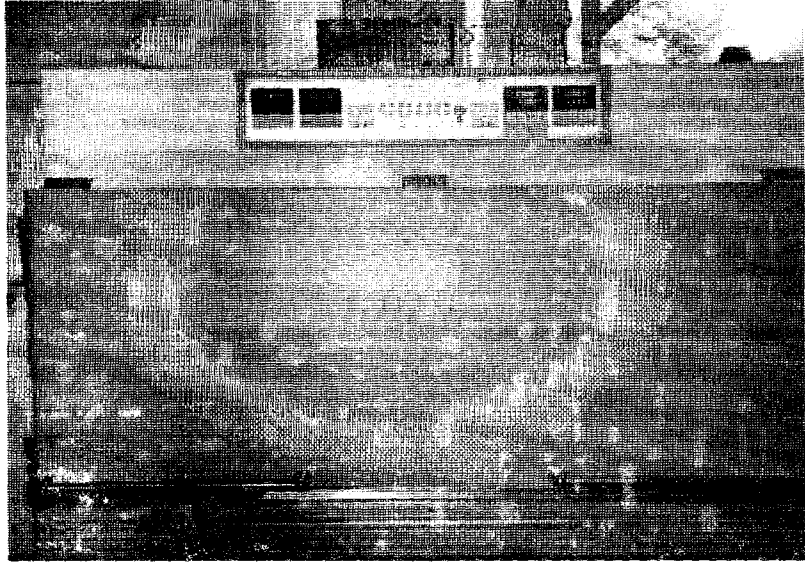


그림 5-5 시험장치 전경

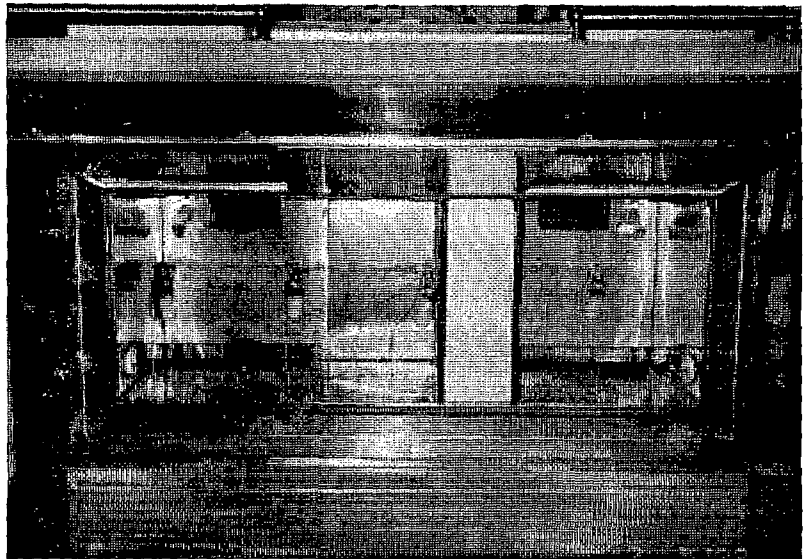


그림 5-6 시험 장치 내부 전경

나. 가열실과 항온실

가열실과 항온실은 스텐레스 재질과 석면의 단열재로 이루어진 두께 100mm의 벽으로 이루어져 보온이 되며 외기와의 온, 습도 영향을 최소로 하였다. 가열실과 항온실 둘 다 온, 습도를 제어할 수 있어 원하는 온도, 습도 조건을 만들 수 있다. 실험의 편의상 가열, 가습하는 곳을 가열실이라 하고 가열, 가습하지 않고 피가열, 피가습되는 곳을 항온실이라 칭한다. 가열실, 항온실의 크기는 실용적으로 사용할 수 있는 크기의 시험체를 시험할 수 있는 크기로 한다.

다. 가열장치와 냉각 장치

디지털 온습도 조절장치로부터 입력받은 온도에 맞게 가열 또는 냉각을 한다. 가열 및 냉각범위는 $-30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 이다.

라. 가습 장치

외부로부터 들어오는 증류수를 설정 습도에 맞게 가습 또는 건조한다. 가습할 수 있는 상대습도의 범위는 35%~98%이다.

마. 송풍 장치

가열실과 항온실의 초기 온습도 분포를 균일하게 하기 위해 송풍을 한다.

바. 온습도 측정 기기

온도 측정 기기는 열전대를 사용하며 측정범위가 $-200^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 인 T형 열전대를 사용한다. 습도측정은 열전대를 이용한 아스만 통풍식 건습구 온도계를 사용하여 건구온도, 습구온도를 측정하여 상대습도를 계산한다.

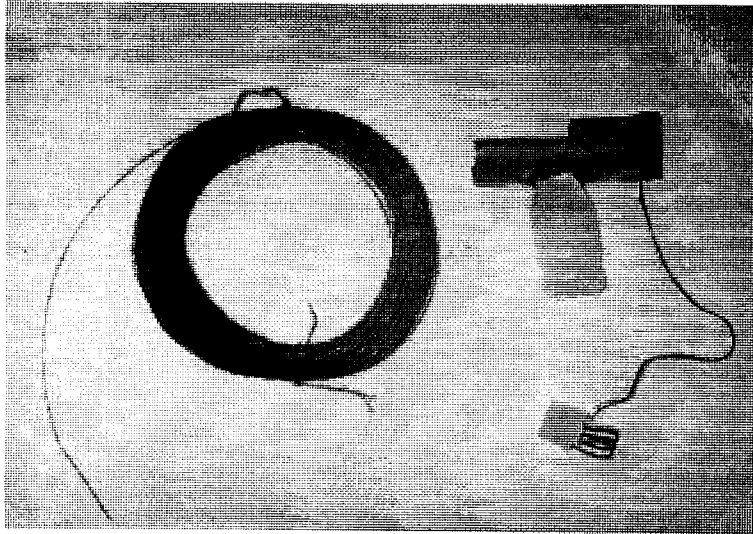


그림 5-7 T형 열전대와 건습구계

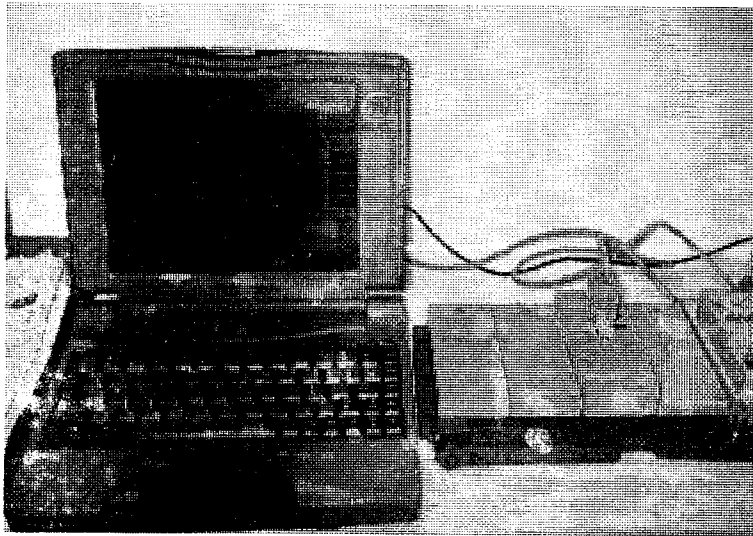


그림 5-8 환경계측용 컴퓨터

3. 시험 방법

가. 시험체의 제작

- 1) 흙과 보강재(섬유, 시멘트, 석회)를 물과 섞어 혼합비에 맞게 배합한다.
- 2) 혼합믹서기에 배합한 재료를 소정의 시간동안 비벼 혼합한다.
- 3) 혼합한 재료를 조립된 50×50×15cm 크기의 몰드에 넣어 다진다.
- 4) 다짐은 최적함수비(OMC)로 표준다짐을 하며 5층 이상 다짐을 한다.
- 5) 몰드에 다진 시험체를 몰드체로 하루 정도 기건한다.
- 6) 몰드를 분해하고 시험체를 건조실에 양생한다.
- 7) 함수비의 변화가 없을 때까지 충분한 양생기간을 거쳐 시험체를 완성한다

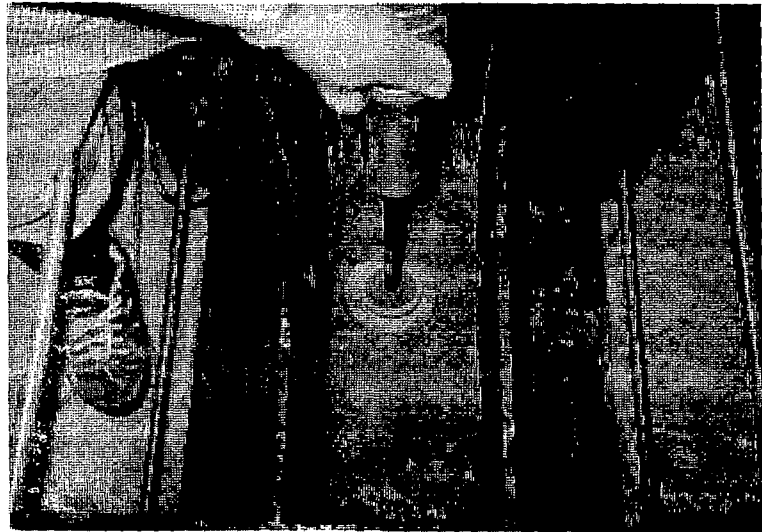


그림 5-9 몰드에 벽체를 다지는 모습

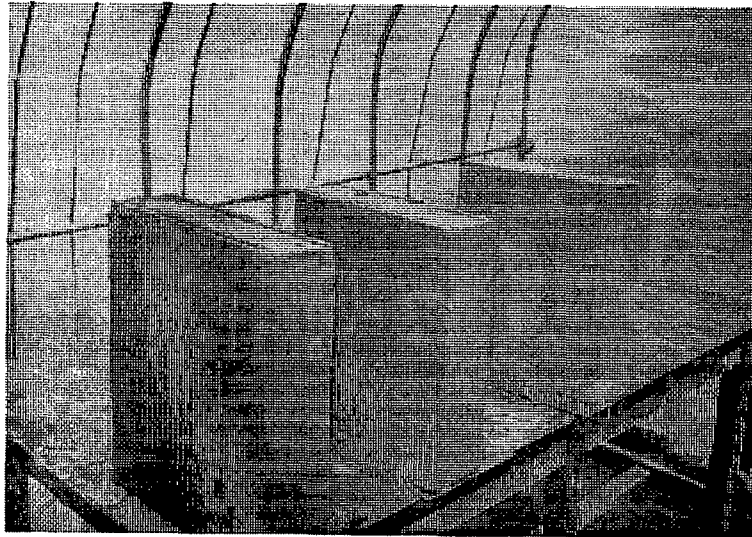


그림 5-10 건조중인 시험체

나. 시험체의 부착방법

시험체를 가열실과 항온실 사이에 밀어 넣고 고정한다. 이 경우 실제 경우의 관류 열량을 측정할 수 있도록 열적 약점이 되는 부분이 가열실에 접하도록 고려한다. 시험체와 가열실의 접촉면에 틈이 생기지 않도록 스티로폼과 패킹재를 충분히 발라 1차로 단열한다. 시험체 양쪽으로 그림 5-11과 같은 단열 칸막이를 세운 후 다시 패킹재를 발라 2차로 단열한다.

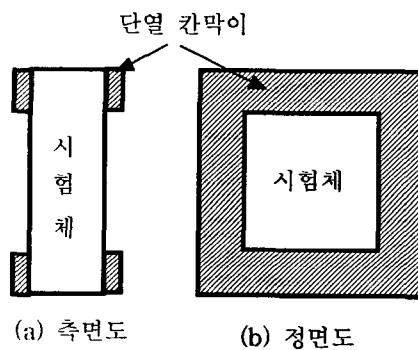


그림 5-11 단열 칸막이 구성도

다. 온습도 측정 위치

온도, 습도는 가열실 공기, 시험체 가열 쪽 표면, 시험체 향온 쪽 표면 및 향온실 공기에 대하여 측정하며 그림 5-12와 같이 배치한다. 시험체 표면 및 적층 간의 온도 측정용 열전대는 등온면에 10cm 이상 떨어져 있도록 설치한다.

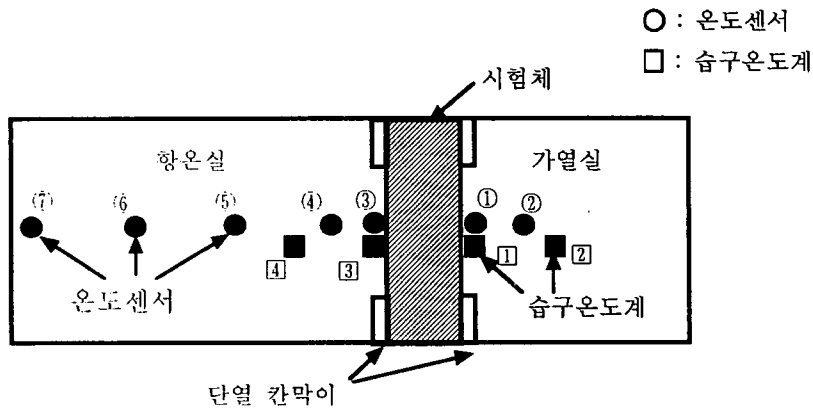


그림 5-12 온습도 센서 배치도

● 온도 센서 :

- ① : 시험체 가열 쪽 표면 온도
- ② : 가열실 공기 온도
- ③ : 시험체 향온 쪽 표면 온도
- ④, ⑤, ⑥, ⑦ : 향온실 공기 온도

■ 건습구 온도계 :

- ① : 시험체 가열 쪽 표면 습도
- ② : 가열실 공기 습도
- ③ : 시험체 향온 쪽 표면 습도
- ④ : 향온실 공기 습도

라. 측정조건

가열 쪽 및 항온 쪽의 공기 및 표면 온도와 습도가 충분히 정상 상태로 된 것을 확인하고, 원하는 온습도 조건으로 시험을 한다.

4. 계측 장비

계측은 아래 그림 5-13과 같이 Data Logger가 센서로부터 데이터를 입력받아 PC로 전송하는 것으로 이루어진다.

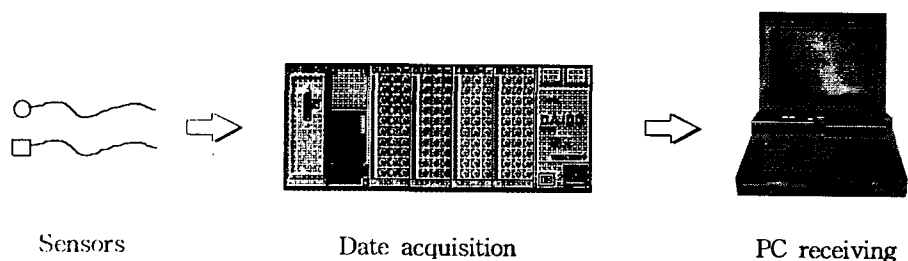
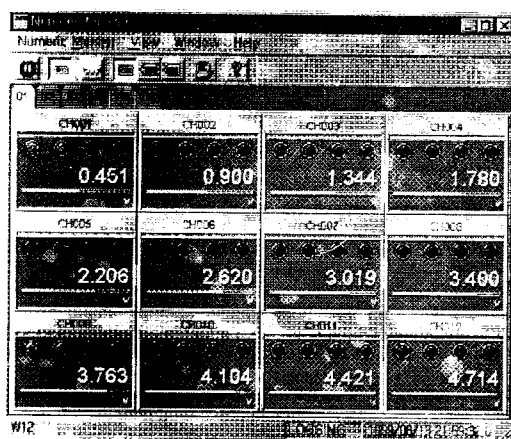
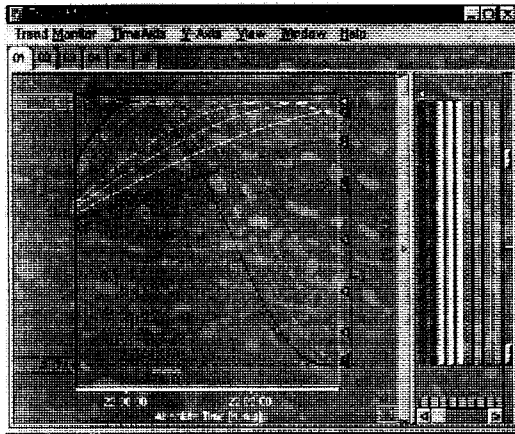


그림 5-13 계측 장비

다음 그림 5-14는 PC에서 입력받은 데이터를 보여주고 있다.



(a)



(b)

그림 5-14 계측 Data 모니터링

가. 계측 방법

1) 실험 항목

① 온도의 영향

- 상대습도를 고정시킨 상태에서 온도의 변화를 준 상태
- 상대습도를 70%로 고정시키고 온도를 0℃에서 45℃까지 변화시킴

② 상대습도의 영향

- 온도를 고정시킨 상태에서 상대습도의 변화를 준 상태
- 온도를 30℃로 고정시키고 상대습도를 50%에서 90%까지 변화시킴

2) 실험 조건

- 초기 온습도 상태가 평형이 될 때까지 가열 또는 냉각 및 가습을 한다.
- 평형상태가 되면 가열실을 가열 또는 냉각 및 가습을 하여 가열실과 항온실의 온도차 및 습도차가 나게 한다.
- 가열실과 항온실의 온도변화가 시간이 지나도록 평형상태가 이루어지면 실험을 끝

낸다.

3) 실험 방법

처음 가열실과 항온실 양쪽 모두 초기조건으로 일정하게 유지시킨 후 가열 쪽 및 항온 쪽의 공기 및 표면 온도가 충분히 정상 상태로 된 것을 확인한다. 초기조건으로 습도는 50%, 70%, 90%의 세가지 경우에 대해서 설정하며 온도는 여름철 외기 온도와 유사한 30℃에 대해서 설정한다. 평형상태가 되면 가열실을 가열 또는 냉각하여 가열실과 항온실의 온도차를 15℃, 30℃이 되도록 하였다. 가열실과 항온실의 온도변화가 시간이 지나면서 변화가 없을 경우에 실험을 끝낸다. 표 5-2는 실험에 사용된 가열실과 항온실의 온도를 정리한 것이다.

시험체에 사용된 벽체는 수원시료, 발안시료를 사용한 각각의 경우에 대해 보강재를 넣지 않은 것과 보강재를 넣은 것 4종류와 다짐에너지를 표준다짐보다 2배를 사용한 벽체와 1/2배를 사용한 벽체 2종류와 흙벽과의 비교를 위한 시멘트벽과 폴리스티렌으로 구성된 간이벽체로 선정하였으며 표 5-3에 보는바와 같다.

표 5-2 시험조건

시험 번호	초기 조건		설정 조건				차이	
	온도 (℃)	상대습 도(%)	가열실		항온실		온도(℃)	상대습도 (%)
			온도(℃)	상대습도(%)	온도(℃)	상대습도(%)		
1	30	70	45	70	N*	70	+15	-
2	"	"	15	"	"	"	-15	-
3	"	"	0	"	"	"	-30	-
4	"	90	상대습도 90% 조건으로 위 1, 2, 3을 반복					
5	"	50	상대습도 50% 조건으로 위 1, 2, 3을 반복					

* N : 열을 가하지 않음

표 5-3 벽체의 종류

벽체의 명칭	벽체재료의 채취장소	보강 여부	다짐에너지	밀도(t/m ³)
SU	수원	비보강	표준	2.12
PU	발안	비보강	표준	2.11
SR	수원	보강	표준	1.87
PR	발안	보강	표준	1.94
S1	수원	비보강	표준 × 1/2	2.08
S2	수원	비보강	표준 × 2	2.16
CW	시멘트	비보강	-	2.13
TW	폴리스티렌	비보강	-	0.07

제 4 절 시험 결과

1. 일반적인 경향

가열실과 항온실의 초기조건을 온도 30℃, 상대습도 70%로 설정하였는데 그 이유는 여름철 보통 외기온도가 30℃ 안팎이며 상대습도는 60~80%를 유지하고 있기 때문이다. 실험이 진행되는 동안 실험실내외의 여름철 외기를 측정 한 결과 실내기온이 30±3℃, 상대습도가 60~70%를 나타내었다.

그림 5-5, 5-6, 5-7은 가열실과 항온실의 초기조건을 온도 30℃, 상대습도 70%로 설정하였을 경우 가열실의 온도를 각각 변화시켰을 때의 결과를 나타낸다. 그림 5-8은 그림 5-6과 같은 조건에서의 시간에 따른 습도변화를 나타낸다. 항온실의 온도는 시간이 지남에 따라 서서히 증가 또는 감소하다가 어느 순간부터 일정해지는 경향을 보이는데 이때를 열평형 상태(heat equilibrium)라고 한다.

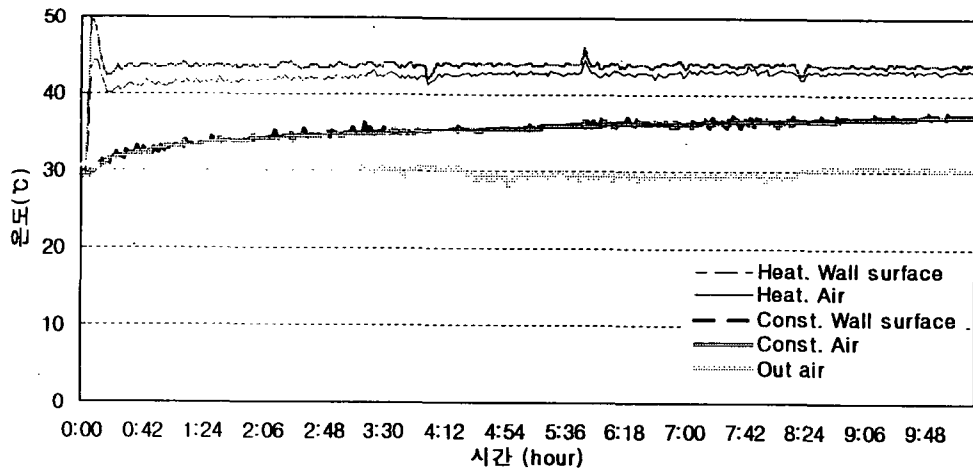


그림 5-15 시간에 따른 온도변화 (SU, 온도=45 °C)

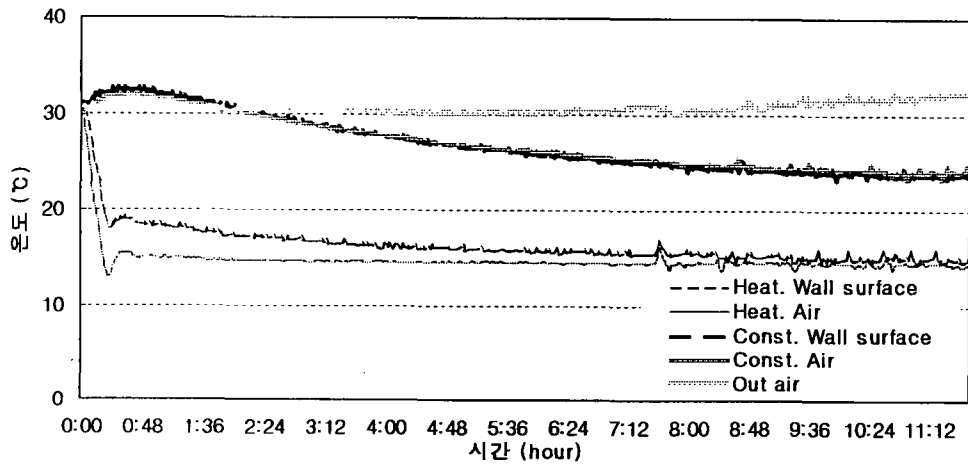


그림 5-16 시간에 따른 온도변화 (SU, 온도=15 °C)

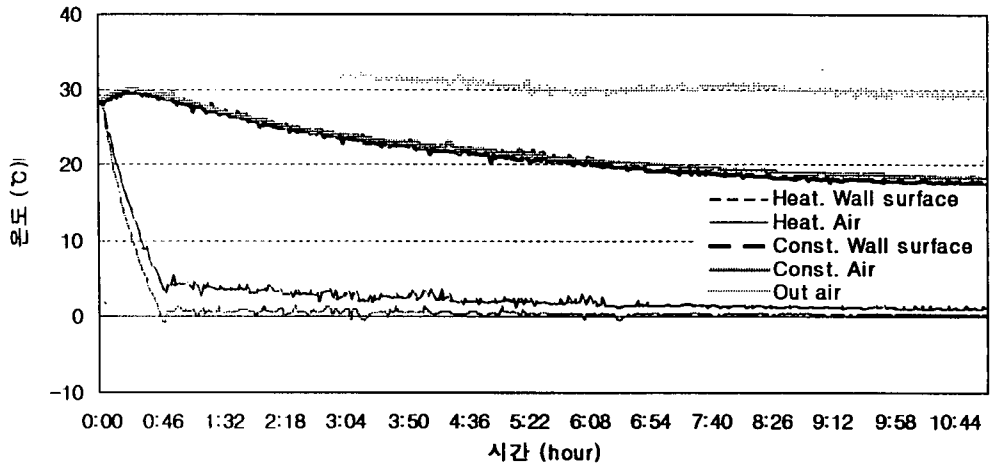


그림 5-17 시간에 따른 온도변화 (SU, 온도=0 °C)

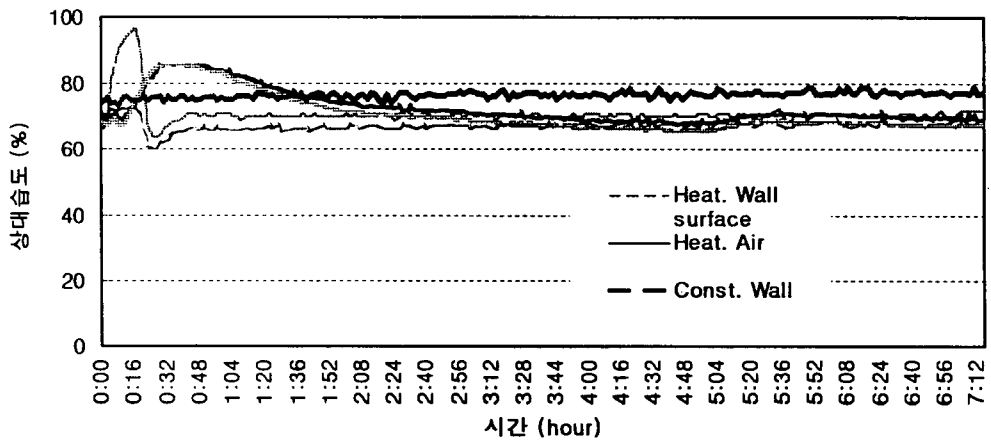


그림 5-18 시간에 따른 상대습도 변화 (SU, 온도=15 °C)

2. 흙의 종류 및 보강재의 영향

표 5-4는 흙의 종류 및 보강여부에 따른 흙벽의 열전도율을 나타낸 경우이며 이때의

상대습도는 70%이다. 대체로 온도가 낮아질수록 열전도율(k) 및 열관류율(U)이 낮아지는 경향을 보여준다. 또한 45℃에서는 수원시료를 사용한 벽체가 발안시료를 사용한 벽체보다 k와 U값이 크게 나타난다.

