공학석사 학위논문

# 장기재령 건물의 콘크리트 중성화 속도 및 영향요소에 관한 조사연구

지[illegible] 이 [illegible] 수 [illegible]

이 논문을 [illegible] 제출함

2003년 2월

부경대학교 대학원

건 축 공 학 과

손 일 도

# 손일도의 공학석사 학위논문을 인준함

2002년 12월 26일

주 심 공학박사 이 재 용

위 원 공학박사 임 영 빈

위 원 공학박사 이 수 용

# 목 차

Abstract

Ⅰ. 서 론 ..... 1

1.1 연구의 배경 및 목적 ..... 1

1.2 연구의 방법 및 범위 ..... 2

Ⅱ. 콘크리트의 중성화 속도 ..... 4

2.1 콘크리트의 중성화와 내구성 ..... 4

2.1.1 중성화의 메카니즘 ..... 4

2.1.2 중성화 속도 ..... 6

2.1.3 중성화와 콘크리트의 수명 ..... 9

2.2 중성화 속도에 영향을 미치는 요인 ..... 10

2.2.1 환경조건의 영향 ..... 10

2.2.2 마감재의 영향 ..... 11

2.2.3 공극구조와 중성화 ..... 13

Ⅲ. 철거건물 콘크리트의 중성화 실험 ..... 14

3.1 조사 ..... 14

3.1.1 조사대상 건축물의 개요 ..... 14

3.1.2 시료의 채취 ..... 14

3.2 시료의 중성화 시험 ..... 18

3.2.1 마감재 종류 및 두께 ..... 18

3.2.2 중성화 측정 ..... 20

3.2.3 중성화속도계수 ..... 20
3.3 물 흡수계수 ..... 20

Ⅳ. 실험결과 및 고찰 ..... 22
4.1 채취시료의 실험결과 ..... 22
4.2 실내외의 중성화속도계수 ..... 25
4.3 부재별 중성화속도계수 ..... 26
4.3.1 보의 중성화속도계수 ..... 29
4.3.2 슬래브의 중성화속도계수 ..... 30
4.3.3 기둥의 중성화속도계수 ..... 31
4.3.4 벽체의 중성화속도계수 ..... 32
4.4 높이별 중성화속도계수 ..... 33
4.5 마감재료별 중성화속도계수 ..... 35
4.6 콘크리트의 흡수성과 중성화속도계수 ..... 39
4.6.1 물 흡수계수와 중성화속도계수 ..... 39
4.6.2 콘크리트의 밀실성과 중성화속도계수의 상관성 ..... 40

Ⅴ. 결 론 ..... 43

참고문헌 ..... 45

부 록 ..... 47

# 표목차

표 2.1 중성화 속도식 ..... 7
부록표 1 중성화 비율 R ..... 8
부록표 2 ..... 8
부록표 3 ..... 8
표 2.2 환경조건 및 마감재에 의한 콘크리트의 중성화깊이 ..... 11
표 3.1 조사대상 건축물의 개요 ..... 14
표 3.2 조사대상 건물의 시료채취 부위 및 마감재 구성 ..... 18
표 4.1 조사대상 건물의 채취시료 실험결과 ..... 22
표 4.2 조사건물 콘크리트의 중성화 측정결과(평균) ..... 25
표 4.3 조사대상 건물의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 25
표 4.4 부재별 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 27
표 4.5 보의 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 29
표 4.6 슬래브의 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 30
표 4.7 기둥의 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 31
표 4.8 벽체의 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 32
표 4.9 높이별 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 33
표 4.10 마감재료별 중성화속도계수 ..... 36
표 4.11 상관분석에 사용된 시료 ..... 41
표 4.12 물 흡수계수와 중성화속도계수의 상관분석 ..... 41

# 그림목차

그림 1.1 연구의 흐름도 ..... 3
그림 2.1 중성화 메카니즘 ..... 5
그림 2.2 중성화와 콘크리트 수명 ..... 9
그림 2.3 상대습도와 중성화속도계수 ..... 10
그림 2.4 실내외의 영향에 따른 중성화 깊이 ..... 11
그림 2.5 강우의 영향에 따른 중성화 깊이 ..... 11
그림 2.6 마감재두께와 중성화깊이 ..... 12
그림 2.7 모세관 공극과 중성화깊이 ..... 13
그림 3.1 시료채취 단면도(A건물) ..... 16
그림 3.2 시료채취 부위 단면도(B건물) ..... 17
그림 3.3 시료채취 부위 단면도(C건물) ..... 17
그림 4.1 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 26
그림 4.2 수평부재의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 28
그림 4.3 수직부재의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 28
그림 4.4 보의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 29
그림 4.5 슬래브의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 30
그림 4.6 기둥의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 31
그림 4.7 벽체의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수 ..... 32
그림 4.8 높이별 중성화속도계수 및 물 흡수계수(실내) ..... 34
그림 4.9 높이별 중성화속도계수 및 물 흡수계수(실외) ..... 34
그림 4.10 마감재두께별 중성화속도계수(A건물) ..... 37

그림 4.11 마감재료별 중성화속도계수(B건물) ..... 38
그림 4.12 마감재료별 중성화속도계수(C건물) ..... 38
그림 4.13 물 흡수계수와 중성화속도계수(실내) ..... 39
그림 4.14 물 흡수계수와 중성화속도계수(실외) ..... 40
그림 4.15 물 흡수계수와 중성화속도계수의 상관성 ..... 42

# 사진목차

사진 3.1 시료채취 장면 ..... 15
사진 3.2 물 흡수계수 측정 ..... 21

# A study on the Carbonation Velocity and factors influence on concrete of the Long-Term Aged Buildings

Il-Do Son

Department of Architectural Engineering, Graduate School,
Pukyong National University

## Abstract

This research is to investigate the correlations between the carbonation velocity and environmental condition in the long-term aged concrete buildings. For this purpose, concrete core-specimens were cut out from the buildings which are 24-year, 32-year, and 58-year old.

In the test depth of carbonation, the water absorption coefficient and thickness of the finishing materials are measured.

This paper describes test result effects of the water absorption coefficient, kinds of finishing materials and environmental conditions upon the carbonation velocity coefficient.

The results of this research are as follows:

1) The carbonation velocity of indoor is higher than that of outdoor.

2) The carbonation velocities of structural members such as column, beam, slab, wall were different.

3) The carbonation velocity of lower floors generally tends to be

higher than that of the upper floors.

4) The carbonation velocity depends on the type of finishing material, quality of cement mortar and surface finishing work.

5) As a result of analysis correlation between the carbonation velocity coefficient and the water absorption coefficient, these two factors are correlated.

# Ⅰ. 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

콘크리트는 시멘트 수화생성물 중의 수산화칼슘과 나트륨, 칼륨 등의 금속이온에 의해 pH 13 이상의 강알칼리성을 유지함으로써 내부의 철근부식을 억제한다. 그러나 콘크리트 속의 수산화칼슘은 대기 중의 $CO_2$와 반응하면 탄산칼슘으로 변화하여 대기중에 있는 콘크리트는 표면에서부터 서서히 알칼리성을 잃어간다. 이와 같은 작용으로 철근표면의 부동태 피막이 파괴되면서 부식으로 발전하게 되는 것을 통상적으로 중성화(carbonation)라고 한다.[1)]

철근콘크리트 구조물의 중성화에 의한 수명은 건축공사 표준시방서에 의한 주요구조부 피복두께 4cm를 기준으로 할 때 이론적으로 115.2년으로 반영구적인 구조물로 인식되어 왔다. 그러나 근래 철근콘크리트 구조물은 20년이 지나면 구조물이 노후화되어 철거 및 재건축 등 재개발 사업이 논의되고 있다.

이는 철근콘크리트 구조물의 시공시 콘크리트 품질이나 콘크리트 타설시의 다짐불량 및 재료분리, 초기 양생불량에 의한 균열 등의 내적 요인과 산업발달로 인한 대기 중의 $CO_2$, 아황산 가스 및 산성비의 증가 등 외적 요인이 복합적으로 작용하여 콘크리트의 내구성이 저하한다고 볼 수 있다.

