

공학석사 학위논문

해안지역 콘크리트 구조물의 비래염분
흡착 및 침투에 관한 실험적 연구



2005년 2월

부경대학교 대학원

건축공학과

이철민

이철민의 공학석사 학위논문을 인준함

2005년 12월 23일

주 심 공학박사 이 수 용 

위 원 공학박사 김 영 찬 

위 원 공학박사 이 재 용 

목 차

Abstract

I. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 범위	3
II. 철근콘크리트의 염해와 내구성	5
2.1 염해의 요인 및 메카니즘	5
2.1.1 염해의 정의	5
2.1.2 염해의 요인	6
2.1.3 염해의 메카니즘	6
2.1.4 염분함유에 대한 기준	7
2.2 콘크리트의 물리적 특성과 내부의 염분 이동	9
2.2.1 콘크리트의 수밀성 및 기밀성	9
2.2.2 투수성 및 흡수성	10
2.2.3 내부의 염분이동과 확산계수	13
2.3 염분함유량과 철근의 부식 및 방식	14
2.3.1 철근의 부식 환경과 속도	14
2.3.2 철근의 방식법	15
III. 해안역 콘크리트구조물의 비래염분 함유량 및 분포	17
3.1 조사 개요	17

3.1.1 조사대상 구조물 위치	17
3.1.2 시료 채취	18
3.2 실험계획 및 방법	19
3.2.1 실험계획	19
3.2.2 염분 함유량 측정	20
3.2.3 중성화 깊이 측정에 의한 경과연수 추정	24
3.2.4 수밀성 측정	25
3.3. 실험결과 및 고찰	26
3.3.1 해안역 콘크리트 구조물의 염분 함유량 측정 결과	26
3.3.2 해안역 콘크리트 구조물의 위치별 염분함유량	28
3.3.3 표면에서의 깊이별 염분 함유량	32
3.3.4 구조물의 추정연수와 염분 함유량	35
3.3.5 콘크리트 흡수율 및 흡수계수와 염분 함유량	36
3.3.6 구조물의 표면 염분 함유량	38
IV. 결 론	42
참고문헌	44
부록	46

표 목 차

표 2.1 콘크리트 염화물 함유량의 규제	8
표 3.1 시료채취 구조물의 위치 및 해수면과의 높이	17
표 3.2 각 구조물별 코어 깊이별 염분 함유량	27
표 3.3 각 구조물별 염분 함유량(평균)	28
표 3.4 중성화 깊이 측정 결과 및 경과연수 추정	35
표 3.5 코어공시체의 물성 및 흡수량 측정 결과	37
표 3.6 각 구조물별 표면 염분 함유량	39

그림 목 차

그림 1.1 연구의 흐름도	4
그림 2.1 염해에 의한 부식 메카니즘	7
그림 2.2 콘크리트의 물시멘트비와 투수계수	12
그림 2.3 콘크리트의 두께와 투수계수	12
그림 2.4 철근부식 메카니즘	16
그림 3.1 비래염분 조사대상 구조물의 위치	18
그림 3.2 각 구조물의 염분 함유량(평균)	29
그림 3.3 염분 함유량 2.0kg/m ³ 이내 구조물	30
그림 3.4 염분 함유량 2.0~4.0kg/m ³ 이내 구조물	31
그림 3.5 염분 함유량 4.0~6.0kg/m ³ 이내 구조물	31
그림 3.6 염분 함유량 6.0kg/m ³ 이내 구조물	32
그림 3.7 깊이별 염분 함유량(10~30mm)	33
그림 3.8 깊이별 염분 함유량(20~40mm)	33
그림 3.9 깊이별 염분 함유량(30~50mm)	34
그림 3.10 깊이별 평균 염분 함유량	34
그림 3.11 추정경과연수와 염분 함유량	36
그림 3.12 흡수율과 염분 함유량	38
그림 3.13 흡수지 용출법과 분말 채취법에 의한 염분량	40
그림 3.14 표면 염분 함유량과 코어시료 염분 함유량	40

사 진 목 차

사진 3.1 시료 채취	19
사진 3.2 시료 제작과정	21
사진 3.3 전위차 적정기	22
사진 3.4 흡수지 용출법과 분말 채취법의 시료액 추출	23
사진 3.5 중성화 깊이 측정	24
사진 3.6 흡수계수 측정	25

An Experimental Study on the Flying-Salinity Absorption and Inside
Distribution of Concrete Structures
around Seashore Area.

Chul-Min Lee

Department of Architectural Engineering
Graduate School
Pukyong National University

Abstract

The purpose of this study is to analyze the absorption of flying-salinity and the inside distribution of the salinity according to growing old in the concrete structures around seashore area by measuring the amount of salinity in the gathered samples of each structure depending on the position of structures, the depth of salinity-distribution and the depth of carbonation depth.

The results are as follows:

- (1) The smallest salinity-amount in the each structure is 0.469kg/m^3 and the highest salinity-amount in the each structure is 17.96kg/m^3 ;

however, that exceeds the existing domestic restrictions($0.3\text{kg}/\text{m}^3$).

(2) The salinity–amount average of specimens gathered in the direction of seaside and the amounts of the salinity according to the position of gathered specimens in the direction of land appear a striking remarkable sharp contrast of treble.

(3) Distribution of salinity–amount in the concrete structure is the biggest portions of the salinity–distribution are below 30mm depth from the surface, and low according to amount 20mm, 10mm, 40mm, 50mm.

(4) The salinity–amounts of powder samples from each structure and the average salinity–amounts of each specimen show the 79% of the proportional relation. Hence, it can be possible to presume a salinity–amount in the concrete structure by measuring a salinity–amount of powder sample.

(5) As a result of analyzing the estimated ages of concrete according to the carbonation–depth and the average of salinity–amounts, the older structure has the more salinity–amount in concrete inside which means that the amount of salinity absorbed into concrete structure is growing in accordance with aging.

I. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

철근 콘크리트는 시멘트와 골재를 주원료로 한 콘크리트와 그 내부에 배근된 철근이 일체화된 합리적인 복합재료이다. 그러나 콘크리트 내부의 철근이 녹슬게 되면 콘크리트와의 일체성이 낮아져 충분한 내력을 상실하게 되며 내구성이 저하된다. 콘크리트 재료에서 철근의 발청을 유발하는 주요한 인자중의 하나는 콘크리트 중에 과다하게 함유된 염분의 작용이다. 콘크리트에 염분이 함유되는 경로는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 그 중 하나는 콘크리트 제조시 바닷모래 등 골재에 포함된 것이며, 다른 하나는 해안에 위치한 구조물의 경우 해풍의 영향 등으로 구조물의 표면을 통해 염분이 침입하는 것이다. 어느 경우이거나 과다하게 함유된 염분은 철근의 부동태 피막을 파괴하여 발청을 유발하게 된다. 이러한 작용을 일으키는 것은 주로 콘크리트 속에 존재하는 가용성 염분이다. 콘크리트 내부의 가용성 염분은 콘크리트 제조시에 도입되어 경화과정에서 불용성염으로 고정된 나머지와 차후 콘크리트 표면을 통해 침입한 것이다. 콘크리트 내부는 미세한 공극이 무수히 많다. 가용성 염분은 콘크리트 내부의 공극을 채우고 있는 공극수에 이온상태로 대부분 존재하게 된다. 이러한 이온상태의 염분은 환경의 영향 및 철근 표면에서의 전기화학적 작용으로 인해 미세공극을 통한 콘크리트 내부에서의 확산 이동이 일어난다. 그 결과 철근 표면 주위에 염분이 집적되는 현상이 나타나게 되며, 이것은 철근의 발청을 유발하거나 더욱 가속화시키는 유리한 조건을 제공하는 요인으로 작용하게 된다.¹⁾ 콘크리트에 함유

1) 이수용, 철근콘크리트 내부의 염소이온 이동과 전기적 탈염처리에 관한 실험적 연구, 동아대학교 건축공학과 박사학위논문, 1998.

된 염분의 이러한 작용으로 인한 피해를 최소화하기 위한 방안이 필요하다. 현재 그 대책의 하나로 염분량을 콘크리트 제조 시에 규제하고 있다. 그러나 규제 관리가 충실하지 못하거나 구조물의 위치한 환경조건 또는 구조물의 특성상 외부에서 침입하는 정도가 심할 경우에는 염분의 함유량이 과다해질 수 있다. 특히 해안지역 철근콘크리트 구조물은 해풍에 포함된 염분입자가 콘크리트 표면에 흡착 후 내부로 침투하여 과다하게 축적되면 철근의 발청이 일어나서 균열이 발생하고 수명이 짧아지거나 붕괴에까지 이르게 되므로 특별한 주의가 필요하다. 이러한 관점에서 보면 해안지역인 부산의 경우 해안 친수공간 개발 등을 위한 구조물의 축조시 이와 같은 피해가 우려되는 지역이므로 피해예방을 위한 적극적인 대응이 더욱 필요한 실정이다.

현재 구조물의 안전성 저해와 유지관리비용 증대를 불러오는 염분으로 인한 구조물의 피해에 대한 연구가 이루어지고 있으나 대부분이 콘크리트의 배합시 함유되는 내부염분에 의한 피해에 관한 것들이다.²⁾ 최근 외부로부터의 염해에 대한 관심이 점차 고조되었지만, 우리나라에서는 비래염분의 피해에 대한 구체적인 연구가 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 해풍의 영향 등으로 염해가 발생할 것으로 추정되는 해안에 설치된 기존 구조물에서 코어시료를 채취하여 구조물의 위치별, 표면부에서 깊이별 염분의 함유량을 측정하고 비래염분 흡착정도와 콘크리트 내부로의 염분 이동을 파악하고자 한다. 또한 시료 채취 지역과 위치에 따른 염분 함유량의 차이를 파악함으로써 향후 해안 건축물의 계획 및 설계시 참고자료를 제공하고자 하였다.

2) 김동훈, 철근콘크리트의 염해와 중성화 피해 사례 연구, 동명정보대학교 대학원 석사학위논문, 2002.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 해안지역에 설치된 철근콘크리트 구조물이 표면에 흡착되는 염분량과 기간이 오래 지나면서 내부로 침투한 염분이 분포하는 정도를 시료채취지역별로 파악하고자 한다.

본 연구는 다음과 같은 내용으로 진행하였다.

- (1) 기존연구 및 이론적 고찰 : 실험의 진행에 앞서 철근 콘크리트의 염해에 관련한 기존 연구 동향 및 관련기준에 대한 고찰을 한 후 연구 범위와 방법을 설정하였다.
 - (2) 실험계획 수립 : 현장조사를 통해 시료채취가 가능한 부산지역 콘크리트 구조물을 선정하였다.
 - (3) 시료채취 : 흡수지 용출법에 의한 시료, 분말 채취법에 의한 시료 및 코어 채취를 하였다.
 - (4) 염분 함유량 측정 : KS F 2515 실험방법에 준하여 실험하였다.
 - (5) 중성화 깊이 측정 : 중성화 깊이에 따른 경과연수와 염분 함유량 및 분포를 측정하였다.
 - (6) 흡수율 및 흡수계수 측정 : 흡수계수시험은 KS F 2609 실험방법에 준하여 실험하였다.
 - (6) 시료 채취 지역 및 위치에 따른 염분 함유량의 차이를 파악함으로써 향후 해안 건축물의 계획 및 설계시 참고자료를 제공하는 목적이 있다.
- 본 연구의 연구 흐름도는 그림 1.1에 나타낸 바와 같다.

