

발간등록번호

11-1541000-001380-01

농업용 수자원 보존을 위한 에너지 절감형
고성능 Green Block 개발 및 현장 적용

(The Development and Field Application of High Performance
Green Block for Energy Saving and Agricultural Water
Resource Preservation)

충남대학교

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업용 수자원 보존을 위한 에너지 절감형 고성능 Green Block 개발 및 현장 적용에 관한 연구”과제의 보고서로 제출합니다.

2012 년 4 월 9 일

주관연구기관명 : 충남대학교

주관연구책임자 : 성 찬 용

선 임 연 구 원 : 김 영 익

연 구 원 : 이 승 훈

연 구 원 : 임 원 일

연 구 원 : 한 영 규

연 구 원 : 장 경

연 구 원 : 노 진 용

연 구 원 : 김 한 상

연 구 원 : 조 성 인

연 구 원 : 한 소 영

연 구 원 : 손 효 정

참 여 기 업 명 : 드림이엔지

책 임 연 구 원 : 이 덕 주

연 구 원 : 김 중 창

연 구 원 : 채 승 환

요 약 문

I. 제 목

농업용 수자원 보존을 위한 에너지 절감형 고성능 Green Block 개발 및 현장 적용

II. 연구개발의 목적 및 필요성

건설폐기물 및 산업폐기물을 활용한 에너지절감형 고성능 Green Block 개발
우수유출저감 및 지하수자원 함양을 위한 고성능 우수침투형 Green Block 개발
우수침투형 Green Block 및 조합 블록 포장에 의한 우수유출-침투 효과 분석
보·차도용 Green Block의 현장적용에 의한 공용성 평가 및 시공법 개발

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 재생골재 및 산업폐기물을 활용한 에너지 절감형 고성능 폴리머 콘크리트 개발
 - 가. 산업폐기물 및 부산물의 중금속 용출 특성 분석
 - 나. 재생골재, 분체 및 결합재량에 따른 Green Concrete의 역학적 특성 분석
 - 다. 폴리머 콘크리트의 충전재로 굴 패각 미분말의 활용성 평가
2. 투수 포장을 위한 고강도 및 고내구성 포러스 폴리머 콘크리트 개발
 - 가. 우수유출저감 및 지하수자원 함양을 위한 포러스 폴리머 콘크리트 개발
 - 나. 결합재량 및 골재크기에 따른 포러스 폴리머 콘크리트 특성 분석
 - 다. 투수성 포장 설계기준을 고려한 포러스 폴리머 콘크리트 최적배합 도출
3. 에너지 절감형 고성능 및 우수침투형 Green Block 개발
 - 가. 에너지 절감형 고내구성 Green Block 및 고인성 Green Block 개발

- 나. 투수 포장을 위한 우수침투형 Green Block 및 고인성 Green Block 개발
- 다. 우수유출저감 및 지하수자원 함양 효과 평가를 위한 수리 모형

4. 경관 조성 및 녹지공간 창출을 위한 식생 Green Block 개발

- 가. 포러스 Green Block을 활용한 식생 Green Block 개발
- 나. 식물의 종류에 따른 식생 Green Block 내 식물의 성장 특성
- 다. 중공 Green Block과 식생의 조합에 의한 조합 블록 개발

5. 보·차도용 Green Block 및 우수침투형 Green Block 현장 적용

- 가. Green Block 현장적용을 위한 대상구간 선정 및 블록 조합
- 나. Green Block, 우수침투형 Green Block 및 조합 블록 포장 시공
- 다. Green Block 포장의 현장적용성 평가 및 시공법 제시

IV. 연구개발 결과

1. 재생골재 및 산업폐기물 활용한 에너지 절감형 고성능 폴리머 콘크리트 개발

결합재량에 따라 85~97MPa의 압축강도와 17.9~22MPa의 휨강도를 갖는 고강도 재생 폴리머 콘크리트가 개발되었으며, 동결융해 300 사이클 후 중량감소율이 1.5% 미만으로서 매우 높은 내구성 지수와 20% 황산 용액에 8주 동안 침적 후 중량감소율이 7% 미만으로 우수한 내산성을 나타내었다. 또한 수산폐기물인 굴 폐각 분말을 폴리머 콘크리트의 충전재로 활용한 결과 기존에 충전재로 주로 사용되는 탄산칼슘을 사용한 폴리머 콘크리트와 유사한 역학적 특성을 나타내어 활용성이 높을 것이다.

2. 투수 포장을 위한 고강도 및 고내구성 포러스 폴리머 콘크리트 개발

결합재량이 증가함에 따라 골재 크기에 관계없이 포러스 콘크리트의 공극률 및 투수계수는 감소하는 경향을 나타내었으며, 모든 배합에서 18% 이상의 높은 공극률과 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 이상의 투수계수를 나타내었다. 결합재량이 증가함에 따라 압축강도

는 증가하는 경향을 나타내었으며, 7% 이상의 결합재량에서 18MPa 이상의 압축강도를 나타내었다. 동결융해 300 사이클 후 중량감소율 및 10% 황산용액에 12 침적 후 중량감소율이 각각 5% 및 3% 미만으로서 매우 높은 내구성을 가지는 것으로 나타났다. 기존 시멘트 포러스 콘크리트에서 내구성 저하가 가장 큰 문제점으로 대두되는 것을 고려할 때 포러스 폴리머 콘크리트를 투수 포장에 활용할 경우 강도 및 내구성 측면에서 매우 유리할 것이다.

3. 에너지 절감형 고성능 및 우수침투형 Green Block 개발

포러스 구조를 가지는 형상별 우수침투형 Green Block 및 섬유보강 우수침투형 Green Block의 공극률은 각각 24% 및 22%로 투수성 아스팔트 포장의 공극률 기준 8%를 크게 상회하는 것으로 나타났으며, 투수계수 또한 투수성 아스팔트 혼합물의 투수계수 기준인 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 을 상회하는 것으로 나타났다. 또한, 블록의 종류에 관계없이 Green Block의 휨강도는 10MPa 이상을 나타내어 보·차도용 블록의 휨강도 기준인 5MPa를 크게 상회하였다. 강우강도 50mm/hr, 100mm/hr, 150mm/hr 및 200mm/hr에 대한 투수 블록 포장 수리모형 실험에서 투수성 블록 포장에 의해 강우발생 후 표면 유출 시점이 크게 지연될 뿐만 아니라 표면 유출량 또한 크게 감소되기 때문에 투수성 포장에 활용할 경우 우수유출 저감 및 지하수 함량 증대 효과를 기대할 수 있다.

4. 경관 조성 및 녹지공간 창출을 위한 식생 Green Block 개발

식생 폴리머 블록에서 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스를 파종한 경우 블록의 높이와 관계없이 약 4~6일에 초기 발아가 시작되었으며, 초기발아율은 각각 약 65% 및 60%를 나타내었다. 파종 후 4주가 경과한 시점에서 피복도는 식물의 종류 및 블록 높이에 관계없이 모두 8점 이상으로 매우 우수한 피복도를 나타내었으며, 파종 후 8주가 경과한 시점에서 한지형 잔디의 생장길이는 5~7cm로 나타났다. 파종 후 20주가 경과한 시점의 식생 폴리머 블록에서 5cm의 블록 뿐만 아니라 높이 10cm 블록에 파종한 한지형 잔디의 뿌리가 블록을 완전히 관통하는 것으로 나타났으며, 높이 5cm 블록을 관통한 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 뿌리길이는 각

각 15cm 및 20cm로 나타났다. 포러스 폴리머 블록에 식생 적용 결과 식물의 발아 및 생육이 원활히 진행되는 것으로 나타나 자연친화형 사면 및 호안의 녹화 공법에 적용할 수 있을 것이다.

5. 보·차도용 Green Block 및 우수침투형 Green Block 현장 적용

개발된 다양한 형상의 고강도 및 고내구성의 재생 폴리머 콘크리트를 활용한 Green Block, 투수성 포장을 위한 우수침투형 Green Block 및 섬유보강 고인성 Green Block의 현장 적용성을 평가하기 위하여 K 국립공원의 입구에 현장실험 시공을 실시하였으며, 블록의 현장 적용 후 사용성에 의해 블록의 강도 저하, 투수계수 감소, 동결융해에 따른 저항성 및 내구성 등을 평가하였다. 시공 후 3개월이 경과한 시점에서 형상별 고성능 Green Block에 관계없이 모든 블록에서 균열, 표면탈락 및 파괴 등이 발생하지 않는 것으로 나타났으며, 블록 포장의 처짐 등이 발생하지 않아 블록층 아래의 포장층에 대한 안정성이 우수한 것으로 나타났다. 한편, 형상별 우수침투형 Green Block 포장 면적에서의 균열을 평가했을 때, 블록의 형상에 관계없이 매우 양호한 결과를 나타내었으며, 블록의 모서리 부분 및 테두리 부분에서 약간의 골재 탈락이 관찰되었다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

재생골재를 활용한 폴리머 콘크리트의 개발

발생량이 계속적으로 증가함에도 불구하고 활용성이 미흡한 건설폐기물인 재생골재 및 산업폐기물인 고로슬래그 미분말과 플라이 애시를 활용한 폴리머 콘크리트를 개발하여, 고강도 및 고내구성이 요구되는 친환경 토목구조물에 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 골 패각 미분말 등과 같은 폐기물의 활용 등 친환경 건설재료 개발에 기여할 예정이다.

재생골재를 활용한 투수 포장용 포러스 폴리머 콘크리트의 개발

우수유출저감 및 지하수자원 확보 차원에서 활용성이 증가 추세에 있는 투수성

포장에 활용하기 위하여 투수 포장 설계기준에 부합하는 고내구성의 포러스 폴리머 콘크리트가 개발되었으며, 이를 기본으로 호안 및 사면 보호공 등 포러스 구조가 요구되는 다양한 현장에 적용할 수 있도록 다양한 특성을 가지는 포러스 폴리머 콘크리트를 계속적으로 개발할 예정이다.

Green Block 개발 및 우수침투형 Green Block 포장의 우수유출 저감

기존 포장 및 투수성 포장에 사용되는 인터로킹 블록의 특성을 크게 개선한 고강도, 고내구성의 친환경 Green Block이 개발되었으며, 현장적용 및 공용성 평가 결과를 토대로 실용화 및 산업화 할 수 있는 Green Block의 선정 및 제품화 할 수 있도록 업체와의 협의를 추진할 예정이다.

Green Block 포장의 현장적용 및 시공법 개발

투수 포장에 활용하기 위한 표층용 인터로킹 블록 뿐만 아니라 표층 하부의 투수 특성을 고려한 투수 포장 시공법을 개발하여, 우수유출저감 및 지하수자원 확보에 기여할 수 있도록 Green Block의 제품화 및 우수침투형 Green Block 포장공법에 연계하여 실용화를 진행할 예정이다.

SUMMARY

I. Title

The Development and Field Application of High Performance Green Block for Energy Saving and Agricultural Water Resource Preservation

II. Purpose of and need for the research and development

The high performance and energy-saving Green Block development by utilizing construction and industrial wastes

The high performance rainfall infiltration type Green Block development to reduce rainfall runoff and to build up underground water resource

Analysis of rainfall runoff and infiltration effect by rainfall infiltration type Green Block and combined block pavement

Evaluation of possibility of common use and development of construction execution method by site application of Green Block for driveway and sidewalk

III. Details and scope of the research and development

1. Development of high performance and energy-saving polymer concrete by utilizing recycled aggregate and industrial wastes

A. Analysis of heavy metal elution characteristics of industrial wastes and byproducts thereof

B. Analysis of dynamic characteristics of green concrete depending on the amount of recycled aggregate, particulate material and binder

C. Evaluation of utilization of ground granulated oyster shell as filler for polymer concrete

2. Development of porous polymer concrete with high strength and durability for permeability pavement

A. Development of porous polymer concrete designed to reduce rainfall runoff and to build up underground water resource

B. Analysis of characteristics of porous polymer concrete depending on the amount of binder and size of aggregate

C. Introducing optimum mixing method for porous polymer concrete that considers design criteria for permeability pavement

3. Development of high performance and energy-saving Green Block with rainfall infiltration

A. Development of energy-saving Green Block with high durability as well as Green Block with high toughness

B. Development of rainfall infiltration type Green Block for permeability pavement and Green Block with high toughness

C. Irrigation system model designed for evaluation of the effects of rainfall runoff reduction and promotion of underground water resource use

4. Development of Green Block for vegetation designed to create scenery and green area

A. Development of Green Block for vegetation by using porous Green Block

B. Characteristics of plants' growth and development within Green Block for vegetation depending on different types of plants

C. Development of combination block by combining hollow Green Block and vegetation

5. Site application of Green Blocks for driveway and sidewalk and Green Blocks

with rainfall infiltration

A. Selection of target section for site application of Green Blocks and combination of blocks

B. Construction execution of pavement with Green Blocks, Green Blocks with rainfall infiltration and combination blocks

C. Evaluation of possibility of site application of Green Block pavement and suggestion of construction execution method

IV. Results of the research and development

1. Development of high performance and energy-saving polymer concrete by utilizing recycled aggregate and industrial wastes

Recycled polymer concrete with high strength having compressive strength of between 85 and 97MPa and flexural strength of between 17.9 and 22MPa depending on the amount of binder was developed and it was also found that the concrete developed had very high durability factor as well as excellent acid resistance as the rates of weight loss were less than 1.5% and 7% respectively after 300 cycles of freezing and melting and deposition for 8 weeks with 20% sulfuric acid solution. In addition, ground granulated oyster shell, a kind of fishery wastes, was used as filler of the polymer concrete and the result showed the dynamic characteristics similar to the polymer concrete using calcium carbonate, the filler material frequently used in the past, suggesting that it can be effectively and widely utilized.

2. Development of porous polymer concrete with high strength and durability for permeability pavement

It was found that both porosity and permeability coefficients tended to decrease as the amount of binder increased regardless of aggregate size, and the porosity and permeability coefficients were 18% or more and 1×10^{-2} cm/s and more respectively in any and all types of mix. It was also noticed that the compressive strength tended to increase as the amount of binder increased, and, specifically, the compressive strength of 18MPa or more was shown when the amount of binder was 7% or more. The result also showed that the concrete had a very high durability as the rates of weight loss were less than 5% and 3% respectively after 300 cycles of freezing and melting and deposition for 12 weeks with 10% sulfuric acid solution. If consideration is given to the fact that degraded durability is the most serious problem in the existing cement porous concrete, the porous polymer concrete is expected to have a great advantage in terms of strength and durability when it is used in permeability pavement.

3. Development of the high performance and energy-saving Green Block with rainfall infiltration

It was found that the porosities of the rainfall infiltration type Green Block by different shapes with porous structures and the rainfall infiltration type Green Block with fiber reinforcement were 24% and 22% respectively, indicating that they significantly exceeded the criteria of porosity of 8% for permeable asphalt pavement, and the coefficients also exceeded the criteria of 1×10^{-2} cm/s for the permeable asphalt mixture. In addition, the flexural strength of the Green Block was 10MPa or more regardless of the types of block, which exceeded the criteria of the flexural strength of 5MPa for blocks designed for driveway and sidewalk. In the irrigation system model test on permeable block pavement for rainfall intensities of 50mm/hr, 100mm/hr, 150mm/hr and 200mm/hr, the permeable block pavement not only resulted in delay of rainfall runoff time but also led to reduction of runoff after rainfall, which indicates that the effects of runoff

reduction and underground water increase can be expected when it is used in permeability pavement.

4. Development of Green Blocks for vegetation to create scenery and green area

Seeds of tall fescue and perennial ryegrass were sown to the vegetation polymer blocks and the initial germination began 4 to 6 days after the seeds were sown regardless of height of the blocks with the rate of initial germination of 65% and 60% respectively. The degree of land-cover was also excellent with 8 points or more at the time when 4 weeks elapsed from the date of seeding regardless of types of the plant and height of the blocks, and the length of growth of cool-season grasses was 5 to 7cm at the time when 8 weeks elapsed from the time of the seeding. The roots of the cool-season grasses of which seeds were sown to the blocks with height of 5cm as well as 10cm were seen to penetrate through the whole blocks at the time when 20 weeks elapsed from the time of the seeding, and the lengths of the roots of the tall fescue and perennial ryegrass that penetrated through the blocks with height of 5cm were 15cm and 20cm, respectively. As germination and growth and development of plants applied to the porous polymer blocks continued smoothly, it seems that they can be effectively applied to environment-friendly greening execution of slopes and revetments.

5. Site application of the Green Blocks for driveways and sidewalks and the rainfall infiltration type Green Blocks

In order to evaluate the site application possibility of the Green Block made by recycled polymer concrete of many different shapes and having high strength and durability, the rainfall infiltration type Green Block for permeability pavement and Green Block with fiber reinforcement and high toughness, experimental on-site execution was performed at the entrance of K National Park, and degradation of

strength of the blocks, reduction of permeability coefficient, resistance and durability after freezing–melting cycle, etc. were evaluated after the field application of the blocks. It was found that crack, fall of surface and breakage, etc. did not occur to the blocks at the time when three months elapsed from the date of the execution regardless of the shape and strength of the Green Block and stability of the pavement layer underneath the block pavement was also excellent as deflection of block pavement did not appear. On the other hand, when the cracks on the rainfall infiltration type Green Block by shape were evaluated, the evaluation result was very good regardless of the shapes of block, however, it was observed that some aggregate fell from the corners and edges of the blocks.

V. Research performance and plan thereof

Development of polymer concrete using recycled aggregate

It can be determined that polymer concrete utilizing recycled aggregate, the construction wastes that have not been fully utilized despite its continued increase and ground granulated furnace slag and fly ash, the industrial wastes, can be developed and utilized in the environment–friendly structures of civil engineering that require high strength and durability, and contribution to development of environment–friendly construction materials such as utilization of wastes including ground granulated oyster shell, etc. can also be made.

Development of porous polymer concrete for permeability pavement by utilizing recycled aggregate

In order to apply to permeability pavement which is increasingly used to reduce rainfall runoff and secure underground water, porous polymer concrete with high

durability conforming to the design criteria for permeability pavement was developed, and the development effort will continue so that it may be diversified in terms of the field application characteristics such as revetment and slope protection works requiring porous structure.

Development of Green Block and reduction of rainfall runoff by rainfall infiltration type Green Block

Environment-friendly Green Block with high strength and durability and highly improved characteristics of interlocking blocks used for existing pavement as well as permeability pavement was developed and specific Green Block for utilization and industrialization will be selected based on the evaluation result of the field application and common use possibility. In addition, discussion with corporations will also be made for possible commercialization.

Field application of Green Block pavement and development of construction execution method thereof

Permeability pavement construction execution method considering not only interlocking block for ground surface layer but also permeability characteristics of the layer underneath the ground surface will be developed and the commercialization of the Green Block and its utilization by linking to the rainfall infiltration type Green Block will be under way to contribute to reduction of runoff and secure underground water resource.

CONTENTS

Chapter I Purpose of and Need for the Research and Development	18
Part 1. Purpose of the Research and Development	18
Part 2. Need for the research and development	20
1. The Technical View	21
2. The Economical and Industrial View	22
3. The Social and Cultural View	22
Part 3. Range of the Research and Development	23
Chapter II Present Status of the Technical Development	25
Part 1. Research for Utilizing Recycled Aggregate	25
Part 2. Research for Permeable Concrete and Permeability Pavement	27
Chapter III Results of the Research and Development	29
Part 1. Development of Polymer Concrete Using Recycled Polymer Concrete	29
1. Introduction	29
2. Materials and Methods	30
3. Mechanical Properties of Polymer Concrete Using Recycled Aggregate ..	63
4. Mechanical Properties of Polymer Concrete Using Oyster Shell	84
Part 2. Development of Porous Polymer Concrete Using Recycled Aggregate for Permeability Pavement	62
1. Introduction	62
2. Materials and Methods	64
3. Mechanical Properties of Porous Polymer Concrete Using Recycled Aggregate for Permeability Pavement	71
4. Mechanical Properties of Fiber Reinforced Porous Polymer Concrete	99
Part 3. Development of Green Block and Properties of Rainfall Runoff Reduction by Permeable Green Block Pavement	100

1. Introduction	100
2. Development of High Performance Green Block and Permeable Green Block	102
3. Rainfall Runoff Reduction Properties by Permeable Green Block Pavement	117
Part 4. Planting Properties in Planting Green Block for Vegetation Designed to Create Green Area	148
1. Introduction	148
2. Materials and Methods	149
3. Mechanical Properties of Porous Polymer Concrete for Planting	17
4. Planting Properties within Planting Polymer Block	12
Part 5. Field Application of Green Block Pavement and Construction Execute Method	181
1. Block Pavement	181
2. Field Application of Green Block Pavement	184
3. Construction Execute Method of Permeable Green Block	21
Chapter IV Achievements and Contributions of the Research and Development	29
Chapter V Products and Application of the Research and Development	220
Part 1. Products of the Research and Development	220
Part 2. Application of the Research and Development	223
Chapter VI International Scientific and Technical Reference Materials	229
Chapter VII References	230

목 차

제 1 장 연구개발 과제 개요	18
제 1 절 연구개발의 목적	18
제 2 절 연구개발의 필요성	20
1. 기술적 측면	21
2. 경제 · 산업적 측면	22
3. 사회 · 문화적 측면	22
제 3 절 연구개발의 범위	23
제 2 장 국내외 기술개발 현황	25
제 1 절 재생골재의 활용에 관한 연구	25
제 2 절 투수성 콘크리트 및 투수 포장에 관한 연구	27
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	29
제 1 절 재생골재를 활용한 폴리머 콘크리트의 개발	29
1. 서론	29
2. 재료 및 방법	30
3. 재생골재를 활용한 폴리머 콘크리트의 역학적 특성	36
4. 굴 패각을 충전재로 활용한 폴리머 콘크리트의 역학적 특성	48
제 2 절 재생골재를 활용한 투수 포장용 포러스 폴리머 콘크리트의 개발	62
1. 서론	62
2. 재료 및 방법	64

3. 재생골재를 활용한 투수 포장용 포러스 폴리머 콘크리트의 역학적 특성	71
4. 섬유보강 고인성 포러스 폴리머 콘크리트의 역학적 특성	90
제 3 절 Green Block 개발 및 우수침투형 Green Block 포장의 우수유출 저감 특성	100
1. 서론	100
2. 고성능 Green Block 개발 및 우수침투형 Green Block의 개발	102
3. 우수침투형 Green Block 포장에 의한 우수유출저감 특성	107
제 4 절 녹색공간 조성을 위한 식생 Green Block 내 식생 특성	148
1. 서론	148
2. 재료 및 방법	149
3. 식생 적용을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 역학적 특성	157
4. 식생 폴리머 블록 내 식생 특성	162
제 5 절 Green Block 포장의 현장적용 및 시공법 개발	181
1. 블록 포장의 정의 및 구성	181
2. Green Block 포장의 현장적용	184
3. 우수침투형 Green Block 포장 시공법	211
제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도	219
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획	220
제 1 절 연구개발 성과	220
제 2 절 성과 활용계획	223
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	224
제 7장 참고문헌	226

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

구조용 재료로만 생각되어 온 시멘트 및 콘크리트가 환경보존과 주변의 경관 향상을 전제로 한 도시 지역 개발에 환경친화적인 재료로 최근에 거론되기 시작하였으나, 콘크리트의 주재료인 시멘트는 제조시 지구 온난화의 주요 요인인 CO₂를 다량 배출하기 때문에 시멘트 산업에의 환경부하량이 비교적 높은 편이다. 따라서 최근에는 콘크리트 분야에서도 지구환경 부하량을 저감시키기 위하여 부산물 및 폐기물을 활용한 환경친화적인 재료 개발에 관한 연구가 진행되고 있으며, 이를 환경친화형 콘크리트(Eco-concrete)라 한다. 환경친화형 콘크리트는 환경보존 및 생태계와의 조화를 도모한다는 의미에서 그 어원을 찾을 수 있으며, 환경부하저감에 기여할 수 있는 환경부하저감형 콘크리트와 지구 환경과의 조화를 통한 쾌적한 환경조성 뿐만 아니라 생물의 종 다양성 확보, 서식처 제공을 목적으로 하는 생물대응형 콘크리트로 구분된다. 특히 플라이 애시 및 고로슬래그 미분말과 같은 산업 폐기물을 콘크리트 혼화재료로 활용하기 위한 연구와 연속적인 공급을 가지는 포러스 콘크리트를 제조하여 투수, 흡음 및 수질정화 등에 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

한편, 현재 대부분의 도로 포장은 아스팔트 콘크리트와 시멘트 콘크리트 등의 불투수성 포장 재료에 의한 전면포장으로 호우시 포장면에서 배수구를 통한 우수가 그대로 하천에 유입된다. 이와 같이 우수의 직접 유출에 의하여 도시 하천의 홍수량이 증가되어 저지대 및 하류지역에서 홍수 피해가 빈번하게 발생하고, 침투수 부족으로 인하여 지하수 고갈 등의 문제가 대두되고 있다. 또한, 지중 미생물의 서식이나 가로수의 생육을 저해하는 등 자연 생태계 보호차원에서의 문제도 제기되고 있다. 따라서 최근에는 홍수에 의한 침수 피해를 방지하고 지하수자원을 확보하기 위하여 기존 불투수성 시멘트 콘크리트 및 아스팔트 포장을 크게 개선한 투수 및 배수성 포장에 관심이 높아짐에 따라 투수성 콘크리트나 투수성 아스팔트를 사용한

차도, 보도, 광장 및 주차장 등의 시공사례가 증가하고 있으며, 포러스 콘크리트를 활용한 투수 블록 제품 등의 개발에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 그러나 기존의 투수성 시멘트 콘크리트 및 아스팔트 포장의 경우 결합재의 낮은 결합력으로 인하여 겨울철 동결융해의 반복 작용시 균열 및 골재의 탈락 등에 기인한 부분 침하 및 파괴 등이 빈번하게 발생하며, 장기적으로 내구성이 크게 저하되는 문제점을 내포하고 있다. 이에 시멘트의 단점을 개선하기 위한 고분자 결합재의 사용이 크게 증가하고 있으며, 특히 불포화 폴리에스테르수지는 강도 발현, 작업성 및 성형성이 우수하여 높은 결합력이 요구되는 포러스 콘크리트에 활용할 경우 효과가 우수한 것으로 알려져 있다.

한편, 지구 온난화의 주요인인 CO₂ 가스배출 억지 대책으로 시멘트 제조시 환경 부하를 저감시키기 위해 산업부산물 및 폐기물을 콘크리트용 혼화재료로 활용하기 위한 연구가 크게 증가하고 있다. 또한, 화력발전 및 제철 산업의 증가와 함께 부산되는 플라이 애시 및 고로슬래그 미분말의 발생량 또한 크게 증가하여 이에 대한 효율적인 처리 및 활용이 요구된다. 특히 제철소에서 발생하는 고로슬래그 미분말은 플라이 애시에 비하여 아직까지 그 활용성이 미비하기 때문에 활용성을 증대시키기 위한 실용화 방안 및 연구가 필요하다.

따라서 본 연구의 최종목표는 농업용수 공급을 위한 지하수자원 확보 및 보존을 위한 에너지 절감 및 우수 침투형 Green Block을 개발하기 위한 것으로, 저탄소형 결합재인 폴리머를 시멘트 대체제로 사용하고 결합재를 제외한 모든 골재 및 충전재를 산업폐기물 및 부산물로 치환함으로써 환경친화형 및 에너지 절감형의 고강도, 고내구성 및 투수성의 고성능 Green Concrete를 개발하여 이에 대한 역학적 특성을 구명하고, 경제성을 고려한 최적 배합의 도출을 통한 다양한 형태의 Green Block을 개발하여 사용하중에 따른 역학적 특성, 내구성 및 경제성 평가를 통하여 프리캐스트 Green Block의 제품화를 구현한다. 또한, 투수 포장의 하부구조, 토양 및 지반조건 등에 따른 우수침투 효과를 분석하기 위하여 다양한 형태의 Green Block 및 포장 공법 개발과 Green Block 포장 특성의 평가를 통한 현장 적용 및 실용화를 구현하는 데 그 목적이 있다.

제 2 절 연구개발의 필요성

우리나라는 6~8월의 여름철에 연 강수량의 60% 이상이 집중되며, 국지적 집중호우로 인해 치수 및 홍수 재해 등으로 어려움을 겪고 있으며, 나머지 계절에는 용수 부족으로 가뭄재해에 대한 문제점을 가지고 있다. 특히, 우리나라에서 대부분의 도로 포장은 아스팔트 콘크리트와 시멘트 콘크리트 등의 불투수성 포장 재료에 의한 전면포장으로 호우시 포장면에서 배수구를 통한 우수가 그대로 하천에 유입된다. 이와 같이 우수의 직접 유출에 의하여 도시 하천의 홍수량이 증가되어 저지대 및 하류지역에서 홍수 피해가 빈번하게 발생하고, 침투수 부족으로 인하여 지하수 고갈 등의 문제가 대두되고 있다.

따라서 최근에는 우수유출저감시설의 설치기준이 제정됨에 따라 2000년도에 이르러 각종 법령에 시설의 필요성, 설치 규정이 신설되었다. 또한, 1998년부터 2003년까지 국립방재연구소에서는 우수유출저감시설 설치 기법 및 제도화에 대한 연구가 진행되었다. 최근에는 홍수에 의한 침수 피해를 방지하고 지하수자원을 확보하기 위하여 기존 불투수성 시멘트 콘크리트 및 아스팔트 포장을 크게 개선한 투수 및 배수성 포장에 관심이 높아짐에 따라 투수성 콘크리트나 투수성 아스팔트를 사용한 차도, 보도, 광장 및 주차장 등의 시공사례가 증가하고 있으며, 포러스 콘크리트를 활용한 투수 블록 제품 등의 개발에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 반면에 기존 투수성 포장에 사용되는 인터로킹 블록 등은 결합재로 시멘트를 주로 사용하기 때문에 골재와 골재의 결합에 의한 강도 발현을 하는 포러스 구조의 특성상 낮은 결합력으로 인해 강도 및 내구성 저하 등의 문제점을 내포하고 있다.

따라서 포러스 구조의 특성상 골재와 골재의 결합력 즉, 부착력을 개선하기 위하여 결합력이 높은 불포화 폴리에스테르 수지의 활용이 요구되며, 투수성 콘크리트 및 블록 제조시 에너지 절감 및 친환경 측면에서 재생골재 및 산업폐기물 등의 활용에 관한 연구가 필요하다.

1. 기술적 측면

본 연구에서는 부착력이 낮은 시멘트를 대체한 고분자 계열의 불포화 폴리에스테르 수지를 활용한 고성능 콘크리트 블록, 우수침투형 콘크리트 블록 및 섬유보강된 우수침투형 콘크리트 블록 등을 개발하기 위하여 결합재량, 골재의 종류, 충전재의 종류 및 섬유의 혼입율 등에 따른 역학적 특성을 구명하고, 최적배합의 도출에 의하여 고성능 Green Block, 우수침투형 Green Block 및 섬유 보강된 우수침투형 Green Block을 개발한다. 또한 기존 블록을 개선한 Green Block을 활용한 투수 블록 포장에 대한 수리모형 실험을 통하여 강우강도에 따른 우수유출 특성 및 침투 특성을 정량적 및 정성적으로 평가하여 지하수자원 보존에 기여할 수 있는 효과를 제시하는 데 있다.

- ▷ 기존 투수성 및 배수성 포장의 낮은 내구성으로 잦은 교체 및 시공효과 저하
 - 투수성 및 배수성을 만족하면서 고강도 및 고내구성의 투수성 콘크리트의 개발이 필요하며, 영구적 활용이 가능한 투수성 콘크리트 개발 필요
 - 기존 투수성 콘크리트 및 인터로킹 블록에 대한 연구가 결합재로 시멘트를 활용한 연구에 제한되어 보다 진보된 재료의 개발 및 고내구성의 고분자 재료의 적용 및 방법에 대한 연구 필요
- ▷ 재생골재 및 산업폐기물의 증가에 따른 폐기물 자원화 및 재활용 기술 요구
 - 재생골재의 발생량이 계속적으로 증가 추세임에도 불구하고 활용 분야의 수준이 매우 낮은 단계에 머물러 진보된 건설재료로 활용하기 위한 방안 필요
 - 불포화 폴리에스테르 수지를 활용한 콘크리트는 결합재의 강도 및 내구성이 우수하여 재생골재의 품질을 고려한 다양한 형태의 폴리머 콘크리트 개발 가능
- ▷ 투수성 블록 포장에 의한 우수유출저감 뿐만 아니라 및 도시 경관 등을 고려한 환경친화형 콘크리트 제품 개발 및 현장적용 필요
 - 투수성 블록 포장의 기능이 우수유출저감에 국한되는 것이 아니라 주변 경관과의 조화 및 녹지공간을 조성할 수 있는 다기능 포러스 콘크리트 필요
 - 에너지 절감형 고성능 Green Block의 개발로 유출저감시설의 활용뿐만 아니라 식생 공간 제공을 통한 녹지 공간 확보 및 친수공간의 역할 기대

2. 경제 · 산업적 측면

우리나라는 매년 풍수해로 인하여 대규모 재산 피해와 인명피해가 발생하고 있으며, 최근에는 대규모 개발사업에 따른 불투수성 면적의 증가와 하천단면의 점용으로 풍수해 피해가 증가되고 있다. 우리나라의 경우 1조원 이상의 피해가 2006년 이전에 8회 발생하였고, 2002년 및 2003년에는 태풍 ‘루사’ 및 ‘매미’에 의하여 4조원 이상의 피해가 발생하였다. 재해발생 원인별 재산피해 발생비율은 태풍으로 인한 피해가 59%, 호우 23%, 호우-태풍 11% 등으로 풍수해에 의한 피해가 93%에 이르고 있으며, 재해 복구 비용 또한 큰 규모로 증가하고 있다. 자연재해대책법 제19조에 규정된 우수유출저감시설은 중 침투시설은 투수성 보도블록, 침투집수정, 침투 트렌치, 침투측구 등에 의해 강우를 지속적으로 지하로 침투시킴으로써 집중호우시 침투유량을 저감시키고 지하수 함양에 기여하는 시설을 말한다. 특히 투수성 보도블록의 경우 하부토양이 포화되어 지표층을 통해 빗물이 유출되기 전까지 일반 보도블록보다 약 2배(173%~243%)의 유출저감효과 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 높은 투수성과 내구성을 가지는 투수성 포장 재료의 개발에 의하여 우수유출저감 및 지하수자원 확보에 기여할 경우 경제적 및 산업적으로 파급효과를 가져올 수 있을 것이다. 또한, 보·차도용 투수성 포장에 활용하기 위한 고성능 Green Block 및 우수침투형 Green Block의 개발로 기존 블록의 강도, 투수계수 및 동결융해저항성을 현저히 개선한 환경친화적 및 에너지절감형의 혁신적인 브랜드의 블록 제품을 생산하고, 주차장 및 광장 등에 투수성 포장을 확대 적용 및 보급할 경우 높은 경제적 부가가치를 창출 할 수 있을 것이다.

3. 사회 · 문화적 측면

최근 환경문제가 심각하게 대두되면서 콘크리트 분야에서도 Eco 콘크리트에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 산업부산물 및 폐기물을 콘크리트 혼화재료로 활용하기 위한 연구가 진행되고 있으며, 산업폐기물 및 부산물의 전처리 과정 없이 전량 처리에 의한 에너지 절감 및 환경 보호가 대두되고 있다. 한편, 시멘트의 경우

시멘트 제조시 발생하는 이산화탄소 발생량이 높기 때문에 온실가스의 주범으로 인식되고 있다. 따라서 시멘트의 무사용으로 시멘트 생산시 발생하는 이산화탄소 저감에 의한 환경보호 효과와 건설폐기물인 재생골재의 활용에 의한 에너지절감형 이면서 친환경 우수침투형 블록을 제조할 경우 사회적으로 환경문제에 인식을 같이 하는 계기를 마련할 수 있을 것이다. 또한, 비환경적으로 인식되는 콘크리트를 활용하여 우수유출저감 및 지하수자원 확보 등에 활용할 경우 콘크리트에 대한 인식의 전환을 기대할 수 있을 것이다.

제3절 연구개발의 범위

1. 재생골재 및 산업폐기물 활용한 에너지 절감형 고성능 폴리머 콘크리트 개발
 - 가. 산업폐기물 및 부산물의 중금속 용출 특성 분석
 - 나. 재생골재, 분체 및 결합재량에 따른 Green Concrete의 역학적 특성 분석
 - 다. 폴리머 콘크리트의 충전재료 굴 패각 미분말의 활용성 평가

2. 투수 포장을 위한 고강도 및 고내구성 포러스 폴리머 콘크리트 개발
 - 가. 우수유출저감 및 지하수자원 함양을 위한 포러스 폴리머 콘크리트 개발
 - 나. 결합재량 및 골재크기에 따른 포러스 폴리머 콘크리트 특성 분석
 - 다. 투수성 포장 설계기준을 고려한 포러스 폴리머 콘크리트 최적배합 도출

3. 에너지 절감형 고성능 및 우수침투형 Green Block 개발
 - 가. 에너지 절감형 고내구성 Green Block 및 고인성 Green Block 개발
 - 나. 투수 포장을 위한 우수침투형 Green Block 및 고인성 Green Block 개발
 - 다. 우수유출저감 및 지하수자원 함양 효과 평가를 위한 수리 모형

4. 경관 조성 및 녹지공간 창출을 위한 식생 Green Block 개발
 - 가. 포러스 Green Block을 활용한 식생 Green Block 개발

- 나. 식물의 종류에 따른 식생 Green Block 내 식물의 성장 특성
- 다. 중공 Green Block과 식생의 조합에 의한 조합 블록 개발

5. 보·차도용 Green Block 및 우수침투형 Green Block 현장 적용

- 가. Green Block 현장적용을 위한 대상구간 선정 및 블록 조합
- 나. Green Block, 우수침투형 Green Block 및 조합 블록 포장 시공
- 다. Green Block 포장의 현장적용성 평가 및 시공법 제시

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 재생골재의 활용에 관한 연구

최근 도시재개발과 건물의 노후화 및 기능저하에 의한 건물의 해체가 증가함에 따라 폐콘크리트를 포함한 각종 건설폐기물이 다량으로 배출되고 있으며, 특히 건설폐기물의 가장 큰 부분을 차지하고 있는 폐콘크리트와 폐아스팔트를 경제적 및 환경적으로 처리하는 것이 심각한 문제로 대두되고 있다. 최근까지의 재생골재의 활용은 주로 빈배합콘크리트, 노견콘크리트, 다공질 입상 충전재, 안정되지 않은 기층, 아스팔트 콘크리트 포장 및 시멘트 처리기층 등 정도로 국한되고 있다. 일본에서는 콘크리트용 재생굵은골재와 재생잔골재에 대한 연구가 많이 진행되어 왔으며, 이에 대한 시험시공 및 현재까지의 연구결과와 기존의 각종 품질기준(안) 등을 정리해서 콘크리트 부산물의 재이용에 관한 용도별 잠정 품질 기준안을 마련하는 등 건설폐기물을 활용하기 위한 연구가 체계적으로 진행되고 있다. 국내에서도 1993년에 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」을 입법하고, 1994년에 한국자원재생공사법을 시행하여 재활용산업을 육성하여 폐기물 자원화를 촉진하고 있으며, 건설폐기물 재활용 촉진을 위한 정책 및 법률 제정이 이루어지고 있다. 재생골재 콘크리트의 경우 천연골재를 이용한 콘크리트와는 달리 시멘트 페이스트와 골재 사이에 존재하는 천이영역에서 부착강도의 저하 및 골재표면에 존재하는 모르타르 또는 시멘트 페이스트 등의 잔여물질로 인해 파쇄 값이 커지고 안정성이 떨어지는 문제점을 내포하고 있다. 현재 국내에서 생산되고 있는 재생골재의 품질은 생산업체에 따라 약간의 차이가 있으며, 특히 천연골재 및 쇄석과는 비중 및 흡수율 등의 물리적 특성이 다르기 때문에 사용상에 주의가 요구된다. 최근 재생골재에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으나 활용성은 아직 미비한 상태이다. 표 2.1.1은 재생골재의 활용에 관한 연구 동향을 보여준다.

표 2.1.1 재생골재의 활용에 관한 연구

연구수행기관	연구 개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
충남대학교 (박승범, 2007)	폐콘크리트 재생골재를 이용한 조장조성용 다기능 콘크리트의 개발 및 적용연구	연구개발 완료
한국과학기술연구원 (김구대, 2006)	폐콘크리트의 재생 골재와 파쇄된 미분말을 재활용할 수 있는 기술 개발	연구개발 완료
한국지질자원연구원 (2006)	고품질 재생골재 생산기술개발 연구	연구개발 완료
한국건설기술연구원 (2005)	구조용 재생골재 및 재생골재콘크리트 구조물의 장기안정성에 관한 연구	연구개발 완료
평원엔지니어링 (2010)	순환골재를 재활용한 친환경 지반개량공법 개발	연구개발 완료
강원대학교 (김광우, 1996)	폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌 도로포장 공법의 개발	연구개발 완료
한국자원재생공사 (1996)	폐콘크리트의 재활용기술 개발방안에 관한 연구	연구개발 완료
충남대학교 (2000)	건설폐기물의 재활용 및 처리기술개발	연구개발 완료
한국건설기술연구원 (2004)	건설폐자재 재활용 포장지침 개발	연구개발 완료

제 2 절 포러스 콘크리트 및 투수 포장에 관한 연구

보통 시멘트 콘크리트는 대소립의 골재가 시멘트 페이스트중에 분산되어 있는 상태이며, 공극이 매우 작고 수밀한 것이 요구된다. 그러나 포러스 콘크리트는 이러한 보통 시멘트콘크리트와는 달리 연속공극을 많이 하여 물과 공기가 자유롭게 통과할 수 있도록 연속공극을 균일하게 형성시키는 다공질의 콘크리트이다. 공극을 다량으로 포함시키기 위해서는 골재의 입도가 균일한 단입도 골재가 요구되며, 통상 잔골재를 사용하지 않기 때문에 무세골재 콘크리트(no-fine concrete), 또는 다공질이기 때문에 포러스 콘크리트라고 불린다. 포러스 콘크리트의 배합은 사용목적에 따라 달라지며, 다공질의 구성이 요구되는 수질정화, 투수포장, 흡음시설 및 식생콘크리트 등에 활용되고 있다.

포러스 콘크리트는 콘크리트 표면에 형성되는 생물막의 작용에 의하여 박테리아를 비롯한 다양한 미생물이 생식하게 되며, 생물막 위에서는 일종의 생태계가 만들어지게 되어 수질정화 기능을 할 수 있게 된다. 또한, 연속공극을 다량 함유한 포러스 콘크리트는 경화체 사이를 물과 공기가 자유롭게 통과할 수 있고, 식재에 필요한 영양분과 뿌리가 침입할 수 있으며 내부에 넓은 표면을 유지할 수 있기 때문에 친환경 사면보호공 및 하천 호안 블록 등에 이용되는 식생콘크리트에 활용되어진다. 최근에는 홍수에 의한 침수 피해를 방지하고 지하수자원을 확보하기 위하여 기존 불투수성 시멘트 콘크리트 및 아스팔트 포장을 크게 개선한 투수 및 배수성 포장에 관심이 높아짐에 따라 투수성 콘크리트나 투수성 아스팔트를 사용한 차도, 보도, 광장 및 주차장 등의 시공사례가 증가하고 있으며, 포러스 콘크리트를 활용한 투수 블록 제품 등의 개발에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.

또한, 우리나라는 6~8월의 여름철에 연 강수량의 60% 이상이 집중되고, 국지적 집중호우로 인해 치수 및 홍수 재해 등으로 매년 어려움을 겪으면서 우수유출저감 시설에 대한 설치가 요구됨에 따라 2000년도에 이르러 각종 법령에 시설의 우수유출저감시설의 필요성 및 설치 규정이 신설되었다. 우수유출저감시설은 지표면, 지상 및 지하로의 침투성을 고려한 침투시설과 불투수성면을 고려한 저류시설로 구분되며, 보도, 주차장 등 불투수성면으로 구성되는 포장 구조를 개선하여 침투 및 저류될

수 있는 투수성 포장 구조로 전환하는 방법에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.

현재 표 2.2.1과 같이 포러스 구조를 활용한 투수포장에 관한 연구 및 개발이 많이 이루어지고 있지만 아직 미흡한 편이다.

표 2.2.1 투수 포장에 관한 연구 동향

연구수행기관	연구 개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
명지대학교 (김병훈, 2001)	투수성 포장의 우수유출저감 효과에 관한 실험적 연구	연구개발 완료
국립방재연구소 (김운태, 2008)	개발 계획 수립시 투수성 보도블록 적용방안	연구개발 완료
환경기술개발센터 (이종석, 2004)	환경친화적 투수성 포장재를 활용한 도로경계용 측구에 관한 연구	연구개발 완료
건설기술연구원 (김이호, 2010)	포장면의 환경성 향상 소재 개발	연구개발 완료
국토해양부 (2009)	배수성 포장의 설계 및 시공지침 개발 연구	연구개발 완료
건설교통부 (2006)	환경친화적인 배수성 아스팔트 포장을 위한 고점도 침단 개질제 개발	연구개발 완료
환경부 (김민철, 2008)	친환경적 폐수처리를 위한 투수성 콘크리트 담체 개발	연구개발 완료
천안공업대학 (최재진, 2002)	슬래그를 이용한 고강도 칼라 투수성 콘크리트의 제조기술 개발	연구개발 완료
상명대학교 (이재근, 2002)	투수성 보도블럭 개발의 필요성 및 진성요업제품의 특징에 관한 연구	연구개발 완료

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 재생골재를 활용한 폴리머 콘크리트의 개발

1. 서 론

최근 도시재개발과 건물의 노후화 및 기능저하에 의한 건물의 해체가 증가함에 따라 폐콘크리트를 포함한 각종 건설폐기물이 다량으로 배출되고 있으며, 특히 건설폐기물의 가장 큰 부분을 차지하고 있는 폐콘크리트와 폐아스팔트를 경제적 및 환경적으로 처리하는 것이 심각한 문제로 대두되고 있다 (성찬용 등, 2003).

한편, 일본에서도 콘크리트용 재생굵은골재와 재생잔골재에 대한 연구가 많이 진행되어 왔으며, 이에 대한 시험시공 및 현재까지의 연구결과와 기존의 각종 품질기준(안) 등을 정리해서 1994년 콘크리트 부산물의 재이용에 관한 용도별 잠정 품질기준안을 새로이 마련하는 등 건설폐기물을 활용하기 위한 연구가 체계적으로 진행되고 있다.

또한, 국내에서도 건설폐기물의 적정처리 및 재활용의 필요성에 대한 사회적 인식을 바탕으로 1993년에 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」을 입법하고, 1994년에 한국자원재생공사법을 시행하여 재활용산업을 육성하여 폐기물 자원화를 촉진하고 있으며, 건설폐기물 재활용 촉진을 위한 정책 및 법률 제정이 이루어지고 있다 (성찬용 등, 2005). 현재 국내에서 생산되고 있는 재생골재의 품질은 생산업체에 따라 약간의 차이가 있으며, 특히 천연골재 및 쇠석과는 비중 및 흡수율 등의 물리적 특성이 다르기 때문에 사용상에 주의가 요구되며, 재생골재에 대한 다양한 연구가 계속적으로 이루어져야 한다 (Buck 등, 1997; Sakai 등, 1995).

한편, 건설기술의 비약적인 발전으로 구조물의 대형화 및 고층화 등 사용 환경이 점차 확대됨에 따라 새로운 건설재료에 대한 인식이 대두되면서 고분자 재료인 폴리머를 활용한 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다 (ACI, 1986; Brant 등, 1995; Cermin 등, 1980). 폴리머 콘크리트는 일반 시멘트 콘크리트에 비하

여 압축강도, 인장강도 및 휨강도가 클 뿐만 아니라 내마모성, 내충격성, 내약품성, 전기 절연성, 방수성, 내동결융해성 등과 같은 물리·역학적 성질이 매우 우수한 것으로 알려져 있다 (Fontana 등, 1987; Folwer, 1994).

한편, 농업토목분야의 구조물은 대부분이 콘크리트 형태의 수리구조물로서 항시 물과 접촉으로서 물의 침투에 따른 동결융해 및 열악한 작업 환경에 따른 시공 품질 확보의 어려움 등에 의해 내구성이 저하되는 단점을 가지고 있다. 때문에 콘크리트 수리 구조물은 일상적인 유지보수를 할지라도 장기 사용하에서 강도 저하, 균열 발생 및 내구성 저하 등에 의한 내구년한의 감소를 초래하기 때문에 이에 대한 적절한 대책이 요구되어진다.

따라서 본 연구는 현재 생산되고 있는 재생굽은골재와 재생잔골재를 대량으로 콘크리트 제조에 활용하기 위한 것으로, 고분자 재료인 불포화 폴리에스테르 수지와 재생굽은골재 및 쇄석, 재생잔골재, 충전재로써 플라이 애시를 활용한 고강도 및 고내구성의 재생 폴리머 콘크리트를 개발하여 농업수리 구조물에 적용하기 위한 역학적 특성을 구명하는 데 그 목적이 있다. 또한, 연안 부근에 방치되거나 매립됨으로써 해양 환경오염의 주원인이 되는 굴 폐각을 폴리머 콘크리트의 충전재로 활용하기 위한 것으로서, 굴 폐각을 미립으로 분쇄한 폐각 분말의 혼입량 및 결합재량에 따른 불포화 폴리에스테르 수지를 활용한 폴리머 콘크리트의 작업성, 강도 및 내구 특성을 구명하여 굴 폐각의 활용 가능성에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 사용재료

불포화 폴리에스테르 수지는 그 구성분자에 포화된 모노머가 에스테르 결합으로 중합된 고분자 화합물을 말하며, 취급이 용이할 뿐만 아니라 경화성 및 다른 열경화성 수지에 비하여 양호한 기계적, 전기적 성질 및 내약품성을 지니고 있다 (Sung, 1995).

재생 폴리머 콘크리트 제조를 위한 결합재로는 코발트계 경화촉진제가 첨가되어

있는 올소타입의 불포화 폴리에스테르 수지를 사용하였으며, 이에 대한 일반적 특성은 표 3.1.1과 같다. 굵은골재로는 쇠석과 경기도 I사에서 제조된 1종 재생골재를 사용하였으며, 잔골재로는 천연모래와 경기도 I사에서 제조된 1종 재생잔골재를 사용하였다. 사용된 골재의 일반적 성질은 표 3.1.2 및 표 3.1.3과 같다. 한편, 골재가 수분을 흡수하면 폴리머 콘크리트에서는 골재를 둘러싼 결합재 층과 골재 표면 사이에 수막이 형성되어 결합재와 골재간의 접착력을 약화시켜 강도가 저하되므로 함유율이 0.1% 이하가 되도록 건조하여 사용하였다.

또한, 단위체적당 수지의 사용량을 감소시키고 점성을 증가시켜 부착력을 크게 할 목적으로 충전재가 사용되며 재생 폴리머 콘크리트 제조를 위하여 플라이 애시를 사용하였으며, 이에 대한 물리적 특성은 표 3.1.4와 같다 (연규석, 1988). 또한 폴리머 콘크리트 제조시 경제성 및 친환경 측면에서 충전재로 굴 패각 분말을 활용한 폴리머 콘크리트의 역학적 특성을 구명하기 위하여 충전재로 굴 패각 분말과 탄산칼슘을 사용하였으며, 이의 물리적 특성 및 화학적 성분은 표 3.1.5 및 표 3.1.6과 같다.

표 3.1.1 불포화 폴리에스테르 수지의 일반적 특성

Type	Specific gravity(20℃)	Viscosity (25℃,ps)	Styrene content (%)	Acid value
Ortho	1.12	3.5	37.2	26.5

표 3.1.2 골재의 물리적 특성

Type	Size (mm)	Bulk density (kg/m ³)	Specific gravity(20℃)	Absorption ratio(%)	Fineness modulus
Crushed gravel	5~10	1,489	2.78	1.18	6.23
	5~25	1,482	2.78	1.18	6.67
Recycled aggregate	5~10	1,562	2.91	1.95	6.34
	5~25	1,543	2.91	1.95	7.02

표 3.1.3 잔골재의 물리적 특성

Type	Size (mm)	Specific gravity(20°C)	Absorption ratio(%)	Fineness modulus	Unit weight (kg/m ³)
Natural sand	< 4.75	2.61	2.34	2.32	1,476
Recycled	< 4.75	2.56	2.88	3.61	1,455

표 3.1.4 충전재의 물리적 특성 (재생 폴리머 콘크리트)

Type	Specific gravity(20°C)	Specific surface(cm ² /g)	Grain size (mm)	Color
Fly ash	2.96	3,212	< 0.15	Gray

표 3.1.5 충전재의 물리적 특성 (굴 폐각을 활용한 폴리머 콘크리트)

Type	Specific gravity(20°C)	Specific surface(cm ² /g)	Grain size (mm)	Absorption ratio(%)	Color
CaCO ₃	2.92	3,212	< 0.15	0.20	Gray
Oyster powder	2.31	4,889	< 0.15	0.89	White

표 3.1.6 굴 폐각 분말의 화학적 성분

SiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Ig. loss
60.47	39.05	0.39	0.02	0.02	0.01	0.04

나. 배합설계 및 제작

폴리머 콘크리트는 결합재로 사용되는 수지량이 증가함에 따라 폴리머 콘크리트의 강도는 증가하지만 수지량이 지나치게 증가하게 되면 재료 분리와 경화수축량 등이 커지고 작업성이 현저히 달라지므로 신중히 고려해서 결정하여야 한다 (연구석, 1989).

결합재의 사용량을 최소로 하기 위하여 예비실험을 통하여 잔골재에 대한 굵은골

재의 비율과 충전재의 사용량을 결정하였으며, 충전재는 재생굵은골재의 치환을 및 재생잔골재의 사용에 따른 강도 특성을 평가하기 위하여 모든 배합에서 동일 중량을 사용하였다. 재생 폴리머 콘크리트의 배합은 재생굵은골재 및 재생잔골재만을 사용한 배합과 쇄석 및 천연 모래를 사용한 배합과의 특성을 비교할 수 있도록 설계하였다. 또한, 재생굵은골재의 크기에 따른 역학적 특성을 분석하기 위하여 골재 크기를 5~10mm 및 5~25mm로 하였으며, 충전재의 비율은 10%로 고정하였다. 한편, 단위결합재량에 따른 강도 및 내구 특성을 분석하기 위하여 단위결합재량을 10% 및 12%로 하였다. 표 3.1.7은 재생 폴리머 콘크리트에 대한 배합설계를 나타낸다.

표 3.1.7 재생 폴리머 콘크리트의 배합설계 (단위 : kg/m³)

Series	Aggregate size (mm)	Type	Binder	Coarse aggregate		Fine aggregate		Filler
			U.P	Crushed	Recycled	Natural sand	Recycled	Fly ash
Series I	5-10 5-25	CS	240	822	0	1068	0	240
		RS	242	0	840	1082	0	240
		CR	240	820	0	0	1054	236
		RR	240	0	836	0	1070	240
		CRSR	240	416	418	530	535	240
Series II	5-10 5-25	CS	277	789	0	1022	0	230
		RS	280	0	796	1040	0	232
		CR	276	782	0	0	1012	230
		RR	278	0	792	0	1028	232
		CRSR	278	395	396	510	514	232

- * CS : Crushed aggregate + Natural sand
- * RS : Recycled coarse aggregate + Natural sand
- * CR : Crushed aggregate + Recycled fine aggregate
- * RR : Recycled coarse aggregate + Recycled fine aggregate
- * CRSR : Crushed aggregate, Recycled coarse aggregate + Natural sand, Recycled fine aggregate

한편, 굴 패각 분말의 폴리머 콘크리트의 충전재로서의 활용성을 평가하기 위하여 기존 폴리머 콘크리트의 충전재로 주로 사용되는 탄산칼슘과의 비교 방법을 사용하였으며, 결합재량에 따른 동일 중량의 탄산칼슘과 패각 분말을 충전재로 사용하였다. 또한, 결합재량에 따른 폴리머 콘크리트의 작업성 및 강도 특성을 평가하기 위하여 결합재량을 9~15%로 하였으며, 경화제는 공시체 제작시 온도를 고려하여 결합재 중량의 1%를 사용하였다. 표 3.1.8은 결합재량에 따른 탄산칼슘 및 패각 분말을 충전재로 사용한 폴리머 콘크리트의 배합설계를 나타낸다.

표 3.1.8 굴 패각 분말을 활용한 폴리머 콘크리트의 배합설계

Type	Aggregate size (mm)		Binder (U.P, %)	Binder (U.P)	Coarse aggregate	Fine aggregate	Filler	
	Coarse	Fine					CaCO ₃	Oyster shell powder
PC-C*	5~25	0.15~5	9	208	897	967	230	-
			11	248	838	934	230	-
			13	286	817	879	220	-
			15	323	769	846	215	-
PC-O**	5~25	0.15~5	9	205	879	945	-	226
			11	243	820	920	-	221
			13	282	808	853	-	216
			15	318	750	832	-	210

* PC-C : Polymer concrete used CaCO₃ as a filler

** PC-O : Polymer concrete used oyster shell powder as a filler

다. 시험방법

(1) 슬럼프

작업성 평가를 위한 슬럼프 시험은 KS F 2402 (콘크리트의 슬럼프 시험방법)에

준하여 실시하였으며, 결합재인 폴리머의 점도 특성을 고려하여 슬럼프 콘을 채우기 시작하여 콘을 들어 올리는 시간을 4분 이내로 하였으며, 콘을 들어 올리는 데 소요되는 시간을 30초로 하였다 (김남길, 2004).