그러나 현행 건축공사 표준시방서에는 이에 대한 언급이 없을 뿐만

---

1) 유병길, [illegible]에 의한 시멘트복합재의 [illegible] 측정방법, 서울대학교 석사학위 논문, 2002, p.1.

아니라 국내의 경우 이와 관련된 실험데이터의 부족으로 실제 구조물에 대한 내구성 평가시 외국의 자료를 그대로 이용하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 중성화에 관한 문헌 고찰 및 구조물로써의 기능을 상실한 철근콘크리트의 품질과 중성화 정도의 관계를 평가하고, 중성화 속도에 미치는 영향요소를 분석함으로써 콘크리트 건축물의 내구연한 증가를 위한 기초적인 자료를 제시하고자 하는데 그 목적이 있다.

## 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 콘크리트의 중성화속도에 관한 문헌 고찰 및 기존 철근콘크리트 구조물 2개동과 조적조 건물 1개동의 콘크리트 부분을 대상으로 40여개의 시료를 채취하여 중성화 시험을 하였다.

본 연구의 방법 및 범위는 아래와 같다.

첫째, 기존 연구결과를 중심으로 콘크리트의 중성화 속도에 미치는 영향요인을 고찰하였다.

둘째, 장기재령 철거건물 콘크리트의 부위별 마감두께, 마감재료 등을 조사하고, 실내외의 영향을 비교, 분석하였다.

셋째, 시료를 적당 크기로 채취하여 중성화 깊이, 물 흡수계수를 측정하여 중성화속도와의 관계를 분석하였다.

넷째, 기존의 중성화 영향 요소와 중성화속도에 관한 실험식과 실측치를 비교, 분석하였다.

본 연구의 진행과정을 나타내면 그림 1.1과 같다.

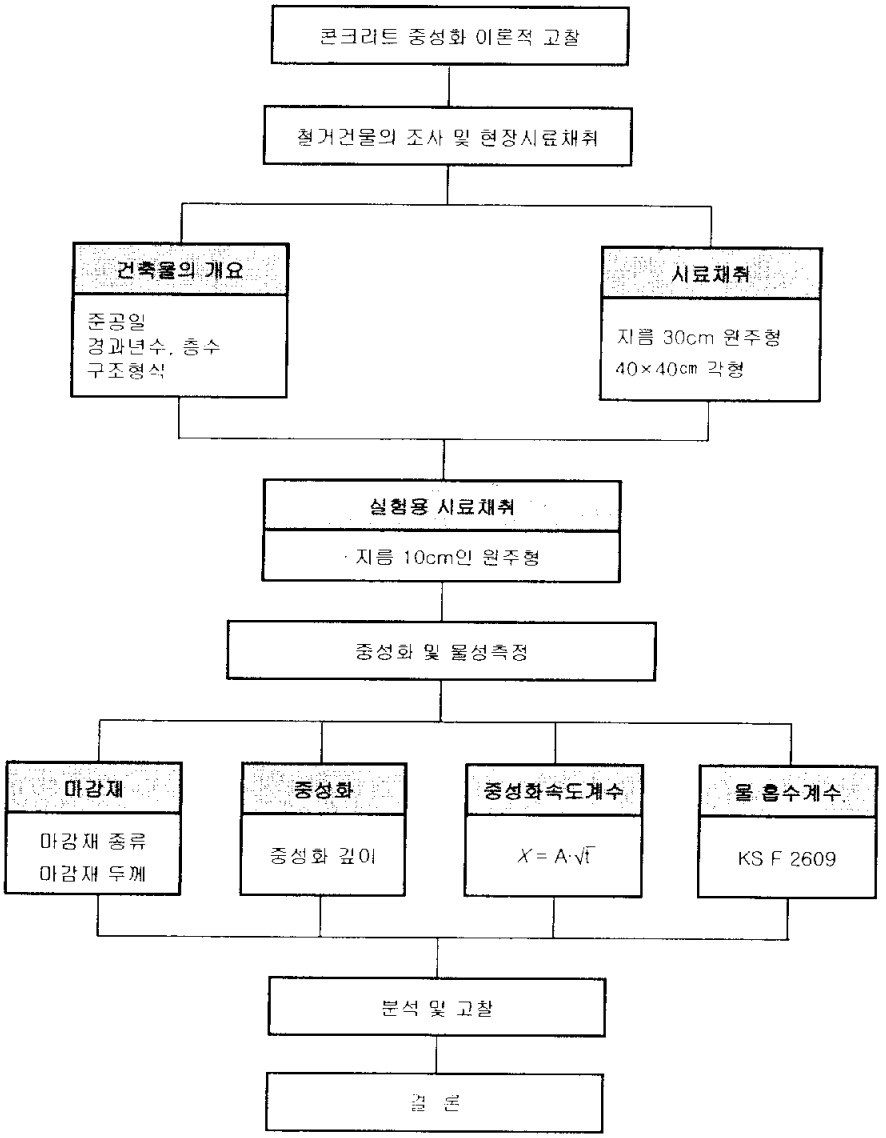

콘크리트 중성화 이론적 고찰
철거건물의 조사 및 현장시료채취
건축물의 개요
준공일
경과년수, 층수
구조형식
시료채취
지름 30cm 원주형
40×40cm 각형
실험용 시료채취
지름 10cm인 원주형
중성화 및 물성측정
마감재
마감재 종류
마감재 두께
중성화
중성화 깊이
중성화속도계수
$X = A\cdot\sqrt{t}$
물 흡수계수
KS F 2609
분석 및 고찰
결 론

그림 1.1 연구의 흐름도

# Ⅱ. 콘크리트의 중성화 속도

## 2.1 콘크리트의 중성화와 내구성

콘크리트 속에 있는 철근은 pH 13 이상의 높은 알칼리성 환경 하에서 철근 표면에 얇고 매우 치밀한 산화피막이 형성되어 있어(부동태피막) 더 이상의 부식진행 없이 오랫동안 유지된다.

그러나 콘크리트의 강한 알칼리성을 유지시켜주는 수산화칼슘은 대기중의 $CO_2$ 및 아황산가스등 산성오염성분과 반응하여 탄산칼슘등 염으로 변화면서 콘크리트 표면으로부터 차츰 내부로 향하여 반응이 진행되며, 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH는 8.5~10 정도로 낮아진다. 이 현상을 콘크리트의 중성화라 한다.[2)]

### 2.1.1 중성화의 메카니즘

시멘트의 수화반응에서 시멘트양의 약 1/3이 생성되는 수산화칼슘은 pH 12~13 정도의 강알칼리성을 나타낸다. 이것이 시멘트 수화물 전체의 pH를 결정하고 있다.

또한 대기중에는 약산성 $CO_2$가 0.035% 정도가 포함되어 있어, 수산화칼슘과 $CO_2$가 다음과 같이 반응하여 탄산칼슘과 물을 생성한다.[3)]

$$2(CaO)_3SiO_2 + 6H_2O \rightarrow (CaO)_3(SiO_2)_2(H_2O)_3 + 3Ca(OH)_2 \cdots\cdots (1)$$

$$2(CaO)_2SiO_2 + 4H_2O \rightarrow (CaO)_3(SiO_2)_2(H_2O)_3 + Ca(OH)_2 \cdots\cdots (2)$$

---

2) [illegible], pp.5-6.

3) [illegible], 철근 콘크리트의 중성화 현상에 대해, 콘크리트학회지, 제4권 1호, 1992, p.17.

$$Ca(OH_2) + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

$$(CaO)_3(SiO_2)_2(H_2O)_3 + 3CO_2 \rightarrow 3CaCO_3 + 2SiO_2 + 3H_2O \quad \cdots\cdots \quad (4)$$

시멘트의 수화반응에 의한 생성물에는 수산화칼슘 이외에 물도 있으며, 탄산가스와 반응하여 식 (4)와 같이 탄산칼슘을 생성한다. 이 반응은 탄산화 반응이며 일반적으로 중성화에 포함해서 생각하지 않으면 안 된다. 따라서 탄산화를 광의로 해석하면 중성화(carbonation)와 같다.

