

2007年 2月

博士學位論文

鹽害損傷된 鐵筋콘크리트構造物의  
下部大斷面 補強에 관한 研究

朝鮮大學校 大學院

土 木 工 學 科

朴 鍾 渙

鹽害損傷된 鐵筋콘크리트構造物의  
下部大斷面 補強에 관한 研究

*A Study on Strengthening for Lower Large Section of the  
Reinforced Concrete Structures with Chloride Damage*

2007年 2月 23日

朝鮮大學校 大學院

土木工學科

朴 鍾 渙

鹽害損傷된 鐵筋콘크리트構造物의  
下部大斷面 補強에 관한 研究

指導教授 朴 吉 鉉

이 論文을 工學博士學位申請 論文으로 提出함

2006年 11月 日

朝鮮大學校 大學院

土 木 工 學 科

朴 鍾 渙

朴鍾渙의 博士學位 論文을 認准함.

委員長 東新大學校 教授 \_\_\_\_\_ (印)

委 員 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_ (印)

委 員 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_ (印)

委 員 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_ (印)

委 員 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_ (印)

2006年 12月 日

朝鮮大學校 大學院

# 목 차

표 목 차 .....	iv
그림목차 .....	vi
사진목차 .....	viii
ABSTRACT .....	ix
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
1.1 연구목적 .....	1
1.2 연구동향 .....	4
1.3 연구내용 및 방법 .....	7
<b>제 2 장 철근콘크리트구조물의 염해 메커니즘 .....</b>	<b>10</b>
2.1 염해환경 .....	11
2.2 염화물이온의 침투경로 .....	14
2.2.1 내부 염화물이온 .....	14
2.2.2 외부 염화물이온 .....	14
2.3 염화물이온과 철근의 부식 .....	16
2.3.1 염화물이온과 부식반응 .....	16
2.3.2 부식반응과정 .....	19
2.4 염해의 영향인자 .....	22
2.4.1 외부 영향인자 .....	22
2.4.2 내부 영향인자 .....	23
2.5 염해에 의한 내구성능 저하과정 .....	24
2.5.1 잠복기 .....	25
2.5.2 진전기 .....	26
2.5.3 가속기 및 열화기 .....	28
<b>제 3 장 내구성 평가 .....</b>	<b>30</b>

3.1 대상구조물 .....	31
3.2 시험방법 및 평가기준 .....	32
3.2.1 노후화현상조사 .....	32
3.2.2 균열조사 .....	34
3.2.3 콘크리트강도 측정 .....	35
3.2.4 철근부식도 측정 .....	36
3.2.5 염화물함량 시험 .....	37
3.2.6 콘크리트중성화 시험 .....	38
3.3 평가결과 및 고찰 .....	39
3.3.1 노후화현상 조사결과 .....	39
3.3.2 균열 조사결과 .....	41
3.3.3 콘크리트압축강도 측정결과 .....	42
3.3.4 철근부식도 측정결과 .....	46
3.3.5 염화물함량 시험결과 .....	46
3.3.6 중성화 시험결과 .....	47
3.4 종합평가 및 조치 .....	48
3.4.1 정밀 조사결과 .....	48
3.4.2 구조물 상태평가 .....	49
3.4.3 내구성 증진을 위한 조치사항 .....	51
<b>제 4 장 하부대단면 보강공법 .....</b>	<b>52</b>
4.1 무수축모르터 그라우팅공법 .....	55
4.1.1 중력식 목재거푸집공법 .....	55
4.1.2 중력식 Steel Plate Jack-up공법 .....	57
4.2 마운트그라우팅공법 .....	59
4.2.1 무수축모르터 마운트그라우팅공법 .....	60
4.2.2 무수축모르터 마운트그라우팅 Jack-up공법 .....	62
4.3 Micro-silica 건식 Jet스프레이공법 .....	65
4.3.1 공법의 특징 .....	66
4.3.2 시공순서 .....	67

4.3.3 Mock-up Test .....	69
4.3.4 공법적용 가능성검토 .....	72
4.4 습식 Jet스프레이공법 .....	73
4.4.1 공법의 특징 .....	75
4.4.2 시공순서 .....	79
4.4.3 Mock-up Test .....	81
4.4.4 공법적용 가능성검토 .....	93
4.5 습식 Jet스프레이공법의 적용 .....	94
4.5.1 습식 Jet스프레이공법 .....	94
4.5.2 품질검사 .....	96
<b>제 5 장 보강단면에 대한 내구성 및 사용성 평가 .....</b>	<b>102</b>
5.1 구조해석조건 .....	103
5.1.1 해석모델 .....	103
5.1.2 단면조건 .....	105
5.1.3 재료조건 .....	107
5.1.4 하중조건 .....	107
5.2 구조해석 .....	110
5.3 내구성 평가 .....	113
5.4 사용성 평가 .....	118
5.5 평가결과 .....	122
<b>제 6 장 결 론 .....</b>	<b>123</b>
참고문헌 .....	125
부록 A 보강공사 공정 .....	130
부록 B 품질검사 장면 .....	133

## 표 목 차

표 2.1	해수 주요성분의 평균조성 .....	12
표 2.2	대기 중의 염화물이온량과 콘크리트내의 염화물이온 침투량과의 관계 ..	15
표 2.3	폴리머 시멘트모르터 및 콘크리트의 겔보기 염화물이온의 확산계수 .....	26
표 2.4	염해를 받는 구조물의 성능저하 기간의 정의 .....	29
표 3.1	대상구조물 시설물 현황 .....	31
표 3.2	박리의 평가 기준 .....	33
표 3.3	충분리 및 박락의 평가 기준 .....	33
표 3.4	백태의 평가기준 .....	34
표 3.5	콘크리트균열에 대한 평가등급 기준 .....	35
표 3.6	콘크리트강도에 대한 상태평가 기준 .....	36
표 3.7	철근의 부식도 평가기준 .....	37
표 3.8	염화물 함유량에 따른 상태평가 기준 .....	37
표 3.9	콘크리트중성화에 대한 상태평가 기준 .....	38
표 3.10	콘크리트노후화 조사결과 .....	40
표 3.11	균열 조사결과 .....	41
표 3.12	콘크리트압축강도 측정결과 .....	43
표 3.13	전위차 측정결과 .....	46
표 3.14	염분함량 시험결과 .....	47
표 3.15	중성화 시험결과 .....	47
표 3.16	본 연구 대상구조물 상태 등급 .....	50
표 3.17	종합평가등급별 시설물의 상태 및 안전성 .....	50
표 4.1	Micro-silica 건식 Jet 스프레이용 모르터의 배합성분(%) .....	69
표 4.2	단면보강용 모르터의 특성 및 성능 비교 .....	74
표 4.3	습식 Jet스프레이용 모르터의 배합성분(%) .....	82
표 4.4	층간 시공시간 간격 및 작업내용 .....	84
표 4.5	시료별 물-모르터비의 중량비(%) .....	85



표 4.6	강도시험 판정기준	87
표 4.7	시편별 압축강도 및 부착강도	88
표 4.8	물-모르터비에 따른 리바운드량(%)	90
표 4.9	분사거리별 리바운드량(%)	91
표 4.10	분사각도별 리바운드량(%)	92
표 4.11	주요 시험장비 및 기구	97
표 4.12	채취된 시편별 시험항목 및 판정기준	98
표 4.13	강도시험 결과	100
표 5.1	각 부재별 절점번호	104
표 5.2	각 부재별 요소번호 및 단면번호	104
표 5.3	보강 전 단면제원	105
표 5.4	보강 후 단면제원	106
표 5.5	보강 전·후의 휨모멘트	113
표 5.6	보강 전 단면의 휨에 대한 구조해석	115
표 5.7	보강 후 단면의 휨에 대한 구조해석	116
표 5.8	휨에 대한 구조해석 결과	117
표 5.9	허용균열폭 $w_a$	119
표 5.10	강재의 부식에 대한 환경조건의 구분	119
표 5.11	보강 전·후의 균열관련 요소	121
표 5.12	균열에 대한 사용성 검토결과	122

## 그 립 목 차

그림 2.1	해수에 노출된 철근콘크리트구조물의 열화 .....	13
그림 2.2	철근의 부식 반응 메커니즘 .....	17
그림 2.3	염화물이온에 의한 철근의 부식 메커니즘 .....	18
그림 2.4	염소이온에 의한 철근의 부식과정 .....	21
그림 2.5	철근콘크리트구조물의 염해에 의한 성능저하 과정 .....	25
그림 2.6	철근부식에 의한 균열발생모델 .....	27
그림 3.1	대상구조물의 평면도 .....	31
그림 4.1	무수축모르터 마운트그라우팅공법 .....	61
그림 4.2	무수축모르터 마운트그라우팅 Jack-up공법 .....	63
그림 4.3	Micro-silica 건식 Jet스프레이공법의 시공순서 .....	67
그림 4.4	습식 Jet스프레이공법의 시공순서 .....	79
그림 4.5	강도측정을 위한 코어채취 .....	85
그림 4.6	(a) 시편별 압축강도 .....	88
그림 4.6	(b) 시편별 부착강도 .....	89
그림 4.7	물-모르터비에 따른 리바운드량 .....	90
그림 4.8	분사거리별 리바운드량 .....	91
그림 4.9	분사각도별 리바운드량 .....	92
그림 4.10	인장과괴 발생가능 형태 .....	99
그림 5.1	구조해석 대상구조물의 부재번호 .....	103
그림 5.2	해석모델의 절점번호 및 요소번호 .....	104
그림 5.3	보강 전 자중(L1)의 재하도 .....	108
그림 5.4	보강 전 상재활하중(L2)의 재하도 .....	108
그림 5.5	보강 후 자중(L1)의 재하도 .....	109
그림 5.6	보강 후 상재활하중(L2)의 재하도 .....	109
그림 5.7	보강 전 자중(L1)에 의한 휨모멘트도 .....	110
그림 5.8	보강 전 상재활하중(L2)에 의한 휨모멘트도 .....	110

그림 5.9 보강 전 자중(L1) 및 상재활하중(L2)에 의한 휨모멘트도 .....	111
그림 5.10 보강 후 자중(L1)에 의한 휨모멘트도 .....	111
그림 5.11 보강 후 상재활하중(L2)에 의한 휨모멘트도 .....	112
그림 5.12 보강 후 자중(L1) 및 상재활하중(L2)에 의한 휨모멘트도 .....	112
그림 5.13 유효인장단면적 .....	118

## 사 진 목 차

사진 3.1 부두 하부 박리 및 박락 .....	39
사진 3.2 부두 하부 철근부식 .....	39
사진 3.3 균열부위 표시 .....	41
사진 3.4 균열 발생 현황 .....	42
사진 3.5 콘크리트강도 측정 현황 .....	42
사진 4.1 열화부위를 제거한 부두 하부 진경 .....	53
사진 4.2 중력식 Steel Plate Jack-up공법의 Mock-up Test 장면 .....	58
사진 4.3 (a) 경사장비 .....	70
사진 4.3 (b) 장비에 거치된 거푸집 .....	70
사진 4.4 Mock-up Test의 건식·습식 스프레이공법에 의해 제작된 시편 .....	71
사진 4.5 습식 Jet스프레이공법에 사용된 섬유보강재 .....	76
사진 4.6 (a) 압축강도실험 .....	86
사진 4.6 (b) 부착강도실험 .....	86

# *ABSTRACT*

## *A Study on Strengthening for Lower Large Section of the Reinforced Concrete Structures with Chloride Damage*

*Park Joung Hwan*

*Advisor : Prof. Park Kil Hyun Ph.D.*

*Department of Civil Engineering*

*Graduate School of Chosun University*

This paper deals with the strengthening method for the Increase durability of the reinforced concrete structures with Chloride Damage, and the purpose of this research is to develop the construction method and materials for extending the lower large section of the structures which is set up on the sea. Accordingly, a reinforced concrete pier, which has serious damage at the lower large section, is adopted as the subject structure for the study.

A close safety inspection is taken on this structure and the utilizing condition and the structural capacity should be taken into consideration, it needs mending, reinforcement and limitation of using. Besides, it also needs its lower large section to be extended so that it can resist the increased load up to about 30% heavier than one of existing design.

The choice of an method of repairing or extending the lower large section for the structural reinforcement like the matter in this study, the following components are necessary. They include weather condition of the ocean surroundings, environmental pollution, and the limit of working time by the difference of the ebb and the flowing of the tide. They also contain the solution of the problems of concrete structures forward the opposite direction 300~500mm from the lower to the upper,

Repeating the work by intervals several times can get more or less thick.

In addition, by preventing cold joint from working among layers, the wet jet spray method which unifies the concrete structures and increases the utilizing and durability of the concrete structures, is chosen.

In this study, the mock-up tests on a model structure, which is a similar structure, are executed according to the repairing and strengthening method which are applicable to extending the lower large section of the reinforced concrete structure set up on the sea, and the application and problems are examined. As a result of the Mock-up tests, the wet spray method is suggested to be the most suitable for the extending the lower large section of the reinforced concrete pier.

The lower large section extension work of the subject is executed with the newly-developed material and the method for strengthening, and as a result of the quality inspection, the material and method prove their superiority since the compression and adhesion strength of the concrete are huge, and the adhesion between the glass fiber and the section extended is great. In conclusion, the wet jet spray method increases the safety rate of bending enormously. the durability and the utilizing of cracking width are found very satisfactory because cracking width in all the section decreases rapidly below the permitted cracking width.

As the material and the strengthening method developed in this study bring about little possibilities of polluting the ocean, make it easy to operate on the sea, and have great adhesion not only between the existing and new concrete but also among each mortar layers, they are considered to be very suit to strengthening and extension of the reinforced concrete structure set up on the sea.

# 제1장 서론

## 1.1 연구목적

철근콘크리트 구조는 콘크리트의 높은 압축강도와 철근의 인장강도를 결합시킨 복합형 구조재료로서 콘크리트의 높은 알칼리성이 철근의 방청역할을 담당하여 내구적 측면에서 매우 우수한 구조재료이다. 또한 시공성 및 경제성이 뛰어나 전 세계적으로 사회기반 시설물의 주재료로 광범위하게 이용되고 있다. 국내의 경우에도 1970년대 이후 급격한 경제성장과 함께 단독주택, 고층 아파트, 주상복합 건축물, 대형건축물 등의 건축구조물과 도로, 교량, 지하철, 부두, 항만, 댐 등의 토목구조물이 대부분 철근콘크리트 구조로 건설되었다.

철근콘크리트구조물은 시간이 경과함에 따라 환경적, 구조적, 재료적 요인에 의해 법적 내용년수인 60~65년에 미치지 못하고 구조물의 내력, 내구성 또는 사용성이 급격히 저하되어 구조적 기능을 다하지 못하게 된다. 이러한 조기열화에 의하여 성능 저하된 철근콘크리트구조물은 충분한 조사와 정밀안전진단에 의해 성능저하 원인을 규명하고, 진단의 결과로 제시된 자료를 바탕으로 적절한 보강공법을 적용하여 내하성능을 회복시킬 수 있다. 이 때 구조물의 보강을 위한 재료 및 공법은 구조물이 설치된 주변환경과 성능저하의 정도, 구조물의 중요도 등에 따라서 적절한 수준의 것을 선택해야 한다.

일반적으로 육상에 설치된 철근콘크리트구조물의 보강에 있어서는 성능저하의 원인, 손상정도 및 구조물의 중요도가 재료 및 공법 선정의 중요한 요소이다. 그러나 해상이나 하천 및 극지대와 같이 열악한 자연환경에 노출된 구조물의 보강 공법의 선정에 있어서는 사용환경 및 작업환경에 따른 공법의 적용가능성이 중요한 선정요인 중 하나가 된다. 예로서 해상에 위치한 구조물은 조수간만의 차이, 기후조건, 해양환경오염 등 많은 부분에서 시공에 제약을 받고 있어 기존의 철근콘크리트구조물의 보강공법을 그대로 적용하기에는 많은 문제점이 따른다.

철근콘크리트구조물의 손상이 외관상 비슷한 형태일지라도 그 손상원인에 따라 적용되는 보강방법에는 차이가 크다. 예로서 염해에 의한 철근의 부식에 기인한 콘크리트의 박리와 하중작용에 의한 콘크리트의 박리 등은 그 원인에 따라서 보강방법에 매우 큰 차이가 있다. 따라서 구조물의 보강에서는 손상원인을 방지할 수 있는 재료 또는 손상원인에 대한 저항성이 큰 재료와 공법을 선정하는 것이 매우 중요하며, 이를 위해서는 손상원인에 의한 구조물의 손상형태 및 손상과정 등에 대한 명확한 고찰이 이루어져야 한다.

해양환경에 설치된 철근콘크리트구조물은 염화물이온 등의 유해이온이 콘크리트내에 침투하여 확산함으로써 콘크리트중의 철근이 부식되며, 부식으로 인한 팽창압에 의해 콘크리트에 균열 및 박리가 발생하고, 철근단면이 감소하여 구조적 성능이 저하된다. 일본의 (재)연안개발기술연구센터의 조사 자료를 살펴보면 항만 구조물의 열화를 유발하는 원인은 다양하나 해수 및 비래염분에 의한 염해손상이 그 주류를 이루고 있다. 이 자료에서는 공용중인 잔교식 부두 구조물을 열화원인에 따라 염해, 건조수축, 동결융해, 외격, 휨내력 부족 및 건전 구조 등으로 구분하였으며, 조사 결과 염해에 의한 열화가 거더부 53%, 현치부 52%, 슬래브 24%로 나타나 해양 구조물의 열화원인으로 염해의 비중이 매우 큼을 밝혔다. 특히 건전상태의 구조물을 제외하고 손상된 구조물에 대한 비율만을 고려하면 현치부 88%, 거더부 70%, 슬래브 33%로 대부분의 부재는 염해손상을 받게 된다. 따라서 해양환경에 설치된 철근콘크리트구조물의 보강을 위해서는 주된 손상원인인 염해에 의한 성능저하 메커니즘을 분석하고, 이를 바탕으로 염화물 이온의 침투를 방지할 수 있는 다양한 재료 및 보강방법이 연구되어야 한다.

해양환경에 설치된 구조물은 항만시설, 정유시설, 접안시설 등 주요 산업시설물이 대부분으로 이러한 주요시설물의 노후화는 국내 산업활동의 안정화에 심각한 해를 끼칠 수 있다. 산업시설물들은 설비확장 등에 의한 사용하중의 증가로 최초 설계하중 이상의 과하중이 작용하게 되는 경우가 빈번하여 구조물의 손상과 관계없이 증가된 하중에 저항할 수 있도록 단면을 보강하는 경우도 있다. 항만시



설이나 정유시설 등은 토목구조물 상부에 대부분 기계 및 설비구조물이 설치되어 있으며, 이러한 구조물의 대표적인 예로 정유시설인 파이프라인을 지지하는 잔교식 부두를 들 수 있다. 구조물 상부에 기계 및 설비시설이 설치되어 있는 경우 구조물의 내구력을 증가시키기 위해서는 구조물의 하부대단면을 증설해야 한다.

해양환경에 설치된 콘크리트구조물의 구조적 보강을 위하여 하부대단면을 보강 또는 증설할 때에는 기존 콘크리트와 신설콘크리트의 경계면에 대한 완전한 부착이 중요한 관건으로 계면의 부착성 정도에 따라 보강의 성패 여부가 결정된다. 또한 작업이 해상에서 이루어지므로 해양환경 및 작업조건에 의해 많은 제약을 받게 되며, 이로 인하여 보강에 사용되는 재료 및 공법의 선정에도 많은 제한요소가 뒤따른다. 이렇듯 구조물의 특성, 주변환경 및 작업조건 등에 의하여 여러 제약을 받는 구조물의 보강을 위해서는 제약조건에 맞추어 기존공법을 보완 또는 개선하거나 특수한 환경에 적합한 재료 및 시공법을 연구·개발하여야 한다.

지금까지 철근콘크리트구조물의 보강을 위한 재료 및 공법에 대하여 국내외적으로 많은 연구가 진행되어 다양한 보강재료 및 공법이 제시되고 있으며, 최근에는 해양환경에 노출되어 염해손상된 철근콘크리트구조물의 내구력 복원을 위한 연구도 많은 연구자들에 의해 이루어지고 있다. 그러나 보강재료 및 보강공법에 대한 대부분의 연구가 비교적 작업환경이 유리한 육상구조물에 국한되어 있고, 해상구조물에 대한 연구는 아직 초기단계로 실 구조에 적용할 수 있는 자료가 미비한 실정이어서 해양환경에 설치된 구조물의 보강에 적용하기에는 제한적인 요소가 많다. 특히 내구성 증진을 목표로 콘크리트의 하부 단면을 최초 설계단면 이상으로 크게 증설하는 경우에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 해양환경에 설치된 철근콘크리트구조물의 보강, 특히 하부대단면의 증설에 대하여 구조물의 특성 및 환경에 적합한 재료의 개발과 효율적인 시공법의 개발을 위한 연구가 매우 절실한 실정이다.

이상과 같은 연구배경으로 본 연구에서는 염해손상된 철근콘크리트구조물의 내구성 증진을 위한 보강재료 및 시공법의 개발에 연구목적이 있다. 이를 위하여

염해에 의해 하부대단면이 심하게 손상된 잔교식 부두를 연구 대상구조물로 채택하였다. 대상구조물은 상부에 기계 및 설비시설이 설치되어 있으며, 구조물의 사용조건과 구조적 요구 성능 등을 고려할 때 보강 및 사용제한 등의 조치가 필요한 상태이다. 또한 향후 설비확장 등 사용하중의 증가가 예상되어 기존 설계하중보다 30%정도 증가된 하중에 저항할 수 있도록 단면을 증설하여야 하는 철근콘크리트구조물이다.

본 연구에서는 대상구조물의 하부대단면 증설에 적용 가능한 보강공법들을 비교검토하고, 실구조와 유사한 모형구조물에 대하여 실험시공(Mock-up Test)을 실시하여 대상공법들의 적용성 및 문제점을 검토하였다. 실험시공의 결과 나타난 문제점들을 해소할 수 있도록 대상구조의 구조적 특성 및 작업환경을 고려하여 해상에 설치된 철근콘크리트 부두의 단면증설에 효율적인 보강재료 및 시공법을 개발하였으며, 대상구조물의 성능향상을 평가하기 위하여 보강 전·후의 내구성 및 사용성을 검토하였다.

## 1.2 연구동향

철근콘크리트구조물의 보강을 위한 재료 및 공법에 대하여 국내외적으로 많은 연구가 진행되고 있으며, 염해손상된 철근콘크리트구조물의 내구력 복원을 위한 연구도 많은 연구자들에 의해 이루어지고 있다. 본 연구에서는 염해환경에 놓인 철근콘크리트구조물의 염해손상 및 방지대책과 관련된 연구와 국내외에서 이루어지는 철근콘크리트구조물의 보강을 위한 재료 및 공법에 관련된 연구를 중심으로 연구동향을 고찰하였다.

Tang 등(1996)은 염화물이온의 콘크리트구조물 내부로의 침투에 대한 수학적 모델링에 있어서 세공용액을 통한 염화물이온의 침투와 콘크리트내의 총염화물 분포를 고려하였으며, 확산계수를 깊이, 재령, 온도의 함수로 표현하고, 여기에 표면농도변화, 온도의 변화, 콘크리트의 수화정도, 세공량, 혼합물량 등의 부분적인

영향도 고려하였다.

Tom Norris 등(1997)은 탄소섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트보의 전단 및 휨 강도에 관한 연구에서 보강된 탄소섬유쉬트를 다양한 방향으로 부착하고 실험을 실시한 결과 휨균열이나 전단균열에 대하여 섬유 방향성이 45°인 것이 연성이 우수하다고 밝히고, 강성을 증진시키는 방안으로 섬유의 방향성을 이용할 것을 제안하였다.

Amey 등(1998)은 해양 콘크리트구조물의 사용수명 예측에 관한 연구에서 염해에 노출된 환경조건이 달라짐으로서 콘크리트구조물의 사용수명 역시 차이가 있음을 보였다.

Quantrill and Hollaway(1998)은 프리스트레스트된 CFRP 판을 이용한 철근콘크리트보의 휨보강에 관한 연구에서 CFRP판을 이용하여 1.0m, 2.3m의 철근콘크리트보를 보강하고, 휨실험을 수행하여 보강된 보가 무보강보보다 균열하중이 300% 증가하였고, 프리스트레스 되지 않은 판으로 보강된 것보다 185%정도 증가하였다고 보고하였다.

Xi 등(1999)은 포화된 콘크리트의 염화물이온 확산에 관한 수학적 모델을 만들었다. 이 모델은 물-시멘트비, 양생기간, 시멘트의 종류와 골재함유량과 같은 다양한 영향인자를 고려하였다.

최창식 등(2000)은 국내외 철근콘크리트구조 건축물의 염해 피해사례 및 대책에 관한 연구에서 염해손상된 철근콘크리트구조물의 보강에 있어서는 먼저 염해손상부위에 대한 적절한 보수 후에 단면보강을 실시함으로써 보강 후에 2차적인 열화현상이 유발되지 않도록 하는 것이 중요함을 강조하였다.

권영진 등(2001)은 중성화, 염해, 동해 등의 복합열화에 기인한 항만구조물에 대한 내구성 회복을 위한 보수·보강공사에 대한 연구에서 시멘트계 방청도포재 및 SBR계 단면복구 모르터를 이용하여 염해 및 중성화를 입은 철근콘크리트구조물의 단면복원에 효과적인 시공법을 제안하였으며, 해양구조물의 보수 및 보강에 있어서 해양 환경오염에 관한 기준 및 대책마련이 시급함을 언급하였다.

이상범 등(2002)은 철근콘크리트의 염해와 중성화 피해 사례 연구에서 염해와 중성화 피해가 예상되는 9개 건물을 중심으로 현장조사와 안전진단을 실시하고, 녹의 발생현황과 평균염분농도, 중성화 깊이, 압축강도 등을 조사하여 적절한 보수방법이나 유지관리에 필요한 기초 자료를 제시하였다.

특허청의 등록실용신안공보(2002)에서는 콘크리트구조물의 하부단면 복구를 위하여 상향으로 이동 가능한 철재거푸집을 볼트로 장착하고 폴리머 모르터를 충전시킨 후 너트를 회전시킴으로써 바닥판거푸집을 상향으로 압착시키는 개방형 상향 이동식 철재거푸집 구조가 소개되었다.

한국콘크리트학회(2003)는 공용중인 철근콘크리트구조물의 염해 및 탄산화에 따른 손상피해가 심각함을 인식하고, 기존의 설계, 시공, 유지관리 지침을 보완하여 염해 및 탄산화에 대한 철근콘크리트구조물의 내구성 설계, 시공, 유지관리에 대한 지침서를 편찬하였다.

박종호 등(2004)은 해양 및 일반대기 환경에서의 장기폭로실험에 의한 보수재료·공법의 평가에 관한 연구에서 국내 주요 보수시공업체의 보수재료·공법을 적용한 폭로시험체를 제작하여 해양환경 및 일반대기환경 하에서 장기폭로실험에 의한 정량적폭로실험 데이터를 확보함으로써 보수재료·공법의 성능평가 방법 및 품질평가기준의 확립을 위한 데이터베이스를 구축하였다.

김무한 등(2004)은 염해 및 중성화 피해를 입은 콘크리트구조물의 내구성회복을 위한 보수공법 시스템 개발 및 실용화 방안에 관한 연구에서 환경조건 및 시공조건을 고려한 보강재료·공법의 현장적용성 평가와 내구성회복공법의 성능평가 방법 및 품질관리기준 확립을 위한 폭로실험을 실시하고 보수공법의 실용화 방안을 제시하였다.

박정준 등(2005)은 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체의 구성인자가 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구에서 물-시멘트비, 실리카흄의 혼입률, 골재의 입경, 골재량, 충전재의 사용유무 및 투입량, 강섬유의 사용유무 등의 인자가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 고찰하고, 이를 적절히 사용함으로써 압축강도 1800

kgf/cm<sup>2</sup>을 확보할 수 있는 초고강도강섬유 보강시멘트복합체를 제조할 수 있음을 보고하였다.

김영선 등(2005)은 폭로실험에 의한 철근콘크리트구조물의 보수재료·공법의 내구성평가에 관한 연구에서 최근 국내에서 활용되고 있는 보수재료·공법을 적용한 폭로시험체를 제작한 후 해양환경 및 일반대기환경에서 장기폭로실험에 의한 정량적 폭로실험 데이터를 확보하여 검토·분석하였다.

배기선 등(2006)은 콘크리트구조물의 단면복구기술(습윤·수중환경 구조물의 보수기술)에 관한 연구에서 습윤조건에 따라 에폭시계 고성능 폴리머 모르타와 Panel 공법을 이용하여 수중부 및 습윤부의 단면복구에 효과적인 보수기술을 소개하였다.

김무한 등(2006)은 성능 저하된 철근콘크리트구조물의 폴리머시멘트계 보수용 단면복구재의 내구성 평가에 관한 실험적 연구에서 복합열화 촉진실험을 실시하고, 염화물이온 침투깊이 및 염화물이온 확산계수, 중성화깊이 및 중성화속도계수, 철근의 부식면적율, 부식속도 등의 내구특성이 단면복구재의 종류에 따라 큰 차이가 있음을 보고하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 철근콘크리트구조물의 염해손상과 성능회복을 위한 다양한 보강재료의 개발 및 이를 이용한 역학적 성능 개선에 관한 이론적, 실험적 연구가 활발히 진행되고 있다.

### 1.3 연구내용 및 방법

앞 절의 연구동향에서 살펴본 바와 같이 철근콘크리트구조물의 보강에 관하여 많은 연구들이 진행되어 왔으나 문헌에 보인 볼트와 너트를 이용한 개방형 상향 이동식 철재거푸집 구조에 관한 연구 이외에는 철근콘크리트 하부대단면 증설을 위한 보강재료 및 시공법에 관한 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 본 연구에서 실시한 실험시공의 결과 상향이동식 철재거푸집구조는 볼트와 너트를 인력

으로 체결함으로써 바닥판거푸집을 압착하게 되므로 증설하고자 하는 단면이 크거나 보강부위가 넓은 경우에는 적용이 어렵다. 따라서 철근콘크리트 하부대단면 증설을 위하여 구조물의 구조적특성 및 사용환경조건에 적합한 재료 및 시공법의 개발은 매우 독창적이며, 공용중인 해양구조물의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요한 연구과제이다.

염해손상된 철근콘크리트구조물의 하부대단면 보강공법의 개발을 위한 본 연구의 내용 및 범위에 대하여 간략히 기술하면 다음과 같다.

먼저 국내 산업발전과 함께 등장한 철근콘크리트구조물의 노후화에 따라 내구성 회복 및 구조물의 장수를 위한 보강에 관한 연구의 필요성을 언급하고, 특히 해양환경에 설치되어 염해손상이 심각한 구조물의 보강재료 및 공법개발의 필요성을 제기하였다.

구조물의 보강을 위해서는 먼저 손상원인에 대한 정확한 추정 및 분석이 필요하며, 이를 바탕으로 대상구조물에 적합한 재료 및 공법을 선정할 수 있다. 이를 위하여 염화물이온의 침투경로를 분석하고, 염화물이온에 의한 철근의 화학적 부식반응을 설명하였다.

본 연구에서는 염해손상된 철근콘크리트구조물의 안전진단에 반드시 필요한 시험항목인 정밀외관조사, 균열조사, 압축강도시험, 철근부식도측정, 염화물이온 함유량측정, 중성화깊이조사 등을 실시하고, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침의 평가기준에 의거하여 구조물의 상태를 평가하였다.

본 연구 대상구조물의 내구성 증진을 위해 제안된 단면증설공법에 적합한 시공법을 비교 고찰하였다. 철근콘크리트 하부대단면을 증가시키기에 가장 적합한 시공법은 그라우트공법과 스프레이공법이며, 이들에 대한 실험시공을 실시하고 그 적용성 및 문제점을 검토하였다. 대상구조물의 구조적 특성 및 작업환경을 고려하여 해양환경에 설치된 철근콘크리트 부두의 단면증설에 효율적인 보강재료 및 시공방법을 개발하였으며, 이를 이용하여 대상구조물의 내구성 증진을 위한 보강공사를 실시하였다. 단면증설 보강된 철근콘크리트 부두의 품질검사를 위하여 콘크

리트의 압축강도, 부착강도, 휨강도실험을 실시하였으며, 보강된 단면의 성능향상을 평가하기 위하여 실시한 내구성 및 사용성 검토에 대하여 기술하였다. 대상구조물의 내하력 증가는 보강 전·후의 극한모멘트에 대한 설계모멘트의 비를 이용하여 검토하였으며, 보강 전·후의 균열폭을 산정하여 균열에 대한 사용성을 검토하였다. 또한 인장측 콘크리트의 강도증가에 따른 균열에 대한 사용성을 검토하기 위하여 인장측 연단 콘크리트의 인장응력과 파괴계수를 비교하고 휨균열에 대한 사용성을 평가하였다.

## 제2장 철근콘크리트구조물의 염해 메커니즘

일반적으로 구조물의 보강은 손상된 구조물의 기능을 회복시키는 행위라고 단 순히 생각할 수 있으나, 손상된 구조물의 기능만을 회복시키는 경우 다시 동일한 형태의 손상이 생길 가능성이 크고, 특히 환경영향 및 하중작용에 대한 추정이 미 비한 경우에는 손상이 보강전보다 크게 재현될 수도 있다. 따라서 보강시에는 손 상원인을 제거하거나 손상원인에 대한 저항성을 증대시켜서 대상구조물의 성능을 개선하는 것이 필요하다.

구조물의 보강을 위해서는 먼저 손상이 생긴 원인을 정확히 추정하는 것이며, 그 원인규명작업이 정확해야만 보강작업에 이용될 재료 및 공법을 적절하게 실시 할 수 있다. 예로서 염해에 기인한 철근의 부식에 의하여 발생한 콘크리트의 박 리, 하중작용에 의한 콘크리트의 박리, 동결팽창에 의한 박리 등은 각각 그 원인 에 따라서 보강재료 및 보강방법이 다르며, 건조수축에 의한 균열, 열응력에 의한 균열 또는 알칼리 골재반응에 의한 균열 등 외관상 그다지 차이가 없는 경우가 있으나 보강이 필요한 경우에 적용되는 보강방법은 차이가 크다.

따라서 구조물의 보강을 위해서는 먼저 주된 손상원인을 정확하게 추정하고, 손상원인을 방지할 수 있는 재료 또는 손상원인에 대한 저항성이 큰 재료와 공법 을 선정하여야 한다. 이를 위해서는 손상원인에 의한 구조물의 손상형태 및 손상 과정 등에 대한 명확한 고찰이 이루어져야 한다.

철근콘크리트구조물의 내구성을 손상시키는 주요 열화요인으로는 염해, 중성 화, 알칼리 골재반응, 동해 및 화학적 침식 등이 있다. 이들 열화 현상의 공통점은 각 열화 메커니즘에 의해 콘크리트 내부의 철근이 부식되고, 부식생성물에 의한 팽창압이 유발되어 인장력에 약한 콘크리트가 재료적, 구조적으로 손상되는 점이 다.

