

발간등록번호

11-1543000-000393-01

**농업용수 이용효율 증진 및 농촌경관
개선을 위한 수로교 리모델링 공법 개발**

Development of Remodeling Method of Aqueduct for
Improvement of Agricultural Water Use Efficiency and
Rural Landscape

강원대학교

농림축산식품부

주 의

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

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업용수 이용효율 증진 및 농촌경관 개선을 위한 수로교 리모델링 공법 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2013 년 12 월 31일

주관연구기관명 : 강원대학교

주관연구책임자 : 연 규 석

연 구 원 : 김 용 성

연 구 원 : 황 진 용

연 구 원 : 김 관 호

연 구 원 : 김 남 길

연 구 원 : 손 승 완

연 구 원 : 차 진 윤

연 구 원 : 최 윤 상

연 구 원 : 민 승 호

연 구 원 : 승 인 배

연 구 원 : 박 명 근

연 구 원 : 이 현 효

연 구 원 : 이 진 우

연 구 원 : 장 동 수

연 구 원 : 하 선 효

연 구 원 : 임 정 우

연 구 원 : 박 미 숙

요 약 문

I. 제 목

농업용수 이용효율 증진 및 농촌경관 개선을 위한 수로교 리모델링 공법 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

본 연구는 노후된 수로교의 리모델링 공법을 개발하고 이 기술을 실용화하기 위한 연구로서 구체적인 연구개발의 목적은 다음과 같다.

- 가. 누수가 발생하지 않는 수로교
- 나. 농촌경관과 조화를 이루는 수로교
- 다. 반복되는 손상이 없는 수로교
- 라. 구조적으로 안정한 수로교
- 마. 내구성이 확보된 수로교

2. 연구개발의 필요성

가. 리모델링의 개념

농촌지역이 과거와는 달리 관광, 휴양 및 체험학습 등 다양한 기능을 요구받고 있는 생활, 생산, 휴식의 장으로서 그 역할이 새롭게 정립되고 있다. 즉 과거에는 순수하게 농업만을 위한 수리시설물이 필요했으나 이제는 다양한 사회적 요구를 수용 할 수 있는 방향으로 그 역할이 전환되고 있다.

나. 리모델링의 중요성

우리나라의 수로교는 60년대에 5%, 70년대에 48%, 80년대에 42%, 90년대에 50%가 건설된 바, 90% 정도가 30년이 지난 것으로 내구연한을 다하였다고 볼 수 있으며, 노후된 수로교에서 현재 공통적으로 나타나고 있는 문제점은 신축이음부에서의 누수 및 파손, 받침장치의 부식, 콘크리트로 만들어진 개거부의 부식 등이다.

이와 같은 문제점이 해결되어야 할 뿐만 아니라 수로교는 지상에 노출되어 있어 농촌경관과 밀접한 관계가 있는 중요한 수리구조물이다. 따라서 노후된 수로교에 대한 효

올적인 리모델링 공법의 개발은 중요하며, 반드시 필요한 과제라고 할 수 있다.

다. 본 연구의 차별성

본 연구는 기존에 개발되어 있는 보수, 보강 공법에 비해 다음과 같은 차별성을 가지고 있다.

- (1) 본 연구에서는 개거부 복원, 신축이음부 교체, 콘크리트 표면 복구 등을 종합적으로 연계하는 완벽한 수로교 리모델링 시스템을 구축한다.
- (2) 구조적 기능에 문제가 없는 수로교에는 폴리머 콘크리트로 제조되는 패널을 내측에 설치하여 단면을 복구하는 리모델링 공법을 제시한다.
- (3) 구조적 기능에 문제가 있는 경우 개거부를 완전히 제거하고 새로 제작한 폴리머 콘크리트 제품으로 교체하는 리모델링 공법을 제시한다.
- (4) 이러한 연구를 통해 개발된 리모델링 공법에 의해 시험시공을 함으로서 본 연구결과의 실용화 및 사업화 가능성을 실증적으로 입증한다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 수로교의 실태 및 리모델링 기준설정

가. 기존 수로교의 실태

나. 리모델링 기준설정 및 형상 디자인

2. 사용재료 개발

가. 기존의 사용재료 분석

나. 프리캐스트 제품용 재료 개발

다. 폴리머 콘크리트의 재료상수 도출

라 보수용 재료 개발

마. 받침 및 신축이음 개발

3. 구조설계 및 실물재하시험

가. 구조설계

나 실물재하시험

4. 리모델링 현장적용 기술 개발

- 가. 현장 시험시공
- 나. 시험시공 후 신축량 추적 조사
- 다. 개발기술의 경제성 분석
- 라. 지속가능한 콘크리트 구조물의 보수 보강 공법

5. 제작 및 공사 시방서(안)

- 가. 제작 시방서
- 나. 공사 시방서

IV. 연구개발 결과

1. 수로교의 실태 및 리모델링 기준설정

가. 우리나라의 수리시설 개보수율은 69.0%로 나타났으며, 전액 국고보조사업으로 추진되고 있다.

나. 수로교는 대규모(1 x 1 m이상)가 29%, 소규모가 71%를 차지하고 있으며, 이 가운데 60%가 1980년대에 준공 되었다.

다. 수로교의 개보수 사유는 노후 및 파손으로 인한 것이 약 83%, 재해 위험으로 인한 것이 약 13%, 기능 저하로 인한 것이 약 7%로 나타났다.

라 수로교의 개보수 방법은 보수가 약 65%, 교체가 약 35%로서 보수가 주를 이룸을 알 수 있다.

마. 수로교의 손상원인은 온도변화에 의한 신축, 동결융해, 콜드 조인트, 중성화, 캐비테이션 등 이었다.

바. 수로교의 손상유형은 이음부 파손, 균열, 골재 노출, 표면박락, 표면부식, 철근부식, 백화현상 등으로 나타났다.

사. 리모델링 범위는 개거부는 교체 및 보강, 교각부는 보수 및 보강이며, 이밖에 형상 디자인을 위한 모델 14가지를 제시 하였다.

2. 사용재료 개발

가. 기존의 재료로서 균열보수제는 에폭시 수지, 폴리머 시멘트 슬러리, 아크릴 수지 등이 사용되며, 단면복구제는 폴리머 시멘트 모르타르와 에폭시 모르타르가 주로 사용되고 있었다.

나. 프리캐스트 제품용 재료로 UP-MMA 폴리머 콘크리트를 개발하고, 이에 대한 역학적 특성을 구명 하였다.

다. UP-MMA 폴리머 콘크리트에 대한 압축, 쪼갬인장, 휨강도 및 탄성계수, 포아슨비, 열팽창계수 등 구조해석에 필요한 재료상수를 도출 하였다.

라. 보수용 재료로 MMA-PMMA 폴리머 모르타르를 개발하여 이에 대한 기온에 따른 최적 배합비를 도출하고, 강도 특성을 구명하였다.

마. 강도가 높고 내식성이 우수한 폴리머 콘크리트 받침과 특수 제작한 폴리러버시트 (Polyr-rubber sheet)와 STS(Stainless Steel)를 이용한 신축이음장치를 개발 하였다.

3. 구조설계 및 실물재하시험

가. 개거부의 구조설계를 통해 15가지 경우에 대한 폴리머 콘크리트 제품의 표준단면의 크기를 제시 하였으며 이는 현장적용 시 유용하게 사용될 수 있다.

나. 실물재하시험을 통해 처짐 및 변형률을 측정하여 본 바, 모두 허용값 보다 작게 나타나 안전성 확보 측면에서 문제가 없음을 확인 할 수 있었다.

4. 리모델링 현장적용 기술 개발

가. 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품을 이용한 교체 공법과 폴리머 콘크리트 패널을 이용한 개거부 보수 보강 공법을 현장에 시험 시공한 바 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다.

나. 기존의 보수 보강 기술에 비해 공사기간을 단축 할 수 있고, 시공성을 향상시킬 수 있기 때문에 충분한 경쟁력이 있음을 확인 할 수 있었다.

다. 폴리머 콘크리트 수로교의 신축량의 이론값을 실측치와 비교하여 본 바 그 값이 거의 일치함을 확인 할 수 있었다.

라. 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품으로 리모델링하는 공법은 노후된 개거부를 철거하고 철근콘크리트로 재시공 하는 공법에 비해 경제성 측면에서 매우 유리한 것으로 나타났다.

5. 제작 및 공사 시방서(안)

가. 제작시방서(안)를 작성하여 제시 하였으며, 이는 양질의 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품을 제조하는데 중요한 지침이 될 것이다.

나. 공사시방서(안)를 작성하여 제시 하였으며, 이는 현장시공을 함에 있어서 중요한 지침으로 활용될 수 있을 것이다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 연구개발성과

가. 본 과제의 수행을 통해 작성된 논문은 국내학술지에 2편, 해외학술지에 5편, 국내 학회발표 5편, 해외학회발표 3편 등 15편의 논문을 발표 하였다.

나. 본 연구를 통해 얻어진 핵심기술에 대한 특허는 출원 5건이며, 이 중 2건이 등록 완료되었다.

2. 성과 활용계획

가. 참여기업과 기술 사용 협약 추진

개발 기술을 사용할 참여기업과 협의하여 기술이전 협약을 추진한다.

나. 우수 조달물품 및 기술인증 물품 등록 추진 (조달청)

개발된 제품이 정부기관에서 발주하는 공사의 설계에 우선 반영 될 수 있도록 한다.

다. 건설신기술 지정 신청 추진(국토교통부)

정부기관이 시행하는 건설공사에 우선적으로 적용 될 수 있도록 한다.

SUMMARY

I. Title

Development of Remodeling Method of Aqueduct for Improvement of Agricultural Water Use Efficiency and Rural Landscape

II. Purpose and Need of Research

1. Purpose of Research

This study, conducted to develop remodeling methods for decrepit aqueducts and put the resulting technology to practical use, has the following purposes.

- A. Aqueducts without water leak
- B. Aqueducts compatible with the rural landscape
- C. Aqueducts without repeated destruction
- D. Aqueducts with structural stability
- E. Aqueducts with durability

2. Need of Research

A. Concept of remodeling

Rural area, unlike in the past, is witnessing its role redefined as the location of living, production and rest being required to play various functions such as tourism, leisure and experiential learning. In the past, canal structures were needed purely for agricultural purposes but currently their roles are being changed so that they can accept diverse requirements of the society.

B. Importance of remodeling

Among the aqueducts in Korea, 5 % were built in the 1960's, 48 % in the 1970's, 42 % in the 1980's, and 50 % in the 1990's, thus about 90 % of the total being over 30 years and past their durability life. Common problems of the decrepit aqueducts include water leak and destruction of expansion joint, corrosion of shoes, and corrosion of concrete flumes.

In addition to solving these problems, the aqueducts, exposed on the ground, are

important canal structures closely related to the rural landscape. So, developing efficient remodeling methods for decrepit aqueducts is an important, absolutely necessary task.

C. Differentiating factors of this study

This study can be differentiated from the rehabilitation methods currently available.

- (1) In this study, a complete aqueduct remodeling system that comprehensively links repair of flumes, replacement of expansion joints, and repair of concrete surfaces will be established.
- (2) For the aqueducts that have no problems in their structural function, a remodeling method that repair cross-sections (patches) by installing polymer concrete panels in the inside will be proposed.
- (3) For the aqueducts that have problems in their structural function, a remodeling method that completely removes flumes and replaces them with newly manufactured polymer concrete products will be proposed.
- (4) By conducting a demonstrative construction using remodeling methods developed in this study, the possibility of putting to practical use, and commercializing, the result of this study will be empirically proved.

III. Content and Scope of Research

1. Current state of aqueducts and establishing of remodeling standards

- A. Current state of existing aqueducts
- B. Establishing of remodeling standards and designing of exterior

2. Development of materials

- A. Analyzing existing materials
- B. Developing materials for precast products
- C. Calculating materials constant of polymer concretes
- D. Developing repairing materials
- E. Developing shoes and expansion joints

3. Structural design and full scale loading test

- A. Structural design
- B. Full scale loading test

4. Development of technology applicable to remodeling in the fields

- A. Demonstrative construction in the fields
- B. Follow-up survey of expansion length after demonstrative construction
- C. Analysis of economic merit of the technology developed
- D. Repair strengthening methods for sustainable concrete structures

5. Specification for manufacture and construction

- A. Specification for manufacture
- B. Specification for construction

IV. Results

1. Current state of aqueducts and establishing of remodeling standards

A. Canal structures in Korea show rehabilitation rate of 69.0 %, and all rehabilitation projects are being conducted as national subsidy programs.

B. Among the aqueducts, larger ones (1 x 1 m or bigger) account for 29 % and smaller ones 71 %, and 60 % of the total were built in the 1980's.

C. Causes of rehabilitation for aqueducts were decrepitude and destruction (about 83 %), risk of accident (about 13 %), and functional deterioration (about 7 %).

D. Repair accounts for about 65 % and replacement about 35 % of the rehabilitation of aqueducts, thus repair accounting for the majority.

E. Causes of deterioration for aqueducts included expansion due to temperature changes, freezing and thawing, cold joint, neutralization, and cavitation.

F. Types of deterioration for aqueducts included destruction of joint, crack, exposure of aggregate, peeling off of surface, corrosion of surface, corrosion of reinforcing bar, and efflorescence.

G. The scope of remodeling included replacing and strengthening of flumes and repairing and strengthening of piers. In addition, 14 models for exterior design were proposed.

2. Development of materials

A. Among the existing materials, crack repairing materials include epoxy resin, polymer cement slurry and acrylic resin and patch repair materials include polymer cement mortar and epoxy mortar.

B. UP-MMA polymer concrete was developed as precast product materials, and its mechanical characteristics were identified.

C. Materials constant of UP-MMA polymer concrete necessary for structural analysis, including compressive, splitting tensile, flexural strength and modulus of elasticity, Poisson's ratio, and thermal expansion coefficient, was identified.

D. MMA-PMMA polymer mortar, whose optimum mixing ratio (according to temperature) and strength characteristics were identified, was developed as repairing materials.

E. Polymer concrete shoes which had good strength and corrosion resistance and expansion joints to which Poly-rubber sheets and STS attached easily were developed.

3. Structural design and full scale loading test

A. The size of standard cross-section for polymer concrete products in 15 cases was proposed through structural design of flume and can be useful in the fields.

B. Measurements of deflection and strain through full scale loading test were within the range allowed, showing no problems posed to safety.

4. Development of technology applicable to remodeling

A. Demonstrative construction was made of the replacement method using precast polymer concrete products and the flume rehabilitation method using polymer concrete panels in the fields, showing satisfactory results.

B. Construction period could be shortened as compared to rehabilitation method currently available and constructability could be improved, thus proving the technology's sufficient competitiveness.

C. Theoretical values of expansion length of polymer concrete aqueducts proved almost identical to measured values thereof.

D. Remodeling method with precast polymer concrete products was showing great economic merit compare to rebuilding with reinforced concretes.

5. Specification for manufacture and construction

A. Specification for manufacture has been prepared and proposed and will be an important guideline to manufacture good-quality precast polymer concrete products.

B. Specification for construction has been prepared and proposed and could be used as an important guideline in the fields.

V. Result of Research and Plan to Utilize the Result

1. Result of Research

A. Fifteen treatises have been written and published during this project (two in domestic professional journals, five in overseas professional journals, five in domestic conferences and three in overseas conferences).

B. Five patent applications were filed on the core technology acquired through this study, two of which has been registered.

2. Plan to utilize the result

A. Entering into technology agreements with participating companies

Technology transfer agreements will be entered into with participating companies that use the technology developed.

B. Registering as "good product" and "technology-certified product" (Public Procurement Service)

Efforts will be made so that the products developed are given priority in the design of construction projects ordered by government agencies.

C. Applying for designation as construction new technology (Ministry of Land, Infrastructure and Transport)

Efforts will be made so that the products developed are given priority in the construction projects managed by government agencies.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of the Research	1
Section 1. Objectives of the research	1
Section 2. Needs of the research	1
1. Concept of remodeling	1
2. Current status and importance of aqueduct	2
3. Deterioration cause of aqueduct	3
4. Rehabilitation method of existing aqueduct	4
5. Differences of this study	4
Chapter 2. Current Status of Technical Development	6
Section 1. Basic direction of analysis and data collection	6
1. Analysis of construction method	6
2. Method of data collection	6
Section 2. Analysis of collected construction method	6
1. Summary of analysis contents	6
2. Characteristics of construction methods	8
Chapter 3. Status of Aqueduct and Standard Setting of Remodeling	16
Section 1. Status of existing aqueduct	16
1. Management status of canal structures	16
2. Elapsed years of aqueduct	18
3. Rehabilitation cost analysis of aqueduct	25
4. Rehabilitation causes of aqueduct	26
5. Rehabilitation methods of aqueduct	26
6. Deterioration causes and types of aqueducts	27
Section 2. Standard setting and shape design of remodeling	34

1. Goal of remodeling	34
2. Scope of remodeling	34
3. Deterioration causes and damaged condition	37
4. Evaluation of damaged condition and application standards of remodeling method	38
5. Application of remodeling method	42
6. Selection of remodeling materials and basic properties	43
7. Outline of construction method	45
8. Exterior design model considering landscape	49
Chapter 4. Development of Materials	56
Section 1. Investigation of existing materials	56
1. Objective	56
2. Repairing materials	56
3. Strengthening materials	63
4. Summary	65
Section 2. Development of materials for precast products	66
1. Objectives	66
2. Materials used and test method	67
3. Results and discussion	70
4. Summary	87
Section 3. Derivation of materials constant for polymer concrete	88
1. Objectives	88
2. Test of mechanical properties	88
3. Test of thermal expansion coefficient	94
4. Summary	98
Section 4. development of repairing materials	99
1. Objective	99
2. Materials used and test method	100
3. Results and discussion	104
4. Summary	117
Section 5. Development of shoe and expansion joint	118
1. Objectives	118
2. Materials used	118

3. Application method	119
4. Research results	119
5. Summary	119
Chapter 5. Structural Design of Full Scale Loading Test	123
Section 1. Structural design	123
1. Objectives	123
2. Materials constant of polymer concrete	123
3. Section design	123
4. Standard cross-sectional diagram of aqueduct	140
5. Summary	150
Section 2. Full scale loading test.....	150
1. Objectives	150
2. Manufacture of specimens	151
3. Loading test	161
4. Characteristics of deflection and strain	163
5. Summary	167
Chapter 6. Development of Field-Applied Technology	168
Section 1. Demonstrative construction	168
1. Selection of site	168
2. Investigation of general plan for river maintenance	169
3. Damaged condition of concrete aqueducts	175
4. Field application	178
5. Summary	191
Section 2. Investigation of expansion length after demonstrative construction	191
1. Investigation of expansion length by variation of temperature	191
2. Comparison with calculated expansion length	195
3. Summary	197
Section 3. Economic analysis of developed technologies	197
1. Cost accounting	197
2. Comparison of purity construction expense.....	204
3. Summary.....	205

Section 4. Sustainable rehabilitation method of concrete structures	206
1. Methods of measure and assess	207
2. Concrete and life cycle considerations	213
3. Environment standards for concrete sector	214
4. Summary	216
Chapter 7. Specification for Manufacture and Construction (Draft)	217
Section 1. Specification for manufacture (Draft)	217
1. General term	217
2. Manufacturing	219
3. Reinforcement of tensile and compressive side	222
4. Inspection and appellation	225
Section 2. Specification for construction (Draft)	226
1. General term	226
2. Stowage, transportation and inspection of precast products	226
3. Field construction	229
4. Quality control	232
5. Other details	233
Chapter 8. Achievement of Target and Contributiveness in Interest Field ..	234
Section 1. Achievement of target	234
1. First year	234
2. Second year	235
3. Third year	236
Section 2. Contributiveness in interest field	237
1. Original goal.....	237
2. Achievement result.....	237
Chapter 9. Research Products and Application Plan	239
Section 1. Research products	239
1. Papers	239

2. Patents	241
Section 2. Products application plan	241
1. Contract with participate company for technology transfer	241
2. Obtain certification from Public Procurement for excellent products	242
3. Obtain certification from Ministry of Land Infrastructure and Transport for new construction technology	242
Chapter 10. References	244

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제1절 연구개발의 목적	1
제2절 연구개발의 필요성	1
1. 리모델링의 개념	1
2. 수로교의 현황 및 중요성	2
3. 수로교의 손상원인	3
4. 기존의 수로교 보수·보강 공법	4
5. 본 연구의 차별성	4
제 2 장 기술개발 현황	6
제1절 분석의 기본방향 및 자료수집 방법.....	6
1. 관련 공법분석의 기본방향	6
2. 기술 관련자료 수집방법	6
제2절 조사된 관련 공법의 분석.....	6
1. 분석내용 요약	6
2. 공법의 내용 및 특징	8
제 3 장 수로교의 실태 및 리모델링 기준설정	16
제1절 기존 수로교의 실태	16
1. 수리시설물의 관리실태	16
2. 수로교의 경과연수	18
3. 수로교의 개보수 사업비 분석	25
4. 수로교의 개보수 사유	26
5. 수로교의 개보수 방법	26
6. 수로교 손상원인 및 유형	27

제2절 리모델링 기준설정 및 형상 디자인	34
1. 리모델링의 목적	34
2. 수로교 리모델링의 범위	34
3. 주요 성능저하요인 및 손상상태	37
4. 상태평가 및 리모델링 공법의 적용기준	38
5. 리모델링 공법의 적용	42
6. 리모델링 재료 선정 및 기본성질	43
7. 시공방법 개요	45
8. 경관을 고려한 형상 디자인 모델	49
제 4 장 사용재료 개발	56
제1절 기존의 사용재료 조사분석	56
1. 연구목적	56
2. 보수재료	56
3. 보강재료	63
4. 결과요약	65
제2절 프리캐스트 제품용 재료 개발	66
1. 연구목적	66
2. 재료 및 방법	67
3. 결과 및 고찰	70
4. 결과 요약	87
제3절 폴리머 콘크리트의 재료상수 도출	88
1. 연구목적	88
2. 역학적 특성 시험	88
3. 열팽창계수 시험	94
4. 결과요약	98
제4절 보수용 재료 개발	99
1. 연구목적	99

2. 재료 및 방법	100
3. 결과 및 고찰	104
4. 결과 요약	117
제5절 받침 및 신축이음 개발	118
1. 연구목적	118
2. 사용재료	118
3. 적용방법	119
4. 연구결과	119
5. 결과요약	119
제 5 장 구조설계 및 실물재하시험	123
제1절 구조설계	123
1. 연구목적	123
2. 폴리머 콘크리트의 재료상수	123
3. 단면설계	123
4. 수로교 개거부 표준단면도	140
5. 결과요약	150
제2절 실물재하시험	150
1. 연구목적	150
2. 시험체 제작	151
3. 재하시험	161
4. 처짐 및 변형 특성	163
5. 결과요약	167
제 6 장 리모델링 현장적용 기술 개발	168
제1절 현장 시험시공.....	168
1. 대상지 선정	168
2. 하천정비 기본계획 검토	169

3. 기존 콘크리트 수로교의 손상상태.....	175
4. 시험시공.....	178
5. 결과요약	191
제2절 시험시공 후 신축량 추적조사.....	191
1. 온도변화에 의한 신축량 조사	191
2. 이론 신축량과의 비교	195
3. 결과요약	197
제3절 개발기술의 경제성 분석	197
1. 원가계산	197
2. 순공사비 비교	204
3. 결과요약	205
제4절 지속 가능한 콘크리트 구조물의 보수 보강 방법	206
1. 측정과 평가의 방법	207
2. 콘크리트와 생애주기 고려	213
3. 콘크리트 부분의 환경적인 기준	214
4. 결과요약	216
제 7 장 제작 및 공사 시방서(안)	217
제1절 제작 시방서 (안)	217
1. 일반사항	217
2. 제작	219
3. 인장축 및 압축축 보강	222
4. 검사 및 호칭방법	225
제2절 공사 시방서 (안)	226
1. 일반사항	226
2. 제품의 적치, 운반, 검수	226
3. 현장가설	229
4. 품질관리	232

5. 기타사항	233
제 8 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	234
제1절 목표 달성도	234
1. 1차년도	234
2. 2차년도	235
3. 3차년도	236
제2절 관련분야에의 기여도	237
1. 당초목표	237
2. 달성성과	237
제 9 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	239
제1절 연구개발성과	239
1. 논문게재 성과	239
2. 특허성과	241
제2절 성과 활용계획	241
1. 참여기업 기술 사용 협약 추진	241
2. 조달청 우수조달 물품 및 기술인증물품 등록 추진	242
3. 건설신기술 지정신청 추진	242
제 10 장 참고문헌	244

제 1 장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

본 연구는 노후된 수로교의 리모델링 공법을 개발하고 이 기술을 실용화하기 위한 연구이다. 이를 위해 적용공법, 사용재료, 시공방법과 공법선정기준, 설계기준, 시공기준 등을 개발하고 현장시험시공을 통해 연구결과를 실증적으로 구명하며, 특허·신기술 등 지식재산권 획득을 통해 실용화 및 사업화를 달성하는데 그 목적이 있다.

제2절 연구개발의 필요성

1. 리모델링의 개념

가. 농촌지역이 과거와는 달리 관광, 휴양 및 체험학습 등 다양하고 다원적인 기능을 요구받고 있는 생활, 생산, 휴식의 장으로서 그 역할이 새롭게 정립되고 있다.

나. 과거에는 순수하게 농업만을 위한 농업시설물이 필요했으나 이제는 다원적 기능과 다양한 사회적 요구를 수용 할 수 있는 방향으로 그 역할이 전환되고 있다. 즉, 그동안 농업생산 기반정비 사업에서 강조되어 왔던 농학이나 공학적 측면에서 벗어나 새로운 기능을 수용 할 수 있는 방향으로의 방향전환이 필요하다.

다. 농업기반시설관리규정에 의하면 “유지관리”는 일상적으로 점검·정비하고, 손상된 부분을 원상 복구하는 등 시설의 기능을 유지·보전 하는데 필요한 활동을 말하며, “개보수”는 노후시설이나 제 기능을 다하지 못하는 시설을 개량·보수하여 재해위험을 해소하고 기능을 회복시키거나 개선하는 것으로 정의하고 있다.

라. 이제 시대적 흐름에 맞게 개보수라는 개념을 “**농업시설물의 리모델링**”이란 용어로의 전환을 모색해 볼 필요가 있으며, 이는 ① 노후시설이나 제기능을 다하지 못하는 **시설을 개량·보수**하여 재해위험을 해소와 함께 기능을 회복시키거나 개선하고, ② 생태적 안정과 친수공간의 확보 등 새로운 **사회적 요구를 수용**하는 행위로 그 개념을 정립 할 수 있

을 것이다.

(한경수, “농업용 시설물개보수사업에 대한 새로운 접근방식”에서 인용)

2. 수로교의 현황 및 중요성

가. 수로교는 각각 독립된 일정길이의 수로와 교각이 수평, 수직으로 연결된 철근콘크리트 구조물로 수로와 수로는 지수기능을 갖는 신축이음장치에 의해 수평으로 연결되고, 수로의 연직하중은 수로 받침 장치에 의하여 교각으로 전달되는 비교적 단순한 구조물이다.

나. 즉, 수로교는 관개용수를 공급하는 수로부분인 상부구조와 상부구조의 하중 즉 고정하중, 적재하중 및 풍하중 등의 외력을 기초에 전달하는 하부구조(교각, 기초 등)로 구성되어 있으며, 상부구조와 하부구조의 하중은 기초지반에 전달되어 안정한 상태를 유지하게 된다.

다. 수로교는 농업기반시설 관계규정에서 안전점검대상이 아닌 3종 시설물로서 규모는 크지않으나 농업용수를 도수하는 핵심적인 역할을 하는 구조물이다.

라. 한국농어촌공사의 수로교 경관사업대상 조사결과에 의하면 리모델링이 필요한 수로교 (개거 포함)가 전국적으로 107지구 151개 노선에 연장이 24,437 m에 달하였으며, 강원도 지역의 리모델링 대상이 50 % 이상을 차지하는 것으로 나타났다.

마. 수로교의 내구연한은 투자심사편람(1982, 경제기획원)과 농촌용수계획설계편람(1998, 한국농어촌공사)에 30년으로 되어 있어, 암거·잠관과 함께 가장 짧은 내구연한을 갖고 있다.

바. 한국농어촌공사 자료에 의하면, 전국적으로 수로교는 60년대에 5 %, 70년대에 48 %, 80년대에 42 %, 90년대에 50 %가 건설된 바, 90 % 정도가 30년이 지난 것으로 내구연한을 다하였다고 볼 수 있다.

사. 그리하여 노후된 수로교에서 현재 공통적으로 나타나고 있는 문제점은 개거부의 바닥판 코너부와 신축이음에서의 누수, 강관 받침장치의 부식, 받침 앵커부에서의 균열 등이다.

아. 결론적으로 수로교는 농업용수의 도수 뿐만 아니라 지상에 노출되어 있어 농촌경관과 밀접한 관계가 있는 중요한 수리구조물로서, 향후 대부분의 수로교가 성능개선을 위한 리모델링을 필요로 한다고 할 수 있겠다.

3. 수로교의 손상원인

가. 수로교는 시공 시 상부의 개거부 바닥을 먼저 시공하고 측벽을 나중에 시공하므로 연결부에 콜드 조인트가 생겨 누수나 구조적 결함이 발생하게 된다.

나. 개거부의 단면이 얇아 시공 시 다짐 등 콘크리트의 품질관리가 어려운 점도 내구성 저하로 인한 수로교 손상의 주요 원인이 된다.

다. 수로교는 선형구조물로서 온도변화에 의한 길이방향의 수축·팽창이 크기 때문에 손상이 발생 될 수 밖에 없었고, 보수 후에도 재손상이 일어나거나 오히려 손상의 확대를 가져왔다.

라. 수로교는 구배가 완만하고 개거부 바닥에 배수공이 없어 동절기에는 융설수 등이 고여 있게 되며, 이로 인한 동결융해작용으로 개거부 콘크리트의 손상이 촉진된다.

마. 이러한 원인으로 인하여 농업용수의 누수, 농촌경관 훼손, 안전사고 발생, 홍수 시 재해위험, 주민통행 지장, 배수불량 등의 문제점들을 야기 시키고 있다.



사진 1.1 누수가 심한 수로교



사진 1.2 농촌경관을 해치는 수로교

4. 기존의 수로교 보수·보강 공법

가. 수로교는 일반 교량과 같은 토목구조물과 달리 소형단면이므로 기존에 대형 토목·건축구조물 중심으로 개발된 보수·보강이나 리모델링 공법을 적용하는 데는 기술적으로 무리가 따르며 단위공정당 공사비도 훨씬 많이 소요된다.

나. 우리나라에서는 지금까지 수로교 보수·보강에 다음과 같은 공법들이 이용되었으나 단편적인 기술로서 재손상을 일으키는 등의 문제로 범용화 되어 있지 못하다.

(1) 단면복구

- ① 세라믹 코팅재(세라믹 재료 충전 및 도장)와 골재를 사용한 수로교 보수·보강
- ② 랜더죽을 이용한 수로교 보수·보강

(2) 수로교 개거부 누수방지

- ① GFRC 패널공법을 이용한 수로교 보수·보강
- ② 트라시스템(고침투 복합방수)을 이용한 수로교 보수·보강
- ③ 폴리에틸렌을 2중으로 합지하고, 부틸고무를 덧씌우는 수로교 보수·보강

(3) 신축이음부 처리

- ① 난연 FRP공법을 이용한 수로교 보수·보강
- ② 수로교를 인상하고 고탄성고무받침으로 교체하는 수로교 보수·보강
- ③ 기존의 PVC 지수판을 충분한 팽창유격이 가능한 신축시트로 교체하는 수로교 보수·보강

5. 본 연구의 차별성

가. 수로교의 반영구적인 복구를 위해서는 상기와 같이 단순한 보수·보강이 아닌 면밀한 진단과 수로교의 손상 등급에 따라 리모델링 공법을 적용하는 것이 바람직하다.

나. 본 연구에서는 개거부 보수, 신축이음부 교체, 표면부 복구 등을 종합적으로 연계하여 완벽한 수로교 리모델링 시스템을 구축코자 한다.

다. 특히, 개거부 시공조인트에서의 누수를 완전히 차단함을 목적으로 폴리머 복합체로 제조 되는 얇은 패널 제품을 내측에 설치하는 등 기존의 방법과 차별성 있는 리모델링 공법을 개발하고자 한다.

라. 또한 복구가 불가능한 개거부일 경우 완전히 제거하고 구조해석 결과에 폴리머 복합체로 새로 제작한 플럼으로 교체하는 등 수로교의 형상까지 바꾸는 리모델링 공법도 도입할 계획이다.

마. 신축이음부의 교체와 손상된 표면부 보수는 본 연구진이 그동안 기초연구를 수행하며 축적한 연구 결과를 활용한다면 연구목표가 무리 없이 달성 될 수 있을 것이다.

바. 이러한 리모델링 공법을 개발함으로써 반영구적인 내구성을 확보토록 하고, 공사비 절감과 공기단축을 가져오도록 할 것이며, 색상디자인을 통해 농촌경관과 조화를 이루는 수로교가 되도록 할 것이다.

사. 마지막으로 손상된 수로교를 사례별로 몇 곳 선정하여 이에 대한 리모델링을 시험적으로 시공함으로써 본 연구결과의 실용화 및 사업화 가능성을 실증적으로 입증하고, 이의 적용을 위한 시방서도 마련하여 제시 한다.

아. 현재 한국농어촌공사에서는 24,437 m에 달하는 수로교(개거 포함)를 경관개선을 위한 리모델링 대상으로 확정한 바, 본 연구개발의 시의성은 매우 적절하다고 할 수 있다.

제 2 장 기술개발 현황

제1절 분석의 기본 방향 및 자료수집 방법

1. 관련 공법분석의 기본방향

- 가. 농업용 수로교의 리모델링에 관한 외국의 연구자료는 찾아보기 어려움
- 나. 우리나라에서 발표된 관련 자료를 중심으로 분석함
- 다. 보수·보강 공법관련 자료를 분석함
- 라. 교체나 신설공법 관련 자료를 분석함
- 마. 신기술과 특허기술을 대상으로 분석함

2. 기술 관련자료 수집방법

- 가. 신기술은 한국건설교통기술평가원 홈페이지 (<http://www.kictep.re.kr>)의 건설신기술 정보마당 / 신기술검색을 이용함
- 나. 특허는 특허청 홈페이지 (<http://www.kipo.go.kr>)의 특허정보검색 서비스를 이용함

제2절 조사된 관련 공법의 분석

1. 분석내용 요약

신기술 7개, 특허 9개 등 16개의 관련 기술에 대한 핵심적인 사항을 간략하게 요약하면 다음과 같다.

- 가. 코너비드와 신축이음 장치를 사용하여 농업용 콘크리트용 배수로를 보수하는 공법임
- 나. 앵커핀을 박고 콘크리트를 새로 타설하는 콘크리트 구조물 보수·보강공법임
- 다. 구조물에 홈을 파고 FRP rod를 삽입한 후 폴리머 모르타르로 마감하는 내하력 보강공법임

라. 강관에 유리섬유나 탄소섬유를 부착한 쉬트를 구조물에 부착하여 내하력을 증진시키는 휨 보강 공법임

마. 고인성 보수 모르타르를 구조물 표면에 뿔칠하여 구조물의 내구성을 향상시키는 공법임

바. 각종 모르타르를 손상된 구조물 표면에 충전, 미장하여 단면을 복구하는 보수공법임

사. 손상된 구조물을 철근, 강선, 와이어 메쉬 등으로 보강한 후 단면을 복구하는 보수공법임

아. 손상된 구조물의 철근을 방청처리하고 속경성 모르타르를 도포하여 pH를 회복시킴으로써 내구성을 확보하는 보수 공법임

자. 수로관, 연결부재, 결합부(받침), 덮개 및 체결봉이 모두 FRP로 공장 제작되어 수로교 상부를 설치하는 공법임

차 단면이 작은 수리구조물 보수 시 보수용 코너비드를 사용하여 코너부를 보강하고 외관의 미장성을 확보하는 보수공법임

카. 에폭시 도복장 강관을 절단하여 제작한 받침 위에 강관을 안착시켜 수로교 상부를 설치하는 공법임

타. FRP 받침과 거더 위에 FRP 개거를 설치하는 수로교 상부 건설공법임

파. 프리스트레스를 도입하여 제작된 시멘트 콘크리트 개거부를 수로교 상부에 설치하는 수로교 건설공법임

하. 폴리에틸렌 필름을 이용하여 신축 이음부를 방수 처리하는 보수공법임

기. 스테인레스 재료를 이용한 신축이음 장치를 제작하여 신축 이음부를 처리하는 보수공법임

니. 수로교 손상부를 방청처리한 후 충전용 모르타르를 채워 실링재로 마감 처리하는 보수공법임

※ 이상에서 살펴 본 바와 같이 본 연구에서 수행하는 폴리머 콘크리트 제품을 이용한 개거부 교체나 패널을 이용한 개거부 내측 보강 의한 리모델링 공법은 찾아볼 수 없다.

2. 공법의 내용 및 특징

조사된 16개의 공법에 대한 내용 및 특징을 요약하면 다음의 표 2.1과 같다.

표 2.1 조사된 관련 공법의 내용 및 특징

구 분	① PSMD 공법 (신기술 506호)	② C&P 공법 (신기술 211호)
내 용	<ul style="list-style-type: none"> ● 미세섬유질의 세피오라이트와 폴리프로필렌 섬유를 혼합한 시멘트계 보수재(PD-100)를 사용 ● 시공성과 안정성을 증대하기 위한 크립프 철망 및 코너비드, 이음 부분의 누수를 억제하기 위한 V형 스테인레스 다공판 구조의 신축이음 장치를 적용시킨 농업용 콘크리트 용배수로 보수 공법 	<ul style="list-style-type: none"> ● 철근 및 무근 콘크리트로 건설된 구조물의 노후부를 보수·보강하는 공법 ● 콘크리트 구조물의 건전도를 측정하여 설계 심도를 결정한 후 기존 구조물에 손상을 주지 않는 다발식 공기 타격식 해머를 이용 ● 비건전부를 완전 제거한 후, 접합력을 최대화 하기 위한 구조적(전단내력, 인장내력 등) 보강을 위해 요철 취핑 및 특수 앵커핀을 타정하고, 그 면에 신콘크리트를 타설하는 환경친화적 보수·보강공법
특 징	<ul style="list-style-type: none"> ● 모든 구조물에 설치가 용이하면서 전체적인 강도를 증진 ● 보수대상 물체에도 맞춤제작으로 사용할 수 있으며, 외부 미장작업이나 모서리부의 마무리 작업 등에 소요되는 시간을 대폭 절약하여 작업효율성을 증진 ● 고강도 고탄성으로 가볍고 시공이 간편하며 부식에 대한 우려가 없음 ● 외부환경 변화나 충격에 의한 변형이 적으며, 충전재의 마감이 용이 	<ul style="list-style-type: none"> ● 구조물의 추가적인 손상을 방지하는 다발식 공기 타격방식의 취핑기 사용 ● 노후화된 콘크리트 부의 탐측에 초음파 탐사 방법을 새로이 개발하여 적용, 콘크리트 내부에 발생한 미세균열의 탐측을 가능 ● 취핑 작업시 분진제거와 소음의 감소로 환경친화적 측면을 강화 ● 브레이커나 수작업에 의한 노후부의 취핑작업 시 공기 타격식 해머를 이용하므로 취핑의 정밀도를 획기적으로 높임 ● 인력에 비해 고효율, 저비용의 경제적 시공이 가능

구 분	③ FRP ROD 공법 (신기술 404호)	④ Fiber-Steel 복합플레이트 (신기술 406호)
내 용	<ul style="list-style-type: none"> ● FRP Rod(DWHR, DWCR, DWGR)를 이용하여 구조물의 내하력을 보강하는 공법 ● 구조물의 보강면에 홈 컷팅기로 일정한 깊이의 홈을 파고 FRP Rod를 비부착 튜브를 이용하여 일정구간을 비부착시킨 후 홈에 삽입하고 주입기를 이용하여 에폭시로 홈을 충전하는 공법 ● 구조물의 단면을 증설할 필요가 있을 경우, FRP Rod를 비부착 튜브를 이용하여 일정구간 비부착시킨 후 폴리머 모르타르를 스프레이식 공법으로 타설하는 휨 보강공법 	<ul style="list-style-type: none"> ● 강판에 탄소섬유 또는 유리섬유를 부착, 복합한 섬유-유공강판 복합 플레이트를 보강대상 콘크리트 구조물에 매립하여 정착 앵커볼트와 에폭시 접착제를 동시에 사용 ● 구조체와 보강재의 부착능력을 증가시키고, 내력증진 효과를 증가시킴으로써 보강효과와 보강재 탈락방지 능력을 동시에 개선시킨 콘크리트 구조물 보강기술
특 징	<ul style="list-style-type: none"> ● 잔류강도와 소성변형 구간을 가지는 고연성 복합 FRP Rod 사용하여 구조물의 연성거동을 확보함으로써 보강된 구조물의 안전성 및 신뢰성을 확보 ● 부착성능 및 전단에 대한 저항성을 증가시킴으로써 기존 FRP 보강근 보다 성능이 우수한 신기술 ● 시공이 간편하고 작업시간을 단축할 수 있고 고압 스프레이식 모르타르를 사용함으로써 보수와 보강이 탁월 	<ul style="list-style-type: none"> ● 접착제+정착앵커 동시 사용으로 보강재의 조기탈락을 방지 ● 공장생산으로 균일한 인장강도의 탁월한 보강효과를 보장 ● 보강재가 경량으로 구조체의 자중증가가 거의 없음 ● 단순 간단한 공정으로 공기단축이 가능, 시공이 단순하여 시공성 우수 ● 접착면적이 적어 구조체의 통기성 확보가 용이 ● 내염해, 내화학, 내동결융해성 등이 우수

구 분	⑤ ECC-내화보수 공법 (신기술 563호)	⑥ MDF 공법 (신기술 246호)
내 용	<ul style="list-style-type: none"> ● 콘크리트 구조물의 표면이나 단면에 프리믹스형 분체재료, 프리팩형 섬유재료 및 배합수로 이루어진 고인성 보수 모르터를 뿔칠한 후, 피막수밀제로 표면을 미장 마감하고, 바탕면 건조후에 표면 보호재를 도포하여 구조물의 내구성 및 내화성을 향상시키는 보수공법 ● 균열이 발생하더라도 마이크로크랙으로 분산시켜 재열화 현상을 방지하며, 화재 시에는 모체의 폭열현상 및 수화열에 의한 온도상승을 억제하는 보수공법 	<ul style="list-style-type: none"> ● 콘크리트 구조물의 단면수복 보수공법으로서 구조물의 용도별 특성에 따라 분말형의 모르타르를 사용 ● 고압 펌프에 의해 3단계 스프레이(초벌-충전-마감)하여 콘크리트 내부 입자 사이의 기공을 제거하여 보수 단면의 성능을 향상시켜 주는 신개념의 콘크리트 구조물 단면수복 보수공법
특 징	<ul style="list-style-type: none"> ● 휨이나 인장하중 하에서 변형거동 및 멀티플크랙 특성을 안정적으로 발현하여 균열 제어성능, 박리/박락 저항성, 내충격성 등이 매우 우수 ● 피막 수밀제를 도포함으로써 표면에 수밀 피막층이 형성되어 수축균열을 방지 ● 경화 후에는 수밀성 및 내마모성이 우수한 층을 형성하여 물질투과 저항성 및 내마모성을 향상 ● 화재시 급격한 고온 환경에 노출되면 합성섬유의 용융에 의해 폭열현상을 방지 	<ul style="list-style-type: none"> ● 천장, 협소한 공간에서의 미장 및 보수 용이 ● 인건비 절감과 공사기간 단축 ● 화학적 내구성 우수, 화재에 의해 열화된 구조물에 대한 재알칼리화 ● 거푸집에 의한 시공이 어려운 경우 거푸집 없이 시공 가능 ● 3차원 곡면 외관에 대한 보수 시 변형 없이 시공 가능

구 분	<p>⑦ Prewetting 공법 (신기술 507호)</p>	<p>⑧ 노후화된 콘크리트구조물을 내구성 회복 및 향상을 위한 보수공법 (특허 10-0743029)</p>
내 용	<ul style="list-style-type: none"> ● 분진과 리바운드 양이 감소되도록 중공식 이중 오거와 나선형 블레이드가 결합된 스크류 믹서 사프트를 이용 ● 시멘트계 결합재에 대해 폴리머 시멘트 모르타르를 교반시킨 후 호스를 통해 잔량의 배합수와 혼합시켜 고압으로 분사하는 공법 	<ul style="list-style-type: none"> ● 노후화 현상에 의한 구조물의 부분 탈락 시, 콘크리트의 알칼리성 회복 및 표면강도를 증가시키며, 노후화현상의 진행을 방지 ● 수용성 아질산 리튬 금속염과 실란 화합물로 이루어진 방청 환원제를 노출된 철근 표면에 도포 ● 알칼리 회복 및 표면강화제가 도포된 콘크리트 탈락부위에 속경성 단면수복용 모르타르를 도포하여 단면복구 ● 단면복구 후 발수재 또는 방수성 수지재로 표면을 마감
특 징	<ul style="list-style-type: none"> ● 현장에서의 시공성 및 유지관리 편리성 측면에서 발생하는 여러 문제점을 해결 ● 철근, 강선, 와이어 메쉬 및 Rod 등으로 보강 후의 단면복구 보수보강 공법에도 적용가능 ● 콘크리트 구조물의 물리적 성능과 내구 성능의 향상 ● 공정이 간단하고 시공 속도가 빠르기 때문에 경제적 ● 신설된 콘크리트에 열화가 발생되기 이전에 미리 열화를 방지 	<ul style="list-style-type: none"> ● 중성화된 탈락부분의 철근강도를 증가시키고, 콘크리트의 알칼리성 회복 및 표면강도를 증가시킴 ● 노후화현상의 진행을 방지하며, 내구수명을 연장시킴과 동시에 표면응집력을 향상시킬 수 있는 노후화 된 콘크리트 구조물의 내구성 회복 및 향상을 위한 보수 공법임 ● 중성화 된 표면의 알칼리성을 초기 콘크리트 상태인 pH 약 12정도로까지 회복시키고, 노후화 현상에 의하여 취약화 된 표면의 강도를 높여 단면복구 또는 단면증설을 위한 속경성 모르타르와 부착력을 향상시킴

구 분	<p style="text-align: center;">⑨ 수로교 (특허 20-0316055)</p>	<p style="text-align: center;">⑩ 콘크리트 구조물 보수용 코너비드 (특허 10-0712034)</p>
내 용	<ul style="list-style-type: none"> ● 다수개의 수로관이 연결되도록 이루어진 수로교에 관한 것임 ● 2이상 다수개가 연속 배열되는 FRP재질인 수로관이 체결부를 형성하면서 상호 결합되도록 한 것 ● 수로관의 이음매에는 연결부재가 체결되면서 이 체결부위를 보호하기 위한 커버가 설치되도록 이루어진 체결부가 장착 ● 수로관, 연결부재, 결합부(받침) 덮개 및 체결봉이 모두 FRP로 제조 	<ul style="list-style-type: none"> ● 콘크리트 구조물의 보수시공 시 구조물의 코너부위에 사용되는 코너비드에 관한 것 ● 콘크리트 구조물의 보수 시공 시 코너부분에 대한 보강과 동시에 외관에 대한 의장성을 높일 수 있는 콘크리트 구조물의 보수용 코너비드에 관한 것
특 징	<ul style="list-style-type: none"> ● 수로관과 지주의 결합 공정이 단순화되고 틈의 형성이 방지되어 상호 결합력이 상승 ● I형의 결합부가 일체로 형성되어 유수의 유출이 방지되고, 수로관의 결속력이 상승되어 제품의 신뢰도 향상 ● 수로관 및 체결부가 경량인 FRP재질로 이루어져 내구성 및 내충격성이 향상되면서 설치작업 및 유지보수가 용이 	<ul style="list-style-type: none"> ● 콘크리트 구조물 보수용 코너비드는 그 구성이 간단하여 제작 및 시공이 용이함 ● 콘크리트 구조물의 아웃·인코너를 은폐시켜 외부 충격에 의해 코너에 시공된 모르타르가 파손·탈락되는 현상을 방지하는 보강재의 역할은 물론 코너의 외관을 아름답게 보이게 하여 의장성을 높임 ● 코너비드가 접촉된 코너 양변의 기준요소를 독립적으로 제공함으로써 보수 모르타르의 단계별 뿔칠작업의 정밀성을 제공함 ● 흠손 마감의 충실도를 높이면서 신속한 시공이 가능함

구 분	<p>⑪ 철근 콘크리트 수로교 보수 및 보강을 위한 에폭시 도복장 강관 받침부재를 이용한 수로교 시공공법 (특허 10-0954719)</p>	<p>⑫ 복합재료를 이용한 수로교 구조물 (특허 20-0254667)</p>
내 용	<ul style="list-style-type: none"> ● 수로교 보수 및 보강을 위한 에폭시 도복장 강관 받침부재를 이용한 수로교 시공법 ● 다수의 교각을 시공하는 공정, 강관 받침부재를 설치하는 공정, 강관을 안착하는 공정, 양단을 서로 연결하는 공정, 강관을 고정하는 공정으로 이루어지는 수로교 시공법 	<ul style="list-style-type: none"> ● 상부 구조가 유리섬유를 이용한 강화플라스틱으로 되어 있는 수로교 구조물에 관한 것 ● 수로교 상판 거더와 수로교 몸체 및 덮개가 복합재료로 형성된 관체임 ● 강화플라스틱으로 형성된 탄성받침이 앵커 볼트의 결합에 의해 설치되고, 탄성받침은 상부에 길이방향으로 2열의 수로교 상판거더가 설치되며, 상판거더 외측면에 부식을 방지하기 위해 복합재료를 다층으로 적층됨
특 징	<ul style="list-style-type: none"> ● 스프링이 구비된 강관 받침부재를 이용하여 강관을 견고하게 안정적으로 지지 할 수 있음 ● 작업자가 손쉽게 설치 및 분해할 수 있으므로 작업효율을 향상시킴 ● 시공기간을 단축시킬 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> ● 유리섬유와 플라스틱으로 합성된 강화 플라스틱을 이용하여 제작하며, 영구적으로 사용이 가능한 복합재료 제작된 수로교와 수로교 덮개가 탄성력에 의해 자체적으로 체결되는 구조로서 결합력이 증대됨 ● 중량이 가볍고 부식의 염려가 없으며, 동절기에도 동파 현상이 발생되지 않고 수질오염이 발생하지 않음 ● 이음부가 고무개스킷과 스텐볼트로 체결되어 누수의 염려가 전혀 없는 구조를 가지는 수로 구조물임

구 분	<p>⑬ 조립식 수로교 구조 (특허 20-0432369)</p>	<p>⑭ 콘크리트 수로교용 방수 및 보수 구조재 (특허 20-0393981)</p>
내 용	<ul style="list-style-type: none"> ● 수로교 시공 시에 쉽게 작업할 수 있을 뿐만 아니라 보수·보강 시에도 빠르고 쉽게 작업할 수 있는 수로교 구조에 관한 것 ● 수로관, 수로관 설치대, 교각 및 지반에 매설되는 매설부로 구성 ● 수로관은 프리스트레싱 공법에 의해 제작 설치 ● 매설부는 형강파일로서 교각의 하부지지대에 볼트 등으로 고정되고, 일부가 지반에 매설됨으로써 수로교가 단단하게 지지 	<ul style="list-style-type: none"> ● 신축 이음부에서 누수가 되지 않도록 완벽하게 방수되고, 온도변화에 따른 교좌장치의 거동이 원활하게 되며, 퇴적물과 같은 유해물질과 겨울철의 동해에도 저축 받지 않는 물성의 재료를 사용함으로써 수로교를 보호 ● 폴리에틸렌 필름을 2겹으로 합지하고, 상기 폴리에틸렌 필름에 부틸고무를 덧씌워서 시트화 한 구조재로 구성
특 징	<ul style="list-style-type: none"> ● 농업용 수로교 설치 시 수로관, 수로관 설치대, 교각 등을 폭우, 폭설 등 지상의 기후변화에 영향을 받지 않는 곳에서 제작 ● 설치는 조립하여 이를 고정하면 되므로 작업시간을 단축 ● 각 부분을 제작할 때 외부환경의 영향을 크게 받지 않으므로 정확한 작업시간의 예측이 가능 ● 필요한 부분만을 따로 교체 또는 분리 시공하는 작업이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ● 폴리에틸렌 필름을 이용하여 신축 이음부에서 누수가 되지 않도록 완벽하게 방수함 ● 온도변화에 따른 교좌장치의 작동이 원활함 ● 퇴적물 등의 유해물질과 겨울철의 동해에도 저축 받지 않는 물성의 재료이므로 콘크리트 수로교의 하자도 방지되고 내구연한도 길어지는 장점을 가짐

구 분	<p>⑮ 수로교의 신축 이음 장치 (특허 10-0868930)</p>	<p>⑯ 수로교의 익스펜션 조인트 보수공법 (특허 10-0973751)</p>
내 용	<ul style="list-style-type: none"> ● 수로교 사이의 간격을 따라 설치하며, 가변부, 고정판, 한 쌍의 덧판, 체결 부재, 방수판, 앵커 볼트를 포함 ● 가변부는 V자형 절곡부로 이루어짐 ● 덧판은 수직부로부터 외측을 향하여 연장된 코너 비드를 더 포함 ● 타공부에는 보수용 모르타르를 하부로 주입시키는 복수 개의 홀이 형성 ● 고정판 또는 덧판은 스테인레스 재질로 이루어짐 	<ul style="list-style-type: none"> ● 수로교의 익스펜션 조인트에서 반복적으로 발생하는 누수에 의한 손상을 보다 손쉽고 신뢰성 높게 보수하는 방법에 관한 것 ● 표면의 손상 부위를 제거하는 단계, 철근의 녹을 제거하는 단계, 보수 단면의 이물질 제거단계, 철근에 방청제 도포하는 단계, 단면을 갖는 공간 확보재를 설치하는 단계, 충전용 모르타르를 타설하여 양생하는 단계, 채움재 충전 단계, 씰링재로 마감하는 단계로 구성됨
특 징	<ul style="list-style-type: none"> ● 수로교의 변형에 신축적으로 대응하면서 방수판을 보호하여 방수 성능을 향상 ● 보수공사 시 수로교의 손상을 최소화 하면서 보수 공정을 단순화하여 공사기간을 단축 	<ul style="list-style-type: none"> ● 수로교의 익스펜션 조인트에서 반복적으로 발생하는 손상에 대하여 기존의 보수공법보다 손쉽고 신뢰성 높게 보수를 실시할 수 있음 ● 수로교에 대한 기능성 및 유지 보수성을 극대화시킬 수 있도록 하는 수로교의 익스펜션 조인트 보수공법을 제공

제 3 장 수로교의 실태 및 리모델링 기준설정

제1절 기존 수로교의 실태

1. 수리시설물의 관리실태 (출처 : 수리시설 개보수사업 시행지침, 2011)

가. 사업목적

노후·파손 또는 기능이 저하된 수리시설의 보수·보강 등을 통해 재해예방, 물 손실 최소화 및 영농편의 기반구축

나. 근거법령

농어촌정비법 제2조, 제7조, 제8조, 제9조, 제18조, 제108조

다. 성과목표 및 지표

2022년까지 저수지 등 수원공 8,769지구 추진목표

표 3.1 수리시설 개보수 사업실적 및 목표

성과지표	2011 목표치	최근 3개년 실적			측정방식
		'08	'09	'10	
수리시설 개보수율 (누계, %)	69.0	66.2	67.3	68.1	(개보수 완료지구수 / 개보수 대상지구수)×100

표 3.2 연도별 재정투입 계획 (단위 : 백만원)

구 분	2008년까지	2009년	2010년	2011년	2012년이후
합 계	4,430,128	467,000	400,000	240,000	5,395,172
보 조	4,401,228	467,000	400,000	240,000	5,395,172
용 자	20,253	-	-	-	-
자부담	8,647	-	-	-	-

라. 사업시행 주요내용

(1) 수리시설의 안전점검 및 정밀안전진단 결과 등에 따라 보수·보강이 필요한 시설물에 대한 기본계획이 수립되어 세부설계가 완료된 지구에 대하여 시행한다.

(2) 「재해대비」와 「영농편의」 분야로 구분하고, 분야별 배분을 및 시·도별 예산은 국가재정법 제37조에 의거 총액계상 예산사업으로 기획재정부와의 협의 결과에 따라 배정한다.

(3) 재해대비 분야는 안점점검 및 정밀안전진단 결과 등을 토대로 농림수산식품부가 사업지구를 선정하고 예산을 배정한다.

(다만, 재해위험 등 긴급히 시설물의 보수·보강이 필요한 경우는 안전점검 결과에 따라 개보수 계획 수립·추진)

(4) 영농편의 분야는 농림수산식품부에서 배정한 예산의 범위 내에서 시·도가 사업지구를 선정하고 예산을 배정한다.

표 3.3 재해대비 및 영농편의 유형구분

구 분	보수·보강 분야
재해대비 (수원공)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후·파손 또는 기능저하로 재해위험이 있거나 효율성이 낮은 저수지, 양·배수장 등 수원공 및 평야부 중요 구조물의 보수·보강 * 평야부 중요 구조물 : 대규모 수로(저폭 5m이상), 수로교(단면 1.1×1.1 m 이상), 수로터널(2R=1.8 m이상) ○ 수리시설의 안전상태 및 보수·보강 방안강구 등을 위한 정밀안전진단
영농편의 (평야부)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 구조물이 파손되어 용수공급에 차질이 우려되거나 물 손실이 많고 수초번성 및 토사퇴적 등으로 용수공급이 원활하지 못한 흙수로 및 친환경 공간정비 효과가 큰 수로의 보수·보강 ○ 토사 퇴적으로 용수공급 능력이 부족한 저수지의 준설 ○ 농기계 통행 도모를 위한 농로 교차로 및 농경지 진입로 확장

마. 사업지원 대상

(1) 한국농어촌공사 관리지역의 수리시설 중 노후·파손되거나 기능이 저하되어 재해위험이 있는 저수지 등 수원공 및 평야부 수로에 대한 보수·보강을 대상으로 한다.

(2) 한국농어촌공사 관리지역의 저수지 중 토사가 퇴적되어 용수공급 능력이 부족한 저수지의 준설을 포함한다.

(3) 한국농어촌공사 및 시·군 관리지역의 수리시설 정밀안전진단을 포함한다.

(4) 한국농어촌공사 관리지역의 농로 교차로 및 농경지 진입로 확장을 포함한다.

바. 지원형태

국고보조 100% (민간자본 보조)

사. 요약

(1) 현재 농림수산식품부에서 시행하고 있는 수리시설 개보수 사업 추진현황을 조사한 결과 우리나라의 수리시설 개보수율은 69.0%로 나타나 수리시설 개보수 사업이 지속적으로 추진되어야 할 것으로 판단된다.

(2) 연도별 재정투입 규모는 2010년 400 백만원에서 2011년 240 백만원으로 약 40%가 감소되었으며, 이러한 점은 수리시설 개보수 사업을 추진함에 있어 큰 제약 요인이 되고 있다.

(3) 수리시설 개보수 사업을 추진함에 있어 재해대비(수원공)와 영농편의(평야부)로 구분하여 보수·보강을 시행하고, 특히 평야부의 중요 구조물인 수로교는 단면 1.1×1.1m 이상을 대상으로 하고 있다.

(4) 수리시설 개보수 사업은 기획재정부의 총액계상 예산사업에 의하여 전액 국고 보조 사업으로 추진된다.

2. 수로교의 경과년수

가. 수로교의 관리현황

(1) 수로교는 농업기반시설관리규정의 안전점검 대상에서 제외되는 3종 시설물에 속하고, 수리시설개보수 사업 시 평야부 공사의 일부분으로 시행되며 유지관리주체가 한국농어촌공사와 지자체로 이원화 되어 있다.

(2) 본 연구에서는 한국농어촌공사가 유지관리하고 있는 수로교에 대해서만 조사를 실시하였으며, 지자체가 관리하고 있는 수로교를 포함한다면 사업물량은 더 늘어날 것이다.

○ 조사방법 : 한국농어촌공사에서 유지관리 되는 수로교를 대상으로 공문에 의해 직접 조사

○ 조사내용 : 수로교의 단면 및 연장, 준공연도, 개보수 사업비, 개보수 사유, 개보수 방법, 적용공법 등

(3) 표 3.4는 철근콘크리트 수로교의 안정성과 경제성 등을 분석하여 목표 내구연한을 나타낸 것이며, 이러한 목표 내구연한은 최소 30년에서 최대 50년으로 되어있다.

나. 수로교 준공연도 및 연장

(1) 수로교는 대규모 (1.1 × 1.1 m 이상)와 소규모 (1.0 × 1.0 m 이하)로 나누어 각 지역별 준공연도를 조사한 결과는 표 3.5 ~ 표 3.6 및 그림 3.1 ~ 그림 3.4 와 같다.

표 3.4 수로교의 목표 내구연한

시설물	구분	핸드북a)	분석기준b)	투자심사c)	설계편람d)	설계편람e)
수로교	철근콘크리트	50	40	30	30	30

※ 주 a) : 농업토목 핸드북(1982, 농수산부,농어촌진흥공사)

b) : 농업경제조사·분석기준(2000, 농업기반공사)

c) : 투자심사 편람<농업부문>(1982, 경제기획원)

d) : 농촌용수계획 설계편람(1998, 농어촌진흥공사)

e) : 농업토목 설계편람(1967, 농수산부)

표 3.5 지역별 대규모 수로교 준공연도 및 연장 (단위 : 연장-m)

구분	50년대	60년대	70년대	80년대	90년대	합계
경기			970	3,036		4,006
강원			116	817		933
충남	982	426	997	16,439	3,598	22,511
충북				2,690		2,690
전남			2,287	7,440	3,171	12,898
전북	224	78	563	736		1,601
경남		460	300	5,016		5,776
경북	35	1,154	3,624	4,069	6,283	15,165
계	1,241	2,118	8,857	40,243	13,052	65,530

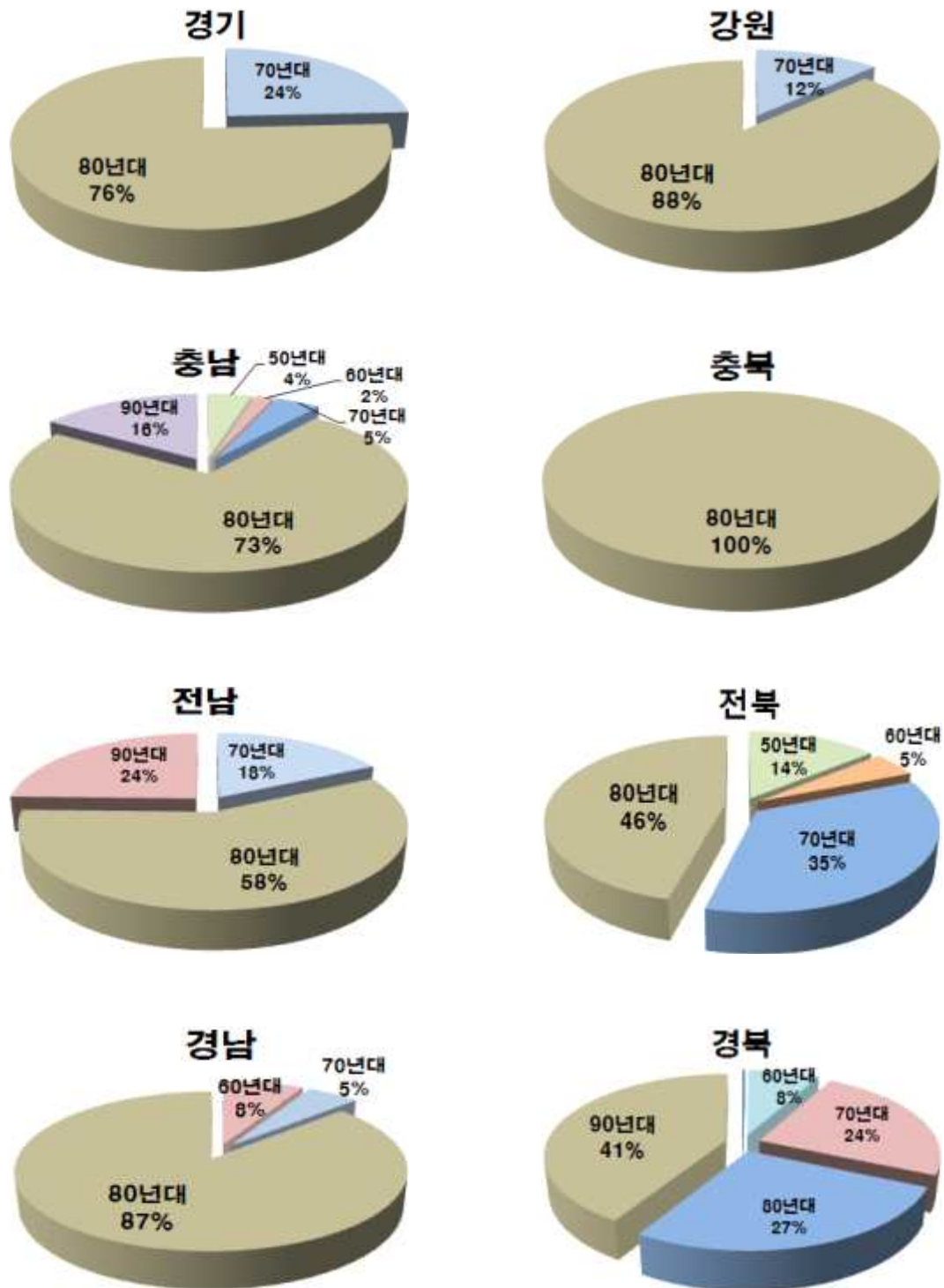


그림 3.1 지역별 대규모 수로교의 준공연도

(2) 대규모 수로교 (1 × 1 m 이상)의 지역별 준공연도를 분석한 결과 대부분이 1980년대에 준공된 것으로 나타났다.

표 3.6 지역별 소규모 수로교 준공연도 및 연장 (단위 : 연장-m)

구분	50년대	60년대	70년대	80년대	90년대	합계
경기		342	2,560	5,126	120	8,118
강원	45	396	1,071	4,822		6,334
충남		155	1,508	14,508	2,019	18,190
충북	855	1860	2,529	18,059		23,303
전북	192	1002	2,544	12,603	1,190	17,531
전남	37	823	2,140	15,507	1,153	19,660
경북	876	3315	11,949	20,901	24,762	61,803
경남	80	420	549	3411	534	4,994
합계	2,085	8,313	24,850	94,937	29,778	153,599

※ 1950년대 이전 : 1895년 3개소(전북), 1928년 3개소(전북2,충남1), 1930년 2개소(전북1,충남1), 1940년 60개(충북28,경북20,전북5,충남4,경기1,강원1,경남1)

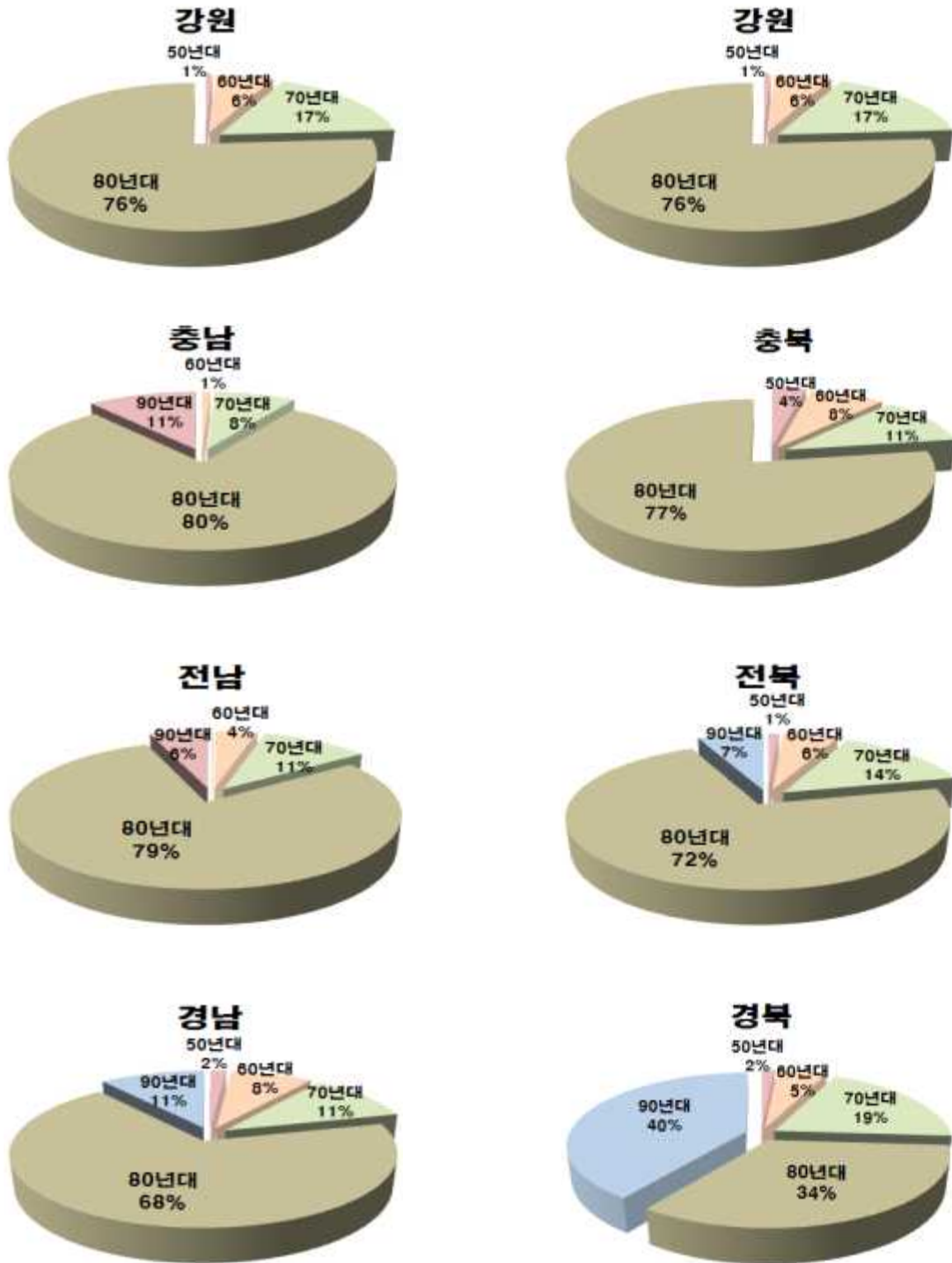


그림 3.2 지역별 소규모 수로교의 준공연도

(3) 소규모 수로교 (1.0 × 1.0 m 이하)의 지역별 준공연도를 분석한 결과 이것 역시 대부분 1980년대에 준공된 것으로 나타났다.