표 5-4 흙벽체의 종류와 설정온도에 따른 열전도율과 열관류율 (상대습도=70%)

종류	SU			PU			SR			PR		
	45	15	0	45	15	0	45	15	0	45	15	0
설정온도(℃)	45	15	0	45	15	0	45	15	0	45	15	0
열전도율,k (W/m·K)	0.21	0.14	0.07	0.18	0.14	0.09	0.17	0.16	0.08	0.17	0.15	0.08
열관류율,U (W/m ² K)	1.2	0.82	0.44	1.04	0.81	0.53	0.99	0.95	0.47	1.10	0.87	0.45

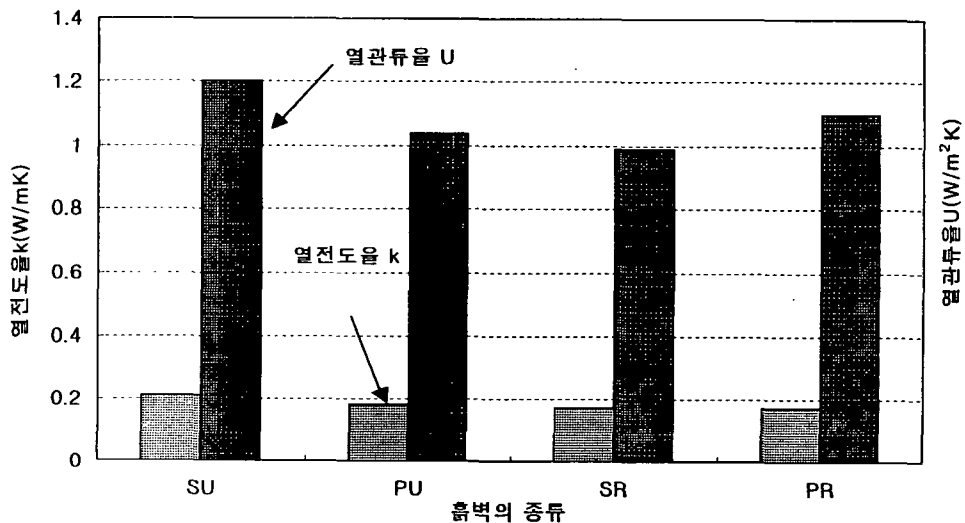


그림 5-19 흙벽체의 종류에 따른 열전도율과 열관류율 (설정온도=45℃)

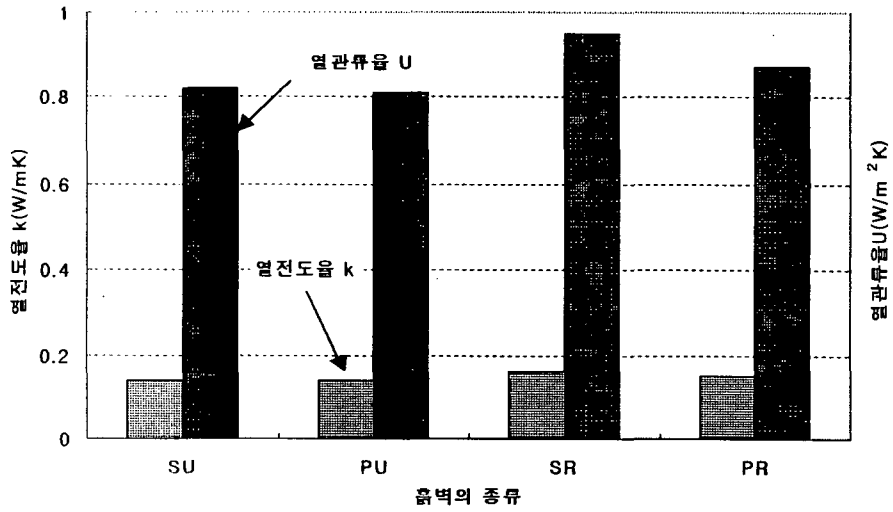


그림 5-20 흙벽의 종류에 따른 열전도율과 열관류율 (설정온도=15℃)

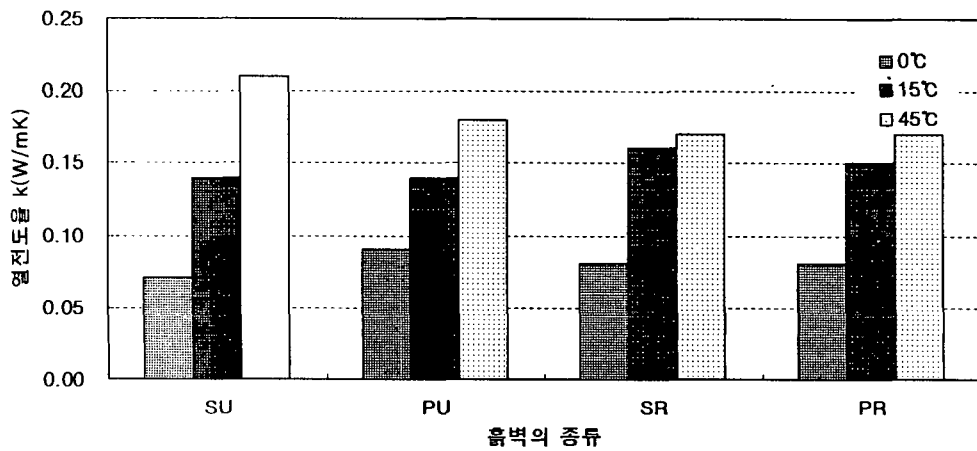


그림 5-21 흙벽의 종류에 따른 열전도율

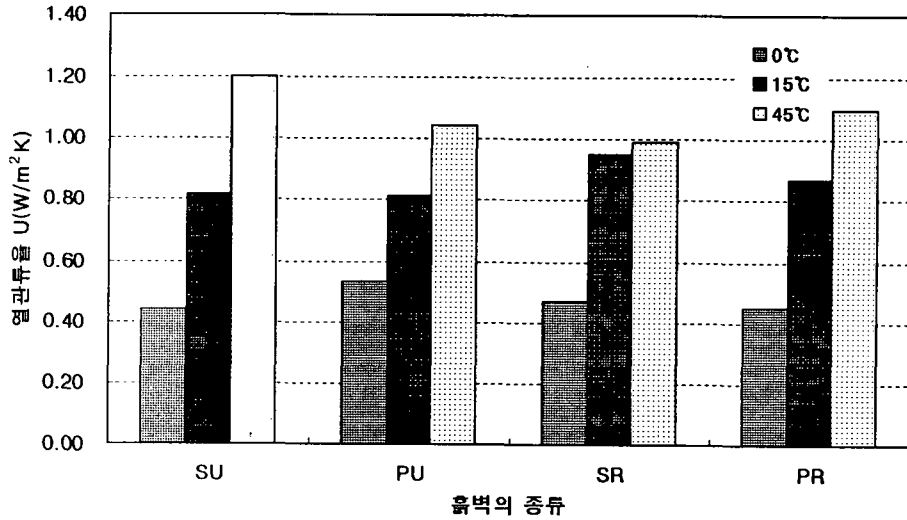


Fig. 5-22 흙벽의 종류에 따른 열관류율

그림 5-19, 20은 상대습도 70%이고 설정온도가 각각 45°C, 15°C일 때, 벽체의 종류에 따른 열전도율 및 열관류율을 나타낸 것이다. 그림 5-19에서는 점토질 시료인 SU, SR이 모래질 시료인 PU, PR보다 열전도율, 열관류율 값이 크게 나타난다. 그림 5-20에서는 큰 차이는 나지 않지만 SR이 PR보다는 열전도율, 열관류율이 큰 값을 나타낸다. 이 두 그림으로부터 점토질 시료를 쓴 벽체가 모래질 시료를 쓴 벽체보다 열전도율이 크다는 것을 알 수 있다. 이는 점토가 모래보다 열전도율이 크기 때문으로 사료된다.

다음으로 보강재를 사용한 벽체와 보강재를 사용하지 않은 벽체의 경우 그림 5-19에서 보는 바와 같이 45°C조건에서는 비보강벽체가 보강벽체보다 열전도율, 열관류율 값이 높다는 것을 확연히 알 수가 있지만, 그림 5-20에서 보는바와 같이 15°C조건에서는 반대로 보강벽체가 비보강벽체보다 열전도율, 열관류율 값이 크다는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 섬유는 절연체로써 열전도율이 0.04~0.7(W/mK)의 낮은 열전도율을 나타낸다. 이 두 그림으로부터 비보강 벽체가 보강 벽체보다 온도(45 °C와 15 °C)에 따른 열전도율 및 열관류율의 편차가 큰 것으로 사료된다. 따라서 보강재를 사용하면 외기온의 온도변화에 대해 보온성을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 상대습도의 영향

그림 5-23, 24는 상대습도에 따른 열전도율 및 열관류율의 변화를 나타낸다. 설정온도에 관계없이 대체로 상대습도가 증가할수록 열전도계수 및 열관류율은 증가하고 있다. 상대습도가 90%인 경우 공기중 수증기의 양이 많으므로 45℃와 같은 고온일 때는 수증기 물분자의 운동이 매우 활발하게 일어나 열전도가 크게 일어나는 반면 상대습도가 50%로 낮은 경우 공기중 수증기의 양이 많지 않아 물분자의 운동이 저하됨에 따라 열전도가 낮게 일어난다고 사료된다. 대체로 상대습도가 높은 여름철보다 상대습도가 낮은 겨울이나 봄, 가을의 경우가 벽체의 열전도율 및 열관류율이 낮음을 알 수 있다. 따라서 상대습도가 벽체의 열전달 특성에 큰 영향을 미치고 있음을 보여준다.

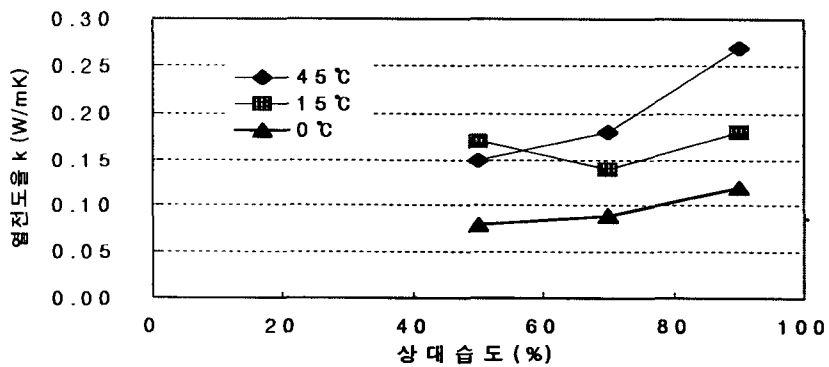


그림 5-23 상대습도에 따른 열전도율 (PU)

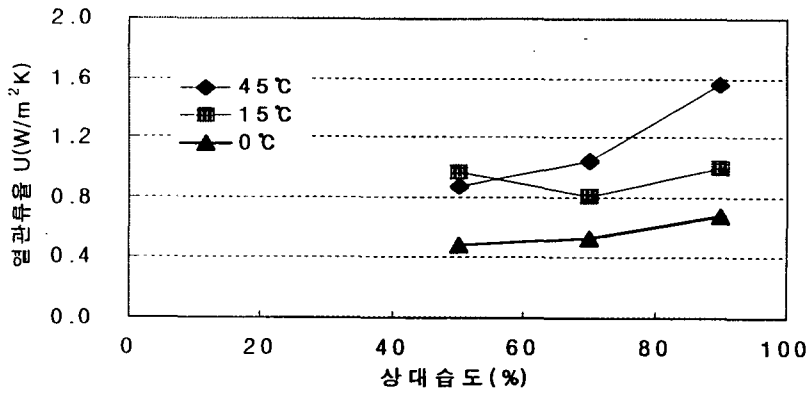


그림 5-24 상대습도에 따른 열관류율 (PU)

4. 온도의 영향

모든 물체들은 재료의 특성에 따라 온도에 따라 열전도율이 높고 낮아지는 경우가 있다. 예를 들어 알루미늄의 경우는 온도가 증가할수록 열전도율은 낮아지는 경향이 있으며 강철의 경우는 온도가 증가할수록 열전도율은 높아진다. 일반적으로 흙은 점토나 모래 모두 온도가 증가할수록 열전도율은 증가한다.

그림 5-25, 26은 설정온도에 따른 열전도율 및 열관류율을 나타낸다. 대체로 모든 벽체의 경우 온도가 높아질수록 열전도율 및 열관류율은 증가함을 알 수 있다.

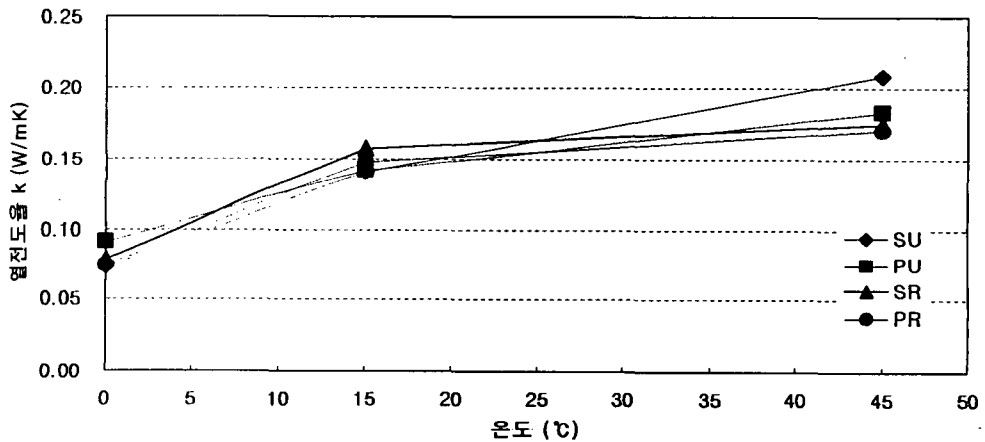


그림 5-25 설정온도에 따른 열전도율 (상대습도=70%)

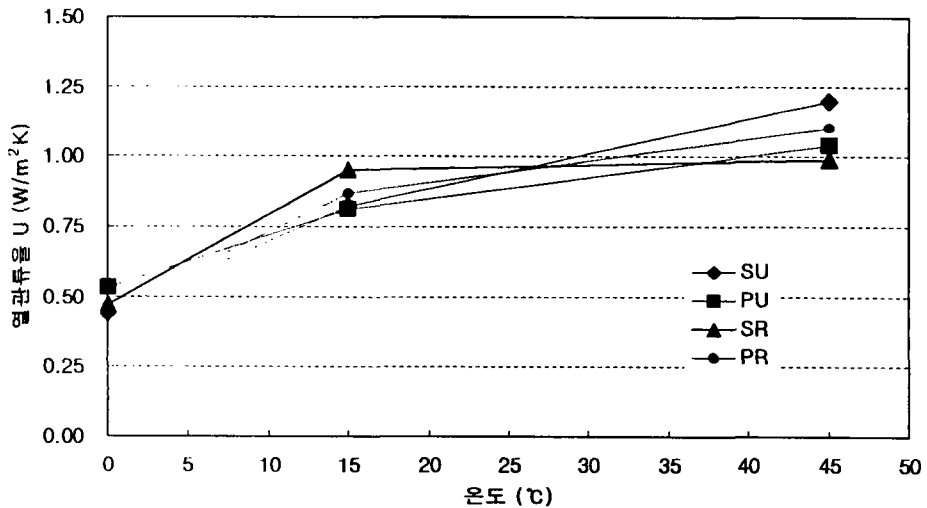


그림 5-26 설정온도에 따른 열관류율 (상대습도=70%)

5. 벽체 밀도의 영향

벽체 밀도의 영향을 알아보기 위해 동일한 재료의 벽체를 제작할 때 다짐 시 다짐에너지를 달리하였다. 표준다짐에너지로 다져서 만든 벽체는 건조시의 단위중량이 2.12 t/m^3 이며 표준다짐에너지의 두 배로 다진 벽체의 건조시 단위중량은 2.16 t/m^3 이다. 단위중량이 더 큰 벽체가 밀도가 더 크게 되므로 벽체의 흙입자들이 밀도가 작은 벽체보다 더 조밀하게 다져졌다는 것을 말한다. 일반적으로 밀도가 더 큰 흙이 밀도가 작은 흙보다 열전도율이 더 높게 나오는 것으로 알려져 있다. 본 시험에서도 아래 두 그림에서 보듯이 모든 설정온도에서 단위중량이 더 큰 벽체가 열전도율 및 열관류율이 더 큰 값을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 벽체의 밀도가 더 작은 벽체가 열전도율 및 열관류율이 낮아 보온성면에서는 더 낫다고 할 수 있다.

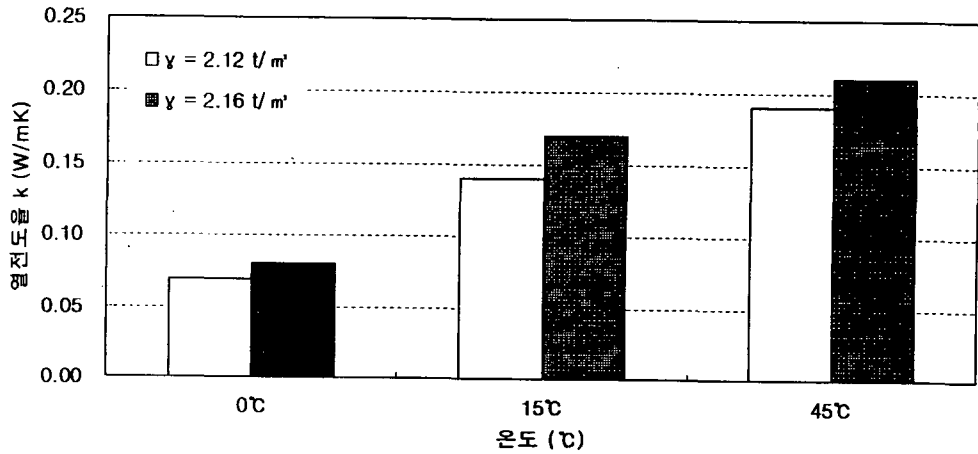


그림 5-27 벽체의 밀도에 따른 열전도율 (상대습도 = 70%)

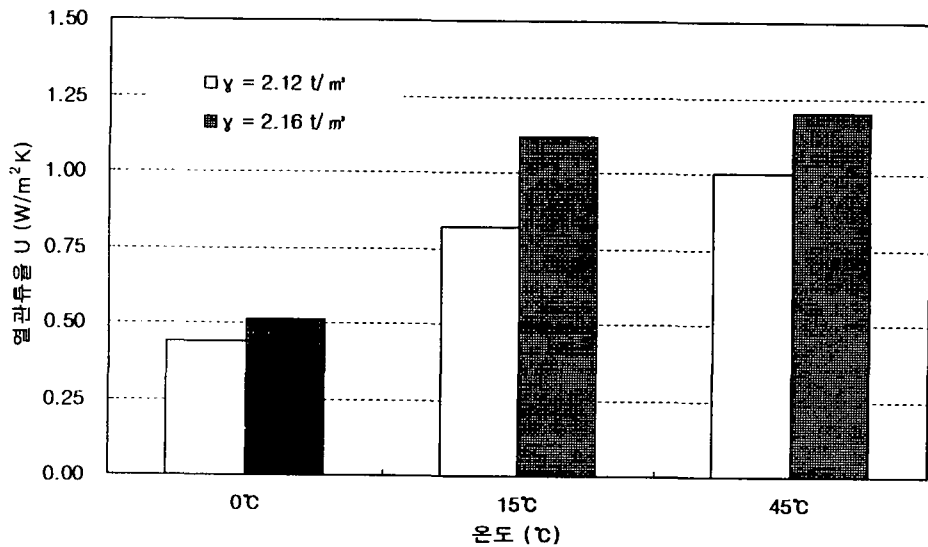


그림 5-28 밀도에 따른 열관류율 (상대습도 = 70%)

6. 다른 벽체(시멘트벽체, 간이벽체)와의 비교 실험

일반적으로 콘크리트의 열전도율은 $1.40 \sim 1.5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 이며 시멘트 모르타의 열전도율은 $1.2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 이다. 표 5-5는 일반적인 재료들의 열전도율을 나타낸다.

표 5-5 대표적인 재료의 열전도율

재료	온도 (K)	열전도율, $k(W/m \cdot K)$
아스팔트	300	0.062
점토	300	1.3
모래	300	0.27
유리판	300	1.4
알루미늄	300	237
스테인레스스틸	200	15.1
	300	17.3
종이	300	0.180
석고	300	0.17

시험에 쓰인 시멘트벽체는 시멘트벽돌을 조적하였고 시멘트모르터를 사용하여 벽체 표면을 외장처리하였으며 그림 5-29에서 보는 바와 같다. 간이벽체는 일반적으로 시판되어 나오는 발포 폴리스티렌으로 이루어진 벽을 사용하였다.

시멘트벽체를 실험한 결과 설정온도 15℃와 상대습도 70%일 때, 열전도율은 1.25 W/m℃, 열관류율은 1.18 W/m²℃로 나타났으며 간이벽체의 열전도율은 0.14, 열관류율은 0.91로 나타났다. 이들 결과치를 흙벽의 열전도율 및 열관류율과 비교한 결과가 그림 5-30, 31과 같다.

그림 5-30은 상대습도 70%, 설정온도 15℃일 때의 벽체의 종류에 따른 열전도율 및 열관류율을 비교한 그림이다. 여기서 흙벽들의 열관류율은 시멘트벽보다 낮게 나타나고 있다. 그리고 그림 5-32의 열전도율을 비교한 그림에서도 흙벽들의 열전도율이 시멘트벽보다 대체로 낮은 값을 보이고 있으며 발안시료를 쓴 비보강 벽체(PU)는 간이벽체와 비슷한 값을 보이고 있다.

그림 5-31은 상대습도 90%, 설정온도 45℃일 때의 벽체의 종류에 따른 열전도율 및 열관류율의 비교를 나타낸다. 이 그림에서는 흙벽의 열전도율 및 열관류율 값이 시멘트

벽보다 낮고 간이벽체보다 높은 것을 알 수 있다.

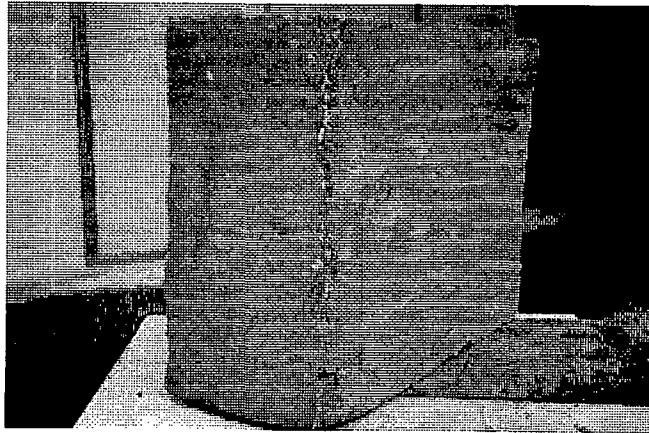


그림 5-29 시멘트벽체 모습

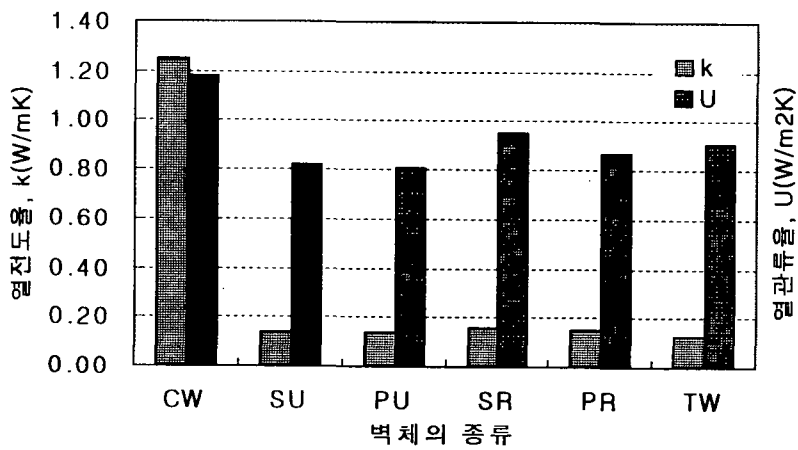


그림 5-30 벽체의 종류에 따른 열전도율과 열관류율 (설정온도=15°C, 상대습도=70%)

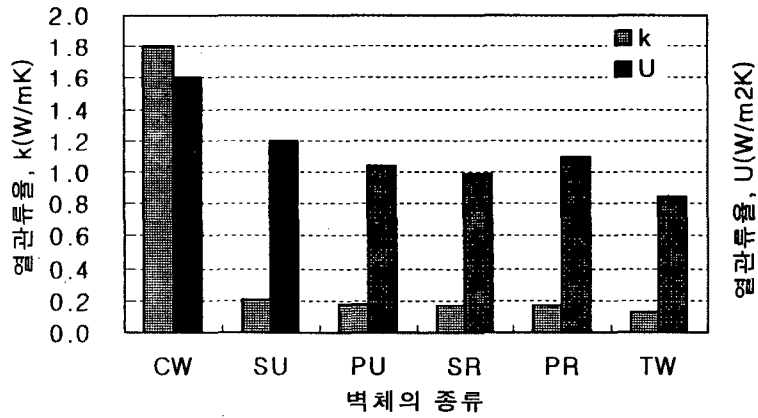


그림 5-31 벽체의 종류에 따른 열전도율과 열관류율 (설정온도=45°C, 상대습도=90%)

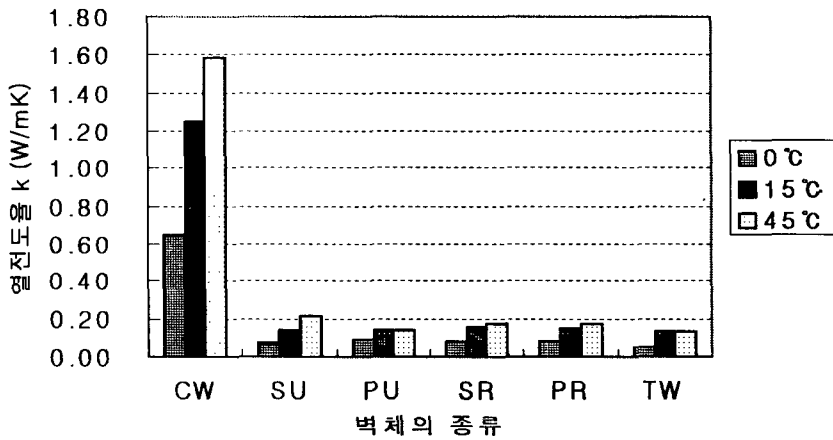


그림 5-32 벽체의 종류에 따른 열전도율 (상대습도=70%)

그림 5-32에서 흙벽이 시멘트벽체보다 대부분 열전도율이 낮게 나타나 흙벽이 시멘트벽체보다 단열이 더 잘되고 보온성이 크다고 판단할 수 있다.