공용중인 콘크리트구조물의 내구성 저하는 위에 열거한 여러 가지 원인들이 복합적으로 작용하여 발생하므로 어떤 특정한 요인으로 규명하는 것은 무리가 있



다. 그러나 철근콘크리트구조물이 해양환경에 노출되어 있는 경우 해당 구조물에 발생하는 주된 열화현상은 콘크리트 내부로 침투된 염화물이온에 의한 매설 철근의 부식, 즉 염해이며 이에 따른 열화현상은 다른 열화 요인에 비해 그 손상 정도나 발생 빈도 면에서 매우 심각한 것으로 알려져 있다. 또한 대기 중의 해염입자 즉, 비래염분이 콘크리트의 간극을 통해 침투되어 콘크리트 내부로 전파되는 경우에도 염해손상을 받게 된다. 비래염분량은 공기 중에 흩어진 해수의 미립자인 해염입자의 양을 말하며, 해염입자는 대략 해수면상 2km까지 상승하여 육지쪽으로 약 2km 지역까지 비산하는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 염화물 이온의 침투는 매립된 철근의 부식에 의한 팽창압(약  $420\text{kgf/cm}^2$ )으로 인해 유해한 균열이 발생하며 구조물의 사용성 및 안정성에 심각한 영향을 초래하게 된다.

따라서 염해에 의한 철근콘크리트구조물의 열화 과정에 대한 분석은 대상구조물의 보강에 적절한 재료 및 공법을 선정하는 데 있어 매우 중요한 역할을 하며, 이는 해양구조물의 설계 및 효율적인 유지관리를 위하여 매우 중요한 연구과제이다.

본 장에서는 철근콘크리트구조물의 보강에 적합한 재료 및 공법을 선정하기 위하여 해양환경에 노출되어 있는 철근콘크리트구조물의 주된 열화요인인 염해에 의해서 발생하는 구조물의 내구성능 저하 메커니즘 및 특징을 고찰하였다.

## 2.1 염해 환경

해양환경에 건설되는 구조물은 해수의 침식작용 및 해수가 구조물내로 스며들어 일으키는 물리적, 화학적 작용의 복합현상으로 인하여 보통 환경의 구조물보다 내구성의 저하가 쉽게 일어난다. 여기서 해양환경이란 바람에 의해 수 킬로미터 떨어진 해수가 날아드는 등의 간접적인 영향과 해수에 직접 접하는 해안 또는 해상에서와 같이 직접적인 영향을 받는 모든 경우를 포함한다. 구조물, 특히 콘크리트구조물의 내해수성에 영향을 미치는 해양환경의 특성으로는 해수의 온도, 화학

성분, 밀물과 썰물 및 파도 등을 들 수 있다.

해수의 온도는 지역과 계절 및 물의 깊이에 따라 다르다. 해수의 표면 온도는 -2℃(해수의 어는 점)부터 30℃(적도 지역)까지 다양하며, 아주 깊은 곳에서는 수온의 변화가 크지 않다. 해수의 온도는 콘크리트를 열화시키는 화학 또는 전기화학 반응의 시작과 진행을 좌우하는 주된 요인이다. 고전반응속도론에 의하면 반응 온도가 10℃ 증가함에 따라 반응의 진행속도는 약 2배 정도 증가하게 된다. 해수의 온도에 비해 외부 대기의 온도변화는 더욱 크다. 콘크리트구조물이 해수와 대기에 번갈아 노출되는 환경에 있다면, 두 노출환경의 온도 차이와 건습의 반복으로 열화가 더욱 가속화될 것이다.

또한, 굴이나 성게 및 연체동물 등 여러 해양생물은 산을 분비하여 콘크리트에 구멍을 내거나 철근 표면에서 공식(孔蝕, pitting)을 일으키기도 한다. 일부 연체동물은 콘크리트에 매우 해로운 영향을 주는 탄산암모늄(ammonium carbonate)을 생성하기도 한다.

해수의 주요성분은 대개 비슷하나 각 성분의 함량은 지역에 따라 다르며, 같은 장소라도 계절에 따라 다르다. 전형적인 염의 함량은 무게비로 3.5% (35g/l)이며, 대표적인 이온은 나트륨이온( $\text{Na}^+$ ), 마그네슘이온( $\text{Mg}^{2+}$ ), 염소이온 ( $\text{Cl}^-$ ), 황산염이온( $\text{SO}_4^{2-}$ )등이다. 해수 주요성분의 평균조성은 표 2.1과 같다.

표 2.1 해수 주요성분의 평균조성

이 온	농 도 (g / l)
$\text{Cl}^-$	19.80
$\text{Na}^+$	11.00
$\text{SO}_4^{2-}$	2.76
$\text{Mg}^{2+}$	1.33
$\text{Ca}^{2+}$	0.43
$\text{K}^+$	0.40

밀물과 썰물 및 파도 등의 해수의 물리적인 작용에 의해서도 콘크리트 표면의 마모 및 침식이 일어나 콘크리트 구조물을 열화 시킨다. 그림 2.1은 노출된 해양 환경에 따른 철근콘크리트 구조의 물리적, 화학적 열화작용 메커니즘을 나타내고 있다. 노출환경은 크게 해수에 완전히 잠겨있는 침수영역(submerged zone), 조수의 작용을 받는 조수영역(tidal zone), 대기에 노출된 대기영역(atmospheric zone)으로 나눌 수 있다. 침수영역의 구조물은 해수 속에 녹아있는 염에 의한 화학적 공격을 받고, 대기영역의 구조물은 동결융해작용과 철근부식작용의 영향을 받는다. 조수영역의 구조물은 모든 물리, 화학적 공격을 받게 되며, 이러한 작용들이 상호 연관되어 상승작용을 일으켜 결과적으로 가장 심한 열화가 발생하게 된다. 본 연구대상구조물을 포함한 조수영역에 설치된 구조물의 주된 손상원인은 염해이며, 염해에 의한 구조물의 손상은 다른 손상원인에 비해 그 발생빈도가 높고, 손상정도가 매우 심각하다. 따라서 이러한 환경에 노출된 구조물의 설계 및 효율적인 유지관리를 위한 연구가 더욱 활발히 수행되어야 할 것으로 사료된다.

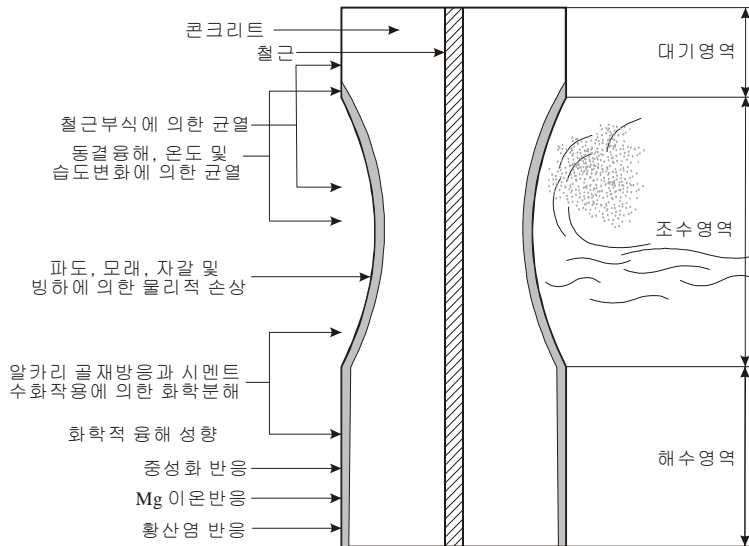


그림 2.1 해수에 노출된 철근콘크리트구조물의 열화

## 2.2 염화물이온의 침투경로

### 2.2.1 내부 염화물이온

콘크리트구조물에 내부 염화물이온이 침투하는 경우는 시멘트, 혼합수 및 혼화제 등에 염화물이온이 함유된 경우와 해사를 사용하는 콘크리트를 배합하는 경우가 있다. 해사에 함유된 염분량은 함수량이 높을수록 많으며, 살수에 의한 제염을 하는 경우 급격히 감소하게 된다. 해사에 포함된 염화물이온 함유량은 해안에서 내륙으로 갈수록 감소하며, 빗물 등에 의해 염화물이온이 아래쪽으로 씻겨 내려가기 때문에 지표에서 지하로 갈수록 증가한다.

해사를 사용하여 수화 전부터 콘크리트내에 염화물이온이 존재하는 경우에 내부 염화물이온의 분포를 살펴보면 표면부근의 염화물이온은 빗물 등에 의하여 용출되고, 콘크리트 내부의 염화물이온은 표면으로 이동하며, 동시에 외부로부터 염화물이온이 계속 침투하기 때문에 표면으로부터 어느 정도 떨어진 위치에서 염화물이온량이 최대가 된다.

### 2.2.2 외부 염화물이온

콘크리트구조물에서 발생하는 염화물 이동 매커니즘은 콘크리트의 노출조건과 함수량에 따라 복합적으로 작용한다. 일반적으로 건습이 반복되는 경우에는 모세관 흡입이 지배적인 역할을 하며, 포화상태에서는 확산이 지배적인 역할을 한다. 따라서 건조상태의 콘크리트가 최초에 물과 접할 경우, 모세관 흡입이 가장 지배적인 영향인자이며, 콘크리트구조물이 완전한 포화상태가 되면 침투작용과 확산이 지배적인 역할을 한다. 이때 물의 흐름이 없다면 확산만이 일어난다.

외부 염화물이온은 구조물 외부의 해수나 대기 중의 해염입자, 제설염 등에 의해 외부로부터 침투되는 것이며, 이러한 환경에 노출되는 구조물은 다량의 염화물이온이 콘크리트내에 축적될 수 있다. 일반적으로 구조물 외부의 염화물이 콘크리트내로 침투하는 경로는 다음과 같다.

(1) 해수로부터의 침투

해안지역의 구조물은 해수 내에 포함된 염화물에 직접 접하거나 조수영역에서 발생하는 해수의 대기 중으로의 순환에 노출되어 염화물이 침투하게 된다. 해수로부터 콘크리트구조물에 침투되는 염화물이온은 물-시멘트비가 클수록 증가하며, 구조물 표면에서부터 깊이가 깊을수록 크게 감소한다.

(2) 해염입자에 의한 침투

해안지역은 대기 중에 다량의 염화물이온이 함유되어 있어 해안주변에 건설된 철근콘크리트구조물은 해수와 직접 접하지 않더라도 대기 중의 해염입자에 의해 염화물이온이 침투할 수 있다.

해염입자의 크기는 해상에서 3~18 $\mu$ m 정도인데 대기 중에 부유하는 동안 0.03~0.6 $\mu$ m 정도로 작아지며 내륙으로 들어오면서 더욱 작아진다. 표 2.2는 대기 중의 해염입자에 의해 콘크리트 표층부에 침투되는 염화물이온의 양을 해안으로부터의 거리에 따라 나타낸 것이다.

표 2.2 대기 중의 염화물이온량과 콘크리트내의 염화물이온 침투량과의 관계

해안으로부터 거리	대기 중의 염화물량	콘크리트 표층부의 염화물이온 침투량
200m 이내	0.3~0.8mg/dm <sup>2</sup> /day (해수에 직접 접촉하는 지역포함)	철근부식 위험수위인 0.03%를 훨씬 초과함
200m~1km	평균 0.2mg/dm <sup>2</sup> /day (하천유역과 바다가 접치는 지역)	해안으로부터 500m까지는 0.03%초과, 800m까지는 초과하지 않음
1km~10km	일반 대기 중의 염화물은 무시	

NaCl의 콘크리트에 대한 중량비

### (3) 제설염 등 기타 경로에 의한 침투

겨울철 아스팔트 및 콘크리트 포장도로에 제설염으로 사용되는 염화칼슘과 염화나트륨은 녹은 눈이나 얼음 속에 염분의 형태로 함유되어 구조물에 직접 침투한다. 또한, 차량의 이동 및 자연환경에 의하여 제설염에 포함된 염화물이온이 대기에 흡수되어 교량의 하부구조나 인접한 구조물에 영향을 미치게 된다. 도심지내 콘크리트구조물의 열화원인을 조사한 Thoft-Cristensen에 의하면 제설목적으로 살포된 염화물이온의 침투가 중성화보다 더 큰 원인으로 작용함을 알 수 있다. 제설염 등에 의해 염화물 이온이 침투하는 경우에는 콘크리트 표면에서 염화물이온의 모세관흡수(capillary absorption)와 건습작용의 반복에 의하여 표면근처에서 매우 높은 염화물이온 농도를 나타내고, 이것이 염화물이온의 확산을 통해 내부로 침투하게 된다. ACI 매뉴얼, 三浦 尙, 이창수 등에 의하면 이러한 제설염에 의한 염해는 동결융해 작용이 동시에 작용하게 되면 해양환경의 영향을 직접 받는 콘크리트구조물과 동등한 정도의 열화를 초래하게 된다.

이외에도 화재로 인해 PVC가 연소하면서 방출되는 HCl이 콘크리트와 반응하여  $\text{CaCl}_2$ 를 형성하는 경우도 있으며, 지하수나 토양으로부터 염화물이온이 침투하는 경우와 콘크리트가 여러 가지 산업부산물로 인해 염화물이온의 침해를 받는 경우 등 염해를 받을 수 있는 환경은 매우 다양하다.

## 2.3 염화물이온과 철근의 부식

### 2.3.1 염화물이온과 부식반응

일반적으로 콘크리트 미세공극내의 수분은 수산화칼슘과 수산화나트륨의 성분을 함유한 용액으로 존재하며, 그 pH는 약 12.5~13.0 정도의 강알칼리성을 띠고 있다. 이러한 강알칼리성 환경에서 철근은 표면에 부동태피막(passive film)이라는 20~60Å 두께의 얇은 산화피막을 형성하여 부식으로부터 보호되고 있다. 따라서 적절한 시공이 된 균열이 없는 밀실한 철근콘크리트구조물에서 철근의 부식이 문

제가 되지 않는다. 그러나 콘크리트내의 알칼리 성분의 용출과 탄산화로 인하여 콘크리트의 알칼리도가 저하하거나 혹은 콘크리트속에 유해성분이 혼입되면 부동태피막이 파괴되고 철근은 활성화 상태로 되어 부식하기 쉽다. 이로 인해 강재의 보호기능은 저하되고, 부식이 발생되면 철근의 체적이 본래의 약 2.5배까지 팽창하여 그 팽창압에 의해 콘크리트에 균열 등의 열화를 발생시키게 된다. 이러한 열화발생은 산소나 물의 공급을 용이하게 하여 철근의 부식을 촉진시키며, 결국에는 피복한 콘크리트의 탈락을 유도하여 구조물의 성능을 저하시킨다. 철근의 부동태 피막을 파괴하는 유해이온에는 할로젠이온( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ), 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 또는 황화물이온( $\text{S}^{2-}$ ) 등의 음이온이 있다. 이 중 염화물 이온( $\text{Cl}^-$ )은 그 작용이 가장 활발하며, 콘크리트 내부에 함유되어 있지 않더라도 해수나 염화물 입자의 비래(飛來)를 통해서도 유입되기 쉬우므로 가장 유해한 이온이라고 할 수 있다. 이런 염화물 이온은 결합이 있는 부동태피막의 일정부위에 흡착하여 넓은 표면적의 부식이 아닌 국부적 파괴를 통한 공식(孔蝕)을 일으키는 원인이 된다. 콘크리트 중의 철근에 생성된 부동태 피막의 파괴는 염화물이온 또는 이산화탄소의 침투에 의한 콘크리트 내부의 알칼리도 저하에 의하여 발생하며, 이로 인해 그림 2.2와 같이 철근 중에 부식전지가 형성된다.

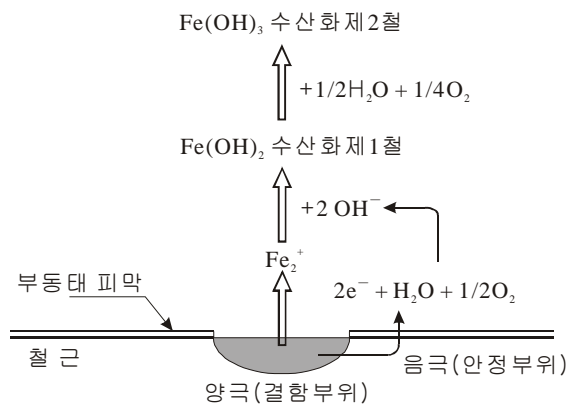


그림 2.2 철근의 부식 반응 메커니즘

그림 2.3은 염화물이온에 의해 발생하는 콘크리트내 철근의 부식반응 메커니즘을 나타낸 것이다. 이 그림과 같이 콘크리트의 열화나 밀실성의 차이, 염화물과 알칼리 농도의 차이 등의 불균일성이나 화학적 불균일성으로 인해 강제 표면의 전위가 불균일하게 되어 양극(anode, 산화반응)부위와 음극(cathode, 환원반응)부위가 생기면서 전류가 흐르게 되어 부식이 발생한다.

자연계에서 철(Fe)은 산소와 결합한 산화물 또는 황과 결합한 황화물의 형태를 취하는 안정된 상태의 철광석으로 존재한다. 철강재는 이러한 자연 상태의 안정된 원재료에 전기에너지와 열에너지를 가하여 가공되므로 역학적으로 불안정한 상태에 있게 된다. 철강재는 그 환경중의 물, 공기 등과 반응하여 원래의 안정된 상태로 되돌아가려는 성질을 갖는데 철강재의 부식현상도 이러한 성질에 의한 것이다.

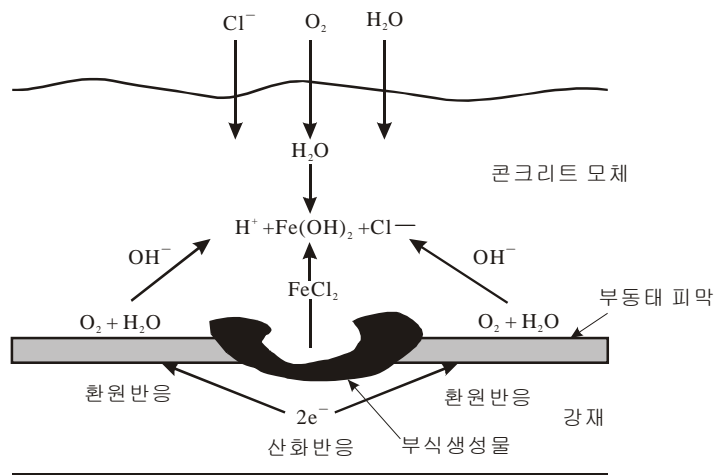


그림 2.3 염화물이온에 의한 철근의 부식 메커니즘

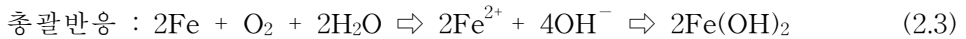
일반적으로 강재의 부식은 고온에서 산소, 유황, 할로젠 등의 가스에 접하여 그 금속의 산화물, 유화물, 할로젠물 등의 반응물을 생성시키는 건식(dry corrosion)과 수분이 존재하는 상태에서 금속이 부식되는 습식(wet corrosion)으로 나눌 수 있으며, 상온에서 발생하는 부식은 대부분 습식이다. 콘크리트 내부의 철



근에 발생하는 부식도 습식의 하나로 다음과 같은 전기화학적 반응으로 설명할 수 있다.



식 (2.1)의 양극반응은 전자 2개를 모재 중에 남겨둔 철이 이온화되어 용출하는 것이며, 이 양극반응에 의하여 생성된 전자를 소비하는 것이 식 (2.2)의 음극반응이다. 이러한 두 종류의 반응은 동시에 발생하는 부식반응이며, 이를 하나의 반응식으로 통합하면 식 (2.3)과 같다.



위의 식들에서 같이 부식반응에는 여러 종류의 전하를 가진 이온과 전자가 관여한다. 부식전지는 양극부와 음극부의 거리에 따라 조금 떨어진 위치에서 생기는 매크로셀(macro-cell)과 비교적 가까운 거리에서 생기는 마이크로셀(micro-cell)로 나누어지는데 매크로셀은 마이크로셀에 비해 전위차가 크기 때문에 부식속도가 대단히 빠르다. 해양환경과 같이 극심한 환경에서는 양극과 음극간의 거리가 약 40~100cm가 되는 경우도 있다.

### 2.3.2 부식반응과정

염화물이온에 의한 철근의 부식과정을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

#### (1) 염화물이온의 침투

그림 2.4(a)와 같이 염화칼슘과 해수에 함유된 염화물이온은 콘크리트 표면에 침투하여 철근 고유의 부동태(passivity)를 파괴한다. 전형적으로 철근의 맨 상층

은 가장 빨리 그리고 가장 높은 농도의 염화물 이온에 의해 활성화된다.

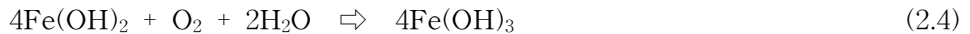
### (2) 전위차의 발생

염화물 이온의 농도는 구조물의 전체에 걸쳐 일정하지 않기 때문에 일부만이 활성화되므로 건전부와 결함부 사이에서 전위차가 발생한다. 이러한 전위차는 철근을 통해 전자를 이동시킴으로써 부식작용을 일으키는 전자를 형성하는 기전력으로 작용하게 된다. 이러한 메커니즘을 그림 2.4(b)에 나타내었다.

### (3) 부식반응

발생된 전위차는 철근에 전자의 흐름을 만드는 동시에 철근의 표면에서 전기 화학적 반응을 일으킨다. 식 (2.1)과 같이 양극부(anode)에서는 산화반응(전자의 생성)이 일어나 철이 이온화되어 녹아나오게 되며, 이를 그림 2.4(c)에 나타내었다. 또한, 식 (2.2)과 같이 부동태의 상태로 있는 음극부(cathode)에서는 환원반응(전자의 소모)이 일어나 수산화이온이 발생한다. 결과적으로 식 (2.3)과 같이 수산화이온이 양극부로 이동하여 부식생성물인 수산화 제1철이 철근 표면에 생성된다.

이 화합물은 용존산소에 따라 산화하고, 식 (2.4)과 같이 수산화 제2철이 생성된다. 이 화합물은 계속해서 수분을 잃고 수산화 제2철(붉은 녹)이 되거나 산화가 불충분한 상태로  $Fe_3O_4$ (검은 녹)가 되어 철근 표면에 녹층을 형성한다.



### (4) 염화물 이온의 이동

부식반응이 일어날 때 이온들은 그림 2.4(d)와 같이 전기적 중성을 유지하기 위해 전해물질을 통해 이동한다. 음(-)으로 하전된 이온들은 양극부로 이동하고 양(+)으로 하전된 이온들은 음극부로 이동하여 전기적 회로를 구성하게 된다. 염화물 이온이 양극쪽으로 이동하면 부동태의 상태를 침해하게 되어 부식반응을 더

속 강화시킨다. 이것은 염화물이 부식반응에서 실제로 관여하기 때문에 일어나는 현상이며, 이러한 반응은 식 (2.5), 식 (2.6)과 같이 발생한다.



위의 식들과 같이 부식반응과정에서 염화물이온은 소모되지 않고 단지 부식반응의 촉매역할을 수행함으로써 중간생성물( $\text{FeCl}_2$ )을 형성하고, 끊임없이 부식반응을 촉진시킨다. 이와 동시에 양극에서 수소이온이 발생하여 양극부의 pH를 낮춤으로써 부식에 더욱 유리한 환경을 만들게 되며, 활발한 부식반응이 일어날 때 철근주위의 pH가 4.8~6.0사이의 범위에 있다는 사실은 이를 잘 뒷받침한다.

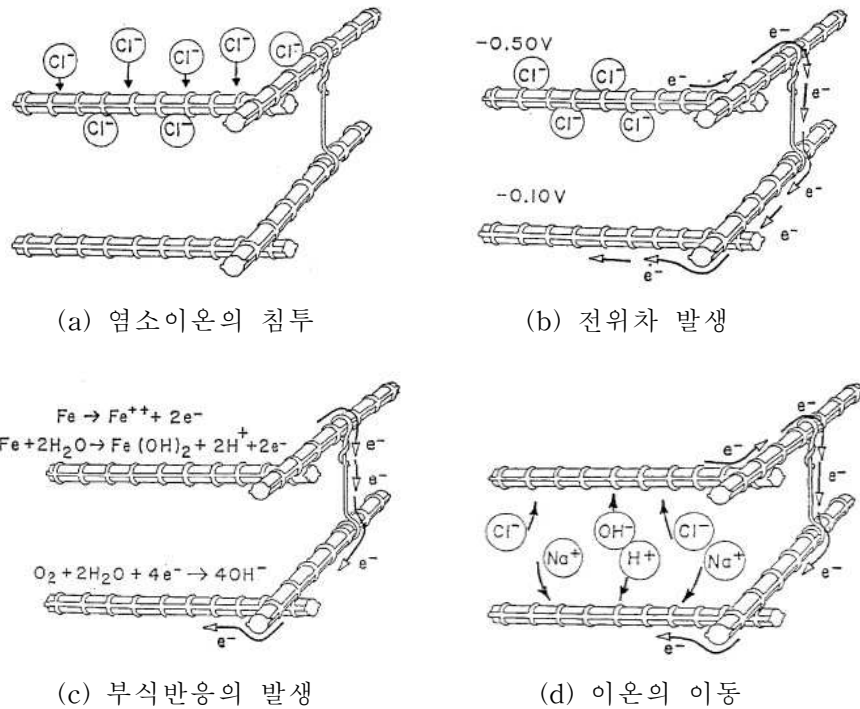


그림 2.4 염소이온에 의한 철근의 부식과정

## 2.4 염해의 영향인자

### 2.4.1 외부 영향인자

#### (1) 산소

콘크리트 중의 철근의 부식에 있어 가장 중요한 인자는 산소이다. 산소는 부식에 대한 음극반응을 촉진하는 역할을 하며 철의 부식가능성 뿐만 아니라 부식속도의 지배인자이다. 해수가 철근 표면까지 침투하여 염화물이온이 부동태피막을 파괴해도 산소가 철근 표면까지 침입하지 않으면 철근의 부식은 진행되지 않는다. 즉, 해수 속에는 용해되어 있는 산소의 양이 적고, 콘크리트속의 세공구조가 물로 채워져 있기 때문에 산소확산속도가 대단히 느려 침수영역에 침전된 콘크리트 구조물에는 철근의 부식이 발생하더라도 매우 느린 속도로 진행하게 된다. 반면에 염화물이온이 비례하여 침투하는 비말대에서는 충분한 산소가 존재하고 건조·습윤의 반복으로 인한 염화물의 농축이 일어나므로 이 지역에서 콘크리트 구조물에 매립된 철근은 매우 심한 부식반응을 보인다.

콘크리트 내부에서 산소의 확산속도는 콘크리트의 품질과 피복두께에 지배되며, 부동태피막이 파괴되기 어려운 환경 속에서는 오히려 산소가 부동태피막의 약점을 보강하여 산화피막의 형성과 유지에 기여한다. 산소확산속도는 콘크리트의 물-시멘트비가 낮고, 피복두께가 증가하여 밀실한 콘크리트가 될수록 감소한다.

#### (2) 이산화탄소

콘크리트 속에서 철근의 부동태피막이 형성되기 위해서는 알칼리 환경이 유지되어야 한다. 콘크리트는 수화생성물인  $[Ca(OH)_2]$ 에 의해 이러한 강알칼리 상태를 이루고 있지만, 대기 중의 이산화탄소( $CO_2$ )가 콘크리트 내부로 침투하면 콘크리트 중의 수산화칼슘이 이산화탄소와 반응하여 탄산칼슘으로 바뀌게 되어 점차 알칼리성을 잃게 되며, 콘크리트가 물과 접촉하고 있으면 수산화칼슘이 용출될 수도 있다. 이러한 콘크리트의 pH 저하현상을 중성화(carbonation)라고 하는데 중성화가 발생하면 콘크리트는 pH가 8.5~10 정도로 저하되고 탄산화반응의 생성물로

인해 조직이 다소 무거워지고 치밀해진다. 콘크리트가 이 같은 작용에 의해 중성화되면 철근의 부동태가 파괴되고 부식속도가 현저히 증가한다.

### (3) 온도 및 습도

온도와 습도는 철근의 부식에 직접 관여하기보다는 콘크리트 내부의 화학적 활성화를 변화시켜 부식작용을 증가시킨다. 중성화를 가속화시키는 최적의 온도 및 습도와 철근의 부식을 가속화시키는 최적의 온도 및 습도가 다른 경향을 보이는데 이는 수분과 이산화탄소의 유입에 의한 콘크리트 자체의 중성화기구와 산소 확산성과 염화물 이온의 유입에 의한 철근의 부식기구가 다르기 때문이다. 일반적으로 온도가 증가할수록 철근의 부식은 증가하나 습도는 이와 다른 경향을 보인다.

## 2.4.2 내부 영향인자

### (1) 염화물이온( $Cl^-$ ) 함유량

콘크리트 내부의 허용 염화물량에 대해서는 세계 각국의 각종 규격 등에 규정되어 있지만 아직 일치된 견해는 없다. 한국건설기술연구원의 연구보고서에서는 모르타르 내부에서 강재의 부동태영역의 유무를 검토한 결과 염화물량이 많을수록 부동태는 존재하지 않는 경향이 나타나는 것으로 보고하고 있다.

콘크리트 내의 염화물 함유량에는 철근의 부식을 발생시키지 않을 한계 값인 임계염화물농도가 있다. Haussmann은  $0.02mol$  이하의  $Cl^-$  이온 농도에서 철근은 부동태에 있지만 그 이상의 염화물이온 농도에서는 농도의 증가와 함께 부식이 발생하므로 염화물이온의 허용농도를  $0.02mol(700ppm)$ 으로 제안하였다.

### (2) $Cl^-/OH^-$ 의 비율

Haussmann은 염화물을 포함한 포화 수산화칼슘용액 속에 침전시킨 연강의 부동태피막 파괴실험의 결과에서  $Cl^-/OH^-$ 의 비가 0.6이하이면 염화물은 부식을 일

으키지 않음을 규명하였다.  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$ 는 철근의 부식이 시작되는 염소이온의 임계치인 부식임계농도와 밀접한 관련이 있으며 콘크리트내 pH의 변화에도 밀접한 관련이 있다.

### (3) 알루미늄산칼슘( $\text{C}_3\text{A}$ )의 함유량

포틀랜드시멘트속의 알루미늄산칼슘은 수화제, 염화물 등과 화학적으로 반응하여 불용성인 프리텔염을 생성하며, 이는 외부의 환경이 크게 변하지 않으면 내부에 고착화되어 세공용액속의 가용성 염화물의 75~90%를 제거한다. 해수에 침수되어 있는 10% 정도의  $\text{C}_3\text{A}$ 를 포함하는 시멘트는 낮은 투수성을 보이며 염화물이온에 따른 철근부식에 매우 효과적인 방어 자재가 된다.

## 2.5 염해에 의한 내구성능 저하과정

염해에 의한 철근 부식 진행은 해안 근처에서는 바닷물의 비말이나 비래 염분이 콘크리트 표면에서부터 콘크리트 내부로 침투 확산하여 철근 위치에 도달함으로써 철근 부식이 발생되고, 균열이 발생할 정도의 부식량에 도달하면 급격하게 내구성이 저하된다. 바다 모래의 사용 등에 의하여 콘크리트에 함유된 초기 내재 염화물은 바닷물의 비말이나 비래 염분보다 빨리 철근을 부식시키지만, 균열이 발생하기까지의 시간이나 내구성이 저하하기까지의 시간은 염화물이온량에 따라 달라진다. 그림 2.5는 철근콘크리트구조물의 염해에 의한 성능저하 과정을 나타낸 것이다.

철근부식이 개시하기까지의 잠복기, 부식개시에서 부식균열 발생까지의 진전기, 부식균열의 영향으로 부식속도가 대폭으로 증가하는 가속기 및 철근의 대폭적인 단면감소에 의해 내하력 등의 성능이 대폭적으로 저하하는 열화기로 기간을 구분할 수 있다. 이러한 성능저하과정을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

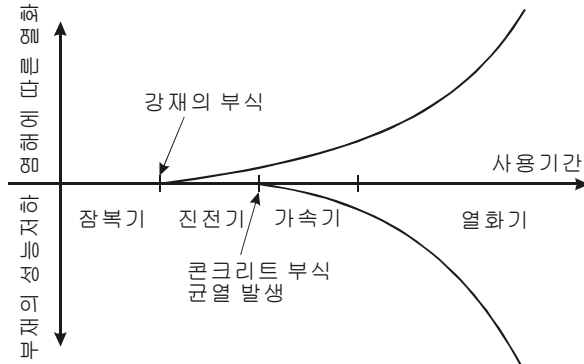


그림 2.5 철근콘크리트구조물의 염해에 의한 성능저하 과정

### 2.5.1 잠복기

잠복기는 철근콘크리트구조물의 공용개시 후부터 콘크리트 내부의 철근이 부식되기 시작할 때까지의 기간으로 정의된다. 즉, 염화물이온( $Cl^-$ )이 피복 콘크리트 속으로 침투하여 강재부근에 축적되는 과정으로, 염화물이온 농도가 부식 발생에 필요한 농도에 도달하기까지의 기간이다. 이 기간에는 강재표면에 부동태피막이 형성되어 있어 강재는 부식으로부터 보호된다.

콘크리트 내부의 철근부식이 개시되는 시점을 정확히 설정하는 것은 매우 어려운 문제지만 기존의 많은 연구보고서에 따르면 철근 부근에서 콘크리트 내부 염화물량이 부식임계량을 초과하게 되면 철근부식이 개시되는 것이 일반적인 개념이다.

잠복기의 기간에는 콘크리트 내부에서 염화물이온의 침투 및 확산속도와 콘크리트 표면으로부터 철근까지의 깊이, 즉 철근의 피복두께에 의해 지배된다. 따라서 콘크리트 재료에 함유된 염화물이온이 많은 경우 잠복기는 존재하지 않고 바로 진전기로 들어가게 된다.

잠복기의 또 다른 지배요인인 콘크리트 내부로의 염화물이온 침투속도를 산정하는 가장 일반적인 방법은 염화물이온의 확산을 고려하는 방법이다. 그러나 콘크리트 내부로의 염화물이온 침투는 콘크리트 배합시 해사의 사용 및 해수와 같이

염화물이온이 용해되어 있는 용액의 침투 등과 같은 내부요인과 산소량, 온도, 습도 및 염화물이온의 콘크리트 내·외부 농도차에 의한 확산 등의 외부요인 등 다양한 작용이 혼재하여 나타나기 때문에 염화물이온의 확산이론으로서 콘크리트 내부로의 염화물이온 침투를 충분히 설명하기는 어렵다. 이러한 이유로 겉보기 염화물이온 확산계수를 산출함으로써 향후 염화물함유량의 변화를 예측하는 방법들이 많은 연구자들에 의해 제시되었다. 표 2.3은 건설교통부와 한국시설안전기술공단에서 제시한 모르터와 콘크리트의 종류에 따른 겉보기 염화물이온의 확산계수를 나타낸 것이다.