(4) 소규모 수로교에 대한 준공연도 분석 시 1950년대 이전에 준공된 수로교는 목표 내구연한이 훨씬 지나 분석대상에서 제외하였다.

(5) 수로교의 준공연도는 1980년대에 대규모 수로교가 61%, 소규모 수로교가 59%로 가장 많은 것으로 나타났으며, 농촌용수계획설계편람 (1998, 농어촌진흥공사)에서 정하고 있는 내구연한이 30년이라는 점을 고려할 때 목표 수명이 거의 다 되었음을 알 수 있다.

(6) 수로교의 단면 크기를 조사한 결과 대규모 수로교가 29%, 소규모 수로교가 71%인 것으로 분석되었으며, 소규모 수로교에 대한 개보수 사업이 대규모 수로교보다 적극적으로 이루어져 왔음을 알 수 있었다.



그림 3.3 대규모 수로교의 준공연도



그림 3.4 소규모 수로교의 준공연도

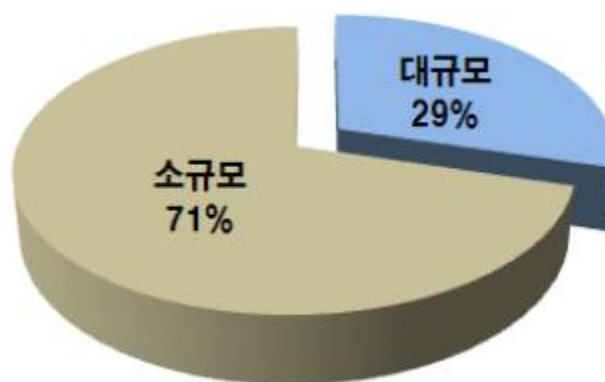


그림 3.5 대규모 및 소규모 수로교의 구성 비율

3. 수로교의 개보수 사업비 분석

수로교의 개보수사업비에 대하여 대규모와 소규모로 구분하여 단위 m당 사업비를 분석한 결과는 그림 3.6과 같다.

가. 수로교의 개보수사업비를 분석한 결과 단위 m당 사업비가 보수·보강방법에 따라 대규모 수로교는 0.47~2.5 백만원, 소규모 수로교는 0.43~0.92 백만원 범위인 것으로 나타났다.

나. 이로부터 대규모 수로교의 개보수사업비는 소규모 수로교인 경우보다 약 10~36% 높게 소요됨을 알 수 있다.

다. 산간지가 많은 강원도는 소규모 수로교에 대한 개보수가 평야부가 많은 전북과 경남에서는 대규모 수로교에 대한 개보수가 더 많이 이루어짐을 알 수 있었다.

라. 수로교에 대한 개보수율을 높여 목표 내구연한을 연장 시키고, 단위 m당 사업비를 낮춘다면 수로교의 효율적인 정비와 관리가 가능하다고 판단된다.

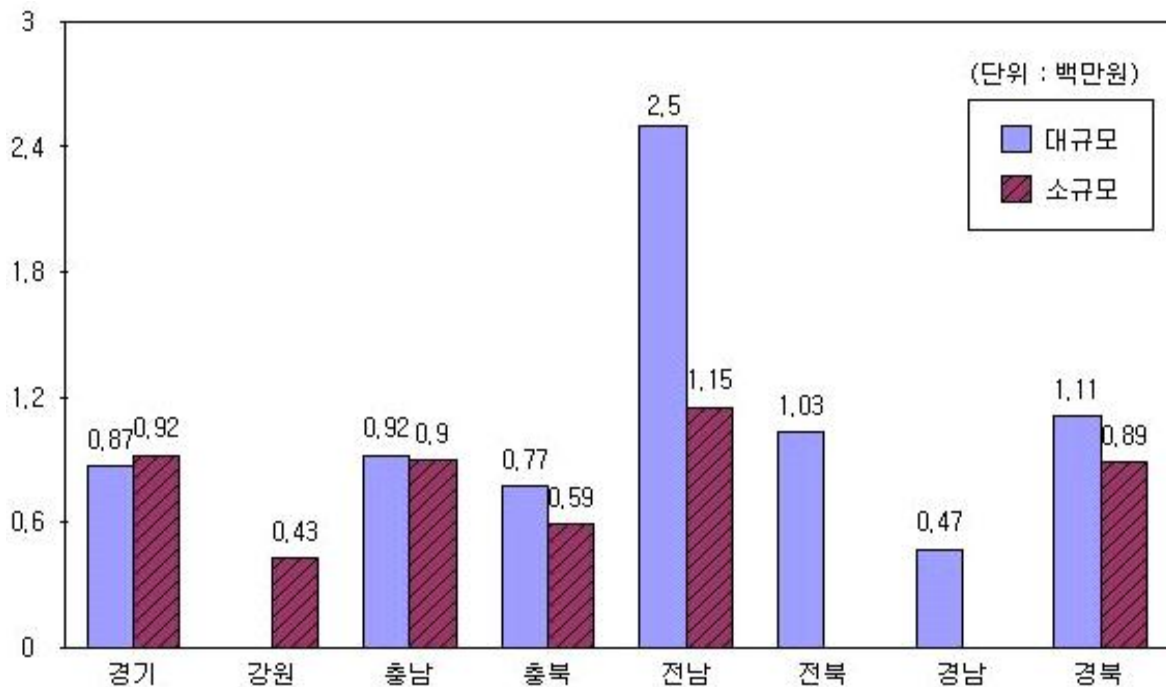


그림 3.6 개보수 사업비 분석

4. 수로교의 개보수 사유

수로교의 개보수 사유를 대규모와 소규모로 구분하여 (1) 노후·파손 (2) 기능저하 (3) 재해위험 (4) 경관개선으로 구분하여 분석한 결과는 그림 3.7 및 3.8과 같다.

가. 수로교는 대부분 철근콘크리트 구조물로서 노후손상 정도가 다르며 복합적인 원인에 의해 손상되므로 정확한 개보수 사유를 규명하기는 어렵다.

나. 단면의 크기와 상관없이 노후 및 파손으로 인한 손상이 가장 많은 것으로 나타났으며, 대규모 수로교는 79 %, 소규모 수로교는 86 %로 나타났다.

다. 재해위험으로 인한 개보수는 대규모 수로교의 경우 14 %, 소규모 수로교의 경우 7 %로 나타났다.

라. 기능저하로 인한 개보수는 대규모 수로교와 소규모 수로교 모두 7 %로 나타났다.

5. 수로교의 개보수 방법

가. 노후된 수로교를 개보수 하는 방법을 조사한 결과는 그림 3.9 및 3.10과 같다.

(1) 교체 : 노후된 수로교를 전부 또는 부분적으로 바꾸는 것

(2) 보수 : 노후된 수로교의 성능과 기능을 원상 또는 사용상 지장이 없는 상태까지 복구시키는 것. (철근부식에 의해 생긴 부재 변형과 내력의 저하를 개선하고, 초기상태로 되돌리는 것도 보수에 포함)

나. 수로교의 개보수방법을 조사한 결과 대규모 수로교인 경우 보수가 57 %, 교체가 43 %로 나타났으며, 소규모 수로교인 경우 보수가 73 %, 교체가 27 %로 나타났다.

이 결과로부터 소규모 수로교인 경우는 보수를 많이 하고, 대규모 수로교인 경우는 보수보다는 교체를 많이 하는 것으로 나타났다.

다. 향후 수로교의 개보수 효율을 높이기 위해서는 노후손상 정도를 정확히 분석 평가하여 최소비용으로 최대 효과를 올릴 수 있는 개보수 기술을 개발하여 보급할 필요가 있다.

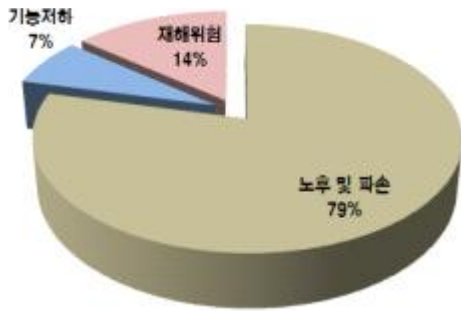


그림 3.7 대규모 수로교의 개보수 사유

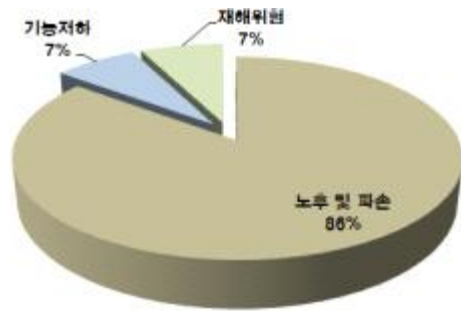


그림 3.8 소규모 수로교의 개보수 사유

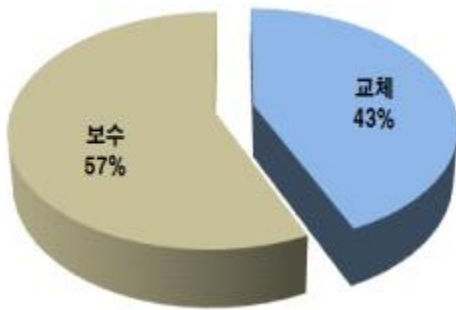


그림 3.9 대규모 수로교의 개보수방법

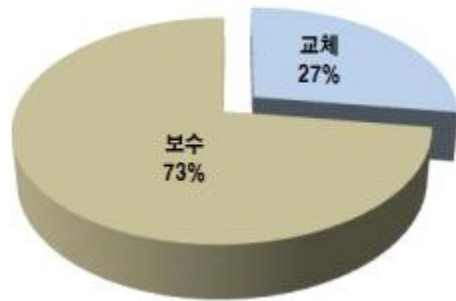


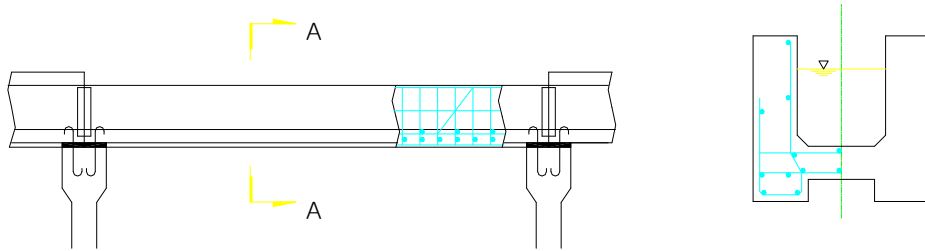
그림 3.10 소규모 수로교의 개보수 방법

6. 수로교 손상원인 및 유형

가. 수로교의 특징

(1) 수로교는 상부 구조물인 개거부분과 하부 구조물인 교각 부분으로 구성되며, 다수의 단순 지지된 개거에 의해 연결된 정정구조물이다. 때문에 부분적인 보수나 철거 후 재시공이 용이한 용수로 구조물이라고 할 수 있다

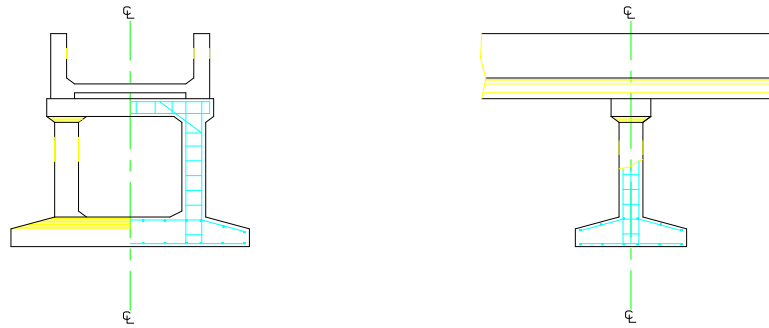
(2) 또한, 수로교는 대부분이 1년 내내 사용되지 않고 영농기에만 용수 공급을 위해 이용되는 계절적 특징을 가진 구조물이다.



1) 종단면도

2) A-A 단면

그림 3.11 수로교 상부 일반구조도



1) 정면도

2) 측면도

그림 3.12 수로교 하부 일반 구조도

나. 수로교 손상 원인 분석

(1) 온도의 변화

(가) 우리나라의 기온은 여름철에 35℃ 정도, 겨울철에 -25℃ 정도로 연간 온도변화 폭은 약 60℃에 달한다. 이렇게 큰 온도변화에 의해 수로교의 상부구조물인 개거부분은 수축과 팽창의 반복 작용을 일으키게 된다.

(나) 이음부에서 콘크리트가 구속되어 있을 경우 온도변화에 의한 팽창과 수축이 자유롭게 일어나지 못하여 인장, 압축 및 전단응력 발생시키게 되고 이로 인하여 균열이 발생하게 되는 것이다.

(2) 동결융해

(가) 수로교는 관개시기에 물과 접촉하게 되나, 관개를 하지 않는 동절기에도 융설수

등에 의해 연중 콘크리트 내부는 수분으로 포화되어 있는 것으로 볼 수 있으며, 이러한 수분은 겨울철에 동결융해 작용을 일으키는 주된 원인이 된다.

(나) 특히, 콘크리트 구조물은 동결융해 작용을 받으면 콘크리트 중의 수분이 동결과 융해를 반복하게 되고, 이러한 현상 때문에 콘크리트 조직의 파괴에 의한 균열, 박락 등이 발생되며, 표면부로부터 노후손상이 나타나게 된다.

(3) 콜드조인트(Cold joint)

(가) 철근콘크리트로 건설되는 수로교는 공정상 상부의 개거 부분 시공 시 바닥 부분의 콘크리트를 먼저 타설하여 양생시킨 후 측벽부분의 콘크리트를 타설하므로 콜드조인트가 발생하기 쉬운 원천적인 문제점을 가지고 있다.

(나) 콜드조인트는 콘크리트를 타설하는 과정에서 먼저 타설한 콘크리트와 나중에 타설한 콘크리트가 완전히 일체화 되지 못해 생기는 결함으로서 구조물의 수밀성과 내구성을 현저히 저하시키는 원인이 된다.

(4) 중성화(Neutralization)

(가) 수로교는 항상 대기 중에 노출되어 있으므로 콘크리트의 중성화 문제는 다른 토목·건축구조물에서와 같이 중요한 노후손상의 원인이 된다. 즉, 대기 중의 탄산가스가 내부로 침투되어 중성화가 일어나게 된다.

(나) 콘크리트가 중성화 하면 철근의 부동태 피막 효과를 잃게 되므로 철근이 부식하게 되어 내하력을 저하시키고, 피복 콘크리트에 균열이 발생되어 박락하게 된다.

(5) 침식 및 공동(Cavitation)

(가) 일반적 댐의 여수토나 대형 콘크리트 용수개거 등에서는 수류력에 의한 공동에 의해 콘크리트 표면부에 마모가 발생할 수 있다.

(나) 수로교에서도 유량이 많고, 경사가 급하여 유속이 빠른 경우에는 상부구조물인 개거부분에 이러한 현상이 발생 된다.

(다) 공동에 의한 콘크리트 표면부의 손상은 1단계에서 모르타층이 마모되고, 2단계에서 굵은 골재가 노출되며, 3단계에서 굵은 골재가 박락 되는 순서로 일어나게 된다.

다. 수로교 손상 유형 분석

(1) 이음부 파손

(가) 수로교는 선형 구조물로서 교각이 위치하는 점마다 이음부를 형성하는 정정구조물이다. 따라서 기온의 상승과 하강에 따라 상부 구조물인 개거 부분에서 길이 방향으로 수축과 팽창이 반복적으로 일어나게 된다.

(나) 특히 수축·팽창은 개거부분이 길이 방향으로 큰 수평하중을 발생시켜 팽창이음부분의 콘크리트와 지수관을 파손시킴으로써 누수 현상을 야기 시키게 된다.



사진 3.1 수로교의 이음부 파손

(2) 균열

(가) 수로교에서의 균열은 개거부분과 교각부분에서 모두 발생된다. 균열의 원인으로 온도에 의한 수축·팽창, 건습의 반복, 알칼리-골재반응, 시공불량 등을 들 수 있다.

(나) 이러한 균열로 인해 철근의 부식을 초래하게 되며, 개거부분의 균열은 누수 현상도 야기 시키는 등 교각의 노후손상을 촉진시키게 된다.

(다) 특히 균열발생은 관개용수로 구조물의 경우 매우 중요한 문제점 중의 하나라고 할 수 있다.

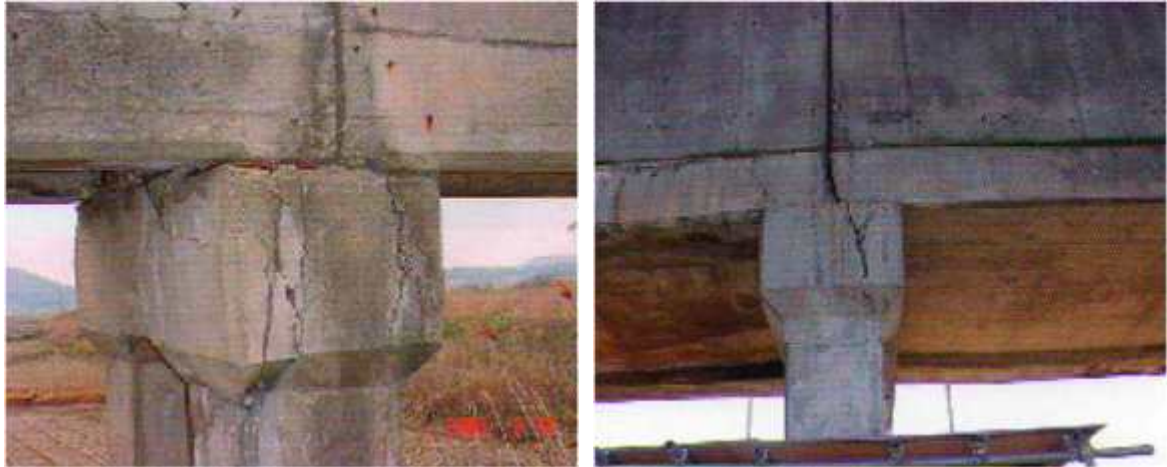


사진 3.2 수로교의 균열

(3) 골재 노출

(가) 골재의 노출은 시공불량과 표면부 침식에 의해 발생하게 된다. 시공불량에 의한 경우는 콘크리트 타설시 재료분리, 다짐부족, 시멘트 페이스트의 누출 등에 기인하며, 개거부분과 교각부분에 모두 발생할 수 있다.

(나) 그리고 침식에 의한 경우는 공동 등에 의해 주로 개거 바닥부분에서 발생하게 된다.

(다) 이와 같은 골재의 노출은 철근과 내부 콘크리트의 부식을 일으켜 노후손상을 촉진시키는 주된 원인으로 작용하게 된다.



사진 3.3 수로교의 골재 노출

(4) 표면박락

(가) 표면박락은 수로교의 개거부분이나 교각부분에서 모두 발생할 수 있으며, 이는 콘크리트 표면이 깨져 나가는 현상으로 균열이 밀집된 경우에 주로 발생하며 겨울철에 콘크리트 내부로 물이 침투된 경우 동결압에 의해 발생 할 수도 있다.

(나) 이러한 박락현상은 철근의 피복두께를 감소시켜 노후손상을 촉진시키게 된다.



사진 3.4 수로교의 표면박락

(5) 표면부식

(가) 콘크리트 표면부가 각종 자연적 요인의 작용에 의해 시간의 경과와 함께 변질되는 것을 부식이라고 정의한다. 이러한 현상은 표면부 변색으로 인한 오염, 단면감소, 강도저하 등의 문제를 발생시키며, 관개용수로 구조물의 경우 더욱 심하게 나타난다.

(나) 또한 콘크리트 표면부식이 진행되면서 동결융해, 중성화 등을 동시에 수반하는 경우에는 수로교의 노후현상이 더욱 빠르게 진행 될 수 있다.



사진 3.5 수로교의 표면부식

(6) 철근부식

(가) 수로교는 단면의 두께가 작아 철근의 피복두께를 확보하기가 어려운 근본적인 문제점을 갖고 있을 뿐만 아니라 균열, 동결융해, 표면부 박락 등에 의해 철근이 쉽게 부식 될 수 있는 요인을 갖고 있다.

(나) 이러한 철근부식은 수로교의 구조적인 안전성을 저하시키고 노후손상을 촉진시키는 주요한 원인이 되고 있다.



사진 3.6 수로교의 철근 부식

(7) 백화

(가) 백화는 콘크리트의 결합재인 시멘트 중의 수산화칼슘, 알칼리 화합물 등이 침투한 물에 용해되어 표면부로 흘러나와 물이 증발된 후 고형화 되는 현상이다.

(나) 백화는 녹물 등과 같이 콘크리트 표면을 오염시키는 미관상 문제를 유발시키며, 이것은 수로교의 상부 구조물인 개거 표면부에서 많이 발생된다.



사진 3.7 수로교의 백화

제2절 리모델링 기준설정 및 형상 디자인

1. 리모델링의 목적

일반적으로 콘크리트 구조물의 리모델링은 과도한 하중 재하나 외부환경 등의 영향을 받아 성능이 저하됨으로써 구조물로서의 기능을 제대로 발휘하지 못한다고 판단되는 경우에 필요한 것이다.

특히 농업용 수로교는 통수기와 단수기의 반복에 따른 건습작용, 온도변화에 따른 수축팽창 (선형구조물은 특히 취약), 동결융해작용에 따른 내구성 저하 등 일반 토목·건축용 구조물보다 가혹한 조건에 노출되어있다.

이러한 수로교의 성능저하 형태는 균열, 누수, 표면부 박리·박락, 골재노출, 철근부식 등 여러 가지로 나타난다. 이에 대하여 보수, 보강, 교체 등을 통하여 리모델링을 실시하게 되며 주된 목적은 다음과 같다.

- 가. 안전성의 확보
- 나. 내구성의 확보
- 다. 기능성의 확보
- 라. 미관성의 확보

2. 수로교 리모델링의 범위

수로교의 보수, 보강, 교체를 통한 리모델링은 상기한 안전성, 내구성, 기능성, 미관성을 고려하여 결정하게 되며, 부위별로 나타나는 대표적인 손상형태는 다음과 같다.

표 3.7 수로교 부위별 대표적인 손상형태

구분	손상형태
개거부	균열, 누수, 부식, 박리박락, 백화, 골재노출, 철근부식, 지수판 파손
교각부	균열, 부식, 박리박락, 골재노출, 철근부식

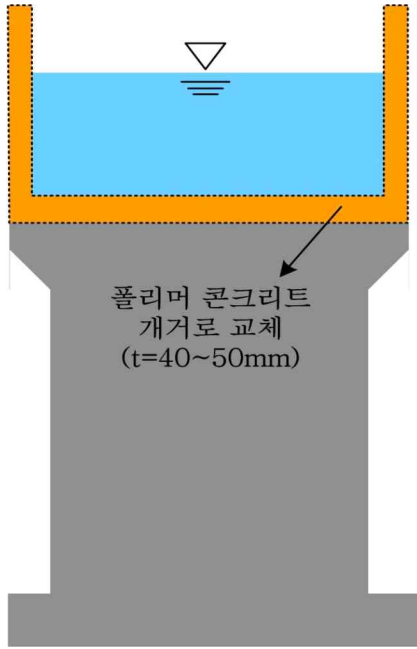
본 연구에서는 수로교의 리모델링 범위를 다음의 4가지로 정하여 수행키로 한다.

가. 개거부 교체 : 개거부의 내하력이 부족한 경우

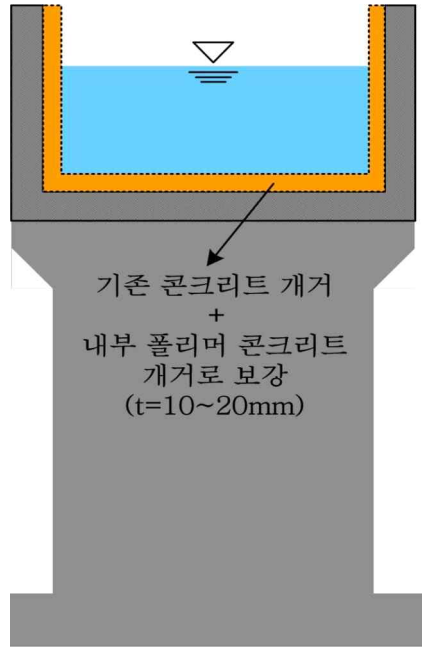
나. 개거부 보강 : 개거부의 내하력은 확보되었으나 누수등이 지속적으로 발생하는 경우

다. 교각부 보수 : 교각부의 손상정도가 심하지 않은 경우

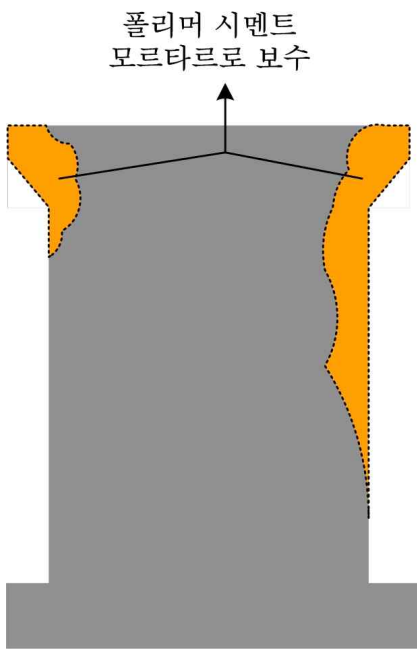
라. 교각부 보강 : 철근노출, 표면부 부식 등 보강이 필요한 경우



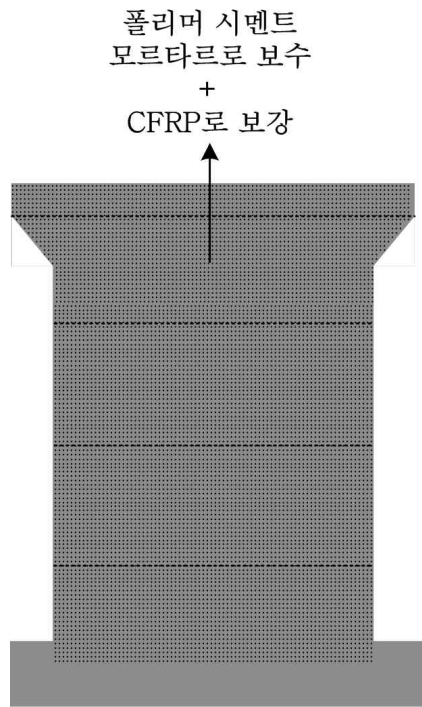
1) 개거부 교체



2) 개거부 보강



3) 교각부 보수



4) 교각부 보강

그림 3.13 리모델링 개요도

3. 주요 성능저하요인 및 손상상태

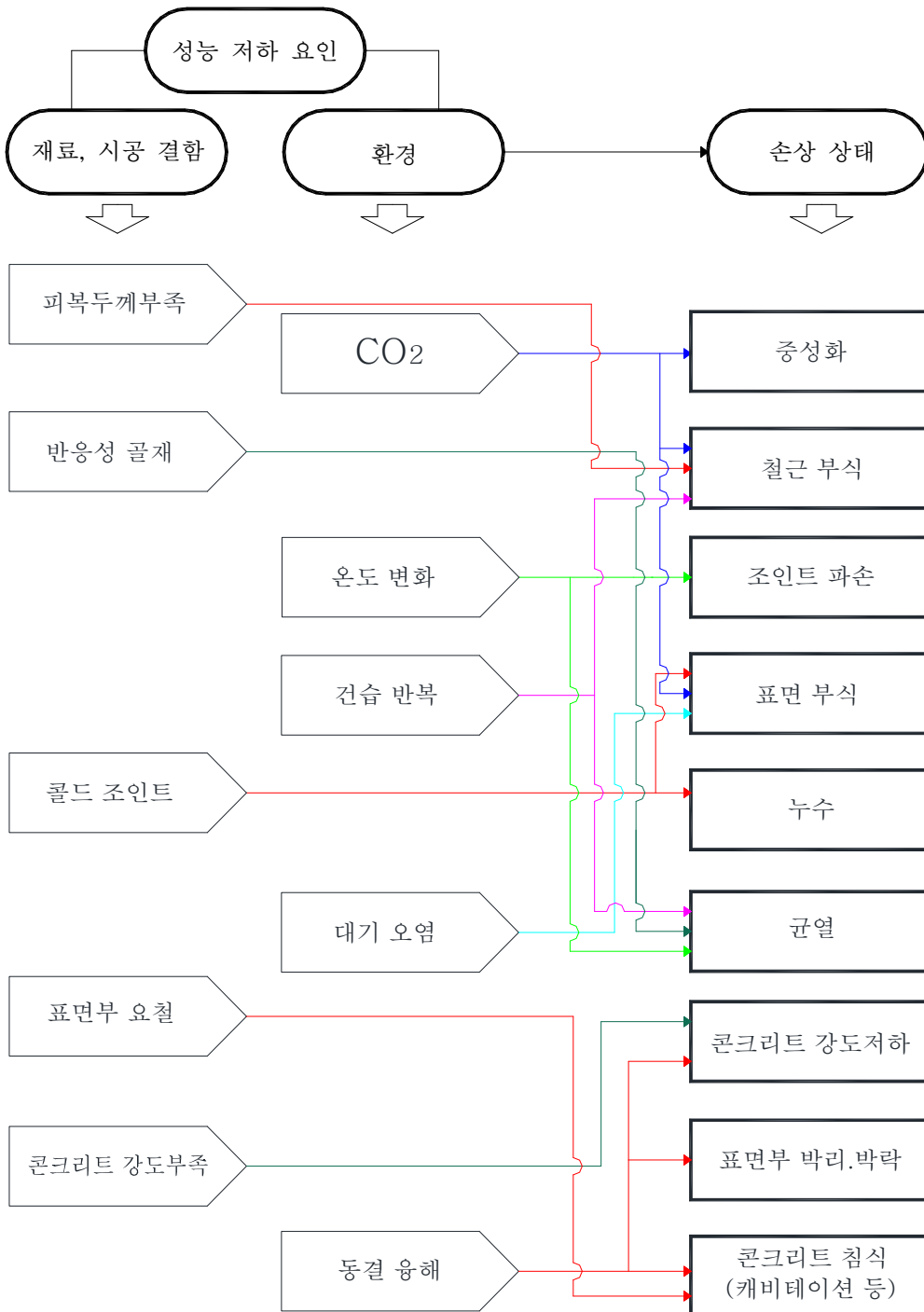


그림 3.14 주요 성능저하요인 및 손상상태

4. 상태평가 및 리모델링 공법의 적용기준

가. 개요

상태평가는 “노후화 및 결함의 정도를 포함한 시설물의 상태를 평가한 결과”로서 시설물 주요부재에 대한 재료 및 육안검사에서 조사된 상태에 대한 평가를 포함한다. 정기점검에서는 점검표에 따라 주요부재 종류별로 평가하는 것을 원칙으로 하고, 정밀점검에서는 각 부재별로 작성하되 문제 부위에 대하여 망을 작성하여 상세히 상태등급을 매기며, 정밀안전진단에서는 전체 시설물에 대하여 망을 작성하여 상태등급을 결정하도록 규정하고 있다.

여기서는 한국농어촌공사에서 발행한 3종 농업기반시설 정밀안전진단보고서(2006. 12)에 제시된 자료를 참고로 하여 작성기로 한다.

나. 상태평가 방법

(1) 통수 기능성 평가

- 통수능력 ○ 유속 ○ 여유고

(2) 재료 내구성 평가

- 반발경도시험 ○ 초음파시험 ○ 중성화 깊이 ○ 철근깊이 탐지

(3) 구조 안전성 평가

※ 개거부와 교각부로 구분하여 다음의 재료상수를 이용하여 구조해석에 의해 평가함

- 콘크리트 단위중량 ○ 철근콘크리트 단위중량 ○ 콘크리트 압축강도
- 콘크리트 탄성계수 ○ 콘크리트 포아슨비 ○ 철근 탄성계수
- 철근 포아슨비

다. 상태평가 기준

평가기준은 건설교통부고시 제 2003-170호 ('03. 7. 4) “시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침”에 의거 아래의 표 3.8과 같이 각 부재별로 발견된 결함의 종류, 범위 및 정도에 따라 A, B, C, D, E의 5단계로 상태등급을 부여한다.

표 3.8 시설물 상태에 따른 상태평가등급

상태평가등급	시설물의 상태
A	문제점이 없는 최상의 상태
B	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

라. 상태평가 등급판정

표 3.11의 재료 및 구조안전성 평가 결과와 육안검사 결과를 바탕으로 하여 표 3.10에 제시된 수로교 상태평가 판정표에 의해 등급(A, B, C, D, E)을 결정한다.

마. 리모델링 공법의 적용기준

위에서 결정된 상태평가 등급은 표 3.8의 내용을 의미하는 것이며, 본 연구에서 개발된 리모델링공법의 적용기준은 다음의 표 3.9와 같이 정한다

표 3.9 리모델링 공법의 적용기준

구분	공법	적용등급
개거부	교체	D등급, E등급
	보강	B등급, C등급
교각부	보수	B등급, C등급
	보강	D등급, E등급

표 3.10 수로교 상태 평가 판정표

구분	평가항목		배점	평가기준					평가	
				A	B	C	D	E	평점	등급
종합평가			100	100	80	60	40	20		
	소개		55.0	55.0	44.0	33.0	22.0	11.0		
개거부	내측	내측 바닥 손상 상태	7.0	7.0	5.6	4.2	2.8	1.4		
		내측 측벽 손상 상태	7.0	7.0	5.6	4.2	2.8	1.4		
		철근 노출 상태	5.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0		
		퇴적(식생) 상태	2.0	2.0	1.6	1.2	0.8	0.4		
	외측	외측 바닥 손상 상태	4.0	4.0	3.2	2.4	1.6	0.8		
		외측 측벽 손상 상태	4.0	4.0	3.2	2.4	1.6	0.8		
		누수(습윤·포화) 상태	3.0	3.0	2.4	1.8	1.2	0.6		
		철근 노출 상태	3.0	3.0	2.4	1.8	1.2	0.6		
	이음부	이음부 누수 상태	10.0	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0		
		이음부 손상상태	10.0	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0		
받침장치	소계		10.0	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0		
	받침 장치의 부식(파손) 상태		10.0	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0		
교각부	소계		35.0	35.0	28.0	21.0	14.0	7.0		
	코핑부의 손상 상태		15.0	15.0	12.0	9.0	6.0	3.0		
	교대 또는 교각의 손상 상태		15.0	15.0	12.0	9.0	6.0	3.0		
	교대 또는 교각의 전도(침하) 상태		5.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0		

표 3.11 재료 및 구조안전성 평가표

구분	평가항목		분석치	기준치	안전	미흡	불안전	종합	
개거부	통수능력			설계기준					
	유속			설계기준					
	여유고			설계기준					
	교축 직교 방향	슬래브 단부	축하중 휨모멘트		설계 값				
		슬래브 중앙부	축하중 휨모멘트		설계 값				
		벽체 하단부	축하중 휨모멘트		설계 값				
	교축 방향	하단부	휨모멘트		설계 값				
	콘크리트 압축강도			설계기준					
초음파 시험결과			A,B,C,D,E						
중성화 시험결과			경미, 보통, 과대						
교각부	기둥	허용편심		설계 값					
		축하중		설계 값					
		휨모멘트		설계 값					
	콘크리트 압축강도			설계기준					
	초음파 시험결과			A,B,C,D,E					
	중성화 시험결과			경미, 보통, 과대					

5. 리모델링 공법의 적용

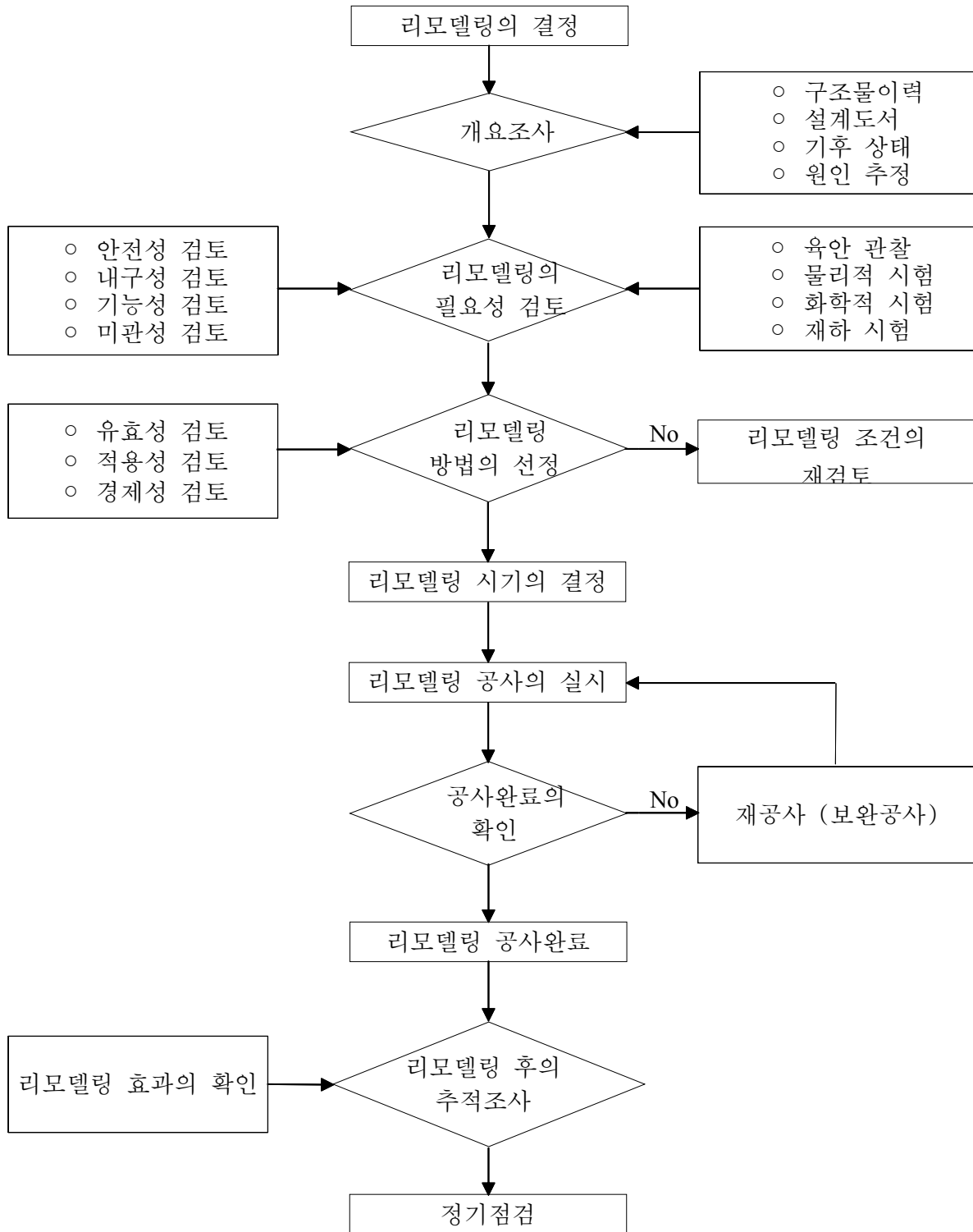


그림 3.15 리모델링 공사의 흐름도

6. 리모델링 재료 선정 및 기본성질

가. 개거부

(1) 기존의 노후된 개거부를 제거하고 새로운 개거부로 교체하는 데는 폴리머 콘크리트(모르타르)를 사용하여 프리캐스트 제품으로 제조함

(2) 기존 개거부 내측을 보강하는 데는 폴리머 콘크리트(모르타르)로 얇은 단면의 개거를 제작하여 매립하며, 신·구 개거부 일체화를 위해 폴리머 시멘트계 그라우트재를 사용함 (모재가 수분을 함유하기 때문에 수지계 폴리머 그라우트재는 사용하지 않음)

나. 교각부

(1) 교각부의 보수에는 폴리머 시멘트계의 콘크리트(모르타르)를 사용함

(2) 교각부의 보강 시 보강재로 탄소섬유를 사용함 (일반건축·토목용으로 강판을 많이 사용해 왔으나 수로교용으로는 녹 발생 등으로 적당치 않음)

표 3.12 탄소섬유의 물리적 성질

구분	PNA 제품		Pitch 제품	
	High Strength	High Modulus	GP	HP
인장강도 (tf/cm ²)	25~45	20~28	7.8~10	3~3.5
탄성계수 (tf/cm ²)	2,000~2,400	3,500~4,500	380~400	400~800
신장율 (%)	1.3~1.8	0.4~0.8	2.1~2.5	0.4~1.5
밀도 (g/cm ³)	1.7~1.9	1.8~1.9	1.6~1.7	1.9~2.1
지름(μm)	5~8		9~18	

표 3.13 폴리머 콘크리트 및 모르타르의 물리적 성질

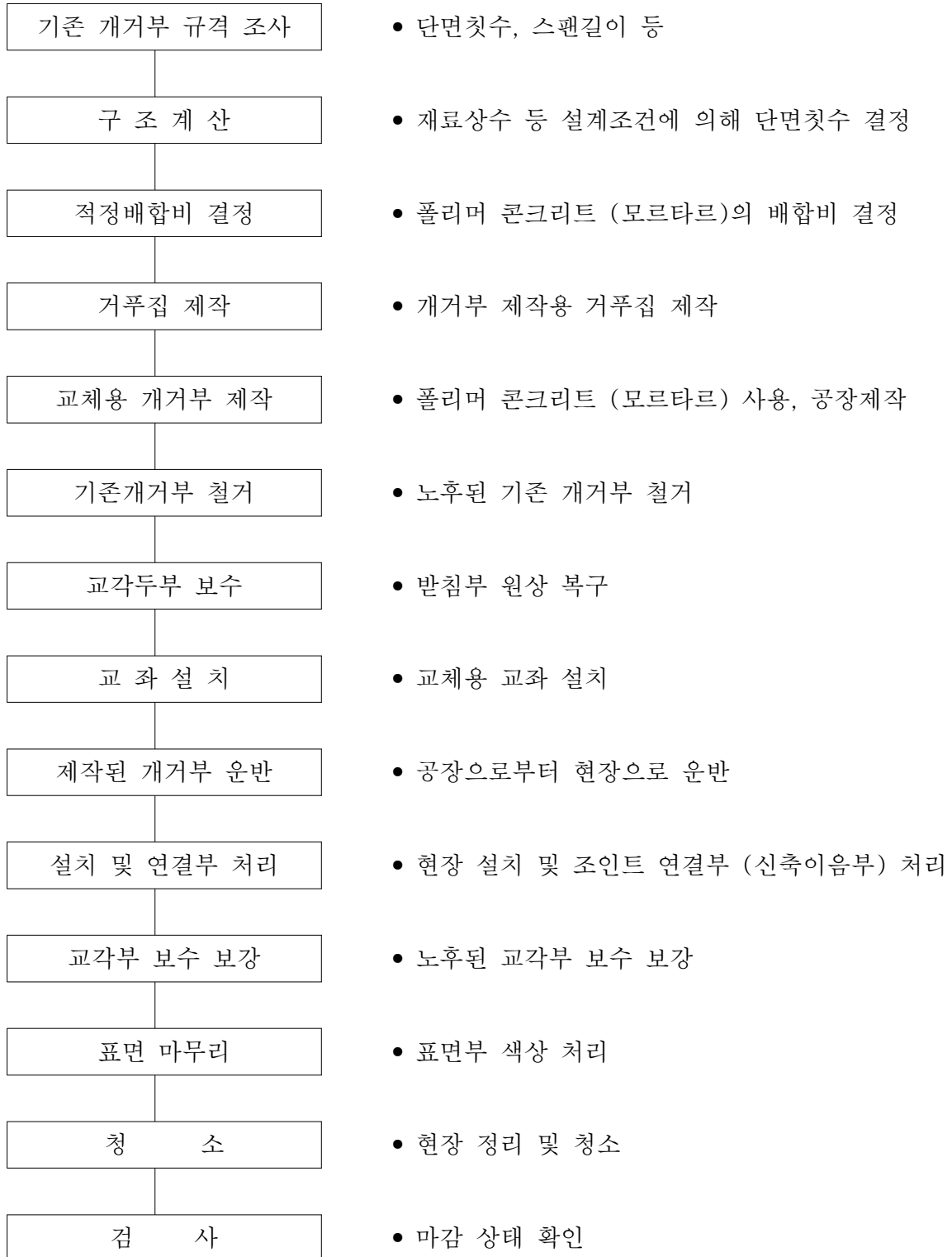
구분	단위중량 (kg/cm ³)	강도(kgf/cm ²)			탄성계수 (×10 ⁴ kgf/cm ²)	흡수율 (wt.%)
		압축	휨	조깅인장		
기준값	2,300~2,400	800~1,600	140~350	90~140	13~35	0.05~0.2

표 3.14 폴리머 시멘트계 그라우트, 모르타르 및 콘크리트의 성질

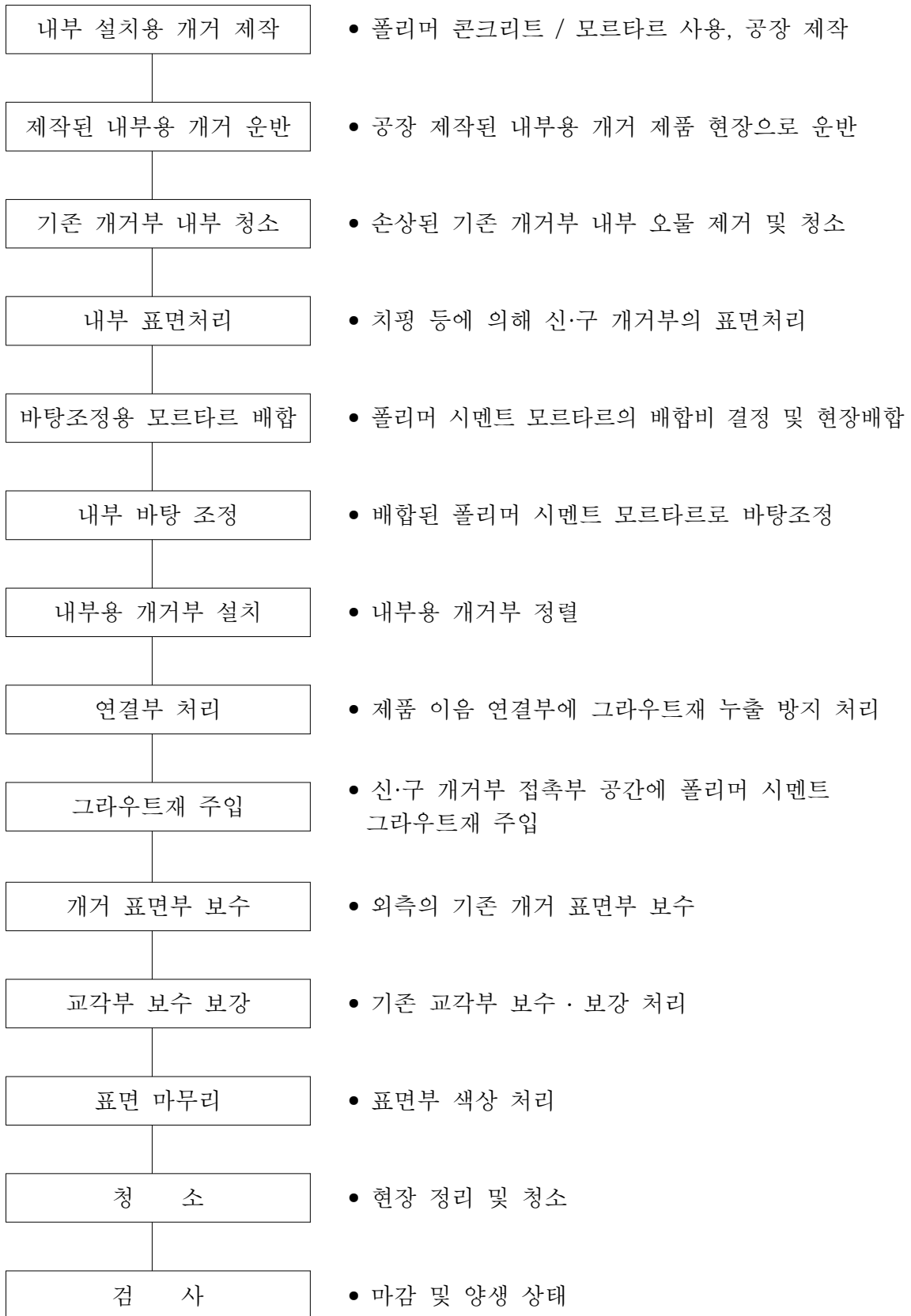
구분	압축강도 (kgf/cm ²)	휨강도 (kgf/cm ²)	조깅인장강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	열팽창계수 (×10 ⁻⁶ /°C)
기준값	102~816	61~153	20~82	0.1~3	8~20

7. 시공방법 개요

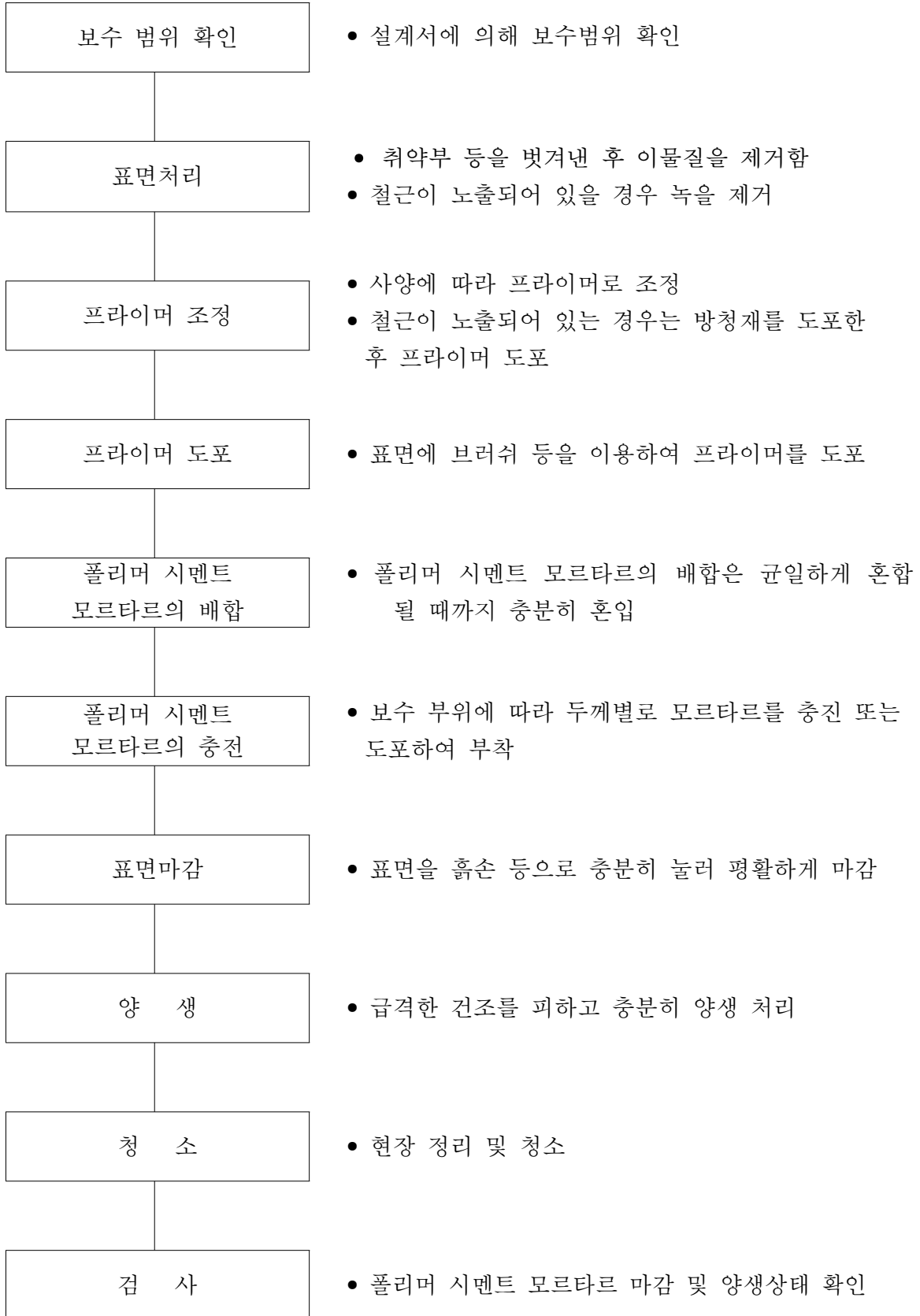
가. 개거부 교체 공법 개요



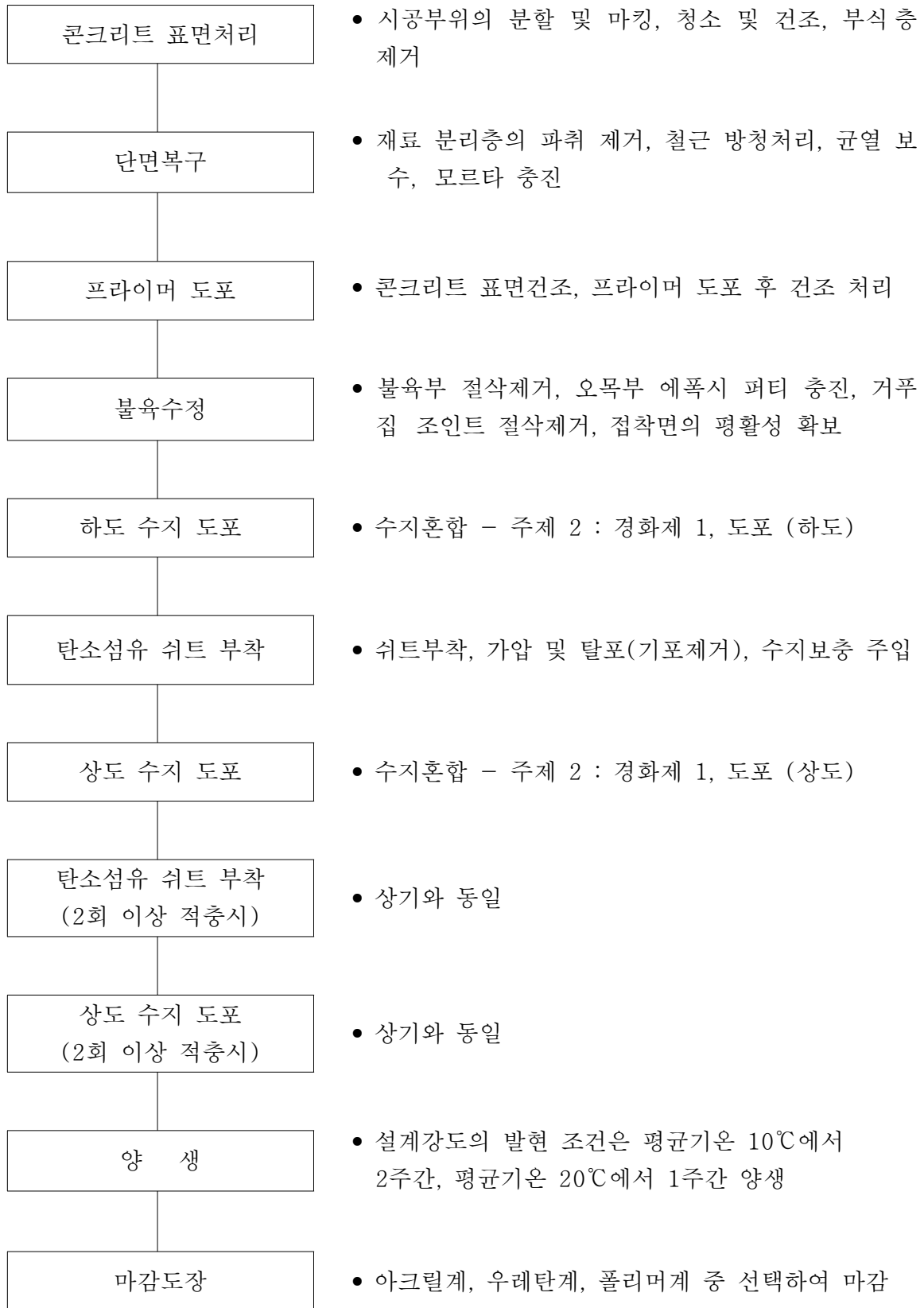
나. 개거부 보강공법 개요



다. 교각부 보수공법 개요



라. 교각부 보강공법 개요



8. 경관을 고려한 형상 디자인 모델



사진 3.8 현수교형 1



사진 3.9 현수교형 2



사진 3.10 사장교형 1



사진 3.11 사장교형 2



사진 3.12 사장교형 3



사진 3.13 사장교형 4



사진 3.14 트러스교형 1



사진 3.15 트러스교형 2



사진 3.16 트러스교형 3



사진 3.17 트러스교형 4



사진 3.18 아치교형 1



사진 3.19 아치교형 2



사진 3.20 아치교형 3



사진 3.21 아치교형 4

제 4 장 사용재료 개발

제1절 기존의 사용재료 조사 분석

1. 연구목적

농업용 수로교는 교각, 교대의 하부 구조물과 개거부의 상부 구조물로 구성된다. 교각, 교대는 단면 치수가 비교적 두꺼워서 보수, 보강에 의한 원상 복구가 가능하다. 그러나 개거부는 단면 치수가 20 cm 정도로 얇기 때문에 보수, 보강에 의한 원상 복구가 불가능하다.

따라서 본 연구에서는 교각, 교대 부분은 보수, 보강에 의해 원상 복구를 하며, 개거부는 손상 정도에 따라 내부에 폴리머 콘크리트 패널을 삽입, 부착하는 공법과 원래의 개거부를 제거하고 폴리머 콘크리트 프리캐스트 제품으로 교체하는 공법을 적용코자 한다.

여기에서는 교각, 교대의 원상복구에 적용키 위한 보수, 보강 재료 및 공법을 기존의 자료들을 중심으로 하여 조사 분석해 보고 이의 적용 가능성을 검토하여 보고자 한다.

2. 보수재료

보수재료로는 시멘트계, 폴리머 시멘트계 및 폴리머계 재료가 주로 사용되고 있다. 시멘트계와 폴리머 시멘트계는 그 특성상 콘크리트와 유사하지만 폴리머계 재료는 성분과 함량에 따라 수축률이나 열팽창계수 등이 콘크리트와 다소 다른 특성을 가진다. 주로 사용되는 용도별 보수재료는 다음과 같다.

가. 콘크리트 구체 보수재

콘크리트 구체 처리재에는 도포 함침재가 있다. 이것을 콘크리트 표면에 도포하면 콘크리트 조직 속으로 침투하여 콘크리트 표층부의 조직을 치밀하게 하는 작용을 한다. 도포 함침재의 대표적인 것은 다음과 같다.

(1) 침투성 흡수 방지재 : 콘크리트 표면에 도포 함침하여 콘크리트 표층부에 흡수 방지층을 형성하여 외부로부터 물, 탄산가스, 염화물이온 등의 침투를 억제하여 콘크리트의 내구성을 개선하는 역할을 한다.

(2) 침투성 고화재 : 콘크리트 표면에 도포하여 내구성이 저하된 부분을 고화시켜 건전 부위와 일체화시키는 역할을 한다.

(3) 침투성 알칼리 부여재 : 콘크리트 표면에 도포하여 중성화된 콘크리트의 표면에 알칼리성을 부여함으로써 철근의 부식환경을 개선시킨다.

(4) 침투성 강화재 : 콘크리트 표면층의 취약한 부위를 강화시키는 재료로 열화 부위에 2차적 화학반응이 발생하도록 하여 표층부의 조직을 치밀하게 강화시킨다.

(5) 도포형 방청재 : 콘크리트에 포함된 염화물로 인한 철근부식을 방지하기 위해 사용하는 재료로 콘크리트 구조물의 내구성을 개선시킨다.

(6) 무기질 침투성 방수재 : 규산질 미분말(수용성 실리카)을 콘크리트의 표층부에 도포함으로써 규산염이온이 콘크리트 속으로 침투하게 된다. 이로서 콘크리트 내부의 공극 속에 있는 칼슘이온과 반응하여 콘크리트 표층부에 치밀한 방수층을 형성한다.

(7) 폴리머 함침재 모노머계 함침재를 콘크리트에 함침시킨 후 중합에 의해 경화시킨다. 침투성 고화제보다는 강한 경화체가 되기 때문에 치밀한 콘크리트 조직을 만들 수 있다.

나. 철근 방청 처리재

부식된 철근의 녹을 제거한 다음 철근에 도포하는 재료로서 폴리머 시멘트계, 에폭시 수지계, 액상형 무기계 등의 방청재가 있다. 이러한 재료의 특징을 표 4.1에 비교 하였다.

폴리머 시멘트계 재료는 통전성이 콘크리트와 유사하지만 부식 요인의 차단, 중성화 방지 기능, 차염성 등을 갖고 있어 철근 콘크리트용 방청재로서 적당하기 때문에 사용이 증가하는 추세에 있다.

수지계 방청처리재는 산소나 물의 침투를 차단하여 방청효과가 있도록 한 것이지만, 에폭시 수지는 경화제의 종류에 따라 철근의 부식에 미치는 영향이 다르므로 선택에 유의해야한다.

액상형의 무기계 방청재는 콘크리트와 같은 무기계 재료이고, 알칼리성으로 방청효과가 뛰어나며, 중성화된 철근 주변 콘크리트의 알칼리성 회복에 효과가 있다. 이 액상형 무기계 방청재는 녹이 발생된 콘크리트 내부의 철근 부위에 강제로 주입하는데 점도가 5~10 cP 정도로 거의 물과 같다. 철근의 표면에 무기질계 피막을 형성함으로써 철근 부식의 원인이 되는 물 및 산소의 공급을 차단하고 철근의 전위를 부동태화 시켜 철근의 방청 및 발청을 억제하는 효과를 얻을 수 있다.

다. 균열 처리재

콘크리트 구체에 발생한 균열이나 들뜸 부분에 주입하여 사용하는 재료로는 에폭시 수지계, 폴리머 시멘트 슬러리계 등이 주로 사용되며, 우레탄계, 아크릴계, 합성고분자계(고무아스팔트 혼입계), 벤토나이트계가 사용되고 있다. 이들 균열 처리재는 균열의 건습 상태, 균열의 진행상태, 온도에 의한 수축 팽창 등 균열의 원인에 따라 적절한 재료를 선택하여야 한다.

표 4.1 각종 철근방청재의 성능 비교

항 목	폴리머 시멘트계 방청처리재	에폭시 수지계 방청 처리재	액상형 무기계 방청 처리재
재 료	폴리머 시멘트 페이스트 (혹은 모르타르)	에폭시 수지 도료, 알칼리 수지 도료	액상형 무기계 재료
방청성	알칼리성에 의한 방청효과로 pin-hole에서 결함이 생기기 쉬우므로 핀홀 도막 두께 확보와 도포 방법에 주의할 요함	산소와 물을 차단하는 도막에 의한 방청 효과로 경화제의 종류에 따라 역효과가 나는 것에 주의해야함	무기계의 알칼리성에 의한 방청효과 및 산소와 물을 차단하는 피막에 의한 방청효과를 얻을 수 있음
부착성	혼화시킨 폴리머의 효과에 의한 것으로 그 종류나 혼화량에 따라 약간의 차이가 있음	수지의 효과에 의한 것으로 폴리머 시멘트계에 비하여 큰 성능을 가지고 있음	알칼리 무기계의 피막형성에 의한 방청효과이므로 철근과 콘크리트가 녹에 의해 분리된 경우 2차로 폴리머 시멘트계 재료를 주입시켜 접착해야 함
방수성	위와 동일	위와 동일	무기계의 피막형성에 의한 것으로 폴리머 시멘트계에 비하여 성능이 떨어짐
차염성	위와 동일	위와 동일	위와 동일
내화 및 내열성	콘크리트와 같은 정도, 단, 폴리머의 혼화량이 많으면 내화성은 저하됨	온도가 높아지면 연성화되어 변형되기 쉬움	무기계의 재료이므로 수지계나 폴리머 시멘트계보다 우수함.

에폭시 수지계는 주입성이 좋아 균열폭 0.05 mm까지 주입이 가능하며, 접착성도 높은 편이지만 주재와 경화제의 2성분계 재료이므로 계량과 혼합에 주의해야 한다. 에폭시 수지는 표면의 습윤 정도에 따라 접착성을 확보할 수 없는 경우도 발생하므로 균열 보수 과정에서 반드시 표면의 건조상태를 점검해야 한다. 그리고 에폭시 수지의 열팽창계수와 탄성계수가 콘크리트와 달라서 균열·보수 후 재균열이 발생하기 쉬우므로 유의해야 한다.

시멘트계 재료는 에폭시 수지에 비하여 경제적이며, 열팽창계수가 콘크리트에 가깝고 습윤면에서도 접착성이 양호하므로 결함 부위의 누수방지가 가능하지만, 파손 및 0.05 mm 정도의 미세균열에 주입이 어렵고 접착성이 낮다는 단점이 있다. 현재는 최대입경 16 μ m 이하의 초미립자 시멘트나 무기물에 폴리머 디스퍼션을 혼합하여 접착성을 향상시킨 초미립자 폴리머 시멘트 슬러리 주입재가 개발되어 균열 폭 0.05 mm 정도의 미세 균열에도 주입이 가능하다.

우레탄계와 아크릴계 재료의 경우 누수의 일시적 차단효과는 있으나 균열의 보수에는 부적당하다. 최근 국내에서 아스팔트와 합성고무 등의 특수고분자 수지를 이용하여 접착성, 고수밀성 및 팽창성을 가진 유연형 주입재가 개발되어 누수 보수재로 사용되고 있다. 이밖에 벤토나이트계로서 분말형의 재료와 물을 혼합하여 그라우팅재로 사용하는 사례도 있다.

표 4.2 보수용 주입 에폭시 수지의 품질

종류 및 시험항목		경질형		연질형	
		여름용	겨울용	여름용	겨울용
경화시간 (hr)	5±1℃	-		-	
	10±2℃	15	-		-
	20±2℃	15 이하	-		-
접착강도 (kN/mm ²)	표 준	60 이상		30 이상	
	저 온 시	-	30 이상	-	15 이상
	습 윤 시	30 이상		15 이상	
	건습반복시	30 이상		15 이상	
경화수축률(%)		3 이하		3 이하	
가열변화	중량변화율(%)	5 이하		5 이하	
	체적변화율(%)	5 이하		5 이하	
인장강도 (kN/mm ²)		150 이상		10 이상	

표 4.3 보수용 주입 폴리머 시멘트 슬러리의 품질

항 목		품 질
유동성시험	흐름시험 (초)	1회째 : 30 이내 2회째 : 45 이내
보수 시험	보수계수 (%)	0.35~0.55
수축 시험	수축율 (%)	3 이하(수축)
접착강도시험	접착강도 (kN/mm ²)	4.903 이상
휨 시험	휨강도 (kN/mm ²)	49.033 이상
흡수 시험	흡수율 (%)	15 이하

(4) 단면 복구재

콘크리트 구조물에서 손상, 탈락한 콘크리트의 결손 부위를 원상태로 복원하는 재료를 충전재라고 하며, 주로 단면의 복구 및 단면 확대에 많이 사용되는 재료로 복구재료라고도 한다. 이러한 목적에 사용되므로 콘크리트와 유사하거나 이상의 강도와 열팽창계수를 가지며 경화될 때 수축이 발생하지 않고 콘크리트와 접착 성능이 우수해야 한다. 충전재로는 SBR, PAE 등을 사용한 폴리머 시멘트계 모르타르와 에폭시 수지계 모르타르가 많이 사용되고 있다.

표 4.4에 폴리머 시멘트계 모르타르 재료와 에폭시 수지계 모르타르 재료의 특성을 비교하여 나타내었다. 작은 단면을 복구할 경우 폴리머 시멘트계 모르타르를 미장으로 발라 단면을 복구한다. 대형 단면의 복구나 단면 증설공사 등에는 프리팩트 콘크리트 공법이나 드라이 슛크리트 공법등이 많이 사용되는데 여기에는 폴리머 시멘트계 모르타르 복구재가 많이 사용된다. 프리팩트 콘크리트용으로는 무수축형 유동화 시멘트 슬러리, 드라이 슛크리트 용으로는 속경성 스프레이 모르타르가 사용되고 있다.

폴리머 시멘트계 모르타르 재료의 특성은 콘크리트에 가깝고, 에폭시 수지계 재료는 경화속도나 접착성이 폴리머 시멘트 모르타르계 재료보다 우수한 특성을 가지고 있다. 그러나 콘크리트 구조물의 보수에는 콘크리트의 특성과 유사한 폴리머 시멘트계 모르타르와 같은 시멘트계 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 폴리머 시멘트계 재료는 시멘트의 수화과정에서 폴리머 필름층을 형성함으로써 폴리머 미혼입 모르타르에 비해 차

염성, 중성화 억제효과, 물 및 산소 확산에 대한 저항성이 높은 경화체를 만들 수 있다.