제 5 절 요약 및 결론

흙벽의 열전도 특성을 파악하기 위해 열전도 특성에 영향을 미치는 여러 요인과 벽체의 종류에 따라 실험을 실시하였다. 열전도 특성에 영향을 주는 요인은 흙의 종류 및 보강재 사용여부, 흙벽의 밀도, 상대습도, 온도 등이 있다. 벽체의 종류는 점토질 시료와 모래질 시료의 두가지 시료를 사용한 벽체와 보강재를 사용한 벽체, 보강재를 사용하지 않은 벽체와 시멘트 및 간이벽체로 구분된다.

벽체의 종류에 따라서는 상대습도 및 설정온도에 따라 서로 다른 경향을 나타내고 있으며 일반적인 결론은 다음과 같다.

1. 모래질 시료를 사용한 흙벽이 점토질 시료를 사용한 흙벽보다 열전도율 및 열관류율이 낮게 나와 보온성이 더 크다.
2. 보강재를 사용한 흙벽이 보강재를 사용하지 않은 흙벽보다 온도에 따른 열전도율 및 열관류율의 변화가 더 작으며 외기온의 변화에 대한 보온성을 잘 유지할 수 있다.
3. 흙벽의 밀도가 큰 벽체가 낮은 벽체보다 열전도율 및 열관류율이 더 높은 값을 보이며 따라서 밀도가 낮은 벽체의 보온효과가 더 좋다고 할 수 있다.
4. 상대습도가 증가할수록 벽체의 열전도율 및 열관류율은 증가하므로 상대습도가 낮은 경우가 벽체의 열전도율 및 열관류율이 낮다.
5. 온도가 증가할수록 벽체의 열전도율 및 열관류율은 증가한다.
6. 흙벽의 열전도율 및 열관류율은 시멘트벽보다 낮고 간이벽체보다 높은 값을 나타내었으나 열관류율은 큰 차이를 보이지 않지만 흙벽이 시멘트벽과 간이벽체의 중간 값을 나타내었다.

제 6 장 보강흙벽의 경제성 분석

제 1 절 서론

본 장에서는 보강토를 이용함으로써 발생하는 경제적인 이점을 정리하고, 이를 통하여 본 연구에서 제작한 보강흙벽돌 및 벽체의 경제성을 고찰하고자 한다. 먼저 보강토를 사용해서 일반적으로 얻을 수 있는 경제적 이점을 알아보고, 예측비용 및 총비용 등의 측면에서 그 경제성을 고찰하였다. 마지막으로 본 연구에서 제작한 보강흙벽돌 및 보강흙타일의 제작단가를 타제품과 비교하여 그 경제성을 비교하였다.

제 2 절 보강토의 경제적 이점

보강토를 이용함으로써 얻어지는 첫째 이점은 개념상으로 활용가능한 것을 이상화할 수 있다는 것이다. 일반적으로는 약하거나 경제적인 이유에서 불가능한 구조형식을 가능하게 하고 경제적으로 만들 수 있다는 데 있다. 경제적 이익을 가능케 하는 한 예가 그림 6-1에 설명되어 있다. 여기서 지반보강기법을 사용함으로써 해결되는 총비용은 말뚝기초를 사용함으로써 요구되는 전형적인 해결비용의 절반정도이다.

보강토 구조가 항상 다른 구조형식과 비교할 때 경제적인 것은 아니지만 유리한 상황에 놓여있는 많은 기존의 현장에서 경제성을 확보할 수 있다. 그림 6-2는 영국 (United Kingdom)의 한 연구기관에 의해 얻어진 기존형식의 구조물에 대한 보강토 구조물의 상대 비용을 나타낸다. 한편 그림 6-3은 보강토 구조물이 다른 구조형식과 대체 되었을 때 얻어지는 경제적인 범위를 설명하고 있다. 그림 6-3에서 경제성은 다음 식과 같다.

$$\text{경제성} = \frac{(\text{기존비용}) - (\text{보강토비용})}{\text{보강토비용}} \times 100 \quad (6-1)$$

그림 6-2 와 그림 6-3에서는 비용비교에 있어서 부정확한 현상을 나타내고 있다.

시장원리에 따라 보강토 구조물의 총비용은 “무엇이 시장을 지배할 것인가”의 원리를 반영할 것이다. 경쟁이 증가함에 따라 비용은 감소할 것이다.

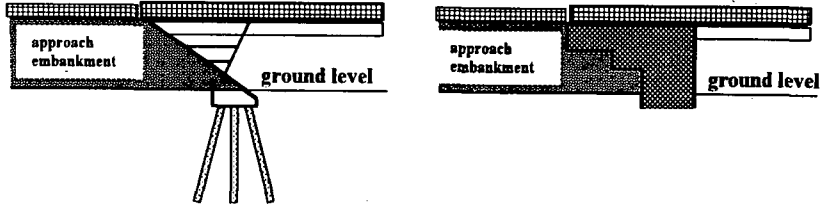


그림 6-1 일반적인 파일과 보강토 구조물의 비교

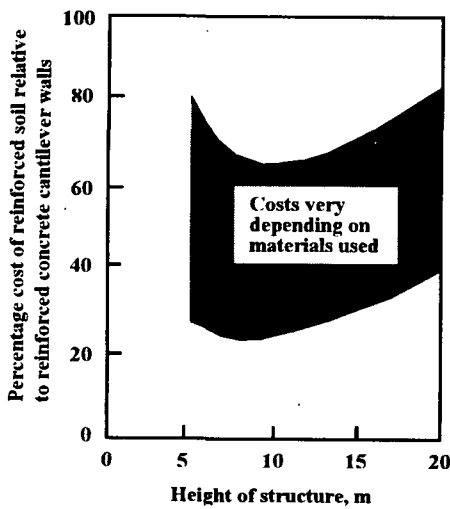


그림 6-2 보강토에 대한 비용 data

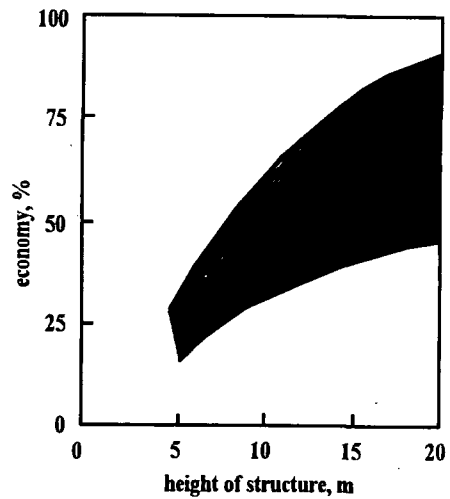


그림 6-3 보강토의 경제성

제 3 절 예측비용과 총 비용

1. 예측비용

장래계획을 수립함에 있어 비용을 예측하여 유도하는 작업은 설계작업에 있어 중요

한 요소이다. 단순하면서도 상당히 신뢰성 있는 예측시스템은 기본적인 예상 기간에 해당하는 모든 비용을 적용시킬 수 있고 인플레이션과 건설사업비용을 포함하여 수정된 비용지수를 사용할 수 있다. 표 6-1과 그림 6-4는 벽과 교대에 대하여 예측하기 위한 목적으로 이용될 수 있는 기준 비용과 비용지수(CI)를 보이고 있다. 이중에 그림 6-4는 평가와 비교를 목적으로 기준비용물가에 대해 사전 계획물가를 감소시키는데 이용될 수 있다. 그림 6-4는 다음과 같이 표현된다.

$$CI = (0.35L + 0.12P + 0.1C + 0.07SG + 0.1T + 0.07F + 0.195S) \times 170 \quad (6-2)$$

(L:노동, P:설비, C:시멘트, SG: 모래와 자갈, T:부드러운 목재, F:디젤연료, S:강철)

$$\text{마무리 치장면 제곱미터(m}^2\text{)당 예측비용} := \text{£} \left(\frac{\text{기본비용} \times CI}{100} \right) \quad (6-3)$$

표 6-1 옹벽과 교대의 비용산정에 대한 기본비용

	1956 base cost of face (£/m ²)	Notes
Piled base	20	Base cost relates to North England construction: costs elsewhere many differ
Reinforced concrete retaining wall	20-25	Base cost is for plain concrete structures
Reinforced soil retaining wall	15-20	Piled base assumes three rows of piles to a depth 10-20m
Reinforced concrete abutment	30-35	Use of reinforced soil abutment may entail 2-4 m increase in dock span
Reinforced soil abutment	20-25	Abutment costs do not include wing walls or excavation costs The cost of the reinforced soil structure includes the cost of fill, whereas the reinforced concrete retaining wall excludes the cost of fill The fill requirements for a vertically faced soil structure may be less than the volume required for a conventional structure, (그림6-5)

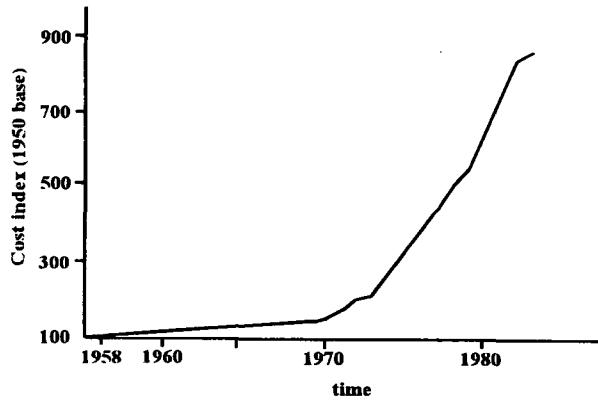


그림 6-4 교량작업과 관련된 비용지수

2. 총 비용

보강토 구조물의 총비용은 다음과 같은 비용요소로 구성되어 진다.

- 채움재, Cs
- 보강 관련 요소, CR
- (요구되는) 마무리 치장면 요소, CF
- 운반 및 건설인력, CL
- 운반 재료, CT
- (배수, 횡재(관석), 담장과 같은 모든 보조 항목을 포함하는) 공사, CC
- 재료시험, CMT
- 이익, P

이렇게 해서, 총 비용은 다음의 식 6-4와 같다.

$$TC = \text{£} (CS + CR + CF + CL + CT + CC + CMT + P) \quad (6-4)$$

계약조건에 따라 식 6-4에서 처음 3가지 요소는 줄일 수 있지만 노동을 포함한 운반과 보조비용은 포함된다.

$$TC = \text{£} (C'S + C'R + C'F) \quad (6-5)$$

여기에서

$C'S$: 운반, 다짐과 재료시험을 포함한 채움재의 비용

$C'R$: 운반과 설치를 포함한 보강재의 비용

$C'F$: 운반과 조립을 포함한 마무리 치장면 비용. 이익이 포함된다.

식 6-4에 포함된 요소들은 서로 밀접한 관계가 있고 구조물 총비용의 최소치는 각각의 상황에서 가장 적합한 요소들을 조합함으로써 산출되어 진다. 예를 들어, 재료시험 시스템이 필요하지 않다면, 시험요소를 제외한 보강요소들의 사용은 비록 보강요소가 상당히 비싸다 할지라도 경제적인 해결책을 제공할 수 있다. 같은 맥락에서 현지반토나 석탄회나 미분탄같은 폐기물의 이용이 가능한 건설요소의 조합은 경제적으로 관심을 끌게 될 것이다.

제 4 절 비용분배

1. 설계시 고려사항

식 6-5에 주어진 기본적인 분석을 이용함으로써 비용요소의 분배는 구성재료간의 상대비용 뿐만 아니라 구조물의 규모를 다양화시킬 수 있다는 설명을 가능하게 한다.

식 6-5의 3가지 요소에 대한 상대비용 추정은 다음과 같다.

○ 단위체적(m^3)당 채움재	1.0
○ 단위표면적(m^2)당 보강 요소	1.5
○ 단위 마무리치장면 당 마무리치장면 요소	10.0

그리고 여기서 보강토 구조의 폭(B)과 높이(H)가 같다($B=H$)고 규정하면 옹벽 수직면

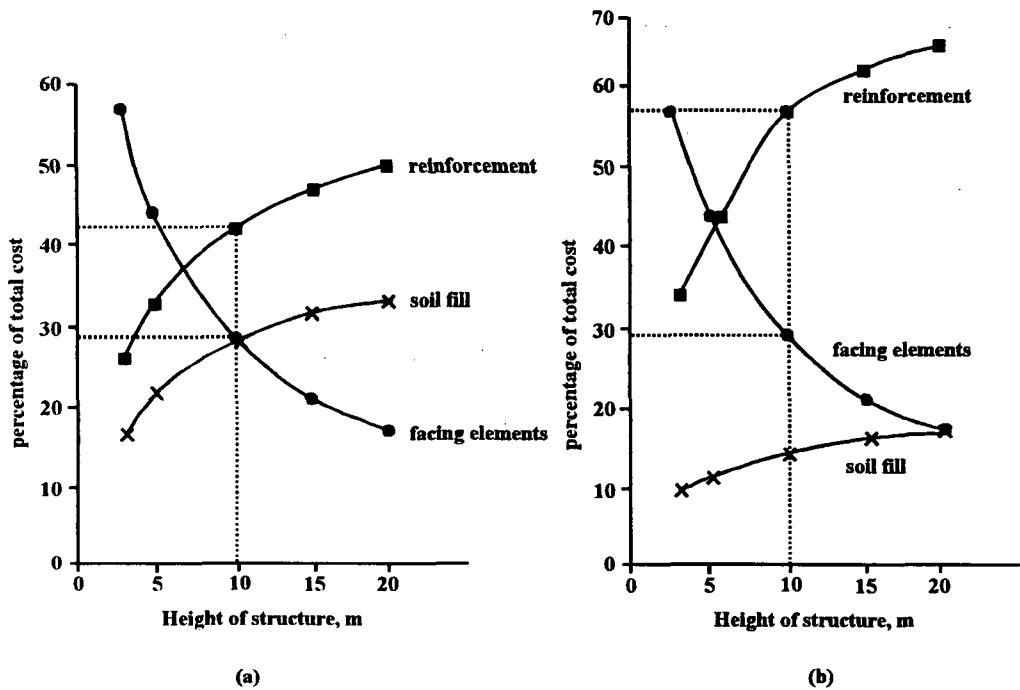


그림 6-5 (a) 와 (b)

그림 6-5(a)와 (b)는 또한 건설 규모나 크기는 비용에 의해 영향을 받는다는 것을 설명한다. 즉 좀더 낮은 높이의 구조물에서는 전체비용에서 마무리 치장면에 대한 비용의 영향이 지배적이 된다. 작은 구조물에서는 마무리치장면을 위해 요구되는 재료는 그림 6-3에서 지적된 것과 같이, 전형적인 구조에서 요구되는 것과 같은 재료를 요구하게 될 것이다. 낮은 높이에서는 보강토 구조의 경제적 이익을 유지시키기 위하여 마무리 치장면의 요소비용을 줄이는 것이 필요한데, 성공적으로 알려진 한가지 방법은 일반적으로 작은 규모의 건설이나 건축 기법과 연관된 석공기술이나 외장벽들을 이용하는 것이다.

계획의 규모와 관계된, 종합 비용에 대한 2번째 영향은 구조물을 건설하기 전의 계약상의 조정이다. 몇몇 개개의 구조물과 높이 3m이하의 구조물에 있어서는, 노동의 필요성이 낮고 보강토 구조의 경제적인 건설은 단지 주 도급자, 지방 도급자 또는 직접 노무관리에 의해서만 얻어질 수 있다는 사례가 있다는 점에서 전문 하청업자를 사용하는

것은 비경제적이다.

2. 건설시 고려사항

기존에 실시되고 있는 구조물에 있어서 채움재의 판정과 다짐은 건설작업에서 배제시킬수도 있다. 보강토는 그림 6-6에서 보인 한 연구에서처럼 건설비용의 분배에서 마찬가지로 채움재 요소를 배제한 채 수행된다. 기존에 실시되고 있는 구조물에 사용되는 구조적 채움재의 부피는 보강토구조물에서 사용되는 부피를 초과한다. (그림 6-7)

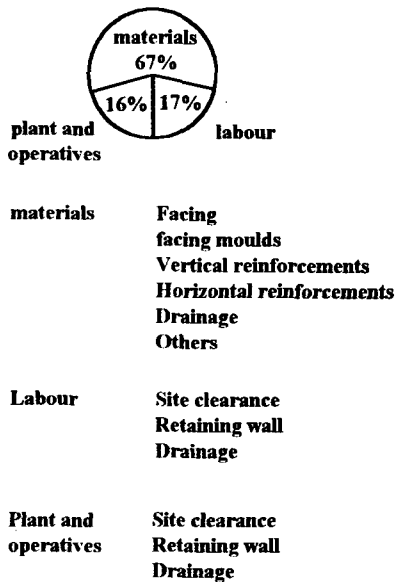


그림 6-6 건설비용의 분배

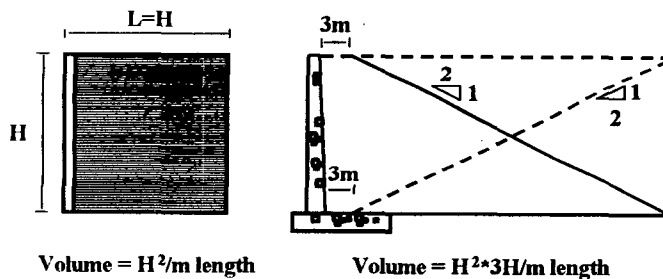


그림 6-7 보강토 구조물과 콘크리트 구조물에 필요한 채움재의 부피

3. 착수비용과 경쟁

보강토 건설의 지배요소는 마무리치장제품과 관련된 착수비용이라 할 수 있고, 비록 새로운 형태의 보강토가 설계자들에 의해 개발된다 할지라도 기존에 존재하는 특허체계와 비용면에서 경쟁이 되지 않을 수도 있다. 이것이 의미하는 것은 경쟁체제에 들어가기 어렵게 될 수 있고, 경쟁이 없이는 보강토의 비용은 시장원리에 의해 상승하기 쉽다는 것이다.

보강토로 특허(소유,독점)체계와 경쟁력 있는 기업내부 설계를 만들기 위한 2가지 가능성이 있는 접근법이 있다. 첫 번째는 새로운 시스템의 사용을 의무적으로 만드는 것이다. 이러한 접근법에 있어 새로운 마무리 치장면과 관련된 개발비용은 모든 도급자가 새로운 마무리 치장면을 준비해야만 하기 때문에 효과적으로 제거된다. 이것은 미국의 Georgia 운송국에서 사용했던 접근법이다. Georgia에서는 특허용 보강토구조물의 초기 비용은 ft^2 당 \$28라는 것을 발견했다. 하지만 경쟁력의 부족으로 ft^2 당 \$40로 빠르게 상승했다. 1981년의 Georgia 안정지반시스템(GASE)의 도입은 기업내부시스템에 대안을 제시했다. 이 시스템은 마무리 치장면 설비의 증가와 더불어 California에 있는 CALTRANS에 의해 생산된 용접된 와이어 그리드 보강재의 사용에 기초가 되었다. GASE 성공의 결정적인 주역은 미연방도로국에서 시범사업으로서 추진한 Interstate 75에서 구조물중 하나를 GASE를 이용하기로 결정한 일이었다. 이곳에서는 모든 입찰에 의무적으로 GASE 시스템을 사용하도록 하였다. 그것에 의하여 새로운 마무리치장면설비계획을 위한 거푸집제품과 연관된 초기 착수비용의 잠재적인 문제점을 극복할 수 있었다.

GASE의 최초의 적용은 18m 높이의 구조물에 대하여 실시되었다. 이 시스템의 장점은 45개의 옹벽을 포함한 Interstate 75개발의 두 번째 단계에서 분명히 나타났다. 성공적인 시범사업에 이어 GASE시스템은 입찰을 따낸 도급자들에 의해 Interstate 75의 모든 벽에 대하여 선택되었는데 그 이유는 특허 시스템에 의해 제공된 것들에 비해 GASE시스템이 저비용이었기 때문이다. GASE시스템의 도입의 결과로 특허시스템의 비용이 감소하게 되었으며, 그로 인해 경쟁은 종합비용을 결정짓는 핵심요소라는 것이 확인되었다. GASE시스템에 의한 경쟁은 특허시스템의 제거를 의미하는 것이 아니라 오

히려 보강토의 이용이 상당히 증가되는 결과를 낳아 이로 인해 모두에게 이익이 되었다. 적용 예는 Georgia 주 Atlanta 에서도 존재하는데 이곳에서는 일부는 GASE 시스템을 이용하여 다리의 교대를 건설하였고 일부는 특허 기술중 하나를 사용하였다.

특허시스템에 대하여 경쟁력을 제공하기 위한 두 번째 접근법은 York 방법에 의한 것인데, 여기에서는 York 방법이 마무리 치장면요소로서 사용하기 적합한 재료로서 결정되었고, 그로 인해 마무리 치장면과 관련된 착수비용을 제거할 수 있었다. 이 접근법을 사용한 최초의 구조물은 이중 T자 형태의 충분히 높은 프리스트레스트 콘크리트판을 이용한 건물이었다. 이러한 판의 전형적인 이용은 중간크기 건물을 건설할 때 바닥설비로서 사용되었다. 이러한 판들은 즉시 이용되었고 많은 수가 사용되었기 때문에 설비비용은 적당하였고 보강토구조물의 비용은 경쟁력이 있었다. 이 결과로 다른 프리스트레스트 바닥설비들이 성공적으로 보강토 구조에 의한 마무리 치장면 형식을 이용하게 되었다. 왕대공(king post)과 가로대(panel)건설 방법은 즉시 이용가능한 재료를 사용하는 개념에 기초한다.

제 5 절 비용격차

채움재의 비용은 현장 이용성과 운반비에 좌우된다. 마찬가지로 마무리 치장재의 비용은 지역성과 관습에 좌우된다. 보강재는 서로 다른 특성과 다양한 비용을 가진다. 그러므로 단위 치장면당 이론적 비용이 한 재료에 대해 재정적 특혜를 제공한다 할지라도 시장상황은 표 6-2와 같이 서로 다른 경향을 보일 수 있다. 모든 제반사항을 지배하는 것은 최소비용을 얻기 위한 필요조건이다.(식 6-4)

표 6-2 단위 치장면당 상대비용

Reinforcement	Relative theoretical cost per unit of face (after Cole, 1978)	Relative actual cost per unit (after Boden et al., 1979)
Aluminium alloy NS 51-H4, BS 4300/8	101	
Aluminium alloy NS 51-H8	77	
Copper C101, BS 2870	346	
Galvanized mild steel KHR 34/2P, BS 1449: Part1	100	100
Galvanized high-yield steel KHR 54/35P, BS 1449: Part1	73	
Cold rolled stainless steel 316516, BS 1449: Part 2	172	205
Hard rolled stainless steel 316516, BS 1449: Part 2	118	
Glass fibre reinforced plastic	271	360
Polyester fibre	211	56-230
Plastic-coated mild steel Grade 43/25		162
Aluminium-coated embossed mild steel Grade CR4 'Aludip'		56

제 6 절 생태학 보고서

지반 보강시스템의 장점을 평가하는 대안적인 방법은 생태학 보고서를 이용하는 것이다. 이러한 접근법의 중요한 장점은 새로운 건설 시스템과 연관되어지는 상업적인 왜곡으로부터 본질적으로 독립되는 것으로서 순비용의 좀더 현실적인 평가를 산출할 수 있는 것이다.

에너지 비용의 증가는 건설재료의 에너지 용량을 포함한 에너지 추정에 흥미를 이끌게 된다. 하지만 에너지는 단지 토목공사(단기간, 장기간, 기타)의 전체적인 효과를 결

정하는데 필요한 생태학적 요소중에 하나이다. 원자재의 부족으로 생겨나는 문제점들에 대한 중요성과 관심이 성장함으로서 환경문제는 채광활동으로 인한 지반과 대기의 오염, 인건비와 운송비 그리고 유지비의 증가 등에 의해 생겨났다. 특정 계획에 이용되는 구조형식의 선정은 이러한 모든 요소들에 영향을 준다. 구조물을 연구하는 학회에 의한 종합비용의 결정은 다음에 열거되는 것들의 생산품들에 필요한 완전 순환과정으로 대표되는 생태학적 요소들을 연구하므로써 유도되어질 것이다.

- 광업
- 원자재
- 처리 산업
- 기초 재료
- 제조/건설 산업
- 제품/건축물
- 생활 필수품
- 쓰레기
- 재활용품

실제적인 면에서 보강토 구조물과 관계되는 생태학적 요소들은 다음과 같다.

- 구조물을 형성하는 재료들에 대한 에너지 용량
- 재료를 가공하는데 필요한 처리수의 양
- 재료를 생산하는데 필요한 지반의 약탈
- 재료가공, 운반, 건설 그리고 유지하기 위한 노무비
- 해체물

철근 콘크리트, 강철보강 그리고 사질토를 사용한 형식의 보강토 구조물의 건설에 관계되는 생태학적 요소는 표 6-3(after Kreijger, 1981)에 설명되어 있다.

그림 6-8은 동등한 철근콘크리트 켄틸레버 옹벽과 비교된 6m 표준 보강토 구조물에 대한 생태학적 요소들을 보인 것이다. 후자가 공인된 옹벽프로그램을 사용하여 개발한 최적설계였음에도 불구하고 보강토 구조물은 생태학적 형태에서 보다 효과적이다. 틀림

없이, 경제적인 요소들은 생태학적 요소들을 바탕으로 하여 최종결과를 나타낸다. 따라서, 그림 6-8은 보강토구조물이 효과적이고 경제성이 있다는 유력한 논증이다.