(2) 강도

압축강도는 KS F 2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 $\phi 100 \times 200$ mm인 원주시험체를 사용하였으며, 재하시험에는 100tf 용량의 UTM을 사용하였으며, 휨강도는 KS F 2482 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)의 규정에 준하였으며, $60 \times 60 \times 240$ mm 크기의 각주 시험체를 사용하였다.

(3) 동결융해시험

동결융해시험은 KS F 2456(급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항시험 방법)에 준하여 수중 급속 동결융해시험을 하였으며, 이때 공시체의 온도는 동결시 -18°C , 융해시 4°C 가 되게 하였다. 동결융해의 1사이클은 2시간 40분이 소요되었다. 시험동안 매 50사이클 간격으로 중량변화 및 동탄성계수를 측정하였으며, 동결융해의 반복이 300사이클이 되었을 때 시험을 완료하였다. 측정된 동성계수로부터 다음 식에 의하여 내구성 지수를 산출하였다 (Malhotra 등, 1991; Mcconnel 등, 1995).

$$DF = \frac{P}{NM}$$

여기서, DF : 내구성 지수

P : N 사이클에서의 상대동탄성계수 (%)

N : 동결융해의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

M : 동결융해의 노출이 끝날 때의 사이클 수

(4) 내산성시험

내산성시험은 재령 7일된 $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ 의 공시체를 황산 20%용액에 침지하여 0, 2, 4, 6 및 8주에 부식된 표면을 철솔로 닦아내어 표면건조포화상태의 중량변화율을 측정하였다.

3. 재생골재를 활용한 폴리머 콘크리트의 역학적 특성

가. 압축강도

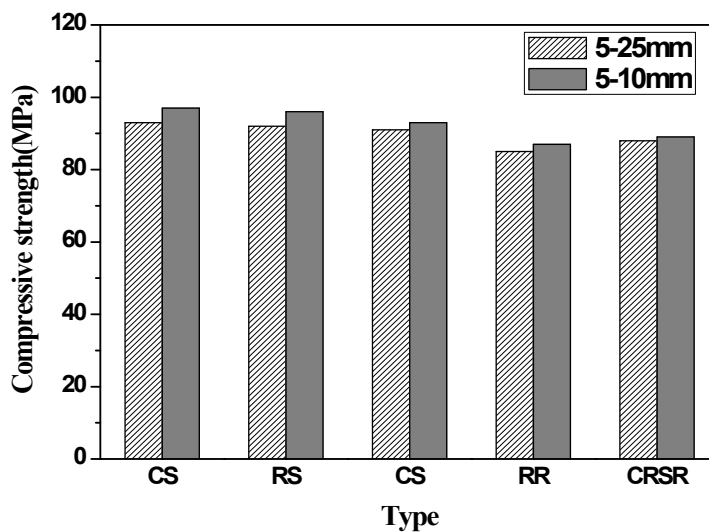
산업부산물인 플라이 애쉬와 재생골재를 활용한 재생 폴리머 콘크리트의 압축강도 시험결과는 그림 3.1.1과 같다.

그림 3.1.1(a)에서 보는 바와 같이 Series I (단위결합재량 10%)에서 5~25mm 골재를 사용한 경우 재생골재를 전혀 혼입하지 않은 CS 배합의 압축강도는 93MPa를 나타내었으며, 재생굵은골재 및 재생잔골재를 각각 혼입한 RS, CR, RR 배합의 경우에는 85MPa~92MPa범위를 나타내었다. 재생굵은골재를 혼입한 재생 폴리머 콘크리트는 천연골재를 혼입한 폴리머 콘크리트의 압축강도와 거의 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타낸 반면에 재생잔골재를 혼입한 경우에는 천연골재 및 재생굵은골재를 혼입한 배합의 압축강도에 비하여 강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 재생잔골재를 혼입할 경우 재생골재 자체의 흡수율이 커 폴리머 콘크리트 혼입시 결합재인 폴리머의 흡수가 클 뿐만 아니라 슬럼프의 감소에 의한 충분한 혼합이 이루어지지 않기 때문으로 판단된다. 반면에 천연골재와 재생골재를 반반씩 혼입한 CRSR 배합의 압축강도는 88MPa로서 재생잔골재만을 혼입한 배합에 비하여 우수한 압축강도를 발현하는 것으로 나타나 천연골재 및 재생굵은골재를 적절히 혼합하여 사용할 경우 재생잔골재의 사용성을 개선할 수 있을 것으로 판단된다 (Ohama 등, 1979).

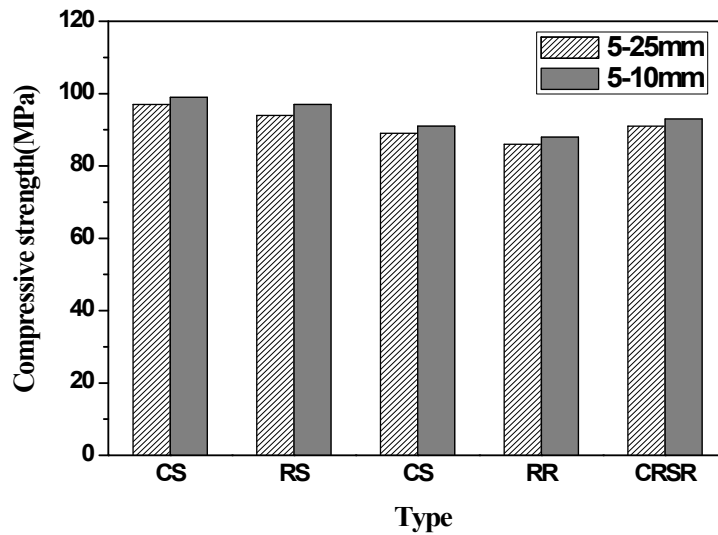
5~10mm 골재를 사용한 경우 CS 배합의 압축강도는 97MPa를 나타내었으며, RS, CR 및 RR 배합의 압축강도는 87~96MPa로서, 5~25mm 골재를 사용한 경우와 마찬가지로 재생굵은골재를 혼입한 폴리머 콘크리트 배합보다 재생잔골재를 혼입한 배합에서 압축강도의 감소가 큰 것으로 나타났다. 한편, CRSR 배합의 압축강도는

89MPa로 나타나 재생잔골재만을 사용하는 경우보다 압축강도 개선에 효과적인 것으로 나타났다. 또한 골재 크기가 작을수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내어 재생골재 사용시 골재 크기에 대한 영향을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

그림 3.1.1(b)에서 보는 바와 같이 Series II(단위결합재량 12%)에서 5~25mm 및 5~10mm 골재를 사용한 경우 CS 배합의 압축강도는 97MPa 및 99MPa를 나타내었으며, 재생굵은골재 및 재생잔골재를 각각 혼입한 RS, CR, RR 배합의 경우에는 86MPa~94MPa 및 88~97MPa 범위를 나타내었다. Series I에서와 마찬가지로 재생굵은골재를 혼입한 재생 폴리머 콘크리트는 천연골재를 혼입한 폴리머 콘크리트의 압축강도와 거의 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타낸 반면에 재생잔골재를 혼입한 경우에는 천연골재 및 재생굵은골재를 혼입한 배합의 압축강도에 비하여 강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 한편, 단위결합재량이 2% 증가했음에도 단위결합재량을 10% 혼입한 배합에 비하여 압축강도가 크게 개선되지 못하는 것으로 나타나 재생 폴리머 콘크리트의 설계기준강도를 위한 배합설계시 단위결합재량 산정에 대한 고려가 선행되어야 할 것으로 판단된다.



(a) 결합재량 : 10%



(b) 결합재량 : 12%

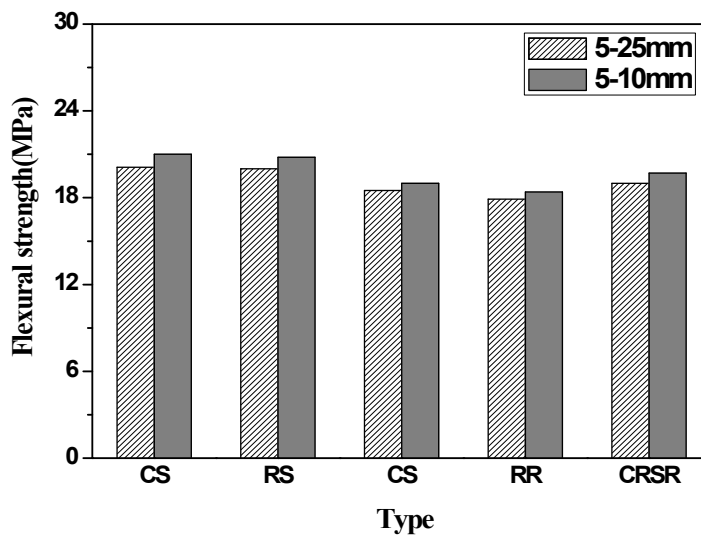
그림 3.1.1 골재 크기 및 결합재량에 재생 폴리머 콘크리트의 압축강도

나. 휨강도

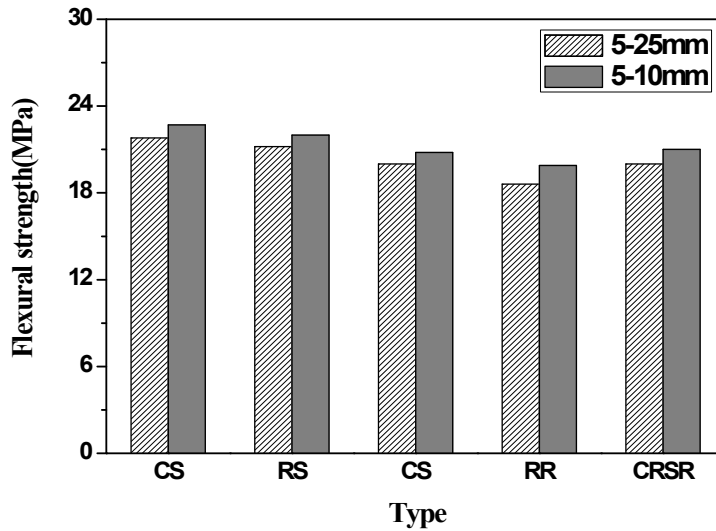
그림 3.1.2는 재생 폴리머 콘크리트의 휨강도 시험결과를 보여준다. 그림 3.1.2(a)에서 보는 바와 같이 Series I에서 5~25mm 골재를 사용한 경우 CS 배합의 휨강도는 20.1MPa를 나타내었으며, 재생굵은골재 및 재생잔골재를 각각 혼입한 RS, CR, RR 배합의 경우에는 17.9MPa~20MPa범위를 나타내었다. 압축강도 시험결과와 마찬가지로 재생굵은골재를 혼입한 재생 폴리머 콘크리트는 천연골재를 혼입한 폴리머 콘크리트의 휨강도와 거의 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타낸 반면에 재생잔골재를 혼입한 경우에 휨강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 반면에 CRSR 배합의 휨강도는 19MPa로서 재생잔골재만을 혼입한 배합에 비하여 우수한 휨강도를 발현하는 것으로 나타났다. 5~10mm 골재를 사용한 경우 CS 배합의 휨강도는 21MPa를 나타내었으며, RS, CR 및 RR 배합의 휨강도는 18.4~20.8MPa로서, 5~25mm 골재를 사용한 배합에 비하여 휨강도가 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 보통 시멘트 콘크리트에 비하여 폴리머 콘크리트의 배합은 슬럼프 및 유동성이 작

을 뿐만 아니라 워커빌리티가 좋지 않기 때문에 골재 크기가 작을수록 이와 같은 특성을 개선할 수 있어 강도 발현이 유리한 것에 기인한 것으로 판단된다.

그림 3.1.2(b)에서 보는 바와 같이 Series II에서 5~25mm 및 5~10mm 골재를 사용한 경우 CS 배합의 휨강도는 21.8MPa 및 22.7MPa를 나타내었으며, RS, CR, RR 배합의 경우의 휨강도는 18.6MPa~21.2MPa 및 19.9~22MPa 범위를 나타내었다. Series I에서와 마찬가지로 재생굵은골재를 혼입한 재생 폴리머 콘크리트는 천연골재를 혼입한 폴리머 콘크리트의 휨강도와 거의 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타낸 반면에 재생잔골재를 혼입한 경우에는 천연골재 및 재생굵은골재를 혼입한 배합의 휨강도에 비하여 강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 반면에 CSCR 배합의 휨강도는 각각 20MPa 및 21MPa로서 단위결합재량을 10% 및 천연골재만을 사용한 폴리머 콘크리트의 휨강도와 거의 유사한 경향을 나타내었다.



(a) 결합재량 : 10%



(b) 결합재량 : 12%

그림 3.1.2 골재 크기 및 결합재량에 따른 재생 폴리머 콘크리트의 휨강도

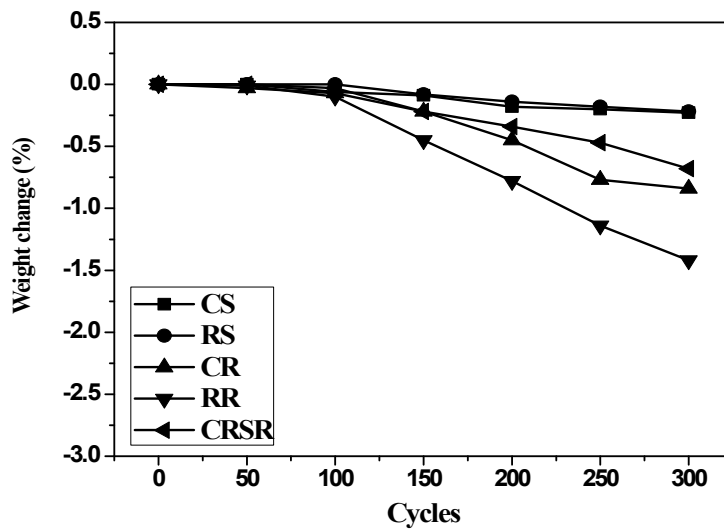
다. 동결융해저항성

일반적으로 시멘트 콘크리트에 동결융해가 반복적으로 작용하면 콘크리트 내부에 물이 얼게 되고 이 때 팽창에 의하여 콘크리트 내부 구조에 균열이 발생하여 내구성이 저하하게 되며, 연행공기의 확보에 의해 내구성 지수를 증가시킬 수 있다. 반면에 폴리머 콘크리트는 결합재로 사용되어지는 고분자 재료의 불투수 특성에 의하여 물의 침투가 어렵기 때문에 동결융해 반복 작용시 시멘트 콘크리트와는 다른 구조적 변화를 보여준다 (Sandberg, 1995).

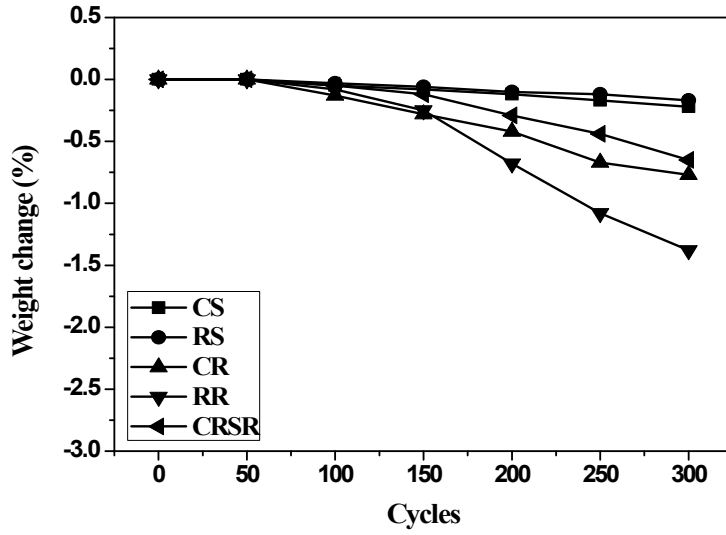
그림 3.1.3 및 그림 3.1.4는 산업부산물 및 재생골재를 활용한 재생 폴리머 콘크리트의 동결융해 시험에 따른 중량 변화를 보여준다.

그림 3.1.3(a) 및 그림 3.1.3(b)에서 보는 바와 같이 동결융해 300 사이클 후 Series I에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 0.23% 및 0.22%로 나타났으며, RS, CR, RR CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 0.22~1.42% 및 0.17~1.38%의 범위로 나타나 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 중량변

화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 시멘트 콘크리트의 결합재로 사용되어지는 시멘트와 달리 본 연구의 재생 폴리머 콘크리트에 사용된 불포화 폴리에스테르 수지는 경화 후 투수성이 거의 없기 때문에 불투수성의 결합재가 골재를 완전히 피복하여 불투수성 콘크리트를 형성하고, 동결융해 작용시 내구성 저하의 원인인 콘크리트 내부의 수분을 완전히 차단하기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 동결융해저항성이 매우 우수한 재생 폴리머 콘크리트를 동결융해 피해가 우려되는 환경 조건에 사용할 경우 내구성 개선에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 그림 3.1.4(a) 그림 3.1.4(b)에서 보는 바와 같이 동결융해 300 사이클 후 Series II에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 0.11 및 0.16%로 나타났으며, RS, CR, RR 및 CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 0.19~1.02% 및 0.13~1.09%의 범위로 나타나 Series I 과 마찬가지로 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 중량변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

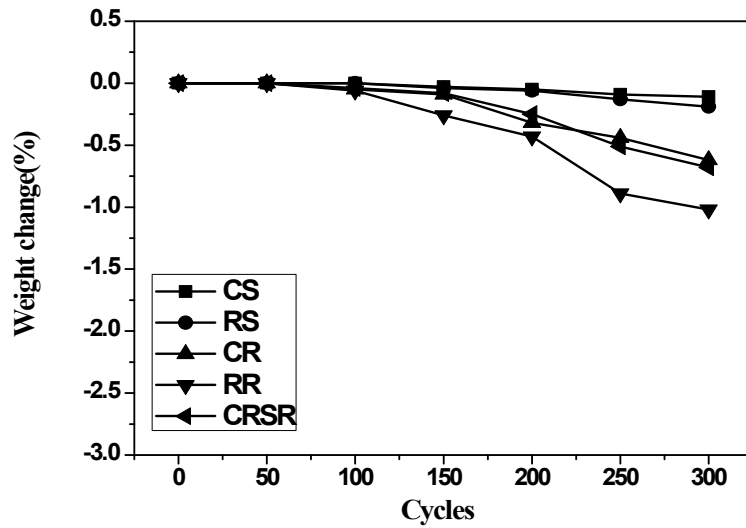


(a) 골재 크기 : 5~25

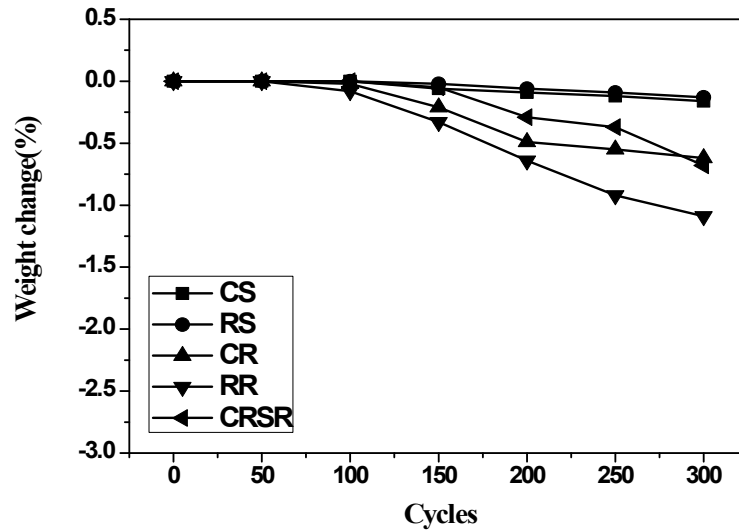


(b) 골재 크기 : 5~10mm

그림 3.1.3 동결융해 사이클에 따른 중량 변화 (결합재량 : 10%)



(a) Aggregate size(5-25mm)



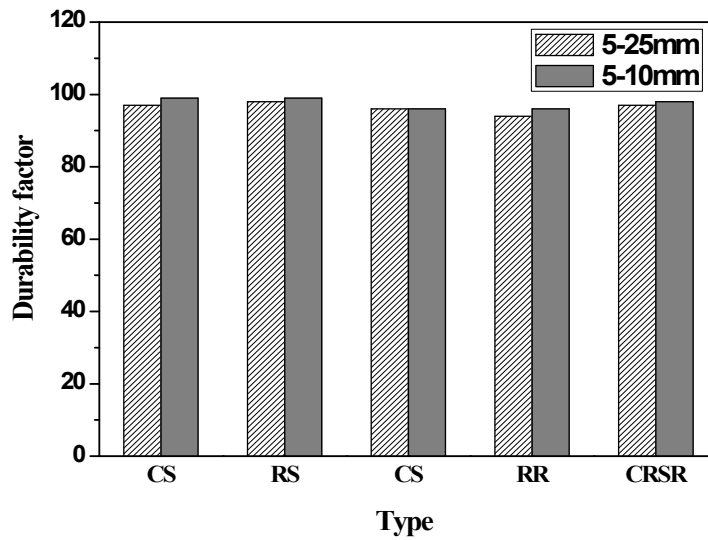
(b) Aggregate size(5~10mm)

그림 3.1.4 동결융해 사이클에 따른 중량변화 (결합재량 : 12%)

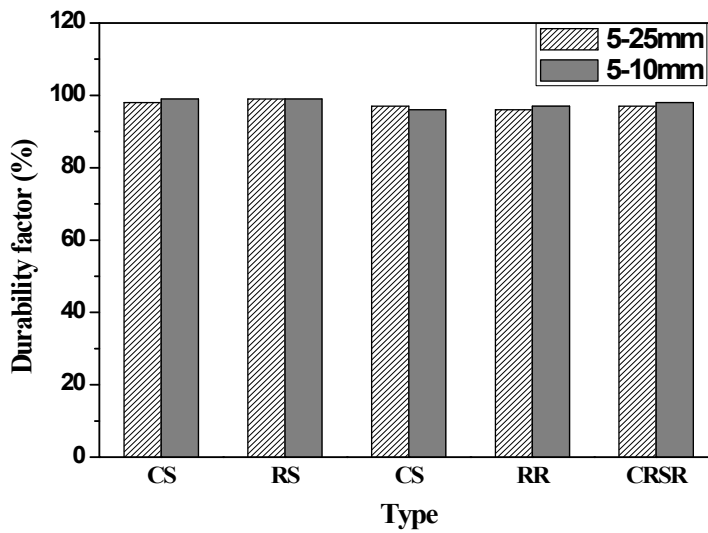
그림 3.1.5는 재생 폴리머 콘크리트의 동결융해 시험에 따른 내구성 지수를 보여 준다. 그림 3.1.5(a)에서 보는 바와 같이 동결융해 300 사이클 후 Series I에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 내구성지수는 97 및 99로 나타났으며, RS, CR, RR 및 CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 내구성지수는 각각 94~98% 및 96~99%의 범위로 나타나 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 내구성지수가 매우 높은 것으로 나타났다. 반면에 불투수성의 불포화 폴리에스테르 수지를 사용하였음에도 미세한 중량 변화 및 내구성 지수의 감소가 발생한 것은 재생 폴리머 콘크리트 제조시 낮은 슬럼프에 기인하여 혼합시 완전 피복이 이루어지지 않은 부분이 존재하기 때문으로 판단되며, 특히 재생골재를 혼입할 경우 높은 흡수율의 골재 특성으로 인하여 유동성 및 다짐 특성이 다른 배합에 비하여 불리하기 때문에 이에 대한 주의와 개선이 요구된다.

또한, 그림 3.1.5(b)에서 보는 바와 같이 동결융해 300 사이클 후 Series II에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 내구성지수는 98 및 99로 나타났으며, RS, CR, RR 및 CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 내구성지수는 각각 96~99 및 97~99%의 범위로

나타나 Series I 에서와 마찬가지로 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 내구성 지수가 매우 높은 것으로 나타났다.



(a) 결합재량 : 10%



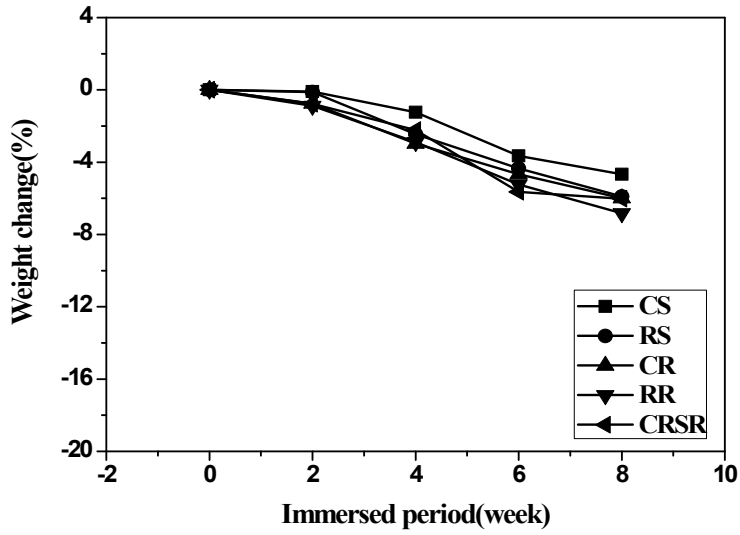
(b) 결합재량 : 12%

그림 3.1.5 동결융해 300 사이클에서 내구성 지수

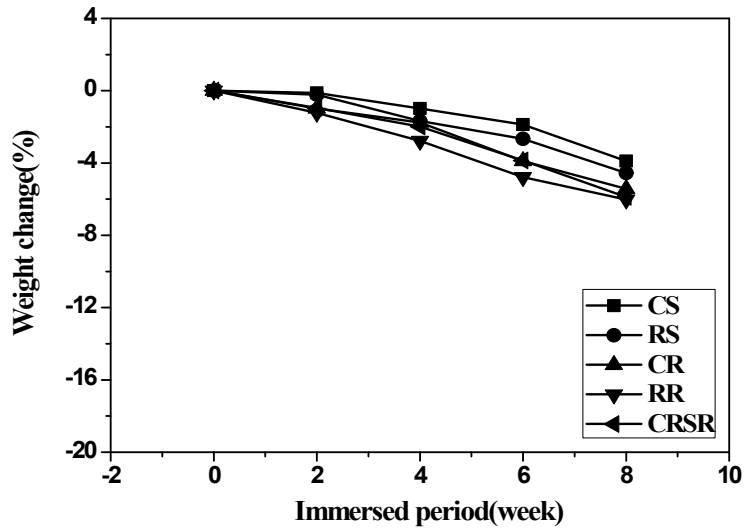
라. 내산성

최근에는 콘크리트의 사용성이 확대됨에 따라 황산 및 염산 등과 같은 심각한 환경에 노출되는 경우가 많아 콘크리트의 내구성을 개선하기 위한 연구가 요구되어진다. 일반적으로 콘크리트의 수화생성물 중에 다량으로 존재하게 되는 알카리성의 수산화칼슘은 높은 용해성으로 산과 반응하기 쉬우며 수경성 화합물인 C-S-H (Calcium silicate hydroxyl)와 C-A-H(Calcium aluminate hydroxyl)는 분해되고, 다량의 염류가 생성되어 염의 용축과 결정화 등에 의해 침식, 열화되는 것으로 알려져 있다. 특히, 염산, 황산 등에 의한 침식작용은 수경성의 염화칼슘(CaCl_2), 질산칼슘($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)과 난용성의 황산칼슘(CaSO_4) 등을 생성하고, 규산과 알루미나 등을 용해시켜 실리카와 알루미나겔을 생성하며 골재까지도 침식시킨다 (Neville, 1995).

그림 3.1.6 및 그림 3.1.7은 20% 황산 용액에 8주 동안 침적한 재생 폴리머 콘크리트의 골재 크기 및 단위결합재량에 따른 중량변화를 나타낸다. 그림 3.1.6(a) 및 그림 3.1.6(b)에서 보는 바와 같이 Series I 에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 황산 침적 8주 후 중량감소율은 각각 4.67% 및 3.89%로 나타났으며, RS, CR, RR CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 5.89~6.83% 및 4.56~6.03%의 범위로 나타나 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 중량변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 골재를 피복하고 있는 불포화 폴리에스테르 수지가 20% 황산 용액의 침투를 억제하여 골재의 침식을 방지할 뿐만 아니라 불포화 폴리에스테르 수지 자체가 황산에 대한 저항성이 매우 우수하기 때문으로 판단된다. 일반적으로 시멘트 콘크리트는 5%의 황산용액에 대한 침적 시험시 약 4주가 경과되면 표면탈락 및 골재 침식이 크게 증가하는 것으로 알려져 있어 재생 폴리머 콘크리트가 황산에 대한 내산성이 매우 우수한 것을 알 수 있다.



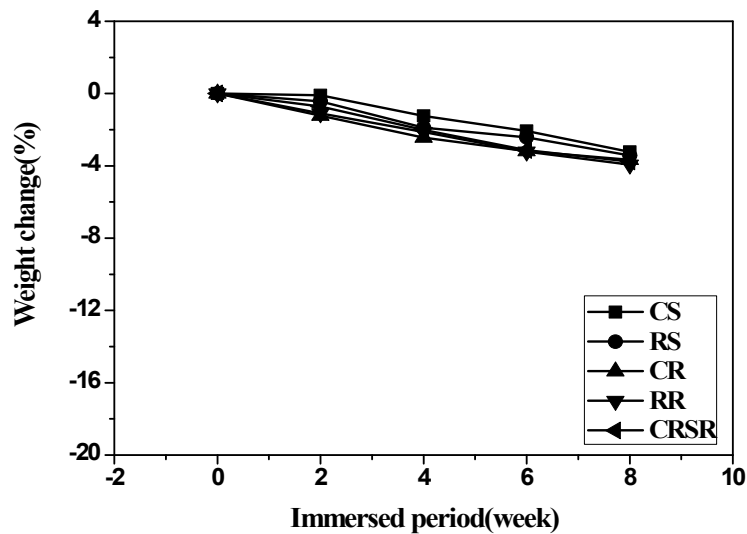
(a) 골재 크기 : 5~25mm



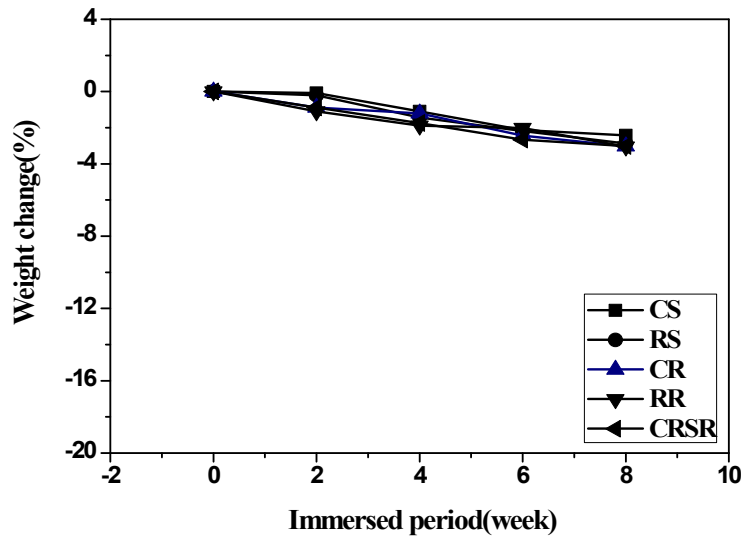
(b) 골재 크기 : 5~10mm

그림 3.1.6 20% 황산 용액에 침적된 재생 폴리머 콘크리트의 중량변화
(결합재량 : 10%)

그림 3.1.7(a) 및 그림 3.1.7(b)에서 보는 바와 같이 Series II에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 황산 침적 8주 후 중량감소율은 각각 3.23% 및 2.43%로 나타났으며, RS, CR, RR CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 3.43~3.94% 및 2.88~3.04%의 범위로 나타나 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 중량변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 한편, 단위결합재량이 12%인 Series II의 배합이 단위결합재량이 10%인 Series I에 비하여 중량감소율이 작은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 황산 침적에 대한 내산성은 골재 크기 및 골재 종류보다 골재를 피복하는 결합재의 사용량에 직접적으로 관계가 있음을 보여준다.



(a) 골재 크기 : 5~25mm



(b) 골재 크기 : 5~10mm

그림 3.1.7 20% 황산 용액에 침적된 재생 폴리머 콘크리트의 중량변화
(결합재량 : 12%)

4. 굴 폐각을 충전재로 활용한 폴리머 콘크리트의 역학적 특성

가. 굴 폐각의 현황 및 특성

우리나라 폐류 중 어업생산량 비중이 가장 높은 굴 양식 산업에 의해 전국적으로 30만 4천톤의 굴 폐각이 발생하는 것으로 알려져 있으며, 굴 폐각 전체 발생량의 75%인 23만여톤이 폐화석 비료 등 자원화로 처리되고, 10%인 3만여톤이 종묘로 사용되며, 9%인 2만 7천여톤이 야적 및 방치되거나 매립되고 있다. 또한, 굴 폐각은 폐기물관리법 상 사업장 폐기물로 분류돼 처리 비용이 높은 것으로 알려져 있으며, 폐화석 비료 원료로 공급할 경우 어민 부담이 톤당 7천원, 해양 투기장에 처리할 경우 톤당 2만5천원에 이르러 연안 부근에 방치되거나 무단 투기되고 있는 실정이다 (MIFAFF, 2010; Kim 등, 2010; Lee 등, 2004). 또한, 방치되거나 매립되는 부존폐각은 그 일대의 지하수를 센물로 만들 뿐만 아니라 연안의 어장 축소, 해양 오염

등의 문제점을 유발시키고 있으며, 더욱이 이들 패각은 폐기물로 분류되어 양식어 민이 직접 처리하여야 하나 매립지 확보, 호안시설, 수거와 운반비 등 처리비용의 과다로 적정처리 되지 않고 있기 때문에 패각 부존량은 계속적으로 누적되고 있으며, 해양 환경에 심각한 영향을 주고 있다 (이인곤, 2000; 김갑중 등, 2010).

패각을 재활용하기 위한 연구는 크게 다섯 분야로 구분할 수 있다. 첫째는 패각을 높은 온도에서 소성하여 산화칼슘을 제조하기 위한 연구, 둘째는 패각을 소성공정, 수화공정 및 탄산화 반응공정 등을 통하여 고부가가치의 탄산칼슘 제조에 관한 연구, 셋째는 기존의 탈인제 대신에 패각의 탄산칼슘 성분을 활용한 인 제거에 관한 연구, 넷째는 패각을 분쇄 및 정제하여 패화석 비료로 활용하기 위한 연구, 다섯째는 시멘트 콘크리트의 잔골재 및 고분자 분야의 충전재로 활용하기 위한 연구 등이 있다 (김갑중 등, 2010; 구해식; 2006; 신춘환, 2006). 그러나 상기의 연구는 유기물 및 불순물을 함유한 패각을 순도 높게 정제하기 위한 소성 및 전처리 과정의 어려움과 패화석 비료의 공급 및 수요 문제 등으로 활용성이 매우 미흡한 실정이다.

나. 굴 패각 분말의 제조

굴 패각 분말은 경남 통영의 패화석 비료 공장에서 불순물을 제거하고 3mm 이하의 크기로 분쇄 및 정제되어 비료로서 공급되기 전 포장 가공된 패각을 0.15mm 체를 가진 분쇄기로 2차 분쇄하여 미립으로 제조하여 사용하였으며, 그림 3.1.8(a) 및 그림 3.1.8(b)는 패화석 비료로 사용되는 입도 3mm의 패각과 분쇄된 패각 분말을 보여준다. 패각은 외투막에서 분비되는 결정체와 유기매질 물질을 주성분으로 이루어지며 전형적으로 매우 얇고 단층의 각피층(periostracum), 석회질로 구성된 각주층(prismatic layer) 그리고 층단 모양의 진주층(nacreous layer)으로 이루어지며, 결정상은 주로 방해석(calcite) 상이며 유기질과 무기질의 비가 3~5% : 95~97%로서 대부분 무기질의 탄산칼슘인 것으로 알려져 있다 (Son et al., 1995; Lee, 2000).

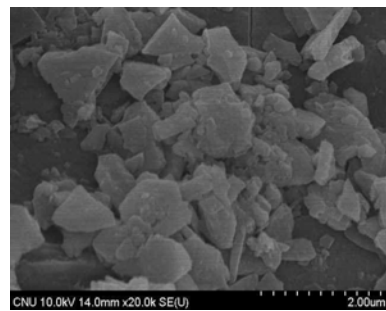
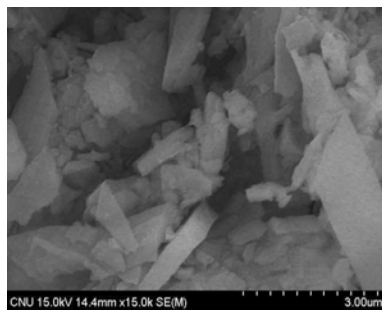
한편, 그림 3.1.8(c)는 SEM에 의해 촬영된 패각 분말의 내부 모습에서 판 구조 형태의 입형을 가지는 것을 알 수 있다.



(a) 굵 패각 (3mm)



(b) 굵 패각 분말



(c) 굵 패각 분말의 미세구조

그림 3.1.8 굵 패각의 모양 및 미세구조

다. 슬럼프

폴리머 콘크리트는 결합재로 사용되는 불포화 폴리에스테르 수지의 높은 점성으로 슬럼프 저하가 발생되며, 슬럼프 저하는 작업성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 폴리머 콘크리트의 작업성을 개선하기 위하여 비교적 점성이 낮은 MMA, SM 및 SRA 등을 불포화 폴리에스테르 수지에 일부 치환하여 사용하고 있다 (연규석 등, 2005). 한편, 점성을 개선하기 위하여 사용되는 결합재는 사용량에 따라 폴리머 콘크리트의 작업성, 경화시간 및 강도 등에 큰 영향을 미치기 때문에 사용성에 주의를 요한다.

패각 분말의 혼입에 따른 폴리머 콘크리트의 작업성을 평가하기 위해 슬럼프 시험을 실시하였으며, 그림 3.1.9는 패각 분말과 탄숯칼슘을 충전재로 사용한 폴리머 콘크리트의 결합재량에 따른 슬럼프를 보여준다.

결합재량 9%에서는 충전재에 관계없이 2cm 이하의 매우 낮은 슬럼프를 나타내어 공시체 성형시 어려움이 있는 것으로 나타났으며, 결합재량이 증가함에 따라 슬럼프가 증가하는 경향을 나타내어 15%의 결합재량에서 6~8cm의 슬럼프를 나타내었다. 동일 결합재량에서 충전재에 따른 슬럼프는 폐각 분말을 혼입한 배합이 탄산칼슘을 혼입한 배합에 비하여 다소 낮게 나타났다. 이러한 결과는 폐각의 비중이 탄산칼슘에 비하여 낮기 때문에 동일 중량비로 혼입할 경우 체적이 증가할 뿐만 아니라 폐각 분말의 비표면적이 크기 때문에 결합재와의 접촉 면적이 증가하였기 때문으로 판단된다. 또한, 김남길(2004)의 너무 적은 양의 충전재는 골재사이의 공극을 충분히 채우지 못하여 골재의 맞물림에 의한 슬럼프 저감이 발생할 수 있으며, 너무 많은 양의 충전재는 표면적을 증가시켜 작업성을 저하시킨다는 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다.

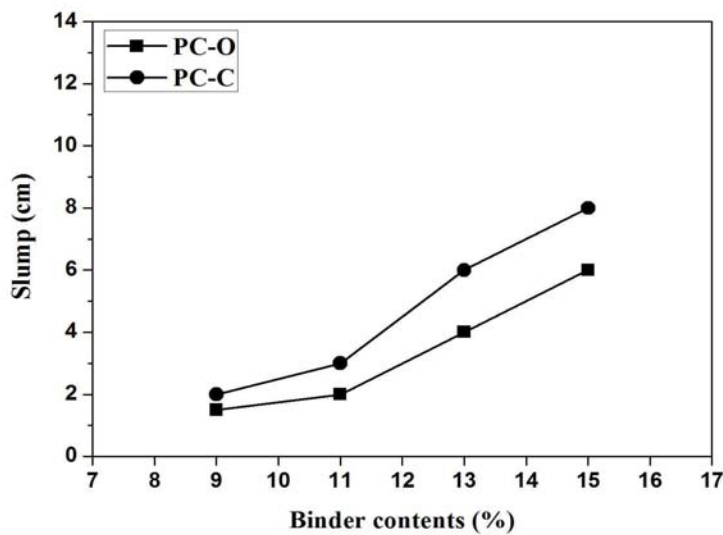


그림 3.1.9 충전재 종류 및 결합재량에 따른 슬럼프

라. 압축강도

충전재로 폐각 분말과 탄산칼슘을 사용한 폴리머 콘크리트의 압축강도 시험결과는 그림 3.1.10과 같다.

충전재의 종류에 관계없이 결합재량이 증가함에 따라 압축강도는 증가하는 경향을 나타내었으며, 결합재량 9%에서 상대적으로 매우 낮은 압축강도를 나타내었다. 패각 분말을 충전재로 사용한 배합에서는 결합재량이 증가할수록 압축강도가 크게 증가하는 경향을 나타낸 반면에 탄산칼슘을 사용한 배합에서는 결합재량 15%에서의 압축강도가 결합재량 13%에서의 압축강도와 거의 유사하거나 약간 높게 나타나 결합재량의 증가에 따른 강도의 증가가 둔화되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 결합재량이 낮은 경우 작업성의 저하로 충분한 다짐 및 비빔 효과가 발생하지 않았기 때문이며, 패각 분말의 경우 결합재량이 증가함에 따라 다짐 특성이 개선되어 압축강도 증가에 크게 기여한 것으로 판단된다. 반면에 탄산칼슘을 혼입한 배합에서 15%의 결합재량을 사용한 경우 결합재량의 과다 사용으로 골재 사이에 채워진 경화 폴리머의 증가로 수축응력 및 수축균열 등이 발생하여 압축강도의 증가가 둔화된 것으로 판단된다. 조병완 등(2005)은 수지함량이 부족할 경우 충분한 비빔 효과가 발생하지 않고, 수지 함량이 많아지면 수축응력의 잔존 등으로 강도가 감소하기 때문에 결합재량 13%가 적절하다고 보고하였으며, 연규석(1994)은 비교적 가격이 높은 불포화 폴리에스테르 수지의 경제성과 강도 특성을 고려할 때 결합재량은 12%를 초과하지 않는 것이 바람직하다는 연구 결과를 고려할 때 충전재에 따른 작업성, 강도 및 경제성 등을 고려한 결합재량의 선정이 요구된다.

한편, 그림 3.1.11은 충전재 종류에 따른 결합재량과 압축강도의 상관성을 보여준다. 충전재의 종류에 관계없이 결합재량과 압축강도는 높은 유의성을 나타내는 것을 알 수 있으며, 패각 분말을 사용한 배합의 폴리머 콘크리트가 탄산칼슘을 사용한 배합에 비하여 기울기가 큰 것을 고려할 때 결합재량에 따른 강도의 증가가 큰 것으로 판단된다.

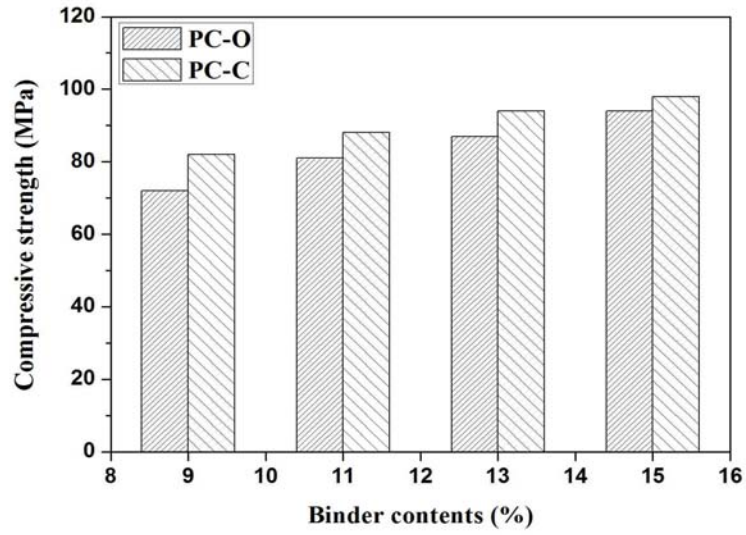


그림 3.1.10 충전재 및 결합재량에 따른 압축강도

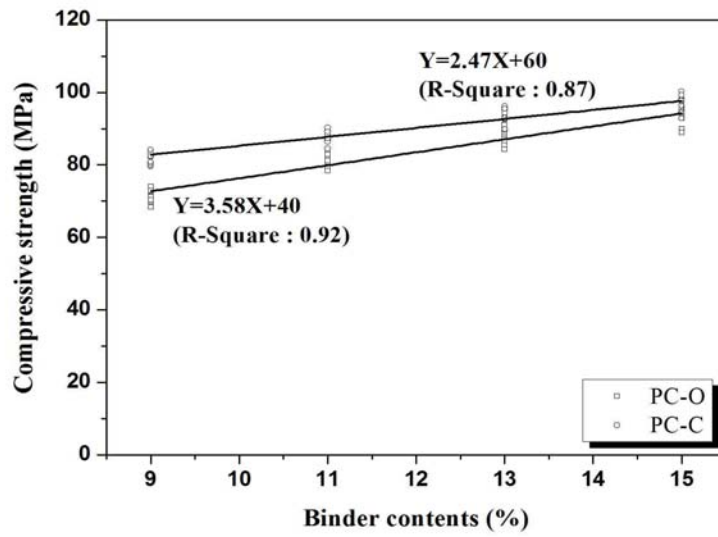


그림 3.1.11 결합재량에 따른 압축강도의 상관성

마. 휨강도

충전재로 패각 분말과 탄산칼슘을 사용한 폴리머 콘크리트의 휨강도 시험결과는 그림 3.1.12와 같다.

휨강도는 압축강도 시험결과와 마찬가지로 충전재의 종류에 관계없이 결합재량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며, 패각 분말을 사용한 배합의 폴리머 콘크리트가 탄산칼슘을 사용한 배합에 비하여 낮은 휨강도를 나타내었다. 패각 분말을 사용한 배합에서의 휨강도는 16.3~23.2MPa의 범위를 나타내었으며, 결합재량 9%에서 다른 배합에 비하여 낮은 휨강도를 나타내었다. 또한, 패각 분말을 사용한 배합에서의 결합재량에 따른 휨강도 증가율은 8.6~14.7%를 나타내었으며, 결합재량 13%에서 가장 높은 증가율을 나타내었다. 이러한 결과는 압축강도 시험결과에서와 마찬가지로 결합재량 11% 이하에서는 작업성의 저하로 충분한 다짐 및 결합재에 의한 피복이 잘 이루어지지 않았기 때문으로 판단된다. 한편, 탄산칼슘을 사용한 배합에서의 휨강도는 17.8~24.3MPa의 범위를 나타내었으며, 결합재량 9%에서 17.8 MPa를 나타내었다. 또한 휨강도 증가율은 7.9~16.7%를 나타내었으며, 패각 분말을 사용한 배합에서와 마찬가지로 결합재량 13%에서 가장 높은 증가율을 나타내었다. 한편, 패각 분말을 사용한 배합의 휨강도가 결합재량에 관계없이 탄산칼슘을 사용한 배합에 비하여 작게 나타났으나, 결합재량이 증가함에 따라 강도의 차이가 감소하는 경향을 나타내는 것을 고려할 때 패각 분말을 사용한 배합에서 경화 전 작업성 및 슬럼프를 개선할 경우 낮은 결합재량에서도 탄산칼슘을 충전재로 사용한 배합과 유사한 강도 특성을 발현할 수 있을 것으로 기대된다.

그림 3.1.13은 충전재 종류에 따른 폴리머 콘크리트의 압축강도와 휨강도의 상관성을 보여준다. 패각 분말 및 탄산칼슘을 사용한 배합에서 압축강도와 휨강도의 상관성은 0.78 및 0.60을 나타내어 유의성이 없는 것으로 나타났다.

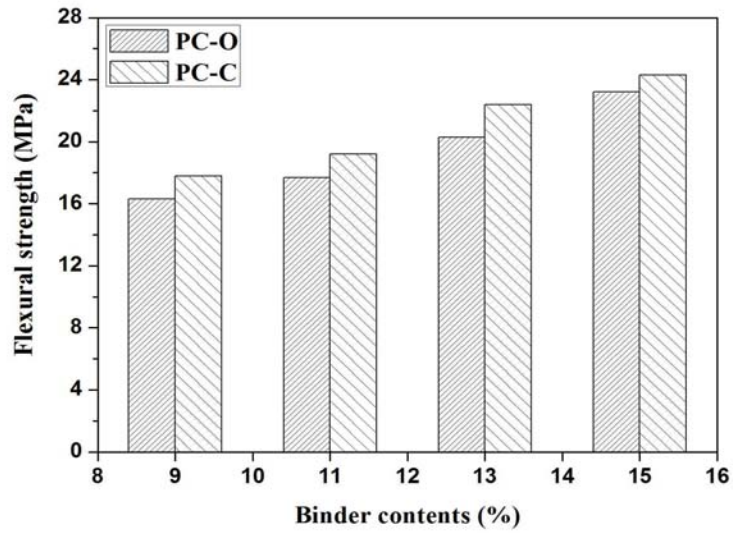


그림 3.1.12 충전재 및 결합재량에 따른 휨강도

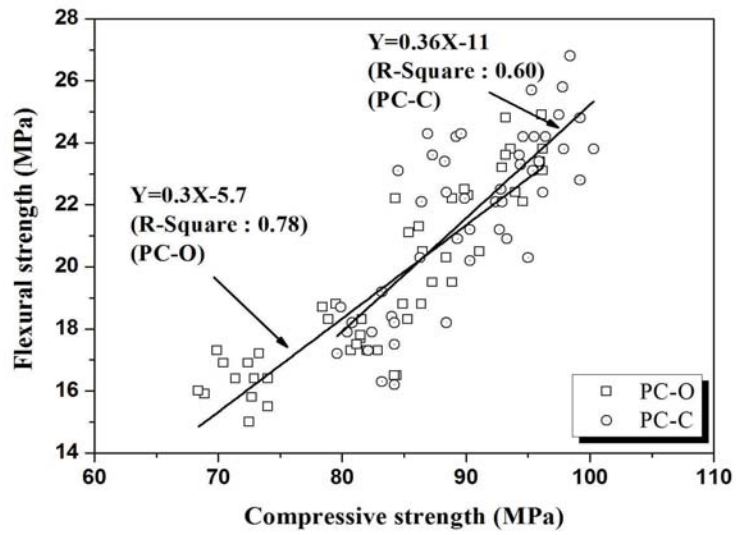


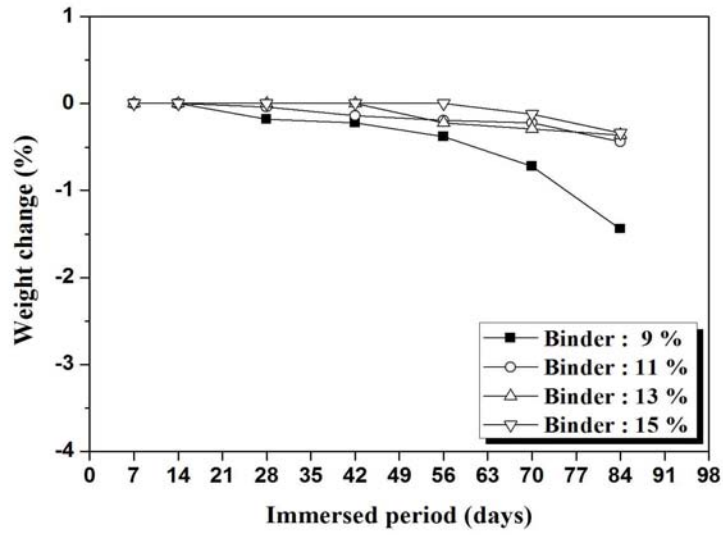
그림 3.1.13 충전재 종류에 따른 압축강도와 휨강도의 상관성

바. 내산성

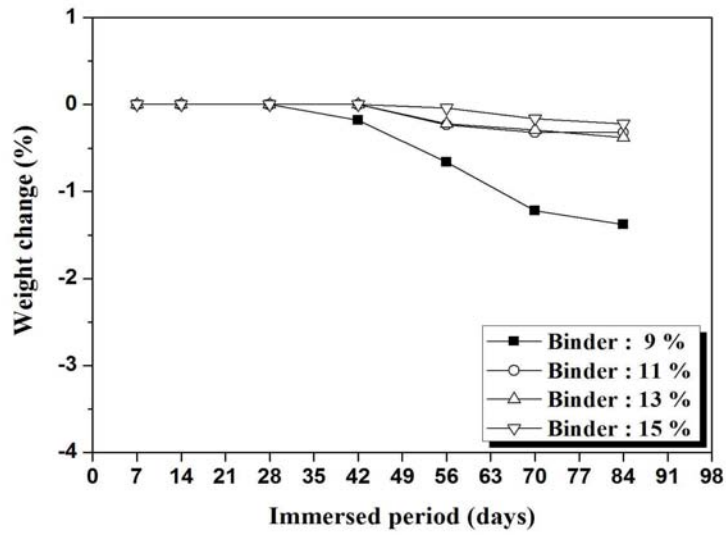
콘크리트의 사용성이 확대됨에 따라 화학적으로 유해한 환경에 노출되는 경우가 많아지고 있으며, 시멘트 콘크리트는 황산 및 염류 등에 노출될 경우 시멘트 수화 생성물 중에 다량으로 존재하는 알칼리성의 수산화칼슘은 높은 용해성으로 산과 반응하기 쉬우며, 수경성 화합물인 C-S-H 와 C-A-H로 분해되어 침식 및 열화가 진행 되는 것으로 알려져 있다.

충전재에 따른 황산 20% 용액에 침적된 폴리머 콘크리트의 부식 특성을 평가하였으며, 그림 3.1.14(a) 및 그림 3.1.14(b)는 충전재 및 결합재량에 따른 폴리머 콘크리트의 침적 후 12주 동안의 중량감소율을 보여준다.

그림 3.1.14에서 보는 바와 같이 패각 분말 및 탄산칼슘을 사용한 폴리머 콘크리트의 침적 후 12주가 경과한 시점에서 중량감소율은 각각 0.34~1.44% 및 0.22~1.38%범위로서 충전재 및 결합재량에 관계없이 중량 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 육안 관측에서도 그림 3.1.15에서 보는 바와 같이 폴리머 콘크리트 표면의 침식 및 탈락 등이 전혀 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그림 3.1.16은 침적 후 12주가 경과한 시점에서 패각 분말을 사용한 폴리머 콘크리트 공시체의 표면에서 채취된 시편을 주사전자현미경으로 촬영한 사진을 보여준다. 그림 3.1.16(a)의 침적 전 경화된 폴리머 콘크리트의 고분자 결합에 따른 미세구조와 그림 3.1.16(b), 그림 3.1.16(c) 및 그림 3.1.16(d)의 12주 동안 침적된 폴리머 콘크리트의 고분자 결합 및 황산용액의 반응에 의한 미세구조가 차이가 없는 것을 확인할 수 있으며, 경화된 폴리머 콘크리트와 황산 용액의 화학적 반응이 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 조병완 등(2004)의 플라이 애시를 충전재로 사용한 PET 재활용 폴리머 콘크리트의 황산 침식에 대한 연구에서 황산 침식에 따른 표면의 색깔 변화 뿐만 아니라 표면의 부식 및 흠집 등이 전혀 발생하지 않으며 치밀한 체인 구조를 형성하고 있는 불포화 폴리에스테르 수지가 공시체 외면을 형성하고 있어 황산의 부식 작용으로부터 보호막 역할을 한다는 결과와 유사한 경향을 나타낸다.