에폭시 수지계 재료는 시공성이 좋고, 접착성이 우수하지만 경화과정에서 온도 의존성이 높으므로 저온에서는 경화되기 어렵다. 열팽창계수가 콘크리트의 2~4배 정도이고, 탄성계수 등에서 콘크리트와 차이를 보일 수 있으므로 이 점에 유의하여야 한다.

손상 면적이나 단면이 큰 부재에는 폴리머 시멘트 모르타르계 보수재를 사용한 프리팩트 공법 혹은 드라이 슛크리트 공법이 사용된다. 즉 프리팩트 공법에는 무수축형 유동화 시멘트 슬러리, 드라이 슛크리트 공법에는 초속경 모르타르가 많이 이용되고 있다.

표 4.4 단면 복구재의 특성 비교

항 목	폴리머 시멘트계	에폭시 수지계
시공성	독성이 없고, 시공기구의 청소가 간단하며 습윤면의 시공도 가능함. 한번에 두껍게 바를 수 없으므로 결손이 클 때는 공정이 늘어남	경량 골재 타입이라면 한 번에 두껍게 바를 수 있음. 경화제에 독성이 있는 것도 있고, 시공기구의 청소가 어려움
경화성	보통 타입은 약간 경화가 늦어 공기가 길어짐. 속경성 타입도 있음	일반적으로 빠르고, 경화제의 종류에 따라 경화속도를 조정할 수 있음. 온도의존성이 커서 저온에서 경화하기 어려운 것도 있음
강 도	콘크리트와 같은 정도임	일반적으로 콘크리트보다 약간 큼. 특히 인장, 휨강도가 뛰어남
탄성계수	콘크리트와 같은 정도임	시멘트 콘크리트 보다 약간 작고, 변형하기 쉬움. 조정은 가능함
부착성	양호하지만 혼입한 폴리머의 종류에 따라 약간 다름	폴리머 시멘트계에 비하여 양호함
방수성	위와 동일	일반적으로 양호하지만 골재의 입도에 따라 나쁜 것도 있으므로 주의를 필요로 함
차염성	위와 동일함	위와 동일함
가스투과성	위와 동일함	위와 동일함
열팽창계수	콘크리트와 같은 정도임	콘크리트보다 큼(2~4배)
내화내열성	콘크리트와 같은 정도이지만 폴리머혼입량이 많으면 내화성이 저하함	온도가 높아지면 변형이 발생함

마. 수중 보수재

수중 보수재는 지상 노출 콘크리트의 보수재와 시공 조건이 매우 다르기 때문에 가장 중요한 성능은 콘크리트와의 접착성과 조기 경화성이라고 할 수 있다. 수중경화형 에폭시계 재료는 일반 에폭시 수지의 물성을 개선하여 수중 접착 및 경화성을 향상시킨 재료로서 수중 교각 및 수중 보 등의 보수·보강에 사용되고 있다.

3. 보강재료

콘크리트 구조물의 보강에는 강판과 FRP 보강 공법이 많이 이용되고 있다. 강판에 의한 보강공법은 본래의 구조체를 거의 변형시키지 않으며, 비교적 공정이 단순하기 때문에 적용이 용이하다는 장점을 갖고 있다. 강판 보강 공법은 보의 휨 및 전단 보강을 위해 많이 적용된다.

그러나 근년에는 FRP 보강 공법이 많이 이용되고 있다. 강판 보다 FRP의 우수한 기계적 성질과 내식성, 조인트 없이 시공할 수 있는 시공의 간편성 등이 장점이라고 할 수 있다. FRP는 연속적인 일방향의 유리섬유(Glass Fiber), 탄소섬유(Carbom Fiber), 아라미드 섬유(Aramid Fiber) 등에 에폭시 수지를 함침시켜 시공한다.

가. 강판

보강공사에 쓰이는 강판의 품질은 KS규격에 적합한 제품을 사용해야 한다. 강재와 강재의 접합에는 볼트 접합이나 용접, 콘크리트와 강재와의 접합에는 앵커용 볼트가 많이 사용된다. 이 때 강재 및 볼트는 KS규격에 맞는 제품이어야 하며, 요구되는 성능을 가진 볼트이어야 한다.

나. FRP

FRP 시스템은 수지와 보강섬유로 구성되며, FRP의 성능은 보강섬유의 구조적 특성이외에 수지의 성능, 접착되는 콘크리트 표면의 상태에 따라 좌우된다. 모재의 상태와 강도는 FRP 보강 후의 강도에 영향을 주므로 성능이 저하된 콘크리트나 부식된 철근은 FRP 시공 전에 보수되어야 한다. FRP 시스템의 성능을 확보하기 위해서는 시공 전에 FRP와 에폭시 수지의 경화 후 역학적 성질은 물론 가사시간, 접착성 등에 대한 실험이 선행되어야 한다. 특히, 에폭시 수지는 주재와 경화제의 비율이나 혼합방식, 양생온도 등에 따라 품질이 다를 수 있으므로 유의해야 한다. FRP 시스템을 구성하는 각 요소에 대해 기술하면 다음과 같다.

(1) 수 지

프라이머, 퍼티, 함침재, 접착제를 포함하는 넓은 범위의 폴리머계 수지가 FRP 시스

템에 사용된다. 주로 에폭시, 비닐에스테르, 폴리에스테르 수지 등이 많이 사용된다. FRP 시스템에서 요구 특성은 다음과 같다.

- (가) 모재와의 적합성과 접착강도
- (나) 습기, 염수, 외기 온도. 화학약품과 같은 환경적 영향에 대한 저항성
- (다) 도포성
- (라) FRP 보강재와의 적합성과 접착성능
- (마) 합성을 위한 적절한 역학적 특성

수지를 구성하는 프라이머는 콘크리트 표면에 침투하여 접착제와의 접착성을 향상시키고, 퍼티는 표면의 작은 구멍을 채워 FRP가 잘 접착되도록 매끄러운 표면을 만드는데 사용된다. 접착제는 FRP를 콘크리트 모재에 접착시켜 전단력을 전달하는 경로를 제공한다. 보호 도막은 외부환경에 의해 발생할 수 있는 손상으로부터 FRP를 보호하는 역할을 하며, 경화된 FRP 시스템의 표면에 도포한다.

(2) 보강섬유

FRP 시스템에 적용되는 보강섬유는 유리섬유, 탄소섬유, 아라미드섬유와 같은 연속 섬유가 사용된다. 보강용 섬유의 일반적인 특징은 다음의 표 4.5와 같고, 보강용 섬유의 일반적인 인장특성은 표 4.6과 같다.

표 4.5 보강용 섬유의 특징

섬유의 종류	특 징
탄소 섬유	<ul style="list-style-type: none"> ● 비중이 강재의 1/4~1/5 정도로서 경량이다. ● 인장강도는 강재의 10배 정도(2.5~5.0 MPa)이며, 탄성계수는 약 200~700 MPa이다. ● 내구성이 우수하며, 피로강도가 높고 접착성이 양호하다.
유리 섬유	<ul style="list-style-type: none"> ● 열전도율이 0.8~0.9 kcal/mh 이고 내열성이 우수하다. ● 불연성이며 내화학성이 우수하다. ● 비흡수성으로 표면수분 흡착율이 0.3 % 이하이다. ● 투명성이 양호하며, 굴절률은 1.52~1.55 (560 μm, 32℃)이다. ● 전기적 저항성이 강재 및 탄소섬유보다 우수하다. ● 강도가 탄소섬유에 비해 낮다.
아라미드섬유	<ul style="list-style-type: none"> ● 비중이 강재의 1/5 정도로 경량이다. ● 전기가 통하지 않는 비전도체이다. ● 습기 부분 및 수중작업이 가능하다. ● 각진 모서리 처리에도 용이하다.

표 4.6 보강용 섬유인장 특성

섬유종류		탄성계수 (MPa)	인장강도 (MPa)	과단시 변형률(%)
탄소섬유	일반용	220~240	<1.2	>1.2
	고강도	220~240	3.9~4.9	>1.4
	초고강도	110~240	4.9~6.3	>1.5
	고탄성	350~530	>3.2	>0.5
	초고탄성	530~700	>2.5	>0.2
유리섬유	E-glass	70~74	1.9~2.7	>4.5
	S-glass	88~91	3.5~4.9	>5.4
아라미드 섬유	일반용	70~80	3.5~4.2	2.5
	고성능	110~130	3.5~4.2	1.6

4. 결과 요약

기존에 사용되고 있는 보수, 보강 재료와 공법을 조사 분석하여 보고, 손상된 수로교의 원상회복에 대한 적용 가능성을 검토하여 보았던 바, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 콘크리트 구체 보수재는 콘크리트 조직 속에 침투시켜 콘크리트 표층부의 조직을 치밀하게 하는 도포 함침재가 사용되나 수로교의 보수에는 적용이 용이하지 않을 것으로 판단된다.

(2) 철근 방청 처리재는 폴리머 시멘트계, 에폭시 수지계, 액상형 무기계가 사용되며, 철근이 노출된 수로교 구조물에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

(3) 균열처리재로는 에폭시 수지계, 폴리머 시멘트 슬러리계, 우레탄계, 아크릴계, 합성고분자계, 벤토나이트계 등이 사용되며, 패널 시공시 접착부에 사용 가능 할 것으로 판단된다.

(4) 단면 복구재로는 폴리머 시멘트계 모르타르와 에폭시계 모르타르가 주로 사용되며, 수로교에 적용이 가능하다. 그러나 본 과제에서는 작업성, 저온경화성, 강도 특성이 우수한 MMA-PMMA를 결합재로 사용한 모르타르를 개발하여 적용코자한다.

(5) 수중 보수용 재료로 수중 경화형 에폭시 수지가 사용되며, 수로교 구조물에 적용이 가능하나 수로교가 수중에 있지 않으므로 필요성은 없을 것으로 사료된다.

(6) 콘크리트 구조물의 보강에는 강관 보강과 FRP 보강 공법이 주로 이용되며, 수로교의 보강에는 FRP 공법이 선택적으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

제2절 프리캐스트 제품용 재료 개발

1. 연구목적

폴리머 콘크리트(polymer concrete)는 일반 시멘트 콘크리트(cement concrete)에 비해 경화시간이 짧고, 내동결융해성 및 내식성 등 내구성이 우수하며, 압축·찢김인장 및 휨 강도가 높을 뿐만 아니라 경화시간이 시멘트 콘크리트에 비해 월등히 빠르기 때문에 프리캐스트 제품용 재료로서 매우 유리하다.

폴리머 콘크리트용 결합재는 에폭시(epoxy), 아크릴(acrylic), 불포화 폴리에스터(unsaturated polyester), MMA(methyl methacrylate) 수지 등이 많이 사용되고 있으며, 이런 폴리머 결합재 중 가장 많이 사용되고 있는 것이 불포화 폴리에스터 수지이다.

불포화 폴리에스터 수지를 사용한 폴리머 콘크리트는 빠른 경화시간, 높은 강도발현, 개시제와 촉진제 사용에 따른 가사시간 조절 등의 장점이 있지만 상온에서 300 mPa·s의 높은 점도를 갖고 있어 시멘트 콘크리트에 비해 작업성이 떨어지며, 경화수축이 커서 균열이 발생되고 자외선에 취약해 내구성 확보 측면에서 불리하다.

MMA를 결합재로 하는 폴리머 콘크리트는 속경성이고, 저온경화성이며, 경화 후 물성의 경시 변화가 거의 없다. 또한, 저점도부터 고점도까지 수지의 점도 조절이 용이하고, 내후성, 내약품성, 내마모성이 우수할 뿐만 아니라, 높은 부착강도와 우수한 시공성을 갖고 있다. 그러나 MMA 모노머의 경우는 점도가 0.56 mPa·s로 매우 낮고, 경화시간이 길며, 증발이 쉽게 일어나 단독으로 사용하기가 어렵다.

따라서 본 연구에서는 불포화 폴리에스터(unsaturated polyester) 수지에 MMA (methyl methacrylate) 모노머를 첨가하여 작업성이 개선되고 강도가 향상된 프리캐스트 제품용(본 연구에서는 수로교 개거부 교체용 제품을 제작함) 폴리머 콘크리트를 개발코자 한다. 이

를 위해 불포화 폴리에스터 수지와 MMA 모노머의 비율, 양생온도 및 개시제와 촉진제의 첨가량을 변수로 하여, 결합제와 콘크리트의 경화 시간을 측정하고, 재령별로 압축, 쪼갬인장 및 휨강도 등의 발현 특성을 구명하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 사용재료

(1) 결합제

(가) 불포화 폴리에스터 수지

불포화 폴리에스터 수지는 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있는 올소타입(ortho type)으로서 그 성질은 표 4.7과 같다.

표 4.7 불포화 폴리에스터 수지의 성질

비 중 (25 °C)	점 도 (25 °C, mPa·s)	산 가	스틸렌 함량 (%)
1.13	300	20.0	40

(나) MMA 모노머

메틸 메타아크릴레이트(methyl methacrylate : MMA)는 무색투명한 액체로 C₄ 유분을 원료로 하여 제조된 TBA(tert-butyl alcohol)를 기체 상태에서 산화시켜 메타크릴산을 제조한 뒤 메탄올로 에스테르화 하여 제조한다. 사용된 MMA 모노머의 성질은 표 4.8과 같다.

표 4.8 MMA 모노머의 성질

비 중 (25°C)	점 도 (20 °C, mPa·s)	분자량 (g/mol)	형 상
0.9420	0.56	100	Transparent

(다) 개시제 (MEKPO)

촉진제로서는 옥탄산 코발트 8 %인 mineral turpentine 용액(CoOc)이 주로 이용되며,

개시제로서는 메틸에틸케톤 프록사이드(MEKPO) 55 %인 DMP 용액이 이용되고 있다. 사용된 개시제의 성질은 표 4.9와 같다.

표 4.9 개시제의 성질

구 성	비 중(25℃)	활성 산소
MEKPO 55 % DMP 45 %	1.12	10.0

(라) 촉진제 (DMA)

불포화 폴리에스터 수지와 MMA 공중합 상태에서 개시제만 첨가하였을 경우 분자간의 경화 반응속도가 매우 낮아 폴리머 콘크리트나 콘크리트 제조에 이용하는 것이 불가능하다. 따라서 반응을 촉진시키기 위해 DMA를 사용 하였다. DMA의 성질은 표 4.10과 같다.

표 4.10 DMA의 성질

비 중 (25℃)	끓는점 (℃)	녹는점 (℃)	분자량 (g/mol)	형 상
0.9420	193 ~ 194	1.5 ~ 2.5	121.18	Oily liquid

(2) 골재 및 충전제

본 연구에 사용된 골재와 충전제의 물리적 성질은 표 4.11 및 표 4.12와 같다.

표 4.11 골재의 물리적 성질

입경 (mm)	겉보기 비중	진비중	단위중량 (kg/m ³)	조립율	함수량 (%)	유기불순물
0.08~5	2.64	2.62	1,648	3.09	< 0.1	Nil

표 4.12 중질 탄산칼슘의 성질

비 중 (gr/cc)	흡수율 (cc/gr)	함수량 (%)	pH	평균입경 (μm)	325번체 잔량
0.75	0.20	≤ 0.3	8.8	13	0.03

나. 시험 방법

(1) 결합재의 조성 및 폴리머 콘크리트의 배합비

폴리머 콘크리트의 배합비는 사용목적, 수지의 종류, 골재의 형태 및 입도, 작업조건 등에 따라 달라지므로 최적 배합비의 결정은 실험에 의하여 소정의 작업성과 강도를 얻을 수 있는 범위 내에서 골재와 충전재의 양을 최대로 하고 결합재인 폴리머 양을 최소화하는 것이 가장 이상적이다.

본 연구에서 반복실험을 통해 결정된 결합재의 조성 및 폴리머 콘크리트의 배합비는 다음의 표 4.13과 같다.

표 4.13 결합재의 조성 및 폴리머 콘크리트의 배합비

결합재량 (wt.%)	결합재의 조성			충전재 (wt.%)	골재 (wt.%)
	UP : MMA (wt.%)	MEKPO (phr*)	DMA (phr*)		
10	80 : 20	1 1.5 2	0.1	20	70
11	70 : 30		0.5		
12	60 : 40		1 2 3		

Notes, *phr : parts per hundred parts of resin

(2) 결합재의 경화시간 측정

폴리머 콘크리트의 성질 중에서 시멘트 콘크리트와 크게 다른 점 중의 하나가 경화 시간이다. 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 비해 속경성이므로 일반적으로 상온이면 타설 후 1시간 이내에 경화가 가능하다. 따라서, 공장제품 제조에 있어서 생산성을 높

일 수 있어 유리하다.

일반적으로 폴리머 콘크리트나 콘크리트는 개시제와 촉진제의 첨가량으로 사용가능 시간을 조절할 수 있으며, 낮은 양생온도의 경우 개시제와 촉진제의 사용량을 증가시켜야 한다고 보고 되어있다.

결합재의 경화시간은 표 4.13에 제시된 결합재의 조성비에 따라 양생온도별로 측정하였으며, MEKPO와 DMA를 넣은 직후부터 발열온도가 정점에 도달할 때까지의 시간을 경화시간으로 하였다.

(3) 폴리머 콘크리트의 가사시간 측정

낮은 온도에서는 불포화 폴리에스터 수지의 점도가 높아져 콘크리트의 작업성이 현저히 저하되므로 사용가능시간 측정에는 관입법, 인발저항법 보다 감촉법이 유리하다. 따라서 콘크리트의 사용가능시간은 KS F 2484(폴리에스테르 레진 콘크리트의 사용 가능시간 측정 방법)에 제시된 감촉법에 의해 측정하였다.

(4) 폴리머 콘크리트의 강도시험

압축 및 쪼갬인장강도 시험에는 $\varnothing 5 \times 10$ cm의 원주형 시험체를 사용하였으며, 휨강도 측정에는 $4 \times 4 \times 16$ cm의 각주형 시험체를 사용하였다.

그리고 압축 및 쪼갬인장강도 시험은 KS F 2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)과 KS F 2480(폴리에스테르 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)에 따라 시험 하였으며, 휨강도 시험은 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 따라 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 결합재의 경화시간

양생온도, MMA 함량, MEKPO 및 DMA의 첨가량 변화에 따른 결합재의 경화시간 변화를 시험한 결과는 그림 4.1, 4.2 및 4.3과 같다.

이들 시험 결과에서 살펴보면 온도가 내려가고, MMA 함량이 증가함에 따라 경화시간은 길어졌다. 그리고 MEKPO 첨가량이 증가할수록 경화시간은 짧아졌으며, 역시 촉진제인 DMA 첨가량이 증가할수록 경화시간이 현저히 짧아지는 경향을 보였다. 특히 DMA 첨가량이 0.1 phr이나 0.5 phr로 비교적 작을 때는 클 경우 보다 양생온도의 영향을 더 크게 받음을 알 수 있었다.

나. 폴리머 콘크리트의 가사시간

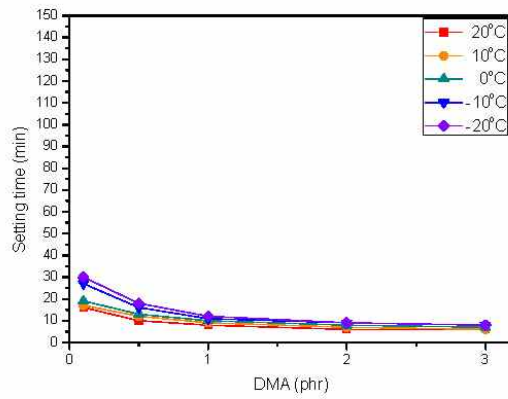
본 연구에서는 양생온도, MMA 함량, MEKPO 및 DMA 첨가율을 변수로 하여 폴리머 콘크리트의 가사시간을 측정하였으며, 그 결과는 그림 4.4, 4.5 및 4.6과 같다. 이 결과에서 보면 양생온도가 낮아짐에 따라 사용가능시간이 길어졌으며, 이는 MEKPO와 DMA의 첨가량에 따라 큰 차이가 남을 알 수 있다.

또한 MMA 함량이 20 wt.%에서 40 wt.%로 증가할수록, 폴리머 콘크리트의 사용가능시간이 현저히 길어졌으며, 동일한 MMA 함량일 경우 MEKPO와 DMA 첨가율이 증가할수록 사용가능시간은 짧아지는 경향을 보였다.

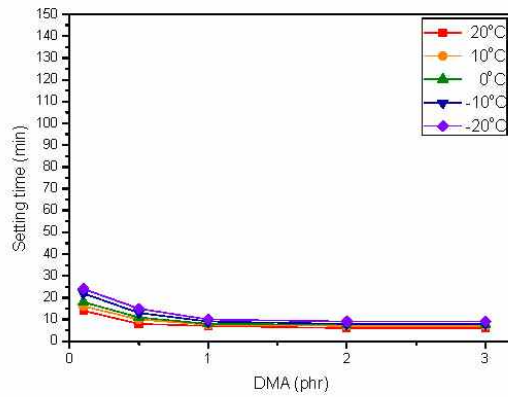
다. 온도별 가사시간 확보를 위한 결합재의 배합비

폴리머 콘크리트의 가사시간 시험 분석 결과를 바탕으로 하여 작성된 온도별 가사시간 확보를 위한 결합재의 적정 배합비는 표 4.14와 같다.

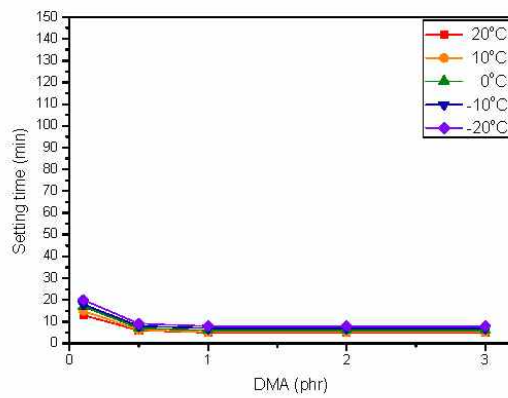
표 4.14로부터 가사시간 30, 60, 90 분을 확보하기 위한 MMA 함량, MEKPO 및 DMA 첨가량 등 결합재의 구성비를 용이하게 결정 할 수 있으며, 이러한 자료를 활용하면 현장시공이나 공장제품 제조시 효율적인 생산관리가 가능 할 것이다.



(a) MEKPO 1 phr

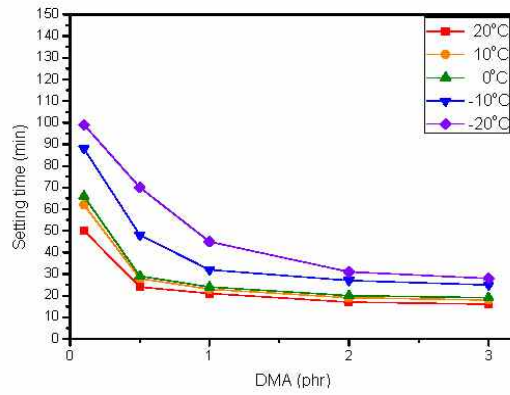


(b) MEKPO 1.5 phr

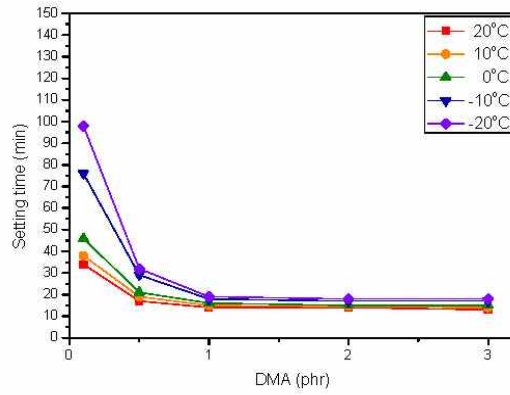


(c) MEKPO 2 phr

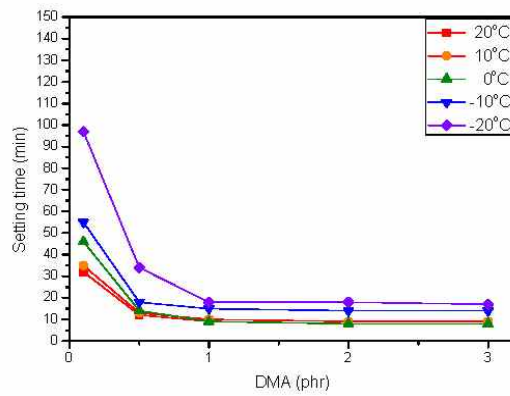
그림 4.1 결합제의 경화시간에 미치는 MEKPO, DMA 및 양생온도의 영향
(80 wt.% UP / 20 wt.% MMA)



(a) MEKPO 1 phr

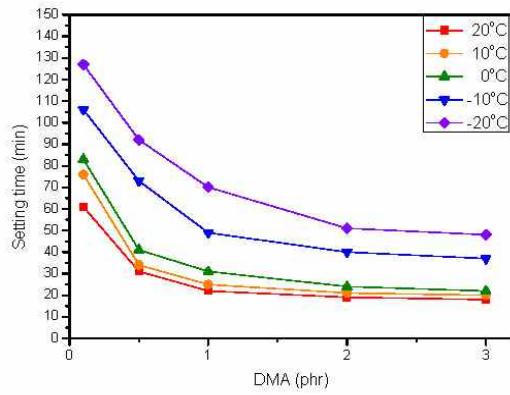


(b) MEKPO 1.5 phr

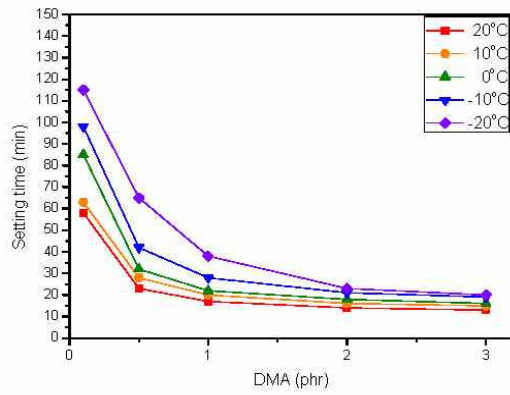


(c) MEKPO 2 phr

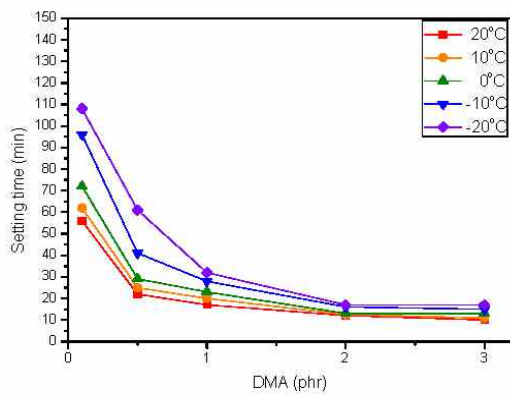
그림 4.2 결합제의 경화시간에 미치는 MEKPO, DMA 및 양생온도의 영향
(70 wt.% UP / 30 wt.% MMA)



(a) MEKPO 1 phr

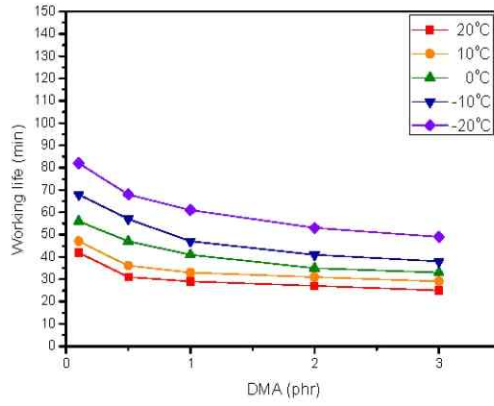


(b) MEKPO 1.5 phr

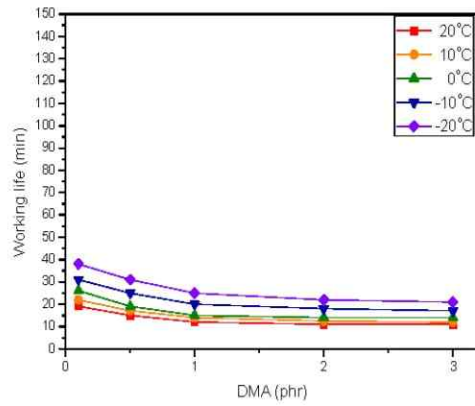


(c) MEKPO 2 phr

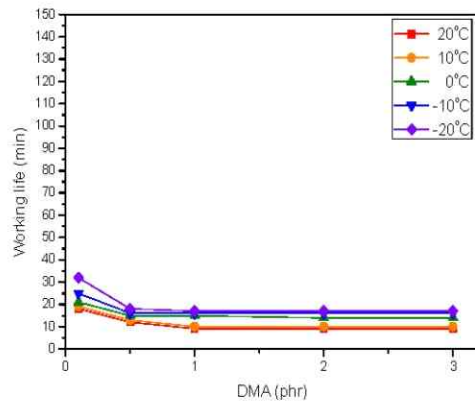
그림 4.3 결합제의 경화시간에 미치는 MEKPO, DMA 및 양생온도의 영향
(60 wt.% UP / 40 wt.% MMA)



(a) MEKPO 1 phr

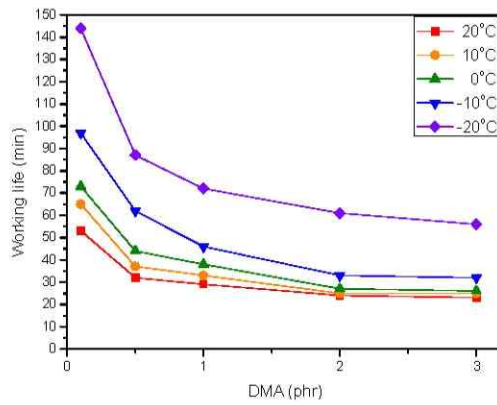


(b) MEKPO 1.5 phr

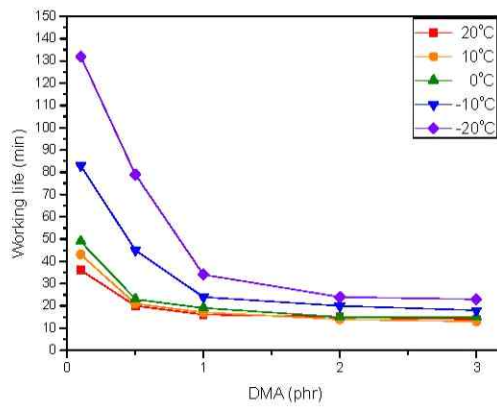


(c) MEKPO 2 phr

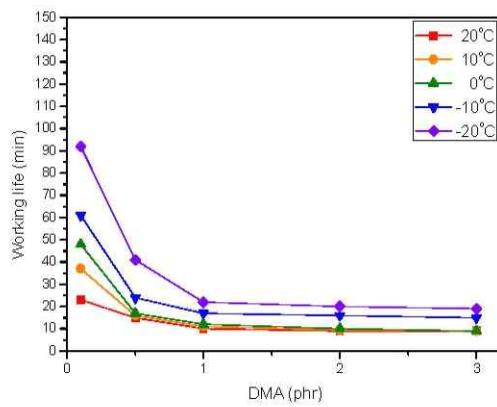
그림 4.4 폴리머 콘크리트의 가사시간에 미치는 MEKPO, DMA 및 양생온도의 영향 (80 wt.% UP / 20 wt.% MMA)



(a) MEKPO 1 phr

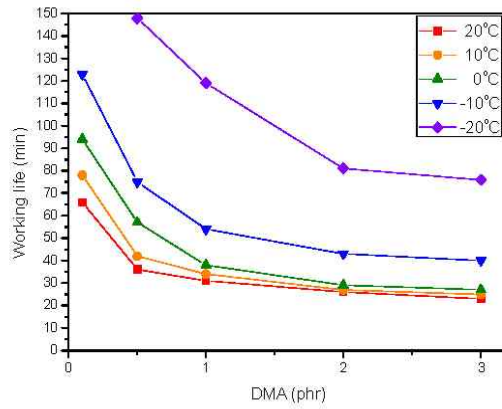


(b) MEKPO 1.5 phr

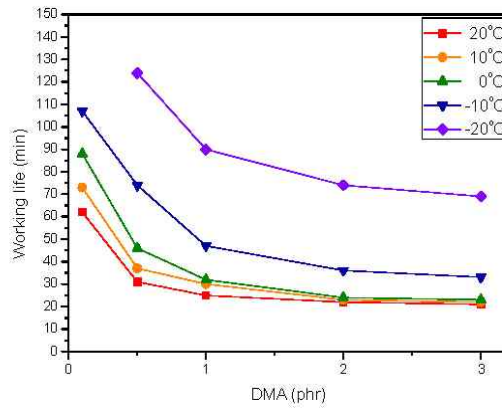


(c) MEKPO 2 phr

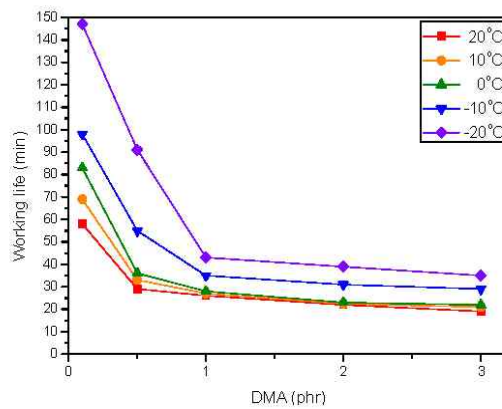
그림 4.5 폴리머 콘크리트의 가사시간에 미치는 MEKPO, DMA 및 양생온도의 영향 (70 wt.% UP / 30 wt.% MMA)



(a) MEKPO 1 phr



(b) MEKPO 1.5 phr



(c) MEKPO 2 phr

그림 4.6 폴리머 콘크리트의 가사시간에 미치는 MEKPO, DMA 및 양생온도의 영향 (60 wt.% UP / 40 wt.% MMA)

표 4.14 폴리머 콘크리트용 결합재의 최적 배합비

양생온도	가사시간 (min)	MMA (wt.%)	MEKPO (phr)	DMA (phr)
20 ℃	30	20	1	1
		30	1	1
		40	1	2
	60	20	1	0.1
		30	1	0.1
		40	1	0.5
	90	20	1	0.1
		30	1	0.1
		40	1	0.1
10 ℃	30	20	1	2
		30	1	2
		40	1	3
	60	20	1	0.1
		30	1	0.5
		40	1	0.5
	90	20	1	0.1
		30	1	0.1
		40	1	0.1
0 ℃	30	20	1	2
		30	1	2
		40	1.5	2
	60	20	1	0.1
		30	1	0.5
		40	1	0.5
	90	20	1	0.1
		30	1	0.1
		40	1	0.5
-10 ℃	30	20	1.5	0.5
		30	1.5	1
		40	2	3
	60	20	1	0.5
		30	1	1
		40	1	1
	90	20	1	0.1
		30	1	0.5
		40	1	0.5
-20 ℃	30	20	1.5	1
		30	1.5	2
		40	X	X
	60	20	1	2
		30	1	3
		40	2	1
	90	20	1	0.1
		30	1	0.5
		40	1	2

라. 폴리머 콘크리트의 강도발현 특성

(1) 양생온도에 따른 강도발현 특성

양생온도와 MMA 함량의 변화 (MEKPO 1 phr, DMA 1 phr 고정)에 따른 압축, 쪼갬인장 및 휨강도 시험결과는 각각 그림 4.7, 4.8 및 4.9와 같다.

여기서 재령 168 hrs의 압축강도를 기준으로 할 때 MMA 20 wt.%일 경우 20 °C에서 81.48 MPa, -20 °C에서 65.19 MPa로, 20.0 % 감소하였고, MMA 30 wt.%일 경우 20 °C에서 78.43 MPa, 20 °C에서 54.55 MPa로 30.5 % 감소하였으며, MMA 40 wt.%일 경우 20 °C에서 76.39 MPa, -20 °C에서 42.27 MPa로 44.7 % 감소하여 20 °C에 대한 -20 °C에서의 평균 강도감소율은 31.7%에 달하였다.

또한 재령 168 hrs의 쪼갬인장강도를 기준으로 할 때 MMA 20 wt.%일 경우 20 °C에서 8.78 MPa, -20 °C에서 5.22 MPa로 40.5 % 감소하였고, MMA 30 wt.%일 경우 20 °C에서 8.15 MPa, -20 °C에서 4.70 MPa로 42.3 % 감소하였으며, MMA 40 wt.%일 경우 20 °C에서 8.02 MPa, -20 °C에서 4.46 MPa로 44.4 % 감소하여 20 °C에 대한 -20 °C에서의 평균 강도감소율은 42.4 %에 달하였다.

한편 재령 168 hrs의 휨강도를 기준으로 할 때 MMA 20 wt.%일 경우 20 °C에서 18.53 MPa, -20 °C에서 15.13 MPa로 18.3 %, MMA 30 wt.%일 경우 20 °C에서 17.19 MPa, -20 °C에서 12.50 MPa로 27.2 %, MMA 40 wt.%일 경우 20 °C에서 17.19 MPa, -20 °C에서 12.50 MPa로 27.3 % 감소하여 20 °C에 대한 -20 °C에서의 평균 강도감소율은 24.3 %에 달하였다.

이러한 결과로부터 폴리머 콘크리트의 각종 강도는 양생온도에 크게 영향 받음을 알 수 있다. 즉, 20 °C에 대한 -20 °C일 때의 압축, 쪼갬인장 및 휨강도는 평균 32.8 %가 감소하였으며 감소율은 휨강도가 가장 작았으며, 압축강도, 쪼갬인장강도 순으로 커졌다. 그리고 MMA 함량의 적을수록 온도 저하에 따른 강도감소율이 작게 나타났다.

본 연구에서 얻은 중요한 결과는 -20 °C의 저온에서도 압축강도가 약 42~65 MPa인 폴리머 콘크리트를 MEKPO와 DMA 첨가량 조절만으로 제조 할 수 있다는 점이다.

(2) 재령에 따른 강도 발현

재령에 따른 압축강도, 쪼갬인장강도 및 휨강도 시험 결과를 나타낸 것이 그림 4.10, 4.11 및 4.12이다.

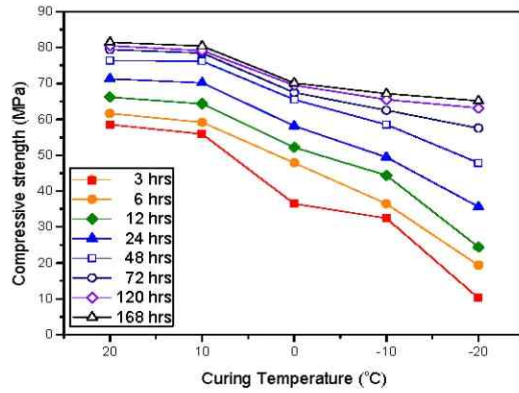
이 결과에서 압축강도에 대하여 살펴보면 양생온도 20 °C를 기준으로 할 경우 168 hrs 강도에 대한 24 hrs 강도의 비율은 MMA 20 wt. %에서 87.5 %, MMA 30 wt. %에서 83.1 %, MMA 40 wt. %에서 79.9 %로서 평균 83.5 %였다. 그러나 양생온도 -20 °C를 기준으로 할 경우 168 hrs 강도에 대한 24 hrs 강도발현 비율은 MMA 20 wt. %에서 54.7 %, MMA 30 wt. %에서 56.9 %, MMA 40 wt. %에서 66.0 %로서 평균 59.2 %이며, 이는 양생온도 20 °C일 때에 비해 2/3수준을 약간 상회하는 비율이다.

또한 쪼갬인장강도에 대하여 살펴보면 양생온도 20 °C를 기준으로 할 경우 168 hrs 강도에 대한 24 hrs 강도발현 비율은 MMA 20 wt. %에서 72.4 %, MMA 30 wt. %에서 70.3 %, MMA 40 wt. %에서 69.8 %로서 평균 70.8 %였다. 이에 비해 양생온도 -20 °C를 기준으로 할 경우 168 hrs 강도에 대한 24 hrs 강도의 비율은 MMA 20 wt. %에서 68.2 %, MMA 30 wt. %에서 67.4 %, MMA 40 wt. %에서 68.6 %로서 평균 68.1 %였다.

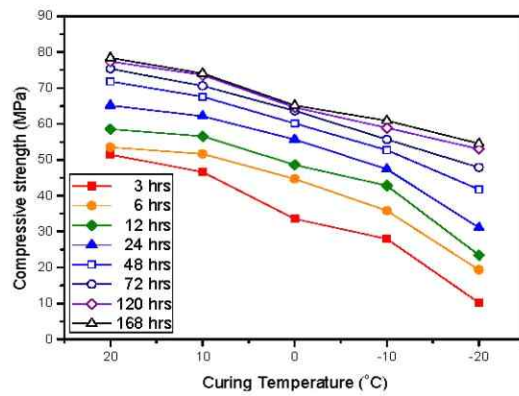
한편 휨강도에 대하여 살펴보면 양생온도 20 °C를 기준으로 할 경우 168 hrs 강도에 대한 24 hrs 강도발현 비율은 MMA 20 wt. %에서 92.7 %, MMA 30 wt. %에서 90.9 %, MMA 40 wt. %에서 86.3 %로서 평균 89.9 %였다. 이에 비해 양생온도 -20 °C를 기준으로 할 경우 168 hrs 강도에 대한 24 hrs 강도의 비율은 MMA 20 wt. %에서 75.3 %, MMA 30 wt. %에서 82.4 %, MMA 40 wt. %에서 77.4 %로서 평균 78.4 %였다.

이와 같은 결과를 통해 볼 때 재령에 따른 강도도 양생온도에 크게 영향 받음을 알 수 있다. 즉, 양생온도 20 °C를 기준으로 할 때 압축, 쪼갬장, 휨강도에 대한 24 hrs/168 hrs의 평균 강도발현 비율은 81.4 %였으나 -20 °C를 기준으로 할 때의 그 값은 68.5 %로서 현저한 차이를 보였다. 또한, 영상의 양생온도 일 때 3, 6, 12 hrs의 초기재령에서 강도가 급격히 발현되는데 비해 -10 °C나 -20 °C의 저온에서는 초기재령에서의 강도는 완만하게 발현 되었다.

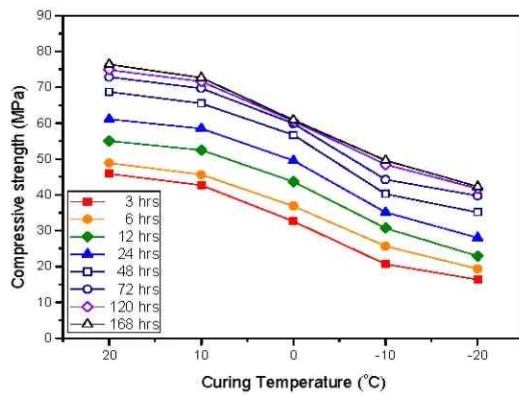
그러나 168 hrs의 강도에 대한 72 hrs 강도발현 비율은 20 °C나 -20 °C의 경우 3가지 강도 모두 90 %이상의 강도 발현을 보여 72 hrs 재령에서 강도가 거의 다 발현됨을 알 수 있다.



(a) 80 UP / 20 MMA

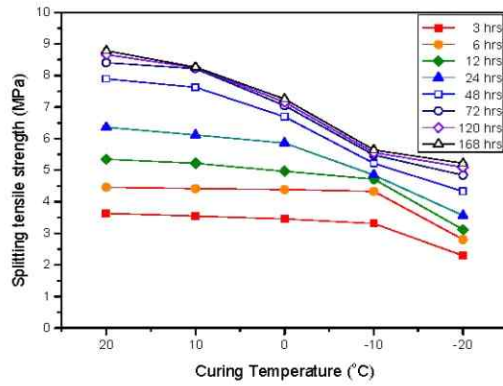


(b) 70 UP / 30 MMA

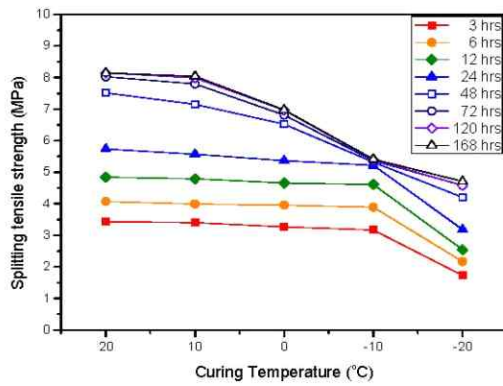


(c) 60 UP / 40 MMA

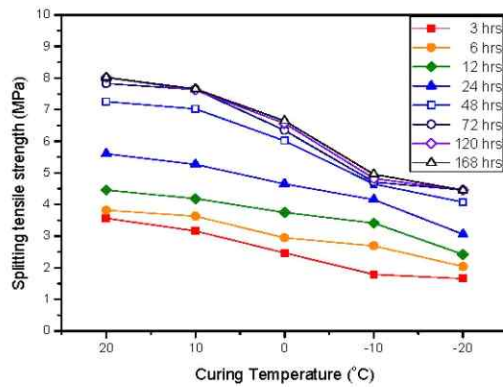
그림 4.7 양생온도에 따른 압축강도 변화
(MEKPO 1 phr, DMA 1 phr)



(a) 80 UP / 20 MMA

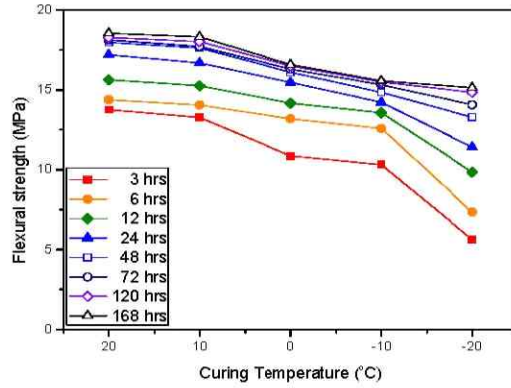


(b) 70 UP / 30 MMA

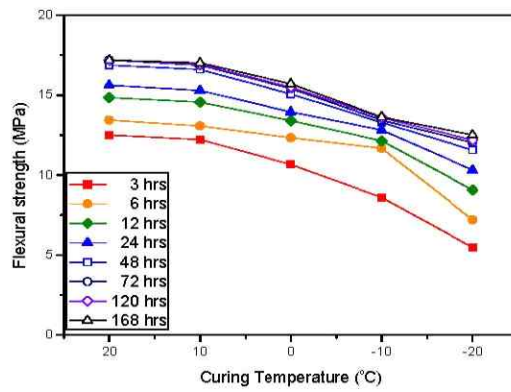


(c) 60 UP / 40 MMA

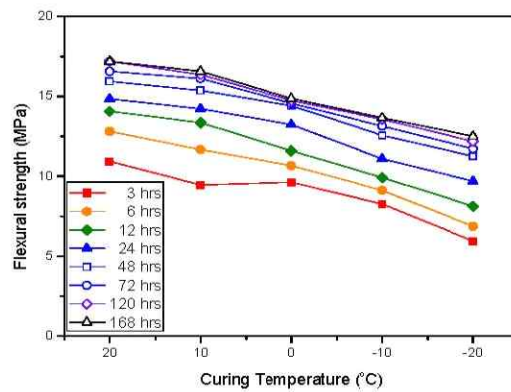
그림 4.8 양생온도에 따른 쪼갬인장강도 변화
(MEKPO 1 phr, DMA 1 phr)



(a) 80 UP / 20 MMA

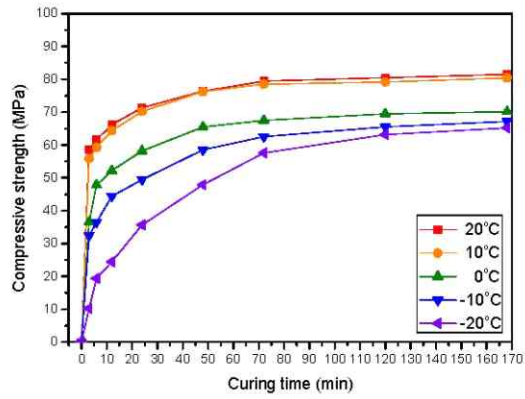


(b) 70 UP / 30 MMA

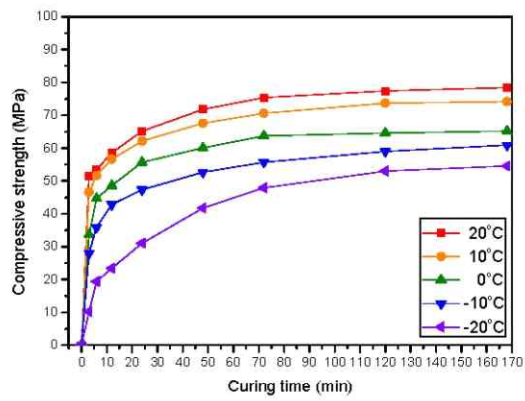


(c) 60 UP / 40 MMA

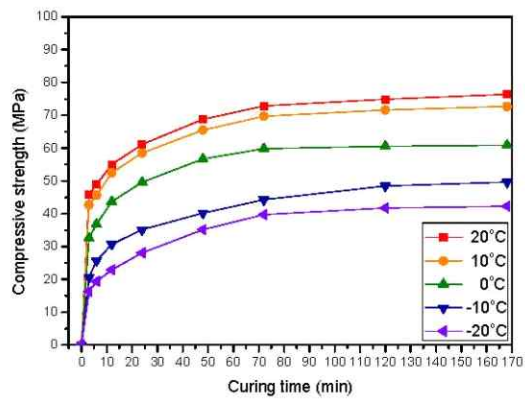
그림 4.9 양생온도에 따른 휨강도 변화
(MEKPO 1 phr, DMA 1 phr)



(a) 80 UP / 20 MMA

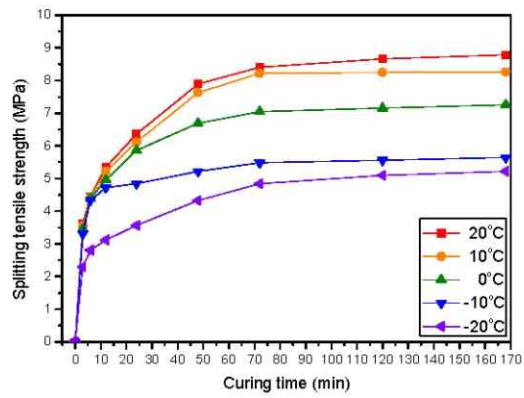


(b) 70 UP / 30 MMA

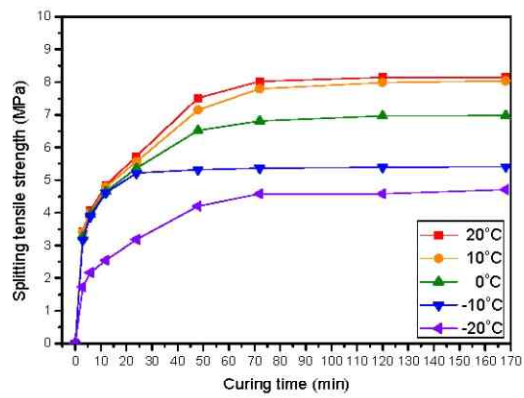


(c) 60 UP / 40 MMA

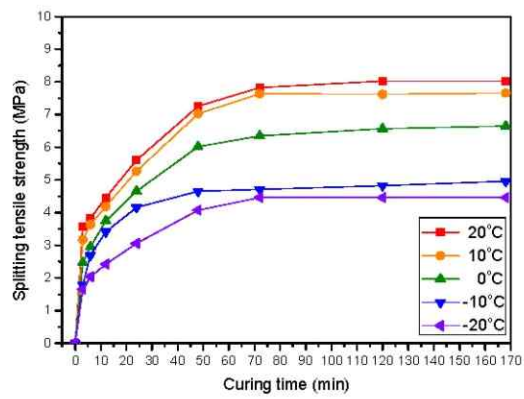
그림 4.10 재령에 따른 압축강도 변화
(MEKPO 1 phr, DMA 1 phr)



(a) 80 UP / 20 MMA

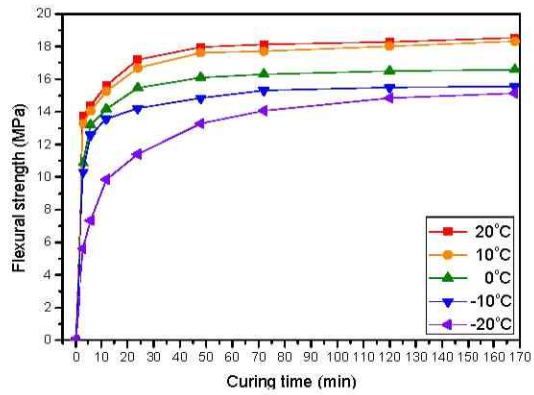


(b) 70 UP / 30 MMA

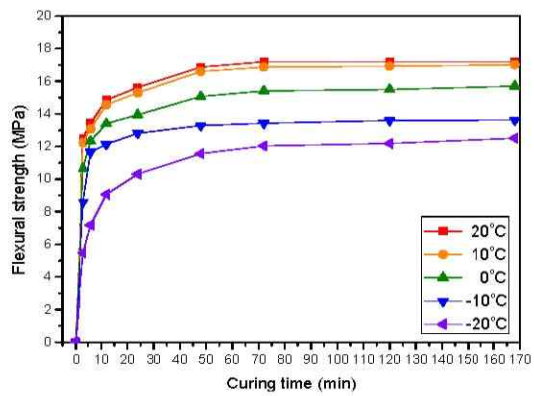


(c) 60 UP / 40 MMA

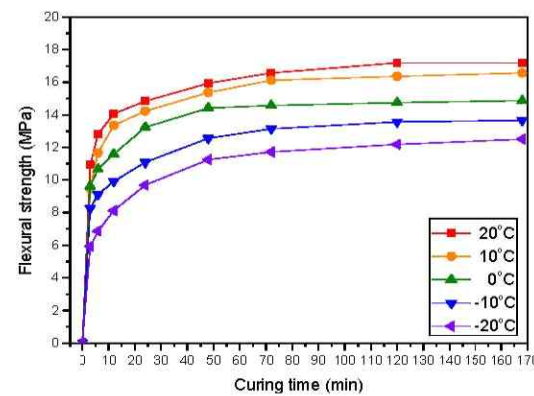
그림 4.11 재령에 따른 쪼갬인장강도 변화
(MEKPO 1 phr, DMA 1 phr)



(a) 80 UP / 20 MMA



(b) 70 UP / 30 MMA



(c) 60 UP / 40 MMA

그림 4.12 재령에 따른 휨강도 변화
(MEKPO 1 phr, DMA 1 phr)

4. 결과 요약

본 연구는 MMA 개질 UP 폴리머 콘크리트에 대하여 MMA 함량, MEKPO 및 DMA 첨가율을 변수로 하여 양생온도에 따른 가사시간 및 강도특성을 실험적으로 구명한 것으로서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 폴리머 콘크리트 제조시 적정 결합재량은 MMA 함량이 20 wt.% 일 경우 12 wt.%, 30 wt.%일 경우 11 wt.%, 40 wt.%일 경우는 10 wt.%였다.
- (2) 결합재의 경화시간은 양생온도가 내려갈수록, MMA 함량이 증가할수록 길어졌으며, 경화시간 단축에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 DMA 첨가량이었다.
- (3) 폴리머 콘크리트의 가사시간은 결합재의 경화시간보다 평균적으로 8 ~ 14 분 길어졌다. 그리고 연구를 통해 소정의 사용가능시간(30, 60, 90 분)을 얻기 위한 결합재의 구성비를 도출하였다.
- (4) 폴리머 콘크리트의 강도는 양생온도에 영향을 크게 받으며, 압축, 쪼갬인장 및 휨강도는 양생온도가 20 °C에서 -20 °C로 내려옴에 따라 평균 32.8%가 감소하였다. 그러나 본 연구를 통해 -20 °C에서의 저온에서도 MEKPO와 DMA 첨가량 조절만으로 약 42 ~ 62 MPa의 압축강도를 얻을 수 있었다.
- (5) 168 hrs에 대하여 재령 24 hrs 에서의 압축, 쪼갬인장 및 휨강도의 발현 비율은 20 °C에서 평균 81.4%였으나 -20 °C일 때는 평균 68.5%로 현저한 차이를 보였다. 그러나 재령 168 hrs에 대한 재령 72 hrs의 강도발현 비율은 모든 강도에서 90%이상으로서 낮은 온도일지라도 72 hrs에서는 강도가 거의 다 발현됨을 알 수 있었다.

제3절 폴리머 콘크리트의 재료상수 도출

1. 연구 목적

일반적으로 시멘트 콘크리트는 무기재료로서 반영구적인 수명을 가진 것으로 되어 있으나 이는 여러 가지 요인에 의해 큰 차이를 보인다. 즉 재료의 조건, 재하조건, 환경조건 등에 의해 여러 가지 형태의 손상이 나타난다. 이와 같은 손상은 균열이나 박리현상이 대표적인 형태라 할 수 있다.

이와 같은 문제점의 해결을 위해 노후·파손된 콘크리트 구조물을 제거하고 새로운 구조물을 설치한다는 것은 경제적으로 큰 제약을 받게 된다. 이에 대한 대안 중의 하나가 보수·보강에 의해 본래의 기능을 원상회복시키는 방법이다.

그러나 이러한 보수·보강은 항상 손상의 원인과 실태를 충분히 파악한 후에 이루어져야 하며 사용재료가 다양하고 공법 또한 매우 복잡하다. 즉 대상 구조물의 종류, 손상 부위 등에 따라 매우 큰 차이를 나타낸다. 따라서 효율적인 보수·보강을 위해서는 충분한 이론적 연구와 더불어 많은 경험을 통해 기술을 축적하는 것이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

상기와 같은 현실에 입각하여 본 시험에서는 보수·보강 소재로 사용되는 폴리머 콘크리트에 대한 재료상수를 시험을 통해 도출하여 구조 해석 시 적용함을 목적으로 하고 있다.

2. 역학적 특성 시험

가. 시험 개요

UP-MMA 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트에 비해 초기강도가 우수하여, 재령 24 시간에 약 70 MPa의 압축강도를 발현하므로 구조물의 보수 및 보강용 재료로서 많은 이점을 가지고 있으며, 여기서는 수로교 개거부 교체시 시공될 폴리머 콘크리트의 압축·휨·쪼갠인장강도 및 탄성계수, 포아손비를 구하고자 한다.

나. 시험방법

(1) 시험체 제작

KS F2419(폴리에스터 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에 규정된 방법에 의하여 제작하였다. 시험체는 20±2 °C, 습도 50~60 %에서 1, 3, 7 일간 양생 시킨 후 시험 하였으며, 사용된 배합비는 표 4.15 같다.

(2) 압축강도

압축강도는 Ø50×100 mm 크기의 시험체를 제작하여 KS F 2481(폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 의하여 시험하였다.

표 4.15 UP-MMA 폴리머 콘크리트의 배합비

결합재 (wt.%)	결합재 조성			충진재 (wt.%)	세골재 (wt.%)
	UP : MMA (SRA) (wt.%)	MEKPO (phr*)	DMA (phr*)		
11	70 : 30 (8)	1	0.1	22	67
			0.5		
11.5	80 : 20 (8)		1.5	1	23
12	90 : 10 (8)	2	2	24	64
			3		

(3) 휨강도

휨강도는 40×40×160 mm 크기의 시험체를 제작하여 KS F 2482(폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 의하여 시험하였다.

(4) 쪼갬인장강도

쪼갬인장강도는 Ø50×100 mm 크기의 시험체를 KS F 2480(폴리에스터 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)에 규정된 방법에 의하여 시험하였다.

(5) 탄성계수 및 포아슨비

탄성계수 및 포아슨비는 Ø50×100 mm 크기의 시험체에 스트레인 게이지(30 mm 및 10 mm)를 부착하여, KS F 2438(콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 포아슨비 시험방법)에 규정된 방법에 따라 파괴강도의 1/3까지 반복적으로 가해 얻어진 값으로 하였다.

콘크리트의 정탄성계수를 구하는 식은 다음식과 같다.

$$\frac{S_2 - S_1}{\varepsilon - 0.00005}$$

= 탄성계수 [MPa(=N/mm²)]

S_1 = 세로변형이 0.00005 에 대한 응력 [MPa(=N/mm²)]

S_2 = 극한 하중의 40 % 에 대한 응력 [MPa(=N/mm²)]

= 응력 S_2 로 생긴 세로변형

콘크리트의 포아슨비를 구하는 식은 다음식과 같다.

$$\mu = \frac{\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}}{\varepsilon_2 - 0.00005}$$

μ = 포아슨비

ε_{t1} = S_1 일 때의 가로변형

ε_{t2} = 극한 하중의 40 % 에 대한 가로변형

ε_2 = 응력 S_2 로 생긴 세로변형



1) 압축강도 측정



2) 쪼갬인장강도 측정

사진 4.1 압축 및 쪼갬인장강도 측정



1) 탄성계수 시험용 스트레인 게이지 부착(30 mm)



2) 포아슨비 시험용 스트레인 게이지 부착(10 mm)



3) 탄성계수 및 포아슨비 측정



4) 데이터 로거



5) 만능시험기



6) 만능 시험기와 데이터 로거 조합

사진 4.2 탄성계수 및 포아슨비 측정

다. 결과 및 고찰

UP-MMA 폴리머 콘크리트의 강도시험 결과는 표 4.16 및 그림 4.13과 같고, 응력-변형률 시험결과는 그림 4.14와 같으며, 탄성계수 및 포아슨비 산출결과는 표 4.17과 같다.

표 4.16 UP-MMA 폴리머 콘크리트의 강도

(단위 : MPa)

강도	UP : MMA (wt.%)	1일 강도	3일 강도	7일 강도
압축강도	70:30	70.57	75.57	78.30
	80:20	71.50	79.45	81.48
	90:10	73.41	81.28	83.08
휨강도	70:30	14.91	16.17	17.94
	80:20	15.52	16.50	18.19
	90:10	15.92	16.60	19.28
쪼갠장강도	70:30	5.47	7.12	7.91
	80:20	6.40	7.73	8.06
	90:10	8.02	8.13	8.19

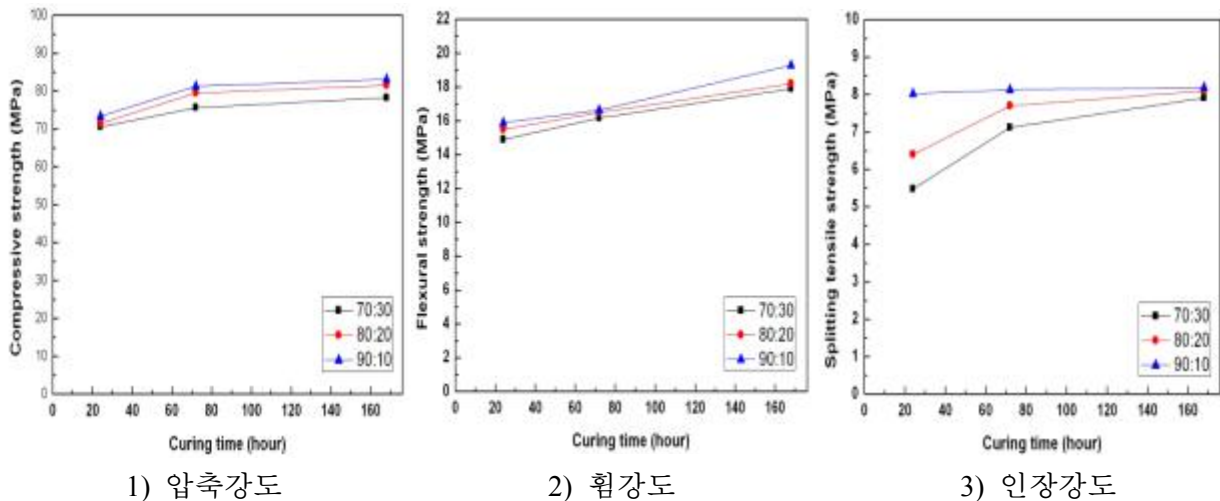
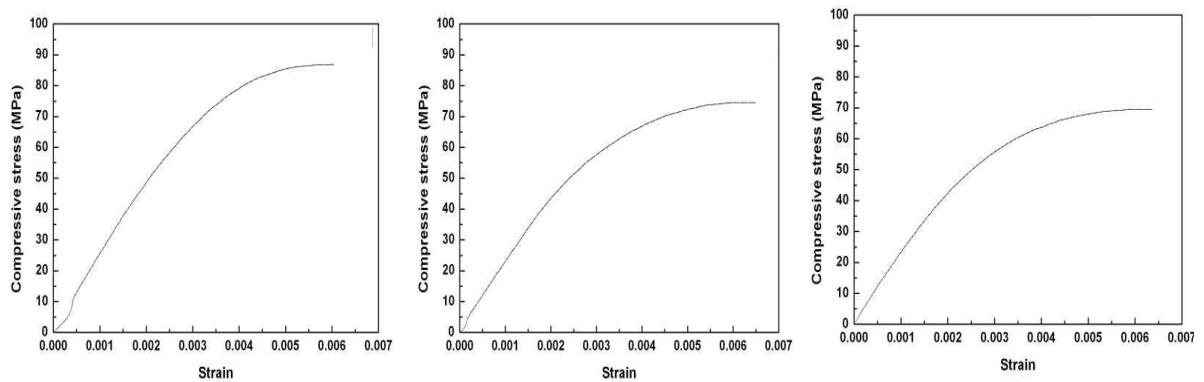


그림 4.13 UP-MMA 폴리머 콘크리트의 재령별 강도 발현

이 결과에서 결합재비에 상관없이 압축강도는 재령 24 hrs에서 약 70 MPa이상의 강도 값이 발현되었으며, 이는 재령 168 hrs이 약 80 MPa 정도의 강도 값이 발현되었으므로, 강도 값의 약 90 % 이상을 약 24 hrs에 발현함을 확인 할 수 있었다. 또한 휨강도 역시 재령 24 hrs에서 약 15 MPa의 강도 값을 발현하였으며, 이는 재령 168 hrs이 약 18 MPa의 강도가 발현되었으므로, 강도 값의 약 80 % 정도가 약 24 hrs에 발현됨을 확인 할 수 있었다. 인장강도의 경우에도 비슷한 양상을 나타냈으며, MMA 함량이 적어질수록, 조기강도 값이 감소함을 알 수 있었다.

한편 탄성계수는 $2.1 \times 10^4 \sim 2.3 \times 10^4$ MPa로 MMA 함량이 적어질수록 커지며, 포아슨비는 0.24~0.25로 MMA 함량에 크게 영향 받지 않음을 알 수 있다.



1) 90:10

2) 80:20

3) 70:30

그림 4.14 UP-MMA 폴리머 콘크리트의 응력-변형률 곡선

표 4.17 UP-MMA 폴리머 콘크리트의 탄성계수 및 포아슨비

측정 항목	UP : MMA (wt.%)		
	70:30	80:20	90:10
탄성계수 (MPa)	2.1×10^4	2.2×10^4	2.3×10^4
포아슨비	0.25	0.24	0.24

3. 열팽창계수 시험

가. 시험 개요

폴리머 콘크리트를 보수·보강용으로 이용함에 있어서 중요한 요소 중의 하나가 열 팽창계수이다. 여기서는 MMA 함량 변화에 따른 UP-MMA 폴리머 콘크리트의 열팽창계수를 시험하였다.



1) 시험체 제작



2) 양생된 시험체



3) 스트레인 게이지에 단열재 부착



4) 스트레인 게이지 부착 (30, 60 mm)



5) 항온항습조



6) 데이터 로거를 이용한 변형률 측정

사진 4.3 열팽창계수 측정

나. 시험 방법

UP-MMA 폴리머 콘크리트의 열팽창계수는 1995 TC 113-CPT (PC-12 Method of test for coefficient of thermal expansion of polymer concrete and mortar)의 규정된 방법에 준하여 실시하였다.

재령은 7일(168 hrs)을 기준으로 하였으며 시험체의 크기는 100×100×400 mm로 하였다. 초기 3시간은 시험체의 온도를 20±1 °C에서 유지시켰으며, 20~80 °C의 온도 범위에서 2시간 간격으로 20 °C씩 높이면서 측정(1 °C/min)하였으며, 습도는 50~60 %로 유지시켰다.

또한 각 배합비에 따른 공시체는 동일 조건하에 2개씩 제작하였으며, 시험체에 스트레인 게이지(60, 30 mm)를 각각 두 개씩 붙여 열팽창계수를 측정하였다.

TC 133-CPT에서 제안하는 열팽창률 산출식은 다음식과 같다.

$$\frac{(l-l_0)}{l_0}$$

L = 열팽창률

= 시험 전의 길이

l = 온도변화에 따른 길이

TC 133-CPT에서 제안하는 열팽창계수 산출식은 다음식 같다.

$$a = \Delta\epsilon / \Delta t$$

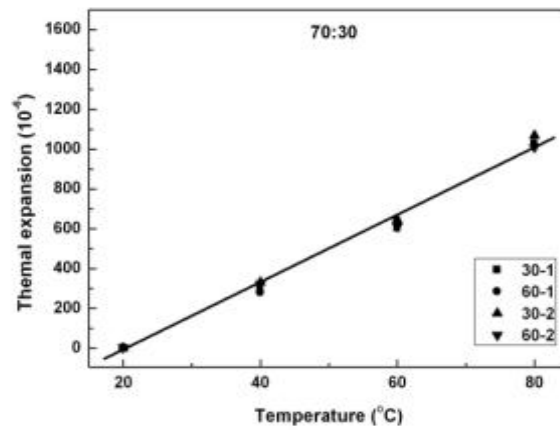
α = 열팽창계수

Δt = 온도차

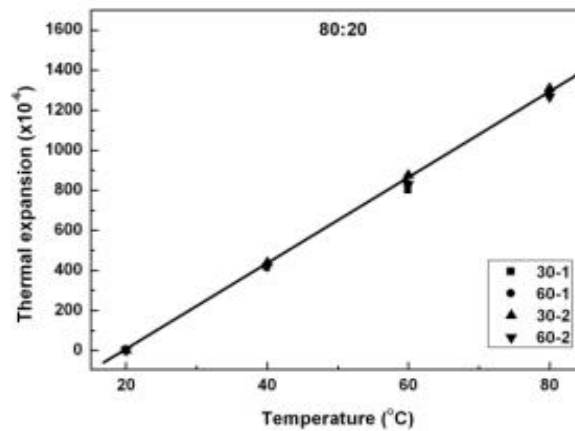
$\Delta\epsilon$ = 온도 변화에 따른 열팽창률

다. 결과 및 고찰

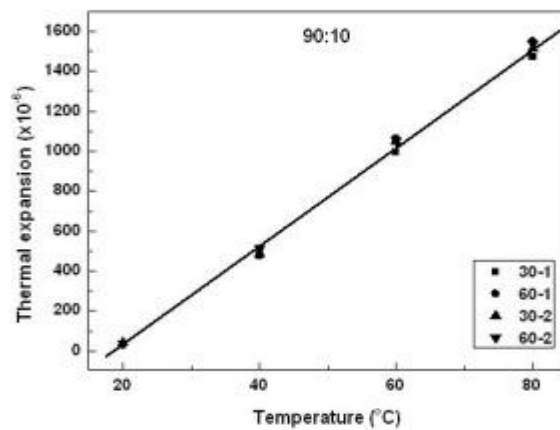
온도에 따른 UP-MMA 폴리머 콘크리트의 열팽창률 변화는 그림 4.15와 같으며, 열팽창률과 열팽창계수 산출결과는 각각 표 4.18 및 표 4.19와 같다.