표 6-3 건설재료의 에너지소비

Material :	
Gravel	0.104 GJ/ton
Sand	0.128 GJ/ton
Ordinary Portland cement (OPC)	8.2 GJ/ton
Blastfurnace cement (HC)	3.0 GJ/ton
Water	0.004 GJ/ton
Mixing of concrete	0.058 GJ/ton
Mild steel reinforcement (bar, grid)	22.8 GJ/ton
Prestressing steel (bar, strand)	28.3 GJ/ton
Plastic (high density polyethylene sheet)	84.0 GJ/ton
Concrete (340 kg HC/m ³)	2.18 GJ/m ³
Concrete (360 kg OPC/m ³)	3.28 GJ/m ³
Concrete tiles and bricks	3.18 GJ/m ³
Consumption of process water in manufacture :	
Concrete	6.30 l/m ³
Steel (reinforcement, prestressing constructional)	55 m ³ /ton
Despoiling from production of materials :	
Concrete	0.69 m ² /m ³
Steel	5 m ² /ton
Pollution-SO₂ emission:	
Concrete	0.37 kg/m ³
Steel	2.00 kg/ton
Dust emission :	
Concrete	1.29 kg/m ³
Aggregate/fill (sand, gravel)	1.1 kg/m ³
Steel	2.7 kg/ton
Labour-material manufacture and transport :	
Concrete	1 man-h/m ³ manufacture: 1.45 man-h/m ³ transport
Steel	10 man-h/m ³ manufacture: 0.6 man-h/m ³ transport

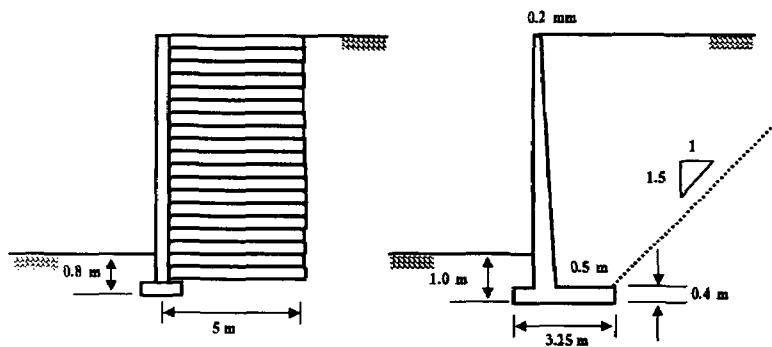
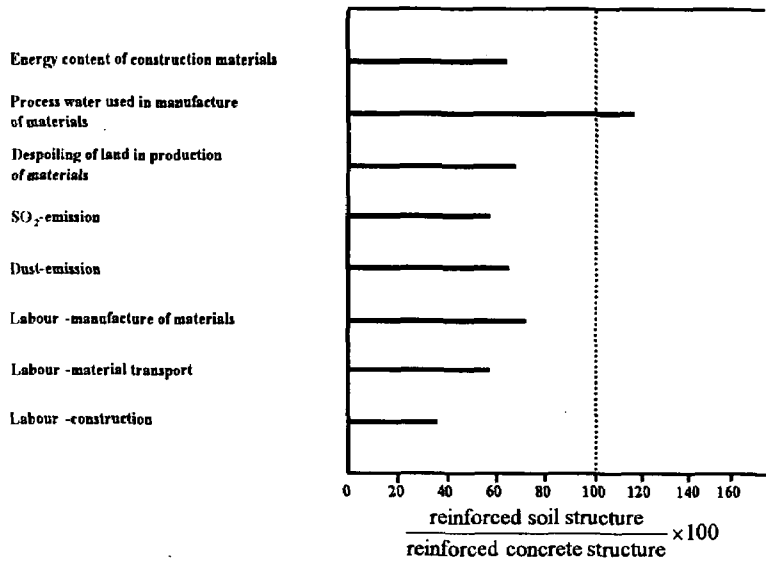


그림 6-8 철근콘크리트 캔틸레버 옹벽과 비교된 6m 보강토 구조물의 생태학적 요소

제 7 절 보강흙벽돌 및 타일 단가 비교

1. 보강흙벽돌

보강흙벽돌(300×150×100mm) 제작에 소요되는 품목은 크게 흙과 보강재이다. 흙은 실트가 다소 포함이 된 점토질 흙이 사용되었으며 보강재로는 섬유, 시멘트, 석회가 사용되었다. 벽돌 1개당 무게는 제작시 9kg, 건조시 7.9~8kg이다. 벽돌단가는 벽돌 제작

시 기준으로 산정하였고 다음 표와 같으며 순수 재료비만 990.48원이다.

표 6-4 건설재료 품목 단가 (99. 3 현재)

품목	규격	단위	단가(원)
건조토(수원시료)	1,700kg/1m ³	-	5,000
보통포틀랜드시멘트	40kg/1포	袋	2,552
생석회 화학용	20kg/1포	M/T	80,000
폴리프로필렌 섬유	망사형 19mm, 900g/m ²	Bag	5,000

표 6-5 보강흙벽돌 1개당(9kg) 사용되는 재료 단가

사용 재료	비율(%)	무게(g)	단가(원)
건조토	-	6,845	20.13
보통포틀랜드시멘트	건조토의 9%	615	39.24
생석회	건조토의 3%	205	820
폴리프로필렌 섬유	건조토의 0.3%	20	111.11
물	건조토의 19.2%	1,315	-
합 계	-	9,000	990.48

이외 기계와 양생실의 부대비용으로 기계 및 시설비, 시료채취 및 운송비, 인건비 등이 포함되어야 할 것이다. 표 6-6은 현재 시판되고 있는 대표적인 타제품 벽돌의 단가를 보여준다.

표 6-6 타벽돌 제품과의 단가 비교(99. 3 현재)

제품	규격	단위	단가(원)
콘크리트벽돌(시멘트벽돌)	190×90×57mm	개	45~50
칼라점토벽돌	230×110×76mm(46/ m ²)	m ²	59,810~62,100
	230×70×76mm(46/ m ²)	m ²	41,400
일반 건축용 점토벽돌 (CRW-01~12)	222×106×73mm(52매/ m ²)	m ²	58,000
미장점토벽돌(TF-1001)	190×90×57mm	개	170
바닥점토벽돌(TF-5000)	230×114×60mm	개	850
민속점토벽돌(TF-1000)	190×90×57mm	개	250
한식점토벽돌 (적벽돌-SI7005)	190×90×57mm	개	400

2. 보강흙타일

보강흙타일(300×300×25mm)에는 흙과 보강재로는 시멘트만을 사용하였다. 품목 단가는 다음 표 6-7과 같고 재료비만 30.48원이 든다. 표 6-8은 타제품의 단가를 비교한 것이다.

표 6-7 보강압축흙패널 1개당(4.5kg) 사용되는 재료 단가

사용 재료	비율(%)	무게(g)	단가(원)
건조토	-	3,510	10.32
보통포틀랜드시멘트	건조토의 9%	316	20.16
물	건조토의 19.2%	674	-
합 계	-	4,500	30.48

표 6-8 타패널 제품과의 단가 비교(99. 3 현재)

제품	규격	단위	단가(원)
내장타일(자기질)	100×100×8mm	m ²	17,000
	150×150×9mm	m ²	21,000
	300×300×10mm	m ²	27,000
바닥타일(자기질)	150×150×7mm	m ²	8,000
	300×300×8.5mm	m ²	10,200
석재타일(자기질)	300×300×20mm	m ²	38,500
세라믹 내마모타일	100×100×10mm	m ²	9,760
테라조타일	300×300×30mm	m ²	16,500

제 8 절 요약 및 결론

1. 보강토 구조가 항상 다른 구조형식과 비교할 때 경제적인 것은 아니지만 유리한 상황에 놓여있는 많은 기존의 현장에서 경제성을 확보할 수 있다.
2. 보강토 구조물의 비용예측을 위해 비용지수(cost index)에 대한 식을 제시하였다.
3. 총비용은 채움재(Cs), 보강 관련 요소(CR), (요구되는) 마무리 치장면 요소(CF), 운반 및 건설인력(CL), 운반 재료(CT), (배수, 횡재(관석), 담장과 같은 모든 보조 항목을 포함하는) 공사(CC), 재료시험(CMT), 이익(P)의 총합이다.
4. 채움재의 비용은 현장 이용성과 운반비에 좌우되며, 마무리 치장재의 비용은 지역성과 관습에 좌우된다. 또한 보강재는 서로 다른 특성과 다양한 비용을 가지고 있다.
5. 지반 보강시스템의 장점을 평가하는 대안적인 방법은 생태학 보고서를 이용하는 것이다. 이러한 접근법의 중요한 장점은 새로운 건설 시스템과 연관되어지는 상업적인 왜곡으로부터 본질적으로 독립되는 것으로서 순비용의 좀더 현실적인 평가를 산출할 수 있는 것이다.
6. 보강흙벽돌(300×150×100mm) 제작에 소요되는 품목은 크게 흙과 보강재이다. 흙

은 실트가 다소 포함이 된 점토질 흙이 사용되었으며 보강재로는 섬유, 시멘트, 석회가 사용되었다. 벽돌 1개당 무게는 제작시 9kg, 건조시 7.9~8kg이다. 벽돌단가는 벽돌 제작시 기준으로 산정하였고 순수 재료비만 990.48원이다.

7. 보강흙타일(300×300×25mm)에는 흙과 보강재로는 시멘트만을 사용하였고 재료비는 30.48원이다.

제 7 장 보강흙벽체의 재료 및 시공에 대한 제안

제 1 절 서론

보강흙벽체를 시공하고자 하는 경우, 먼저 보강흙벽들을 제작하고 벽체를 시공의 순서로 진행된다. 이러한 과정에서 보강재료의 적절한 혼합 및 벽체의 시공에 대한 제안을 하고자 한다. 본 장에서 먼저 보강흙벽들을 제작을 위하여 동결융해에 의한 강도의 감소 및 벽들의 체적변화를 최소화할 수 있는 재료의 적정혼합조건을 제시하고 또한 벽들의 강도를 최대화할 수 있는 조건을 제시한다.

또한 보강흙벽체의 시공과정을 제시하고, 보강흙벽체의 시공의 기계화에 대하여 고찰하고자 한다.

제 2 절 보강흙벽체의 재료에 대한 제안

보강재중에 동결융해 특성, 강도증가 및 부피변화를 고려하여 각각의 적절한 혼합조건을 살펴보면 다음과 같다. 여기서 혼합비는 보강재의 중량(g)/건조토의 중량(g)으로 하였다.

1. 동결융해시의 강도 특성을 고려한 적정혼합조건

급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법(KSF 2456)에는 수중급속 동결융해의 시험방법 A와 공기중에서 급속동결하여 수중에서 융해하는 시험과정이 B가 있으며 동결융해 사이클(cycle)은 공시체의 온도를 2시간~4시간 사이에 교대로 4℃에서 -18℃로 떨어뜨리고 다음에 -18℃에서 4℃로 상승시킨다. 본 연구에서는 흙벽을 위한 동결융해시험이므로 공기중 동결, 공기중 융해의 방식을 채택하였다. 다음 그림은 동결융해 시험기 안의 공시체와 압축강도시험 후의 공시체 모습이다.

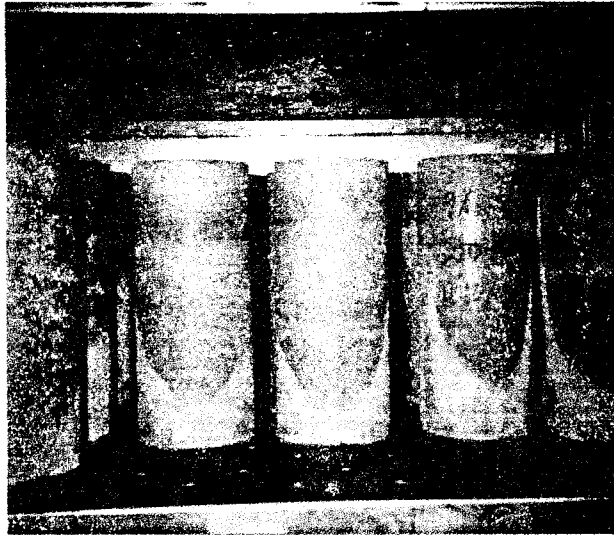


그림 7-1 동결융해시험 모습

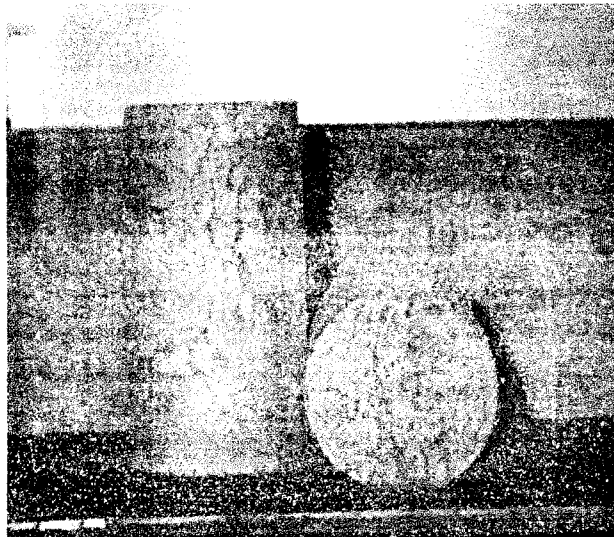


그림 7-2 일축강도 시험후의 시험편 모습

가. 생석회 혼합토

동결융해에 대한 저항성이 가장 큰 경우는 그림 7-3과 같이 2~4%의 혼합비 조건으로 판단된다.

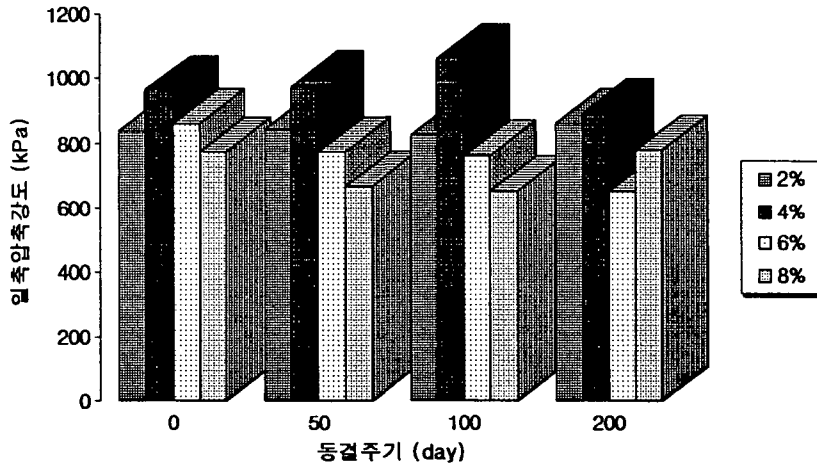


그림 7-3 동결주기와 생석회 혼합토의 일축압축강도

나. 섬유혼합토

그림 7-4에서 보는 바와 같이 섬유길이가 긴 망사 38mm 경우가 가장 높은 강도를 보이지만 혼합 등 작업성에 문제가 있었으며 본 연구에서는 망사 섬유 19mm를 선택하여 실험을 실시하였다.

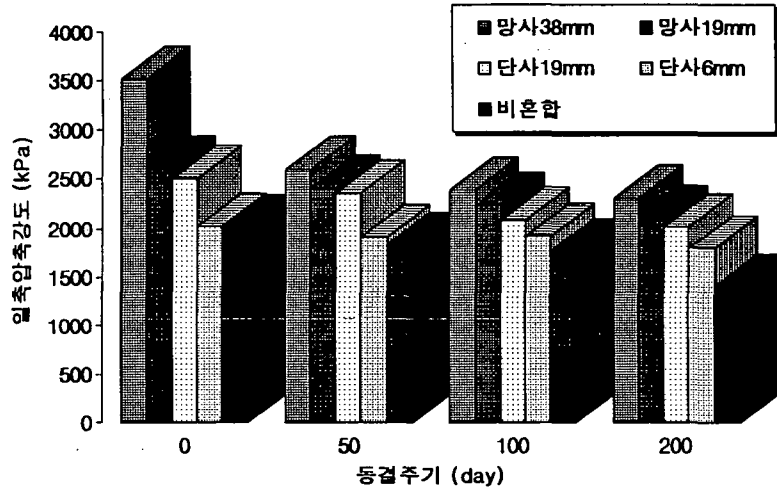


그림 7-4 동결주기와 섬유혼합토의 일축압축강도

다. 시멘트 혼합토

그림 7-5는 시멘트 혼합토가 동결융해를 받았을 때 강도의 변화양상을 보여 준다. 그림에서 보는 바와 같이 시멘트 혼합토는 동결융해에 대한 저항성이 다른 조건에 비해서 변화가 큰 편이다. 즉 동결주기가 증가할수록 강도 저하가 크게 발생하였다. 이 때문에 동결융해에 대한 저항성을 증진시키기 위해서는 섬유나 생석회의 혼합이 필요하다고 하겠다.

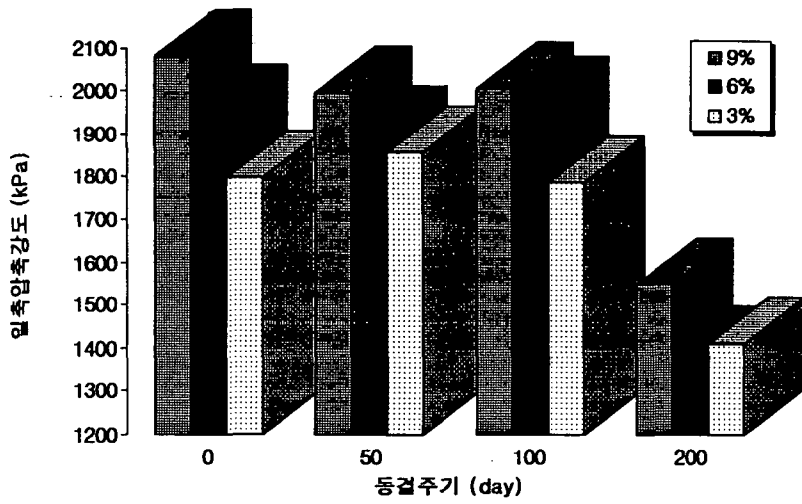


그림 7-5 동결주기와 시멘트혼합토의 일축압축강도

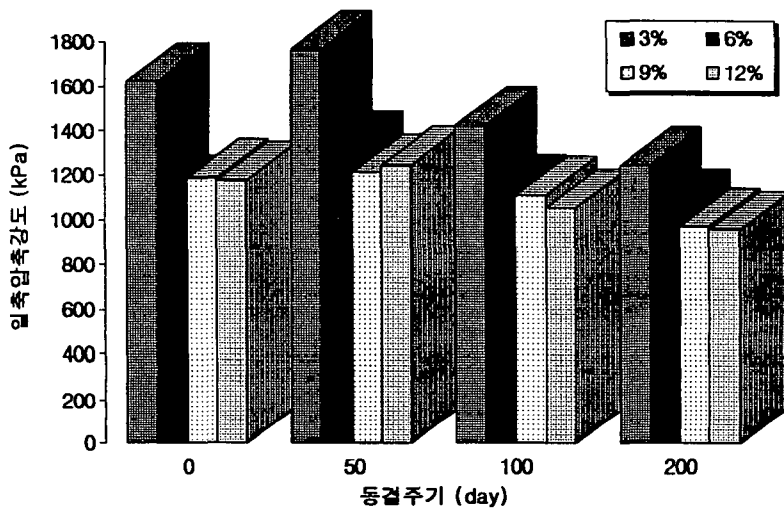


그림 7-6 생석회와 섬유(0.3%) 혼합토의 동결주기와 일축압축강도

라. 생석회와 섬유 혼합토

생석회와 섬유 혼합토를 실험한 결과 이 경우의 동결융해 특성도 생석회 혼합토의 동결융해 특성과 유사하다. 동결융해 특성에서 고려해 볼 때 적절한 혼합조건은 그림 7-6에서와 같이 혼합비 3%조건으로 판단된다.

2. 체적변화를 저감시키는 보강재의 적정혼합조건

가. 시멘트 혼합토

시멘트 혼합토에 대하여 체적변화율이 2%이하가 되도록 하는 적절한 시멘트 혼합 조건을 만족시키는 것은 그림 7-7에서 보는 바와 같이 9~12%이다.

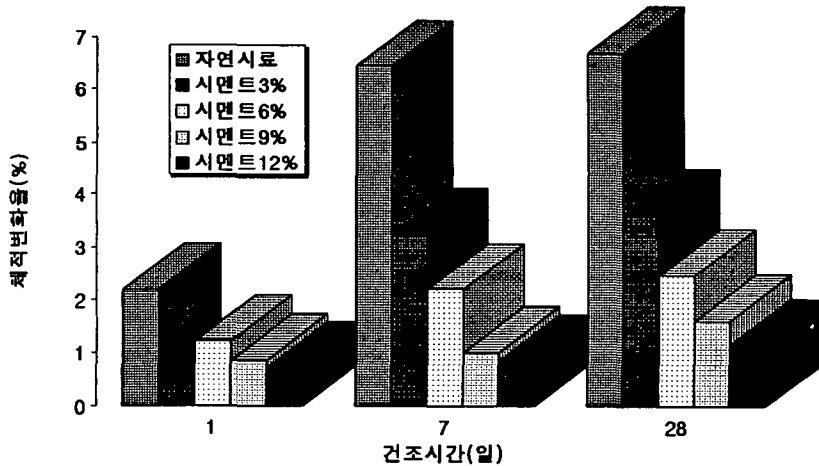


그림 7-7 자연시료 및 시멘트 혼합토의 체적변화를

나. 생석회 혼합토

건조시간 28일 후의 체적변화율을 고려해보면 그림 7-8과 같이 생석회의 적정 혼합 비는 3~9%이며 이때 모두 2% 전후의 체적변화율을 보이고 있다.

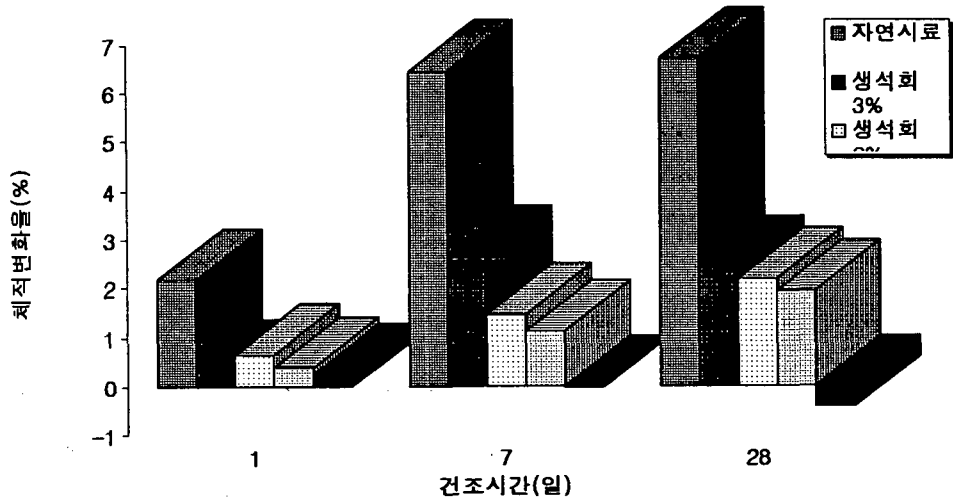


그림 7-8 생석회 혼합토의 체적변화를

다. 마그네시아 혼합토

그림 7-9에서 보듯이 마그네시아를 혼합하는 경우 체적의 변화에 크게 영향을 주지 않는다. 따라서 자연 시료보다 적은 체적변화률을 나타내는 0.5%가 양호한 혼합조건 이라고 할 수 있다.

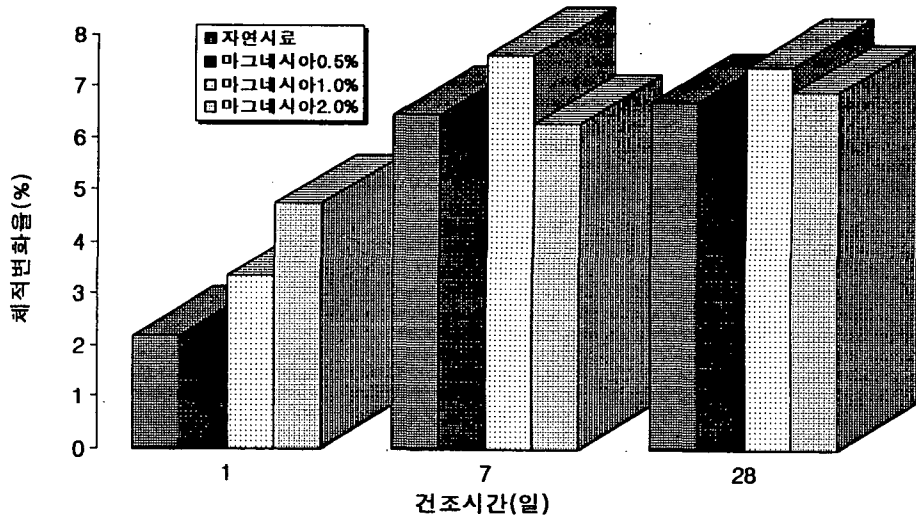


그림 7-9 마그네시아 혼합토의 체적변화를

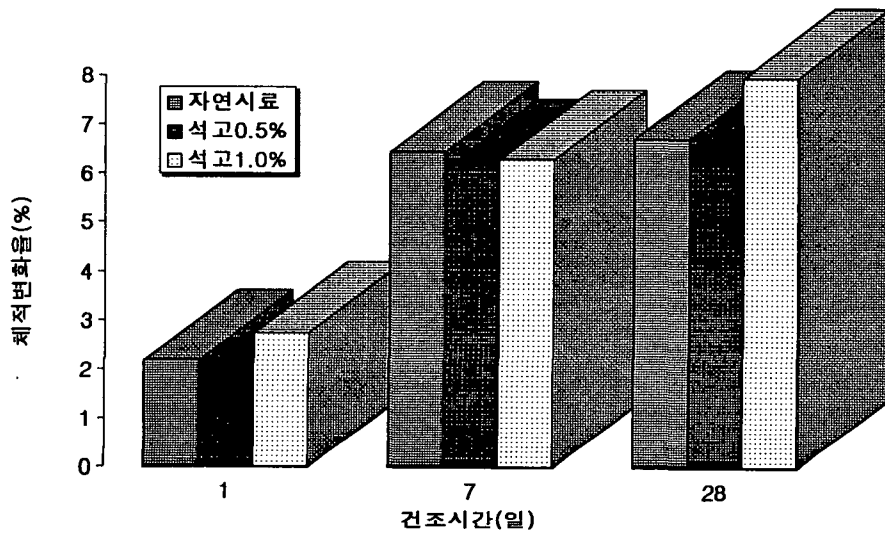


그림 7-10 석고 혼합토의 체적변화를

라. 석고 혼합토

그림 7-10에서 보듯이 석고혼합토의 경우도 마그네시아혼합토와 유사한 경향을 보이는데 이 경우 적절한 혼합조건은 0.5%로 인 것으로 사료된다.