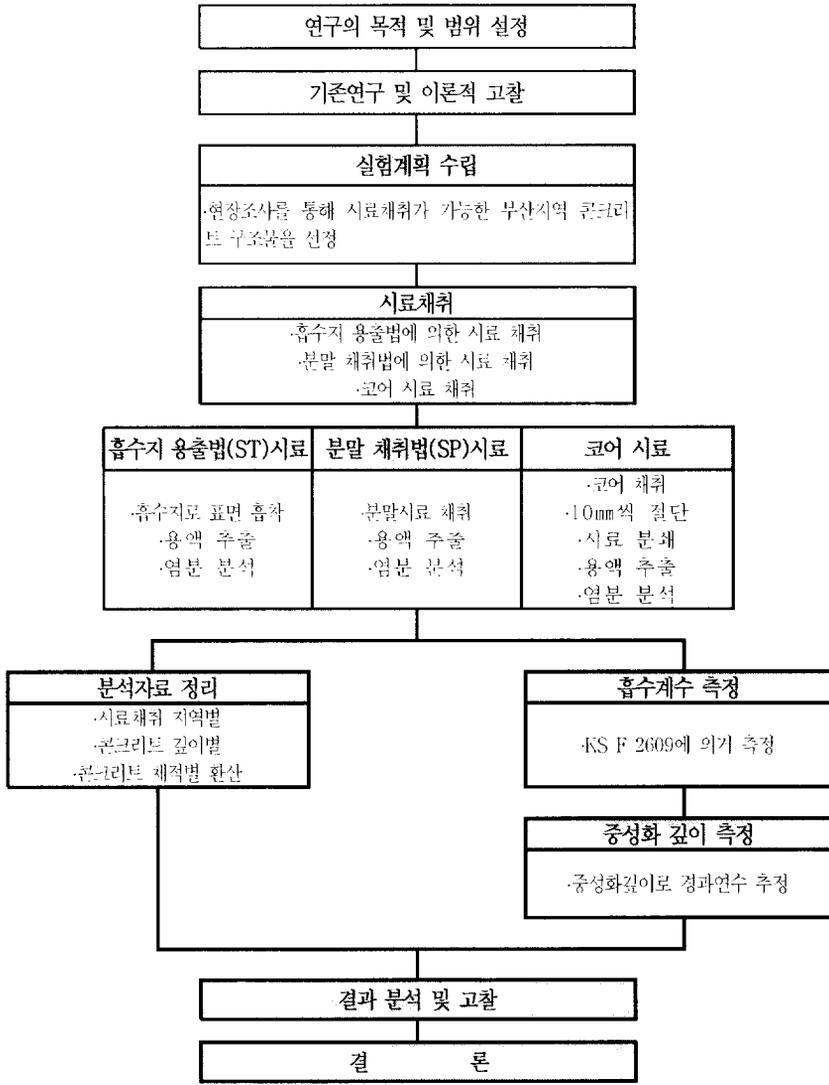


그림 1.1 연구의 흐름도

II. 철근 콘크리트의 염해와 내구성

2.1 염해 요인 및 메카니즘

2.1.1 염해의 정의

콘크리트 구조물에 염해를 일으키는 요소는 해사, 해수, 해염입자 등이 있다. 특히 해수 중에는 NaCl로 확산하여 3~4%의 염분이 존재하게 되는데 철강재의 부식속도가 최대로 되는 염분량은 수용액의 경우 NaCl의 농도로 3.6%이므로 해수 그 자체로도 철근의 부식을 현저하게 촉진시키는 역할을 한다.

염분이 모래에 중량 비율로 0.2~0.3% 정도 함유되면 콘크리트내의 철근은 녹에 의해 균열이 생기고 시간이 지나면서 콘크리트의 탈락현상이 발생되어 구조물에 피해를 주게 된다.

이 때 노출 콘크리트이거나 고온다습한 장소에서는 그 현상이 현저하게 나타나게 된다. 콘크리트는 강알칼리에 속하여 콘크리트에 매립되어 있는 철근의 표면은 철의 수산화물물에 의해 보호피막으로 쌓여있어 부식이 거의 진행되지 않으나, 콘크리트 속에 다량의 염분이 존재하게 되면 보호피막이 파괴되어 철근의 부식이 진행되어 구조물에 균열이 생기게 되어 내구성이 현저하게 저하되게 된다.³⁾

3) 김동훈, 철근콘크리트의 염해와 중성화 피해 사례 연구, 동명정보대학교 대학원 석사학위논문 2002.

2.1.2 염해의 요인

철근콘크리트의 염해란 허용량을 넘는 염분이 철근콘크리트 내부에 존재하게 되어 철근을 부식시키며, 이 부식에 의해 생기는 팽창압력으로 철근피복 콘크리트가 탈락하는 현상으로 나타나는 피해를 말한다.

이러한 염해는 크게 두 가지 요인에서 기인한다.

첫째는 콘크리트 구성 재료 내에 포함되는 염화물에 의한 피해이다. 콘크리트의 제조 시 허용량을 넘는 해사의 사용과 기타재료에 혼입된 염분이 원인이 되어 콘크리트 내부의 철근을 부식시키는 것이다.

둘째는 공기 중에 포함되어있는 염소이온이 경화된 콘크리트 표면에 침투하여 피해를 주는 경우이다. 해수에서 유산염을 포함한 염분이 콘크리트의 모세공이나 공극으로 침투해서 콘크리트 내부의 철근을 녹슬게 하여 콘크리트를 손상시킨다. 이러한 피해를 입히는 비래염분(飛來鹽分)의 크기는 3~18 μm 정도의 입자로서, 해수기포가 파열될 때 대기 중에 방출되어 상승기류를 타고 내륙까지 날아들어 콘크리트 구조물의 부식요인이 되기도 한다.

2.1.3 염해의 메카니즘

콘크리트 내부의 철근표면에는 산화물층인 두께 3nm 정도의 부동태피막이 존재하지만 염소이온(Cl^-)이 콘크리트 속으로 어느 정도 이상 혼입되면 산화피막의 산소원자에 염소이온이 흡착하여 피막을 국부적으로 파괴시키며, 계속해서 염소이온의 작용에 의하여 철의 용해(이온화)가 일어난다.

이와 같은 염해에 의한 부식의 메카니즘을 정리하면 그림 2.1과 같다.⁴⁾

이런 염해를 막는 방법은 근원적으로 염분이 함유된 재료의 사용을 피하

4) 최연왕, 일본 콘크리트 교량의 염해 피해사례 및 염해 열화예측, 시설안전기술공단 시설안전, 통권2호, p.121, 1999.

고, 외부로부터의 염분 침투를 완전히 차단하는 것이다.

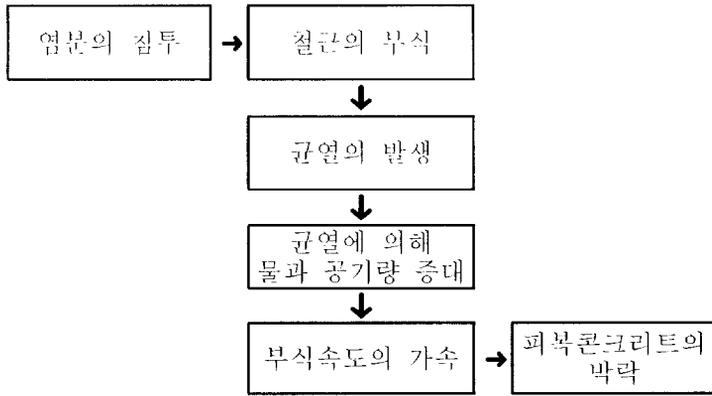


그림 2.1 염해에 의한 부식 메카니즘

2.1.4 염분함유에 대한 기준

철근 콘크리트에 각종의 염화물이 유해한 수준으로 과다하게 함유되는 것을 방지하기 위한 여러 나라의 염화물 규제내용은 표 2.1 와 같다.

표 2.1 콘크리트 염화물 함유량의 규제

국명	규격	염화물 함유량의 규제	Cl ⁻ 이온중량 (kg/m ³)	
한국	건설부	- 표준 시방서 산골재 결건중량에 대하여 잔골재1급 : 0.04%이하 (NaCl 기준)	0.19	
		잔골재2급 : 0.10%이하 (NaCl 기준)	0.19	
		잔골재3급 : 0.10%이하 (NaCl 기준)	0.19	
	토목학회	단, 잔골재 2,3급은 철근방청과 담당의 지시에 따름		
		- 콘크리트 표준 시방서 일반 RC, 포스트텐션 PC : 해사 절대건조중량에 대하여 0.1%이하(NaCl 기준)	0.49	
		내구성 RC, 프리텐션 PC : 해사 절대건조중량에 대하여 0.04%이하(NaCl 기준)	0.19	
K S F 4009	- 천연골재는 염분의 한도가 KS F 2515에 따라 시험하였을때 0.04%이하	0.19		
일본	건축학회	- 잔골재 중의 염화물함량 산골재 1급 0.04%이하 (NaCl 기준)	0.19	
		잔골재 2급,3급 0.10%이하 (NaCl 기준)	0.49	
	JASS 6 -86	- 콘크리트 중량에 대하여 Cl이온 중량은 0.3kg/m ³ 이하	0.30	
		단, 염화물량 중에서 Cl이온중량의 절대초과 한계량은 0.6kg/m ³ 미만	0.60	
토목학회	- 철근콘크리트 시방서 일반 철근콘크리트구조는 해사의 결건중량에 대하여 0.1%미만(NaCl 기준)	0.49		
	- PC 시방서 최악 환경조건의 포스트텐션 PC는 골재 결건중량의 0.03%이하 (NaCl 기준)	0.25		
	- 콘크리트 시방서 일반의 RC, 포스트텐션 PC:콘크리트중량에 대해 염소이온중량 0.6kg/m ³ 이하	0.60		
	내구성 RC, 최악환경조건의 포스트텐션 PC는 콘크리트 중량에 대하여 Cl 이온 중량이 0.3kg/m ³ 이하	0.30		

표 2.1 콘크리트 염화물 함유량의 규제(계속)

국명	규격	염화물 함유량의 규제	Cl ⁻ 이온중량 (kg/m ³)
영국	BS CP 110	- 해산골재중 염화물량은 시멘트 중량에 대해 Cl이온중량이 1.0%이하 (CaCl ₂ 기준)	1.52
		- 해산골재중 염화물량은 시멘트 중량에 대해 Cl이온중량이 0.50%이하 (CaCl ₂ 기준)	0.96
		- 해산골재중의 염화물량은 잔골재는 0.10%이하 (NaCl 기준)	0.49
		- 굵은골재는 0.030%이하 (NaCl 기준)	0.58
		위 규정을 만족시키지 않는 경우 시멘트 중량에 대하여 NaCl전량이 0.32%이하	
미국	ACI 318-83	- PC : 시멘트중량에 대하여 Cl이온중량을 환산하여 0.05%이하	0.27
		- RC : 시멘트중량에 대하여 Cl이온중량을 환산하여	
		염분환경 0.15%이하 일반환경 0.30%이하 건조환경 1.00%이하	
독일	DIN4226-83	- 골재중 수용성 염화물은 Cl이온중량으로 프리텐션PC, PC그라우트 : 0.02% RC, 포스트텐션 PC : 0.04%	
	DIN1164-78	- 콘크리트중의 염화물은 시멘트중량에 대하여 염소이온중량이 0.1%이하	

2.2 콘크리트의 물리적 특성과 내부의 염분 이동

2.2.1 콘크리트의 수밀성 및 침투성

콘크리트는 물에 접하면 흡수하고, 압력수가 작용하면 투수하게 된다. 그것은 콘크리트가 본질적으로 다공질이기 때문만이 아니라 흡수 또는 투수할 수 있는 여러 가지 요소를 가지고 있기 때문이다. 콘크리트가 수밀성이 있다는 것은 투수성이나 흡수성이 매우 작다는 것을 말한다. 이 수밀성은 동결융해에 대한 내구성, 화학적인 침식작용에 대한 내구성 등과 밀접한 관계가 있다.⁵⁾

5) 이재영, 콘크리트의 바깥중류에 따른 염수침투 저항성에 관한 실험적 연구, 부경대학교 대학원 석사학위논문, 2002.

침투성이란 다공성 고체 속으로 액체의 흐름이며, 정상상태 흐름 (steady-state flow)에서의 침투계수는 Darcy의 식에 의해 아래와 같이 표현된다.

$$\frac{dq}{dt} = K \frac{\Delta H A}{L \mu}$$

여기서, dq/dt 는 액체의 흐름비, K 는 투수계수(m/sec), ΔH 는 수두차(水頭差:m), A 는 표면적(m^2), L 은 고체의 두께(m), μ 는 액체의 점성(N-s/ m^2)이다. 따라서 침투작용에 의한 염화물의 이동은 물의 흐름, 압력차, 표면적, 고체의 두께, 물의 점성 그리고 염화물 농도에 의해 지배된다. 그러나 염화물 농도가 낮은 경우, 침투작용은 대부분 아주 작거나 무시할 수 있다.

콘크리트 속으로 염화물이 침투하는 초기에는 자유염화물의 온도와 고정된 염화물의 농도가 평형을 이룰 때까지 염화물은 시멘트 수화물에 의해 고정된다. 따라서 침투 초기에는 염화물 용액의 농도는 침투깊이가 증가할수록 감소한다. 염화물 용액의 침투작용은 높은 유체정역학적압력(Hydrostatic pressure)을 받는 해양구조물이나 저수조 같은 구조물 등에서 발생한다.⁶⁾

2.2.2 투수성 및 흡수율

콘크리트의 투수 용이성은 염분을 포함한 수분의 이동을 용이하게 하며, 철의 부식은 수분이 있는 데에서만 진행된다. 따라서 콘크리트의 투수성이 클수록 염분환경 하에서는 철이 쉽게 부식한다. 콘크리트의 투수성에는 물 시멘트비가 많은 영향을 끼친다.

6) 이종득, 콘크리트 공학, 도서출판 일광, 2000.

투수계수를 실험적으로 파악하기 위한 실험에서 중공형 공시체를 이용할 경우 투수계수는 다음과 같은 Darcy의 식에 의해서 계산될 수 있다.

$$K = 2.3 \times \frac{\rho \times \log(r_0 - r_i) \times Q}{2\pi \times h \times (P_0 - P_i)}$$

K : 투수계수(cm/sec) h : 공시체 높이(cm)
 r_i : 중공의 반경(cm) r_0 : 공시체의 반경(cm)
 Q : 유출량(ml/sec) ρ : 물의 단위중량(g/ml)
 P_0, P_i : 공시체 외측 및 내측의 수압(kg/ml)

그림 2.2는 물시멘트비와 투수계수의 관계를 나타낸 것이다.