중성화의 메카니즘은 그림 2.1과 같이 시멘트와 물이 결합하면서 생성된 수산화칼슘이 대기중의 $CO_2$와 결합하여 탄산칼슘으로 변해 가는 과정을 의미한다.[4]

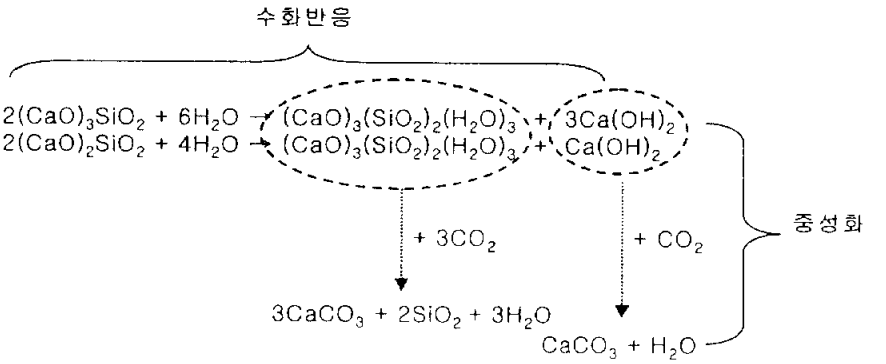



그림 2.1 중성화 메카니즘[1]

1) 유명원, 시시약에 의한 시멘트복합체의 수소이온농도 측정방법, 서울대학교 석사학위논문, 2002, p.10-11.

### 2.1.2 중성화 속도

중성화 진행속도는 콘크리트 표면으로부터 중성화한 부분과 비중성화한 부분의 경계면까지의 길이와 경과한 시간의 함수로서 나타낸다. 중성화 깊이와 경과년수와의 관계는 일반적으로 다음과 같다.

$$x = A\sqrt{t}$$ [5] ····· (5)

여기서, $x$ : 콘크리트 중성화 깊이(㎝)

$t$ : 경과년수(년)

$A$ : 시멘트, 골재의 종류, 환경조건, 혼화재료, 표면마감재 등의 정도를 나타내는 상수

식 (5)에 있어서 계수 $A$는 중성화 속도계수라고 부르는 것으로 $A$의 값이 큰 쪽이 중성화 속도가 크게 된다. 계수 $A$는 많은 외적, 내적요인에 의해 정해지는 복잡한 관수이다.

중성화속도는 일본에서 이미 오래 전부터 연구가 진행되어 왔다. 이는 기존 콘크리트 구조물의 실태조사, 시험체의 폭로시험과 중성화 촉진시험 등의 결과에 따른 것과 이론적 고찰에 의해서 제안되고 있다.[6]

표 2.1은 일본에서 제시된 중성화 속도식을 나타낸 것이다.

---

5) 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 1999, p.468.

6) 이종열, 콘크리트 조직구조 진단, 일광, 1996, pp.207~208.

표 2.1 중성화 속도식

| 제안자 | 식 | 계수, 조건 등 | 콘크리트에 사용하는시멘트의 종류 및 중성화시험 방법 |
|---|---|---|---|
| 浜田 | $t=kx^2$<br>$t=\frac{k}{R^2}x^2$ | $k=\frac{0.3(1.15+3w)}{(w-0.25)^2}$<br>$R=\gamma_c\times\gamma_a\times\gamma_s$ | 포틀랜드 시멘트<br>고로 시멘트<br>실리카 시멘트<br>플라이애쉬 시멘트 |
| 岸谷 | $t=\frac{0.3(1.15+3w)}{R^2(4.6w-0.25)^2}x^2$ $(w\geq 0.6)$<br>$t=\frac{7.2}{R^2(4.6W-1.76)^2}x^2$ $(w\leq 0.6)$ | 부록표 1 | 자연폭로시험<br>(6년까지) |
| 内田森 | $t=\alpha\cdot\beta\cdot\gamma\frac{Q}{(R\cdot W/C-P)^2}\cdot x^2$<br>($x$ : mm 단위) | $\alpha$: 콘크리트의 품질계수, 다짐이 충분하면 1, 보통이면 1.5,불충분하면 2<br>$\beta$: 페이스트, 모르터, 타일 등의 마감재를 사용할 때의 효과를 나타내는 계수로 중성화 깊이비로 나타낸다. 보통포틀랜드 시멘트B,C종고로시멘트에 대해서 1이하의 값을 잡는다.<br>$\gamma$: 환경조건에 따른 계수로 1로 부여할 수 있다.<br>P,Q,R: 시험으로정한계수 | 보통포틀랜드 시멘트<br>고로시멘트 A,B,C종<br>자연폭로시험, 촉진시험<br>(10년까지) |
| 依田 | 부록표 2 | $\alpha$: 콘크리트의 품질계수, 다짐이 충분하면 1 적당한 정도로 잡되었을 때 0.75, 보통이면 0.5, 거의 하지않았을 때 0.25<br>$\beta$: 중성화지연 효과계수 (부록표 3)<br>$\gamma$: 환경조건(대우 일반적인 지역의 경우 1) | 보통포틀랜드 시멘트<br>고로시멘트 A,B,C종<br>자연폭로시험, 촉진시험<br>(20년까지) |

$\omega$ 또는 W/C : 물시멘트비, t : 시간 (년), $\chi$: 중성화깊이(mm), R : 중성화비율

부록표 1 중성화 비율 R

| 시멘트의 종류 ($\gamma_c$) | 포틀랜드시멘트 | | 고로시멘트 | | 실리카시멘트 1.7 | 플라이애쉬시멘트 (플라이애쉬 20%) 1.9 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 보통 1 | 조강 0.6 | 슬럼프 30~40% 1.4 | 슬럼프 60% 2.2 | | |
| 골재의 종류 ($\gamma_a$) | 강모래·강자갈 1 | | 강모래·강자갈 1.2 | | 강모래·강자갈 2.9 | 석탄재(잔 것·굵은 것) 3.3 |
| 표면활성제의 유무 ($\gamma_s$) | 플레인 1 | | AE제 0.6 | | 분산제 0.4 | |

부록표 2

| 내외별 | 고로시멘트 A종 | 고로시멘트 B종 | 고로시멘트 C종 | 보통포틀랜드시멘트 |
|---|---|---|---|---|
| 옥내 | $t=\alpha\cdot\beta\cdot\gamma=\frac{117}{(100W/C-25)^2}x^2$ | $t=\alpha\cdot\beta\cdot\gamma=\frac{95}{(100W/C-26)^2}x^2$ | $t=\alpha\cdot\beta\cdot\gamma=\frac{68}{(100W/C-28)^2}x^2$ | $t=\alpha\cdot\beta\cdot\gamma=\frac{262}{(100W/C-18)^2}x^2$ |
| 옥외 | $t=\alpha\cdot\beta\cdot\gamma=\frac{182}{(100W/C-27)^2}x^2$ | $t=\alpha\cdot\beta\cdot\gamma=\frac{207}{(100W/C-24)^2}x^2$ | $t=\alpha\cdot\beta\cdot\gamma=\frac{251}{(100W/C-19)^2}x^2$ | $t=\alpha\cdot\beta\cdot\gamma=\frac{262}{(155W/C-36)^2}x^2$ |

부록표 3

| 구 분 | 마감재 없음 | 페인트 | 모르터 | 타일 |
|---|---|---|---|---|
| 중성화비 | 1.0 | 0.4 | 0.2 | 0.125 |
| | 1.0 | | 두께 15mm이상 : 0.5<br>두께 12mm이하 : 0.5 | |

### 2.1.3 중성화와 콘크리트의 수명

철근 콘크리트 구조물의 실태조사에 의하면 일반환경하의 경우 철근의 부식은 중성화 깊이와 피복 두께의 상관관계에 의해 결정된다고 알려져 있다.

중성화와 철근 콘크리트의 수명과의 관계는 그림 2.2와 같다.