3. 강도에 의한 보강재의 적정혼합조건 (I)

시멘트 혼합토, 마그네시아 혼합토, 생석회 혼합토, 석고 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도를 살펴보면 그림 7-11, 7-12, 7-13, 7-14와 같다.

이상의 결과를 요약 정리하면 표 7-1과 같다.

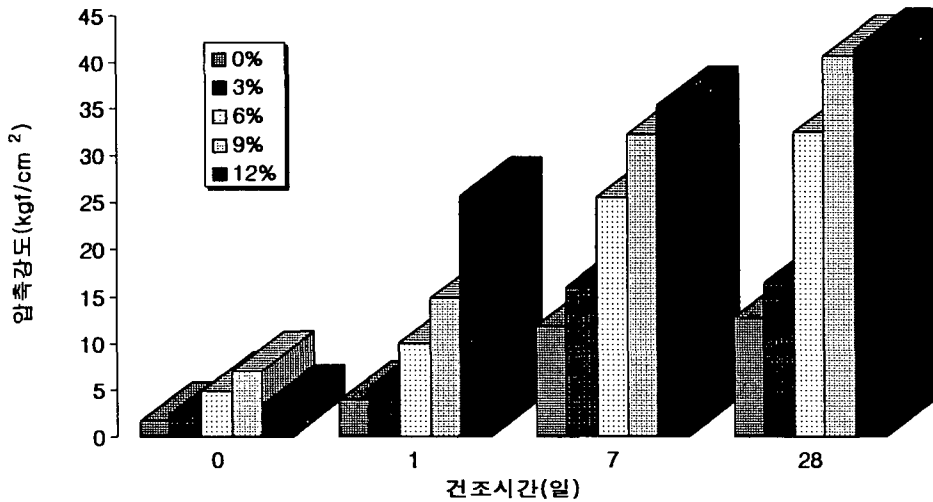


그림 7-11 시멘트혼합토의 건조시간에 따른 압축강도

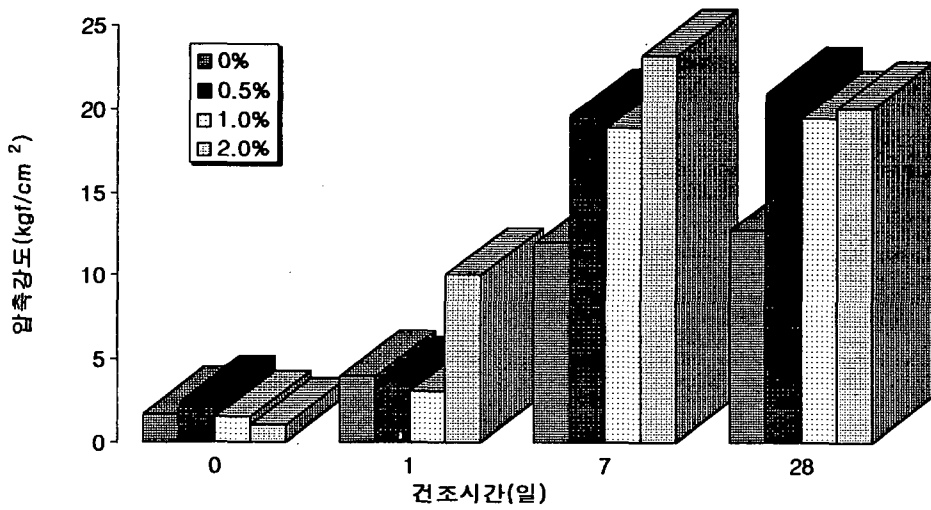


그림 7-12 마그네시아 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도

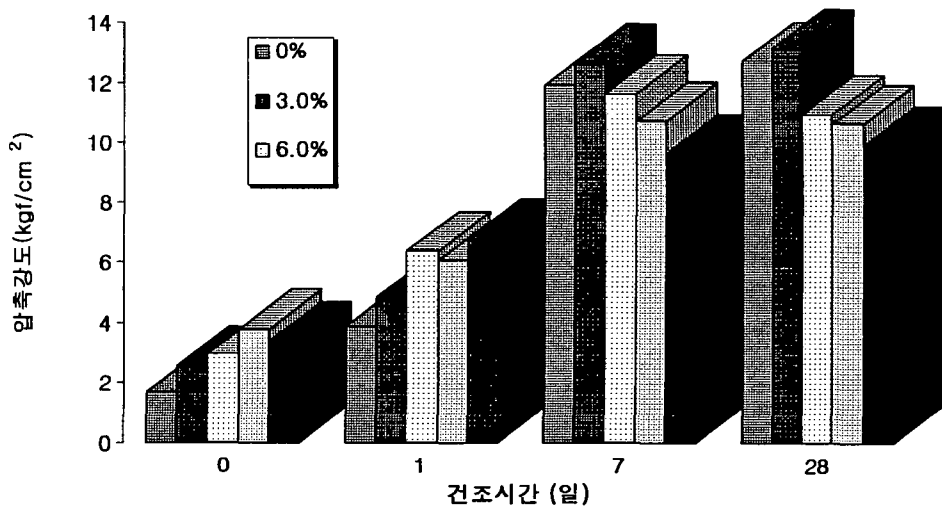


그림 7-13 생석회 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도

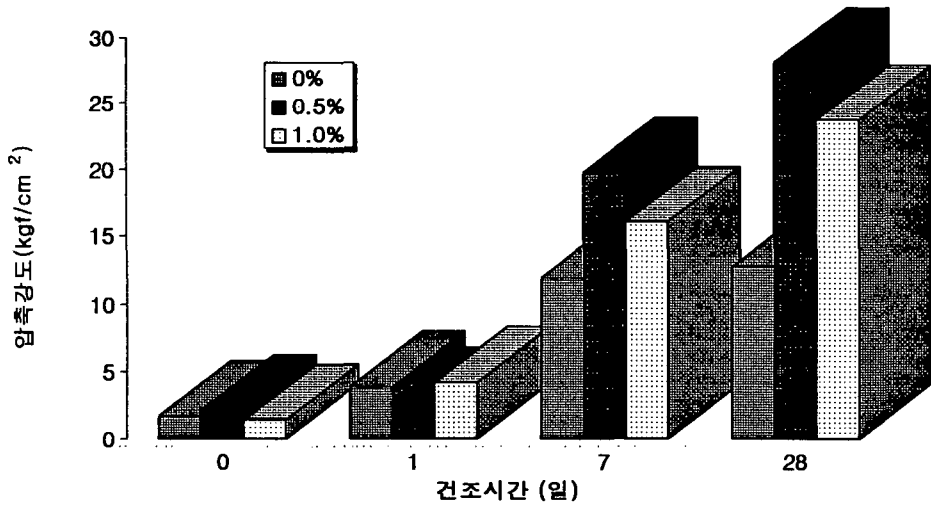


그림 7-14 석고 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도

표 7-1 보강혼합토의 강도비와 적절한 혼합조

보강재 혼합비(%)		강도비(%)
시멘트	3	132
	6	256
	9	328
	12	336
마그네시아	0.5	176
	1	156
	2	160
생석회	3	133
	6	80
	9	36
	12	16
석고	0.5	224
	1	192

4. 강도에 의한 보강재의 적정혼합조건 (II) - 폴리프로필렌

강도비는 비혼합토의 28일 강도에 대한 보강혼합토의 28일 강도의 비로 정의한다. 각 섬유 길이 및 종류에 따른 강도비를 정리하면 표7-2와 같다.

표 7-2 섬유혼합토의 강도비와 적절한 혼합조건

섬유 길이 강도비(%)		6mm	12mm	19mm	망사19mm	망사25mm	망사36mm
		0.1	110	109	105	136	138
혼 합 비 (%)	0.2	108	110	126	130	138	149
	0.3	103	110	127	137	152	177
	0.5	111	111	130	142	158	175
	1.0	116	111	134	161	166	137

섬유이외의 보강재 혼합조건을 체적변화 및 강도의 증가 측면에서 살펴보면 시멘트는 혼합비 9%, 마그네시아 0.5%, 생석회 3%, 석고 0.5%가 적절하다고 판단된다.

한편 망사 섬유 38mm를 0.3%를 혼합하는 것이 강도의 증가 측면에서 가장 큰 효과를 발휘하지만 혼합의 어려움 때문에 약 42%의 강도 증가를 보이는 망사 섬유 19mm를 0.5%가 적절한 혼합조건이다.

제 3 절 보강흙벽체의 시공에 대한 제안

보강 흙벽체를 시공하기 위해 보강흙벽돌 및 보강흙타일을 제작하였다. 보강 흙벽체는 온실의 실내벽체에 적용하였는데, 흙벽체 제작에는 보강흙벽돌과 보강흙타일을 이용하여 시공하였다. 벽체시공에 사용된 접착제는 진흙을 사용하였으며, 보강흙타일을 벽면에 부착하는데에는 흙+모르터를 사용하였다. 벽체 제작에 사용된 기구는 흙칼, 삽,

수준의, 추 등이며, 벽체를 쌓기 전에 기초를 먼저 처리하여 지반으로부터 유입되는 지열, 수분 등의 영향을 최소화하였다.

그림 7-15는 벽체를 시공하는 과정을 보여주며, 그림 7-16은 완성된 후의 벽체 모습을 보여준다.



그림 7-15 흙벽돌을 조적하는 장면

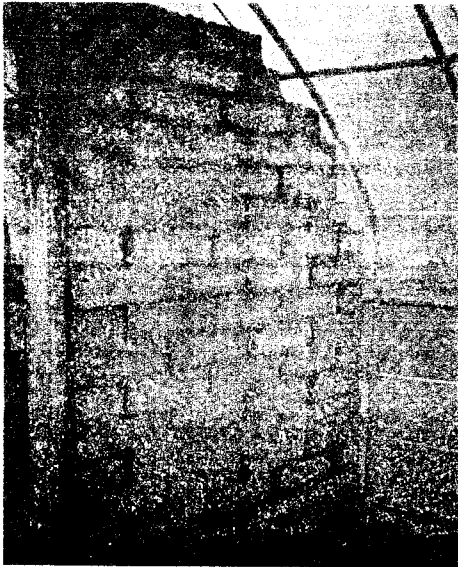


그림 7-16 완성한 흙벽돌 조적 모습

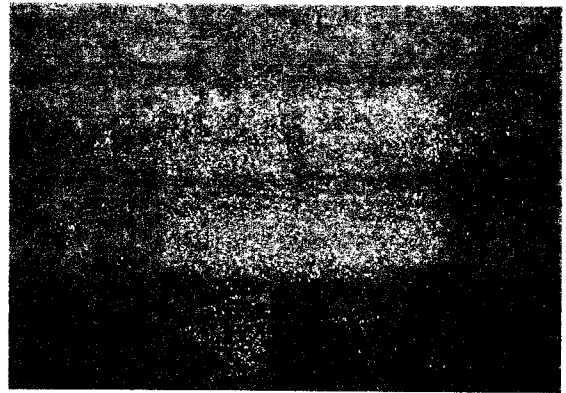


그림 7-17 흙벽돌로 조적한 벽표면

벽체의 외관처리는 제2절에서 논의된 바와 같이 여러 가지 방법이 있는데, 여기서는 벽체의 미관 및 시공의 편의성 등을 고려하여 11가지 방법으로 외장 처리를 하였다.

1. 흙벽체 그대로 사용
2. 흙으로 미장 (그림 7-18), 섬유0.1% 추가(그림7-19)
3. 석회로 미장 (그림 7-20), 섬유0.1% 추가(그림7-21)
4. 흙 : 시멘트 : 석회(8 : 1 : 1) 미장 (그림 7-22), 섬유0.1% 추가 (그림7-23)
5. 시멘트 : 석회(1 : 1) 미장 (그림 7-24), 섬유0.1% 추가 (그림7-25)
6. 흙타일로 외관처리 (그림 7-26)
7. 흙타일 + 페인트로 외관처리 (그림 7-27)

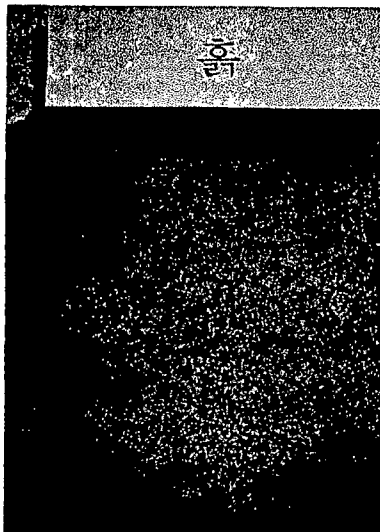


그림 7-18 흙으로 미장한 벽표면

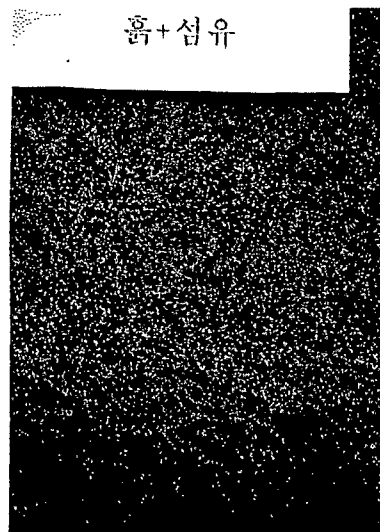


그림 7-19 흙과 섬유로 미장한 벽표면

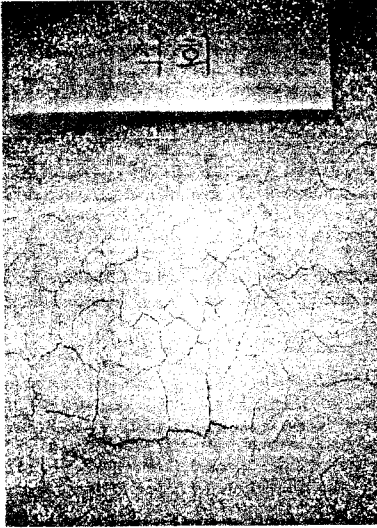


그림 7-20 석회로 미장한 벽표면

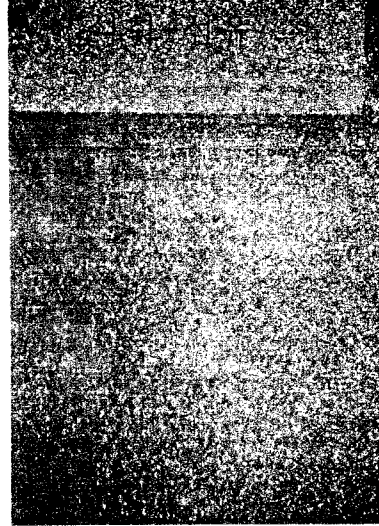


그림 7-21 석회와 섬유로 미장한 벽표면

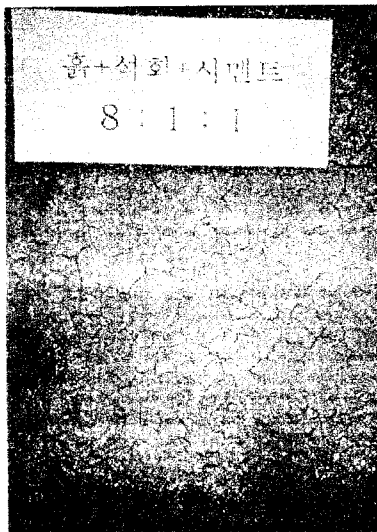


그림 7-22 흙, 석회, 시멘트로 미장

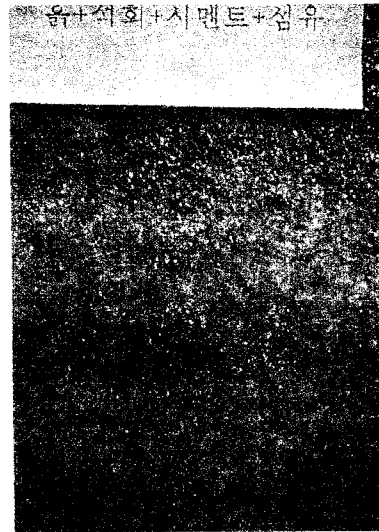


그림 7-23 흙, 석회, 시멘트, 섬유 사용

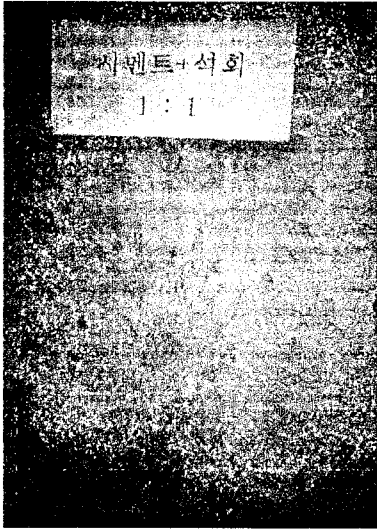


그림 7-24 시멘트, 석회로 미장

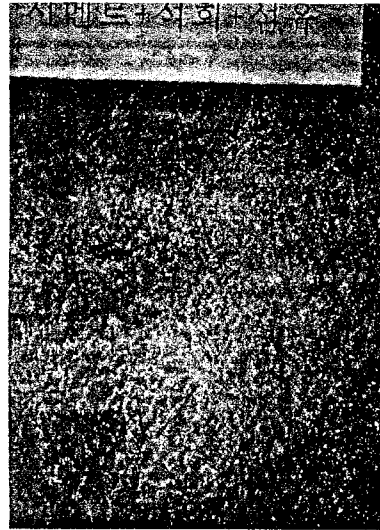


그림 7-25 시멘트, 석회, 섬유로 미장

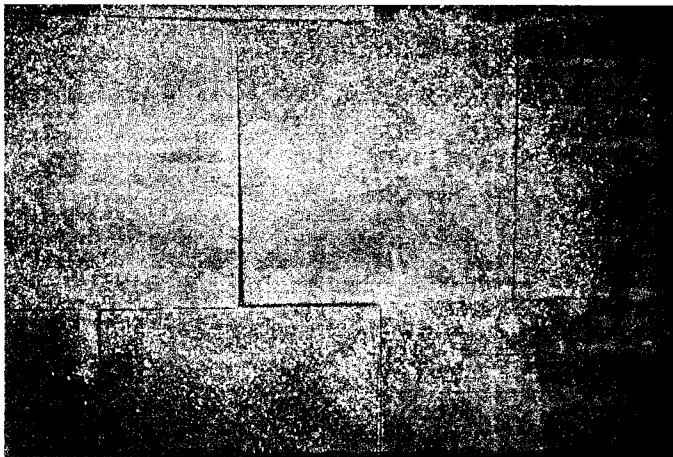


그림 7-26 흙타일로 외관처리한 벽표면

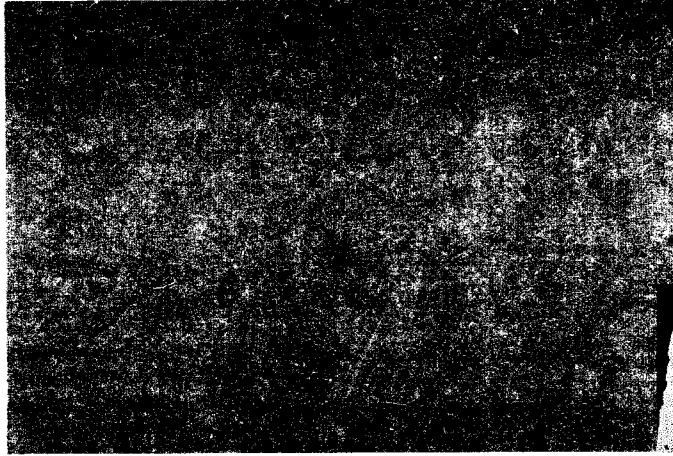


그림 7-27 흙타일에 페인트처리를 한 벽표면

흙과 석회(그림7-18, 20)만을 단독으로 미장한 벽표면은 표면이 건조되면서 많은 잔금이 발생하였다. 흙과 석회, 시멘트를 소량씩 혼합하여 미장한 벽표면(그림7-22)은 흙과 석회를 단독으로 사용한 벽표면보다는 금이 덜 발생하였고 시멘트와 석회를 혼합한 벽표면(그림7-24)은 금이 아주 미량만 발생하였다.

이들 각각의 경우에 섬유를 0.1% 첨가하였을 경우는 그림7-19, 21, 23, 25에서 보는 바와 같이 금의 발생이 현저히 줄었음을 볼 수 있다. 섬유는 금의 발생을 억제하는데 효과적인 보강재로서 흙벽의 외관처리에 사용을 권장할 수 있다.

그림 7-26는 30×30×2.5cm 크기의 압축타일을 제작하여 벽표면을 외장처리한 모습이며 그림 7-27은 흙타일표면에 페인트칠을 한 경우이다.

제 4 절 보강흙벽체의 시공 기계화에 대한 제안

1. 흙

흙시료의 선정은 제 3 장에서 제시한 바와 같이 입도분포곡선의 상한과 하한에 해당하는 양질의 흙을 선정하면 된다. 주로 점토분이 많은 흙일수록 강도가 크게 나왔지만 너무 점토가 많게 되면 작업성(workability)이 떨어지기 때문에 적절한 함수비를 선정

하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 최적함수비를 기준으로 하였다.

점토가 많은 흙인 경우 자연상태의 흙을 채취할 경우 서로 엉켜 굳은 경우가 허다하며 이런 경우 보강제와 혼합할 경우 균질한 강도를 발현할 수 없기 때문에 파쇄하여 사용해야 한다. 하지만 분말형태의 흙 파쇄는 파쇄에 소요되는 시간이 길고, 또한 별도의 파쇄장비를 요구하기 때문에 상당한 비용 및 어려움을 수반하게 된다.

따라서, 점토가 많이 함유된 흙인 경우 실제적인 흙벽돌 제작에 흙을 사용하기 위해서는 4번체를 통과할 정도로 입자를 1차적으로 걸러서 사용하면 될 것으로 판단된다. 모래질을 많이 함유한 흙인 경우에는 흙 속에 포함된 여러 가지 이물질을 제거한 후 사용하면 될 것으로 판단되며, 양자 모두 공기건조된 상태의 것을 사용하면 된다. 그러나 먼저, 일정량의 시료를 채취하여 함수비를 알아두어야 한다.

2. 재료 혼합

재료의 혼합은 보강제의 강도 및 여러 가지 역학적인 특성을 결정하는 중요한 과정이다. 특히, 섬유와 같은 보강제를 사용할 경우 비중 차이로 인한 재료분리가 일어나 기존의 콘크리트 믹서 등으로는 재료의 혼합이 불가능하다. 따라서, 본 연구에서 사용된 섬유혼합기를 사용하여 섬유와 같은 보강제를 혼합하는 것이 용이하다고 판단되며 실제 기계화 시공에 있어서는 대용량의 재료를 한번에 얻어야 하기 때문에 본 연구에 사용된 섬유혼합기의 크기를 크게 제작하여 이에 맞는 마력의 모터를 적용하는 것이 필요하다.

3. 흙벽돌 및 흙패널 제작

흙벽돌 및 흙패널을 대량으로 기계화 제작하기 위해서는 기존의 1개 제작방식을 개선하여야 한다. 1개의 벽돌 제작에 요구되는 압력은 5t이며, 시료의 양은 약 9kgf에 해당하기 때문에 기존의 시멘트 벽돌 제작 기구를 응용한 대규모 흙벽돌 제작기구를 개발하는 것이 필요하다. 기존의 시멘트 벽돌 제작 기구는 컨베이어 시스템을 이용하여 한번에 120장의 벽돌을 찍어냄 되어 있으며 모든 설비가 자동화되어 인력이 거의 필요

가 없는 실정이다.

본 연구에서는 시간당 벽돌 2장을 찍을 수 있었으며, 이는 벽돌 몰드의 해체 및 조립에 소요되는 시간이 많았기 때문이다. 따라서 향후 이를 개선하고, 기존의 시멘트 벽돌 기구를 응용한다면 많은 양의 흙벽돌을 짧은 시간내에 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

4. 흙벽체 시공

흙벽체의 시공은 벽체를 어떻게 제작하는가에 따라 여러 가지 시공기구가 이용될 수 있다.

먼저, 벽체를 일체식으로 제작할 경우 나무틀로 벽체 형상을 미리 제작하고, 각종 이김질 기구를 이용하여 단계적으로 일체식 벽체를 제작할 수 있다.

본 연구에서는 이용의 편의성 등을 고려하여 흙벽돌을 제작하는 방식을 선정하였는데 이 때에는 기존의 시멘트 벽돌을 이용한 벽체 제작 기술을 그대로 응용할 수 있기 때문에 흙벽체 제작을 위한 새로운 기기나 기구 개발에 추가적인 비용이 들지 않는다. 다만 흙벽돌과 흙벽돌 사이의 접착제를 어떤 것을 사용하는지에 대한 추가적인 연구가 필요하며, 될 수 있는 대로 자연 친화적인 재료를 이용하는 것이 바람직하다..

제 5 절 요약 및 결론

본 장에서의 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 동결융해 특성을 고려 해 볼 때 시멘트를 혼합하는 경우에 있어서 강도 저하가 가장 많이 발생한다. 따라서 생석회 3%를 혼합함으로써 강도의 저하를 크게 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 섬유는 길이 면에서 망사 19mm를 택하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
2. 체적변화율을 고려한 적절한 혼합비 조건은 시멘트 혼합토는 혼합비 9~12%, 생석회 혼합토는 혼합비 3~12% ,마그네시아 혼합토는 혼합비 0.5%, 석고 혼합토는 혼합비 0.5%이다.