그림에 나타나는 바와 같이 물시멘트비가 0.6에서 0.5로 감소하면 투수계수는 1/2.5로 저하한다. 따라서 물시멘트비를 낮게 하면 콘크리트 속에 있는 철근의 염분에 의한 부식을 억제할 수 있다고 볼 수 있다. 또 투수성은 그림 2.3에 나타나는 바와 같이 피복 두께에도 영향을 받지만 그 영향은 콘크리트의 표층부에서 더욱 뚜렷하다.⁷⁾

7) 김무한, 해사활용기술연구(1), 서울대학교 공학연구소, 1997.

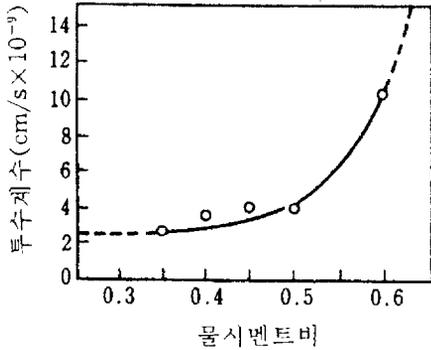


그림 2.2 콘크리트의 물시멘트비와 투수계수

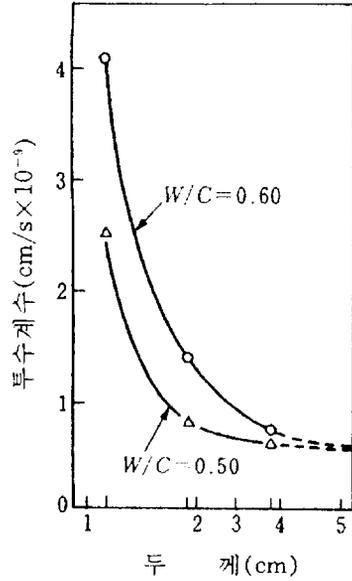


그림 2.3 콘크리트의 두께와 투수계수

흡수는 모세관에 의해 물을 빨아들이는 현상이며, 흡수율은 완전히 흡수시킨 때의 함수율이다. 여기서, 함수율은 재료 속에 포함된 수분의 함량을 완전히 건조시킨 재료의 중량에 대한 백분율을 말한다.

흡수는 모세관에 의해 물을 빨아들이는 현상으로 흡수율은 공극에 따라 변한다. 따라서 흡수율은 콘크리트 내부가 치밀하고 밀실 할수록 작고, 다공질 일수록 크다.

흡수율이 높을수록 공극수 이동이 원활하고, 이에 따라 염분을 함유한 수분의 이동이 쉬워지므로 흡수율이 높은 콘크리트일수록 외부로부터 침입하는 염분에 의한 피해를 받기 쉬워진다고 볼 수 있다.⁸⁾

8) 이재영, 콘크리트의 마감종류에 따른 염수침투 저항성에 관한 실험적 연구, 부경대학교 대학원 석사학위논문, 2002.

2.2.3 내부의 염분이동과 염분 확산계수

콘크리트의 염화물이온 확산계수는 시멘트 속의 강재 부식과 부식속도에 많은 영향을 끼친다. 이 같은 값은 사용하는 재료, 배합, 양생방법등에 따라 다르므로 내구적인 콘크리트 구조물을 만들 때는 이들의 값이 작은 성능의 콘크리트를 사용하는 것이 중요하다. 그러나 이들의 측정 결과를 이용하여 콘크리트 구조물의 직접적인 내구치는 각종 요인의 평가에 사용되는 것이 일반적이다. 즉, 염분확산계수는 염화물의 이동에 대한 콘크리트의 저항성을 설명하는 기본적인 매개변수로서 시간에 대한 염화물의 침투깊이로 나타내므로 물시멘트비, 시멘트량, 시멘트의 종류, 양생방법 등이 염화물 이온의 확산에 끼치는 영향과 같이 콘크리트 재료의 각종 물성 연구나 평가를 할 때 지표로서 시험하는 경우가 많다.

Fick의 제2법칙에 의해 콘크리트의 염분확산계수를 아래의 식으로 구할 수 있다.⁹⁾

$$C(x,t) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

$C(x,t)$: 깊이 x 에서의 콘크리트중의 염분농도(%)

C_0 : 콘크리트 표면($x=0$)의 염분농도(%)

t : 사용시간 (침지기간)

x : 콘크리트표면으로부터 깊이 (cm)

D : 콘크리트의 겉보기 염분확산계수 (cm²/sec)

erf : 오차함수

9) 김영래, 염수에 침지시킨 콘크리트의 염분침투특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제17권 제2호, 1997.

2.3 염분함유량과 철근의 부식 및 방식

2.3.1 철근의 부식 환경의 속도

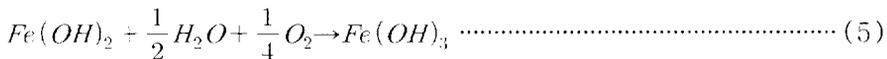
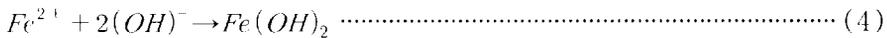
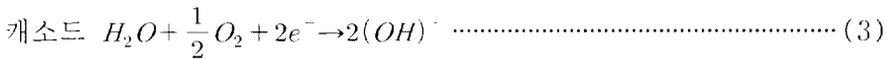
일반적으로 철의 부식은 건식(dry corrosion)과 습식(wet corrosion)으로 대별할 수 있다. 건식은 철이 고온에서 산소, 유황, 할로겐 등의 가스에 접하여 철의 산화물, 유화물, 할로겐물 등의 반응물을 생성시키는 것이고, 습식은 수분이 존재하는 상태에서 철이 부식되는 경우에 일어나는 것으로 상온에서 발생하는 통상의 부식은 거의 습식이다.

습식에 의한 부식의 일반적인 현상은 전기화학적 현상이다. 전기화학적 산화가 발생하는 곳의 아노드(anode)와 전기화학적 환원이 발생하는 곳의 캐소드(cathode), 전도체 그리고 물과 같은 매개체가 있어야 부식은 발생된다. 부식이 발생하는 임의의 금속표면에는 금속 자체가 도체로 작용하여 전기적으로 연결된 아노드와 캐소드가 있다.

콘크리트 내부에는 농도 셀, 알칼리, 염화물, 용존산소가 존재하고 있으므로, 이러한 농도 차로 인하여 철근표면에 전위차가 생긴다. 따라서 철근의 부식시키는 국부전지가 형성된다. 철근표면의 결정구조의 상위(相違), 산화피막의 불균일 등도 국부전지를 형성시키는 요인이 되지만, 아직 이에 대해 명확히 규명되어 있지 않다. 철근을 부식시키는 요인은 일반적으로 염화물, pH, 산소, 물, 온도 등이 가장 중요한 요인이다. 이들 요인은 단독으로 철근 부식에 영향을 미치기 보다는 상호 조합하여 작용한다.

2.3.2 철근의 방식법

콘크리트에 매설된 철근표면은 식 (1)과 같이 산화 제이철(Fe_2O_3)에 의한 부동태 피막으로 보호되어 있으나, 염화이온(Cl^-)의 화학작용에 의하여 이 부동태 피막이 파괴되고, 물과 산소의 존재 하에 다음 식 (2), (3)처럼 부식이 진행된다.



부식의 모든 반응은 아노드 반응의 조합에 의해 반응하고 식 (4)와 같이 수산화 제이철($Fe(OH)_2$)이 철근 표면에 나타난다. 이 화합물은 용존산소에 의해 산화되고 식 (5)와 같이 수산화 제이철($Fe(OH)_3$)이 된다. 이 화합물은 물을 손실하고 붉은 녹 혹은 검은 녹이 되어 철근표면에 녹층을 형성한다.¹⁰⁾

그림 2.4는 철근의 부식 메카니즘을 나타내었다.

10) 이재우, High Volume Fly Ash 콘크리트의 철근부식저항성에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문, 2002.

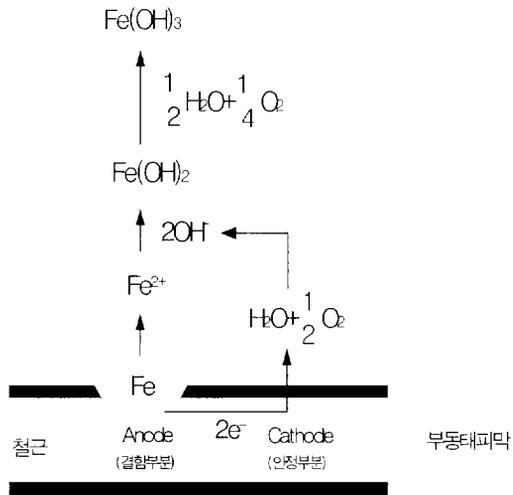


그림 2.4 철근부식 메카니즘

III. 해안역 콘크리트구조물의 비래염분 함유량 및 분포

3.1 조사 개요

3.1.1 조사대상 구조물의 위치

시료채취 대상 구조물은 주로 부산지역 남구, 해운대구 및 기장군지역 해안에 위치한 철근콘크리트 옹벽 구조물이다. 시료채취 지역은 표 3.1과 그림 3.1에 나타난 바와 같이 19개 지역 21개 구조물이다.

C15, C16은 해안에서 1.5km내륙에 위치한 해발 150m 높이에 있는 옹벽 구조물이고, A03은 해안에서 1km내륙에 위치하고 있는 옹벽 구조물이다. 그 외의 구조물은 해변에서 10m이내에 위치한 것이다.

표 3.1 시료채취 구조물 위치 및 해수면과의 높이

시료명	위치	해수면에서의 시료채취 높이(m)	시료명	위치	해수면에서의 시료채취 높이(m)
A01	용당동1	L:1.5km, H:150	C12	요트장	5.0
A02	용당동2	L:1.5km, H:150	C13	청사포1	1.5
A03	삼성리	L:1km	C14	청사포2	1.5
B04	백운포	10	C15	송정동	3.0
B05	해운대	4.0	C16	대변리	1.0
B06	약리	7.0	C17	이전리	1.0
B07	이동리	10	C18	신평마을	0.5
B08	온정마을	0.5	C19	동백리	5.0
C09	광안리	4.0	C20	걸암리	0.5
C10	수변공원	4.0	C21	월내리	4.0
C11	남전동	5.0			

A:구조물이 해안과 거리가 먼 지역, B:구조물의 해안 반대편 부위 고려 채취, C:구조물이 해안에서 10m이내 지역

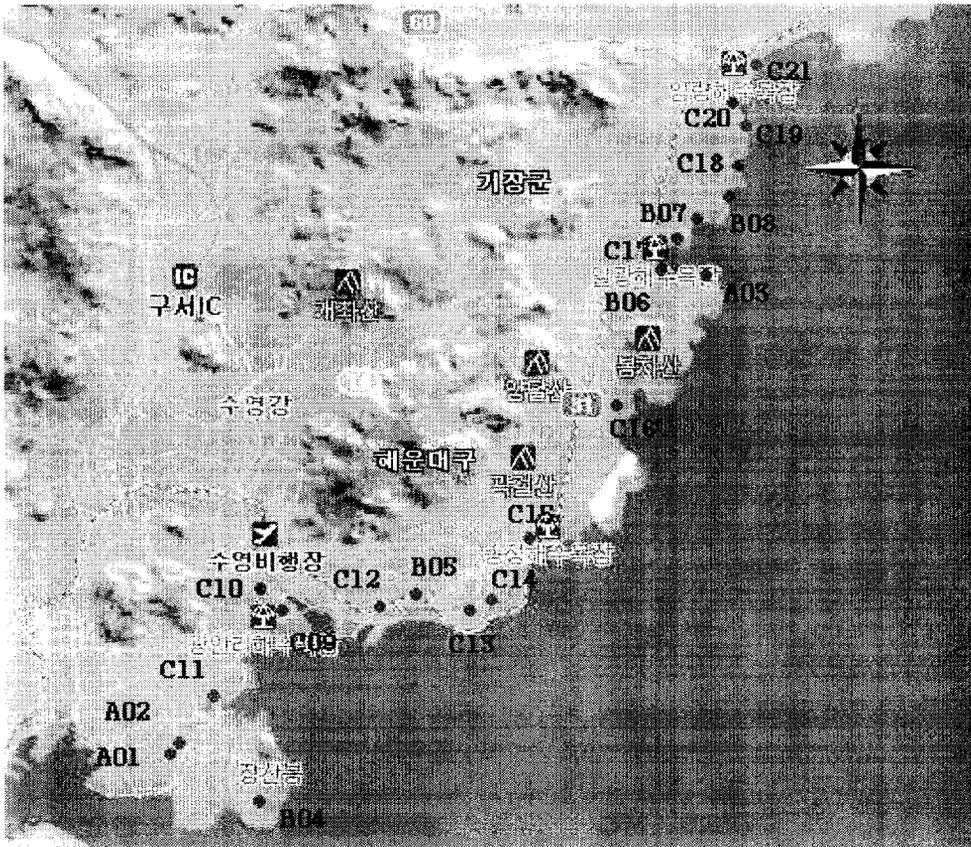
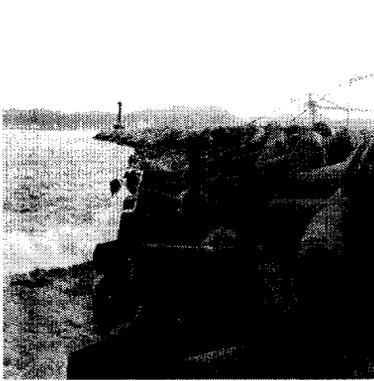


그림 3.1 비래염분 조사대상 구조물의 위치

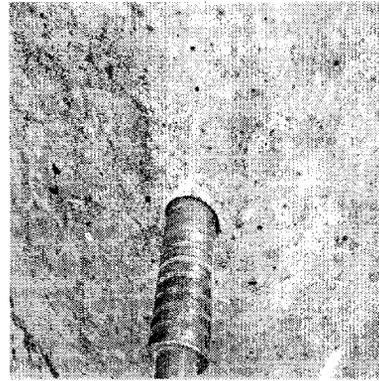
3.1.2 시료의 채취

시료채취 지역은 부산광역시 남구, 해운대구 및 기장군지역 21개소로 하였다. 침투한 염분의 내부분포는 대상 구조물에서 채취한 코어시료 ($\varnothing 38 \times 50 \sim 70 \text{mm}$)를 10mm단위로 절단하여 깊이별 염분 함유량정도를 파악하였다.