1) 70 : 30



2) 80 : 20



3) 90 : 10

그림 4.15 온도에 따른 UP-MMA 폴리머 콘크리트의 열팽창률

표 4.18 UP-MMA 폴리머 콘크리트의 열팽창률

(단위 : $\times 10^{-6}$)

Specimen 1						
온도 ($^{\circ}\text{C}$)	70:30		80:20		90:10	
	30 mm	60 mm	30 mm	60 mm	30 mm	60 mm
20	1	1	2	3	30	30
40	296	279	415	420	476	487
60	603	642	799	830	995	1,063
80	1,030	1,019	1,286	1,292	1,470	1,550
Specimen 2						
온도 ($^{\circ}\text{C}$)	70:30		80:20		90:10	
	30 mm	60 mm	30 mm	60 mm	30 mm	60 mm
20	1	2	1	1	41	36
40	332	309	440	422	478	511
60	644	612	877	830	1,049	1,053
80	1,070	1,010	1,309	1,268	1,514	1,538

표 4.19 UP-MMA 폴리머 콘크리트의 열팽창계수

(단위 : $\times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$)

Specimen 1						
온도 ($^{\circ}\text{C}$)	70:30		80:20		90:10	
	30 mm	60 mm	30 mm	60 mm	30 mm	60 mm
40	14.8	13.9	20.7	20.9	22.3	22.3
60	15.1	16.0	20.0	20.7	24.1	25.8
80	17.2	17.0	21.4	21.5	24.0	25.3
Specimen 2						
온도 ($^{\circ}\text{C}$)	70:30		80:20		90:10	
	30 mm	60 mm	30 mm	60 mm	30 mm	60 mm
40	16.6	15.4	22.0	21.1	21.9	23.8
60	16.1	15.3	21.9	20.7	25.2	25.4
80	17.8	16.8	21.8	21.1	24.6	25.1

그림 4.15에서 살펴보면 최대온도를 80 °C로 했을 때 MMA 함량(10, 20, 30 %)에 따른 열팽창률은 각각 $1,040 \times 10^{-6}$, $1,290 \times 10^{-6}$, $1,520 \times 10^{-6}$ 로 MMA 함량이 감소할수록 열팽창률이 커지는 것으로 나타났으며, MMA 함량이 10 % 감소 시 약 250×10^{-6} 증가함을 알 수 있었다.

열팽창계수의 경우 온도에 따라 거의 일정하게 변화하는 양상을 보였으며, MMA 함량(10, 20, 30 %) 함량에 따른 열팽창계수는 각각 $15 \sim 18 \times 10^{-6}$, $21 \sim 22 \times 10^{-6}$, $22 \sim 26 \times 10^{-6}$ 으로 MMA 함량이 감소할수록 증가하는 경향을 보였다.

또한, 스트레인 게이지 길이(30, 60 mm)에 따른 데이터를 비교 분석해 본 결과, 두 종류의 게이지 값 모두 비슷한 값을 나타내어, 스트레인 게이지 길이에 따른 값의 차이가 거의 없다는 점도 확인할 수 있었다.

4. 결과 요약

(1) 압축강도의 경우 결합재의 비율에 관계없이 168 hrs의 강도에 대한 24 hrs의 강도는 약 90 % 정도의 발현을 보였으며, 7일 강도는 78.3 ~ 83.8 MPa 로 나타났다.

(2) 휨강도의 경우 결합재의 비율에 관계없이 168 hrs의 강도에 대한 24 hrs의 강도는 약 80 % 정도의 발현을 보였으며, 7일 강도는 17.94 ~ 19.28 MPa 로 나타났다.

(3) 인장강도의 경우 결합재의 비율에 관계없이 168 hrs의 강도에 대한 24 hrs의 강도는 약 70~80 % 정도의 발현을 보였으며, 7일 강도는 7.91 ~ 8.19 MPa 로 나타났다.

(4) 결합재의 비율에 따라 강도 값이 다소 차이를 보였으며, UP의 함량이 높아질수록 높은 강도 값이 발현되었다.

(5) 7일 재령에서의 탄성계수는 $2.1 \sim 2.2 \times 10^4$ MPa, 포아슨비는 0.24 ~ 0.25를 나타내었다.

(6) MMA 함량이 적을수록 열팽창률은 증가하였으며, MMA 함량 10 % 감소 시에 열팽창률은 약 250×10^{-6} 증가하는 것을 확인하였다.

(7) 열팽창계수는 MMA 함량 10, 20, 30 % 의 경우, 각각 $15 \sim 18 \times 10^{-6}$, $21 \sim 22 \times 10^{-6}$, $22 \sim 26 \times 10^{-6}$ 을 나타내었다.

제4절 보수용 재료 개발

1. 연구 목적

성능이 저하되거나 손상된 시멘트 콘크리트 구조물의 보수·보강에는 폴리머 복합재료가 널리 쓰이고 있다. 이 가운데 폴리머 모르타르(polymer mortar)는 일반 시멘트 모르타르(cement mortar)에 비해 경화시간이 짧고, 내동결융해성 및 내식성 등 내구성이 우수하며, 강도가 높기 때문에 보수·보강재로서 매우 유리하다.

폴리머 모르타르용 결합재로는 에폭시(epoxy), 불포화 폴리에스터(unsaturated polyester), MMA(methyl methacrylate) 등이 많이 사용되고 있다.

이 가운데 MMA를 결합재로 하는 폴리머 모르타르는 속경성이고, 저온경화성이며, 경화 후 물성의 경시 변화가 없다. 또한 저점도부터 고점도까지 수지의 점도 조절이 용이하고, 내후성, 내약품성, 내마모성이 우수할 뿐만 아니라 높은 부착강도와 우수한 시공성을 특징으로 하고 있다. 따라서 MMA는 도로면 보수, 교량 상판 방수, 구조물 단면 복구, 교량신축장치 보수 등에 광범위하게 이용되고 있다.

그러나 MMA 모노머의 경우는 점도가 0.56 mPa·s로 매우 낮고, 경화시간이 길며, 증발이 쉽게 일어나 단독으로 사용하기가 어렵다. 따라서 강도증진 및 경화촉진 등을 목적으로 한 분자에 불포화 이중결합이 2개 이상 존재하는 트리메틸로프로판 트리메타아크릴레이트(Trimethylpropane Trimethacrylate : TMPTMA), 테트라에틸렌 디아크릴산염(Tetraethylene diacrylate : TTEGDA), 글리세롤 메타아크릴레이트(Glycerol Methacrylate : GM), 불포화 폴리에스테르(Unsaturated Polyester : UP) 등을 가교제로 첨가하고, 모노머의 증발저감, 강도증진, 수축저감 등을 목적으로 MMA 모노머에 용해되는 PMMA(polymethyl methacrylate) 등의 열가소성 수지를 혼합하여 사용한다.

본 연구에서는 PMMA를 MMA 모노머에 교반 용해시킨 결합재에 MAA(methacrylic acid)를 첨가시켜 콘크리트 구조물 보수용(본 과제에서는 손상된 수로교 교각, 교대 등의 보수에 적용함) 모르타르를 개발코자 한다. 이를 위해 양생온도에 따른 결합재와 폴리머 모르타르의 경화 시간을 측정하고, 재령별로 압축, 쪼갬인장 및 휨강도를 측정하여 양생온도에 따른 강도 발현 특성을 구명하였다.

2. 재료 및 방법

가. 사용재료

(1) 결합재

(가) 아크릴 수지

본 연구에서 폴리메틸 메타아크릴레이트 (polymethyl methacrylate : PMMA)를 메틸 메타아크릴레이트 (methyl methacrylate : MMA)에 용해시켜 결합재로 사용하였다.

고분자 물질은 분자량에 따라 다른 성질을 갖지만 MMA는 경질타입이면서 저온에서 라디칼 중합하면 고분자 사슬 구조가 연속된 규칙성을 나타내는 신디오택틱 (syndiotactic) 구조의 비율이 증가하는 특성을 나타낸다. 사용된 MMA 모노머의 물성은 표 4.20과 같다.

표 4.20 MMA 모노머의 물성

비 중 (25℃)	점 도 (20 ℃, mPa·s)	분자량 (g/mol)	형 상
0.942	0.56	100	Transparent

폴리메틸 메타아크릴레이트 (polymethyl methacrylate : PMMA)는 아크릴수지라고 부르며, 수지의 점도 조절, 수축저감 및 모노머의 증발저감을 위하여 사용한다. 본 연구에서는 전자 교반기를 이용해 PMMA 분말을 MMA에 용해시켜 사용하였다. 내약품성이 우수하고 강산·강알칼리 및 그 염류에 침식되지 않는 특징을 가지고 있다.

(나) 개시제 (BPO)

과산화벤조일 (benzoyl peroxide : BPO)은 라디칼(radical : 공유하지 않는 전자쌍을 가진 반응성물질)을 생성하며, 고분자의 결합을 위한 라디칼중합의 개시제로 쓰인다. 고분자의 원료인 단량체 (monomer)와 결합하면 새로운 라디칼을 형성하여 결국 고분자를 만들게 된다. BPO의 성질은 표 4.21 같다.

표 4.21 BPO의 성질

녹는점 (°C)	분자량 (g/mol)	형상
104~105	242.23	white powder

(다) 촉매제 (DMA)

경화 반응을 촉진시키기 위한 촉매제가 필요한데, 본 연구에서는 상온 및 저온에서 중합반응을 일으키기 위해 DMA (N,N-Dimethylaniline)를 사용하였다. DMA는 염기성 염료 원료, 용제, 화약, 의약품, 아닐린의 제조 등에 사용되며, 물에는 녹지 않으나 유기용제에는 잘 녹는 특성을 갖고 있다. 또한, 과산화벤조일 (benzoyl peroxide) 과 접촉 시 폭발할 수 있으므로 사용에 주의해야 한다. DMA의 성질은 표 4.22와 같다.

표 4.22 DMA의 성질

비중 (25 °C)	끓는점 (°C)	녹는점 (°C)	분자량 (g/mol)	형상
0.942	193 ~ 194	1.5 ~ 2.5	121.18	Oily liquid

(라) 촉매 보조제 (MAA)

MAA는 산모노머로서 극성 모노머의 일종이다. 극성 모노머는 일반적으로 다른 수지와의 상용성을 향상시키고 경화시 촉매 작용의 보조적인 역할을 한다. 따라서 극성 모노머는 아크릴계 결합제의 경화 촉진 및 강도증진을 목적으로 사용할 수 있다.

본 연구에서 사용한 극성모노머인 MAA의 성질은 표 4.23과 같다.

표 4.23 MAA의 성질

비중 (20°C)	점도 (20 °C, mPa·s)	분자량 (g/mol)	형상
1.01	1.3	86.1	Transparent

(2) 골재 및 충전재

골재가 물을 흡수 하면 골재를 둘러싼 결합재 층과 골재표면 사이의 수막이 결합재와 골재간의 접촉력을 약화시켜 폴리머 모르타르의 강도를 저하시키므로 함수율이 0.1% 이하로 되도록 건조시킬 필요가 있다. 본 연구에 사용된 골재의 물리적 성질은 표 4.24와 같다

표 4.24 골재의 물리적 성질

입경 (mm)	겉보기 비중	진비중	단위체적 중량 (kg/m ³)	조립율	함수율 (%)	유기불순물
0.08~3	2.64	2.62	1,648	3.09	< 0.1	Nil

폴리머 모르타르의 결합재는 액상으로 되어있기 때문에 충전재는 골재와 골재사이의 공극을 채워주며, 이로 인해 내구성 및 강도의 향상에 기여하게 된다. 소량의 충전재 사용은 재료분리를 일으키고 과량의 사용은 표면적의 증가로 인하여 작업성 저하의 원인이 되기도 한다. 충전재는 작업성 조절이라는 점에서 볼 때 형상이 불규칙하여 비표면적이 큰 것일수록 유리하다. 사용된 충전재의 물리적 성질과 화학적 조성은 표 4.25 및 4.26 과 같다.

표 4.25 중질탄산칼슘의 물리적 성질

비 중 (gr/cc)	흡수량 (cc/gr)	함수율 (%)	pH	평균입경 (μm)	325번체 잔량
0.75	0.20	≤0.3	8.8	13	0.03

표 4.26 중질탄산칼슘의 화학적 조성

(단위 : %)

CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	강열감량
53.7	0.25	0.09	2.23	0.66	42.4

나. 배합비 결정 및 시험방법

(1) 배합비 결정

본 연구에서는 PMMA의 비율 및 결합재의 양에 따른 예비 시험을 통해 결합재 조성비와 모르타르의 배합비를 결정하였다.

폴리머 모르타르의 작업성은 KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 규정된 플로우 시험에 의해 측정하였다. 폴리머 모르타르의 배합비는 사용목적, 수지의 종류, 골재의 형태 및 입도, 작업조건 등에 따라 달라지므로 최적 배합비의 결정은 실험에 의하여 소정의 작업성과 강도를 얻을 수 있는 범위 내에서 골재와 충전재의 양을 최대한으로 하고 결합재인 폴리머의 양을 최소화하는 것이 가장 이상적이다.

본 연구에서 배합시험을 통해 결정된 결합재의 조성비와 폴리머 모르타르의 배합비는 표 4.27과 같다.

표 4.27 결합재의 조성비와 폴리머 모르타르의 배합비

양생온도 (°C)	결합재 (wt.%)	결합재 조성 (wt.%)					충전재 (wt.%)	골재 (wt.%)
		MMA	PMMA	MAA (phb*)	BPO (phb*)	DMA (phb*)		
20	12	80	20	0	2	2	18	70
0				5				
-20				10				
				15				

Notes, *phb : parts per hundred parts of binder

(2) 시험방법

(가) 결합재의 경화시간 측정

폴리머 모르타르의 성질 중에서 시멘트 모르타르와 크게 다른 점 중의 하나가 경화시간이다. 폴리머 모르타르는 시멘트 모르타르에 비해 속경성이므로 일반적으로 상온이면 타설 후 1시간 이내에 경화가 가능하다.

결합재의 경화시간은 양생온도별로 측정하였으며, BPO와 DMA를 넣은 직후부터 발열온도가 정점에 도달할 때까지의 시간을 경화시간으로 하였다.

(나) 폴리머 모르타르의 가사시간 측정

폴리머 모르타르의 사용가능시간은 KS F 2484 (폴리에스테르 레진 모르타르의 사용가능시간 측정 방법)에 제시된 감촉법에 의해 측정하였으며, 양생온도별로 MAA 첨가량에 따른 사용가능시간을 측정하였다.

(다) 강도시험

강도시험용 폴리머 모르타르는 개시제와 촉매제의 첨가량을 각각 BPO 2 phb, DMA 2 phb로 하고 MAA 첨가량을 달리하여 제조하였으며, 양생온도(20, 0, -20 °C)와 재령(6, 12, 24, 48, 72, 168시간)에 따른 압축, 쪼갬인장, 휨강도를 측정하였다.

압축 및 쪼갬인장 강도 측정에는 $\varnothing 5 \times 10$ cm의 원주형 시험체를 사용하였으며, 휨강도 측정에는 $4 \times 4 \times 16$ cm의 각주형 시험체를 사용하였다.

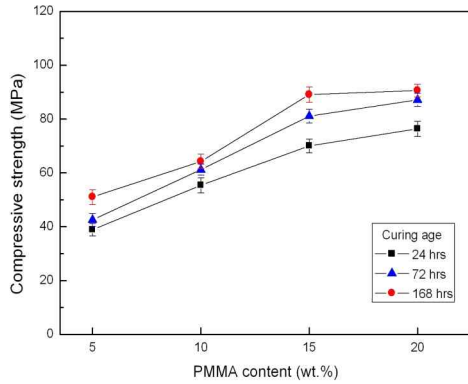
그리고 압축강도 및 쪼갬인장강도 시험은 KS F 2481 (폴리에스테르 레진 모르타르의 압축강도 시험방법) 과 KS F 2480 (폴리에스테르 레진 모르타르의 인장강도 시험방법)에 따라 시험 하였다. 휨강도 시험은 KS F 2482 (폴리에스테르 레진 모르타르의 휨강도 시험방법)에 따라 시험하였다. 강도 시험에는 20 ton 용량의 만능시험기(Instron 8502)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

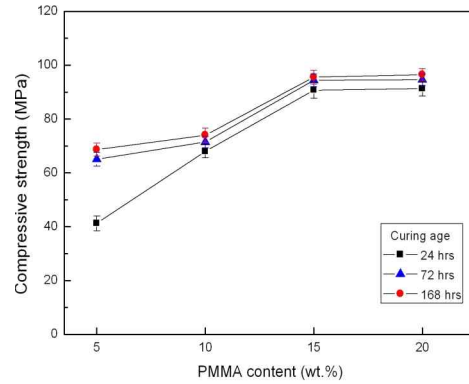
(가) PMMA의 적정 함량 결정

PMMA의 적정 함량을 결정하기 위한 기초시험으로서 PMMA 함량, MAA 첨가량을 달리하여 20 °C와 -20 °C일 때 재령 24시간(1일), 74시간(3일), 168시간(7일)에서의 압축강도 시험 결과는 그림 4.16 및 4.17과 같다.

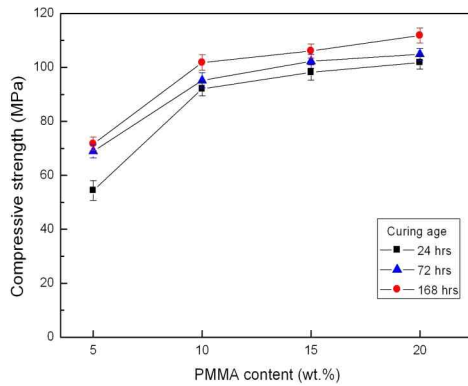
그림 4.16은 양생온도 20 °C에서 MAA 첨가량별 PMMA 함량에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. PMMA 5 wt.%일 때 MAA 무첨가시 재령 168 시간 압축강도는 51.1 MPa이고, PMMA 10, 15, 20 wt.%일 때는 각각 64.2, 89.1, 90.6 MPa이다. 즉, MAA 첨가량에 관계없이 PMMA 함량 15 wt.%까지는 강도가 크게 증가하였으나 20 wt.%에서는 강도 증가가 매우 작았다. 그리고 MAA 첨가량에 따라 10 phb까지는 강도가 현저히 증가하였으나 그 이상에서는 강도가 큰 증가를 보이지 않는 것으로 나타났다.



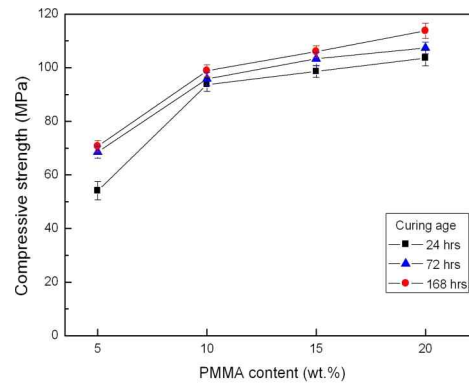
1) MAA 0 phb



2) MAA 5 phb



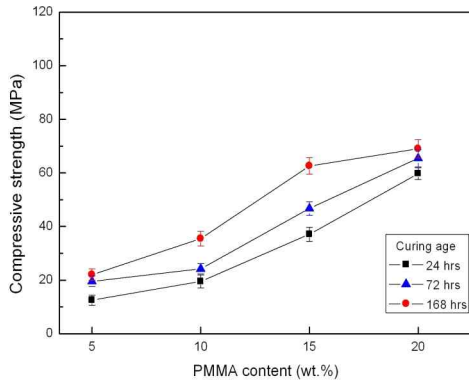
3) MAA 10 phb



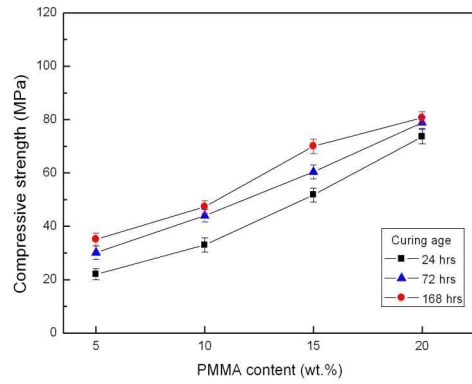
4) MAA 15 phb

그림 4.16 양생온도 20 °C에서 압축강도에 미치는 PMMA의 영향

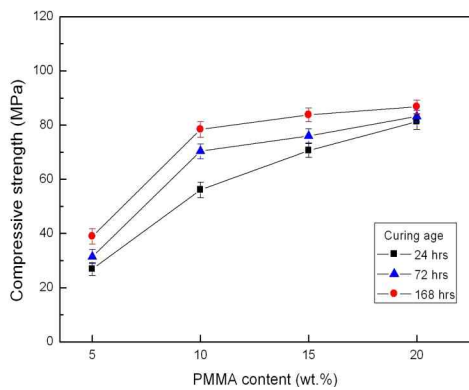
그림 4.17은 양생온도 -20 °C일 때 MAA 첨가량별 PMMA 함량에 따른 압축강도시험 결과를 나타낸 것이다. 양생 온도가 낮아짐에 따라 강도 값이 크게 낮아지며, PMMA 함량과 MAA 첨가량이 많아질수록 압축강도가 증가 하였다. 그러나 PMMA 함량 15 wt.%와 20 wt.%일 때는 168시간 압축강도가 각각 84.7 MPa과 89.7 MPa로 큰 강도 차이를 보이지 않아 PMMA 20 wt.%를 적정한 최대 사용량으로 보고 이 비율을 본 연구에 적용하는 것으로 결정하였다.



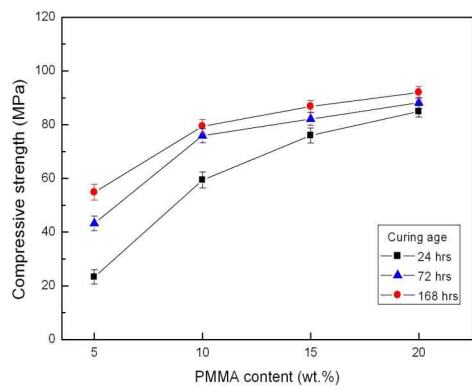
1) MAA 0 phb



2) MAA 5 phb



3) MAA 10 phb



4) MAA 15 phb

그림 4.17 양생온도 -20 °C에서 압축강도에 미치는 PMMA의 영향

나. 적정 결합재량 결정

본 연구에서는 MMA 모노머에 대한 예비시험을 통해 결정된 PMMA 20 wt.%를 용해시켜 결합재량(9, 10, 11, 12 wt.%)과 충전재의 비율(1:1, 1:1.5, 1:2.0, 1:2.5)에 따른 플로우 시험을 통해 적정 결합재량을 도출하였다.

그림 4.18은 결합재량에 따른 폴리머 모르타르의 플로우 시험 결과를 나타낸 것이다. 시험 결과 적정 플로우 값은 120 ~ 130 mm이었다. 결합재와 충전재 비율이 1:1인 경우는 결합재량을 9 ~ 12 wt.%로 늘리면 플로우 값이 175 ~ 148 mm로 커지지만, 전체적으로 결합재에 비해 충전재 부족으로 인한 재료 분리 현상이 나타났다. 결합재와 충전재의 비율이 1:2.0과 1:2.5인 경우는 충전재의 양이 많아 수지를 거의 흡수해버리는 현상을 보였다.

따라서 이 3가지 경우는 모두가 사용에 어려움이 있다. 반면, 결합재와 충전재 비율 1:1.5에서 결합재량 9 wt.%일 때 플로우 값이 144 mm였으며, 결합재량을 10, 11, 12 wt.%

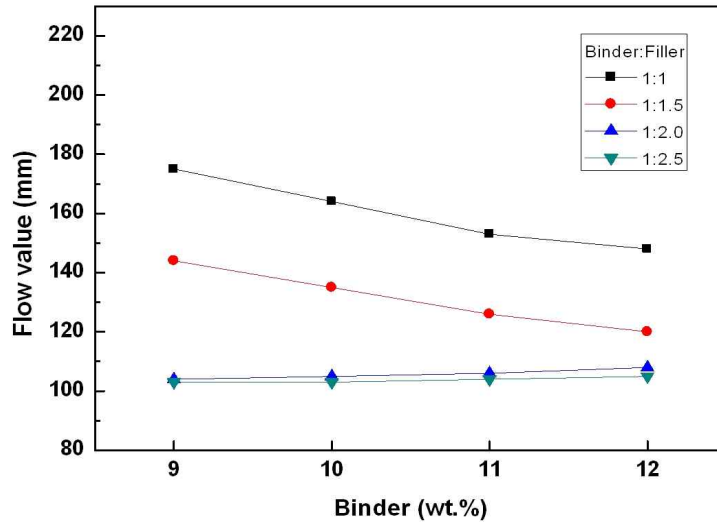


그림 4.18 결합재의 함량에 따른 폴리머 모르타르의 플로우값 변화 (PMMA 20 wt.%)

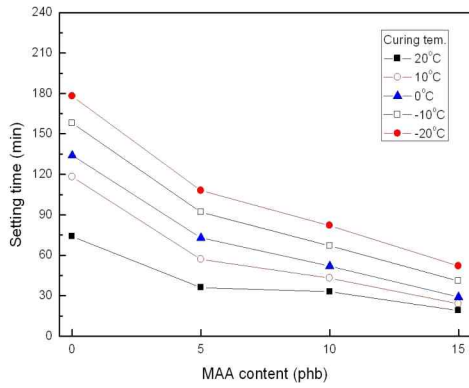
로 증가시켰을 경우 플로우 값은 135, 126, 121mm로 각각 6.3, 13.5, 16 %씩 감소하였다. 결합재량 11, 12 wt.%가 사용하기 좋은 플로우 값을 보였지만, 시험체 제작 시 결합재량 11 wt.%는 약간의 결합재 부족현상이 발생하였다.

이 결과로부터 PMMA 20 wt.%인 MMA-PMMA 폴리머 모르타르는 결합재와 충전재 비율이 1 : 1.5 이며, 결합재량은 12 wt.%가 적정함을 알 수 있었다.

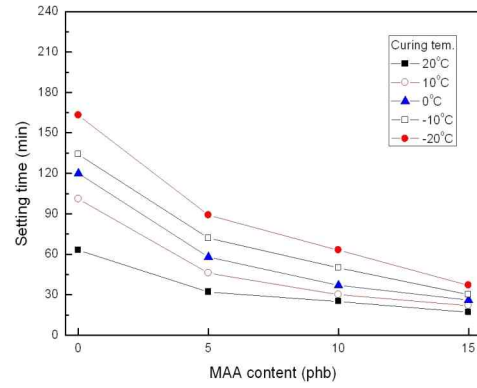
다. 결합재의 경화시간

결합재의 경화시간에 미치는 MAA 첨가량과 양생온도의 영향 (BPO, DMA 2 phb 기준) 을 시험한 결과는 그림 4.19와 같다. 이 결과에서 보면 20 °C에서는 MAA 무첨가 시에도 소정의 경화시간 (60분)을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 한편 양생온도가 내려감에 따라 경화시간이 길어지는 경향을 보였으며, PMMA 함량이 증가함에 따라 경화시간은 길어졌다. 20, 10, 0 °C에서 PMMA 15, 20 wt.%는 비슷한 경화시간을 보였으며, -10, -20 °C에서는 MAA를 첨가하여야 소정의 경화시간을 확보할 수 있었다. 즉, 그림 4.19의 5)에서 보면 알 수 있듯이 -20 °C에서 MAA 무첨가시 경화시간이 126분인데 비해 MAA 5, 10, 15 phb 는 각각 46, 34, 19분으로 크게 짧아지는 경향을 보였다.

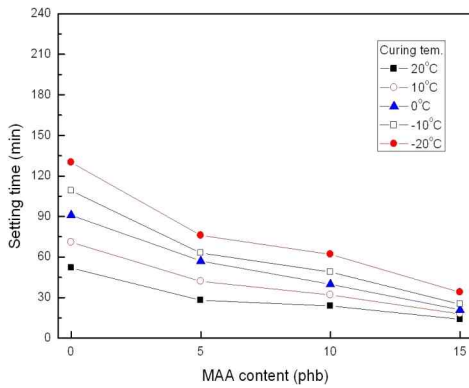
이러한 점들을 고려해 볼 때 PMMA와 MAA는 모두 경화시간에 영향을 미치며 특히, 촉매 보조제인 MAA는 영하의 온도에서도 경화시간을 단축시키는데 효과적임을 알 수 있었다.



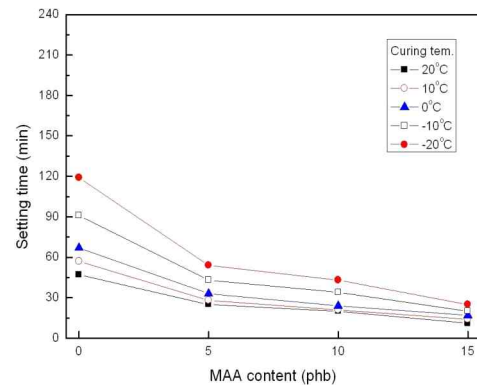
1) MMA 100 : PMMA 0



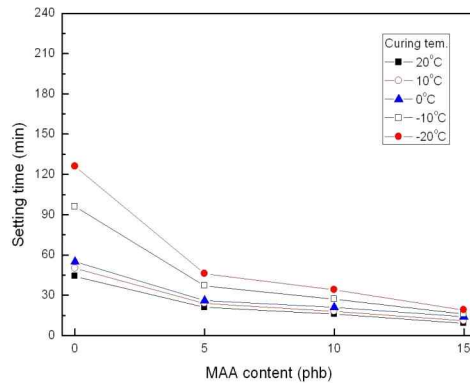
2) MMA 95 : PMMA 5



3) MMA 90 : PMMA 10



4) MMA 85 : PMMA 15



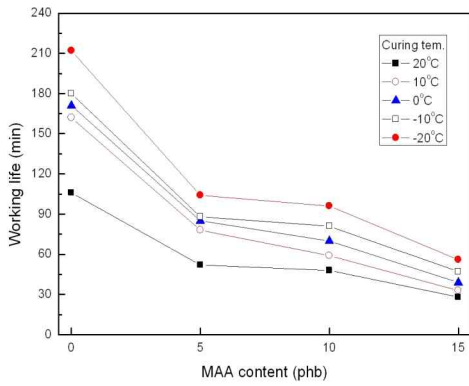
5) MMA 80 : PMMA 20

그림 4.19 결함재의 경화시간에 미치는 MAA 첨가량과 양생온도의 영향 (BPO, DMA 2 phb)

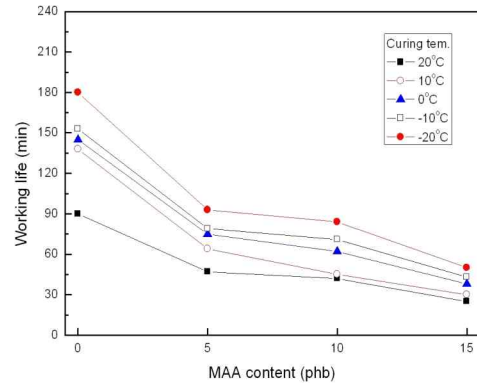
라. 폴리머 모르타르의 가사시간

일반적으로 폴리머 모르타르는 시멘트 모르타르와 달리 개시제, 촉매제의 첨가량과 양생온도가 경화에 큰 영향을 미친다.

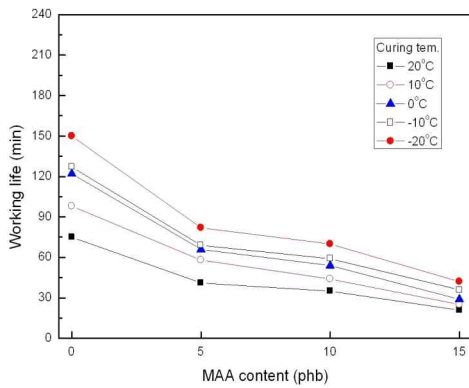
본 연구에서는 재료비가 비싼 개시제와 촉매제 비율을 줄이고, 촉매 보조제인 MAA 첨가로 가사시간 단축을 위해 양생온도, PMMA 첨가비율, BPO, DMA 및 MAA 첨가율을 변수로 하여 폴리머 모르타르의 가사시간을 측정하였으며 그 결과는 그림 4.20과 같다. 전체적으로 경화시간에 비해 가사시간은 길어졌으며, PMMA, MAA 함량의 증가에 따라 가사시간은 짧아졌다.



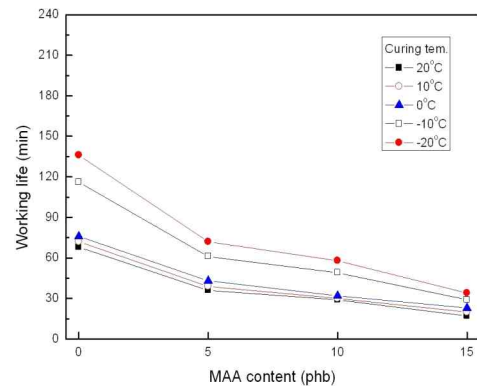
1) MMA 100 : PMMA 0



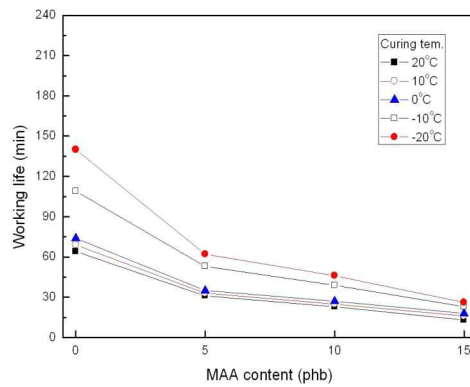
2) MMA 95 : PMMA 5



3) MMA 90 : PMMA 10



4) MMA 85 : PMMA 15



5) MMA 80 : PMMA 20

그림 4.20 폴리머 모르타르의 가사시간에 미치는 MAA 첨가량과 양생온도의 영향 (BPO, DMA 2 phb)

양생온도가 가사시간에 큰 영향을 미치는데 PMMA 함량에 상관없이 BPO, DMA 2 phb 기준으로 20 °C에서 약 13 ~ 100 분인데 비해 -20 °C에서는 약 26 ~ 210 분 이상이었

으며, 이는 동일한 온도조건 일지라도 MAA 첨가량이 감소할수록 길어지는 경향을 보였다.

특히 MAA 무첨가일 때 영하온도(-10, -20 °C)에서는 가사시간이 매우 길어지면서 양생은 되었으나 가사시간이 128 ~ 212분으로 현장 적용이 어려운 것으로 나타났다.

양생온도 -20 °C에서는 PMMA 함량 10 wt.%이하일 때는 MAA 15 phb를 첨가하여야만 60분 이내의 가사시간을 얻을 수 있고, PMMA 함량 15 wt.%일 때는 MAA 10 phb이상, PMMA 함량 20 wt.%일 때는 MAA 5 phb이상 첨가해야 60분 정도의 가사시간을 얻을 수 있었다.

일반적으로 폴리머 모르타르는 현장 적용 시 사용가능시간을 60 ~ 70분 정도로 하는 것이 적당하며, -20 °C에서 이 정도의 가사시간을 확보하기 위해서는 PMMA 20 wt.%일 때 MAA 첨가량을 10 phb로 하는 것이 적당함을 알 수 있다.

마. 강도 발현 특성

폴리머 모르타르의 강도를 지배하는 요인은 결합재의 종류와 함량, 골재의 치수와 배합비, 그리고 배합방법 및 양생조건 등이라 할 수 있다. 또한 개시제, 촉매제의 혼입 비율에 따라 상이한 특성을 나타내지만, 온도의 영향도 크다. 본 연구에서는 예비시험에서 결정한 PMMA 20 wt.%로 하여 양생온도에 따른 MAA 혼입 MMA-PMMA 폴리머 모르타르의 압축강도, 쪼갬인장강도 및 휨강도 특성을 실험적으로 구명하였다.

(1) 압축강도

PMMA 20 wt.%를 MMA 모노머에 용해시켜 결합재로 사용한 폴리머 모르타르의 양생온도와 MAA 첨가량에 따른 압축강도 시험 결과는 그림 4.21과 같다.

이 그림 에서 보면 양생온도가 0, -20 °C로 낮아짐에 따라 압축강도가 현저하게 저하하는 경향을 보였으며, MAA 첨가량 0 ~ 15 phb일 경우 20 °C에 비해 -20 °C에서의 평균 강도감소율은 20%에 달하였다. 양생온도 -20 °C에서 재령 168 시간 압축강도는 68 ~ 92.3 MPa로서 시멘트 모르타르의 경우 -5 °C에서 28일 압축강도가 2.7 MPa인 것과 고성능 모르타르의 경우 -5 °C에서 압축강도가 16.3 MPa인 것에 비해 훨씬 높은 값을 보였다.

재령별 강도변화 양상을 살펴보면 재령 24시간 이후의 강도는 재령에 따라 급격한 강도증가를 보이지 않은 바, 이는 24시간 이내의 초기강도가 빠르게 발현됨을 보여주는 결과로서 이러한 경향은 MAA 첨가량이 증가할수록 뚜렷했다. 즉, 양생온도 20, 0, -20 °C 에서 모두가 MAA를 첨가한 것이 첨가하지 않은 것보다 강도가 높았다. 특히, -20 °C에서 MAA 15 phb일 경우 재령 6시간에서 76.77 MPa, 재령 168시간에서 92.36 MPa의 압축강도를 보였다.

한편 촉매 보조제인 MAA를 10 phb 첨가하면 압축강도가 현저히 증가하는데 비해, 15 phb를 첨가하면 초기 재령 24시간까지만 약간의 강도에서 차이가 있을 뿐, 그 이후 재령에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 즉, -20 °C에서 초기재령 6시간일 때 MAA 10 phb에서는 71.85 MPa, 15 phb에서는 76.77 MPa로 차이를 보였지만, 재령 168시간에서는 각각 91.81, 92.36 MPa로 비슷한 강도 값을 나타냈다. 이러한 결과로 부터 상온과 저온 모두 MAA가 초기 강도발현에 큰 영향을 미치며 MAA 첨가량 10 phb까지는 강도발현에 영향을 주나 그 이상은 강도 발현에 큰 영향이 없음을 알 수 있었다.

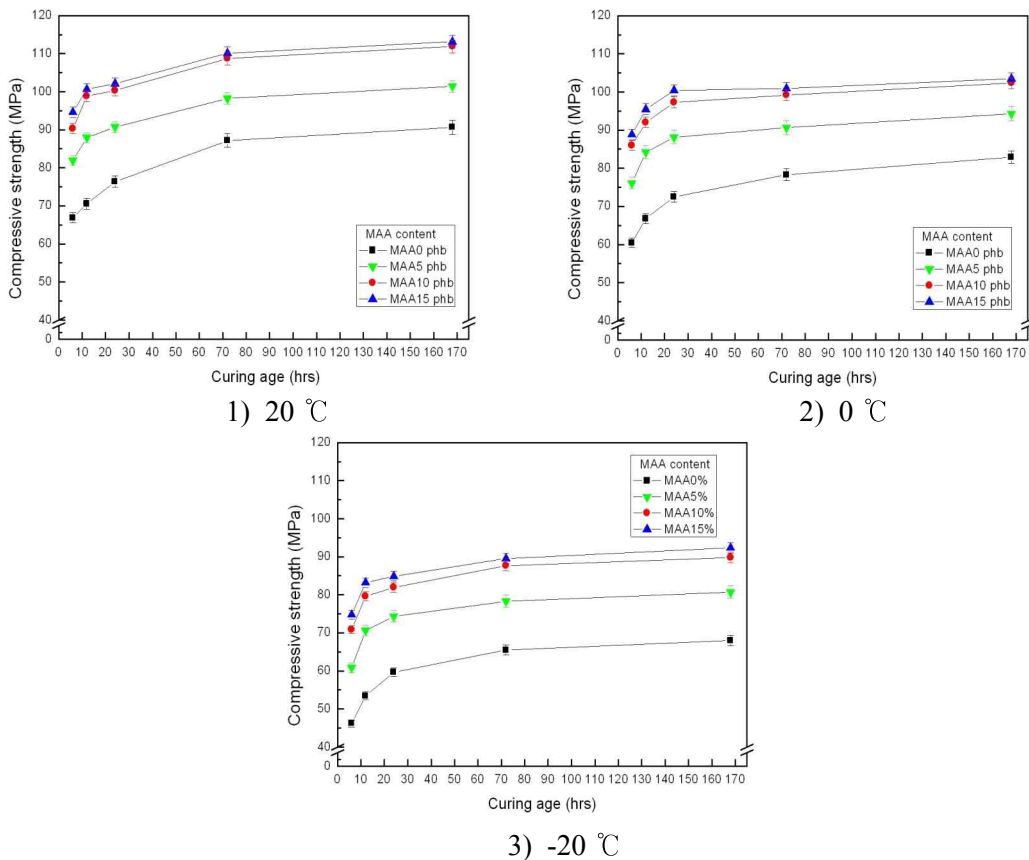
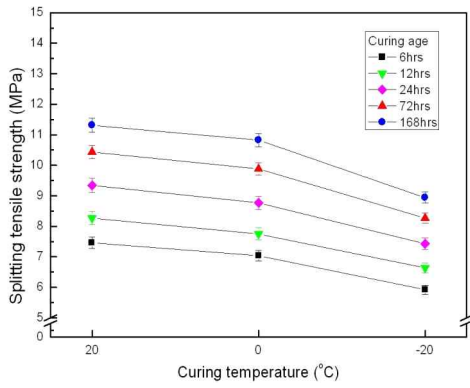


그림 4.21 압축강도에 미치는 재령과 MAA 첨가량의 영향
(BPO, DMA 2 phb)

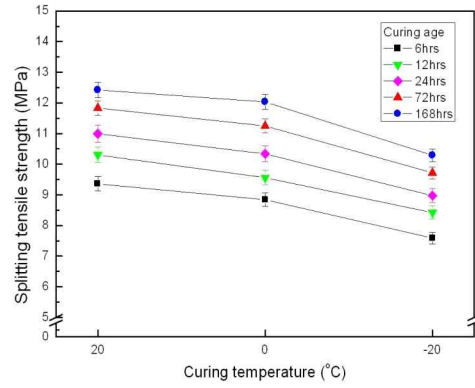
(2) 쪼갬인장강도

MMA - PMMA 폴리머 모르타르에 대한 쪼갬인장강도를 시험한 결과는 그림 3.8 및 3.9 와 같다. 그림 4.22는 양생온도의 영향을 나타낸 것으로 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 재령 168시간 쪼갬인장강도는 8.94 ~ 12.33 MPa이었다. 이 결과는 UP와 MMA를 결합재로한 폴리머 모르타르가 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (168시간 양생)에서 4.5 ~ 5.22 MPa, MMA와 TTEGDA (tetraethylene glycol diacrylate)를 결합재로 한 폴리머 모르타르가 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 7.9 ~ 9.3 MPa로 보고 된 것에 비해 매우 높은 값을 알 수 있다. 그리고 양생온도가 낮아짐에 따라 쪼갬인장강도가 저하되지만 그 감소폭이 재령 168 시간 기준으로 MAA 0 phb일 경우 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 11.31 MPa, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 8.94 MPa로서 21 % 감소한 반면, MAA 15 phb일 경우에는 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 14.16 MPa, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 12.33 MPa로 13 %의 쪼갬인장강도 감소폭이 줄어들었는 바 이는 MAA 첨가의 효과라고 판단된다.

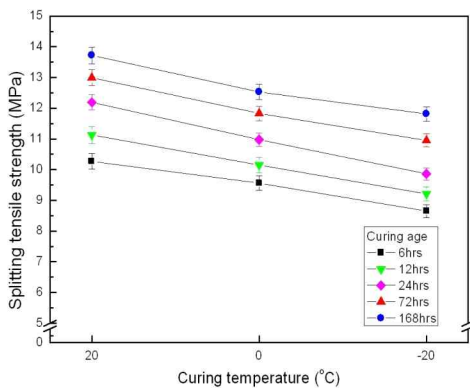
그림 4.23은 재령에 따른 쪼갬인장강도를 나타낸 것으로 MAA를 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우 보다 높게 나타났으며, MAA의 첨가량이 15 phb이상일 경우 초기 재령 6시간 강도가 20, 0, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 10.5, 9.83, 9.41 MPa로 가장 높았다. 재령 168 시간일 때는 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 MAA 10, 15 phb의 쪼갬인장강도 값이 각각 12.53, 12.62 MPa로 비슷한 값을 보였다. 반면, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서는 MAA 첨가에 따른 초기강도 발현이 현저하게 나타나 재령 6시간일 때 MAA 0 phb에서 5.92 MPa인데 비해 MMA 10, 15 phb에서는 각각 8.65, 9.41 MPa로 높은 강도 발현을 보였다.



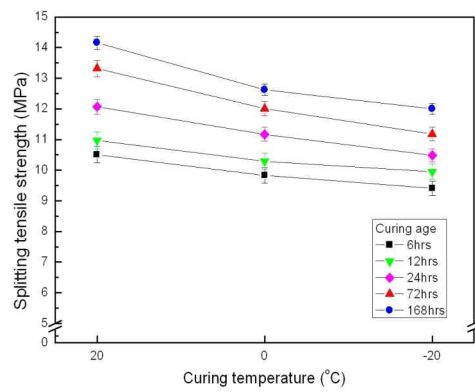
1) MAA 0 phb



2) MAA 5 phb



3) MAA 10 phb



4) MAA 15 phb

그림 4.22 조괸인장강도에 미치는 양생온도와 재령의 영향
(BPO, DMA 2 phb)

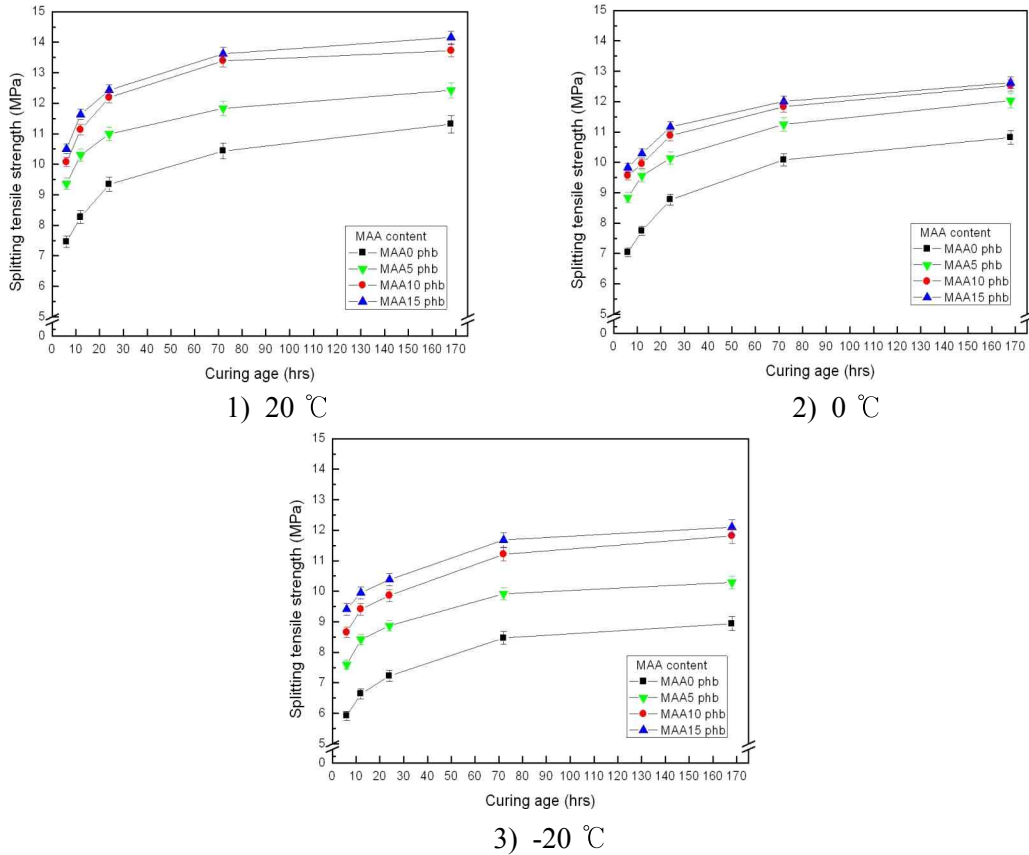


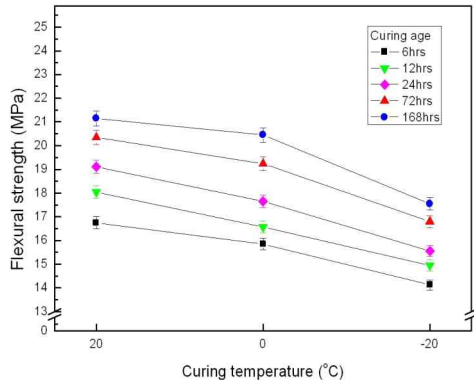
그림 4.23 조괘인장강도에 미치는 재령과 MAA 첨가량의 영향
(BPO, DMA 2 phb)

(3) 휨강도

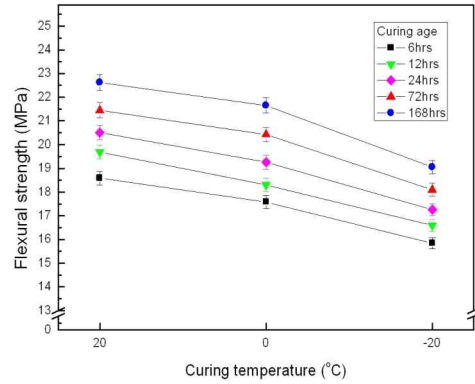
MMA - PMMA 폴리머 모르타르에 대한 휨강도를 시험한 결과는 그림 4.24 및 4.25와 같다.

그림 4.24는 양생온도에 따른 휨강도를 나타낸 것으로 -20 °C에서 재령 168 시간 휨강도는 17.55 ~ 21.83 MPa을 보였다. 이 결과는 UP와 MMA를 결합제로한 폴리머 모르타르가 -20 °C(7일 양생)에서 12.50 ~ 15.13 MPa이었다고 보고된 것에 비해 매우 높은 값을 보였다. 휨강도는 양생 온도가 낮아짐에 따라 저하되지만, MAA 첨가량 증가함에 따라 휨강도 감소폭이 줄어드는 양상을 보였다.

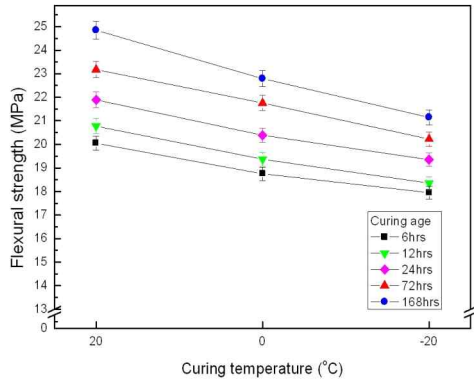
즉, 재령 168 시간이고 MAA 0 phb일 경우 20 °C에서 21.15 MPa, -20 °C에서 17.55 MPa로 17 % 감소한 반면, MAA 15 phb일 경우에는 20 °C에서 25.31 MPa, -20 °C에서 21.33 MPa로 13.8 %로 강도 감소폭이 줄어드는 것으로 나타났다.



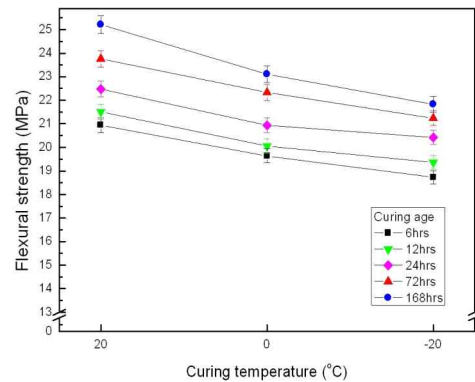
1) MAA 0 phb



2) MAA 5 phb



3) MAA 10 phb



4) MAA 15 phb

그림 4.24 휨강도에 미치는 양생온도와 재령의 영향
(BPO, DMA 2 phb)

그림 4.25는 재령에 따른 휨강도를 나타낸 것으로 MAA를 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우 보다 높게 나타났으며, MAA의 첨가량이 15 phb이상일 때 초기 재령 6시간 강도가 20, 0, -20 °C에서 각각 20.9, 19.6, 18.7 MPa로 가장 높았다. 재령 168 시간일 때는 -20 °C에서 MAA 10, 15 phb의 휨강도 값이 각각 21.2, 21.8 MPa로 비슷한 값을 보였다. 또한 MAA 첨가에 따른 초기 휨강도 발현이 크게 나타났는데, -20 °C에서 재령 6시간일 때는 MAA 0 phb에서 14.43 MPa인데 비해 MMA 10, 15 phb에서는 각각 17.9, 18.7 MPa로 높은 휨강도를 발현하였다.

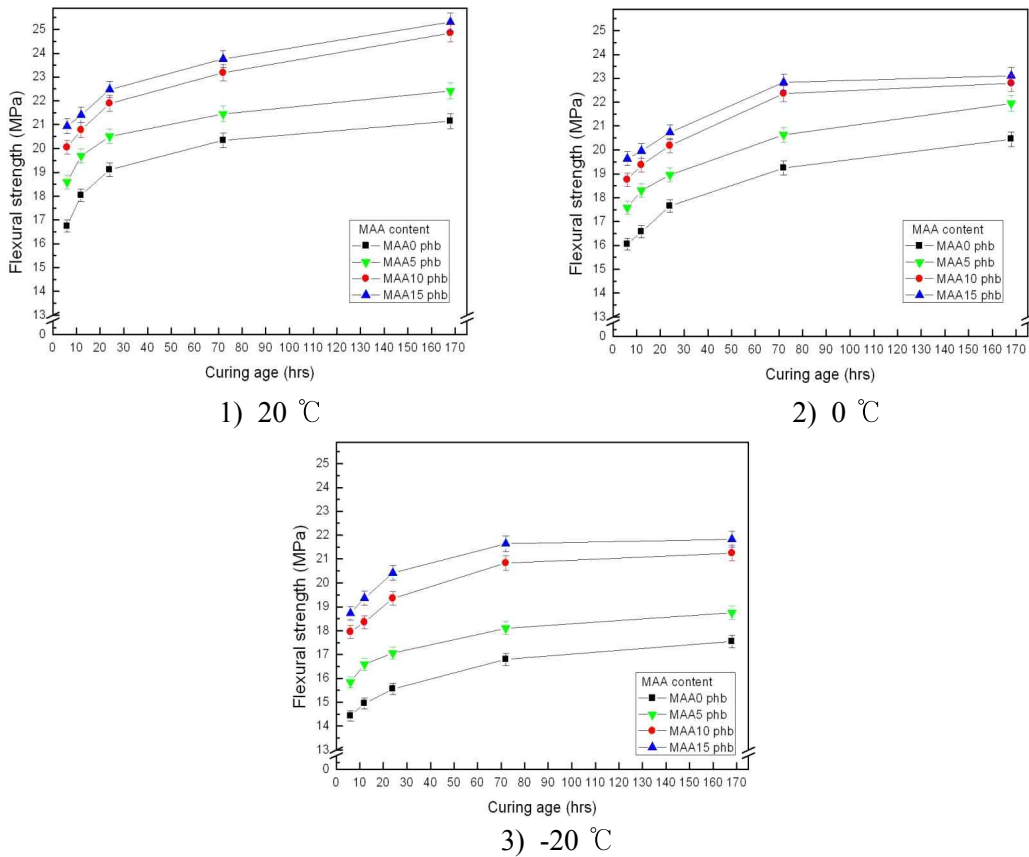


그림 4.25 휨강도에 미치는 재령과 MAA 첨가량의 영향
(BPO, DMA 2 phb)

4. 결과 요약

본 연구는 촉매 보조제인 MAA 첨가량을 주요변수로 하여 제조된 MMA-PMMA 폴리머 모르타르에 대하여 가사시간과 강도 발현 특성을 실험적으로 구명한 것으로서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 양생온도가 내려감에 따라 경화시간이 길어졌지만 MAA는 경화시간을 단축시키는데 효과적이었으며, -10, -20 °C에서는 MAA 첨가량이 10 phb 이상일 때 소정의 경화시간 (60분)을 확보 할 수 있었다.

(2) 영하온도(-10, -20 °C)에서 60 ~ 70분의 사용가능시간을 확보하기 위해서는 PMMA 함량 10 wt.% 이하일 때는 MAA 첨가량을 15 phb, PMMA 함량 20 wt.%일 때는 MAA 첨가량을 5 phb 이상으로 하는 것이 적합하다.

(3) MMA-PMMA 폴리머 모르타르에 MAA 5 phb이상 첨가시 재령 168시간(7일) 압축강도는 20 °C에서 101 ~ 112 MPa, 0 °C에서 94 ~ 103 MPa, -20 °C에서 80 ~ 92 MPa이었으며, MAA가 첨가됨에 따라 저온에서도 초기강도가 높게 발현되었으며, MAA 10 phb 이상일 때는 -20 °C에서도 80 MPa 이상의 높은 강도 값을 얻을 수 있었다.

(4) 양생온도가 낮아짐에 따라 강도가 저하되지만, MAA 첨가의 효과로 인해 -20 °C에서 168시간 양생시 조깅인장강도는 10.3 ~ 12.3 MPa, 휨강도는 18.7 ~ 21.8 MPa로 높은 강도 값을 보였으며, 특히 MAA 첨가에 의해 초기강도발현이 현저히 높게 나타났다.

제5절 받침 및 신축이음 개발

1. 연구목적

본 연구에서의 수로교 리모델링을 2가지 측면에서 다루고 있다. 하나는 수로교 개거부가 성능이 저하되어 완전히 제거하고 교체하는 경우와 성능저하 정도가 작아 개거부 내측에 라이닝 처리를 하여 보수하는 경우이다. 이 가운데 개거부를 제거하고 교체 하는 경우에는 신설의 경우와 마찬가지로 받침(shoe)과 신축이음부(expansion joint)가 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 이들 두 가지를 개발하여 현장 시험시공에 적용코자 한다.

2. 사용재료

가. 받침

개거부 재료와 동일한 폴리머 콘크리트를 사용하여 제작하였다. 크기는 60 mm x 40 mm x 15 mm(길이 x 폭 x 두께)로 하였다. 그리고 고정지점용 앵커로는 지름 16 mm인 원형 강봉을 사용 하였다.

나. 신축이음

신축이음부의 맞닿는 부분에 크기 200 x 3 mm(폭 x 두께)의 폴리러버시트(Poly rubber sheet)를 설치하고, STS(Stainless Steel)를 표면부에 정착 시켰다.

3. 적용방법

가. 받침

공장에서 제작된 받침을 기존 교각의 상단부에 폴리머 모르타르를 사용하여 부착 시키며, 모든 교각과 교대의 상단부가 수평이 되도록 높이를 맞추어서 설치하여야 한다. 그리고 받침의 고정을 위해 받침의 하단과 교각의 상단부에 앵커를 삽입하고 무수축 모르타르를 주입하여 고정 시킨다.

나. 신축이음

신축이음부는 현장에서 조립·설치하게 되며, 이러한 이음부는 온도에 의한 수축팽창 작용을 원활하게 하고, 수밀성을 확보하는 역할을 한다.

4. 연구 결과

가. 받침

받침의 상세도는 그림 4.26과 같다.

나. 신축이음

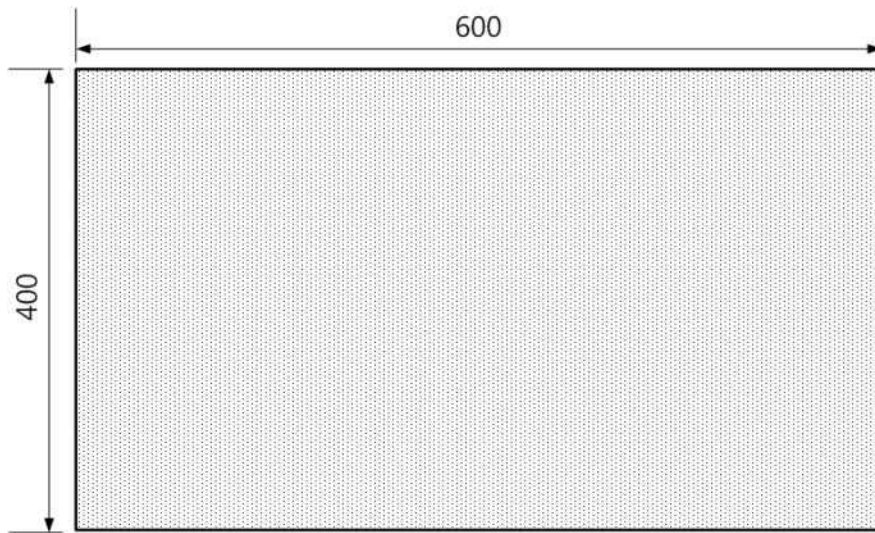
신축이음부의 상세도는 그림 4.27과 같으며, 제작된 개거부의 신축이음부 형상은 사진 4.4 및 4.5와 같다.

5. 결과 요약

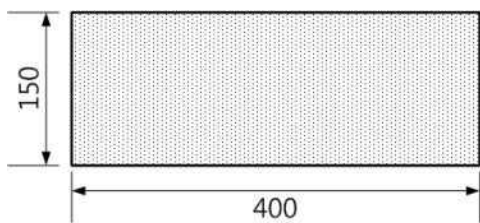
본 연구를 통하여 얻어진 결과는 다음과 같이 요약 할 수 있다.

- (1) 강도가 높고 내식성이 우수한 폴리머 콘크리트 받침을 개발 하였다.

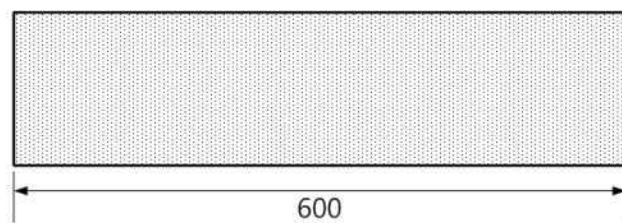
- (2) 설치가 용이하고 내구성이 확보된 받침 고정방법을 개발 하였다
- (3) 판상의 폴리리버-시트와 STS를 용이하게 정착 할 수 있는 신축이음부를 개발 하였다.
- (4) 본 연구에서 개발된 받침과 신축이음부는 내식성, 방수성 확보는 물론 시공이 용이 하여 현장시공에 유용할 것으로 판단된다.



<평면도>



(단방향)

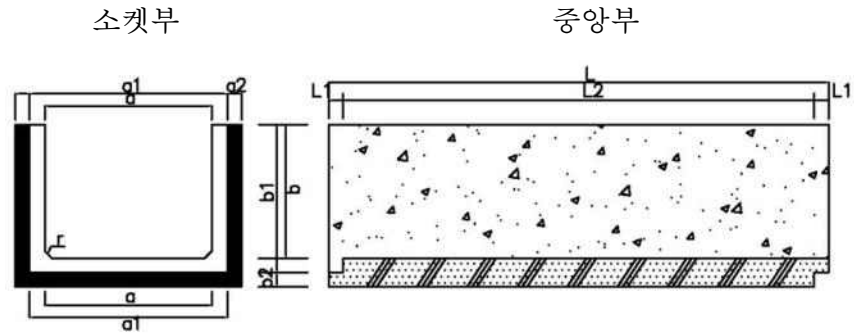


(장방향)

<측면도>

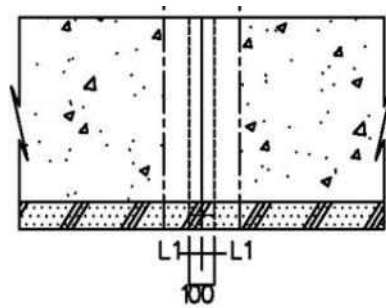
(단위 : mm)

그림 4.26 받침의 상세도



규격 (a×b)	중앙부의 치수(mm)			소켓부의 치수 (mm)							비고
	L	L1	L2	a	a1	a2	b	b1	b2	r	
700 × 600	3300	50	3200	700	725	25	600	625	25	50	

접합부 상세도



연결부 상세도

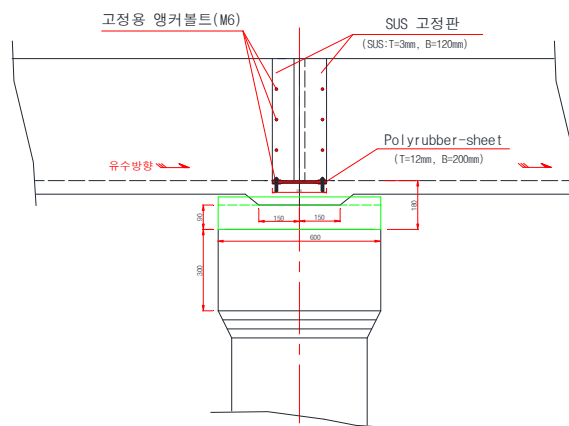


그림 4.27 신축이음부 상세도



사진 4.4 신축이음부 형상 (1)

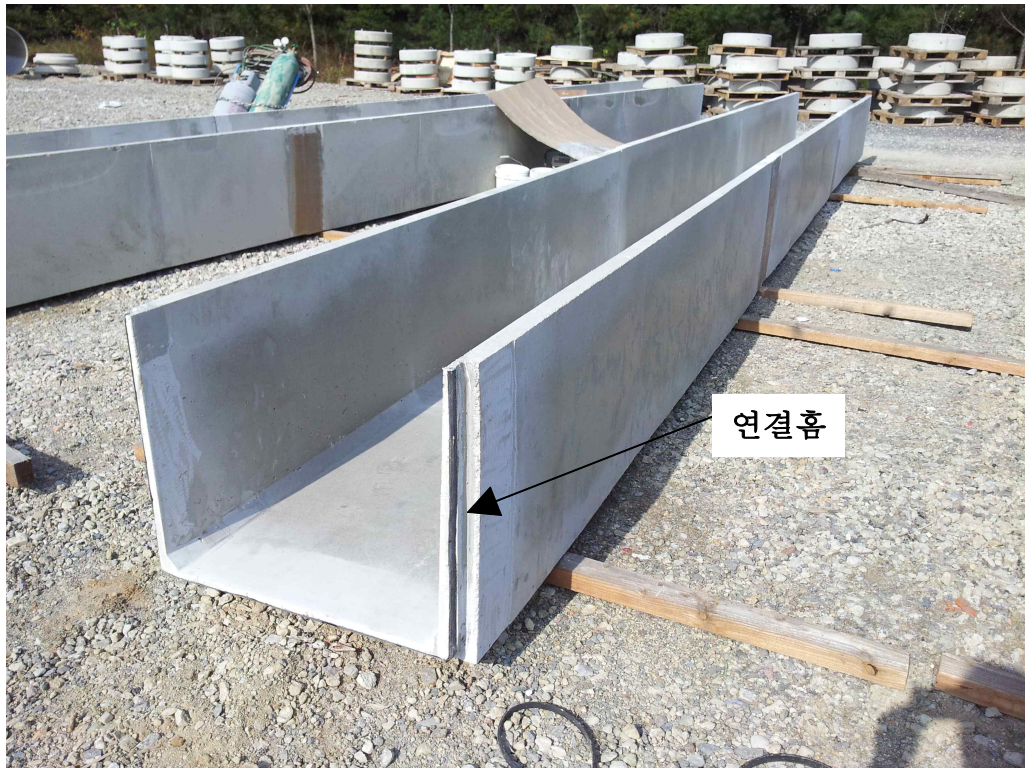


사진 4.5 신축이음부 형상 (2)

제 5 장 구조설계 및 실물재하시험

제1절 구조설계

1. 연구 목적

수로교는 지형, 관개면적 등에 따라 지간의 길이와 개거부의 단면적의 크기가 다양하다. 따라서 본 연구에서는 지간이 5.0, 10.0, 15.0 m일 때, 단면이 각각 500 x 500 mm, 700 x 700 mm, 900 x 900 mm, 1,200 x 1,200 mm, 1,500 x 1,500 mm인 경우로 15종에 대한 구조해석을 통해 적정 두께를 산정하여 제시하였다. 이 자료는 연구결과를 범용적으로 사용하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

2. 폴리머 콘크리트의 재료상수

- 압축강도(f_c) : 75 MPa
- 탄성계수(E_c) : 2.2×10^4 MPa
- 휨인장강도(f_{fl}) : 15 MPa
- 단위중량(G_p) : 23.0 kN/m³
- 전단강도(v) : 2.3 MPa

3. 단면 설계

가. 단면제원 및 형상

폴리머 콘크리트 수로교 개거부의 지간은 그림 5.1과 같이 5.0, 10.0 및 15.0 m이고, 단면의 형상 및 치수는 그림 5.2와 같다.