(a) 굴 패각



(b) 탄산칼슘

그림 3.1.14 20% 황산 용액에 침적된 폴리머 콘크리트의 중량변화



(a) 침적 전 (결합재: 9%)



(b) 침적 후 (결합재:11 %)

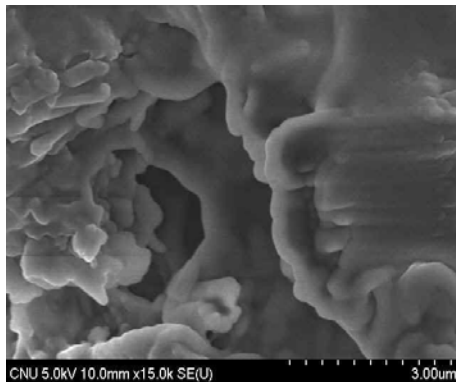


(c) 침적 전 (결합재: 13%)

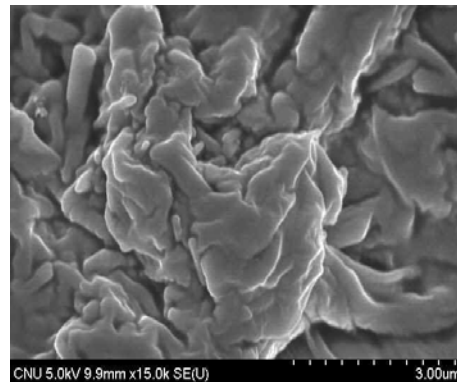


(b) 침적 후 (결합재:15 %)

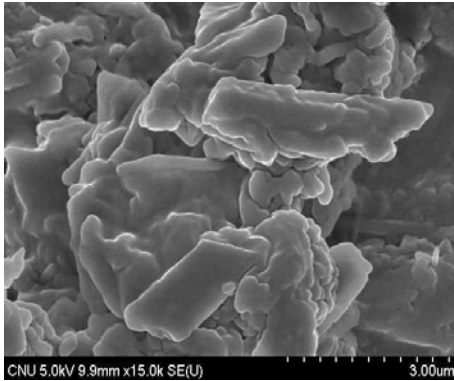
그림 3.1.15 20% 황산용액에 12동안 침적된 폴리머 콘크리트의 표면



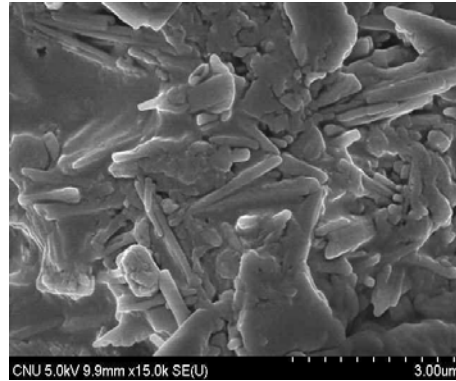
(a) 침적 전 (결합재량:9%)



(b) 침적 후 (결합재:11 %)



(c) 침적 후 (결합재: 13%)



(d) 침적 후 (결합재: 15%)

그림 3.1.16 20% 황산 용액에 12주 동안 침적된 폴리머 콘크리트의 미세구조

사. 동결융해저항성

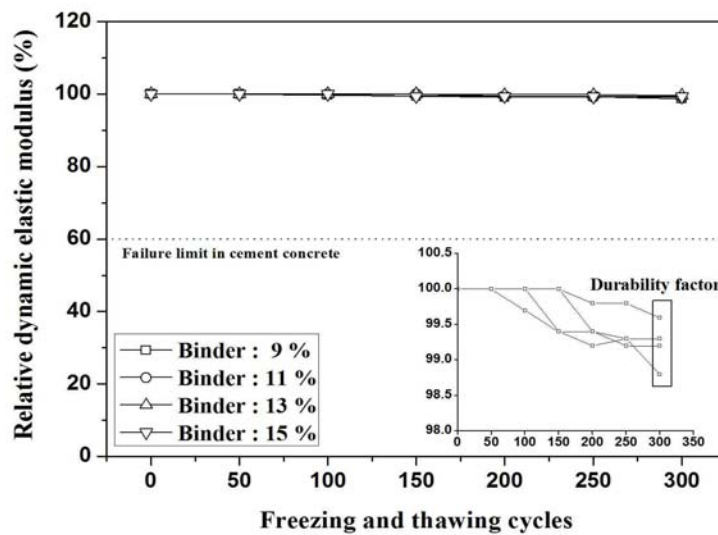
그림 3.1.17은 ASTM C 666에서 제안하고 있는 상대동탄성계수가 60% 이하로 되거나 또는 동결융해가 300 사이클이 될 때까지 측정된 상대동탄성계수 및 동결융해 시험 종료시 내구성지수를 보여준다.

그림 3.1.17에서 보는 바와 같이 패각 분말 및 탄산칼슘을 사용한 폴리머 콘크리트에서 결합재량에 관계없이 상대동탄성계수가 98% 이상을 나타내어 동결융해 반복에 따른 상대동탄성계수의 감소는 거의 없는 것으로 판단된다. 또한 내구성 지수는 상대동탄성계수가 60% 이하로 감소되지 않고 동결융해가 300 사이클에서 종료되었기 때문에 300 사이클에서의 상대동탄성계수와 동일한 값을 나타내었다. 패각 분말을 사용한 배합에서 결합재량에 따른 내구성지수는 98.8~99.6의 범위를 나타내었으며, 탄산칼슘을 사용한 배합에서는 결합재량에 따라 99.1~99.5의 범위를 나타내어 충전재에 관계없이 동결융해저항성이 매우 우수한 것을 알 수 있다. 또한 동결융해에 따른 콘크리트 표면의 침식 또는 탈락 등이 발생하지 않기 때문에 모든 배합에서 중량변화는 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 물과 접하거나 수중에 있는 시멘트 콘크리트에서 동결융해 반복작용시 침투된 수분의 동결에 따른 체적 팽창 및 융해에 의한 체적 감소로 콘크리트 내부에서 균열 및 탈락이 발생하여 동결융해저항성이 감소되는 것과 달리 결합재로 사용된 불포화 폴리에스테르 수지는

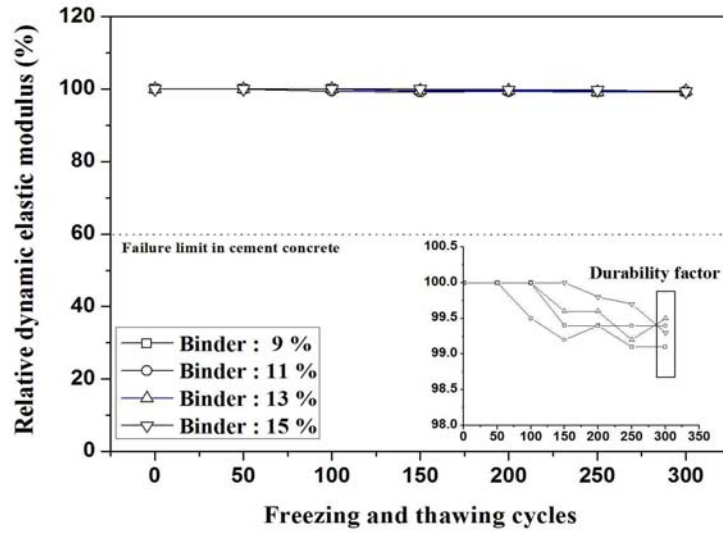
골재를 완전히 피복하여 불투수성의 폴리머 콘크리트를 형성하여 동결융해 작용시 내구성 저하의 원인이 되는 수분의 침투를 완전히 차단하기 때문인 것으로 판단된다 (Sandburg, 1995; 김영익 등, 2009).

그림 3.1.18은 동결융해 시험 전 및 300 사이클 후의 충전재 및 결합재량에 따른 압축강도를 보여준다. 폐각 분말 및 탄산칼슘을 사용한 배합 모두에서 동결융해 시험 전 및 시험 후의 압축강도는 거의 유사한 경향을 나타내었으며, 동결융해 반복에 따른 강도의 감소는 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 동결융해 반복에 따른 콘크리트 표면의 략 등이 발생하지 않을 뿐만 아니라 콘크리트 내부에 균열 응력 등이 존재하지 않기 때문으로 판단된다.

한편, 결합재로 피복된 충전재는 화학적 저항성 및 동결융해에 저항성이 매우 우수하기 때문에 폐각 분말을 사용한 배합의 폴리머 콘크리트에서도 동일한 성능을 발휘할 수 있기 때문에 심각한 환경조건에 활용할 경우 내구성 개선에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.



(a) 충전재 : 굴 채폐각 분말



(b) 충전재 : 탄산칼슘

그림 3.1.17 동결융해 사이클에 따른 상대동탄성계수 및 내구성 지수

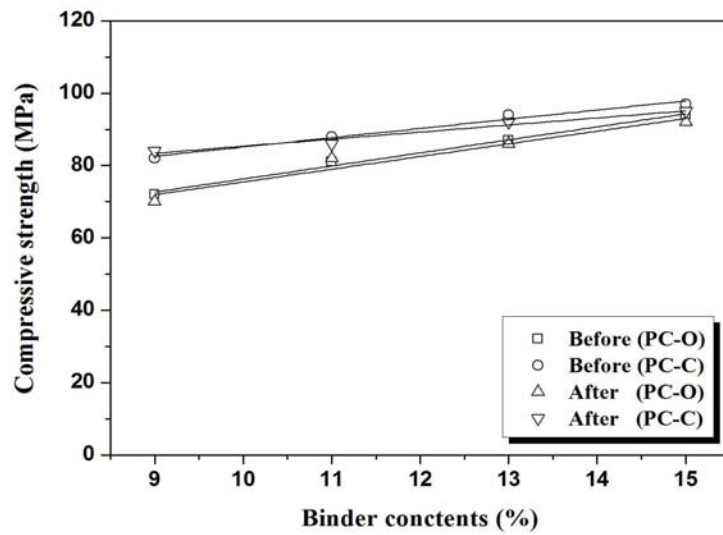


그림 3.1.18 동결융해 300 사이클 후 압축강도

제 2 절 재생골재를 활용한 투수포장용 포러스 폴리머 콘크리트의 개발

1. 서 론

최근 전 세계적으로 환경오염으로 인한 기후변화 및 지구의 온난화 등이 심각해지면서 탄소배출 억제 및 폐기물의 재활용 등 환경보전에 대한 관심이 고조됨에 따라 환경을 고려한 정책 및 신기술에 대한 연구개발이 요구되고 있다. 이에 건축 및 토목분야의 주재료인 콘크리트를 분야에서도 지구환경 부하량을 저감시키기 위하여 환경친화형 콘크리트(Eco-concrete)에 관한 연구가 진행되고 있다. 환경친화형 콘크리트는 환경보존 및 생태계와의 조화를 도모한다는 의미에서 그 어원을 찾을 수 있으며, 환경부하저감에 기여할 수 있는 환경부하저감형 콘크리트와 지구 환경과의 조화를 통한 쾌적한 환경조성 뿐만 아니라 생물의 종 다양성 확보, 서식처 제공을 목적으로 하는 생물대응형 콘크리트로 구분된다. 특히 플라이 애시 및 고로슬래그 미분말과 같은 산업 폐기물 및 부산물을 콘크리트 혼화재료로 활용하기 위한 연구와 연속적인 공극을 가지는 포러스 콘크리트를 제조하여 투수, 흡음 및 수질정화 등에 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

한편, 우리나라에서 대부분의 도로 포장은 아스팔트 콘크리트와 시멘트 콘크리트 등의 불투수성 포장 재료에 의한 전면포장으로 호우시 포장면에서 배수구를 통한 우수가 그대로 하천에 유입된다. 이와 같이 우수의 직접 유출에 의하여 도시 하천의 홍수량이 증가되어 저지대 및 하류지역에서 홍수 피해가 빈번하게 발생하고, 침투수 부족으로 인하여 지하수 고갈 등의 문제가 대두되고 있다 (성찬용 등, 1996; 이윤수 등, 2002; 박승범 등, 2005; 김영익 등, 2005). 또한, 지중 미생물의 서식이나 가로수의 생육을 저해하는 등 자연 생태계 보호차원에서의 문제도 제기되고 있다.

따라서 최근에는 홍수에 의한 침수 피해를 방지하고 지하수자원을 확보하기 위하여 기존 불투수성 시멘트 콘크리트 및 아스팔트 포장을 크게 개선한 투수 및 배수성 포장에 관심이 높아짐에 따라 투수성 콘크리트나 투수성 아스팔트를 사용한 차

도, 보도, 광장 및 주차장 등의 시공사례가 증가하고 있으며, 포러스 콘크리트를 활용한 투수 블록 제품 등의 개발에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.

Chindaprasirt 등(2008)은 포러스 콘크리트의 제조를 위한 최적조건을 찾기 위하여 시멘트 페이스트 특성 및 진동 및 다짐에 따른 포러스 콘크리트의 특성에 관한 연구를 하였으며, 김무한 등(2000) 및 박승범 등(2004)은 골재 형태 및 시멘트 페이스트의 흐름에 따른 포러스 콘크리트의 역학적 특성 및 흡음특성에 관한 연구를 수행하였다. 박승범 등(2010)은 골재의 입도 및 페이스트-골재비(P/G)에 따른 포러스 콘크리트의 수질정화 특성을 평가하였으며, 포러스 콘크리트가 T-P 및 T-N의 저감에 효과가 있음을 제시하였다.

그러나 기존의 투수성 시멘트 콘크리트 및 아스팔트 포장에서 사용되는 포러스 콘크리트의 경우 결합재의 낮은 결합력으로 인하여 겨울철 동결융해의 반복 작용시 균열 및 골재의 탈락 등에 기인한 부분 침하 및 파괴 등이 빈번하게 발생하며, 장기적으로 내구성이 크게 저하되는 문제점을 내포하고 있다. 이에 시멘트의 단점을 개선하기 위한 고분자 결합재의 사용이 크게 증가하고 있으며, 특히 불포화 폴리에스테르수지는 강도 발현, 작업성 및 성형성이 우수하여 높은 결합력이 요구되는 포러스 콘크리트에 활용할 경우 효과가 우수한 것으로 알려져 있다.

한편, 한국에서는 최근 도시재개발사업 및 사회기반시설 확충 등으로 약 3,900만 톤의 건설폐기물이 발생되고 있으며, 이 중 폐콘크리트가 2,400만톤을 차지하고 있다. 미국, 일본 및 유럽 등에서는 폐콘크리트를 재활용한 재생골재 콘크리트에 관한 연구와 재생골재 재활용율이 상당한 수준에 있는 반면에 우리나라에서는 재생설비 부족 및 품질확보의 미흡 등으로 폐콘크리트의 90% 이상이 노반재 등으로 사용되고 있다. 따라서 천연골재 자원이 절대적으로 부족한 현실에서 폐콘크리트의 유효이용 및 환경보호 측면에서 재생골재를 활용하기 위한 연구가 요구된다. 또한, 화력발전 및 제철 산업에서 부산되는 플라이 애시 및 고로슬래그 미분말이 시멘트 콘크리트의 혼화재료로 활용되는 것을 고려할 때 폴리머 콘크리트 제조에도 충전재로 플라이 애시 및 고로 슬래그 미분말과 같은 산업폐기물 및 부산물 활용할 경우 비용 절감에 따른 경제적 및 환경적인 측면에서 매우 유리할 것이다.

따라서 본 연구에서는 보통 시멘트 포러스 콘크리트의 낮은 강도 및 내구성 등의

단점을 개선하기 위하여 결합력이 높은 불포화 폴리에스테르수지 및 충전재로 산업 부산물인 플라이 애시 및 고로슬래그 미분말을 활용한 투수 포장에 위한 포러스 폴리머 콘크리트를 개발하고, 충전재의 종류 및 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률, 강도, 투수계수, 동결융해저항성 및 내약품성 등의 물리, 역학적 특성을 구명하여 투수 포장에 활용할 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 사용재료

투수 포장에 위한 포러스 폴리머 콘크리트를 제조하기 위하여, 결합재는 메틸에틸케톤 프록사이드가 55% 함유된 DMP 용액을 개시제로 사용하는 올소타입의 불포화 폴리에스테르 수지를 사용하였으며, 이에 대한 일반적 특성은 표 3.2.1과 같다. 굵은골재로는 폐기물의 활용측면에서 한국의 경기도 I사에서 폐콘크리트를 재활용하여 생산된 재생골재를 사용하였으며, 잔골재는 강에서 채취된 모래를 사용하였다. 표 3.2.2 및 표 3.2.3은 사용된 굵은골재와 잔골재의 물리적 특성을 보여준다. 그림 3.2.1은 일반적으로 굵은골재로 사용되는 쇄석과 본 연구에 사용된 재생골재의 모습을 나타내며, 재생골재가 쇄석에 비하여 입형이 둥글고 크기가 일정한 것을 보여준다. 결합재의 점성 및 결합재와의 페이스트 형성으로 골재와 골재의 결합력을 증가시키기 위하여 사용되는 충전재는, 폴리머 콘크리트의 충전재로 주로 사용되는 탄산칼슘, 화력발전소에서 부산되어지는 플라이 애시와 고로에서 용융상태의 슬래그를 급냉화하여 입상화한 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 특히, 플라이 애시는 화력발전소 등 석탄을 연료로 사용하는 경우 석탄을 태우고 나면 실리콘, 알루미늄 성분들이 산화물 형태로 남아 산화 실리콘(SiO_2)나 산화 알루미늄(Al_2O_3) 성분의 미세한 먼지가 발생하는데, 이러한 먼지들을 수거한 것으로서, 시멘트 콘크리트에서 혼화재료로 사용되고 있다. 플라이 애시를 콘크리트의 혼화재료로 사용할 경우 작업성이 개선되고 수화열 저감 뿐만 아니라 장기적인 강도 및 수밀성이 향상되는 것으로 알려져 있어 최근에는 시멘트에 플라이 애시를 미리 혼합한 플라이애시 시멘트가 생산될 정도로 그 사용성이 확대되고 있다. 표 3.2.4 및 그림 3.2.2는 사용된

충전재의 물리적 특성 및 모습을 보여준다. 또한, 섬유보강 포러스 폴리머 콘크리트의 제조를 위하여 폴리프로필렌섬유가 사용되었으며, 역학적 특성은 표 3.2.5와 같다.

표 3.2.1 불포화 폴리에스테르 수지의 일반적 특성

Specific gravity at 20°C	Viscosity at 20°C (poise)	Styrene content (%)	Acid value
1.12	3.5	37.2	26.5

표 3.2.2 골재의 물리적 특성 (포러스 폴리머 콘크리트)

Type	Size (mm)	Bulk density (kg/m ³)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus
Recycled coarse	5~10	1,597	2.64	1.28	6.84
Fine	0.15~5	1,675	2.62	0.87	2.66

표 3.2.3 골재의 물리적 특성 (섬유보강 포러스 폴리머 콘크리트)

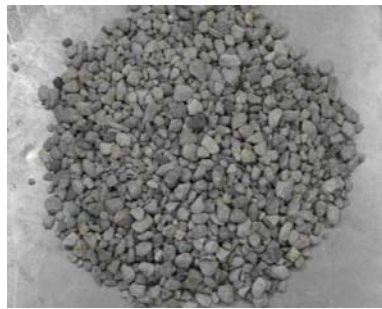
Type	Size (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M	Bulk density (kg/m ³)
Crushed	5~10	2.64	1.25	6.72	1,581
Recycled	5~10	2.62	1.87	6.49	1,562

표 3.2.4 충전재의 물리적 특성

Type	Specific gravity (20°C)	Specific surface (cm ² /g)	Grain size (mm)	Color
CaCO ₃	2.92	3,150	< 0.15	White
Fly ash	2.39	3,152	< 0.15	Gray
Blast furnace slag powder	2.92	4,401	< 0.15	White

표 3.2.5 폴리프로필렌섬유의 역학적 특성 (섬유보강 포러스 폴리머 콘크리트)

Length (mm)	Absorption ratio (%)	Specific gravity	Melt point (°C)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)
6	0	0.91	162°C over	350-770	35×10^2



(a) 쇠석



(b) 재생골재

그림 3.2.1 골재의 모습



(a) 탄산칼슘



(b) 플라이 애시



(c) 고로슬래그미분말

그림 3.2.2 충전재의 모습

나. 배합설계 및 제작

투수 포장을 위한 포러스 콘크리트는 일반 콘크리트와는 달리 투수를 위한 많은 연속적인 공극을 가지며, 우천시 우수를 실시간으로 투수시키기 위해서 투수계수와 공극률을 크게 할 필요가 있다. 반면에 투수성을 증가시키기 위한 투수계수와 공극

률의 증가는 포러스 폴리머 콘크리트의 강도 저하를 초래할 수 있으며, 투수 포장을 위한 포러스 콘크리트의 배합설계는 이와 같이 상반관계를 나타내는 강도와 공극률을 모두 만족하는 최적배합을 도출하는 것이 중요하다. 투수 포장을 위한 포러스 콘크리트의 강도, 투수계수, 공극률 및 동결융해저항성 등의 성능을 좌우하는 가장 중요한 인자는 사용되는 결합재의 특성 및 사용량으로서 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지가 너무 많으면 결합재가 골재를 피복한 후 여분의 결합재에 의해 공극이 채워지고, 바닥면에 불투수층의 형성으로 인하여 투수 포장의 기능을 할 수 없게 된다. 박승범 등(2005)은 재생골재와 폴리머를 이용한 포장용 포러스 콘크리트에서 물/결합재비 25% 및 폴리머(SBR)의 혼입률 0~20%로 하여 포러스 콘크리트를 제작하였으며, 노병철 등(2007)은 불포화 폴리에스테르 수지를 이용한 투수 콘크리트에서 결합재를 중량비로 5~11%로 하여 충전재 비율에 따른 투수 콘크리트를 제작하였다.

표 3.2.6은 투수 포장을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 충전재 종류에 따른 배합설계를 보여준다. 본 연구에서는 한국에서 투수성 아스팔트 포장의 공극률 기준 8%와 투수성 아스팔트 혼합물의 투수계수 기준인 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 을 만족할 수 있도록 배합을 하였다. 결합재량은 충전재의 종류에 따른 특성을 분석하기 위하여 충전재의 종류에 관계없이 동일량을 사용하였으며, 결합재량에 따른 강도 및 공극률을 평가하기 위하여 6~9%의 결합재량을 사용하였다. 경화제는 작업시 온도 및 제작 시간을 고려하여 결합재 중량의 1%를 사용하였다. 굵은골재 및 잔골재는 다수의 연속공극을 가질 수 있도록 일반 콘크리트에 비하여 굵은골재의 비율을 높이고 잔골재의 비율은 감소시켰으며, 충전재는 결합재와의 페이스트 형성으로 골재를 피복할 수 있는 체적을 확보할 수 있도록 전체 중량의 8%를 사용하였다.

또한, 표 3.2.7은 폴리프로필렌섬유 섬유보강 포러스 폴리머 콘크리트의 배합설계를 보여준다. 결합재는 일정한 점성과 유동성을 가질 수 있도록 섬유의 혼입률에 따라 조절하였으며, 섬유는 전체 체적에 대하여 0~1% 혼입하였다.

투수 포장용 포러스 폴리머 콘크리트의 혼합은 먼저 믹서기에 충전재 및 골재를 투입하여 건비빔 한 후 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지를 투입하여 3분간 고속믹서기로 혼합하여 결합재가 골재를 충분히 피복할 수 있도록 하였으며, 피복된

몰드를 몰드에 타설하여 진동기에 의한 진동 다짐을 하였다. 또한 성형된 몰드는 3 시간 후 탈형하여 28±1℃의 양생실에서 재령 7일 동안 양생하였다.

표 3.2.6 충전재 종류에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 배합설계 (단위 : wt.%)

Mix Type	Gmax (mm)	Binder	Aggregate		Filler		
		Unsaturated polyester resin	Coarse	Fine	CaCO ₃	Fly ash	Blast furnace slag powder
PC-CA	10, 20	6	72	14	8	—	—
		7	71	14	8	—	—
		8	70	14	8	—	—
		9	69	14	8	—	—
PC-FA		6	72	14	—	8	—
		7	71	14	—	8	—
		8	70	14	—	8	—
		9	69	14	—	8	—
PC-BS		6	72	14	—	—	8
		7	71	14	—	—	8
		8	70	14	—	—	8
		9	69	14	—	—	8

* PC : Porous Polymer Concrete,

CA: CaCO₃, FA : Fly ash, BS : Blast furnace slag powder

표 3.2.7 섬유 보강된 포러스 폴리머 콘크리트의 배합설계

(단위 : kg/m³)

Mix type	Coarse aggregate size(mm)	Binder	Coarse aggregate		Filler (CaCO ₃)	Fiber content (Vol.%)
			Crushed	Recycled		
PPC-C*	5-10	152	1,748	-	145	0
		154	1,744	-	145	0.25
		156	1,742	-	142	0.5
		169	1,740	-	140	0.75
		164	1,738	-	138	1.0
PPC-R**		154	-	1,742	140	0
		156	-	1,740	139	0.25
		158	-	1,736	137	0.5
		161	-	1,730	135	0.75
		166	-	1,726	132	1.0

* PPC-C : Permeable polymer concrete using crushed coarse aggregate

** PPC-R : Permeable polymer concrete using recycled coarse aggregate

다. 시험방법

(1) 공극률

포러스 폴리머 콘크리트의 공극률 시험은 일본 에코콘크리트연구위원회의 포러스 콘크리트의 공극률 시험방법(안) 중 용적법에 의하여 측정하였으며, 다음 식(1)에 의하여 산출하였다.

$$V_0 = \left[1 - \frac{(W_2 - W_1)}{V} \right] \times 100 \quad (1)$$

여기서, V_0 : 공극률(%)

W_1 : 수중에서의 공시체 중량(g)

W_2 : 기건 양생한 공시체의 중량(g)

V : 공시체의 체적(cm^3)

(2) 강도

압축강도 시험은 $\varnothing 100 \times 200 \text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2481 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 130kgf/s의 속도로 하중을 재하하였으며, 휨강도 시험은 $60 \times 60 \times 240 \text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 5kgf/s의 속도로 하중을 재하하였다.

(3) 투수계수

포러스 폴리머 콘크리트의 투수계수는 일본 에코콘크리트연구위원회의 포러스 콘크리트의 투수계수 시험방법(안)에 준하여 그림 3.2.3과 같은 시험장치를 이용하여 투수계수를 측정하였으며, Darcy법칙에 근거하여 식 (2)에 의하여 산출하였다.

$$K = \frac{HQ}{Ah(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

여기서, K : 투수계수(cm/s)

H : 시료 높이(cm)

A : 단면적(cm^2)

h : 수위차(cm)

Q : ($t_2 - t_1$) 시간내에 통과한 수량(cm^3)



그림 3.2.3 투수시험 장치

(4) 동결융해저항성

동결융해저항성 시험은 60×60×240mm의 공시체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2456 (급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 수중 급속 동결융해시험을 하였으며, 이때 공시체의 온도는 동결시 -18℃, 융해시 4℃가 되게 하였고 동결융해의 1사이클은 4시간이 소요되었다. 시험동안 매 50 사이클 간격으로 중량 변화율을 측정하였고, 동결융해의 반복이 300 사이클이 되었을 때 시험을 완료하였다.

(5) 내산성

포러스 폴리머 콘크리트에 대한 내산성 시험은 재령 7일된 $\phi 100 \times 200$ mm 공시체를 황산 10% 용액에 침지한 후, 14, 28, 42, 56, 91일이 경과한 시점에 부식된 표면을 철솔로 닦아내어 표면건조포화상태의 중량을 측정하였으며, 중량변화율은 식 (3)에 의하여 산출하였다. 또한, 섬유 보강된 포러스 폴리머 콘크리트에 대한 내산성시험에는 5%의 황산용액을 사용하였다.

$$W.C = \frac{W - C}{C} \times 100 \quad (3)$$

여기서, $W.C$: 중량변화율(%)

C : 침지 전 공시체 중량(g)

W : 침지 재령에서의 공시체 중량(g)

3. 재생골재를 활용한 투수 포장용 포러스 폴리머 콘크리트의 역학적 특성

가. 공극률

투수 포장을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 공극은 우수 등이 관통하여야 하므로 연속적으로 이루어져야 하는 반면에 연속성만을 위하여 공극이 일직선상으로 형

성될 경우 포러스 구조의 결합력이 약하여 포장층 상부의 하중에 의해 포러스 콘크리트층이 파괴될 수 있기 때문에 적절한 공극 형성이 중요하다.

그림 3.2.4 및 그림 3.2.5는 골재 크기별 결합재량 및 충전재에 따른 투수 포장을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률을 보여준다. 골재 크기 및 충전재의 종류에 관계없이 KS F 2385(투수성 아스팔트 혼합물)에서 규정하고 있는 공극률 8% 이상을 모두 상회하는 것으로 나타났으며, 결합재량이 증가할수록 공극률은 감소하는 경향을 나타내었다. 5~10mm의 재생골재를 사용한 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률에서, PC-BA 배합의 공극률은 결합재에 따라 9~18%의 범위를 나타내어 PC-CA 및 PC-FA의 공극률 11~21% 및 11~22% 보다 다소 낮게 나타났다. 또한 5~20mm의 재생골재를 사용한 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률은 골재크기 5~10mm의 경우와 마찬가지로 PC-BA 배합의 공극률은 결합재에 따라 12~22%의 범위를 나타내어 PC-CA 및 PC-FA의 공극률 14~26% 및 13~24% 보다 다소 낮게 나타났다.

포러스 폴리머 콘크리트의 공극률은 사용된 굵은골재 및 잔골재의 입도 및 배합에 의해 좌우 될 뿐만 아니라 결합재와의 결합으로 페이스트를 형성하는 충전재의 사용량 및 비표면적에 크게 좌우된다. 충전재의 사용량 및 비표면적이 크면 페이스트의 점성이 증가하여 골재의 피복 두께 증가에 의한 공극률의 감소를 가져올 수 있으며, 반면에 충전재의 사용량 및 비표면적이 작은 경우에는 페이스트의 점성의 감소로 골재의 피복 두께 감소에 의한 공극률의 증가를 가져오게 된다. 따라서 비표면적이 큰 고로슬래그 미분말을 충전재로 사용한 포러스 폴리머 콘크리트의 배합이 상대적으로 비표면적이 작은 플라이 애시나 탄산칼슘을 충전재로 사용한 포러스 폴리머 콘크리트의 배합에 비하여 페이스트(결합재+충전재)의 점성이 커서 골재의 피복 두께를 증가시켰을 뿐만 아니라 피복 두께의 증가에 의한 골재와 골재의 맞물림으로 공극이 감소한 것으로 판단된다.

한편, 결합재량에 따른 공극률은 충전재에 관계없이 결합재량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 충전재에 따른 9%의 결합재량을 사용한 배합에서의 공극률은 9~11%의 범위를 나타내어 투수 포장에서 규정하고 있는 공극률 기준 8%를 약간 상회하는 것으로 나타났다. 또한 9%의 결합재량을 사용한 배합에서는 진동 다짐 시간이 길어질 경우 페이스트가 하부로 흘러내려 공시체 하단이 막히는 현상이

일부 발생되어 제작시 주의가 요구되며, 공극률 측면에서 포러스 폴리머 콘크리트 제조시 9% 이내의 결합재량이 바람직한 것으로 사료된다.

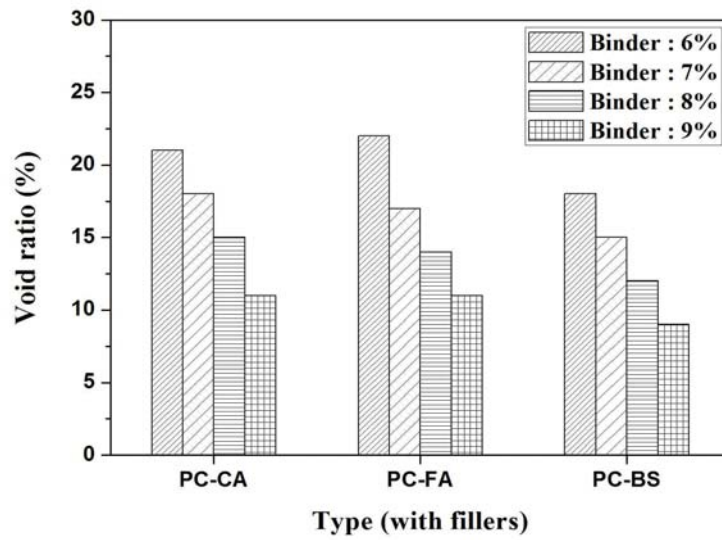


그림 3.2.4 충전재 및 결합량에 따른 공극률 (골재크기 : 5~10mm)

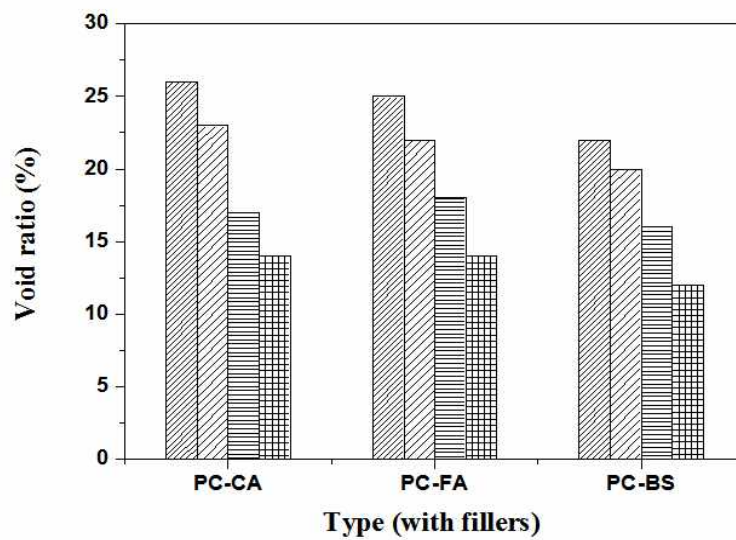


그림 3.2.5 충전재 및 결합량에 따른 공극률 (골재크기 : 5~20mm)

나. 압축강도

압축강도는 골재의 종류, 배합조건 등에 따라 다르며, 콘크리트의 역학적 성질을 나타내는 대표적인 것 중의 하나이다. 또한 압축강도는 배합설계의 기준이 될 뿐만 아니라 인장강도, 휨강도, 탄성계수 및 내구성 등을 추정할 수 있고, 타설시 거푸집의 제거 시기 등을 결정할 수 있는 기준이 된다. 포러스 콘크리트의 강도는 포러스 구조 특성상 결합재 및 골재의 미세 구조에 의하여 강도를 발현하는 일반 콘크리트와는 달리 골재와 골재의 맞물림 결합에 의하여 강도 특성이 좌우되는 것으로 알려져 있다. 그림 3.2.6 및 그림 3.2.7은 충전재 및 결합재량에 따른 투수 포장을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 압축강도를 보여준다. 충전재의 종류에 관계없이 PC-CA, PC-FA, PC-BS 배합 모두에서 결합재량이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 5~10mm 골재를 사용한 경우, 충전재 종류에 관계없이 결합재량 6%에서는 18.2~18.9MPa의 압축강도를 나타내어 투수 포장을 위한 콘크리트의 압축강도 기준인 18MPa를 약간 상회하였다. 또한 충전재 종류에 관계없이 결합재량 9%에서는 23.2~24.8MPa를 나타내어 투수 포장을 위한 콘크리트의 압축강도 기준인 18MPa를 크게 상회하여 압축강도 측면에서는 결합재량을 증가시키는 것이 매우 유리함을 알 수 있다. 또한, 5~20mm 골재를 사용한 경우 충전재 종류에 관계없이 결합재량 6%에서는 18.1~18.4MPa의 압축강도를 나타내었으며, 결합재량 9%에서는 22.8~24.2MPa를 나타내어 결합재량이 강도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

이러한 결과는 공극률의 시험결과와 마찬가지로 결합재량이 증가함에 따라 페이스트(결합재+충전재) 량 및 점성이 증가하여 골재의 피복 두께를 증가시켰을 뿐만 아니라 피복 두께의 증가에 의한 골재와 골재의 맞물림 효과가 증가하였기 때문이다. 반면에 공극률 시험결과에서 보는 바와 같이 9% 이상의 결합재량은 공극률을 크게 감소시켜 투수 포장 적용시 투수성이 저하되는 단점을 내포하고 있기 때문에 공극률과 압축강도를 동시에 만족시킬 수 있는 7~8%의 결합재량이 투수 포장을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 배합에 적절한 것으로 판단된다.

충전재 종류에 따른 PC-CA, PC-FA, PC-BS의 압축강도는 결합재량에 관계없이 고로슬래그 미분말을 사용한 PC-BS 배합에서 가장 높은 압축강도를 나타내었으며,

탄산칼슘과 플라이 애시를 사용한 PC-CA 및 PC-FA 배합에서는 유사한 압축강도를 나타내었다. 이러한 결과는 사용된 충전재 중 고로슬래그 미분말의 비표면적이 탄산칼슘 및 플라이 애시에 비하여 크기 때문에 페이스트에 의한 골재의 피복두께가 크게 증가하여 골재와 골재의 결합력이 증가하였기 때문이다. 특히 산업폐기물 및 부산물인 고로슬래그 미분말 및 플라이 애시를 충전재로 사용한 포러스 폴리머 콘크리트 배합의 압축강도가 탄산칼슘을 충전재로 사용한 포러스 폴리머 콘크리트의 압축강도와 거의 유사하거나 약간 크기 때문에 친환경 및 경제적 측면에서 폴리머 콘크리트 제조시 이들의 활용성이 기대된다.

그림 3.2.8은 충전재 및 결합재량에 따른 투수 포장을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 압축강도와 공극률의 관계를 보여준다. 충전재의 종류 및 결합재량에 관계없이 압축강도가 증가할수록 공극률은 감소하는 것으로 나타났다. 압축강도가 증가하기 위해서는 골재의 피복 두께를 증가시켜야 하는 반면에 공극률을 증가시키기 위해서는 골재의 피복 두께를 감소시켜야 하는 상반관계가 있음을 알 수 있다.

그림 3.2.9 및 그림 3.2.10은 충전재 및 결합재량에 따른 투수 포장을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 휨강도를 보여준다. 압축강도 시험결과와 마찬가지로 충전재 종류에 관계없이 결합재량이 증가함에 따라 휨강도가 증가하는 경향을 나타내었으며, PC-BS 배합이 다른 배합에 비하여 높은 휨강도를 나타내었다. 결합재를 시멘트로 한 포러스 시멘트 콘크리트의 경우 시멘트의 낮은 결합력으로 인하여 압축강도에 비하여 휨강도가 크게 저하되는 반면에 불포화 폴리에스테르 수지를 결합재로 한 포러스 폴리머 콘크리트에서는 결합재의 높은 결합력에 의하여 압축강도 뿐만 아니라 휨강도 특성이 매우 우수한 것을 알 수 있다.

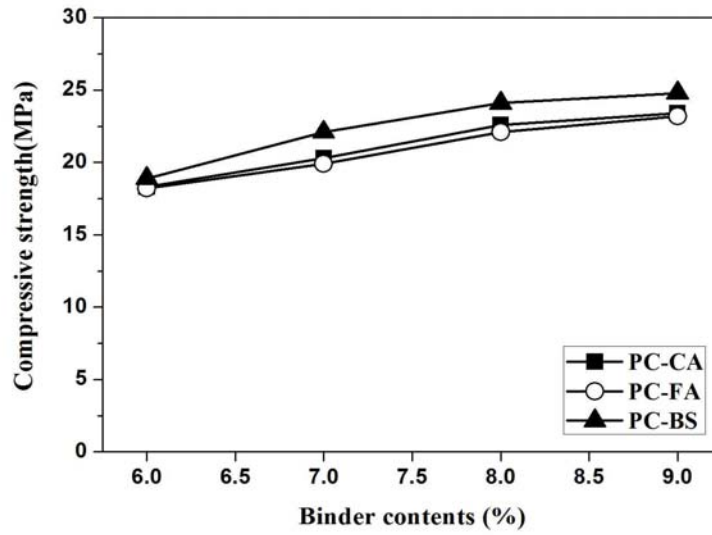


그림 3.2.6 충전재 및 결합재량에 따른 압축강도 (골재크기 : 5~10mm)

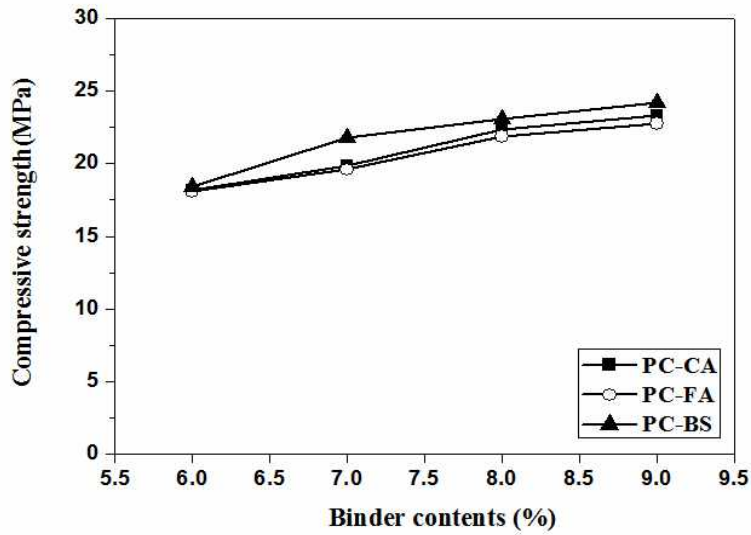


그림 3.2.7 충전재 및 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 압축강도 (골재크기 : 5~20mm)

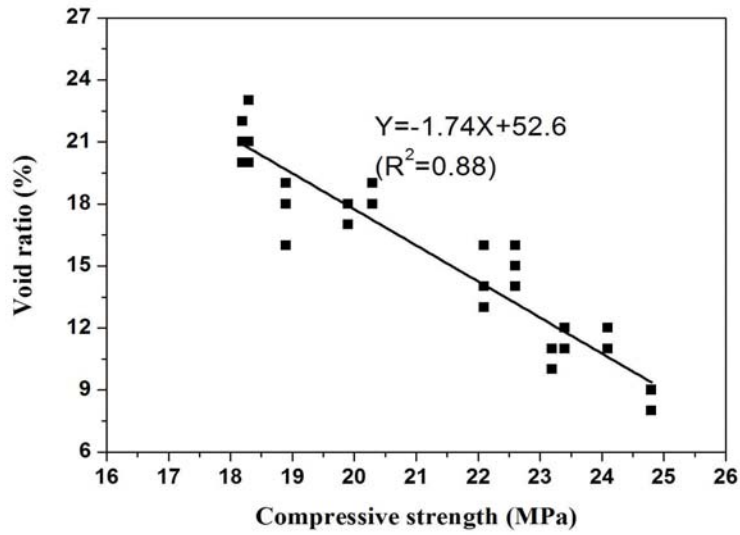


그림 3.2.8 결합재량 및 충전재량에 따른 공극률 및 압축강도의 상관성

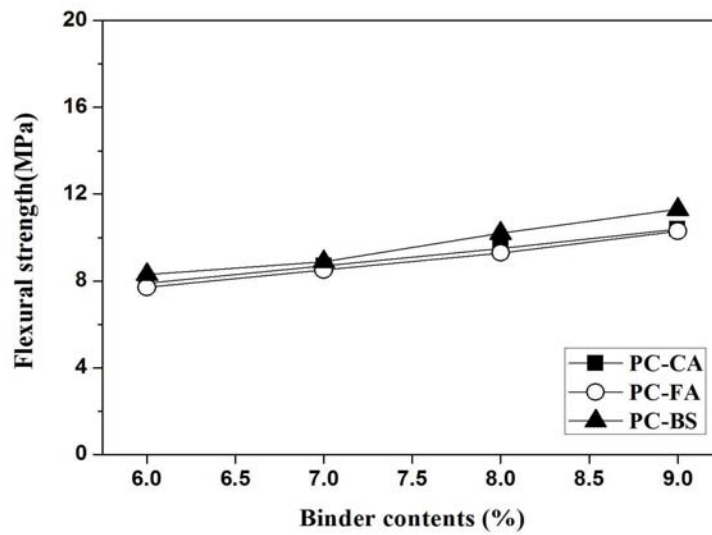


그림 3.2.9 충전재 및 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 휨강도 (골재크기 : 5~10mm)

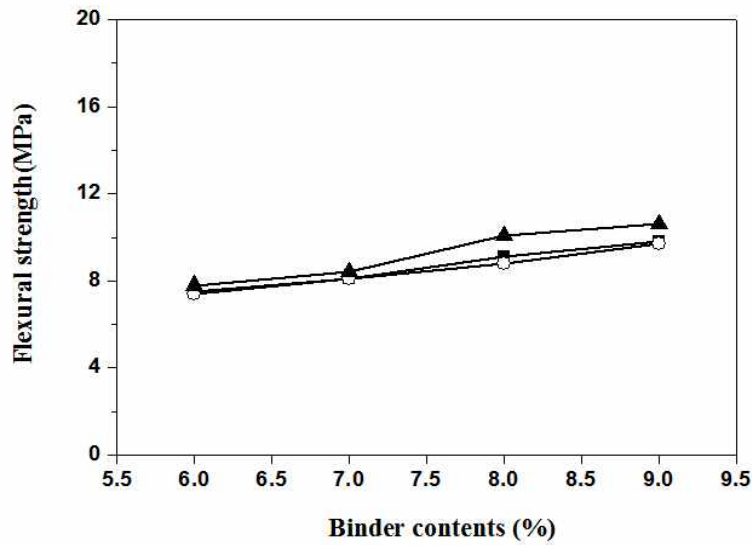


그림 3.2.10 충전재 및 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 휨강도
(골재크기 : 5~10mm)

다. 투수계수

투수 포장을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 투수계수는 투수 포장의 설계 및 시공을 위하여 가장 중요한 요소이며, 우수시 강우강도에 관계없이 우수를 전부 투수시킬 수 있는 능력이 요구되어진다. 일반적으로 연속공극률이 크면 투수계수가 증가하는 반면에 강도는 감소하는 것으로 알려져 있다.

그림 3.2.11 및 그림 3.2.12는 골재 크기에 따른 충전재별 포장용 포러스 폴리머 콘크리트의 투수계수를 나타낸 것이다. 5~10mm 골재를 사용한 PC-CA, PC-FA 및 PC-BS 배합에서 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 투수계수는 각각 $4.4 \times 10^{-1} \text{cm/s} \sim 4.8 \times 10^{-2} \text{cm/s}$, $3.1 \times 10^{-1} \text{cm/s} \sim 2.7 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 및 $2.9 \times 10^{-1} \text{cm/s} \sim 1.8 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 로 나타났으며, 결합재량이 증가할수록 투수계수가 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 5~20mm 골재를 사용한 PC-CA, PC-FA 및 PC-BS 배합에서 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 투수계수는 각각 $5.1 \times 10^{-1} \text{cm/s} \sim 6.2 \times 10^{-2} \text{cm/s}$, $4.6 \times 10^{-1} \text{cm/s} \sim 4.9 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 및 $4.2 \times 10^{-1} \text{cm/s} \sim 3.8 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 로 나타났다. 한편, 공

극률의 시험결과와 마찬가지로 PC-BS 배합의 투수계수가 PC-CA 및 PC-FA 배합의 투수계수에 비하여 다소 감소하는 경향을 나타내었으나, 충전재 종류 및 결합재량에 관계없이 모든 배합에서 투수성 아스팔트 혼합물의 투수계수 기준인 $1.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 를 상회하는 것으로 나타났다. 그림 3.2.13은 투수 포장을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 압축강도와 투수계수의 관계를 보여준다. 압축강도가 증가함에 따라 투수계수는 감소하는 경향을 나타내어 상반관계가 있음을 알 수 있다. 압축강도와 투수계수의 상관계수 $R^2=0.87$ 로 높은 유의성을 가지는 것으로 나타났으며, 다음 식으로 표현된다.

$$y = -0.056x + 1.375 \quad (R^2 = 0.87)$$

압축강도가 증가하기 위해서는 페이스트(결합재+충전재)에 의한 골재의 피복 두께가 증가되어야 하는 반면에 투수 포장 특성상 우수를 실시간으로 침투시키기 위해 요구되는 투수계수는 골재의 피복 두께를 감소시켜 일정 규모 이상의 공극을 형성하여야 한다. 따라서 상반관계의 압축강도와 투수계수 조건을 만족시키는 최적배합을 도출하는 것이 필요하다. 또한, 모든 배합조건에서 투수성 포장을 위한 압축강도 기준 18MPa와 투수계수 기준 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 를 만족하는 것으로 나타났으나, 실내시험과는 달리 현장 적용시 품질 저하 및 장기 사용하에서 공극 막힘 및 내구성 저하 등의 문제가 발생할 수 있기 때문에 그림 3.2.13에서 보여지는 경계조건을 만족하는 배합이 최적배합으로 고려될 수 있다.

그림 3.2.14는 투수 포장을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 투수계수와 공극률의 관계를 보여준다. 투수계수 및 공극률은 모두 포러스 폴리머 콘크리트의 공극 크기와 공극 수와 관계되기 때문에 투수계수가 증가함에 따라 공극률 또한 증가하는 경향을 나타내었다. 투수계수와 공극률의 상관계수 $R^2=0.84$ 로 높은 유의성을 가지는 것으로 나타났으며, 다음 식으로 표현되었다.

$$y = 27.43x + 10.78 \quad (R^2 = 0.84)$$

한편, 그림 3.2.14에서 보여지는 바와 같이 모든 배합에서 투수성 포장을 위한 공극률 기준 8%와 투수계수 기준 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 를 만족하는 것으로 나타났으나, 현장 적용 후 사용중에 차량 및 보행자의 통행에 의해 공극 막힘 현상이 발생할 수 있기 때문에 그림 3.2.14의 경계조건을 최적배합 조건으로 제안할 수 있다.

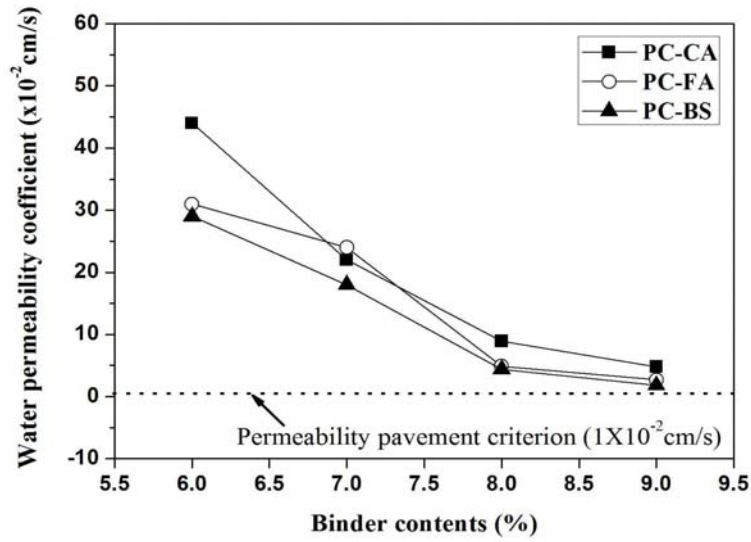


그림 3.2.11 충전재 및 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 투수계수
(골재크기 : 5~10mm)

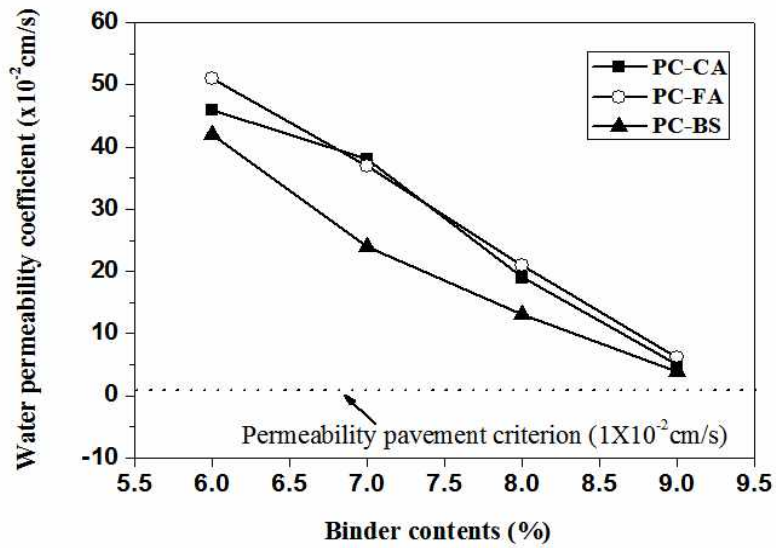


그림 3.2.12 충전재 및 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 투수계수
(골재크기 : 5~20mm)

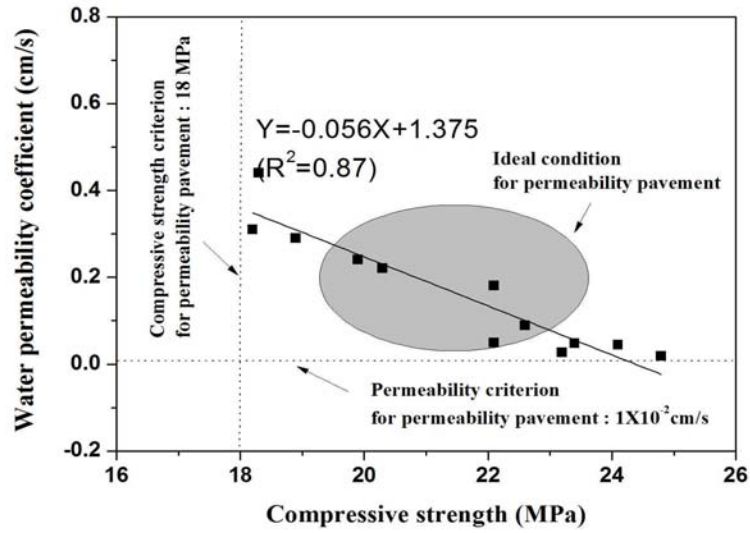


그림 3.2.13 포러스 폴리머 콘크리트의 압축강도 및 투수계수의 상관성

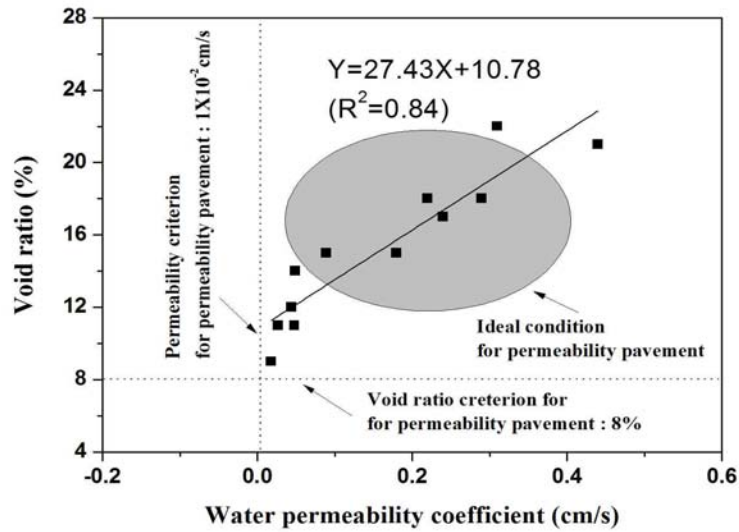


그림 3.2.14 포러스 폴리머 콘크리트의 투수계수와 공극률의 상관성

라. 동결융해저항성

일반적으로 동결융해가 반복적으로 작용하는 경우 콘크리트에 발생하는 스케일링이나 팽아웃 현상으로 인해 콘크리트의 표면 탈락을 발생시킴으로서 질량이 감소하게 된다. 또한 콘크리트 내 수분의 동결 및 융해의 반복에 의해 체적 팽창이 발생하면서 콘크리트 내부의 밀도가 감소하여 상대동탄성계수의 감소 및 내구성 저하가 나타나는 것으로 알려져 있다. 반면에 포러스 콘크리트 및 투수 콘크리트의 경우 일반 콘크리트와 달리 골재와 골재의 결합에 의해 이루어지기 때문에 동결융해 작용시 일반 콘크리트와는 다른 매카니즘을 가지는 것으로 알려져 있다. 포러스 콘크리트는 포러스 구조로 인하여 콘크리트 내부에 많은 물을 항상 포함하게 되며, 동결시 물의 팽창에 의해 골재와 골재의 결합력 감소로 인하여 골재 탈락 및 파괴가 발생되어지며, 일반 콘크리트에 비하여 동결융해에 대한 저항성이 낮은 것으로 보고되고 있다.

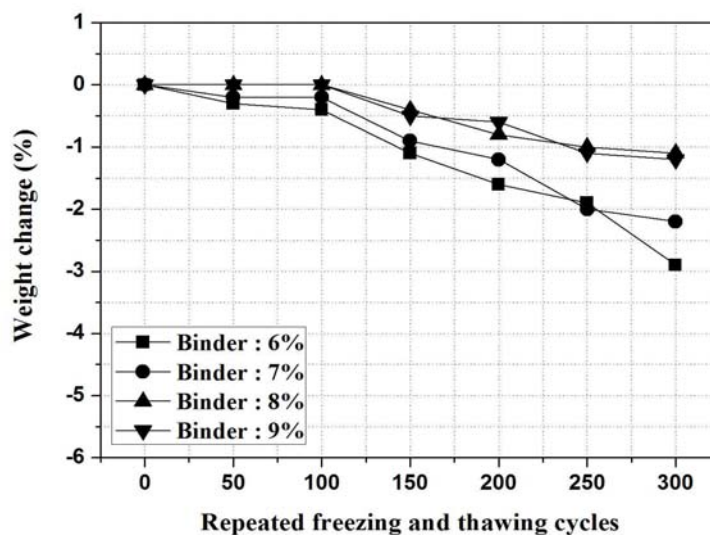
한편, 동결융해저항성은 동탄성계수 측정에 의한 상대동탄성계수를 구하여 내구성 지수로 평가하지만 포러스 콘크리트의 경우 많은 공극으로 인하여 동탄성계수의 측정이 곤란할 뿐만 아니라 정확도가 떨어지기 때문에 본 연구에서는 동결융해사이클에 따른 중량변화 및 골재 탈락 등의 외관을 관찰하여 동결융해에 대한 내구성을 평가하였다.