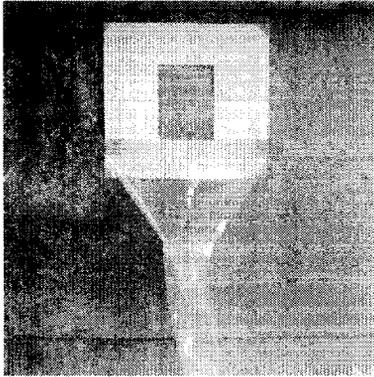
또한, 콘크리트 표면에 흡착되는 비래염분의 정도를 파악하기 위해 흡수지(10×10mm)를 표면에 부착하여 용출 채취하는 방법과 콘크리트 표면에서 시료분말을 직접 채취하는 두가지 방법을 적용하였다.



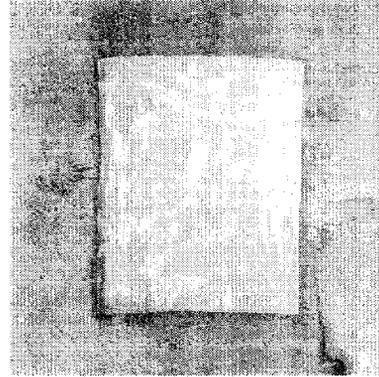
a. 장소선정



b. 코어채취



c. 분말 채취



d. 흡수지 용출

사진 3.1 시료 채취

3.2 실험계획 및 방법

3.2.1 실험계획

(1) 염분 함유량 측정

염분 함유량 측정은 KS M 0036(이온전극 분석방법 통칙)에 의한 전위차 적정기를 사용하여 표면채취시료와 코어시료의 표면부에서 10mm단위로 50

mm 깊이까지의 염분 함유량을 측정하였다.

(2) 중성화 깊이 측정 및 경과연수 추정

측정대상 구조물의 중성화 정도를 파악하고 경과연수를 추정하기 위해 코어 채취 부위에서 중성화 시험을 하였다. 중성화 정도는 원주형 시료 채취 후 생겨난 구조물 구멍에 페놀프탈레인 1% 용액을 분무하여 변색 정도에 의해 중성화 깊이를 측정하였다. 경과연수 추정은 측정한 결과값을 기존 추정식에 대입하여 산정하였다.

(3) 수밀성 측정(흡수율 및 흡수계수 실험)

코어시료에 대해서는 염분 함유량과 콘크리트 흡수율의 관계를 고찰하고자 KS F 2609(건축 재료의 물 흡수 계수 측정 방법)에 준하여 흡수율 및 흡수계수시험을 하였다.

3.2.2 염분 측정 시료의 처리방법

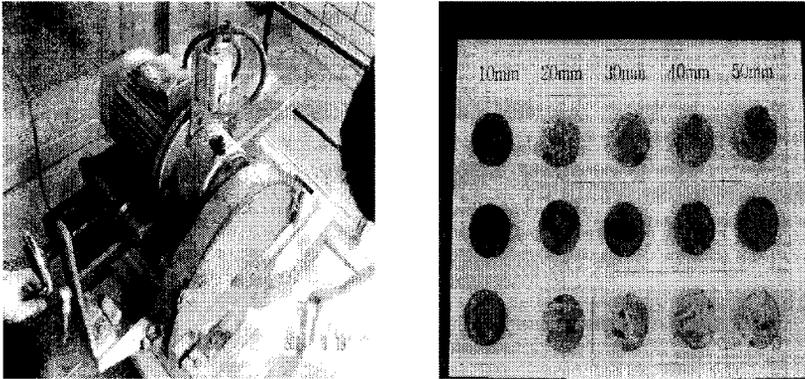
본 실험의 시료채취 및 분석시료 처리방법은 다음과 같다.

(1) 염분 함유량 측정 코어채취 및 분석 시료액

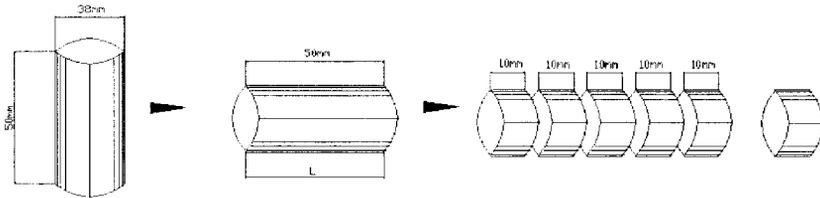
코어시료는 콘크리트 구조물에서 채취한 코어(Ø38×50~70mm)를 10mm간격으로 절단하고, 절단한 토막을 분쇄하여 분말로 만들었다.(사진 3.2 참조) 분말시료를 건조기에서 50℃의 온도로 24시간 건조시킨 후 상온으로 식힌 후 중량을 측정하였다. 중량 측정이 끝난 분말시료는 즉시 비커에 넣고 증류수를 가하여 용액추출을 하였다. 가용성 염분용액 추출은 콘크리트 분말을 넣은 증류수 비커를 진탕기에 넣고 50℃에서 2시간에 걸쳐 마그네틱 스티어를 저어 주었다.

이어서 시료가 담긴 비커를 비닐랩으로 덮고 부유물질이 침전되어 비등액이 분리될 때까지 기다린 후 비등액을 1차로 시료병에 옮겨 담았다. 비커

에 남은 침강시료는 다시 여과지를 끼운 깔때기에 진공펌프가 연결된 장치에서 진공흡입하는 방법으로 노과액을 추가로 추출하여 1차 추출액과 합하여 분석용 시료용액으로 하였다.



a. 시료절단



b. 시료절단 모습

사진 3.2 시료 제작과정

염소이온 함유량 측정 전에 방해이온의 제거를 위해서 각 시료액에 2N 질산용액 5mL을 가해 산성으로 만들고 탄산칼슘 3g을 넣어 다시 한 번 비이커 밑면부터 가열시켜 끓인 후 상온에서 냉각하였다.

이렇게 얻은 맑은 시료액을 비이커에 담고, 여기에 크롬산칼륨 용액 3mL를 비이커에 첨가한 후 시험액을 휘저으면서 뷰렛에 채워둔 0.1N 질산은 용액을 한 방울 한 방울씩 천천히 가하였다. 이 때, 용액의 색이 황색에서

적갈색으로 변하는 점을 종말점하여 찾아내어, 그 때의 소요된 질산은 용액 투입량(ml)을 계산하였다.

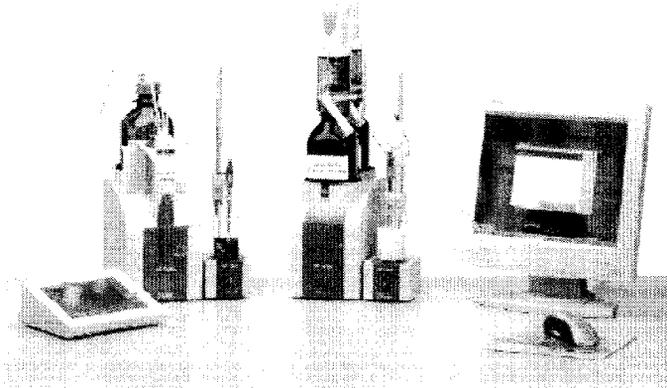


사진 3.3 전위차 적정기

이것은 사진 3.3의 KS M 0036(이온전극 분석방법 통칙)에 의한 이온선택성 전극을 이용한 전위차 적정기를 사용하여 염분량을 측정하였다.

본 연구의 1㎡당 염화물 함유량(kg/㎡) 및 면적당 염분량(mg/100cm²)은 다음 식에 따라 계산하였다.

$$1\text{㎡당 염화물 함유량(kg/㎡)} = \frac{\text{분말전체염분량} \times \text{분말시료배율}}{1,000,000}$$

분말전체염분량

$$= \text{측정시분취액(ml)} \times \text{Cl함유량} \times \text{농도보정계수합계} \times \text{분취배율계수합계}$$

$$\text{㎡/분말시료배율} = 2,300,000/\text{분말시료무게(g)}$$

Cl함유량(mg/ml)(분취액 ml당)

$$= (\text{적정액} \times 0.998 \times 0.000584 \times 0.606626) / \text{측정시 분취액(ml)}$$

농도보정계수합계 = 질산의석출 보정계수×가열순출을 보정계수

분취배율계수합계 = 1차 분취배율×2차 분취배율

여기에서 염화물은 염화나트륨(NaCl)으로 환산한 수치이다.

0.000584 = 0.01N 질산은($AgNO_3$) 용액 1ml의 염화나트륨(NaCl)의
당량

(2) 흡수지 흡착법에 의한 구조물 표면염분 측정시료

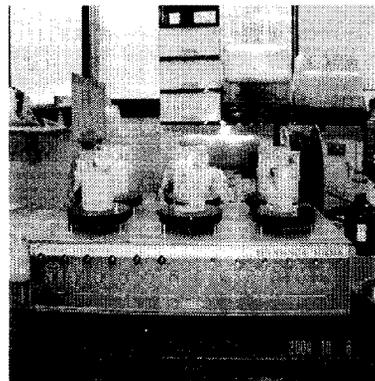
흡수지 흡착법에 의한 시료는 대상 콘크리트면에 100cm²(가로×세로:10cm) 규격의 흡수지를 30분간 부착하여 표면 염분이 흡수지에 용출되도록 한 다음 수거하여 용액을 추출 후 분석시료로 하였다.

(3) 분말채취법에 의한 구조물 표면염분 측정시료

콘크리트 표면에 흡착된 비래염분의 정도를 파악하기 위한 방법의 하나로 대상 콘크리트 표면에서 직접 분말을 채취하였다. 표면부 분말시료는 구조물 콘크리트 표면 100cm²(가로×세로:10cm)부위에서 금속칼로 고르게 긁어모으는 방법으로 각 구조물 마다 코어 채취 부근에서 10g 중량의 분말을 채취하였다. 채취한 분말시료의 후속 처리는 코어시료 분말과 같은 방법으로 하였다.(사진 3.4 참조)



a. 비등액



b. 가열

사진 3.4 흡수지 용출법과 분말 채취법의 시료액 추출

3.2.3 중성화 깊이 측정에 의한 경과연수 추정

중성화 시험은 원주형 시료($\varnothing 38 \times 50 \sim 70 \text{mm}$)를 채취한 후 구조물에 생겨난 채취구멍에 페놀프탈레인 1% 용액을 분무하여 변색 정도에 따라 중성화 깊이를 측정하였다.

콘크리트 구조물의 중성화 깊이 측정은 중성화 부분과 미중성화 부분의 경계에 자를 댄 후(사진 3.5 참조), 그 깊이를 콘크리트 구조물의 중성화 깊이로 하였으며, 대략의 구조물의 시공시기 즉 경과연수를 추정하는 기초적인 자료로 삼았다. 경과연수의 추정은 중성화 깊이를 추정하는 실험식이 여러 가지 있지만 일반적으로 사용되고 있는 岸谷式을 적용하였다. 그 식은 다음과 같다.

$$W/C < 0.6 \text{인 경우 } T = (7.2X^2) / (R^2(4.6W/W' - 1.76)^2 \times 100)^{11)}$$

여기서, T : 경과시간(년)

X : 중성화 깊이(mm)

W/C : 물시멘트비

R : 중성화비율상수(강자갈, 보통포틀랜드시멘트는 1.0적용)



사진 3.5 중성화 깊이 측정

11) <http://shinj.com.ne.kr/jung.htm>

3.2.4 수밀성 측정(흡수율 및 흡수계수 시험)

흡수율은 콘크리트내부가 치밀하고 밀실 할수록 작고, 다공질 일수록 크다. 흡수율이 높을수록 공극수 이동이 원활하고, 이에 따라 염분을 함유한 수분의 이동이 쉬워지므로 흡수율이 높은 콘크리트일수록 외부로부터 침입하는 염분에 의한 피해가 크다. 따라서 흡수율이 염분 함유량에 미치는 영향을 평가하기 위해 흡수율시험을 하였다. 또한 흡수계수시험은 KS F 2609에 준하여 시험하였다.