여기서 $t_1$은 중성화 깊이가 철근의 표면에 달하는 시점이며 지금까지는 철근 콘크리트 구조물의 수명을 $t_1$의 시점으로 판단하여 왔다. 그리고 한편으로는 부재 내력이 한계에 도달하는 시점인 $t_3$를 수명으로 보는 설도 있다. 그러나 최근에는 $t_1$의 시점은 부재 내력상 너무 안전하고 $t_3$는 너무 위험한 영역에 속하여 철근이 부식되어 균열을 발생키키는 시점인 $t_2$를 철근 콘크리트의 수명 산정점으로 정의하고 있다.[7]

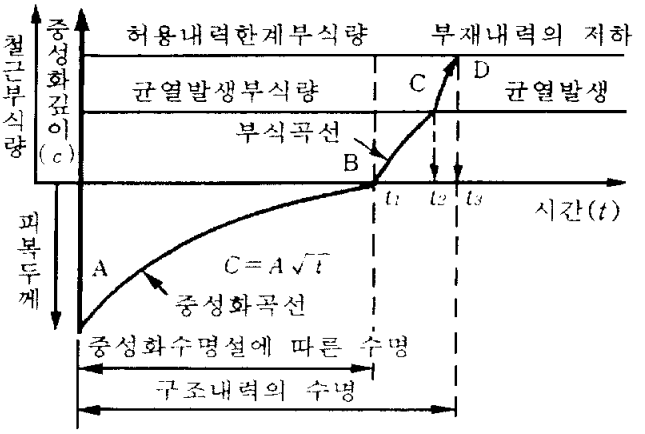



그림 2.2 중성화와 콘크리트 수명[9]

7) 송하원, 콘크리트의 피복에 의한 중성화, 콘크리트학회지, 제11권 1호, 1999, pp.6~7.

## 2.2 중성화 속도에 영향을 미치는 요인

### 2.2.1 환경조건의 영향

중성화에 영향을 미치는 환경인자로서는 온도, 습도, $CO_2$ 농도, 실내외, 방위 등이 있다. 온도는 기체인 $CO_2$의 활성화와 콘크리트 내부의 확산속도 및 중성화 반응에 관계하며 온도가 상승하면 중성화는 빨라진다. 습도의 영향은 일반적으로 대기중의 상대습도가 50~70%의 경우에 중성화 반응이 가장 빠르게 진행되며, 그림 2.3에서와 같이 습도가 높은 경우에는 콘크리트 내부공극중에 존재하는 수분으로 인하여 $CO_2$의 확산이 저지되어 중성화는 늦어진다. 또한 그림 2.4, 그림 2.5에서와 같이 실내의 중성화속도는 실외보다 빠르다는 것을 알 수 있다. 이것은 실외의 $CO_2$ 농도가 실내보다 낮기 때문이며, 실외라도 비에 젖는 부분보다 비에 젖지 않는 부분의 중성화가 빠르다.

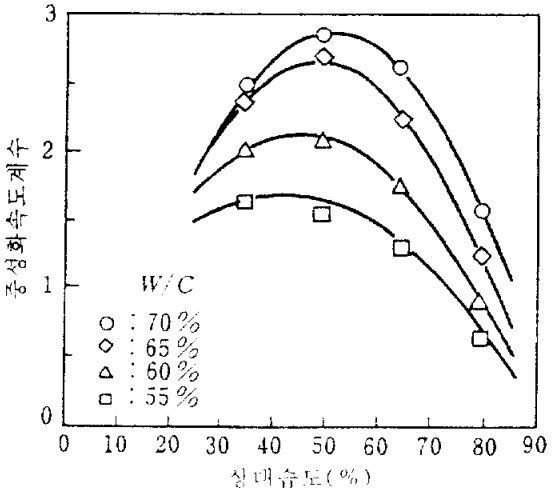



그림 2.3 상대습도와 중성화 속도 계수[8]

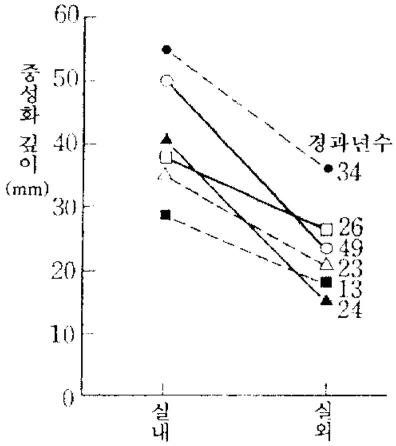



그림 2.4 실내외의 영향에 따른 중성화 깊이[9)]

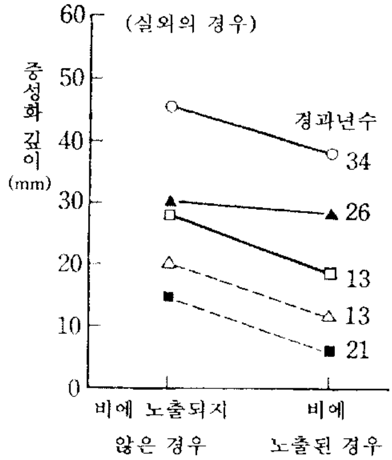



그림 2.5 강우의 영향에 따른 중성화 깊이[9)]

### 2.2.2 마감재의 영향

콘크리트의 표면 마감재는 기체인 $CO_2$의 침입을 저지시켜 중성화 진행속도를 효과적으로 지연시킬 수 있다. 그러므로 마감재의 투기성이 적은 것일수록 중성화의 억제 효과가 크다. 표 2.2는 최근 일본에서 조사된 마감재의 종류에 따른 중성화 진행속도의 차이를 나타낸다.

표 2.2 환경조건 및 마감재에 의한 콘크리트의 중성화깊이

| 구 분 | 옥내 | | | | | | | 옥외 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 마감재無 | 플라스터 | 모르터바탕 플라스터 | 모르터 | 모르터바탕 페인트 | 타일 | 페인트 | 마감재無 | 모르터 | 페인트 | 타일 |
| 1984년판 JASS 5 해설 | 1.0 | | | 0.2 ~0.3 | | 0 ~0.2 | 0.5 ~0.7 | 1.0 | 0.2 ~0.3 | 0.5 ~0.7 | 0 ~0.2 |
| 실시조사에 의한 계수 | 1.0 | 0.79 | 0.41 | 0.29 | 0.15 | 0.21 | 0.57 | 1.0 | 0.28 | 0.8 | 0.7 |

8) 이[illegible], 콘크리트[illegible], [illegible], 1996, p.211.
9) [illegible] 外 : 既存 RC 構造物における コンクリートの中性化と 鐵筋腐蝕について, 日本建築學会, 1983.

또한 단일 마감재의 경우는 그 두께의 영향이 크다. 그림 2.6은 마감재의 두께와 중성화 깊이의 관계의 실측 조사를 나타낸 것으로 마감의 두께가 증가함에 따라 중성화깊이가 감소함을 알 수 있다.[10]

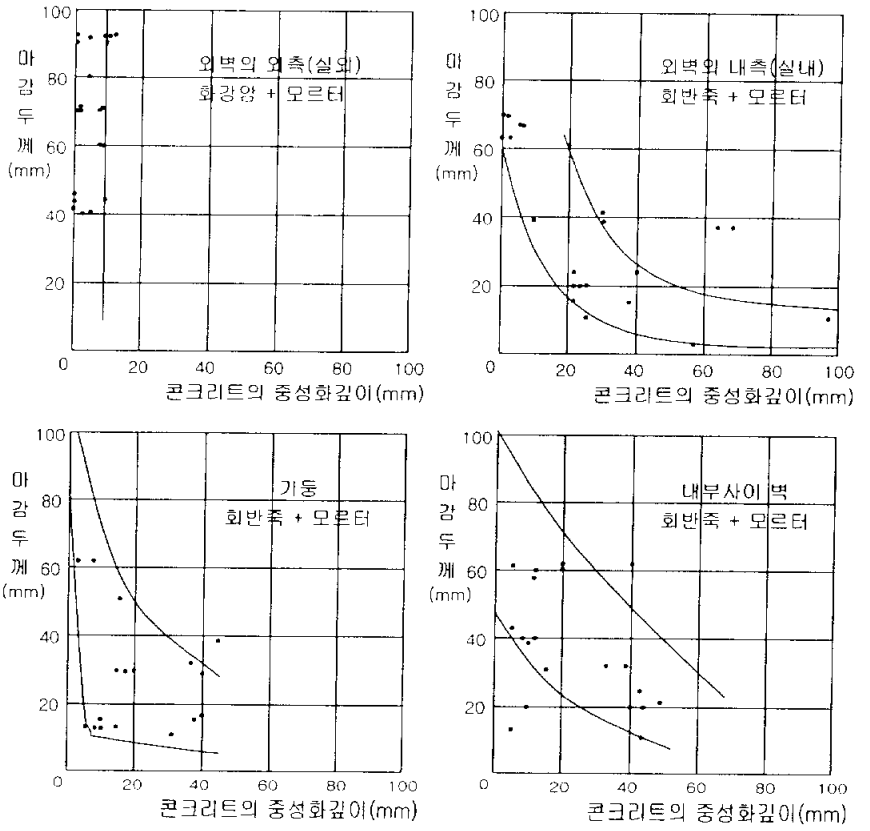



그림 2.6 마감재두께와 중성화깊이[10]

10) 권용성, 철근콘크리트 건축물의 콘크리트 중성화속도에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 1997, p.17-18.