그림 3.2.15 및 그림 3.2.16은 충전재 종류 및 결합재량에 따른 투수 포장을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 동결융해에 대한 중량변화를 보여준다. 골재 크기 5~10mm의 PC-CA 배합에서 결합재량에 따른 동결융해 300 사이클 후 포러스 폴리머 콘크리트의 중량 감소율은 1.1~2.9%로서, 결합재량에 관계없이 중량 감소 및 포러스 폴리머 콘크리트 표면의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 산업폐기물 및 부산물인 플라이 애시 및 고로 슬래그 미분말을 충전재로 사용한 PC-FA 및 PC-BS 배합에서 결합재량에 따른 동결융해 300 사이클 후 포러스 폴리머 콘크리트의 중량 감소율은 각각 1.1~3.6% 및 0.9~3.8% 범위로서 PC-CA 배합의 중량 변화와 거의 유사한 경향을 나타내었다. 또한, 골재 크기 5~20mm의 PC-CA 배합에서 결합재량에 따른 동결융해 300 사이클 후 포러스 폴리머 콘크리트의 중량 감소율은

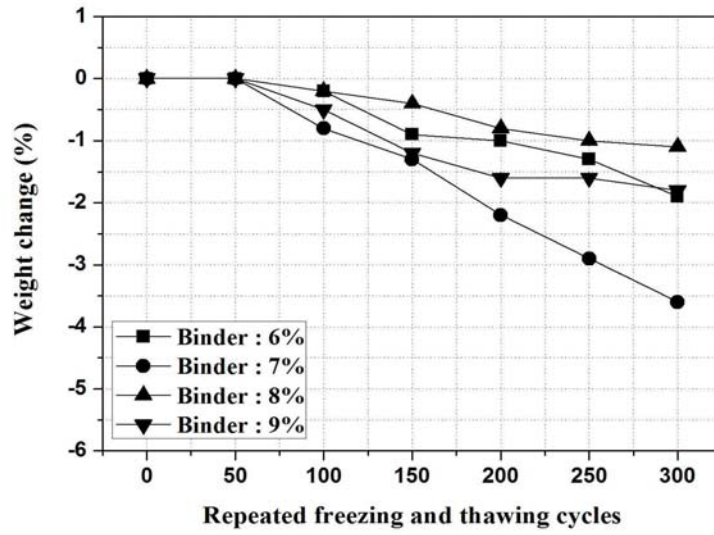
1.4~4.2%를 나타내었으며, PC-FA 및 PC-BS 배합에서의 중량 감소율은 각각 1.1~3.6% 및 1.2~3.6% 범위를 나타내었다.

시멘트 포러스 콘크리트의 경우 동결융해시 결합재인 시멘트의 낮은 부착력으로 인하여 골재와 골재의 결합력 감소로 골재 탈락 및 내구성 저하가 두드러지게 발생되는 반면에 포러스 폴리머 콘크리트는 부착특성이 우수한 불포화 폴리에스테르 수지의 사용으로 골재와 골재와의 부착이 매우 우수하여, 동결융해 300 사이클이 경과한 후에도 골재 탈락 등의 내구성 저하 현상이 발생되지 않은 것으로 판단된다.

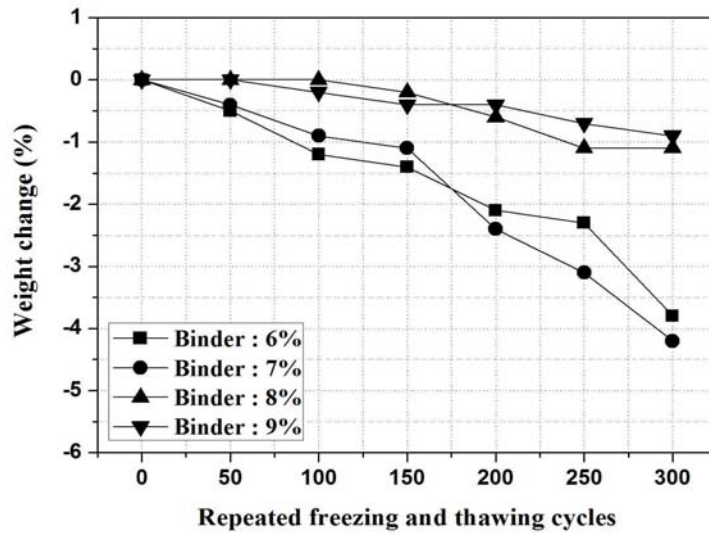
또한, 충전재 종류에 관계없이 모든 배합에서 동결융해저항성이 모두 우수하게 나타난 것은 포러스 폴리머 콘크리트의 동결융해저항성이 사용된 골재 또는 충전재 보다는 사용된 결합재의 부착성능에 크게 좌우되기 때문이다. 또한 결합재량에 관계없이 모든 배합에서 5% 이내의 중량변화를 나타낸 것은 결합재로 사용된 불포화 폴리에스테르 수지의 결합력에 의한 골재의 부착력이 포러스 폴리머 콘크리트 내부에서 물의 동결융해시 수축 및 팽창력보다 크기 때문이다.



(a) PC-CA

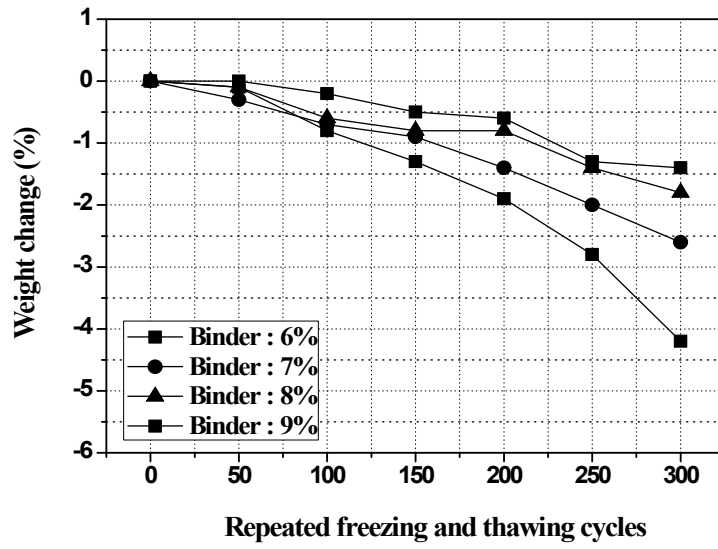


(b) PC-FA

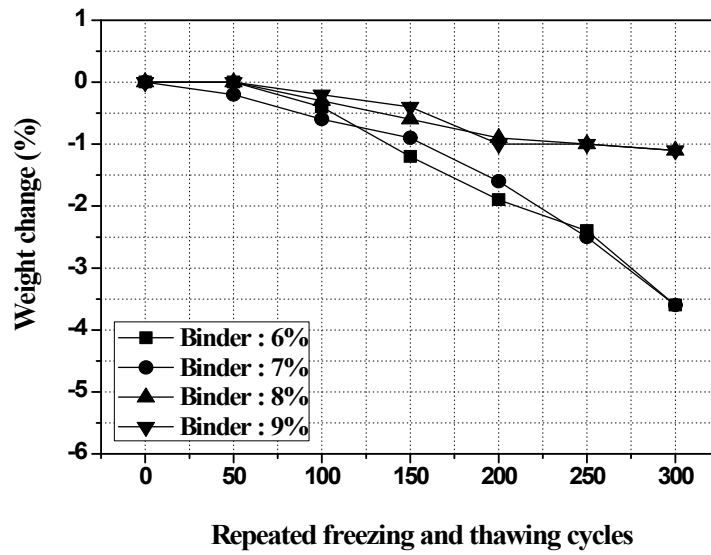


(c) PC-BS

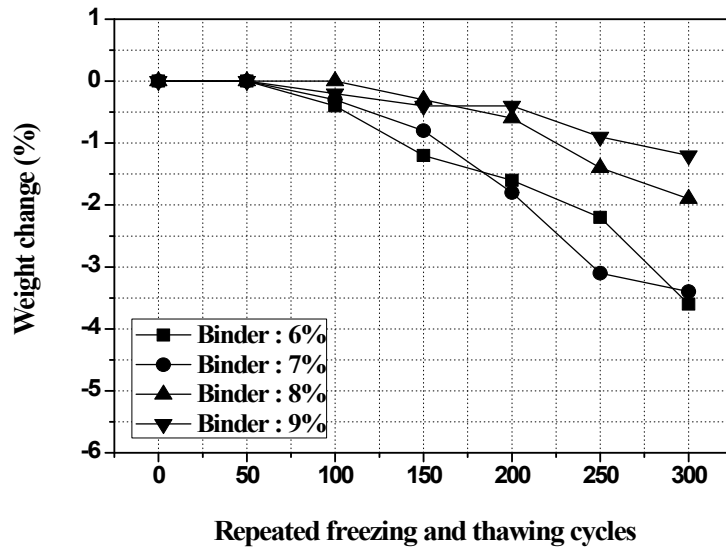
그림 3.2.15 동결융해 300 사이클에 대한 중량감소 (골재 크기 5~10mm)



(a) PC-CA



(b) PC-FA



(c) PC-BS

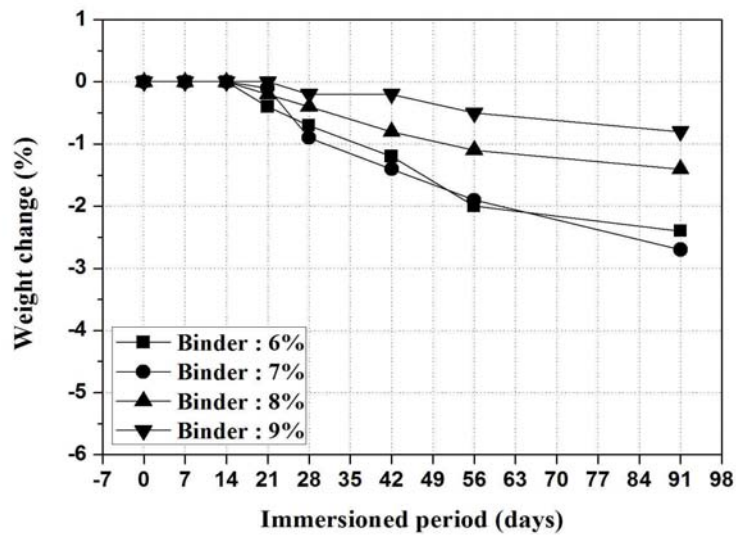
그림 3.2.16 동결융해 300 사이클에 대한 중량감소 (골재 크기 5~20mm)

마. 내산성

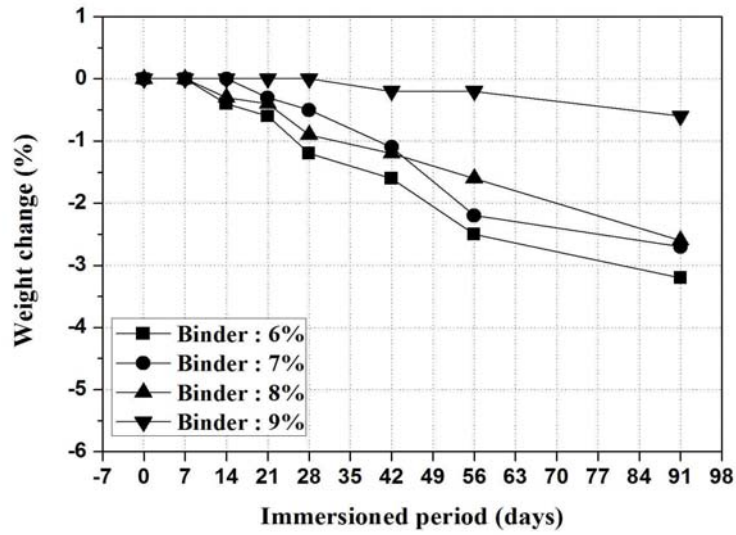
일반적으로 시멘트를 결합제로 한 콘크리트는 수화생성물 중에 다량으로 존재하게 되는 알카리성의 수산화칼슘은 높은 용해성으로 산과 반응하기 쉬우며 수경성 화합물인 C-S-H(Calcium silicate hydroxyl)와 C-A-H(Calcium aluminate hydroxyl)는 분해되며, 다량의 염류가 생성되어 염의 축적과 결정화 등에 의해 침식 및 열화되는 것으로 알려져 있다. 특히 황산 및 염산 등에 의한 침식 작용은 수경성의 염화칼슘, 질산칼슘 및 난용성의 황산칼슘 등을 생성하고 규산과 알루미늄 등을 용해시켜 실리카와 알루미나겔을 생성하며 골재까지도 침식시킨다. 포장용 콘크리트 및 투수 콘크리트는 겨울철 제설 작업을 위해 사용되는 염화칼슘에 의한 염해 및 차량에서 배출되는 이산화탄소에 의한 화학적 침식 등 내구성이 저하될 수 있기 때문에 높은 화학적 저항성이 요구된다. 특히 포러스 콘크리트의 강도 및 내구성이 일반 콘크리트보다 저하되기 때문에 화학적 저항성이 우수한 재료로 골재의 표면을 피복하여 화학적 저항성을 증가시켜야 한다.

그림 3.2.17은 10% 황산용액에 12주 동안 침적한 포장용 포러스 폴리머 콘크리트의 충전재에 따른 중량변화를 나타낸다. 10% 황산용액에 12주 동안 침적된 포러스 폴리머 콘크리트의 중량 감소율은 1.17~2.3%로서, 충전재의 사용 유무 및 종류에 관계없이 모든 배합에서 중량 감소 및 골재의 탈락 등의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 골재를 피복하고 있는 불포화 폴리에스테르 수지가 10% 황산 용액의 침투를 억제하여 골재의 침식을 방지할 뿐만 아니라 불포화 폴리에스테르 수지가 황산에 대한 저항성이 매우 우수하기 때문으로 판단된다.

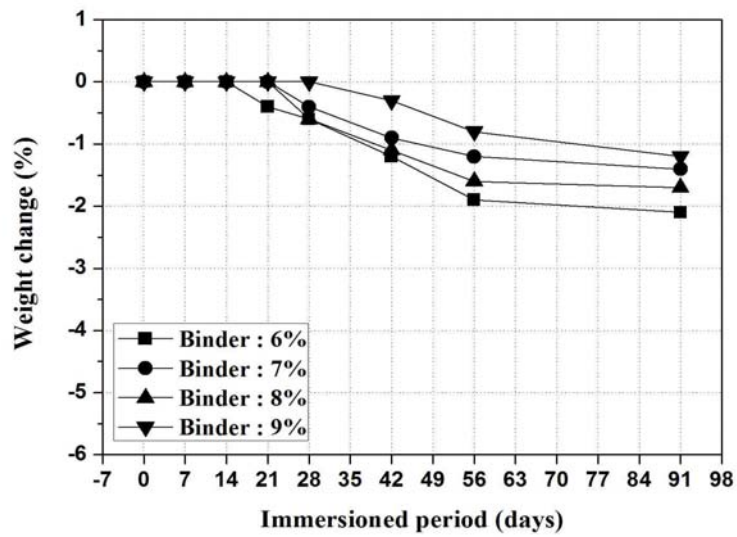
그림 3.2.18 및 그림 3.2.19는 5% 황산 용액에 4주 동안 침적한 일반 시멘트 콘크리트와 10% 황산 용액에 12주 동안 침적한 포러스 폴리머 콘크리트의 모습을 보여 준다. 그림 3.2.17에서 일반 시멘트 콘크리트는 5% 황산용액에 4주 침적 후 표면이 완전 탈락하고 중량 변화가 심각하게 발생되어 골재가 노출된 반면에 그림 3.2.18에서 포러스 폴리머 콘크리트는 10% 황산 용액에 12주 침적 후에도 표면 탈락 및 중량 변화가 거의 발생되지 않는 것을 알 수 있다.



(a) PC-CA



(b) PC-FA



(c) PC-BS

그림 3.2.17 10% 황산 용액에 침적된 포러스 폴리머 콘크리트의 중량감소율



그림 3.2.18 5% 황산 용액에 침적된 시멘트 콘크리트의 중량변화 모습



그림 3.2.19 10% 황산 용액에 침적된 포러스 폴리머 콘크리트의 중량변화 모습

4. 섬유보강 고인성 포러스 폴리머 콘크리트의 역학적 특성

가. 공극률

투수 콘크리트의 공극은 우수 등이 관통하여야 하므로 연속적으로 이루어져야 하는 반면에 연속성만을 위하여 공극이 일직선상으로 형성될 경우 임의의 하중에 의해 포장층 하부의 재료들이 역류할 우려가 있으므로 반드시 연속적이면서 동시에 불규칙적으로 연결되어야 한다 (노병철 등, 2007).

그림 3.2.20은 폴리프로필렌섬유 혼입률 및 골재의 종류에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 공극률을 나타낸다. 굵은골재로서 쇄석을 사용한 PPC-C에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 경우 23%의 공극률을 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서 16~21%의 공극률을 나타내었다. 또한 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 섬유의 혼입률이 증가할수록 결합재인 폴리머와의 섬유의 부착이 증가하면서 공시체 제작시 결합재의 흘러내림이 감소함으로써 섬유를 혼입하지 않은 배합에 비하여 결합재의 사용량이 증가하였을 뿐만 아니라 결합재가 부착된 섬유가 랜덤 분포함으로써 골재와 골재사이에 가교 역할을 하여 공극률이 감소한 것으로 판단된다.

한편, 굵은골재로서 재생골재를 사용한 PPC-R에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 공극률은 25%를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서는 17~24%의 공극률을 나타내었다. 또한 쇄석을 사용한 경우와 마찬가지로 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타내었다.

이러한 결과는 노병철 등(2007)의 불포화수지를 사용한 투수 콘크리트에서 결합재량 및 골재 크기에 따라 공극률이 23~38%의 범위를 나타낸 것에 비하여 공극률이 다소 낮게 나타났다. 반면에 박승범 등(2005)의 SBR 라텍스를 혼입한 시멘트 투수 콘크리트의 공극률이 9.6%를 상회한다는 결과에 비하여 공극률이 다소 높게 나타났다.

한편 재생골재를 사용한 배합의 공극률이 쇄석을 사용한 배합의 공극률에 비하여 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 재생골재의 입형이 쇄석에 비하

여 등근 형태를 나타내어 쇄석에 비하여 맞물림 효과가 적을 뿐만 아니라 재생골재의 입도 분포가 쇄석과 달리 비교적 동일 입경의 골재가 많기 때문인 것으로 판단된다. 박승범 등(2005)은 재생골재를 활용한 투수 콘크리트에서 재생골재의 비표면적이 쇄석에 비하여 크기 때문에 시멘트 페이스트에 의한 완전한 피복이 곤란하여 재생골재의 혼입율이 증가할수록 공극률이 증가하는 경향을 나타낸다고 발표하였다. 또한 김무한 등(2003)은 골재의 입형이 양호할수록 시험체 제작시 밀실하게 채워지고 이로 인해 공극률의 차이가 발생하며, 골재의 입형이 공극률 형성에 영향을 미친다고 보고한 바 있다.

한편, 국내의 경우 투수 콘크리트 포장의 공극률을 8% 이상으로 규정하고 있으므로 본 연구에서 사용된 모든 배합에서 공극률이 8% 이상을 나타내어 상기의 조건을 만족하는 것으로 나타났으며, 다짐시 결합재의 흘러 내림에 의한 막힘 현상을 제어한다면 투수 조건을 만족하는 최소의 공극률을 가지는 배합설계가 가능할 것이다.

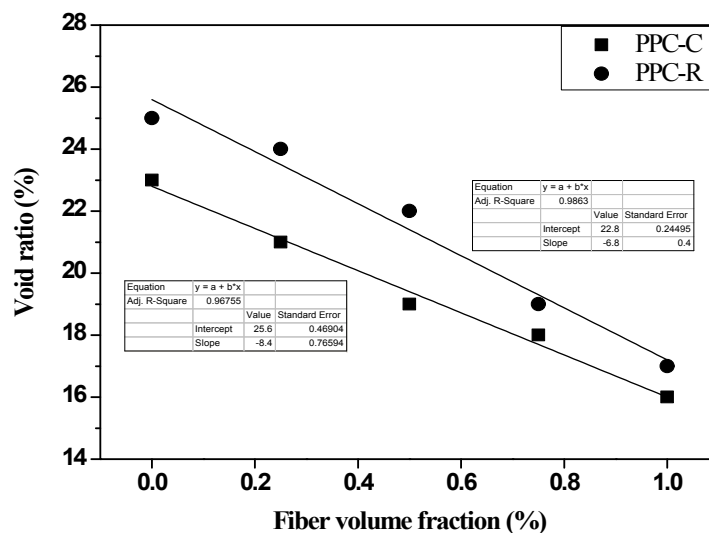


그림 3.2.20 섬유혼입률에 따른 포러스 콘크리트의 공극률

나. 압축강도

그림 3.2.21은 폴리프로필렌섬유 혼입률 및 골재의 종류에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 압축강도를 나타낸다. PPC-C에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 경우 18.6MPa의 압축강도를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서 19.4~23.5MPa의 압축강도를 나타내어 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 섬유의 혼입률이 증가할수록 결합재인 폴리머의 사용량이 증가하여 골재의 피복 두께가 증가하였을 뿐만 아니라 결합재로 피복된 섬유가 골재사이에 랜덤 분포하여 골재와 골재의 부착력을 증가시켰기 때문으로 판단된다. 우리나라의 투수 콘크리트 포장을 위한 투수 콘크리트의 설계기준 압축강도를 18MPa 이상으로 규정하고 있기 때문에 폴리프로필렌섬유를 혼입할 경우 기준을 크게 상회하는 것을 알 수 있다.

한편, PPC-R에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 압축강도는 17.2MPa를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서는 18.4~22.4MPa를 나타내었다. 또한 쇄석을 사용한 경우와 마찬가지로 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 재생골재를 사용한 경우에도 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 경우 투수 콘크리트 포장을 위한 설계기준 압축강도 조건을 만족하는 것으로 나타났다.

채창우 (2002)는 폴리머 혼화재를 사용한 시멘트 투수 콘크리트에서 단위결합재량에 따른 압축강도가 13.2~22.1MPa 범위를 가진다고 보고 하였으며, 박승범 등 (2005)은 재생골재를 75% 이상 사용하는 경우 폴리머를 10% 이상 혼입하여야 18MPa 이상의 압축강도를 발현한다고 발표하였다.

한편, 재생골재를 사용한 배합의 압축강도가 쇄석을 사용한 배합의 압축강도에 비하여 다소 감소하는 경향을 나타내었으며, 이러한 원인은 재생골재를 사용한 경우 공극률의 증가와 마찬가지로 재생골재의 입형이 쇄석에 비하여 둥근 형태를 나타내어 맞물림 효과가 낮을 뿐만 아니라 재생골재의 표면에 부착되어 있는 구 시멘트 페이스트의 잔분으로 인하여 골재와 골재의 결합력을 감소시켰기 때문으로 판단된다. 또한, 이러한 결과는 재생 콘크리트에서 재생골재의 혼입률이 50%를 초과하였을 경우 재생골재 표면에 부착되어 있는 구재 모르타르에 의해 골재와 시멘트 페이스트 사이의 결합력이 상대적으로 감소하여 강도가 저하한다는 연구결과와 유사한 경향을 나타낸다 (박승범, 2004).

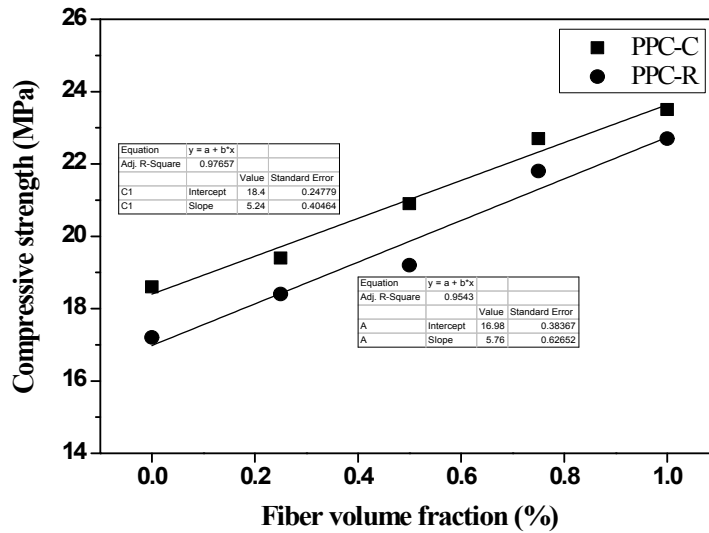


그림 3.2.21 섬유혼입율에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 압축강도

다. 투수계수

투수성 폴리머 콘크리트의 투수계수는 투수 포장의 설계 및 시공을 위하여 가장 중요한 요소이다. 일반적으로 연속공극률이 크면 투수계수가 증가하는 반면에 강도는 감소하는 것으로 알려져 있다 (성찬용, 1996).

그림 3.2.22는 폴리프로필렌섬유 혼입률 및 골재의 종류에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 투수계수를 나타내며, 그림 3.2.23은 압축강도와 투수계수의 상관관계를 보여준다.

PPC-C에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 투수계수는 $7.8 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 로 나타났으며, 섬유를 혼입한 배합에서 $0.45 \sim 5.6 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 로 나타내어 공극률에 대한 시험결과 마찬가지로 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 투수계수가 저하하는 경향을 나타내었다.

한편, 우리나라의 투수성 아스팔트 혼합물의 투수계수 기준이 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 임을 고려할 때 섬유의 혼입률에 관계없이 모든 배합에서 상기의 조건을 만족하는 것으로 나타났다. 반면에 일본도로협회의 투수성 아스팔트 혼합물의 배합설계 기준에서 투

투수계수의 기준치는 0.01cm/s 이상이며, 일반적으로 투수성이 요구되는 투수성 콘크리트나 투수성 아스팔트의 경우 시공직후의 투수계수는 0.1cm/s 정도가 바람직하다는 제안에 비추어 볼 때 본 연구에서도 같은 수준의 투수계수가 요구된다고 하면 폴리프로필렌섬유의 혼입률을 0.8% 이내로 하는 것이 바람직하다고 판단된다 (이윤수 등, 2002; 김영익 등, 2005).

한편, PPC-R에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 투수계수는 $8.5 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 로 나타났으며, 섬유를 혼입한 배합에서 $0.71 \sim 6.4 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 로 나타내어 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가할수록 투수계수가 저하하는 경향을 나타내었다. 노병철 등(2007)은 결합재량에 대한 공극률 변화는 투수계수와 유사한 경향을 나타내며, 일반적으로 결합재가 증가하면 공극률은 감소하는 경향을 나타낸다고 보고한 바 있다.

본 연구에서도 섬유의 혼입률에 관계없이 재생굵은골재를 사용한 배합의 투수계수가 쇄석을 사용한 배합의 투수계수에 비하여 다소 높게 나타나 공극률에 대한 시험결과와 유사한 경향을 나타내었다.

한편, 그림 3.2.23에서 보는 바와 같이 압축강도와 투수계수의 관계에서 압축강도가 증가함에 따라 투수계수는 감소하는 경향을 나타내며, 압축강도에 대한 투수계수의 유의성은 0.91로 유의성 높은 것으로 판단된다.

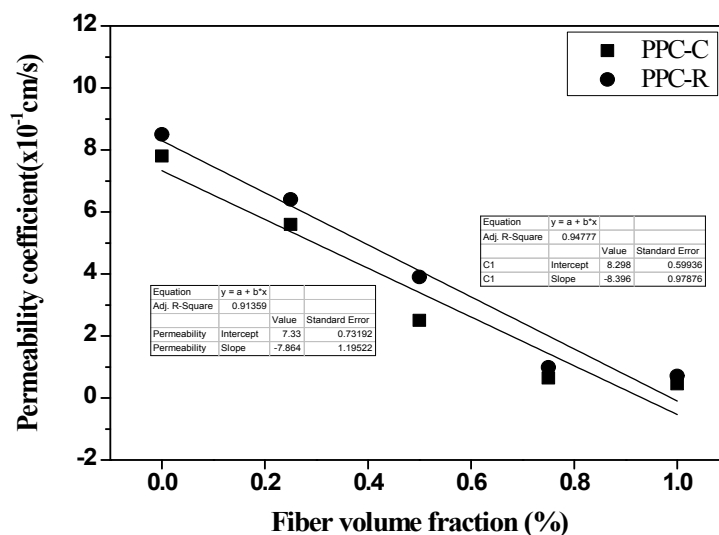


그림 3.2.22 섬유혼입율에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 투수계수

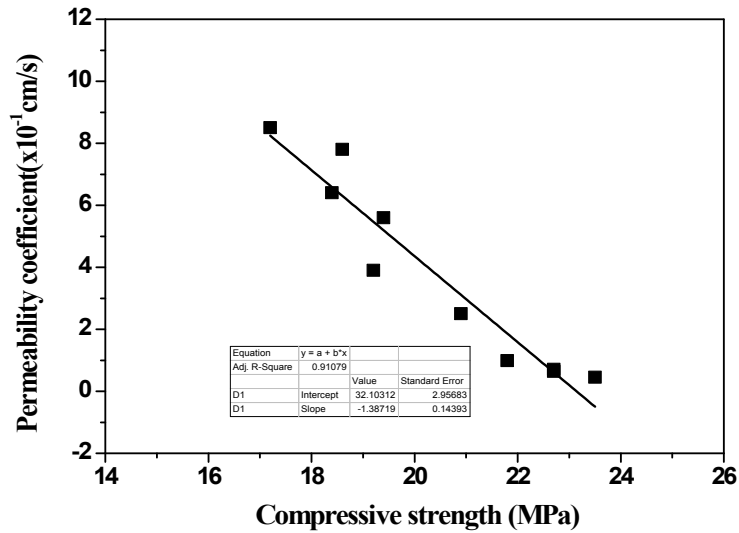


그림 3.2.23 섬유 보강된 포리스 폴리머 콘크리트의 강도와 투수계수

라. 동결융해저항성

포리스 콘크리트 및 투수 콘크리트의 경우 일반 콘크리트와 달리 골재와 골재와의 결합에 의해 이루어지기 때문에 동결융해 작용시 일반 콘크리트와는 다른 매카니즘을 가지는 것으로 알려져 있으며, 일반 콘크리트에 비하여 동결융해에 대한 저항성이 낮은 것으로 알려져 있다 (채창우, 2002). 본 연구에서는 투수 콘크리트의 표면이 불균일하여 상대동탄성계수를 측정하는 것이 곤란하기 때문에 중량의 변화를 측정하여 동결융해에 대한 내구성을 평가하였다.

그림 3.2.24는 섬유혼입률에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 동결융해 반복에 의한 중량변화를 나타낸다. PPC-C에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 동결융해 300 사이클 후 중량감소율은 3.8%를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서의 중량감소율은 1.6~2.9%를 나타내어 섬유의 혼입 유무 및 섬유의 혼입률에 관계없이 중량감소율이 매우 낮은 경향을 나타내었다. 또한 섬유의 혼입율이 증가할수록

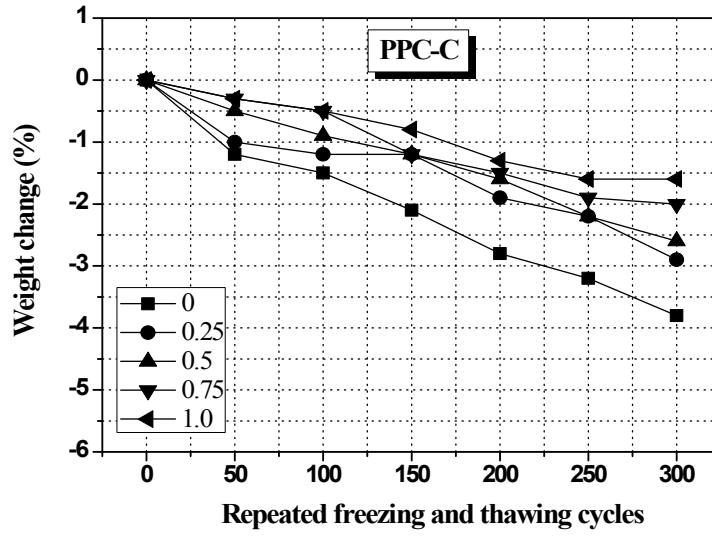
동결융해에 따른 중량감소율이 다소 낮은 경향을 나타내어 섬유 혼입이 동결융해 저항성에 대한 내구성 향상에 효과적일 수 있을 것으로 기대된다. 포장용 투수성 폴리머 콘크리트가 골재와 골재와의 결합 구조임에도 불구하고 동결융해의 반복에 따른 중량감소율이 낮게 나타난 것은 결합재로 사용된 폴리머 자체의 부착력이 매우 우수할 뿐만 아니라 결합재가 불투수성으로 수분의 침투를 억제하였기 때문으로 판단된다. 또한 랜덤 분포된 폴리프로필렌섬유가 골재사이에서 부착력을 향상시켜 동결융해 반복 작용시 골재의 탈락을 방지하여 중량감소율이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

PPC-R에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 동결융해 300 사이클 후 중량감소율은 5.6%를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서의 중량감소율은 2.2~3.9%를 나타내어 PPC-C에서와 마찬가지로 섬유의 혼입 유무 및 섬유의 혼입률에 관계없이 중량감소율이 매우 낮은 경향을 나타내었다. 재생골재의 경우 골재 표면에 부착된 구제의 모르타르에 의해 골재와 골재의 결합시 부착력이 감소될 수 있으나 부착력이 매우 높은 폴리머를 결합재로 사용할 경우 골재간의 결합력 향상에 매우 효과적인 것을 알 수 있다. 또한 쇄석을 사용한 배합에 비하여 다소 중량감소율이 크게 나타났지만 섬유를 혼입한 경우 동결융해 300 사이클 후 중량감소율이 5% 미만인 것으로 나타나 포장용 투수 콘크리트 제조에 재생골재가 충분히 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

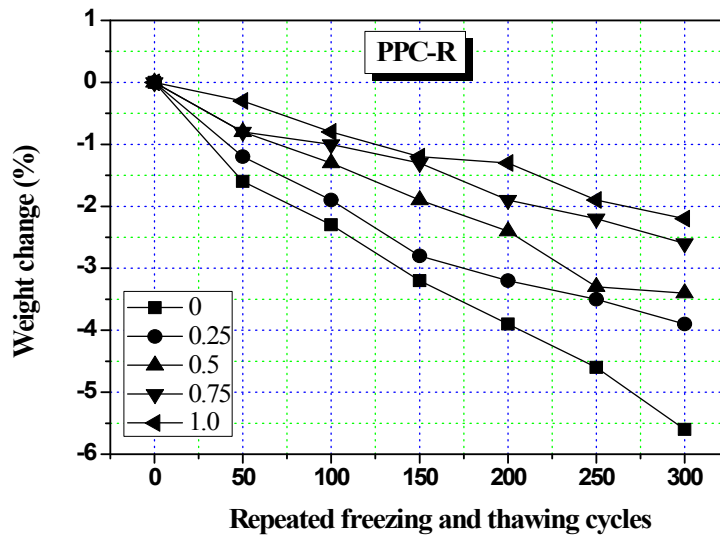
한편, 본 연구에서 포장용 투수 콘크리트의 압축강도 범위가 폴리프로필렌섬유의 혼입률에 따라 18.4~23.5MPa 범위를 나타내어 고강도 및 고성능 콘크리트의 압축강도보다 작게 나타났음에도 불구하고 동결융해에 대한 중량변화가 작게 나타나 포장을 위한 투수 콘크리트의 설계기준 압축강도를 만족하면서 겨울철 동결융해에 대한 저항성이 우수하여 포장 구조물에 활용되어질 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 장기적으로 동결융해에 대한 중량변화 뿐만 아니라 동결융해의 반복작용에 의하여 다공성 구조의 투수 콘크리트내에 균열 및 강도 저하 요소가 발생되어질 수 있기 때문에 동결융해 시험 전후 상대강도 등에 대한 연구가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

한편, 박승범 등(2005)은 시멘트 투수 콘크리트의 동결융해시험에서 폴리머를 혼

입하지 않은 경우 재생골재의 혼입 여부에 관계없이 동결융해 사이클 수가 30 이내에서 조기에 상대동탄성계수가 60% 이하로 감소하여 동결융해저항성이 매우 낮은 것으로 보고하였다.



(a) PPC-C



(b) PPC-R

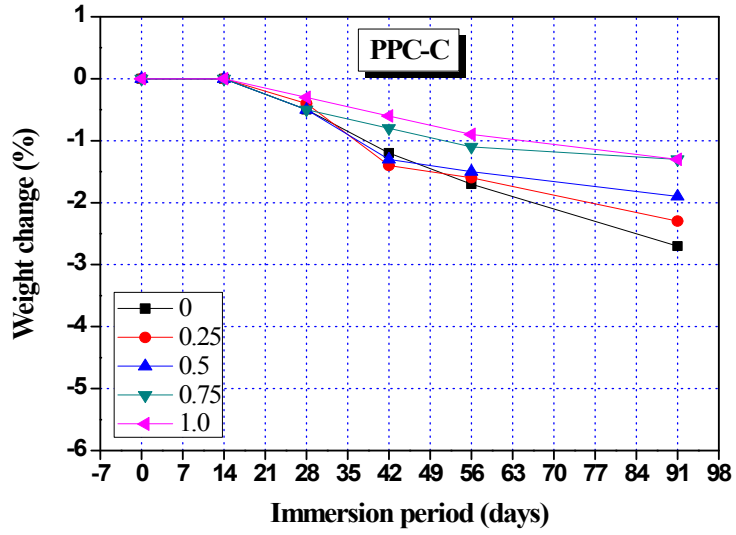
그림 3.2.24 섬유보강 포러스 폴리머 콘크리트의 동결융해저항성

마. 내산성

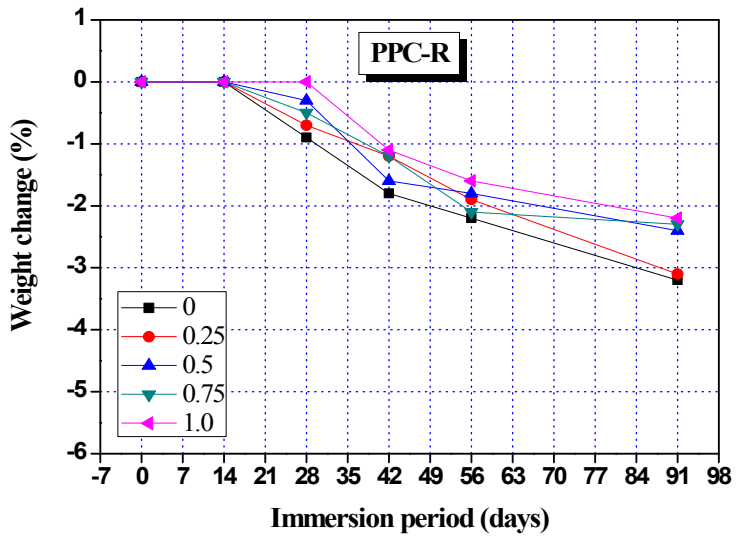
그림 3.2.25는 섬유혼입률에 따른 5% 황산용액 침적에서의 중량변화를 나타낸다. PPC-C에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 5% 황산용액 침적 후 91일에서의 중량감소율은 2.7%를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서의 중량감소율은 1.3~2.4%를 나타내어 섬유의 혼입 유무 및 섬유의 혼입률에 관계없이 중량감소율이 매우 낮게 나타나 황산에 대한 저항성이 매우 우수한 것을 알 수 있다. 폴리프로필렌섬유보강된 고성능 콘크리트에서 5% 황산용액에 28일 침적한 경우의 중량감소율이 9~14%로 나타났다는 연구결과를 고려할 때 투수성 콘크리트임에도 불구하고 화학저항성이 매우 우수한 것으로 판단된다 (김영익, 2003).

한편, PPC-R에서 섬유를 혼입하지 않은 배합의 5% 황산용액 침적 후 91일에서의 중량감소율은 3.2%를 나타내었으며, 섬유를 혼입한 배합에서의 중량감소율은 2.2~3.1%를 나타내어 섬유의 혼입률에 관계없이 중량감소율이 매우 낮은 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 결합재로 사용된 폴리머가 불투수성일 뿐만 아니라 황산에 대한 저항성이 우수하여 골재의 침식을 억제하였기 때문으로 판단되며, 결합재로 폴리머를 활용할 경우 골재의 종류에 관계없이 투수성 콘크리트 제조에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 장기 사용하에서 화학적 저항성 등을 평가하기 위하여 보다 장기적인 내약 품성에 연구가 수반되어야 할 것으로 판단되며, 동결융해저항성과 마찬가지로 화학적저항성 시험 전후의 강도 비교 등을 통한 내구성 평가가 이루어져야 할 것이다.



(a) PPC-C



(b) PPC-R

그림 3.2.25 5% 황산용액에 침적된 섬유보강 포러스 폴리머 콘크리트의 중량변화

제 3 절 Green Block 개발 및 우수침투형 Green Block 포장의 우수유출저감 특성

1. 서 론

우리나라는 6~8월의 여름철에 연 강수량의 60% 이상이 집중되고, 국지적 집중호우로 인해 치수 및 홍수 재해 등으로 어려움을 겪고 있으며, 나머지 계절에는 용수 부족으로 인한 가뭄재해의 문제점을 가지고 있다. 최근에는 이러한 자연재해 현상에 의한 홍수재해의 취약성을 더욱 심화시키는 인위적인 상황이 더욱 가중되고 있는데, 이 중 가장 큰 영향을 미치는 것이 불투수성 면적의 증가와 하천단면의 점용으로 인한 홍수위 현상이다. 이에 1970년대부터 미국, 일본, 독일 등 선진 외국에서는 홍수 등으로 인한 수해 예방과 지하수 등 수자원의 효율적인 관리를 위하여 우수유출 저감시설물 설치에 관한 규정을 각종 개발 관련법에 명시하고 있다. 이에 따라 사업 인·허가 시 설치하도록 규제하여 우수를 인공적으로 침투시키거나 홍수 등의 재해예방과 저류된 우수를 평상시에 조금씩 하천에 방류하여 하천의 건천화를 방지하고 있다 (조영래, 2009).

우리나라의 경우 서울시에서 1995년“우수유출 저감 대책”과 1998년“우수유출 저감시설 기준연구 : 설정 및 적용”에 관한 연구가 수행되었으며, 1999년 대통령 비서실 수해방지대책기획단계에서 제시한 119개 개선 과제중 하나로 우수유출저감시설의 설치기준이 제정됨에 따라 2000년도에 이르러 각종 법령에 시설의 필요성, 설치 규정이 신설되었다. 또한, 1998년부터 2003년까지 국립방재연구소에서는 우수유출저감시설 설치 기법 및 제도화에 대한 연구가 진행되었다 (김병훈, 2001).

우수유출저감시설은 지표면, 지상 및 지하로의 침투성을 고려한 침투시설과 불투수성면을 고려한 저류시설로 크게 대별된다. 침투시설로는 기존의 공원, 녹지 등의 침투 유역을 이용해 침투율을 증진시키는 방안과 보도, 주차장 등 불투수성면으로 구성되는 포장 구조를 개선하여 침투 및 저류될 수 있는 투수성 포장 구조로 전환하는 방안을 들 수 있다. 저류시설은 공원이나 녹지 등의 구조를 변경하여 그 지점에

우수를 저류시킬 수 있는 구조물을 설치하는 방안을 말한다.

특히, 우리나라에서 대부분의 도로 포장에 아스팔트 콘크리트와 시멘트 콘크리트 등의 불투수성 포장 재료에 의한 전면포장으로 호우시 우수가 포장면에서 배수구를 통해 그대로 하천에 유입된다. 이와 같이 우수의 직접 유출에 의한 도시 하천의 홍수량 증가로 저지대 및 하류지역에서 홍수 피해가 빈번하게 발생하고, 침투수 부족으로 인하여 지하수 고갈 등의 문제가 대두되고 있다. 최근에는 홍수에 의한 침수 피해를 방지하고 지하수자원을 확보하기 위하여 기존 불투수성 시멘트 콘크리트 및 아스팔트 포장을 크게 개선한 투수 및 배수성 포장에 관심이 높아짐에 따라 투수성 콘크리트나 투수성 아스팔트를 사용한 차도, 보도, 광장 및 주차장 등의 시공사례가 증가하고 있으며, 포러스 콘크리트를 활용한 투수 블록 제품 등의 개발에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 또한, 인터로킹 블록에 의한 포장은 접근성과 안정성이 요구되는 곳에 적용된 공법으로 뛰어난 공용성과 심미적 아름다움을 제공하는 장점을 가지고 있다. 특히, 종류 및 형상의 다양성, 색상의 다양성 등으로 주변 환경과 조화를 이루는 친환경적 기능을 가지고 있고 시공절차도 단순하여 포장 후 즉시 교통 개방이 가능한 장점이 있다 (원홍상, 2010).

반면에, 기존의 투수성 시멘트 콘크리트, 아스팔트 포장 및 투수성 시멘트 콘크리트 블록의 경우 결합재의 낮은 결합력으로 인하여 겨울철 동결융해의 반복 작용시 균열 및 골재의 탈락 등에 기인한 부분 침하 및 파괴 등이 빈번하게 발생하며, 장기적으로 내구성이 크게 저하되는 문제점을 내포하고 있다. 이에 시멘트의 단점을 개선하기 위한 고분자 결합재의 사용이 크게 증가하고 있으며, 특히 불포화 폴리에스테르수지는 강도 발현, 작업성 및 성형성이 우수하여 높은 결합력이 요구되는 포러스 콘크리트에 활용할 경우 효과가 우수한 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 보통 시멘트 포러스 콘크리트의 낮은 강도 및 내구성 등의 단점을 개선하기 위하여 결합력이 높은 불포화 폴리에스테르수지 및 충전제로 산업 부산물인 고로슬래그 미분말을 활용한 투수 포장을 위한 고성능 Green Block, 우수 침투형 Green Block 및 섬유 보강된 Green Block을 개발하여 역학적 특성을 구명하고, 우수침투형 Green Block블록 포장의 수리모형 실험을 통한 우수유출 저감 효과를 분석하여 투수 포장에 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 고성능 Green Block 및 우수침투형 Green Block의 개발

가. 사용재료

다양한 형상 및 특성의 Green Block을 개발하기 위하여, 결합재는 메틸에틸케톤 프록사이드가 55% 함유된 DMP 용액을 개시제로 사용하는 올소타입의 불포화 폴리에스테르 수지를 사용하였으며, 이에 대한 일반적 특성은 표 3.3.1과 같다. 굵은골재로는 폐기물의 활용 및 친환경 건설재료의 개발 측면에서 한국의 경기도 I사에서 폐콘크리트를 재활용하여 생산된 재생골재를 사용하였으며, 잔골재는 강에서 채취된 모래를 사용하였다. 표 3.3.2는 사용된 굵은골재와 잔골재의 물리적 특성을 보여준다. 결합재의 점성 및 결합재와의 페이스트 형성으로 골재와 골재의 결합력을 증가시키기 위하여 사용되는 충전재는, 부산물의 활용에 의한 Green Block 생산 가격을 낮추고 친환경 Block의 개발 측면에서 제철소에서 부산되어지는 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 표 3.3.3은 사용된 충전재의 물리적 특성 및 모습을 보여준다.

또한, 섬유 보강된 고성능 Green Block 및 섬유 보강된 우수침투형 Green Block 개발을 위하여 강섬유 및 폴리프로필렌섬유가 사용되었으며, 표 3.3.4 및 표 3.3.5는 사용된 섬유의 물리·역학적 특성을 보여준다.

표 3.3.1. 불포화 폴리에스테르 수지의 일반적 특성

Specific gravity at 20°C	Viscosity at 20°C (poise)	Styrene content (%)	Acid value
1.12	3.5	37.2	26.5

표 3.3.2 골재의 물리적 특성

Type	Size (mm)	Bulk density (kg/m ³)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus
Recycled coarse	5~20	1,597	2.64	1.28	6.84
Fine	0.15~5	1,675	2.62	0.87	2.66

표 3.3.3 충전재의 물리적 특성

Type	Specific gravity (20℃)	Specific surface (cm ² /g)	Grain size (mm)	Color
Blast furnace slag powder	2.92	4,401	< 0.15	White

표 3.3.4. 강섬유의 물리·역학적 특성

Length (mm)	Diameter (mm)	Aspect ratio	Specific gravity (20℃)
35	0.55	65	7.85

표 3.3.5 폴리프로필렌섬유의 물리·역학적 특성

Absorption ratio (%)	Specific gravity	Melt point	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)
0	0.91	160℃ over	450 over	5×10 ³ over

나. 배합설계

고강도 및 고내구성의 Green Block (H-GB) 제조를 위한 배합설계에서 폴리머 콘크리트는 결합재로 사용되는 수지량이 증가함에 따라 폴리머 콘크리트의 강도는 증가하지만 수지량이 지나치게 증가하게 되면 재료 분리와 경화수축량 등이 커지고 작업성이 달라지기 때문에 예비실험을 통하여 도출된 10%의 결합재량을 최적배합으로 하였으며, 이에 따른 잔골재에 대한 굵은골재의 비율과 충전재의 사용량을 결정하였다. 충전재의 비율은 10%로 하였으며, 굵은재생골재의 활용성을 증가시키기 위하여 재생굵은골재의 크기를 5~20mm로 하였다.

섬유 보강된 고강도 및 고내구성의 Green Block (FH-GB)의 제조를 위한 배합설계는 고강도 및 고내구성의 Green Block (H-GB) 제조를 위한 배합설계와 동일한 배

합에 섬유 혼입률에 따른 역학적 특성 실험결과를 토대로 섬유혼입률 0.5%를 최적 배합으로 블록을 제작하였다.

우수유출저감 및 지하수자원 보존을 위한 투수 포장용 우수침투형 Green Block (P-GB) 제조를 위한 배합설계는 투수성 아스팔트 포장의 공극률 기준 8%와 투수성 아스팔트 혼합물의 투수계수 기준인 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 을 만족할 수 있도록 하였다 (KS F 2385, 2008). 결합재량은 강도 및 공극률을 평가하기 위하여 6~9%의 결합재량을 사용한 실험 결과를 토대로 경제성과 역학적 특성을 고려하여 8%의 결합재량을 최적 배합으로 블록을 제작하였다.

또한, 섬유 보강된 투수포장용 우수침투형 Green Block (FP-GB)의 제조를 위한 배합설계는 투수 포장용 우수침투형 Green Block (P-GB) 제조를 위한 배합설계와 동일한 배합에 섬유 혼입률에 따른 역학적 특성 실험결과를 토대로 섬유혼입률 0.5%를 최적배합으로 하여 블록을 하여 제작하였다. 표 3.3.6은 고성능 Green Block, 우수침투형 Green Block, 섬유 보강된 고성능 Green Block 및 섬유 보강된 우수침투형 Green Block의 배합설계를 나타낸다.

표 3.3.6 Green Block 제작을 위한 배합설계표 (단위 : kg/m^3)

Block type	Gmax (mm)	Binder	Aggregate		Filler	Fiber (%)	
		UP	Coarse	Fine	B.S	P.P*	S.F**
H-GB	20	242	840	1082	240	-	-
P-GB		156	1436	300	140	-	-
FH-GB		242	840	1082	240	-	0.5
FP-GB		158	1736	-	140	0.5	-

* P.P : Polypropylene fiber

** S.F : Steel fiber

다. Green Block의 형상

Green Block 형상은 기존 인터로킹 블록과의 특성 비교를 위하여 기존 블록과 동

일한 형태의 Green Block과 Green Block 내 식생 적용 및 투수성 블록과 불투수성 블록과의 조합 등을 고려하여 다양한 형상의 블록을 제작하였다. 제작된 Green Block 형상 및 형상에 따른 명칭은 다음과 같다. 그림 3.3.1은 Green Block의 형상 및 치수를 보여준다. 한편, Green Block 제품이 시공되는 주변 공간과의 연계를 고려한 블록의 색상 발현을 위하여 Green Block의 제조시 결합재로 사용되는 불포화 폴리에스테르 수지 계열의 착색제를 사용함으로써 기존 도색 재료의 사용으로 인한 유해성을 차단하였을 뿐만 아니라 부착성이 우수한 착색으로 현장 적용시 시간 경과에 따른 탈색 및 변색이 발생하지 않도록 하였다.

◎ 고성능 Green Block (H-GB)

- 평판 Green Block (H-GB-P)
- I형 Green Block (H-GB-I)
- H형 Green Block (H-GB-H)
- Y형 Green Block (H-GB-Y)
- 중공 평판 Green Block (H-GB-PE)
- 중공 H형 Green Block (H-GB-HE)

◎ 우수침투형 Green Block (P-GB)

- 평판 Green Block (P-GB-P)
- I형 Green Block (P-GB-I)
- H형 Green Block (P-GB-H)
- Y형 Green Block (P-GB-Y)
- 중공 평판 Green Block (P-GB-PE)
- 중공 H형 Green Block (P-GB-HE)

◎ 섬유 보강된 고성능 Green Block (FH-GB)

- 평판 Green Block (FH-GB-P)
- I형 Green Block (FH-GB-I)

- H형 Green Block (FH-GB-H)
- Y형 Green Block (FH-GB-Y)
- 중공 평판 Green Block (FH-GB-PE)
- 중공 H형 Green Block (FH-GB-HE)

◎ 섬유 보강된 우수침투형 Green Block (FP-GB)

- 평판 Green Block (FP-GB-P)
- I형 Green Block (FP-GB-I)
- H형 Green Block (FP-GB-H)
- Y형 Green Block (FP-GB-Y)
- 중공 평판 Green Block (FP-GB-PE)
- 중공 H형 Green Block (FP-GB-HE)

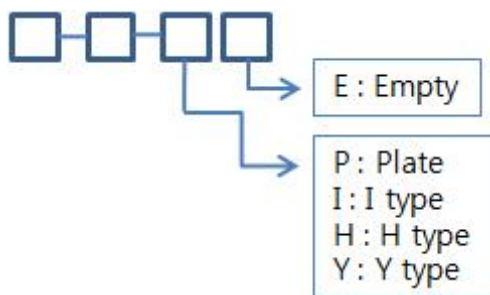
* 블록 명칭 및 표기 방법

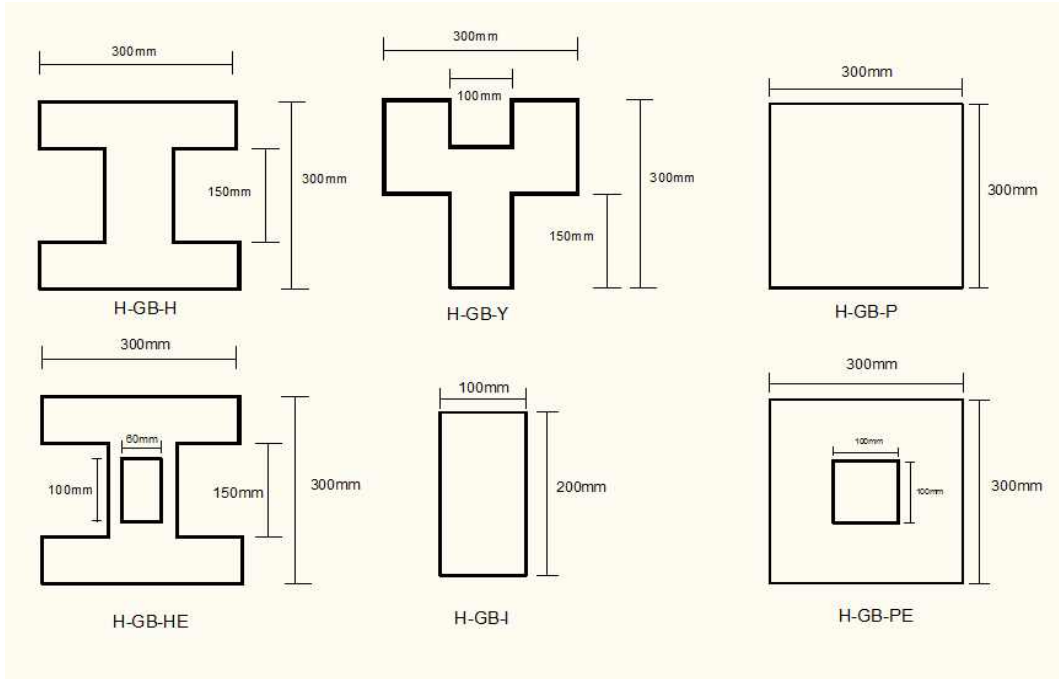
H-GB : High performance Green Block

P-GB : Permeability Green Block

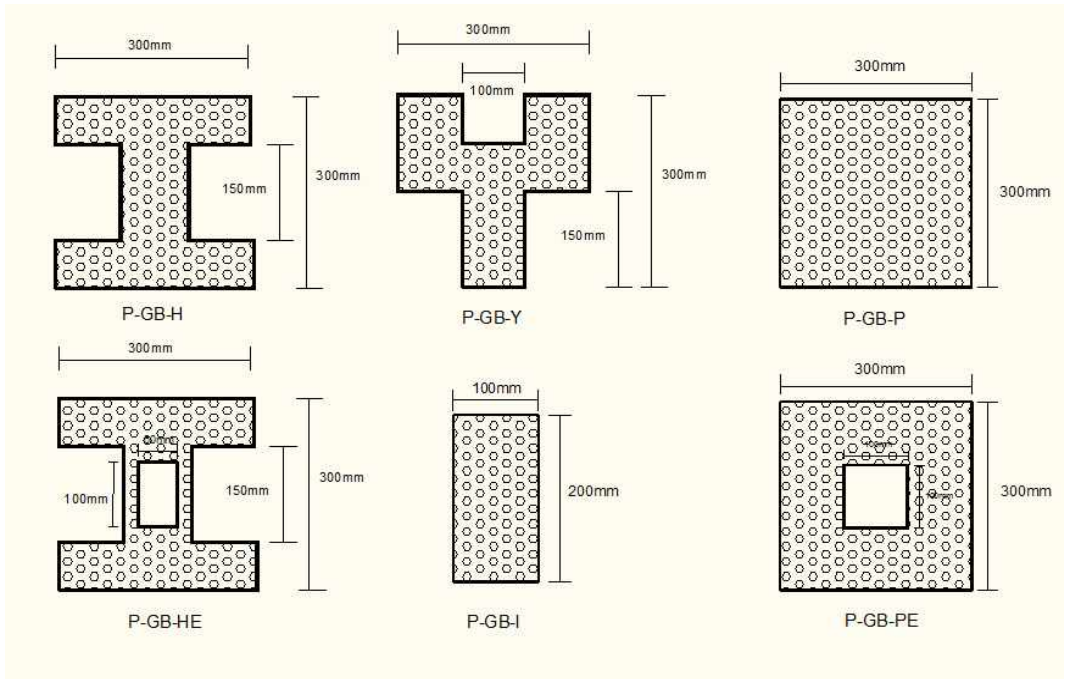
FH-GB : Fiber reinforced Green Block

FP-GB : Fiber reinforced Green Block





(a) 고성능 Green Block (H-GB)



(b) 우수침투형 Green Block (P-GB)

그림 3.3.1 Green Block 형상 및 치수

라. Green Block 제작

Green Block 제조를 위한 시료의 계량은 정도 0.01g의 저울을 사용하였으며, 240rpm의 믹서기를 사용하여 건비빔 1분 후 결합재를 투입하여 3분간 고속 회전하여 혼합하였다. Green Block 제조시 시료의 다짐 시간 확보 및 작업시 주변 온도를 고려하여 경화제는 결합재 중량의 1%를 사용하였다. 혼합된 시료는 형상별 블록의 몰드에 투입하여 진동기에 의한 진동 다짐을 하였으며, 성형된 몰드는 3시간 후 탈형하여 28±1 °C의 항온기에서 재령 7일 동안 양생하였다. 그림 3.3.2, 그림 3.3.3, 그림 3.3.4 및 그림 3.3.5는 Green Block 제조를 위한 형상별 몰드, 시료의 계량, 진동 및 양생 등의 일련의 과정을 보여준다. 또한, 그림 3.3.6 및 그림 3.3.7은 양생 후 완성된 형상별 고성능 인터로킹 Green Block 및 투수포장용 우수침투형 Green Block을 보여준다.