흡수율 시험용 공시체는 각 구조물의 코어시료를 다이아몬드 절단기로 10mm간격으로 절단한 후 남은 부분을 이용하여 공시체를 물에 약 10mm정도 담근 후 감도 0.001인 정밀 저울로 1초 간격으로 600초 동안 공시체의 흡수량에 따른 중량을 구하여 흡수계수를 측정하였다.(사진 3.5 참조)

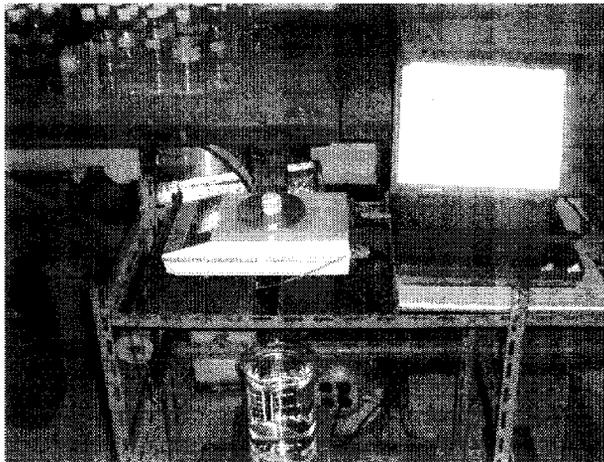


사진 3.6 흡수계수 측정

본 연구의 물과 접촉 시 시간에 따른 면적당 흡수량 계산식은 다음과 같다.

$$m = w \sqrt{t}$$

여기에서 m = 면적당 물 흡수량 (kg/m^2)

w = 물 흡수 계수 ($\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$)

t = 시간 (h)

본 연구의 흡수계수는 다음과 같다.

$$w_1 = \frac{\Delta m_1}{\Delta \sqrt{t}}$$

면적당 물 흡수량이 측정 시간과 일차원적인 관계가 성립되면 시간에 따른 측정값을 이용하여 계산하고, 측정 도중 재료의 포화 상태가 발생하면 포화 상태가 발생하기 바로전까지의 측정값을 이용하여 계산하였다.

3.3 실험결과 및 고찰

3.3.1 해안역 콘크리트 구조물의 염분 함유량 측정 결과

비레염분이 해안역 구조물에 흡착되어 내부로 침투하는 정도에 대한 파악을 목적으로 시료를 채취하여 실험한 결과는 표 3.2와 같다.

해안역 콘크리트 구조물 표면 흡착량 및 내부에 함유된 염분량은 가용성

염분에 대한 것이며, 분석시험 결과값은 염소이온(Cl^-)량으로 하였고, 함유량은 분말시료의 중량을 콘크리트 단위중량 $2,300kg/m^3$ 로 환산하여 나타내었다.

표 3.2 각 구조물별 코어 깊이별 염분 함유량

시료명	깊이 (mm)	염분량 (kg/m ³)	시료명	깊이 (mm)	염분량 (kg/m ³)	시료명	깊이 (mm)	염분량 (kg/m ³)
A01	10	0.945	B08	10	9.806	C15	10	20.062
	20	1.791		20	3.296		20	22.958
	30	1.489		30	4.530		30	22.690
	40	1.268		40	2.961		40	13.485
	50	1.030		50	4.778		50	10.614
A02	10	1.033	C09	10	1.928	C16	10	8.203
	20	1.957		20	5.758		20	17.106
	30	1.921		30	5.831		30	15.374
	40	1.173		40	4.484		40	9.291
	50	0.959		50	3.613		50	9.712
A03	10	0.406	C10	10	0.461	C17	10	0.472
	20	0.478		20	1.085		20	2.861
	30	0.470		30	1.247		30	2.931
	40	0.620		40	1.584		40	2.456
	50	0.369		50	1.630		50	1.418
B04	10	0.879	C11	10	1.856	C18	10	3.100
	20	1.090		20	1.455		20	4.731
	30	1.564		30	1.391		30	5.082
	40	2.830		40	3.436		40	5.996
	50	4.008		50	6.579		50	5.026
B05	10	0.511	C12	10	2.514	C19	10	3.826
	20	0.716		20	1.512		20	1.012
	30	6.308		30	0.940		30	1.152
	40	0.353		40	6.858		40	0.553
	50	0.391		50	5.221		50	0.404
B06	10	1.467	C13	10	0.736	C20	10	4.949
	20	1.680		20	3.130		20	9.485
	30	1.165		30	4.578		30	6.023
	40	1.039		40	8.167		40	4.026
	50	1.316		50	4.562		50	2.178
B07	10	0.538	C14	10	10.531	C21	10	4.123
	20	1.008		20	1.461		20	3.374
	30	0.530		30	7.749		30	6.768
	40	0.324		40	5.619		40	4.144
	50	0.715		50	4.495		50	2.321

3.3.2 해안역 콘크리트 구조물의 위치별 염분 함유량

대상 구조물 21개소에서 채취한 코어시료의 염분측정 값을 나타낸 표 3.2에서 구조물별 평균 염분 함유량 계산하여 나타내면 표 3.3과 같다.

표 3.2 및 표 3.3에서 보면 각 구조물 콘크리트의 염분 함유량이 전체적으로 많은 것으로 나타나며, 최소 1m³당 최소 0.469kg/m³에서 최대 17.961kg/m³ 범위이다. 보통 콘크리트의 염분 함유량 규제 값인 0.3kg/m³에 비하면 매우 높은 수준임을 알 수 있다.

또한, 표에서 보면 C15와 C16은 염분량이 매우 높게 나타나고 있는데, 이것은 구조물이 해안 쪽 10~50m에 위치하고 있어 직접 해수 영향을 받는 관계로 보인다.

염분 함유량이 비교적 적은 A03은 해안과의 거리가 다른 구조물에 비해 멀리 떨어져 있고, 주변에 많은 건축물이 있어 차단되는 효과로 인해 나타나는 현상으로 본다.

표 3.3 각 구조물별 염분 함유량(평균)

시료명	염분함유량 평균 (kg/m ³)	시료명	염분함유량 평균 (kg/m ³)
A01	1.305	C12	3.409
A02	1.408	C13	4.235
A03	0.469	C14	6.571
B04	2.074	C15	17.961
B05	1.656	C16	11.937
B06	1.333	C17	2.027
B07	0.623	C18	4.787
B08	5.074	C19	1.389
C09	4.323	C20	5.332
C10	1.202	C21	4.147
C11	2.943		

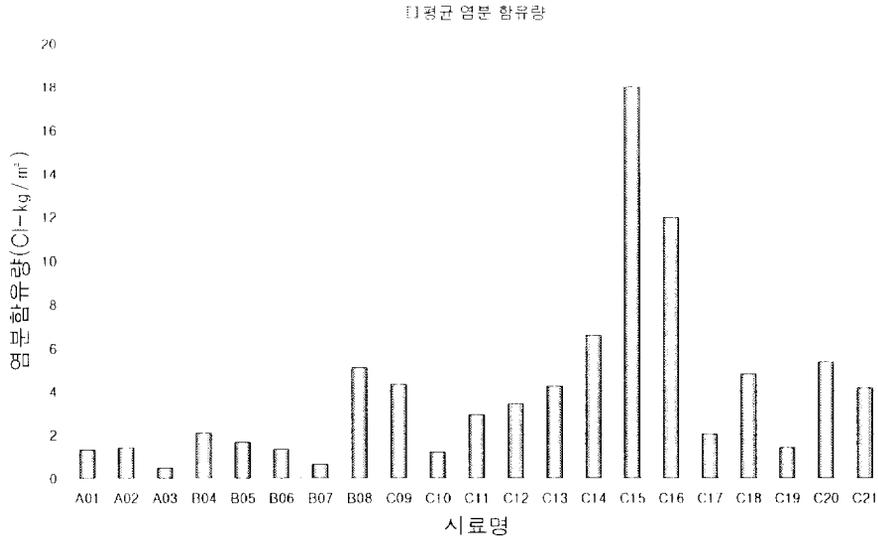


그림 3.2 각 구조물별 염분 함유량(평균)

표 3.2에서 나타난 각 구조물의 위치별 염분함유량 정도에 따라 구분하여 그래프로 나타내면 그림 3.3~그림 3.6과 같다. 함유량 정도에 따른 구분은 2.0kg/m^3 이내, $2.0\sim 4.0\text{kg/m}^3$, $4.0\sim 6.0\text{kg/m}^3$, 6.0kg/m^3 이상으로 하였다.

그림 3.3은 21개의 조사 대상 구조물 중 염분 함유량 평균이 2.0kg/m^3 이 내인 구조물은 8개로 나타났으며 최소 0.469kg/m^3 최대 1.656kg/m^3 의 염분을 함유하고 있었다. 그림 3.4는 염분 함유량 평균이 $2.0\sim 4.0\text{kg/m}^3$ 인 구조물은 4개로 나타났으며 최소 2.027kg/m^3 최대 3.049kg/m^3 의 염분을 함유하고 있었다. 그리고 그림 3.5는 염분 함유량 평균이 $4.0\sim 6.0\text{kg/m}^3$ 인 구조물은 6개로 나타났으며 최소 4.147kg/m^3 최대 5.332kg/m^3 의 염분을 함유하고 있었으며, 그림 3.6은 염분 함유량 평균이 6.0kg/m^3 이상인 구조물은 3개로 나타났으며 최소 6.571kg/m^3 최대 17.961kg/m^3 의 염분을 함유하고 있는 것으로 측정되었다.

평균 염분 함유량이 2kg/m^3 이내인 8개 구조물의 대부분은 코어 채취 부

위가 해수면 반대편 면이며, 평균값은 1.75kg/m^3 정도이다. 이에 비하여 해수면 방향에서 채취한 경우는 전체 평균값이 5.40kg/m^3 정도로 높아 약 3배 정도 차이를 보인다.

이것은 구조물의 위치에 따라 포말대(泡沫帶)의 영향을 직접 받는 경우 표면에 과다한 염분이 흡착되고, 흡착된 염분이 내부로 이동이 많이 일어난 때문으로 본다.

또한 그림에서 보면 염분의 평균 함유량이 많은 경우는 대체로 내부 깊이 별 함유량의 차이도 크게 나타나고 있어 변화가 심하다는 것을 볼 수 있다. 이것은 내부에 침투한 염분이 콘크리트내의 공극수에 존재하면서 일사에 의한 구조물의 온도영향 등으로 표면부에서 내부로 이동하는 현상에서 비롯되는 것으로 본다.