### 2.2.3 공극구조와 중성화

콘크리트의 공극구조는 겔공극, 모세관공극, 공기포로 나뉘어지며 이 중 모세관공극은 콘크리트의 중성화속도와 밀접한 관계를 나타내고 있는데 정재동의 연구결과[11]에 따르면 세공반경 75nm부터 수은압입식 세공분포측정기의 한계인 7500nm의 범위(모세관공극)에 있어서 세공량은 그림 2.7과 같이 중성화깊이와 명확한 상관관계가 있음을 보고하고 있다.

따라서 압축강도 및 중성화속도계수는 모세관 공극량에 따라 좌우되므로 압축강도에 따른 중성화속도계수는 밀접한 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있다.

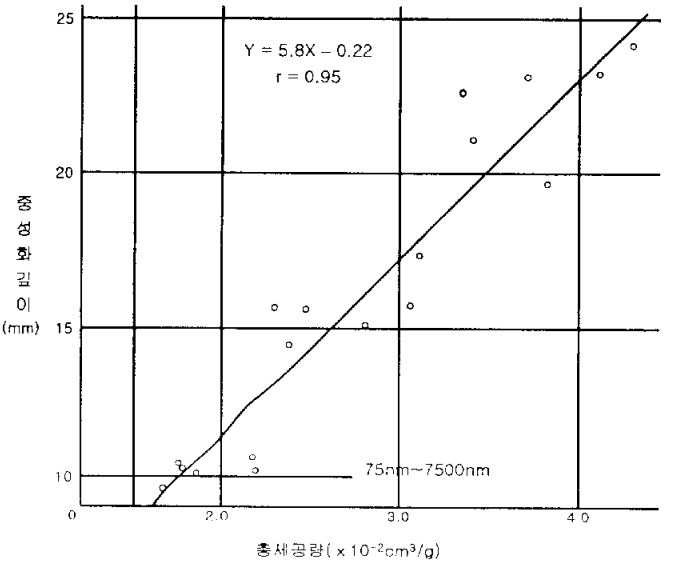



그림 2.7 모세관공극과 중성화깊이[11]

11) 정재동, 콘크리트의 배합조건 및 미세구조와 중성화에 미치는 영향, 철근콘크리트 구조물의 내구성평가에 관한 심포지엄 논문집, 대한건축학회, 1995, pp.5-8.

# Ⅲ. 철거건물 콘크리트의 중성화 실험

## 3.1 조사

### 3.1.1 조사대상 건축물의 개요

본 연구에서의 조사대상 철거건물은 부산광역시 금정구 소재 24년경과 4층 규모의 대한주택공사 아파트와 남구 소재 학교시설인 강의동(32년경과)과 사무실용도(58년경과)의 건물이다.

아파트건물과 학교시설 강의동 건물은 철근콘크리트 라멘조이고, 학교시설 중 사물실 건물은 기둥 및 벽체는 조적조이고, 슬래브와 보는 철근콘크리트조이다.

조사대상 건축물의 개요는 표 3.1과 같다.

표 3.1 조사대상 건축물의 개요

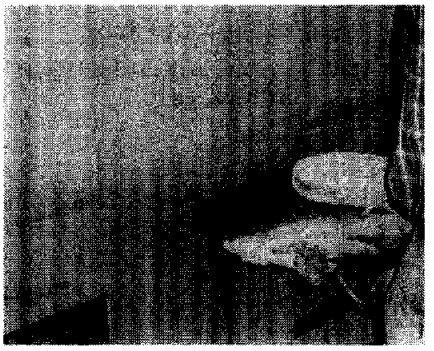
| 건물명 | 준공연도 | 소재지 | 주용도 | 구조 및 규모 | 시료 채취 개수 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A (아파트) | 1978 | 금정구 구서동 | 주거 | RC 4층 | 23 | 주공 아파트, 산기슭 위치 (65개동, 2180세대) |
| B (학교건물) | 1970 | 남구 대연동 | 교육연구시설 | RC 2층 | 11 | 도시지역 해변 300m이내 위치 (연면적 1,474㎡) |
| C (학교건물) | 1944 | 남구 대연동 | 교육행정시설 | 벽돌 3층 | 6 | 도시지역 해변 300m이내 위치 (연면적 2,870㎡) |

### 3.1.2 시료의 채취

시료는 부재의 종류 및 높이, 마감재료 등을 고려하여 채취하였다.

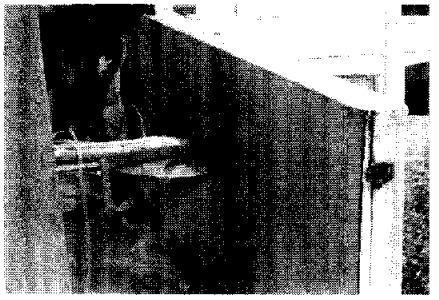
철거건물에서의 초기 시료채취는 지름이 30㎝인 원주형과 40×40㎝인

각형의 두 가지로 하였고(사진 3.1 참조), 채취한 시료를 실험실로 옮겨서 중성화깊이 측정을 위해 다시 지름이 10㎝인 원주형 공시체를 채취하여 실험하였다.



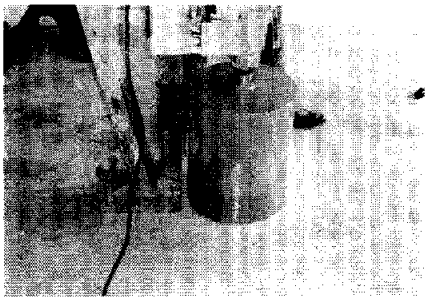
<B건물 내부기둥>

<B건물 외부기둥>

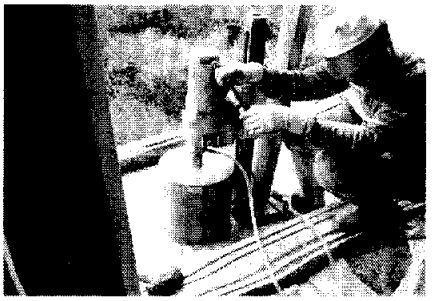


<A건물 난간>

<A건물 옥상슬래브>



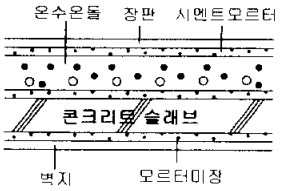
<A건물 바닥슬래브>



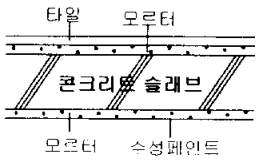
<A건물 발코니 슬래브>

사진 3.1 시료채취 장면

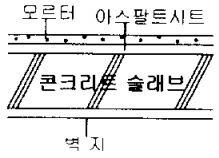
그림 3.1, 그림 3.2 및 그림 3.3은 각 건물의 시료채취 부위 단면도를 나타낸 것이다.