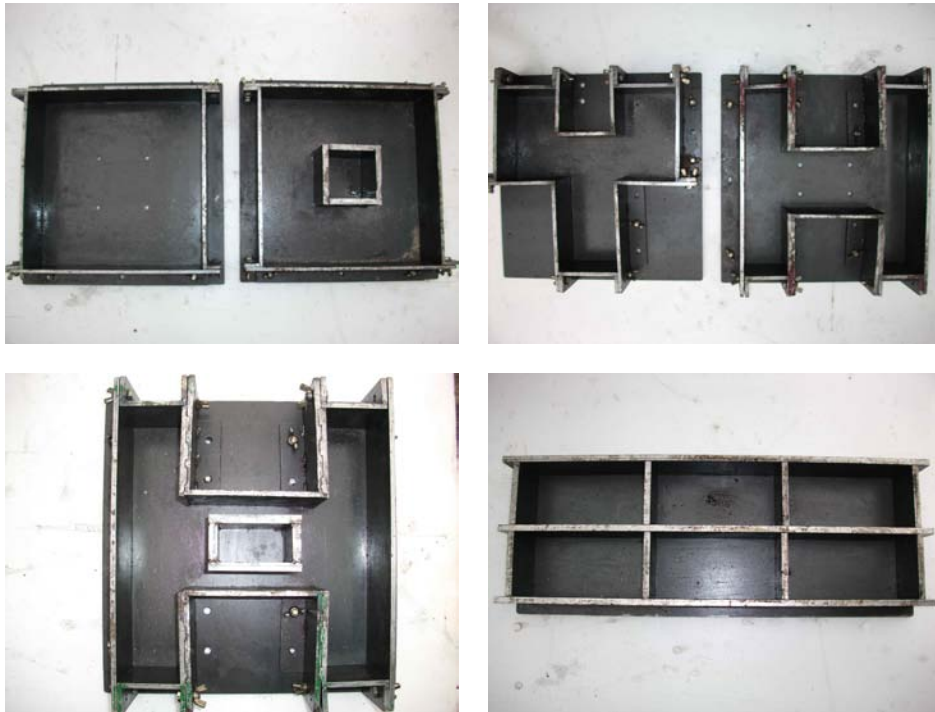


그림 3.3.2 Green Block의 형상별 몰드



그림 3.3.3 시료 계량 모습



그림 3.3.4 성형을 위한 시료 투입 및 진동 다짐 모습



그림 3.3.5. 항온 항습기에서 양생 모습



(a) H-GB-P



(b) H-GB-I

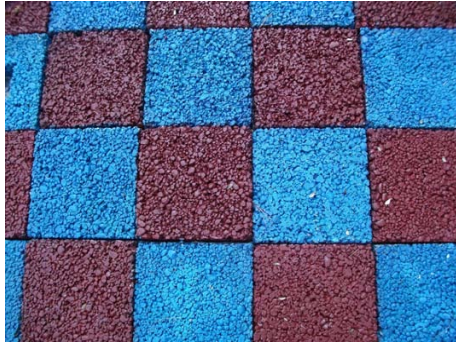


(c) H-GB-H



(e) H-GB-PE

그림 3.3.6 형상별 고성능 Green Block (H-GB)



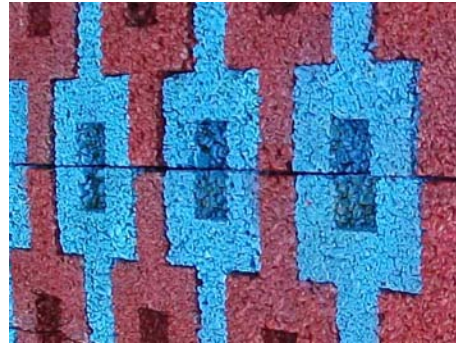
(a) P-GB-P



(b) P-GB-I



(c) P-GB-H



(d) P-GB-Y



(e) P-GB-PE

그림 3.3.7 형상별 우수침투형 Green Block (P-GB)

마. Green Block의 역학적 특성

(1) 치수 및 허용차

KS F 4419 (보·차도용 콘크리트 인터로킹 블록)에서 블록의 치수 및 허용차에 대한 기준을 제시하고 있다. 일반적으로 보도용 블록 및 차도용 블록에 대하여 블록 두께를 각각 60mm 및 80mm로 규정하고 있다. 또한 블록 치수의 허용차를 가로 및 세로에 대하여 각각 $\pm 2\text{mm}$ 와 $\pm 3\text{mm}$ 로 제한하고 있다. 불포화 폴리에스테르 수지를 결합재로 사용한 Green Block에서는 결합재의 경화시에 온도 상승으로 인한 수축이 발생할 수 있기 때문에 블록 제조시 온도 및 경화제의 사용량에 주의를 기울여야 한다. 본 연구에서는 결합재량의 사용량을 1% 이하로 제한하여 충분한 경화시간을 확보함으로써 수축량을 최소화 할 수 있도록 하였다. 또한 블록 크기가 일반 구조물에 비하여 작기 때문에 상대적으로 수축 변형이 크지 않은 $\pm 1\text{mm}$ 이내의 허용차가 발생하는 것으로 나타났으며, 섬유 보강된 고성능 Green Block은 섬유의 수축 억제 효과로 인해 허용차가 보다 감소하는 것으로 나타났다. 우수침투형 Green Block 및 섬유 보강된 우수침투형 Green Block은 결합재의 사용량이 고성능 Green Block에 비하여 적을 뿐만 아니라 골재와 골재가 결합하는 구조를 가지기 때문에 수축변형이 작아서 허용차가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 불포화 폴리에스테르 수지를 활용한 Green Block 제조시 치수 및 허용차에 대한 기준을 만족하는 것을 알 수 있다.

(2) 공극률 및 투수계수

투수 포장을 위한 우수침투형 Green Block의 공극률 시험은 일본 에코콘크리트연구위원회의 포러스 콘크리트의 공극률 시험방법(안) 중 용적법에 의하여 측정하였으며, 투수 포장을 위한 우수침투형 Green Block은 투수계수가 중요한 의미를 갖기 때문에 일본 에코콘크리트연구위원회의 포러스 콘크리트의 투수계수 시험방법(안)에

준하여 투수계수를 측정하였다. 공극률 및 투수계수 측정을 위한 Green Block은 포러스 구조를 가지는 우수침투형 Green Block 및 섬유보강 우수침투형 Green Block의 P-GB-P 및 FP-GB-P로 하였다. P-GB-P 및 FP-GB-P의 공극률은 각각 24% 및 22%로 투수성 아스팔트 포장의 공극률 기준 8%를 크게 상회하는 것으로 나타났으며, 섬유를 혼입한 우수침투형 Green Block의 공극률이 다소 작게 나타났다. 또한, P-GB-P 및 FP-GB-P의 투수계수는 각각 $4.3 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 및 $2.7 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 으로 투수성 아스팔트 혼합물의 투수계수 기준인 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 을 크게 상회하는 것으로 나타나 투수 블록 포장에 적용시 우수유출저감 효과 및 수자원 확보에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

(3) 휨강도

Green Block의 휨강도는 KS F4419 (보·차도용 콘크리트 인터로킹 블록) 규정에 준하여 측정하였으며, 그림 3.3.8은 Green Block의 휨강도 측정 모습을 보여준다. KS F 4419에서 보·차용 인터로킹 블록의 강도는 휨강도로 규정되며, 보통 블록의 경우 휨강도는 보도용 및 차도용에 관계없이 5MPa 이상으로 규정하고 있으며, 투수성 블록의 경우 보도용 및 차도용에 대해 각각 4MPa 및 5MPa 이상으로 제한하고 있다. 그림 3.3.9 및 그림 3.3.10은 형상별 고성능 Green Block 및 우수침투형 Green Block의 휨강도를 나타낸다.

고성능 Green Block 및 섬유 보강된 고성능 Green Block의 휨강도는 형상에 관계없이 KS에서 규정하고 있는 투수성 인터로킹 블록의 휨강도 기준인 5MPa를 크게 초과하는 것으로 나타났다. 그림 3.3.10 및 그림 3.3.11은 형상별 우수침투형 Green Block의 휨강도를 나타낸다.

고성능 Green Block의 형상에 따른 휨강도는 18.2~24.8MPa 범위로 나타났으며, P-GB-P에서 가장 높은 휨강도를 나타내었다. 반면에 상대적으로 블록 중앙 부분의 폭이 좁은 구조를 가지는 H-GB-H에서 19.2MPa를 나타내어 가장 낮은 휨강도를 나타내었다. 또한, 섬유 보강된 고성능 Green Block의 형상에 따른 휨강도는 18.4~26.3MPa 범위로 나타났으며, 형상에 관계없이 섬유를 혼입하지 않은 H-GB에 비하

여 높은 휨강도를 나타내었다. 이러한 결과는 랜덤 분포된 섬유에 의해 블록 내 골재와 골재의 부착력이 증가하였기 때문으로 판단된다. 또한 H-GB에서와 마찬가지로 FH-GB-H에서 가장 낮은 휨강도를 나타내었다.

우수침투형 Green Block 및 섬유 보강된 우수침투형 Green Block의 휨강도는 형상에 관계없이 KS에서 규정하고 있는 투수성 인터로킹 블록의 휨강도 기준인 5MPa를 크게 초과하는 것으로 나타났다. 우수침투형 Green Block의 형상에 따른 휨강도는 10.4~12.9MPa 범위로 나타났으며, P-GB-P에서 가장 높은 휨강도를 나타내었다. 반면에 상대적으로 블록 중앙 부분의 폭이 좁은 구조를 가지는 P-GB-H에서 가장 낮은 휨강도를 나타내었다. 또한, 섬유 보강된 우수침투형 Green Block의 형상에 따른 휨강도는 10.8~13.8MPa 범위로 나타났으며, P-GB에 비하여 다소 높은 휨강도를 나타내었다. 이러한 결과는 랜덤 분포된 섬유에 의해 골재와 골재의 부착력이 증가하였기 때문으로 판단된다. 또한 P-GB에서와 마찬가지로 FP-GB-H에서 가장 낮은 휨강도를 나타내었다. 따라서 불포화 폴리에스테르 수지를 사용한 투수성 폴리머 블록의 경우 투수 블록 포장을 위한 휨강도 뿐만 아니라 동결융해저항성에 따른 내구성 또한 매우 우수한 것을 고려할 때 보도용 및 차도용 포장에 충분히 적용할 수 있을 것으로 판단된다.



그림 3.3.8 Green Block의 휨강도 시험 모습

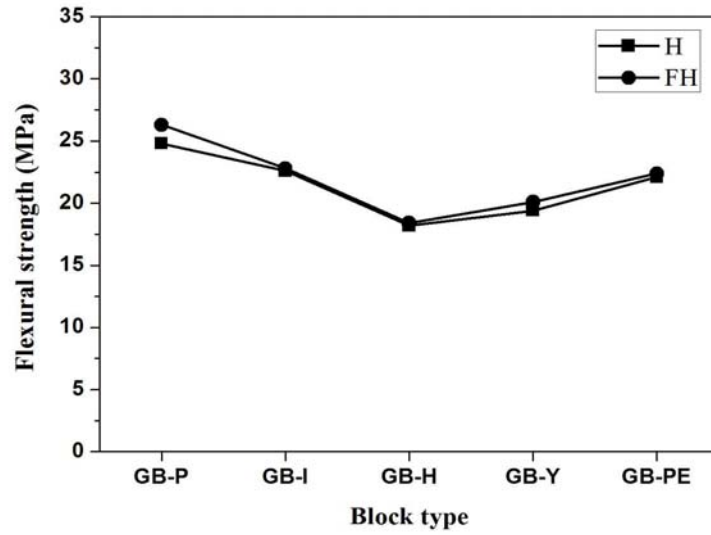


그림 3.3.9 고성능 Green Block의 휨강도

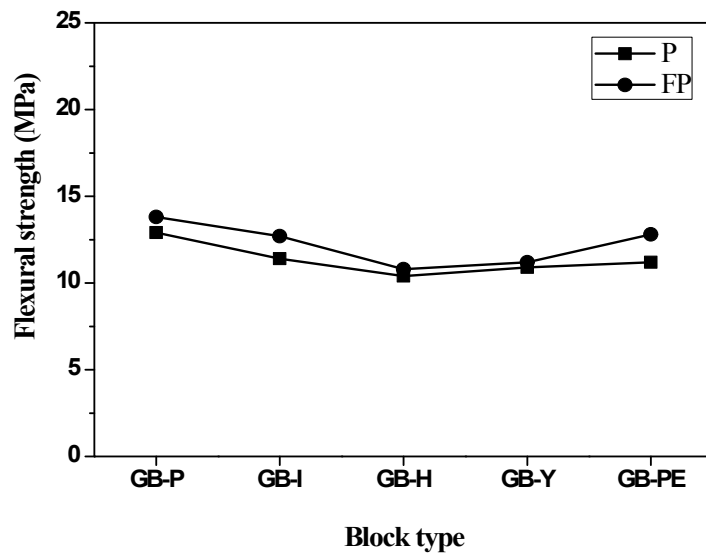


그림 3.3.10 우수칩투형 고성능 Green Block의 휨강도

(4) 투수계수

투수 포장을 위한 우수칩투형 Green Block은 투수계수가 중요한 의미를 갖기 때

문에 일본 에코콘크리트연구위원회의 포러스 콘크리트의 투수계수 시험방법(안)에 준하여 투수계수를 측정하였다. 우수침투형 Green Block 및 섬유보강 우수침투형 Green Block은 형상에 관계없이 투수성 아스팔트 혼합물의 투수계수 기준인 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 을 크게 상회하는 것으로 나타났다.

(5) 동결융해저항성

국내의 블록 관련 기준은 KS F 4419 (보차도용 콘크리트 인터로킹 블록)에 명시되어 있으나 내구성 관련 기준은 제시되어 있지 않다. 미국 및 유럽 등에서 동결융해 시험에 의한 중량 감소율 및 마모저항성 시험에 의한 중량감소율 등으로 블록에 대한 내구성을 평가하고 있다 (원홍상, 2010).

본 연구에서는 Green Block에 대한 내구성을 평가하기 위하여 동결융해저항성 시험을 하였다. 동결융해시험은 재령 7일에 KS F 2456 (급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 수중 급속 동결융해시험을 하였으며, Green Block의 형상이 다양하기 때문에 고성능 Green Block, 우수침투형 Green Block 및 섬유 보강된 우수침투형 Green Block에서 I형에 대한 블록을 시편으로 하였다. 시험동안 공시체의 온도는 동결시 $-18 \text{ }^\circ\text{C}$, 융해시 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 가 되게 하였고 동결융해의 1사이클은 4시간이 소요되었다. 시험동안 매 50 사이클 간격으로 중량변화율을 측정하였고, 동결융해의 반복이 300 사이클이 되었을 때 시험을 완료하였다. 고성능 Green Block에서 동결융해 사이클에 따른 중량 감소는 전혀 발생하지 않는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 결합재로 사용된 불포화 폴리에스테르 수지가 골재 및 충전재를 완전히 피복하여 흡수율 0인 블록 형태를 구성하고, 동결융해 시험시 물의 침투가 전혀 이루어지지 않기 때문에 블록 내에서 동결융해에 대한 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 반면에 우수침투형 Green Block 및 섬유보강 우수침투형 Green Block은 포러스 블록 특성상 블록 내에 많은 공극을 포함하기 때문에 시험동안 블록 내 물의 동결융해가 반복됨에 따라 수축과 팽창의 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지의 결합력이 기존 시멘트에 비하여 매우 우수하기 때문에 포러스 블록의 골재와 골재에 대한 결합력이 매우 높아 동결융해 사

이클에 따른 중량 변화는 1~2%를 나타내어 동결융해저항성이 매우 높은 것으로 나타났다. 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지가 매우 높은 결합력을 가짐에도 불구하고 일부 중량감소를 나타낸 것은 블록 제조시 완전히 피복되지 않은 골재가 동결융해 반복 작용에 의해 탈락된 것으로 판단된다. 따라서 우수침투형 블록 제조시에는 결합재와 충전재로 구성된 페이스트가 골재를 완전히 피복할 수 있도록 주의를 기울여야 한다.

3. 우수침투형 Green Block 포장에 의한 우수유출저감 특성

가. 우수침투형 Green Block 포장의 수리모형

투수 블록 포장에 의한 우수 유출 저감 특성을 평가하기 위하여 투수 블록 포장에 대한 수리모형 실험을 실시하였으며, 그림 3.3.11은 수리모형 실험을 위한 투수 블록 포장의 구성을 보여준다. 투수 블록 포장은 노상층, 자갈층, 모래층 및 투수성 폴리머 블록의 표층으로 구성된다. 또한 수리모형 실험을 위하여 강우강도 재현을 위한 강우모사장치, 포장체 상부 및 하부에서 실시간 강우량 및 우수 침투량 산정을 위한 저수조를 설치하였다. 투수 블록 포장체의 제원에서 포장 두께는 차도용 블록 포장 기준에 준하여 노상층 200mm, 자갈층 200mm 및 모래층 30mm로 하였으며, 모래층의 유실방지를 위하여 자갈층과 모래층 사이에 투수시트를 설치하였다. 투수 포장 단면은 1800mm×900mm의 크기로 하였으며, 그림 3.3.12에서 보는 바와 같이 우수침투형 평판 Green Block 포장, 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록의 조합 포장 및 중공 우수침투형 Green Block과 식생이 조합된 블록 포장에 대한 수리모형 실험을 수행하였다. 강우모사장치는 저수조, 모터펌프, 유량계, 압력계 및 분사노즐로 구성되었으며, 압력계 및 조절밸브에 의하여 다양한 강우강도를 재현할 수 있을 뿐만 아니라 강우포장 단면에 전체적으로 강우를 공급할 수 있도록 분사노즐을 분산 배치하였다. 강우강도 재현을 위하여 실험 시작 전에 강우량 및 강우강도를 측정하였으며, 유출량 및 저류량(투수 포장체의 노상층을 완전히 통과해 하부 저수조에서의 유량)은 저수조를 이용하여 직접 계측하였다. 포장체에서의 포화

량은 침투량에서 저류량을 제외한 부분으로 계산하였으며, 침투량은 표면 유출이외의 유량 손실은 없다는 가정하에 다음 식(1)에 의하여 산출하였다.

$$F = Q - \sum_{t=0}^n Q_t \quad (1)$$

여기서, F : 총 침투량 (m³)

Q : 총 공급량 (m³)

Q_t : 시간에 따른 유출량 (m³)



그림 3.3.11 투수 블록 포장 모형



(a) 우수침투형 평판 Green Block (P-GB-P) 포장



(b) 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록의 조합 포장
(P-GB-PE + 불투수성 블록)



(c) 중공 우수침투형 Green Block과 식생이 조합된 블록 포장
(P-GB-PE + 식생)

그림 3.3.12 블록 형상에 따른 투수 포장 모형

나. 우수침투형 Green Block 포장의 우수유출저감 특성 평가

(1) 우수침투형 평판 Green Block 포장에서 우수유출저감 특성

강우강도 50mm/hr, 100mm/hr, 150mm/hr 및 200mm/hr에 대한 우수침투형 평판 Green Block 포장의 수리모형 실험을 통하여 실시간 우수 유출-침투 실험을 실시하였으며, 강우 지속에 따른 표면 유출량, 침투량, 저수조의 저류량 및 포장체 내부에서의 포화량 등이 측정 및 산출되었다.

(가) 강우강도 50mm/hr

그림 3.3.13 및 그림 3.3.14는 우수침투형 평판 Green Block 포장에서 인공강우 지속시간 12시간 및 강우강도 50mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성 및 침투율 보여 준다. 강우가 시작되면서 동시에 강우가 포장체 상부 투수성 폴리머 블록을 통과하여 하부지반으로 침투되었으며, 하부지반을 통과한 강우가 하부 저수조에 도달하는 데는 약 7분이 소요되었다. 그림 3.3.13에서 보는 바와 같이 강우 발생 후 240분까지는 강우량과 침투량이 거의 동일한 수준을 나타내어 표면 유출이 전혀 발생하지 않는 것으로 나타났으며, 강우 발생 후 300분이 경과하면서 표면 유출이 발생하기 시작하였다. 또한 강우 발생 후 360분이 경과하면서 포장체 내부가 점차 포화 상태에 도달하여, 표면유출과 침투가 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 강우가 6시간 지속되는 동안 총 0.48m^3 의 강우가 공급되어 이 중 0.06m^3 이 표면 유출되어 유출량이 크지 않은 것으로 나타났으며, 강우의 대부분이 표층 이하로 침투되는 것으로 나타났다. 한편, 강우가 12시간 지속되는 동안 총 0.97m^3 의 강우가 공급되어 이 중 0.31m^3 이 표면 유출되었으며, 0.66m^3 이 포장체 하부로 침투되었다. 한편 그림 3.3.14에서 보는 같이 강우강도 50mm/hr에 대한 우수침투형 평판 Green Block 포장의 수리모형 실험에서 강우지속시간 6시간에서의 유출율 및 침투율은 각각 12% 및 88%로서 포장체에서 침투가 매우 효과적인 것을 알 수 있다. 한편, 강우지속시간 12시간에서 수리모형 실험 종료시 최종 유출율 및 침투율은 각각 32% 및 68%를 나

타내었으며, 투수성 블록 포장에 의해 표면 유출 시점을 크게 지연시킬 수 있을 뿐만 아니라 표면 유출량 또한 크게 저하시킬 수 있을 것으로 판단된다.

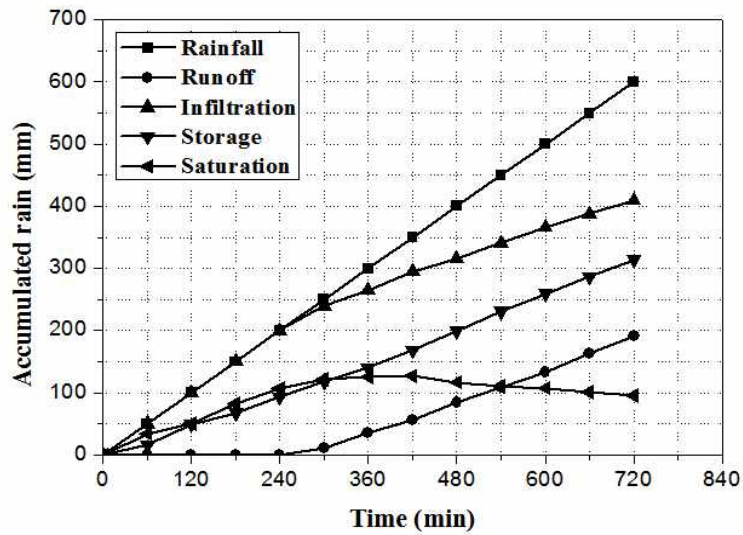


그림 3.3.13 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

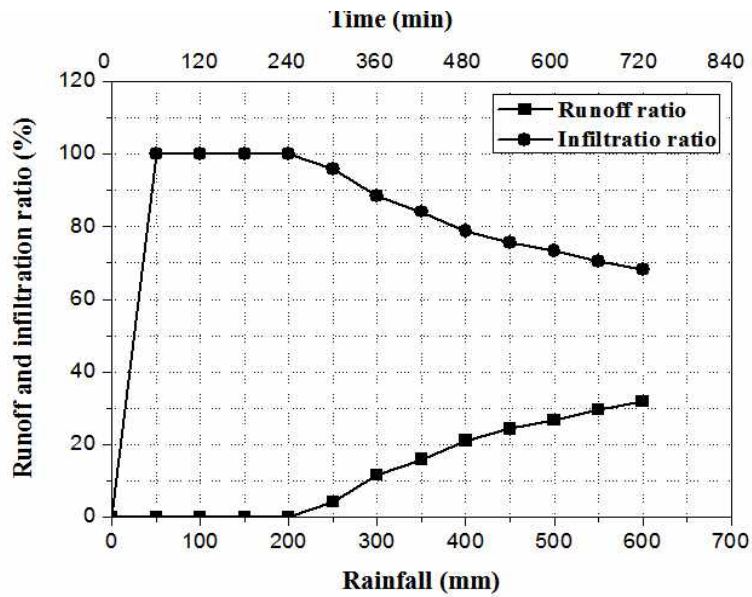


그림 3.3.14 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

(나) 강우강도 100mm/hr

그림 3.3.15 및 그림 3.3.16은 우수침투형 평판 Green Block 포장에서 인공강우 지속시간 12시간 및 강우강도 100mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성 및 침투율을 보여준다. 그림 3.3.15에서 보는 바와 같이 강우강도 100mm/hr에 대한 우수침투형 평판 Green Block 포장의 수리모형 실험에서 표면 유출은 강우 발생 후 155분이 경과하면서 시작되었으며, 강우강도 50mm/hr에 비하여 표면 유출 시점이 145분 단축되는 것으로 나타났다. 강우 발생 후 240분이 경과하면서 투수성 블록 포장체 하부 지반이 포화 상태 수준에 도달하면서 표면 유출량의 증가가 두드러지게 나타났으며, 상대적으로 포장체 하부 저수조에서 저류량 및 침투량의 증가 추세가 다소 둔화되는 경향을 나타내었다. 강우가 6시간 지속되는 동안 총 0.97m³의 강우가 공급되어 이 중 0.3m³이 표면 유출되어 강우강도 50mm/hr에 비하여 유출량이 다소 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 침투량에 비하여 여전히 유출량이 크지 않은 것으로 나타나 우수유출 저감에 효과적인 것을 알 수 있다. 한편, 강우가 12시간 지속되는 동안 총 1.94m³의 강우가 공급되어 이 중 0.86m³이 표면 유출되었으며, 1.086m³이 포장 모형 하부로 침투되었다. 한편 그림 3.3.16에서 보는 같이 강우강도 100mm/hr에 대한 우수침투형 평판 Green Block 포장의 수리모형 실험에서 강우지속시간 6시간에서 유출율 및 침투율은 각각 31% 및 69%로써 포장체에서 침투가 매우 효과적인 것을 알 수 있다. 한편, 강우강도 100mm/hr에 대한 강우지속시간 12시간에서 수리모형 실험 종료시 최종 유출율 및 침투율은 각각 44% 및 56%를 나타내었으며, 강우강도 50mm/hr에 대한 최종 유출율 32%에 비하여 유출율이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

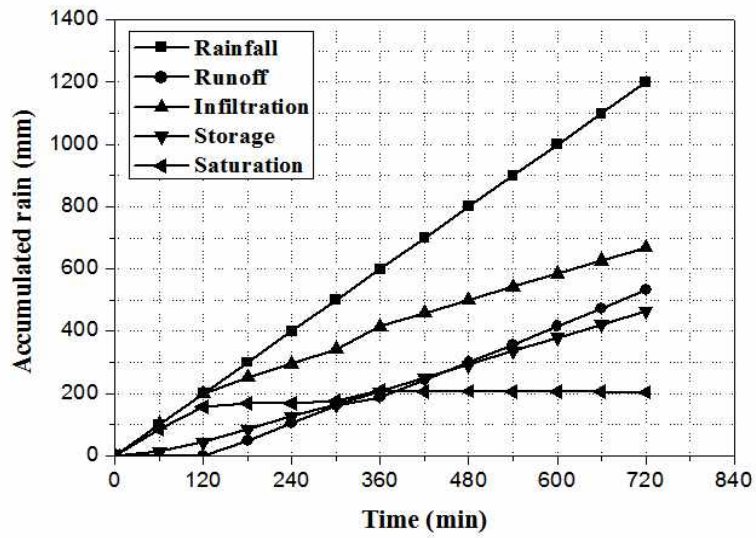


그림 3.3.15 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

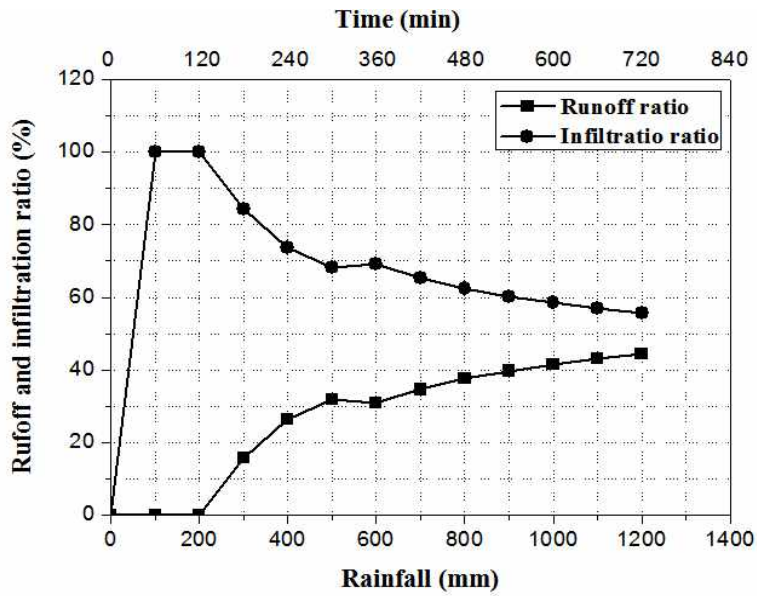


그림 3.3.16 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

(다) 강우강도 150mm/hr

그림 3.3.17 및 그림 3.3.18은 우수침투형 평판 Green Block 포장에서 인공강우 지속시간 6시간 및 강우강도 150mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성 및 침투율을 보여준다. 그림 3.3.17에서 보는 바와 같이 강우강도 150mm/hr에 대한 우수침투형 평판 Green Block 포장의 수리모형 실험에서 표면 유출은 강우 발생 후 105분이 경과하면서 시작되었으며, 강우강도 50mm/hr에 비하여 표면 유출 시점이 195분 단축되는 것으로 나타났다. 강우 발생 후 180분이 경과하면서 투수성 블록 포장체 하부 지반이 포화 상태 수준에 도달하면서 표면 유출량의 증가가 두드러지게 나타났으며, 상대적으로 포장체 하부 저수조에서 저류량 및 침투량의 증가 추세가 다소 둔화되는 경향을 나타내었다. 그림 3.3.19는 포장층 하부가 포화되면서 표면 유출이 발생하는 모습을 보여준다. 강우가 6시간 지속되는 동안 총 1.46m³의 강우가 공급되어 이 중 0.68m³이 표면 유출되어 강우강도 50mm/hr에 비하여 유출량이 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 침투량과 유출량이 거의 비슷한 수준에 도달하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 강우 초기에는 상부 포장체인 투수 블록에 의한 투수가 원활히 이루어져 침투량이 증가하였으나 강우가 지속됨에 따라 상대적으로 투수계수가 낮은 하부 지반이 포화되면서 포장체 전체의 투수성이 크게 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 한편 그림 3.3.18에서 보는 바와 같이 강우강도 150mm/hr에 대한 우수침투형 평판 Green Block 포장의 강우지속시간 6시간에서 수리모형 실험 종료시 최종 유출율 및 침투율은 각각 47% 및 53%로써 유출율이 침투율 보다 크게 나타났다.

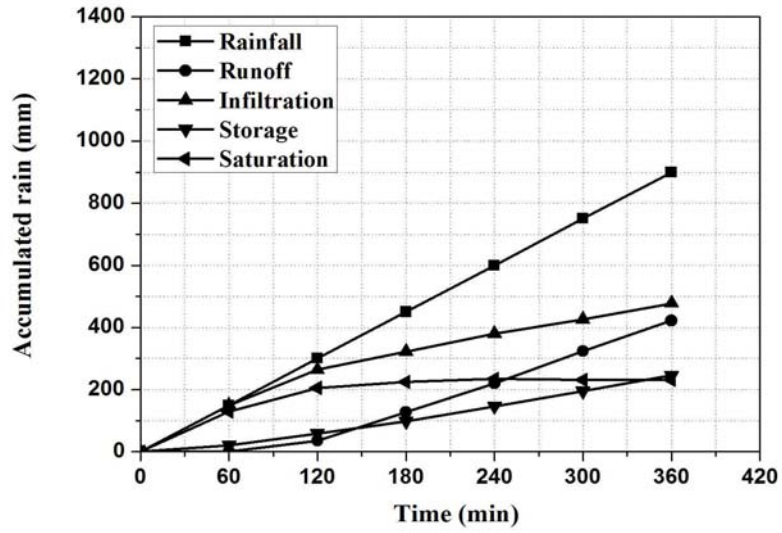


그림 3.3.17 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

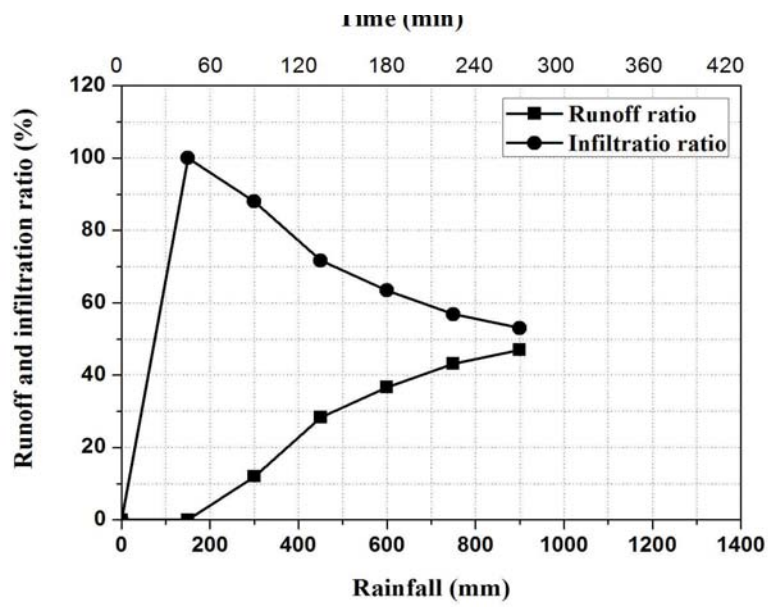


그림 3.3.18 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

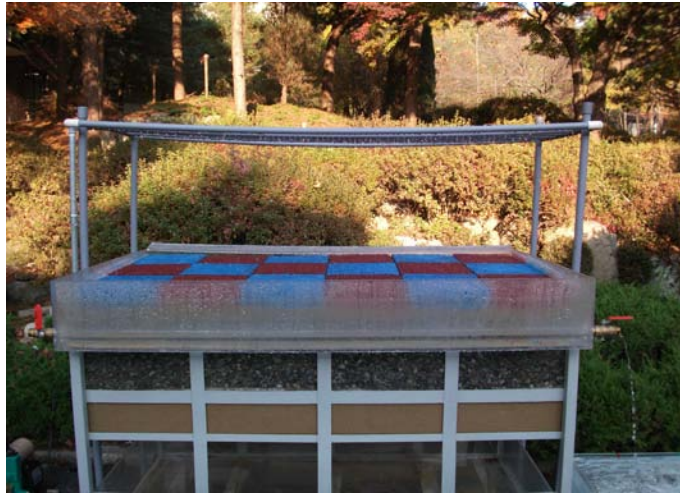


그림 3.3.19 블록 포장 하부층의 포화에 따른 표면 유출 모습

(다) 강우강도 200mm/hr

그림 3.3.20 및 그림 3.3.21은 우수침투형 평판 Green Block 포장에서 인공강우 지속시간 6시간 및 강우강도 200mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성 및 침투율을 보여준다. 그림 3.3.20에서 보는 바와 같이 강우강도 200mm/hr에 대한 우수침투형 평판 Green Block 포장의 수리모형 실험에서 표면 유출은 강우 발생 후 약 50분이 경과하면서 시작되었으며, 강우강도 50mm/hr에 비하여 표면 유출 시점이 250분 단축되는 것으로 나타났다. 또한, 강우 지속시간 190분 이후에는 유출량이 침투량 보다 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 강우가 6시간 지속되는 동안 총 1.94m^3 의 강우가 공급되어 이 중 1.18m^3 이 표면 유출되었으며, 0.77m^3 이 포장 모형 하부로 침투되었다. 한편 그림 3.3.21에서 보는 바와 같이 강우강도 200mm/hr에 대한 우수침투형 평판 Green Block 포장의 강우지속시간 6시간에서 수리모형 실험 종료시 최종 유출율 및 침투율은 각각 61% 및 39%로써 유출율이 침투율에 비하여 크게 나타났다.

이러한 결과는 강우 초기에는 상부 포장체인 투수 블록에 의한 투수가 원활히 이루어져 침투량이 증가하였으나 강우가 지속됨에 따라 상대적으로 투수계수가 낮은 하부 지반이 포화되면서 포장체 전체의 투수성이 크게 감소하기 때문인 것으로 판

단된다. 또한 강우강도가 클수록 투수성 포장의 하부 지반의 포화 속도가 빨라지면
서 강우가 역류하여 표면 유출량이 크게 증가하는 것으로 판단된다.

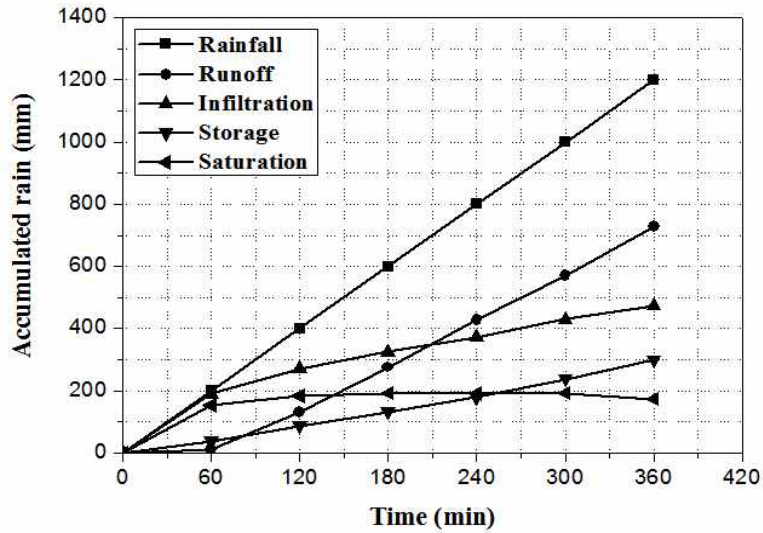


그림 3.3.20 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

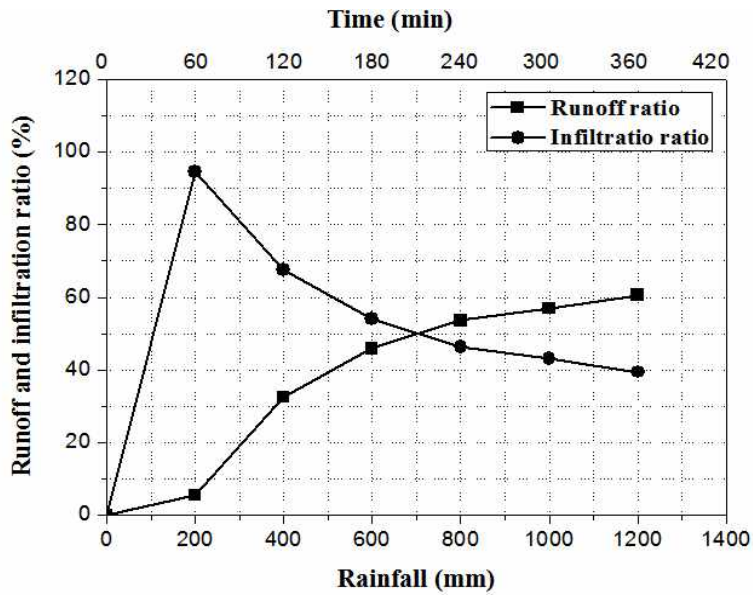


그림 3.3.21 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

(2) 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장에 대한 우수유출 특성

강우강도 50mm/hr, 100mm/hr, 150mm/hr 및 200mm/hr에 대한 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장에 대한 수리모형 실험을 통하여 실시간 우수 유출-침투 실험을 실시하였으며, 강우 지속에 따른 표면 유출량, 침투량, 저수조의 저류량 및 포장체 내부에서의 포화량 등이 측정 및 산출되었다.

(가) 강우강도 50mm/hr

그림 3.3.22 및 그림 3.3.23은 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장에서 인공강우 지속시간 12시간 및 강우강도 50mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성 및 침투율을 보여준다. 강우가 시작되면서 동시에 강우가 포장체 상부 투수성 폴리머 블록을 통과하여 하부지반으로 침투되었으며, 하부지반을 통과한 강우가 하부 저수조에 도달하는데 약 6분이 소요되었다. 그림 3.3.22에서 보는 바와 같이 강우 발생 후 200분까지는 강우량과 침투량이 거의 동일한 수준을 나타내어 표면 유출이 전혀 발생하지 않는 것으로 나타났으며, 강우 발생 후 240분이 경과하면서 표면 유출이 발생하기 시작하였다. 또한 강우 발생 후 300분이 경과하면서 포장체 내부가 점차 포화 상태에 도달하여, 표면유출과 침투가 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 강우가 6시간 지속되는 동안 총 0.48m^3 의 강우가 공급되어 이 중 0.10m^3 이 표면 유출되어 유출량이 크지 않은 것으로 나타났으며, 강우의 대부분이 표층 이하로 침투되는 것으로 나타났다. 한편, 강우가 12시간 지속되는 동안 총 0.97m^3 의 강우가 공급되어 이 중 0.35m^3 이 표면 유출되었으며, 0.63m^3 이 포장체 하부로 침투되었다. 한편 그림 3.3.23에서 보는 바와 같이 강우강도 50mm/hr에 대한 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장의 수리모형 실험에서 강우지속시간 6시간에서 유출율 및 침투율은 각각 20% 및 80%로써 포장체에서 침투가 매우 효과적인 것을 알 수 있다. 한편, 강우지속시간 12시간에서 수리모형 실험 종료시 최종 유출율 및 침투율은 각각 35.5% 및 64.5%를 나타내었으며, 투수성 블록 포장에 의해 표면 유출 시점을 크게 지연시킬 수 있을 뿐만 아니라 표면 유출량 또한 크게 저하시킬 수

있을 것으로 판단된다.

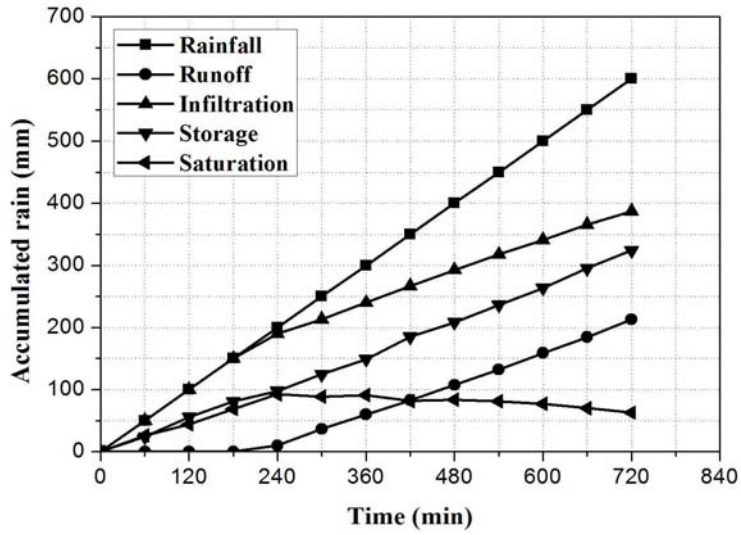


그림 3.3.22 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

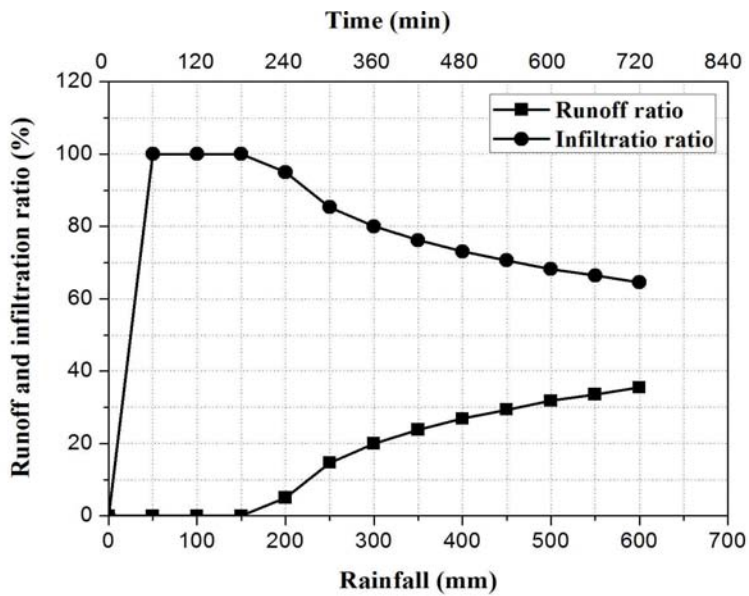


그림 3.3.23 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

(나) 강우강도 100mm/hr

그림 3.3.24 및 그림 3.3.25는 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장에서 인공강우 지속시간 12시간 및 강우강도 100mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성 및 침투율을 보여준다. 그림 3.3.24에서 보는 바와 같이 강우강도 100mm/hr에 대한 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장의 수리모형 실험에서 표면 유출은 강우 발생 후 90분이 경과하면서 시작되었으며, 강우강도 50mm/hr에 비하여 표면 유출 시점이 150분 단축되는 것으로 나타났다. 강우 발생 후 180분이 경과하면서 투수성 블록 포장체 하부 지반이 포화 상태 수준에 도달하면서 표면 유출량의 증가가 두드러지게 나타났으며, 상대적으로 포장체 하부 저수조에서 저류량 및 침투량의 증가 추세가 다소 둔화되는 경향을 나타내었다. 강우가 6시간 지속되는 동안 총 0.97m³의 강우가 공급되었으며, 이 중 0.37m³이 표면 유출되어 강우강도 50mm/hr에 비하여 유출량이 다소 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 침투량에 비하여 여전히 유출량이 크지 않은 것으로 나타나 우수유출 저감에 효과적인 것을 알 수 있다. 한편, 강우가 12시간 지속되는 동안 총 1.94m³의 강우가 공급되어 이 중 0.94m³이 표면 유출되었으며, 1.0m³이 포장 모형 하부로 침투되었다. 한편 그림 3.3.25에서 보는 바와 같이 강우강도 100mm/hr에 대한 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장의 수리모형 실험에서 강우지속시간 6시간에서 유출율 및 침투율은 각각 38% 및 62%로써 포장체에서 침투가 매우 효과적인 것을 알 수 있다. 한편, 강우강도 100mm/hr에 대한 강우지속시간 12시간에서 수리모형 실험 종료시 최종 유출율 및 침투율은 각각 49% 및 51%를 나타내었으며, 강우강도 50mm/hr에 대한 최종 유출율 34.5%에 비하여 유출율이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

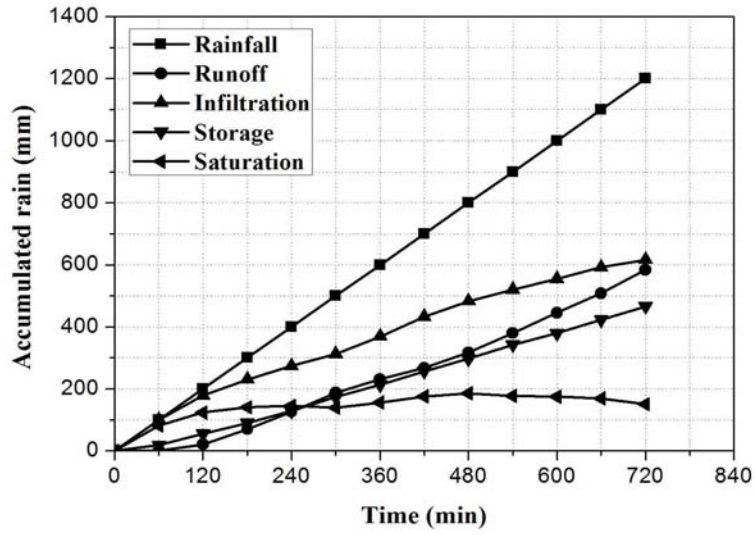


그림 3.3.24 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

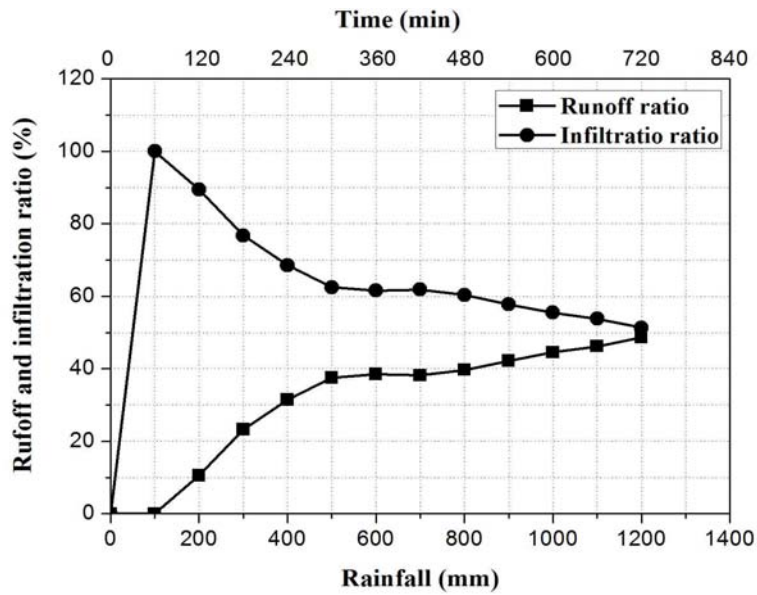


그림 3.3.25 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

(다) 강우강도 150mm/hr

그림 3.3.26 및 그림 3.3.27은 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장에서 인공강우 지속시간 6시간 및 강우강도 150mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성

침투율을 보여준다. 그림 3.3.26에서 보는 바와 같이 강우강도 150mm/hr에 대한 우수침투형 평판 Green Block 포장의 수리모형 실험에서 표면 유출은 강우 발생 후 50분이 경과하면서 시작되었으며, 강우강도 50mm/hr에 비하여 표면 유출 시점이 250분 단축되는 것으로 나타났다. 강우 발생 후 120분이 경과하면서 투수성 블록 포장체 하부 지반이 포화 상태 수준에 도달하면서 표면 유출량의 증가가 두드러지게 나타났으며, 상대적으로 포장체 하부 저수조에서 저류량 및 침투량의 증가 추세가 다소 둔화되는 경향을 나타내었다. 강우가 6시간 지속되는 동안 총 1.46m³의 강우가 공급되어 이 중 0.73m³이 표면 유출되어 강우강도 50mm/hr에 비하여 유출량이 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 침투량과 유출량이 거의 비슷한 수준에 도달하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 강우 초기에는 상부 포장체인 투수 블록에 의한 투수가 원활히 이루어져 침투량이 증가하였으나 강우가 지속됨에 따라 상대적으로 투수계수가 낮은 하부 지반이 포화되면서 포장체 전체의 투수성이 크게 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 그림 3.3.27에서 보는 바와 같이 강우강도 150mm/hr에 대한 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장의 수리모형 실험에서 강우지속시간 6시간에서 최종 유출을 및 침투율은 각각 49.9% 및 50.1%로 포장체에서의 침투가 매우 효과적인 것을 알 수 있다.

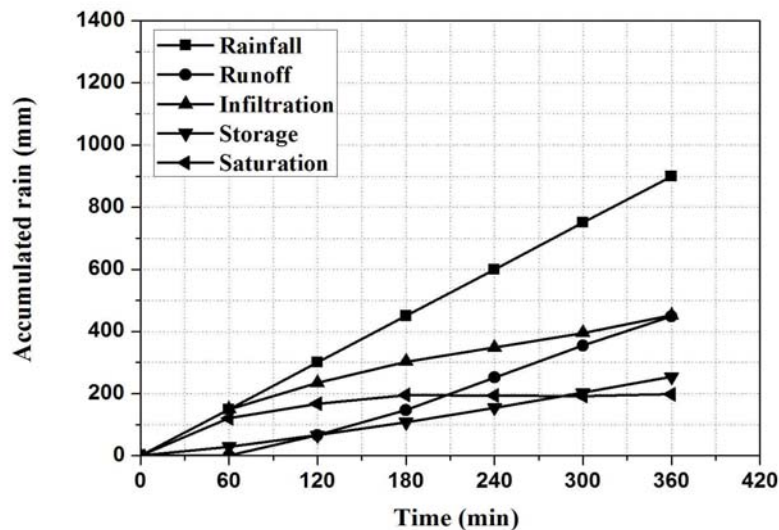


그림 3.3.26 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

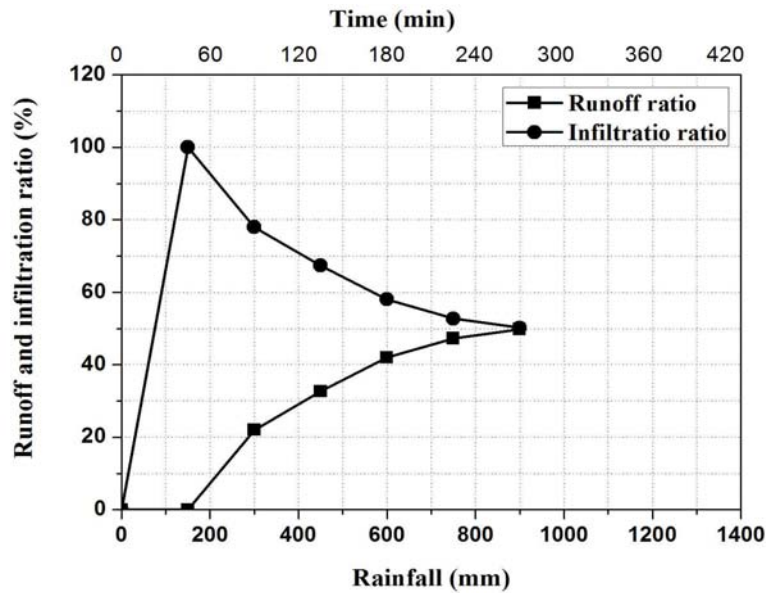


그림 3.3.27 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

(다) 강우강도 200mm/hr

그림 3.3.28 및 그림 3.3.29는 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장에서 인공강우 지속시간 6시간 및 강우강도 200mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성 및 침투율 보여준다. 그림 3.3.28에서 보는 바와 같이 강우강도 200mm/hr에 대한 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장에서 표면 유출은 강우 발생 후 약 35분이 경과하면서 시작되었으며, 강우강도 50mm/hr에 비하여 표면 유출 시점이 265분 단축되는 것으로 나타났다. 또한, 강우 지속시간 165분 이후에는 유출량이 침투량 보다 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 강우가 6시간 지속되는 동안 총 1.94m³의 강우가 공급되어 이 중 1.24m³이 표면 유출되었으며, 0.70m³이 포장 모형 하부로 침투되었다. 그림 3.3.30은 블록 포장 하부의 포화에 따른 표면 유출 모습을 보여준다. 한편 그림 3.3.29에서 보는 바와 같이 강우강도 200mm/hr에 대한 중공 우수침투형 블록에 식생이 조합된 블록 포장의 강우지속시간 6시간에서 수리모형 실험 종료 시 최종 유출율 및 침투율은 각각 64% 및 36%로써 유출율이 침투율 보다 크게 나

타났다. 이러한 결과는 강우 초기에는 상부 포장체인 투수 블록에 의한 투수가 원활히 이루어져 침투량이 증가하였으나 강우가 지속됨에 따라 상대적으로 투수계수가 낮은 하부 지반이 포화되면서 포장체 전체의 투수성이 크게 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 강우강도가 클수록 투수성 포장의 하부 지반의 포화 속도가 빨라지면서 강우가 역류하여 표면 유출량이 크게 증가하는 것으로 판단된다.