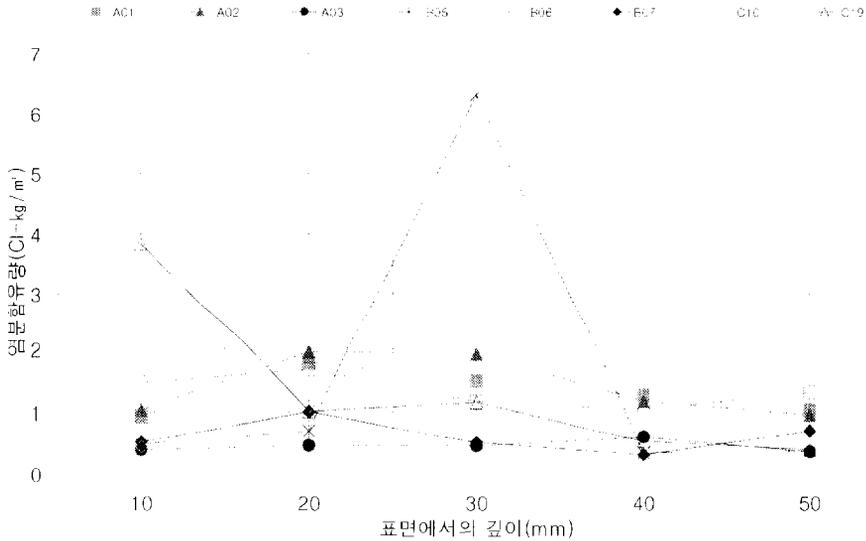


그림 3.3 염분량 2.0kg/m^3 이내 구조물

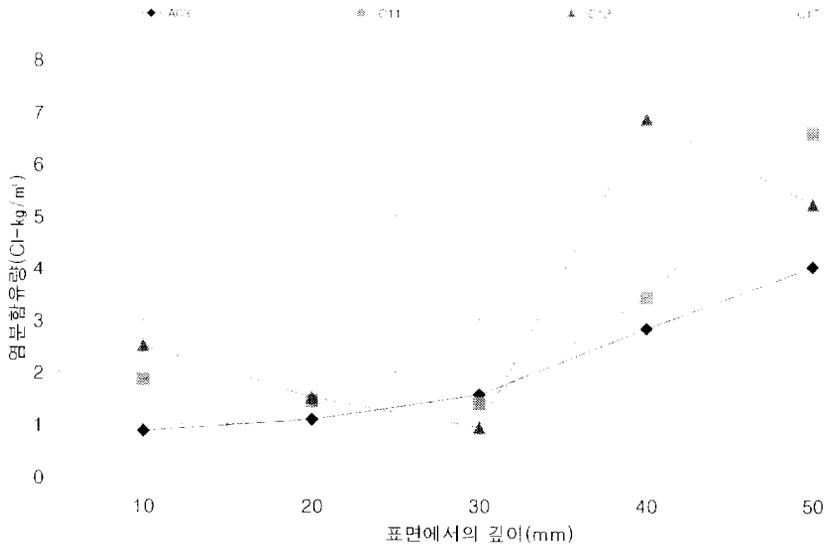


그림 3.4 염분량 2.0~4.0kg/m³ 구조물

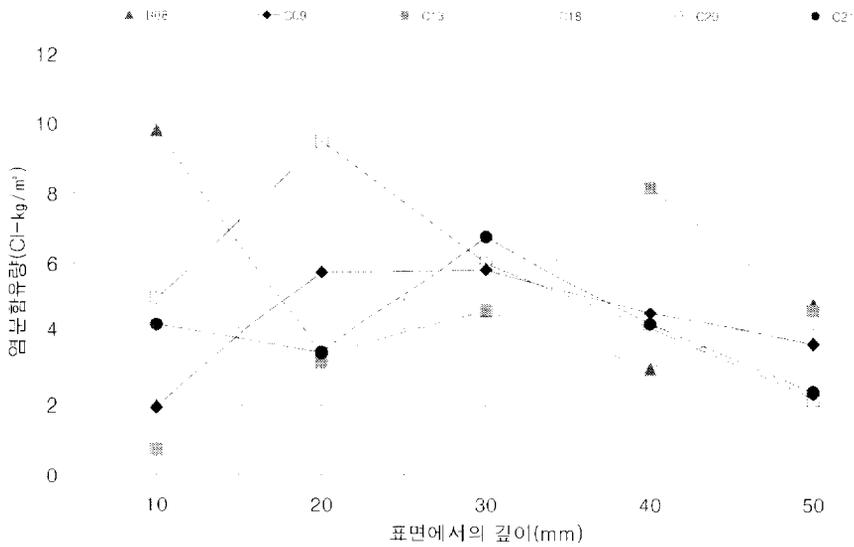


그림 3.5 염분량 4.0~6.0kg/m³ 구조물

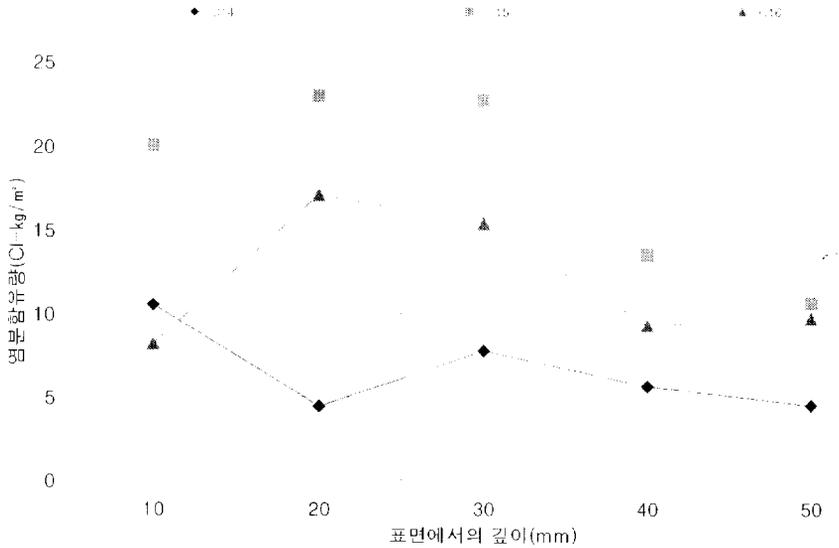


그림 3.6 염분량 6.0kg/m 이상 구조물

3.3.3 표면에서의 깊이별 염분 함유량

21개의 대상 구조물에서 채취한 코어시료를 10mm 토막으로 절단하여 측정한 염분량을 나타낸 표 3.2에서 보면 함유량이 최소 0.32kg/m³에서 최대 22.96kg/m³ 수준까지 나타나 매우 높다.

조사한 대상 구조물의 전체에서 대체로 어느 깊이 부위에서 염분 함유량이 많은지를 알기 위해 그래프로 나타내면 그림 3.7~그림 3.9와 같고, 전체를 평균하여 나타내면 그림 3.10과 같다. 그림 3.10에서 보면 30mm 깊이에서 함유량이 가장 높고, 다음으로 20mm, 10mm, 40mm 및 50mm의 순으로 낮게 분포하는 것을 볼 수 있다.

이러한 결과는 해안지역 철근콘크리트 구조물의 피복두께 기준 설정에서 고려되어야 할 것으로 본다.

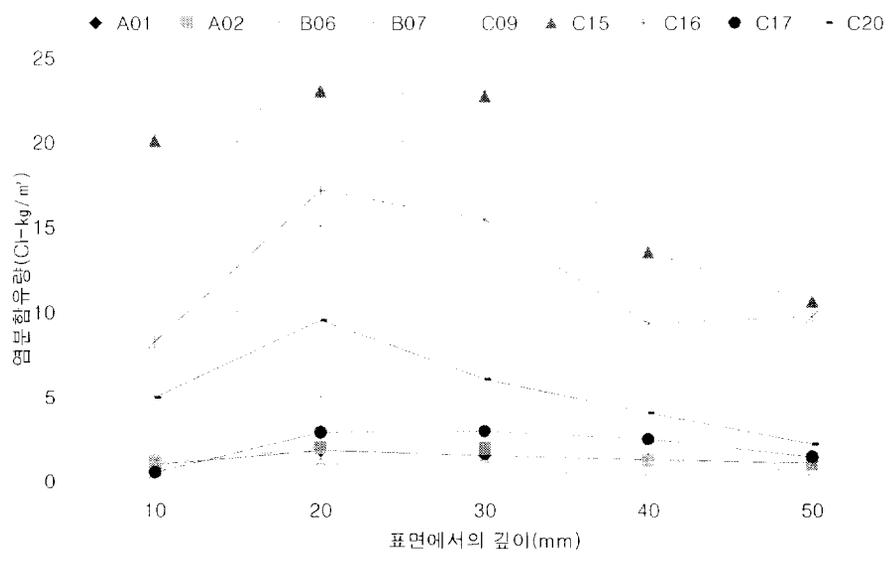


그림 3.7 깊이별 염분 함유량(10~30mm)

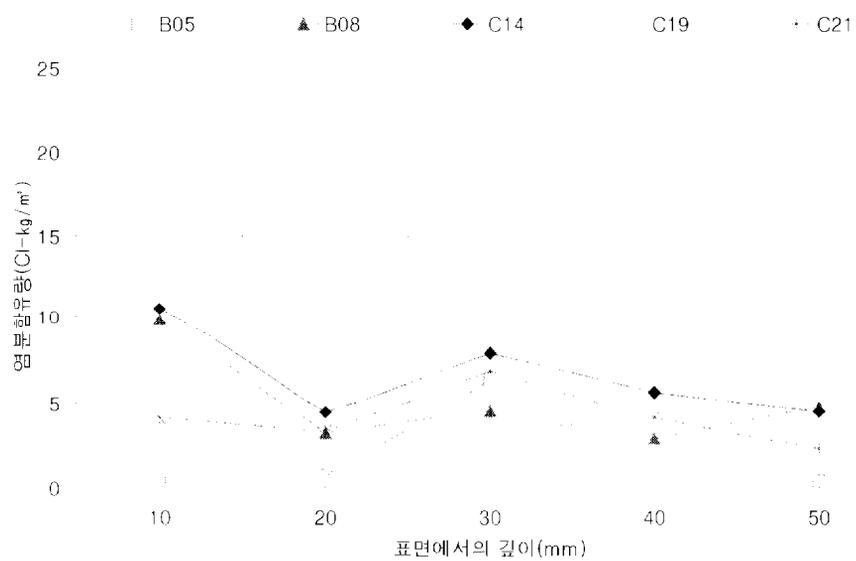


그림 3.8 깊이별 염분 함유량(20~40mm)

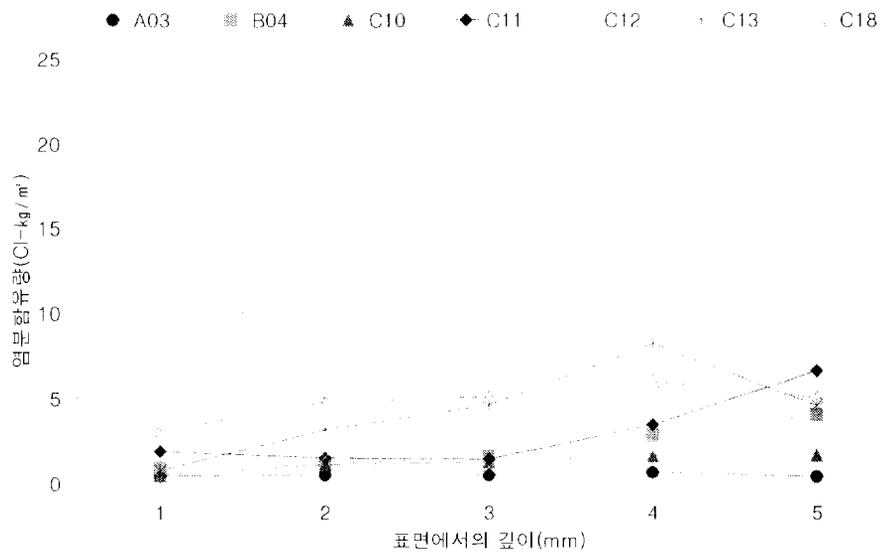


그림 3.9 깊이별 염분 함유량(30~50mm)

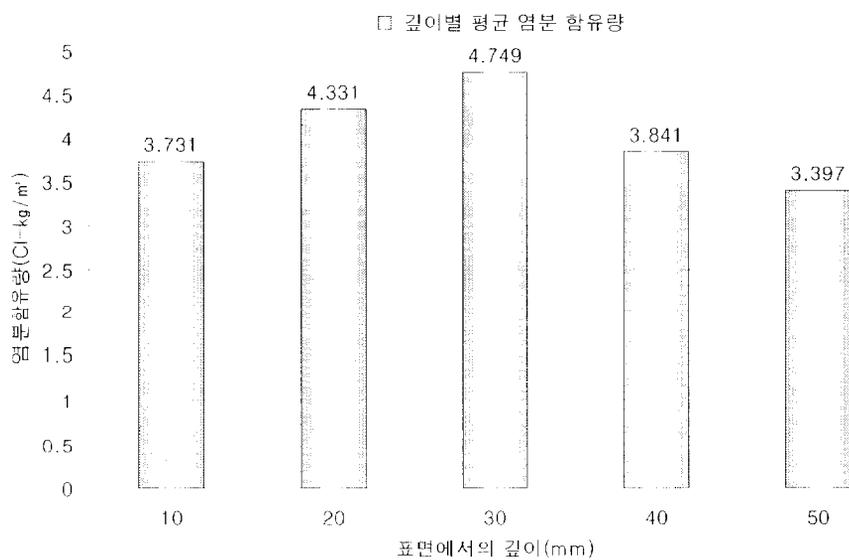


그림 3.10 깊이별 평균 염분 함유량

3.3.4 구조물의 추정연수와 염분 함유량

중성화 깊이 측정값으로 추정한 구조물의 경과연수를 나타낸 것이 표 3.4이다.

그림 3.11은 중성화 깊이에 따른 추정경과연수와 평균 염분함유량을 나타낸 것이다. 그림에서 보면, 그래프의 두선의 변화 추세가 대체로 유사한 형태로 나타내고 있다. 추정경과연수가 높은 구조물일수록 염분 함유량이 증가하고 있는 것으로 나타나 경과연수와 염분 함유량은 어느 정도 상관성이 있는 것으로 보인다. 이는 해안에 위치한 구조물의 경우 경과연수가 오래될수록 내부로 침투하는 염분량도 증가하여 축적된다는 사실을 의미하는 것이다.