잠복기와 진전기의 경계를 결정짓는 임계염화물량은 염화물 이온 농도로 표시한 경우에 시멘트 질량의 0.4% 정도, 콘크리트 용적에 대하여  $1.2\text{kgf/m}^3$ 에 상당하는 값으로 보고 되고 있다.

표 2.3 폴리머 시멘트모르터 및 콘크리트의 겉보기 염화물이온의 확산계수

모르터의 종류	폴리머-시멘트비 (%)	겉보기염화물 이온확산계수 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )	콘크리트의 종류	폴리머-시멘트비 (%)	겉보기염화물 이온확산계수 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )
보통시멘트 모르터	0	$6.4 \times 10^{-2}$	보통시멘트 콘크리트	0	$2.2 \times 10^{-2}$
SBA 혼입모르터	10	$6.4 \times 10^{-2}$	SBA혼입 콘크리트	10	$1.9 \times 10^{-2}$
	20	$3.9 \times 10^{-2}$		20	$9.3 \times 10^{-2}$
EVA 혼입모르터	10	$4.4 \times 10^{-2}$	EVA혼입 콘크리트	10	$7.9 \times 10^{-2}$
	20	$2.4 \times 10^{-2}$		20	$1.0 \times 10^{-2}$
PAE 혼입모르터	10	$3.8 \times 10^{-2}$	PAE혼입 콘크리트	10	$6.2 \times 10^{-2}$
	20	$4.4 \times 10^{-2}$		20	$5.8 \times 10^{-2}$

## 2.5.2 진전기

진전기는 콘크리트 내부의 철근이 부식되는 시점부터 콘크리트에 부식균열이 발생할 때까지의 기간이다. 즉, 강재가 염화물이온에 의해 부식하기 시작하여 부



식생성물(녹)이 축적되고, 그 팽창압력에 의하여 피복콘크리트에 균열이 발생하는 과정이다. 진전기 기간은 콘크리트 내부 철근의 부식속도와 피복콘크리트에 균열이 발생할 때의 철근 부식량이 관계하므로 콘크리트내의 용존산소량에 지배되고, 부수적으로 수분의 공급량 및 콘크리트 전기저항의 영향도 받게 된다.

콘크리트 내부 철근의 부식속도를 결정하는 주요요인인 용존산소량은 정량적으로 평가하는 것이 매우 어려우며, 콘크리트가 습윤 상태에 있으면 산소확산성이 작게 되고, 건조상태에 있으면 산소확산성이 크게 된다는 정성적 판단만이 가능하다. 따라서 기존 연구들에서 철근의 부식속도는 산소의 확산을 고려한 속도식의 적용이 아닌 철근의 단면감소율을 고려한 철근의 부식 속도식을 적용하고 있다.

그림 2.6은 산소의 확산에 의해 철근부식이 진행되고, 철근부식의 팽창압에 의해 콘크리트에 균열이 발생하는 과정을 나타낸 철근부식에 의한 균열발생 모델 중 가장 일반적으로 활용되고 있는 원통모델을 나타낸 것이다. 이 그림과 같이 철

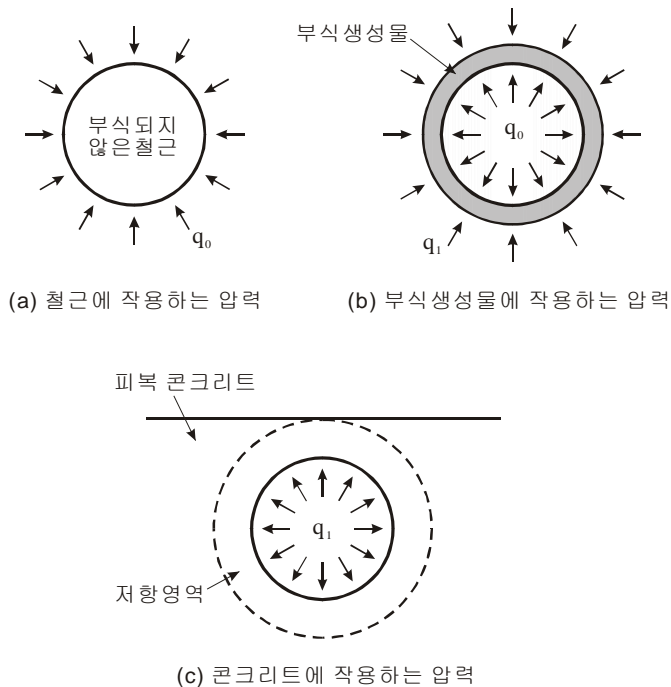


그림 2.6 철근부식에 의한 균열발생모델

근의 부식으로 인해 발생하는 팽창압은 부식생성물에 의해 부식되지 않은 철근에 발생하는 팽창압  $q_0$ 와 피복 철근콘크리트 부위에 발생하는 압력  $q_1$ 으로 가정할 수 있으며, 피복 철근콘크리트에 발생하는 압력  $q_1$ 에 의해 철근콘크리트 표면에 균열이 발생하는 것이다.

이와 같은 철근의 부식에 의해 피복콘크리트에 균열이 발생할 때의 부식량은 주로 대상 철근콘크리트구조물의 역학적 성질에 의해 결정되는 것이며, 이중 가장 큰 영향요인은 내부철근의 직경, 철근의 피복두께 및 콘크리트의 인장강도 등이다.

### 2.5.3 가속기 및 열화기

가속기는 콘크리트 내부 철근의 부식에 의해 피복콘크리트에 균열이 발생한 시점부터 균열폭 및 철근 부식량이 증대되는 시기이다. 즉, 강재에 의한 균열(축방향 균열)이 발생하여 부식속도가 촉진되고 피복콘크리트의 박리, 박락이 발생하는 과정이다. 그림 2.5에 나타낸 성능저하 과정에서 가속기가 지속적으로 증가하여 열화기로 발전하므로 가속기와 열화기의 경계를 명확히 규정하기는 어렵다. 이는 성능저하의 메커니즘으로 구분되는 것이 아니라 콘크리트 구조물이 내구성에 있어서의 한계점, 즉 대상구조물의 성능상의 변화로 구분하여야 한다. 이러한 이유로 일부 연구자들은 가속기의 종료시점으로 콘크리트 내부 철근의 단면감소율이 20%에 도달한 시점을 내구성 측면에서의 한계로 가정하고 있다.

가속기의 지배요인은 진전기와 거의 같으나 하중작용 등의 영향도 받는다. 축방향 균열이 발생하여도 그 직후의 정적 내하력은 저하되지 않으며 공식 등에 의해 높은 응력의 반복하중이 작용하는 경우에는 내하력 및 인성의 저하가 발생하기 시작한다.

열화기는 가속기가 지속적으로 증가하여 발전된 과정으로 강재부식이 진전되어 단면적이 감소하고 내하력의 저하가 현저하게 발생되며, 지배요인은 가속기와 거의 같다.

이상과 같이 구분된 각각의 기간을 지배하는 주된 요인으로는 염화물 이온량 및 산소의 확산이 있는데 전자는 부식의 발생, 후자는 부식의 속도를 지배하는 요인으로 작용하고, 염해에 의한 철근콘크리트구조물의 내용년수 또는 잔존수명을 검토하는데 매우 중요한 항목이다. 염화물이온 및 산소의 확산문제는 종래 여러 학자들에 의해 연구되어 왔으며, 콘크리트 중의 겉보기 확산계수는  $10^{-7} \sim 10^{-8}$  cm<sup>2</sup>/sec 정도로 지금까지 알려진 것보다 매우 빠르게 염화물이 확산·침투되어 축적되는 것이 최근의 연구 결과에 의해 밝혀졌다. 예로서 산소의 확산 등으로부터 추정된 경우, 피복두께가 50mm인 콘크리트가 염화물이온의 축적에 의해 일단 부식이 발생되고 그것이 계속적으로 진행되는 환경하에서는 부식에 의한 축방향 균열이 발생하는데 소요되는 기간이 불과 2개월 정도 밖에 되지 않는다.

콘크리트 구조물의 내용년수에 대해서는 여러 가지 정의가 가능한데, 비교적 안전측이긴 하나 합리적인 내용년수 설정방법은 부식에 의한 축방향 균열의 발생까지 즉 잠복기와 진전기의 합으로 구하는 것이다.

이상에서 살펴본 각 성능저하과정은 기본적으로 구조물의 상태(수명)에 대응하고 있기 때문에 성능저하진행 예측은 각 기간의 길이를 예측하는 것이 되며 각 성능저하과정과 기간을 결정하는 요인을 요약하면 표 2.4와 같다.

표 2.4 염해를 받는 구조물의 성능저하 기간의 정의

성능저하과정	정 의	기간 결정 주요인
잠복기	강재 위치에 있어서 염화물 이온 농도가 부식발생 한계농도*에 달하기까지의 기간	염화물 이온 확산 초기 함유염화물 이온농도
진전기	부식개시에서 부식균열 발생까지의 기간	강재 부식속도
가속기	균열발생에 의해 부식속도가 증대하는 기간	균열을 갖는 경우의 강재 부식속도
성능저하기	철근 부식량 증가에 의해 내하력 저하가 현저한 기간	

일본토목학회 콘크리트표준시방서에서는 표준치로  $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 정하고 있음

## 제3장 내구성 평가

철근콘크리트구조물이 오랜 기간 동안 염화물의 침투확산 등에 노출되면 콘크리트 속에 묻힌 철근이나 PS강재가 부식하게 된다. 강재가 부식하기 시작하면 그 체적의 팽창으로 인하여 콘크리트의 균열 및 박리를 일으키며, 심할 경우 구조물의 붕괴에까지 이르게 된다. 이와 같은 철근콘크리트구조물의 성능저하나 구조적인 피해는 사용자의 안전에 불리할 뿐만 아니라 장기간에 걸쳐 사회와 국가경제에 막대한 손실을 끼치게 된다. 따라서 철근콘크리트구조물의 내구성 진단 및 평가는 구조물의 효율적인 유지관리를 위한 성능저하의 예측과 보강의 시기 및 공법선정 등을 판단하는데 매우 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 염해손상된 철근콘크리트 부두의 내구성 증진을 위한 단면보강 공법을 개발하기 위하여 실제 구조물을 대상으로 내구성 평가 및 분석을 실시하였다. 본 연구에서 대상으로 한 실구조물은 남해안에 위치한 잔교식 부두로서 상부에 설치된 각종 제반시설을 지지하는 해상구조물이다. 1980년에 완공된 이후 설비확충 및 사용하중 증가에 따라 제반시설 등이 개축 및 증축되었다.

본 구조물은 완공이후 오랜 시간동안 염해에 노출되어 심각한 손상이 발생하였으며, 이로 인한 구조적 기능을 완전히 발휘할 수 없는 상태로 이에 따른 적절한 보강이 절실한 구조물이다. 또한 설비확장에 의한 사용하중의 증가로 설계하중 이상의 과하중이 작용하게 되어 증가된 하중에 저항할 수 있는 보강물의 시공이 이루어져야 한다.

본 장에서는 대상구조물의 보강 및 유지관리 방안을 수립하기 위한 정밀조사 및 시험분석에 대하여 기술한다. 구조물의 손상상태를 파악하기 위한 각종 측정방법 및 결과에 대하여 기술하고, 이를 바탕으로 결정된 구조물의 최종적인 상태평가 등급 및 조치사항을 기술하였다. 여기에 나타난 평가기준은 건설교통부와 시설안전기술공단에서 발간한 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”에 의거한 것이다.

### 3.1 대상구조물

표 3.1은 본 연구 대상구조물인 “○○잔교식 부두”의 진단대상 시설물 현황을 나타낸 것이며, 그림 3.1은 대상 시설물 중 Berth-3,4의 평면도를 나타낸 것이다. Berth란 표준적인 선박 1척을 직접 계류할 수 있는 시설 즉, 부두, 잔교 및 안벽 등과 같이 선박을 계류하는 설비를 갖춘 정박수역을 말한다.

표 3.1 대상구조물 시설물 현황

구 분	Berth-1,2	Berth-3,4	Berth-5,6	Berth-7,8
구 조	철근콘크리트	철근콘크리트	철근콘크리트	철근콘크리트
규 모	24.3 × 26 m	38.5 × 26 m	38.5 × 26 m	38.5 × 26 m
열 수	4열	6열	6열	6열

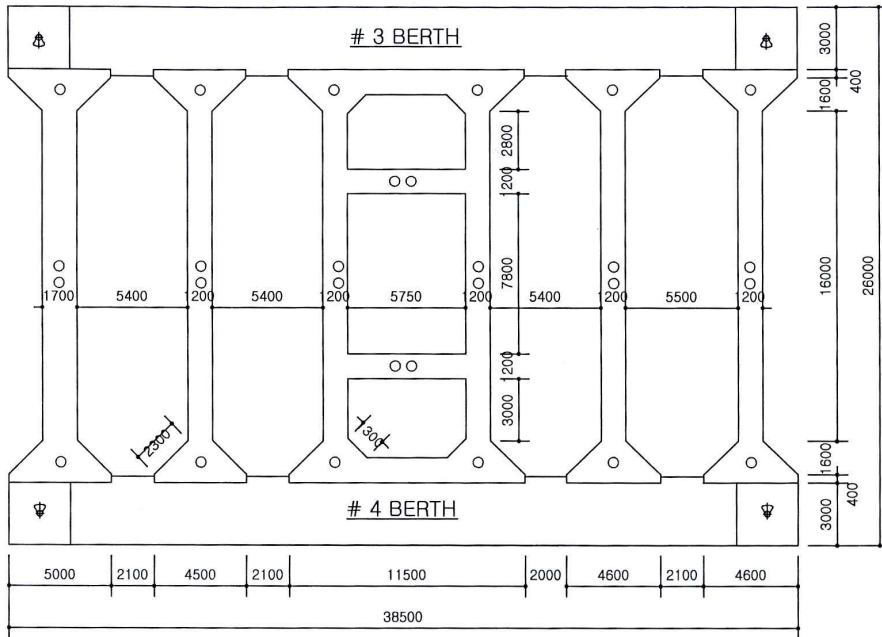


그림 3.1 대상구조물의 평면도

## 3.2 시험방법 및 평가기준

노후화된 철근콘크리트구조물의 보강을 위해서는 먼저 구조물의 손상형태를 정확히 추정하여야 한다. 일반적으로 구조물에 손상을 야기하는 원인은 크게 염해, 중성화, 알칼리 골재반응, 동해 등으로 분류되며, 각각의 원인에 따른 외관상의 특징이 있으므로 외관상 특징 및 환경조건을 참고로 손상원인을 추정하고, 손상형태별로 필요한 시험을 실시하여 구조물의 손상형태 및 손상도 등급을 판정한다.

구조물의 손상형태 및 손상도 등급을 판정하기 위해서는 여러 가지 내구성 시험을 실시해야 하며, 이러한 시험은 성능저하의 원인에 따라 다르다. 본 연구 대상구조물과 같이 해양환경에 노출되어 있는 철근콘크리트구조물의 주된 손상원인은 콘크리트 내부로 침투된 염화물이온에 의한 철근의 부식, 즉 염해에 기인한다. 따라서 본 연구에서는 염해손상된 철근콘크리트구조물의 내구성진단에 필수 시험항목인 정밀외관조사, 균열조사, 콘크리트강도측정, 철근부식상태조사, 염화물이온 함유량 측정, 중성화 깊이조사 등을 실시하였으며, 각 항목별 시험방법과 평가기준을 요약하면 다음과 같다.

### 3.2.1 노후화현상조사

노후화현상조사는 콘크리트 표면에 발생한 박리, 층분리, 박락, 백태, 철근 부식상태 및 층돌손상 등 구조체의 결함유무 및 시공 상태를 조사하는 것으로 구조물의 상태평가를 위한 기초 자료로 활용된다.

본 연구에서 노후화현상조사는 부두의 콘크리트 구조체를 대상으로 수행되었으며, 노후화에 대한 평가는 건설교통부의 ‘시설물 안전점검 및 정밀안전진단 지침을 기준으로 하였다.

#### (1) 박리(Scaling)

박리는 콘크리트 표면의 모르타르가 점진적으로 소실되는 현상으로 표면에서의

모르터 손실 깊이를 기준으로 평가한다. 박리에 의한 노후화의 평가기준을 표 3.2에 나타내었다.

표 3.2 박리의 평가 기준

평가 등급	평가기준		
	박리깊이: sc(단위:mm)	면적을 10%이하	면적을 10%이상
A	sc = 0	a	a
B	0 < sc < 0.5	b	c
C	0.5 < sc < 1.0	c	d
D	1.0 < sc < 25	d	e
E	25 < sc	e	e

(2) 층분리(Delamination) 및 박락(Spalling)

층분리는 철근의 상부 또는 하부에서 콘크리트가 층을 이루며 분리되는 현상으로 철근의 부식에 의한 팽창이 주요 원인이며, 이러한 철근의 부식은 주로 염화물이온(소금, 염화칼슘)에 의하여 발생된다.

박락은 콘크리트가 균열을 따라서 원형으로 떨어져 나가는 층분리 현상의 진전된 현상이다. 표 3.3은 층분리 및 박락에 의한 콘크리트 구조물의 평가 기준을 나타낸 것이다.

표 3.3 층분리 및 박락의 평가 기준

평가 등급	평가기준		
	층분리 및 박락깊이 sd(mm)	면적을 20%이하	면적을 20%이상
A	sd = 0	a	a
B	0 < sd < 15	b	c
C	15 < sd < 20	c	d
D	20 < sd < 25	d	e
E	sd < 25	e	e

### (3) 백태(Efflorescence)

백태는 콘크리트 내부에 침투한 수분에 의하여 염화물 이온 성분이 콘크리트 표면에 고형화된 현상이며, 백태에 의한 노후화 평가기준은 표 3.4와 같다.

표 3.4 백태의 평가기준

평가등급	평가기준
A	백태 발생 없음
B	백태발생 면적을 5%미만
C	백태발생 면적을 5%~10%미만
D	백태발생 면적을 10~20%미만
E	백태발생 면적을 20%이상

## 3.2.2 균열조사

철근콘크리트구조물에서 내구성 및 구조안전성에 가장 큰 영향을 주는 요인 중의 하나가 균열의 발생이다. 일반적으로 철근콘크리트균열은 복합적인 문제점이 내재된 상태에서 발생되며, 외력에 의해 발생하는 균열은 부재내력 및 내구성 회복을 위한 보수 및 보강이 필요하다.

콘크리트 시방서에 나타난 균열제어에 관한 규정은 구조물이 노출되어 있는 환경, 균열을 발생시키는 사용하중의 정의, 철근의 표면형태 또는 부식민감도 구분, 균열폭 또는 간격 산정, 허용 균열폭 등의 내용으로 구성되어 있다.

본 연구에서는 구조물의 균열조사를 위하여 콘크리트 부재중 접근 가능한 부위를 대상으로 균열길이 및 폭을 측정하였다. 측정방법은 균열길이의 경우 강제줄자를 사용하여 mm단위로 측정하였으며, 균열폭은 균열폭 측정 현미경을 사용하여 단위폭 0.05mm를 기준으로 측정하였다.

건설교통부의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에서는 콘크리트의 균열에 대한 평가등급을 표 3.5와 같이 나타내고 있다.



표 3.5 콘크리트균열에 대한 평가등급 기준

평가등급	평가 기준		
	최대 균열폭(mm)	면적률 20%이하	면적률 20%이상
A	최대 균열폭<0.1	A	A
B	0.1≤최대 균열폭<0.2	B	C
C	0.2≤최대 균열폭<0.3	C	D
D	0.3≤최대 균열폭<0.5	D	E
E	0.5≤최대 균열폭	E	E

$$\text{면적률(\%)} = \frac{\text{균열발생면적}}{\text{점검단위면적}} \times 100 = \frac{\text{균열길이(L)} \times 0.25}{\text{점검단위면적}} \times 100$$

### 3.2.3 콘크리트강도 측정

공용중인 철근콘크리트구조물의 건전성을 평가하기 위해서는 구조물의 강도를 측정하는 것이 매우 중요하다. 철근콘크리트구조물의 강도평가는 구조물에서 코어를 채취하여 압축강도시험을 실시하는 코어채취방법과 비파괴시험장비를 이용하여 강도를 추정하는 비파괴시험법 등이 있다. 이 중 비파괴시험에 의한 강도측정은 시험방법이 간편하고, 구조물에 손상을 주지 않아 콘크리트강도 추정에 많이 이용되고 있다.

본 연구에서 콘크리트의 강도측정은 여러 가지 비파괴 시험방법 중 가장 널리 쓰이고 있는 슈미트해머를 이용한 반발경도법에 의하여 실시하였다. 본 연구에서는 보다 정확한 콘크리트의 강도측정을 위하여 미리 측정된 Test Anvil에 슈미트해머를 타격하여 장비를 보정한 후 측정을 실시하였다. 총 24개소의 측정점에 대하여 각 측정 개소마다 20개의 측정값을 취하였으며, 이 때 측정간 간격은 25mm 이상으로 하였다.

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에서는 콘크리트 압축강도시험을 통하여 얻어진 결과를 토대로 구조물의 상태를 평가하기 위하여 표 3.6과 같이 콘크리트 강도에 대한 평가등급을 제시하고 있다.

표 3.6 콘크리트강도에 대한 상태평가 기준

평가등급	평가기준
A	$a_c \geq 100\%$
B	$a_c \geq 100\%$ (경미한 손상 있는 경우)
C	$85\% \leq a_c < 100\%$
D	$70\% \leq a_c < 85\%$
E	$a_c < 70\%$

$$a_c = (\text{측정강도} / \text{설계기준강도}) \times 100$$

### 3.2.4 철근부식도 측정

콘크리트내 철근의 부식현상이 전기화학반응임에 착안하여 철근의 부식현상을 이해하고 부식 메커니즘과 부식진행정도 및 부식 예측을 위한 여러 가지 전기화학적 비파괴측정 방법들이 시도되고 있다. 이러한 비파괴 시험법의 종류로는 전위 측정법, 전기저항법, 분극저항법, 교류 임피던스법 등이 활용되고 있으며, 이중 전위측정법이 가장 많이 이용되고 있다.

본 연구에서는 비파괴 측정 방법 중 하나인 자연전위 측정법에 의한 철근 부식 확률을 평가하였다. 측정 대상은 철근의 부식 팽창으로 인하여 콘크리트의 박락이 발생한 구조물의 하부를 제외하고 구조물 상부의 건전성 여부를 판단하기 위하여 측정 대상을 상부로 선정하였다.

콘크리트 내부 철근의 부식 확률측정은 자연전위 측정 장치인 영국 CMH Elect社의 Digital Half-Cell을 사용하였다.

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에서는 측정된 전위값을 토대로 표 3.7과 같이 철근의 부식 정도를 평가하고 있다.

표 3.7 철근의 부식도 평가기준

평가 등급	평가기준		부식 환경조건
	자연전위(mV)	철근의 부식상태	
A	$E > 0$	녹이 발생하지 않았거나 약간의 점 녹이 발생한 상태	건조환경
B	$-200 < E < 0$	점 녹이 광범위하게 발생한 상태	습윤환경
C	$-350 < E < -200$	면 녹이 발생하였고 부분적으로 들뜬 녹이 발생한 상태	부식성 환경
D	$-500 < E < -350$	들뜬 녹이 광범위하게 발생하였거나, 20% 이하의 단면결손이 발생한 상태	고부식성 환경
E	$E < -500$	두꺼운 층상의 녹이 발생하였거나, 20% 이상의 단면결손이 발생한 상태	

### 3.2.5 염화물함량 시험

일반적으로 철근콘크리트구조물의 염화물 함유량 분석은 주철근 깊이까지 깊이별(10mm 또는 20mm)로 단계를 구분하여 염화물 분포를 파악한다.

본 연구에서는 염화물함량 시험에 가장 많이 이용되는 전위차 적정법에 의하여 콘크리트내 염화물 함량을 분석하였다. 경화된 콘크리트에서 분말 형태의 시료를 채취하고, RCT-500 Kit를 이용하여 염화물함량을 측정하였다.

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에서 규정하는 콘크리트내 염화물 함유량에 따른 상태평가 기준은 표 3.8과 같다.

표 3.8 염화물 함유량에 따른 상태평가 기준

등급	철근위치의 전염화물
A	염화물 < $0.3 \text{ kgf/m}^3$
B	$0.3 \text{ kgf/m}^3 < \text{염화물} \leq 0.6 \text{ kgf/m}^3$
C	$0.6 \text{ kgf/m}^3 < \text{염화물} \leq 0.9 \text{ kgf/m}^3$
D	$0.9 \text{ kgf/m}^3 < \text{염화물} \leq 1.2 \text{ kgf/m}^3$
E	$1.2 \text{ kgf/m}^3 \leq \text{염화물}$

### 3.2.6 콘크리트중성화 시험

콘크리트의 중성화는 시멘트의 수화생성물이 이산화탄소와 반응하여 탄산화합물 및 그 외의 물질로 분해하는 현상이다. 중성화에 의한 콘크리트의 성능저하를 평가하기 위해서는 중성화 깊이를 측정하는 방법이 있으며, 페놀프탈레인법, 시차열중량 분석에 의한 방법, X선 회절에 의한 방법 및 전기화학적 방법 등이 있다.

본 연구에서 중성화시험은 German Instruments社의 Rainbow Indicator 용액으로 시험하였다. Rainbow Indicator 용액은 중성화의 여부뿐만 아니라 콘크리트의 심도별 pH 측정이 가능하다.

본 연구에서는 주요 구조부에서 시편을 채취할 대표적 장소로 철근이 없고 내력이 적은 곳을 선정하고, 시편을 채취하여 물로 깨끗이 세척한 후 1일 후에 측정하였다. 채취된 시편에 Rainbow Indicator 용액을 분사하고, 콘크리트 시편에서 착색 색상 및 중성화 깊이를 측정하였다.

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에서는 중성화 깊이별 콘크리트의 손상도를 표 3.9와 같이 평가하고 있다.

표 3.9 콘크리트중성화에 대한 상태평가 기준

평가등급	평가기준	상황
A	$X_c \leq 0.25D$	건전한 상태
B	$0.25D < X_c \leq 0.5D$	콘크리트중의 강재부식은 발생하지 않은 상태, 일반적인 정기점검으로도 충분한 단계
C	$0.5D < X_c \leq 0.75D$	강재부식이 시작되고 있는 상태, 수준에 따라서 정밀한 내구성 진단의 실시가 필요한 단계
D	$0.75D < X_c \leq D$	강재부식이 진행되고 있는 상태, 정밀진단 실시하여 구조물상태를 확실하게 파악할 필요가 있는 단계
E	$D < X_c$	강재가 부식된 상태, 즉시 정밀진단이 필요한 상태

$X_c$  : 콘크리트중성화 깊이, D: 측정된 철근의 피복두께

### 3.3 평가결과 및 고찰

#### 3.3.1 노후화현상 조사결과

본 연구 부두의 콘크리트 구조물에 대하여 노후화 현상을 조사한 결과 콘크리트의 박리, 박락, 층분리 및 충격 탈락 등의 노후화 현상이 심각하게 진행된 상태로 이를 사진 3.1, 3.2에 나타내었으며, 조사된 결과의 일부를 표 3.10에 나타내었다. 조사된 노후화 정도는 일반적인 육상구조물에 비하여 매우 심각하며, 이는 조수영역에 위치한 구조물에 비래염분 등에 의한 염화물 이온이 침투하여 철근을 부식시킴으로써 노후화를 가속화 시킨 것으로 사료된다.



사진 3.1 부두 하부 박리 및 박락



사진 3.2 부두 하부 철근부식

표 3.10 콘크리트노후화 조사결과

구 분	위 치	결 합 현 황	
		내 용	규 모
BERTH-1,2	하 부	박 리	6개소 t = 20mm
		층분리	4개소
		박 락	7개소 - 전반적
	동측면	박 리	7개소 t = 10mm
		박 락	6개소
	서측면	박 리	6개소 t = 20mm
		박 락	3개소
	남측면	박 리	6개소 t = 20mm
		박 락	3개소
	북측면	박 락	5개소
BERTH-3,4	하 부	층분리	6개소 - 전반적
		박 락	5개소 - 전반적
	동측면	박 리	3개소
		박 락	4개소
	서측면	박 락	5개소
	남측면	박 리	3개소
		박 락	4개소
BERTH-5,6	하 부	층분리	5개소 - 중앙부 전반적
		박 락	11개소 - 철근 탈락
	동측면	백 화	5개소
		박 리	3개소
		박 락	5개소
	서측면	박 리	6개소
	남측면	박 리	3개소
	BERTH-7,8	하부	층분리
박 리			6개소 t = 20mm
박 락			4개소 - 전반적
동측면		박 리	6개소
		박 락	6개소 - 파일주위철근노출
남측면		층분리	4개소
		박 락	6개소

### 3.3.2 균열 조사결과

콘크리트구조물에 대하여 실시한 균열 조사결과를 표 3.11에 나타내었다. 발생된 모든 균열은 폭 0.7mm이상의 대형 균열이며, 발생원인은 부재의 내력에 의한 균열이 아닌 염화물이온의 침투에 의한 철근 부식부위의 부피팽창과 증축 및 개축과정에서 신·구 콘크리트의 이어치기 불량에 의한 것으로 판단된다. 균열발생현황을 사진 3.3, 3.4에 나타내었다.

표 3.11 균열 조사결과

구 분	조사결과
BERTH-1	대형균열 : 9개소 - 10.8 m
BERTH-2	대형균열 : 5개소 - 13.8 m
BERTH-3	대형균열 : 5개소 - 16.6 m
BERTH-4	대형균열 : 6개소 - 16.9 m
BERTH-5	대형균열 : 8개소 - 12.1 m
BERTH-6	대형균열 : 4개소 - 19.6 m
BERTH-7	대형균열 : 5개소 - 15.9 m
BERTH-8	대형균열 : 6개소 - 16.8 m



사진 3.3 균열부위 표시



사진 3.4 균열 발생 현황

### 3.3.3 콘크리트압축강도 측정결과

비파괴 시험방법에 의한 콘크리트압축강도 측정은 사진 3.5와 같이 현장에서 실시하였으며, Berth-2에 대한 압축강도 측정결과를 표 3.12에 나타내었다.

콘크리트강도 측정결과 반발경도는 34.45~38.60으로 측정되었으며, 이를 환산한 추정강도는 166.23~200.21 kgf/cm<sup>2</sup>로 산정되어 부재별 강도의 편차가 큰 것으로 측정되었다.



사진 3.5 콘크리트강도 측정 현황



표 3.12 콘크리트압축강도 측정결과

(강도단위 : kgf/cm<sup>2</sup>)

측정위치	반발경도					평균값	재령계수	압축강도
#1	34	35	35	35	36	35.25	0.63	172.78
	35	35	34	35	35			
	35	34	35	36	36			
	35	36	36	36	37			
#2	35	36	35	36	36	35.60	0.63	175.64
	36	36	35	36	37			
	36	35	36	35	36			
	35	35	35	35	36			
#3	39	37	37	37	38	38.60	0.63	200.21
	41	38	38	38	39			
	39	38	38	38	41			
	40	38	39	39	40			
#4	35	35	36	36	35	36.10	0.63	179.74
	36	36	36	37	35			
	37	37	37	36	36			
	36	36	37	37	36			
#5	37	37	38	35	35	36.60	0.63	183.83
	37	36	36	37	37			
	37	37	35	38	37			
	37	36	37	37	36			
#6	38	36	35	36	37	36.90	0.63	186.29
	37	37	36	37	38			
	38	37	38	38	37			
	36	38	37	36	36			
#7	36	36	37	37	37	36.85	0.63	185.88
	35	37	38	36	38			
	36	35	38	37	37			
	37	38	37	38	37			
#8	37	37	37	37	37	36.90	0.63	186.29
	37	36	36	38	36			
	38	37	36	37	36			
	37	37	38	37	37			

표 3.12 계속

측정위치	반발경도					평균값	재령계수	압축강도
#9	36	35	36	35	35	35.10	0.63	171.55
	35	35	35	34	36			
	35	35	35	34	35			
	36	35	35	35	35			
#10	36	36	35	38	37	36.30	0.63	181.38
	35	35	36	37	36			
	36	35	36	37	37			
	37	37	35	38	37			
#11	38	38	39	38	36	38.30	0.63	197.76
	38	39	39	39	38			
	37	39	40	38	38			
	39	40	39	37	37			
#12	37	37	36	37	36	36.30	0.63	181.38
	38	36	35	38	37			
	36	36	35	36	37			
	37	37	34	36	35			
#13	36	38	35	36	34	35.70	0.63	176.46
	35	37	36	35	35			
	37	36	37	35	35			
	37	37	35	34	34			
#14	36	35	35	36	38	36.15	0.63	180.15
	35	36	37	35	37			
	35	35	36	38	36			
	37	37	36	35	38			
#15	36	35	36	35	36	35.90	0.63	178.10
	37	36	35	36	37			
	36	35	35	36	36			
	35	35	37	37	37			
#16	36	36	37	39	36	37.20	0.63	188.75
	39	37	38	37	36			
	39	38	36	36	39			
	37	38	37	36	37			

표 3.12 계속

측정위치	반발경도					평균값	재령계수	압축강도
#17	36	35	36	34	36	36.50	0.63	183.02
	37	36	38	36	38			
	38	39	38	37	38			
	36	37	35	35	35			
#18	36	35	34	35	37	35.85	0.63	177.69
	37	34	37	36	35			
	35	37	35	34	36			
	37	35	36	38	38			
#19	35	33	33	36	35	34.80	0.63	169.09
	36	34	35	35	37			
	36	34	34	35	36			
	34	36	33	35	34			
#20	35	36	35	36	36	35.50	0.63	174.83
	36	35	35	35	35			
	35	35	37	35	35			
	34	37	36	36	36			
#21	37	35	37	36	37	36.05	0.63	179.33
	35	36	36	35	35			
	36	36	36	36	37			
	35	37	35	37	37			
#22	35	35	36	36	36	35.15	0.63	171.96
	34	34	35	34	35			
	34	36	35	35	36			
	35	36	36	35	35			
#23	36	36	35	36	35	34.45	0.63	166.23
	36	35	34	37	37			
	35	35	36	37	37			
	36	36	37	36	36			
#24	36	35	35	36	35	34.75	0.63	168.68
	35	34	34	35	36			
	35	33	35	33	35			
	36	34	35	34	34			

### 3.3.4 철근부식도 측정결과

자연전위 측정에 따른 콘크리트내부 철근의 부식 확률 측정 결과, 전반적인 철근의 상태는 부식 및 단면결손도 일부 있는 것으로 나타나 보강이 필요한 것으로 판단되며, 자연전위 측정자료 중 일부를 표 3.13에 나타내었다.