3. 시멘트 혼합토, 마그네시아 혼합토, 생석회 혼합토, 석고 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도를 살펴본 결과, 각각 9.0%, 0.5%, 3.0%, 0.5%인 경우에 최대의 강도가 나타났다. 한편 망사 섬유 38mm를 0.3%를 혼합하는 것이 강도의 증가 측면에서 가장 큰 효과를 발휘하지만 혼합의 난해함 때문에 약 42%의 강도 증가를 보이는 망사 섬유 19mm를 0.5%가 적절한 혼합조건으로 판단되었다.
4. 보강흙벽체의 시공과정을 실제 시공을 통하여 제안하였고, 외관처리에 대하여 11가지 방법을 제안하였다. 섬유를 0.1% 첨가하면 금의 발생을 억제하는 효과가 있으므로 흙벽의 외관처리에 사용을 권장할 수 있다.
5. 흙재료의 선정 및 재료의 혼합, 흙벽돌 및 흙패널의 제작 그리고 흙벽체 시공의 기계화에 대하여 제안하였다.

제 8 장 보강흡벽 이용방안 및 연구결과 홍보

제 1 절 서론

오늘날의 인터넷은 폭발적으로 사람과 사람간의 대화의 창구를 넓혀 주고 있으며 그 중 telnet, ftp, E-mail 그리고 WWW(World Wide Web) 은 아주 편리하게 원거리의 사람과 대화가 가능하게 하였다. 특히 최근에 제시된 WWW이라는 개념은 거미줄이라는 말뜻에서 알 수 있듯이 전 세계사람의 의견들을 거미줄처럼 연결해 놓았다는 것을 의미한다. 이러한 기술은 하이퍼링크(Hyper Link)와 하이퍼텍스트(Hyper Text)라는 기술을 통해 구현이 되고 있다. 또한 최근에는 이러한 연결이 단순한 문자의 전달만을 수행하는 것이 아니라, 음성·3차원 영상·동영상 등의 다양한 정보의 전달까지 가능하게 되었다.

본 장에서는 웹서비스(WWW)의 원거리 사람간의 의사전달을 쉽게 하고, 매우 다양한 방법으로 의사전달이 가능하다는 장점을 본 연구결과 홍보를 위해 적용하였다. 웹서비스를 통해 인터넷이 사용 가능한 어떤 사용자에게나 연구결과 및 제반 서비스가 가능하며, 이러한 서비스의 질적 측면에서도 과거의 단순한 문서전달에서 탈피하여 필요한 정보를 실시간에 다양한 형태로 제공한다는 측면에서 업무의 효율성을 높이는데 반드시 필요하다.

특히 급변하는 현대 사회에서 의사결정이라는 것은 시간이 매우 중요한 결정인자로서 역할을 하고 있다. 따라서 웹서비스가 실시간에 원하는 자료를 제공한다는 것은 의사결정에 있어서 한 단계 빠른 판단이 가능하게 하여 더욱 효율적으로 목적달성을 이루게 한다.

이 장에서는 2년간의 연구결과인 보강흡벽에 관련된 연구결과를 이용하는 방법을 제시하고, 연구결과를 홍보하기 위하여 현재 구축한 Web Service가 채택한 환경과 그 환경에 대해 소개한다.

제 2 절 연구결과의 타 분야 이용 방안

1. 성토 설계

본 연구에서 얻어진 결과는 다른 여러 분야에 응용하는 것이 가능하다. 즉, 섬유혼합 보강토에 대한 연구는 성토설계와 같은 토공분야에 적용할 수 있으며 섬유혼합 보강토의 성토설계를 포함한 일반적인 성토설계의 흐름도는 그림 8-1과 같다.

일반적으로 성토공사는 계획→설계→시공→유지관리의 순서로 진행되는데, 이중 설계 과정은 예비설계, 개략설계, 상세설계의 3단계로 이루어진다. 설계과정에서 고려해야 할 사항들은 일반적으로 지형, 지질, 하천, 기상 등의 자연적 조건 및 주위의 도로, 철도, 문화재 등 사회적 조건 등으로서 경제성, 환경영향, 시공성, 유지관리 등이 양호한 수준에 도달하도록 최적의 설계가 이루어져야 한다.

특히, 상세설계 단계에서는 정밀한 본조사를 통하여 추출된 결과를 토대로 성토구조물의 단면형상과 안정성 검토, 연약지반 대책공, 배수시스템 등 성토시공에 필요한 다 음과 같은 사항들을 검토해야 한다.

- 성토재료의 적합성 검토
- 지표수 및 지하수 배수에 대한 검토
- 사면의 안정, 침하 및 지지력 검토
- 동상성(모관작용) 검토
- 수질오염, 부식성, 침식성 등에 대한 환경영향 검토

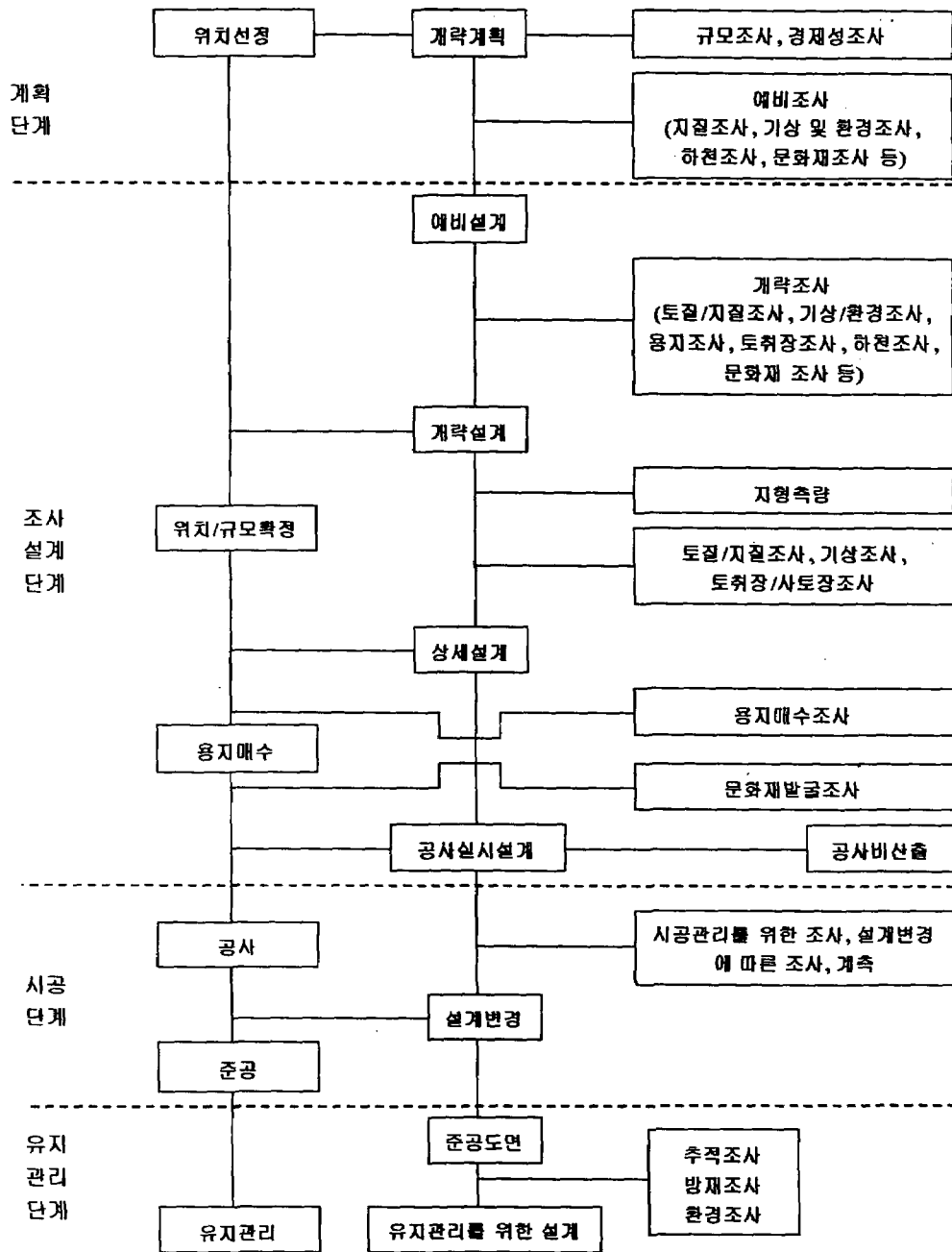


그림 8-1 성토설계의 개략적 흐름도

본 절에서는 상세설계 중에서 성토재료의 적합성 검토시에 유의해야 할 부분만을 지금까지의 실험결과를 토대로 간략히 서술하였다.

성토재로 사용될 섬유혼합 보강토가 성토재료로서 적합한지를 평가하기 위해서는 섬유혼합 보강토의 기본물성을 파악하기 위한 입도, 비중, 아터버그시험 등의 물리적 특성시험과 공학적 특성을 평가하기 위한 다짐, CBR, 투수, 압밀, 일축압축시험 등의 역학적 특성시험을 수행해야 한다.

역학적 특성시험 결과는 지반이 연약하여 성토구조물의 안정 및 침하가 문제되는 경우에 있어서는 대단히 중요한 요소이므로 평가에 주의를 요한다. 특히 섬유혼합 보강토는 섬유 혼합률에 따라 다른 역학적 거동을 보이므로 설계시 섬유 혼합율의 결정에 따른 정확한 시험평가가 요구된다. 앞서의 연구결과인 섬유혼합 보강토의 공학적 특성을 토대로 역학적 특성시험에 대한 유의점을 서술하면 다음과 같다.

가. 다짐시험

섬유혼합 보강토의 최적함수비와 최대건조밀도를 측정하는 시험으로, 섬유혼합 보강토를 성토재로 활용할 경우 필수적으로 수행해야 하는 시험이다. 섬유혼합 보강토의 다짐효과는 섬유 혼합율과 흙과 섬유의 혼합의 균등성에 의해 크게 좌우되므로 다짐시공시 섬유의 혼합에 유의하여야 한다.

나. 직접전단시험

직접전단시험은 시험이 간편하기 때문에 섬유혼합 보강토로 성토한 각종 토류구조물에 작용하는 토압계산, 성토사면의 안정계산, 구조물 기초지반으로서 사용되었을 경우의 지지력 계산 등에 필요한 강도정수 값을 구하는데 사용한다. 섬유혼합 보강토는 섬유와 흙이 혼합되어 있으므로 전단시험시 전단상자의 크기에 의한 영향을 최소화하기 위해 일반적으로 사용하는 소형전단상자 보다는 대형전단상자를 사용함으로써 보다 정확한 강도정수를 구해야 한다.

다. 실내 투수시험

섬유혼합 보강토의 투수계수를 측정하는 시험으로 섬유혼합 보강토층과 기초지반으로의 침투해석이나 지하수위 아래에 설치한 구조물에 미치는 양압력의 계산, 성토제방과 배수공 등의 설계시에 이용된다. 또한, 섬유혼합 보강토의 성토층을 통과하여 지하수로 유입되는 침출수량과 성토층 표면을 따라 유출되는 표면 유출수량은 섬유혼합 보강토의 투수계수에 의해 좌우된다. 섬유혼합 보강토의 투수계수는 섬유혼합률의 증가에 따라 감소하는 경향을 보이므로 설계 혼합률에 대한 투수시험을 반드시 수행해야 한다.

라. 실내 CBR 시험

섬유혼합 보강토의 성토지반의 지지력을 측정하는 시험으로, 각종 성토구조물의 성토재료로서의 적합성을 평가하는데 이용되고 있다.

예로서 도로제방의 성토재로서 섬유혼합 보강토를 사용할 경우, 아래와 같은 “도로공사 표준시방서”의 성토재료 기준을 만족해야 한다.

- 노 체 : 수정 CBR 2.5% 이상
- 하부노상 : 수정 CBR 5% 이상
- 상부노상 : 수정 CBR 10% 이상

섬유혼합 보강토의 CBR값은 섬유길이 및 섬유 혼합율에 따라 변화하므로 소요의 지지력을 얻기 위해서는 설계 섬유길이와 섬유 혼합율에 대한 CBR시험을 수행해야 하며, 섬유길이 2.5cm, 섬유 혼합율 1% 이하의 모노펠라멘트를 사용한 섬유혼합 보강토는 노상재료로 적합한 것으로 평가되었다.

마. 압축강도

섬유혼합 보강토의 전단강도를 측정하는 시험으로 시험수행을 위한 공시체 제작시에

는 섬유 길이를 고려하여 공시체 크기를 결정해야 한다. 시험결과가 설계강도에 미치지 않을 경우에는 소량의 시멘트나 석회를 혼합함으로써 섬유혼합 보강토의 초기강도 및 장기강도를 기대할 수 있다.

바. 압밀시험

일반 성토재나 구조물의 뒷채움재로서 섬유혼합 보강토를 사용하거나 도로의 노상, 기층, 보조기층 등의 재료로서 섬유혼합 보강토를 사용할 경우, 성토층의 압축침하가 상부구조물에 나쁜 영향을 미치지 않을 정도로 압축성이 작아야 한다. 압밀시험은 섬유혼합 보강토의 압축특성을 평가하는 시험으로, 시험을 통해 구조물 하중 등에 의한 섬유혼합 보강토의 최종 침하량 및 침하속도 등을 추출, 분석하고, 기존 성토재와 비교, 검토함으로써 성토재료로서의 적합성을 평가할 수 있다.

사. 관련 시방기준과의 비교

섬유혼합 보강토를 성토재로 활용하기 위해서는 전술한 가~바 항의 특성시험으로부터 추출한 특성치들을 적용, 성토구조물의 성토재료에 대한 시방기준과 비교하여 적합성을 평가하여야 한다. 예로서 표 8-1에서는 “도로공사 표준시방서”의 시방기준을 보여 준다.

표 8-1 “도로공사 표준시방서”의 성토재료에 대한 시방기준

대상 특성	노체	하부노상	상부노상
Atterberg 시험		#40 통과분에 대한 소 성지수 : 30이하	#40 통과분에 대한 소 성지수 : 10 이하
입도시험	최대입경 : 30cm 이하	최대입경 : 15mm이하 #4통과분에 대한 #200 통과율 : 50%이하	최대입경 : 10cm 이하 #4통과분 :25~100% #200통과분 : 0~25%
CBR 시험	수정 CBR : 2.5% 이상	수정 CBR : 5% 이상	수정 CBR : 10% 이상

2. 시공방법 분석

섬유혼합 보강토는 건설잔토나 연약지반 등에 보강섬유를 혼합하는 것에 의해 표면 침식저항성, 쇄굴저항성, 보강성의 개선효과가 우수하며 또한, 식생기초지반 등으로의 이용이 기대된다.

본 절에서는 현재 일본에서 수행된 섬유혼합 보강토에 대한 시공사례를 분석하여 표층재료로서의 활용에 따른 시공방법을 기준으로 하여 섬유혼합 보강토의 성토시공방법을 서술하였다.

그림 8-2에서는 섬유혼합 보강토의 시공과정 및 시공 개략도를 보여준다.

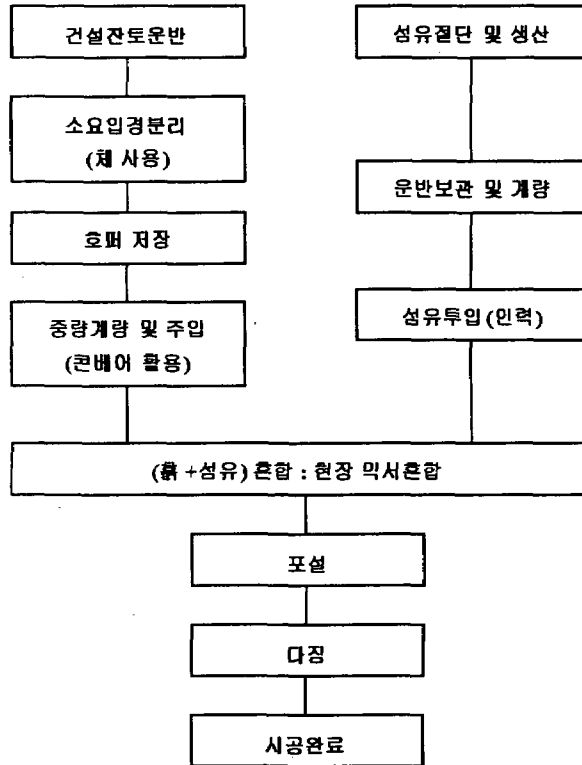


그림 8-2 섬유혼합 보강토 시공과정

그림 8-2에서 보듯이 섬유혼합 보강토의 시공은 몇 개의 시공단계로 구분되며 중요 시공단계에 대해 간략히 설명하면 아래와 같다.

가. 섬유혼합 작업

섬유혼합 보강토의 역학적 특성은 흙 속에서의 섬유 엉킴 현상에 의해 감소될 수 있으므로, 현장 적용시 섬유와 흙의 적절한 혼합이 섬유혼합 보강토 공법을 실용화하는데 상당히 중요한 인자로 평가할 수 있다.

일반적으로 섬유혼합 보강토 공법 적용시에 현장에서 섬유와 흙을 혼합하는 방식으로는 크게 중앙혼합방식과 현장혼합방식 등 2가지로 구분할 수 있으며, 경제성과 현장

여건 등을 고려하여 선정, 사용하여야 한다.

1) 중앙혼합방식

자동 섬유절단 시스템과 섬유 및 물 분사시스템, (흙+섬유)혼합 믹서 등을 장치한 plant에서 최적함수비 상태의 흙과 섬유를 혼합한 후 시공현장으로 운반하는 방식으로 양질의 품질관리가 가능하다. 이 방식에서 가장 중요한 것은 흙 속에서의 섬유 엉킴을 최소로 할 수 있는 (흙+섬유)혼합 믹서의 개발이다. 흙속에서의 섬유 엉킴을 최소로 할 수 있는 (흙+섬유)혼합 믹서의 새로운 형태를 제시하였다.

중앙혼합방식은 plant 내에서 혼합토의 품질관리를 수행하므로 흙 속에서의 섬유 엉킴 현상을 최소로 할 수 있는 장점은 있으나 plant의 건설비용과 흙재료의 운송비용 등에 따른 경제적 부담이 큰 단점이 있다,

2) 현장혼합방식

현장혼합방식은 섬유혼합 보강토 공법의 경제성을 높이기 위해서, 시공현장에서 원지반 흙위에 섬유를 균등하게 포설하고 곧바로 흙과 혼합하는 방식이다.

시공현장에서의 섬유포설은 자동 섬유절단 시스템을 장치한 섬유 포설장비로서 수행하며, 흙과 섬유의 혼합은 rotary mixer, agricultural disc-harrow, chiesel plow, traveling mixing machine 등의 시공장비로서 수행한다. 또한 흙과 섬유의 혼합이 완료된 후에는 일반 다짐장비를 사용하여 다짐작업을 수행할 수 있다.

특히 이 방식으로 섬유혼합 보강토체를 축조할 경우에 주의할 사항은 소성이 높은 점토와 섬유를 혼합할 때에는 점토의 고착상태를 충분히 이완시켜 점토와 섬유와의 원활한 혼합이 이루어질 수 있도록, 섬유혼합에 앞서 일정량의 석회나 시멘트 등의 안정제를 점토와 혼합하는 것이 필요하다는 점이다.

실제로 최근에 선진외국에서 노상이나 사면 안정처리를 위해 적용한 섬유혼합 보강토 공법을 현장혼합 방식에 의해 시공한 시험시공 결과를 고찰해보면 현장혼합방식에 의해서도 흙과 섬유의 적절한 혼합이 만족할 정도로 수행되었다고 평가할 수 있다.

나. 포설작업

섬유혼합 보강토는 섬유 혼합율의 증가에 따라 스펀지 현상 등의 일반 토사와 다른 다짐특성을 가지고 있으므로 시공중의 성토두께는 예비실험에 의해 결정하여야 한다. 특히 포설시에는 섬유혼합 보강토의 역학적 특성이 섬유의 엉킴현상에 의해 감소될 수 있으므로 유의해야 한다.

다짐하기 전에 지표면을 편평하게 함으로써 불규칙한 표면다짐으로 인해 지표면상에 연약한 부분이 발생하지 않도록 주의해야 하며, 섬유혼합 보강토 표면은 표면 유출수로 인한 제체의 포화 및 저류를 방지하기 위해 표면배수를 원활히 수행할 수 있도록 약간 경사지도록 해야 한다.

다. 다짐작업

다짐작업에 앞서 사용되는 성토재료에 알맞은 포설장비, 포설두께, 다짐횟수, 적정함수비, 시공관리체제 등은 검토하여 효율적인 다짐이 되도록 일정구간을 설정하여 시험다짐을 실시하는 것이 바람직하며, 시험다짐작업의 면적은 보통 400㎡내외로 실시해야 한다.

다짐은 섬유혼합 보강토를 포설하고 물을 살포하여 적당한 함수비 상태로 유지시킨 후 즉시 다짐을 실시해야 한다. 다짐장비의 종류와 하중, 다짐횟수, 성토두께와 같은 인자들의 결합이 실제 다짐도에 많은 영향을 미친다. 현장에서 만족스러운 다짐효과를 얻기 위해서는 장비의 종류, 작업방법 이외에 섬유혼합 보강토의 함수비를 적절한 범위로 조절하는 것이 매우 중요하다. 현재 대표적인 다짐장비로는 10~12t Pneumatic-tired roller, 6~10t Vibratory smooth drum roller, Vibratory padfoot roller 등을 들 수 있다.

제 3 절 연구결과 홍보

1. WWW(world wide web)의 개념

인터넷(Internet)에서는 전세계에 퍼져있는 정보들을 공유하기 위해 여러 가지 많은 서비스들-Telnet, E-mail, FTP, Gopher, WAIS, Archie, WWW 등-을 제공하고 있다. WWW(간단히 web 혹은 웹이라 함)은 이러한 서비스들 중의 하나이다.

WWW은 인터넷상의 정보들을 하이퍼텍스트(HyperText)라는 기술을 통해 서로 연결함으로써 사용자가 손쉽게 관련된 정보(문자, 음성, 그림, 동영상)를 찾아갈 수 있도록 만들어주는 서비스이다. 이 WWW 서비스의 또다른 핵심기술로 하이퍼링크(Hyperlink)라는 것이 있다. 즉, WWW 서비스는 하이퍼링크를 통하여 전세계의 컴퓨터를 거미줄처럼 연결하고 있으므로 한 WWW에 접속을 하면 전세계 어느 곳이라도 연결할 수 있게 된다. 그리고, WWW서비스의 큰 장점은 Graphic User Interface(GUI)를 지원하고 있기 때문에, 손쉽게 원하는 정보를 얻을 수 있다.

WWW 서비스는 클라이언트(Client)-서버(Server) 모델을 기본으로 하고 있다. 여기에 서 서버라는 것은 네트워크에 연결된 다른 컴퓨터에서 문서(정보)를 요구할 때 제공해주는 컴퓨터이고, 클라이언트라는 것은 사용자 쪽의 정보를 요구하는 컴퓨터를 말한다. 그리고 이때 주고받는 문서가 HTML(HyperText Markup Language) 이라는 문서이다.

WWW 서비스에서는 HTTP(HyperText Transmission Protocol)라는 통신 프로토콜(protocol)을 사용하고 있다. HTTP는 분산 네트워크 환경에서 하이퍼미디어 형태로 자료를 효과적으로 주고받을 수 있게 되어 있는데, 사용자는 HTTP를 사용함으로써 FTP, Gopher, WAIS 등 다양한 서버에 접근할 수 있을 뿐 아니라, 문자, 그래픽, 사운드 등을 재생할 수 있다.

HTTP는 클라이언트의 요구에 의해 문서를 전달하는 것 외의 다른 작업도 하고 있다. 그것은 서버 쪽에서 실행되는 프로그램 - 게이트웨이 - 이 만들어낸 정보를 클라이언트에 전달하는 것과, 사용자가 클라이언트를 통해 보낸 데이터를 서버쪽 프로그램 - 게이트웨이 - 에 전달하는 것이다. 이때 서버와 게이트웨이 프로그램의 연결은 CGI(Common Gateway Interface)에 의해 이루어지게 된다. 프로그래머는 이 CGI를 이용해 사용자가 요구하는 질문을 처리할 수 있는 간단한 프로그램이나 스크립트를 만들 수 있는 것이다.

2. 웹서버 시스템의 선정

Unix의 경우는 본래 네트워크 기능을 목적으로 탄생하게 되었고, 현재도 많이 사용되고 있는 시스템이다. Windows NT보다 더 적은 양의 메모리로도 만족할 수 있고, 필요로 하는 자원이 비교적 적은 장점이 있는 반면, NT서버에 비해서 구입가격이 고가이다. 시스템 관리에 필요한 지식은 훨씬 더 많이 요구되는 단점을 갖고 있다. 한편, 현재 웹서비스 제공자들 가운데 상당수가 윈도우 기반의 웹서버를 제공하기 시작했다. 이것은 웹서버의 현재 경향을 나타내는 것으로, 이는 앞으로 Windows NT플랫폼에서 소프트웨어를 실행해야 함을 의미한다. 따라서, NT시스템이 안정적이라는 확신이 들게 된다면 앞으로 NT가 Unix를 대체하는 수단으로 성장할 수 있을 것이다.

3. 웹서비스(Web Service) 구축

가. Web Page의 구성

본 연구결과의 홍보를 위해 제작한 Web Page는 <http://agsol.snu.ac.kr/~agtech>에서 제공되며 초기화면은 그림 8-3과 같다. 그리고 그림 8-4, 8-5, 8-6, 8-7에서 보는 바와 같이 연구목표, 연구의 기대효과, 활동방안, 연구진 소개의 4가지의 주메뉴로 구성하였다.