표 3.4 중성화 깊이 측정결과 및 경과연수 추정

시료명	중성화 깊이(cm)	추정경과연수	시료명	중성화 깊이(cm)	추정경과연수
A01	1.2	10	C12	1.6	18
A02	1.2	10	C13	1.7	20
A03	1.0	7	C14	1.7	20
B04	1.6	18	C15	2	28
B05	1.8	23	C16	1.8	23
B06	1.7	20	C17	1.5	16
B07	0.9	5	C18	1.4	14
B08	1.0	7	C19	1.6	18
C09	1.8	23	C20	1.5	16
C10	1.8	23	C21	0.9	5
C11	1.8	23			

*주정식 : $Y=7.2C^2$ (岸谷式) 여기서 Y=년수, C=중성화깊이(cm)

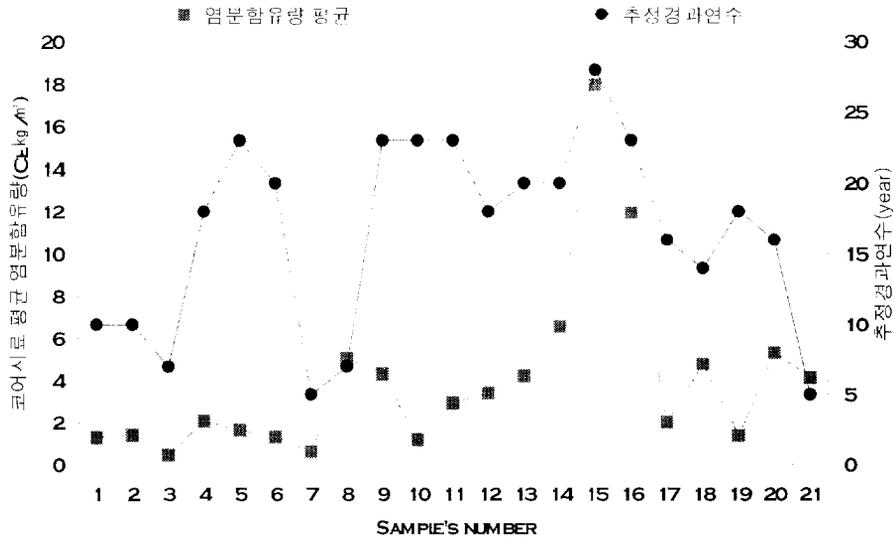


그림 3.11 추정경과연수와 염분 함유량

3.3.5 콘크리트 흡수율 및 흡수계수와 염분 함유량

표 3.5는 코어시료의 기본 자료와 10분까지의 흡수량 측정 결과를 나타낸 것이다.

콘크리트 재료 내부의 연속공극율이 클수록 흡수율 및 흡수계수가 증가하고, 흡수율이 증가할수록 비래염분의 내부 침투도 용이할 것으로 판단되어 코어 공시체의 흡수율 및 흡수계수를 측정하였다. 그러나 이 측정값 중 흡수계수는 KS 규정에 의한 흡수계수 측정법의 시료크기에 미달되므로 시료를 수중에 함침 하여 0.1초단위로 측정된 무게변화를 환산하여 구하였다. 코어공시체의 흡수율과 흡수계수는 표 3.5와 같다.

표 3.5에서 보면 흡수율은 0.15~3.05%/wt 정도로 나타나며, 흡수계수는 0.00036~0.00584kg/m³h^{0.5}로 나타났다. 흡수율 및 흡수계수의 차이가 많이 나타나며, 그 값이 매우 낮게 측정된 경우는 측정에 쓰인 코어공시체 직경

이 작은 관계로 내부에 굵은 골재가 포함되어 나타난 현상으로 본다. 그러나 참고 자료로서 흡수율 및 흡수계수와 염분 함유량 분포의 관계를 그래프로 나타내면 그림 3.12와 같다.

그림 3.12는 코어 공시체의 염분함유량 평균값과 흡수율 및 흡수계수와의 관계를 나타낸 것으로 높은 상관성은 발견할 수 없는 수준이다.

표 3.5 코어공시체의 물성 및 흡수량 측정 결과

시료명	지름	높이	체적	흡수율	흡수계수평균
NO	D(mm)	(mm)	cm ³	%/wt	(kg/m ² h ^{0.5})
A01	33.5	13.5	11.90	2.96	0.00538
A02	33.5	5.1	4.50	2.75	0.00352
A03	33.5	8	7.05	2.10	0.00417
B04	33.5	22	19.39	1.01	0.00226
B05	33	18	15.40	0.65	0.00109
B06	33	25	21.38	2.36	0.00685
B07	33.5	11.5	10.14	0.78	0.00100
B08	33	36	30.79	0.22	0.00103
C09	33.5	14	12.34	1.86	0.00365
C10	33.5	28	24.68	3.01	0.00807
C11	33.5	12	10.58	2.44	0.00338
C12	33.5	15	13.22	3.05	0.00584
C13	33	25	21.38	1.57	0.00386
C14	33	5.1	4.50	0.28	0.00046
C15	33	7.5	6.42	0.98	0.00127
C16	33	33	28.23	1.11	0.00360
C17	33	42	35.92	0.39	0.00170
C18	33	24	20.53	0.53	0.00168
C19	33	15.5	13.26	1.46	0.00278
C20	33	12	10.26	0.15	0.00036
C21	33	26	22.24	0.19	0.00141

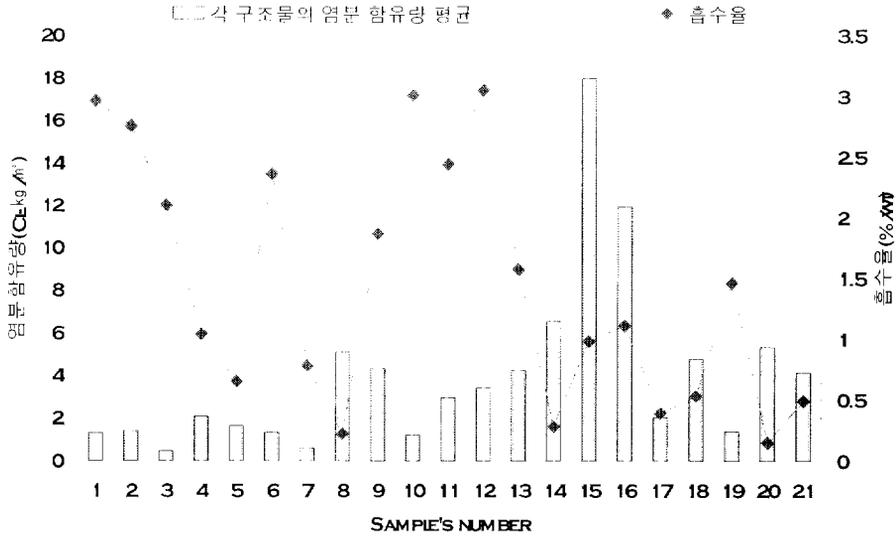


그림 3.12 흡수율과 염분 함유량

3.3.6 구조물의 표면 염분 함유량

대상 구조물 표면에 흡착된 염분을 분말 채취법 및 흡수지 용출법으로 시료를 채취하여 실험한 결과는 표 3.6과 같다.

표 3.6에서 보면 흡수지 용출법은 면적당 2.031~21.238mg/100cm² 으로 나타나며, 분말 채취법은 면적당 1.493~25.707mg/100cm²의 염분 함유량이 나타났다.

표 3.6 각 구조물별 표면 염분 함유량

시료명	흡수지용출법(mg/100cm ²)	분말채취법 (mg/100cm ²)	코어시료 염분량(kg/m ³)
A01	4.514	5.163	1.035
A02	4.873	5.422	1.408
A03	2.177	1.493	0.469
B04	6.860	5.893	2.074
B05	3.002	7.228	1.656
B06	3.515	3.751	1.333
B07	8.645	4.385	0.623
B08	14.614	9.667	5.074
C09	3.889	4.449	4.323
C10	4.563	5.252	1.202
C11	4.666	6.727	2.943
C12	5.277	10.046	3.409
C13	5.415	10.564	4.235
C14	6.234	12.424	6.571
C15	21.238	25.707	17.961
C16	14.648	15.403	11.937
C17	2.284	4.709	2.027
C18	2.031	8.106	4.787
C19	3.536	2.478	1.389
C20	15.115	14.732	5.332
C21	14.046	12.612	4.147

흡수지 용출법과 분말 채취법으로 시료를 채취하여 염분 함유량의 상관관계를 나타낸 그림 3.13을 보면 상관계수(R^2)가 0.71 정도로 나타나 어느 정도의 상관성이 있는 것으로 보인다.

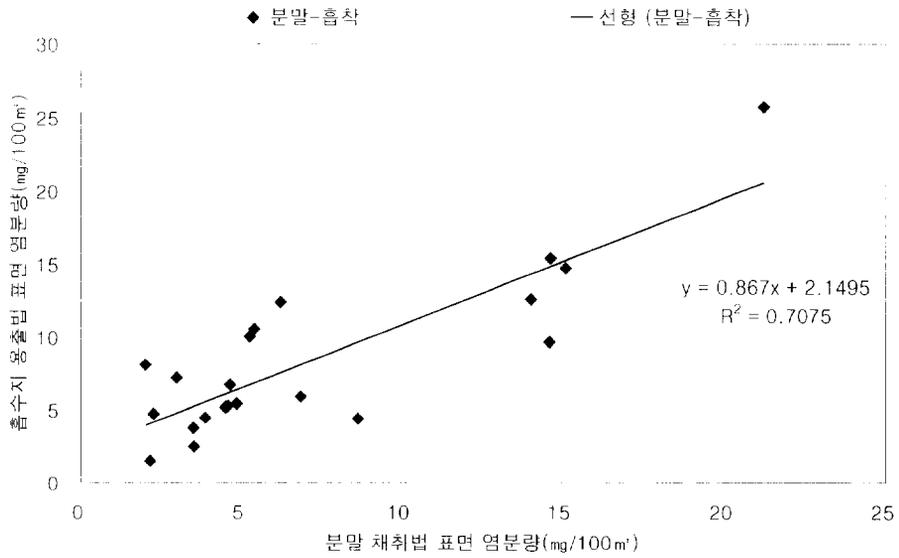


그림 3.13 흡수지 용출법과 분말 채취법에 의한 염분 함유량

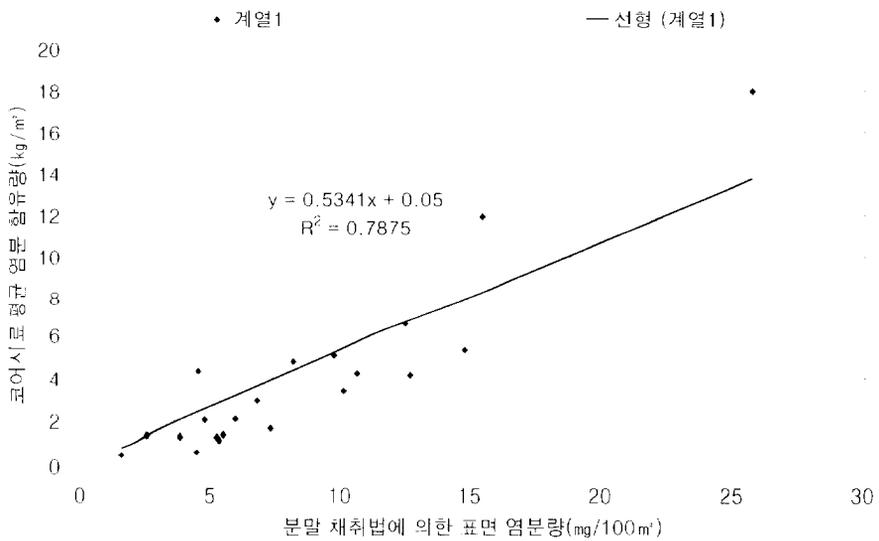


그림 3.14 표면 염분 함유량과 코어시료 염분 함유량

구조물의 표면 염분 함유량과 코어시료 염분 함유량의 상관 관계를 나타낸 그림 3.14를 보면 상관계수(R^2)가 0.79 정도로 나타나 콘크리트 구조물의 표면시료채취법에 의한 염분 함유량 측정결과로 구조물 내부의 염분 함유량을 어느 정도 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 부산지역 남구, 해운대구 및 기장군지역의 해안에 위치한 콘크리트 구조물 표면에 흡착되는 염분량과 시간 경과에 따라 구조물 내부로 침투된 염분의 분포정도를 파악하였다. 각 구조물별로 시료를 채취하여 위치별, 깊이별 염분 함유량을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 조사 대상 구조물의 염분 함유량이 최저 0.469kg/m³에서 최고 17.96 kg/m³ 범위까지로 나타났다. 이것은 철근 콘크리트 중의 염분 함유량 규제 값인 0.3kg/m³에 비하면 매우 높은 수준이다.

(2) 동일한 구조물이라 하더라도 해안을 향하고 있는 면에서 채취한 공시체와 반대편에서 채취한 공시체의 경우 염분 함유량이 3배정도의 큰 차이를 나타내었다.

(3) 내부 깊이별 염분 분포는 30mm 깊이에서 농도가 가장 높고, 20mm, 10mm, 40mm, 50mm 순으로 낮았다.

(4) 구조물 표면에 흡착된 염분을 분달 채취법으로 채취한 시료의 염분 함유량과 코어시료 평균 염분 함유량의 관계는 상관계수(R^2)가 0.79정도로 나타나 콘크리트 구조물의 표면시료채취법에 의한 염분 함유량 측정결과로 구조물 내부의 염분 함유량을 어느 정도 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

(5) 콘크리트 중성화 깊이에 따른 추정경과연수와 평균 염분 함유량을 분

석한 결과, 추정 경과연수가 오래된 구조물일수록 염분 함유량이 증가하고 있는 것으로 나타나 비래염분에 의한 내부 침투가 일어나고 있는 것으로 추정된다.