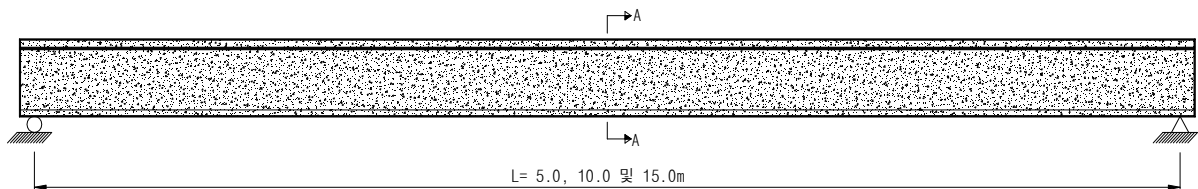


그림 5.1 폴리머 콘크리트 개거부 측면도

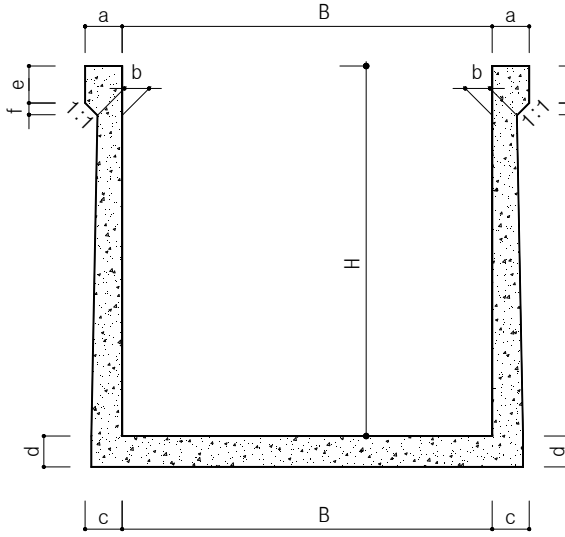


그림 5.2 개거부 단면도 (A-A단면)

지간 L (m)	폭 B(mm)	깊이 H (mm)
5.0	500	500
	700	700
	900	900
	1,200	1,200
	1,500	1,500
10.0	500	500
	700	700
	900	900
	1,200	1,200
	1,500	1,500
15.0	500	500
	700	700
	900	900
	1,200	1,200
	1,500	1,500

나. 하중산정

(1) 종방향 하중

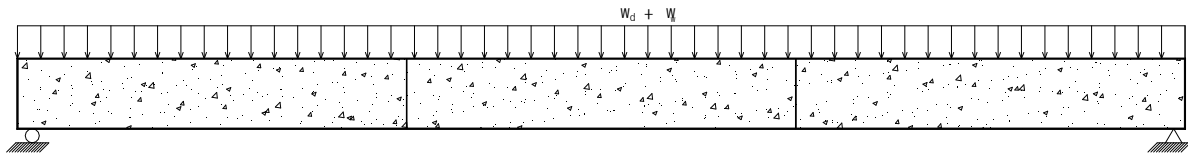


그림 5.3 종방향 하중 재하도

○ 개거부의 단위 길이당 사하중 ()

지간 (L, m)	호칭 (B×H)	수로 자중 (N/mm)	물 자중 (N/mm)	합 계 (N/mm)
5.0	500×500	1.17	2.45	3.62
	700×700	1.61	4.80	6.41
	900×900	2.48	7.94	10.42
	1,200×1,200	4.12	14.11	18.23
	1,500×1,500	6.54	22.05	28.59
10.0	500×500	1.46	2.45	3.91
	700×700	2.32	4.80	7.12
	900×900	2.94	7.94	10.88
	1,200×1,200	4.43	14.11	18.54
	1,500×1,500	6.90	22.05	28.95
15.0	500×500	2.05	2.45	4.45
	700×700	2.76	4.80	7.56
	900×900	3.46	7.94	11.40
	1,200×1,200	4.52	14.11	18.63
	1,500×1,500	6.98	22.05	29.03

(2) 측벽에 작용하는 횡방향 하중

○ 단위 길이당 횡수압()

$$P = 1/2 \cdot G \cdot H^2$$

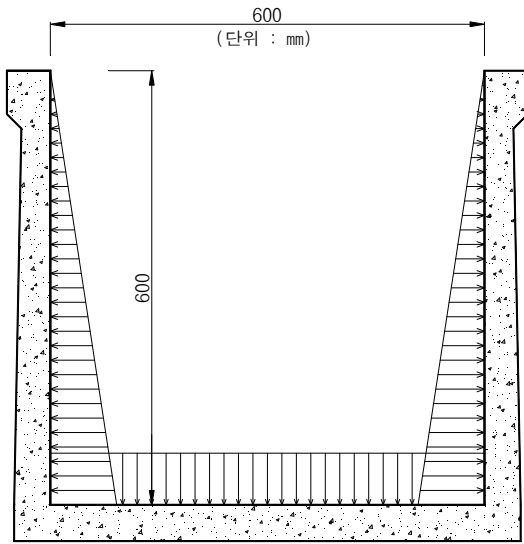


그림 5.4 측벽 횡방향 하중 재하도

지간 L (m)	호칭 (B×H)	횡수압 (N/mm)
5	500×500	1.23
	700×700	2.40
	900×900	3.97
	1,200×1,200	7.06
	1,500×1,500	11.03
10	500×500	1.23
	700×700	2.40
	900×900	3.97
	1,200×1,200	7.06
	1,500×1,500	11.03
15	500×500	1.23
	700×700	2.40
	900×900	3.97
	1,200×1,200	7.06
	1,500×1,500	11.03

다. 단면2차모멘트 산정

(1) 종방향 단면2차모멘트

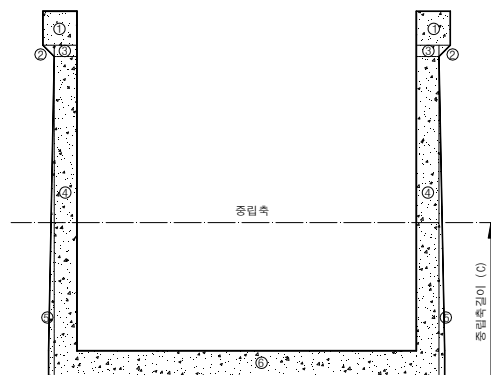


그림 5.5 단면2차모멘트 산정 위한 단면구획

○ L=5 m, 호칭 : 500 x 500

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	1,600	50	300	13,500	1,125	19,950	53,100
X_i (mm)	515	492	490	260	150	17.5	183
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	824,000	24,583	147,000	3.51×10^6	168,750	349,125	9.70×10^6
Q(mm ³)	531,788	15,452	92,210	1.04×10^6	36,712	3.29×10^6	6.74×10^6
I (mm ⁴)	1.81×10^8	4.78×10^6	4.78×10^7	3.09×10^8	1.42×10^7	5.46×10^8	1.61×10^9
중립축깊이 (mm)	183						

○ L=5 m, 호칭 : 700 x 700

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	1,600	50	300	19,500	1,625	26,950	73,100
X_i (mm)	715	692	690	360	217	18	246
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	1.14×10^6	34,583	207,000	7.02×10^6	352,083	471,625	1.80×10^7
Q(mm ³)	750,305	22,280	133,182	2.22×10^6	47,764	6.16×10^6	1.25×10^7
I (mm ⁴)	3.52×10^8	9.93×10^6	5.91×10^7	9.40×10^8	3.95×10^7	1.41×10^9	4.21×10^9
중립축깊이 (mm)	246						

○ L=5 m, 호칭 : 900 x 900

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	1,600	50	300	25,500	6,375	44,550	112,200
X_i (mm)	715	902	900	470	283	23	287
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	1.48×10^6	45,083	270,000	1.20×10^7	1.81×10^6	1.00×10^6	3.22×10^7
Q(mm ³)	1.02×10^6	30,745	183,970	4.67×10^6	21,877	1.18×10^7	2.36×10^7
I (mm ⁴)	6.52×10^8	1.89×10^7	1.13×10^8	2.39×10^9	2.56×10^8	3.12×10^9	4.21×10^9
중립축깊이 (mm)	287						

○ L=5 m, 호칭 : 1,200 x 1,200

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	1,600	50	300	34,500	17,250	79,200	186,600
X_i (mm)	1,240	1,217	1,215	635	383	30	344
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	1.98×10^6	60,833	364,500	2.19×10^7	6.61×10^6	2.38×10^6	6.42×10^7
Q(mm ³)	1.43×10^6	43,621	261,229	1.00×10^7	674,408	2.49×10^7	4.98×10^7
I (mm ⁴)	1.28×10^9	3.81×10^7	2.27×10^8	6.72×10^9	1.29×10^9	7.84×10^9	2.70×10^{10}
중립축깊이 (mm)	344						

○ L=5 m, 호칭 : 1,500 x 1,500

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	1,600	50	300	43,500	36,250	132,800	296,200
X_i (mm)	1,560	1,537	1,535	805	483	40	393
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	2.50×10^6	76,833	460,500	3.50×10^7	1.75×10^7	5.31×10^6	1.16×10^8
Q(mm ³)	1.87×10^6	57,175	342,551	1.79×10^7	3.27×10^6	4.69×10^7	9.38×10^7
I (mm ⁴)	2.18×10^9	6.54×10^7	3.91×10^8	1.50×10^{10}	4.53×10^9	1.66×10^{10}	6.10×10^{10}
중립축깊이 (mm)	393						

○ L=10 m, 호칭 : 500 x 500

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	3,600	200	800	16,800	-	23,200	66,000
X_i (mm)	510	473	470	250	-	20	204
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	1.84×10^6	94,667	376,000	4.20×10^6	-	464,000	1.35×10^7
Q(mm ³)	1.10×10^6	53,826	212,638	769,406	-	4.27×10^6	8.55×10^6
I (mm ⁴)	3.37×10^8	1.45×10^7	5.65×10^7	2.82×10^8	-	7.90×10^8	2.17×10^9
중립축깊이 (mm)	204						

○ L=10 m, 호칭 : 700 x 700

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	3,600	200	800	24,800	3,100	40,000	105,000
X_i (mm)	720	683	680	360	207	25	254
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	2.59×10^6	136,667	544,000	8.92×10^6	640,667	1.00×10^6	2.67×10^7
Q(mm ³)	1.68×10^6	85,843	340,703	2.63×10^6	147,107	9.16×10^6	1.89×10^7
I (mm ⁴)	7.82×10^8	3.68×10^7	1.45×10^8	1.07×10^9	7.32×10^7	2.11×10^9	6.33×10^9
중립축깊이 (mm)	254						

○ L=10 m, 호칭 : 900 x 900

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	3,600	200	800	32,800	4,100	50,000	133,000
X_i (mm)	920	883	880	460	273	25	316
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	3.31×10^6	176,667	704,000	1.51×10^7	1.12×10^6	1.25×10^6	4.21×10^7
Q(mm ³)	2.17×10^6	113,430	451,052	4.72×10^6	175,694	1.46×10^7	2.98×10^7
I (mm ⁴)	1.31×10^9	6.43×10^7	2.54×10^8	2.52×10^9	1.61×10^8	4.25×10^9	1.29×10^{10}
중립축깊이 (mm)	316						

○ L=10 m, 호칭 : 1,200 x 1,200

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	3,600	200	800	44,800	11,200	79,200	200,400
X_i (mm)	1,230	1,193	1,190	620	373	30	387
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	4.43×10^6	238,667	952,000	2.78×10^7	4.18×10^6	2.38×10^6	7.75×10^7
Q(mm ³)	3.04×10^6	161,293	642,507	1.04×10^7	151,569	2.83×10^7	5.71×10^7
I (mm ⁴)	2.56×10^9	1.30×10^8	5.16×10^8	7.12×10^9	7.83×10^8	1.01×10^{10}	3.23×10^{10}
중립축깊이 (mm)	387						

○ L=10 m, 호칭 : 1,500 x 1,500

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	3,600	200	800	56,800	28,400	132,800	312,400
X_i (mm)	1,550	1,513	1,510	790	473	40	436
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	5.58×10^6	302,667	1.21×10^6	4.49×10^7	1.34×10^7	5.31×10^6	1.36×10^8
Q(mm ³)	4.01×10^6	215,520	859,414	2.01×10^7	1.07×10^6	5.26×10^7	1.05×10^8
I (mm ⁴)	4.47×10^9	2.32×10^8	9.23×10^8	1.67×10^{10}	3.22×10^9	2.09×10^{10}	7.19×10^{10}
중립축깊이 (mm)	436						

○ L=15 m, 호칭 : 500 x 500

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	6,400	800	1,600	15,200	3,800	37,200	92,800
X_i (mm)	520	467	460	250	127	30	200
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	3.33×10^6	373,333	736,000	3.80×10^7	481,3337	1.12×10^6	1.86×10^7
Q(mm ³)	2.05×10^6	213,391	416,115	761,092	278,394	6.32×10^6	1.38×10^7
I (mm ⁴)	6.59×10^8	5.70×10^7	1.08×10^8	2.21×10^8	5.09×10^7	1.09×10^9	3.28×10^9
중립축깊이 (mm)	200						

○ L=15 m, 호칭 : 700 x 700

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	6,400	800	1,600	23,200	5,800	49,200	124,800
X_i (mm)	720	667	660	350	193	30	259
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	4.61×10^6	533,333	1.06×10^6	8.12×10^6	1.12×10^6	1.48×10^6	3.24×10^7
Q(mm ³)	2.95×10^6	325,940	641,214	2.11×10^6	382,267	1.13×10^7	2.41×10^7
I (mm ⁴)	1.36×10^9	5.70×10^7	2.57×10^8	8.41×10^8	1.34×10^8	2.60×10^9	8.05×10^9
중립축깊이 (mm)	259						

○ L=15 m, 호칭 : 900 x 900

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	6,400	800	1,600	31,200	7,800	61,200	156,800
X_i (mm)	920	867	860	450	260	30	318
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	5.89×10^6	693,333	1.38×10^6	1.40×10^7	2.03×10^6	1.84×10^6	4.99×10^7
Q(mm ³)	3.85×10^6	438,810	866,952	4.11×10^6	453,607	1.76×10^7	3.71×10^7
I (mm ⁴)	2.32×10^9	2.41×10^8	4.70×10^8	2.12×10^9	2.90×10^8	5.10×10^9	1.60×10^{10}
중립축깊이 (mm)	318						

○ L=15 m, 호칭 : 1,200 x 1,200

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	6,400	800	1,600	43,200	10,800	79,200	204,800
X_i (mm)	1,220	1,167	1,160	600	360	30	406
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	7.81×10^6	933,333	1.86×10^6	2.59×10^7	3.89×10^6	2.38×10^6	8.32×10^7
Q(mm ³)	5.21×10^6	608,385	1.21×10^6	8.37×10^6	498,797	2.98×10^7	6.16×10^7
I (mm ⁴)	4.24×10^9	4.62×10^8	9.09×10^8	5.82×10^9	7.22×10^8	1.12×10^{10}	3.55×10^{10}
중립축깊이 (mm)	406						

○ L=15 m, 호칭 : 1,500 x 1,500

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	SUM
A_i (mm ²)	6,400	800	1,600	55,200	27,600	132,800	316,000
X_i (mm)	1,540	1,487	1,480	770	460	40	451
$A_i \cdot X_i$ (mm ³)	9.86×10^6	1.19×10^6	2.37×10^6	4.25×10^7	1.27×10^7	5.31×10^6	1.43×10^8
Q(mm ³)	6.97×10^6	828,476	1.65×10^6	1.76×10^7	246,420	5.46×10^7	1.09×10^8
I (mm ⁴)	7.59×10^9	8.58×10^8	1.69×10^9	1.44×10^{10}	2.92×10^9	2.25×10^{10}	7.74×10^{10}
중립축깊이 (mm)	451						

(2) 횡방향(측벽하단) 단면2차모멘트

○ $\frac{bh^3}{12}$ (mm⁴)

지간 (L, m)	호칭 (B×H)	측벽 단면2차모멘트 (mm ⁴)
5.0	500×500	3,573
	700×700	3,573
	900×900	7,594
	1,200×1,200	18,000
	1,500×1,500	42,667
10.0	500×500	5,333
	700×700	10,417
	900×900	10,417
	1,200×1,200	18,000
	1,500×1,500	42,667
15.0	500×500	18,000
	700×700	18,000
	900×900	18,000
	1,200×1,200	18,000
	1,500×1,500	42,667

(3) 휨모멘트 및 전단력 산정

(가) 종방향 휨모멘트

○개거부의 자중에 의한 휨모멘트 ()

$$\frac{q_1 l^2}{8} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

○물의 하중에 의한 휨모멘트 (M_w)

$$M_w = \frac{q_2 l^2}{8} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

○전체 휨모멘트 (M_t)

$$M_t = M_p + M_w \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

지간 (L, m)	호칭 (B×H)	M_p (N · mm)	M_w (N · mm)	M_t (N · mm)
5.0	500×500	3.67×10^6	7.67×10^6	1.13×10^7
	700×700	5.05×10^6	1.50×10^7	2.05×10^7
	900×900	7.75×10^6	2.48×10^7	3.26×10^7
	1,200×1,200	1.29×10^7	4.41×10^7	5.70×10^7
	1,500×1,500	2.04×10^7	6.89×10^7	8.93×10^7
10.0	500×500	1.82×10^7	3.06×10^7	4.88×10^7
	700×700	2.90×10^7	6.00×10^7	8.90×10^7
	900×900	3.67×10^7	9.92×10^7	1.36×10^8
	1,200×1,200	5.53×10^7	1.76×10^8	2.32×10^8
	1,500×1,500	8.63×10^7	2.75×10^8	3.61×10^8
15.0	500×500	5.77×10^7	6.89×10^7	1.26×10^8
	700×700	7.75×10^7	1.35×10^8	2.13×10^8
	900×900	9.74×10^7	2.23×10^8	3.20×10^8
	1,200×1,200	1.27×10^8	3.97×10^8	5.24×10^8
	1,500×1,500	1.96×10^8	6.20×10^8	8.16×10^8

(나) 횡방향 휨모멘트()

$$M_s = P \times \frac{H}{3} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

지간 (L, m)	호칭 (B×H)	횡방향 휨모멘트, M_s (N · mm)
5.0	500×500	204
	700×700	560
	900×900	1,191
	1,200×1,200	2,822
	1,500×1,500	5,513
10.0	500×500	204
	700×700	560
	900×900	1,191
	1,200×1,200	2,822
	1,500×1,500	5,513
15.0	500×500	204
	700×700	560
	900×900	1,191
	1,200×1,200	2,822
	1,500×1,500	5,513

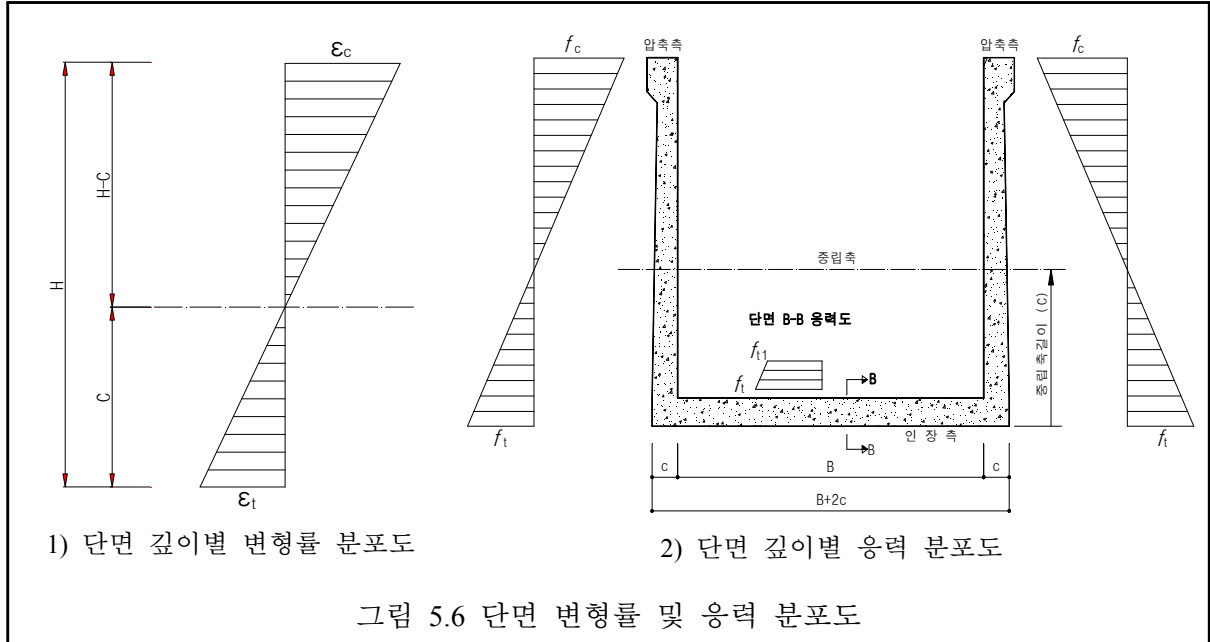
(다) 전단력 ()

$$V = (q + q_2) \frac{l}{2} \text{ (N)}$$

지간 (L, m)	호칭 (B×H)	전단력, V ((N)
5.0	500×500	9,057
	700×700	16,042
	900×900	26,041
	1,200×1,200	45,585
	1,500×1,500	71,482
10.0	500×500	19,539
	700×700	35,607
	900×900	54,397
	1,200×1,200	92,693
	1,500×1,500	144,753
15.0	500×500	33,749
	700×700	56,690
	900×900	85,512
	1,200×1,200	139,769
	1,500×1,500	217,726

(4) 응력검토

(가) 종방향 응력



○ 최대 압축응력 $f_c = \frac{M_l}{I} (H - C)$ (MPa)

○ 최대 인장응력 $f_{lt} = \frac{M_l}{I} C$ (MPa)

○ 최대 전단응력 $\tau_l = \frac{V_l \cdot Q_l}{I \cdot b_l}$ (MPa)

여기서,

M_l : 종방향 사용 휨모멘트 (N · mm)

H : 압축측 연단에서 인장측 연단까지의 거리 (mm)

C : 인장측 연단에 중립축까지의 거리 (mm)

V_l : 지점반력 (N)

Q_l : 종방향 단면1차모멘트 (mm³)

I : 종방향 단면2차모멘트 (mm⁴)

f_{lc} : 압축측 연단에서 폴리머 콘크리트의 응력 (MPa)

f_{lt} : 인장측 연단에서 폴리머 콘크리트의 응력 (MPa)

b_l : 중립축 위치에서의 벽체 두께(mm)

○ 종방향 응력계산 결과

지간 (L, m)	호칭 (B×H)	인장응력 (MPa)	압축응력 (MPa)	전단응력 (MPa)
5.0	500×500	1.28	2.48	0.29
	700×700	1.17	2.33	0.37
	900×900	0.94	2.15	0.41
	1,200×1,200	0.73	1.93	0.47
	1,500×1,500	0.58	1.74	0.50
10.0	500×500	4.59	7.55	0.48
	700×700	3.57	6.98	0.59
	900×900	3.34	6.70	0.70
	1,200×1,200	2.77	6.26	0.82
	1,500×1,500	2.19	5.76	0.88
15.0	500×500	7.72	13.90	0.71
	700×700	6.84	13.22	0.85
	900×900	6.38	12.87	0.99
	1,200×1,200	5.99	12.59	1.21
	1,500×1,500	4.76	11.91	1.28

(나) 횡방향 응력

○ 최대 압축응력 $f_c = \frac{M_h}{I_h} y$ (MPa)

○ 최대 인장응력 $f_{ht} = \frac{M_h}{I_h} y$ (MPa)

○ 최대 전단응력 $\tau_h = \frac{V_h \cdot Q_h}{I_h \cdot b_h}$ (MPa)

M_h : 측벽하단의 사용 휨모멘트 (N·mm)

V_h : 측벽하단의 전단력 (N)

Q_h : 측벽하단의 단위폭당 단면1차모멘트 : $\frac{h^2}{4}$ (mm³)

I_h : 측벽하단의 단면2차모멘트 (mm⁴)

f_{hc} : 압축측 연단에서 폴리머 콘크리트의 응력 (MPa)

f_{ht} : 인장측 연단에서 폴리머 콘크리트의 응력 (MPa)

b_h : 측벽하단의 단위폭 (mm)

○ 횡방향 응력계산 결과

지간 (L, m)	호칭 (B×H)	인장응력 (MPa)	압축응력 (MPa)	전단응력 (MPa)
5.0	500×500	1.00	1.00	0.11
	700×700	2.74	2.74	0.21
	900×900	3.53	3.53	0.26
	1,200×1,200	4.71	4.71	0.35
	1,500×1,500	5.17	5.17	0.41
10.0	500×500	0.77	0.77	0.09
	700×700	1.34	1.34	0.14
	900×900	2.86	2.86	0.24
	1,200×1,200	4.70	4.70	0.35
	1,500×1,500	5.17	5.17	0.41
15.0	500×500	0.34	0.34	0.06
	700×700	0.93	0.93	0.12
	900×900	1.98	1.98	0.20
	1,200×1,200	4.70	4.70	0.35
	1,500×1,500	5.17	5.17	0.41

(5) 응력검토 요약

지간 (L, m)	호칭 (B×H)	인장응력(MPa)		압축응력(MPa)		전단응력(MPa)		판정
		발생값	허용값	발생값	허용값	발생값	허용값	
5.0	500×500	1.28	15	2.48	75	0.29	2.3	O.K
	700×700	2.74	15	2.74	75	0.37	2.3	O.K
	900×900	3.53	15	3.53	75	0.37	2.3	O.K
	1,200×1,200	4.71	15	4.71	75	0.47	2.3	O.K
	1,500×1,500	5.17	15	5.17	75	0.51	2.3	O.K
10.0	500×500	4.59	15	7.55	75	0.48	2.3	O.K
	700×700	3.57	15	6.98	75	0.59	2.3	O.K
	900×900	3.34	15	6.70	75	0.70	2.3	O.K
	1,200×1,200	4.70	15	6.26	75	0.82	2.3	O.K
	1,500×1,500	5.17	15	5.76	75	0.88	2.3	O.K
15.0	500×500	7.72	15	13.90	75	0.71	2.3	O.K
	700×700	6.84	15	13.22	75	0.85	2.3	O.K
	900×900	6.38	15	12.87	75	0.99	2.3	O.K
	1,200×1,200	5.99	15	12.59	75	1.21	2.3	O.K
	1,500×1,500	5.17	15	11.91	75	1.28	2.3	O.K

4. 수로교 개거부 표준 단면도

가. 표준단면 치수

L=5.0m

구 분	500×500	700×700	900×900	1,200×1,200	1,500×1,500
a	40	40	40	40	40
b	30	30	30	30	30
c	35	35	45	60	80
d	35	35	45	60	80
e	40	40	40	40	40
f	10	10	10	10	10

L=10.0m

구 분	500×500	700×700	900×900	1,200×1,200	1,500×1,500
a	60	60	60	60	60
b	40	40	40	40	40
c	40	50	50	60	80
d	40	50	50	60	80
e	60	60	60	60	60
f	20	20	20	20	20

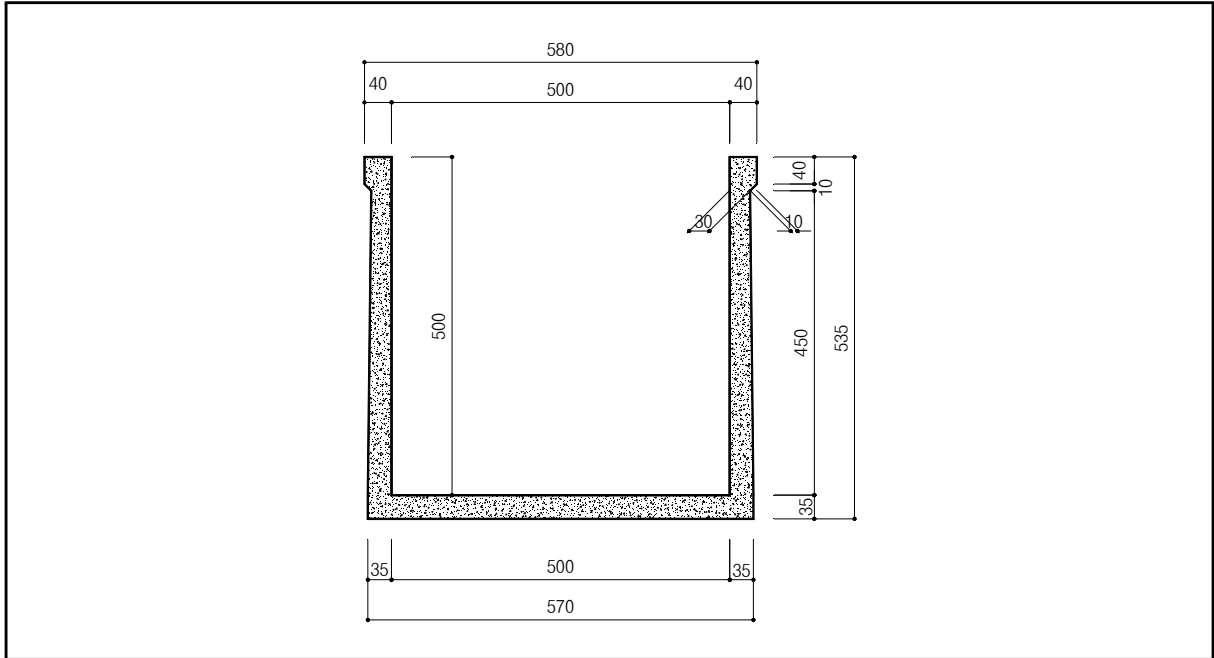
L=15.0m

구 분	500×500	700×700	900×900	1,200×1,200	1,500×1,500
a	80	80	80	80	80
b	40	40	40	40	40
c	60	60	60	60	80
d	60	60	60	60	80
e	80	80	80	80	80
f	40	40	40	40	40

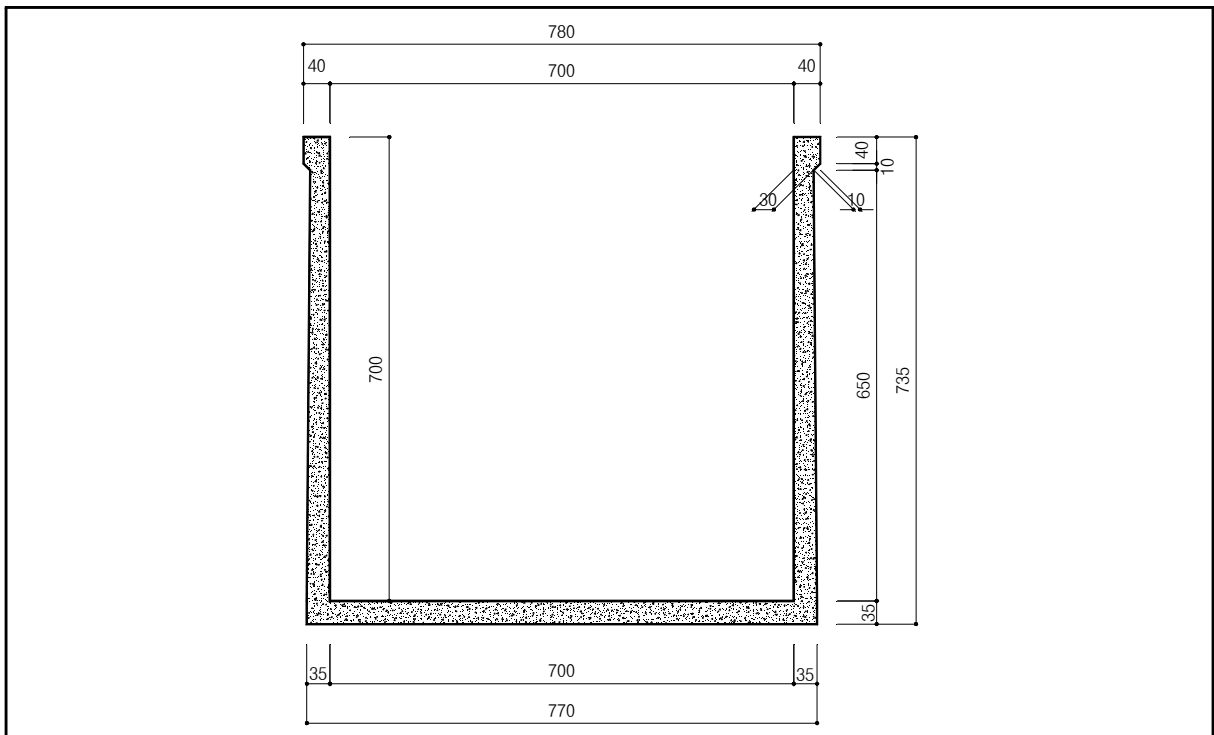
* 기호 a, b, c, d, e 및 f에 대한 상세는 그림 5.2 참조

나. 표준단면도

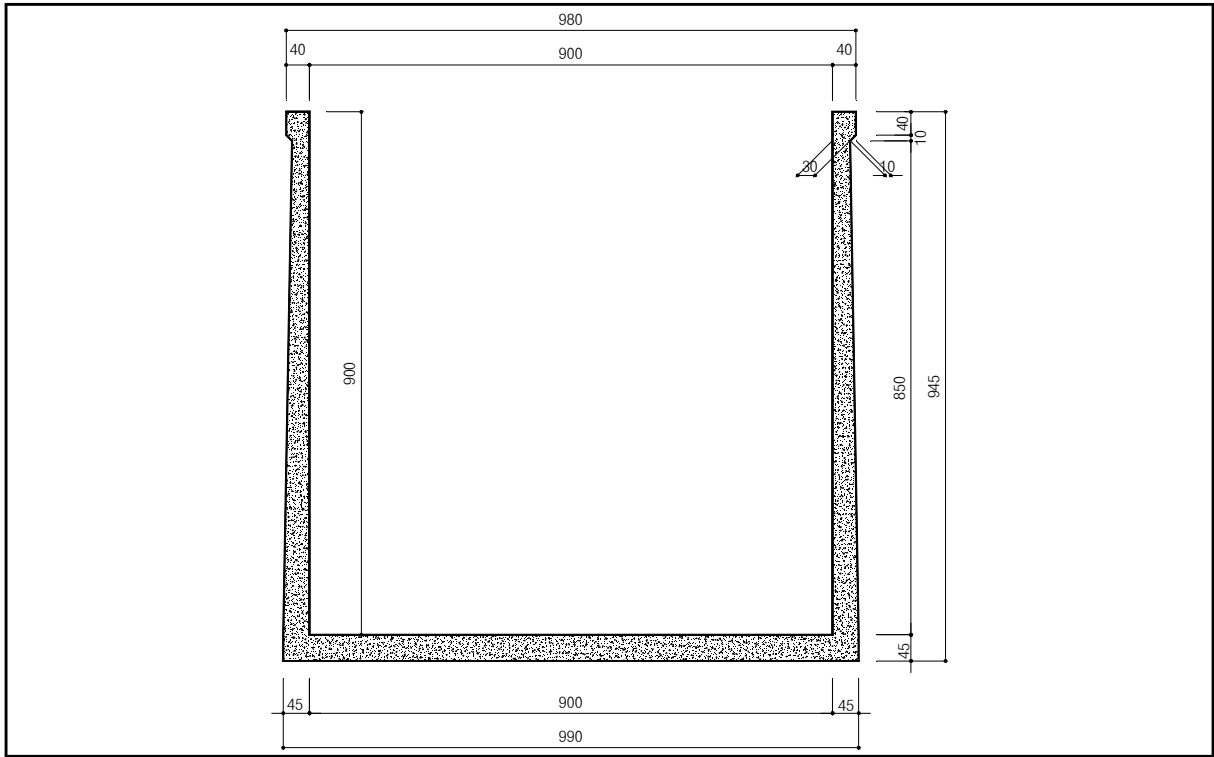
○L=5 m, 호칭 : 500 x 500



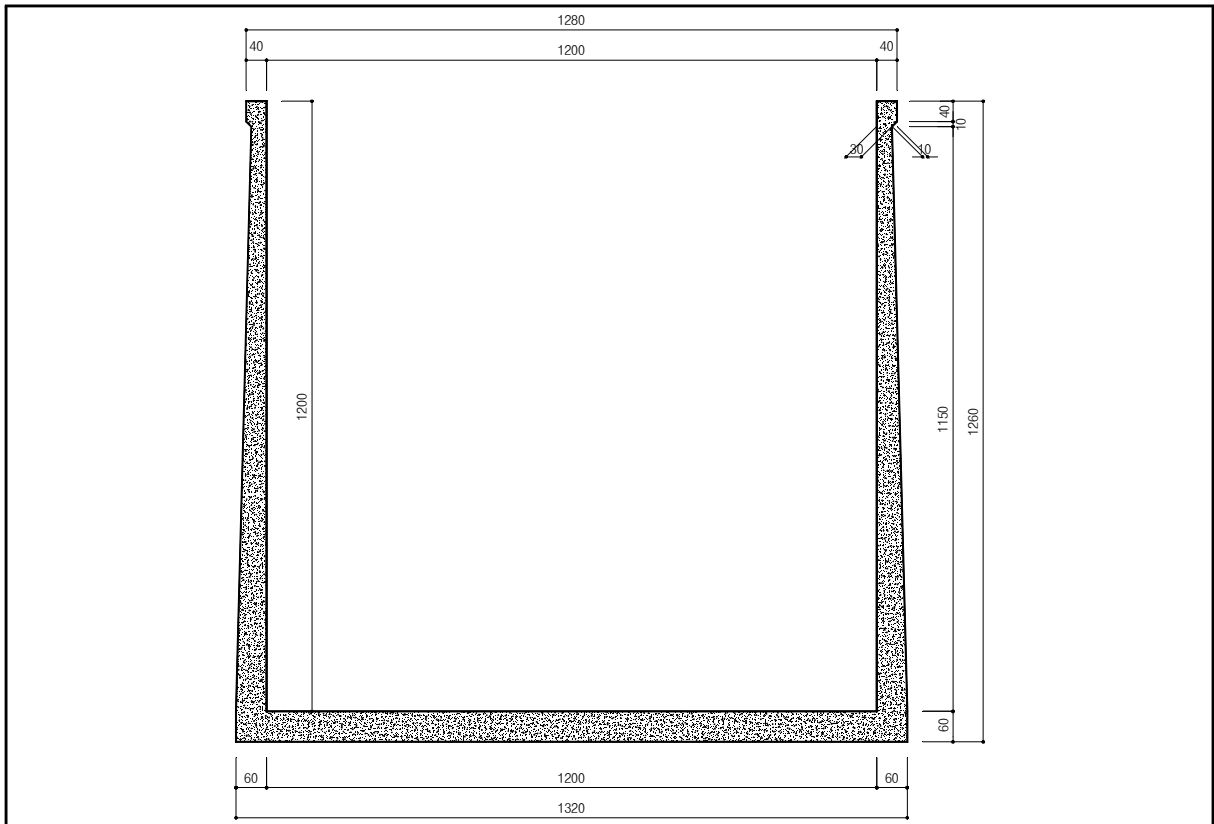
○L=5 m, 호칭 : 700 x 700



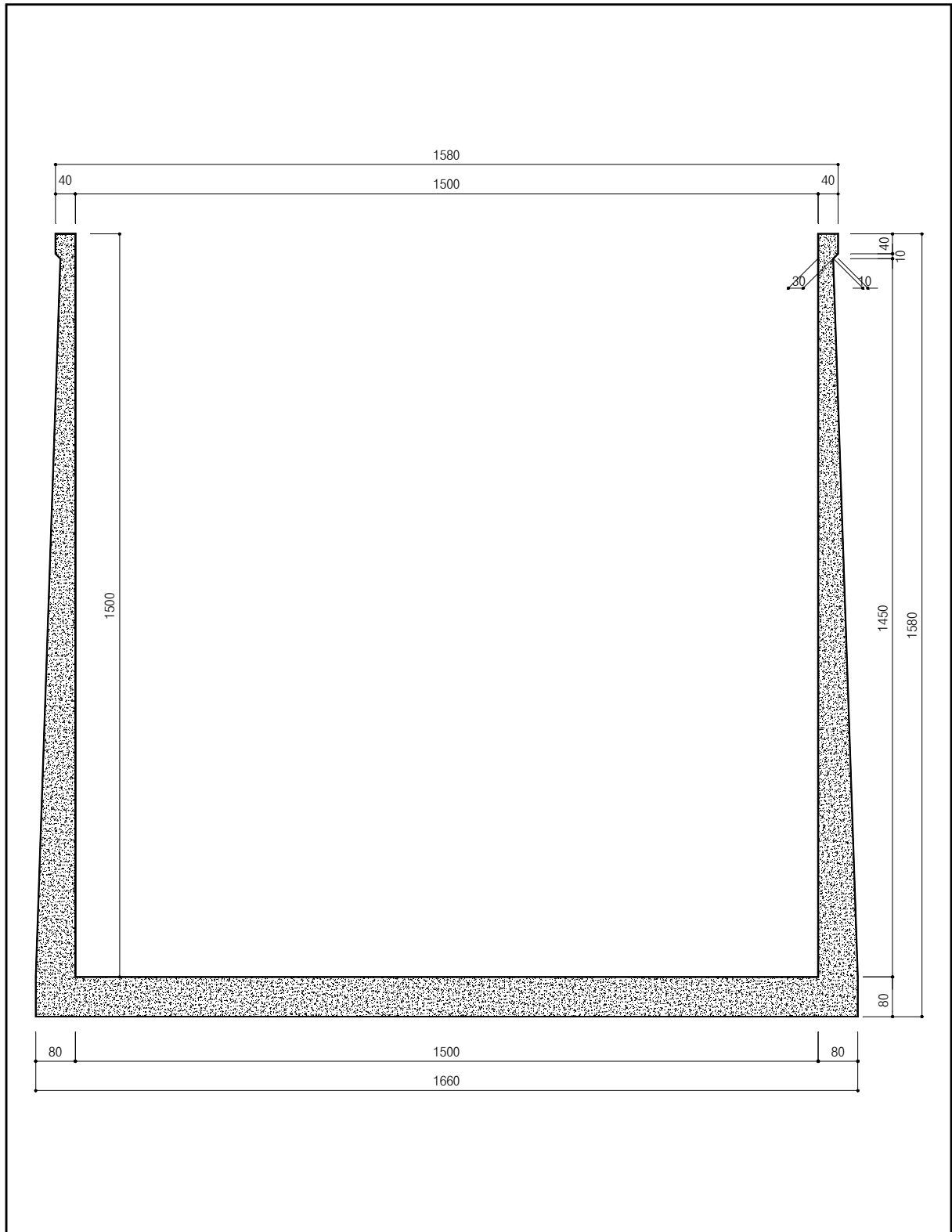
○L=5 m, 호칭 : 900 x 900



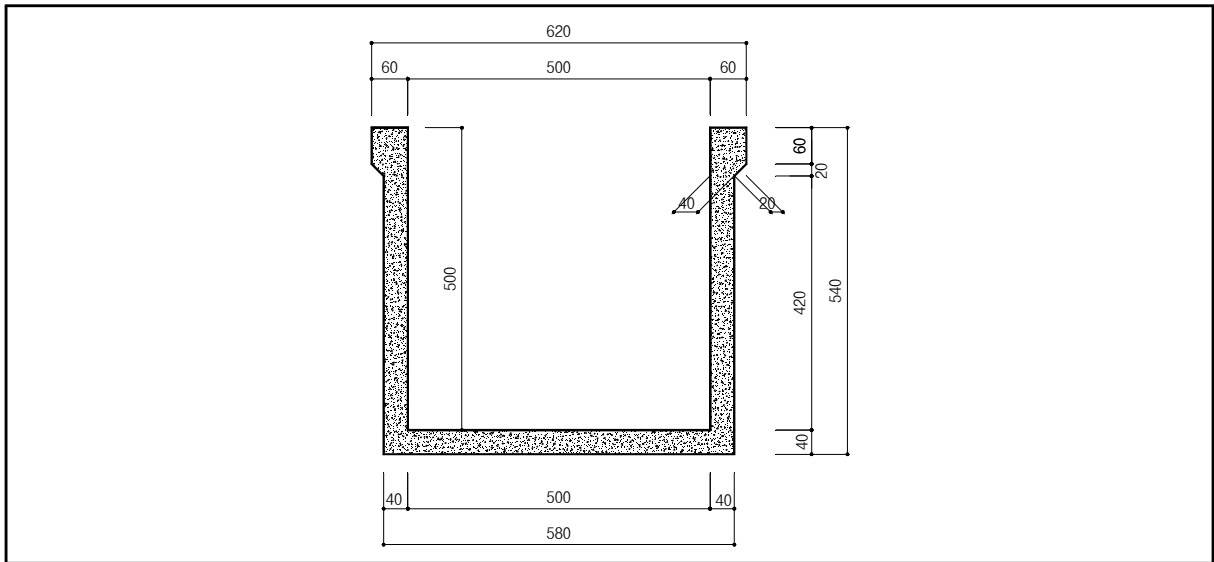
○L=5 m, 호칭 : 1,200 x 1,200



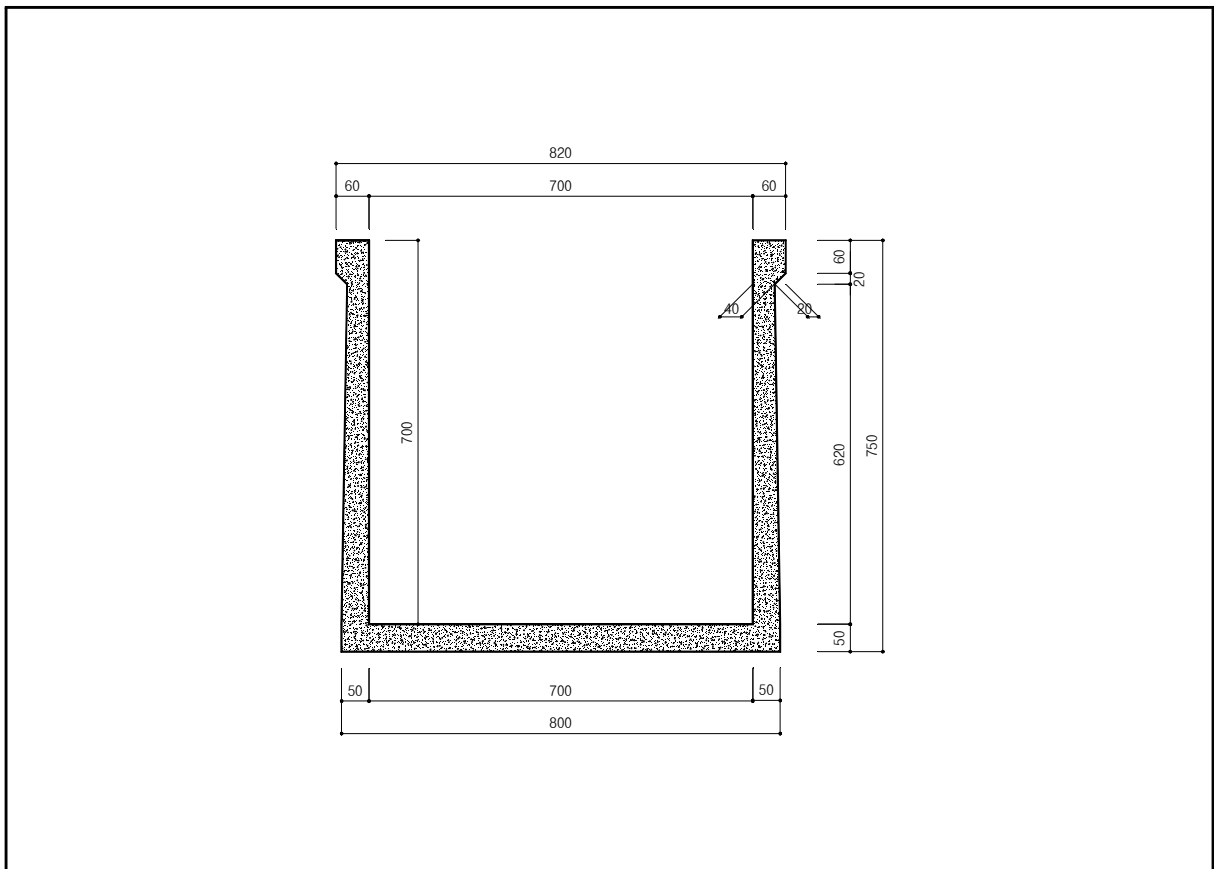
○L=5 m, 호칭 : 1,500 x 1,500



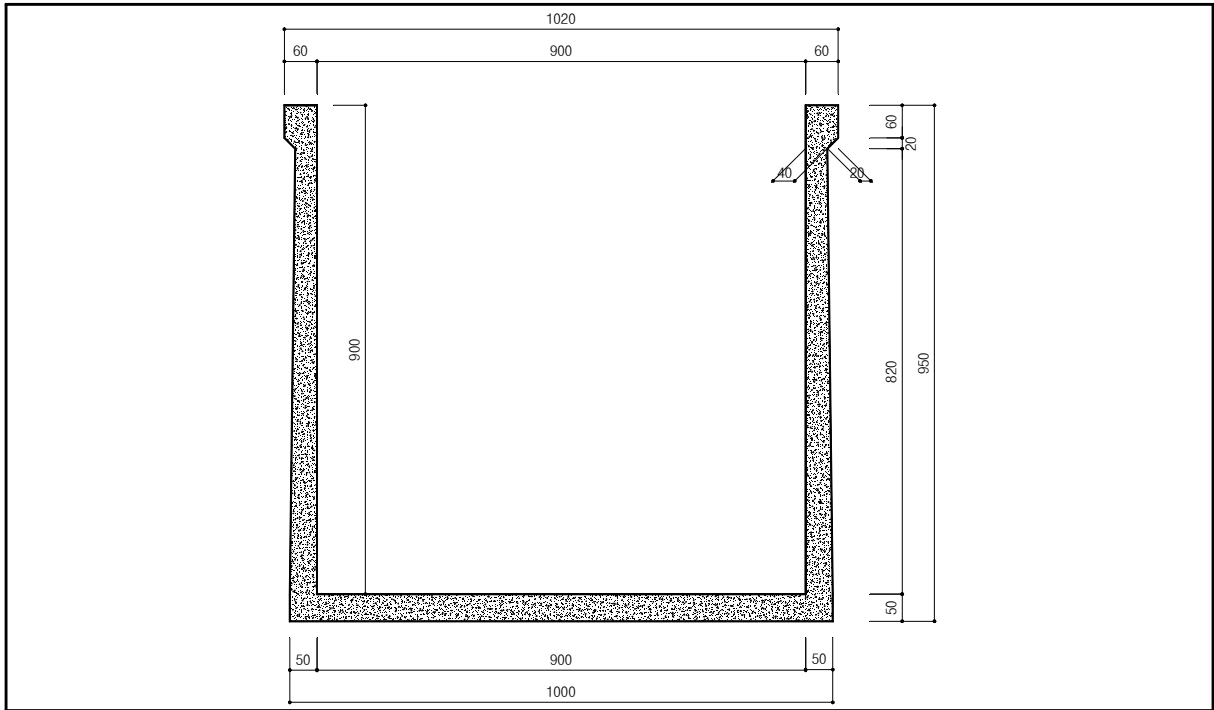
○L=10 m, 호칭 : 500 x 500



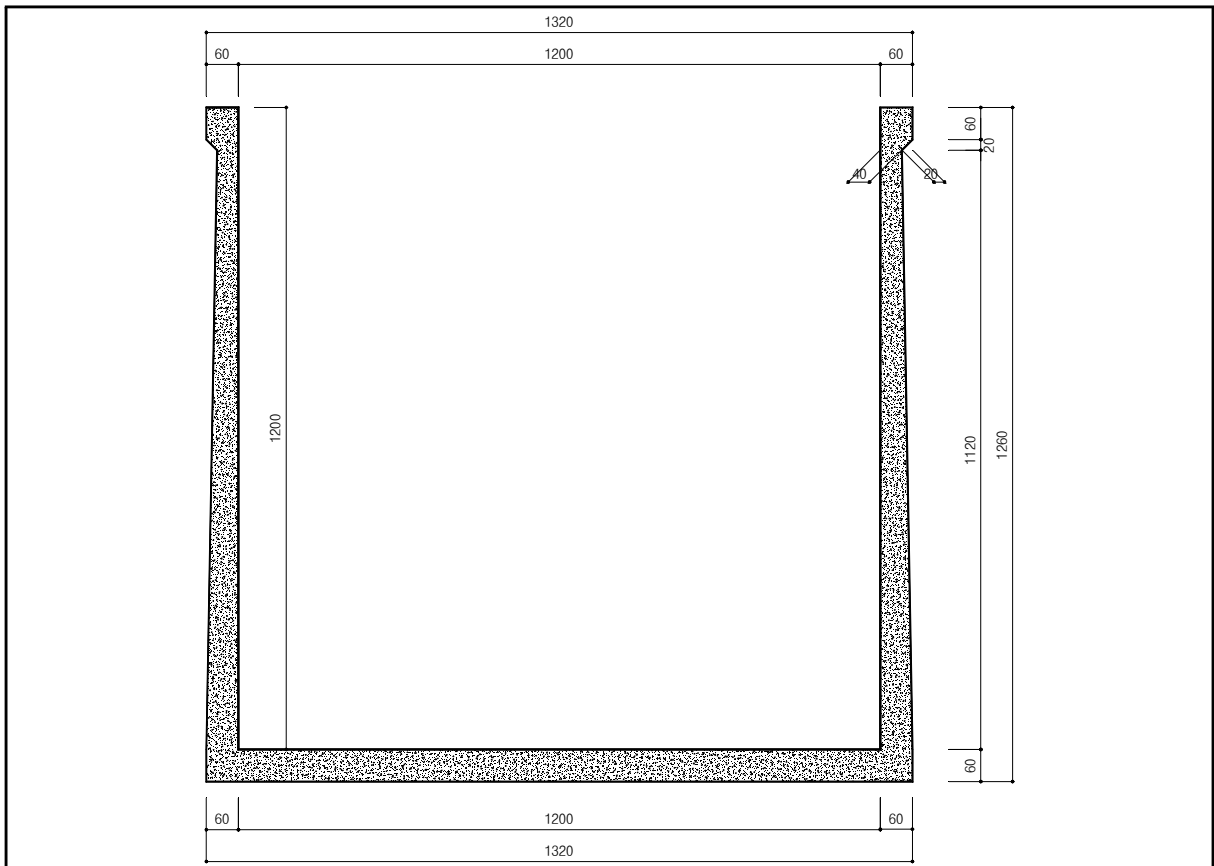
○L=10 m, 호칭 : 700 x 700



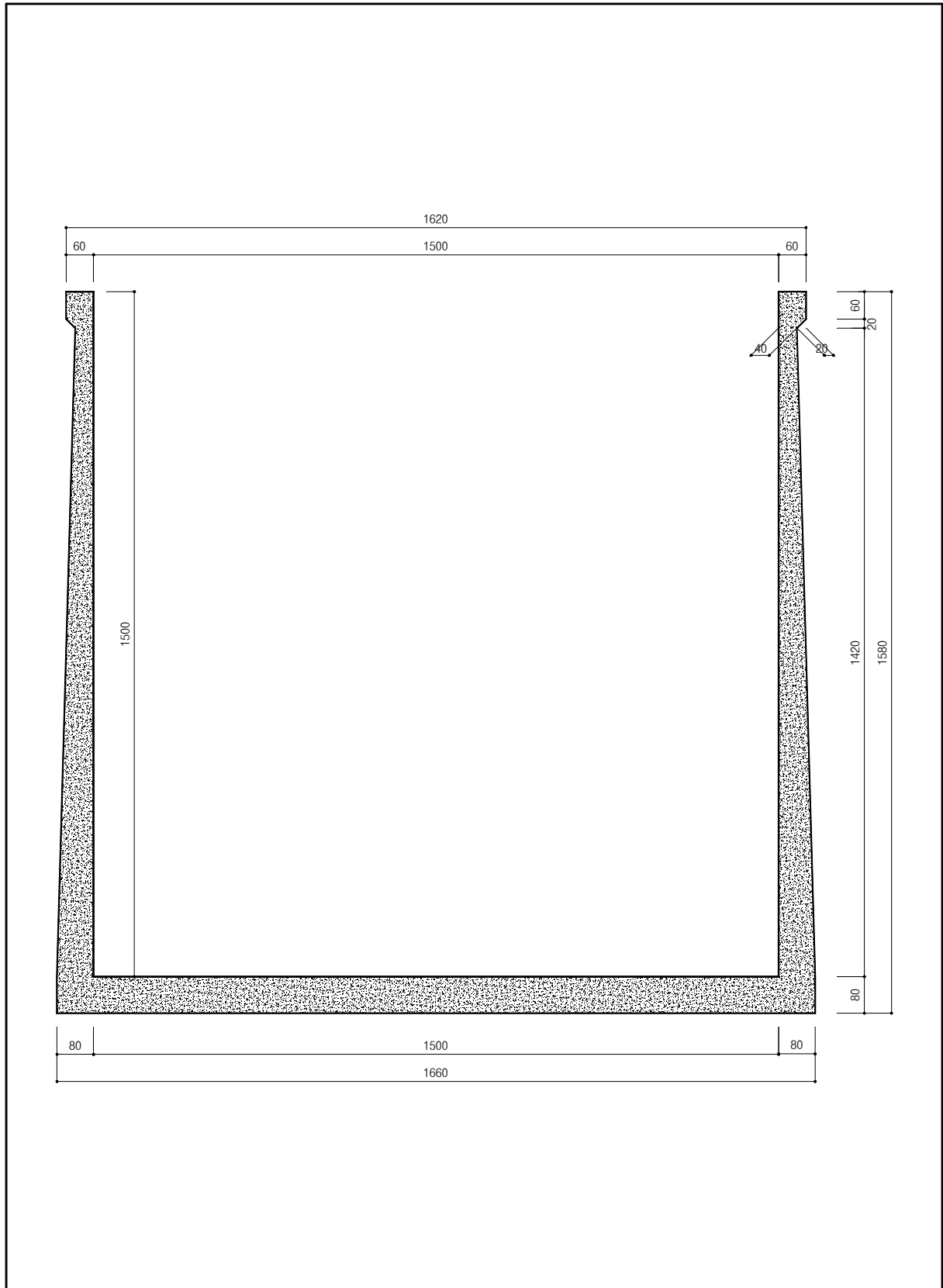
○L=10 m, 호칭 : 900 x 900



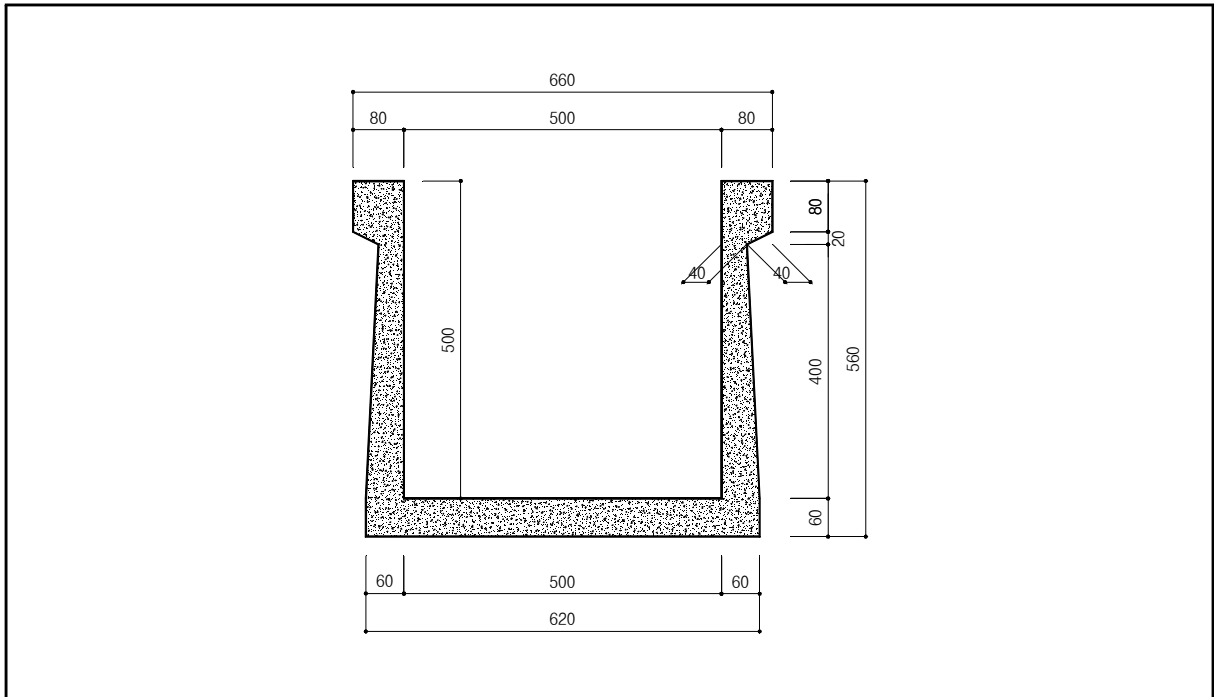
○L=10 m, 호칭 : 1,200 x 1,200



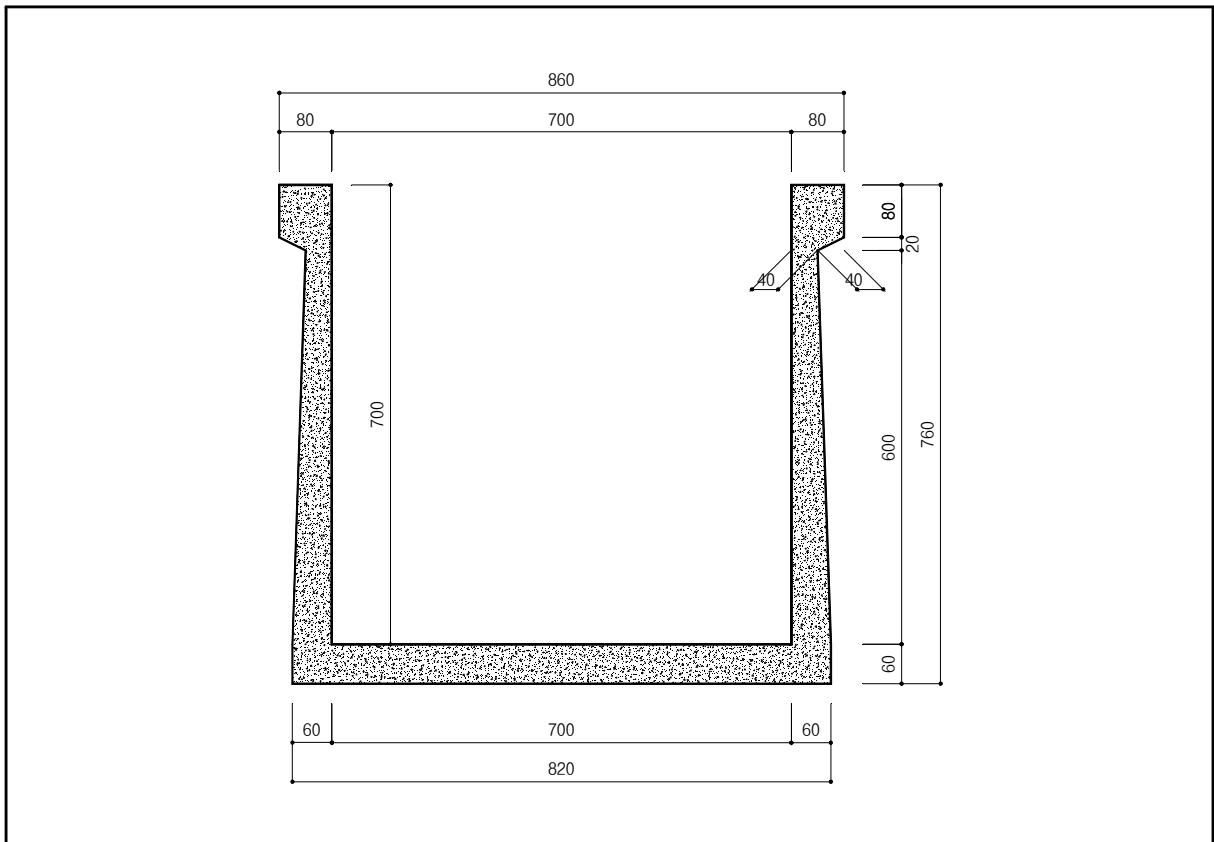
○L=10 m, 호칭 : 1,500 x 1,500



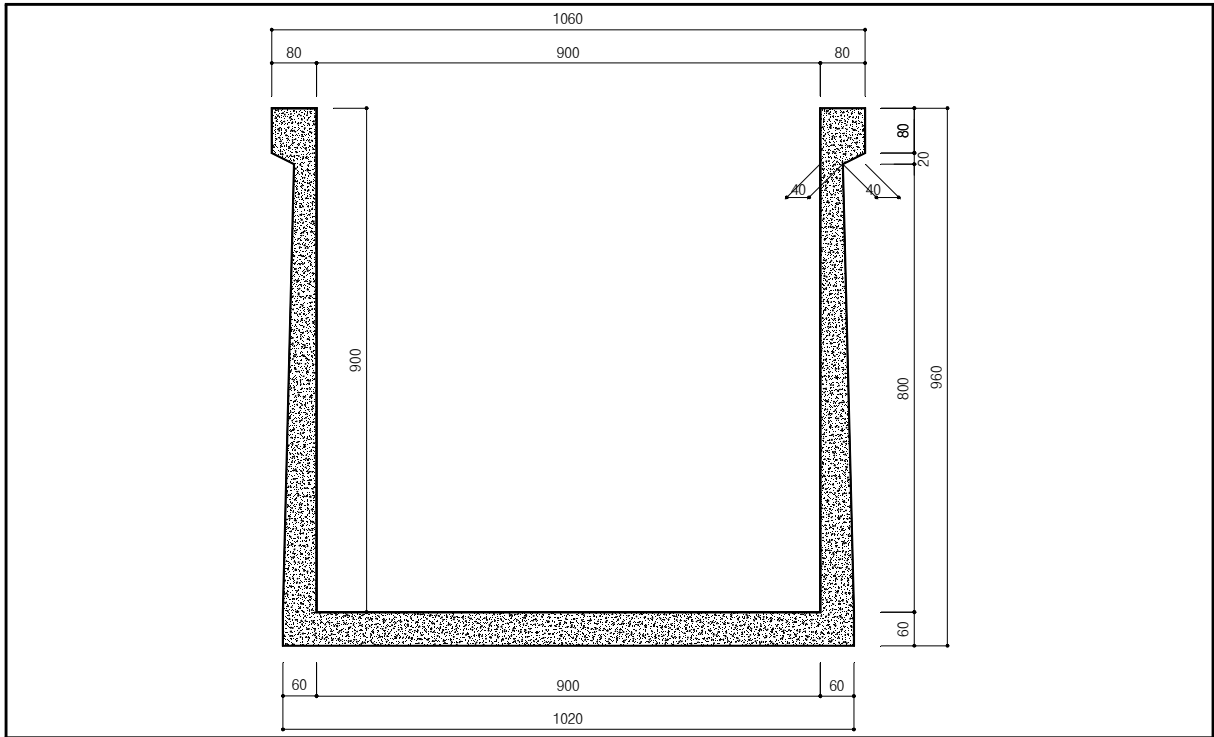
○L=15 m, 호칭 : 500 x 500



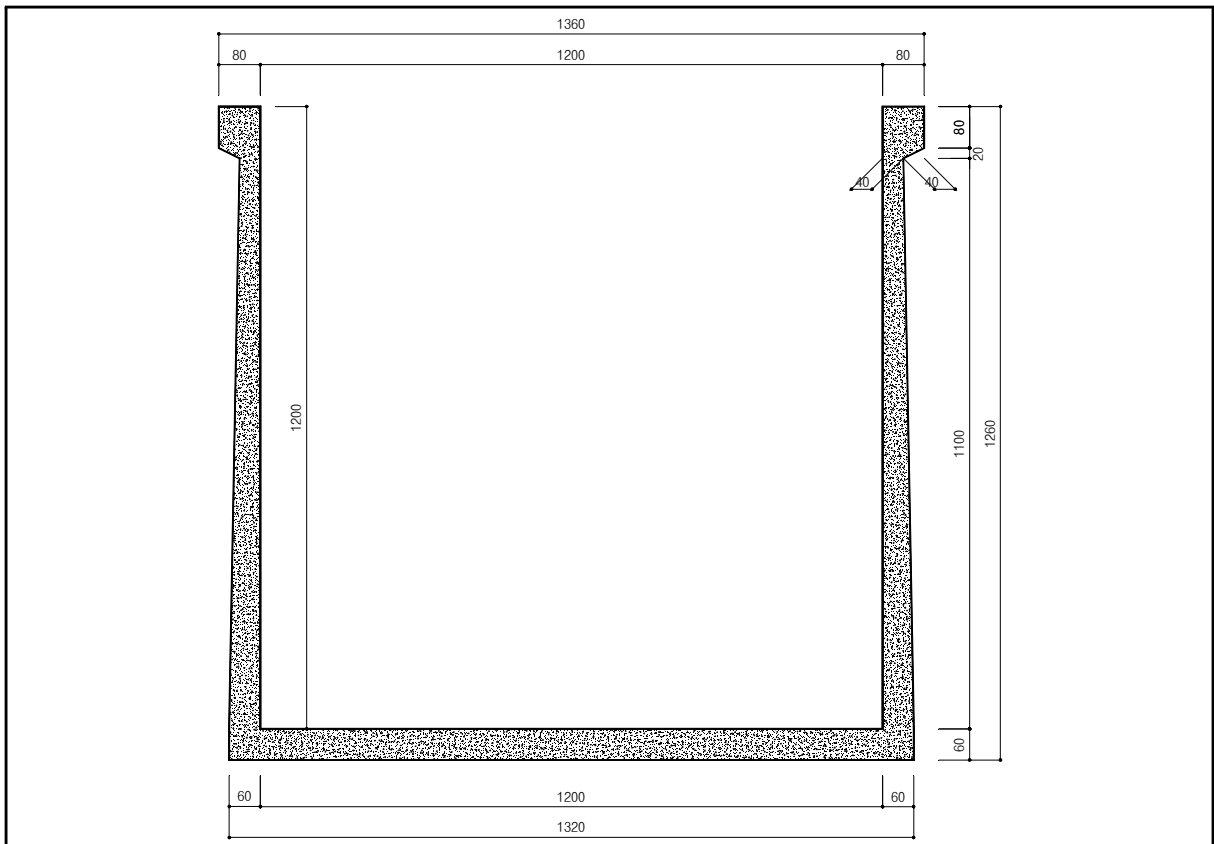
○L=15 m, 호칭 : 700 x 700



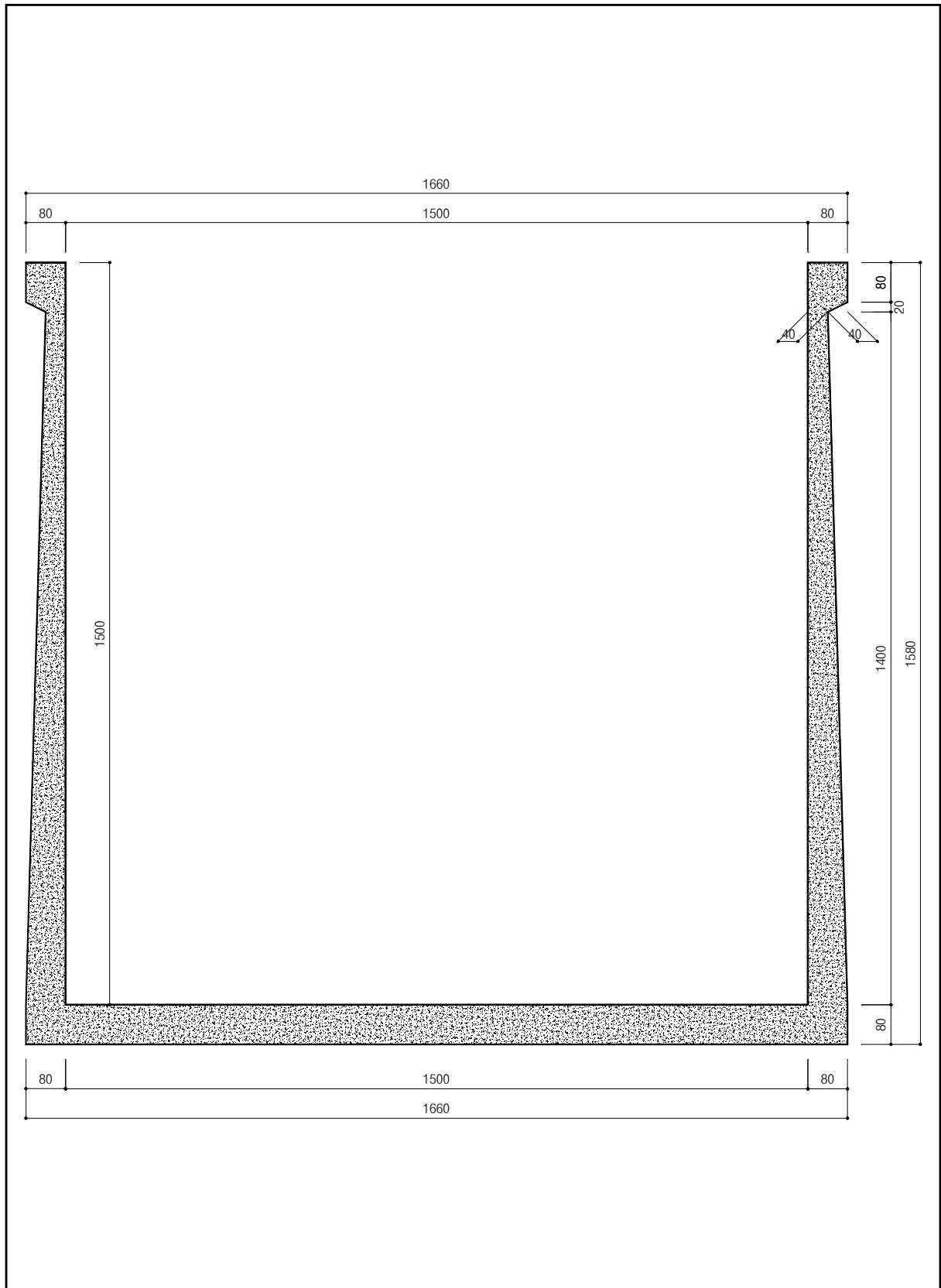
○L=15 m, 호칭 : 900 x 900



○L=15 m, 호칭 : 1,200 x 1,200



○L=15 m, 호칭 : 1,500 x 1,500



5. 결과 요약

본 연구에서는 설계조건에 따른 폴리머 콘크리트 수로교 개거부의 구조설계를 수행하였던 바, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 지간의 길이는 5.0 m, 10.0 m, 15.0 m 등 3가지였으며, 개거부의 단면은 500 x 500 mm, 700 x 700 mm, 900 x 900 mm, 1,200 x 1,200 mm, 1,500 x 1,500 mm 등 5가지로서 총 15가지의 경우에 대하여 검토 하였다.