표 3.13 전위차 측정결과

(단위 : mV)

	-60cm	-45cm	-30cm	-15cm	0cm	+15cm	+30cm	+45cm	+60cm
+60cm	-144	-112	-121	-145	-128	-212	-243	-157	-181
+45cm	-124	-101	-108	-100	-152	-166	-223	-177	-209
+30cm	-134	-118	-125	-159	-144	-213	-149	-181	-164
+15cm	-109	-150	-145	-128	-141	-177	-185	-245	-252
0cm	-124	-133	-120	-173	●	-165	-173	-187	-188
-15cm	-188	-153	-174	-184	-176	-178	-197	-174	-226
-30cm	-91	-100	-118	-185	-202	-200	-181	-214	-217
-45cm	-66	-82	-92	-130	-156	-160	-156	-118	-148
-60cm	-68	-75	-88	-113	-154	-145	-138	-143	-165

### 3.3.5 염화물함량 시험결과

본 염화물함량 시험 결과를 표 3.14에 나타내었으며, 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 시료에 대한 염분함량 시험결과 콘크리트중의  $Cl^-$ 의 비율은 0.087~0.21% 나타나 경화된 콘크리트중의 염화물량은 2.0~4.83kgf/m<sup>3</sup>으로 측정되었다.

2) 이는 건축공사표준시방서상의 허용기준인 0.3kgf/m<sup>3</sup>을 초과하는 값으로서 염해 가능성 높은 손상도 E등급으로 나타났다.

표 3.14 염분함량 시험결과

(가) 교정치

Liquid	Clear	Purple	Green	Pink
% Cl <sup>-</sup>	0.005	0.020	0.050	0.500
시험 전(mV)	108.7	79.3	57.0	0.5
시험 후(mV)	104.4	80.5	56.6	1.4

(나) 결과치

구분	1	2	평균		염분함량 (kgf/m <sup>3</sup> )
	mV	mV	mV	% Cl <sup>-</sup>	
Berth-1	44.2	42.5	43.35	0.087	2.00
Berth-3	33.3	33.5	33.40	0.130	2.99
Berth-5	38.1	36.6	37.35	0.110	2.53
Berth-7	22.7	21.6	22.15	0.210	4.83

### 3.3.6 중성화 시험결과

본 연구에서 실시한 중성화시험의 결과를 표 3.15에 나타내었으며, 이를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 중성화 깊이는 85~140mm로 조사되었다.
- 2) 대상 콘크리트 피복두께는 100mm이며, 이를 초과한 중성화 깊이는 철근의 피복두께를 초과한 정도의 손상으로 손상도 E에 해당한다.

표 3.15 중성화 시험결과

(단위 : mm)

구분	Berth-1,2	Berth-3,4	Berth-5,6	Berth-7,8
시료 길이	100	125	150	95
중성화 깊이	85	100	140	95

## 3.4 종합평가 및 조치

### 3.4.1 정밀 조사결과

#### (1) 노후화현상조사

1) 콘크리트구조물에 대하여 실시한 노후화현상 조사결과 콘크리트의 박리, 박락, 층분리 및 충격 탈락 등의 노후화 현상이 조사되었다.

2) 발생 부위는 콘크리트구조물의 측면과 하부에 주로 발생하였으며, 상부의 노후화 현상은 미약하였다.

3) 노후화 중 박리의 주요 원인은 시공 당시의 시공 품질저하 및 해수의 영향에 의한 것으로 추정된다.

4) 노후화 중 박락과 층분리의 주요 원인은 철근의 부식팽창에 의한 것으로, 철근의 부식은 염화물이온의 침투, 확산과 해수에 의한 콘크리트의 피복 능력 상실에 기인하는 것으로 판단된다.

#### (2) 균열조사

1) 콘크리트구조물의 하부와 측면에서 1.0mm 이상의 대형 균열이 조사되었다.

2) 발생된 모든 균열은 대형 균열이나 부재의 내력에 의한 균열은 아니며, 철근의 부식에 의한 부피 팽창 및 신규 콘크리트이음부 시공 불량에 주요 원인으로 판단된다.

#### (3) 콘크리트강도 측정

비파괴 시험방법에 의한 콘크리트압축강도 측정결과 추정강도는 166.23~200.21kgf/cm<sup>2</sup>로 산정되어 부재별 강도의 편차가 있는 것으로 측정되었다.

#### (4) 철근부식도 측정

구조물의 상부에 대하여 자연전위 측정에 따른 콘크리트내부 철근의 부식 확률 측정 결과, 자연전위가 -352~-66mV로 나타나 들뜬 녹이 광범위하게 발생한

상태로 판단된다.

(5) 콘크리트중성화 시험

1) 중성화 깊이는 85~140mm로 조사되었다.

2) 대상 콘크리트 피복두께는 100mm이며, 이를 초과한 중성화 깊이는 철근의 피복두께를 초과한 정도의 손상으로 손상도 E에 해당한다.

(6) 염화물함량 시험

1) 염분함량 시험결과 콘크리트중의  $Cl^-$ 의 비율은 0.087~0.21% 나타나 경화된 콘크리트중의 염화물량은 2.0~4.83kgf/m<sup>3</sup>으로 측정되었다.

2) 이는 건축공사표준시방서상의 허용기준인 0.3kgf/m<sup>3</sup>을 초과하는 값으로서 염해 가능성 높은 손상도 E등급으로 나타났다.

### 3.4.2 구조물 상태평가

본 조사 대상인 ○○ 잔교식 부두에 대한 상태 평가는 3.3절에 나타난 평가방안을 기준으로 구조물에 대한 항목별 등급을 표 3.16과 같이 평가하였으며, 이상의 자료로부터 종합적인 상태 등급을 사용제한 여부의 판단이 필요한 D등급으로 판정하였다.

상태평가는 시설물 중요구조부에 대한 자료 및 육안검사에서 조사된 상태에 대한 평가를 포함하는 것으로 안전진단세부지침에서는 표 3.17과 같이 종합평가 등급별 시설물의 상태 및 조치사항을 명시하고 있다.

본 연구에서 진단 대상으로 한 ○○잔교식 부두는 시설물의 사용조건, 콘크리트구조물의 구조적 요구 성능 등을 고려 할 때 보강 및 사용제한 여부의 판단이 필요하다. 특히 콘크리트구조물의 하부는 염해에 의한 손상이 매우 크게 발생하여 그 구조적 성능을 기대하기 어려우므로 즉시 보강이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

표 3.16 본 연구 대상구조물 상태 등급

항 목	평가등급	평가기준(조사)	비고
표면노후화	E	철근 노출 박락 조사	사용제한, 교체보강
균열	E	1.0mm 초과	사용제한, 교체보강
콘크리트 강도	D	강도비 70% 정도	166kgf/cm <sup>2</sup> 가정 전체적 하부대단면 보강
철근부식도	D	-350 mV ≤ E	부식 및 단면결손 발생
중성화	E	D = 100mm, Ct = 140mm	사용제한, 교체보강
염분함량	E	1.2 kgf/m <sup>3</sup> 초과	사용제한, 교체보강
종합판정	D		보강 및 사용제한 여부의 판단

본 연구에서는 염해에 의해 손상된 대상구조물의 보강을 위하여 철근콘크리트 구조물의 보강공법을 고찰하고, 철근콘크리트부두에 적용 가능한 공법들을 대상으로 실험시공을 실시하여 적용성을 평가한다. 또한 대상구조물의 구조적 특성 및 작업환경에 가장 적합한 보강재료 및 시공법을 제시한다.

표 3.17 종합평가 등급별 시설물의 상태 및 안전성

종합평가등급	시설물의 상태 및 안전성
A	문제점이 없는 최상의 상태
B	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C	전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 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



### 3.4.3 내구성 증진을 위한 조치사항

본 연구 대상구조물은 염해에 의한 손상이 심각한 철근콘크리트부두로서 내구성 평가를 위한 안전진단의 결과로 콘크리트의 노후화와 철근부식에 대한 보강대책이 요구된다.

본 연구 대상구조물은 염해에 의한 손상이 심각하여 염해손상부위의 제거 및 염해의 침투를 방지할 수 있는 보강대책이 필요하며, 손상원인별 보강대책에 근거하여 대상구조물의 보강공법으로 손상부를 완전히 제거한 후 염화물이온의 침투를 막도록 처리하는 단면보강공법이 적합할 것으로 판단된다.

대상구조물은 향후 설비확장 등 사용하중의 증가로 기존 설계하중보다 30%정도의 매우 큰 하중이 증가할 것으로 예상되어 이에 저항할 수 있도록 단면이 보강되어야 한다. 대상구조물이 해양환경에 설치된 점을 감안할 때 강관접착공법은 염해에 의한 부식의 위험이 크고, 기존 구조물과 일체된 거동이 어렵다고 판단되며, Free Straining공법은 해상에서 긴 장력을 도입하기가 쉽지 않다. 또한 콘크리트단면을 증가시키는 경우에는 큰 하중에 저항하기 위하여 단면이 크게 증가하며, 이로 인한 고정하중의 증가로 구조물에 불리한 영향을 미칠 것으로 예상된다.

이렇듯 추가로 재하되는 하중이 매우 큰 경우 대상구조물의 내구성 증진을 위한 보강공법으로 1개의 특정 공법을 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 콘크리트 단면을 증가시키는 단면증설공법과 보강된 구조물의 구조적 기능을 강화하기 위한 유리섬유보강공법을 병행함으로써 대상구조물의 내구력을 크게 증가시키는 방법이 가장 적합하다. 이러한 경우 신·구 콘크리트의 부착력이 시공방법을 결정하는 가장 큰 요소가 되며, 부착력의 확보를 위하여 기존의 시공법을 보완 또는 개선하거나 필요한 경우 새로운 재료와 시공법의 개발이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

이상에서 나타낸 상태평가 등급, 향후 설비확장, 작업환경, 역학적 특성 등을 고려하여 본 연구 대상구조물의 내구성 회복을 위한 보강공법으로 단면복원공법을 제안하였으며, 설계하중 증가에 따른 내구성 증진을 위한 보강공법으로 단면증설공법과 유리섬유보강공법을 제안하였다.

## 제4장 하부대 단면 보강공법

손상된 철근콘크리트구조물에 대한 보강공법은 이용되는 보강재료와 적용공법의 내하력, 내구성, 기능, 미관 등을 검토하여 구조물의 중요도에 맞도록 결정한다. 이 때 중요한 것은 구조물의 손상과 열화의 발생 원인에 대한 정확한 추정이며, 구조물 조사와 진단시험에 의해 제시된 자료를 바탕으로 적절한 보강재료 및 공법을 선택할 수 있다.

보강에 이용되는 재료는 보강목적의 만족은 물론 보강부위에 따른 사용조건, 환경조건 및 시공조건 등을 고려하여 선정할 필요가 있다. 특히 시공조건에 따라 사용할 재료의 종류는 다양해지기 때문에 사용조건에 알맞은 재료 및 공법의 선정이 중요하다.

예를 들어 본 연구 대상구조물과 같이 보강부위가 상방향이며 그 범위가 비교적 깊고 넓을 경우의 단면증설을 위한 시공방법으로는 스프레이공법이 적절하다. 사용재료는 보통포틀랜드시멘트가 시공성이나 경제성에서 유리하다고 볼 수 있으나 제거된 콘크리트표면과의 부착성이나 복구부위의 표면에 대한 내마모성 등의 요구 성능을 만족하지 못한다. 이러한 점을 개선하기 위해서는 폴리머시멘트모르터와 같은 부착성 및 내마모성이 우수한 재료를 사용할 필요성이 있다. 이와 같이 보강재료는 여러 가지 조건을 고려하여 최적의 재료를 선정하는 것이 중요하다.

해상이나 하천 및 극지대와 같이 열악한 자연환경에 노출된 구조물의 보강공법의 선정에 있어서는 사용환경 및 작업환경에 따른 공법의 적용가능성이 중요한 선정요인 중 하나가 된다. 본 연구 대상구조물과 같이 해상에 위치한 구조물은 조수간만의 차이, 기후조건, 환경조건 등 많은 부분에서 공법적용 및 시공에 제약을 받고 있어 기존의 철근콘크리트구조물의 보강공법을 그대로 적용하기에는 많은 문제점이 따르는 경우가 있다. 이러한 경우 제약조건에 맞추어 적용공법의 보완 또는 새로운 공법의 개발이 필요하다.

본 구조물은 3장에서 나타낸 바와 같이 장기간 염해에 노출되어 부두 하부 철

근의 부식, 콘크리트의 박리·박락 및 균열의 발생 등이 현저하게 진행되어 부재에 발생한 손상정도가 보강 및 사용제한 여부의 판단이 필요한 상태이다. 본 구조물의 현 상태가 하부 콘크리트의 단면보강을 위하여 제거한 손상 콘크리트의 깊이가 최고 200mm이상 달할 정도로 극심한 손상을 입은 상태이다. 또한 향후 설비 확장 등 사용하중의 증가로 기존 설계하중보다 30%정도의 하중이 증가할 것으로 예상되어 이에 저항할 수 있는 보강물의 신설이 필요하며, 이를 위한 구조해석 결과 손상된 기존 단면의 복원 후 300~500mm의 단면증설이 제시되었다. 사진 4.1(a)은 열화부위 제거 후의 부두 하부모습을 나타내며, 사진 4.1(b)은 제거된 열화부위의 깊이를 나타낸 것이다.



(a) 열화부위 제거



(b) 열화부위 제거 깊이

사진 4.1 열화부위를 제거한 부두 하부 전경

본 구조물은 길이 약 18m, 폭 1.2m인 Berth가 총 22열 설치되어 있는 잔교식 부두로 구조물 상부에는 각종 제반시설들이 설치되어 있어 단면의 깊이를 증가시키기 위해서는 부두 하부를 증설하여야만 한다. 또한 조수간만의 차이, 기후조건, 환경오염 등 많은 부분에서 공법적용 및 시공에 제약을 받고 있어 기존의 보강공법을 적용하기에는 많은 문제점이 있다.

구조물의 단면을 증설하는 경우에는 기 설치된 콘크리트와 신설 콘크리트 사

이의 부착이 매우 중요하며, 이를 위해서 기 설치된 구조물에의 앵커링, 신·구 콘크리트의 이어치기 등이 특히 중요하다. 구조물의 상부를 증설하는 경우에는 중력에 의하여 부착이 이루어지므로 신·구 콘크리트간의 부착력이 뛰어나나 본 연구 대상구조물과 같이 하부를 증설하는 경우에는 중력이 부착을 방해하는 요인이 되므로 구조물의 안전상 요구되는 소정의 부착력을 기대하기 어렵다. 따라서 구조물 하부대단면을 증설하는 경우에는 신·구 콘크리트간의 부착력 확보가 공법선택의 가장 중요한 요소이다. 또한 대상구조물은 해상에 설치되어 있어 작업공간이 협소하고, 환경오염의 발생가능성이 있으므로 이러한 문제점을 해결할 수 있는 적절한 공법을 적용하여야 한다.

콘크리트구조물의 하부대단면 보강에 효과적인 보강공법은 여러 연구결과 및 시공사례에서 소개되었으나 본 연구 대상구조물과 같이 내구성을 증진시키기 위하여 기존의 단면복원 후 300~500mm의 단면을 추가로 증설하는 경우에 대한 연구 및 시공 자료가 없다. 따라서 기존 공법들에 대한 적용가능성을 평가해야 하며, 필요에 따라 기존 공법에 이용되는 재료와 시공기술의 보완 및 개선 또는 새로운 재료와 시공법의 개발이 필요하다.

콘크리트구조물의 단면증설에 주로 이용되는 시공방법은 거푸집을 설치하고 재료를 그라우트 하는 방법과 모르터를 분사하여 접착시키는 스프레이공법(통칭 Shortcrete) 등이 있다. 본 장에서는 철근콘크리트부두의 하부대단면 증설에 적용 가능한 그라우트 공법과 스프레이공법에 대하여 검토하고, 대상구조물의 단면증설에 가장 적합한 공법을 제안한다.

본 구조물의 손상을 회복하기 위한 보강공법으로 제안된 하부대단면 보강공법과 보강된 단면의 구조적 기능을 강화하기 위해 제안된 유리섬유 보강공법은 작업환경 등의 주변 여건에 관계없이 적용이 가능한 공법이므로, 본 장에서는 철근 콘크리트구조물의 하부대단면 증설을 위한 보강공법에 대하여 기술하였다.

## 4.1 무수축모르터 그라우팅공법

무수축모르터 그라우팅공법(Non-shrinkage Mortar Grouting Method)은 콘크리트구조물의 단면증설에 이용할 수 있는 가장 간단한 공법으로 증설하고자 하는 단면에 거푸집을 설치하고 그 안에 무수축모르터를 주입하여 콘크리트구체와 부착시킴으로써 소정의 두께만큼 단면을 증설하는 공법이다.

구조물의 하부대단면을 증설하는 경우에는 콘크리트구체와 보강 콘크리트간의 부착력이 매우 중요하며, 무수축모르터 그라우팅공법에 의한 신·구 콘크리트의 부착력을 측정하기 위하여 실구조물과 유사한 조건의 모형구조물을 제작하고 부착력실험을 실시하였다. 본 연구에서는 중력식 목재거푸집공법과 중력식 Steel Plate Jack-up공법에 대하여 실험을 실시하고, 대상구조물에 대한 적용성을 평가하였다.

### 4.1.1 중력식 목재거푸집공법

#### (1) Mock-up Test

본 구조물인 철근콘크리트부두의 하부대단면 증설에 대한 중력식 목재거푸집공법의 적용성을 평가하기 위하여 실구조물과 유사한 모형구조물을 제작하고 이를 대상으로 실험시공(Mock-up test)을 실시하였다. 본 공법의 적용성을 평가하기 위하여 실시한 실험시공의 공정을 간략히 기술하면 다음과 같다.

1) 실험을 위하여 폭 150cm, 높이 50cm, 길이 350cm의 철근콘크리트구조물을 2조 제작하고, 하부대단면 증설을 위하여 지상으로부터 1.2m 높이에 거치하였다. 모형구조물 제작에 사용된 재료는 일반적으로 건설구조물에 사용되는 콘크리트배합강도  $f_{ck}=440\text{kgf/cm}^2$ 의 모르터와 항복강도  $f_y=3000\text{kg/cm}^2$ 인 D25, D13 철근을 사용하였다.

2) 모형구조물의 하부대단면 증설을 위하여 콘크리트하부 표면을 10mm 정도 할석시키고, 근입 깊이 300mm의 천공작업을 실시하여 케미컬앵커를 근입한 후에폭시를 주입하여 고정시켰다.

3) 케미컬앵커를 근입한 후 단면보강용 철근을 조립하고, 콘크리트표면을 고압

수세정기( $100\sim 150\text{kgf/m}^2$ )를 사용하여 세정한 후 모르터 주입을 위하여 거푸집을 설치하였다. 거푸집은 모형구조물 하부로 300mm 증설할 수 있도록 제작하였으며, 모르터를 주입할 수 있도록 주입구를 설치하였다.

4) 거푸집 설치가 완료된 후 주입구에 무수축모르터를 주입하여 하부대단면을 증설하였다. 저온, 건조 및 급격한 온도변화 등에 따라 유해한 영향을 받지 않고 소정의 강도 발현을 할 수 있도록 습윤 양생을 실시하였으며, 보 하부 거푸집의 최소 존치기간인 7일이 지난 후에 거푸집을 철거하였다.

## (2) 실험결과 및 평가

중력식 목재 거푸집공법의 적용성을 평가하기 위한 모형실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시공방법이 비교적 간단하여 작업성이 용이하다.
- 2) 해양환경에 대한 오염가능성이 거의 없다.
- 3) 신·구 콘크리트부착면의 경계가 육안으로 뚜렷이 구분되며, 부착경계면에 비교적 많은 공극이 존재한다.
- 4) 부착력 실험을 위한 코어채취과정에서 부착경계면의 탈락이 발생하였다.

본 연구 대상구조물의 단면증설에 적용할 공법의 선정에 있어서 기존콘크리트와 보강재의 부착력, 해양환경을 고려한 작업성 및 환경오염 가능성 등이 가장 중요한 선정요인이다. 본 공법을 적용하여 구조물 하부대단면을 증설하는 경우 작업성과 환경오염 가능성의 문제는 경미하나 신·구 콘크리트간의 부착이 원활하지 않아 대상구조물의 단면증설을 위한 공법으로 적절하지 않다. 중력식 거푸집공법에 의해 구조물의 하부대단면을 증설하는 경우 콘크리트구체와의 접촉을 유도하기 위한 적절한 조치가 필요할 것으로 판단된다.

### 4.1.2 중력식 *Steel Plate Jack-up* 공법

중력식 목재거푸집공법은 중력이 신·구 콘크리트의 부착을 저해하는 요인으로 작용하여 소정의 부착강도를 발휘할 수 없다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 주입된 모르터를 들어올려 콘크리트구체와의 부착을 유도하는 *Steel Plate Jack-up* 공법이 제안되었다. 거푸집의 *Jack-up*은 해상에서 시공되므로 중량이 큰 장비를 사용할 수 없으며, 이를 감안하여 실험에서는 볼트를 체결하여 거푸집의 *Jack-up*을 실시하였다. 본 연구 대상구조물의 하부대단면 증설에 본 공법을 적용하기 위하여 실험시공(Mock-up Test)을 실시하고, 적용가능성을 검토하였다.

#### (1) Mock-up Test

철근콘크리트부두의 하부대단면 증설에 대한 본 공법의 적용성을 평가하기 위하여 대상구조물과 유사한 모형구조물을 제작하고, 실험시공(Mock-up Test)을 실시하였다. 실험시공의 공정을 간략히 기술하면 다음과 같다.

1) 실험을 위한 모형구조물을 제작하였다. 모형구조물은 폭 150cm, 높이 50cm, 길이 350cm의 제원을 갖는 철근콘크리트구조물로, 모형구조물은 배합강도  $f_{ck} = 440\text{kgf/cm}^2$ 의 모르터와 항복강도  $f_y = 3000\text{kg/cm}^2$ 인 D25, D13 철근을 사용하여 제작하였다.

2) 제작된 모형구조물의 하부대단면에 모르터를 증설하기 위하여 지상으로부터 1.2m 높이에 거치하고, 콘크리트하부 표면을 10mm 정도 활석하였다.

3) 근입 깊이 300mm의 천공작업을 실시하여 케미컬앵커를 근입한 후 에폭시를 주입하여 고정시켰다.

4) 설치된 케미컬앵커와 조합하여 단면보강용 철근을 조립하고, 콘크리트표면을 고압수세정기로 세척하였다. 이상의 공정은 중력식 목재 거푸집공법과 동일하다.

5) 모형구조물 하부에 모르터를 증설하기 위하여 모르터 주입구가 설치된 철제 거푸집을 제작하였다. 거푸집은 구조물 하부로 300mm의 두께를 갖도록 제작하였

으며, 거푸집 하부에 10mm 두께의 스펀지와 지지대를 설치하여 거푸집 하부 판을 밀어 올릴 공간을 형성하였다. 사진 4.2는 설치된 철제 거푸집에 모르터를 주입하여 단면을 증설한 장면을 나타낸 것이다.

6) 제작된 거푸집의 주입구를 통해 모르터를 주입하고 지지대와 거푸집 하부 판을 볼트로 체결하여 거푸집 하부 판을 5mm 정도 Jack-up 하였다. 소정의 강도 발현을 위하여 습윤 양생을 실시하였으며, 보 하부 거푸집의 최소 존치기간인 7일이 지난 후에 거푸집을 철거하였다.



사진 4.2 중력식 Steel Plate Jack-up공법의 Mock-up Test 장면

## (2) 실험결과 및 평가

중력식 Steel Plate Jack-up공법을 잔교식 부두하부의 단면증설에 적용하기 위하여 실시한 실험시공의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 해양환경에 대한 오염가능성이 거의 없다.
- 2) 하부판 Jack-up을 위한 볼트체결 등 거푸집 제작 및 조립과정이 비교적 복잡하다.
- 3) 실구조물(18.8×2m)의 거푸집 하부 판을 볼트 체결에 의하여 Jack-up하는 것은 사실상 불가능하다.
- 4) 콘크리트구체와 보강 모르터와의 부착이 잘 이루어지지 않는다.



잔교식 부두 하부대단면 증설에 본 공법을 적용하기 위하여 부착력 및 작업성 등을 평가한 결과 해양환경오염의 가능성은 경미하나 거푸집 설치작업이 비교적 복잡하고, 실구조물의 하부판 Jack-up이 사실상 불가능하며, 콘크리트구체와 보강 모르터와의 부착이 원활하지 않아 대상구조물 하부의 단면증설을 위한 공법으로 적절치 않은 것으로 판단된다.

## 4.2 마운트그라우팅공법

본 연구 대상구조물인 잔교식 부두 하부대단면의 증설을 위하여 적용 가능한 공법으로 모르터 주입공법과 스프레이공법이 있다. 공법선정을 위한 실험결과 모르터 주입공법은 작업성과 환경오염 가능성의 문제는 경미하나 신·구 콘크리트간의 부착이 원활하지 않아 대상구조물의 단면증설을 위한 공법으로 적절하지 않은 것으로 나타났다.

본 연구에서는 시멘트건(cement gun)과 같이 압축공기에 의한 분사기를 사용하여 모르터를 분사함으로써 콘크리트모체에 접촉시키는 모르터 주입공법을 대상 공법으로 선정하고, 실험시공(Mock-up Test)를 실시하여 잔교식 부두 하부대단면 증설에 대한 적용성을 평가하였다.

모르터 주입공법을 이용하여 잔교식 부두 하부대단면 증설에 적용 가능한 시공방법으로는 거푸집을 설치하고 거푸집 패널 중앙바닥에 모르터를 분사하여 마운트(mount)를 형성함으로써 콘크리트구체와 접착을 유도하는 마운트그라우팅공법(Mount Grouting Method)과 모르터를 자중에 의해 탈락되지 않을 정도의 두께만큼 고속, 고압으로 콘크리트표면에 분사하는 과정을 반복함으로써 단면을 증설하는 모르터 주입공법이 있다. 본 절에서는 거푸집 패널 중앙바닥에 모르터를 분사하여 마운트(mount)를 형성하여 단면을 증가시키는 마운트그라우팅공법에 대하여 기술하였다.

#### 4.2.1 무수축모르터 마운트그라우팅공법

본 공법은 무수축모르터(Non-shrinkage Mortar)를 거푸집 하부패널 중앙에 분사하여 마운트(mount)를 형성하고, 마운트가 콘크리트천장에 도달하여 밀착되면 마운트 직각방향에 모르터를 주입하여 단면을 증가시키는 공법이다.

무수축모르터 마운트그라우팅공법의 적용성을 평가하기 위하여 대상구조물과 유사한 모형구조물을 제작하고, 모형구조물의 하부대단면 증설에 대한 실험시공을 실시하였다.

##### (1) Mock-up Test

무수축모르터 마운트그라우팅공법의 적용성을 평가하기 위한 실험시공(Mock-up Test)의 공정을 간략히 기술하면 다음과 같다.

1) 먼저 실험시공을 위하여 폭 150cm, 높이 50cm, 길이 350cm의 제원을 갖는 철근콘크리트 모형구조물을 제작하였다. 제작된 모형구조물은 배합강도  $f_{ck} = 440$  kgf/cm<sup>2</sup>의 모르터와 항복강도  $f_y = 3000$ kg/cm<sup>2</sup>인 D25, D13 철근을 사용하였다.

2) 제작된 모형구조물의 하부대단면에 모르터를 증설하기 위하여 지상으로부터 1.2m 높이에 거치하고, 콘크리트하부 표면을 10mm 정도 할석하였다.

3) 근입깊이 300mm의 천공작업을 실시하여 케미컬앵커를 근입한 후 에폭시를 주입하여 고정시켰다.

4) 설치된 케미컬앵커와 조합하여 단면보강용 철근을 조립하고, 콘크리트표면을 고압수세정기로 세척하였다. 이상의 공정은 모르터 주입공법과 동일하다.

5) 모형구조물 하부에 모르터를 증설하기 위하여 양단에 노즐 주입구가 설치된 높이 30cm의 거푸집을 제작하였다. 거푸집의 고정에는 특수 제작된 앵글제품을 이용하여 앵커와 조합하여 고정하였으며, 앵글과 거푸집 연결부는 고정식이 아닌 볼트를 이용한 이동식으로 제작하며, 간격은 일반적으로 1~3mm를 유지한다.

6) 배합된 모르터를 대상 면 양쪽에서 거푸집 하부패널 중앙바닥에 주입하여 모르터를 쌓아올림으로써 마운트를 형성시킨다.

7) 마운트가 콘크리트구체의 하부표면에 도달하여 밀착되면, 모르터를 마운트의 직각방향에 주입하여 단면을 증가시킨다. 이때 뿔어 붙인 모르터가 흘러내리지 않도록 적당한 두께로 분사하여 거푸집을 가득 채울 때까지 반복 시행하였다.

8) 부착강도를 측정하기 위하여 시험체 완성 7일 후 거푸집을 제거하고,  $\Phi 10 \times 10\text{cm}$ 의 공시체를 총 3조 제작하여 직접인장시험에 의해 부착강도를 측정하였다. 그림 4.1은 무수축모르터 마운트그라우팅공법의 모형을 나타낸 것이다.

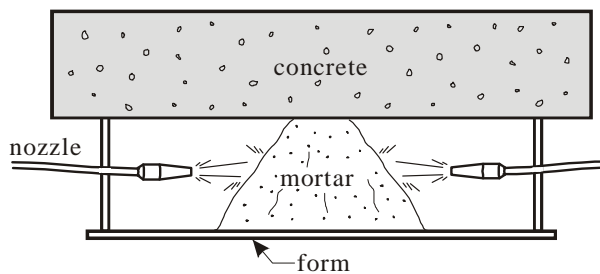


그림 4.1 무수축모르터 마운트그라우팅공법

## (2) 실험결과 및 평가

무수축모르터 마운트그라우팅공법을 잔교식 부두하부의 단면증설에 적용하기 위하여 실시한 실험시공의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 해양환경에 대한 오염가능성이 거의 없다.

2) 스프레이장비, 운송장비 및 공기공급장비 등의 장비를 이용해야 하므로 모르터 주입공법에 비하여 시공방법이 다소 복잡하다.

3) 형성된 마운트에 직각방향으로 모르터를 주입할 때에 접촉된 모르터가 흘러내리는 것을 방지하기 위해서는 1회 시공시 50mm 이하로 타설해야 하며, 최소 4시간이 지난 후에 다음 50mm를 타설한다.

4) 시험체로부터 코어를 채취하여 직접인장 부착강도시험(KS F 4716)을 실시한 결과 부착강도는 평균  $8.8\text{kgf/cm}^2$ 으로 나타나 본 연구 대상구조물에 요구되는 부착강도  $19\text{kgf/cm}^2$ 에 미치지 못하였다.

5) 직접인장에 의한 부착강도 시험결과 콘크리트구체와 보강 모르터의 경계면에서 파괴가 발생하였다.

6) 단면보강용 철근사이에 모르터가 골고루 채워지지 않아 보강단면 내부에 공극이 발생하였다.

잔교식 부두 하부대단면 증설에 본 공법을 적용하기 위하여 부착력 및 작업성 등을 평가한 결과 콘크리트구체와 보강 모르터와의 부착이 모르터 주입공법에 비하여 양호하였으나 본 연구 대상구조물에 요구되는 수준의 부착강도가 발현되지 않아 대상구조물 하부의 단면증설을 위한 공법으로 적절치 않다. 본 공법을 잔교식 부두 하부대단면 증설에 적용하기 위해서는 신·구 콘크리트경계면의 부착을 향상시킬 수 있는 적절한 조치가 있어야 할 것으로 판단된다.

#### 4.2.2 무수축모르터 마운트그라우팅 *Jack-up*공법

본 공법은 무수축모르터 마운트그라우팅공법에 의해 타설된 콘크리트를 들어 올려 콘크리트구체와의 접착을 유도함으로써 신·구 콘크리트의 부착력을 향상시키기 위하여 제시된 공법이다. 작업환경이 해상인 점을 감안하여 거푸집 하부판에 볼트를 체결하여 Jack-up할 수 있도록 제작하였다. 본 연구 대상구조물의 하부대 단면 증설에 본 공법을 적용하기 위하여 실험시공(Mock-up Test)을 실시하고, 적용 가능성을 검토하였다.

##### (1) Mock-up Test

무수축모르터 마운트그라우팅 Jack-up공법(Non-shrinkage Mortar Mount Grouting Jack-up Method)은 마운트를 형성하여 대상구조물의 단면을 증설하고, 거푸집 하부판과 지지대를 볼트로 체결하여 거푸집 하부 판을 Jack-up함으로써 콘크리트구체와 보강 모르터의 접착을 향상시키는 공법이다. 또한 모르터 타설 후 진동다짐을 실시하여 단면보강용 철근 사이에 발생하는 공극을 최소화한다. 본 공

법의 적용성을 평가하기 위한 실험시공의 공정을 요약하면 다음과 같다.

1) 실험시공을 위한 모형구조물의 제작, 콘크리트구체의 표면처리, 케미컬앵커 근입 및 단면보강용 철근조립 등의 공정은 무수축모르터 마운트그라우팅공법과 동일하다.

2) 모형구조물 하부에 모르터를 증설하기 위하여 양단에 노즐 주입구가 설치된 높이 300mm의 거푸집을 제작하였으며, 거푸집 하부에 10mm 두께의 스펀지와 지지대를 설치하여 거푸집 하부 판을 밀어 올릴 공간을 형성하였다.

3) 배합된 모르터를 대상 면 양쪽에서 거푸집 하부패널 중앙바닥에 분사하여 모르터를 쌓아올림으로써 마운트를 형성시키고, 마운트가 콘크리트구체의 하부표면에 도달하여 밀착되면, 모르터를 마운트의 직각방향에 주입하여 단면을 증가시킨다.

4) 단면보강용 철근 사이에 발생하는 공극을 최소화하기 위하여 모르터 타설 완료 후 진동다짐을 실시하였다.

5) 진동다짐 후 일정시간(약 30분)후에 거푸집 하부판과 지지대를 볼트로 체결하여 거푸집 하부 판을 5mm 정도 Jack-up 하였다.

6) 부착강도측정을 위하여 시험체 완성 7일후에 거푸집을 제거하고,  $\phi 100 \times 100$  mm의 공시체를 총 3조 제작하여 직접인장시험에 의해 부착강도를 측정하였다.

그림 4.2는 무수축모르터 마운트그라우팅 Jack-up공법에 의한 실험시공의 모형을 나타낸 것이다.