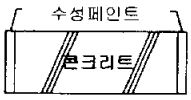

<바닥슬래브>



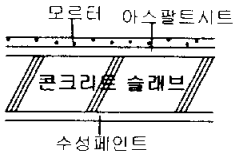

<옥상슬래브>



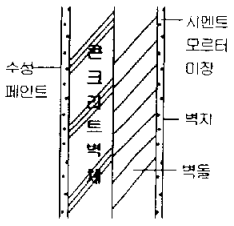

<발코니 바닥>



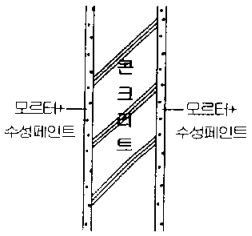

<기 둥>



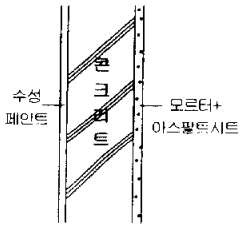

<현관 캔틸레버>




<외 벽>

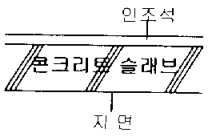



<발코니 난간>

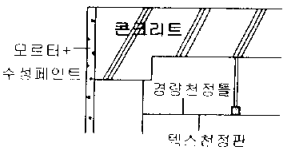



<옥상 물탱크 벽>

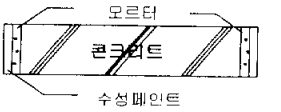
그림 3.1 시료채취 부위 단면도(계속)



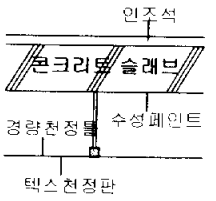

<1층 슬래브>



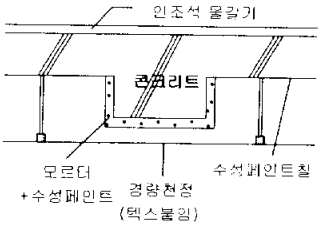

<1층 및 2층 외부보>



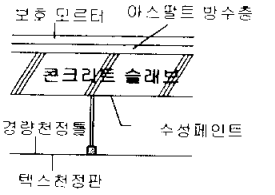

<1층 및 2층 기둥>




<2층 슬래브>

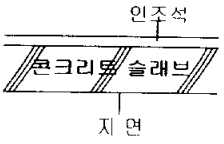



<1층 및 2층 내부보>

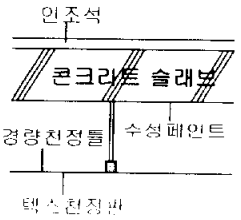



<옥상 슬래브>

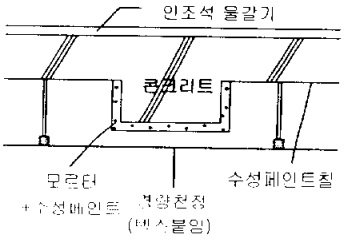
그림 3.2 시료채취 부위 단면도(B건물)




<1층 슬래브>




<2층 및 3층 슬래브>




<1층, 2층 및 3층 내부보>

그림 3.3 [illegible]

## 3.2 시료의 중성화 시험

### 3.2.1 마감재 종류 및 두께

채취한 각 시료의 양면 마감재 두께를 버니어 캘리퍼스를 이용하여 0.1㎜단위로 측정하였다.

채취한 시료의 마감종류 및 마감두께는 표 3.2와 같다.

표 3.2 조사대상 건물의 시료채취 부위 및 마감재 구성

| 시료번호 | 준공연도 | 조사부위 | 마감두께(㎜) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 내부(아래) | 외부(위) |
| A01 | 1978년 | 2F 외벽 | 블록+벽지 | 모르터(20)+수성페인트 |
| A02 | | 2F 외벽 | 블록+벽지 | 모르터(23.2)+수성페인트 |
| A03 | | 2F 슬래브 | 모르터(10)+벽지 | 돌로마이트(6)+온수온돌 |
| A04 | | 2F 슬래브 | 모르터(2.7)+벽지 | 돌로마이트(5)+온수온돌 |
| A05 | | 2F 발코니슬래브 | 모르터(8)+수성페인트 | 모르터(34.5)+타일(5) |
| A06 | | 2F 발코니난간 | 모르터(10.5)+수성페인트 | 모르터(11.5)+수성페인트 |
| A07 | | 3F 외벽 | 블록+벽지 | 모르터(21.7)+수성페인트 |
| A08 | | 3F 외벽 | 블록+벽지 | 모르터(11.5)+수성페인트 |
| A09 | | 3F 슬래브 | 모르터(9.25)+벽지 | 돌로마이트(6.5)+온수온돌 |
| A10 | | 3F 슬래브 | 모르터(10.25)+벽지 | 돌로마이트(5)+온수온돌 |
| A11 | | 3F 발코니슬래브 | 모르터(9)+수성페인트 | 모르터(18.5)+타일(5) |
| A12 | | 3F 발코니난간 | 모르터(10.5)+수성페인트 | 모르터(11.5)+수성페인트 |
| A13 | | 4F 발코니슬래브 | 모르터(5.2)+수성페인트 | 모르터(50.2)+타일(5) |
| A14 | | 4F 발코니 난간 | 모르터(9.8)+수성페인트 | 모르터(12.2)+수성페인트 |
| A15 | | 옥상 슬래브 | 벽지 | 액체방수+보호모르터(120) |
| A16 | | 옥상 슬래브 | 벽지 | 액체방수+보호모르터(120) |
| A17 | | 옥상 물탱크 벽 | 모르터(11.7)+아스팔트시트(12) | 수성페인트 |

표 3.2 조사대상 건물의 시료채취 부위 및 마감재 구성(계속)

| 시료 번호 | 준공 연도 | 조사부위 | 마감두께(㎜) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 내부(아래) | 외부(위) |
| A18 | 1978년 | 옥상 물탱크 벽 | 모르터(14)<br>+아스팔트시트(4.5) | 수성페인트 |
| A19 | | 현관 캔틸레버 | 수성페인트 | 모르터(11.9)<br>+아스팔트시트(4) |
| A20 | | 현관 캔틸레버 | 수성페인트 | 모르터(14.8)<br>+아스팔트시트(4.2) |
| A21 | | 외부기둥 | 수성페인트 | 수성페인트 |
| A22 | | 외부기둥 | 수성페인트 | 수성페인트 |
| A23 | | 외부기둥 | 수성페인트 | 수성페인트 |
| B01 | 1970년 | 1F 슬래브 | 노출 | 인조석(15) |
| B02 | | 1F 외부기둥 | - | 모르터(11)+수성페인트 |
| B03 | | 1F 내부기둥 | 모르터(14)+수성페인트 | - |
| B04 | | 1F 외부보 | - | 모르터(11.4)+수성페인트 |
| B05 | | 1F 내부보 | 모르터(10)+수성페인트 | - |
| B06 | | 2F 슬래브 | 수성페인트 | 인조석(15) |
| B07 | | 2F 외부기둥 | - | 모르터(5.3)+수성페인트 |
| B08 | | 2F 내부기둥 | 모르터(15)+수성페인트 | |
| B09 | | 2F 외부보 | - | 모르터(10)+수성페인트 |
| B10 | | 2F 내부보 | 모르터(21.5)+수성페인트 | - |
| B11 | | 옥상 슬래브 | 수성페인트 | 모르터방수(150) |
| C01 | 1941년 | 1F 슬래브 | 지면 | 모르터(36.5)+인조석(15) |
| C02 | | 2F 슬래브 | 수성페인트 | 모르터(25)+인조석(15) |
| C03 | | 3F 슬래브 | 수성페인트 | 모르터(29.9)+인조석(15) |
| C04 | | 1F 내부보 | 모르터(21)+수성페인트 | - |
| C05 | | 2F 내부보 | 모르터(15)+수성페인트 | - |
| C06 | | 3F 내부보 | 모르터(17.5)+수성페인트 | - |

### 3.2.2 중성화 측정

중성화 시험은 지름이 10㎝인 원주형 시료의 채취 후 표면이 건조된 즉시 페놀프탈레인 1% 용액을 시료 표면에 분무하여 변색 정도에 따라 측정하였다.

콘크리트의 중성화깊이 측정은 투명종이를 원주형 공시체에 둘러 붙인 다음 중성화 부분과 비중성화 부분의 경계를 그려서 나타내었다.

중성화 경계부위가 표시된 종이를 펼쳐서 등 간격으로 8부위를 기준으로 측정한 평균값을 그 공시체의 중성화깊이로 하였다.