(2) 이들 총 15가지의 경우에 대한 구조해석을 통해 적정 단면의 치수를 산출하였고 이를 표준단면도로 제시하였다.

(3) 본 연구결과에 의해 제시된 표준단면도는 폴리머 콘크리트를 이용한 수로교 개거부 설계시 적용 할 수 있는 유용한 자료이다.

제2절 실물재하시험

1. 연구목적

본 연구의 교체용 개거부와 라이닝용 패널을 각각 제작하고 이에 대한 현장 적용 가능성을 실제적으로 입증하는데 있다. 본 연구에서는 시험시공 대상지로 춘천시 신북읍 지내리 한계천 소재 지역을 선정 하였다. 개거부 교체 시험시공을 위해 기존의 노후 수로교(폭 70 cm, 높이 60 cm, 연장 30 m, 지간 10 m)에 적용 할 수 있도록 실물 시험체를 제작하였다. 그리고 내부 라이닝용으로 폴리머 콘크리트 패널(높이 56 cm, 길이 100 cm, 두께 2 cm)을 제작 하였다.

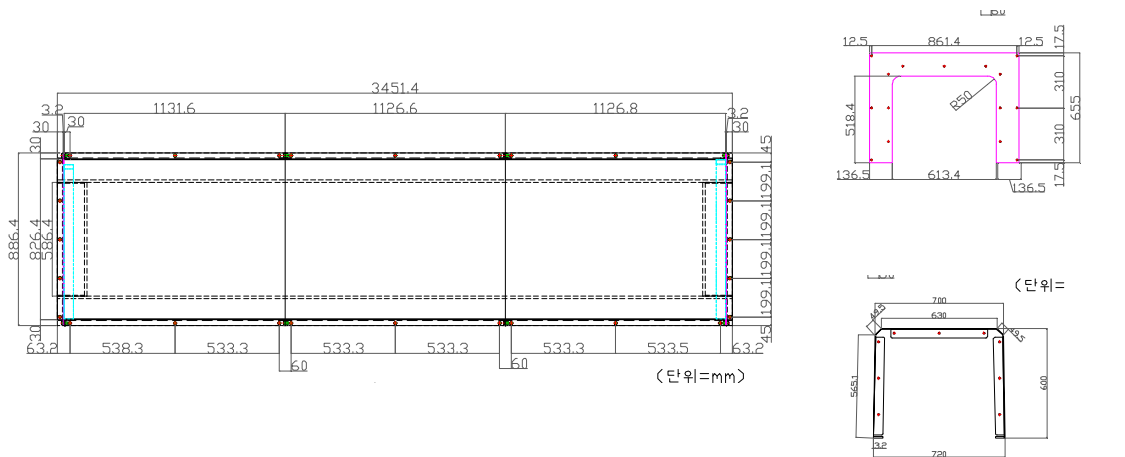
여기서는 구조적으로 문제가 될 수 있는 교체용 개거부에 대해서만 실물 재하시험을 실시하여 안전성을 검증 하였으며, 구조적으로 문제가 되지 않는 라이닝용 패널에 대해서는 재하시험을 실시하지 않았다.

2. 시험체 제작

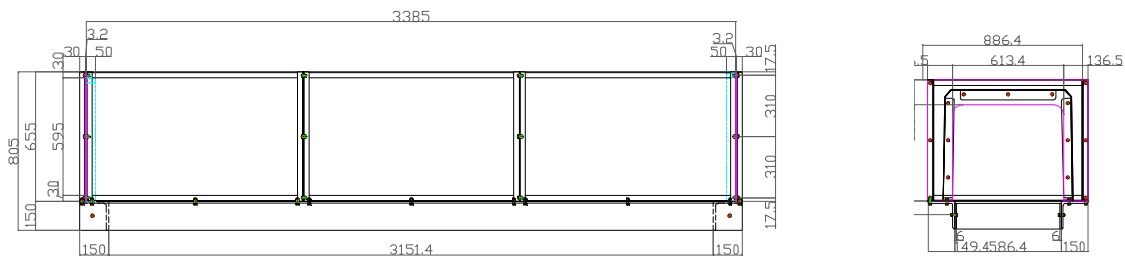
가. 몰드

프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품의 실물 시험체 제작용 몰드에 사용된 강판(SS400)은 탄소함유율 0.2~0.12%의 저탄소강으로서 두께는 3.2mm와 6mm 두 종류이다. 몰드의 길이는 3,385mm로 하였으며, 몰드의 구조도는 그림 5.7과 같고, 형상은 사진 5.1과 같다.

한편 조립해체 작업을 용이하게 하기 위해서 내부에는 턴버클(turn-buckle)을 설치하여 성형된 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품의 탈형이 쉽게 되도록 하였다.



1) 평면도



2) 측면도

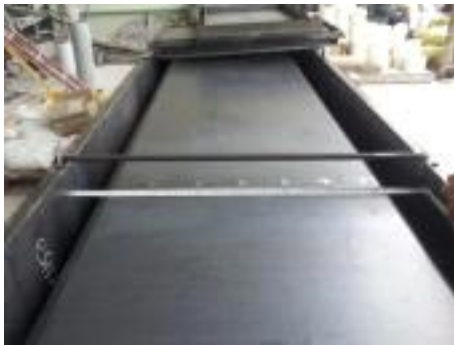
그림 5.7 몰드 구조도



1) 몰드 외면



2) 몰드 내면



3) 몰드 상부



4) 몰드 해체

사진 5.1 몰드의 형상

나. 시험체 제작

개거부 시험체는 시험시공 대상지 수로교의 지간이 10 m 이므로 1/3에 해당하는 3,300 mm의 길이를 갖는 시험체 3개를 제작하여 접합하는 방법을 택하였다. 그 이유는 길이가 10 m인 시험체는 제작 작업이 매우 어려우며, 몰드의 제작 비용도 많이 소요되어 제작 단가가 높아지기 때문이다. 제작 수량은 교량지간 30 m에 시공 할 수 있도록 3,300 mm 길이의 시험체 9개를 제작 하였다.

그림 5.8 및 표 5.1에 단면 형상 및 시험체의 칫수를 나타내었고, 그림 5.9와 사진 5.2에 제작과정을 나타내었다.

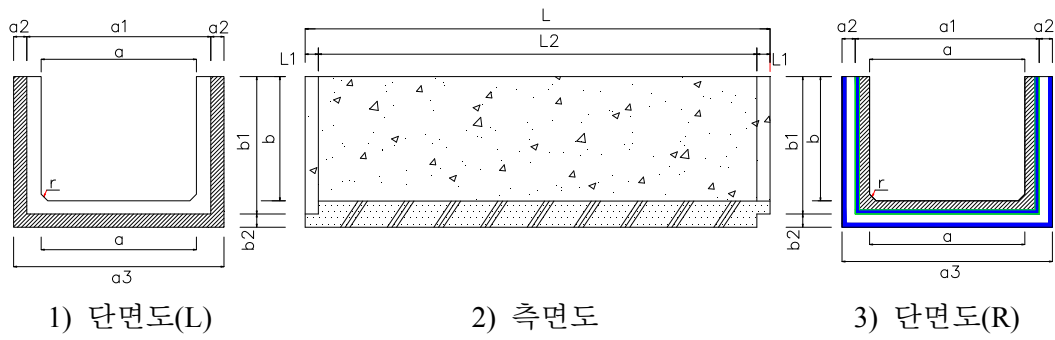


그림 5.8 시험체의 단면 형상

표 5.1 시험체의 치수

치수(mm) (a×b)	L	L1	L2	a	a1	a2	a3	b	b1	b2	r
700×600	3,300	50	3,200	700	725	25	820	600	625	25	50

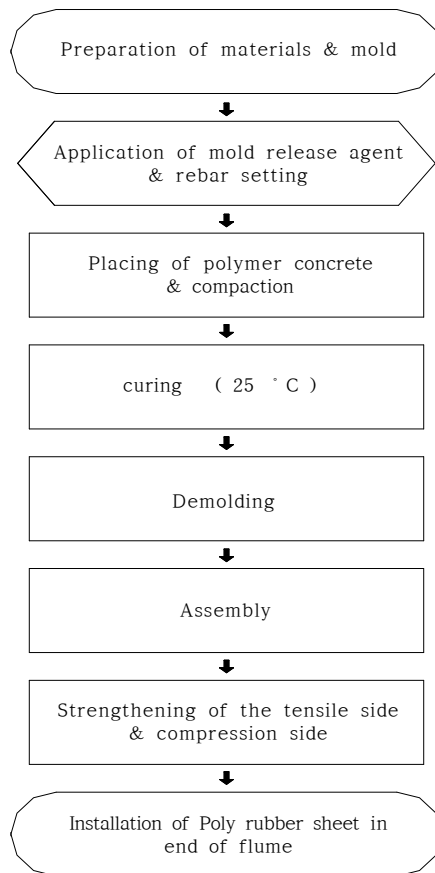


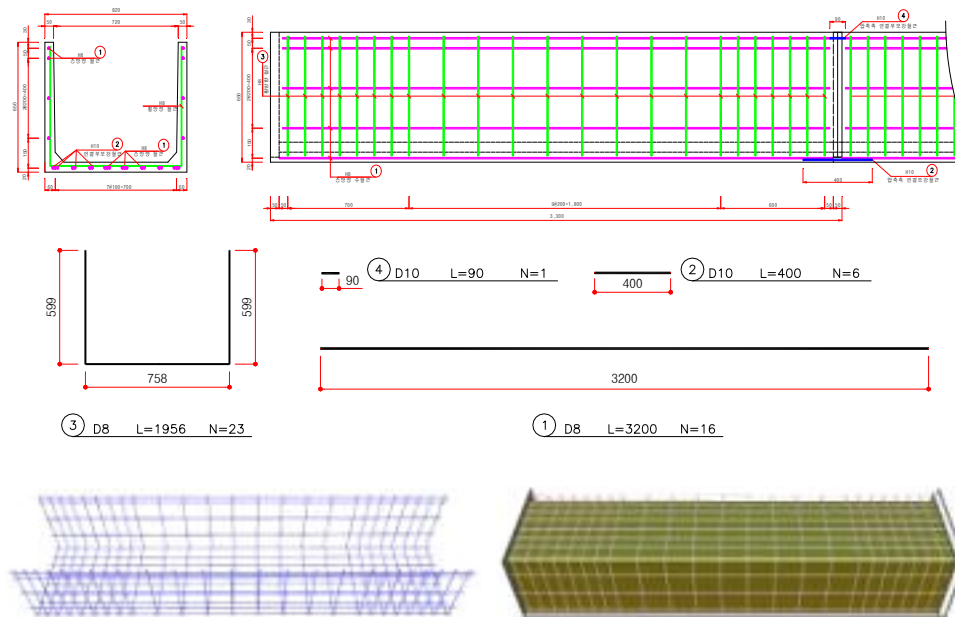
그림 5.9 시험체의 제작과정 흐름도

다. 철근가공 조립

구조해석 결과에 의하면 철근을 사용하지 않아도 구조적으로 안전하나 운반 및 시공시에 발생 할 수 있는 균열이나 파손을 방지하고, 특히 Segment 연결시 용접에 의한 철근 보강이 효율적이며 이를 위해서는 철근배근이 필수적이기 때문에 최소량의 보강용 철근을 사용하였다.

주철근은 D8 mm, 인장측과 압축측의 보강철근은 D10 mm 이형철근으로 그림 5.10과 같이 가공조립 하였으며, 총 소요 철근량은 표 5.2와 같다.

철근은 폴리머 콘크리트를 타설할 때 움직이지 않도록 결속선을 이용하여 견고하게 조립하였고, 인장측 하단부의 피복두께를 유지하기 위하여 스페이서를 설치하였다.



1) 철근 조립 (L=3,385 mm) 2) 몰드내 설치(L=3,385 mm)

그림 5.10 철근의 조립 및 설치

표 5.2 소요 철근량 산출

부호	호칭	길이 (m)	개수	총길이 (m)	단위중량 (kg/m)	중량(kg) (1-Segment)	총중량(kg) (3-Segment)
계						55.31	170.5
①	D8	3.2	16	51.2	0.56	28.67	86.01
②	D10	0.4	6	2.4	0.56	1.34	4.02
③	D8	1.956	23	44.988	0.56	25.19	75.57
④	D10	0.09	2	0.18	0.56	0.100	0.3

라. 폴리머 콘크리트 타설

폴리머 콘크리트 타설은 연속적인 타설작업이 가능하고, 콜드조인트(cold joint)가 발생하지 않도록 하기 위해 수로교 측벽 상단 압축측이 바닥에 놓이도록 몰드를 거꾸로 뒤집어 놓은 상태에서 타설하였다.

마. 표면마무리 및 다짐

프리카스트 폴리머 콘크리트 제품은 단면의 두께가 작아 내부 진동기를 사용할 수 없으므로 타설 후 탁상식 바이브레이터로 운반하여 진동 다짐작업을 실시하였다.

한편, 표면부는 인력에 의한 흠손 마무리로 표면부의 기포를 제거하면서 정확한 치수가 되도록 매끈하게 마무리하였다.

바. 탈형 및 양생

5시간 정도 실내(25℃)에서 양생시킨 후 외측 몰드를 먼저 해체하고, 내측은 내부에 설치된 턴버클(turn-buckle)을 작동시켜 탈형한 후 실외로 운반하여 1주일간 기건 양생하였다.

사. 실물 시험체 조립

각 Segment의 접합을 위해 표면부를 연마 처리하고, 연결부(3.33 m 개거부의 양연결부)의 충분한 부착강도 및 수밀성 확보를 위해 에폭시 수지를 도포한 후 조립하였다.



1) 이형제 도포



2) 철근 설치



3) 폴리머 콘크리트 타설



4) 진동 다짐

사진 5.2 시험체의 제작 과정(계속)



5) 실내 양생



6) 탈형한 시험체



7) 시험체 이동



8) 실외 양생



8) 에폭시 도포



9) 시험체 조립

사진 5.2 시험체의 제작 과정

아. 인장축 및 압축축 보강

조립이 끝난 시험체의 연결부(3.33 m 개거부의 양연결부)는 인장 및 압축 철근을 그림 5.11~5.12와 같이 보강철근(철근기호 ②번, ④번)으로 연결하여 10 m 길이의 스팬(span)을 완성하였다. 인장축 및 압축축 철근 보강과 제작 과정을 단계별로 나타내면 그림 5.13~5.14 및 사진 5.3~5.4와 같다.

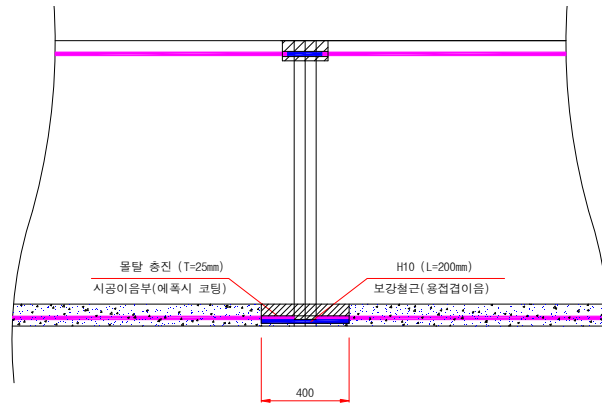


그림 5.11 철근에 의한 인장측과 압축측 보강

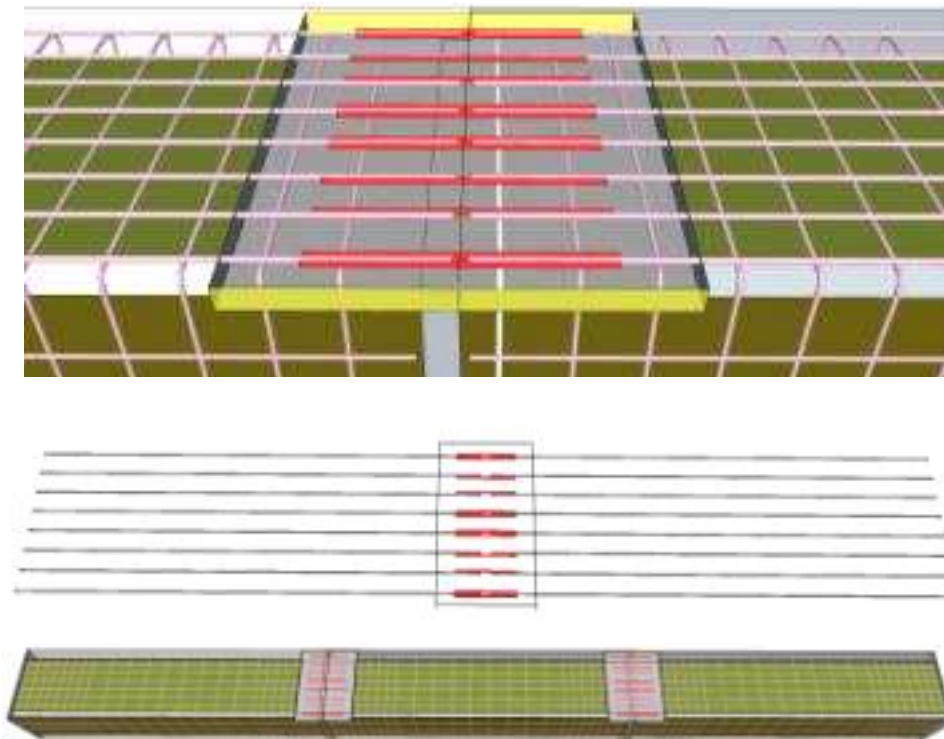


그림 5.12 인장측과 압축측의 연결부 보강 상세도

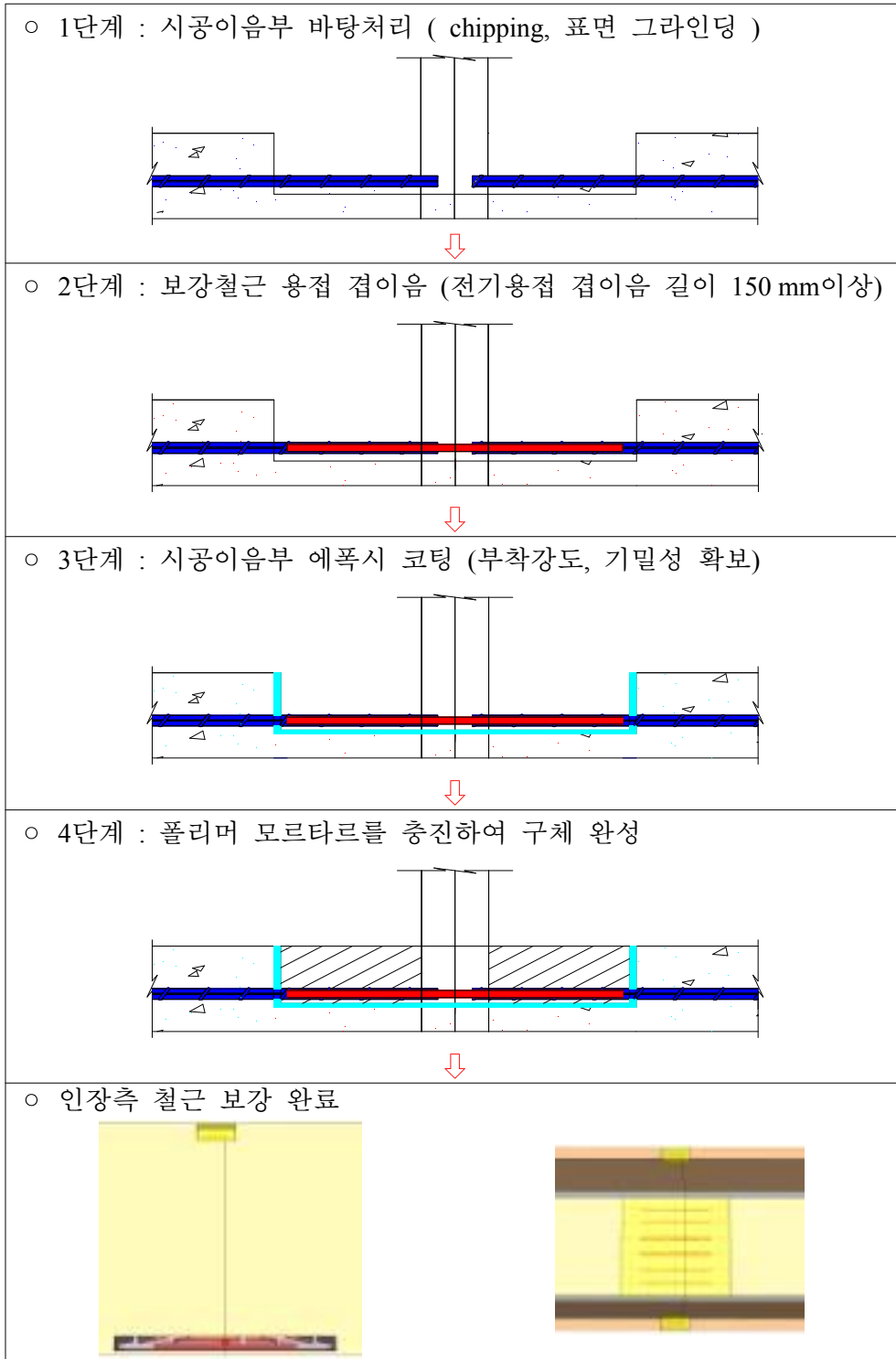


그림 5.12 인장축 보강 작업 단계



1) 이물질 제거



2) 표면부 연마



3) Segment 조립



4) 연결용 철근 설치



5) 철근 용접



6) 인장축 연결 완성

사진 5.3 인장축 연결작업 과정

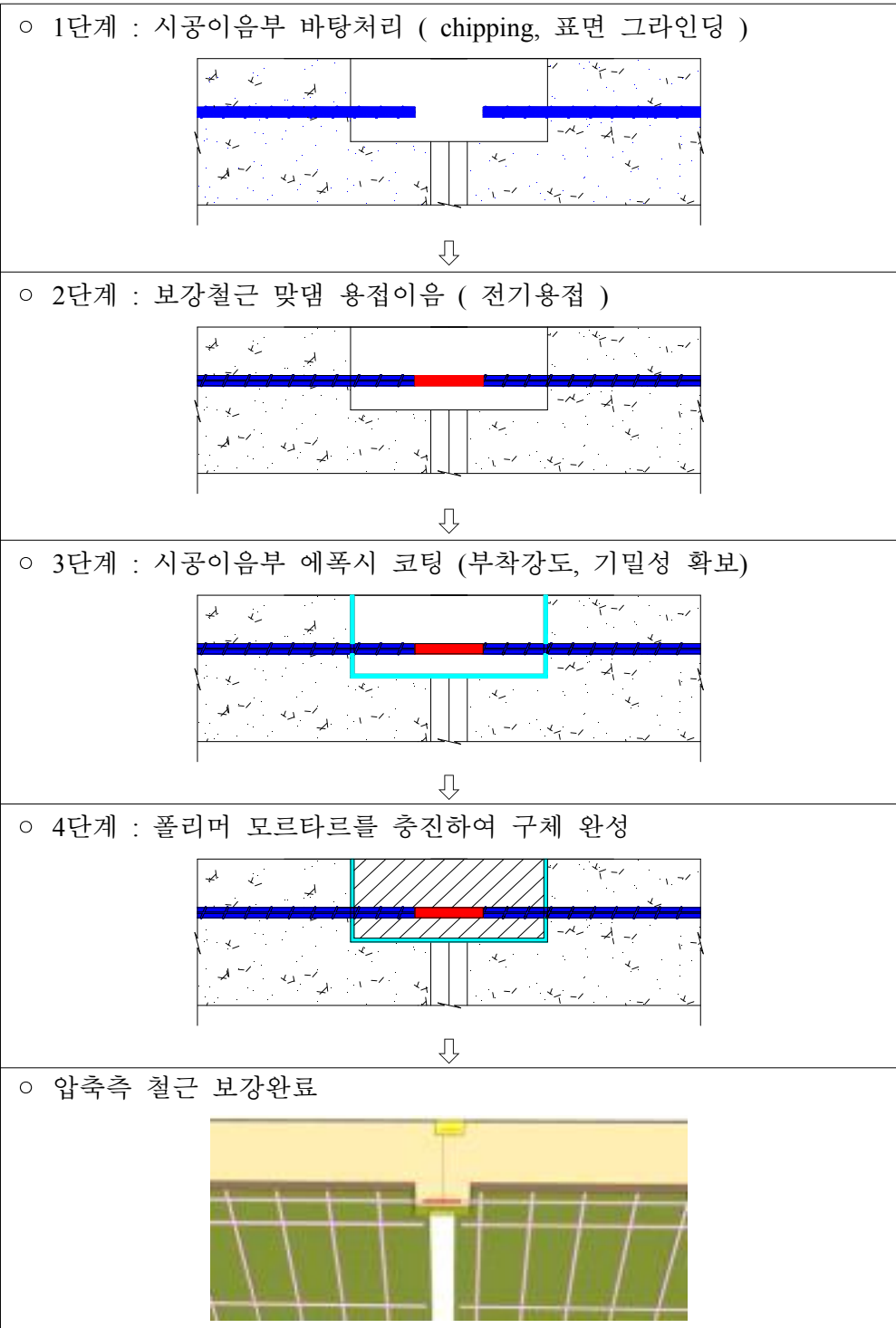


그림 5.14 압축측 보강 작업 단계



1) 표면부 연마



2) Segment 조립



3) 철근 용접



4) 압축측 연결 완성

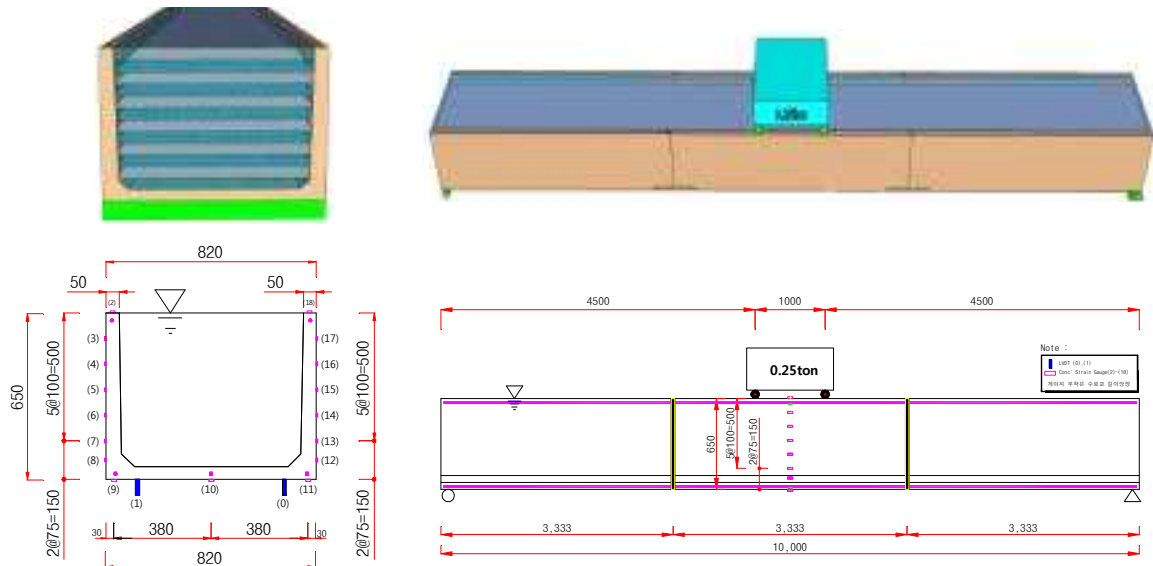
사진 5.4 압축측 연결작업 과정

3. 재하시험

프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품의 재하시험은 10m로 제작된 실물 시험체를 단순 지지상태에서 시험하였다. 이를 위해 그림 5.15와 같이 변위계(LVDT)를 인장측 하부에 2개 설치하였고, 스트레인 게이지를 인장측 하부에 3개, 압축측 상단 양쪽에 각 1개, 측벽 외부 양면에 각 6개씩 총 17개를 부착하였다.

한편, 현장과 동일한 재하 조건을 만들기 위해 만수위가 될 때까지 물을 채우면서 물이 50mm 채워질 때 마다 처짐과 변형률을 측정하였다. 그리고 안전성을 고려하여 0.25 ton의 추가하중을 스패의 중앙부에 2점 재하시켰으며, 이 때의 처짐과 변형률도 측정하였다.

사진 5.5에 실물시험체에 대한 재하시험 과정을 나타내었다.



(0),(1) = LVDT
 (2)~(18) = strain gauge

1) LVDT 설치 및
 게이지 부착

2) 하중 재하도

그림 5.15 재하시험 개요도



1) 시험체 거치 1



2) 시험체 거치 2



3) 스트레인 게이지 부착



4) 데이터 로거 연결

사진 5.5 재하시험 과정도 (계속)



5) LVDT 설치



6) 물 채우기



7) 추가하중 재하 (0.25ton)



8) 처짐 및 변형률 측정

사진 5.5 재하시험 과정도

4. 처짐 및 변형 특성

가. 처짐특성

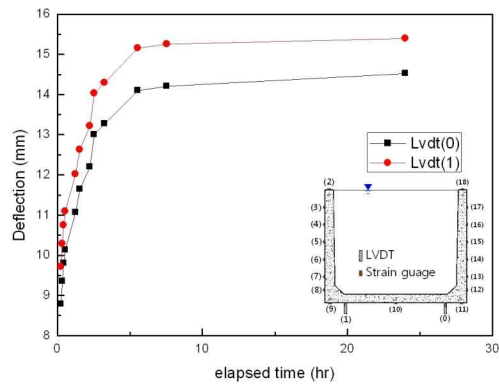


표 5.16 경과시간에 따른 처짐곡선

재하시험은 실물시험으로서 단순보 형태로 지지된 시험체에 물에 의한 하중과 안전성을 고려한 추가하중을 재하시켜 24시간이 경과될 때까지 하중-변위 관계를 시험하였다.

그림 5.16은 경과시간에 따른 처짐곡선으로서 재하 시작부터 6시간까지(재하는 3시간에서 종료됨)는 재하하중의 증가에 따라 처짐량의 증가폭이 컸으나 그 이후에는 처짐량이 거의 증가하지 않는 것으로 나타났다. 이 그림에서 얻어진 최대 처짐량은 표 5.3과 같다.

그 결과 인장측의 처짐은 물을 채우기 시작하는 재하 초기부터 만수가 될 때까지는 증가하는 경향을 보였으나 추가하중 재하시에는 증가폭이 둔화되었으며, 재하 후 6시간 부터 24시간이 경과될 때까지는 처짐량이 14.52~15.39 mm 범위에서 수렴하는 경향을 보였다.

이 처짐값을 시멘트 콘크리트의 허용 처짐값($L/360 = 27.7$ mm)와 비교해 보면 매우 작은 값으로서 구조적으로 충분히 안전함을 확인 할 수 있다.

표 5.3 최대 처짐량 측정 결과

측정위치	만수위시		추가하중 재하시		24시간 경과후	
	하중 (kN)	변위량 (mm)	하중 (kN)	변위량 (mm)	하중 (kN)	변위량 (mm)
LVDT (0)	260.78	7.92	480.30	8.785	480.30	14.52
LVDT (1)	260.78	8.62	480.30	9.715	480.30	15.39

나. 변형특성

앞에서 언급한 바와 마찬가지로 변형률 시험도 물 하중과 추가하중을 재하하고 24시간 경과 될 때까지 데이터를 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

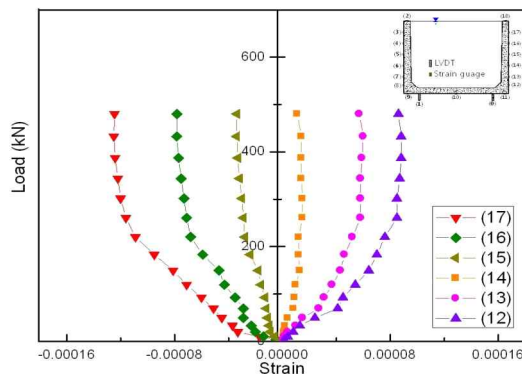


그림 5.17 벽체의 하중-변형률 곡선

(1) 벽 체

그림 5.17에서 수로교 측벽의 하중-변형률 곡선은 물을 넣기 시작한 재하 초기부터 만수위가 될 때까지는 급격히 증가하는 경향을 보였으나 추가하중 재하 후에는 증가폭이 둔화하는 경향을 보이고 있다.

한편, 구조해석 시 계산된 단면의 중립축 깊이는 수로교 인장측으로부터 Y축 방향으로 218 mm지점이었으나 실험 결과 250 mm 지점에 부착한 게이지(6)·(14)에서 변형률이 극히 작은 것으로 보아 이 지점에 중립축이 형성됨을 알 수 있다.

각 지점에서 측정된 변형률의 최대값은 표 5.4와 같다.

표 5.4 수로교 벽체의 하중-변형률 최대값

측정위치	만수위		추가하중 재하		비 고
	하중 (kN)	변형률	하중 (kN)	변형률	
Guage (3)	260.78	-0.000146	480.30	-0.000159	압축측
Guage (4)	260.78	-0.000100	480.30	-0.000136	"
Guage (5)	260.78	-0.000054	480.30	-0.000061	"
Guage (6)	260.78	-0.000008	480.30	-0.000015	중립축
Guage (7)	260.78	0.000043	480.30	0.000043	인장측
Guage (8)	260.78	0.000079	480.30	0.000085	"
Guage (12)	260.78	0.000085	480.30	0.000086	"
Guage (13)	260.78	0.000058	480.30	0.000059	"
Guage (14)	260.78	0.000015	480.30	0.000014	중립축
Guage (15)	260.78	-0.000028	480.30	-0.000034	압축측
Guage (16)	260.78	-0.000068	480.30	-0.000078	"
Guage (17)	260.78	-0.000109	480.30	-0.000125	"

(2) 인장측 및 압축측

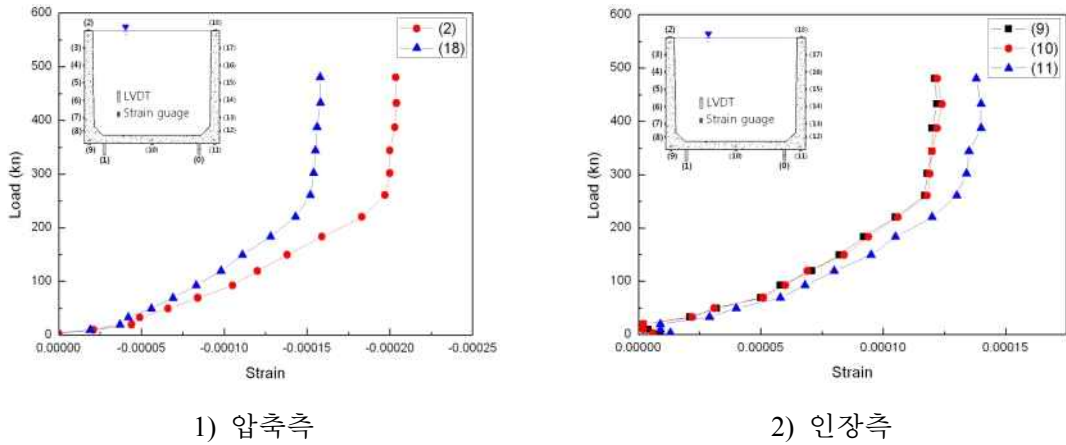


그림 5.18 하중-변형률 곡선

그림 5.18은 압축측과 인장측에서의 하중-변형률 곡선을 나타낸 것이며, 변형률의 최대값은 표 5.5와 같다.

이 결과에서 인장측 및 압축측의 변형률은 재하초기부터 만수위에 도달할 때까지 증가하였으나 추가하중 재하 후에는 압축측에서 0.000158~0.000203이고, 인장측에서 0.000121~0.000140으로서 변형이 거의 일어나지 않음을 알 수 있다.

이 결과를 시멘트 콘크리트의 극한 변형률 0.003과 비교해 보면 아주 작은 값을 알 수 있으며, 폴리머 콘크리트의 극한 변형률 0.008과 비교해 보면 매우 작은 값으로서 안전성 측면에서 아무런 문제가 없음을 확인 할 수 있다.

표 5.5 압축측과 인장측에서 하중, 변형률의 최대값

구분	측정위치	만수위		추가하중 재하	
		하중(kN)	변형률	하중(kN)	변형률
압축측	Guage (2)	260.78	-0.000197	480.30	-0.000203
	Guage (18)	260.78	-0.000152	480.30	-0.000158
인장측	Guage (9)	260.78	0.000117	480.30	0.000121
	Guage (10)	260.78	0.000180	480.30	0.000122
	Guage (11)	260.78	0.000130	480.30	0.000140

5. 결과 요약

(1) 인장측의 처짐은 물을 채우기 시작하는 재하 초기부터 만수가 될 때까지는 증가하는 경향을 보였으나 추가하중 재하시에는 증가폭이 둔화되었으며, 재하 후 6시간 부터 24시간이 경과될 때까지는 처짐량이 14.52~15.39 mm 범위에서 수렴하는 경향을 보였다.

이 처짐값을 시멘트 콘크리트의 허용 처짐값 ($L/360 = 27.7$ mm)와 비교해 보면 매우 작은 값으로서 구조적으로 충분히 안전함을 알 수 있다.

(2) 인장측 및 압축측의 변형률은 재하초기부터 만수위에 도달할 때까지 증가하였으나 추가하중 재하 후에는 인장측에서 0.000121~0.000140이고, 압축측에서 0.000158~0.000203로서 변형이 거의 일어나지 않음을 알 수 있다.

이 결과를 시멘트 콘크리트의 극한 변형률 0.003과 비교해 보면 아주 작은 값을 알 수 있으며, 폴리머 콘크리트의 극한 변형률 0.008과 비교해 보면 매우 작은 값으로서 안전성 측면에서 아무런 문제가 없음을 알 수 있다.

(3) 이상에서와 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품에 대한 현장 적용을 위해 실물 구조 시험을 실시한 결과 처짐량과 변형률 모두 허용범위 내에 있어 구조적으로 충분히 안전함을 알 수 있었으며, 이로써 현장 시험시공 시 문제가 없을 것임을 확인 할 수가 있었다.

제 6 장 리모델링 현장적용 기술 개발

제1절 현장 시험 시공

1. 대상지 선정

가. 현 황

시험시공 대상 수로교는 춘천시 신북읍 신동 지내저수지 주변의 631-3(구)번지 인근 한계천(지방2급 하천)을 횡단하고 있는 1980년에 건설된 총 연장 30 m(10 m x 3 span)인 노후된 철근콘크리트 수로교이다. 사진 6.1은 지적도상에 상세한 위치를 나타낸 것이다. 기존의 수로교는 그림 6.2의 춘천시 한계천 하천정비기본계획(강원도 고시 제2002-17호(2000.12))의 종단면 위치 .7+100 지점에 30 m 길이로 설치되어 있으며, 계획 홍수위는 EL 84.04 m이다.

한편, 노후된 콘크리트 개거가 노후 수로교에 인접하고 있어 라이닝용 패널을 이용한 리모델링을 연속적으로 시험시공 가능한 유리한 입지조건을 가지고 있다.



사진 6.1 시험 시공 대상지

2. 하천정비 기본계획 검토

가. 규모의 결정

(1) 시공대상 수로교의 규모 결정

(가) 종단 계획고는 그림 6.3에서 No.7+100 지점의 EL 84.04로 결정

(나) 수로교의 연장은 표 6.1 및 6.2의 계획 하폭에 따라 30 m로 결정

(다) 단면의 크기는 기존과 동일한 크기(H=600 mm × B=700 mm)로 결정

표 6.1 한계천 하천정비기본계획 요약

구 분	요 약
하천등급	지방 2 급
과업연장	4.90 km
유역면적 및 유로장	5.90 km ² , 유로장 5.03 km
과업시·중점	시점 : 춘천시 신복읍 지내리 중점 : 춘천시 신동(북한강 합류점)
우량관측소	춘천관측소(기상청)
강우자료 보유기간	1966~1999년(33개년)
유량 (m ³ /sec)	풍수량(0.17), 평수량(0.08), 저수량(0.05) 갈수량(0.02), 기준 갈수량(0.01)
수질현황	1차조사 - VI급수(2000. 10. 14), 2차조사 - III급수(2000. 11. 23)
하천개수실적	요개수연장 : 8.80 km, 기개수연장 : 3.27 km 금회개수연장 : 6.98 km
확률강우량	춘천관측소 33개년 일최대 강우자료 이용 확률강우분포형 : Gumbel-Chow 채택 빈도별 확률강우량(mm) : 20년(245.6), 30년(264.7), 50년(288.6) 80년(310.5), 100년(320.9), 150년(339.7)
확률홍수량	Clark 유역추적법 채택 기본 및 계획 홍수량(m ³ /sec) : 하구지점(166), 한계교 지점(157), 신동 7낙차공 지점(131), 지내천 합류전(75), 상교 지점(52)
평형하상고	安藝皎一 방법 채택
조도계수	0.030 ~ 0.038
계획하폭	15~30 m
개수지구	자연석 : 신동 1지구, 신동 2지구, 신동 3지구, 지내 1지구 돌망태 : 지내 2지구, 지내 3지구 석 축 : 지내 4지구, 지내 5지구 홍 벽 : 보축 1 총개수지구 연장 : 6,980 m, 보축 연장 : 900 m
배수시설물	계획 배수시설물 : 19개소
교량능력검토	10개 교량 개수 요망

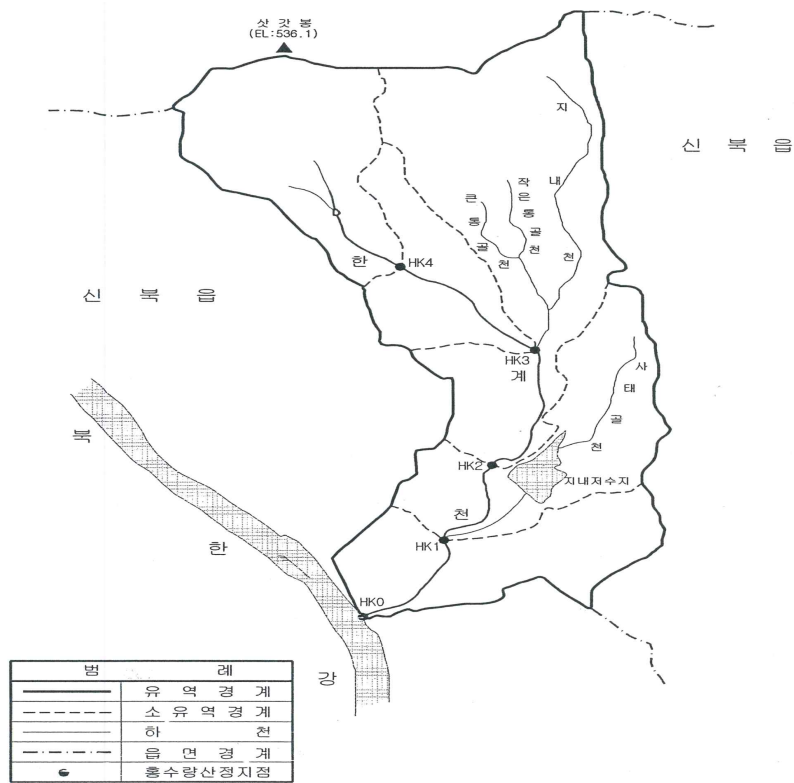


그림 6.1 한계천 홍수량 산정 지점도

표 6.2 한계천 하천계획 하폭 산정

하천명	산정 지점	계획 유량 (m ³ /s)	유역 면적 (km ²)	하상 경사	산정방법별 하폭 (m)				현하폭 (m)	계획 하폭 (m)
					식(1)	식(2)	식(3)	식(4)		
한계천	HK0	166	8.90	0.0065	40~60	32.0	30.0	32.0	19~119	30
	HK1	157	7.54	0.0124	40~60	22.0	27.0	31.0	14~22	25
	HK2	131	5.88	0.0094	40~60	24.0	24.0	28.0	14~23	25
	HK3	75	2.60	0.0252	40~60	11.0	15.0	19.0	5~15	20
	HK4	52	1.60	0.0782	40~60	5.0	11.0	15.0	6~18	15

주) 식(1) : 하천시설기준, 식(2) : 金山의 중소하천공식(중부지방)
 식(3) : 「소규모시설 설계지침」의 유역면적
 식(4) : 「소규모시설 설계지침」의 홍수량 기준

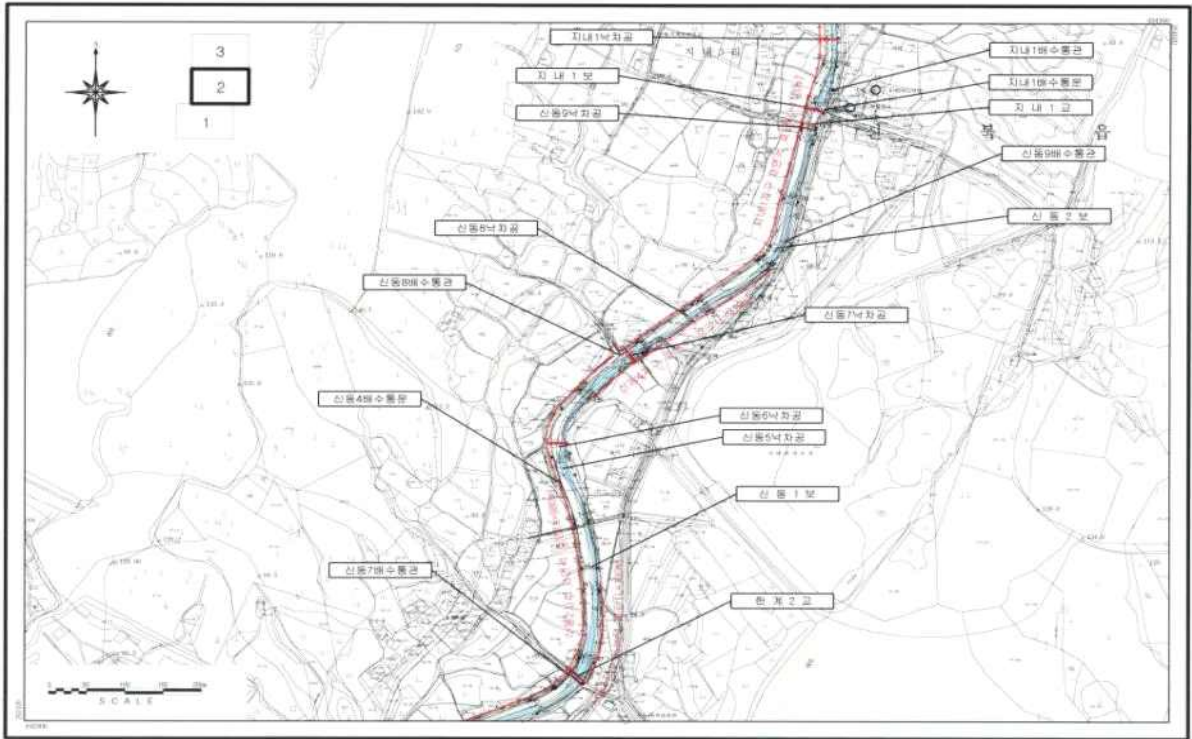


그림 6.2 한계천 하천정비 기본계획 평면도

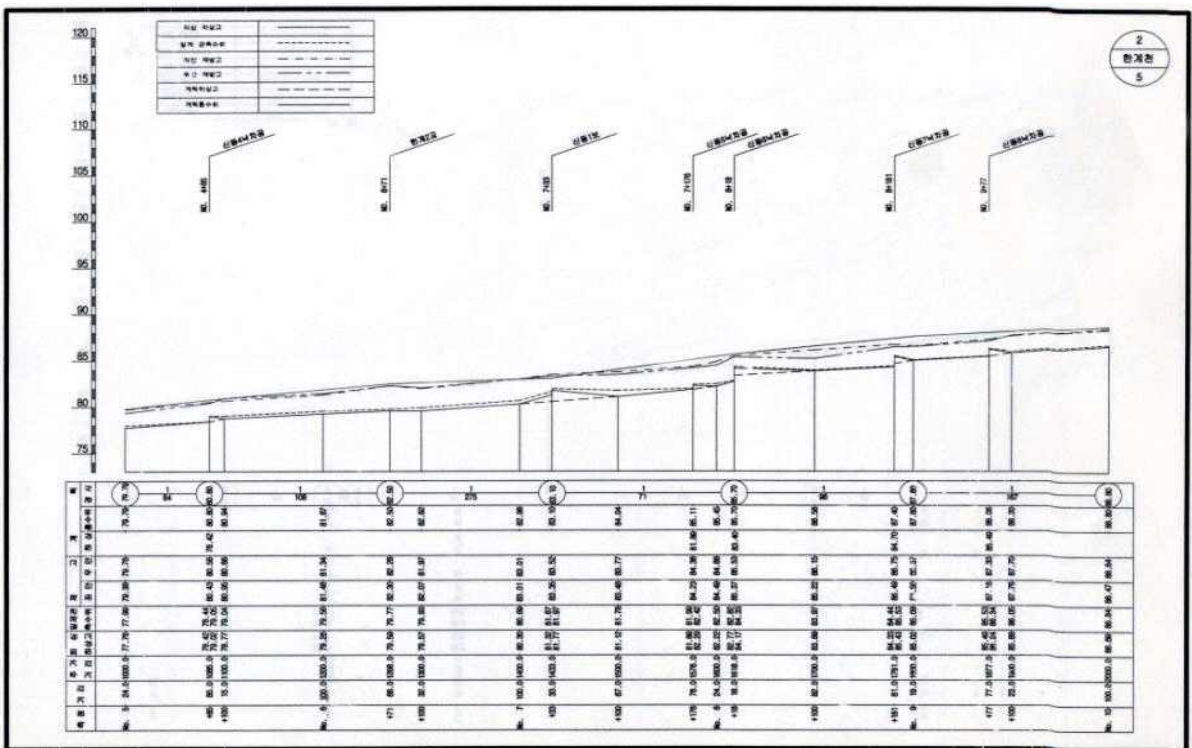


그림 6.3 한계천 하천정비 기본계획 종단계획도

나. 측량

(1) 평면 계획

축척 1/1000의 항공측량 지도를 활용하여 리모델링 수로교의 평면 계획을 하였다.

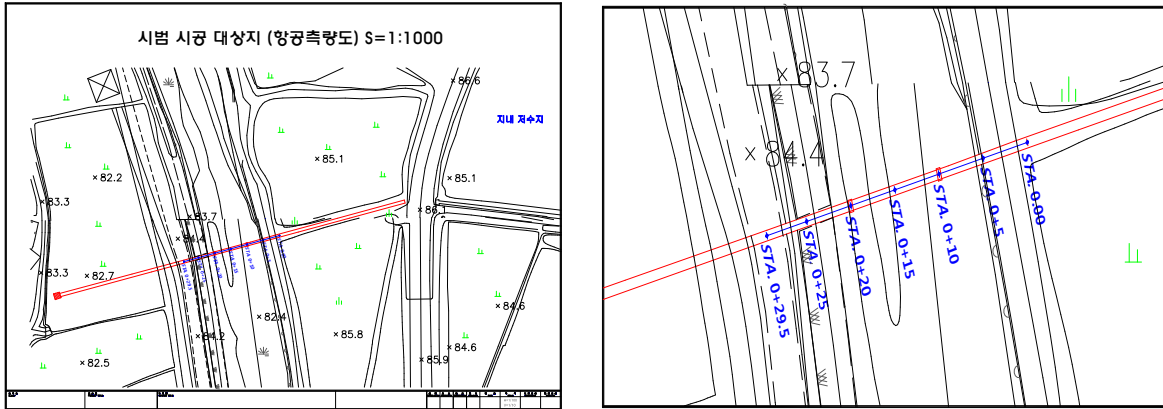


그림 6.4 평면 계획도 (항공측량지도 활용)

(2) 현황 측량

시공계획을 수립하기 위해 지형 측량과 종·횡단 측량을 비교하여 본 결과 항공측량 지도와 지형 지물 현황이 정확히 일치하였다.

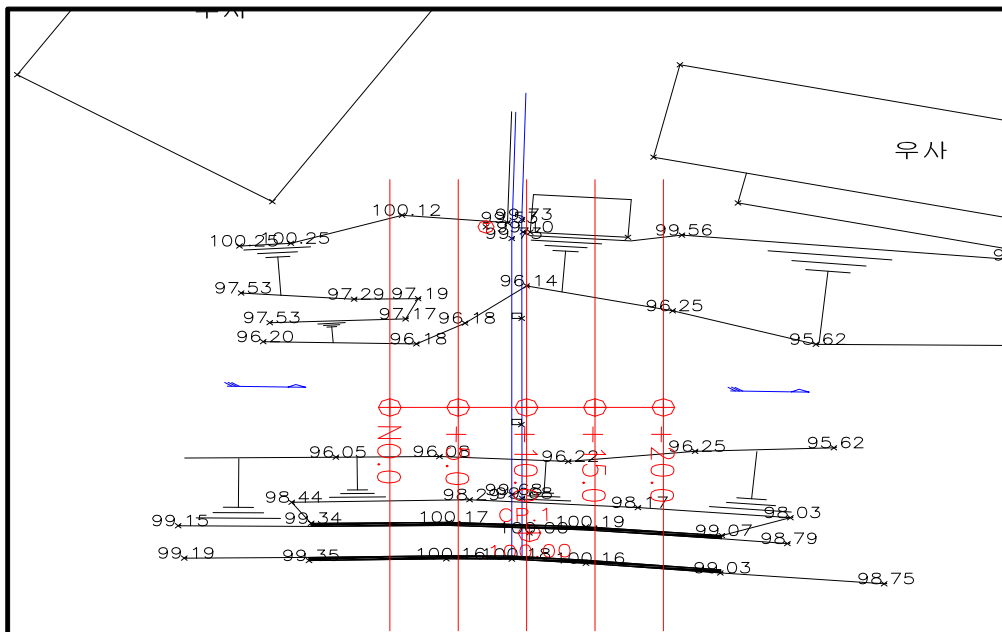


그림 6.5 지형현황 측량 평면도

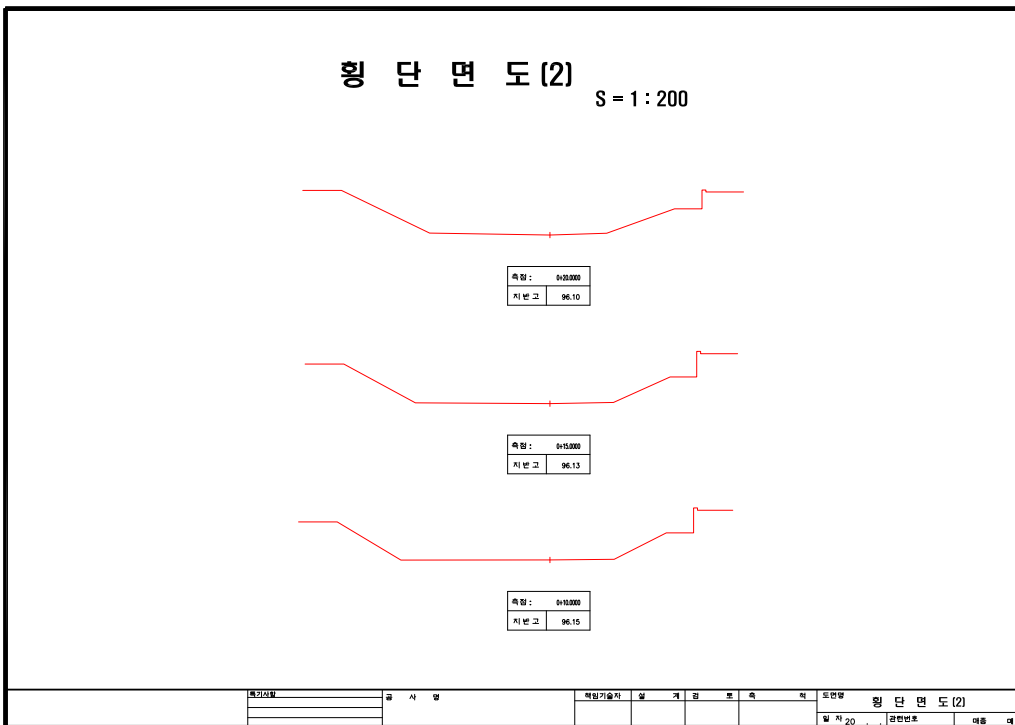
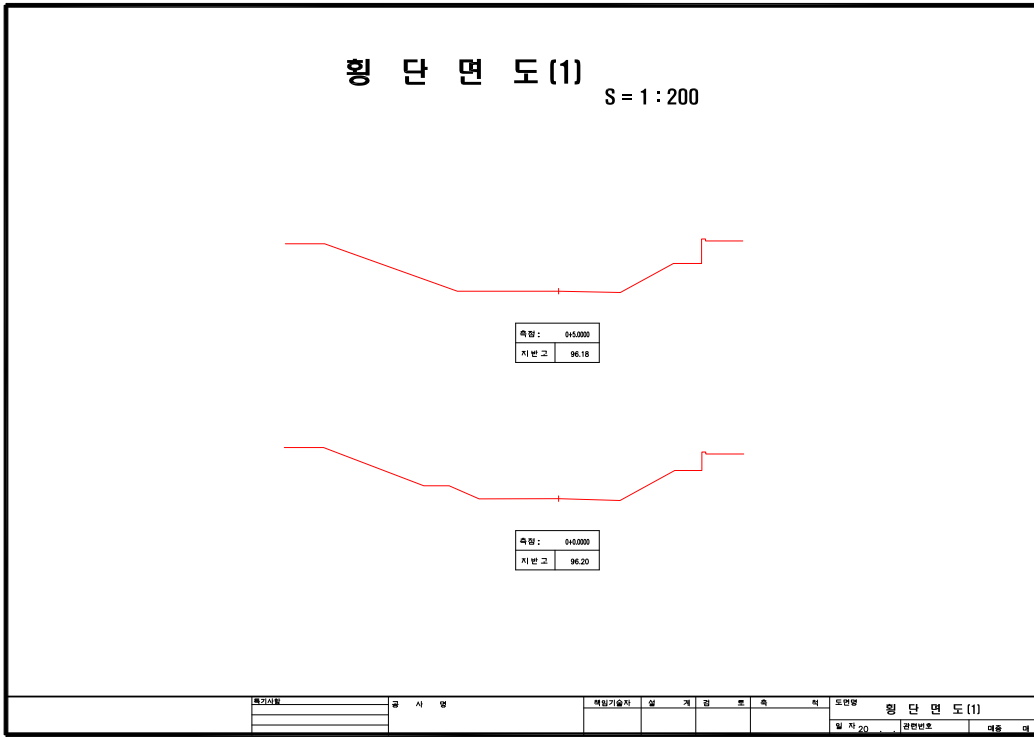


그림 6.6 실측 중 · 횡단면도



사진 6.2 거리 측량



사진 6.3 수준측량

3. 기존 콘크리트 수로교의 손상 상태

리모델링 대상 수로교는 사진 6.4 및 6.5에서와 같이 연결부 균열과 파손, 시공 이음부 균열과 박락, 누수, 백화, 중성화 등 노후 수로교에서 나타나고 있는 대부분의 손상 유형이 모두 나타나고 있다.

한편, 기존 수로교의 변형상태를 조사해 본 결과 각 스팬(span)의 최대 휨모멘트 발생지점에서는 비관개기임에도 20~40 mm의 처짐을 보이고 있었다. 이러한 상황은 그림 6.7의 종단측량 결과에서 용이하게 확인할 수 있다.

그러나 상부구조의 하중을 기초에 전달하는 교각부(pier)는 사진 6.5의 5), 6)에서 볼 수 있듯이 매우 양호한 상태를 보이고 있다. 리모델링 수로교의 종단구배는 이 교각부의 높이를 기준으로 하여 0.1~0.3%로 계획하였다.

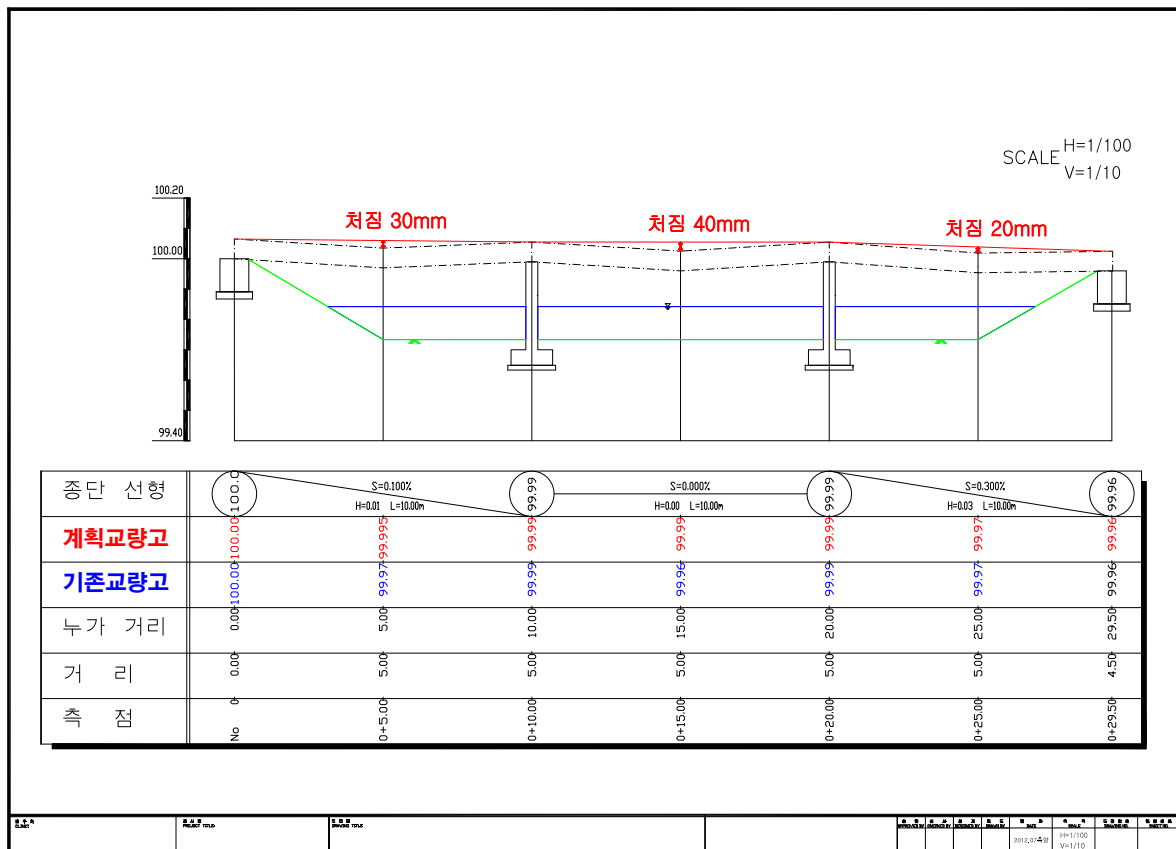
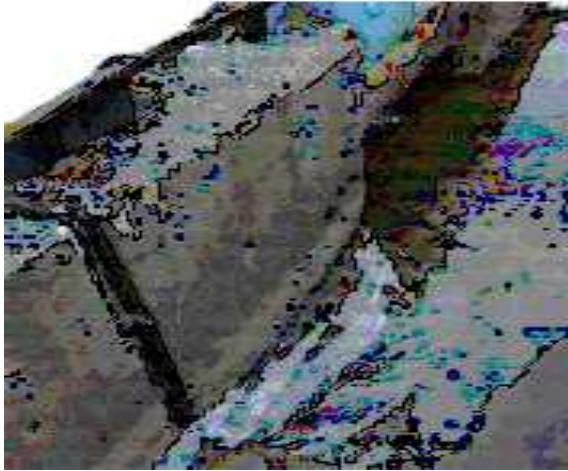


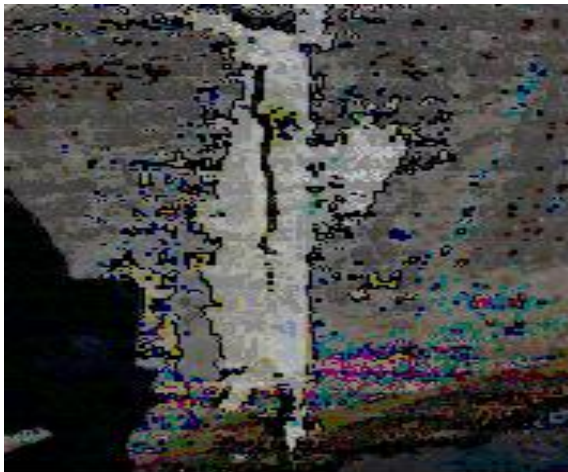
그림 6.7 기존 수로교의 처짐 상태 및 리모델링 수로교의 종단계획도



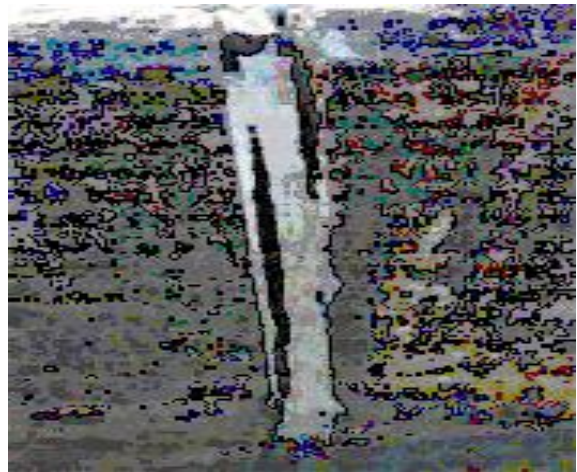
1) 신축 이음부 파손 (1)



2) 신축 이음부 파손 (2)



3) 이음부 보수후 재파손(1)



4) 이음부 보수후 재파손 (2)



5) 동절기 이음부 수축 (1)



6) 동절기 이음부 수축 (2)

사진 6.4 기존 수로교 신축 이음부 손상



1) 개거부 누수



2) 누수로 인한 고드름



3) 개거부 내측 균열과 박락(1)



4) 개거부 내측 균열과 박락(2)



5) 개거부 하단 손상



6) 개거부 하단측 누수

사진 6.5 기존 수로교 개거부 손상

4. 시험시공

가. 수로교 상부구조 교체 공법

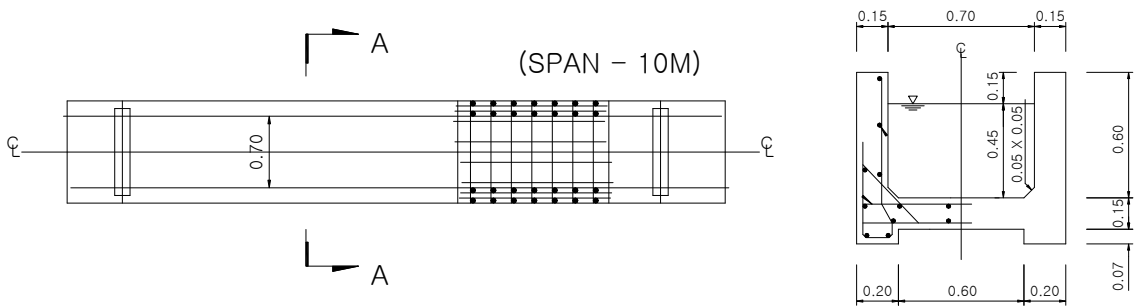
공장에서 제작된 프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교 제품은 현장 시공계획을 충분히 검토한 후 제작, 운반, 입하 되어야 전체공정이 연속적으로 이루어질 수 있다. 현장 시험 시공은 기존교량 철거, 받침대 설치, 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품 조립 및 설치 단계로 실시되었다.