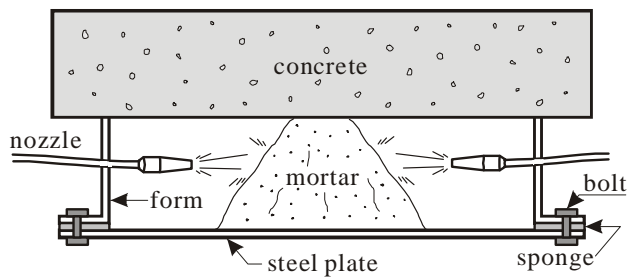


그림 4.2 무수축모르터 마운트그라우팅 Jack-up공법

## (2) 실험결과 및 평가

무수축모르터 마운트그라우팅 Jack-up공법을 잔교식 부두하부의 단면증설에 적용하기 위하여 실시한 실험시공의 결과는 다음과 같다.

1) 본 실험의 결과 중 부착강도를 제외한 결과는 무수축모르터 마운트그라우팅 공법의 결과와 같다.

2) 시험체로부터 코어를 채취하여 직접인장 부착강도시험(KS F 4716)을 실시한 결과 부착강도는 평균  $10.2\text{kgf/cm}^2$ 으로 나타나 본 연구 대상구조물에 요구되는 부착강도  $19\text{kgf/cm}^2$ 에 미치지 못하였다.

3) 직접인장에 의한 부착강도 시험결과 콘크리트구체와 보강 모르터의 경계면에서 파괴가 발생하였다.

4) 실구조물(18.8×2m)의 거푸집 하부 판을 볼트 체결에 의하여 Jack-up 하는 것은 사실상 불가능하다.

본 공법은 무수축모르터 마운트그라우팅공법의 문제점인 낮은 신·구 콘크리트 간의 부착력을 향상시키기 위하여 타설된 콘크리트를 들어 올려 콘크리트구체와의 접착을 유도하는 공법이다. 본 공법에 의해 제작된 시험체는 이전의 실험시공에 의한 시험체보다 부착력이 양호하였으나 본 연구 대상구조물에 요구되는 수준의 부착강도가 발현되지 않아 대상구조물 하부대단면 증설을 위한 공법으로 적절치 않았다.

잔교식 부두 하부대단면 증설에 스프레이공법을 적용하기 위해서는 콘크리트 표면에 모르터를 고속, 고압으로 분사하여 접착을 유도하는 습식 Jet스프레이공법이 유리할 것으로 판단되며, 이 경우 원활한 접착 및 소정의 강도발현을 위한 재료의 재구성과 재구성된 재료에 맞는 적절한 시공방법이 제시되어야 할 것으로 사료된다.

### 4.3 Micro-silica 건식 Jet스프레이공법

압축공기를 이용하여 고속, 고압으로 모르터를 분사함으로써 콘크리트구체와의 접착을 유도하는 건식 Jet스프레이공법은 건조시킨 모래와 시멘트를 섞은 것을 펌프로 압송하여 노즐 끝에서 물과 함께 분사하는 건식방법과, 이미 물과 혼합하여 모르터로 만든 것을 분사하는 습식방법이 있다. 건식 Jet스프레이공법은 수밀성과 강도가 뛰어난 모르터를 얻을 수 있어 구조물의 표면 마무리, 터널의 라이닝, 사면암 보호 등에 많이 사용된다.

일반적으로 건식 Jet스프레이공법에 의한 단면복구는 손상된 단면의 복원에 국한되어 있으며, 본 연구 대상구조물과 같이 300~500mm 이상의 단면을 증설하는 경우에는 재료의 특성 및 시공조건 등에 의하여 재료분리 및 탈락이 발생하므로 기존의 재료 및 공법을 그대로 적용할 수 없다. 따라서 건식 Jet스프레이공법을 이용하여 큰 단면을 증설하는 경우에는 대상구조물의 특성, 작업환경 및 요구되는 내구성질 등에 맞는 재료의 개발이 필요하며, 개발된 재료에 적절한 시공방법 등이 제시되어야 한다.

Micro-silica 건식 Jet스프레이공법은 특수첨가물에 의하여 재료적 성능을 향상시킨 모르터를 기계적 방법에 의하여 고속, 고압으로 뿜어 붙임으로써 구조물의 단면을 보강하여 내구성을 증진시키는 방법이다. Micro-silica 또는 Silica Fume과 Polymer 분산제 등을 혼합 조제하여 기존의 시멘트모르터의 성질을 개선한 모르터를 열화 손상된 철근콘크리트구조물의 표면에 분사하여 도포함으로써 구조물의 단면을 복원하여 내구성을 증진시킨다. 본 공법에 의해 제작된 콘크리트는 일반 모르터를 이용하여 제작된 콘크리트에 비해 압축강도, 휨강도 및 부착강도가 매우 크다.

본 공법은 부착되는 모르터가 자중에 의하여 모체와 탈락되지 않을 정도의 두께로 타설하고, 완전한 부착 후 이를 반복 수행함으로써 소정의 단면 깊이를 확보할 수 있다. 따라서 본 연구 대상구조물과 같이 하부대단면을 증설하는 경우나 벽체의 보강에 적합한지 검토하여야 할 공법으로 판단된다.

### 4.3.1 공법의 특징

#### (1) 재료적 특징

본 공법에 사용되는 Micro-Silica는 SiO<sub>2</sub>함량이 높고, 연기 정도(20m<sup>2</sup>/g)의 미세분말도를 가진 포졸란재로 시멘트 수화작용 중 수산화칼슘과 반응을 일으켜 시멘트와 결합하여 경화를 돕는다. 폴리머 첨가제와 더불어 모르터의 부착시 유동성을 향상시키며, 경화 후에는 치밀한 표면을 형성하여 내화학적, 내물리적 저항성을 향상시킨다. 또한 이 공법에 이용되는 모르터는 공장에서 배합, 포장하여 공급되므로 작업이 용이하고, 품질이 우수하며, 기계화작업으로 시공되므로 보장된 구조물의 성능에 대한 균등성을 확보 할 수 있다.

본 공법에 이용되는 재료의 특징을 간략히 기술하면 다음과 같다.

- 1) 1성분형 모르터로서 작업이 간편하고, 조기강도를 발현할 수 있다.
- 2) 모체 콘크리트의 중성화 방지에 큰 효과를 발휘한다.
- 3) 뛰어난 모체 접착력을 가지며, 시공 후 미장 작업이 가능하다.
- 4) 하부구조의 경우 1회에 최대 50mm까지 시공이 가능하며, 벽체의 경우 100~200mm까지 시공이 가능하다.
- 5) 낮은 물-시멘트비로 수밀성 및 방수성이 뛰어나다.
- 6) 상온에서 극소의 수축률을 보이지만 직사광선이나 바람에 의하여 증발이 심한 경우에는 수축에 의한 균열발생의 문제가 발생하므로 시공 면을 습윤하게 유지 하여 급속한 응결을 방지해야 한다.

#### (2) 기술적 특징

본 공법은 기계화된 보강작업으로 공극률과 투수성이 매우 낮은 보강이 가능하다. 모르터가 큰 충격력에 의해 부착되는 원리로 시공되기 때문에 표면에 더욱 유효하게 도포할 수 있으며 수밀성이 높아 부착력을 향상시킬 수 있다.

건식 Jet스프레이공법은 전반적인 구조보강 작업에 적합하며, 소음, 비산 분진 등의 환경적인 문제나 표면외관이 크게 중요하지 않은 보강 작업에 적합하다. 이 공법의 특징을 간략히 기술하면 다음과 같다.



- 1) 건식 Jet스프레이공법이므로 재료의 장거리 이송이 가능하며, 장비 투입이 어려운 현장에서의 시공이 가능하다.
- 2) 재료가 노즐부분에서 물 펌프를 통해 공급되는 물과 혼합되므로 물과의 선 혼합이 필요하지 않다.
- 3) 표면의 그라우팅이 필요하지 않다.
- 4) 습식 스프레이에 비해 장비의 막힘이 적어 장비수명이 길고, 장비 관리비가 저렴하다.
- 5) 작업 중단 및 재개가 용이하여 작업 순서를 임의로 선정할 수 있다.
- 6) 습식 Jet스프레이공법에 비해 분진 발생량이 많고, 상대적으로 많은 리바운드 손실이 있다.

### 4.3.2 시공순서

본 공법은 Micro-silica를 이용한 모르터를 열화구조물의 표면에 분사하여 도포함으로써 구조물의 단면을 복원하는 보강작업이다. 구조물의 국부적인 손상을 제거하는 부분적 보강, 탈락부 수선, 노출철근 방청, 외력에 의한 손상부의 보강, 철관 섬유관의 접착 등의 보강공법과는 달리 구조면 전반에 걸쳐 기계적인 방법에 의해 모르터를 고속, 고압으로 분사하여 구조물을 보강한다.

본 공법은 공장에서 배합된 재료를 기계를 이용하여 고속 분사함으로써 단면을 복원하므로 그 공정이 매우 간단하다. 그림 4.3은 본 공법의 시공순서를 나타낸 것이다.

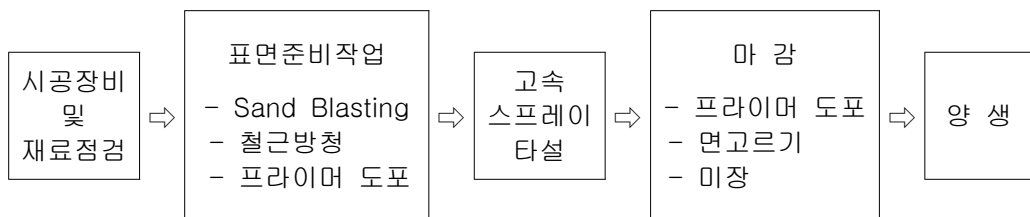


그림 4.3 Micro-silica 건식 Jet스프레이공법의 시공순서

### (1) 표면준비 작업

본 공법의 적용을 위해서는 먼저 모르터와 기존 콘크리트면의 접착성을 증대시키고 탈락요인을 제거하기 위하여 구조물의 전체표면에 Sand Blasting을 실시한다. 이후 철근의 노출 또는 시공 불량에 의한 Cold Joint, Sand Pocket, Junker 부 등의 손상부위가 노출되면 방청제 도포, 신·구 콘크리트의 접착성 개선을 위하여 Primer도포, 표면 고르기 충전, 접착 등의 보조공정을 통한 표면 전체의 고르기 작업을 필요에 따라 병행한다.

### (2) 건식 Jet 스프레이 타설

이 공정은 본 공법의 핵심공정으로 모르터를 건식 스프레이 장비를 이용하여 노즐에서 수량을 조절하며 고속, 고압으로 분사한다. 이 작업은 여러 단계의 공정을 거쳐 단면을 복원하는 보강공법과 달리 건식 Jet 스프레이를 이용한 단순공정으로 단면을 복원하므로 시공성이 매우 우수하고, 공사기간을 단축할 수 있다.

모르터는 공장에서 배합 후 포장되어 공급되므로 작업 및 품질관리가 용이하며, 재료가 균질하므로 부착 모르터 품질의 균일성을 기대할 수 있다. 또한 폴리머 분산제와 마이크로실리카의 첨가로 인하여 일반 시멘트모르터에 비하여 압축강도 및 부착강도가 우수하고, 작업성이 뛰어나다.

### (3) 마감

본 공법에 의하여 스프레이 된 표면은 일반적으로 별도의 마감(Wood Plate, Steel Trowel 등)이 필요 없다. 그러나 도시 구조물 등 미관이 요구되는 구조물에는 마감공사를 하는 것이 바람직하다.

### (4) 양생

본 공법은 모르터가 자중에 의하여 모체와 탈락되지 않을 정도의 두께로 타설해야 하므로 소정의 단면 깊이를 확보하기 위해서는 모르터가 여러 층을 형성하게 된다. 따라서 모체와 모르터 및 모르터 층간의 부착을 위하여 적절한 양생은 필수적이다.

### 4.3.3 Mock-up Test

건식 Jet스프레이공법은 구조물의 하부, 벽체, 천정 면 등의 단면복원에 주로 이용되는 공법으로 작업이 간편하고, 복원된 단면의 압축강도 및 부착강도가 우수하여 노후 구조물의 단면복원에 매우 효과적임이 이미 많은 사례에서 검증되었다. 그러나 본 연구 대상구조물과 같이 하부대단면을 300~500mm 이상 증설하는 경우에 대한 시공사례나 실험 자료는 갖추어져 있지 않아 본 공법의 적용 가능성을 면밀히 검토하여야 한다. 하부대단면을 크게 증설하는 경우에는 콘크리트모체와 모르터 및 모르터 층간의 부착력이 매우 중요한 요소이며, 해상에서 이루어지는 점을 감안하여 작업성 및 환경오염 문제 등도 검토되어야 한다.

본 연구 대상구조물인 잔교식 부두의 하부대단면 증설에 대한 본 공법의 적용성을 평가하기 위하여 실험시공(Mock-up Test)을 실시하였다. 실험은 안성 제2공단 내에 위치한 야외시험장에서 시편 외형 틀을 제작하고, 이를 공중에 매달 수 있는 경사장비를 이용하여 실시하였다.

#### (1) 실험재료 및 장비

본 공법의 적용성 검토를 위한 실험시공에 사용된 모르터는 마이크로실리카와 폴리머 분산제 등을 혼합 조제하여 기존의 시멘트모르터의 성질을 개선한 것이다. 실험시공에 사용된 모르터의 재료 및 성분비율은 표 4.1과 같다.

본 실험에 이용된 스프레이 장비는 Aliva AL-246 건식 스프레이 장비로 시간당 최대 8.4m<sup>3</sup>의 모르터를 분사할 수 있으며, 압축분사를 위한 Compressor와 혼합수를 공급하기 위한 Water Pump 등을 이용하여 시공하였다.

표 4.1 Micro-silica 건식 Jet 스프레이용 모르터의 배합성분(%)

시멘트	마이크로실리카	폴리머	모래	특수첨가제
30~40	5~10	5~10	40~60	1~10

## (2) 실험방법

### 가. 실험준비

실험시공에 필요한 건식 Jet 스프레이 장비와 경사장비의 작동여부를 확인하고, 실험시공에 사용할 재료의 준비 및 점검을 실시하였다. 1000×700×300mm의 각 주형 거푸집을 제작하고, 경사장비에 단단히 고정하였다. 사진 4.3은 실험에 사용된 경사장비와 장비에 거치된 거푸집을 나타낸 것이다.



사진 4.3(a) 경사장비



사진 4.3(b) 장비에 거치된 거푸집

#### 나. 시험체 제작

건식 Jet 스프레이 장비를 이용하여 경사장비에 거치된 거푸집에 모르터를 고속, 고압으로 분사하여 콘크리트를 타설하였다. 모르터 자중에 의한 탈락이 발생하지 않을 정도의 두께로 여러 번 시공하였으며, 모르터의 경화를 위하여 최소 2시간 이상의 간격으로 시공하였다. 양생은 시공된 시험체의 중량이 큰 관계로 대기 중에서 Plastic Sheet로 덮어 대기양생을 실시하였다.

본 공법에 의해 제작된 콘크리트는 일반 모르터를 이용하여 제작된 콘크리트에 비해 압축강도, 휨강도 및 부착강도가 매우 크나 본 연구 대상구조물과 같이 하부대단면을 크게 증설하는 경우에는 콘크리트모체와 모르터의 부착강도 및 모르터 층간의 접착력이 매우 중요하다. 이러한 부착강도를 측정하기 위하여 소정의 양생 후  $\phi 10 \times 10 \text{cm}$ 의 공시체를 재령 7일, 28일에 각각 3개씩 제작하여 직접인장시험에 의해 측정하였다. 또한 시공할 부위 바닥에  $5000 \times 5000 \text{mm}$  규격의 비닐을 설치하고 호스길이 및 주입 수량을 일정하게 유지하여 3분간 스프레이 시공한 후 리바운드된 양을 총 3회에 걸쳐 측정하였다. 사진 4.4는 본 공법에 의해 제작된 실험시공의 시험체를 대상으로 채취한 건식·습식 시편을 예로 나타낸 것이다.



사진 4.4 Mock-up Test의 건식·습식 Jet스프레이공법에 의해 제작된 시편

### (3) 실험결과

본 공법의 적용성을 검토하기 위하여 실시한 실험시공의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 모르터 층간의 부착강도는 재령 7일인 경우 평균  $15.7\text{kgf/cm}^2$ , 재령 28일인 경우 평균  $22.2\text{kgf/cm}^2$  정도로 매우 우수하다.

2) 분사노즐에서 물과 배합이 이루어지므로 작업 중 발생하는 리바운드량이 10~15% 정도로 비교적 많다.

3) 1회 시공두께는 모르터 자중에 의한 탈락을 방지하기 위하여 30mm정도가 적당하다.

4) 층간 시공시간 간격은 4~12시간이 적당하다.

5) 시공거리가 짧은 경우에는 시공 중 발생하는 비산 분진에 의하여 시야확보가 불리하다.

### 4.3.4 공법적용 가능성검토

이상의 실험결과를 종합하여 본 공법의 적용성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1) 본 공법은 콘크리트구체와 모르터 및 모르터 층간의 부착강도가 우수하여 본 연구 대상구조물과 같이 하부대단면을 증설하는 경우의 보강에 매우 적합한 공법이다.

2) 본 연구 대상구조물은 해상에 설치된 구조물로 가설비계 상부의 작업공간이 협소하여 본 공법적용시 발생하는 비산분진에 의하여 작업면의 시야확보가 어렵다.

3) 작업 중 리바운드되는 모르터의 양이 비교적 많아 사용재료(골재 및 첨가제)의 손실에 의한 품질변동을 가져올 수 있다.

4) 작업 중 리바운드되는 모르터나 비산먼지가 해상에 침투할 경우 심각한 환경오염을 가져올 수 있다.

5) 본 연구 대상구조물이 해상에 설치된 구조물임을 감안할 때 환경오염 문제의 발생가능성이 있고, 작업환경이 불리하며, 장기적인 내구성 증대효과를 얻기 어려워 대상구조물에 적용하기에는 부적합한 공법으로 판단된다.

#### 4.4 습식 Jet스프레이공법

본 구조물의 하부단면 증설은 모르터를 고압으로 분사하여 콘크리트구체에 접착, 성형하는 스프레이공법이 가장 적합하다. 스프레이공법에는 건식 Jet스프레이공법과 습식 Jet스프레이공법이 있으며, 이 중 건식 Jet스프레이공법은 작업 중 발생하는 분진에 의한 작업성 저하 및 해상환경의 오염가능성 등의 이유로 부두 하부의 단면증설에 부적합하다. 습식 Jet스프레이공법은 교반기에서 피스톤 교반장치에 의해 물과 재료가 혼합된 후 노즐을 통해 분사되므로 작업 중 분진이 거의 발생하지 않아 건식 Jet스프레이공법의 문제점을 해결할 수 있다.

일반적으로 습식 Jet스프레이공법에 주로 이용되는 모르터는 에폭시수지계 모르터와 폴리머시멘트계 모르터가 있다. 표 4.2는 에폭시수지계 모르터와 폴리머시멘트계 모르터의 특성 및 성능을 비교한 것이다.

에폭시수지계 모르터는 부착성이 좋고 경화속도가 빠른 장점 때문에 많이 이용되고 있다. 그러나 빠른 경화로 인한 초기균열 발생가능성이 높으며, 신·구 콘크리트간에 국부전지를 형성하게 되어 철근의 부식을 유도할 수 있다. 또한 열팽창계수가 콘크리트보다 약 3~4배 정도 높고, 탄성계수가 작기 때문에 단면복구 후 온도 차이와 하중작용에 의해서 균열이 발생하게 된다. 해안에 인접한 구조물은 타 지역에 비해 기화성이 높아 모르터의 양생이전에 수분이 증발하여 수축균열이 발생하는 경우도 있다. 본 연구 대상구조물과 같이 해상에 설치된 구조물에 균열이 발생하면 염화물의 침투에 의하여 구조물의 노후화를 가속화시키므로 균열을 억제하는 것이 매우 중요하다. 또한 에폭시수지 모르터는 경화재에 독성이 있어 작업자와 주변 환경에 세심한 주의가 필요하여 본 연구 대상구조물과 같이 해상

에 설치된 구조물의 보강에는 부적절하다.

폴리머시멘트계 모르터는 무독성으로 친환경적이며 콘크리트와 유사한 탄성계수 및 열팽창계수를 나타내므로 온도 차이나 하중작용에 의한 균열발생 가능성이 낮다. 에폭시수지계 모르터에 비해 부착성은 낮으나 강도가 높고, 방수성, 차염성 등의 성질이 우수하여 해상구조물의 보강에 매우 적합한 재료이다. 그러나 경화를 지연시키는 현상이 있어 이를 개선하기 위한 급결제나 초속경재 등의 특수첨가물이 사용되며, 이로 인하여 경화초기에 균열발생 가능성이 높다. 또한 상대적으로 낮은 부착력으로 본 연구 대상구조물과 같이 하부대단면을 크게 증설하는 경우에 적용하기 위해서는 부착력을 강화시킬 수 있는 적절한 재료의 첨가가 필요하다.

표 4.2 단면보강용 모르터의 특성 및 성능 비교

항 목	폴리머시멘트 모르타르계	에폭시수지 모르타르계
시공성	- 무독성, 친환경적 - 습윤면 시공 가능 - 후막시공 곤란, 대단면복구시는 재료 및 공법 개선 필요	- 재료에 따라 후막시공, 공정단축 - 경화재의 독성 주의 필요 (무용제형의 적용 시도) - 시공기구의 세정곤란
경화성	- 경화지연현상이 있으며, 급결제, 조강시멘트, 응결 조정제 등의 사용에 의해서 조정 - 양생환경에 따라 보습재 사용	- 경화속도가 빠르고 경화재의 종류에 의한 경화속도 조정 - 온도의존성이 높고 저온시에 경화하기 어려움
강 도	- 시멘트량, 폴리머비 조정, 시멘트 품질, 특수골재의 사용 등에 의해서 다양한 강도의 적용 가능	- 콘크리트보다 약간 큼 - 특히 인장강도, 휨강도가 우수
탄성계수	- 콘크리트와 유사한 정도이며 배합에 의해서 조정가능	- 콘크리트보다 작고 변형율이 크며, 배합조건의 조정에 의해서 조절 가능함
부착성	- 에폭시수지계 모르터에 비하여 부착성능이 약함	- 폴리머시멘트계 모르타르에 비하여 매우 큰 부착성능
방수성	- 양호하며 혼화되는 폴리머의 종류 및 비율에 따라 변화함	- 양호하나 골재의 입도분포, 특수골재 등의 영향인자에 의해 저하되는 것도 있음
차염성		
가스투과성		
열팽창계수	- 콘크리트와 유사함	- 콘크리트보다 큼



이상에서 고찰한 바와 같이 철근콘크리트부두 하부대단면 증설에 습식 Jet스프레이공법을 적용하기 위해서는 균열발생의 원인이 되는 첨가물을 제거하고, 이로 인하여 저하된 강도를 보강할 수 있는 재료를 첨가하여 압축강도 및 부착강도를 증가시켜야 한다. 또한 보강작업이 해양환경에서 이루어지는 점을 감안하여 해양 환경에 대한 오염가능성이 없는 친환경적 모르터의 개발이 필요하며, 개발된 모르터의 특성에 맞는 적절한 시공방법이 제시되어야 한다.

본 연구에서는 해상에 설치된 부두하부를 증설하기 위하여 내구적 특성 및 작업환경에 맞추어 재료를 선정하고, 이를 최적의 조건으로 배합하여 대상구조물의 단면보강에 적합한 재료를 개발하였다. 균열발생의 원인이 되는 급결제, 초속경제 등의 재료를 배제하고, 모르터 층간 접착력을 향상시키기 위하여 아크릴 에멀전계의 접착성이 우수한 재료를 혼합하였으며, 부착강도와 압축강도를 높이기 위하여 섬유보강재를 첨가하였다. 개발된 모르터는 리바운드량이 매우 적어 재료의 손실과 분진의 발생이 없는 친환경적 보강재료로 본 연구 대상구조물과 같이 해상이나 하천 주변에 건설된 구조물의 보강에 매우 효과적이다.

#### 4.4.1 공법의 특징

##### (1) 재료적 특징

습식 Jet스프레이공법에 이용되는 모르터에는 강도 및 균열에 대한 저항성을 증가시키기 위하여 강섬유를 혼입하는 것이 일반적이다. 강섬유를 혼입한 모르터는 균열저항성, 인성, 충격저항성 등을 향상시켜 널리 사용되고 있으나 자체 비중이 높아 구조물 자중을 증가시키는 단점을 갖고 있다. 특히 강섬유 자체의 부식에 대한 우려가 크고, 작업시 리바운드 양이 증대되는 문제점을 안고 있어 해양구조물의 보강을 위한 재료로는 적합하지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 새로운 보강재로써 구조용 합성섬유가 국내외적으로 많이 개발되고 있다. 구조용 합성섬유는 인장강도, 휨강도, 휨인성 및 충격저항성 등 강섬유의 장점을 갖추고 있을 뿐만 아니라 내화학성이 뛰어나며, 부식의 우려가 없고 자체비중이 작아 현장타설

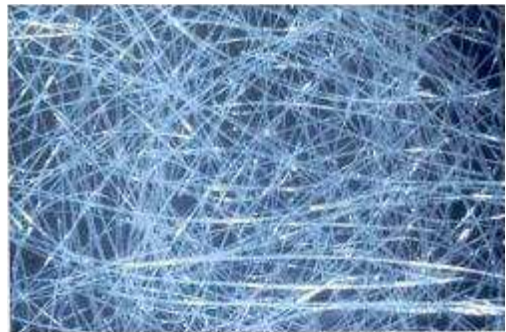
장비의 마모가 적고 작업자에게 위험이 없다. 또한 강섬유와 비교하여 경제성이 뛰어나 그 사용량이 날로 증가하고 있는 추세이다.

본 공법에 이용된 섬유보강재는 폴리프로필렌 섬유로 합성섬유보강재의 약점인 콘크리트와의 부착력을 향상시키고, 부착면적을 확대시킨 제품으로 모르터 또는 콘크리트 1m<sup>3</sup>속에 약 600만~850만개의 Fiber가 입체적으로 분포되어 세균 보강작용을 함으로써 콘크리트의 균열을 억제하고, 충격, 파손, 마모, 투수, 부식 및 동해 등의 여러 가지 콘크리트성능 저해요인들에 대한 저항능력을 현저히 증대시켜 총체적으로 콘크리트의 품질을 향상시킨다.

섬유보강재는 시멘트 매트릭스 내에서 균등한 분산이 매우 중요하며, 본 공법에 사용된 섬유보강재는 10~20개의 망사형 섬유뭉치로 구성되어 있어 콘크리트 Mixing과정에서 골재에 의해 망형이 벌어지고 끊어져, 날개의 단섬유화되면서 시멘트 매트릭스 내의 분산성을 향상시킨다. 사진 4.5(a)는 본 공법에 사용된 섬유보강재의 실물을 나타내며, 사진 4.5(b)는 콘크리트Mixing과정에서 망형이 입체적으로 분산된 모습을 나타낸 것이다.



(a) 섬유보강재의 실물



(b) 망형이 분산된 모습

사진 4.5 습식 Jet스프레이공법에 사용된 섬유보강재

급결제, 초속경제 등을 배제하고, 섬유보강재와 폴리머를 혼합하여 개발한 모르터의 특징을 간략히 기술하면 다음과 같다.

- 1) 모르터와 콘크리트의 타설 초기에 수축균열을 방지한다.
- 2) 진동, 충격, 파손, 마모, 침식에 대한 저항력이 크다.
- 3) 시멘트와 높은 화학적, 물리적 결합력을 갖는다.
- 4) 높은 내산성과 내알칼리성을 갖는다.
- 5) 양생 후 모르터와 콘크리트의 균열을 방지한다.
- 6) 리바운드 손실량을 감소시킨다.
- 7) 콘크리트의 압축강도 및 부착강도를 증대시킨다.
- 8) 폴리머 첨가로 염화물에 대한 저항성이 크다.

## (2) 기술적 특징

본 공법은 해상에 설치된 부두 하부의 단면증설을 위하여 내구성 저하원인과 특성 및 작업환경에 따라서 사용되는 재료를 특성화하였으므로 대상구조물의 단면증설에 매우 적합하다.

재료를 교반기에서 물과 혼합하여 3분 이상 충분히 교반한 후 고압펌프에 의해 연결호스로 압축 이송하고, 분사노즐에 압축공기를 투입시켜 고압으로 분사하여 단면을 증설한다. 모르터에 함유된 특수첨가물에 의해 모르터 매트릭스에 강한 탄성띠를 형성하고, 강도, 접착성능, 밀도, 건조수축 및 열적특성 등 물리적 성능의 증진은 물론 치밀한 시멘트 조직이 형성되어 장기적인 내구성을 유지시켜준다.

본 공법의 특징을 간략히 기술하면 다음과 같다.

- 1) 적절한 시공조건에서 리바운드량이 3~5%이하로 손실이 적고, 분진 발생량이 거의 없다.
- 2) 접착제의 첨가로 층간 접착력이 매우 높다.
- 3) 현장에서 물 혼합비만 조절하여 시공할 수 있다.
- 4) 기공이 적어 수밀성이 높다.
- 5) 특성화된 재료로 해상구조물의 보강에 매우 적합하다.
- 6) 건식 Jet스프레이공법에 비해 장비세척 및 관리가 불리하다.

### (3) 작업상 고려할 사항

본 공법에 의한 보강작업에서는 습식 Jet스프레이공법에 소요되는 단위면적당 재료량, 접착제의 사용, 양생, 동하중이 작용하는 구조물에 대한 보강작업의 효과 등을 검토하고, 적합한 재료 및 시공방법을 적용하는 것이 좋다.

#### 가. 재료 수요량

보수할 표면적당 소요될 모르터 양은 표면조도(Surface Roughness), 파상상태(Waviness), 과도한 분사(Over spray) 및 리바운드(Rebound) 등의 이유로 그 양을 추정하기가 쉽지 않다. 재료 수요량은 설계 스프레이 층의 두께, 표면의 거칠기, 파상, 과도 스프레이, 리바운드 손실량, 노즐맨(작업공)의 숙련도, 혼합물의 특성에 따른 조건 등을 고려하여 수요량을 결정해야 한다.

#### 나. 리바운드 특성

습식 Jet스프레이공법은 분사에 의해 시공되기 때문에 리바운드를 완전히 제거할 수는 없다. 고속, 고압으로 분사되기 때문에 빠른 속도로 이동하는 골재와 첨가물의 일부가 표면에서 튀겨나가는 원인이 된다. 이 리바운드는 단순한 재료의 손실뿐만 아니라 품질을 저하시키는 주요인으로 작용하므로 작업 중 리바운드 손실량을 최소화하여야 한다.

본 공법으로 채택한 습식 Jet스프레이공법은 건식 Jet스프레이공법에 비하여 상대적으로 더 적은 리바운드 손실을 가져오나, 작업공의 숙련도와 경험, 사용압력, 노즐의 형태, 작업 표면에서 노즐까지의 거리 및 각도 등에 큰 영향을 받는다. 수직면 작업보다는 상향작업 때 리바운드에 의한 손실량이 많으며, 손실량은 마감작업에서 나오는 절취량을 포함한다.

#### 다. 접착제의 필요성

습식 Jet스프레이공법에서는 모르터가 적절한 함수율로 혼합된 경우 콘크리트

표면을 적실 여분의 수분이 부족하여 좋은 접착을 이룰 수 없으므로 접착제의 혼합이 필수적이다. 본 연구 대상구조물과 같이 하부대단면을 증설하는 경우나 벽체의 보강에는 모르터 층을 이루어 시공하므로 층간분리를 억제하기 위하여 접착제의 역할은 더욱 중요하다.

#### 라. 양생 및 동하중이 작용하는 구조물의 보강

본 공법과 같이 기계를 이용한 보강작업에서도 올바른 양생은 매우 중요하다. 특히 물-시멘트비가 낮은 혼합에서는 시멘트 수화작용에 소요되는 충분한 수량을 확보해야 한다. 또한 본 연구 대상구조물은 상부에 설치된 파이프라인을 통과하는 유체에 의하여 동적하중을 받아 미세한 진동을 일으키므로 접착성 등을 개선한 적합한 재료를 선정하여야 한다.

### 4.4.2 시공순서

본 공법은 균열발생의 원인이 되는 급결제와 초속경재를 제거하고, 섬유보강재와 폴리머 등의 재료를 첨가하여 재료의 성능을 개선시킨 모르터를 해양구조물의 하부 표면에 분사하여 도포함으로써 구조물의 단면을 복원하는 보강작업이다. 작업 중 리바운드되는 모르터와 분진발생에 의한 작업성 저하 및 환경오염의 문제를 개선하기 위하여 섬유보강재와 폴리머 및 특수첨가물을 혼합한 모르터를 개발하고, 이를 물과 혼합하여 고압 분사함으로써 단면을 복원한다. 본 공법의 시공순서를 그림 4.4에 나타내었다.

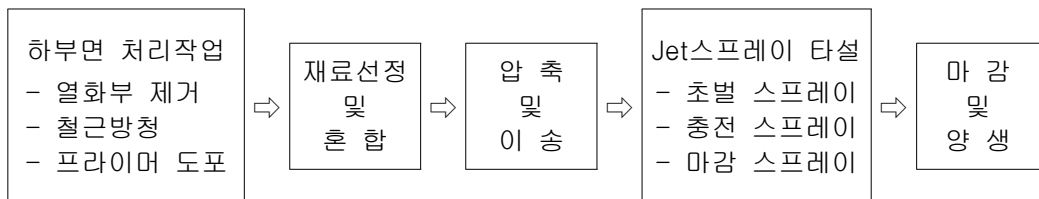


그림 4.4 습식 Jet 스프레이공법의 시공순서

### (1) 하부면 처리작업

본 공법에 의한 부두 하부의 단면증설을 위하여 먼저 콘크리트의 열화부위를 측정하여 손상부 제거와 노출철근의 치핑작업을 수행하고, 고압수로 표면을 세척한다. 콘크리트의 건전부와 모르터 사이의 접착성을 증대시키기 위한 프라이머 도포, 노출철근에 방청제 도포 및 표면 고르기 충전 등의 보조공정을 실시한다.

### (2) 재료선정 및 혼합

본 구조물과 같이 특수한 환경에 노출된 구조물의 보강에서는 구조물의 종류와 작업환경 및 열화원인에 따라 적절한 재료를 선택하여 사용함으로써 보강된 구조물의 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

여기에서는 해상에 설치된 잔교식 부두 하부의 단면증설을 위하여 일반적인 습식 스프레이공법용 모르터에 첨가되는 급결제, 초속경재 등의 재료를 배제하여 균열발생의 원인을 제거하고, 강도증진을 위하여 섬유보강재를 첨가하였다. 또한 모르터를 상향 분사하는 점을 고려하여 모르터 층간 접착력을 향상시키기 위한 아크릴 에멀전계의 재료를 혼합하였다.

물의 혼합은 실험에 의해서 결정된 혼합비율에 따라서 정량 투입한 후 혼합기로 3분 이상 혼합 후 반죽상태를 눈으로 확인한 뒤 고압펌프에 투입한다. 이 공정은 혼합시간, 속도, 물의 투입량에 따라서 리바운드와 스프레이 두께를 결정해주는 중요한 공정이다.