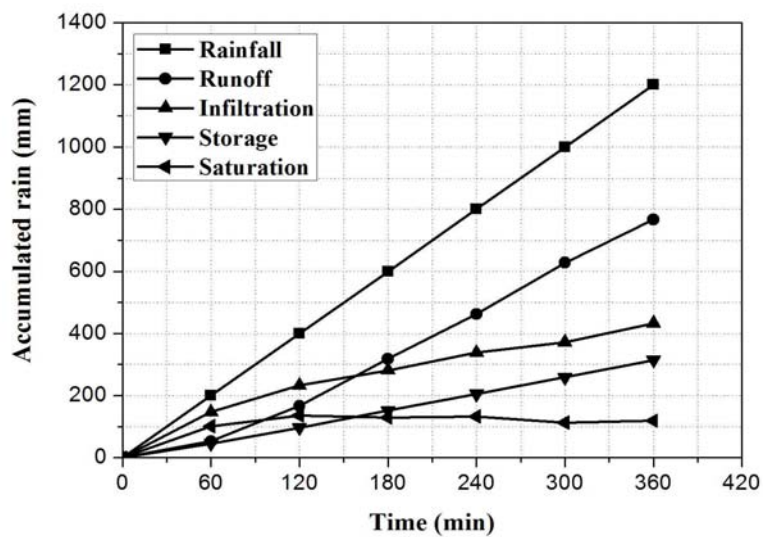


그림 3.3.28 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

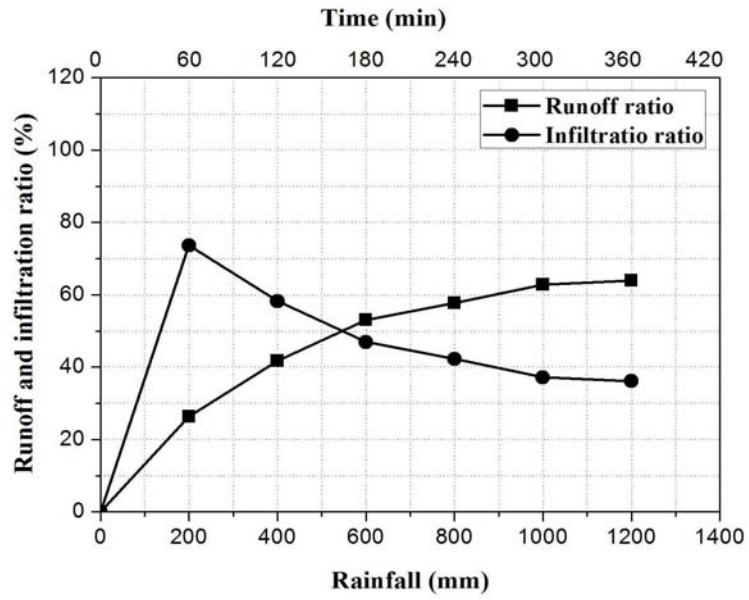


그림 3.3.29 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

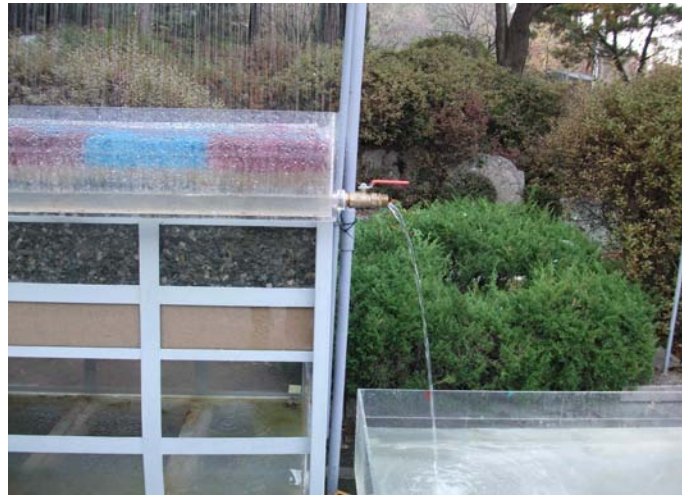


그림 3.3.30 블록 포장 하부의 포화에 따른 표면 유출 모습

(3) 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장에 대한 우수유출 특성

강우강도 50mm/hr, 100mm/hr, 150mm/hr 및 200mm/hr에 대한 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장에 대한 수리모형 실험을 통하여 실시간 우수 유출-침투 실험을 실시하였으며, 강우 지속에 따른 표면 유출량, 침투량, 저수조의 저류량 및 포장체 내부에서의 포화량 등이 측정 및 산출되었다.

(가) 강우강도 50mm/hr

그림 3.3.31 및 그림 3.3.32는 인공강우 지속시간 12시간 및 강우강도 50mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성 및 침투율을 보여준다. 강우가 시작되면서 동시에 강우가 포장체 상부 투수성 폴리머 블록을 통과하여 하부지반으로 침투되었으며, 하부지반을 통과한 강우가 하부 저수조에 도달하는데는 약 10분이 소요되었다. 그림 3.3.31에서 보는 바와 같이 강우 발생 후 300분까지는 강우량과 침투량이 거의 동일한 수준을 나타내어 표면 유출이 전혀 발생하지 않는 것으로 나타났으며, 강우 발생 후 310분이 경과하면서 표면 유출이 발생하기 시작하였다. 또한 강우 발생 후 420분이 경과하면서 포장체 내부가 점차 포화 상태에 도달하여, 표면유출과 침투가 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 강우가 6시간 지속되는 동안 총 0.48m^3 의 강우가 공급되어 이 중 0.07m^3 이 표면 유출되어 유출량이 크지 않은 것으로 나타났으며, 강우의 대부분이 표층 이하로 침투되는 것으로 나타났다. 한편, 강우가 12시간 지속되는 동안 총 0.97m^3 의 강우가 공급되어 이 중 0.36m^3 이 표면 유출되었으며, 0.61m^3 이 포장체 하부로 침투되었다. 한편 그림 3.3.32에서 보는 바와 같이 강우강도 50mm/hr에 대한 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장의 수리모형 실험에서 강우지속시간 6시간에서 유출율 및 침투율은 각각 19% 및 81%로서 포장체에서 침투가 매우 효과적인 것을 알 수 있다. 한편, 강우지속시간 12시간에서 수리모형 실험 종료시 최종 유출율 및 침투율은 각각 37% 및 63%를 나타내었으며, 투수성 블록 포장에 의해 표면 유출 시점을 크게 지연시킬 수 있을

뿐만 아니라 표면 유출량 또한 크게 저하시킬 수 있을 것으로 판단된다.

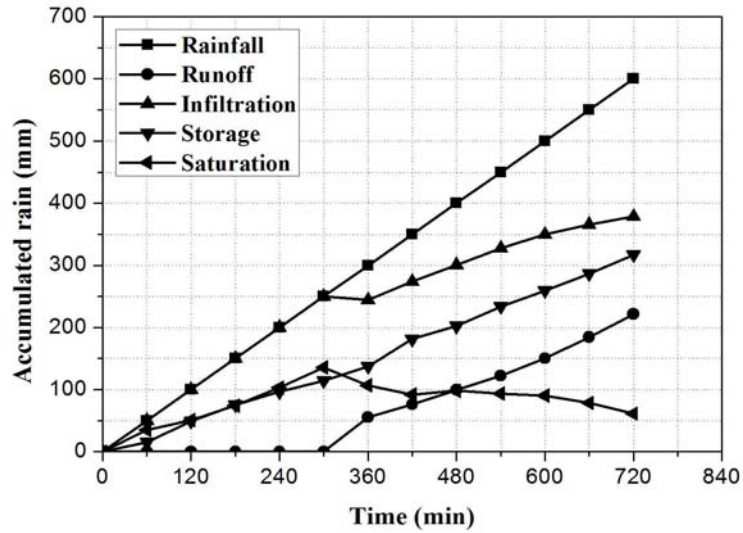


그림 3.3.31 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

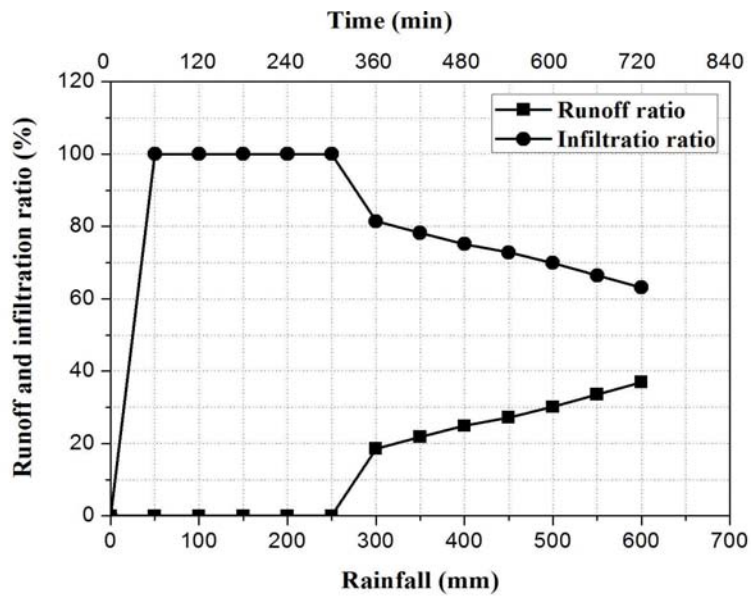


그림 3.3.32 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

(나) 강우강도 100mm/hr

그림 3.3.33 및 그림 3.3.34는 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장에서 인공강우 지속시간 12시간 및 강우강도 100mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성 및 침투율을 보여준다. 그림 3.3.33에서 보는 바와 같이 강우강도 100mm/hr에 대한 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장의 수리모형 실험에서 표면 유출은 강우 발생 후 150분이 경과하면서 시작되었으며, 강우강도 50mm/hr에 비하여 표면 유출 시점이 160분 단축되는 것으로 나타났다. 강우 발생 후 220분이 경과하면서 투수성 블록 포장체 하부 지반이 포화 상태 수준에 도달하면서 표면 유출량의 증가가 두드러지게 나타났으며, 상대적으로 포장체 하부 저수조에서 저류량 및 침투량의 증가 추세가 다소 둔화되는 경향을 나타내었다. 강우가 6시간 지속되는 동안 총 0.97m^3 의 강우가 공급되어 이 중 0.36m^3 이 표면 유출되어 강우강도 50mm/hr에 비하여 유출량이 다소 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 침투량에 비하여 여전히 유출량이 크지 않은 것으로 나타나 우수유출 저감에 효과적인 것을 알 수 있다. 한편, 강우가 12시간 지속되는 동안 총 1.94m^3 의 강우가 공급되어 이 중 0.89m^3 이 표면 유출되었으며, 1.05m^3 이 포장 모형 하부로 침투되었다. 한편 그림 3.3.34에서 보는 바와 같이 강우강도 100mm/hr에 대한 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장의 수리모형 실험에서 강우지속시간 6시간에서 유출율 및 침투율은 각각 37% 및 63%로써 포장체에서 침투가 매우 효과적인 것을 알 수 있다. 한편, 강우지속시간 12시간에서 강우강도 100mm/hr에 대한 수리모형 실험 종료시 최종 유출율 및 침투율은 각각 46% 및 54%를 나타내었으며, 강우강도 50mm/hr에 대한 최종 유출율 37%에 비하여 유출율이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

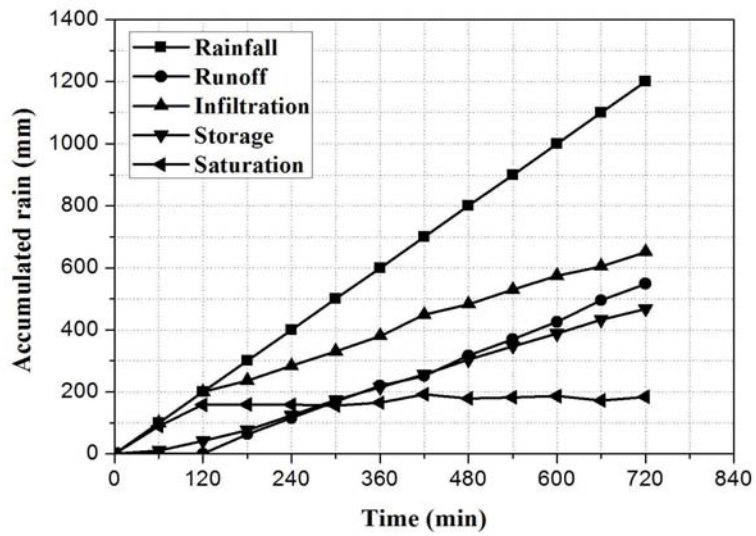


그림 3.3.33 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

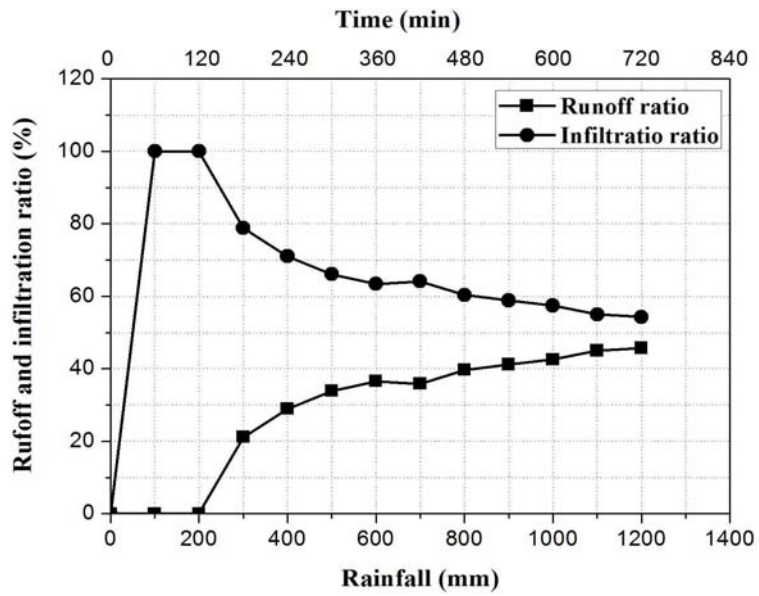


그림 3.3.34 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

(다) 강우강도 150mm/hr

그림 3.3.35 및 그림 3.3.36은 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장에서 인공강우 지속시간 6시간 및 강우강도 150mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성 및 침투율을 보여준다. 그림 3.3.35에서 보는 바와 같이 강우강도 150mm/hr에 대한 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장의 수리모형 실험에서 표면 유출은 강우 발생 후 100분이 경과하면서 시작되었으며, 강우강도 50mm/hr에 비하여 표면 유출 시점이 210분 단축되는 것으로 나타났다. 강우 발생 후 180분이 경과하면서 투수성 블록 포장체 하부 지반이 포화 상태 수준에 도달하면서 표면 유출량의 증가가 두드러지게 나타났으며, 상대적으로 포장체 하부 저수조에서 저류량 및 침투량의 증가 추세가 다소 둔화되는 경향을 나타내었다. 강우가 6시간 지속되는 동안 총 1.46m^3 의 강우가 공급되어 이 중 0.71m^3 이 표면 유출되어 강우강도 50mm/hr에 비하여 유출량이 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 침투량과 유출량이 거의 비슷한 수준에 도달하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 강우 초기에는 상부 포장체인 투수 블록에 의한 투수가 원활히 이루어져 침투량이 증가하였으나 강우가 지속됨에 따라 상대적으로 투수계수가 낮은 하부 지반이 포화되면서 포장체 전체의 투수성이 크게 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 한편 그림 3.3.36에서 보는 바와 같이 강우강도 150mm/hr에 대한 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장의 수리모형 실험에서 강우지속시간 6시간에서 시험 종료시 최종 유출율 및 침투율은 각각 49% 및 51%를 나타내었으며, 강우강도 50mm/hr에 대한 최종 유출율 37%에 비하여 유출율이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

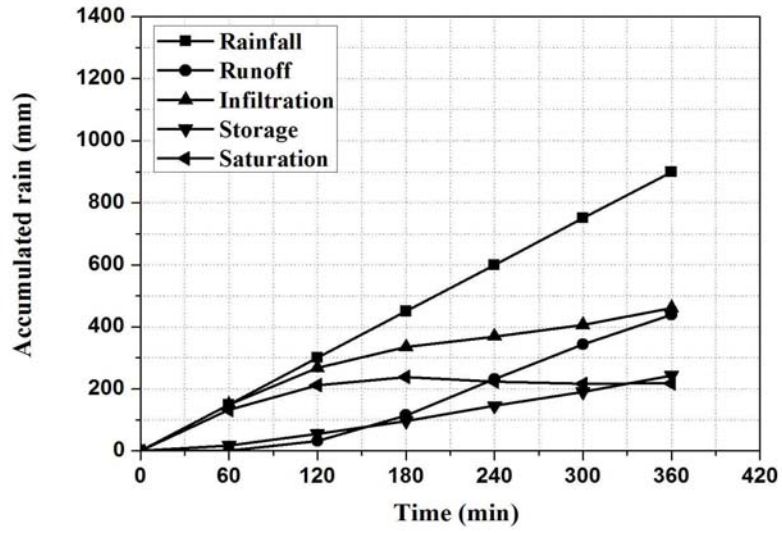


그림 3.3.35 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

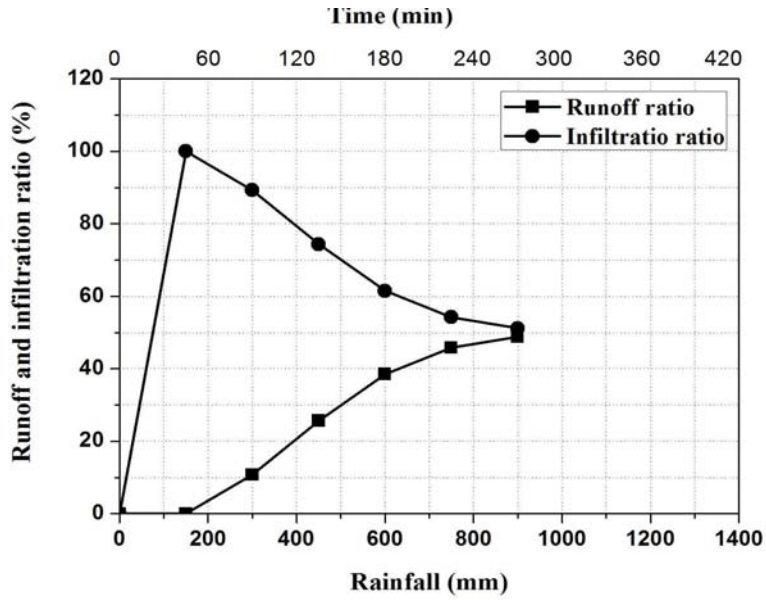


그림 3.3.36 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

(다) 강우강도 200mm/hr

그림 3.3.37 및 그림 3.3.38은 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장에서 인공강우 지속시간 6시간 및 강우강도 200mm/hr에 대한 강우 유출-침투 특성 및 침투율을 보여준다. 그림 3.3.37에서 보는 바와 같이 강우강도 200mm/hr에 대한 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장의 수리모형 실험에서 표면 유출은 강우 발생 후 약 45분이 경과하면서 시작되었으며, 강우강도 50mm/hr에 비하여 표면 유출 시점이 220분 단축되는 것으로 나타났다. 또한, 강우 지속시간 180분 이후에는 유출량이 침투량 보다 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 강우가 6시간 지속되는 동안 총 1.94m³의 강우가 공급되어 이 중 1.20m³이 표면 유출되었으며, 0.74m³이 포장 모형 하부로 침투되었다. 한편 그림 3.3.38에서 보는 바와 같이 강우지속시간 6시간에서 강우강도 200mm/hr에 대한 중공 우수침투형 Green Block과 불투수성 블록이 조합된 블록 포장의 수리모형 실험 종료시 최종 유출율 및 침투율은 각각 62% 및 38%로써 유출율이 침투율 보다 크게 나타났다.

이러한 결과는 강우 초기에는 상부 포장체인 투수 블록에 의한 투수가 원활히 이루어져 침투량이 증가하였으나 강우가 지속됨에 따라 상대적으로 투수계수가 낮은 하부 지반이 포화되면서 포장체 전체의 투수성이 크게 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 강우강도가 클수록 투수성 포장의 하부 지반의 포화 속도가 빨라지면서 강우가 역류하여 표면 유출량이 크게 증가하는 것으로 판단된다.

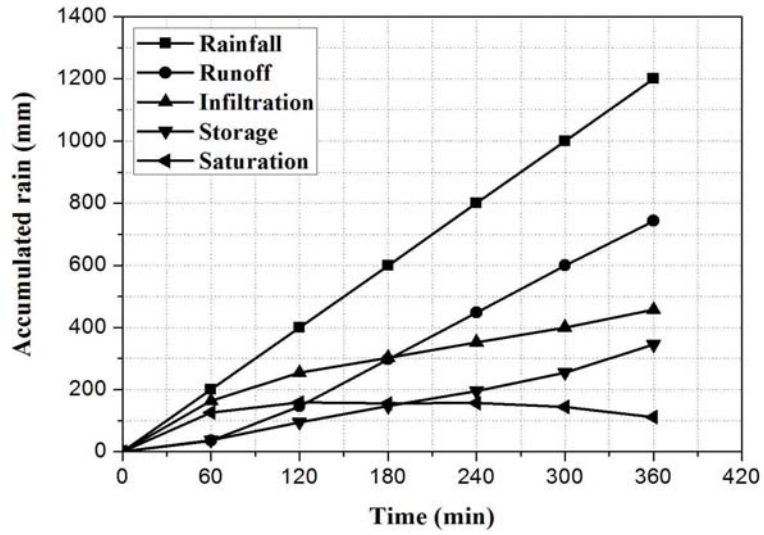


그림 3.3.37 블록 포장 모형에서 강우에 따른 유출 및 침투

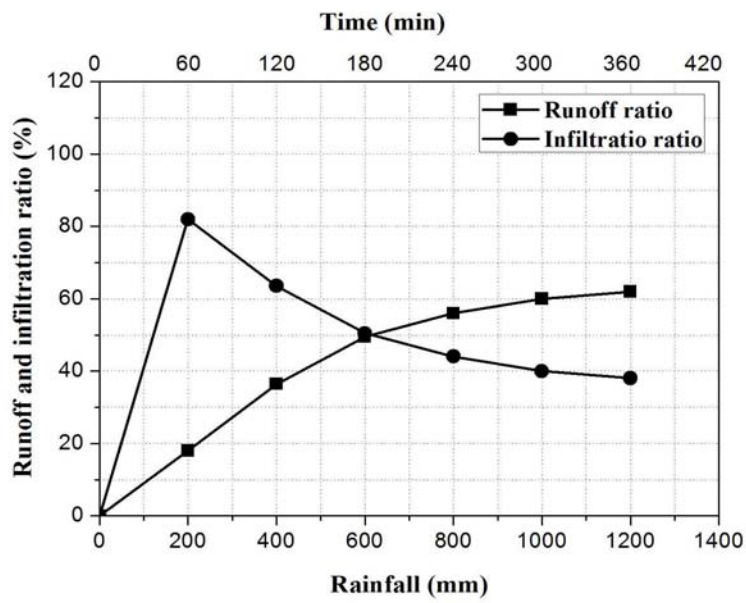


그림 3.3.38 블록 포장 모형에서 강우에 따른 침투율

다. 우수침투형 Green Block 포장의 중금속 흡착 특성

(1) 용출시험

재생골재는 콘크리트 구조물로서 오랫동안 사용되었던 것을 파쇄 및 세척하여 제조되기 때문에 기존에 적용된 사용 환경에 따라 재생골재의 표면 및 내부에 포함된 물질이 차이가 발생할 수 있다. 특히, 사용 환경이 열악한 곳에 적용된 경우 재생골재 내부에 중금속 등을 포함할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 재생골재를 투수 포장에 활용하기 위해서 우선적으로 재생골재의 중금속 용출 시험 및 재생골재를 활용한 포러스 콘크리트에 대한 중금속 흡착 시험을 실시하였다.

중금속 용출 시험 및 흡착 시험은 국내 폐기물 공정시험법에 따라 실시하였으며, 중금속 함량을 정량적으로 분석하기 위하여 그림 3.3.39에서 보는 바와 같이 감도가 뛰어나고 검출한계가 낮은 유도결합 플라즈마 질량 분석기(ICP-MS : Inductively coupled Plasma/Mass Spectrometer)를 사용하였다.



그림 3.3.39 유도결합 플라즈마 질량 분석기

(가) 재생골재의 용출 시험

5~10mm 및 5~20mm의 재생골재 100g을 pH 5.8 ~ 6.3 범위의 증류수에 시료 용매 1 : 10 (W:V)의 비로 침적하였으며, 그림 3.3.40에서 보는 바와 같이 연속 교반기를 사용하여 200rpm으로 6시간 연속 교반하였다. 교반이 완료된 시료는 0.45 μ m 필터링을 통하여 ICP분석을 실시하였으며, As, Cd, Cr, Cu, Pb에 대한 항목을 분석하

였다. 또한 폴리머 콘크리트에 재생골재를 활용한 경우 폴리머 피복에 의한 재생골재의 용출 특성을 평가하기 위하여 폴리머 피복 유무에 따른 용출 특성을 분석하였다.



그림 3.3.40 교반을 위한 진탕기

(나) 포러스 폴리머 콘크리트의 중금속 흡착 특성

투수 포장에 활용하기 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 중금속 흡착 특성을 평가하기 위하여 포러스 폴리머 블록에 대한 포장체를 구성하여 중금속 흡착 시험을 실시하였다. 포러스 폴리머 블록 포장체는 투수성 블록 포장과 동일한 형태로 구성하기 위하여 아크릴로 제조된 $\varnothing 150\text{mm}$ 의 원통형 관에 입도 조정된 쇄석으로 보조기층을 100mm 높이로 설치한 후, 보조기층 위에 투수쉬트를 20mm로 설치하였다. 또한, 투수쉬트 위에 30mm의 받침모래층을 포설한 후 $\varnothing 150\text{mm} \times 80\text{mm}$ 의 블록을 받침 모래층 위에 타설하여 포장체를 완성하였다. 중금속 흡착 시험을 위한 원액은 교내에서 배출되는 하수를 채취하여 사용하였으며, 채취된 원액을 포장체 상부에서 투입하여 보조기층을 통과시킨 후 다시 채취하여 분석하였다. 또한, 포러스 폴리머 블록에 사용된 골재 크기 및 블록 높이에 따른 중금속 흡착 특성을 비교하기 위하여 재생골재 크기 5~10mm, 5~20mm 및 블록 높이 60mm, 80mm에 대한 시험을 실시하였으며, 용출시험과 동일한 As, Cd, Cr, Cu, Pb 항목에 대하여 분석을 하였다.

(2) 재생골재의 중금속 용출 특성

그림 3.3.41은 재생골재의 중금속 용출 특성을 보여준다 (5-10-N은 피복되지 않은 5~10mm 골재를 나타내며, 5-10-P는 피복된 골재를 의미한다). 폴리머로 피복되지 않은 재생골재의 중금속 용출에서 모든 항목에 대한 중금속 용출이 크게 나타나지 않는 것을 알 수 있었으며, 골재 크기에 따른 용출 특성도 거의 유사한 경향을 나타내었다. 재생골재가 표면에 시멘트 페이스트 등이 부착되어 있는 경우가 많지만 콘크리트 특성상 투수성이 크지 않기 때문에 사용 환경이 열악한 곳에 장기간 노출되어 있더라도 외부로부터 중금속 등의 침투 및 용해가 쉽지 않기 때문에 이를 파쇄한 재생골재 또한 중금속 용출 및 함량이 크지 않은 것으로 판단된다. 또한 폴리머로 피복된 재생골재는 불투수성의 불포화 폴리에스테르 수지가 골재를 완전히 피복함에 따라 중금속 용출이 억제되어 피복되지 않은 재생골재 보다 중금속 용출이 감소하는 것으로 나타났다. 재생골재 자체도 중금속 용출이 기준 규제치 보다 작을 뿐만 아니라 폴리머 콘크리트에 활용할 경우 중금속 용출이 감소되는 것을 고려할 때 폴리머 콘크리트의 골재로서 활용할 경우 친환경적 건설재료의 확보 측면에서 매우 유리할 것으로 개대된다.

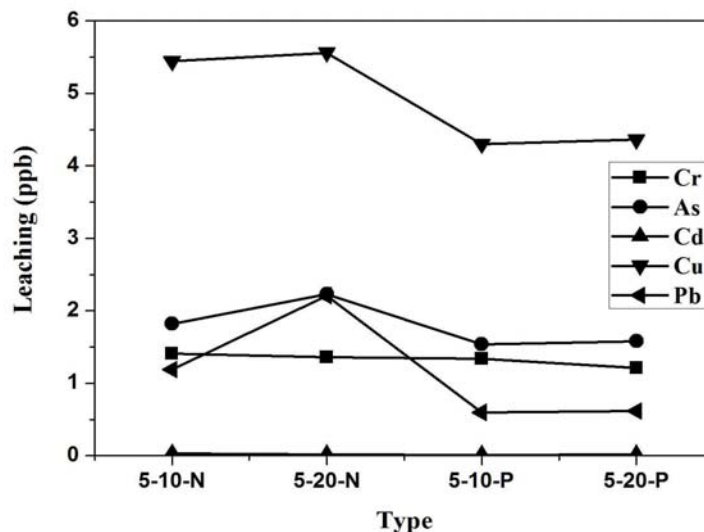


그림 3.3.41 재생골재의 용출 특성

(3) 포러스 폴리머 블록에서 중금속 흡착 특성

그림 3.3.42는 재생골재를 활용한 포러스 폴리머 콘크리트에서 폐수 원액에 대한 중금속 흡착 특성으로 보여준다 (5-10-60은 5~10mm 골재를 사용한 60mm 블록을 의미한다). 그림 3.3.42에서 보는 바와 같이 폐수 원액의 중금속 함량에 비하여 골재 크기 및 블록 높이에 관계없이 중금속 함량이 감소되는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 폐수 원액에 함유된 중금속이 포러스 구조의 폴리머 콘크리트 및 블록 하부 보조기층을 통과하면서 골재 표면에 일부 흡착됨으로서 중금속 함량이 감소되는 것으로 판단된다. 포러스 폴리머 콘크리트의 투수 포장 적용시 우수와 함께 중금속 등을 함유한 지표면의 이물질이 투수 블록을 통과하여 지반으로 유입되고 결국 지하수에 도달할 수 있기 때문에 투수 블록 포장체에서 중금속 흡착 특성은 중요한 의미를 갖는다.

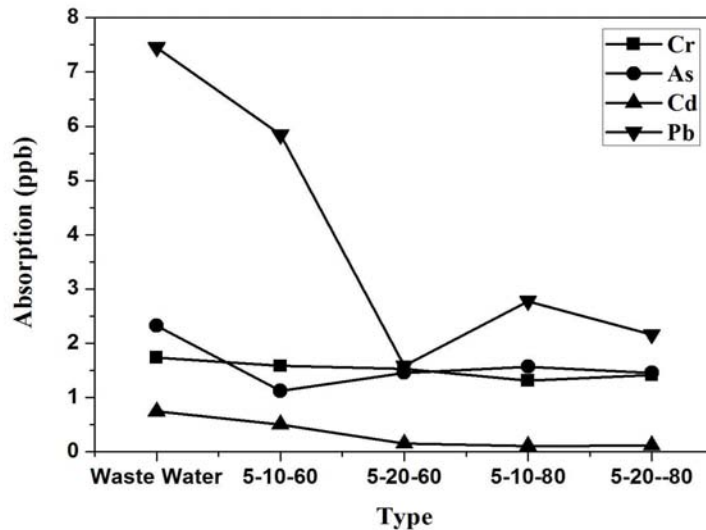


그림 3.3.42 포러스 폴리머 콘크리트의 중금속 흡착 특성

제 4 절 녹색공간 조성을 위한 식생 Green Block 내 식생 특성

1. 서론

최근 환경문제가 사회 전 분야에서 크게 대두되면서 건설분야에서도 친환경건설 공법 및 건설재료 개발에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 지구상의 자원 및 환경보전의 유한성을 고려해 볼 때 생태계를 파괴하지 않고 지구 환경과 조화를 이루는 재료의 개발 및 사용이 절실히 요구된다. 특히 콘크리트 분야에서 환경을 고려한 콘크리트를 Eco-concrete라 하며, 환경보존에 의한 환경부하저감에 기여할 수 있는 환경부하저감형 콘크리트와 지구 환경과의 조화 및 생물의 종 다양성 확보 등의 생물대응형 콘크리트로 구분된다. 환경부하저감을 위한 콘크리트의 혼화재료로는 플라에 애시 및 고로 슬래그 미분말 등이 사용되며 인간과 자연과의 조화를 위한 생물대응형 콘크리트에는 포러스 콘크리트의 공극을 활용한 식생콘크리트가 가장 대표적이다 (성찬용 등, 2003).

식생콘크리트는 내부에 연속된 공극을 다량으로 함유한 포러스 콘크리트의 공극을 통하여 식물이 뿌리를 내리고, 보수성 충전재를 사용하여 수분과 영양분을 공급할 수 있다. 포러스 콘크리트의 상부에 객토를 실시하여 씨앗이 발아될 수 있도록 하며, 포러스 콘크리트 내부의 연속된 공극을 통하여 물과 공기 등이 자유롭게 이동할 수 있을 뿐만 아니라 비교적 큰 연속공극을 함유하고 있어 식물의 뿌리 및 작은 생물이 서식할 수 있는 공간을 제공한다. 식생콘크리트는 자연친화적이면서 동식물의 서식처 제공 등의 생태 및 환경보호가 가능한 것으로 알려져 있다 (박승범 등, 2000; 성찬용 등 2003).

식생콘크리트는 한국에서 최근 도시의 환경오염과 도심 열섬화 그리고 생태적 문제를 해결할 수 있는 대안으로 옥상녹화에 이용되고 있으며, 대지의 부족 및 높은 토지가격 등으로 충분한 녹지공간을 확보하기 힘든 한국의 실정을 고려할 때 도심에서 쓸모없이 버려진 옥상공간을 활용한다는 중요한 의미를 가진다. 또한, 도심하천의 수변공간은 생태적 전이지역으로 환경오염 저감, 생물서식 공간 제공, 친수공간으로서의 레크리에이션 공원, 경관형성, 정서함양 등의 공공성이 높은 도시지역의

주요 공간중 하나이다. 최근에는 친환경 하천 보전 및 복원 산업이 부각되면서 다양한 생물이 서식할 수 있는 생태적 공간 조성을 위하여 식생 호안 블록이 활용되고 있다.

식생콘크리트의 모체가 되는 포러스 콘크리트는 시멘트를 결합재로 사용한 포러스 시멘트 콘크리트가 주로 사용되고 있다. 그러나 골재와 골재의 결합에 의해 강도 발현을 하는 포러스 콘크리트의 구조 특성상 결합재로 사용되는 시멘트의 낮은 결합력에 의하여 강도, 내약품성 및 동결융해저항성과 같은 내구성이 저하되는 단점을 내포하고 있다. 또한 시멘트의 수화반응에 의하여 포러스 시멘트 콘크리트의 pH가 강알칼리성을 나타내어 식물의 생장에 저해요인이 되며, pH 저감을 위하여 중성화 처리 등의 별도 작업이 요구된다 (박승범 등, 2010).

한편, 건설기술의 비약적인 발전으로 구조물의 대형화 및 고층화 등 사용환경이 점차 확대됨에 따라 새로운 건설재료에 대한 인식이 대두되면서 고분자 재료인 불포화 폴리에스테르 수지를 활용한 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 폴리머 콘크리트는 일반 시멘트 콘크리트에 비하여 강도 뿐만 아니라 내마모성, 내충격성, 내약품성 및 내동결융해성 등과 같은 내구성이 매우 우수한 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구는 결합력이 높은 불포화 폴리에스테르 수지와 쇄석을 활용한 포러스 폴리머 블록에 식생을 적용한 식생 폴리머 블록을 개발하여 하천의 호안 및 사면의 녹화 공법에 활용하기 위한 것이다. 본 연구에서는 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률 및 압축강도 특성과 포러스 폴리머 블록에 한지형 잔디 및 초본식물의 식재를 통한 식생 폴리머 블록에서의 식물의 초기 발아 및 성장 특성에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 사용재료

식생 블록 제조를 위한 포러스 콘크리트는 구조상 결합재에 의해 피복된 골재와

골재의 맞물림에 의해 강도 발현이 되기 때문에 결합력이 높은 결합재를 사용하는 것이 포러스 콘크리트의 구조적 안정성을 높이는데 중요하다. 결합재로는 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있는 올소타입의 불포화 폴리에스테르 수지를 사용하였으며, 이에 대한 일반적 특성은 표 3.4.1과 같다. 굵은골재는 골재 크기에 따른 공극률, 강도 특성 및 식생 블록 내에서 식물의 생장 특성을 평가하기 위하여 5~10mm 및 5~20mm의 쇄석 및 재생골재를 사용하였으며, 이에 대한 물리적 성질은 표 3.4.2와 같다. 또한, 결합재의 점성 및 결합재와의 페이스트로 골재와 골재의 결합력을 증가시키기 위한 충전재로는 비교적 가격이 저렴한 중질탄산칼슘을 사용하였으며, 이에 대한 물리적 특성은 표 3.4.3과 같다.

포러스 폴리머 콘크리트에 식생 적용을 위한 품종은 녹화시 피복 밀도가 높으며, 초기 생육속도가 우수하여 한국에서 비탈면 시공에 많이 사용되는 잔디와 초본식물을 적용하였다. 잔디로는 내한성과 내서성이 우수하여 광범위한 토양 조건에 잘 적응하는 한지형 잔디로서 톨웨스큐와 페레니얼 레이그라스를 선정하였으며, 초본식물로는 산기슭이나 강가의 모래 및 땅에서 자라는 다년 초본식물로서 난지형 자생 식물인 알팔파를 선정하였다. 또한 포러스 폴리머 블록 내에서 식물의 종류에 따른 특성을 평가하기 위하여 각각의 식물을 단일 파종하였다.

표 3.4.1 불포화 폴리에스테르 수지의 물리적 특성

Specific gravity at 20°C	Viscosity at 20°C (poise)	Styrene content (%)	Acid value
1.12	3.5	37.2	26.5

표 3.4.2 골재의 물리적 특성

Type	Size (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M	Bulk density(kg/m3)
Crushed	5~10	2.64	1.25	6.72	1,581
	5~20	2.64	1.25	6.94	1,544
Recycled	5~10	2.62	1.87	6.49	1,562
	5~20	2.62	1.87	6.83	1,555

표 3.4.3 충전재의 물리적 특성

Type	Specific gravity (20°C)	Specific surface (cm ² /g)	Grain size (mm)	Color
CaCO ₃	2.92	3,150	< 0.15	White

나. 공시체 제작

식생 적용을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률, 강도 및 내구성 등에 영향을 미치는 가장 중요한 요소는 사용되는 결합재량으로서, 결합재량이 많으면 폴리머가 골재를 피복한 후 여분의 결합재에 의해 공극이 채워지고, 바닥면의 공극 막힘 현상에 의하여 연속적인 공극 형성이 곤란하여 식물의 뿌리가 관통할 수 없으며, 식생 블록으로서의 기능을 할 수 없게 된다. 또한 포러스 폴리머 콘크리트 블록 내 식생 적용시 한지형 잔디 및 자생 식물의 뿌리가 관통할 수 있도록 충분한 연속 공극률을 확보하는 것이 중요하다. 그림 3.4.1은 식생콘크리트의 모식도이다.

본 연구에서는 포러스 폴리머 콘크리트에 식생 적용 후 식물의 뿌리가 블록 내 공극을 통하여 지반에 활착될 수 있는 공극 규모를 가질수 있도록 설계하였으며, 식물의 장기 생장으로 활착된 뿌리에 의한 블록 내 골재의 탈락 및 공극의 파괴 등이 발생하지 않도록 18MPa 이상의 압축강도가 발현되도록 결합재량에 따른 굵은골재량 및 충전재량을 조절하였다. 또한, 결합재량은 공시체 제작시 흘러내림이 발생하지 않는 범위에서 전체 중량의 7~8.5%를 사용하였으며, 경화제는 공시체 제작시 28~32°C의 실외 온도 및 제작 시간을 고려하여 결합재 중량의 1%를 사용하였다. 표 3.4.4는 결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 배합설계를 보여준다. 포러스 폴리머 콘크리트의 혼합은 충전재 및 골재를 투입하여 건비빔한 후 불포화 폴리에스테르 수지를 투입하여 약 3분간 고속믹서기로 혼합하여 결합재가 골재를 충분히 피복할 수 있도록 하였으며, 피복된 골재를 몰드에 타설하여 진동기에 의한 진동 다짐을 1분간 실시하였다. 또한, 성형된 몰드는 3시간 후 탈형하여 28±1°C의 양생실에서 재령 7일 동안 양생하였다.

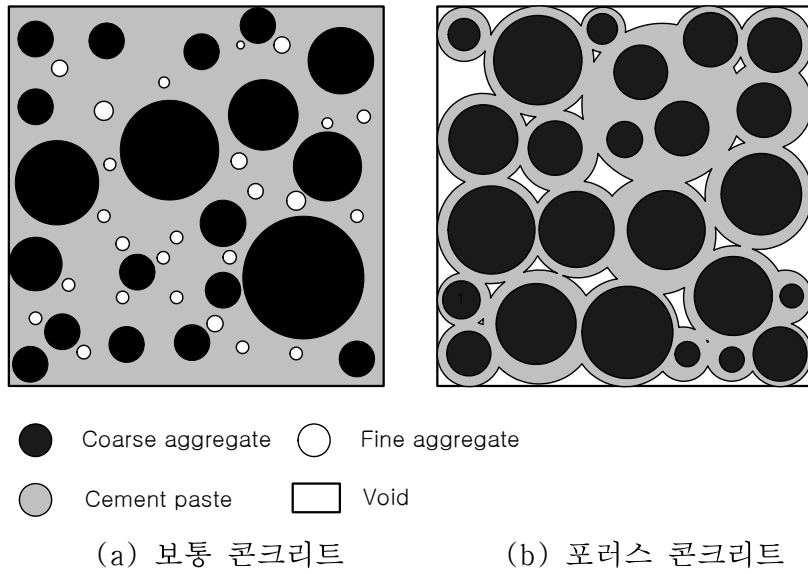


그림 3.4.1 식생콘크리트의 모식도

표 3.4.4 포러스 폴리머 콘크리트의 배합설계 (단위 : 중량.%)

Mix Type	Aggregate	Gmax (mm)	Binder	Aggregate	Filler
			Unsaturated polyester resin	Coarse	CaCO ₃
CPC(10)* CPC(20)	Crushed	10, 20	7	86	7
			7.5	85.5	7
			8	85	7
			8.5	84	7.5
RPC(10)** RPC(20)	Recycled	10, 20	7	86	7
			7.5	85.5	7
			8	85	7
			8.5	84	7.5

* CPC(10) : porous polymer concrete used 5-10mm size of aggregate

** RPC(10) : porous polymer concrete used 5-20mm size of aggregate

다. 식생블록 제작

포러스 폴리머 블록 제작을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 배합은 식생 적용 후 뿌리의 활착을 위한 공극 확보와 활착에 따른 골재의 저항성 및 경제성을 고려하여 표 3.3.4의 배합설계 중에서 7.5%의 결합재량 및 5~20mm의 골재크기를 사용한 배합을 선정하였으며, 표 3.4.5는 식생 폴리머 블록의 배합설계를 보여준다.

표 3.4.5 식생 폴리머 블록의 배합설계 (단위 : 중량.%)

Mix Type	Aggregate	Gmax (mm)	Binder	Aggregate	Filler
			Unsaturated polyester resin	Coarse	CaCO ₃
CPPC(20)*	Crushed	20	7.5	85.5	7
RPPC(20)**	Recycled	20	7.5	85.5	7

* CPPC(10) : planting polymer concrete used 5~20mm size of crushed aggregate

** RPPC(10) : planting polymer concrete used 5~20mm size of recycled aggregate

또한, 식생 적용을 위한 식생 폴리머 블록의 단면은 식생 후 발아율, 피복도 및 식물의 성장 특성 등의 평가가 용이하도록 24×24cm의 크기로 하였으며, 블록의 높이는 식생 적용 후 식물의 뿌리가 고착되어 성장할 수 있는 필요 공간을 평가할 수 있도록 5, 10 및 15cm의 세 종류로 하였다. 그림 3.4.2는 식생 적용 전 식생 폴리머 블록을 보여준다.

식생 폴리머 블록 위에 씨앗을 파종하기 전 식생 폴리머 블록에 진동기로 배양토를 충전하여 식물의 뿌리 근입시 영양분 및 수분을 공급할 수 있도록 하였으며, 배양토가 충전된 블록 위에 배양토를 1cm로 포설하여 씨앗 파종시 씨앗의 유실을 방지하고 수분의 함유율을 높여 발아가 원활히 진행될 수 있도록 하였으며, 파종량은 발아율 및 식물의 성장에 따른 피복도를 고려하여 블록 한 개당 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스는 1.2g 및 알팔파는 0.9g으로 하였다. 식생 적용 후 초기 2개월은

외부온도 분포가 식물의 생육에 적정한 것으로 판단되어 포러스 폴리머 블록을 실외에 설치하였으며, 3개월부터는 실외온도가 낮아져 잔디 및 초본식물이 고사할 수 있으므로 비닐하우스에 포러스 폴리머 블록을 설치하여 지속적인 생육이 가능하도록 하였다. 그림 3.4.3은 식생 적용 후 초기 2개월 동안 실외 온도 분포를 보여준다. 또한, 적용된 씨앗의 발아 및 생육을 촉진하기 위하여 충분한 수분을 공급하였다. 씨앗의 발아 및 초기 생육 상태를 매일 육안으로 관측하여 초기 발아율, 성장량(지상부 및 지하부) 및 피복도를 측정하였다. 그림 3.4.4 및 그림 3.4.5는 씨앗이 파종된 식생 블록의 실외 모습과 비닐하우스 내 식생 블록 모습을 보여준다.



그림 3.4.2 식생 적용 전 포러스 폴리머 블록

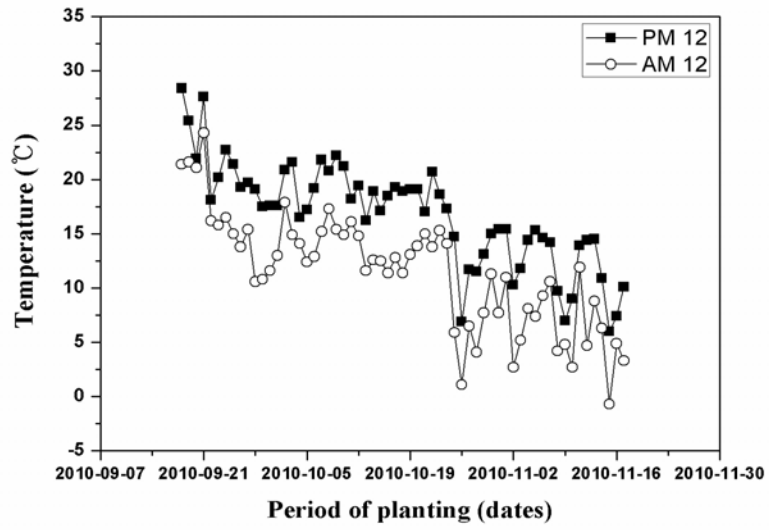


그림 3.4.3 식생 적용 후 초기 2개월의 실외온도 분포



그림 3.4.4 식생이 적용된 식생 폴리머 블록 모습



그림 3.4.5 비닐하우스 내 식생 폴리머 블록 모습

라. 시험방법

(1) pH

포러스 폴리머 콘크리트의 식생 적용을 위한 pH 특성을 분석하기 위하여 재령 7 일된 포러스 폴리머 콘크리트 시편에 대하여 Todddk사의 휴대용 pH 측정기인 HP-20P를 사용하여 pH를 측정하였다.

(2) 공극률 및 압축강도

포러스 폴리머 콘크리트의 공극률 시험은 일본 에코콘크리트 연구위원회의 포러스 콘크리트의 공극률 시험방법(안) 중 용적법에 의하여 측정하였으며, 다음 식(1)에 의하여 산출하였다.

$$V_0 = \left[1 - \frac{(W_2 - W_1)}{V} \right] \times 100 \quad (1)$$

여기서, V_0 : 공극률(%)

W_1 : 수중에서의 공시체 중량(g)

W_2 : 기건 양생한 공시체의 중량(g)

V : 공시체의 체적(cm^3)

압축강도 시험은 $\varnothing 75 \times 150mm$ 의 공시체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2481 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 130kgf/s의 속도로 하중을 재하하여 측정하였다.

(3) 발아, 피복도 및 성장길이

식생 폴리머 블록에서 식물의 성장 특성을 분석하기 위하여 발아율, 피복도 및 성장량 등을 파종 후 6개월 동안 측정하였다. 발아율 및 피복도는 육안으로 관찰하여 블록의 높이 및 식물의 종류에 따른 생육 특성을 분석하였다. 피복도는 시각적 평가방법(visual rating system)을 이용하여 파종 후 4주 간격으로 측정하였다. 시각적 평가방법에 의한 가시적 피복도 평가 시 점수는 발아 직전 피복이 전혀 되지 않은 나지 상태를 1점, 피복이 가장 양호한 상태를 9점으로 하여 1-9점 사이에서 피복도를 평가하였다. 또한, 성장량은 식물의 성장에 따른 지상부의 초장 및 지하부의 뿌리 길이를 직접 측정하여 정량적 평가를 실시하였다 (김경남 등, 2003).

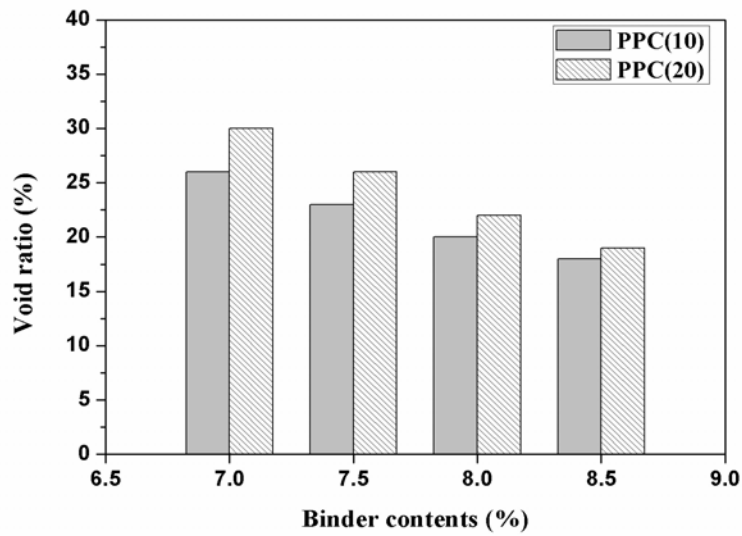
3. 식생 적용을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 역학적 특성

가. 공극률

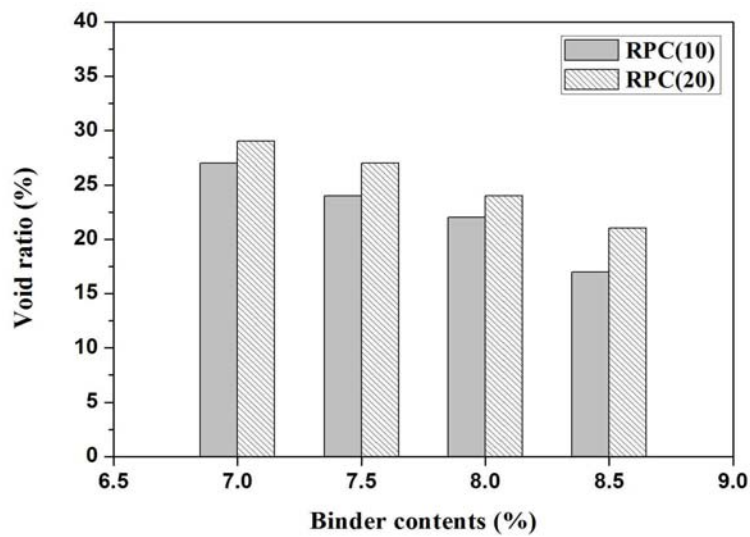
식생 적용을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 공극은 적용된 식물의 뿌리가 블록을 관통하여 원지반에 고착될 수 있도록 연속적인 공극을 형성하는 것이 중요하다.

그림 3.4.6은 결합재량 및 골재 크기에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률을 나타낸다. 쇄석 골재를 사용한 PPC-10 및 PPC-20에서 결합재량이 증가함에 따라 공극률이 크게 감소하는 경향을 나타내었으며, 공극률의 범위는 각각 18~26% 및

19~30%를 나타내어 결합재량이 공극률에 미치는 경향이 큰 것을 알 수 있다. 한편, 재생골재를 사용한 RPC-10 및 RPC-20에서 공극률의 범위는 각각 17~24% 및 21~29%를 나타내어 쇄석을 사용한 경우와 거의 유사한 공극률을 나타내었다. 또한, 골재 종류에 관계없이 5~20mm 골재를 사용한 경우가 5~10mm크기의 골재를 사용한 배합에 비하여 공극률이 다소 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 여분의 결합재가 발생하지 않도록 충전재를 증가시킴으로서 결합재와 충전재로 구성된 페이스트가 증가하여 골재의 피복 두께를 증가시켰기 때문이라 판단된다. 반면에 결합재량이 증가할 경우 충전재와 함께 골재를 완전 피복하는데 소요되는 결합재를 제외한 여분의 결합재는 공시체 제작시 흘러 내림에 의해 공극의 막힘 현상을 발생시킬 수 있다. 또한, 박승범 등(2002)은 동일한 입도의 경우 페이스트골재비가 증가함에 따라 상대적으로 시멘트 페이스트량이 증가함으로서 공극이 감소하여 공극률이 감소한다는 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다. 한편, 노병철 등(2007)의 불포화수지를 사용한 투수 콘크리트에서 결합재량 및 골재 크기에 따라 공극률이 23~38%의 범위를 나타낸 것에 비하여 공극률이 다소 낮게 나타났다. 이러한 결과는 김무한 등(2000)의 골재의 입형이 양호할수록 시험체 제작시 밀실하게 채워지고 이로 인해 공극률의 차이가 발생하며 골재의 입형이 공극률 형성에 영향을 미친다는 연구 및 박승범 등(2002)의 동일한 페이스트 골재비에서는 골재 입도가 작을수록 골재의 실적률이 증가하여 공극률이 감소한다는 연구와 유사한 경향을 나타내었다.



(a) PPC



(b) RPC

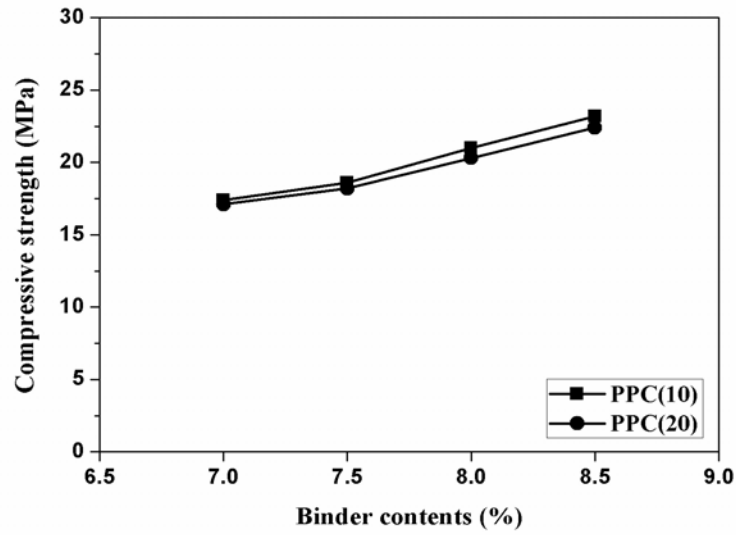
그림 3.4.6 식생 적용을 위한 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률

나. 압축강도

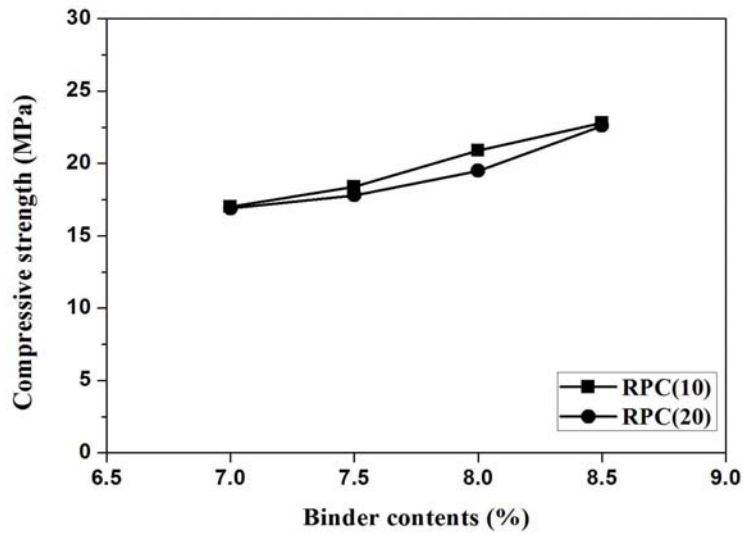
포러스 폴리머 콘크리트의 압축강도는 포러스 콘크리트의 구성 특성상 시멘트 및 골재의 미세구조에 의하여 강도를 발현하는 일반 콘크리트와는 달리 골재와 골재의

결합력에 좌우되기 때문에 사용되는 결합재의 부착 특성이 강도 발현에 영향을 크게 미치는 것으로 알려져 있다. 그림 3.4.7은 쇄석 및 재생골재를 사용한 포러스 폴리머 콘크리트의 결합재량 및 골재 크기에 따른 압축강도를 나타낸다. 쇄석을 사용한 포러스 폴리머 콘크리트(PPC-10)에서 결합재량이 증가함에 따라 압축강도는 다소 증가하는 경향을 나타내었으며, 결합재량에 따른 압축강도는 17.3~23.2MPa의 범위를 나타내었다. 결합재량이 7%인 배합에서의 압축강도는 17.3MPa로 목표 압축강도인 18MPa에 도달하지 못하는 것으로 나타나 결합재량은 7% 보다 높은 값에서 결정되어야 할 것으로 판단된다. PPC-20에서의 압축강도는 포러스 폴리머 콘크리트(10)에서와 마찬가지로 결합재량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며, 결합재량에 따른 압축강도는 17.1~22.4MPa의 범위를 나타내어 골재 크기가 작을수록 동일 결합재량에서 압축강도는 다소 큰 것으로 나타났다. 한편, 재생골재를 사용한 RPC-10 및 RPC-20에서 결합재량에 따른 압축강도는 17~22.8MPa 및 16.9~22.6MPa의 범위를 나타내어 쇄석을 사용한 포러스 폴리머 콘크리트와 거의 유사한 경향을 나타내었다.