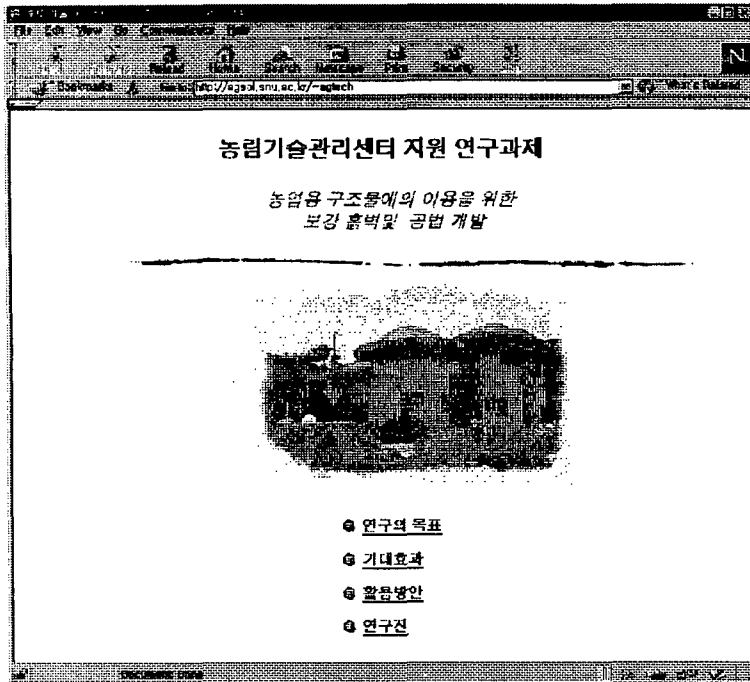


그림 8-3 Web Page의 구성

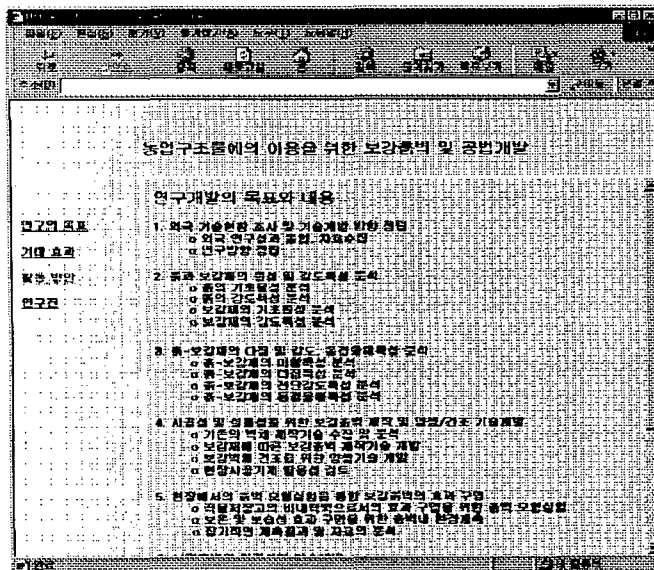


그림 8-4 홈페이지-연구목표 소개

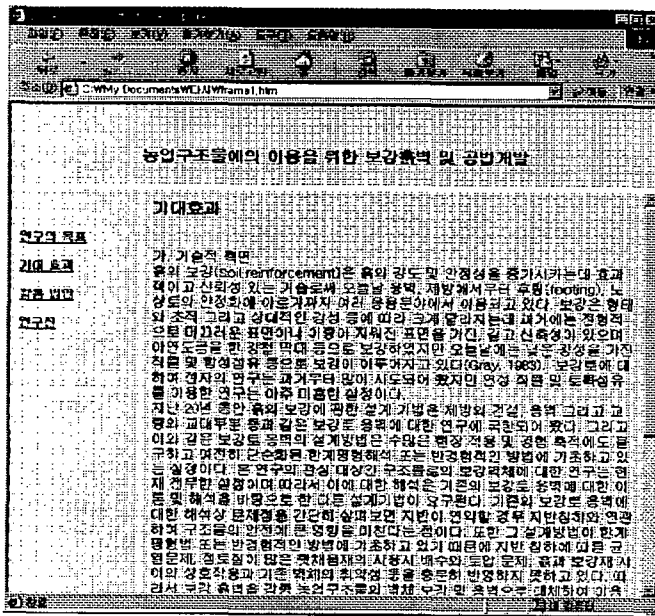


그림 8-5 홈페이지-연구의 기대효과 소개

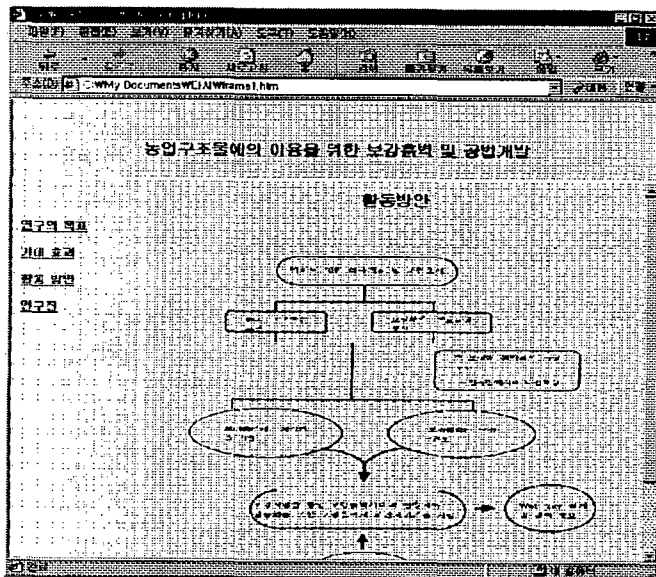


그림 8-6 홈페이지-활동방안 소개

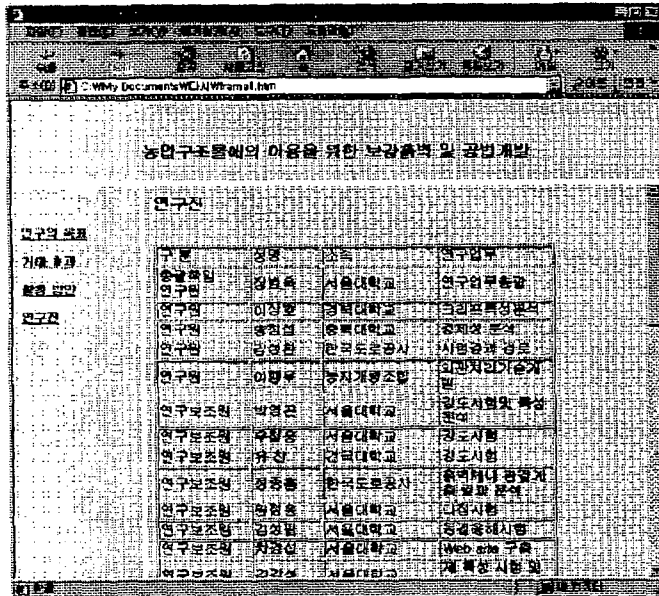


그림 8-7 홈페이지- 연구진 소개

나. 시스템 개념설계

1) 시스템 정보 흐름

사용자 요구에 대한 해결방안으로서 앞서 "Internet에 의한 연결", "웹(WWW) User Interface"를 제시하였다. 즉, 사용자는 Internet을 통해 Agsol Server에 연결하며 이를 통해 본 연구 결과 자료를 획득하게 된다.

이를 모식도로서 표현하면 그림 8-8과 같다.

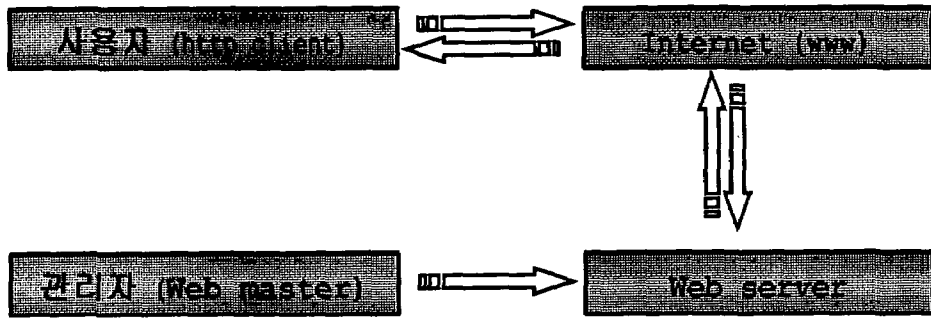


그림 8-8 시스템 정보 흐름도

이러한 Internet에 의한 정보의 검색은 최근 WWW 기술의 발전과 더불어 각광받고 있으며 현재 다양한 정보가 Internet과 WWW 상에서 제공되고 있다.

제 4 절 요약 및 결론

1. 연구결과를 홍보할 수 있도록 웹사이트를 제작하였다. 웹사이트 주소는 <http://agsol.snu.ac.kr/agtech> 이다.
2. 본 연구결과는 향후 농업 곡물 저장고의 비내력 측벽, 농업수로의 대체수로, 각종 토류벽의 대체 옹벽, 농가주택 및 전원주택에의 자연재 벽체(내력벽 및 비내력벽) 등으로 이용가능할 것으로 판단된다.

제 9 장 연구 요약 및 결론

제 1 장 총 론

제 1 장에서는 “농업구조물에의 이용을 위한 보강흙벽 및 공법 개발”의 배경과 연구의 필요성, 연구의 목적, 범위, 추진방법 및 전략, 참여연구진을 정리하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

1. 보강 흙벽은 흙이라는 자연 친화적인 재료를 이용하여 만든 구조물이기 때문에 보온·보습성 등과 같은 여러 가지 장점을 가지고 있다. 따라서 향후 기존 보강 옹벽의 대체 옹벽으로서, 농업수로의 대체 보강수로로서, 곡물저장창고의 측벽 구조물로서, 그리고 더 나아가 주택의 벽체로서 아주 광범위한 적용 가능성을 가지고 있다.

2. 본 연구는 흙과 보강재 각각의 물성 및 강도특성, 흙과 보강재를 혼합한 혼합토체의 다짐·강도, 동결융해, 그리고 각종 제 특성을 분석하고, 실제 농업용 구조물로 이용할 경우 그 시공성 및 실용성을 고려한 보강흙벽 제작기술 및 이용방법을 제시하고, 흙벽 모형실험을 통한 보강흙벽의 효과를 구명하며, 웹사이트를 통한 연구결과를 홍보하는데 그 목적이 있다.

3. 연구의 추진체계 및 방법을 정리하였으며, 연구의 세부내용을 요약·정리하였다.

4. 본 연구는 1997년 10월에서 1999년 10월(2년간)까지 수행토록 계획되었으며, 1차년도와 2차년도로 구분하여 수행토록 하였다.

5. 본 연구에 참여한 연구진과 그 주요업무를 요약 정리하였다.

제 2 장 국내외 문헌조사 및 연구방향 정립

제 2 장에서는 현재까지 이루어진 보강토에 관한 연구사를 정리하여 현재의 연구성과와 기술수준을 파악하였으며, 이는 보강토에 관한 연구사와 흙벽에 대한 연구사로 구분하였다. 또한 현재까지 연구된 보강토에 대한 해석방법을 그 기본 개념과 흙-보강재의 마찰 특성 등에 대하여 조사·정리함으로써 본 연구에 활용을 도모하였다. 기존에 국내·외에서 전통적으로 행해져오던 흙벽의 제작기술에 대한 조사를 실시하였다.

마지막으로 제 2 장에서는 본 연구의 기본방향과 세부계획을 세워 체계적인 연구가 수행될 수 있도록 하였다.

제 3 장 흙과 보강재의 물리적/역학적 특성

제 3 장에서는 본 연구에서 사용되는 흙과 보강재를 선정하였고 각 재료의 특성에 대한 연구와 재료의 혼합에 따른 특성을 시험을 통하여 고찰하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구에서 사용될 흙재료의 입도분포의 상한과 하한을 제시하였고, 연구의 재료를 선정하였다.

2. 흙과 보강재의 물리적 특성을 조사하고 분석하였다. 흙을 채취하여 물리적, 역학적 특성을 분석하였으며, 여러 보강재의 마찰특성과 내구성 등을 조사하였고, 시멘트 석회 등과 같이 흙의 성질을 개선하기 위하여 사용되는 보강재의 특성을 조사하였다.

3. 흙과 섬유와의 상호마찰 특성을 평가하기 위하여 직접전단시험과 섬유인발시험을 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

가. 직접전단시험 결과 모래질 시료인 발안시료가 점토질 시료인 다른 지역의 시료보다 큰 내부마찰각을 보였고 점착력은 수원시료가 가장 큰 값을 나타내었다.

나. 섬유의 인발응력은 흙, 섬유의 종류에 관계없이 수직응력이 증가할수록 증가하였

고 발안시료가 가장 큰 부착력과 상호마찰각을 나타내었다.

다. 동일시료에 대한 섬유직경에 따른 마찰계수는 수원 및 발안시료가 섬유의 직경이 커질수록 증가하였고 하동시료는 감소하였다.

4. 보강토의 다짐특성을 통하여 보강재료의 최적의 혼합비를 제시하기 위하여 자연 흙과 혼합토의 다짐특성과 체적변화에 대한 일련의 시험을 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

가. 수원에서 채취한 무보강 시료의 최적함수비(OMC)는 약 18.9 % 정도, 최대건조밀도(γ_{dmax})는 1.625 t/m³ 정도로 일반적인 산토의 다짐특성을 보이는 것으로 나타났다.

나. 각 보강재료를 혼합하여 다짐시험을 실시하였고 정도의 차이는 있으나 각 보강재에서 건조단위중량의 증가와 최적함수비의 감소가 나타났다. 시멘트는 약 9.0%, 마그네시아 1.0%, 생석회 약 3.0~9.0%, 석회 0.5%, 고화제 약 3.0%~5.0% 가 적정한 혼합비인 것으로 나타났다.

다. 섬유혼합토의 경우는 자연시료에 비하여 건조단위중량이 약간 감소하는 것으로 나타났으며, 혼합비는 0.3%~0.5%가 적정한 것으로 나타났다.

라. 자연시료의 체적변화는 건조시간에 따라 2.18%~6.71% 정도 수축하는 것으로 나타났으며, 공시체의 제작 후 급격한 체적의 변화가 발생하여 건조시간 7일까지 거의 수축이 완료되어 건조시간 28일의 약 96% 까지 수축하는 것으로 나타났다.

마. 자연시료에 보강재료를 혼합한 경우에 혼합비에 따른 차이는 있으나 체적변화율이 감소함을 알 수 있다.

5. 보강의 강도특성 및 균열특성을 분석하기 위하여, 공시체를 제작하여 건조시간 및 혼합상태에 따른 일축압축강도를 측정하였다. 몇 종류의 첨가제의 배합비에 따른 균열 특성도 분석하였다.

가. 섬유에 대한 인발시험 결과 수원시료의 부착력 및 상호마찰각은 각각

0.37kg/cm², 6.89° , 발안시료의 부착력과 상호마찰각은 각각 0.84kg/cm², 7.38° 로 나타났으며 모래질 성분이 많은 발안시료가 부착력 및 상호마찰각이 크게 나타났다.

나. 섬유인발응력은 구속응력이 증가함에 따라 일정하게 증가하며, 섬유의 면적비가 증가할수록 인발응력도 커진다.

다. 흙시료에 대한 직접전단시험 결과 수원시료의 점착력 및 내부마찰각은 0.33kg/cm², 30.3° , 발안시료의 점착력 및 내부마찰각은 0.27kg/cm², 33.6° 로 나타났다.

라. 섬유혼합토는 비보강 흙보다 섬유의 혼합율이 증가할수록 마찰각은 증가하지만 점착력은 일정하지 않다.

마. 섬유혼합토의 전단강도는 섬유의 길이에 크게 영향을 받지 않는다.

바. 시멘트를 첨가한 보강혼합토(수원시료)의 강도는 9% 이상 사용할 경우 그 강도가 40kg/cm²을 넘었으며 보강재 가운데 가장 높은 강도를 나타내었다.

사. 마그네시아와 석고를 혼합한 각각의 보강혼합토(수원시료)의 경우는 0.5% 혼합율에서 최대강도를 나타내었으며 그 값은 약 30kg/cm²이었다.

아. 보강재로 섬유를 사용한 경우(수원시료)는 단사가 망사보다 훨씬 높은 강도를 보였다. 하지만 기존 문헌에 따르면 망사가 높게 나타나는 것으로 되어 있어 혼합방법에 문제가 있는 것으로 사료된다.

자. 보강혼합토의 균열은 자연시료(수원시료)의 경우 약 10%의 균열을 보이지만 고화제, 섬유(단사 및 망사) 등을 사용할 경우 10% 미만의 균열이 발생하는 것으로 나타났다. 그 중 균열방지에 가장 큰 효과를 나타내는 것은 섬유(망사) 0.5%를 섞은 경우이다.

차. 발안시료의 압축강도는 3kg/cm² 정도로 아주 낮았으며, 섬유를 첨가할 경우 최대 압축강도가 망사 19mm에서 17kg/cm² 정도를 나타내었다.

6. 보강흙벽체의 동결융해에 대한 저항성을 분석하기 위하여 일련의 동결융해 시험을 실시하여 보강재료에 따른 강도의 변화를 고찰하였다.

- 가. 섬유유 함량의 변화에 관계없이 섬유유 함량이 증가할수록 최대건조밀도는 감소하였고 최적함수비는 증가하였다.
- 나. 석회 보강혼합토의 경우 동결융해로 인한 강도의 변화양상은 일정하지 않지만 섬유유 보강혼합토는 동결융해로 인해 강도가 감소한다. 하지만 단사 19mm와 망사 19mm를 섞은 보강혼합토는 200주기 이상의 동결융해를 겪은 후에도 비혼합토 이상의 강도를 나타내었다.
- 다. 시멘트 보강 혼합토의 경우 강도는 100주기의 동결융해까지는 큰 변화가 없다가 200주기에서 급격히 감소하였다.
- 라. 석회 보강 혼합토의 경우 강도는 100주기 이상에서 크게 감소하였고, 섬유유와 같이 혼합할 경우 그 혼합율이 0.3%에서 가장 효과가 좋았다.
- 마. 섬유유혼합토의 인장강도 및 변형률은 섬유유량이 증가할수록 증가하였다.
- 바. 시멘트 혼합토의 인장강도는 혼합비에 따라 강도에 있어서는 큰 차이가 없지만 변형률은 일정한 경향을 찾기 어려웠다.
- 사. 시멘트 혼합토의 강도는 비혼합토의 최고 56%수준이고 변형률은 최고 2.8배였다.

7. 여러 보강재를 혼합한 보강혼합토의 장기적 건조밀도 및 압축강도 시험과 크리프 시험을 실시하였다.

가. 보강혼합토의 장기적 건조수축 변형

보강흙벽의 재료개발에 대한 기초 연구로서 수원지역에서 채취한 점토질 흙에 탄산석회, 시멘트 및 19mm섬유 단사, 망사를 일정한 비율로 배합하여 장기적 건조수축 시험을 하였다. 또한 축진제를 9%시멘트 혼합토에 2%를, 9%탄산석회 혼합토에 1, 2, 3%를 첨가하여 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 9%탄산석회 혼합토에서 건조밀도가 전반적으로 크게 나타났으며 함수비 30%에 압축강도가 가장 크게 나타났다.
- 2) 생석회와 시멘트를 사용한 보강혼합토의 경우 다른 보강혼합토 보다 건조밀도의 변화는 미소하였으나 강도는 흙 자체보다는 낮게 나타났다. 따라서 생석회 및 시멘트혼합토는 연약지반보강시 이용가능할 것으로 판단되나 보강흙벽으로는 부적

합할 것으로 사료된다.

- 3) 섬유혼합토의 섬유의 양이 증가함에 따라 건조밀도는 감소하였다.
- 4) 섬유를 혼합한 보강토의 압축강도는 단사의 양이 증가할수록 강도는 대체적으로 증가하지만 혼합비가 1.0%이상인 망사에서는 강도가 감소한다.
- 5) 9%탄산석회 및 섬유혼합토의 공시체작업은 시료배합 및 다짐에 있어서 다소 차이가 있으나 함수비 30%가 적당할 것으로 판단된다.
- 6) 보강혼합토에 축진제 혼합은 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

나. 보강혼합토의 장기적 크리프 거동

건조수축은 구조체에 응력을 유발시키고 크리프는 이완시키는 차이가 있다. 구조물에 균열이 생기면 제어가 어렵기 때문에 이에 대한 적절한 조치가 필요하다. 따라서 수원토에 보탄산석회, 섬유를 혼합한 보강혼합토의 크리프 특성을 파악하기 위한 크리프 및 포아슨비의 시험결과는 다음과 같다.

- 1) 일정한 구속응력이 작용하는 상태에서 0.3%섬유혼합토 단사의 경우 크리프 변형은 섬유의 혼합으로 인해 흙의 건조수축을 억제한다. 그래서 크리프 시험전 함수비가 높은 경우에도 압축으로 인한 종방향 및 횡방향 변형량은 크지 않은 것으로 나타났다.
 - 2) 9%탄산석회혼합토에서 압축으로 인한 크리프 변형은 공시체의 건조수축으로 인한 공극의 형성이 이루어진다. 이 결과 종방향 및 횡방향 크리프 변형량은 큰 값을 나타내었다.
 - 3) 하중을 재하한 후 초기의 크리프 변형은 급격히 변하는 불안정한 상태를 보였으며 재하시간이 길수록 크리프 변형은 점차 안정하게 되는 것으로 나타났다.
 - 4) 재하시 건조시간이 길수록, 크리프 시험전 함수비가 낮을수록 크리프 변형량이 작게 나타나기 때문에 보강흙벽의 제작시 건조시기를 결정하는 데 있어서 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.
8. 토분 및 고화제 혼합토분을 사용한 최적의 보강혼합토분을 구하기 위하여 탄산석회, 생석회, 시멘트의 보강재를 각각 일정한 비율로 배합하여 분말도와 응결시간, 압축

강도시험을 실시하였다.

또한, 촉진제를 6%, 9%탄산석회 혼합토분과 6%, 9%생석회 혼합토분에 1, 2, 3%를 첨가하여 응결시간 및 압축강도시험을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 가. 보강재의 혼합비가 증가함에 따라 탄산석회 혼합토의 비표면적은 증가하였으나 생석회 및 시멘트 혼합토분의 비표면적은 감소하였다.
- 나. 생석회 혼합토분과 시멘트 혼합토분의 비표면적 이론치는 거의 일치하였다.
- 다. 표준주도와 응결상태 함수비의 차는 혼합된 보강재의 종류에 관계없이 13%~14%의 범위를 보였다.
- 라. 생석회 혼합토분 및 시멘트 혼합토분은 비표면적이 감소함에 따라 응결시간이 급격히 단축되었으며 시멘트, 생석회 및 각종 보강혼합토분의 비표면적과 응결시간은 직선적으로 변화하는 것으로 나타났다.
- 마. 생석회 토분풀을 제외하면 토분풀 및 대부분의 보강재 혼합토분의 압축강도는 건조시간과 보강재의 혼합비가 증가함에 따라 증가하였으며 혼합비의 증가에 따른 시멘트 혼합토분풀의 압축강도는 현저하게 증가하였다.
- 바. 시멘트 혼합토분에 2%촉진제를 첨가한 압축강도는 촉진제를 첨가하지 않은 경우보다 초기강도가 상당히 증가하였고, 건조시간이 길어짐에 따라 압축강도는 지속적으로 증가될 것이다.
- 사. 온도 25℃ 및 습도 50%의 항온항습 상태에서 시멘트 혼합토분풀의 압축강도는 시멘트 혼합비에 관계없이 건조시간 28일로 거의 최대강도의 도달하였으나 나머지 토분풀 및 대부분의 보강혼합토분풀의 압축강도는 건조시간 28일 이후에도 완만하게 증가될 것으로 판단된다.
- 아. 상기의 양생조건에서 보강혼합토분풀의 건조상태를 결정하는 함수비는 건조시간 7일 까지는 급격하게 감소하였으나 그 이후에는 완만하게 감소하여 건조시간 14일 이후부터는 거의 변화가 없는 것으로 나타났으며 토분풀 자체에서는 보다 조기에 안정되어 4일 이후에는 변화가 없는 것으로 나타났다.
- 자. 토분풀 및 대부분의 보강혼합토분풀의 함수비와 압축강도는 로그함수의 형태로 변화되었다.

제 4 장 보강흙벽체의 제작기술 및 시공성 연구

제 4 장에서는 는 수원과 발안 지역의 점토질 흙과 모래질 흙에 시멘트, 생석회, 토목 섬유 등의 보강재를 조합하여 제작한 보강 흙벽체에 대해 일련의 일축압축강도시험을 수행하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 점토질 흙에 시멘트와 토목 섬유를 혼합하여 제작한 흙벽체는 무보강된 흙벽체에 비해 2배 정도의 강도 증진 효과를 나타내었고, 모래질 흙의 경우는 8배 정도의 강도 증진 효과를 나타내었다. 따라서 보강재로 인한 강도증진 효과는 점토질 흙의 경우보다 모래질 흙에서 크게 나타났다.
2. 석고를 보강재로 사용하였을 경우 점토질 흙에서는 강도를 크게 저하시켰지만 사질토의 경우는 강도 저하가 미비하거나 약간의 강도 증진 효과를 나타내었다.
3. 섬유를 혼합한 흙벽체에서는 점토질 및 사질 흙 모두 파괴시의 변형률이 증가하는 경향을 나타내었다.

제 5 장 모형시험을 통한 보강흙벽 효과분석

제 5 장에서는 흙벽의 열전도 특성을 파악하기 위해 열전도 특성에 영향을 미치는 여러 요인과 벽체의 종류에 따라 실험을 실시하였다. 열전도 특성에 영향을 주는 요인은 흙의 종류 및 보강재 사용여부, 흙벽의 밀도, 상대습도, 온도 등이 있다. 벽체의 종류는 점토질 시료와 모래질 시료의 두가지 시료를 사용한 벽체와 보강재를 사용한 벽체, 보강재를 사용하지 않은 벽체와 시멘트 및 간이벽체로 구분된다.

벽체의 종류에 따라서는 상대습도 및 설정온도에 따라 서로 다른 경향을 나타내고 있으며 일반적인 결론은 다음과 같다.

1. 모래질 시료를 사용한 흙벽이 점토질 시료를 사용한 흙벽보다 열전도율 및 열관류율이 낮게 나와 보온성이 더 좋다고 할 수 있다.

2. 보강재를 사용한 흙벽이 보강재를 사용하지 않은 흙벽보다 온도에 따른 열전도율 및 열관류율의 변화가 더 낮아 외기온의 변화에 대한 보온성을 유지할 수 있다.

3. 흙벽의 밀도가 큰 벽체가 낮은 벽체보다 열전도율 및 열관류율이 더 높은 값을 보여 밀도가 낮은 벽체가 보온효과가 더 좋다고 할 수 있다.

4. 상대습도가 증가할수록 벽체의 열전도율 및 열관류율은 증가하며 상대습도가 낮은 경우가 벽체의 열전도율 및 열관류율이 낮다.

5. 온도가 증가할수록 벽체의 열전도율 및 열관류율은 증가한다.

6. 흙벽의 열전도율 및 열관류율은 시멘트벽보다 낮고 간이벽체보다 높은 값을 나타내었으나 열관류율은 큰 차이를 보이지 않지만 흙벽이 시멘트벽과 간이벽체의 중간의 값을 나타내었다.