### (3) 압축 및 이송

혼합 완료된 상태의 모르터를 고압펌프에 의해 압송하는 과정에서 모르터 조직 내에 분포된 미세한 공기방울이 더 큰 공기방울로 집적되어 노즐 통과시 제거되고, 고압 압축공기가 분사되어 이송된 모르터를 작은 입자로 만들어 고속으로 보강단면에 분사하여 단면을 복원한다.

#### (4) 습식 Jet 스프레이 타설

압축펌프에 의해 고압으로 압축, 이송된 모르터를 노즐을 통해 고속으로 분사하여 철근콘크리트부두 하부대단면을 증설한다. 이 때 콘크리트모체와 모르터의 원활한 접착, 충전되는 모르터의 수밀성 증대 및 편리한 표면 마감을 위하여 초벌 스프레이 ⇨ 단면충전 스프레이 ⇨ 마감 스프레이의 3단계로 나누어 분사한다.

1단계 초벌 스프레이는 불규칙한 보강단면을 3~5mm 정도로 얇게 코팅하여 표면의 기공을 제거하고, 접착부위의 밀도를 증가시켜 다음 단계인 단면충전 스프레이의 접착력을 높이기 위하여 실시한다.

2단계 단면충전 스프레이는 1단계 초벌 스프레이를 한지 3~5분 후에 목표두께의 약 90% 정도까지 스프레이 한다. 실험결과 1회 충전두께는 20mm 정도가 적당하며, 1층 충전 후 최소 2시간에서 최대 72시간 이내에 다음 층을 충전하는 것이 좋다.

3단계 마감 스프레이는 표면을 평탄하게 스프레이하고, 10분 이내에 흠손 또는 무너롤러 등을 이용하여 마감한다.

#### (5) 마감 및 양생

본 공법에서 마감은 타설된 모르터가 경화하기 전에 마감 스프레이 단계에서 실시한다. 소정의 강도 발현을 위하여 적절한 양생은 필수적이며, 대상구조물이 해상에 설치된 점을 감안하여 강한 바람이나 우천시에는 양생포, 양생제 등을 사용하여 양생을 돕는다.

### 4.4.3 Mock-up Test

본 연구에서는 해상에 설치된 부두 하부대단면 증설을 위하여 내구성 저하원인과 특성 및 작업환경에 맞추어 적합한 재료를 선정하고, 이를 배합하여 대상구조물의 단면을 보강할 수 있는 재료를 개발하였다. 개발된 재료의 강도와 최적의 배합비율, 효과적인 시공방법, 콘크리트모체와 보강면의 부착강도, 층간 계면 접착

성, 콘크리트내의 기포 존재유무 및 표면처리 방법 등을 파악하여, 최적의 시공방법 및 조건을 제시하기 위하여 실험시공(Mock-up test)을 실시하였다.

건식 Jet스프레이공법의 문제점으로 나타난 분진발생에 의한 작업성의 저하와 환경오염 문제의 해결을 위하여 모르터의 리바운드 량을 최소화할 수 있는 시공방법 제안에 주안점을 두었다. 본 실험에 의하여 최적의 조건을 제시함으로써 현장 적용과정에서 시행착오를 최소화하여 고품질의 보강단면을 시공할 수 있다.

실험은 경기도 가평의 건축물 신축현장(수년전 공사 중단)에서 이루어졌으며, 현장 내 2층 슬래브의 하부대단면을 대상으로 총 6회 실험시공을 실시하고, 이를 분석하였다.

#### (1) 실험재료 및 장비

개발된 재료의 물리적 특성과악과 공법의 적용성 검토를 위한 실험시공에 사용된 모르터는 섬유보강재와 폴리머 분산제 및 아크릴 에멀전계의 접착제 등을 혼합 조제하여 기존의 시멘트모르터의 성질을 개선한 것이다. 표 4.3은 실험시공에 사용된 모르터의 재료 및 성분비율을 나타낸 것이다.

본 실험에 이용된 스프레이 장비는 Aliva 습식 스프레이 Gun이며, 재료혼합을 위한 Pan type Mixer(50ℓ), 압축 분사를 위한 Compressor(350CFM), Hilti Gun 등을 사용하여 시공하였다.

표 4.3 습식 Jet 스프레이용 모르터의 배합성분(%)

시멘트	규사	섬유보강재	폴리머	실리카 흙	팽창재	유동화재
35~40	50~60	0.1~0.2	1.5~2.5	0~3	3~4.5	0.1~0.2

$$\%=(\text{구성 재료의 중량}/\text{전체 중량})\times 100$$

#### (2) 예비실험

본 공법의 적용성 평가를 위한 실험시공을 실시하기 전에 본 재료를 이용하여 습식 Jet스프레이공법으로 시공하는 경우 발생가능한 문제점을 찾고, 최적의 작업



조건을 제시하기 위하여 예비실험을 실시하였다.

먼저 1회 시공 가능한 두께를 파악하기 위하여 슬래브 하부에 스프레이 시공을 실시한 결과 시공두께가 약 30mm 이상이면 모르터는 자중에 의하여 탈락하므로 1회 최대시공두께는 약 20mm가 적합하다.

일반적으로 습식 스프레이공법의 층간 작업시간 간격은 2~72시간 이내에 이루어진다. 본 예비실험에서도 작업시간 간격에 따른 모르터 층의 접착력과, 층간 분리 현상의 발생을 파악하기 위하여 층간 작업을 2시간에서 72시간까지 간격을 두고 실험을 실시하였다. 실험결과 1층 시공 후 2~72시간 이내에 시공한 층의 접착은 양호하였으며, 2시간이 경과하기 전에는 선 시공된 층의 경화가 소정의 정도 이상 완료되지 않아 자중 증가에 의한 탈락 발생가능성이 있고, 72시간이 경과한 후의 시공에서는 선 시공된 층의 경화에 의하여 층간의 경계가 육안으로 확인되더라도 cold joint 및 층간분리가 일어날 가능성이 있다. 콘크리트 이음 면에 cold joint가 발생하면 강도, 내구성, 수밀성 등이 저하하고, 철근의 부식을 유발하여 균열을 발생시키는 원인이 된다. 따라서 층간 작업시간 간격은 최소 2시간에서 최대 72시간 이내에 실시하면 되나 재료의 처짐 예방, 부착력 확보 및 해양환경하의 작업성 등을 고려하여 12~48시간 이내의 간격으로 실시하는 것이 가장 효과적일 것으로 판단된다.

또한 흙손과 브러시를 이용하여 스프레이 시공 후 계면에 후처리를 함으로써 계면 처리 상태에 따른 접착력의 변화를 고찰하였다. 동일한 조건에 대하여 스프레이 시공 후 흙손으로 다짐한 뒤 브러시로 표면을 거칠게 마감한 경우와 표면을 흙손으로 다짐만 한 경우 및 스프레이 시공 상태 그대로 둔 경우에 대하여 시공하고, 코어를 채취하여 계면 접착상태를 확인하였다. 이론적으로는 흙손으로 다짐 후 브러시로 표면을 거칠게 마감한 계면의 접착이 더 유리하나 이 실험의 결과 세 가지 조건에 대한 계면접착의 효과 차이는 매우 미미하여 별도의 계면처리 공정을 실시하지 않아도 무방할 것으로 사료된다. 표 4.4는 예비실험의 층간 시공시간의 간격 및 작업내용을 나타낸 것이다.

표 4.4 층간 시공시간 간격 및 작업내용

작업내용	시간간격(h)	두께(mm)	작업 후처리
프라이머 도포	-	-	
초벌 스프레이	-	5	
단면충진 스프레이	2	20	
	4	20	
	6	20	흙손, 브러시 이용
	6	20	흙손으로 눌러다짐
	6	20	스프레이 상태유지
	12	20	
	24	20	
	48	20	
	72	20	
마감 스프레이	2	15	흙손으로 마감

### (3) 실험시공

#### 가. 실험준비

실험시공에 필요한 장비의 정상적인 작동여부를 점검하고, 실험시공에 사용할 재료의 준비 및 배합을 실시하였다. 습식 스프레이공법의 작업성에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 혼합수의 비율이다. 본 연구에서는 혼합수의 비율에 따른 특성 변화를 파악하기 위하여 전체 모르터 중량에 대한 물 중량의 비율을 조금씩 다르게 하여 총 6조의 모르터를 배합하였으며, 각각의 물-모르터비를 표 4.5에 나타내었다.

실험시공을 실시한 건축물의 슬래브는 가로 3m × 세로 4m × 높이 0.3m에 지름 22mm의 철근을 200mm 간격으로 띠장 및 복철근으로 배근한 구조이다. 열화손상 부위를 제거한 부두 하부와 유사한 조건을 갖추기 위하여 단면을 증설하고자 하는 부위의 콘크리트표면을 10mm 내외로 할석시키고, 고압수로 표면을 세척하였다. 또한 계면 접착을 증가시키기 위하여 접착 면에 프라이머를 도포하였다.

표 4.5 시료별 물-모르터비의 중량비(%)

구 분	A	B	C	D	E	F
물-모르터비	12	14	16	18	20	22

#### 나. 시험체 제작

적절하게 혼합된 모르터를 습식 Jet 스프레이 장비를 이용하여 슬래브 하부에 고속, 고압으로 분사하여 콘크리트를 타설하였다. 예비 실험 결과 시공두께가 약 30mm 이상이면 자중에 의하여 모르터가 탈락하게 되므로 본 실험에서는 모르터 자중에 의한 탈락을 고려하여 단면충전 스프레이의 1회 시공두께는 20mm로 제한하였다. 층간 작업시간 간격은 예비실험 결과를 바탕으로 층간 접착력이 충분히 발휘될 수 있도록 4~10시간 간격으로 시공하였다.

#### 다. 강도실험

개발된 재료의 압축강도 및 부착강도를 측정하기 위하여 재령 28일인 시험체로부터 코어채취기를 이용하여 부착면에 수직으로 코어를 채취하고, 강도시험방법에 의하여 시험을 실시하였다. 그림 4.5는 시험체로부터 코어를 채취하는 방법을 나타낸 것이다.

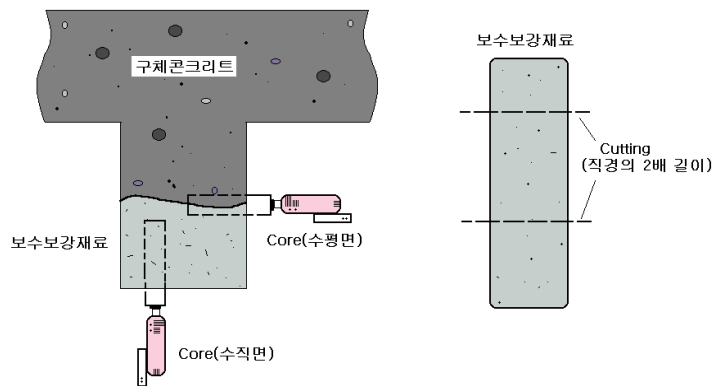


그림 4.5 강도측정을 위한 코어채취

압축강도는 코어채취기를 이용  $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ 의 코어를 시험체 별로 각각 1개씩 총 6개 제작하고 콘크리트압축강도 시험방법(KS F 2422)에 의하여 측정하였으며, 부착강도는  $\phi 100 \times 100 \text{mm}$ 의 코어를 시험체 별로 각각 1개씩 총 6개 제작하고 직접 인장 부착강도시험(KS F 4716)에 의해 측정하였다. 사진 4.6은 압축강도실험 및 부착강도실험에 의한 시편의 파괴형상을 나타낸 것이다.



사진 4.6(a) 압축강도실험



사진 4.6(b) 부착강도실험

라. 리바운드 실험

고압 스프레이를 이용하여 열화된 철근콘크리트구조물의 단면을 보강할 때 리바운드에 의하여 모르터의 손실을 가져오며, 이는 분진발생에 의한 작업성 저하, 사용재료의 손실에 의한 품질변동 및 환경오염의 문제를 내포하게 된다.

본 연구에서는 리바운드량을 최소화 할 수 있는 최적조건을 찾아 이러한 문제점을 해결하고, 증설된 콘크리트 단면의 내구성을 증진시키기 위하여 실험시공 과정 중에 리바운드 실험을 실시하였다. 실험을 통하여 분사거리, 분사각도 및 물-모르타르 비율 등에 따른 리바운드량을 고찰하고, 이로부터 최적의 작업조건을 제시할 수 있다. 본 연구에서는 실구조물에의 적용성을 높이기 위하여 슬래브 하부면 이외에 벽체를 대상으로도 리바운드 실험을 실시하였다.

리바운드량의 측정은 시공할 부위 바닥에 5000×5000mm 규격의 비닐을 설치하고 호스길이 및 모르터 주입량을 일정하게 유지하여 배합된 6조의 시료를 각각 3분간 스프레이 시공한 후 리바운드된 양을 측정하였다.

(4) 실험결과

가. 강도실험 결과

보강에 이용되는 재료는 재료의 내구성, 구체 콘크리트와의 부착성능, 부착력 향상을 위한 프라이머의 성능 등이 판정기준 이상 확보되어야 한다. 본 연구에서 강도시험의 판정기준은 본 공법에 이용한 보강재료의 성능 규정치를 기준으로 하였으며, 이에 따른 대상 재료의 강도 판정기준은 표 4.6과 같다.

표 4.6 강도시험 판정기준

항목	평가방법	파단면 위치	판정기준
압축강도	KS F 2422	-	450kgf/cm <sup>2</sup>
부착강도	KS F 4716	보수재료	보수재료의 인장강도 이상 또는 최대인장하중시 19kgf/cm <sup>2</sup>
		경계면	최대인장하중시 19kgf/cm <sup>2</sup>
		구체콘크리트	구체콘크리트의 인장강도 이상 또는 최대인장하중시 19kgf/cm <sup>2</sup>

표 4.7은 채취한 시편을 이용하여 압축강도와 부착강도 실험을 실시한 결과 얻어진 각 시험체별 압축강도 및 부착강도를 나타낸 것이며, 그림 4.6은 판정기준과 비교를 용이하게 하기 위하여 이를 그림으로 나타낸 것이다. 이 표를 살펴보면 물-시멘트비가 작을수록 압축강도는 크나 그 차이는 미미하며, 부착강도는 콘크리트 구체에서 파단된 시편을 제외하면 물-시멘트비에 큰 영향을 받지 않는다. 강도실험에 이용된 모든 시편의 압축강도 및 부착강도는 매우 우수하며, 그림 4.6에 보인바와 같이 모든 시편의 압축강도 및 부착강도는 표 4.6의 판정기준 이상으로 측정되어 본 연구에서 개발한 재료가 구조물 하부의 대단면 증설에 매우 효과적임을 알 수 있다.

표 4.7 시편별 압축강도 및 부착강도

시편	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	부착강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	
		측정치	파단면 위치
A	608	24.7	보강재료에서 파단
B	602	20.7	콘크리트구체에서 파단
C	582	23.8	보강재료에서 파단
D	577	24.3	보강재료에서 파단
E	564	21.3	콘크리트구체에서 파단
F	552	24.8	보강재료에서 파단

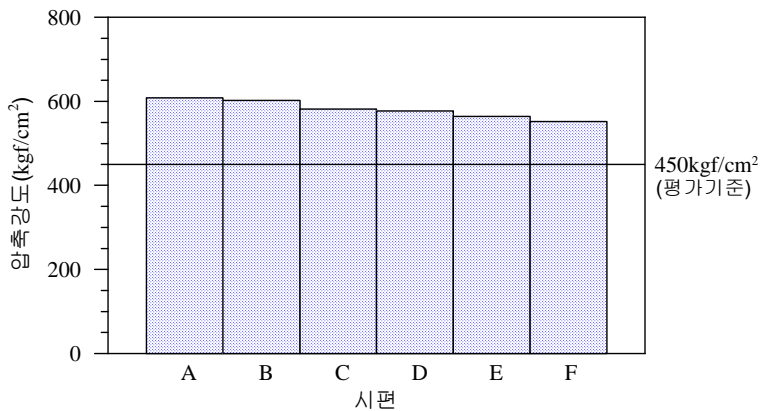


그림 4.6(a) 시편별 압축강도

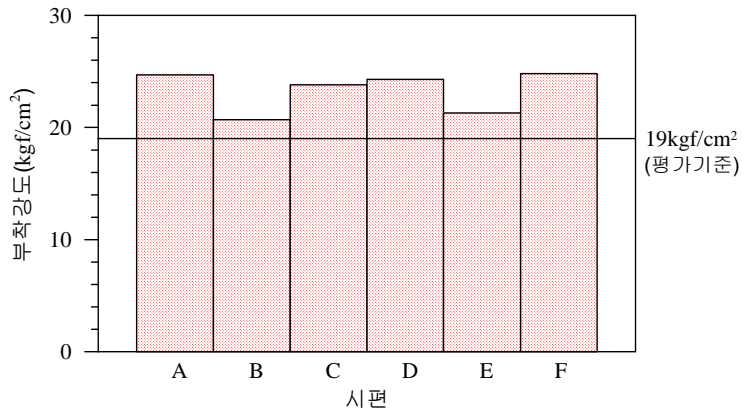


그림 4.6(b) 시편별 부착강도

#### 나. 리바운드 실험

본 연구 대상구조물과 같이 해상에 설치된 구조물의 보강에 습식 Jet스프레이 공법을 적용하는 경우 리바운드되는 모르터나 비산먼지가 많으면 심각한 해양환경오염을 가져올 수 있으며, 작업면의 시야확보가 불리하고, 골재 및 첨가제의 손실에 의한 품질변동의 우려가 있다. 본 연구에서 개발된 재료를 사용하여 보강공사를 실시하는 경우 발생하는 리바운드량을 최소화하기 위하여 물-모르터비, 분사거리, 분사각도에 따른 리바운드 실험을 실시하고, 최적의 시공조건을 제시하였다.

##### ① 물-모르터비에 따른 리바운드량

물-모르터비에 따른 리바운드량을 측정하기 위하여 표 4.4에 보인 6가지 시료에 대하여 리바운드 실험을 실시하였다. 본 연구에서는 실구조물에서의 적용성을 높이기 위하여 슬래브 하부면 이외에 벽체를 대상으로도 동일한 실험을 실시하였다. 실험시 분사면과 노즐의 각도는 직각을 유지하고, 분사거리는 1m로 하였다. 표 4.8은 물-모르터비에 따른 리바운드 손실량을 나타낸 것이며, 그림 4.7은 이를 그림으로 나타낸 것이다. 실험결과 물-모르터비가 증가하면 리바운드 손실량은 감소하다가 증가하였으며, 리바운드 손실량이 최소가 되는 최적의 물-모르터비는 그림 4.7에 보인바와 같이 16~20%로 나타났다.

표 4.8 물-모르터비에 따른 리바운드량(%)

시편	물-모르터비	리바운드량(%)	
		슬래브 하부면	벽체
A	12	8.2	6.3
B	14	6.8	4.9
C	16	5.3	3.1
D	18	4.4	3.0
E	20	5.6	4.6
F	22	10.1	8.8

$$\% = (\text{리바운드된 모르터 중량} / \text{전체 모르터 중량}) \times 100$$

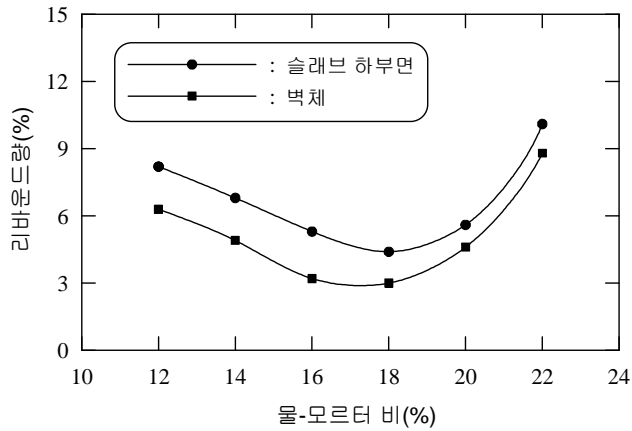


그림 4.7 물-모르터비에 따른 리바운드량

② 분사거리에 따른 리바운드량

분사거리의 변화에 따른 리바운드량을 측정하기 위하여 분사면과 노즐의 간격을 조절하면서 스프레이 실험을 실시하였다. 실험에 이용된 재료의 물-모르터비는 18%이며, 이때 분사면과 노즐의 각도는 직각을 유지하였다. 분사거리에 따른 벽체 및 슬래브 하부면의 리바운드량을 표 4.9에 나타내었으며, 그림 4.8은 이를 그림으로 나타낸 것이다. 실험결과 분사거리가 가까운 경우보다 먼 경우가 리바운드



손실량이 많이 나타났으며, 리바운드 손실량이 가장 적은 최적분사거리는 그림 4.8에 보인바와 같이 약 75~100cm 정도로 나타났다.

표 4.9 분사거리별 리바운드량(%)

분사거리(cm)	리바운드량(%)	
	슬래브 하부면	벽체
25	6.4	4.9
50	5.0	3.6
75	4.2	2.8
100	4.4	3.2
125	6.6	4.8
150	10.2	8.2

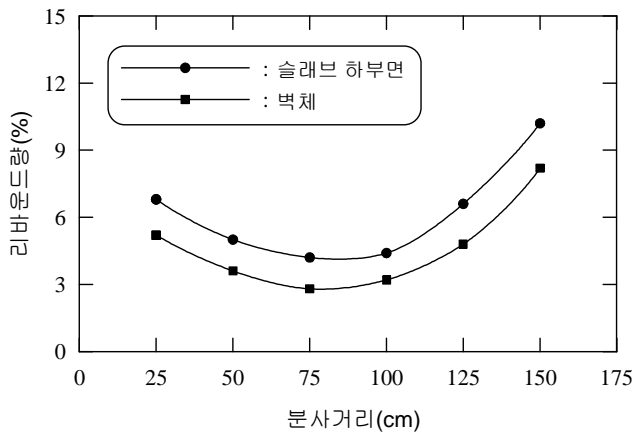


그림 4.8 분사거리별 리바운드량

③ 분사각도에 따른 리바운드량

분사각도의 변화에 따른 리바운드량을 측정하기 위하여 슬래브 하부면과 벽체에 대한 노즐의 분사각도를 45°, 60°, 75°, 90°로 하여 스프레이 실험을 실시하였

다. 실험에 이용된 재료의 물-모르터비는 18%이며, 이때 분사면과 노즐사이의 분사거리는 1m를 유지하였다. 분사각도에 따른 벽체 및 슬래브 하부면의 리바운드량을 표 4.10에 나타내었으며, 그림 4.9는 이를 그림으로 나타낸 것이다.

분사각도에 따른 슬래브 하부면 및 벽체의 리바운드 손실량은 각도가 작을수록(경사가 클수록) 크게 나타났으며, 분사면에 직각인 경우의 리바운드량이 가장 작게 나타났다.

표 4.10 분사각도별 리바운드량(%)

분사각도(degree)	리바운드량(%)	
	슬래브 하부면	벽체
45	23.5	17.8
60	12.0	10.8
75	8.3	6.6
90	4.3	2.9

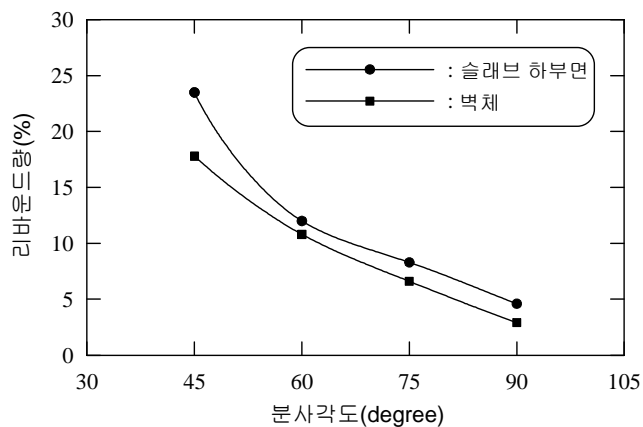


그림 4.9 분사각도별 리바운드량

이상에서 실시한 압축강도실험, 부착강도실험 및 리바운드 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 자중에 의한 모르터의 탈락을 예방하기 위하여 1회 시공두께는 약 20mm가 적합하다.
- 2) 층간 작업시간 간격은 최소 2시간에서 최대 72시간 이내에 실시하면 되나 재료의 처짐 예방, 부착력 확보 및 해양환경하의 작업성을 고려하여 12~48시간 이내의 간격으로 실시하는 것이 좋다.
- 3) 흡손과 브러시 등을 이용한 계면처리의 효과는 접착력에 큰 영향을 미치지 않아 별도의 계면처리 공정을 실시하지 않아도 무방하다.
- 4) 압축강도는 평균  $580\text{kgf/cm}^2$ , 부착강도는 평균  $23.3\text{kgf/cm}^2$ 으로 매우 우수하였으며, 모든 재료에서 판정기준 이상으로 측정되었다.
- 5) 물-모르터비가 증가하면 리바운드 손실량은 감소하다가 증가하며, 리바운드 손실량이 최소가 되는 최적의 물-모르터비는 16~20%이다.
- 6) 분사거리가 가까운 경우보다 먼 경우가 리바운드 손실량이 많으며, 리바운드 손실량이 가장 적은 최적분사거리는 약 750~1000mm 정도이다.
- 7) 분사각도에 따른 슬래브 하부면 및 벽체의 리바운드 손실량은 경사가 클 수록 증가하며, 분사면에 직각인 경우의 리바운드량이 가장 작다.
- 8) 급결제와 초속경제의 제거로 균열발생이 없다.
- 9) 시공 중 발생하는 해양오염의 비산분진이 거의 없다.

#### 4.4.4 공법적용 가능성검토

본 공법은 건식 Jet스프레이공법의 문제점인, 분진발생에 의한 작업성 저하 및 해양환경오염 등의 문제점을 해결하여 본 구조물에 매우 적합한 공법이다. 작업 중 발생하는 비산분진이 거의 없어 작업면의 시야확보가 양호하여 본 연구 대상 구조물과 같이 가설비계 상부의 작업공간이 협소한 경우에도 원활한 작업이 가능하며, 리바운드되는 모르터나 분진에 의한 해양환경오염의 가능성이 매우 적어 해

상구조물의 단면보강에 매우 효과적인 공법으로 판단된다. 또한 균열발생의 원인이 되는 급결제, 초속경제 등의 재료를 배제하여 초기 수축균열의 발생이 없고, 섬유보강재와 폴리머를 혼합하여 압축강도 및 부착강도가 매우 우수하며, 작업 중리바운드 되는 재료(골재 및 첨가제)의 손실이 적어 우수한 품질의 보강단면을 타설할 수 있다.

본 공법은 해상에 설치된 철근콘크리트부두 하부의 단면복원뿐만 아니라 내구성 증진을 위한 단면증설을 목적으로 특화된 재료 및 시공법을 제안하였으며, 대상구조물의 내구성증진을 위한 하부대단면 증설에 매우 효과적인 공법으로 판단된다.

## 4.5 습식 Jet스프레이공법의 적용

### 4.5.1 습식 Jet스프레이공법

염해손상된 철근콘크리트부두 하부의 단면증설에 적용 가능한 공법을 대상으로 실험시공을 실시하여 그 적용성을 평가한 결과 본 연구 대상구조물의 하부 단면증설에 가장 적합한 공법으로 습식 Jet스프레이공법이 채택되었다. 본 연구에서는 습식 Jet스프레이공법을 이용하여 철근콘크리트부두 하부 단면을 증설하는 경우 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 대상구조물의 내구성 저하원인과 특성 및 작업환경에 맞추어 최적의 재료 및 시공방법을 개발하고, 개발된 재료와 시공법을 잔교식 철근콘크리트부두 하부의 내구성증진을 위한 하부대단면 증설공사에 적용하였다.

본 연구에서 개발한 재료 및 시공방법에 의하여 철근콘크리트부두의 하부대단면을 증설하는 공정을 간단히 기술하면 다음과 같다.

#### (1) 표면준비작업

습식 Jet스프레이공법을 이용하여 철근콘크리트부두의 하부대단면을 증설하기

위하여 손상된 부위를 제거하고, 증설되는 모르터와 부착을 유도하기 위하여 표면 처리작업을 실시하였다.

먼저 철근의 부식 또는 중성화에 의하여 콘크리트에 들뜸이 있는 부위를 완전히 제거하고, 부식철근의 부식을 제거할 수 있도록 철근의 뒤쪽까지 파치한 후 노출된 철근 및 강재파일의 부식부를 완전히 제거하였다.

대상구조물은 제반시설의 확충으로 인해 300~500mm의 단면증설이 제시되었으며, 이를 위하여 단면증설용 케미컬앵커를 설치하였다. 앵커의 설치를 위해 기존 콘크리트에 근입 깊이 300mm의 천공작업을 실시하고, 케미컬앵커를 근입한 후 에폭시를 주입하여 고정시켰다.

열화부분이 제거된 콘크리트를 고압수세정기(180~250kgf/m<sup>2</sup>)를 사용하여 표면 위에 남아있는 이물질을 완전히 제거하였다.

철근부위를 포함한 시공면 바탕에 알칼리성 회복제를 롤러브러시나 에어스프레이건을 이용하여 평균 도포량 400g/m<sup>2</sup> 정도로 2회 도포하고, 요철이 많은 부위는 3회 이상 충분히 도포하였다.

도포된 알칼리성 회복제 및 염해방지제의 충분한 건조 후 노출된 철근의 방청력을 증가시키기 위하여 방청페이스트를 도포하였다.

## (2) 단면증설 작업

표면준비 작업이 완료된 구조물의 단면증설을 위하여 거더 양쪽에 거푸집을 설치하였다. 거푸집은 단면복원 지점의 하부로 300~500mm까지 설치하며, 거푸집의 고정은 특수 제작된 앵글제품을 사용하여 강재파일과 Girder에 근입된 앵커(M12-250L)와 조합하여 고정하였다.

신·구 콘크리트의 접착력을 높이기 위하여 구체 표면의 습기 등을 완전히 제거한 후 롤러와 붓을 이용하여 프라이머를 도포하였다.

철근콘크리트부두 하부의 단면증설을 위하여 단면증설용 철근을 조립하였다. 철근의 조립은 콘크리트 구체에 근입한 케미컬앵커와 강재파일에 근입한 앵커를

이용하여 견고하게 조립하였으며, 증설단면높이 300~500mm에 대하여 1회에 철근을 조립할 경우 철근 후면에 대한 모르터의 타설이 어려워지므로 조립철근의 후면까지 모르터가 충분히 타설되도록 단면증설용 철근의 조립은 총 2회에 걸쳐 실시한다.

습식 Jet스프레이공법의 실험시공에서 제시된 최적의 혼합비율에 따라 정량 투입하여 잘 혼합된 모르터를 습식 Jet스프레이공법 전용 장비를 이용하여 타설하였다. 모르터의 타설은 본 연구에서 실시한 실험시공의 결과로 제시된 시공방법에 의하여 실시하였다. 1회 타설 두께는 자중에 의해 탈락하지 않도록 20mm 정도로 수회 반복하여 타설하였으며, 최종 면은 되도록 거칠게 마감하였다. 층간 작업시간 간격은 12~48시간 이내에 실시하였으며, 리바운드량이 최소가 되도록 타설면과 노즐은 직각을 유지하였다. 1차 조립철근의 깊이까지 모르터의 타설이 완료되면 2차 단면증설용 철근을 조립하고, 동일한 방법으로 모르터를 타설하여 단면증설을 완료하였다.

### (3) 마감 및 양생

모르터의 타설이 완료된 후 거푸집을 제거하고, 모르터를 사용하여 증설된 콘크리트 표면의 마감작업을 실시하였다. 침투성 알칼리성 회복제에 의한 중성화 방지층 형성, 침투성 철근 방청제에 의한 철근표면의 방청막 형성, 구체 강화제에 의한 콘크리트의 강도 증가 등의 중성화 방지를 위한 보조공정을 실시하여 콘크리트 표면을 최종 마감하였다. 또한 저온, 건조 및 급격한 온도변화 등에 따라 유해한 영향을 받지 않고 소정의 강도발현을 할 수 있도록 습윤 양생을 실시하였다.

이상에서 나타낸 습식 Jet스프레이공법을 이용한 본 연구 대상구조물의 하부대 단면 증설 공정을 부록 "A"에 나타내었다.

## 4.5.2 품질검사

본 연구에서는 건식 Jet스프레이공법의 문제점을 해결할 수 있도록 손상원인

및 작업환경 등을 고려한 습식 Jet스프레이공법용 재료를 개발하고, 강도실험 및 리바운드실험을 통하여 현장에 적용할 수 있는 최적의 작업조건 및 시공방법을 제시하였다. 본 연구에서 개발된 재료 및 제시된 시공법에 의해 철근콘크리트부두 하부의 단면증설작업을 실시하였으며, 보강된 구조물의 구조적 기능 및 용도를 만족하기 위한 시공 품질확보 여부를 판단하기 위하여 보강 모르터의 압축강도실험, 신·구 콘크리트간 부착강도실험, 콘크리트 구체의 할렬시험 등을 실시하였다.

### (1) 콘크리트강도 실험

단면증설 보강된 철근콘크리트부두의 품질검사를 위하여 시공이 완료된 지역에서 코어를 채취하여 강도실험을 실시하였다. 보강 모르터의 압축강도실험은 콘크리트에서 절취한 코어 및 보의 강도시험 방법(KS F 2422), 신·구 콘크리트간 부착강도실험은 직접인장 부착강도시험(KS F 4716), 콘크리트 구체의 콘크리트 인장강도는 할렬 인장강도시험(KS F 2423)에 의하여 실시하였으며, 실험에 사용된 주요 시험장비 및 기구를 표 4.11에 나타내었다.

표 4.11 주요 시험장비 및 기구

시험항목	시험장비명	규격
실내재료시험 - 압축강도 - 부착강도 - 인장강도	- 만능재료시험기(100톤)	컴퓨터제어식
	- 만능재료시험기(5톤)	디지털 변위제어식
	- 항온항습장치	PID 제어식
	- 항온수조	PID 제어식, 20 ±3 ° C
현장코어채취	- 코어채취기	전기모터식(Hilti-DD 160E)
	- 펌프	-
	- Dust 포집기	Hilti
	- 발전기, 다이아몬드커터	-

대상구조물은 상당기간 해수의 침식작용에 의해 표면이 손상되어 보강 시에 손상부위를 절취하고 결손단면을 모르타르로 충전하였다. 따라서 보강 후 강도실험을 위한 코어채취는 보강재료의 구조적 또는 내구적 성능확보, 보강재료와 구체 콘크리트와의 견고한 부착성능, 구체 콘크리트와의 부착력향상을 위해 경계면에도포한 프라이머의 성능 등을 평가할 수 있도록 채취되어야 한다.