### 3.2.3 중성화속도계수

중성화속도계수 값(A)은 측정대상 콘크리트의 경과년수와 측정값을 아래의 식 (1)에 대입하여 계산하였다.

$$x = A\sqrt{t} \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서, $x$ : 콘크리트 중성화 깊이(㎝)

$t$ : 경과년수(년)

$A$ : 중성화속도계수

## 3.3 물 흡수계수

콘크리트내의 공극이 콘크리트의 품질과 콘크리트의 중성화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 물 흡수계수 이론을 이용하였다. 물 흡수계수 시험은 KS F 2009에 준하여 시험하였다.

시험체를 물에 약 5㎜정도 담근 후 1초와 3분, 1분와 3시간동안 시험

체의 흡수량에 따른 중량을 구하여 아래의 식(2)에 의해서 물 흡수계수를 구하였다.

$$m = w\sqrt{t}$$ [12] ..................................... (2)

여기서, $m$(kg/㎡) : 단위 면적당 물 흡수량

$t$(h) : 물 흡수 시간

$w$[kg/(㎡ · $h^{1/2}$)] : 물 흡수 계수

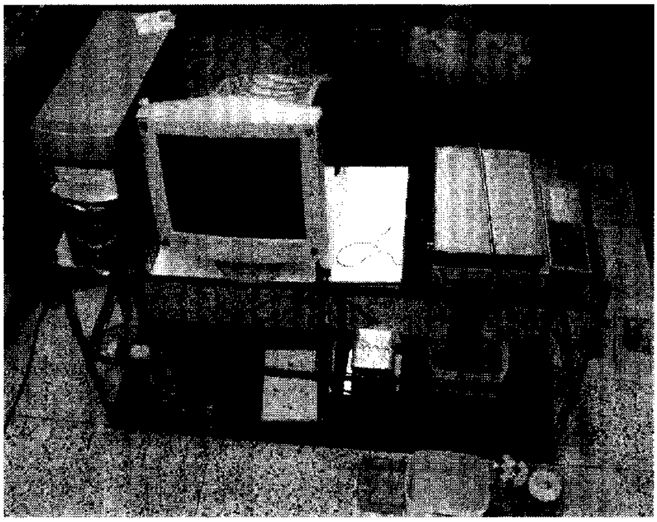


사진 3.2 물 흡수계수 측정

12) KS F 2609

# Ⅳ. 실험결과 및 고찰

## 4.1 채취시료의 실험결과

각 건물별로 표 3.1에서 제시된 시료의 실험결과는 표 4.1과 같으며 또한 그 평균값은 표 4.2와 같다.

표 4.1 조사대상 건물의 채취시료 실험결과

| 시료 번호 | 실내외 구분 | 경과년수 (년) | 중성화깊이 (cm) | 중성화 속도계수 ($cm/year^{1/2}$) | 물 흡수계수 [$kg/(m^2 \cdot h^{1/2})$] | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A01 | 내 | 24 | 1.80 | 0.37 | 0.28 | |
| | 외 | 24 | 0.00 | 0.00 | | |
| A02 | 내 | 24 | 1.45 | 0.30 | 0.66 | |
| | 외 | 24 | 0.00 | 0.00 | | |
| A03 | 내 | 24 | 5.65 | 1.15 | 1.95 | 위 |
| | 내 | 24 | 5.25 | 1.07 | | 아래 |
| A04 | 내 | 24 | 5.60 | 1.14 | 0.87 | 위 |
| | 내 | 24 | 5.98 | 1.22 | | 아래 |
| A05 | 내 | 24 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 위 |
| | 내 | 24 | 0.18 | 0.04 | | 아래 |
| A06 | 내 | 24 | 0.00 | 0.00 | 1.53 | |
| | 외 | 24 | 0.00 | 0.00 | | |
| A07 | 내 | 21 | 1.63 | 0.33 | 1.02 | |
| | 외 | 24 | 0.00 | 0.00 | | |
| A08 | 내 | 24 | 2.15 | 0.44 | 1.08 | |
| | 외 | 21 | 0.00 | 0.00 | | |
| A09 | 내 | 21 | 0.07 | 0.01 | 1.83 | 위 |
| | 내 | 21 | 4.61 | 0.91 | | 아래 |

표 4.1 조사대상 건물의 채취시료 실험결과(계속)

| 시료 번호 | 실내외 구분 | 경과년수 (년) | 중성화깊이 (cm) | 중성화 속도계수 (cm/year$^{1/2}$) | 물 흡수계수 [kg/(m$^2$ · h$^{1/2}$)] | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A10 | 내 | 24 | 0.06 | 0.01 | 1.46 | 위 |
| | 내 | 24 | 3.96 | 0.81 | | 아래 |
| A11 | 내 | 24 | 0.00 | 0.00 | 0.52 | 위 |
| | 내 | 24 | 0.00 | 0.00 | | 아래 |
| A12 | 내 | 24 | 0.73 | 0.15 | 0.25 | |
| | 외 | 24 | 0.00 | 0.00 | | |
| A13 | 내 | 24 | 0.00 | 0.00 | 0.48 | 위 |
| | 내 | 24 | 0.08 | 0.02 | | 아래 |
| A14 | 내 | 24 | 1.52 | 0.31 | 0.40 | |
| | 외 | 24 | 1.18 | 0.24 | | |
| A15 | 외 | 24 | 1.41 | 0.29 | 1.38 | 위 |
| | 내 | 24 | 5.53 | 1.13 | | 아래 |
| A16 | 외 | 24 | 0.53 | 0.11 | 1.64 | 위 |
| | 내 | 24 | 4.84 | 0.99 | | 아래 |
| A17 | 내 | 24 | 0.00 | 0.00 | 0.42 | |
| | 외 | 24 | 0.35 | 0.07 | | |
| A18 | 내 | 24 | 0.00 | 0.00 | 0.28 | |
| | 외 | 24 | 0.37 | 0.08 | | |
| A19 | 외 | 24 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 위 |
| | 외 | 24 | 1.71 | 0.35 | | 아래 |
| A20 | 외 | 24 | 0.00 | 0.00 | 0.72 | 위 |
| | 외 | 24 | 1.19 | 0.24 | | 아래 |
| A21 | 외 | 24 | 3.86 | 0.79 | 7.10 | |
| A22 | 외 | 24 | 4.10 | 0.84 | 2.96 | |
| A23 | 외 | 24 | 1.21 | 0.86 | 2.86 | |

표 4.1 조사대상 건물의 채취시료 실험결과(계속)

| 시료 번호 | 실내외 구분 | 경과년수 (년) | 중성화깊이 (cm) | 중성화 속도계수 (cm/year$^{1/2}$) | 물 흡수계수 [kg/(m$^2$ · h$^{1/2}$)] | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B01 | 내 | 32 | 0.00 | 0.00 | 0.99 | 위 |
| | 외 | 32 | 4.86 | 0.86 | | 아래 |
| B02 | 외 | 32 | 3.75 | 0.66 | 3.74 | 아래 |
| B03 | 내 | 32 | 6.69 | 1.18 | 5.32 | |
| B04 | 외 | 32 | 3.13 | 0.55 | 1.64 | |
| B05 | 내 | 32 | 0.00 | 0.00 | 1.79 | |
| B06 | 내 | 32 | 0.37 | 0.07 | 1.16 | |
| | 내 | 32 | 3.83 | 0.68 | | 위 |
| B07 | 외 | 32 | 2.91 | 0.51 | 5.26 | 아래 |
| B08 | 내 | 32 | 4.80 | 0.85 | 3.34 | |
| B09 | 외 | 32 | 4.88 | 0.86 | 1.42 | |
| B10 | 내 | 32 | 0.00 | 0.00 | 0.29 | |
| B11 | 외 | 32 | 0.00 | 0.00 | 1.04 | 위 |
| | 내 | 32 | 3.03 | 0.54 | | 아래 |
| C01 | 내 | 58 | 0.29 | 0.04 | 2.58 | 위 |
| | 외 | 58 | 0.00 | 0.00 | | 아래 |
| C02 | 내 | 58 | 0.58 | 0.08 | 0.79 | 위 |
| | 내 | 58 | 0.26 | 0.03 | | 아래 |
| C03 | 내 | 58 | 0.00 | 0.00 | 0.76 | 위 |
| | 내 | 58 | 0.38 | 0.05 | | 아래 |
| C04 | 내 | 58 | 21.90 | 2.88 | 1.88 | |
| C05 | 내 | 58 | 8.42 | 1.11 | 1.44 | |
| C06 | 내 | 58 | 9.49 | 1.25 | 2.10 | |