(1) 기존 수로교 상부구조 철거

본 연구에서 개발한 리모델링 공법은 기존 수로교의 개거부를 철거하고 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품을 새로 가설하는 공법으로서 철거 시 하부구조의 손상을 방지하기 위해서는 25톤급 이상의 크레인으로 들어 올리는 것이 바람직하다.

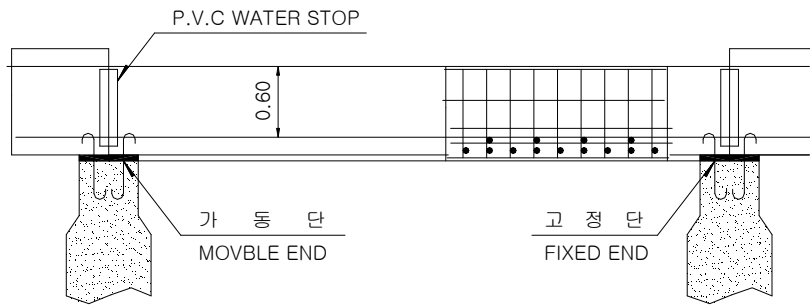
그러나 이 현장은 여건상 대형 크레인의 접근이 곤란하여 사진 6.6에서 보이는 것과 같이 유압 브레카(breaker)를 장착한 0.6 m³급 백호(back-hoe)를 투입하여 철거하였다.

철거 전에 실측 조사한 노후 수로교 개거부의 구조는 그림 6.8과 같고, 폐기물 발생량은 표 6.3과 같다.



1) 평면도

2) A-A 단면도



3) 종단면도

그림 6.8 기존 수로교 구조도

표 6.3 기존 수로교 폐기물 발생량

구분	규격	단위	수량	단위중량	무게(ton)	비고
합계					26.712	9 ton / 1span
콘크리트	25-210-8	m ³	10.62	2.4 ton/m ³	25	8.3 ton / 1span
철근	소계	ton	0.856		0.856	1.7 ton / 1span
	D16		0.266	0.266		
	D10		0.590	0.590		



사진 6.6 콘크리트 수로교 철거 광경 (0.6 m³급 백호)

(2) 받침대 제작 및 설치

상부의 하중을 하부구조에 전달하기 위한 받침대(support)는 상부구조인 폴리머 콘크리트 제품과 동일한 재료를 사용하여 그림 6.9와 같은 크기로 강원대 재료실험실에서 제작하였으며, 사진 6.7은 받침대의 제작 및 설치 과정을 나타낸 것이다.

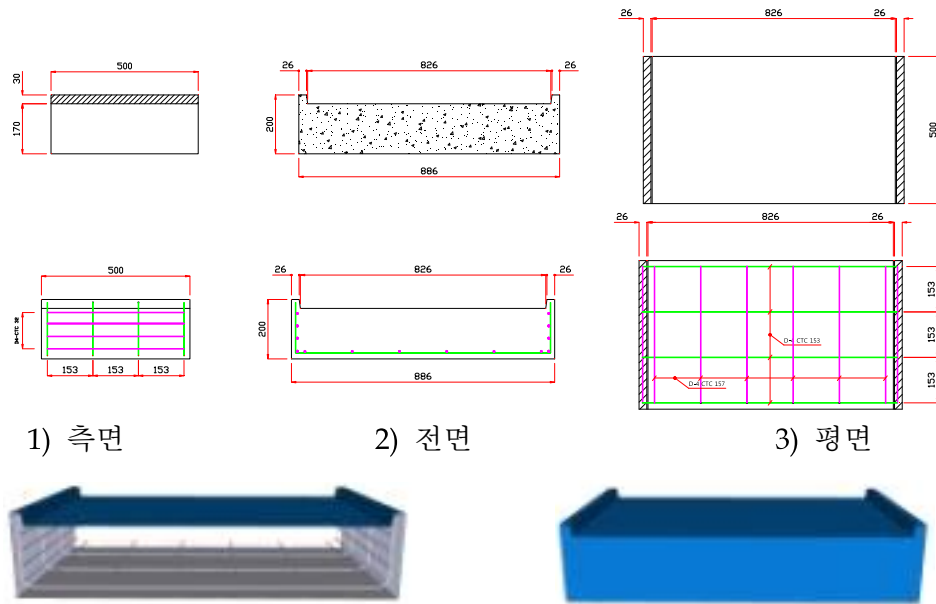


그림 6.9 수로교 받침대 제작도

받침대의 고정을 위해 바닥면에 앵커($\phi 16$ mm, $h=100$ mm) 2개를 200 mm간격으로 매입하였고, 교각부에는 앵커를 고정시킬 수 있도록 30 mm 깊이로 천공하고 무수축 모르타르를 주입하여 앵커와 하부구조가 일체화 되도록 하였다. 그림 6.10에는 받침대 시공도를 나타내었다.

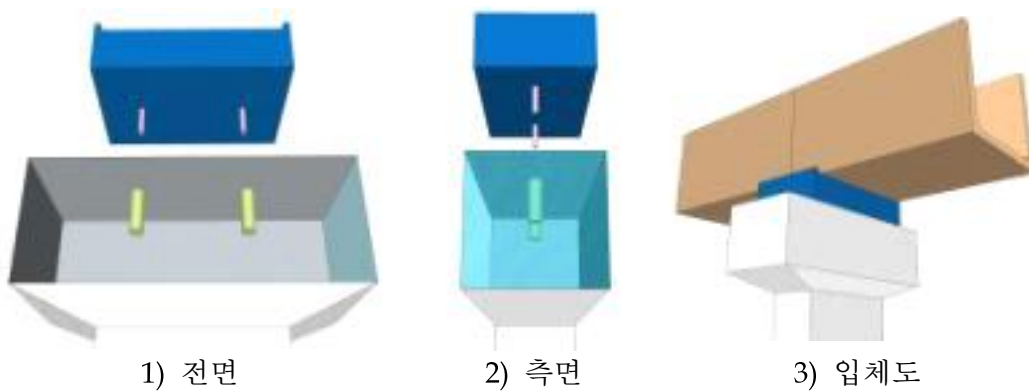


그림 6.10 받침대 시공도

한편, 새로 설치되는 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품의 이음부 두께가 25 mm로 얇기 때문에 완벽한 수밀성 확보를 위해서는 정밀한 가공과 조립이 필수적이다.

특히 교각부에 받침대 설치시 평탄성이 매우 중요하므로 계획 중단 계획고와의 오차가 5 mm미만의 범위에 있도록 그라인더로 평탄작업을 실시하였다.



1) 받침대 제작 (몰드내 철근조립)



2) 받침대 제작완료



3) 교각부 청소



4) 무수축 모르타르 타설



5) 받침대 설치



6) 종단계획고 측량



7) 그라인딩 작업



8) 설치 완료

사진 6.7 받침대 제작 및 설치 과정

(3) 제품운반 및 조립 설치

(가) 제품의 운반

제품 운반 시 균열, 파손 등이 생기지 않도록 부재가 맞닿는 부분과 내측단면을 보양재로 고정하였다. 부재의 양쪽 단부를 들어 올려 적재하였으며, 평판 트레일러로 운반하였다. (사진 6.8)

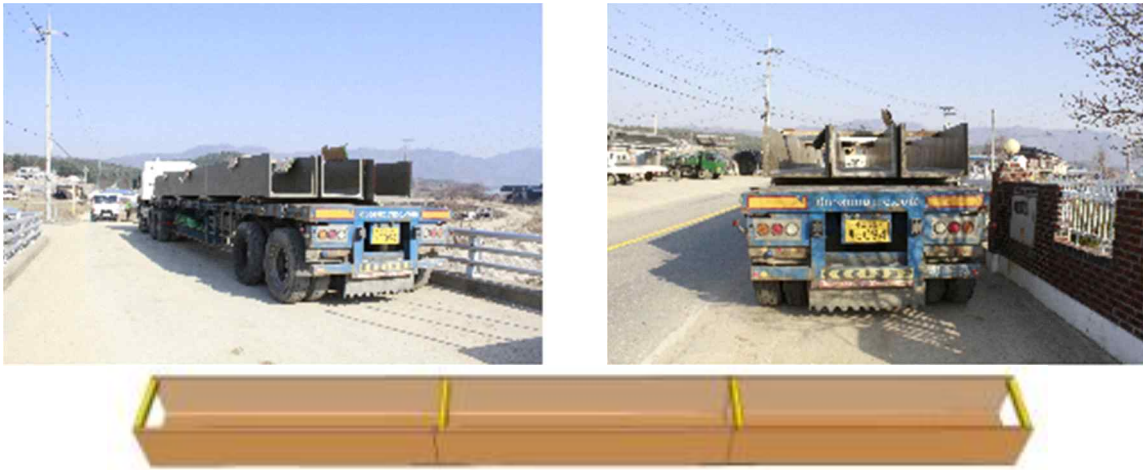


사진 6.8 프리캐스트 제품의 적재 및 운반

(나) 현장하치

트레일러에 의해 현장에 도착한 프리캐스트 제품을 11톤급 트럭크레인(truck crane)을 이용하여 하치하였다. (사진 6.9)



사진 6.9 현장도착 및 하치

(다) 가설 조립

프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품의 1-Span(10 m) 중량은 철근 콘크리트 개거부 중량(9 ton)의 1/3 정도인 2.7 ton이다. 따라서 가설용 장비는 최대 인양하중이 3.0 ton인 11.0 ton 급 카고 크레인을 사용하였으며, 보조 장비로 0.6m³급 백호우를 사용하였다.

가설 순서는 그림 6.11과 같이 중앙부를 먼저 설치하고, 교대측을 나중에 설치하는 것이 일반적이다. 그러나 이 시험 시공은 현장 여건상 전체 3-Span 중 한쪽 교대측을 먼저 설치하고 다음에 중앙부, 마지막으로 반대측 교대를 설치하는 순서로 하였다.

사진 6.10에 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품 시공과정을 단계별로 나타내었다.

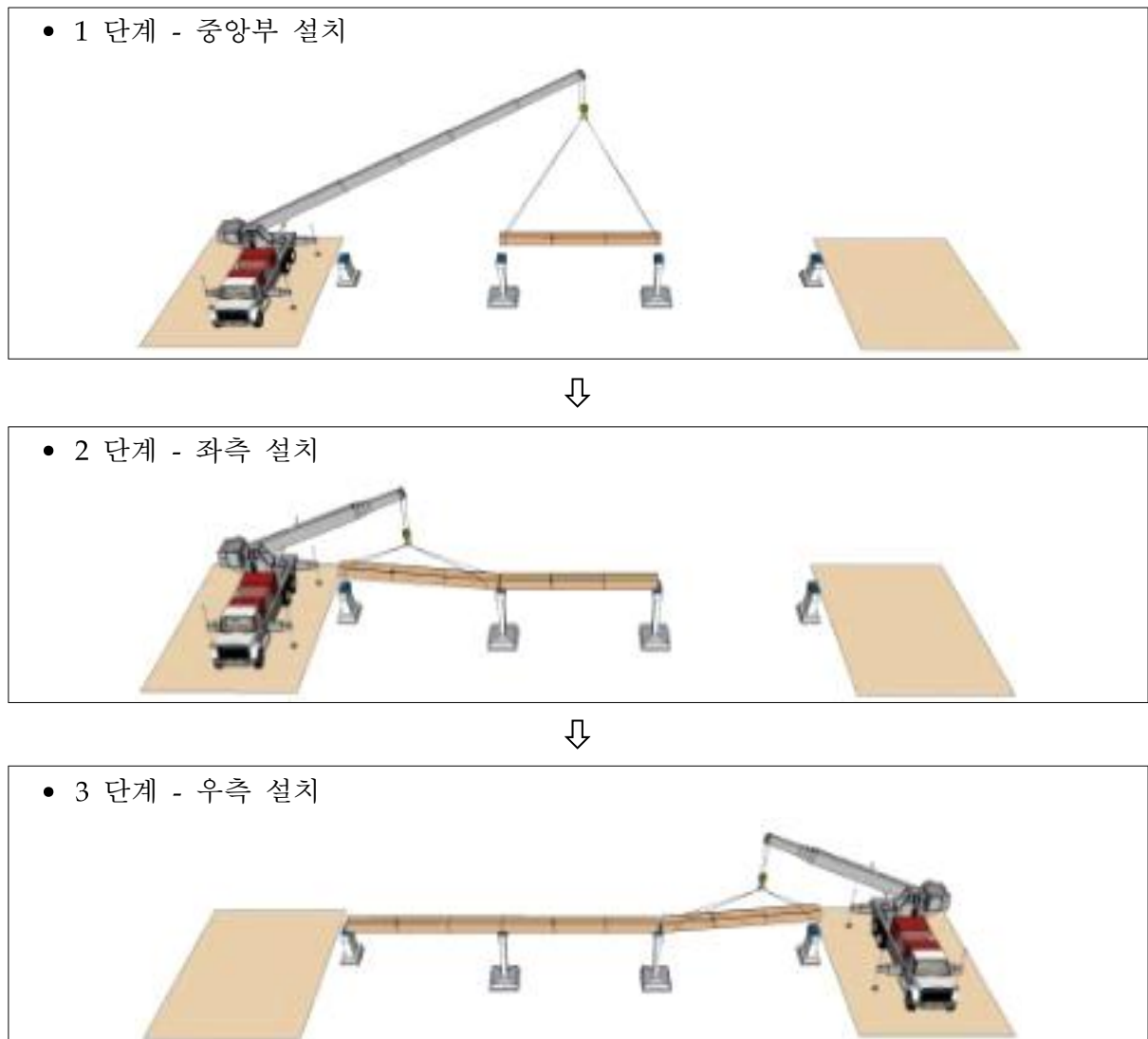


그림 6.11 프리캐스트 제품의 가설 조립 순서



1) 제품 운반



2) 현장하치



3) 설치 작업



4) 신축 이음부 조정



5) 연결부 조립

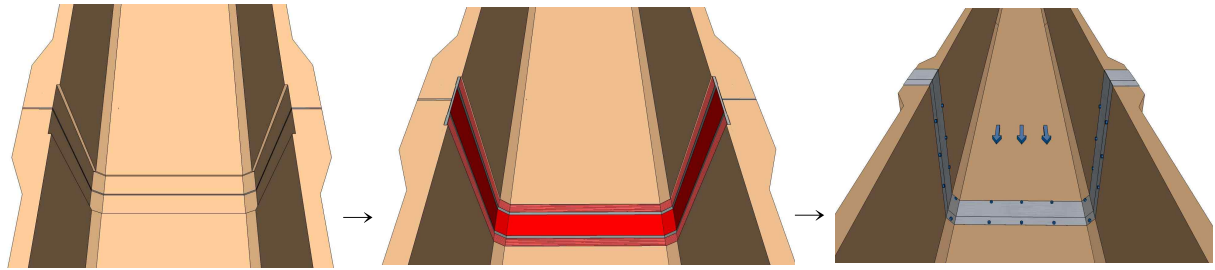


6) 설치 완료

사진 6.10 프리캐스트 제품 설치 과정

(4) 신축이음 설치

신축이음은 연결부에 설치하며, 여기서는 폴리러버 시트(Polyer rubber sheet, 12 × 200 mm)와 STS(Stainless Steel) 고정판 및 앵커볼트를 사용하여 현장에서 조립·설치하였고, 에폭시 수지로 마감 처리하였다.(그림 6.12)



1) 설치전

2) 폴리러버시트 부착

3) STS고정판 및
앵커볼트설치

그림 6.12 신축이음장치의 조립·설치



사진 6.11 리모델링 전의 수로교



사진 6.12 리모델링 후의 수로교

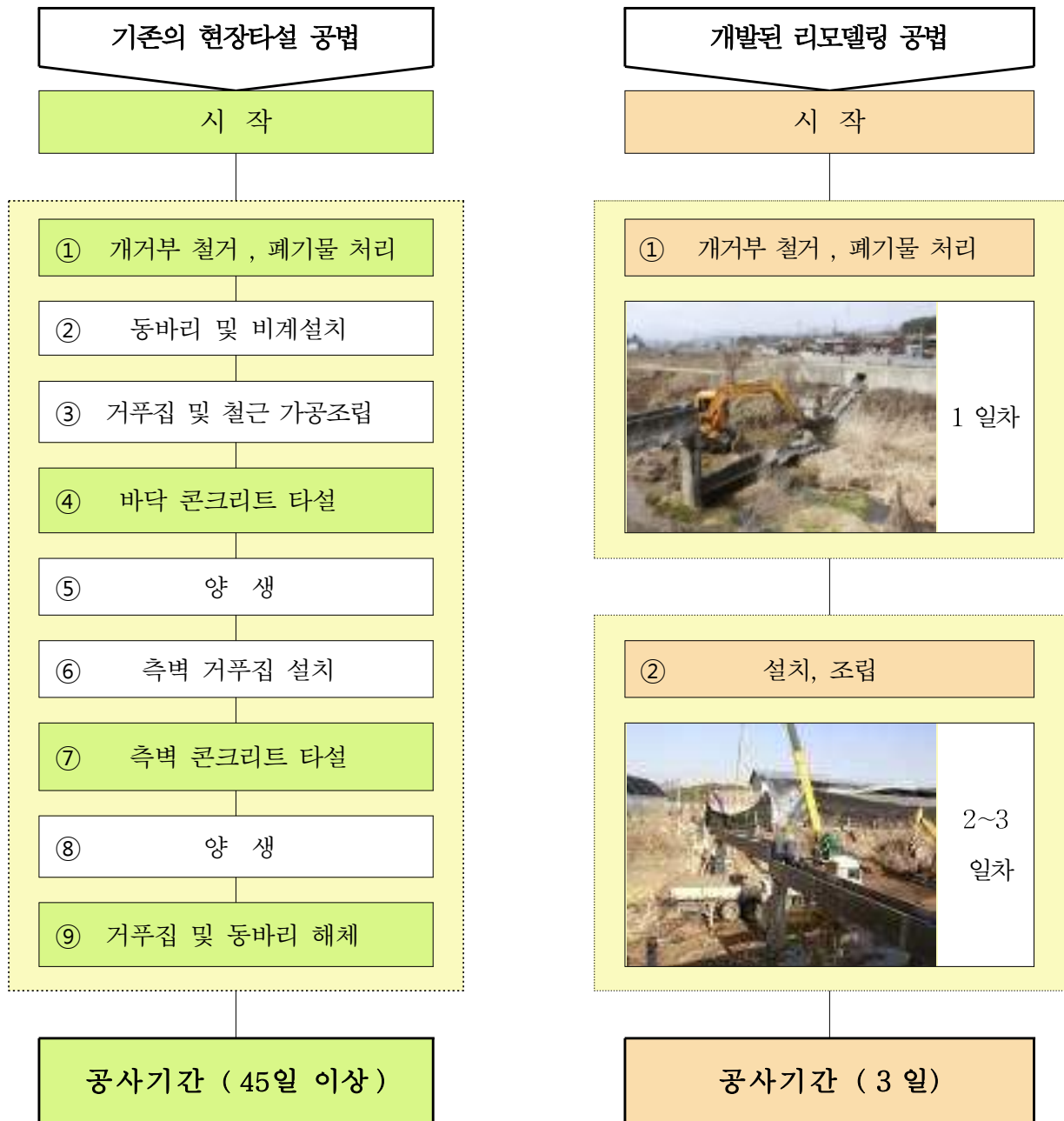


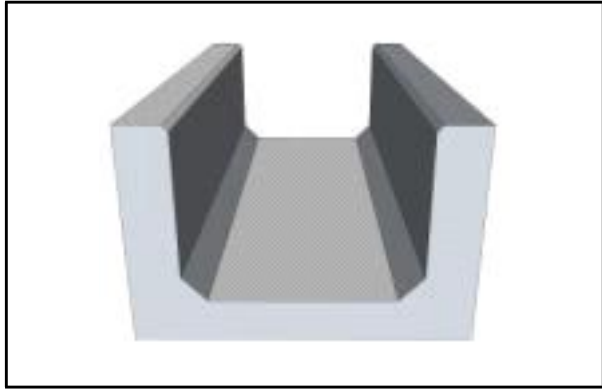
그림 6.13 공정 및 공사기간 비교

나. 개거부 패널 라이닝 공법

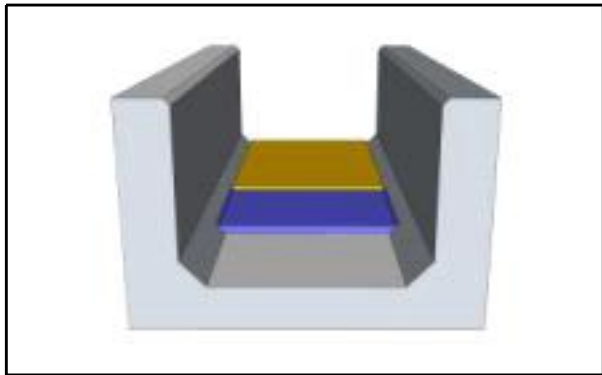
(1) 시공 개요

노후 콘크리트 개거의 성능회복을 위하여 개발된 라이닝용 패널을 이용한 개거 리모

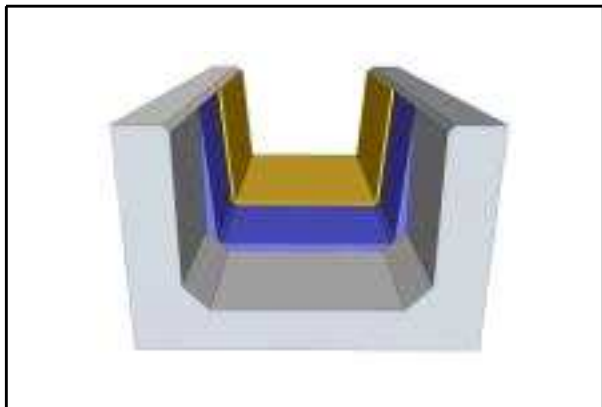
텔링 공법의 시공 과정은 다음 그림 6.14와 같고, 시공 단계별 작업광경은 사진 6.13과 같으며, 시공결과는 사진 6.14 및 6.15와 같다.



- 1) 바닥면 청소
: 노후된 콘크리트면의 불순물 등을 제거하여 라이닝 패널 시공 시 양호한 부착력과 수밀성 확보



- 2) 바닥면 모르타르 타설
: 불규칙한 바닥면을 시멘트 페이스트로 바닥면 처리
- 3) 바닥판 설치



- 4) 측벽 설치
- 5) 시멘트 페이스트로 그라우팅
: 라이닝 패널과 콘크리트면의 공극에 시멘트 페이스트 그라우팅으로 수밀성 확보
- 6) 패널 접착부를 수팽창 지수재 (폴리우레탄 워터 스웰링)로 마감

그림 6.14 라이닝 패널 시공과정

(2) 시공단계별 작업과정



1) 바닥면 모르타르 타설



2) 바닥패널 시공



3) 측벽패널 설치



4) 시멘트 페이스트 그라우팅



5) 접합부 지수고무 마감



6) 공사완료

사진 6.13 패널 라이닝 시험시공 광경

(3) 시공 결과



사진 6.14 리모델링 전



사진 6.15 리모델링 후

5. 결과 요약

프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품을 이용한 수로교 상부구조 교체 공법과 폴리머 콘크리트 패널을 이용한 개거부 라이닝 공법에 의한 수로교 리모델링 기술을 개발하고, 현장에 직접 시험시공 하였던 바, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 시험시공을 통하여 현장에 적용할 수 있는 기술을 축적함으로써 실용화를 위한 기반을 충분히 구축하였다고 판단된다.

(2) 기존의 보수 보강 기술에 비해 공사기간을 단축 할 수 있고, 현장 시공성을 향상 시킬 수 있기 때문에 기술적으로 충분히 경쟁력을 갖추었음을 확인 할 수 있었다.

(3) 본 연구에서 개발된 공법은 내구성을 확보 할 수 있으며, 농촌 경관을 획기적으로 개선 할 수 있는 새로운 기술로서 평가 받을 수 있다.

제2절 시험시공 후 신축량 추적조사

1. 온도변화에 의한 신축량 조사

온도변화에 의한 신축량은 이론식에 의해서 구 할 수 있으나 여러 가지 요인에 의해 실측치와 다를 수 있다. 따라서 신축량 변화를 실제로 추적조사 하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해 개거부 측벽 상단에 측정편을 그림 6.15와 같이 설치하였다. 설치 개소수는 연결부 2개소와 최대 휨모멘트 발생 지점인 스패н(span) 중앙부에 각 1개소씩 3개소 등 총 5개소에 설치하였다. 사진 6.16은 측정편의 설치 및 신축량 측정광경을 나타낸 것이다.

신축량 변화는 정밀도 1/100 mm인 디지털 다이알 게이지(Digital indicator)가 장착된 다점 스트레인 게이지(Multi position strain gauge : DA-328)를 사용하여 7일 간격으로 대기온도가 가장 높은 시간대에 측정하였으며, 신축량 측정결과는 표 6.4와 같다.

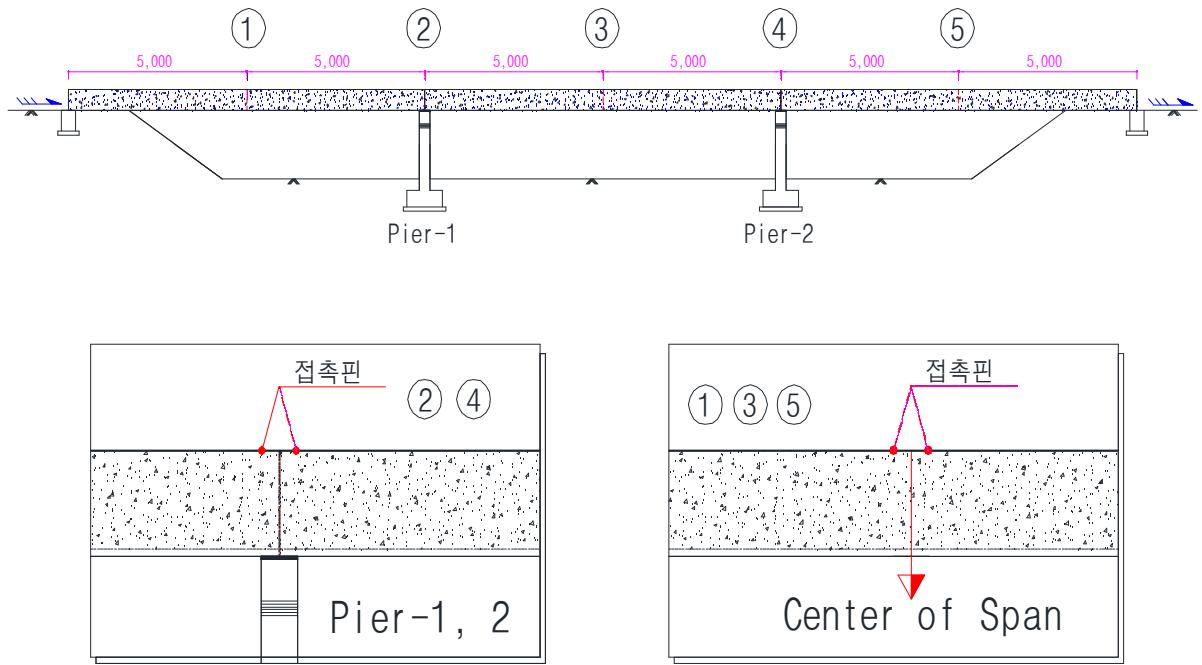


그림 6.15 신축량 측정용 접촉핀 매입 위치

표 6.4 측점별 신축량 측정결과

측정일	측정 시간	온도(°c)		측점별 측정량(mm)					비고
		측정치	기상청 자료	①	② (연결부)	③	④ (연결부)	⑤	
최대		33.0	32.0	249.21	240.81	246.64	244.59	244.66	
최소		15.3	17.1	248.37	235.00	246.30	238.00	243.70	
최대 - 최소		17.25	14.9	0.84	5.81	0.34	6.59	0.99	
2013-03-27			16.5						시공일
2013-05-02	17:00	15.25	17.10	249.21	240.81	246.64	244.59	244.66	표점 기준
2013-05-04	15:07	22.00	21.50	248.66	239.99	246.49	240.95	244.47	
2013-05-05	14:23	25.00	23.10	248.81	240.42	246.30	240.00	244.50	
2013-05-11	16:15	25.00	24.00	248.53	239.81	246.43	242.99	243.73	통수일
2013-05-17	14:30	27.50	25.00	248.73	238.29	246.55	241.09	243.84	
2013-05-26	14:30	31.00	27.00	248.59	237.88	246.54	239.00	243.71	
2013-06-01	14:47	28.00	26.00	248.64	238.34	246.55	239.00	243.79	
2013-06-06	11:30	26.00	25.00	248.61	239.54	246.49	241.37	243.75	
2013-06-09	14:00	31.50	28.00	248.53	237.90	246.46	238.00	243.76	
2013-06-16	14:00	31.00	28.00	248.56	237.81	246.52	238.00	243.74	
2013-06-25	13:06	26.00	25.00	248.55	237.00	246.47	241.09	243.76	
2013-06-30	14:00	32.25	30.00	248.46	236.00	246.47	238.00	243.76	
2013-07-06	16:19	32.00	32.00	248.37	235.00	246.44	240.00	243.73	
2013-07-14	14:17	25.50	24.00	248.60	240.39	246.41	242.52	243.75	
2013-07-20	12:11	31.25	28.00	248.49	238.52	246.46	242.54	243.72	
2013-07-27	16:58	30.50	32.00	248.59	238.82	246.41	242.76	243.73	
2013-08-04	12:00	32.50	29.00	248.43	237.20	246.44	240.80	243.76	
2013-08-10	17:59	29.50	29.00	248.43	239.35	246.42	243.53	243.78	
2013-08-17	16:16	31.50	31.00	248.45	238.14	246.41	242.12	243.70	
2013-08-24	16:54	33.00	31.00	248.44	238.60	246.42	242.80	243.67	
2013-08-31	16:37	28.50	27.00	248.48	239.30	246.43	240.79	243.65	



1) 접촉핀 매입을 위한 천공



2) 접촉핀 설치 (에폭시 접착)



3) 접촉핀 설치



4) 신축량 측정



5) 온도계 설치



6) 통수

사진 6.16 접촉핀 설치 및 신축량 측정

신축량 측정결과 2013년 3월 27일 현장 시험 시공 직후의 기온($t_{et}=16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)과 5개월 후인 2013년 8월 24일의 기온($T_{\text{max}}=33\text{ }^{\circ}\text{C}$)의 차이는 $16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 였으며, 최대 신축량(늘음량)은 연결지점인 Pier-1 (그림 6.15의 ②지점)에서 5.81 mm, Pier-2 (그림 6.15의 ④지점)에서 6.59 mm로 측정되었다. 그러나 이 측정자료는 수정되어야 한다. 즉 3개의 스펠 중

중앙부 스패만 자유가동이고 양단부의 스패는 교대와 접하는 부분이 고정이다. 이러한 지지조건을 고려하여 상기한 신축량을 환산하면 각각 3.87 mm와 4.39 mm가 된다.

2. 이론 신축량과의 비교

재료상수 도출에서 제시된 열팽창계수를 사용하여 현장 시공된 프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교의 최대 신축량(팽창)의 이론값은 다음과 같이 산출 할 수 있다.

$$= \alpha \cdot l \cdot \Delta t = .4 \times 10^{-5} \times 10,000 \times (33 - 16.5) = 3.96 \text{ mm}$$

이와 같이 산출된 신축량의 이론값과 앞에서 실측된 신축량의 환산값 3.87 mm와 4.39 mm를 비교하여 보면 이론값과 실측값이 거의 일치함을 알 수 있다.

한편 최대 휨모멘트가 발생하는 그림 6.15에서 ①·③·⑤지점의 신축량이 0.34~0.84 mm로써 작게 나타난 것은 변형률이 가장 작게 나타나는 스패의 중앙부에서 측정되었기 때문이다.

한편, 동절기의 수축량을 조사하여 구조해석 결과와 비교 검토할 필요가 있으나 시기적으로 아직 측정할 수 없으며, 지속적으로 추적조사를 통해 데이터를 축적해나갈 것이다.

참고적으로 최근 30년간 춘천지역 연도별 일평균 기온의 최대값과 최소값을 제시하면 표 6.5와 같으며, 이 자료는 신축량 예측에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

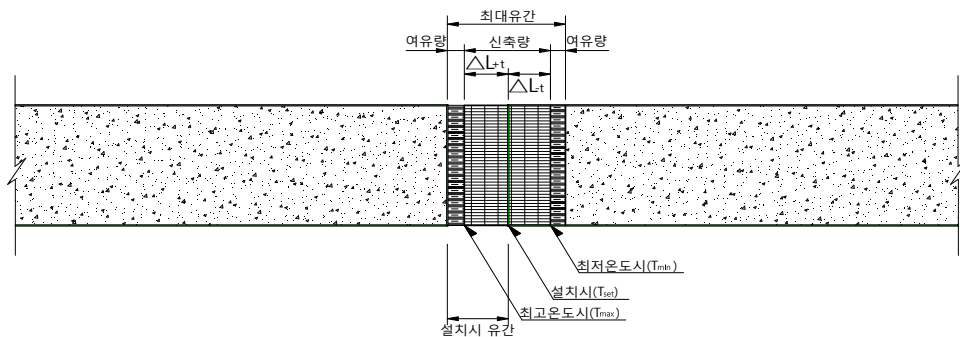


그림 6.16 신축량 산정 개요도

표 6.5 최근 30년간 춘천지역 연도별 일평균기온(℃)

년월일	최고기온(℃)	년월일	최저기온(℃)
1971.08.03	28.5	1971.01.05	-16.6
1972.07.20	28.8	1972.01.28	-9.6
1973.07.26	29.1	1973.12.24	-13.3
1974.08.20	27.6	1974.01.24	-15.1
1975.08.19	28.0	1975.01.17	-9.7
1976.07.25	27.1	1976.12.27	-13.9
1977.07.28	28.7	1977.01.03	-13.8
1978.07.27	29.5	1978.02.01	-11.6
1979.08.13	28.0	1979.02.02	-12.7
1980.07.19	25.5	1980.12.29	-14.8
1981.07.24	28.9	1981.01.05	-18.4
1982.08.11	27.9	1982.01.29	-11.1
1983.08.03	29.3	1983.12.25	-11.5
1984.08.11	28.5	1984.02.03	-14.4
1985.07.31	28.6	1985.01.30	-15.9
1986.08.02	27.9	1986.01.05	-20.3
1987.08.05	25.9	1987.01.13	-12.9
1988.08.07	28.7	1988.02.03	-13.1
1989.07.19	27.3	1989.01.28	-10.3
1990.07.30	28.6	1990.01.25	-15.0
1991.08.14	27.3	1991.01.05	-12.0
1992.07.29	28.2	1992.12.15	-9.5
1993.07.31	25.4	1993.01.19	-11.5
1994.07.29	30.2	1994.02.10	-10.9
1995.08.14	28.3	1995.12.25	-9.9
1996.08.03	28.2	1996.02.02	-10.3
1997.08.01	29.8	1997.01.22	-10.0
1998.09.05	26.7	1998.01.24	-11.8
1999.08.10	28.4	1999.12.20	-10.5
2000.07.21	28.4	2000.12.26	-10.6
2001.08.03	28.8	2001.01.15	-18.4
2002.07.29	29.5	2002.01.02	-12.6
2003.08.22	27.6	2003.01.06	-14.0
2004.08.04	28.6	2004.01.21	-13.4
2005.07.23	29.6	2005.12.18	-11.4
2006.08.15	28.7	2006.01.06	-10.5
2007.08.02	27.5	2007.01.13	-7.8
2008.08.10	28.0	2008.01.17	-9.9
2009.08.19	27.2	2009.12.31	-11.7
2010.08.05	28.9	2010.01.07	-15.0
2011.08.11	27.6	2011.01.16	-16.2
2012.08.05	29.7	2012.02.02	-15.2

3. 결과 요약

이 연구는 온도변화에 따른 신축량을 추적조사 하여 이론값과 비교한 것으로 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 폴리머 콘크리트 수로교의 최대 신축량(팽창)의 이론값은 3.96 mm로 산출 되었으며, 이 값을 실측된 신축량의 환산값 3.87 mm와 4.39 mm를 비교하여 보면 이론값과 실측값이 거의 일치함을 알 수 있다.

(2) 최대 휨모멘트가 발생하는 지점에서의 신축량이 0.34~0.84 mm로 작게 나타난 것은 변형률이 가장 작게 나타나는 스패의 중앙부에서 측정되었기 때문이다.

(3) 최근 30년간 춘천지역 연도별 일평균 기온의 최대값과 최소값을 제시하였으며, 이 자료는 신축량 예측에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

제3절 개발기술의 경제성 분석

1. 원가계산

가. 수로교 상부구조 교체 공법

수로교의 교각부를 그대로 이용하고, 상부구조인 개거부를 철근 콘크리트 구조물로 재시공하는 경우의 총공사비는 표 6.6에서 볼 수 있는 바와 같이 총 24,250 천원이었으며, 순공사비와 제경비의 산출내역은 표 6.7 및 6.8과 같다.

그리고 개거부를 프리캐스트 폴리머 콘크리트 플럼으로 교체하는 경우의 총공사비는 표 6.9에서 볼 수 있는 바와 같이 14,622 천원이었으며, 순공사비, 제경비 및 플럼의 공장 제작비의 산출내역은 각각 표 6.10, 표 6.11 및 표 6.12와 같다.

이 결과에서 총공사비를 비교하여 보면 프리캐스트 폴리머 콘크리트 플럼으로 상부구조를 교체 시공하는 경우 철근 콘크리트로 재시공하는 경우에 비해 40%가 절감되어 경제성 측면에서 매우 유리함을 알 수 있다.

여기서 프리캐스트 폴리머 콘크리트 플륨의 공장 제작비는 표준 품셈과 원가계산 기준이 없으므로 제작사가 산출한 적정 이윤이 포함된 실투입비를 적용하였다.

표 6.6 철근 콘크리트로 재시공 할 경우 총공사비 (철거 후 신설) (단위 : 원)

항 목	공사비	노무비	재료비	경비 (기계사용료)
① 순공사비	16,190,685	8,289,089	7,804,976	96,620
② 제경비	2,856,171	순공사비 × 17.6 %		
③ 순공사원가	19,046,856	순공사원가 + 제경비		
④ 일반관리비	1,142,811	순공사원가 × 6 %		
⑤ 이 윤	1,856,695	(순공사원가+일반관리비-재료비) × 15 %		
⑥ 공급가액	22,046,352			
⑦ 부가가치세	2,204,636	공급가액 × 10 %		
총공사비	24,250,000	공급가액 + 부가가치세		

표 6.7 철근 콘크리트로 재시공 할 경우 순공사비 산출 내역

공 종 명	규 격	수량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비 (기계사용료)		합 계	
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액
1. 수로교설치					6,354,404		8,289,089		96,620		14,740,113
콘크리트타설 (철근)	레미콘-VIB	11	m ³	305	3,355	29,548	325,028	32	352	29,885	328,735
철근가공조립 (현장)		0.89	ton	12,480	11,107	511,520	455,253	10,230	9,104	534,230	475,464
거푸집		124	m ²	20,972	2,600,528	35,091	4,351,284			56,063	6,951,812
강관동바리		60	공/m ²	18,480	1,108,800	23,299	1,397,940			41,779	2,506,740
지수관	150 × 5 T	0.66	m	8,145	5,376	24,237	15,996			32,382	21,372
강관비계		154	m ²	17,047	2,652,238	11,322	1,743,588	566,	87,164	28,935	4,455,990
2. 사급자재대					1,450,572						1,450,572
레미콘	25-210-8		m ³	63,067	693,737						693,737
이형철근	D10 mm	0.632	ton	830,000	524,560					63,067	524,560
이형철근	D16 mm	0.285	ton	815,000	232,275						232,275
합 계					7,804,976		8,289,089		96,620		16,190,685

표 6.8 철근 콘크리트로 재시공 할 경우 제경비 산출 내역서

제 경 비 산 출			
1. 간접노무비	: [직접노무비] × 10.60 % = (8,289,089)		×10.60 % = 878,643
2. 산재보험료	: [노무비] × 3.70 % = (8,289,089+878,643)		× 3.70 % = 339,206
3. 고용보험료	: [노무비] × 0.79 % = (8,289,089+878,643)		× 0.79 % = 72,425
4. 건강보험료	: [직접노무비] × 1.70 % = (8,289,089)		× 1.70 % = 140,914
5. 연금보험료	: [직접노무비] × 2.49 % = (8,289,089)		× 2.49 % = 206,398
6. 노인장기요양보험료	: [건강보험료] × 6.55 % = (140,914)		× 6.55 % = 9,229
7. 퇴직공제부금비	: 3억 미만 미적용		
8. 하도급지급보증료	: 3억 미만 미적용		
9. 산업안전보건관리비	: 3억 미만 미적용		
10. 기타 경비	: [직접노무비+간접노무비+재료비+사급자재대] × 6.20 %		
	= (8,289,089 + 878,643 + 7,804,976)	× 6.20 %	= 1,052,307
11. 환경보전비	: [직접공사비] × 0.90 % = (16,190,685)	× 0.90 %	= 145,716
		합계	= 2,856,171

표 6.9 폴리머 콘크리트 플럼으로 교체 할 경우 총공사비 (철거 후 신설) (단위 : 원)

항 목		공사비	노무비	재료비	경비 (기계사용료)
설 치 비	① 순공사비	5,655,247	3,424,431	621,574	1,609,242
	② 제경비	1,599,150	순공사비 × 17.6 % (폐기물 처리포함)		
	③ 순공사원가	7,254,397	순공사원가 + 제경비		
	④ 일반관리비	405,263	순공사원가 × 6 %		
	⑤ 이윤	979,704	(순공사원가+일반관리비-재료비) × 15 %		
	⑥ 공급가액	8,639,364			
	⑦ 부가가치세	863,936	공급가액 × 10 %		
	소계(설치공사비)	9,503,300	공급가액 + 부가가치세		
폴리머 콘크리트 플럼 가격		5,119,346	1,200,200	3,919,146	
총공사비		14,622,646			

표 6.10 폴리머 콘크리트 플룸으로 교체할 경우 순공사비 산출 내역서

공 종 명	규 격	수량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비 (기계사용료)		합 계	
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액
1.수로교설치	10 m	3	span	28,154	84,462	383,222	1,149,666	36,015	108,045	447,391	1,342,173
2.교량받침설치		3	개소	8,989	26,967	85,540	256,620	11,916	35,748	106,445	319,335
3.신축이음 설치	200 × 12	10.8	m	3,120	33,696	24,237	261,759	-	-	27,357	295,455
4.신축이음재		5.4	m	16,875	91,125	16,897	91,243	-	-	33,772	182,368
5.기존수로교해체		3	span	32,380	97,140	182,808	548,424	116,472	349,416	215,188	994,980
6.콘크리트철거		1.08	m3	4,839	5,226	106,263	114,763	21,357	23,065	132,458	143,054
7.비계설치	6개월사용	52.5	m3/공	2,187	114,817	11,888	624,120	0	0	14,075	738,937
8.콘크리트깨기	대형30cm미만	13.2	m3	12,738	168,141	28,624	377,836	14,734	194,488	56,096	740,465
9.차량진입도로정리	BH - 0.6w	1	식	-	-	-	-	550,000	550,000	550,000	550,000
10.폐기물처리		31.68	ton	-	-	-	-	11,000	348,480	11,000	348,480
11.기존교각보수		1	식	-	-	-	-	-	-	-	-
합 계					621,574		3,424,431		1,609,242		5,655,247

표 6.11 폴리머 콘크리트 플룸으로 교체할 경우 제경비 산출 내역서

제 경 비 산 출	
1. 간접노무비	: [직접노무비] × 10.60 % = (3,424,43) × 10.60 % = 362,989
2. 산재보험료	: [노무비] × 3.70 % = (3,424,43+ 362,989) × 3.70 % = 140,134
3. 고용보험료	: [노무비] × 0.79 % = (3,424,431+ 362,989) × 0.79 % = 29,920
4. 건강보험료	: [직접노무비] × 1.70 % = (3,424,431) × 1.70 % = 58,215
5. 연금보험료	: [직접노무비] × 2.49 % = (3,424,431) × 2.49 % = 85,268
6. 노인장기요양보험료	: [건강보험료] × 6.55 % = (58,215) × 6.55 % = 3,813
7. 퇴직공제부금비	: 3억 미만 미적용
8. 하도급지급보증료	: 3억 미만 미적용
9. 산업안전보건관리비	: 3억 미만 미적용
10. 기타 경비	: [직접노무비+간접노무비+재료비+사급자재대] × 6.2% = (4,949,543 + 362,989 + 621,574) × 6.20 % = 367,914
11. 환경보전비	: [직접공사비] × 0.90% = (5,655,247) × 0.90 % = 50,897
합계 = 1,599,150	

표 6.12 폴리머 콘크리트 플룸의 공장 제작비

(단위 : 원)

구분	직 종	편성인원	평균노임 (원)	투입일	총투입인원 (3-Span)	금액	
노 무 비	타설공	3	70,600	1	3	211,800	
	용접공	1	70,600	2	2	141,200	
	준비공	4	70,600	1	4	282,400	
	탈형공	4	70,600	1	4	282,400	
	조립공	2	70,600	2	4	282,400	
	계				17	1,200,200	
재 료 비	품 명	규 격	중량(kg/ 3.3m당)	단가 (kg)	금액 (원)	제작수량 (3-Span)	금액 (원)
	굵은골재	8~10 mm	403	50	20,150	9	181,350
	잔 골 재	#5.5	183	51	9,333	9	83,997
	충 전 재		193	40	7,720	9	69,480
	수 지		87	2,450	213,150	9	1,918,350
	수축저감제		22	2,450	53,900	9	485,100
	이형철근	8~10 mm	6.27	8,100	50,787	9	457,083
	접착수지		30	2,450	73,500	5	367,500
	소 계		924		355,040		3,562,860
	부가가치세		1,446		408,390		356,286
	계		2,708		754,097		3,919,146
합계						5,119,346	

나. 개거부 패널 라이닝 공법

상부구조인 개거부를 제거하지 않고 프리캐스트 폴리머 콘크리트 패널을 이용하여 리모델링 하는 경우의 총공사비는 표 6.13에서 볼 수 있는 바와 같이 9,056 천원으로 분석되었으며, 순공사비, 제비용 및 라이닝용 패널의 공장 제작비 산출 내역은 각각 표 6.14, 6.15 및 6.16과 같다.

이와 같이 폴리머 콘크리트 패널로 리모델링 할 경우의 총공사비는 상부구조를 제거하고 철근 콘크리트로 재시공하는 경우에 비해 63%가 절감되어 경제성 측면에서 매우 유리함을 알 수 있다.

여기서도 프리캐스트 폴리머 콘크리트 패널의 공장 제작비는 표준 품셈과 원가계산 기준이 없으므로 제작사가 산출한 적정 이윤이 포함된 실투입비를 적용하였다.

표 6.13 패널로 라이닝 할 경우 총공사비 (단위 : 원)

항 목		공사비	노무비	재료비 (기계사용료)	경비
설 치 비	① 순공사비	3,891,926	3,691,926	200,000	
	② 제경비	1,030,178	순공사비 × 26.0 %		
	③ 순공사원가	4,922,104	순공사원가 + 제경비		
	④ 일반관리비	295,489	순공사원가 × 6 %		
	⑤ 이윤	753,047	(순공사원가+일반관리비-재료비) × 15 %		
	⑥ 공급가액	5,970,640			
	⑦ 부가가치세	596,335	공급가액 × 10 %		
	소계(설치공사비)		6,566,975	공급가액 + 부가가치세	
프리캐스트 라이닝 패널 제품 가격		2,489,100	41,485 원/개 × 90 개 (30 m × 3면)		
총공사비		9,056,075			

표 6.14 패넬로 라이닝 할 경우 순공사비 산출 내역서

공 종 명	규 격	수량	단 위	재 료 비		노 무 비		경 비 (기계사용료)		합 계	
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액
1. 구조물공	패넬 붙임	54	m ²			44,229	2,388,366			44,229	2,388,366
	패넬 소운반	900	kg			1,367	1,230,300			1,367	1,230,300
	고정앵커설치	90	개소			814	73,260			814	73,260
2. 사급 자재대	시멘트 모르타르	1	식	200,000	200,000					200,000	200,000
합 계					200,000		3,691,926				3,891,926

표 6.15 패넬로 라이닝 할 경우 제경비 산출 내역서

제 경 비 산 출	
1. 간접노무비	: [직접노무비] × 10.60 %=(3,691,926) × 10.60 % = 391,344
2. 산재보험료	: [노무비] × 3.70 % =(3,691,926+391,344) × 3.70 % = 151,080
3. 고용보험료	: [노무비] × 0.79 % =(3,691,926+391,344) × 0.79 % = 32,257
4. 건강보험료	: [직접노무비] × 1.70 % =(3,691,926) × 1.70 % = 62,762
5. 연금보험료	: [직접노무비] × 2.49 % =(3,691,926) × 2.49 % = 91,928
6. 노인장기요양보험료	: [건강보험료] × 6.55 % =(62,762) × 6.55 % = 4,110
7. 퇴직공제부금비	: 3억 미만 미적용
8. 하도급지급보증료	: 3억 미만 미적용
9. 산업안전보건관리비	: 3억 미만 미적용
10. 기타 경비	: [직접노무비+간접노무비+재료비+사급자재대] × 6.2 % = (3,691,926 + 391,344 + 200,000) × 6.20 % = 265,562
11. 환경보전비	: [직접공사비] × 0.90% = (3,891,926) × 0.80 % = 31,1356
	합계 = 1,030,178

표 6.16 라이닝 패널의 공장 제작비

(단위 : 원)

구분	항 목	편성인원	수량	단가	금액	수량 (1패널)	금액
제 작 비	타 설 공	1 인	0.2 인	70,600	14,120	1	14,120
	제경비 및 이윤		1 식			1	5,000
	소 계					1	19,120
재 료 비	원재료명	규격	중량(kg)	단가(kg)	금액	수량 (1패널)	금액
	골 재		5		4,050	1	4,050
	충 전 재		12.68	40	507	1	507
	수 지		4.44	2,400	10,651	1	10,651
	첨 가 제		1.90	3,000	5,706	1	5,706
	수축저감제		0.38	2,500	951	1	951
	이 형 제		0.10	5,000	500	1	500
	소 계		24.5		21,865	1	22,365
합 계						1	41,485

2. 순공사비 비교

총공사비(원가)는 조달청을 비롯한 대부분의 발주처에서 예정가격 산출시 업체의 이윤이 포함된 모든 제경비 요율을 반영하여 작성하는 공사계약의 기초금액이다.

그러나 발주처별로 예산규모 및 기타 여건에 따라 제경비 요율이 다를 수 있으므로 경제성 분석은 이를 제외한 순수한 노무비와 재료비, 경비의 합계인 순공사비를 비교하는 것이 합리적이다. 이를 비교하여 나타내면 표 6.17과 같다.

이 결과에서 상부구조를 폴리머 콘크리트 플룸으로 교체 시공하여 리모델링하는 경우, 경비는 증가 하였으나 노무비와 재료비가 적게 소요되어 결과적으로 총공사비는 33.5%가 절감됨으로서 경제성 측면에서 경쟁력이 있음을 확인 할 수 있다.

여기서 경비는 기계사용료이며, 이 항목이 높게 나타난 것은 교체 공법의 경우 현장 시공시 대부분의 공정이 건설 장비로 이루어지기 때문이다.

그렇지만 공사기간이 단축될 뿐만 아니라 사업물량이 대규모인 경우 기계화로 인한 부가가치는 더욱 높아질 것이므로 경비의 증가는 문제될 것이 없다.

한편 프리캐스트 폴리머 콘크리트 패널로 라이닝 하는 리모델링의 경우에도 순공

사비가 60.6% 절감됨으로써 철근 콘크리트 현장타설 공법보다 비교 우위에 있음을 알 수 있다.

표 6.17 수로교 리모델링 공법의 경제성 비교

항 목	철근 콘크리트로 재시공 (A)	폴리머 콘크리트 플륨으로 교체 시공 (B)	폴리머 콘크리트 패널로 라이닝 (C)	절감 비용 1) = A-B 2) = A-C
합 계 (순공사비)	16,190,685	10,774,593	6,381,026	1) = △5,416,092 (33.5% 절감) 2) = △9,809,659 (60.6% 절감)
노무비	8,289,089	4,624,631	3,691,926	1) = △3,664,458 2) = △4,597,163
재료비	7,804,976	4,540,720	2,489,100	1) = △3,264,256 2) = △5,115,876
경 비 (기계사용료)	96,620	1,609,242	-	1) = 1,512,622 2) = △96,620

3. 결과 요약

이 연구는 철근 콘크리트 현장 타설에 의한 리모델링의 공사비와 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품들을 이용한 리모델링 공사비를 비교하여 경제성을 분석한 것으로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 총공사비 비교에서 철근 콘크리트로 재시공하는 경우를 기준으로 할 때 프리캐스트 폴리머 콘크리트 플륨으로 교체 시공하는 경우는 40%, 제거하지 않고 프리캐스트 폴리머 콘크리트 패널 제품으로 리모델링 하는 경우는 63%가 절감되는 것으로 분석되었다.

(2) 순공사비 비교에서 프리캐스트 폴리머 콘크리트 플륨으로 교체하는 경우 경비는 증가 하였으나 인건비와 재료비가 적게 소요되어 결과적으로 33.5%가, 프리캐스트 폴리

며 콘크리트 패널로 라이닝 하는 경우는 60.6%가 절감되는 것으로 분석되었다.

(3) 폴리머 콘크리트 플룸에 의한 교체 리모델링의 경우, 순공사비에서 경비는 기계사용료이며, 이 항목이 높게 나타난 것은 이 공법의 경우 현장 시공 시 대부분의 공정이 건설 장비로 이루어지기 때문이다.

(4) 결과적으로 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품에 의한 리모델링 공법들은 경제성 측면에서 매우 유리하며, 사업물량이 대규모인 경우 부가가치는 더욱 높아질 것이므로 충분한 경쟁력이 있다고 할 수 있다.

제4절 지속가능한 콘크리트 구조물의 보수 보강 방법

여기서는 지속 개발 가능한 콘크리트 사회 기반 시설 평가의 매개 변수들과 평가방법을 소개하기로 한다.

최근 건설 산업은 막대한 에너지와 자원이 사용되고, 온실가스가 배출되기 때문에, 건설 산업 방면은 향상된 지속 개발 가능한 산업정책과 실험이 필요성이 점점 강조된다.

현재 미국에서도 건설 산업의 지속개발 가능한 움직임이 활발하며, 환경 보호 강령, 환경, 에너지와 교통관리, 에너지, 경제활동의 정부 지도안 등과 같은 다양한 연구가 이루어졌다. 이같은 보고서는 다른 나라의 지속 가능 개발에 연관된 시스템에 좋은 영향을 줄 수 있다.

지속 가능한 건설이 가장 활발히 논의되어진 것은 1987년에 United Nation Organization에서 작성된 Brundtland 보고서이다. 이 보고서에는 구조물의 지속 가능성을 위해, 설계, 건설 그리고 콘크리트 기반 시설의 사용이 환경, 사회, 그리고 경제적 측면에 중점을 두고 분석되었다. 이 보고서는 미국 콘크리트학회, 포틀랜드 시멘트학회, 철근 콘크리트 학회, 프리스트레스 콘크리트 학회 등에서 채택하고 연합하여, Concrete Joint Sustainability Initiative를 설립하고, 콘크리트의 지속 가능성에 대해 연구하고 있다. 콘크리트 보수, 보

강 측면에서는 Strategic development council이 Vision 2020을 만들고, 콘크리트 보수 및 보강 산업에 힘쓰고 있다.

1. 측정과 평가의 방법

US Green Building Council (USGBC), 미국 토목학회 (ASCE)등은 건설 산업 전반을 평가 방법을 제공하고 있으나, 콘크리트 구조물에 국한되어 자세히 평가법의 연구는 미비하다. 또한 설계나 산업의 산업 기반시설 수준까지 연구는 더욱 적다. 현재 콘크리트 구조물의 지속 가능한 연구에 대해서는 지속력의 향상, 유지관리 요구 조건의 감소, 에너지 효율의 증가, 폐기물 혹은 성능 향상을 위한 대체 재료의 사용 등에 국한되어 있다. 이 분야에 관한 표준화된 설계 기준이나, 법적인 제도는 현재 연구 중이다.

The Integrated Value Model for Sustainability Assessment (MIVES) 모델은 가치공학을 바탕으로 한다. 이 방법론은 여러 가지 형태가 다른 변수를, 기준이 되는 변수로 변환시켜, 다양한 측면의 연관된 중요성을 비교 평가한다. 이것은 하나의 프로젝트안에서 연관된 것의 요소의 중요성을 평가하기에 좋은 방법론이다. 이 방법론은 현재 지속 개발 가능한 평가에 응용되어져 있고, 지속 개발 가능한 콘크리트 구조물에도 적용 가능하다.

스페인 신콘크리트 구조물 협회(EHE)의 규정은 전반적으로 미국 콘크리트학회의 규정과 비슷하지만 모든 규정 분야에 구조적 생애주기를 고려하였고, 부분적으로는 설계, 건설 및 유지를 다뤘다. 또한 구조 요소 및 다양한 형태의 콘크리트 구조물을 다뤘다. 예를 들면 섬유 보강 콘크리트, 자생 혹은 재활용 골재 콘크리트를 다뤘다.

Metha, P. (2009)는 스페인 콘크리트 구조물 규정의 지속가능한 모델 혹은 지속 가능성을 위한 구조적 역할 인덱스와 MIVE 방법론 등을 제시하고 있다. 이것들은 설계기준은 아니나, 미래 지향적인 설계인 지속 발전 가능한 설계를 위해 선구자적인 역할을 하는 보고서이다.

기본적으로 구조물 평가를 위해 여러 가지 확인 요소 중 중요한 것에 더 무게를 두는

Rating system은 USGBC LEED 지침서, 지속 개발 가능한 공항 매뉴얼, 친환경 도로 평가 시스템, 지속 개발 가능한 사회 기반 구조물을 평가를 위해 널리 쓰인다.

가. 미국 친환경 건물 학회 에너지 및 친환경 설계 지침서 (USGBC - LEED Guidance)

USGBC에서 사용하는 LEED(에너지 및 친환경 설계 지침서)는 현재 널리 쓰이고 있으며, 기존의 구조물이나 현재의 구조물 모두 적용 가능하다. 표 6.18에서 볼 수 있듯이, 110점이 만점이며, 80~110점을 획득한 구조물은 플래티넘, 60~79점을 획득한 구조물은 Gold, 50~59점을 획득한 구조물은 Silver, 40~49점은 Certificated등으로 구조물을 점수로 평가하고 구분된다.

표 6.18 LEED 점수표 (U.S Green Building Council 2009)






categories	Score				
	New Construction and Major Renovations	Commercial Interiors	Core & Shell Development	Schools	Existing Buildings Operations & Maintenance
Sustainable Sites	26	21	28	24	26
Water Efficiency	10	11	10	11	14
Energy and Atmosphere	35	37	37	33	35
Material and Resources	14	14	13	13	10
Indoor Environmental Quality	15	17	12	19	15
Innovation in Design	6	6	6	6	6
Regional Priority	4	4	4	4	4
Total	110	110	110	110	110

Sustainable Airport Manual v2.1

The Sustainable airport manual was created by the city of Chicago and can be applied from design to construction process. From this rating system, 43 trees in the future will be preserved and 2021 pound waste of soils will be saved, 3980 pound of greenhouse gas and 2020 pound of air pollution will be reduced (Sustainable Airport Manual, 2009). This rating system is similar to LEED including Platinum, Gold, Silver, and Certified as shown in Figure 4. There are two phases- the design phase and construction phase.

나. 지속개발 가능한 공항 매뉴얼 2.1 버전 (Sustainable Airport Manual V 2.1)

시카고 항공국에서 만든 이 매뉴얼은 LEED 매뉴얼과 평가방법은 유사하다. 그러나 두 가지 평가 부분이 있다. 하나는 설계부분이고, 하나는 건설 부분이다.

Green Airplanes	Prerequisites	Civil-Airside	Civil-Landside	Occupied Buildings	Unoccupied Buildings	Reference LEED 2009 Rating System:
		8	8	13	12	
		2-19	2-20	2-43	2-34	
		20-24	21-26	44-54	35-44	Certified
		25-30	27-31	55-65	44-52	Silver
		31-40	32-42	66-87	53-70	Gold
		41-56	43-59	88-121	71-97	Platinum
MAXIMUM		56	59	121	97	






Green Airplanes	Prerequisites	Civil-Airside	Civil-Landside	Occupied Buildings	Unoccupied Buildings	Reference LEED 2009 Rating System:
		8	8	13	12	
		2-22	2-23	2-46	2-37	
		23-28	24-29	47-58	38-46	Certified
		29-33	30-35	59-69	47-56	Silver
		34-45	36-47	70-93	57-75	Gold
		46-63	48-66	94-129	76-104	Platinum
MAXIMUM		63	66	129	104	

그림 6.17. 프로젝트별 기준치 (Chicago Department of Aviation 2009)

다. 친환경 도로 평가 시스템 (Green Roads Evaluation System)

친환경 도로 평가 시스템은 생태계와 생애주기 비용을 바탕으로 만들었고, 도로의 질과 이용자의 질까지 고려하여 평가한다. 평가 등급은 LEED와 같다. 표 6.19에 볼 수 있듯이 평가를 위하여 첫 번째 부분은 11개의 카테고리로 나뉘지고, 두 번째 부분은 6개의 카테고리로 나뉘지고, 총 평가 항목 중 53%는 건설부분에 집중되어 있다. 32~42점을 얻으면 Green, 43점에서 54점을 얻으면 Silver, 55~63점은 Gold, 64점 이상은 Evergreen으로 평가되어지며, 최고평가 점수는 118점이다. 자세한 설명은 표 6.20에 나와 있다. 이 평가법은 사용자들이 편하게 쓸 수 있게 만들었으며, 적은 생애주기 비용으로 사회에 크게 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 그러나 이 평가법은 도로에 치중 되어있기 때문에 다른 사회 기반 구조물에 적용 하기는 힘들다. 또한 여러 사용자에게 의해 업데이트 되어져야 하고 수정 되어져야 하는 사항들이 제기되고 있다.

표 6.19 친환경 도로 평가 시스템 (Anderson et al.2011)

Part 1. Project Requirements(PR)	Part 2. Voluntary Credits (VC)
Environmental Review Process	Environment & Water, EW, 8 categories, 21 credits
Lifecycle Cost Analysis, LCA	
Lifecycle Inventory, LCI	Access & Equity, AE, 9 categories, 30 credits
Quality Control Plan	
Noise Mitigation Plan	Construction Activities, CA, 8 categories 14 credits
Waste Management Plan	
Pollution Prevention Plan	Materials & Resources, MR, 6 categories, 23 credits
Low-impact Development for storm water	
Pavement Management Plan	Pavement Technology, PT, 6 categories, 20 credits
Site Management Plan for environment, utilities	
Educational Outreach- Publicize sustainability info	Custom Credit, CC, 1 categories, 10 credits

표 6.20 친환경 평가 시스템의 세부사항 (Anderson et al.2011)

Categories	
Environment & Water	EW-1 Environmental Management System
	EW-2 Runoff Flow Control
	EW-3 Runoff Quality
	EW-4 Storm water Cost Analysis
	EW-5 Site Vegetation
	EW-6 Habitat Restoration
	EW-7 Ecological Connectivity
	EW-8 Light Pollution
Access & Equity	AE-1 Safety Audit
	AE-2 Intelligent Transportation Systems
	AE-3 Context Sensitive Solutions
	AE-4 Traffic Emissions Reduction
	AE-5 Pedestrian Access
	AE-6 Bicycle Access
	AE-7 Transit & HOV Access
	AE-8 Scenic Views
	AE-9 Cultural Outreach
Construction Activities	CA-1 Quality Management System
	CA-2 Environmental Training
	CA-3 Site Recycling Plan
	CA-4 Fossil Fuel Reduction
	CA-5 Equipment Emission Reduction
	CA-6 Paving Emission Reduction
	CA-7 Water Use Tracking
	CA-8 Contractor Warranty
Materials & Resources	MR-1 Lifecycle Assessment
	MR-2 Pavement Reuse
	MR-3 Earthwork Balance
	MR-4 Recycled Materials
	MR-5 Regional Materials
	MR-6 Energy Efficiency
Pavement Technologies	PT-1 Long-Life Pavement
	PT-2 Permeable Pavement
	PT-3 Warm Mix Asphalt
	PT-4 Cool Pavement
	PT-5 Quiet Pavement
	PT-6 Pavement Performance Tracking
Custom Credit	CC-X
	CC-X

라. 하버드대학의 지속개발 사회기반 구조물 평가방법 (Envision Rating System)

이 평가법은 세부적인 부분의 평가가 아닌, 사회 기반 구조물의 전반적인 부분의 평가와 환경적인, 경제적인 이익을 평가하는데 초점이 맞춰져 있다.

표 6.21 Envision 평가 시스템에 있어서 항목의 구성 (ISI and Harvard University 2012)

Section	Maximum Possible Score
Quality of Life	181
Leadership	121
Resource Allocation	182
Natural World	203
Climate and Risk	122
Total Project Points	809

(1) 삶의 질 : 13개의 평가 항목이 있다. 고무적인 지속 개발 가능한 성장, 지역의 기능, 공공의 건강과 안전, 소음과 진동, 빛 공해, 이용과 접근, 대체교통, 현장 접근성, 역사적 문화적 관점, 지역 특징 등.

(2) 리더쉽 : 10개의 평가 항목이 있다. 효과적인 리더쉽, 지속 가능한 관리 시스템, 협력, 결과물의 시너지 효과, 이해 관계자(개인이나 그룹, 주주, 고객, 노동자, 하청 업자)의 연관, 장기간 관찰 및 유지, 기존의 정책과 새로운 정책의 충돌

(3) 자원의 할당 : 14개의 평가항목이 있다. 포함되어진 자원에너지, 자원 확보, 자원 재활용, 지역 재료들, 낭비되어진 자원, 감소된 재료 처리, 건축물 해체, 에너지 소비감소, 재활용 가능한 에너지, 에너지 관찰 시스템, 자원이용을 위한 물의 사용, 물의 소비, 물 관찰 시스템 등

(4) 공사 현장 주변의 자연 : 15개의 평가항목이 있다. 주요한 서식지, 습지 표면, 주된 농지, 지역적인 위험성, 홍수 지역, 가파른 경사, 녹지대, 해충, 폭우, 수질 오염, 생명체의 다양성, 다양한 종, 파헤쳐진 토양, 물 기능의 유지 등

(5) 기후와 위험도 : 8가지의 평가항목이 있다. 온실가스 배출, 공기오염, 기후변화, 취약성, 장기간 적응력, 단기간 위험성, 열섬 현상 등

이 방법은 현재 미국에서 토목 구조물에 대한 새로운 평가 순위 시스템이다. 이것은

토목 구조물과 유사한 사회기반 구조물에 적용 가능하다. Envision system은 구조물의 전반적인 지속 개발 가능성을 평가할 수 있을 뿐만 아니라, 구조물의 질적인 평가도 가능하다. 2011년에 개발 되어진 Envision system은 완벽한 평가법이 될 때까지 현재도 계속 업데이트 중에 있다. 그러나 이 평가방법 중 리더쉽 부분은 단지 현장 관리소장에 의해서만 평가 가능하며 평가점수를 매기기에는 아직 부족한 부분이 있다. Envision의 한계점은 친환경 도로 평가법(Green Road)가 가지고 있고, 이 평가법과 숙달되기 위해서는 시간이 많이 소요 된다.