본 실험에서 코어채취는 보강작업이 완료된 후 28일에 4개소에서 콘크리트 구체와 보강 모르타르의 경계면이 걸리도록 수직면 및 수평면에 대하여 채취하였다. 코어채취방법은 4.5.4절 실험시공의 그림 4.5에서 설명한 것과 동일하며 코어채취 광경, 채취공, 채취된 코어시편 및 강도실험 장면 등을 부록 "B"에 나타내었다.

표 4.12는 채취된 코어별 시험항목과 판정기준을 나타낸 것이며, 여기에서의 판정기준은 본 공법에 이용된 보강재료의 성능에 대한 규정치를 기준으로 제시된 것이다.

표 4.12 채취된 시편별 시험항목 및 판정기준

구 분		시 편			
		Core-1	Core-2	Core-3	Core-4
평가항목		- 부착강도 - 구체콘크리트 인장강도	압축강도	부착강도	부착강도
판정 기준	압축강도	450kgf/cm <sup>2</sup> 이상			
	부착강도	파단면	보강재료	보강재료의 인장강도 이상 또는 최대인장하중시 19kgf/cm <sup>2</sup> 이상	
			경계면	최대인장하중시 19kgf/cm <sup>2</sup> 이상	
		구체콘크리트	구체콘크리트의 인장강도 이상 또는 최대인장하중시 19kgf/cm <sup>2</sup> 이상		



표 4.12에서 부착강도의 판정기준은 파단면에 따라 그 기준이 상이하다. 이는 파괴가 발생하는 파단면 위치와 형태에 따라 부착강도에 대한 평가가 구분되기 때문이며, 이러한 점을 고려하여 성능을 평가해야한다. 직접인장실험에서 가능한 파괴 발생위치 및 형태를 그림 4.10에 나타내었다.

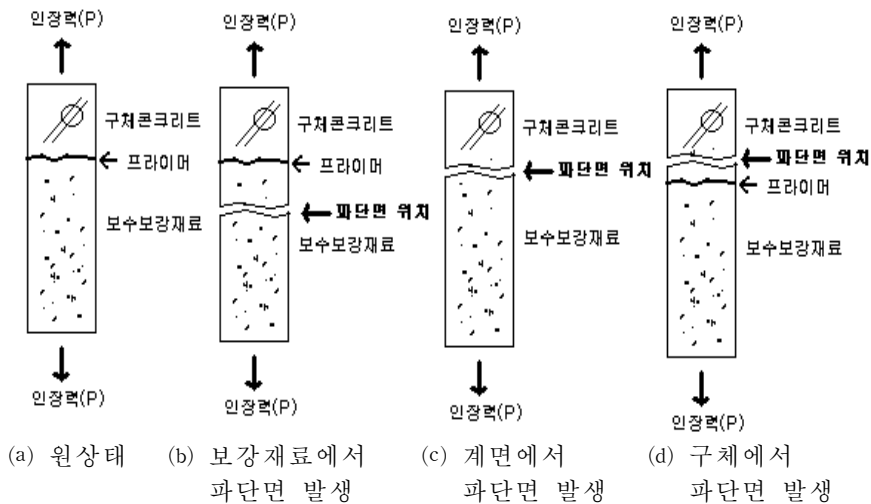


그림 4.10 인장파괴 발생가능 형태

콘크리트 모체와 보강재료간의 직접인장시험에 의한 부착강도 시험 시 인장파괴는 인장강도가 가장 약한 부위에서 발생한다. 그림 4.10(b)는 보강재의 인장강도가 콘크리트 구체의 인장강도보다 약하여 보강재료에서 파단면이 발생한 경우이며, 그림 4.10(c)는 콘크리트와 보강재 경계면의 부착이 약하거나 부착을 활성화시키기 위하여 도포한 프라이머층의 탈락 등에 의하여 부착계면에서 파단면이 발생한 경우이다. 그림 4.10(d)는 콘크리트의 인장강도가 보강재의 인장강도보다 약하여 콘크리트 모체에서 파괴가 발생한 경우로 보강된 구조물의 부착강도 실험에서 가장 바람직한 파괴모드이다.

본 품질시험에서 압축강도실험을 위한 시편은 직경 10mm 코어채취기를 이용하여 채취된 코어를  $\phi 10 \times 20\text{mm}$ 로 절단하여 제작하였으며, 부착강도실험을 위한

시편은 10×10mm의 정사각형으로 절단하여 제작하였다. 또한 활렬 인장실험을 위하여 콘크리트 구체의 코어를 채취하고, 시편을 제작하였다.

표 4.13은 채취한 시편을 이용하여 강도실험을 실시한 결과 얻어진 각 시험체별 압축강도, 부착강도 및 인장강도를 나타낸 것이다. 실험결과 측정된 부착강도 중 판정기준(19kgf/cm<sup>2</sup>) 이하인 시편은 파단면이 모두 콘크리트 구체에서 발생하였다. 이러한 원인을 분석하기 위해 채취한 코어로부터 콘크리트 구체의 활렬 인장강도 실험을 실시한 결과 콘크리트 구체의 인장강도가 16.7kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났다. 즉, 콘크리트 구체의 인장강도가 보강재의 인장강도보다 작아 콘크리트 구체에서 파괴가 발생하였으며, 이는 부착파괴의 형태 중 가장 바람직한 형태로 본 공법에 의해 증설된 보강단면의 부착강도 및 인장강도가 우수함을 입증한다.

또한 표 4.13에 나타낸 Core-3의 일부 시편에서는 보강재료에서 인장파괴가 발생하였으나 이때의 부착강도가 23.5kgf/cm<sup>2</sup>으로 판정기준 이상이며, 보강재료에서 파단 되었으므로 콘크리트 구체와 보강재 경계면에서의 부착성은 매우 우수한 것으로 판단된다.

표 4.13 강도시험 결과

시험항목	측정위치	결과치 (kgf/cm <sup>2</sup> )	파단면위치	평균 (kgf/cm <sup>2</sup> )
콘크리트구체와 보강 모르타간의 부착강도	Core-1	16.2	콘크리트 구체에서 파단	16.8
		17.3	콘크리트 구체에서 파단	
	Core-3	17.6	콘크리트 구체에서 파단	18.9
		18.4	콘크리트 구체에서 파단	
		23.5	보강재료에서 파단	
		16.3	콘크리트 구체에서 파단	
	Core-4	17.5	콘크리트 구체에서 파단	17.8
		18.2	콘크리트 구체에서 파단	
보강재료 압축강도	Core-2	547		575
		603		
구체 콘크리트 인장강도(활렬)	Core-1 (구체 부분)	16.7		16.7

단면복원이 이루어진 대부분의 구조물에서 나타나는 결합현상은 부착계면에서의 박리와 탈락이므로 본 실험에서와 같이 콘크리트 구체와 보강재에서 인장파괴가 일어나는 경우에는 장기적으로 부착경계면의 박리 및 탈락현상은 일어나지 않는다. 또한 채취한 원형 코어시편으로 실시한 보강용 모르타의 압축강도는 평가기준인  $450\text{kgf/cm}^2$  보다 높은 평균  $575\text{kgf/cm}^2$ 로 본 공법에 의해 시공된 보강단면의 압축강도가 매우 우수함을 알 수 있다.

## (2) 품질평가

습식 Jet스프레이공법에 의해 증설된 철근콘크리트부두 하부대단면의 콘크리트 강도실험 및 유리섬유 부착력실험에 대한 평가를 요약하면 다음과 같다.

1) 콘크리트 구체와 보강재의 부착강도 실험결과 대부분 콘크리트 구체에서 파괴가 발생하였으며, 이러한 원인을 분석하기 위해 실시한 콘크리트 구체의 활렬 인장강도 시험결과 보강재의 인장강도가 콘크리트 구체의 인장강도보다 우수함을 알 수 있다.

2) Core-3의 일부 시편에서는 보강재료에서 인장파괴가 발생하였으나 이때의 부착강도가  $23.5\text{kgf/cm}^2$ 으로 판정기준 이상이며, 보강재료에서 파단 되었으므로 콘크리트 구체와 보강재 경계면에서의 부착성은 매우 우수한 것으로 판단된다.

3) 보강재의 압축강도 시험결과 측정된 압축강도는 평균  $575\text{kgf/cm}^2$ 로 평가기준인  $450\text{kgf/cm}^2$  보다 높아 본 공법에 의해 시공된 보강단면의 압축강도가 매우 우수함을 알 수 있다.

4) 이상의 결과로부터 본 연구에서 개발한 재료 및 공법은 해상에 설치된 철근 콘크리트부두 하부의 단면증설에 매우 효과적임을 입증할 수 있다.

## 제5장 보강단면에 대한 내구성 및 사용성 평가

본 연구에서 염해손상된 철근콘크리트부두의 하부대단면 증설을 위하여 개발한 재료 및 시공법을 적용하여 대상구조물의 보강을 실시하였으며, 보강에 따른 구조적 성능향상을 평가하기 위하여 보강단면에 대한 내구성 및 사용성 검토를 실시하였다.

본 연구 대상구조물은 뼈대를 이루는 철근콘크리트 구조 위에 상부하중을 지지할 수 있는 판구조가 설치된 구조물로 철근콘크리트 교량과 기하적, 구조적 특성이 매우 유사하다. 이러한 잔교식 부두 또는 교량의 구조해석방법은 구조형식, 평면상태, 지지조건 등에 따라 여러 해석방법이 적용될 수 있다.

일반적으로 교량의 구조해석에 이용되는 2차원 해석방법에서는 상판을 판 또는 상호 연결된 격자로 이상화하여 해석을 수행한다. 판해석을 하는 경우에는 직교성 판방정식을 Fourier급수에 의하여 해석하거나 유한차분법에 의해 해석할 수 있다. 또한 판이론에 의거한 설계도표를 이용하여 근사해석을 할 수 있으며, 판을 이산화된 유한크기의 삼각형 또는 사각형의 요소들이 조합된 것으로 모형화하는 유한요소법을 사용하여 교량을 해석할 수 있다.

교량의 해석에 가장 일반적으로 사용되는 해석방법은 유한요소법이며, 상호 연결된 보가 강결된 절점에 의하여 연결된 것으로 근사화하여 해석한다. 이러한 경우 교량 상판은 2차원 해석의 경우 격자해석이 되고, 3차원 해석의 경우는 입체뼈대해석이 된다. 이들 해석방법은 구조해석의 강성도법에 기준하여 쉽게 전산화할 수 있다.

본 연구에서는 대상구조물의 내구성 및 사용성을 평가하기 위하여 범용 유한요소 프로그램인 SAP2000을 이용하였다. 보강단면의 내구성 평가는 보강 전·후 단면의 설계휨강도  $\phi M_n$ 과 극한모멘트  $M_u$ 를 산정하고 이를 비교하여 검토하였으며, 보강된 구조물의 사용성에 대한 평가는 보강 전·후의 균열폭과 파괴계수를 산정하고 이로부터 균열에 대한 사용성을 평가하였다.

## 5.1 구조해석조건

### 5.1.1 해석모델

보강된 단면의 내구성 및 사용성 검토를 위한 구조해석 대상구조물은 “○○잔교식 부두”의 #3, #4 Berth를 연결하는 콘크리트 구조물로서 Frame요소에 의한 격자해석을 수행하였으며, 바닥판 슬래브는 Shell요소를 사용한 FEM Model을 사용하였다. 대상구조물의 하부에 설치된 기둥의 지지점을 고정지점으로 간주하여 고차 부정정 구조로 형성하였으며, 구조해석 범용프로그램인 SAP2000을 이용하여 해석을 수행하였다.

구조해석상 편의를 위하여 구조물을 구성하는 각 부재에  $G_1 \sim G_8$ 까지 일련의 번호를 부여하였으며, 대상구조물의 기하적 형태 및 부재번호를 그림 5.1에 나타내었다. 보강된 부재의 하부에 설치된 기둥의 지지점을 고정지점으로 간주하여 형성된 해석모델의 절점과 요소를 그림 5.2에 나타내었으며, 그림 5.1에 보인  $G_1 \sim G_8$  부재에 해당되는 절점번호와 요소번호를 표 5.1, 5.2에 나타내었다.  $G_1 \sim G_8$  부재의 단면은 4가지 형태의 T형 단면으로 이루어져 있으며, #3, #4 Berth는 구형단면으로 이루어져 있다. 이러한 5가지 단면형상에 대하여 번호를 부여하였으며, 각 부재에 해당되는 단면번호를 표 5.2에 나타내었다.

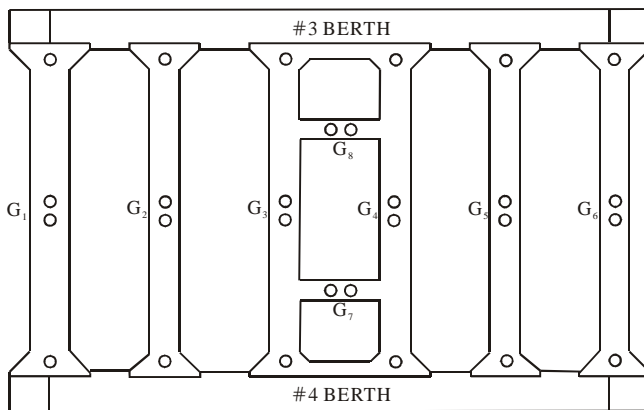


그림 5.1 구조해석 대상구조물의 부재번호

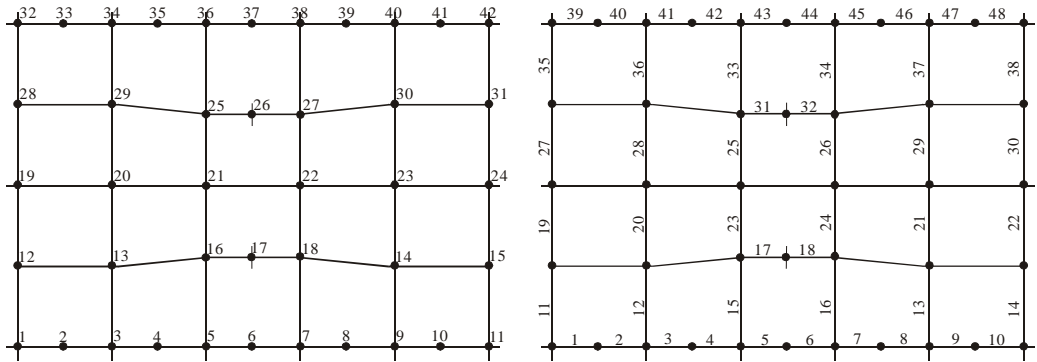


그림 5.2 해석모델의 절점번호 및 요소번호

표 5.1 각 부재별 절점번호

구분	절점번호
# 4 BERTH	1 ~ 11
G1	1, 12, 19, 28, 32
G2	3, 13, 20, 29, 34
G3	5, 16, 21, 25, 36
G4	7, 18, 22, 27, 38
G5	9, 14, 23, 30, 40
G6	11, 15, 24, 31, 42
G7	16, 17, 18
G8	25, 26, 27
# 3 BERTH	32 ~ 42

표 5.2 각 부재별 요소번호 및 단면번호

구분	요소번호	단면번호
# 4 BERTH	1 ~ 10	5-1, 5-2
G1	11, 19, 27, 35	1-1, 1-2
G2	12, 20, 28, 36	2-1, 2-2
G3	15, 23, 25, 33	3-1, 3-2
G4	16, 24, 26, 34	3-1, 3-2
G5	13, 21, 29, 37	2-1, 2-2
G6	14, 22, 30, 38	2-1, 2-2
G7	17, 18	4-1, 4-2
G8	31, 32	4-1, 4-2
# 3 BERTH	39 ~ 48	5-1, 5-2

### 5.1.2 단면조건

보강 전 대상구조물의 단면은 철근 부식 및 콘크리트 피복의 탈락이 발생하여 현장조사를 통한 자료를 토대로 보강 전 단면 제원을 표 5.3과 같이 나타내었다. 보강 후 단면에서는 보강 전의 철근과 앵커볼트 및 섬유보강콘크리트의 내하성능을 무시하였으며, 보강 후 단면제원을 표 5.4에 나타내었다.

표 5.3 보강 전 단면 제원

구분	단면	단면도
보 강 전	1-1	
	2-1	
	3-1	
	4-1	
	5-1	

표 5.4 보강 후 단면 제원

구분	단면	단면도
보 강 후	1-2	
	2-2	
	3-2	
	4-2	
	5-2	



### 5.1.3 재료조건

보강 전 콘크리트의 압축강도는 약  $166 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 보강 후 콘크리트의 압축강도는  $500 \sim 600 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 3~3.6배의 강도증진이 발생하였으나, 이는 인장측 콘크리트의 압축강도이므로 휨에 대한 구조 검토시에는 보강전의 압축강도인  $166 \text{ kgf/cm}^2$ 을 사용하였다. 구조해석에 사용된 재료의 물성치는 다음과 같다.

(1) 콘크리트

$$\text{압축강도 } f_{ck} = 166 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{탄성계수 } E_c = 15,000 \sqrt{166} = 193,261 \text{ kgf/cm}^2$$

(2) 철근(SD40)

$$\text{항복강도 } f_y = 4,000 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{탄성계수 } E_s = 2,000,000 \text{ kgf/cm}^2$$

(3) 탄성계수비

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2,000,000}{15000 \sqrt{166}} = 10.3$$

### 5.1.4 하중조건

본 연구 대상구조물에 작용하는 하중은 자중과 상재활하중 및 기계설비 하중이 있으나 기계설비하중은 #3 Berth와 #4 Berth에 재하 되어 대상 단면에서의 내하력에는 영향을 미치지 않으므로 자중과 상재활하중만을 고려하였다. 보강 전 단면에 재하한 자중과 보도하중의 재하도를 그림 5.3, 5.4에 나타내었으며, 보강 후 단면의 하중 재하도를 그림 5.5, 5.6에 나타내었다.

(1) 자중

$$\text{단위체적당 중량 } 2500 \text{ kgf/m}^3$$

$$\text{바닥판 두께 } t = 30 \text{ cm}$$

(2) 보도하중

$$500 \text{ kgf/m}^2$$

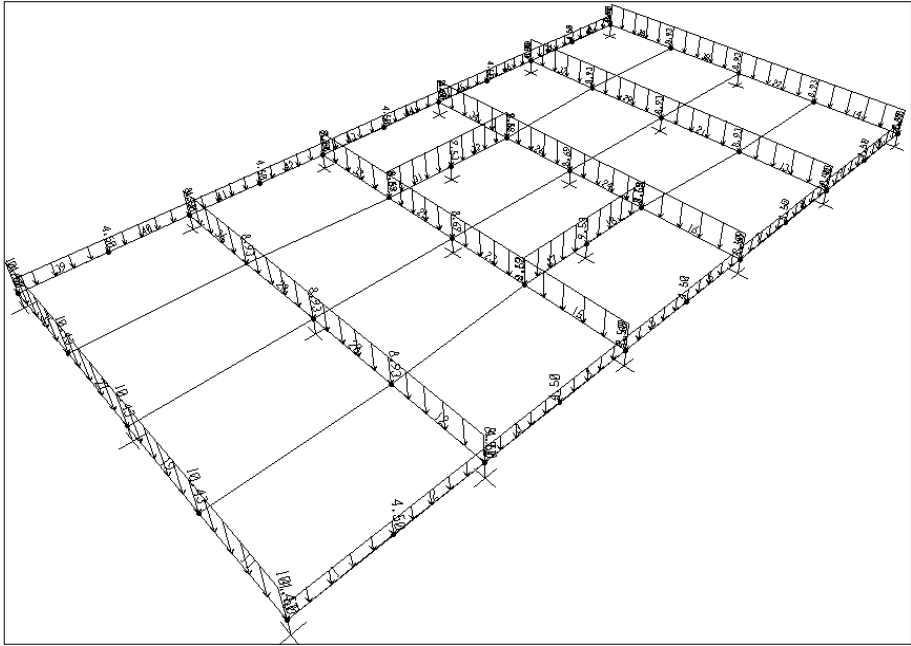


그림 5.3 보강 전 자중(L1)의 재하도

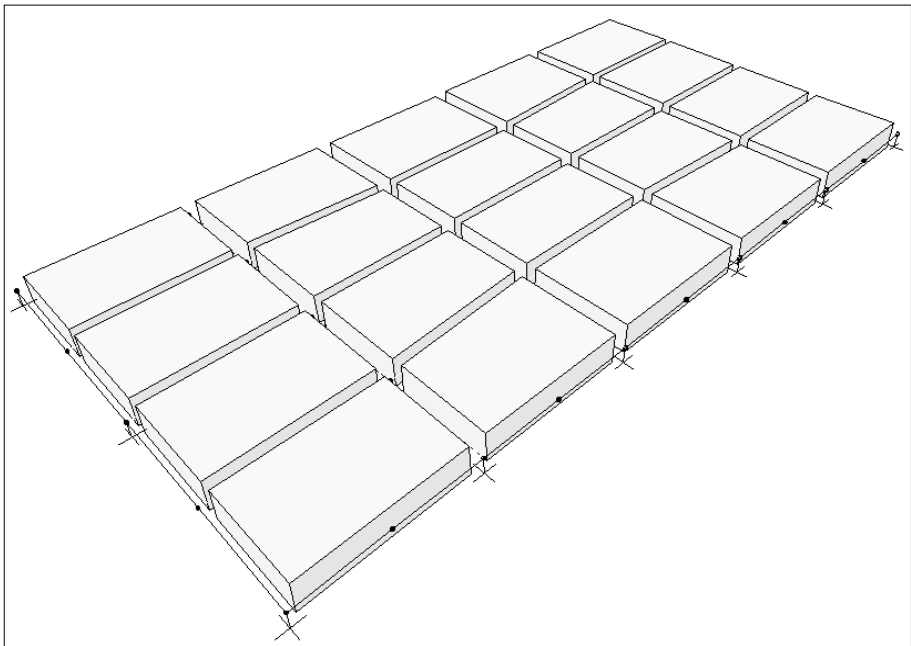


그림 5.4 보강 전 상재활하중(L2)의 재하도

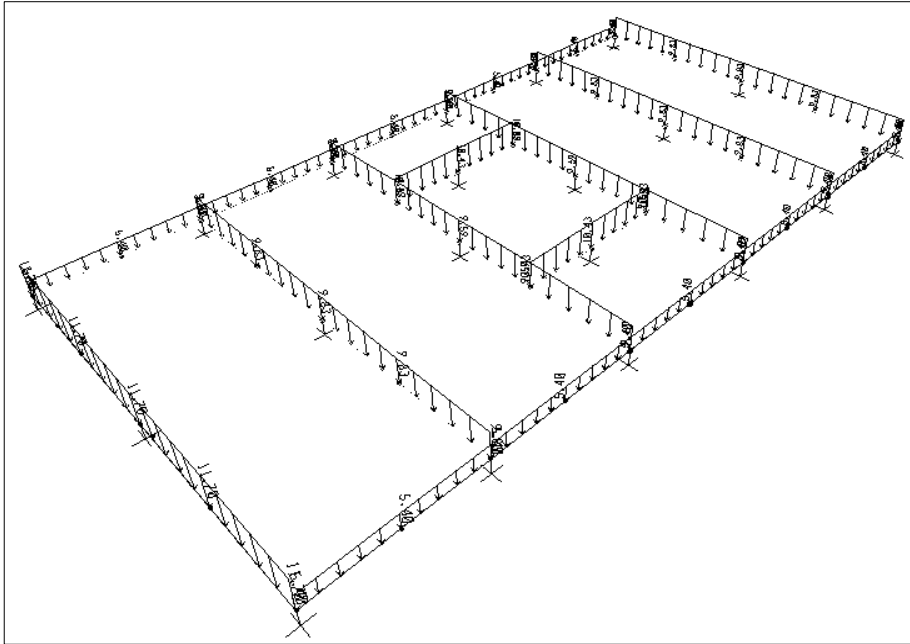


그림 5.5 보강 후 자중(L1)의 재하도

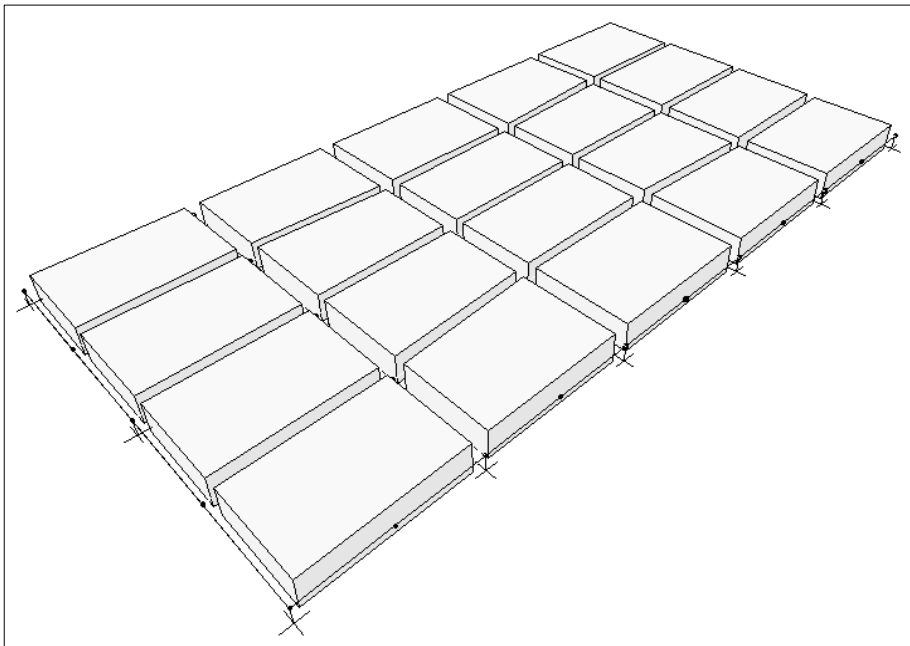


그림 5.6 보강 후 상재활하중(L2)의 재하도

## 5.2 구조해석

본 연구에서는 대상구조물의 보강 전·후의 단면에 대하여 설계휨강도와 극한모멘트를 산정하고, 이를 비교하여 보강된 구조물의 내구성 향상을 평가하였다. 이를 위하여 보강 전과 보강 후의 단면에 대하여 자중(L1) 및 상재활하중(L2)을 재하하고, 휨모멘트를 산정하였다. 그림 5.7~5.9는 보강 전 단면의 휨모멘트도를 나타낸 것이며, 그림 5.10~5.12는 보강 후 단면의 휨모멘트도를 나타낸 것이다.

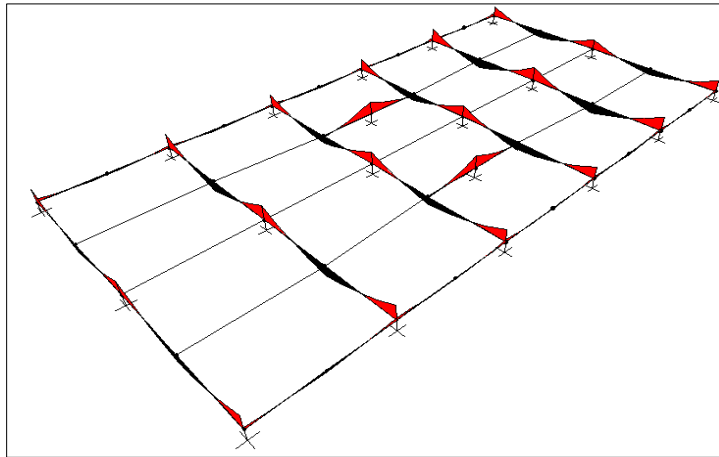


그림 5.7 보강 전 자중(L1)에 의한 휨모멘트도

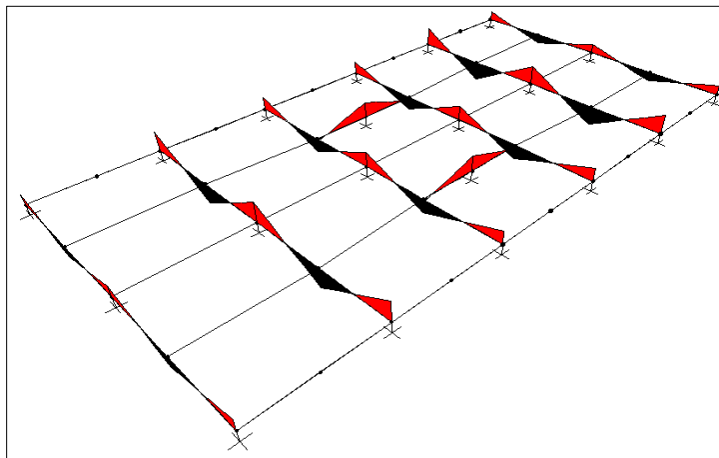


그림 5.8 보강 전 상재활하중(L2)에 의한 휨모멘트도

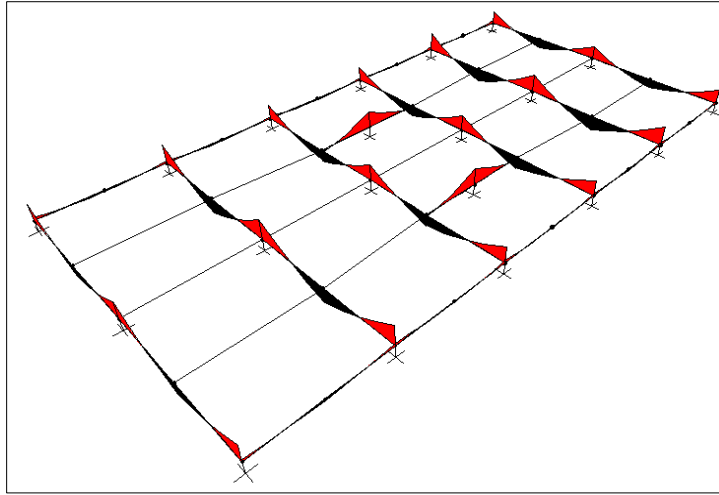


그림 5.9 보강 전 자중(L1) 및 상재활하중(L2)에 의한 휨모멘트도

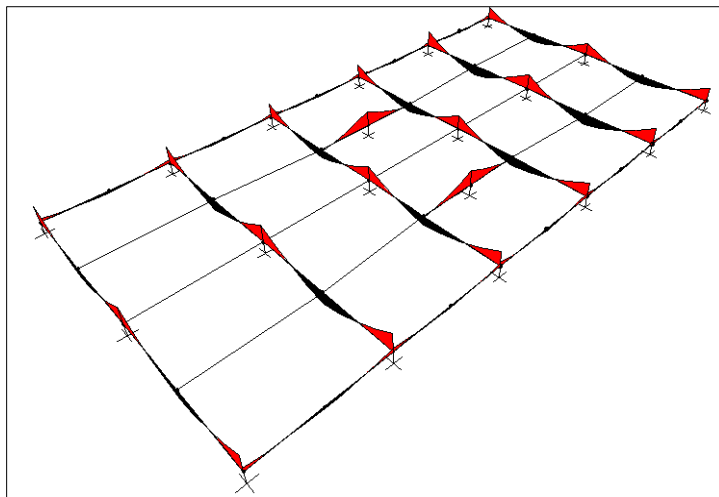


그림 5.10 보강 후 자중(L1)에 의한 휨모멘트도

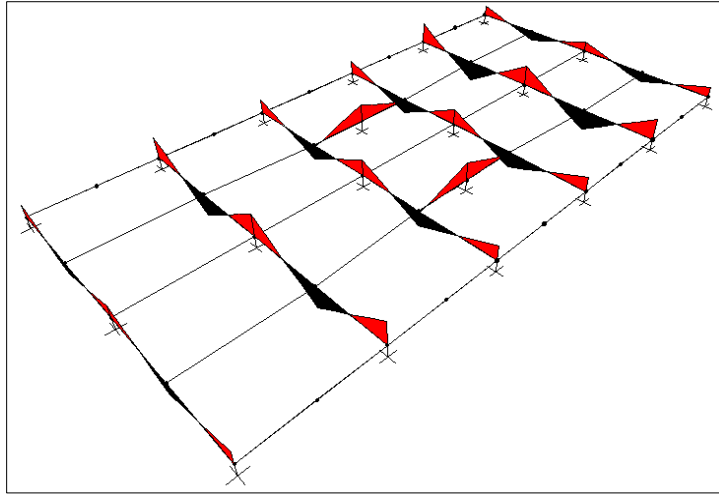


그림 5.11 보강 후 상재활하중(L2)에 의한 휨모멘트도

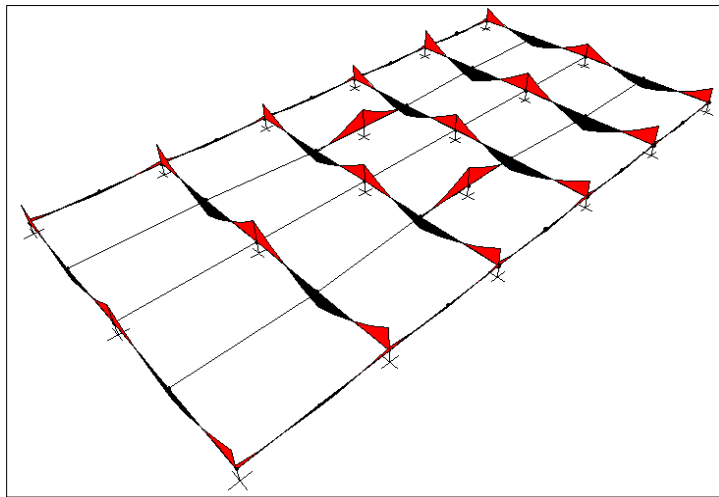


그림 5.12 보강 후 자중(L1) 및 상재활하중(L2)에 의한 휨모멘트도

본 연구에서 구조해석을 실시한 부재 중 단면제원이 상이한 5가지 패턴의 단면을 대상으로 자중과 상재활하중에 대한 휨모멘트의 합계가 최대인 부재의 보강 전·후에 대한 휨모멘트를 표 5.5에 나타내었다.

표 5.5 보강 전·후의 휨모멘트

구분		자중	상재활하중	계
보강 전	요소 11	53.95	14.02	67.97
	요소 12	67.98	27.08	95.06
	요소 23	53.48	19.08	72.56
	요소 31	15.61	4.92	20.53
	요소 1	8.77	0	8.77
보강 후	요소 11	58.35	14.09	72.44
	요소 12	71.67	27.37	99.04
	요소 23	56.56	19.23	75.79
	요소 31	13.63	4.09	17.72
	요소 1	10.53	0	10.53

### 5.3 내구성 평가

본 연구에서는 보강 전·후의 단면에 대하여 설계휨강도와 극한모멘트를 계산하고, 이로부터 안전율을 산정하여 비교함으로써 내구성능 향상을 평가하였다.