또한, 골재 크기에 관계없이 압축강도가 증가함에 따라 공극률은 감소하는 경향을 나타내어 상반관계가 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 포러스 폴리머 콘크리트의 경우 골재와 골재의 결합력에 의해 강도가 좌우되기 때문에 골재의 피복 두께가 증가할수록 강도가 높은 반면에 공극의 크기 및 공극률은 감소하게 된다.



(a) PPC



(b) RPC

그림 3.4.7 골재 종류 및 크기에 따른 포러스 폴리머 콘크리트 압축강도

다. pH

식물이 생육하기 위한 pH는 식물의 품종에 따라 다르지만 일반적으로 중성 토양 부근에서 식물의 생육이 유리한 것으로 알려져 있다. 쇄석 및 재생골재를 사용한 포러스 폴리머 콘크리트의 pH 시험결과 골재 종류에 관계없이 6~8 범위의 pH를 나타내어 식생 적용이 가능한 것으로 나타났다. 포러스 폴리머 콘크리트의 경우 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지가 열경화성 수지로서 경화 후 분자의 재배열 등의 변화가 발생되지 않을 뿐만 아니라 경화된 물질이 용출되거나 피복된 골재 및 충전재로부터 용출이 발생되지 않기 때문에 pH 변화가 없는 것으로 판단된다. 반면에 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지에 의한 완전한 피복이 이루어지지 않을 경우 내부 골재 및 충전재로부터의 용출이 발생할 수 있기 때문에 공시체 제작시 충분한 혼합에 의하여 적절한 피복이 이루어질 수 있도록 주의를 기울여야 한다.

한편, 다공성 시멘트 콘크리트의 경우 시멘트의 주성분인 C_2S 및 C_3S 에 의한 수화 반응시 발생하는 수산화칼슘으로 높은 pH를 나타내기 때문에 이인산암모늄 등으로 중성화 처리 후 식생을 적용한다. 반면에 포러스 폴리머 콘크리트는 pH 저감을 위한 중성화 처리 과정이 필요하지 않기 때문에 pH 측면에서 식생 적용이 매우 유리한 것으로 나타났다 (박승범 등 2002; 성찬용 등, 2002).

4. 식생 폴리머 블록 내 식생 특성

가. 발아율

쇄석 및 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 톨웬스큐 및 페레니얼 레이그라스를 파종한 경우 블록의 높이와 관계없이 약 4~6일에 초기 발아가 시작되었으며, 초기발아율은 각각 약 65% 및 60%를 나타내어 골재 종류에 관계없이 발아속도 및 발아율이 양호한 것을 알 수 있다. 식생 폴리머 블록에서 일반 토양이 아닌 식생 폴리머 블록에서의 식생 적용임에도 불구하고 높은 초기 발아율을 나타낸 것은 식생 폴리머 블록 위에 배양토를 포설함으로써 파종 초기에 씨앗이 폴리머 콘크리

트와 직접 접촉하는 것을 피하였을 뿐만 아니라 씨앗이 발아할 수 있는 여건을 충분히 조성하였기 때문으로 판단된다. 이러한 결과는 일반 토양에서 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스를 파종한 경우 품종, 발아조건 및 생육환경에 따라 각각 6~9일 및 5~6일에서 초기발아율이 약 70% 이상 도달한다는 김경남 등(2003)의 연구 결과와 거의 유사한 경향을 나타낸다. 따라서, 한지형 잔디인 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 발아속도 및 발아율이 켄터키 블루 그라스 및 추잉 그라스와 같은 다른 외래 잔디에 비하여 늦기 때문에 식생 블록을 활용한 하천 호안 및 사면 녹화 공법에 매우 유리할 것으로 기대된다 (주영규, 1995).

쇄석 및 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 초본식물인 알팔파를 파종한 경우 골재 종류 및 블록 높이에 관계없이 약 5~7일에 초기발아가 시작되어 한지형 잔디인 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스와 유사한 초기 발아시점을 나타내었다. 한편, 알팔파의 초기발아율은 골재 종류 및 블록 높이에 관계없이 70% 이상을 나타내어 초기 발아율이 매우 우수한 것으로 나타났다. 시멘트를 결합재로 사용한 포러스 블록의 경우 식생 적용 전 pH 저감을 목적으로 중성화 처리를 반드시 하여야 하는 반면에 시멘트에 비하여 강도 특성이 매우 우수한 불포화 폴리에스테르 수지를 결합재로 사용한 식생 폴리머 블록에서는 중성화 처리 등의 과정이 생략되기 때문에 발아 측면에서 매우 유리한 것을 알 수 있다.

초본식물인 알팔파의 초기 발아율이 한지형 잔디인 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스와 거의 유사하지만 초본식물의 성장속도가 잔디에 비하여 늦기 때문에 초기발아 시점 및 발아율이 매우 중요하다. 한편, 알팔파가 잔디에 비하여 생육속도는 늦는 반면에 일정 기간 이상 성장할 경우 줄기 및 잎의 생장에 따른 피복 면적이 증가하므로 초기 성장속도가 우수한 한지형 잔디와 혼합하여 파종할 경우 초기 및 장기적 관점에서 녹화에 매우 유리할 것으로 판단된다.

그림 3.4.8 및 그림 3.4.9는 파종 후 2주가 경과한 시점에서 블록 높이에 따른 쇄석 및 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 톨웨스큐, 페레니얼 레이그라스 및 알팔파의 발아 모습을 보여준다(사진의 순서는 좌측으로부터 톨웨스큐, 알팔파, 페레니얼 레이그라스 순). 골재의 종류뿐만 아니라 식생 종류 및 블록 높이에 관계없이 모든 식생 폴리머 블록에서 80% 이상의 높은 발아율을 나타내었다. 블록 높이에

관계없이 유사한 발아율을 나타내는 것을 고려할 때 식생 폴리머 블록에서 발아율과 블록 높이는 상관성이 전혀 없는 것으로 판단된다.

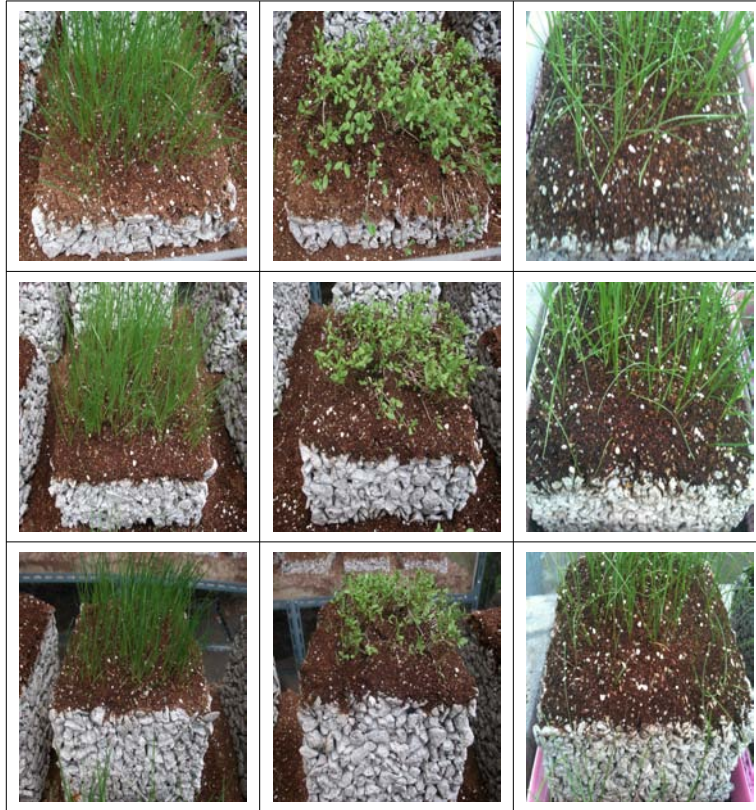


그림 3.4.8 쇄석 골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서의 발아 모습
(파종 후 2주)

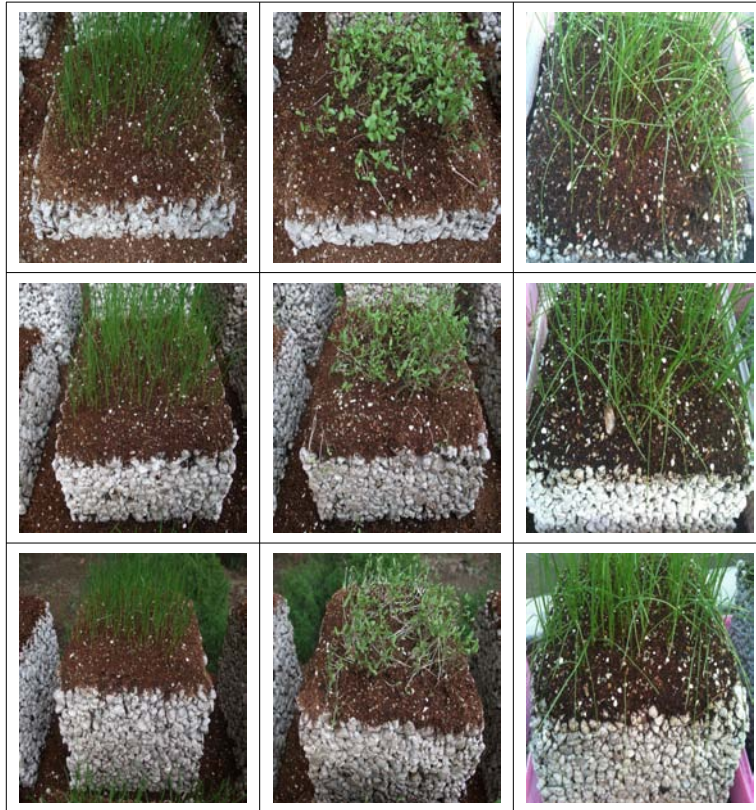


그림 3.4.9 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서의 발아 모습
(파종 후 2주)

나. 피복도

식생 폴리머 블록에서 식물의 종류에 따른 블록 상부에서의 피복도는 시각적 평가방법(visual rating system)을 이용하여 파종 후 4주, 8주 및 12주에 조사하였으며, 1-9점 사이에서 피복도를 평가하였다.

그림 3.4.10 및 그림 3.4.11은 파종 후 4주가 경과한 시점에서 쇠석 및 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 식생 종류 및 블록 높이에 따른 피복도를 보여준다. 쇠석을 사용한 식생 폴리머 블록에서 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스를 파종한 경우의 피복도는 블록 높이에 관계없이 각각 9점 및 8점으로 매우 우수한 피복도를 나타내었다. 또한 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 톨웨스큐 및 페레니얼

레이그라스를 파종한 경우의 피복도는 블록 높이에 관계없이 모두 8점으로 매우 우수한 피복도를 나타내어 재생골재의 사용에 따른 식물의 생장 저해 요인은 없는 것으로 나타났다.

한편, 골재 종류에 관계없이 파종 후 4주가 경과한 시점에서 한지형 잔디의 피복도가 우수하게 나타난 것은 적용된 툴헤스큐 및 페레니얼 레이그라스의 초기 생장속도가 빠를 뿐만 아니라 생육형(growth habit)이 주형(bunch-type, B-type)으로 직립으로 자라기 때문으로 판단된다. 한편, 툴헤스큐는 질감이 거칠은 광엽특성(coarse-textures)과 함께 새로운 잎이 나올 때 엽신의 전개 각도가 넓은 편이어서 잔디면이 북더기 모양(clumpy appearance)으로 조성되기 때문에 페레니얼 레이그라스에 비해 균일도가 떨어질 수 있으므로 이에 대한 고려가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

또한, 알팔파를 파종한 식생 폴리머 블록에서의 피복도는 골재 종류 및 블록 높이에 관계없이 모두 8점을 나타내어 한지형 잔디와 함께 초기 피복도가 매우 우수한 것을 알 수 있다. 알팔파의 경우 한지형 잔디에 비하여 지상부의 초기 생장속도는 늦지만 초기 발아율이 높을 뿐만 아니라 생육시 잎의 면적이 한지형 잔디에 비하여 크게 증가하여 피복도가 매우 우수한 것으로 나타났다. 한편, 자생식물인 알팔파의 경우 생육속도가 잔디 종류에 비하여 늦지만 일반적으로 잔디 종류는 파종 후 약 3개월이면 초장의 성장이 많이 이루어져 피복 면적의 증가율이 둔화되는 반면에 알팔파는 다년생 식물로서 오랜 기간 동안 생장이 계속 이루어지기 때문에 생장 특성이 다른 잔디와 초본 식물을 적절히 혼합하여 파종할 경우 녹화 공법 적용시 매우 유리할 것으로 판단된다.

파종 후 8주가 경과한 시점에서 식생 종류 및 블록 높이에 따른 포러스 폴리머 블록의 피복도는 툴헤스큐, 페레니얼 레이그라스 및 알팔파 등 식생 종류에 관계없이 모두 9점 이상의 높은 피복도를 유지하여 사면녹화, 호안녹화 등 환경친화형 녹화공법에 매우 유리할 것으로 기대된다. 한편, 4계절이 뚜렷한 한국에서는 7~8월 여름의 낮기온이 약 30℃ 이상을 나타내기 때문에 한지형 잔디의 고사에 주의를 하여야 일정 수준 이상의 피복도를 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

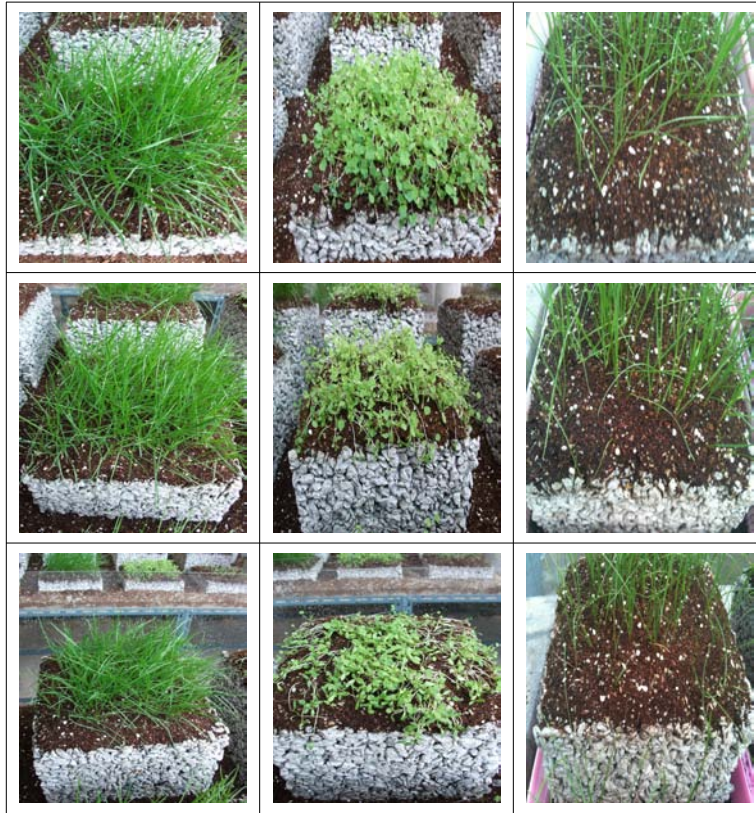


그림 3.4.10 쇠석 골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서의 피복 모습
(과종 후 4주)



그림 3.4.11 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서의 피복 모습
(파종 후 4주)

다. 성장길이

그림 3.4.12 및 그림 3.4.13은 파종 후 4~20주가 경과 시점에서 쇄석 및 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 식생 종류 및 블록 높이에 따른 식물의 지상부 성장 길이를 보여주며, 그림 3.4.14 및 그림 3.4.15는 파종 후 8주가 경과한 시점에서 골재 종류 및 식물의 종류에 따른 성장 모습을 보여준다. 쇄석을 사용한 식생 폴리머 블록에서 파종 후 8주가 경과한 시점에서 툴헤스큐 및 페레니얼 레이그라스의 성장길이는 블록의 높이에 따라 각각 5~7cm 및 9~11cm를 나타내었으며, 페레니얼 레이그라스의 초기 성장속도가 툴헤스큐에 비하여 다소 우수한 것으로 나타났다. 또한 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 파종 후 8주가 경과한 시점에서

톨웬스큐 및 페레니얼 레이그라스의 성장길이는 블록의 높이에 따라 각각 5~8cm 및 8~12cm를 나타내어 쇄석을 사용한 식생 폴리머 블록에서의 식물의 성장 특성과 거의 유사하였다. 이러한 결과는 골재가 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지에 의해 피복되어 골재의 품질에 관계없이 동일한 특성을 나타내기 때문으로 판단된다. 또한 골재의 종류에 따른 공극률이 거의 차이가 없기 때문에 블록을 통과한 뿌리의 근입 특성이 유사하여 지상부의 성장량 또한 유사한 경향을 나타낸 것으로 판단된다. 또한 블록 높이에 따른 초기 성장길어도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 한편, 쇄석 및 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 알팔파를 파종한 후 8주가 경과한 시점에서 알팔파의 성장길이는 블록의 높이에 따라 각각 4~5cm 및 3~5cm를 나타내었으며, 골재 종류 및 식생 블록의 높이에 따른 초기 성장길이는 크게 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 파종 후 8주가 경과한 시점에서는 식물 종류에 관계없이 식물의 뿌리가 블록을 관통하지 못하여 블록 하부에서 영양분을 공급 받지 못하였기 때문으로 생각된다.

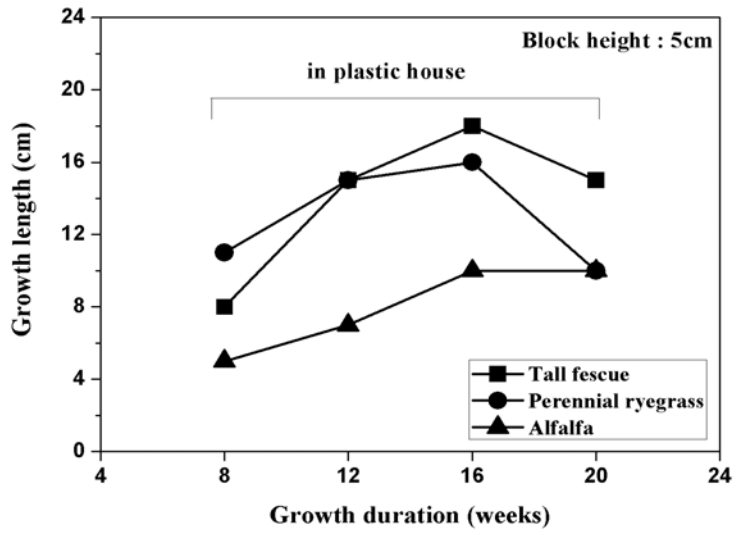
쇄석을 사용한 식생 폴리머 블록에서 톨웬스큐 및 페레니얼 레이그라스를 파종한 후 16주가 경과한 시점에서의 성장길이는 식생 폴리머 블록의 높이에 따라 각각 14~15cm 및 9~15cm를 나타내었으며, 톨웬스큐의 성장길이가 페레니얼 레이그라스의 성장길이에 비하여 증가한 것으로 나타났다. 또한 톨웬스큐를 파종한 포러스 폴리머 블록의 경우 블록 높이에 따른 성장길이가 유사한 반면에 페레니얼 레이그라스를 파종한 포러스 폴리머 블록의 경우 블록의 높이가 증가할수록 생장이 둔화된 것으로 나타났다. 이러한 원인은 페레니얼 레이그라스의 경우 고온에 대한 내성이 톨웬스큐에 비하여 낮기 때문에 파종 후 8주가 경과한 시점에서 비닐하우스 내 온도가 상승하여 일부 고사하는 현상이 발생하였기 때문으로 판단된다 (심규열 등, 2004). 반면에 포러스 폴리머 블록의 높이가 낮은 경우 식물의 뿌리가 블록을 관통하여 블록 하부로부터 영양분을 흡수하여 고온에 대한 내성의 증가로 생장이 촉진된 것으로 판단된다. 한편, 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 톨웬스큐 및 페레니얼 레이그라스를 파종한 후 16주가 경과한 시점에서의 성장길이는 식생 폴리머 블록의 높이에 따라 각각 12~16cm 및 8~14cm를 나타내었으며, 지상부의 성장량이 파종 시점이 경과하면서 증가하는 것을 알 수 있었다.

그림 3.4.16 및 그림 3.4.17은 파종 후 8주가 경과한 시점에서 골재 종류 및 식물의 종류에 따른 성장 모습을 보여준다.

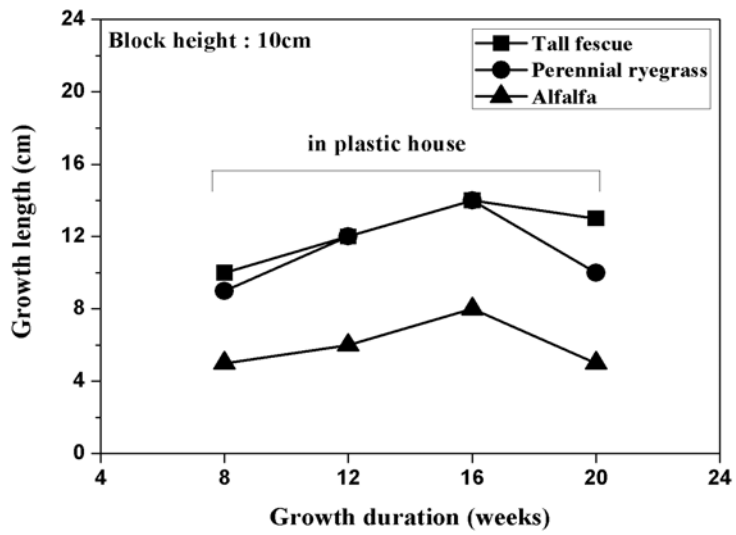
골재 종류에 따른 파종 후 16주가 경과한 시점에서 알팔파의 성장길이는 포러스 폴리머 블록의 높이에 따라 각각 4~9cm 및 5~8cm를 나타내었으며, 식생 폴리머 블록의 높이가 5cm에서 가장 높은 성장길이를 나타내었다. 이러한 결과는 페레니얼 레이그라스의 성장 특성과 마찬가지로 파종 시점이 경과하면서 블록의 높이가 낮은 경우 식물의 뿌리가 블록을 관통하여 블록의 하부 지반에서 영양분을 섭취하기가 수월하였기 때문으로 판단된다.

상기 결과를 고려할 때 파종 후 초기 성장 특성에는 식생 폴리머 블록의 높이가 영향을 미치지 못하지만 장기적인 생장의 경우 블록의 높이가 식물 뿌리의 근입에 중요한 인자가 될 수 있기 때문에 이에 대한 고려가 수반되어야 할 것이다. 또한, 초기 발아 및 생육이 우수한 페레니얼 레이그라스의 경우 개체 줄기 조직이 약해서 병이나 스트레스에 쉽게 약해지는 특성을 가지기 때문에 이에 대한 영향을 고려해야 한다.

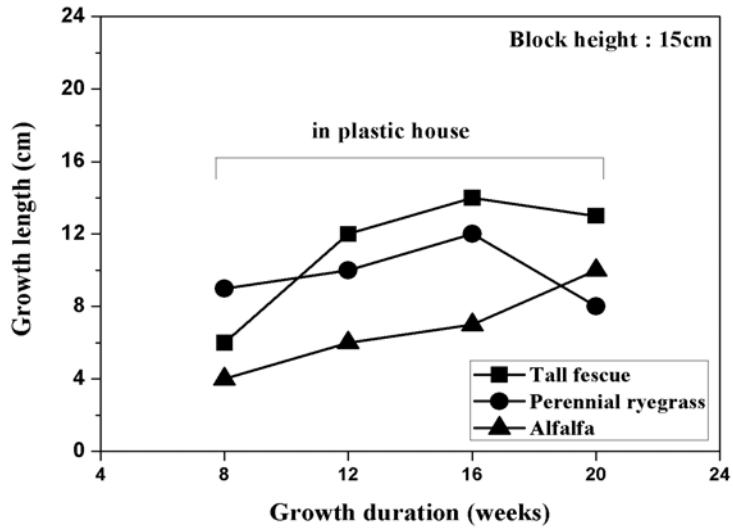
알팔파의 경우 초기 발아 시점 및 발아율은 한지형 잔디와 거의 유사하지만 초기 성장속도가 늦기 때문에 식생 초기에 사면 및 호안 등의 녹화시 피복도를 높이기 위해서는 성장 특성이 우수한 한지형 잔디와의 혼합 파종이 이루어져야 할 것으로 판단된다.



(a) 블록 높이 : 5cm

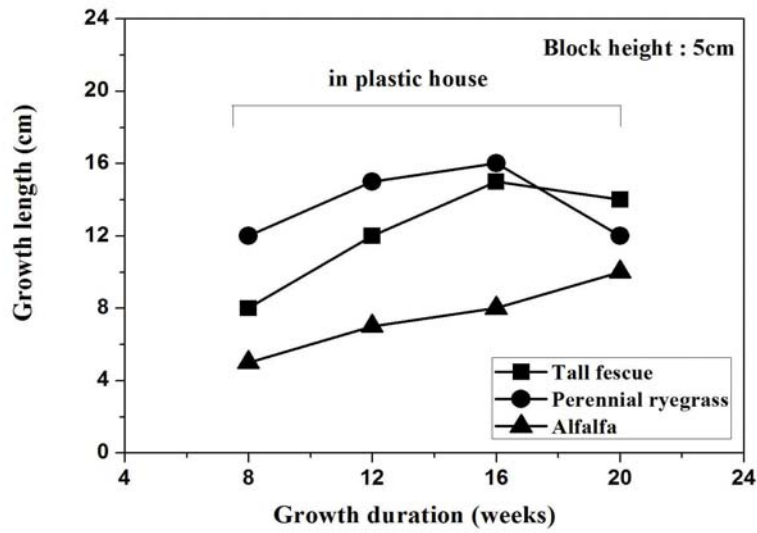


(b) 블록 높이 : 10cm

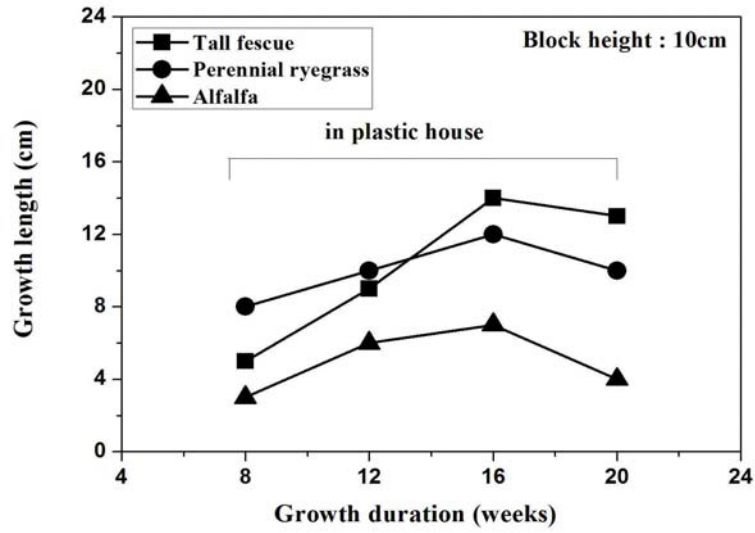


(c) 블록 높이 : 15cm

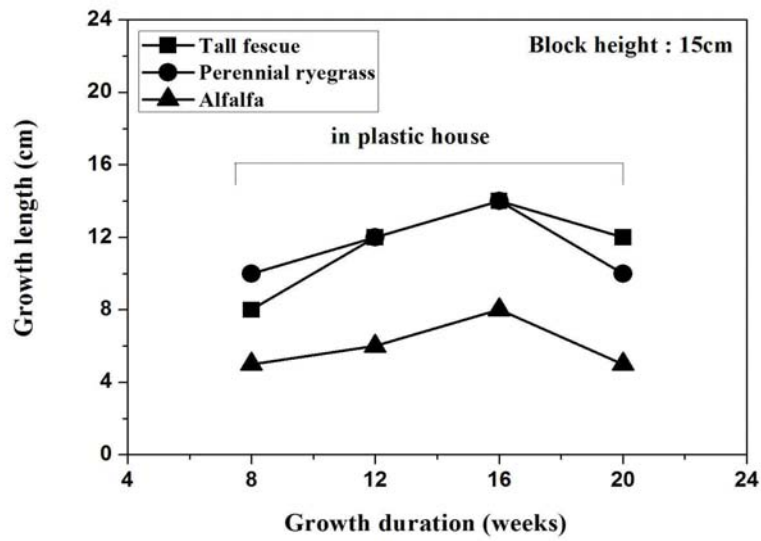
그림 3.4.12 쇠석을 사용한 식생 폴리머 블록에서 식물의 성장 특성



(a) 블록 높이 : 5cm



(b) 블록 높이 : 10cm



(c) 블록 높이 : 15cm

그림 3.4.13 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 식물의 성장 특성



그림 3.4.14 쇠석을 사용한 식생 폴리머 블록에서의 식물의 성장 모습
(파종 후 8주)



그림 3.4.15 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서의 식물의 성장 모습
(파종 후 8주)

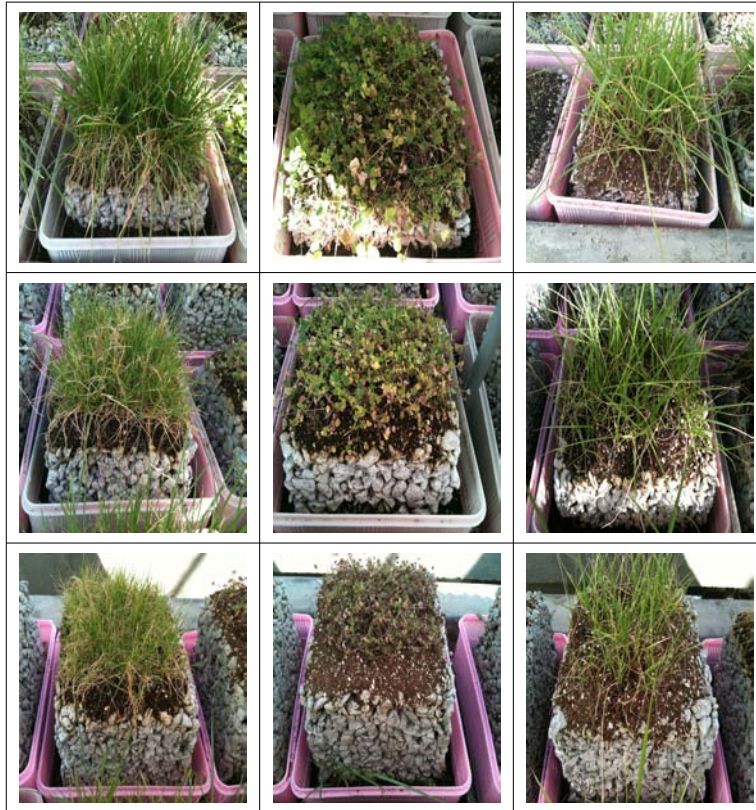


그림 3.4.16 쇠석을 사용한 식생 폴리머 블록에서의 식물의 성장 모습
(파종 후 16주)

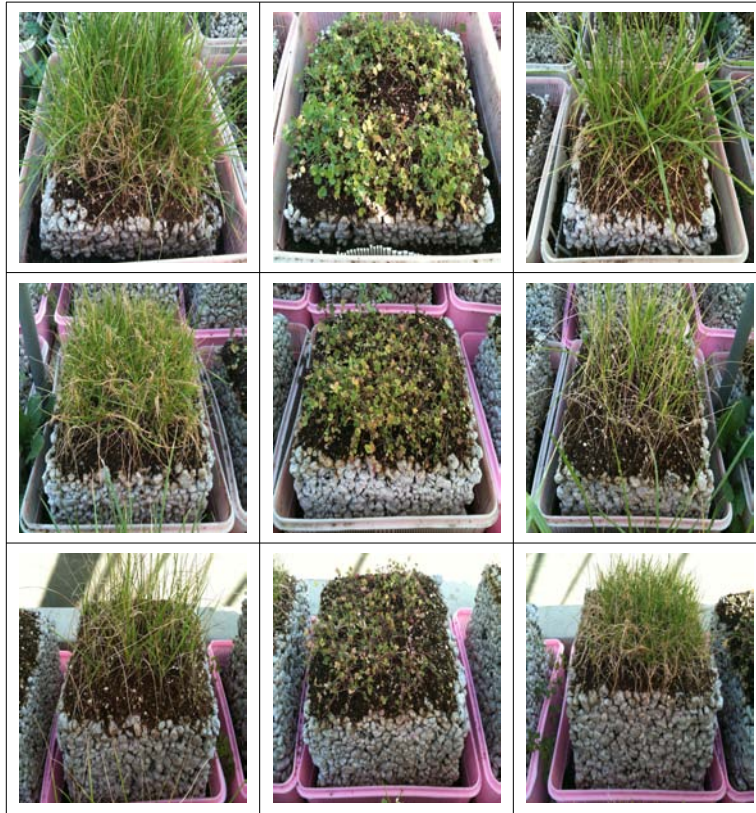


그림 3.4.17 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서의 식물의 성장 모습
(파종 후 16주)

라. 블록을 통과한 뿌리길이

그림 3.4.18 및 그림 3.4.19는 파종 후 8주가 경과한 시점에서 쇄석 및 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 식생종류 및 블록 높이에 따른 식물 뿌리의 모습을 보여준다. 쇄석을 사용한 블록 높이 5cm의 식생 폴리머 블록에 파종한 한지형 잔디인 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 뿌리가 블록을 관통하는 것으로 나타났다. 블록을 관통한 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 뿌리길이는 각각 3cm 및 4cm로 나타났으며, 블록 높이를 고려할 때 전체 뿌리길이는 8cm 및 9cm인 것을 알 수 있다. 한편 알팔파는 한지형 잔디와 달리 블록 높이에 관계없이 뿌리가 아직 관통하지 못하는 것으로 나타나 상대적으로 지상부의 성장속도 뿐만 아니라 뿌리의 성장

속도가 느린 것을 알 수 있다. 또한, 재생골재를 사용한 블록 높이 5cm의 식생 폴리머 블록에서도 쇄석을 사용한 식생 블록에서와 마찬가지로 한지형 잔디인 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 뿌리가 블록을 관통하는 것으로 나타났다. 블록을 통과한 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 뿌리길이는 각각 5cm 및 4cm로 나타났으며, 블록 높이를 고려할 때 전체 뿌리길이는 10cm 및 9cm인 것을 알 수 있다.

한국의 들잔디는 뿌리가 옆으로 자라는 반면에 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스는 뿌리가 가늘며 하향으로 자라기 때문에 블록사이의 공극을 통과하기 유리한 것으로 판단된다. 또한, 높이 5cm 블록에서만 뿌리가 관통한 것은 파종 후 경과시점이 초기이기 때문에 지상부의 생장이 충분하지 않은 것으로 생각된다.

그림 3.4.20 및 그림 3.4.21은 파종 후 20주가 경과한 시점에서 쇄석 및 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 식생종류 및 블록 높이에 따른 블록을 통과한 뿌리의 모습을 보여준다. 쇄석 골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서 5cm의 블록 뿐만 아니라 높이 10cm 블록에 파종한 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 뿌리가 블록을 완전히 관통하는 것으로 나타났다. 높이 5cm 블록을 관통한 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 뿌리길이는 각각 10cm 및 15cm로 나타났으며, 블록 높이를 고려할 때 전체 뿌리길이는 15cm 및 20cm인 것을 알 수 있다. 파종 후 8주에서 통과한 뿌리길이에 비하여 통과한 뿌리길이 뿐만 아니라 뿌리의 규모가 증가한 것을 알 수 있었다. 또한, 높이 10cm 블록을 관통한 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 뿌리길이는 각각 7cm 및 11cm로 나타났으며, 블록 높이를 고려할 때 전체 뿌리길이는 17cm 및 21cm인 것을 알 수 있었다. 또한 재생골재를 사용한 식생 폴리머 블록에서도 5cm의 블록 뿐만 아니라 높이 10cm 블록에 파종한 페레니얼 레이그라스의 뿌리가 블록을 완전히 관통하는 것으로 나타났다. 높이 5cm 블록을 관통한 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 뿌리길이는 각각 14cm 및 12cm로 나타났으며 블록 높이를 고려할 때 전체 뿌리길이는 19cm 및 17cm로 나타났다. 또한 10cm 블록을 관통한 톨웨스큐 및 페레니얼 레이그라스의 뿌리길이는 각각 8cm 및 7cm로 나타났으며 블록 높이를 고려할 때 전체 뿌리길이는 18cm 및 17cm로 나타났다. 재생골재를 사용하였음에도 식생 블록 위의 식물이 지상부 뿐만 아니라 지하부의 뿌리가 블록을 관통하는 것을 고려할 때 재생골재를 친환경 하천 호안, 사면보호 및 조경용 도로

시설물 등에 활용할 수 있는 식생 폴리머 블록의 제조가 가능한 것을 알 수 있다.

한편, 알팔파를 파종한 블록의 경우, 골재 종류에 관계없이 파종 후 8주가 경과한 시점에서는 블록 높이에 관계없이 블록을 관통한 뿌리가 없었지만 파종 후 20주가 경과한 시점에서는 높이 5cm의 블록에서 뿌리가 일부 관통하는 것으로 나타났다.

상기 결과를 고려할 때 뿌리의 성장 특성은 지상부의 성장특성과 유사한 것을 알 수 있으며, 파종 후 시점이 경과하면서 뿌리의 성장속도가 크게 증가하는 것으로 보다 장기적인 성장특성에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다.

한편, 대부분 한지형 잔디들은 초기조성속도는 빠르지만 뿌리가 외부의 물리적 힘에 견딜 수 있는 힘이 작은 반면에 알팔파 및 비수리 등과 같은 자생 식물들은 생육 기간이 증가함에 따라 뿌리의 근계력이 증대되어 이들을 혼합하여 파종할 경우 사면 등에서 토사가 일시에 붕괴되는 것을 막아주는데 효과적인 것으로 알려져 있다.

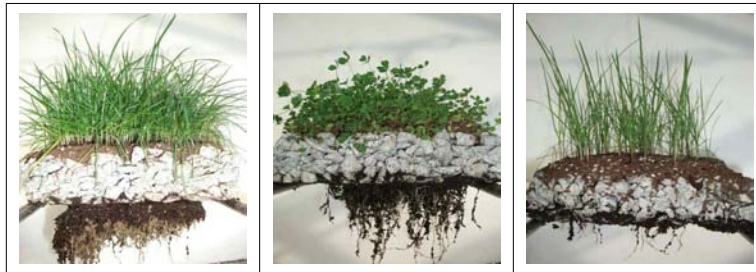


그림 3.4.18 채석을 사용한 5cm 식생 폴리머 블록을 통과한 식물의 뿌리 모습
(파종 후 8주)



그림 3.4.19 재생골재를 사용한 5cm 식생 폴리머 블록을 통과한 식물의 뿌리 모습
(파종 후 8주)



그림 3.4.20 쇠석을 사용한 5cm 및 10cm 식생 폴리머 블록을 통과한 식물의 뿌리 모습 (파종 후 20주)



그림 3.4.21 재생골재를 사용한 5cm 및 10cm 식생 폴리머 블록을 통과한 식물의 뿌리 모습 (파종 후 20주)

제 5 절 Green Block 포장의 현장적용 및 시공법 개발

1. 블록 포장의 정의 및 구성

가. 블록 포장의 정의

콘크리트 블록 포장은 고진동 고가압 방식에 제조된 블록을 보도 및 차도의 표층에 설치하는 공법으로서 1950년대 독일에서 개발되어 사용되어 온 이래, 1960년대에는 중남미와 남아공화국에서 사용되었고 1970년대에는 미국, 호주, 일본에 전파되어 현재 200여종의 블록이 사용되고 있다 (장정희, 2001) 또한, 우리나라는 이면도로, 아파트단지, 광장, 휴게소 및 주차장 등을 중심으로 블록 포장이 이루어지고 있다.

블록 포장은 아스팔트나 콘크리트를 사용한 기존 포장공법과는 시공성 및 사용성에 차이를 나타낸다. 블록 포장은 접근성과 안정성이 요구되는 곳에 적용된 공법으로 뛰어난 공용성과 심미적 아름다움을 제공하는 장점을 가지고 있다. 특히, 종류 및 형상의 다양성, 색상의 다양성 등으로 주변 환경과의 조화를 이루는 친환경적 기능을 가지고 있으며, 시공방법 및 절차 또한 단순하여 포장 후 즉시 교통 개방이 가능한 장점이 있다. 표 3.5.1은 블록 포장과 아스팔트, 콘크리트 포장의 비교를 나타낸다.

반면, 국토 해양부가 발행한 도로통계 연보를 보면 총 국내 도로 포장의 86.4%가 아스팔트 포장으로 대부분을 차지하고 있다. 특히 시도의 경우는 95.5%가 아스팔트 포장으로 시공되고 있어 도로 형식에 대한 고려가 부족한 현실이다. 도심부 도로 포장 역시 대로, 중로, 소로에 대한 형식 선정 기준이 없이 아스팔트 포장이 절대 다수를 차지하고 있어 저속 도로 포장에 대한 또 다른 대안으로 블록 포장을 고려할 시점으로 판단된다 (원홍상, 2010).

표 3.5.1. 블록 포장과 아스팔트, 콘크리트 포장의 비교

구분	블록 포장	아스팔트, 콘크리트 포장
구조적 특징	· 원제품의 블록이 인터로킹 작용에 의해 역학적으로 안전	· 반제품으로 생산, 운반 및 포설 단계에서 변동발생 가능
시공 후 관리	· 유지비 저렴	· 포장재료 수거 후 재사용 불가 · 과하중으로 인한 균열 발생 · 유지비 고가
하자보수	· 재포장시 공사비 최소화 · 부분 교체 보수 가능 · 보수 후 노면 상태 양호	· 재포장시 공사비 과다 책정
재활용 측면	· 지하매설물 설치 및 보수 시 수거 후 재포장 시 사용가능	· 부분 재포장시 색상차로 인한 미관 불량, 재사용 불가
내구성	· 고강도 제조 시 차도, 공항 포장 가능	· 중차량 운행 시 집중하중으로 인한 파손
품질관리	· 공장에서 균일한 품질의 제품 생산	· 품질이 균일하지 못함
시공성	· 대형건설 장비의 불필요 · 동절기 시공에 유리	· 포설기 등 집약적인 장비 필요
미관성	· 다양한 색상으로 미관 및 조경 효과 우수	· 단색으로 인한 미관 효과 없음

나. 블록 포장의 구성

블록 포장은 노상, 보호층, 보조기층, 기층, 받침모래층 및 블록으로 구성된다.

(1) 블록

블록은 유색층과 무색층의 2층으로 제작되며 유색층의 두께는 8mm 이상이어야

한다. 유색층의 원료는 황산철, 염화철, 산화크롬이 주원료로 사용되며 색상은 황색, 적색, 갈색, 흑색 등으로 종류가 다양하다. 시멘트는 KS L 5401에 규정하는 것을 사용하여야 하며, 골재는 내구적이고 적당한 입도를 가지고 있어야 한다. 굵은골재의 최대치수는 13mm 이어야 한다.

(2) 받침층 모래 및 채움모래

받침층은 마무리된 기층 위에 놓이는 층을 말하며, 콘크리트 배합에 사용되는 깨끗한 모래로 구성된다. 비 안정처리 기층이 채택된 경우에는 모래층의 손실을 줄이기 위해 지오테스타일을 설치할 수도 있다. 받침층에 사용되는 모래의 허용입도는 동결이 의심되는 지역의 경우에는 #200체(0.075mm) 통과량을 3% 이하로 제한하고 있다. 또한, 중하중을 받는 지역의 블록 포장의 경우에도 받침층에 실리카를 함유하고 있는 자연사만을 사용함으로써 #200 보다 작은 미세한 재료들은 가급적 피해야 하는데 이 경우 입도가 0.1% 이하가 되도록 규정하고 있다.

과적의 교통하중 하에서 콘크리트 블록 포장의 부분 파괴는 교통하중의 반복 재하에 따라 모래층의 분산에 의한 블록의 이동 및 회전에 의한 경우가 많다. 때문에 모래층 시공 시 동일한 입도를 가져야 한다. 시공 시 40~45mm의 두께를 다짐 없이 펼쳐 놓아야 하는데 콘크리트 블록이 진동에 의해 다짐될 때 마무리되고 이 때 다짐두께가 25mm 이상 되도록 규정하고 있다.

또한, 모래로 채운 줄눈은 블록 포장의 공용성에 매우 중요한 역할을 담당한다. 각각의 블록 사이에 관절액 같은 적당한 활력을 줌으로서 유연성 있는 블록 표면을 구성하는데, 구조적인 맞물림은 응력이 이웃 블록으로 분산 전달되는 역할을 제공한다.

(3) 기층

기층은 포장 구조에 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 흙 시멘트나 린 콘크리트와 같은 고품질의 시멘트 안정처리 재료가 사용될 수 있다. 배수를 위해 최소 2.5%

의 횡단구배를 유지하며, 곡선부의 경우 최소 1.25%의 종단 구배를 유지해야한다. 마무리된 기층 표면의 허용오차는 $\pm 15\text{mm}$ 이다.

(4) 보조기층

아스팔트 포장에서 두꺼운 기층이 필요한 경우 경제적 대안으로 적용되는 이 층은 석회나 시멘트 재료를 이용하여 치환하기도 하지만 대부분은 입상재료로 구성된다. 포장구조의 하부에 위치하여 기층에 작용하는 하중보다 작은 응력을 받으므로 부순돌이나 자연모래, 강자갈 등이 사용된다. 국내의 보조기층에 대한 규정으로 현장에서 다짐된 보조기층 재료는 CBR 값이 최소 30% 이상 되어야 한다. 동결 영향을 받는 경우, 포장의 총 두께는 동결심도 보다 더 두꺼워져야 하는데 이 경우는 보조기층 두께를 증가시켜 경제성을 확보한다.

(5) 노상

노상의 강도는 모든 포장의 설계에서 중요한 요소로 일반적으로는 노상이 약할 경우 포장의 두께를 두껍게 시공하고 있다. 블록 포장에서 노상토의 지지력을 구하는데 널리 사용하고 있는 실험은 CBR 실험으로, CBR 값이 5% 이하인 흙에서는 다양한 공법을 활용하여 교통량에 의해 약해지는 것을 방지하고 있다.

2. Green Block 포장의 현장적용

가. Green Block 포장의 현장 시공 개요

본 연구에서 개발된 다양한 형상의 고강도 및 고내구성의 재생 폴리머 콘크리트를 활용한 Green Block, 투수성 포장을 위한 우수침투형 Green Block 및 섬유보강 고인성 Green Block의 현장 적용성을 평가하기 위하여 대전에 위치한 계룡산 국립공원의 입구에 현장실험 시공을 하였다. 계룡산 국립공원은 연 200만명 이상의 관

광객을 유치하기 때문에 Green Block 포장의 현장시공에 따른 블록의 사용성, 충격성 및 내구성 등을 평가하기에 적절한 것으로 판단되었으며, 블록 포장 시공 후 바로 교통개방을 통하여 개발된 다양한 형상 및 특징을 가지는 Green Block의 현장 적용성을 평가하였다.

나. Green Block 포장의 현장적용 대상 및 단면

Green Block 포장 현장적용 대상으로 선정된 계룡산 국립공원은 지리산에 이어 1968년 12월 31일에 두 번째 국립공원으로 지정 관리되었으며, 행정구역상으로는 충남 공주시에 주로 위치하면서 일부가 대전광역시와 논산시, 계룡시에 위치하고 있다. 다양한 야생 동·식물과 국보, 보물, 지방문화재가 곳곳에 분포하고 있으며, 동학사, 갑사, 신원사 등의 고찰이 자리하고 있어 연 200만 명 이상의 관광객이 찾아오는 것으로 알려져 있다.

보도용 투수성 Green Block의 현장 적용을 위한 대상 구간 선정에 있어 가장 중요한 것은 블록의 현장 적용 후 사용성에 의해 블록의 강도 저하, 투수계수 감소, 동결융해에 따른 저항성 및 내구성 등을 평가하기 위하여 적절한 인원의 보행객을 유도하는 것이다. 이에 본 연구에서는 8개의 탐방코스를 가지는 계룡산 국립공원에서 가장 많은 관광객이 입장하는 동학사 코스의 입구를 현장 적용 대상지로 선정하였다. 그림 3.5.1 및 그림 3.5.2는 계룡산 국립공원의 전경과 현장적용 대상지의 전경을 보여준다.



그림 3.5.1 계룡산 국립공원 전경



그림 3.5.2 시험포장 구간 전경

시험포장 구간은 보·차도용 도로의 갓길로서, 폭 1.2m, 길이 20m의 총 연장을 가지며, 다양한 형상의 우수침투형 Green Block, 고성능 Green Block 및 우수침투형 Green Block과 고성능 Green Block에 식생이 조합된 블록 등 조합 등 다양한 포장 형태를 나타낼 수 있도록 다음과 같은 Green Block 및 조합으로 각각 폭 1.2m, 길

이 1.6m 구간에 시험 포장하였다.

구간별 블록 형태를 보면

우수침투형 Green Block : P-GB-P, P-GB-I, P-GB-H

고성능 Green Block : H-GB-P, H-GB-I

조합 Green Block : P-GB-PE + 식생, P-GB-Y + 식생, P-GB-PE + P-GB,
H-GB-H + 식생, H-GB-HE + 식생



그림 3.5.3 현장 적용된 Green Block 및 조합

다. Green Block 포장의 현장 시공

투수성 포장은 도시에서 발생한 우수의 지하침투, 도시유출에서의 용해성 오염물질과 미세한 오염물질의 제거, 지하수 함양, 제방 세굴 조절 등의 기능을 가지고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 일반 포장재와 비교할 때 강도가 떨어지는 단점이 있어서 보도, 주차장 등으로 이용이 제한되어 왔다. 반면에 본 연구에서 개발된 투수성 폴리머 블록은 강도 및 내구성이 우수하여 현장 포장 적용시 강도 및 내구성이 우수할 것으로 판단된다. 그러나 투수성 포장은 장기적 사용하에서 이물질에 의한 공극의 막힘, 골재와 골재의 결합력 부족에 의한 골재 탈락 및 동결융해

에 따른 파괴 등의 문제점을 수반할 수 있기 때문에 포장 공법 적용시 표층으로 사용되는 블록 뿐만 아니라 기층 및 모래층의 시공시 많은 주의가 요구된다. 특히 연속적인 공극을 통하여 표층 블록으로부터 통과한 우수가 하부 지반으로 유입될 수 있도록 각 층별 투수계수에 대한 고려가 있어야 한다.

(1) 노상

노상은 포장의 두께를 결정하는 기초가 되는 흙의 부분으로 포장 밑 약 1m의 층을 말한다. 충분한 지지력을 가져야 하며, 물이 침투하더라도 쉽게 연약화되어서는 안된다. 노상이 연약지반일 경우에는 양질의 재료로 치환하거나 시멘트 또는 석회를 첨가해 개량한 안정처리 공법을 사용하는 것이 좋으며, 경우에 따라서는 노반 두께를 증가시켜야 할 때도 있으며, 일반적으로 노상의 지지력은 CBR 3 이상으로 한다. 노상면은 소정의 형상이 흐트러지지 않도록 평탄하게 마무리하여야 하며, 다짐은 과전압이 되지 않도록 주의하고 우수시 배수를 충분히 고려야 한다. 특히 노상의 토질조건 및 배수조건을 고려하여 동상의 가능성이 있는 지역에서는 동상방지층을 설치하는 것이 바람직하다. 그림 3.5.4는 포장 시공을 굴착 전 도로의 모습을 보여준다.

본 연구에서 현장 적용된 노상은 기존에 갓길로 사용하기 위해 다짐 시공이 된 부분으로 기층에 쇄석을 포설하기 전 표면을 마무리하여 평탄하게 하였다. 3.5.5는 노상층 시공 모습을 보여준다.



3.5.4 현장 시공을 위한 굴착 전 모습



그림 3.5.5 노상층 시공 모습

(2) 기층

기층은 표층을 지지하며 하중을 분산시키고 표층 시공을 위한 작업대 역할을 해야 하며 균등하고 영구적인 지지력을 제공하여야 한다. 1층 이상의 다져진 입상재

료 또는 안정처리 재료층으로 구성되며, 노상반력계수를 증대시켜야 하며, 동결융해에 의한 손상도 최소화 하여야 한다.

기층 재료는 막 부순돌, 입도조정쇄석, 재생콘크리트 등 다양하게 사용할 수 있으며, 기층 다짐 기준은 일반 자전거 도로의 경우 수정 CBR 20으로 하며, 차량 통행이 예상되는 경우 수정 CBR 30으로 한다. 노반 시공시에는 노상을 흐트러트리지 않도록 다짐 작업시 시공기계의 선정 및 시공방법의 측면에서 주의할 필요가 있다.

본 연구에서는 투수성 포장을 주 목적으로 하기에 충분한 투수계수를 확보할 수 있도록 실내에서 골재를 선별하여, 입도 조정된 쇄석 골재를 사용하였다. 그림 3.5.6 및 그림 3.5.7은 입도 조정된 쇄석 골재를 포설하는 모습과 포설 후 다짐 시공된 기층을 보여준다.



그림 3.5.6 입도 조정된 쇄석 골재 포설 모습



그림 3.5.7 입도 조정된 쇠석 골재 다짐 모습

(3) 투수쉬트층

블록 포장에서 투수쉬트는 모래층과 기층 사이에 설치되는 상부 투수쉬트와 기층과 보조기층 사이에 설치되는 하부 투수쉬트로 구분된다. 특히, 투수성 블록 포장에서 상부 투수쉬트는 투수성 블록을 통과한 물이 모래층을 관통할 때 모래가 함께 기층으로 유입되거나 유실되지 않도록 하기 위하여 설치된다. 한편, 투수성 포장에서 투수쉬트는 모래층을 통과한 물이 기층으로 안정되게 유입될 수 있도록 충분한 투수계수를 가져야 하며, 포장 상부의 하중 및 마찰력에 견딜 수 있도록 충분한 신도 및 인장강도를 가져야 한다. 본 시험 포장에서는 Y사의 투수쉬트를 사용하였으며, 이에 대한 특성은 표 3.5.2와 같다.

표 3.5.2 투수쉬트의 물리·역학적 특성

Type	Unit weight (g/m ²)	Tensile strength (kgf/in)	Ductility ratio (%)	Permeability coefficient (cm/s)	Material
Test method	KS K 0514	KS K 0520	KS K 0520	KS K 2322	KS K 0210
GF 1000	1000	228	over 50	$\alpha \times 10^{-1}$ (1~9)	Polyester

한편, 포장 구조에서 각 층에는 마찰력이 존재한다고 가정하고 있는데 투수성 블록 포장에서 투수쉬트는 모래층과 기층사이의 마찰력을 감소시킬 수 있으므로 시공 시 마찰력이 감소되지 않도록 각별한 주의를 하여야 한다. 그림 3.5.8은 투수쉬트 시공 모습을 보여준다.



그림 3.5.8 투수쉬트 시공 모습

(4) 모래층

일본의 인터록킹 블록 포장 기술협회에서는 받침 모래층에 침투한 물이 배수가 원활하지 않으면 받침 모래의 액상화나 지지력이 감소하여 블록의 파손 원인이 되므로 받침 모래층에 물이 고이지 않도록 배수처리 방법을 규정하고 있다. 본 시험 포장에서는 투수 블록을 통과한 물이 모래층에 고이지 않도록 블록 포장의 모래 안정층에 대한 기준인 '9.5mm 체를 100% 통과하고 4.75mm 체를 거의 다 통과하여야 하며, 75 μ m 체에 거의 다 남은 입상상태의 자연모래나 인공 처리된 모래를 사용하여야 하며, 줄눈 채움재는 2mm 체를 100% 통과하는 깨끗한 모래를 사용하여야 한다'라는 규정에 준하여 실내에서 체가름 한 모래를 사용하였으며, 포설된 모래는 다짐 기계 및 살수에 의해 충분한 다짐을 실시하였으며, 또한 모래의 유실을 방지하기 위하여 모래층 하부에 투수쉬트를 설치하였다. 그림 3.5.9는 블록 시공 전 받

침 모래층 시공 모습을 보여준다.