제 6 장 보강흙벽의 경제성분석

제 6 장에서는 보강토를 이용함으로써 발생하는 경제적인 이점을 정리하고, 본 연구에서 제작한 보강흙벽돌 및 보강흙 타일의 제작단가를 타제품과 비교하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 보강토 구조가 항상 다른 구조형식과 비교할 때 경제적인 것은 아니지만 유리한 상황에 놓여있는 많은 기존의 현장에서 경제성을 확보할 수 있다.

2. 보강토 구조물의 비용예측을 위해 비용지수(cost index)에 대한 식을 제시하였다.

3. 총비용은 채움재(Cs), 보강 관련 요소(CR), (요구되는) 나무리 치장면 요소(CF), 운반 및 건설인력(CL), 운반 재료(CT), (배수, 횡재(관석), 담장과 같은 모든 보조 항목을 포함하는) 공사(CC), 재료시험(CMT), 이익(P)의 총합이다.

4. 채움재의 비용은 현장 이용성과 운반비에 좌우되며, 나무리 치장재의 비용은 지역성과 관습에 좌우된다. 또한 보강재는 서로 다른 특성과 다양한 비용을 가지고 있다.

5. 지반 보강시스템의 장점을 평가하는 대안적인 방법은 생태학 보고서를 이용하는 것이다. 이러한 접근법의 중요한 장점은 새로운 건설 시스템과 연관되어지는 상업적인 왜곡으로부터 본질적으로 독립되는 것으로서 순비용의 좀더 현실적인 평가를 산출할

수 있는 것이다.

6. 보강흙벽돌(300×150×100mm) 제작에 소요되는 품목은 크게 흙과 보강재이다. 흙은 실트가 다소 포함이 된 점토질 흙이 사용되었으며 보강재로는 섬유, 시멘트, 석회가 사용되었다. 벽돌 1개당 무게는 제작시 9kg, 건조시 7.9~8kg이다. 벽돌단가는 벽돌 제작시 기준으로 산정하였고 순수 재료비만 990.48원이다.

7. 보강흙타일(300×300×25mm)에는 흙과 보강재로는 시멘트만을 사용하였고 재료비는 30.48원이다.

제 7 장 보강흙벽체의 재료 및 시공에 대한 제안

제 7 장에서 본 장에서는 먼저 보강흙벽돌을 제작함에 있어서 동결융해에 의한 강도의 감소 및 벽돌의 체적변화를 최소화할 수 있는 재료의 적정혼합조건을 제시하였고 또한 벽돌의 강도를 최대화할 수 있는 조건을 제시하였다. 또한 보강흙벽체의 시공과정을 제시하고, 보강흙벽체의 시공의 기계화에 대하여 고찰하였다.

그 결과는 다음과 같다.

1. 동결융해 특성을 고려 해 볼 때 시멘트를 혼합하는 경우에 있어서 강도 저하가 가장 많이 발생한다. 따라서 생석회 3%를 혼합함으로써 강도의 저하를 크게 방지 할 수 있을 것으로 판단된다. 섬유는 길이 면에서 망사 19mm를 택하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

2. 체적변화율을 고려한 적절한 혼합비 조건은 시멘트 혼합토는 혼합비 9~12%, 생석회 혼합토는 혼합비 3~12% ,마그네시아 혼합토는 혼합비 0.5%, 석고 혼합토는 혼합비 0.5%이다.

3. 시멘트 혼합토, 마그네시아 혼합토, 생석회 혼합토, 석고 혼합토의 건조시간에 따른 압축강도를 살펴본 결과, 각각 9.0% 0.5%, 3.0%, 0.5%인 경우에 최대의 강도가 나타났다. 한편 망사 섬유 38mm를 0.3%를 혼합하는 것이 강도의 증가 측면에서 가장 큰 효과를 발휘하지만 혼합의 난해함 때문에 약 42%의 강도 증가를 보이는 망사 섬유 19mm를 0.5%가 적절한 혼합조건으로 판단되었다.

4. 보강흙벽체의 시공과정을 실제 시공을 통하여 제안하였고, 외관처리에 대하여 11가지 방법을 제안하였다. 섬유를 0.1% 첨가하면 금의 발생을 억제하는 효과가 있으므로 흙벽의 외관처리에 사용을 권장할 수 있다.
5. 흙재료의 선정 및 재료의 혼합, 흙벽돌 및 흙패널의 제작 그리고 흙벽체 시공의 기계화에 대하여 제안하였다.

제 8 장 보강흙벽 이용방안 및 연구결과 홍보

제 8 장에서는 연구결과를 홍보하기 위하여 구축한 Web Service가 채택한 환경과 그 환경에 대한 간략한 소개 그리고 이를 이용한 2년간의 연구 결과인 보강흙벽에 관련된 연구결과를 이용하는 방법을 제시하였다.

1. 연구결과를 홍보할 수 있도록 웹사이트를 제작하였다. 웹사이트 주소는 <http://agsol.snu.ac.kr/agtech> 이다.
2. 본 연구결과는 향후 농업 곡물 저장고의 비내력 축벽, 농업수로의 대체수로, 각종 토류벽의 대체 옹벽, 농가주택 및 전원주택에의 자연재 벽체(내력벽 및 비내력벽) 등으로 이용가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 권영수, 1985, 흙의凍結作用과鋪裝設計, 건설기술, Vol. 115, pp. 9-13
2. 三木博史, 林義之, 山田哲也, 森範行, 1994, ハイグレードソイルの利用技術, 土と基礎, Vol.42, No.2, pp.25~30
3. 三木博史, 林義之, 森邦夫, 加津憲章, 1994, 纖維混合土の利用技術の開発, 土と基礎, Vol.42, No.11, pp.11~16
4. 유능환 外, 1990, 凍結-融解作用이 흙의 諸強度特性에 미치는 影響 III; 斷熱材를 挿入한 凍結盛土地盤의 熱的舉動 한국농공학회지, Vol. 32, No. 2, pp. 53-58
5. 유능환 外, 1990, 凍結-融解作用이 흙의 強度特性에 미치는 影響 IV; 斷熱材를 挿入한, 한국농공학회지, Vol 32, No.3, pp. 39-46
6. 유능환 外, 1991, 凍結 및 凍結-融解作用을 받는 粘性土의 強도와 그의 變形舉動, 한국농공학회지, Vol. 33, No. 2, pp. 112-119
7. 유능환 外, 1993, 凍結土의 壓縮強度에 관한 實驗的 研究, 한국농공학회지, Vol.35, No.4. pp. 55-66
8. 유능환, 1995, 동결토의 압축강도에 관한 실험적 연구, 강원대농업과학연구, Vol.6, pp. 87-99
9. 유능환, 박승범, 1989, 凍結-融解作用이 흙의 諸強度特性에 미치는 影響 I, 한국농공학회지, Vol. 31, No.2, pp.43-53
10. 유능환, 유연택, 1989, 凍結·融解反復作用이 花崗巖風化土의 物理的性質에 미치는 影響 II, 한국농공학회지, Vol.31, No.3, pp.70-80
11. 이광중, 문연준, 1982, 地盤의 凍結深度를 考慮한 基礎構造物의 適正買入 깊이에 관한 研究, 건축, Vol. 107, pp. 76-82
12. 이종규, 1989, 振動과 凍結-融解作用이 粘土의 Creep 舉動에 끼치는 影響, 단국대 논문집(자연과학·예·체능), Vol. 23, pp.135-151
13. 이형수, 1994, 동결토압, 대한토목학회지, Vol. 42, No. 1, pp.57-58
14. 전우섭, 1988, 凍結 - 融解後 다짐土의 強度變化에 관한 研究, 대구대산업기술연구, Vol. 4, pp. 103-109

15. 전우섭, 1994, 동결조건에 따른 점토의 응력-변형거동에 관한 연구, 대구대학교기술연구, Vol. 1, pp. 311-317
16. 정철호, 1989, 우리나라 凍結土의 土群別 分析과 凍結深度에 관한 研究, 대한토질공학회지, Vol. 5, No. 4, pp. 5-16
17. 채영수, 1990, 동결음해로 인한 재해 ; 지반공학과 자연재해 I, 대한토질공학회지, Vol.6, No.4, pp.112-120
18. 홍원표 김명환, 1988, 우리나라의 凍結深度에 관한 研究, 대한토목학회논문집, Vol. 8, No.2, pp. 147-154
19. 조삼덕, 김진만, 1993, 섬유혼합 보강토의 전단특성, 가을학술발표회 논문집, 한국지반공학회
20. 이종근, 1979, 무기재료원료공학, 반도출판사, pp. 383~387
21. 문한영, 1996, 건설재료학, 동명사
22. 한국콘크리트학회, 1997, 콘크리트 혼화재료, 기문당
23. 조동원, 1989, 생석회와 무수석고의 혼합물이 시멘트의 건조수축에 미치는 영향
24. 안지환, 1988, 증산지역의 석회석으로부터 경질탄산칼슘 제조에 관한 연구
25. 김영수, 1976, 생석회 Pile에 의한 심층 연약 점토의 지반 개량에 대한 실험적 연구
26. 천병식, 김수삼, 강부진, 고경환, 김준섭, 1996, 생석회공법에 의한 지반개량효과에 관한 연구, 한국지반공학회지, '96 봄 학술발표회 논문집
27. 장병욱, 박영곤, 우철웅, 김강석, 1999, 섬유혼합보강토의 일축강도 특성, 한국농공학회지 41(1) : pp. 72~78
28. 고흥석, 고남영, 홍순영, 1991, 흙-토목섬유 Interface 특성에 관한 연구, 한국농공학회지 33(2) : pp. 82~93
29. 류능환, 1983, 보강토 공법에 관한 연구, 한국농공학회 25(2) : pp. 54~66
30. 조성징, 강예묵, 1985, 흙의 입도분포가 석회혼합토의 강도특성에 미치는 영향, 한국농공학회지 27(2) : pp. 57~71
31. 김유성, 이재열, 1998, 부직포 보강 점성토의 보강효과에 관한 기초적 연구, 한국지반공학회지 14(4) : pp. 61~75

33. 유한규, 1997, 보강점토의 파괴거동에 관한 연구, 한국지반공학회지 13(1) : pp 159~168
34. 성상열, 1985, 점토분이 석회혼합토에 미치는 영향, 한양대학교 석사학위논문
35. 신영훈, 1995, 한국의 살림집, 설화당
36. 윤재환, 1997, 포틀랜드 시멘트 및 콘크리트, 세진사
37. 오병환 외, 1993, 고강도 콘크리트 부재의 크리프 및 건조수축 특성에 관한 실험적 연구, 대한토목학회논문집 13(2) : pp. 31~40
38. 송재선, 1987, 벽돌공학, 한국적연와협회, pp. 48~70.
39. 송재선, 1989, 벽돌기술, 한국적연와협회, pp. 27~56.
40. 장기인, 1996, 벽돌, 진성각, pp. 153~157
41. 박영곤, 1999, 섬유혼합토의 파괴 예측모델의 개발과 비배수 강도 특성 분석, 서울대학교 박사학위 논문, pp. 11~22
42. 김강석, 1999, 건조된 섬유혼합토의 강도특성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문, pp. 4~51
43. 박진철, 1993, 조립식주택의 결합부위에 대한 열적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 서울, 대한건축학회, 1993.5 9(5), 55, pp.87-96 1225-1674
44. 이경희, 1992, 흙과 인간 환경, 건축.36(3),166 서울. 대한건축학회지:건축. 1992 36(3), 166, pp.5-12
45. 정광섭, 1994, 건물의 열부하와 에너지 절약, 건축.39(6),193 서울. 대한건축학회지:건축. 1994 39(6), 193, pp.44-52 1225-1666
46. 김봉주, 1995, 현장측정을 통한 기존건물벽체의 열성능 평가 연구, 대한건축학회 논문집 서울, 대한건축학회, 1995.9 11(9), 83, pp.137-143 1225-1674
47. 한대석, 1991, 흙의 열전달을 산정법에 관하여, 지반공학회지 제 7권 3호, pp. 65~66
48. 최연창, 1996, 벽돌을 이용한 건축물의 외관표현 방법에 관한 연구, 성균관대 대학원
49. 김문한, 1980, 마사토 벽돌의 개발 및 그 시공의 타당성에 관한 연구(I), 경화제 사용을 중심으로 고찰한 기초연구, 건설기술 67(80. 10), pp.16-26

50. 김문한, 1981, 마사토 벽돌의 개발 및 그 시공의 타당성에 관한 연구, 기초연구를 바탕으로 고찰한 응용연구, 건설기술 69(81. 1), pp.25-39
51. 권혁거, 1984, 벽돌, 현대주택 102(84. 10), pp.134-138
52. 도강희, 1979, 특수벽돌, 건설기술 56(79. 11), pp.19-21
53. 이영호, 김문한, 1990, 건축물 벽체의 표면 열전달 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 29(90. 6), pp.181-189
54. 한선희, 1992, 벽체의 단열시공결함에 따른 단열성능 평가에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 60(92. 12), pp.127-133
55. 정무용, 1982, 한국건축의 외부벽체에 관한 연구, 외부공간 구성요소로서, 건축 105(82. 4), pp.36-42
56. 도강희, 1972, 개량 흙 벽돌에 관한 연구, 건축.16(48) 서울. 대한건축학회지:건축. 1972 16(48), pp.9-14
57. 이석우, 1971, 벽돌 척도 조정 연구, 건축.15(42) 서울. 대한건축학회지:건축. 1971 15(42), pp.35-38
58. 신영훈, 1992, 흙으로 짓는 집, 건축.36(3),166 서울. 대한건축학회지:건축. 1992 36(3), 166, pp.13-15
59. 신문철, 1966, 흙벽돌의 압축강도에 관한 연구, 건축.10(22) 서울. 대한건축학회지:건축. 1966 10(22), pp.49-53
60. 박경호, 1978, 석고를 주원료로한 건축자료에 관하여, 건축.22(81) 서울. 대한건축학회지:건축. 1978 22(81), pp.42-51
61. 김용부, 1992, 흙건축과 기술, 건축.36(3),166 서울. 대한건축학회지:건축. 1992 36(3), 166, pp.36-41
62. 김무한, 1992, 건축의 구성재료와 환경성능요인, 건축.36(5),168 서울. 대한건축학회지:건축. 1992 36(5), 168, pp.62-67 1225-1666
63. 오창희, 1984, 건물외벽의 열적성능에 관한 연구(I), 건축.28(119) 서울. 대한건축학회지:건축. 1984 28(119), pp.71-77
64. 유호천, 1994, 건축환경과 결로, 건축.39(6),193 서울. 대한건축학회지:건축. 1994 39(6), 193, pp.53-57 1225-1666

65. 윤정숙, 1994, 실내환경의 열쾌적성 평가, 건축.39(6),193 서울. 대한건축학회지:건축. 1994 39(6), 193, pp.36-40 1225-1666
66. Anderson, O., 1977, The use of plastic fabric for pavement protection during frost break, Cr. Coll. Int. Sols., Textiles, Paris, pp.143-149
67. Andrawes, K. Z., A. McGown, R. F. Wilson-Fahmy and M. M. Mash-hour, 1982, The finite element methods of analysis applied to soil-geotextile systems, Proc. of the 2nd Int'l. Conf. on Geotextile, Vol. 3, pp. 698-700
68. Arvind Phukan, 1985, Forzen ground engineering, Prentice-Hall
69. Barksdale, R., Q. Robnett, J. Lai and A. Zeevaert-Wolff, 1982, Experimental and theoretical behaviour of geotextile reinferced aggregate soil system, Proc. of the 2nd Int'l. Conf. on Geotextile, Vol. 2, pp. 375-380
70. Barvashov, V. A., V. G. Budanov, A. N. Fomin, Ju. R. Perkov and V. I. Pusbkin, 1977, Deformation of soil foundation reinforced with pre-stressed synthetic fabrics, Cr. Coll. Int. Sols., Paris, pp. 67-69
71. Bell, J. R. and D. R. Greenway and W. Vischer, 1977b, Construction and Analysis of a fabric reinforced low embankment, Cr. Coll. Int, Sols., Textiles, Paris, pp. 71-76
72. Bell, J. R. and J. E. Steward, 1977a, Construction and observation of fabric retained soil walls, Cr. Coll. Int Sols., Textiles, Paris, pp. 123-128
73. Bernard D. Alkire, Jahangir Jashimuddin, 1984, Changes in Strength of Silt Due to Freeze-Thaw, Journal of Technical Topics in Civil Engineering, vol. 110, No.1, pp. 48-53
74. Binquet, J. and K. L. Lee, 1975a, Bearing capacity analysis of reinforced earth slabs(II), J. of the Geot. Engg. Div., ASCE, Vol. 101, No. GT12, pp. 1257-1276
75. Binquet, J. and K. L. Lee, 1975a, Bearing capacity analysis of reinforced earth slabs(I), J. of the Geot. Engg. Div., ASCE, Vol. 101, No. GT12, pp. 1241-1255
76. Blanchier, A. and J. Gielly, 1982, Study of stability-up slopes by layers of geotextile, Proc. of the 2nd Int'l. Conf. on Geotextiles, Vol. 3, pp. 621-624

77. Blivet, J. C. and P. Jouve, 1986, Numerical modelizing of earth reinforcement by geotextile : hydraulic function, 3rd Int'l. Conf. on Geotextiles, pp. 1061-1065
78. Brown, B. S. and H. G. Poulos, 1981, Analysis of foundation on reinforced soil, Proc. of the 10th Int'l. Conf. on SM and FE, Stockhlo, pp. 595-598
79. C. H. Benson, T. H. Abichou, M. A. Olson, P. J. Bosscher, 1995, Winter Effects on Hydraulic Conductivity of Compacted Clay, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 121, No. 1, pp. 69-79
80. Craig H. Benson. Majdi A. Othman, 1993, Hydraulic Conductivity of Compacted Clay Frozen and Thawed in Situ, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 119, No. 2, pp. 276-294
81. E. J. Chamberlain, A. E. Erickson, C. H. Benson, 1995, Effects of Frost Action on Compacted Clay Barriers, Geoenvironmental 2000, pp. 702-717
82. Emil Karl Sauer, N. F. Weimer, 1978, Deformation of Lime Modified Clay after Freeze-Thaw, Journal of Transportation Engineering, Vol. 104, No. 2, pp. 201-212
83. Franke C. Walberg, 1978, Freezing and Cyclic Triaxial Behavior of Sands, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 104, No. GT5, pp. 667-671
84. G. Scott Crowther, 1992, Estimating Thaw-Strain Settlement of Frozen Fill, Journal of Cold Regions Engineering, Vol. 6, No. 4, pp. 152-159
85. Giroud, J. P. and J. Perfetti, 1977, Classification of fabrics and measurement of their properties with a view to utilization in geotechnics, Cr. Coll. Int, Sols., Textiles, Paris, pp. 345-352
86. Gourc, J. P., J. Monnet and M Mommessin, 1986, Reinforced embankments on weak soil : Different theoretical approaches, 3rd Int'l. Conf. on Geotextiles, pp. 1043-1048"
87. Gray, D.H. and H. Ohashi, 1983, Mechanics of fiber reinforcement in sand, J. of Geotech. Engrg. Div., ASCE, Vol.No., pp 335-353.
88. Gray, D.H. and T. Al-Refeai, 1986, Behavior of fabric-versus-reinforced sand, J.

of Geotech. Engrg. Div., ASCE, Vol.No., pp 804.

89. Gryczmanski, M. and J. Sekocski, 1986, A Composite application for analysis of stresses in a subsoil reinforced by geotextile, 3rd Int'l. Conf. on Geotextiles, pp. 181-196

90. Guido, V. A., G. L. Biesiadecki and M. J. Sullivan, 1985, Bearing capacity of a geotextile-reinforced foundation, Proc. of the 11th Int'l. Conf. on SM and FE, San Francisco, Vol. 3, pp. 1777-1780

91. Holtz, R. D., 1977b, Laboratory studies of reinforced earth using a woven polyester fabric, Cr. Coll. Int. Sols., Textiles, Paris, pp. 149-154

92. Jarret, P. M., R. A. Lee and D. V. B. Ridell, 1977, The use of fabrics in road pavements constructed on peat, Cr. Coll. Int. Sols., Textiles, Paris, Vol. 1, pp. 19-22

93. Jason F. Kraus, Craig H. Benson, Allan E. Erickson, Edwin J. Chamberlain, 1997, Freeze-Thaw Cycling and Hydraulic Conductivity of Bentonitic Barriers, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 123, No. 3, pp. 229-238

94. Jessberger, H. L., 1977, Load-bearing behavior gravel subbase nonwoven fabric-soft subgrad system, Cr. Coll. Int. Sols., Textiles, Paris, Vol. 1, pp. 9-13

95. Jeyapalan, J. K. and R. L. Lytton, 1982, Stress reduction in flexible culverts due to overlays of geofabric, Proc. of the 2nd Int'l. conf. on Geotextiles, pp. 701-706

96. K. Dieter Eigenbrod, Sven Knutsson, Daichao Sheng, 1996, Pore-Water Pressures in Freezing and Thawing Fine-Grained Soils, *Journal of Cold Regions Engineering*, Vol. 10, No. 2, pp. 77-92

97. Lee, K.L., B.D.Adams and J.J. Vagneron, 1973, Reinforced earth retaining walls, *J. of Geotech. Engrg. Div., ASCE*, Vol.99 No. SM10, pp 721-726

98. Maher, M.H. and D.H.Gray, 1990, Static response of sands reinforced with randomly distributed fibers, *J. of Geotech. Engrg. Div., ASCE*, Vol.No., pp 1661-1677.

99. Maher, M.H. and R.D. Woods, 1990, Dynamic response of sand reinforced with randomly distributed fibers, *J. of Geotech. Engrg. Div., ASCE*, Vol.No., pp

1116-1131.

100. Mahmoud, F. F. and M. M. Mashhour, 1986, An elastoplastic finite element for the analysis of soil-geotextile systems, 3rd Int'l. Conf. on Geotextiles, pp. 229-231

101. Majes, B. and D. Batlelino, 1985, Effect of surface reinforcing of soft soils, Proc. of the 11th Int'l. Conf. on SM and FE, San Francisco, Vol. 3, pp. 1729-1734

102. McGown, A. and K. Z. Andrawes, , M. M. Mashhour and B. Myles, 1981, Strain behaviour of soil-fabric model embankments, Proc. of the 10th Int'l. Conf. on SM and FE, Stockholm, pp. 739-744

103. McGown, A. and K. Z. Andrawes, 1977, The influence of nonwoven fabric inclusions on the stress-strain behavior of a soil mass, Cr. Coll. Int. Soils., Textiles, Paris, Vol. 1, pp. 161-166

104. Mehmet A. Sherif, Wing-Wai Ding, Member, Isao Ishibashi, 1977, Heave of Silty Sands, Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 103, No. 3, pp. 185-195

105. N. A. Tsytovich, 1975, The Mechanics of frozen ground, McGraw-Hill

106. Nelson, N.S.Chou, 1994, Present design problems and finite element method study on performance of geosynthetic-reinforced soil walls, Recent Case Histories of Permanent Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls, Balkema, Rotterdam, pp. 315-316

107. Nieuwenhuis, J. K., 1977, Membranes and the bearing capacity of road bases, Cr. Coll. Int. Sols., Textiles, Paris, pp. 3-8

108. Petrik, P. M., 1977, Development of stresses in reinforcement and subgrade of a reinforced soil slabs, Cr. Soll. Int. Sols., Textiles, Paris, pp. 151-154

109. Petrik, P. M., R. Baslik and Leitner, 1982, The Behavior of reinforced embankment, Proc. of the 2nd Int'l. Conf. on Geotextiles, pp. 631-634

110. Robert D. Hewitt, David E. Daniel, 1997, Hydraulic Conductivity of Geosynthetic Clay Liners after Freeze-Thaw, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 123, No. 4, pp. 305-313

111. Rowe, R. K., 1982, The analysis of an embankment constructed on a geotextile, Proc. of the 2nd Int'l. Conf. on Geotextiles, Vol. 3, pp. 677-682
112. Schwab, E. F., O. Pregl and B. B. Broms, 1977, Deformation behavior of reinforced sand act model tests measured by the X-ray technique, Cr. Coll. Int. Soils, Textiles, Paris, pp. 105-112
113. Smith, A. K. C. and P. L. Bransby, 1976, The failure of reinforced earth walls by overturning, Geotechnique, pp. 376-381
114. Smith, I. M. and R. Hobbs, 1974, Finite element analysis of centrifuged and built-up slope, Geotechnique, Vol. 24, No. 4, pp. 531-559
115. Thomas G. Krzewinski, Rupert G. Tart, 1985, Thermal design, consideration in frozen ground engineering, American Society of Civil Engineers
116. Woon-Hyung Kim, David E. Daniel, 1992, Effects of Freezing on Hydraulic Conductivity of Compacted Clay, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 118, No. 7, pp. 1083-1097
117. Yasuhara, K. and Y. Tsukamoto, 1982, A rapid banking method using the resinuous mesh on a soft reclaimed land, Proc. of the 2nd Int'l. Conf. on Geotextiles, Vol. 3, pp. 635-640
118. Yasuhara, K., K. Hirao, N. Miura, T. Yamanouchi and K. Ryokai, 1986, The use of geotextile against settlement of soft clay under cyclic loading, 3rd Int'l. Conf. on Geotextiles, Vol. 2, pp. 193-198
119. Mohamad H. Maher, Donald H. Gray, 1990, Static response of sands reinforced with randomly distributed fibers, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 116, No. 11
120. D. K. Atmatzidis, G. A. Athanasououlos, 1994, Sand-Geotextile friction angle by conventional shear testing, New Delhi, inde
121. Thomas Kruse, Thomas Voigt, 1994, Frictional behaviour between smooth and rough geomembranes, various soils and geotextiles, Prediction versus Performance in Geotechnical Engineering

122. R. A. Jewell, 1996, Soil reinforcement with geotextiles, Construction Industry Research and Information Association

123. Salomone, L. A. et al. 1984, Thermal resistivity of soils, Journal of geotechnical engineering, Vol. 110, No. 3, pp 375~389

124. Salomone, L. A. et al. 1984, Thermal Performance of fine-Crained soils, Journal of geotechnical engineering, Vol. 110, No. 3, pp 359~374

125. T. L. Brandon, 1989, Factors influencing thermal resistivity of sands, Journal of geotechnical engineering, Vol. 155, No. 12, pp 1683~1698

126. Frank P. Incropera, David P. DeWitt, 1998, Introduction to heat transfer, Purdue university, pp 1~75