2. 콘크리트와 생애주기 고려

콘크리트의 이산화탄소 발생을 줄이기 위하여, 친환경 재료를 이용한 다양한 방법으로 지속 개발 가능한 콘크리트의 연구가 이뤄지고 있다. 그 중에서도 보다 정교한 평가를 위해서는 친환경 콘크리트와 기존의 콘크리트 사이에서 생애주기 평가 접근법이 채택되어 연구되어지고 있다. 구조물의 생애주기를 통한 평가법은 국제 표준화 조직(ISO)에 의해서 (구조물 전체의 생애주기를 고려한 구조적 기능 : 환경적인 영향, 에너지의 재료의 투입 구조물에 직접적으로 영향을 주는 요소 고려 및 체계화) 제정되지만 콘크리트 기반 구조물 보수 보강을 위해 뚜렷한 표준화 및 체계화된 세트는 존재하지 않는다.

투입(input), 결과물(output) 생애주기 평가를 통하여 에너지 사용은 온실 가스 배출에 영향을 주는 것이 나타났다. 재료의 저장, 매입, 토양 관리는 유독성 배출 감소를 위해 반드시 이뤄져야 한다. 콘크리트 사회 기반 시설을 위하여 현장 근처의 인력과 공사 현장 근처의 건설 재료 사용은 도움이 된다. 생애주기는 구조물에 연관된 환경적 영향의 평가에 기능적인 도구로 사용된다. 지속개발 가능한 구조물은 정부의 건설정책에 포함되어 국가적인 스케일로 개발되어야 한다.

3. 콘크리트 부분의 환경적인 기준

ISO 13315는 콘크리트 부분의 환경적인 영향도 평가와 적절한 이해에 도움이 된다.

가. 설 계

미국 토목학회는 생애주기 비용 분석을 프로젝트의 총 비용을 평가하는데 도입하도록 적극 권장하고 있다. 구조물의 생애주기는 계획, 설계, 건설, 사용, 유지, 규제화, 환경, 안전 등을 고려하여, 타당한 예산을 추정하는데 사용된다. 계획 및 설계단계에서 프로젝트의 총 생애주기 비용을 정하는데 가장 중요한 단계이다. 왜냐하면 설계비용의 절감은 설계 시에는 좋을지 모르나, 결국에는 미래에 유지 보수비용이 더 크게 영향을 미치기 때문이다. 특히, 하중을 받는 구조물의 경우에는 성능을 기반으로 한 설계(performance based design)가 이루어져야 하며, 이 설계법은 설계에 적합한 재료와 구조적인 형태를 지속개발 가능한지 여부를 염두에 두고 설계되어야 한다고 강조하고 있다. 이 설계법의 최대 궁극점은 얼마나 더 성능의 여분을 두고 설계를 해야 하는 것이다. 이것이 프로젝트의 경제성을 고려했을 때 가장 어려운 부분이다. 이 부분과 기후 변화의 임팩트 등이 토목 구조 기반 시설에 영향을 미치는 것을 연구가 Robust Structure 명분 아래 최근 화두가 되는 연구이다.

나. 건 설

지속 개발 가능한 건설은 복잡하지만, 환경오염을 감소시키고, 건설에 사용되는 낭용되는 에너지를 절감할 수 있다. 과거의 프로젝트는 비용, 구조물의 질을 계획하는 데만 집중되어 건설되었다. 그러나 지속 개발 가능한 건설은 프로젝트의 타당성을 확인하는 프로젝트 계획 단계 및 타당성 조사에 해당하는 구조물의 생애주기의 초반부터 의사가 결정되어 진다. 이 때 고려 사항 되어져야 하는 사항은 현장, 환경오염 요소 최소화, 에너지 사용 최소화, 건설 자재의 재활용 여부, 사용 가능한 재활용 건설재료 등을 고려하여 프로젝트 계획의 초기 단계에 결정되어야지만, 장기간 지속개발 가능한 구조물 건설

에 도달 할 수 있다.

지속 개발 가능한 건설 방법론 중 특히 중요한 것은 접착제 및 창틀 마감재와 같이 사소한 것은 현장 노동자의 선택에게 맡기고, 장기간적인 안목이 필요한, 주위 환경의 질, 구조물의 보수 보강은 중책을 맡은 관리자가 매일 확인하여 최적의 결정을 해야 한다. 확인 사항으로는 지속 개발 가능한 건설을 위한 자세한 전략, 환경오염을 절감하는 현장과 건설방법 선택, 친환경적인 건설 재료 선택, 건설 폐자재 배출을 극소화 하는데 노력을 해야 하며, 재활용 가능한 건설재료를 도출해내야 한다. 또한 에너지 사용을 최소화하기 위하여 계속 재사용이 가능한 건설자재를 찾아내야 한다. 건설 도구 또한 재사용 가능 여부를 확인해야 하며, 구조물의 사용자와 노동자의 삶의 질적인 향상도 보장되어야 한다. 마지막으로 건설 중장비에서 나오는 공기의 환경적인 오염도도 확인되어야 한다.

이것의 전반적인 지도와 기준은 국제 설계 기준 의회 (International Code Council)이 중추적인 역할을 하며, 2012년에 국제 친환경 건설 설계 기준(IgCC)이 제정되기 시작했다. 이곳에 참여한 단체는 AIA, ASTM International, ASHRAE, USGBC, IES가 있다. IgCC는 설계와 건설 등 모든 프로젝트와 그것의 건설 현장 전반에 걸쳐 지속 개발 가능성을 확인할 수 있는 최초의 모델이다. 이것을 바탕으로 새로 업데이트된 IgCC를 적용하면 구조물의 효율, 건설 자재의 낭비 감소 및 안정성 등을 기대할 수 있다. 이것은 국제 에너지 보존 설계 기준 (ICC-700), 국제 친환경 건축물 설계기준 (ASHRAE 기준 189) 등에도 영향을 주었다.

다. 보수 보강

전략적 발전 협회(Strategic Development Council)는 지속 개발 가능한 콘크리트 구조물의 보수 보강의 효율성과 안정성의 기준을 위하여 ‘비전 2020’을 제정하였다.

4. 결과 요약

지속 가능한 개발은 최근의 화두로 떠오른 연구이다. 이 분야에 대한 핵심 연구는 현재 활발히 진행 중이다. 지속 개발 가능성을 고려한 구조적 효율을 위하여, 구조물 평가 항목을 하나씩 도출 중이다.

생애 주기 분석법은 지속 개발 가능한 콘크리트 구조물을 위하여 좋은 방법이다. 기업 및 관련단체는 현재 존재하는 평가 방법을 검증하고 있고, 긍정적인 결론들이 나오고 있다.

추가적으로 이러한 평가 방법은 경제적, 환경적, 사회적 영향을 염두에 두고 콘크리트 사회 기반 시설물에 대한 연구가 진행되고 있다.

제 7 장 제작 및 공사 시방서 (안)

제1절 제작 시방서 (안)

1. 일반사항

가. 적용범위

이 규격은 주로 수로교에 사용되는 프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교 상부개거 구조물 (Precast Polymer Concrete Aqueduct Flume)에 대하여 규정한다.

나. 용어의 정의

이 규격에 사용된 용어들은 다음과 같이 정의한다.

(1) 폴리머 콘크리트 (Polymer Concrete ; PC)

액상 폴리머를 결합재로 하는 치밀한 매트릭스가 골재와 결합되어 있는 복합체로서 결합용 폴리머는 혼합 타설 후 그 상태에서 중합반응에 의해 경화가 이루어진다.

(2) 프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교 (Precast Polymer Concrete Aqueduct Flume : PPCAF)

폴리머 콘크리트를 재료로 하여 제조된 수로교 상부개거 구조물을 말하며, 공장에서 제작하여 현장으로 운반한 다음 기존의 노후 콘크리트 수로교를 철거한 후 설치함으로써 수로교의 전체적인 기능을 발휘하는 역할을 한다.(이하 PPCAF라 함)

다. 인용규격

다음의 규격을 이 규정에 인용하며, 그 규격은 그 최신판을 적용한다.

- (1) KS F 2438 콘크리트의 원주실험체의 정탄성계수 및 포아송비 시험방법
- (2) KS F 2456 급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법
- (3) KS F 2480 폴리에스터 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법
- (4) KS F 2481 폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법
- (5) KS F 2482 폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법
- (6) KS F 2484 폴리에스테르 레진 콘크리트의 사용가능시간 측정방법
- (7) KS M 3015 열경화성 플라스틱 일반시험방법

라. 재료 및 제조

(1) 폴리머 콘크리트의 구성재료

(가) 불포화 폴리에스터 수지 (Unsaturated Polyester Resin ; UP)

UP는 스티렌 모노머(Styrene Monomer)가 에스테르(ester) 결합으로 중합된 고분자 화합물로서 소정의 물리, 역학적 성질을 얻을 수 있는 것이어야 한다.

(나) MMA 모노머(Methylmethacrylate Monomer : MMA)

UP의 점도 조절과 물리, 역학적 성질의 개선을 위해 사용되며, 소정의 성능을 얻을 수 있는 것이어야 한다.

(다) 개시제 (Initiator)

UP가 경화하는 데는 개시제가 첨가되어야 하며, 소정의 가사시간을 얻을 수 있는 것이어야 한다.

(라) 촉진제 (Accelerator)

경화시간을 단축하기 위해 첨가되며, 소정의 성능을 발휘 할 수 있는 것이어야 한다.

(마) 충전제

충진제는 함수율이 0.5%이하이어야 하고, UP의 경화반응에 영향을 미치는 불순물을 포함하지 않은 것이어야 한다.

(바) 골재

골재는 함수율이 0.25%이하이어야 하고, 소정의 강도와 적당한 입도를 가진 것으로서 다음의 규격에 적합한 것이어야 한다.

1) KS F 2511

2) KS F 2512

3) KS F 2513

4) KS F 2515

(2) 제 조

(가) 배합설계

제품 생산 과정에서 발생하는 품질변동성을 고려하여 폴리머 콘크리트의 배합강도를 정해야 하며, 작업에 적합한 위커빌리티와 소정의 강도, 내구성, 수밀성을 확보 할 수 있도록 배합비를 결정해야 한다.

(나) 재료의 계량

재료의 계량은 모두 중량으로 한다.

(다) 보강재료

1) 보강용 철근은 이형철근을 사용하여야 한다.

2) 철근의 품질, 형상, 치수는 KS D 3504 (철근콘크리트용 봉강)의 각 규격에 적합해야 한다.

3) 인장측과 압축측 철근을 용접으로 보강하는 경우 그 위치와 용접 방법은 그림 5.6과 같다.

(3) 몰 드

프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품제작에 사용되는 몰드는 치수가 정확해야 하며, 견고하고 조립 해체가 용이한 구조로 제작하여야 한다. 거푸집용 철재는 저탄소강에 속하는 일반용 탄소강판(탄소함유율 0.2~0.12 %, 두께 3.2 mm이상)으로서 SS 41규격 또는 그 이상의 것을 사용하여야 한다.

(가) 폴리머 콘크리트가 새어나가지 않도록 강재 몰드의 모든 이음부는 마감을 철저히 하여야 한다.

(나) 완성된 프리캐스트 제품의 형상 및 치수가 충분히 확보 될 수 있도록 정밀하게 제작되어야 한다.

(다) 조립과 해체가 용이하여 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품의 탈형이 쉬운 구조로 제작되어야 한다.

2. 제 작

가. PPCAF 규격

(1) PPCAF 1-Span의 길이는 10 m로서 Segment 3개를 각각 제작하여 조립한다.

(2) 1-Segment의 길이는 3.3 m로 하며, 단면의 형상 및 치수는 그림 7.1 및 표 7.1과 같다.

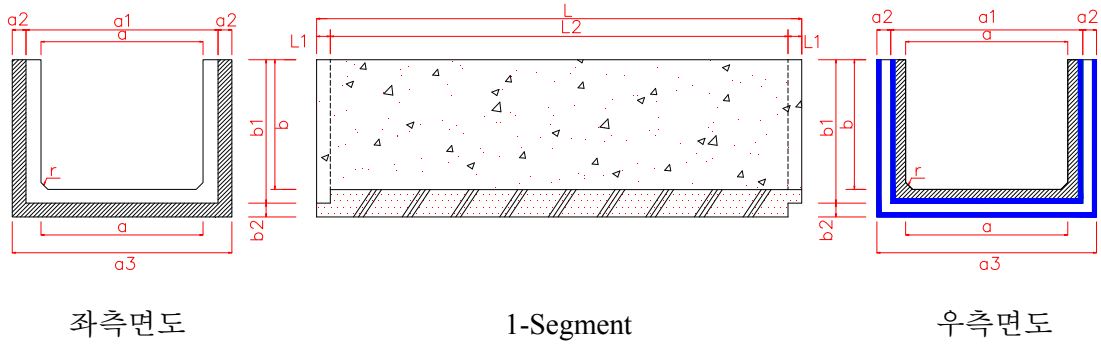


그림 7.1 단면의 형상

표 7.1 단면의 치수

규격 (a×b)	1-Span (mm)			소켓부의 치수 (mm)								비고
	L	L1	L2	a	a1	a2	a3	b	b1	b2	r	
700 × 600	3300	50	3200	700	725	25	820	600	625	25	50	

나. 철근가공 조립

- (1) 철근은 1-Segment(3.3 m)씩 가공 조립하며 재질이 저하되지 않는 방법으로 가공하여야 한다.
- (2) 철근은 깨끗이 청소된 몰드 내에 설치하며, 스페이서는 폴리머 콘크리트 타설시 움직이지 않도록 견고하게 조립해야 한다.
- (3) 스페이서는 구조체의 피복두께가 확보될 수 있도록 설치해야 한다.
- (4) 철근 조립이 끝난 후에는 반드시 감독원의 확인을 받아야 한다.
- (5) PPCAF 1-Span(10 m)의 철근 소요량 표 7.2를 기준으로 한다.

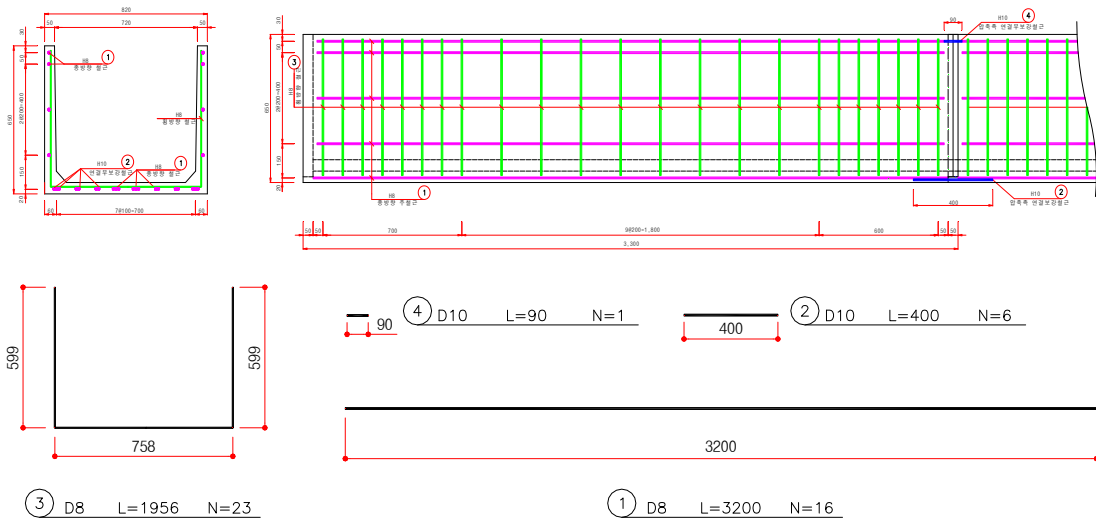


그림 7.2 철근 배근도

표 7.2 수로교 상부개거 철근 소요량

철근부호 (그림5.2)	호칭	길이 (m)	개수	총길이 (m)	단위중량 (kg/m)	중량 (1-Segment당)	총중량(kg) (중량×3)	비고
계						55.31	170.5	
①	D8	3.2	16	51.2	0.56	28.67	86.01	
②	D10	0.4	6	2.4	0.56	1.34	4.02	
③	D8	1.956	23	44.988	0.56	25.19	75.57	
④	D10	0.09	2	0.18	0.56	0.100	0.3	

다. 폴리머 콘크리트 타설

(1) 타설 준비

- (가) 철근이 단면 상세도 및 가공 조립도에 정해진 대로 배치되었는지를 확인해야 된다.
- (나) 강재 몰드 내에 이형제를 충분히 도포하여 탈형이 용이하도록 하여야 하며, 폴리머 콘크리트 타설시 이물질이 혼입되지 않도록 조치한다.

(2) 타설

- (가) 타설 작업을 할 때에는 배치된 철근의 위치가 변하지 않도록 해야 한다.
- (나) 타설 작업시에는 재료 분리나 콜드조인트(cold joint)가 생기지 않게 연속적으로 타설한다.

(3) 다짐 및 표면마무리

(가) 구조물의 두께가 얇아 내부 진동기를 사용할 수 없으므로 타설 직후 진동대로 운반하여 적당한 진동다짐으로 밀실한 폴리머 콘크리트가 되도록 해야 한다.

(나) 다짐 후 표면부는 인력에 의한 흠손 마무리를 하여 정확한 치수가 확보될 수 있도록 하여야 한다.

라. 양생 및 탈형

(1) PPCAF의 1차적으로 탈형시 파손되지 않을 정도의 강도를 얻을 수 있도록 충분히 양생해야 한다.

(2) 상온양생을 원칙으로 하며 적어도 2시간이 지난 후 변형이 발생하지 않는 시점에서 탈형하는 것을 원칙으로 한다.

(3) 양생기간 동안 외부환경에 영향을 받을 수 있으므로 품질관리에 유의하여야 하며, 외부 충격이 가해지지 않도록 해야 한다.

(4) 경화수축으로 제품 치수에 오차가 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위한 별도의 장치가 필요한 경우 이를 설치하여야 한다.

(5) 몰드는 외부를 먼저 해체하고, 내부는 유압 또는 턴버클(turn-buckle)등으로 구조체와 분리시켜 탈형하며, 탈형 후 실외로 운반하여 1주일간 상온에서 기건 양생한다.

마. 조립

각 Segment는 그림 7.3과 같이 조립한다. 이 때 연결부에서 충분한 부착강도와 수밀성 확보 될 수 있도록 표면을 그라인딩한 후 에폭시 수지를 도포하여 조립한다.

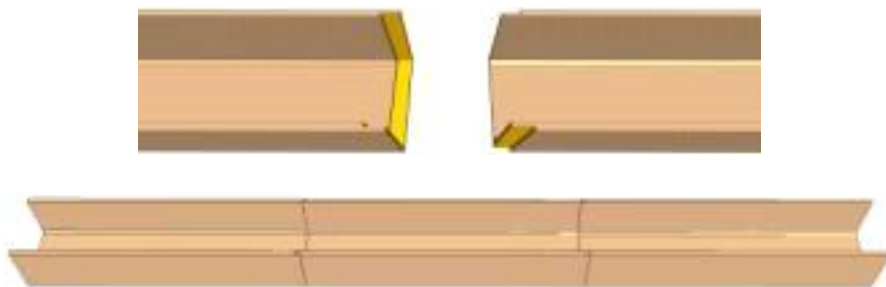


그림 7.3 Segment 조립도

3. 인장측 및 압축측 보강

가. 인장측 보강

- (1) 조립이 끝난 3개 Segment 끝단의 단절된 주인장철근은 그림 7.2의 보강철근(철근기호 ②번)으로 용접이음 하여 전체 Span의 구조적 거동이 일체화 되도록 하여야 한다.
- (2) 가공조립이 완료된 연결부는 그림 7.4와 같다.

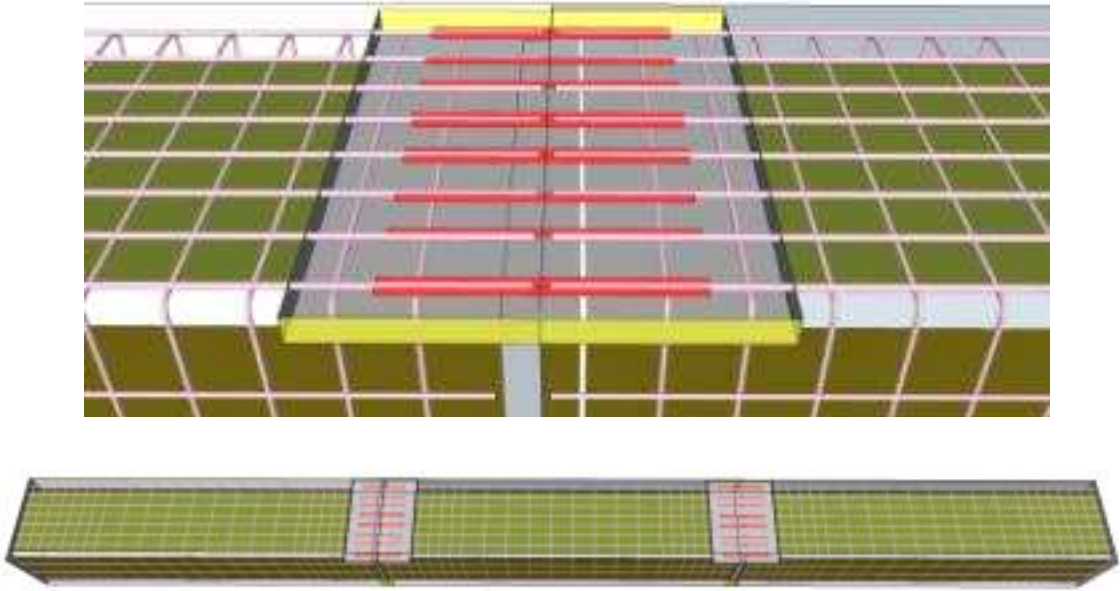


그림 7.4 인장측 철근보강 투시도

- (3) 연결부의 철근은 다음과 같이 보강하며 시공순서는 그림 7.5~7.8과 같다.
 - (가) 신.구 폴리머 콘크리트가 완벽히 부착될 수 있도록 표면을 그라인딩 한다.

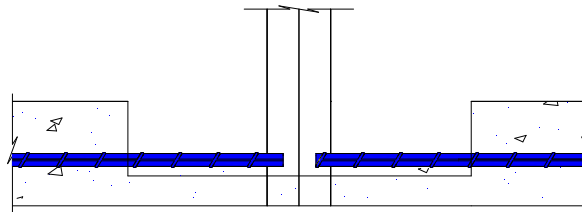


그림 5.5 시공이음 표면부 그라인딩

- (나) 단절된 주인장 철근은 보강철근(철근기호 ②번)으로 접이음 조립한 후 전기용접 한다. 이 때 철근의 접이음 정착길이는 150 mm이상으로 한다.

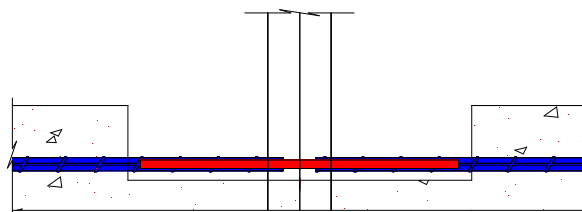


그림 5.6 용접에 의한 인장철근 접이음

(다) 시공이음부의 부착강도 확보를 위해 에폭시 수지로 코팅한다.

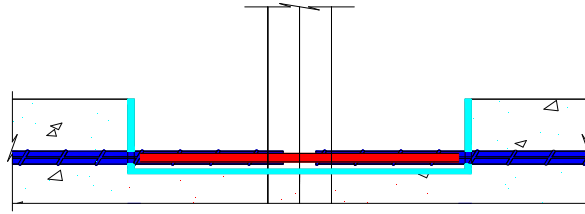


그림 5.7 시공이음부 에폭시 수지 코팅

(라) 폴리머 모르타르를 채워 구체를 완성하고 양생한다.

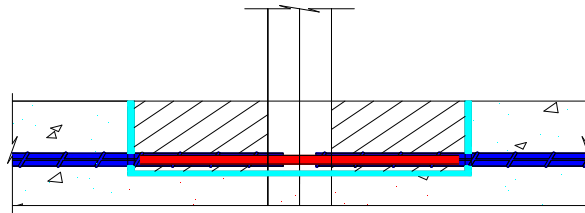


그림 5.8 폴리머 모르타르 채움

나. 압축측 보강

(1) 조립이 끝난 PPCAF 연결부의 압축철근은 그림 7.2의 보강철근(철근기호 ④번)으로 맞댐 용접이음하여 전체 Span의 구조적 거동이 일체화 되도록 한다.

(2) 연결부의 철근보강 작업순서는 그림 7.9~7.12와 같다.

(가) 시공이음부의 신·구 폴리머 콘크리트가 완벽히 부착될 수 있도록 표면을 그라인딩한다.

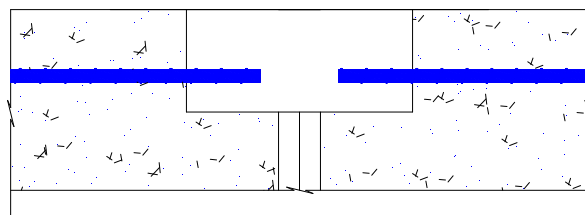


그림 5.9 시공이음 표면부의 그라인딩

(나) 압축측 철근은 그림 7.2의 보강철근(철근기호 ④번)으로 맞댐 이음을 한다.

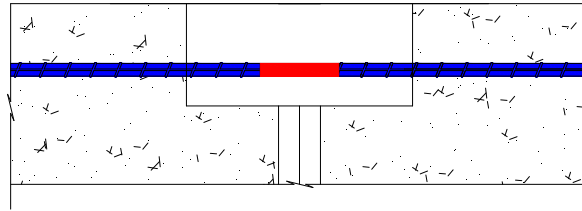


그림 5.10 맞댐 전기용접 이음

(다) 시공이음부의 부착강도 확보를 위해 에폭시 수지로 코팅한다.

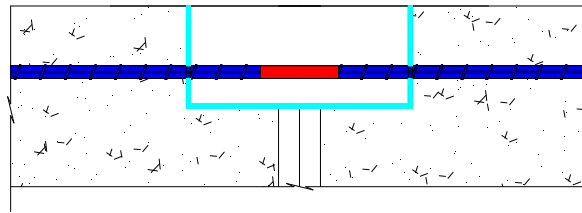


그림 5.11 시공이음부 에폭시 수지 코팅

(라) 폴리머 모르타르를 채워 구체를 완성하고 양생한다.

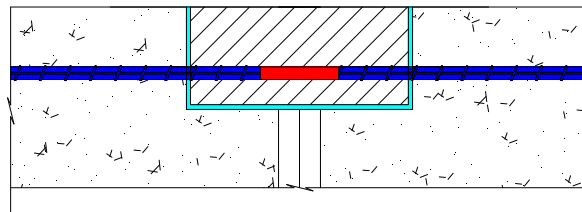


그림 5.12 폴리머 모르타르 채움

(3) 보강 완료 후의 형상은 다음의 그림 7.13과 같다.

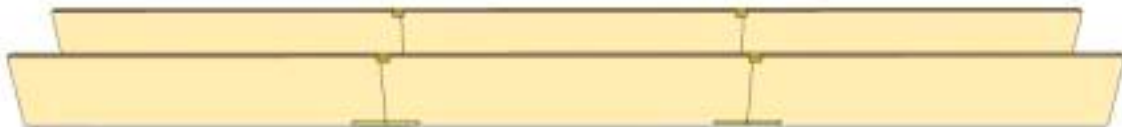
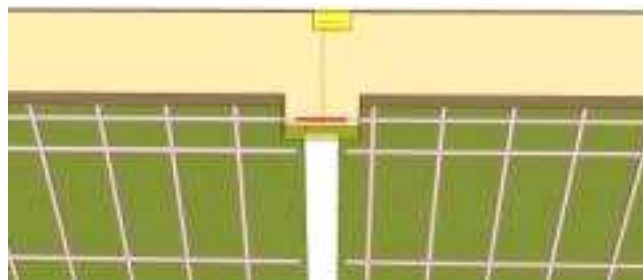


그림 7.13 압축축 보강완료 후 투시도

4. 검사 및 호칭방법

가. 검사

겉모양, 치수에 대하여 검사하며, 표 7.1(PPCAF 규격)의 규정에 적합하면 합격으로 판정한다.

나. 호칭방법

호칭방법은 다음 보기에 따른다.

『보기』 PPCAF7060 (프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교, B×H=700 mm × 600 mm)

다. 표 시

표 7.3 제품 및 송장 표시

제품 표시	송장 표시
가. 종류 또는 그 약호 및 호칭명	가. 종류 또는 그 약호 및 호칭명
나. 제조자명 또는 그 약호	나. 제조자명 또는 그 약호
다. 제조 연월일 또는 그 약호	다. 제조 연월일 또는 그 약호

제2절 공사 시방서 (안)

1. 일반사항

가. 적용범위

본 시방서는 프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교(Precast Polymer Concrete Aqueduct Flume : 이하 “PPCAF“라 한다)의 리모델링 공사에 적용한다.

나. 관련 시방서

- (1) 콘크리트 표준 시방서
- (2) 프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교(PPCAF) 제작 시방서

2. 제품의 적치·운반·검수

가. 일반사항

프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교 제품(이하 “제품”)의 공장 적치 및 출하, 운반 및 현장야적, 가설공정 등의 연관성을 충분히 검토하여 전 공정이 지연됨이 없이 시공되도록 공정계획을 수립하고 관리하여야 한다.

나. 제품의 적치 및 출하

(1) 제품은 예상되는 외력에 대하여 충분히 안전하도록 적치한다.

(2) 출하가 용이 하도록 적치하여야 하며, 저장기간이 길 경우에는 제품에 오염, 균열, 파손 및 유해한 변형이 생기지 않도록 한다.

(3) 받침목은 제품이 휨 및 비틀림 등의 변형을 일으키지 않도록 설치하여야 하며 일반적으로 부재의 양끝 지점을 지지 하도록 한다.

(4) 제품 출하에 앞서 시공현장의 책임자와 시공시기 등을 충분히 협의하여 출하계획서를 작성한다. 운반차량에서 직접 들어 올려 가설하는 경우는 현장에서의 가설순서를 고려하여 적재순서를 정한다.

(5) 공장의 출하 송장에는 공사명, 제품의 가설순서 번호, 제조년월일, 제품검사 합격 표시 등이 기록되어 있어야 한다.

(6) 출하되는 제품에 대하여 균열, 파손, 변형 등에 대한 검사를 실시하여야 한다.

다. 제품의 적재, 운반 및 하차

(1) 적 재

적재 및 운반 중에 제품에 균열, 파손, 변형 등이 생기지 않도록 충분한 조치를 취해야 하며, 유의해야 할 사항은 다음과 같다.

(가) 제품의 양끝지점을 들어 올릴 수 있는 장비를 이용하여 적재하여야 한다.

(나) 제품이 맞닿는 부분에는 목재 등을 끼워 파손되지 않도록 고정한다.

(다) 제품과 차량의 적재함이 맞닿는 부분에는 목재 등 스페이서를 넣어 진동과 충격에 의한 파손을 방지하도록 한다. 특히, 적재 시에는 2층 이상 쌓지 않는 것을 원칙으로 한다.



그림 7.14 차량 적재 및 운반

(2) 운 반

(가) 제작자, 운반책임자, 현장조립자 및 시공자가 사전에 운반계획을 충분히 협의하여 제품의 현장공급에 차질이 생기지 않도록 한다.

(나) 제품을 장기간 동안 시공현장에 야적해야 하는 경우에는 공장 적치와 같은 요령으로 한다.

(다) 운반 시에 유의할 사항은 다음과 같다.

- 1) 제품의 적재는 안전하게 하여야 한다.
- 2) 제품 운반차량은 평판트레일러 차량으로 운반함을 원칙으로 한다.
- 3) 제품 운반의 안전기준은 도로교통법 시행령의 운행상의 안전기준에 따라야 한다.
- 4) 이 기준을 초과하는 제품은 “도로교통법 시행령” 안전기준에 의하여 출발지를 관할하는 경찰서장의 허가를 얻어 운반한다.

(3) 현장 하치

(가) 제품이 현장에 도착하면 운반차량에서 크레인에 의해 바로 가설 작업을 하는 것이 원칙이나 여의치 않은 경우에는 최소한의 면적을 확보하고 야적하여야 한다.

(나) 현장하치 시 제품을 땅에 닿게 해서는 안되며, 부재의 각 모서리에는 적당한 방호물을 설치하여 손상되지 않도록 한다.

(다) 현장에서의 제품의 보호방법은 현장여건, 계절, 현장적치기간 등을 고려하여 별도로 정할 수 있다.

(라) 제품은 하나씩 내리며 부재의 내측에 직각방향으로 나무 등 보호물을 끼워 넣어 (그림 7.15) 측벽이 파손되지 않도록 하여야 하며, 빗줄이 닿는 부재 접촉면에도 보호물을 끼워 넣는다.

(마) 차량에 적재되어 있는 제품은 항상 차량의 양쪽 가장자리에 적재된 제품들을 교대로 먼저 내려 차량의 균형이 유지되도록 한다.



그림 7.15 차량 하치시 구조물 보호 조치

(4) 제품의 검수

(가) 제품이 공사현장에 반입되어 하차시킬 때까지의 하자는 생산자가 책임지며, 하차 이후에 발생한 하자는 현장 시공자가 책임을 진다.

(나) 제품 반입 시에는 송장에 기록된 사항과 균열, 파손, 변형 등의 상태를 확인하고 검수 하여야 한다.

(5) 취급 및 야적

(가) 제품을 현장에 야적할 경우에는 받침대를 설치하여 부재에 휨, 비틀림, 균열, 파손 등의 손상이 생기지 않도록 적절한 조치를 취하여야 한다.

(나) 특히 시공 장소가 하천인 경우에는 하천바닥의 불규칙한 지형으로 인해 부재가 변형되지 않도록 주의해야 한다.

3. 현장가설

가. 일반사항

(1) 현장시공자는 현장 가설공사를 시작하기 전에 가설방법, 가설순서, 공정 등의 시공계획서를 담당 감독자에게 제출하여 승인 받아야 한다.

(2) 시공계획서는 다음과 같은 항목들이 충분히 반영되어야 한다.

(가) 현장의 입지조건, 주변환경 (현장내 장비 진입도로 유무와 가설도로 신설계획 포함)

(나) 기존 콘크리트 수로교의 규모, 구조, 형상 및 치수, 철거 및 폐기물 처리계획

(다) 프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교 제품의 중량, 수량 및 크레인의 작업반경

(라) 가설 중장비(크레인, 백호 등)의 종류, 가설순서, 부재반입 야적장 공간 등

(마) 작업요원의 안전을 위하여 필요한 안전발판, 비계, 안전망 등에 대한 계획

나. 기존 콘크리트 수로교 철거

(1) 사용 중장비

기존 콘크리트 수로교 상부의 무게를 들어 올릴 수 있는 크레인을 사용하여 철거함을

원칙으로 하며, 현장여건에 따라 브레이커를 장착한 0.6m³급 이상의 백호를 사용할 수 있다.

(2) 철거공법 선정

기존교각을 전도 또는 손상시키지 않도록 안전대책을 고려하여 철거공법을 선정해야 하며 안전이 우려될 경우에는 인력과쇄를 병행한다. 철거는 중장비의 작업 반경 확보를 위하여 교대측부터 우선 철거하고 중앙부는 나중에 철거한다.

(3) 폐기물처리 및 환경보전

폐콘크리트, 폐철근 등은 폐기물처리 관련법령에 따라 적정하게 처리하고, 현장이 하천 또는 농경지를 횡단할 경우 별도의 환경오염 방지 대책을 미리 강구하여야 한다.

다. Shoe 제작 및 설치

(1) 제 작

프리캐스트 폴리머 콘크리트 Shoe는 폴리머 콘크리트 수로교 제작시방서에 의하여 공장에서 제작한다.

(2) 설 치

시공자는 신설 수로교의 정확한 종단계획과 구배를 확보하기 위하여 계획 종단면도를 면밀히 검토하여야 하며, 다음과 같은 순서로 설치한다.

(가) 교각 coping부가 노후된 경우 노후부분을 제거하고(양호한 경우에는 chipping 없이 청소) Shoe를 고정할 수 있도록 2개소의 구멍($\phi 30$ mm, h=150 mm)을 교각 coping부에 직각으로 천공한다.

(나) Shoe와 교각부를 일체화 시키기 위하여 교각의 coping 상부에 무수축 모르타르를 타설한다.

(다) coping 상부의 무수축 모르타르가 양생되기 전 Shoe에 설치된 앵커 $\phi 13$ mm (h=100 mm)를 교각 coping부에 미리 천공한 $\phi 30$ mm (h=150 mm)의 hole에 정확히 삽입하여 교각과 일체화 시킨다.

(라) 무수축 모르타르가 양생되고 설치된 Shoe가 교각부와 일체화 되었음을 확인한 후 수로교 설치 계획고에 따라 종단 수준측량을 시행한다. (측량의 오차범위는 5.0 mm미만을 원칙으로 한다)

(마) 5.0 mm이상의 오차가 발생할 경우 폴리머 콘크리트 Shoe의 표면을 그라인딩 하

여 높이를 정확히 조절한다.

라. 가설 조립

(1) 시공계획 수립

(가) 시공계획서를 기초로 폴리머 콘크리트 수로교 가설작업의 순서 등을 상세히 검토하여 가설 공사에 착수한다. 시공계획서에는 다음과 같은 사항들이 포함되어야 한다.

- 1) 기존 콘크리트 수로교 상부 철거 계획
- 2) 프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교 제품 가설 계획
- 3) 사용 중장비의 종류 및 용량
- 4) 시공시 유의사항
- 5) 안전관리

(나) 수로교 가설용 중장비의 종류, 성능, 소요대수를 사전에 검토하여 투입한다. 사용할 중장비는 11톤급 이상 트럭 크레인(truck crane), 11톤급 이상 카고 크레인(cargo crane)을 사용하고, 보조 중장비로는 0.6m³급 이상 백호우(back hoe)등을 사용한다. (그림 7.16)



1) 트럭 크레인
(truck crane)



2) 카고 크레인
(cargo crane)



3) 백호우
(back hoe)

그림 7.16 가설 조립용 중장비

(다) 현장준비

가설 작업전에 사용장비의 현장접근 가능성을 확인하여야 하며, 가설 착수 전에 다음과 같은 준비작업을 한다.

- 1) 중장비의 배치 위치 결정
- 2) 크레인 및 운반차량의 통로 확보
- 3) 신축이음부 재료(폴리러버 시트, STS 고정판, 앵커볼트)준비

(2) 가 설

(가) 중장비 선정

중장비는 다음 사항을 고려하여 선정한다.

- 1) 제품의 길이 및 중량
- 2) 작업반경과 주변 지장물의 높이
- 3) 현장접근 가능성 등 입지적 조건

(나) 수로교 가설

수로교의 현장 가설공사의 절차는 다음 순서에 따른다.

- 1) 현장가설은 시공지침서에 따라 실시한다. 현장가설도가 없을 경우에는 중앙부를 먼저 설치하고 좌우측 부분을 나중에 설치하는 것을 원칙으로 한다
- 2) 작업의 안전을 위하여 수로교 교각 주변에 안전용 발판을 설치하여야 한다.
- 3) 프리캐스트 제품의 일부를 천공 또는 절단하여야 할 경우에는 감독원의 승인을 받아야 한다. 특히 인장측의 Segment 연결부는 천공 또는 절단 할 수 없다.
- 4) 프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교 제품에서 가장 취약한 부분은 양단부이므로 조립시 과도한 충격이 가해지지 않도록 하여야 한다.

(다) 기존 콘크리트 수로교 및 개거부 연결

기존의 콘크리트 수로교 또는 개거부와 연결은 다이아몬드 날이 장착된 콘크리트 절단용 톱을 사용하여 프리캐스트 폴리머 콘크리트 수로교 제품의 두께보다 20 mm정도 여유를 두고 부분 컷팅한 후 연결하여야 한다. 이 때 20 mm의 빈틈은 무속축 모르타르로 채워 수밀성을 확보토록 하여야 한다.

마. 신축이음 설치

(1) 재 료

신축이음부는 수로교의 교각부에 설치되며, 재료는 크기 200 mm x 3 mm(폭 x 두께)의 폴리러버 시트(Poly rubber sheet) 및 STS 고정판(폭 50~150 mm, 두께 3 mm)을 사용한다.

(2) 설 치

신축이음부는 현장에서 조립·설치하고 에폭시 수지를 이용하여 마감처리 한다.

(3) 신축이음부 이격거리 및 허용오차

수로교 신축이음부 이격은 시공시의 온도와 폴리머 콘크리트의 온도팽창계수를 고려하여 적당한 거리를 두고 시공하여야 하며, 시공시 허용오차는 3 mm 이하로 한다.

4. 품질관리

가. 일반사항

- (1) 시공자는 공사 착수부터 준공 시까지 공사 전반에 대한 모든 책임을 진다.
- (2) 공사현장의 관리는 근로기준법, 산업안전관리법, 노동안전관리규칙, 소방법, 전기공작물규정 등의 관계법규에 위반되는 일이 없도록 한다.

나. 현장 품질관리

시공자는 품질관리를 위하여 다음 사항들을 기록을 이행한다.

- (1) 품질관리 기록 (사진 촬영 등)
- (2) 제품의 검수, 야적상태의 적절성, 조립 후 검사 등에 대한 기록
- (3) 기타 품질보증을 위한 기록

5. 기타 사항

가. 수로교의 특성상 현장 주변은 대부분 농경지가 위치하고 있으므로 피해를 주지 않도록 모든 조치를 취하여야 한다. 특히 하천을 횡단하는 수로교의 경우 하천의 환경 오염방지를 위한 조치를 취하여야 한다.

나. 주변에 축사 등이 위치할 경우 철거 시 소음에 주의하여야 하며, 현장에서 발생하는 건설폐기물 등은 “폐기물관리법”에 의하여 적정하게 처리하여야 한다.

다. 발주처는 수로교가 법정하천을 횡단하는 경우 관할 하천관리청의 하천정비 기본계획을 검토하여 제방계획 및 각종 시설 계획고를 반영하여야 한다. 아울러 공작물 설치허가 등 기타 인,허가사항에 대한 행정조치 등을 이행한 후 시공에 착수하여야 한다.

제 8 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 목표 달성도

1. 1차년도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2011)	리모델링 공법 및 적용기준 개발	1. 수로교 유지관리 실태 조사 분석	100	① 수리시설 개보수 사업 추진현황 ② 수로교의 경과년수 ③ 수로교의 개보수 사업비 분석 ④ 수로교의 개보수 사유 ⑤ 수로교의 개보수 방법
		2. 수로교 손상원인 및 유형 분석	100	① 수로교 손상 원인 분석 ② 수로교 손상 유형 분석
		3. 수로교 리모델링 공법 비교 분석	100	① 공법분석의 기본방향 ② 기술 관련자료 수집방법 ③ 조사된 관련 공법의 핵심사항 ④ 관련 공법의 내용 및 특징
		4. 리모델링 공법적용 기준설정 및 시공 방법	100	① 수로교 리모델링의 범위 ② 주요 성능저하요인 및 손상상태 ③ 상태평가 및 리모델링 공법의 적용 기준 ④ 리모델링 공법의 적용 ⑤ 리모델링 재료 선정 및 기본성질 ⑥ 시공방법 개요
		5. 경관을 고려한 형상 디자인 비교 검토	100	① 적용기준 설정 ② 적용 가능한 디자인 형상
		6. 폴리머 콘크리트의 재료상수 도출	100	① 역학적 특성시험 ② 열팽창계수 시험
		7. 교체용 수로교 개거 부의 구조 검토	100	① 수로교 구조검토 ② 개거 접착 이음부 구조검토 ③ 지점 연결부 신축량 검토

2. 2차년도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
2차 년도 (2012)	리모델링 공종별 사용재료 및 설계기술 개발	1. 기존의 사용재료 조사분석	100	① 기존의 콘크리트 구조물 보수, 보강 재료조사 ② 조사된 보수, 보강 재료의 특성과 적용 방법 분석 ③ 수로교 리모델링 재료로서의 적용성 검토
		2. 프리캐스트 제품용 재료 개발	100	① 개거부 및 패널 제품 제조용 폴리머 콘크리트 개발 ② 선발된 재료에 대한 적정 배합비 구명 ③ 작업성 및 물리, 역학적 성질 구명
		3. 교각 보수용 재료 개발	100	① 교각 보수용 저점도 결합재 선정 및 제조 ② 결합재, 골재, 충전재의 적정 배합비 도출 ③ 작업성 및 물리, 역학적 특성 시험
		4. 개거부 받침 및 신 축이음부 개발	100	① 개거부 받침 및 신축이음부 재료 선정 ② 받침부(고정지점 앵커 포함) 형상, 치수 및 설치 방법 제시 ③ 신축이음부의 구조 및 수팽창 고무의 치수 제시
		5. 설계조건별 교체용 개거부 구조설계	100	① 통수단면 및 지간의 길이에 따른 구조해석 ② 상기한 변수에 따른 개거부의 적정 단면 제시 ③ 설계조건별 개거부의 바닥 및 벽체의 적정 두께 제시
		6. 실물시험체 제작 및 재하시험	100	① 지간 10 m에 적용 가능한 개거부 실물 시험체 제작 ② 라이닝용 패널 실물 시험체 제작 ③ 교체용 개거부에 대한 재하시험 을 통해 현장 적용 가능성 확인

3. 3차년도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
3차 년도 (2013)	리모델링 현장적용 기술 및 시공기준 개발	1. 현장 시험시공	100	① 현장 시험시공 대상지 선정 ② 교체용 개거부 현장 시험시공 ③ 라이닝용 패널 현장 시험시공 ④ 시험시공 결과 평가
		2. 시공결과 추적조사	100	① 관개기에 정기적으로 현장조사 ② 온도변화에 의한 신축량 조사 ③ 처짐, 균열, 누수 실태조사 ④ 추적조사결과 분석
		3. 개발기술의 경제성 분석	100	① 절대공기 비교 분석 ② 사업비 분석 및 경제성분석 ③ 총 시공비용 분석 ④ 기존 방법과의 공사비 비교
		4. 지속 가능한 콘크리 트 구조물의 보수, 보강방법 연구	100	① 측정과 평가의 방법 ② 콘크리트와 생애주기 고려 ③ 콘크리트 부분의 환경적인 기준
		5. 제작 및 공사시방서 연구	100	① 사용재료의 선정 기준 ② 프리캐스트 제품 제조 방법 및 기준 ③ 리모델링 공사 기준 ④ 시공 후 검사기준
		6. 사업화 촉진방안 연구	100	① 참여기업과의 기술사용 협약 추진 ② 조달청 우수조달 품목 및 기술인증 품목 등록 추진 ③ 건설신기술 지정신청 추진 ④ 출원특허 우선등록 추진

제2절 관련분야에의 기여도

1. 당초목표

본 연구는 핵심기술 확보를 목적으로 수행된 실용화 연구로서, 당초에 설정한 목표는 다음과 같다.

- (1) 국내·외 저명 전문 학술지에 연구결과를 발표함으로써 과학기술 및 학문수준 향상에 기여한다.
- (2) 연구 개발된 노하우와 핵심기술에 대한 특허 출원 및 등록을 통해 지식재산권을 확보한다.
- (3) 연구 개발 과정에서 획득한 각종 자료를 각종 교육 자료로 활용한다.
- (4) 궁극적으로는 연구 개발된 기술의 산업체 이전을 통해 사업화와 함께 기술경쟁력을 제고시킨다.

2. 달성성과

가. 기술적 측면

- (1) 농업용수 이용효율 증진과 농촌경관을 개선시킬 수 있는 수로교의 리모델링 기술이 확보 되었다.
- (2) 순수한 국내기술에 의해 연구 개발함으로써 독자적인 기술력 보유가 가능하였다.

나. 학문 발전적 측면

- (1) 산학연 연구를 통해 상호보완적 연구가 가능하므로 시너지효과 창출 및 학문의 질적 수준을 향상시킬 수 있었다.
- (2) 연구 개발된 결과를 국내·외 학술대회 및 저명 학술지에 발표함으로써 이 분야에 대한 한국의 학문적 수준을 한 단계 업그레이드 시킬 수 있었다.

다. 경제·산업적 측면

- (1) 체계적인 연구를 통한 수로교 리모델링 공법개발로 연구결과의 실용화를 촉진시킬 수 있었다.
- (2) 개발기술의 이전을 통해 연구 성과의 실용화, 사업화를 달성할 수 있었다.

라. 인력 양성적 측면

- (1) 대학과 산업체의 공동 연구로 폭넓은 지식을 가진 전문 인력의 양성이 가능하였다.
- (2) 폴리머 콘크리트 및 수로교 리모델링 분야에 전문지식을 갖춘 고급인력의 양성이 가능하였다.

제 9 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제1절 연구개발성과

1. 논문 성과

계재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2011	영하온도에서 UP-MMA 폴리머 모르타르의 강도 발현에 미치는 골재 및 양생온도의 영향	연규석	손승완	김용성, 차진윤	한국농공학회 논문집	53(5)	국내	비SCI
2011	Rehabilitation Method of Deteriorated Aqueduct Using Polymer Composites	Kyu-Seok Yeon		Seung-Wan Son Jin-Yun Cha	European Symposium on Polymers in Sustainable Construction (ESPSC2011)		국외 (폴란드)	비SCI (학술 회의)
2011	Application of Concrete-Polymer Composites for Livestock Waste and Manure Management Facilities	Jung Heum Yeon		David Fowler, Kyu-Seok Yeon	7 th International Symposium on Concrete for a Sustainable Agriculture of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR)		국외 (캐나다)	비SCI (학술 회의)
2011	영하 온도에서 폴리머 모르타르의 압축강도 발현	연규석		손승완, 차진윤	한국콘크리트학회 2011년도 봄 학술대회		국내	비SCI (학술 회의)
2011	MAA혼입 MMA-PMMA 폴리머 모르타르의 굳기전 성질	연규석		손승완, 차진윤	한국콘크리트학회 2011년도 가을 학술대회		국내	비SCI (학술 회의)
2011	충전제가 MMA-PMMA 폴리머 모르타르의 작업성과 압축강도에 미치는 영향	연규석		손승완, 차진윤, 승인배	2011 한국농공학회 학술발표회		국내	비SCI (학술 회의)
2012	Mechanical Properties of Acrylic Polymer Concrete Containing Methacrylic Acid as an Additive	Seung-Wan Son,	Jung Heum Yeon		Construction and Building Materials	37 (10)	국외	SCIE
2012	UP-MMA 폴리머 콘크리트의 경화수축, 열팽창계수 및 탄성계수	연규석	연정흠		한국콘크리트학회 논문집	24(4)	국내	비SCI
2012	Rehabilitation of a Deteriorated Aqueduct Using Polymer Composites: A Case Study	Kyu-Seok Yeon		Seung-Wan Son, Jin-Yun Cha	Restoration of Buildings and Monuments	18(3)	국외	비SCI
2012	Recent Development and Application of Concrete-Polymer Composites in Korea	Kyu-Seok Yeon		Yoon-Sang Choi, Jung Heum Yeon, Makoto Kawakami	Restoration of Buildings and Monuments	19(2)	국외	비SCI

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2012	Polymer Composites Applied for Agricultural Hydraulic Structures	Kyu-Seok Yeon			International Workshop on Sustainable Materials and Structures (IWSMS2012)		국외 (일본)	비SCI (학술 회의)
2012	영하온도에서 결합재의 경화시간 및 폴리머 콘크리트의 사용가능시간	승인배		최윤상, 민승호, 연규석	2012년도 한국농공학회 학술발표회		국내	비SCI (학술 회의)
2012	영하온도에서의 TMPTMA 혼입 MMA-PMMA 폴리머 콘크리트의 강도 특성	연규석		민승호, 차진윤, 승인배, 박명근	한국콘크리트학회 2012년도 봄학술대회		국내	비SCI (학술 회의)
2013	Remodeling of Deteriorated Irrigation Aqueducts Using Precast Polymer Concrete Flume	Kyu-Seok Yeon		Makoto Kawakami, Yoon-Sang Choi, Jin-Yong Hwang, Seung-Ho Min, Jung Heum Yeon	Advanced Materials Research	687	국외	비SCI
2013	Strength Development Characteristics and Economic Efficiency of Low Temperature Cured Acrylic Polymer Concrete: The Effect of Additive Type	Kyu-Seok Yeon		Yoon-Sang Choi, Makoto Kawakami, In-Bae Seung, Jung Heum Yeon	Advanced Materials Research	687	국외	비SCI

2. 특허 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원 연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록 연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2011	수로교의 개거시공 방법	강원대 산학협력단	대한민국	10-2011-0105836	2013	수로교의 개거시공 방법	강원대 산학협력단	대한민국	10-1274570-0000
2011	수로교의 개거보수 공법	강원대 산학협력단	대한민국	10-2011-0106804	2013	수로교의 개거보수 공법	강원대 산학협력단	대한민국	10-1303659-0000
2013	수로교의 개거 인장축 보강방법	강원대 산학협력단	대한민국	10-2013-0026556					
2013	개거 보수공법	강원대 산학협력단	대한민국	10-2013-004081					
2014	수로관의 신축 이음장치 및 그 시공방법	강원대 산학협력단	대한민국	10-2014-0008310					

제2절 성과 활용계획

1. 참여기업 기술 사용 협약 추진

특허 사용권은 참여기업인 웅비건설에 우선적으로 이전토록 하며, 프리캐스트 폴리머 콘크리트 제품 생산업체는 추후에 선정하기로 함

참여기업	기업체명	기업유형	소재지	연락책임자	전화번호
		웅비건설(주)	중소기업	강원도	이희수
	폴리머 콘크리트 프리캐스트 제품 생산업체 (향후 선정)	-	-	-	-

2. 조달청 우수조달 물품 및 기술인증물품 등록 추진

“중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법률 제13조”, “시행령 제13조에 따른 성능인증제품 및 조달우수제품으로 등록하여 수요기관에서 설계에 반영할 수 있도록 함.

중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법률	중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법률 시행령
제1조(목적) 이 법은 중소기업제품의 구매를 촉진하고 판로를 지원함으로써 중소기업의 경쟁력 향상과 경영안정에 이바지함을 목적으로 한다.	제1조(목적) 이 영은 「중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법률」에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.
<p>제13조(기술개발제품 등에 대한 우선구매) ① 정부는 중소기업자가 개발한 기술개발제품의 수요를 창출하기 위하여 이들 제품을 우선적으로 구매하는 등 필요한 지원시책을 마련하여야 한다. <개정 2011.3.30></p> <p>② 중소기업청장이나 관계 중앙행정기관의 장은 중소기업자가 개발한 기술개발제품의 구매를 늘리기 위하여 공공기관이나 그 밖에 대통령령으로 정하는 자에게 우선구매 등 필요한 조치를 요구할 수 있다.</p> <p>③ 제2항에 따른 요구를 받은 공공기관은 그 요구에 따라 이들 제품의 우선구매 등의 조치를 할 수 있다.</p>	<p>제13조(우선구매 대상 기술개발제품의 지정) 법 제14조제1항에서 "성능인증을 받은 제품 등 대통령령으로 정하는 일정한 요건을 갖춘 제품"이란 다음 각 호의 제품을 말한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 법 제15조제1항에 따라 성능인증을 받은 제품 2. 「조달사업에 관한 법률 시행령」 제18조제1항에 따라 우수조달물품으로 지정된 제품 3. 「산업기술혁신 촉진법」 제16조제1항에 따라 신제품으로 인증된 제품 4. 「소프트웨어산업 진흥법」 제13조제1항에 따라 품질인증을 받은 소프트웨어 5. 그 밖에 중소기업청장이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 지정한 제품

3. 건설신기술 지정신청 추진 (국토교통부)

「건설기술관리법」 제18조(신기술의 활용 등), 시행령 제39조(신기술의 지정신청)에 의한 신기술 지정으로 기술 개발자를 보호하고, 신기술의 활용·촉진을 위하여 발주청이 시행하는 국내외 건설공사에 우선 적용하게 할 수 있는 법적 제도적 근거를 마련함.

건설기술관리법	건설기술관리법 시행령
<p>제18조(신기술의 활용 등) ① 국토교통부장관은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 건설기술을 개발한 자(이하 "기술개발자"라 한다)가 요청한 경우로서 그 건설기술을 보급할 필요가 있다고 인정될 때에는 그 건설기술을 새로운 건설기술(이하 "신기술"이라 한다)로 지정·고시할 수 있다. <개정 2013.3.23></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 국내에서 최초로 개발한 건설기술로서 신규성·진보성 및 현장적용성이 있다고 판단되는 건설기술 2. 외국에서 도입하여 개량한 것으로서 국내에서 신규성·진보성 및 현장적용성이 있다고 판단되는 건설기술 <p>② 신기술의 지정에 필요한 기술의 평가방법 및 지정절차 등은 대통령령으로 정한다.</p> <p>③ 국토교통부장관은 기술개발자를 보호하기 위하여 필요하면 보호기간을 정하여 기술개발자에게 신기술에 대한 기술사용료를 받을 수 있게 하거나 그 밖의 방법으로 보호할 수 있으며, 기술개발자가 보호기간의 연장을 신청하는 경우에는 그 신기술의 활용실적 등을 검증하여 보호기간을 연장할 수 있다. <개정 2013.3.23></p> <p>④ 국토교통부장관은 발주청에 신기술과 관련된 신기술장비 등의 성능시험, 시공방법 등의 시험시공을 권고할 수 있으며, 성능시험 및 시험시공의 결과가 우수하면 신기술의 활용·촉진을 위하여 발주청이 시행하는 건설공사에 신기술을 우선 적용하게 할 수 있다. <개정 2013.3.23></p> <p>⑤ 국토교통부장관은 제3항에 따라 보호를 받는 기술개발자에 대하여 신기술의 성능 또는 품질의 향상을 위하여 필요한 경우에는 신기술의 개선을 권고할 수 있다. <개정 2013.3.23></p> <p>⑥ 제3항에 따른 신기술의 보호내용·기술사용료·보호기간(보호기간의 연장을 포함한다) 및 활용방법 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.</p>	<p>제39조(신기술의 지정신청) 법 제18조제1항에 따른 신기술(이하 "신기술"이라 한다)의 지정을 신청하려는 자는 신기술 지정신청서에 다음 각 호의 사항을 적어 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. <개정 2013.3.23></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 신기술의 명칭 및 개발 배경 2. 신기술의 내용(신기술의 요지와 지정요건인 신규성·진보성·현장적용성에 대한 구체적인 내용을 포함한다) 및 범위 3. 개발하거나 개량한 자의 성명(법인의 경우에는 그 명칭 및 대표자의 성명) 4. 국내외 건설공사에서의 활용 전망 5. 시방서(示方書) 및 유지관리지침서 6. 그 밖에 품질검사전문기관이 발행한 각종 시험성적서 및 시험시공 결과 등 신기술의 평가에 필요하다고 인정되는 사항 <p>[전문개정 2010.12.13]</p> <p>[제32조에서 이동, 종전 제39조는 제72조로 이동 <2010.12.13>]</p>

제 10 장 참고문헌

- 1) 건설교통부, “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”, 1995.
- 2) 건설교통부, “콘크리트 구조설계기준”, 한국콘크리트학회 · 대한건축학회, 1999.
- 3) 고제만, 박수정, 이현규, 박은수, 최성주, 김창수, “철근 콘크리트 수로교 보수 및 보강을 위한 에폭시 도복장 강관 받침부재를 이용한 수로교 시공공법”, 한국특허학회, 2009.
- 4) 김관호, “농업기반 수리구조물의 노후손상 유형화 분석”, 한국관개배수위원회, 2007.
- 5) 김관호, 박광수, 신수균, 김명원, 이준구, “농업기반 수리구조물의 노후손상현상과 보수보강공법의 체계화 연구”, 한국농공학회 학술발표회 논문집, 2003.
- 6) 김명원, 김관호, 조영권, “농촌경관을 고려한 수로교 디자인 방안 연구”, 한국콘크리트학회 춘계학술발표회, 2008.
- 7) 김종욱, 박찬기, 차상선, “연속형 및 혼합이산형 최적설계법에 의한 농업용 수로교 교각 및 교대의 최적설계”, 한국농공학회 논문집, 2010.
- 8) 김종욱, 박찬기, 차상선, “농업용 철근콘크리트 구조물의 합리적인 최적설계-수로교 상부구조물-”, 한국농공학회 논문집, 2010.
- 9) 남상욱, “MDF 고압 습식 스프레이 공법을 이용한 수로교 시범 시공사례”, 한국농어촌공사 농어촌연구원, 2002.
- 10) 농림부, “농업생산기반 정비사업 계획설계기준. 수로편”, 2004.
- 11) 농림부, 농업기반공사, “농업기반 수리구조물의 노후 손상현상과 보수 · 보강공법의 체계화 연구”, 2005, 11.

- 12) 농림부, 농업기반공사, “수리시설 개보수공법 지침”, 1999.
- 13) 농업기반공사, “농업기반시설 보수보강 신기술 및 신공법 자료집”, 2000.
- 14) 농업기반공사, “수리시설물 보수·보강 세미나 자료집”, 2003, 11.
- 15) 대한건축학회, “콘크리트 구조물의 보수 보강”, 1997.
- 16) 박용규, 변항용, 박구병, 한천구, “온도환경변화에 따른 에폭시 접착 보강공법의 부착거동 분석”, 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표회 논문집, 2006.
- 17) 변항룡, “수로교의 안전”, 바른미디어, 2004.
- 18) 변항룡, 김준성, 변수민, “신축변형에 의해 파손된 교량구조물의 보수보강공법(수로교를 중심으로)”, 한국구조물진단학회지, 2009.
- 19) 변항용, 송창영, 이수곤, “유압잭의 반력을 이용한 기존 구조물의 인상공법”, 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표회 논문집, 2004.
- 20) 변항용, 이수곤, 송창영, “수로교 손상 메커니즘 분석에 의한 보수설계 방법”, 한국구조물진단학회지, 2004.
- 21) 상영엔지니어링(주), “건축 구조물 보수·보강 가이드북”, 2005.
- 22) 신수봉 외 5인 공역, “구조해석”, 동화기술, 2010.
- 23) 연규석 외 5인, “철근콘크리트 구조물의 보수공법 연구(I)”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 2005.
- 24) 유명준, 박종섭, 박홍석, “이음 시공된 보수·보강용 F.R.P 부재의 인장강도시험”, 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표회 논문집, 2000.
- 25) 이종열, “구조물 보수보강 재료의 현황”, 대한토목학회지, 1994.

- 26) 정우태, 박영환, 박종섭, “다양한 표면형상에 따른 FRP 보강재의 부착특성 실험연구”, 대한토목학회 논문집, 2011.
- 27) 최완철, 연구석, 홍영균, “철근콘크리트 보수·보강 재료 및 공법”, 한국콘크리트학회지, 1995.
- 28) 추영수 역, “콘크리트 균열 조사, 보수·보강 지침, 건설도서”, 1995.
- 29) 편집부 역, “콘크리트의 균열과 방지 포인트”, 건설도서, 2000.
- 30) 한국농촌공사, “3종 농업기반시설 정밀안전진단 보고서”, 2006, 12.
- 31) 한국콘크리트학회, “최신 콘크리트공학”, 1992.
- 32) 한국콘크리트학회, “콘크리트구조물의 진단, 보강 및 유지 관리”, 1995.
- 33) 한국콘크리트학회, “콘크리트 진단 및 유지관리”, 2003.
- 34) 한국통신선로기술연구소, “콘크리트 구조물의 안전진단 및 보수 보강 공법 연구”, 1994.
- 35) 한천구, “건설물의 온도변화에 따른 팽창수축”, 레미콘·아스콘·골재, 2006.
- 36) ACI, "Concrete Repair Manual", Volume 1-2, Third Edition.
- 37) Aguado, A., Cañno, A., de la Cruz, M., Gómez, D., and Josa, A. (2012). "Sustainability Assessment of Concrete Structures within the Spanish Structural Concrete Code." J. Constr. Eng. Manage., 138(2), 268 - 276.
- 38) Anderson, J., Weiland, C., and Muench, S. (2011). GreenRoads Manual. University of Washington, Seattle, Washington.
- 39) Chandra S., Ohama, Y., “Polymers in Concrete, CRC Press”, 1994.

- 40) Chang F.K, Cohen E., "Concrete Deck Renews Delaware Aqueduct Bridge", Concrete International, ACI, 1991.
- 41) Chicago Department of Aviation. (2009). Sustainable Airport Manual. Chicago Department of Aviation, Chicago, IL.
- 42) Clark, L. A., "Concrete Bridge Design to BS 5400", Construction Press London and New York, 1983.
- 43) Dennegar L., "Canal Cuts through Arizona Desert", Concrete International, ACI, 1983.
- 44) EPA (2009). "Potential for reducing greenhouse gas emissions in the construction sector." EPA annual report, Environmental Protection Administration, Washington D.C.
- 45) Federal Register (2007). Executive order 13423 - Strengthening federal environmental, energy, and transportation management. National Archives and Records Administration, Washington D.C.
- 46) Henry, M., Kato, Y. (2011). "An assessment framework based on social perspectives and Analytic Hierarchy Process: A case study on sustainability in the Japanese concrete industry." Journal of Engineering and Technology Management, 28(4), 300 -316.
- 47) Humphreys, C., and Mahasenan, M. (2002). "Toward a sustainable cement industry. Sub-study 8: climate change." WBCSD, Geneva.
- 48) International Code Council. (2012). 2012 International Green Construction Code. Available at: <http://www.iccsafe.org/Pages/default.aspx>, and accessed on October 4, 2012.
- 49) Institute for Sustainable Infrastructure, and Harvard University. (2012). Envision Manual. ISI, Washington, DC.

- 50) Kobayashi, T. and Ohama, Y., "Low-Temperature Curing of Polymer Methacrylate Polymer Concrete", Transportation Research Record 1003, International Symposium on Mechanical Properties of Special Concrete, 1984.
- 51) Lippiatt, B., and Ahmad, S. (2004). "Measuring the life-cycle environmental and economic performance of concrete: the BEES approach." K. Wang (Ed.), International workshop on sustainable development and concrete technology, Iowa State University, Ames, pp. 213 - 230
- 52) Mao, Z. (2012). Life-Cycle Assessment of Highway Pavement Alternatives in Aspects of Economic, Environmental, and Social Performance. Master's Thesis, Texas A&M University.
- 53) Mehta, P. (1999). "Concrete technology for sustainable development." Concrete International, 21(11), pp. 47 - 53.
- 54) Meyer, C. (2009). The Greening of the concrete industry Cem Concr Compos, 31 (8) (2009), pp. 601 - 605.
- 55) Mao, Z. (2012). Life-Cycle Assessment of Highway Pavement Alternatives in Aspects of Economic, Environmental, and Social Performance. Master's Thesis, Texas A&M University.
- 56) Ohama, Y., Demura, K., "Mix Proportioning and Mechanical Properties of Polymethyl Methacrylate Resin Concrete", Transactions of the Japan Concrete Institute, 1981.
- 57) Ohama, Y., Demura, K. and Kobayashi T., "Mix Proportioning and Mechanical Properties of Polymethyl Methacrylate Resin Concrete", Transactions of the Japan Concrete Institute, 1981.
- 58) Ohama, Y., Kobayashi, T., "Working Life of Polymethyl Methacrylate Concrete and Its Control", Journal of Society of Materials Science Japan, 1979.

- 59) Rajagopalan, N. (2007). Environmental Life-cycle Assessment of Highway Construction Projects. Master's Thesis, Texas A&M University.
- 60) Roderick, Y., McEwan, D., Wheatley, C., & Alonso, C. (2009). "Comparison of energy performance assessment between LEED, BREEAM and GREENSTAR." Eleventh International IBPSA Conference 27-30 July 2009, Glasgow, Scotland. Glasgow: Integrated Environmental Solutions Limited, 2009. 1167-1176.
- 61) Sakai, K. (2009). "Towards environmental revolution in concrete technologies." Proceedings of the 11th Annual International fib Symposium, Concrete: 21st Century Superhero, London, UK (2009).
- 62) Seabrook P.T., Grandy D.H., Campbell K.N., "Nozzleman Certification for the Shoal Lake Aqueduct Rehabilitation", Concrete International, ACI, 2000.
- 63) Strategic Development Council (2006). Vision 2020: A Vision for the Concrete Repair, Protection and Strengthening Industry. 06/16/06 Version 1.0 1.
- 64) Ugwu, O. O., Kumaraswamy, M. M., Wong, A., & Ng, S.T. (2006). "Sustainability appraisal in infrastructure projects (SUSAIP) Part 1. Development of indicators and computational methods." Automation in Construction, 15, 239 - 251.
- 65) United Nations Organization (UNO). (1987). "Report of the World Commission on Environment and Development (WCED): Our common future (Brundtland Report)."
- 66) United Nations Organization (UNO). (1992). "Rio declaration on environment and development." United Nations Conf. on Environment and Development (UNCED), New York.
- 67) USGBC (U.S. Green Building Council). (2009). "LEED 2009 for New Buildings Rating System." USGBC, Washington, DC.

- 68) Van den Heede, P., and De Belie, N. (2012) "Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and 'green' concretes: Literature review and theoretical calculations." *Cement and Concrete Composites*, 34(4), 431-442.
- 69) Vignon, B., Tolle, D., Cornaby, B., Latham, H., Harrison, C., Boguski, T., Hunt, R., and Sellers, J. (1994). *Life-Cycle Assessment Inventory Guidelines and Principles*, USEPA Risk Reduction Laboratory.
- 70) Wang B., Li Q., "A Beam Segment Element for Dynamic Analysis of Large Aqueducts", *Journal of Finite Elements in Analysis and Design*, 2003.