본 연구 대상구조물은 바닥판 슬래브와 보요소를 일체로 타설한 T형단면의 철근콘크리트 구조이다. 따라서 대상구조물을 T형보로 간주하고, 극한강도 설계법에 의하여 구조검토를 실시하였다. 보강 전의 단면에 부착된 휨 철근은 열화손상이 극심하여 부식도가 50~100%로서 휨 철근으로서의 기능수행이 불가능한 수준에 이르렀으므로 본 연구에서는 보강 전 철근의 단면을 초기상태의 50%에 대하여 구조검토를 실시하였다. 대상 부재의 단면을 해석하기 위하여 등가응력깊이  $a$ 와 플랜지 두께  $t_f$ 를 비교하여 해석하고자 하는 단면의 형상을 결정하였으며, 그 결과에 따라 설계 휨강도와 극한 휨모멘트를 각각 산정하였다. 계산방법은 일반적인 강도 설계법에 의한 철근콘크리트 보의 휨 해석방법을 사용하였으며, 이를 간략히 기술하면 다음과 같다.

(1) 해석단면 결정

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} \quad (5.1)$$

$a > t$  : T형보로 해석 실시

$a \leq t$  : 폭  $b$ 인 구형보로 해석 실시

여기서,  $a$  : 등가응력깊이,  $A_s$  : 철근의 단면적,  $b$  : 복부 폭

$f_y$  : 철근의 항복,  $f_{ck}$  : 콘크리트의 압축강도

(2) 설계모멘트강도  $\phi M_n$ 의 산정

$$\phi M_n = \phi f_y A_s \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (5.2)$$

여기서,  $\phi$  : 강도감소계수

$d$  : 유효높이

(3) 극한하중  $M_u$ 의 산정

활하중에 의한 휨모멘트 산정 시에는 보도하중의 크기가  $500 \text{ kgf/m}^2$ 에 불과하므로 충격을 고려하지 않았으며, 하중계수는 콘크리트 구조설계기준에 수록된 값을 사용하였다.

$$M_u = 1.4 M_d + 1.7 M_l \quad (5.3)$$

여기서,  $M_d$  : 자중에 의한 휨모멘트,  $M_l$  : 상재활하중에 의한 휨모멘트

본 연구 대상구조물의 모든 T형단면은 등가응력깊이  $a$ 가 플랜지 두께  $t$ 보다 작게 계산되어 모두 구형단면으로 해석하였다. 보강 전 단면의 휨에 대한 구조검



토결과를 표 5.6에 나타내었으며, 보강 후 단면의 휨에 대한 구조검토결과를 표 5.7에 나타내었다.

표 5.6 보강 전 단면의 휨에 대한 구조검토

단면번호 (부재번호)	단면도	휨 해석	비고
1-1 (11)		$a = 0.73 \text{ cm}$ $\Phi M_n = 92.7 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $M_u = 99.4 \text{ tf} \cdot \text{m}$	구형보
2-1 (12)		$a = 0.73 \text{ cm}$ $\Phi M_n = 92.7 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $M_u = 141.2 \text{ tf} \cdot \text{m}$	구형보
3-1 (23)		$a = 0.76 \text{ cm}$ $\Phi M_n = 92.7 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $M_u = 107.3 \text{ tf} \cdot \text{m}$	구형보
4-1 (31)		$a = 0.65 \text{ cm}$ $\Phi M_n = 92.7 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $M_u = 30.2 \text{ tf} \cdot \text{m}$	구형보
5-1 (1)		$a = 4.30 \text{ cm}$ $\Phi M_n = 91.6 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $M_u = 12.3 \text{ tf} \cdot \text{m}$	구형보

표 5.7 보강 후 단면의 휨에 대한 구조검토

단면번호 (부재번호)	단면도	휨 해석	비고
1-2 (11)		$a = 3.17 \text{ cm}$ $\Phi M_n = 481.8 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $M_u = 105.6 \text{ tf} \cdot \text{m}$	구형보
2-2 (12)		$a = 3.17 \text{ cm}$ $\Phi M_n = 481.8 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $M_u = 146.9 \text{ tf} \cdot \text{m}$	구형보
3-2 (23)		$a = 3.32 \text{ cm}$ $\Phi M_n = 481.6 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $M_u = 111.9 \text{ tf} \cdot \text{m}$	구형보
4-2 (31)		$a = 2.85 \text{ cm}$ $\Phi M_n = 482.2 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $M_u = 26.0 \text{ tf} \cdot \text{m}$	구형보
5-2 (1)		$a = 18.76 \text{ cm}$ $\Phi M_n = 460.7 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $M_u = 14.7 \text{ tf} \cdot \text{m}$	구형보

표 5.8은 보강 전·후 단면의 설계휨강도와 극한모멘트 및 이를 이용한 안전율 ( $\Phi M_n / M_u$ )의 값을 나타낸 것이다. 이 표에 나타난 바와 같이 보강 후의 안전율은 보강 전의 안전율에 비하여 4.21~6.04배 까지 매우 크게 증가하여, 본 연구에서 철근콘크리트 부두의 하부대단면 증설을 위하여 개발한 재료 및 시공법이 구조물의 내하력 증가에 매우 효율적임을 증명할 수 있다.

표 5.8 휨에 대한 구조해석 결과

구분	강도	보강 전	보강 후	안전율 비
요소 11	$\Phi M_n$	92.7	481.8	4.90
	$M_u$	99.4	105.6	
	$\Phi M_n / M_u$	0.93	4.56	
요소 12	$\Phi M_n$	92.7	481.8	4.97
	$M_u$	141.2	146.9	
	$\Phi M_n / M_u$	0.66	3.28	
요소 23	$\Phi M_n$	92.7	481.6	5.00
	$M_u$	107.3	111.9	
	$\Phi M_n / M_u$	0.86	4.30	
요소 31	$\Phi M_n$	92.7	482.2	6.04
	$M_u$	30.2	26.0	
	$\Phi M_n / M_u$	3.07	18.55	
요소 1	$\Phi M_n$	91.6	460.7	4.21
	$M_u$	12.3	14.7	
	$\Phi M_n / M_u$	7.45	31.34	

$$\text{안전율 비} = \frac{(\Phi M_n / M_u)_{\text{보강 후}}}{(\Phi M_n / M_u)_{\text{보강 전}}}$$

### 5.4 사용성 평가

구조물의 기능과 성능을 유지하기 위한 사용성 검토는 일반적으로 균열, 처짐, 피로의 영향을 고려하여 판단한다. 본 연구에서는 사용하중에 의한 휨균열폭을 산정하여 대상구조물의 사용성을 평가하였다.

인장철근의 설계항복강도가 3,000 kgf/cm<sup>2</sup> 이상인 경우 다음 식으로부터 균열폭을 계산한다.

$$w = 1.08\beta_c f_s \sqrt{d_c A} \times 10^{-5} \text{ (mm)} \tag{5.4}$$

여기서,  $d_c$ : 인장면에서 철근군(인장면으로부터 가장 가까운 철근군)의 도심까지의 거리

$$\beta_c = \frac{\text{단면의 인장측 연단으로부터 중립축까지의 거리}}{\text{단면의 주철근 도심으로부터 중립축까지의 거리}}$$

$A$ : 주인장철근 주위의 콘크리트 단면적을 철근의 개수로 나눈 유효인장 단면적(그림 5.13)

$f_s$ : 사용하중에 의해 계산된 철근의 인장응력

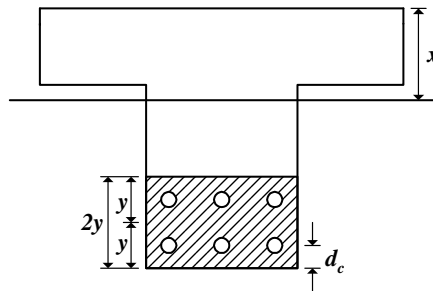


그림 5.13 유효인장단면적

강재의 부식에 대한 콘크리트의 허용 균열폭은 100mm이하의 피복두께에 대하여 다음 표 5.9와 같이 사용한다.

균열폭을 검토하는 경우 구조물이 설치된 환경조건을 고려해야 하며, 강재의 부식에 대한 환경조건은 표 5.10과 같이 건조한 환경, 습윤 환경, 부식성 환경 및 고부식성 환경으로 구분된다.

표 5.9 허용균열폭  $w_a$ (mm)

강재의 종류	강재의 부식에 대한 환경조건			
	건조한 환경	습윤 환경	부식성 환경	고 부식성 환경
이형철근	0.006 $t_c$	0.005 $t_c$	0.004 $t_c$	0.0035 $t_c$
PS 강재	0.005 $t_c$	0.004 $t_c$	-	-

$t_c$  : 최외단 철근표면과 콘크리트 표면사이의 최소 피복두께(mm).

표 5.10 강재의 부식에 대한 환경조건의 구분

건조한 환경	일반옥내 부재, 부식의 우려가 없을 정도로 보호한 경우의 보통 주거 및 사무실 건물 내부
습윤 환경	일반 옥외의 경우, 흙 속의 경우
부식성 환경	① 습윤 환경과 비교하여 건습의 반복 작용이 많은 경우, 특히 유해한 물질을 함유한 지하수위 이하의 흙 속에 있어서 강재의 부식에 해로운 영향을 주는 경우, 동결작용이 있는 경우, 동상방지제를 사용하는 경우 ② 해양콘크리트 구조물 중 해수 중에 있거나 극심하지 않은 해양환경에 있는 경우(가스, 액체, 고체)
고부식성 환경	① 강재의 부식에 현저하게 해로운 영향을 주는 경우 ② 해양콘크리트 구조물 중 간만조위의 영향을 받거나 비말대에 있는 경우, 극심한 해풍의 영향을 받는 경우

본 구조물은 고부식성 환경에 해당되는 구조물로 허용 균열폭  $w_a = 0.0035 t_c$  를 이용하였고, 보강 전·후 인장축 콘크리트의 압축강도가 상이하므로 파괴계수를 통하여 균열검토를 실시하였다.

균열에 대한 검토에서는 휨에 대한 구조 검토와 동일한 해석단면을 적용하였으며 본 연구에서는 다음과 같은 과정을 통하여 균열검토를 실시하였다.

- (1) 탄성계수비

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (5.5)$$

- (2) 철근비

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad (5.6)$$

- (3) 중립축 높이

$$x = (-n\rho + \sqrt{(n\rho)^2 + 2n\rho})d \quad (5.7)$$

- (4) 단면2차모멘트

$$I_{cr} = \frac{bx^3}{3} + nA_s(d-x)^2 \quad (5.8)$$

- (5) 철근의 인장응력

$$f_s = n \frac{M}{I_{cr}} (d-x) \quad (5.9)$$

- (6) 인장축 연단에서의 콘크리트의 인장응력

$$f_{ct} = \frac{f_s}{n} \frac{h-x}{d-x} \quad (5.10)$$

- (7)  $\beta_c$ ,  $d_c$ ,  $A$ 의 산정

- (8) 휨균열폭 산정

$$w = 1.08\beta_c f_s^3 \sqrt{d_c A} \times 10^{-5} \quad (5.11)$$

- (9) 파괴계수 산정

$$f_r = 2.0 \sqrt{f_{ck}} \quad (5.12)$$

이상의 과정을 통하여 계산된 보강 전과 보강 후의 균열폭 및 인장축 연단에서의 콘크리트의 인장응력 등을 표 5.11에 나타내었으며, 이를 토대로 하여 보강 전·후의 균열에 대한 사용성 검토를 실시하였다.

표 5.11 보강 전·후의 균열관련 요소

구분	$n$	$\rho$	$x$ (cm)	$I_{cr}$ ( $\text{cm}^4$ )	$f_s$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )	$f_{ct}$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )	$w$ (mm)	$f_r$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )	
보 강 전	부재11	10.3	0.00018	8.6	3,642,051	2,622	263.9	0.36	25.8
	부재12	10.3	0.00018	8.6	3,642,051	3,667	369.1	0.44	25.8
	부재23	10.3	0.00019	8.9	3,635,500	2,798	282.5	0.34	25.8
	부재31	10.3	0.00016	8.1	3,657,109	791.6	79.9	0.10	25.8
	부재1	10.3	0.0011	20.2	3,252,602	346.6	35.0	0.04	25.8
보 강 후	부재11	10.3	0.00068	18.4	19,054,970	574.0	61.4	0.12	44.7
	부재12	10.3	0.00068	18.4	19,054,970	784.8	83.8	0.13	44.7
	부재23	10.3	0.00071	18.8	18,986,543	601.1	64.2	0.11	44.7
	부재31	10.3	0.00061	17.5	19,208,480	140.2	15.0	0.03	44.7
	부재1	10.3	0.004	41.1	15,334,750	87.6	9.5	0.02	44.7

보강 전과 보강 후의 균열폭과 인장축 연단 콘크리트의  $f_{ct}$ 의 값을 통하여 보강 전·후의 균열에 대한 사용성 검토를 실시하고 그 결과를 표 5.12에 나타내었다. 보강 전 단면에서는 부재1과 부재31을 제외하고 모든 단면에서 허용 균열폭을 초과하였으나, 보강 후에는 모든 단면에서의 균열폭이 허용 균열폭 이하로써 균열에 대한 사용성을 만족하였다. 또한 보강 후 인장축 연단 콘크리트의 강도증진에 따른 균열에 대한 사용성을 검토하기 위하여 인장축 연단 콘크리트의 인장응력과

파괴계수를 비교한 결과 보강 후의 단면이 보강 전의 단면에 비교하여 파괴계수가 크게 증가하여 균열에 대한 사용성이 매우 양호한 것으로 나타났다.

표 5.12 균열에 대한 사용성 검토결과

구분		균열폭 $w$ (mm)	허용균열폭 $w_a$ (mm)	인장응력 $f_{ct}$ ( kgf/cm <sup>2</sup> )	파괴계수 $f_r$ ( kgf/cm <sup>2</sup> )
보강 전	요소 11	0.36	0.175	263.9	25.8
	요소 12	0.44		369.1	
	요소 23	0.34		282.5	
	요소 31	0.10		79.9	
	요소 1	0.04		35.0	
보강 후	요소 11	0.12	0.350	61.4	44.7
	요소 12	0.13		83.8	
	요소 23	0.11		64.2	
	요소 31	0.03		15.0	
	요소 1	0.02		9.5	

## 5.5 평가결과

이상에서 살펴본 바와 같이 본 연구 대상구조물의 하부대단면 보강 후 구조물의 내하력이 크게 증가하고, 균열에 대한 사용성을 만족하였다. 따라서 해양환경에 놓인 철근콘크리트구조물의 하부대단면을 크게 증설하는 경우 본 연구에서 개발한 재료 및 시공법을 이용하면 대상구조물의 내구성을 크게 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다.



## 제6장 결 론

본 논문은 염해손상된 철근콘크리트구조물의 하부대단면 보강에 관한 연구로 해양환경에 설치된 구조물의 내구성 증진을 위한 하부대단면의 보강공법개발 및 재료의 적합성, 내구성, 사용성을 확인하기 위하여 하부대단면이 심하게 손상된 잔교식 부두를 연구 대상구조물로 택하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공법선정은 해양환경의 기후조건, 환경오염, 조수간만의 차이에 따른 작업시간의 제한, 하부에서 상부로 중력과 반대방향으로 300~500mm 구조체 증설의 문제점을 해결하고 작업공간이 협소한 경우에도 원활한 작업이 가능하며, 작업 시간 차이를 두고 수회에 걸쳐 반복 작업으로 소정의 두께를 얻어 층간 시공에 따른 Cold Joint를 예방함으로써 구조체를 일체화하여 내구성과 사용성을 증진시킬 수 있는 습식 Jet스프레이공법의 타당성을 확인할 수 있었다.
2. 습식 Jet스프레이공법의 구조물에 적합한 재료는 기존의 급결재, 초속경재 등의 재료를 배제하고, 특수섬유보강재와 폴리머 분산제 및 아크릴 에멀전계의 접착제 등을 혼합 조제한 특수시멘트모르타르로 구체콘크리트와 부착성능, 압축강도 등을 증진시키고 균열발생 원인이 제거된 사용성, 내구성 등이 판정 기준이상이 확보되어 개발된 모르타르가 우수한 재료임을 알 수 있었다.
3. 습식 Jet스프레이공법과 재료를 사용하여, 내구성과 사용성을 분석한 결과 보강 전·후의  $\phi M_n / M_u$ 의 값을 통한 내하력은 안전율 비가 4.21~6.04 로서 보강 후 단면의 휨에 대한 안전율이 크게 증가되었고, 또한 사용하중에 의한 사용성도 만족한 것으로 나타났다.

4. 인장축 콘크리트의 강도증가에 따른 균열에 대한 사용성은 인장축 전단콘크리트의 인장응력과 파괴계수( $f_r$ )는 보강후의 단면이 보강전의 단면에 비교하여 파괴계수가 25.8 kgf/cm<sup>2</sup>에서 44.7 kgf/cm<sup>2</sup>으로 약 73%가 크게 증가하였고, 모든 단면의 균열폭이 허용균열폭 이하로 균열에 대한 사용성이 좋은 것으로 나타났다.
  
5. 개발된 보강재료 및 공법은 해양환경에 대한 오염발생 가능성이 거의 없으며, 해상에서의 작업이 원활하고 신·구 콘크리트사이의 부착력 및 모르타 층간의 부착력이 우수하여 해양환경의 고부식환경에 설치된 콘크리트 구조물의 보강에 적합함을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 철근콘크리트구조물의 보수·보강 신기술 개발, 한양대학교 공학기술연구소, 1995.
2. 건설교통부, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 한국시설안전기술공단, 2003.
3. 건설교통부, 콘크리트 구조물의 균열, 누수 보수·보강 전문 지방서, 한국시설안전기술공단, 2005.
4. 권영진, 김무한, 강석표, “국내 철근콘크리트구조물의 중성화 현황 및 중성화에 의한 콘크리트의 물성변화,” 한국구조물진단학회지, 제5권, 제3호, 2001, pp. 15-21.
5. 권영진, 이종열, 김무한, “중성화, 염해, 동해 등의 복합열화에 기인한 항만구조물에 대한 내구성 회복을 위한 보수·보강공사,” 한국구조물진단학회지, 제5권, 제4호, 2001, pp. 76-83.
6. 김동훈, 임남기, 이상범, “철근콘크리트의 염해와 중성화 피해 사례 연구”, 한국건축시공학회지, 제 2권, 제 2호, 2002, pp.165-172.
7. 김무한, 염해 및 중성화 피해를 입은 콘크리트 구조물의 내구성회복을 위한 보수공법 시스템 개발 및 실용화 방안, 건설교통부, 한국건설교통기술평가원, 2001.
8. 김무한, 김재환, 조봉석, 박종호, “성능저하된 철근콘크리트구조물 폴리머시멘트계 보수용 단면복구재의 내구성 평가에 관한 실험적 연구,” 한국구조물진단학회, 제10권, 제1호, 2006, pp. 123-130.
9. 김성철, 김해수, 전민하, 김형문, “염해에 대한 해양콘크리트 구조물의 내구성 평가”, 한국구조물진단학회 봄 학술발표회 논문집, 2004, pp.455-462.
10. 김영선, 나철성, 김영덕, 조봉석, 김재환, 김무한, “폭로 실험에 의한 철근콘크리트구조물의 보수재료·공법의 내구성능평가,” 한국콘크리트학회 봄 학술발표회논문집, 2005, pp. 247-252.
11. 김용로, 염해 및 중성화에 의해 성능저하된 철근콘크리트구조물의 성능평가기법 개발에 관한 연구, 충남대학교 대학원, 박사학위논문, 2005.
12. 등록실용신안공보, 특허청, 2002.
13. 박정준, 고경택, 강수태, 김성욱, “초고강도 강섬유 시멘트 복합체의 구성인자가 압축강도에 미치는 영향,” 한국콘크리트학회지, 제17권, 제1호, 2005, pp.

35-41.

14. 박종호, 김영덕, 장종호, 김재환, 김용로, 김무한, “해양 및 일반대기 환경에서의 장기폭로실험에 의한 보수재료·공법의 평가에 관한 연구”, 한국구조물진단학회 봄 학술발표회 논문집, 2004, pp.439-444.
15. 배기선, 백신원, 김진만, “콘크리트 구조물의 단면복구기술(Ⅲ)”, 한국구조물진단학회, 제10권, 제1호, 2006, pp. 51-56.
16. 배수호, “염해환경하에 있는 철근콘크리트구조물의 내구성 향상 대책”, 농공기술, 농어촌 진흥공사 농어촌 연구원, 1998, pp. 65-89.
17. 신기술동향조사보고서(제1권) : 환경/에너지분야, 구조물 보수보강기술, 특허청, 제1권, 2002.
18. 심보현, “콘크리트 구조물의 염해”, 럭키개발 건설기술 연구보고, 1992, pp. 12-29.
19. 안형준, “경화 철근콘크리트구조물의 염해진단 방안”, 한국구조물진단학회지, 제 4권, 제 4호, 2000, pp.20-28
20. 오병환, “방청시멘트 도막철근의 내부식성능 및 부착성능 연구”, 서울대학교 쌍용양회 공업주식회사, 1997.
21. 오홍섭, 심종성, 이차돈, 최완철, 홍기섭, 신영수, “단면증설된 R/C보의 보수·보강 효과 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표회논문집, 1996, pp. 416-424.
22. 이광명, 구현본, “해양 환경에 노출된 철근 콘크리트 구조물의 수명 평가”, 한국구조물진단학회, 제4권, 제3호, 2000, pp. 39-46.
23. 이용은, 장태석, 양우석, “해양 구조물의 염해 방지 대책”, 한국도로공사, 1997.
24. 이종석 외 3인, “해사 사용시 염화물이 콘크리트 내구성에 미치는 영향에 관한 조사 연구”, 한국건설기술연구원, 1999, pp. 9-11.
25. 이창수, 김성수, 윤인석, “도심지에 위치한 콘크리트 구조물의 내구성 저하”, 한국콘크리트학회 연구위원회 발표집, 2000, pp. 72-86.
26. 정영수, “염해 및 탄산화에 대한 철근콘크리트구조물의 내구성 설계·시공·유지관리 지침”, 한국콘크리트학회지, 2003.
27. 최완철, 류해준, 김병국, 홍기섭, 홍영균, 신영수, “에폭시접착 보강 철근콘크리트보의 구조성능에 관한 연구” 대한건축학회 학술발표회 논문집, 제 14권, 제 2호, 1994, pp.585-90.
28. 최창식, 나정민, “국내외 철근 콘크리트조 건축물의 염해 피해 사례 및 대책”, 한국구조물진단학회지, 제4권, 제4호, 2000, pp. 3-9.
29. 태성호, “중성화와 염해의 복합 열화 환경하의 콘크리트 내에서의 Cr강방식철

- 근의 방식성,” 한국구조물진단학회지, 제10권, 제3호, 2006, pp.115-122.
30. 한일영, “습식 숏크리트 공법 고성능화 연구”, 99연구개발사업 최종보고서, SK 건설, 2001.
  31. 大郎信明, 久田, 大谷隆之 and 丸山俊夫, “電氣泳動實驗によるモルタル中の鹽化物イオン擴散係數の推計”, 土木學會論文集, Vol.39, No.592, 1998, pp.97-105.
  32. 日本コクリート工學協會 炭酸化研究委員會 コクリートの炭酸化に関する 研究の現狀, 1993. 3.
  33. 三浦 尚 “除雪濟による鐵筋コンクリートの構造物の劣化” 콘크리트工學年次講演會, Vol. 38, No. 6, 2000, pp.3~8.
  34. 竹田宣典, 十河武幸, 迫田惠三. and 出光 隆, 種々海洋環境條件におけるコソクリートの鹽分浸透と鐵筋腐食する實驗的研究, 土木學會論文集, vol. 40, No. 599, 1998, pp.91-104.
  35. 丸屋 剛, Somnuk T., and 松岡康訓, “コソコート表層部における塩化物イオンの移動に するモデル化”, 土木學會論文集, Vol. 38, No. 585, 1992, pp.79-95.
  36. 芭田公伸, 大瀬 宝, 半田 實, 石橋孝一, 酒井 智, “電氣化學的處理による 鐵筋コクリート構造物からの鹽分除去における適用事例, コクリート構造物の補修公法と電氣防食に関するシンポジウム論文集, 1994. 10.
  37. ACI 210. 2R-92, “Guide to Durable Concrete,” ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Materials and General Properties of Concrete, 1994
  38. Alfarabi Sharif, et al., “Strengthening of Initially Loaded Reinforced Concrete Beams Using FRP Plates”, ACI Structural Journal, Vol. 91, No. 2, 1994.
  39. Amey. S. L., Johnson. D. A., Miltenberger. M. A. and Farzam. H., “Predicting the Service Life of Concrete Marine Structures : An Environmental Methodology,” ACI Structural Journal, Vol. 95, No. 2, 1998, pp. 205-214.
  40. Bazant, Z., “Physical Model for Steel Corrosion in Concrete Sea Structure - Theory, Journal of the Structural Division”, Proc. of ASCE, Vol 105, No. ST6, Paper 1651, 1979, pp. 1137-1153.
  41. Bentur, A. and Mindess, S., “Fiber-Reinforced Cement Composites”, Elsevier Applied Science, London, 1990.
  42. Broomfield, J.P., “Corrosion of Steel in Concrete,” E & F.N. Spon, 1997.
  43. Browne, R. D., “Mechanism of Corrosion of Steel Concrete in Relation to

- Design, Inspection and Repair of Offshore and Coastal Structures," ACI SP-65, 1980, pp. 154-178.
44. Chen, J.F. and Teng, J.G., "Anchorage strength models for FRP and steel plates attached to concrete", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 127, No. 7, 2001, pp. 784~791.
  45. Denison Campbell-Allen, Harold Roper, "Concrete Structures ; Materials, Maintenance and Repair," Longman Scientific & Technical, 1991.
  46. Harajli, M.H., "Strengthening of Concrete Beams by External Prestressing", *PCI Journal*, 1993, Vol 38, Issue 6.
  47. Harding, J.E., Parke, G.A.R. & Ryall, H.J., *Bridge Management 2 ; inspection, maintenance and repair*, Thomas Telford, 1993.
  48. Haussmann D. A., "Steel Corrosion in Concrete," *Materials Protection*, 1967, pp. 19~23.
  49. Morgon, D.R., Heere, R., McAskil, N. and Chan, C., "Comparative Evaluation of System Ductility of Mesh and Fiber Reinforced Shotcrete", *Shotcrete for Underground Support VIII*, April, 1999, pp.1-23.
  50. Nakaba, K., Kanakubo, T., Furuta, T., & Yoshizawa, H. F., "Bond Behavior between Fiber-Reinforced Polymer Laminates and Concrete," *ACI Structural Journal*, 2001.
  51. Nikolas. P., Thanasis. C. and Daniele. V., "Reliability of RC Members Strengthened with CFRP Laminates", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 121, No. 7, 1995.
  52. Page C. L., P. Lambert, P. R. W. Vassie, "Investigations of Reinforcement Corrosion. 1. The Pore Electrode Phase in Chloride-Contaminated Concrete," *Materials and Structures*, Rilem, Paris, Vol. 24, 1991, pp 243-252.
  53. Philip A., David, A., Lu L. and Connelly G., "External Reinforcement of Concrete Beams using Fiber Reinforced Plastics", ACI, 1991.
  54. Quantrill and Hollaway, "The Flexural Rehabilitation of Reinforced Concrete Beams by the use of Prestressed Advanced Composite Plates", 1998.
  55. Raina, V.K., "Concrete Bridge," Tata McGraw-Hill, 1994.
  56. Saadatmanesh, H. and Ehsani, M.R., RC Beams Strengthened with GFRP Plates II, Analysis and Parametric Study. In *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 11, 1991.

57. Samer Najjar, "Finite Element Analysis of GFRP Reinforced Concrete Beams", ACI Structural Journal, 1997.
58. Smith, S.T. and Teng, J.G., "Interfacial Stresses in Plated Beams", Engineering Structures, Vol. 23, Issue 7, 2000, pp. 857-871.
59. Smith, S. T. and Teng. J. G., FRP-strengthened RC beams. I, II : review of debonding Strength models, In Engineering Structures 24, 2002, pp. 385-417
60. Tang. L., Chloride Transport in Concrete, Division of Building Materials, Chamers University of Technology, Goteborg, Pub, 1996.
61. Thoft-Christensen P., "Stochastic Modelling of the Crack Initiation Time for Reinforced Concrete Structures," Structures Congress, Philadelphia, 2000.
62. Tom Norris, Hamid Saadatmanesh and Mohammad R. Ehsani, "Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets," ASCE, 1997.
63. Triantafillou, T.C., Deskovic, N. and Deuring, M.F., "Strengthening of Concrete Structures with Prestressed Fiber Reinforced Plastic Sheets", In ACI Structural Journal, 1992, pp.235-244
64. Wight, "Post-Strengthening Prestressed Concrete Beams with Prestressed FRP Sheets", ACI Structural Journal, 1996.
65. Wu, "Retrofitting Method for Reinforced Concrete Structures with Externally Prestressed Carbon Fiber Sheets", ASCE, 1999.
66. Xi. Y., Bazant, Z. P., "Modeling Chloride Penetration in Saturated Concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 11, No1, 1999, pp. 58-65.
67. Zhishen Wu, Hong Yuan, Hedong Niu, "Stress Transfer and Fracture Propagation in Different kinds of Adhesive Joints," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 128, No. 5, 2002, pp. 562-573.

## 부록 A. 보강공사 공정



열화콘크리트의 제거

전동해머 등으로 들뜸 부를 완전히 제거,  
연약부위는 와이어 브러시 이용



단면증설용 케미컬앵커 설치

근입 깊이 300mm의 천공작업을 실시,  
케미컬앵커 근입 후 에폭시 주입하여 고정



열화부위 고압세척

고압수세정기(180~250kgf/m<sup>2</sup>)를 사용하여  
표면 위에 남아있는 이물질 완전히 제거



함침제 도포

알칼리성 회복제 및 염해방지제를  
롤러브러시를 이용하여 2회 도포



방청 페이스트 도포

1회에 1~2mm 내외로 도포



거푸집 설치

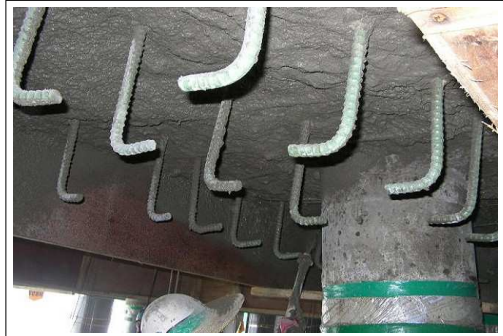
단면복원 지점하부로 300~500mm까지 설치





프라이머 도포

신·구 콘크리트의 접착력 향상 위해  
구체 표면에 프라이머 도포



모르터 타설

1회 타설 두께 20mm 이내,  
층간 작업시간 12~48시간 이내에 타설



단면증설용 철근 조립

콘크리트 구체 및 강재파일에 근입한  
앵커를 이용하여 총 2회에 걸쳐 실시



모르터 타설 완료

조립철근의 후면까지 모르터가  
충분히 타설되도록 유의



보강단면 마감

거푸집 제거 후 모르터를 사용하여 마감,  
습윤 양생 실시



유리섬유 보강면 처리

섬유에 손상을 줄 수 있는 돌출부위 제거,  
모서리부의 곡률반경 최소 20mm 이상



**에폭시 혼합**

교반기를 이용하여 사용가능한 시간 내에 사용할 양만을 혼합



**프라이머 도포**

롤러 브러시를 이용하여 시공범위보다 30mm 정도 넓게 도포



**에폭시 함침**

설계치수에 맞게 채단된 유리섬유에 함침기를 이용하여 에폭시 함침



**유리섬유 복합재 부착**

함침 후 10~50분 이내에 롤러, 손 등으로 기포가 없어질 때까지 문질러 부착



**마감 및 양생**

필요시 자외선차단 페인트 도포



**시공완료**

시공완료 28일 후에 강도실험 실시

부록 B. 품질검사 장면



사진 B-1 코어채취 광경



사진 B-2 코어채취공



사진 B-3 채취된 코어 시편



사진 B-4 보강 구조물의 압축강도실험



사진 B-5 보강 구조물의 부착강도실험



사진 B-6 콘크리트 구체의 할렬 인장강도실험

## 감 사 의 글

본 논문이 오늘의 결실이 이루어지기까지 시종일관 학문을 터득할 수 있도록 각별한 지도와 격려를 하여주신 박길현 교수님께 깊은 존경과 감사를 드립니다.

빠쁘신 중에도 소중한 시간을 배려하여 본 논문이 충실한 결과를 가져올 수 있도록 세심하게 검토·보완하여주신 동신대학교 강성후 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 고마우신 분들의 도움으로 저에게는 아주 소중한 결실을 맺게 되었습니다. 아직은 설익은 과일을 딴 것 같은 아쉬움과 부끄러운 마음이지만, 많은 조언과 사랑으로 보살펴주신 정영동 교수님, 심태섭 교수님, 안종필 교수님을 비롯한 토목공학과 여러 교수님께 머리 숙여 감사를 드립니다.

아울러 본 논문이 완성될 수 있도록 지대한 관심으로 격려를 하여주신 이태은 선생님, 양승현 선생님, 박동욱 선생님, 이상건 팀장님, 이일주 차장님, 그 외 대학원 선·후배 동료 여러분과 가까운 벗들 선·후배님들에게 깊은 감사를 드리며 항상 밝은 미래가 있기를 기원합니다.

오늘이 있기까지 무한한 사랑과 보살핌으로 정성을 아끼지 않으신 아버님, 어머니님, 장인어른께 머리 숙여 감사드리며, 가장 가까운 곳에서 아픔을 사랑으로 치유하여 묵묵히 헌신하여준 아내 이귀주, 아들 창순, 상순과 형제, 자매, 친지 여러분들과 이 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.

그리고 본 논문은 우리 회사 임직원들이 현장에서 직접 저와 함께 일구어 냈던 땀과 노력으로서 그 의미는 크다고 생각하며, 많은 성원과 관심으로 지켜봐주고 도움을 아끼지 않았던 저희 회사 (주) 대도엔지니어링, (유) 대도진흥 임직원 여러분께 진심으로 감사를 드립니다.

다짐합니다. 결코 오늘의 결실을 맺는 것은 학문의 끝이 아니라 더욱 정진하고 겸허한 자세로 더욱 분발하라는 경종으로 각인하고 매사에 최선을 다하고 이 사회에 항상 봉사하고 기여하는 참 건설인의 모습을 보이며 정도를 추구하는 표상이 되도록 일일신 하겠습니다.

2006년 12월 박종환 올림

## 저작물 이용 허락서

학 과	토목공학과	학 번	10041065	과 정	박 사
성 명	한글: 박 중 환    한문: 朴 鍾 渙    영문: Park, Jung Hwan				
주 소	전남 여수시 미평동 선경아파트 106동 1001호				
연락처	E-MAIL : daedopjh@hanmail.net				
논문제목	한글 : 염해손상된 철근콘크리트구조물의 하부대단면 보강에 관한 연구				
	영어 : A Study Strengthening for Lower Large Section of the Reinforced Concrete Structures with Chloride Damage				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다            음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의( ○ )    반대(    )

2006 년    12 월    일

저작자: 박 중 환 (서명 또는 인)

**조선대학교 총장 귀하**