그림 3.5.9 블록 시공 전 받침 모래층 시공 모습

(5) 블록층

블록 포장은 심미적인 아름다움과 구조적 안정성을 확보하기 위하여 각각의 블록을 일정한 패턴에 따라 설치한다. 선택된 블록은 수평 균열을 억제하여야 하고, 교통 응력의 영향을 받지 않도록 결정되어야 한다. 블록층이 교통 응력에 견디지 못할 경우 블록의 이동 및 회전에 의하여 블록과 블록간에 인터록킹이 감소하여 맞물림 효과가 감소될 수 있다. 인터록킹 블록 포장에서 블록의 거동은 크게 수직이동, 수평이동 및 회전으로 구분될 수 있으며, 블록의 모양, 블록의 두께, 블록 시공 패턴 및 줄눈 폭 등에 의하여 좌우된다. 블록 포장에서 수직 줄눈은 수직 거동을 억제하고 경계석은 수평 거동에 저항하며 모래 받침층은 하중의 전달 역할을 하게 된다. 본 블록 시험 포장에서는 블록의 구조(불투성의 고성능 Green Block과 투수성의 우수침투형 Green Block), 블록의 형상(평판형, I형, H형 및 Y형) 및 블록의 조합(투수성 블록+ 식생, 불투수성 블록+ 식생)에 따른 특성을 평가하기 위하여 다양한 형태의 블록층을 시공하였다. 그림 3.5.10 그림 3.5.11 및 그림 3.5.12는 형상별 고인성

Green Block, 우수침투형 Green Block 및 조합 블록의 표층 모습을 보여준다. 또한, 그림 3.5.13은 형상별 Green Block 포장 시공 모습을 보여준다.



(a) H-GB-I



(b) H-GB-P

그림 3.5.10 블록 형상에 따른 고인성 Green Block 시공 모습



(a) P-GB-I



(b) H-GB-H



(c) P-GB-P

그림 3.5.11 우수침투형 Green Block 시공 모습



(a) P-GB-PE + 식생



(b) P-GB-Y + 식생



(c) P-GB-PE + P-GB



(d) H-GB-H + 식생



(e) H-GB-HE + 식생

그림 3.5.12 조합 블록 시공 모습



그림 3.5.13 형상별 Green Block 포장 시공 모습

라. Green Block의 현장 적용성 평가

투수성 콘크리트 및 투수성 블록 포장은 겨울철 강우 및 강설에 의한 수분의 동결 및 융해에 따른 균열 및 골재의 탈락 등으로 제기능을 발휘하지 못하는 경우가 종종 발생하며, 특히 골재와 골재의 맞물림으로 강도 발현을 하기 때문에 충격하중에 의한 블록의 파괴 또는 모서리 부분이 탈락 될 수 있다. 반면에 불투수성 블록은 하중에 의해 블록에 균열이 발생되거나 겨울철 동결융해에 의해 표면 탈락 등이 발생할 수 있다. 불투수성 블록 포장의 현장 적용성을 평가하기 위하여 11월 중순에 폴리머 블록을 시공하였으며, 3개월 동안 블록 내에서 균열, 파괴 및 골재 탈락 등을 조사하였다. 그림 3.5.14 및 그림 3.5.15는 불투수성의 고성능 Green Block 포장 시공 직후 및 시공 후 3개월이 경과된 시점에서 블록의 모습을 보여준다.

그림에서 보는 바와 같이 형상별 불투수성의 고성능 Green Block에 관계없이 모든 블록에서 균열, 표면탈락 및 파괴 등이 발생하지 않는 것으로 나타났다. 또한, 블록 포장의 처짐 등이 발생하지 않아 블록층 아래의 포장층에 대한 안정성이 우수한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 본 시험포장에 사용된 불투수성 고인성 Green Block은 결합재로 불포화 폴리에스테르 수지를 사용하였기 때문에 압축강도 및 휨강도 뿐만 아니라 내구성 또한 우수하여 하중 및 온도 변화에 따라 블록의 형상 변

화 및 균열 등이 발생하지 않기 때문에 판단된다.



(a) H-GB-I



(b) H-GB-P

그림 3.5.14 불투수성의 고성능 Green Block 포장 (시공 직후)



(a) H-GB-I



(b) H-GB-P

그림 3.5.15 불투수성의 고성능 Green Block 포장 (시공 후 3개월)

그림 3.5.16 및 그림 3.5.17은 투수성의 우수침투형 Green Block 포장 시공 직후 및 시공 후 3개월이 경과한 시점에서 블록 포장의 모습을 보여준다.

육안에 의한 공용성 평가로부터 투수성의 우수침투형 Green Block 형상별 포장 면적에서의 균열을 평가했을 때, 블록의 형상에 관계없이 매우 양호한 결과를 나타내었으며, 블록의 모서리 부분 및 테두리 부분에서 약간의 골재 탈락이 관찰되었다.

그림 3.5.18은 우수침투형 Green Block에서 골재의 탈락 모습을 보여준다. 이와 같이 모서리 부분과 테두리 부분이 탈락된 것은 포러스 구조의 투수성 블록 제조를 위한 진동 다짐 및 마무리 다짐시 블록의 내측 부분에 비하여 상대적으로 다짐도가 떨어져 골재와 골재와의 결합력이 다소 약하기 때문으로 판단된다. 투수성 포장을 위한 포러스 블록은 일반 블록과 달리 골재와 골재의 결합 구조를 나타내기 때문에 블록 제조시 블록의 모서리 부분과 테두리 부분의 다짐 및 진동에 각별한 주의를 하여야 할 것으로 판단된다.

한편, 블록 형상별 블록의 파손 범위가 국부적이기 때문에 블록의 파손 비율은 P-GB-P 블록은 9등분, P-GB-I 블록은 6등분 및 P-GB-H 블록은 7등분하여 형상별 파손된 분할 블록 수를 계산하여 형상별 총 블록 분할 수로 나누어 산정하였다. 형상별 블록에 따른 블록의 파손 비율은 P-GB-H가 4%로서 가장 높았으며, P-GB-P가 가장 낮은 파손 비율을 나타내었다. 이러한 결과는 블록 제조시 P-GB-H의 몰드가 다른 블록의 몰드에 비하여 모서리가 많고 블록 중앙 부분의 폭이 상대적으로 작기 때문에 다짐도가 떨어져 골재 탈락이 많이 발생하였기 때문으로 판단된다. 한편, 블록에서 골재 탈락은 다소 발생되었으나 블록의 형상에 관계없이 러팅이나 처짐은 보이지 않았다.



(a) P-GB-P

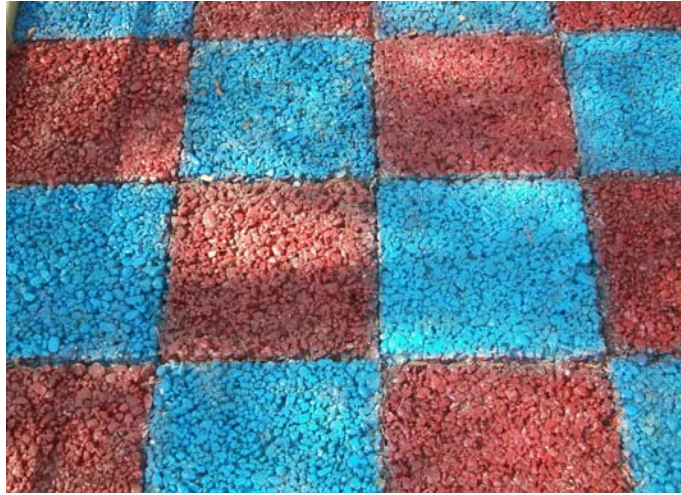


(b) P-GB-H



(c) P-GB-I

그림 3.5.16 우수침투형 Green Block 포장 (시공 직후)



(a) P-GB-P

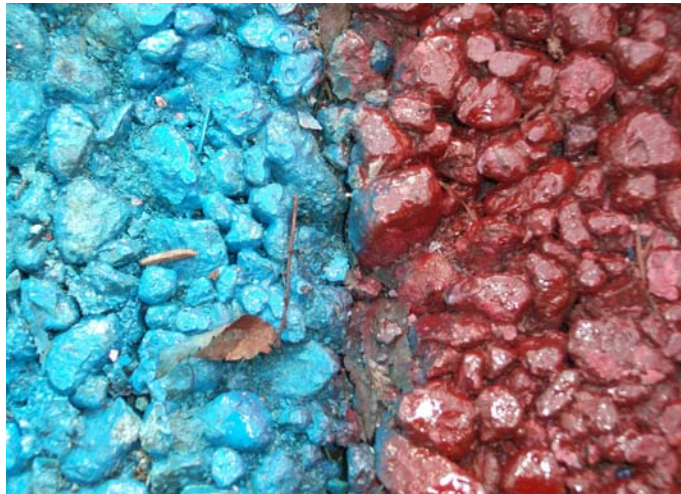


(b) P-GB-H

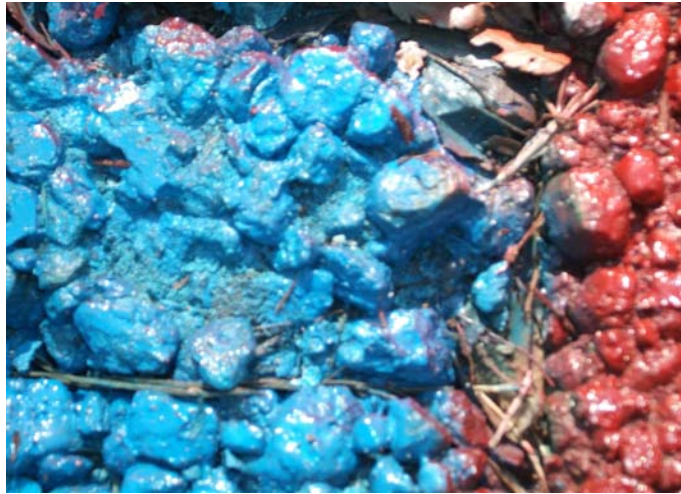


(c) P-GB-I

그림 3.5.17 우수침투형 Green Block 포장 (3개월 경과 후)



(a) 테두리 부분 골재 탈락 모습



(b) 모서리 부분 골재 탈락 모습



(c) 블록 내부 골재 탈락 모습

그림 3.5.18 우수침투형 Green Block의 골재 탈락 모습 (시공 후 3개월)

그림 3.5.19 및 그림 3.5.20은 불투수성의 고성능 Green Block에 식생을 조합한 블록 포장 시공 직후 및 시공 후 3개월이 경과된 시점에서 블록의 모습을 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 불투수성의 고성능 Green Block에서와 마찬가지로 식생이 조합된 고성능 Green Block에서도 형상에 관계없이 모든 블록에서 균열, 표면탈락

및 파괴 등이 발생하지 않는 것으로 나타났다. 또한, 블록 포장의 처짐 등이 발생하지 않아 블록층 아래의 포장층에 대한 안정성이 우수한 것으로 나타났다.

한편, 그림 3.5.21 및 그림 3.5.22는 우수침투형 Green Block에 식생을 조합한 블록 포장 시공 직후 및 시공 후 3개월이 경과된 시점에서 블록의 모습을 보여준다.

형상별 우수침투형 Green Block만을 포장한 블록에서와 마찬가지로 육안에 의한 공용성 평가를 위해 조합 블록 형상별 포장 면적에서의 균열을 평가했을 때 블록의 형상에 관계없이 매우 양호한 결과를 나타내었으며, 우수침투형 Green Block과 식생이 조합된 블록의 모서리 부분 및 테두리 부분에서 약간의 골재가 탈락되었다. 반면에 우수침투형 블록만을 시공한 포장에 비하여 골재 탈락율이 다소 감소하는 것으로 나타났다. 우수침투형 Green Block만을 사용한 포장에서는 하중에 의해 모서리 부분의 골재가 다소 탈락되지만 우수침투형 Green Block과 식생을 조합한 블록에서는 식생을 위해 식재된 잔디가 우수침투형 Green Block의 모서리 부분을 보호하는 역할을 하게 되어 상대적으로 골재 탈락율이 감소한 것으로 판단된다.



(a) H-GB-PE + 식생 조합 블록



(b) H-GB-PE + 식생 조합 블록

그림 3.5.19 중공 고성능 Green Block + 식생 조합 포장 (시공 직후)



(a) H-GB-PE + 식생 조합 블록



(b) H-GB-PE + 식생 조합 블록

그림 3.5.20 중공 고성능 Green Block + 식생 조합 포장 (시공 후 3개월)



(a) P-GB-PE + 식생 조합 블록



(b) P-GB-YE + 식생 조합 블록

그림 3.5.21 중공 우수침투형 Green Block + 식생 조합 포장 (시공 직후)



(a) P-GB-PE + 식생 조합 블록



(b) P-GB-YE + 식생 조합 블록

그림 3.5.22 중공 우수침투형 Green Block + 식생 조합 포장 (시공 후 3개월)

3. 우수침투형 Green Block 블록 포장 시공법

투수성 포장의 대부분이 보도나 자전거 도로 등 재하 하중이 크지 않은 지역에 제한적으로 이용되고 있어 품질관리에 크게 관심을 갖지 않는 문제점이 있다. 그러나 부적절한 제품을 포설시 통행의 불편은 물론 유지보수에 어려움이 있으므로 시공에 대한 표준이 요구된다.

고강도 Green Block, 우수침투형 Green Block 및 섬유 보강된 고인성 Green Block은 불포화 폴리에스테르 수지를 결합재로 활용한 고강도 및 고내구성의 친환경 블록으로 교통하중 및 사용목적에 따라 보도, 차도 및 기계화 경작로 포장 등에 활용할 수 있는 우수한 블록 포장의 표층 재료이다. 고강도 Green Block 및 섬유보강된 고인성 Green Block은 기존 불투수성 블록의 강도 및 내구성을 크게 개선한 것으로 이를 활용한 포장 공법은 기존 블록 포장공법과 동일하게 시공될 수 있기 때문에 본 연구에서는 우수침투형 Green Block의 현장 시험포장을 통하여 도출된 우수침투형 Green Block 포장 시공법에 대한 표준시방서를 품질기준과 시공순서에 따라 제시하고자 한다. 본 시방서에 명시되지 않은 사항들은 건설교통부 블록 포장

공사 시방서에 준한다.

가. 포장 형식 및 설계

(1) 보도 및 자전거 도로

우수침투형 Green Block은 우수의 침투를 목적으로 하기 때문에 블록의 투수계수 뿐만 아니라 블록 하부에 시공되는 모래 받침층, 투수쉬트, 기층 및 노상의 투수계수가 중요하다. 우수형 Green Block은 투수성 포장에 기준이 되는 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 이상의 투수계수를 가지기 때문에 블록 하부층의 투수계수가 낮을 경우 우수가 역류할 수 있기 때문에 블록 하부층에 대한 시공성이 매우 중요하다. 투수 블록 포장 방식에는 완전투수포장, 부분투수포장 및 배수성 포장이 있으나 우수유출 저감 및 지하수자원 확보 측면에서 설치되는 우수침투형 Green Block 포장은 완전투수포장 형식을 가진다. 그림 3.5.23은 보도용 우수침투형 Green Block 포장 시공단면도를 나타낸다.

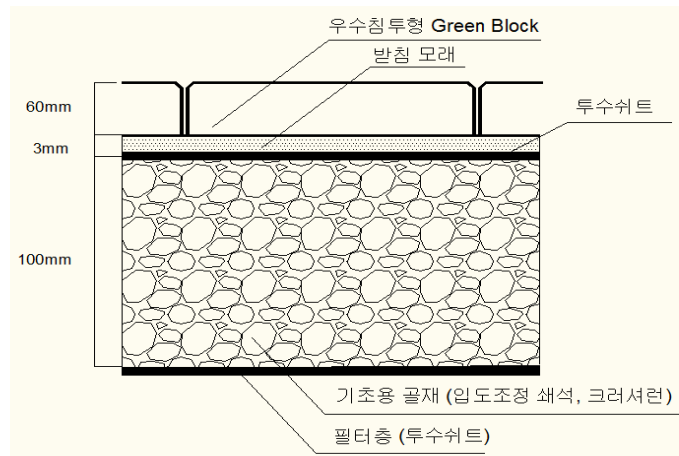


그림 3.5.23 보도용 우수침투형 Green Block 포장 시공단면도

우수침투형 Green Block 포장 시공에서 블록 하부에는 블록의 처짐, 이동 및 회

전을 구속하기 위해 모래 받침층을 설치하게 되는데, 이 때 모래의 유실 방지 및 모래가 입도 조정된 쇄석으로 구성되는 기층으로 유입되는 것을 방지하기 위하여 투수쉬트를 모래 받침층과 기층사이에 시공한다.

(2) 차도

차도용 투수성 블록 포장에 사용되는 투수성 블록은 보도 및 자전거 도로에 사용되는 6cm 블록 보다 두꺼운 8cm 블록이 사용된다. 포장 구조는 4톤 이하의 소형차량과 4톤 이상의 대형차량으로 구분된 형식을 가지며, 통행 차량의 중량에 따라 기층의 높이가 다르게 시공된다. 그림 3.5.24는 4톤 이하 소형차량 및 4톤 이상의 대형차량 통행에 따른 포장 형식을 나타낸다.

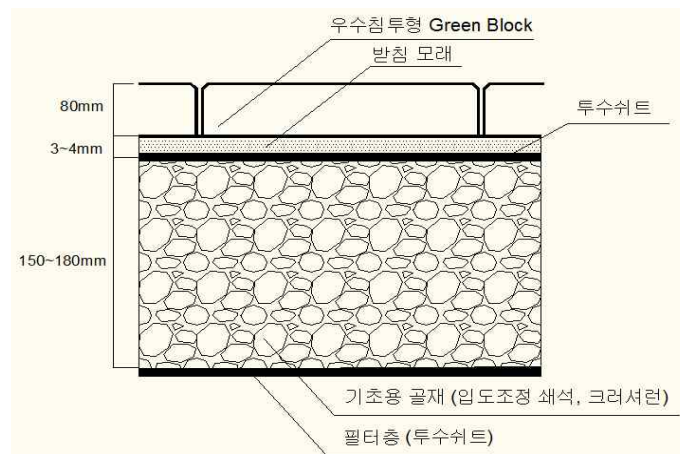


그림 3.5.24 차도용 우수침투형 Green Block 포장 시공단면도

(3) 기계화 경작로

기계화 경작로의 설계 교통량은 시공 5년후 대형차의 1일 일방향 교통량으로 하며, 대구획 경지정리의 실시에 따라 대형 농기계의 통행이 증가하는 추세에 있으므로 대형차의 1일 방향 통과대수로 한다. 표 3.5.3은 기계화 경작로에서 대형차의 교

통량에 대한 교통량의 구분을 나타낸다 (이신호, 2000).

표 3.5.3 기계화 경작로 포장 설계를 위한 교통량의 구분

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

기계화 경작로 포장의 경우 대형차의 교통량으로 포장 두께 등을 설계하기 때문에 차도 포장에서 4톤 이상의 차량 통행에 대한 포장형식에 준하여 설계 및 시공하는 것이 바람직하다. 특히 기계화 경작로에 통행되는 농기계는 일반 차량과는 다른 타이어 형식을 가지기 때문에 하중과 관계없이 보다 높은 포장 설계 수준으로 시공하는 것이 바람직하며, 그림 3.5.25는 기계화 경작로 포장을 위한 포장 형식을 나타낸다.

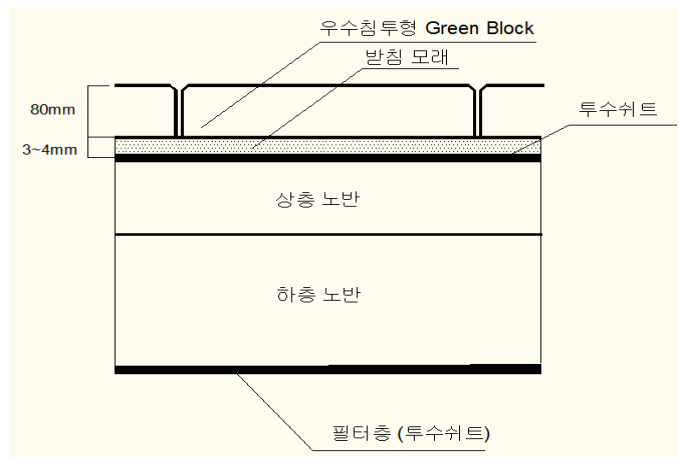


그림 3.5.25 기계화경작로용 우수침투형 Green Block 포장 시공단면도

나. 품질기준

(1) 블록

KS F 4419 (보차도용 콘크리트 인터로킹 블록, 2009년 개정)에 따르면 투수성 블록의 기준은 표 3.5.4와 같다. 본 연구에서는 투수성 블록은 강도 뿐만 아니라 동결융해저항성 등의 내구성이 보다 요구되므로 장기 사용에 대한 골재 탈락 등을 고려하여 본 연구에서는 기존 불투수성 블록 및 투수성 블록 보다 높은 수준의 투수성 블록에 대한 품질 기준을 표 3.5.5와 같이 제안한다.

표 3.5.4 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록 기준 (KS F 4419, 2009년 개정)

투수계수 (cm/s)	휨강도 (MPa)		미끄럼저항치 (BPN)		두께 규격 (mm)	
	보도	차도	보도	차도	보도	차도
1×10^{-2}	4	5	40	60	60	80

표 3.5.5 우수침투형 Green Block에 대한 품질 기준

투수계수 (cm/s)	휨강도 (MPa)			미끄럼저항치 (BPN)			두께 규격 (mm)		
	보도	차도	경작로	보도	차도	경작로	보도	차도	경작로
1×10^{-2}	< 8	< 10	10	40	60	60	60	80	80

(2) 받침 모래층

받침 모래층은 표층으로 설치되는 인터로킹 투수성 블록이 하중에 의해 회전, 이동하지 않도록 고정시키는 역할을 할 뿐만 아니라 투수를 위한 기층의 쇄석층 상면을 평탄하도록 하여 블록의 시공성을 개선하기 위한 것으로 입도 조정된 모래를 사용한다. 받침 모래층의 포설 두께는 표층에서의 블록 높이 및 투수성을 고려하여

결정하며, 3cm를 표준으로 한다. 본 연구에서는 블록 종류 및 포장 형태에 따른 모래층의 두께를 표 3.5.6과 같이 제안한다.

표 3.5.6 블록 종류 및 포장형태에 따른 모래층 포설 두께

블록 종류	포장형태	블록 높이 (cm)	블록 휨강도 (MPa)	모래층 포설 두께 (cm)
투수성 블록	보도	6	over 8	3
	차도, 경작로	8	over 10	3~4
조합 블록 (투수성+식생)	보도	6	over 6	3
	차도, 경작로	8	over 8	3~4

또한, 받침 모래층에서 모래는 균일하게 포설할 수 있어야 하며, 다짐과 배수성이 우수하고 동결융해에 의한 영향을 크게 받지 않아야 한다. 일반적인 받침 모래층에 사용되는 모래는 최대입경이 4.75mm 이하이고, 75 μ m 체 통과량이 5% 이하인 모래를 사용하는 것이 바람직하다.

(3) 투수쉬트

투수쉬트는 일반적으로 폴리프로필렌 또는 폴리에스테르 재질의 부직포를 사용하며, 받침 모래층 하부에 설치되어 모래의 유출 또는 유실을 방지하는 역할을 한다. 또한 기층과 노상토 사이에 설치되는 투수쉬트는 노상토 세립분의 상승방지 및 입상 노상토의 세립분이 유출되는 것을 차단하여 노상의 지지력 저하 및 침투 성능 저하를 억제한다. 모래의 유실 및 유출 억제를 위하여 설치되는 투수쉬트의 품질 기준은 표 3.5.7과 같다.

표 3.5.7 투수쉬트의 품질 기준

Unit weight (g/m ²)	Tensile strength (kgf/in)	Ductility ratio (%)	Permeability coefficient (cm/s)	Material	Width (m)
< 500	< 100	< 50	$\alpha \times 10^{-1}$ (1~9)	Polyester or Polypropylene	2~4

(4) 기층

기층용 재료로는 통상 요구되는 강도, 내구성에 추가하여 적당한 투수능력과 저수능력이 요구된다. 다짐밀도가 거의 유사한 입도조정쇄석이나 크러셔런이 사용될 수 있으나 입도조정쇄석이 크러셔런에 비하여 투수계수가 작기 때문에 시공시 충분한 투수계수를 확보할 수 있도록 시험에 의한 입도조정이 요구되며, 시공 전 기층 재료에 대한 투수계수 시험이 선행되어야 한다. 또한, 기층의 포설 작업은 인력 포설로 이루어지는 경우가 많고, 마무리가 어려울 뿐만 아니라 재료분리가 생기기 쉬우므로 주의하여야 한다. 기층 다짐 기준은 일반보도 및 자전거 도로의 경우 수정 CBR 20으로 하며, 차량 및 경작 기계 등의 출입이 예상되는 경우 CBR 30이상으로 한다.

다. 시공 방법 및 순서

(1) 노상

블록 포장의 노상 부분은 설계 도면에 표시된 종횡단 형상으로 다듬고 시험실 최대건조밀도의 90% 이상 다짐을 실시하여야 한다.

(2) 필터층

투수성 포장에서 기층으로 유입된 물이 노상으로 안전하게 유입되고, 노상층의 세립분이 상승 또는 유실되지 않도록 필터층을 시공한다. 필터층은 받침층 모래와 동일한 조건의 모래를 사용하여 충분한 다짐 시공을 하여야 하며, 받침 모래층 하부에 설치되는 투수쉬트와 동일한 성능을 가지는 부직포로 대체 시공할 수 있다.

(3) 기층

기층 재료로는 입도조정된 쇄석 또는 크러셔런이 사용되며, 입조 조정된 쇄석을 사용할 경우 다짐에 특히 주의하여야 한다.

(4) 투수쉬트층

받침 모래층의 모래 유실을 방지하기 위하여 설치되는 투수쉬트는 투수계수 $\alpha \times 10^{-1} \text{cm/s}$ ($\alpha=1\sim 9$)의 부직포를 사용하여야 하며, 이음 부분은 최소 10cm 이상 중첩되도록 시공 하여야 한다.

(5) 받침 모래층

모래는 다짐이 완료된 기층 위의 투수쉬트에 규정된 두께로 포설하고 긴 판자 등을 이용하여 평활하게 고르며, 수평 고르기가 끝난 안정층 위로는 차량이나 사람이 통행하지 않도록 하여야 한다.

(6) 블록 시공

블록 포설에 앞서 블록 마감면의 수평 및 구배 유지를 위하여 겨냥줄을 설치하며, 블록은 겨냥줄을 따라 한 줄씩 포설하되 코너나 직선 경계에서 시작하여 모래층을 밟지 않는 쪽으로 진행하며, 수시로 점검한다. 줄눈은 균일한 간격을 유지하여야 하며, 폭 2mm를 표준으로 한다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도

구분 (연도)	세부연구목표	달성도 (%)	관련분야의 기술발전에 기여
1차 년도	재생골재와 산업폐기물을 활용한 에너지 절감형 고성능 Green Concrete 개발	100	재생골재의 활용 기술 개발 고로슬래그 미분말 및 플라이 애시 활용 기술 개발
	농업용수자원 확보를 위한 보·차도용 고성능 Green Block 개발	100	포장용 고내구성 인터로킹 블록 개발 블록 제품화 기술 개발
	에너지 절감형 고성능 Green Block의 현장 적용	100	인터로킹 블록 포장 공법 개발 블록 조합 및 시공법 개발
2차 년도	순환골재와 산업폐기물을 활용한 에너지 절감 및 우수침투형 고성능 Green Concrete 개발	100	고강도 및 고투수성 포러스 콘크리트 개발 투수 포장 적용 포러스 콘크리트 개발
	에너지 절감 및 우수침투형 고성능 Green Block 개발	100	우수침투형 블록 개발에 따른 투수 포장 활용 기술 개발 투수 포장에 의한 우수유출 저감 효과 분석 기술
	에너지 절감 및 우수침투형 고성능 Green Block의 현장 적용	100	투수 포장 시공법 개발 투수 및 식생 조합 블록 활용 기술 개발
3차 년도	순환골재와 산업폐기물을 활용한 에너지 절감형 고인성 Green Concrete 및 Green Block 개발	100	고성능 및 친환경 인터로킹 블록 제조 기술 개발 섬유보강된 인터로킹 블록 활용 기술 개발
	에너지 절감 및 우수침투형 고인성 Green Concrete 및 Green Block 개발	100	기능성 및 환경성을 고려한 투수성 블록 개발 고성능 투수성 블록의 제품화 기술 개발
	Green Block의 현장 적용에 대한 공용성 평가 및 시공법 개발	100	투수 포장을 위한 다양한 블록조합 및 시공법 개발 경관 조성용 블록 시공 기술 개발

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

제 1 절 연구개발 성과

1. 국내외 논문 발표

불포화 폴리에스테르 수지와 재생골재를 이용한 재생 폴리머 콘크리트의 강도 및 내구 특성

- 저자 : 성찬용, 김영익 (2009)
- 학술지 : 한국농공학회, 51(6)

재생골재 및 섬유 혼입률에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 역학적 특성

- 저자 : 성찬용, 김영익 (2010)
- 학술지 : 한국농공학회, 52(1)

굴 패각 분말을 충전재로 활용한 폴리머 콘크리트의 강도 및 내구 특성

- 저자 : 성찬용, 김영익 (2010)
- 학술지 : 한국농공학회, 52(6)

결합재량에 따른 포러스 폴리머 콘크리트의 공극률과 강도 및 식생 블록 내 초기 성장 특성

- 저자 : 성찬용, 김영익 (2010)
- 학술지 : 한국농공학회, 52(6)

폐유리 분말과 재생골재를 사용한 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 공학적 성질

- 저자 : 성찬용, 김태호 (2011)
- 학술지 : 한국농공학회, 53(6)

Void Ratio and Durability Properties of Porous Polymer Concrete Using Recycled Aggregate with Binder Contents for Permeability Pavement

- Author : Sung, Chan-Yong and Kim, Young-Ik (2012)
- Journal : Journal of Applied Polymer Science

Void Ratio and Strength of Porous Polymer Concrete and Initial Growth Properties of Plant within Planting Polymer Block Using Unsaturated Polyester Resin and Crushed Aggregate

· Author : Sung, Chan-Yong and Kim, Young-Ik (2012)

· Journal : African Journal of Agricultural Research

Rainfall Runoff Reduction Effects and Field Application of Permeability Pavement Using Permeable Polymer Block by Hydraulic Model

· Author : Sung, Chan-Yong and Kim, Young-Ik (2012)

· Journal : African Journal of Agricultural Research

투수성 폴리머 블록 포장에 의한 우수 유출 저감 효과에 관한 실험적 연구

· 저자 : 성찬용, 김영익 (2012)

· 학술지 : 한국농공학회

2. 국내외 학술발표

단위결합재량 및 골재 크기에 따른 재생 폴리머 콘크리트의 강도 및 내구 특성

· 저자 : 성찬용, 김영익 (2009)

· 학술지 : 한국농공학회, 포스터

골재 크기에 따른 포장용 재생 포러스 폴리머 콘크리트의 동결융해 및 화학저항성

· 저자 : 성찬용, 김영익 (2009)

· 학술지 : 한국농공학회, 포스터

녹화공법 적용을 위한 포러스 콘크리트의 개발 및 식생 블록 내 성장 특성

· 저자 : 성찬용, 김영익 (2010)

· 학술지 : 한국농공학회, 포스터

충진재료 패각을 활용한 폴리머 콘크리트의 강도 및 내구 특성

· 저자 : 성찬용, 김영익 (2010)

· 학술지 : 한국농공학회, 포스터

녹지 공간 조성을 위한 Green Planting Block에서 장기 식생특성

· 저자 : 성찬용, 김영익 (2011)

· 학술지 : 한국농공학회, 포스터

투수 모형 실험에 의한 투수 블록 포장의 우수 유출 저감에 관한 실험적 연구

· 저자 : 성찬용, 김영익 (2011)

· 학술지 : 한국농공학회, 포스터

Strength and Permeability properties of Glass Fiber Reinforced Porous Polymer Concrete for Runoff Reduction in Permeability Pavement

· Author : Sung, Chan-Yong and Kim, Young-Ik (2012)

· Journal : Asia Symposium of Polymer In Concrete

Initial and Long Term Growth Properties of Plant within Planting Block with Heights of Porous Polymer Block using UP and Recycled Aggregate

· Author : Sung, Chan-Yong and Kim, Young-Ik (2012)

· Journal : Asia Symposium of Polymer In Concrete

Study on Rainfall Runoff Reduction Effects of Permeability Pavement Using Permeable Polymer Block by Hydraulic Model

· Author : Sung, Chan-Yong and Kim, Young-Ik (2012)

· Journal : Asia Symposium of Polymer In Concrete

3. 특허출원

불포화 폴리에스테르 수지와 재생골재를 이용한 재생 폴리머 콘크리트

· 출원번호 : 10-2010-0011367

· 출원일자 : 2010. 2

결합재로 불포화 폴리에스테르 수지를 사용한 다공성 폴리머 식생블록

· 출원번호 : 10-2011-0009750

· 출원일자 : 2011. 1

굴패각 분말을 충전재로 사용한 폴리머 콘크리트

· 출원번호 : 10-2011-0009745

· 출원일 : 2011. 1

다공성 폴리머 콘크리트를 이용한 식생블록 제조방법

· 출원번호 : 10-2011-0009748

· 출원일자 : 2011. 1

우수배출기능을 향상시킨 포러스 폴리머 블록 및 그 제조방법

· 출원번호 : 10-2012-0024109

· 출원일자 : 2012. 3

우수침투형 식생 포러스 하이브리드 폴리머 블록 및 그 제조방법

· 출원번호 : 10-2012-0024110

· 출원일자 : 2012. 3

4. 실용화

다양한 형상의 고성능 Green Block, 우수침투형 Green Block 및 조합 블록이 개발 및 현장적용 되었으며, 공용성 평가 결과를 토대로 형상별 Green Block 및 Green Block 포장 시공법 평가를 수행한 후, 참여기업인 (주) 드림이엔지 또는 블록 제조업체와의 협약을 통하여 실용화 및 산업화를 추진할 예정입니다.

제 2 절 성과 활용계획

1. 연구성과 활용계획

가. 재생골재를 활용한 폴리머 콘크리트의 개발

발생량이 계속적으로 증가함에도 불구하고 활용성이 미흡한 건설폐기물인 재생골재 및 산업폐기물인 고로슬래그 미분말과 플라이 애시를 활용한 폴리머 콘크리트를 개발하여, 고강도 및 고내구성이 요구되는 친환경 토목구조물에 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 굴 폐각 미분말 등과 같은 폐기물의 활용 등 친환경 건설재료 개발에 기여할 예정입니다.

나. 재생골재를 활용한 투수 포장용 포러스 폴리머 콘크리트의 개발

우수유출저감 및 지하수자원 확보 차원에서 활용성이 증가 추세에 있는 투수성 포장에 활용하기 위하여 투수 포장 설계기준에 부합하는 고내구성의 포러스 폴리머 콘크리트가 개발되었으며, 이를 기본으로 호안 및 사면 보호공 등 포러스 구조가 요구되는 다양한 현장에 적용할 수 있도록 다양한 특성을 가지는 포러스 폴리머 콘크리트를 계속적으로 개발할 예정이다.

다. Green Block 개발 및 우수침투형 Green Block 포장의 우수유출 저감

기존 포장 및 투수성 포장에 사용되는 인터로킹 블록의 특성을 크게 개선한 고풍도, 고내구성의 친환경 Green Block이 개발되었으며, 현장적용 및 공용성 평가 결과를 토대로 실용화 및 산업화 할 수 있는 Green Block의 선정 및 제품화 할 수 있도록 업체와의 협의를 추진할 예정이다.

라. Green Block 포장의 현장적용 및 시공법 개발

투수 포장에 활용하기 위한 표층용 인터로킹 블록 뿐만 아니라 표층 하부의 투수 특성을 고려한 투수 포장 시공법을 개발하여, 우수유출저감 및 지하수자원 확보에 기여할 수 있도록 Green Block의 제품화 및 우수침투형 Green Block 포장공법에 연계하여 실용화를 진행할 예정이다.

2. 경제성 분석

가. 경제성 분석 (제조원가)

기존 투수 블록 제품과 우수침투형 Green Block 제품의 생산을 위한 제조원가에 대한 경제성 분석을 표 5.2.1에서 보는 바와 같이 실시하였으며, 우수 침투형 Green Block 제품 또한 기존 방식의 블록 제조 생산 시스템을 활용할 수 있기 때문에 제조원가 산정시 생산경비 및 일반경비는 기존 투수 블록 제품에서 발생하는 비용과 같다는 가정하에 블록 제품 생산에 요구되는 원재료에 대한 비용 산정으로 경제성

을 분석하였다. 제조원가에 대한 경제성 분석 결과 우수침투형 Green Block에 사용되는 불포화 폴리에스테르 수지의 비용이 기존 투수 블록에 사용되는 결합재에 비하여 높기 때문에 우수침투형 Green Block 제품의 제조원가가 기존 투수 블록 제품에 비하여 약 1.98배 높게 나타났으나, 우수침투형 Green Block의 경우 결합재를 제외한 골재 및 충전재를 건설폐기물 및 산업폐기물로 활용함으로써 이에 대한 비용은 크게 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 폐기물의 활용에 따른 자원 재활용 및 폐기물 처리 비용 감소 효과에 따른 부가가치 창출에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

표 5.2.1 우수침투형 Green Block의 경제성 분석 (제조원가) (단위 : 원/m²)

구분	항목	산출근거		산출 금액		비고
				기존 투수 블록	우수침투형 Green Block	
제조 원가	재료비	원재료비		10,640원 (물가자료 참조)	U.P (9.36kg) : 22,464원	기존 투수블록 의 경우 제품에 따라 비용 차이가 있을 수 있음.
					재생골재 (104.16kg) : 417원	
					고로슬래그미분말 (8.4kg) : 458원	
	생산 경비	노무비	기술직	1,400원	1,400원 (기존 블록 생산시스템의 사용으로 동일 비용 산정)	
			기능직			
		제경비	전력비			
			연료비			
			보수유지비			
			감가상각비			
	일반 경비	간접비	영업인건비	960원	960원 (기존 블록 생산시스템의 사용으로 동일 비용 산정)	
소모품비						
통신비						
기타						
소 계		13,000원	25,699원			

나. 생애주기를 고려한 경제성 분석

우수침투형 Green Block 투수 포장의 경우 내용년수를 20년으로 보고, 기존 블록 포장 및 투수 포장의 공용성 자료를 수집한 결과 10년의 내구년한을 가지는 것으로 분석되어, 표 5.2.2와 같이 생애주기를 고려한 경제성 분석을 실시하였다.

생애주기 20년에 대한 우수침투형 Green Block에 대한 경제성 분석 결과, 우수침투형 Green Block의 경우 결합재로 사용된 불포화 폴리에스테르 수지의 우수한 부착력, 강도 및 내구성 등으로 기존 투수 블록 제품의 결합에 비하여 사용년한 동안 유지관리 및 폐기처분 비용 등의 절감으로 약 10%의 비용절감 효과를 가지는 것으로 나타났다.

표 5.2.2 생애주기를 고려한 경제성 분석

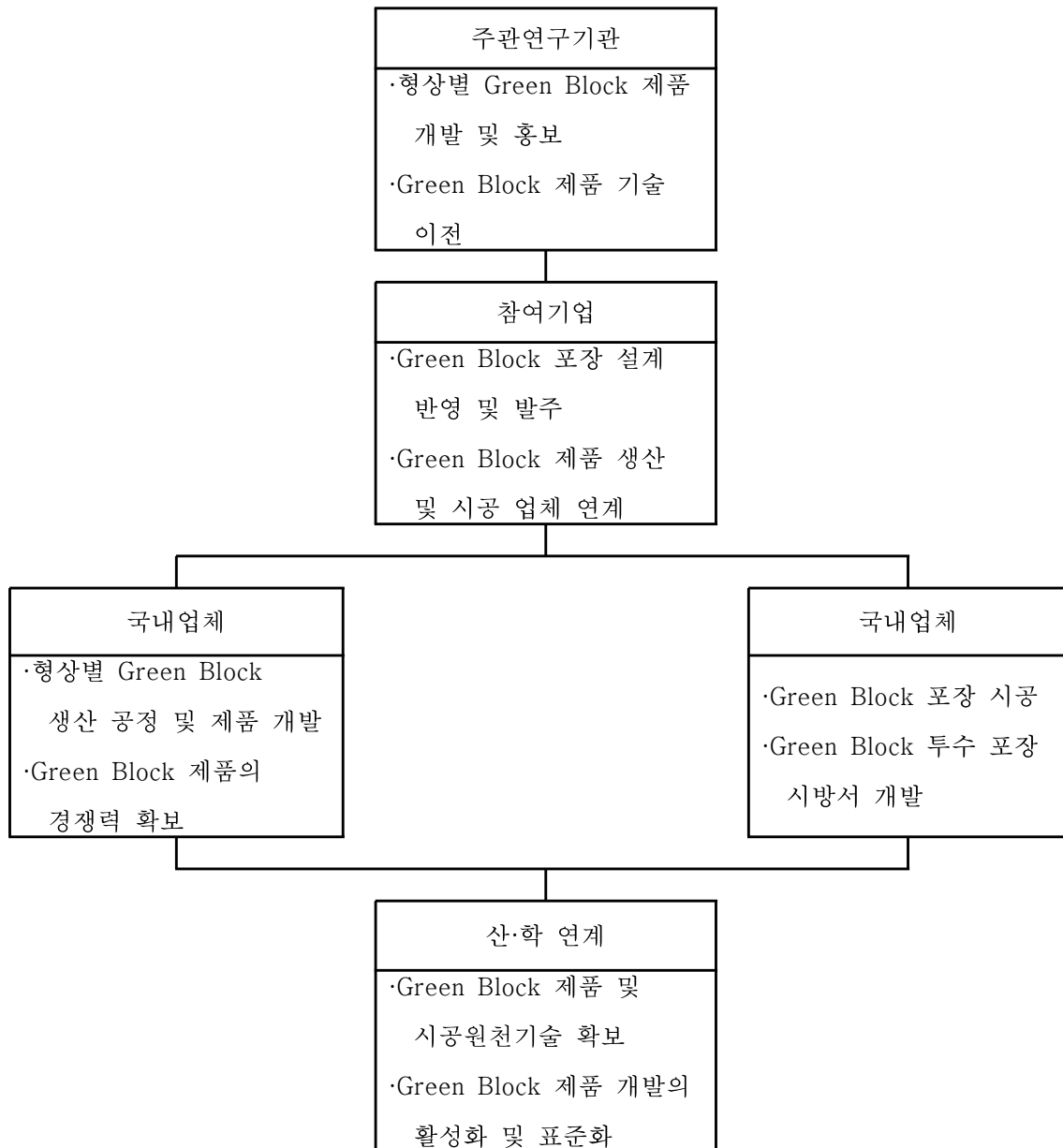
(단위 : 원/m²)

연차	기존공법					우수침투형 Green Block 공법				
	재료비	초기 공사비	유기 관리	폐기 처분	계	재료비	초기 공사비	유기 관리	폐기 처분	계
1	13,000	65	-	-	13,065	25,699	65	-	-	25,874
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	2,613	394	3,007	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	13,000	65	-	-	13,065	-	-	2,577	197	2,774
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	2,613	394	3,007	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
계	26,000	130	5,226	788	32,144	25,699	65	2,570	197	28,648

※ 단위면적당 공사비를 기준으로 비교함

※ 폐기 처분비용은 2011 건설폐기물 처리가격을 기준으로 함

3. 참여기업과의 사업화 추진 계획



4. 연구종료 후 예상 성과

국내외 논문 발표

개발된 다양한 형상의 Green Block이 현장 적용되었으며, 공용성 평가가 지속적으로 이루어지기 때문에 이를 결과를 토대로 국내외 논문 및 학술발표를 할 예정이며, 개발된 Green Block을 활용한 연구를 계속적으로 진행할 예정입니다.

실용화 및 산업화

Green Block이 제품화 될 수 있도록 블록 제조 업체와의 협의를 통하여 실용화를 진행할 예정이며, 현장 시공성을 고려한 다양한 형상의 Green Block 개발 예정입니다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 연구를 위하여 국내외 논문, 학술발표 및 연구보고 등에 관한 자료를 수집한 결과 불포화 폴리에스테르 수지를 활용한 포러스 폴리머 콘크리트에 대한 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 거의 없는 실정이며, 이를 활용한 인터로킹 우수침투형 블록 개발 관련 연구는 전무한 실정이다. 한편, 투수성 포장 및 폴리머 콘크리트에 관한 문헌조사와 리뷰, 학술대회 참가와 견학 및 전시회를 통해 확보한 기술정보는 이미 연구결과에 반영하였음.

제 7장 참고문헌

<연구보고서 및 학위논문>

1. 강영태, 2001, 개발에 따른 우수유출 저감시설 활용방안, 석사학위논문, 연세대학교.
2. 김광우, 1996, 폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌 도로포장 공법의 개발, 연구보고서, 농림부.
3. 김병훈, 2001, 투수성 포장의 우수유출 저감효과에 관한 실험적 연구, 석사학위논문, 명지대학교.
4. 김수광, 2005, 표면재료에 따른 우수유출 저감시설의 침투 특성에 관한 실험 연구, 석사학위논문, 홍익대학교.
5. 김구대, 2006, 폐콘크리트의 재생골재와 파쇄된 미분말을 재활용할 수 있는 기술 개발, 연구보고서, 환경부.
6. 김윤태, 2008, 통합형 우수유출저감시설 설치기준 개발-개발계획 수립시 투수성 보도블록 적용방안, 연구보고서, 방재연구소.
7. 김민철, 2008, 친환경적 폐수처리를 위한 투수성 콘크리트의 담체 개발, 연구보고서, 환경부.
8. 김영일, 2008, 친환경 투수성 탄성포장재 개발에 관한 연구, 석사학위논문, 제주대학교.
9. 김세아, 2009, 친환경 포장 블록 개발에 관한 연구-저독성 포장재 개발을 중심으로, 석사학위논문, 한양대학교.
10. 박승범, 2007, 폐콘크리트 재생골재를 이용한 조장조성용 다기능 콘크리트의 개발 및 적용 연구, 연구보고서, 건설교통부.
11. 소양섭, 2004, 소각재를 이용한 다공성 보도블록 제조기술 개발, 연구보고서, 건설교통부.
12. 원홍상, 2010, 블록 포장 시스템의 도로 적용 및 공용성 분석, 박사학위논문, 중앙대학교.

13. 이신호, 2000, 기계화 경작로 확포장 신공법 개발, 연구보고서, 농림부.
14. 이재근, 2002, 투수성 보도블록 개발의 필요성 및 진성요업제품의 특징에 관한 연구, 연구보고서, 상명대학교 산업과학연구소.
15. 정도준, 2010, 침투시설 설치에 따른 유출저감 및 침투 특성 분석, 박사학위논문, 경일대학교.
16. 충남대학교, 2000, 건설폐기물의 재활용 및 처리기술개발, 연구보고서, 건설교통부.
17. 평원엔지니어링, 2010, 순환골재를 재활용한 친환경 지반개량공법 개발, 연구보고서, 국토해양부.
18. 한국자원재생공사, 1996, 폐콘크리트의 재활용기술 개발 방안에 관한 연구, 연구보고서, 한국자원재생공사.
19. 한국건설기술연구원, 2004, 건설폐자재 재활용 포장지침 개발, 연구보고서, 건설교통부.
20. 한국건설기술연구원, 2005, 구조용 재생골재 및 재생골재크리트 구조물의 장기안정성에 관한 연구, 연구보고서, 건설교통부.
21. 한국지질자원연구원, 2006, 고품질 재생골재 생산기술개발 연구, 연구보고서, 건설교통부.
22. 한국건설기술연구원, 2009, 배수성 포장의 설계 및 시공지침 개발 연구, 연구보고서, 국토해양부.

<학술논문 및 저서>

1. ACI, 1986. Guide for the Use of Polymers in Concrete, Journal of ACI 83(5) : 798~829.
2. Buck, A. D, 1977. Recycled Concrete as a Source of Aggregate, ACI Journal, 74(5).
3. Bentur, A., S. Mindless and N. Banthia, 1986. The Behaviour of Concrete under Impact Loading : Experimental Procedures and Method of Analysis, Materiauxet Constructions 19(113) : 371~378.

4. Brandt, A. M. 1995. Cement-Based Composites : Materials, Chemical Properties and Performance, E & FN Spon.
5. Chae, C. W, 2002, Physical Properties of Porous Concrete Using Admixtures, Journal of the Korea Concrete Institute 14(2): 257~265.
6. Czernin, Wolfgang. 1980. Cement Chemistry and Physics for Civil Engineers, Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH : 10~17.
7. Civil engineering standard specification, 2005, Permeability Concrete Pavement (07154).
8. Fontana, J. J., M. Steinberg, and W. Reams, 1987. Lightweight Polymer Concrete Composites, Polymer Modified Concrete, American Concrete Institute : 51~71
9. Folwer. D. W. 1994. Current uses of Polymer Concrete in the United States, Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete : 3~9.
10. Jo, B. W., K. C. Shin, and S. K. Park, Strength Characteristics on Sulfuric Acid Corrosion of Recycled PET Polymer Concrete with Different Fillers, Journal of the Korean Concrete Institute 17(4): 499~504.
11. Joo, Y. K, 1995. Selection of Turfgrass Species and Cultivars for Hydroseeding on Road Side Slope Areas, Journal of the Korean Turfgrass Society 9(3): 173~185.
12. Kim, G. J, H. G. Han., D. S. Seo., and J. K. Lee, 2010, Shell Powder Coating on the Surface of Concrete by Geopolymer Cement, Korean Journal of Materials Research 20(1): 1~6.
13. Kim, Y. I, and C. Y. Sung, 2005, Characteristics of Environment-Friendly Porous Polymer Concrete for Permeable Pavement, Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers 47(7): 25~33.
14. Kim, Y. I, and C. Y. Sung, 2009, Strength and Durability Properties Recycled Polymer Concrete Using Unsaturated Polyester Resin and Recycled Aggregates, Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers 51(6): 97~103.
15. Koo, H. S, 2006, An Experimental Study on the Strength and Properties of Concrete Containing Shells, Environmental Research Institute of Kyungnam

University 29: 21~33.

16. Kim, N. K., 2004, Flexural Behaviors of Steel and GFRP Reinforced Polymer Concrete T-Beam, Thesis for Doctor Degree, Kangwon National University.
17. Kim, K. N., W. K. Park, and S. Y. Nam, 2003. Comparison of Establishment Vigor, Uniformity, Rooting Potential and Turf Quality of Sodds of Kentucky Bluegrass, Perennial Ryegrass, Tall Fescue and Cool-Season Grass Mixtures Grown in Sand Soil, Journal of the Korean Turfgrass Society 17(4): 129~146.
18. Kim, M. H., Y. K. Baik, S. P. Kang, Y. R. Kim., and J. H. Kim, 2000, Fundamental Properties of Porous Concrete According to sizes of Aggregate, Journal of the Korea Concrete Institute 13(5): 438~446.
19. Kim, S. B., K. S. Yeon., and N. H. Ryu, 2004, Flexural Properties of Glass Fiber Reinforced Polymer Concrete Composite Panel, Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers 46(6): 37~45.
20. Kim, Y. I, 2003, Rheology and Engineering Properties of Fiber Reinforced High Performance Concrete, Thesis for the Degree of Doctor, Chungnam National University.
21. Ko, E. J., E. J. Goh, H. J. Seok., and S. H. Lee, 2009, A Study of Developing Guides for the Construction Site Quality Control of Porous Concrete, The Journal of the Korean Institute of Building Construction 9(3): 65~71.
22. Lee. M. H., J. C. Yi, S. W. Lee, J. L. Soh, and S. H. Park, 2004, Development of Traffic Safety Facilities Using Polymer Concrete Composites, Journal of Advanced Mineral Aggregate Composites 9: 119~124.
23. Lee, I. G, 2000, A Study on the Environment of Waste Shell and Its Recycling Method, Journal of the korean association of crystal growth 10(2): 159~165.
24. Lee. Y. S., and M. K. Joo, 2002, Fundamental Properties of Water-Permeable Polymer-Modified Concrete, Journal of the Korea Concrete Institute 14(3): 402~408.
25. Malhotra, V. M. and N. J. Carino. 1991. Handbook on Nondestructive Testing of

- Concrete, CRC Press : 50~83.
26. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2009.
 27. McConnell and G. Kenneth. 1995. Vibration Testing (theory and practice), John Willey & Sons Inc : 261~278.
 28. Neville, A. M. 1995, Properties of Concrete, 4rd Ed. Longman Malaysia, London : 605~674.
 29. Noh, B. C., K. H. Choi., and J. H. Kim, 2009, An Experimental Study on Permeability in Elevation of Porous Concrete Using Unsaturated Polyester Resin, Journal of the Korea Concrete Institute 19(2): 163~169.
 30. Noh, K. H, and C. Y. Sung, 2004, Mechanical and Drying Shrinkage Properties of Polypropylene Fiber Reinforced High Flow Concrete, Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers 46(5): 79~85.
 31. Ohama, Y. and K. Demura, 1979. Effect of Coarse Aggregate on Compressive Strength of Polyester Resin Concrete, The International Journal of Cement Composites, 1(3): 111~119.
 32. Park. S. B., and C. D. Lim, 2000, Concrete for Planting, Journal of the Korea Concrete Institute 12(5): 38~42.
 33. Park. S. B., B. C. Lee, J. H. Kim., and D. Y. Yun, 2002, Planting-ability Valuation of Porous Concrete Using Industrial By-products, Journal of the Korea Concrete Institute 14(4): 623-629.
 34. Park. S. B., E. S. Yoon, D. S. Seo., and J. Lee, 2005, Mechanical Properties of Porous Concrete for Pavement Using Recycled Aggregate and Polymer, Journal of the Korea Concrete Institute 17(4): 595~602.
 35. Park. S. B., S. H. Park, Y. I. Jang, B. J. Lee., and H. J. Jeon, 2010, An Experimental Study on the Filled State and Physical Engineering Properties of Porous Concrete Utilizing Slag and Bottom Ash ad Fine Aggregate, Journal of the Korea Society and Waste Magemente 27(2): 165~72.
 36. Sakai, K., N. Banthia and O. E. Gjorv. 1995. Concrete under Severe Conditions

- (environment and loading), E & FN Spon : 1,675~1,683.
37. Sandberg, P. 1995. Resistance of Non-Air-Entrained RHA Concrete to Freezing and Thawing in Saline Environment, Fifth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, WI.
 38. Son, J. K, and G. M. Park, 1995, A Scanning Electron Microscopic Study of the Shells of Unionidae (Bivalvia), Korean Journal of Malacol 11(1): 70~77.
 39. Sung, C. Y. 1995, Properties of High Performance Lightweight Polymer Concrete, Journal of the KSAE 37 : 72~81.
 40. Sung, Chan Yong. 1995, Mechanical Characteristics of Permeable Polymer Concrete, The '95 Japan and Korea Joint Seminar, Current Topics of Agricultural Sciences in Japan and Korea, Tottori University, Japan, Oct 4-8: 32~35.
 41. Sung, C. Y, 2004, Permeability of Polypropylene Fiber Reinforced Soil Concrete Pavement Materials, Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers 46(6): 13~19.
 42. Sung, C. Y, and Y. I. Kim, 2002, Experimental Study on pH Reduction by Neutralization Treatment and Curing Methods of Porous Concrete for Planting, Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers 44(2): 99~106.
 43. Sung, C. Y. and Y. I. Kim, 2003. Physical and Mechanical Properties of Concrete Using Recycled Aggregate and Industrial By-products, Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers 45(6): 128~135.
 44. Sung, C. Y. and I. S. Park, 2005. Fluidity of Super Flow Concrete Using Recycled Coarse Aggregate, Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers 47(2): 55~61.
 45. Shin, C. H, 2006, Manufacture of Sterilizing Media with Shell Powder and It's Application to the Filter of Water Clarifier, Journal of the Environmental Sciences 15(11): 1,027~1,034.

46. Shim, K. Y., C. S. Kim, S. H. Lee, and Y. K. Joo, 2004. Effects of Sodding and Seeding Time and Rate of Seed Mixture on the Establishment of Cool-Season Turfgrasses, *Journal of the Korean Turfgrass Society* 18(4): 179~191.
47. Yeon, K. S. 1988. Deformation Characteristics of Reinforced Polymers Concrete Beams, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 30(1): 63~72.
48. Yeon, K. S. 1989. Flexural Characteristics of Polymer Concrete Sandwich Constructions, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 31(2): 125~134.
49. Yeon, K. S., K. H. Kim, P. H. Lee, D. S. Kim, and Y. J. Park, 1994, Mechanical Properties of High Strength Polymer Concrete Using Unsaturated Polymer Resin, *Journal of the Koran Concrete Institute* 6(3): 131~140
50. Yeon, K. S., J. M. Beck, X. Q. Jin, and C. W. Lee, 2005, Effect of Filler and Shrinkage Reducing Agent Influencing on Setting Shrinkage and Strength Properties of MMA-Modified Polymer Paste, *Journal of the Koran Concrete Institute* 18(20): 227~232.
51. Youn, J. N., C. Y. Sung., and Y. I. Kim, 2009, Physical and Mechanical Properties of Porous Concrete Using Waste Activated Carbon, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 51(2): 21~27.

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.