향후 연구과제로는 해안 지역 주변의 구조물에 대한 정확한 경과연수, 콘 크리트의 품질 및 위치에 따른 보다 세밀한 추가연구가 필요할 것으로 사료된다.

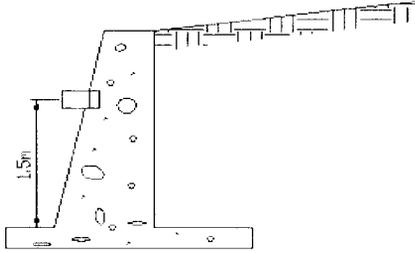
참 고 문 헌

1. 이수용, 철근콘크리트 내부의 염소이온 이동과 전기적 탈염처리에 관한 실험적 연구, 동아대학교 대학원 박사논문학위논문, 1998.
2. 김동훈, 철근콘크리트의 염해와 중성화 피해 사례 연구, 동명정보대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.
3. 최연왕, 일본 콘크리트 교량의 염해 피해사례 및 염해 열화예측, 시설안전기술공단 시설안전, 통권2호, p.121, 1999.
4. 이재영, 콘크리트의 마감종류에 따른 염수침투 저항성에 관한 실험적 연구, 부경대학교 대학원 석사학위논문, 2002.
5. 이종득, 콘크리트 공학, 도서출판 일광, 2000.
6. 김무한, 해사활용기술연구(I), 서울대학교 공학연구소, 1997.
7. 김형래, 염수에 침지시킨 콘크리트의 염분침투특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제17권 제2호, 1997.
8. 김형래, 전국 주요지역의 공기중 염분량 측정, 대한건축학회 학술발표 논문집 제14권 제2호, pp.731~734, 1994.
9. 김도겸, 해안환경 하에 있어서 철근콘크리트 구조물의 성능저하, 한국건설기술연구원 건설정보지 통권 196호, pp.6~11, 2003.
10. 김재훈, 해안지역 콘크리트내의 철근부식에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 10권2호 통권64호, pp.165~171, 1994.
11. 문점구, 공동주택 지하층 구조부의 철근피복두께에 관한 조사연구, 부경대학교 대학원 석사학위논문 2002.
12. 이종득, 철근부식진단, 도서출판 일광, pp.61~62, 1996.

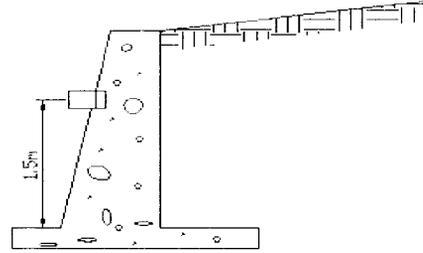
13. 신철수, 염소이온량에 따른 철근 콘크리트의 염해 및 내구 특성에 관한 연구, 연세대학교 대학원 석사학위논문, 1999.
14. 김규태, 콘크리트 구조물의 중성화에 따른 사용 연도 도출에 관한 연구, 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1999.
15. 이재우, High Volume Fly Ash 콘크리트의 철근부식저항성에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문, 2002.
16. 문소연, 분말 시료 채취방법을 이용한 경화콘크리트내 염화물량 측정, 대한건축학회 학술발표논문집 제20권 제1호, pp.359~362, 2004.
17. 이종국, 철근콘크리트중의 염화물 고정화에 관한 기초적 연구, 대한건축학회논문집 9권 3호 통권 53호, pp.183~190, 1990.
18. 임종빈, 해안지역에 있는 콘크리트의 염분침투에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제10호 제2권, pp.559~562, 1990.
19. 이장화, 염해 콘크리트 구조물의 염분침투량 분석, 한국콘크리트학회 학술논문발표집 제2권 제2호, pp.123~124, 1990.
21. KS M 0036, 이온전극 분석방법.
22. KS F 2609, 건축재료의 물 흡수계수 측정 방법.
20. [http://shinj.com.ne.kr/jung,htm](http://shinj.com.ne.kr/jung.htm).

부 록

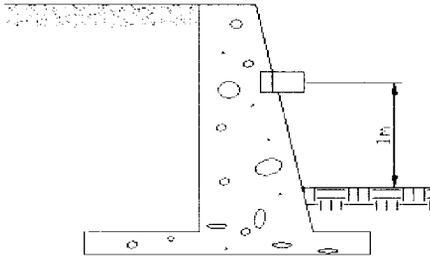
<시료 채취 위치>



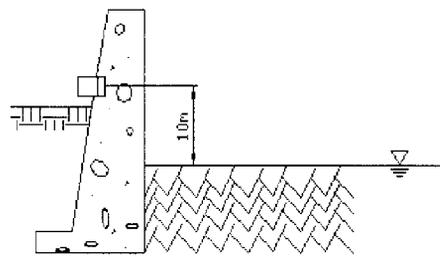
A01



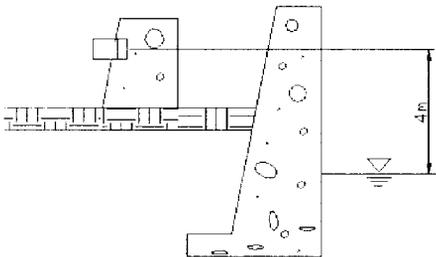
A02



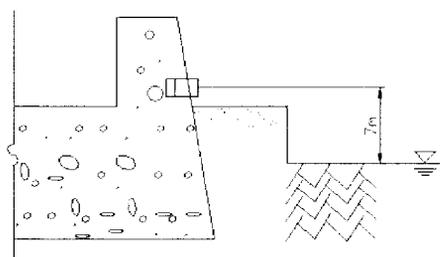
A03



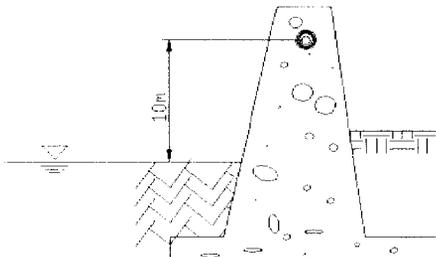
B04



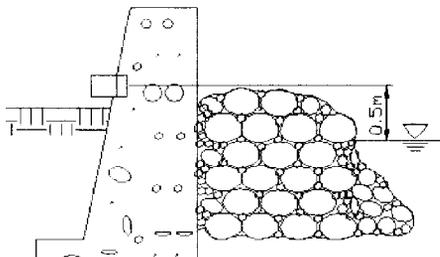
B05



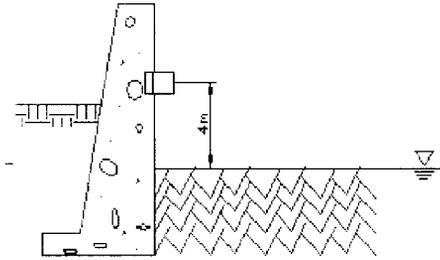
B06



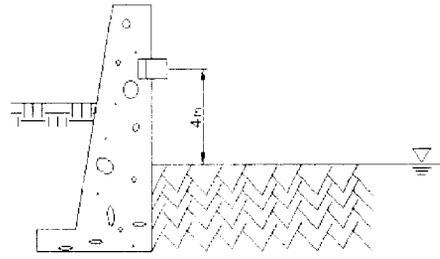
B07



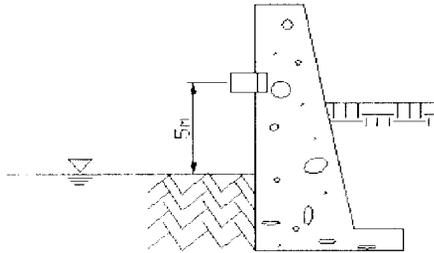
B08



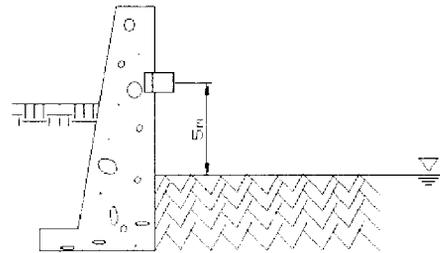
C09



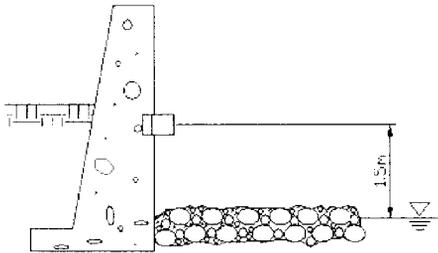
C10



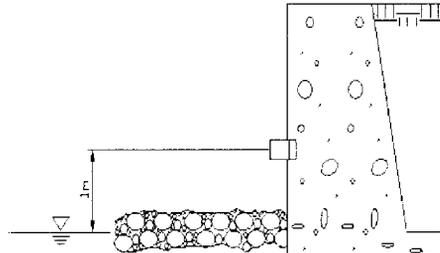
C11



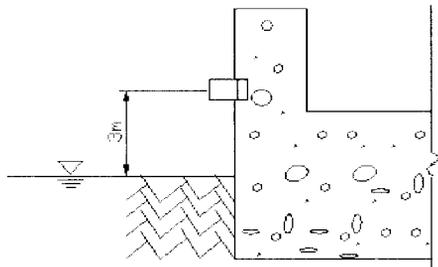
C12



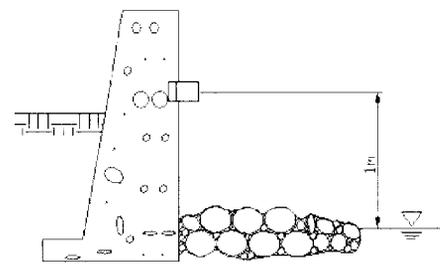
C13



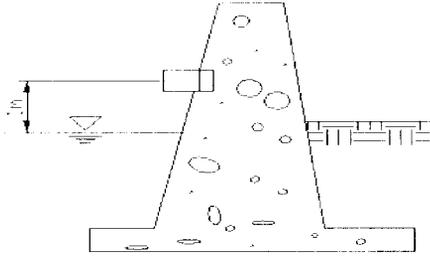
C14



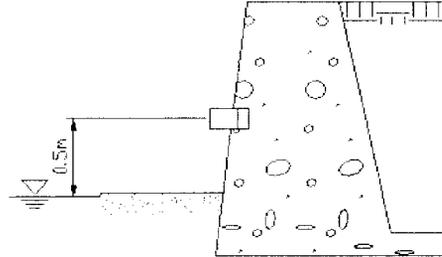
C15



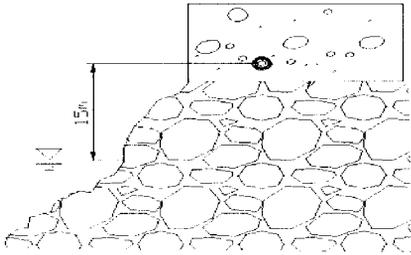
C16



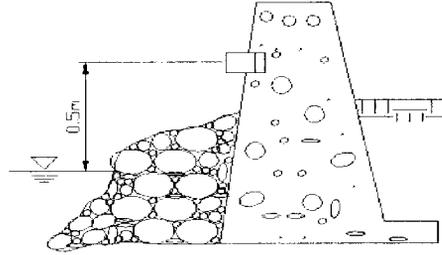
C17



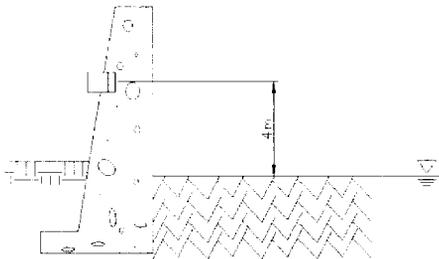
C18



C19



C20



C21



조사대상 구조물의 위치

감사의 글

오늘의 결실이 있기까지 열과 성의를 다해 지도해 주시고 주제 선정부터 끝맺음까지 세심한 지도와 사재지간보다 부모님의 마음으로 지도해주신 이수용 교수님 그리고 늘 가까이에서 지켜봐 주시고 가르치 주신 이재용 교수님 두 분의 은혜에 머리 숙여 진심으로 감사를 드립니다.

여러 가지 부족한 점이 많은 저의 논문을 바쁘신 와중에도 논문 심사를 맡아 세심한 지적을 주시고 보완을 해주신 임영빈 교수님, 박천석 교수님, 김영찬 교수님, 조영행 교수님께서도 깊은 감사를 드립니다.

논문을 쓰는 동안 분주한 사회활동 중에서도 저의 논문의 실험자료 수집에 많은 도움과 성원을 보내주신 이승철 선배님, 그리고 학위 과정에서 고락을 같이 하며 무더위도 마다하지 않고 실험을 도와준 건축 시공실의 김성훈, 이동훈, 황순중, 자연주와 학부사부실의 조교님에게 감사 드립니다.

끝으로 제가 나아가고자 하는 길에 언제나 힘이 되어 주시고 항상 묵묵히 지켜 봐주시는 하늘같은 부모님의 은혜에 깊은 감사의 마음을 전합니다.