표 4.2 조사건물 콘크리트의 중성화 측정결과(평균)

| 조사 건물 | 경과 년수 (년) | 중성화깊이 평균 (cm) | | | | 중성화 속도계수 (cm/year$^{1/2}$) | | 물 흡수계수 [kg/(m² · h$^{1/2}$)] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 실내 | 변동계수 | 실외 | 변동계수 | 실내 | 실외 | |
| A | 24 | 2.04 | 1.11 | 1.05 | 1.69 | 0.42 | 0.21 | 1.46 |
| B | 32 | 2.34 | 1.05 | 3.26 | 0.58 | 0.41 | 0.58 | 2.36 |
| C | 58 | 5.17 | 1.66 | 0.00 | 0.00 | 0.68 | 0.00 | 1.58 |
| 전체 | | 3.18 | 1.36 | 1.94 | 0.91 | 0.50 | 0.26 | 1.80 |

## 4.2 실내외의 중성화속도계수

실내외 중성화속도계수의 평균값은 표 4.3과 같다.

표 4.3 조사대상 건물의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수

| 조사 건물 | 경과 년수 (년) | 중성화깊이 평균 (cm) | | | | 중성화속도계수 (cm/year$^{1/2}$) | | 물 흡수계수 [kg/(m² · h$^{1/2}$)] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 실내 | 변동계수 | 실외 | 변동계수 | 실내 | 실외 | 실내 | 실외 |
| A | 24 | 2.04 | 1.11 | 1.05 | 1.69 | 0.42 | 0.21 | 0.96 | 1.41 |
| B | 32 | 2.34 | 1.05 | 3.26 | 0.58 | 0.41 | 0.58 | 1.89 | 2.35 |
| C | 58 | 5.17 | 1.66 | 0.00 | 0.00 | 0.68 | 0.00 | 1.39 | 2.58 |
| 전체평균 | | 3.18 | 1.36 | 1.94 | 0.91 | 0.50 | 0.26 | 1.41 | 2.11 |

표 4.3에서 보면 실내의 중성화속도계수의 전체 평균은 0.5cm/year$^{1/2}$ 정도이고, 실외는 0.26cm/year$^{1/2}$ 정도로서 이는 실내의 재실자 영향으로 CO$_2$농도가 실외보다 높은 일반적인 영향 요인에서 비롯되는 것으로 볼 수 있다.

그러나 B건물의 경우는 그림 4.1에서 보듯이 실외가 실내보다 중성화 속도계수가 2배정도 높게 나타났다. 또한 물 흡수계수도 실내보다 실외가 높게 나타났다. 이는 건물의 위치가 해안에 가깝기 때문인 것으로 추측되나 정확한 원인은 규명이 어려웠다.

C건물의 실외의 경우는 중성화 정도가 매우 낮은 관계로 유의성을 파악하기 어렵다.

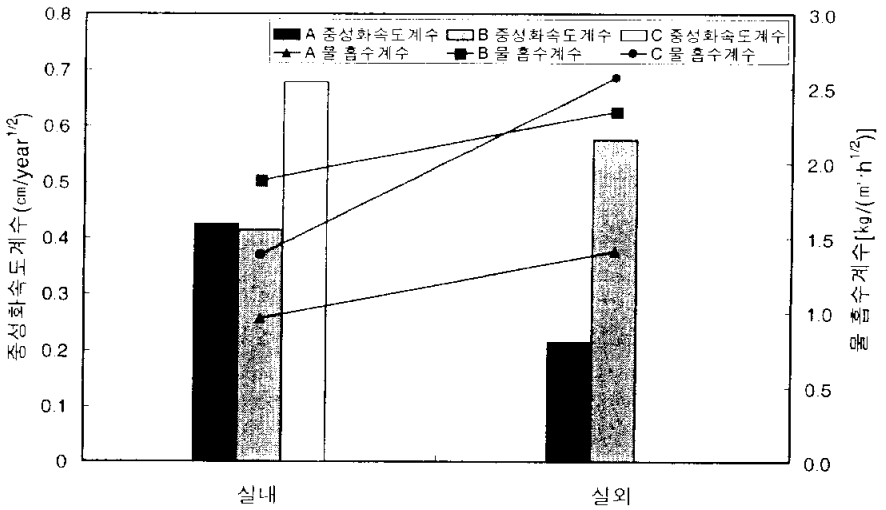



그림 4.1 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수

## 4.3 부재별 중성화속도계수

조사건물 채취시료의 중성화깊이와 중성화속도계수를 부재별로 구분하여 나타내면 표 4.4와 같다.

표 4.4에서 보면 실내의 경우 수평부재의 중성화속도계수는 보(0.87cm/year$^{1/2}$), 슬래브(0.3cm/year$^{1/2}$) 순으로 나타나고, 수직부재의 평균 중성화속도계수는 기둥(1.02cm/year$^{1/2}$), 벽체(0.24cm/year$^{1/2}$), 난간(0.15cm/year$^{1/2}$) 순으로 나타났다.

표 4.4 부재별 중성화속도계수 및 물 흡수계수

| 구분 | 부재 | 조사건물 | 경과년수(년) | 중성화깊이 평균 (㎝) | | | | 중성화속도계수 (㎝/year$^{1/2}$) | | 물 흡수계수 [kg/(㎡ · h$^{1/2}$)] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 실내 | 변동계수 | 실외 | 변동계수 | 실내 | 실외 | 실내 | 실외 |
| 수평부재 | 보 | B | 32 | 0.00 | 0.00 | 4.01 | 0.33 | 0.00 | 0.71 | 1.05 | 1.53 |
| | | C | 58 | 13.27 | 0.78 | - | - | 1.74 | - | 1.81 | - |
| | 소계 | | | 6.64 | 1.23 | 4.01 | 0.33 | 0.87 | 0.71 | 1.43 | 1.53 |
| | 슬래브 | A | 24 | 2.61 | 0.97 | 0.97 | 3.05 | 0.53 | 0.20 | 1.13 | 1.74 |
| | | B | 32 | 1.81 | 0.40 | 2.43 | 1.19 | 0.32 | 0.43 | 1.09 | 1.02 |
| | | C | 58 | 0.30 | 17.07 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 1.13 | 2.58 |
| | 소계 | | | 1.57 | 1.95 | 1.13 | 1.85 | 0.30 | 0.21 | 1.12 | 1.78 |
| | 캔틸레버 | A | 24 | - | - | 0.73 | 1.07 | - | 0.15 | - | 0.73 |
| **수평부재 평균** | | | | **4.10** | **1.07** | **1.96** | **0.78** | **0.58** | **0.36** | **1.24** | **1.52** |
| 수직부재 | 기둥 | A | 24 | - | - | 4.06 | 0.65 | - | 0.83 | - | 4.31 |
| | | B | 32 | 5.75 | 0.70 | 3.33 | 0.13 | 1.02 | 0.59 | 4.33 | 4.50 |
| | 소계 | | | 5.75 | 0.70 | 3.69 | 0.56 | 1.02 | 0.71 | 4.33 | 4.40 |
| | 벽체 | A | 24 | 1.17 | 1.38 | 0.12 | 7.95 | 0.24 | 0.02 | 0.62 | 0.62 |
| | 난간 | A | 24 | 0.75 | 1.87 | 0.39 | 1.83 | 0.15 | 0.08 | 0.73 | 0.73 |
| **수직부재 평균** | | | | **2.56** | **0.86** | **1.40** | **1.02** | **0.47** | **0.27** | **1.89** | **2.54** |
| **전체 평균** | | | | **3.33** | **0.97** | **1.68** | **0.9** | **0.53** | **0.32** | **1.57** | **2.03** |

이러한 차이는 건물의 환경요소와 부재표면의 마감재 영향 등이 복합적으로 작용하여 나타난 것이므로 원세 요인을 판단하기 어려우며, 측정된 결과만을 기준으로 생각할 때 투기성 정도에 따른 마감재의 영향이 크게 작용하는 것으로 볼 수 있다.

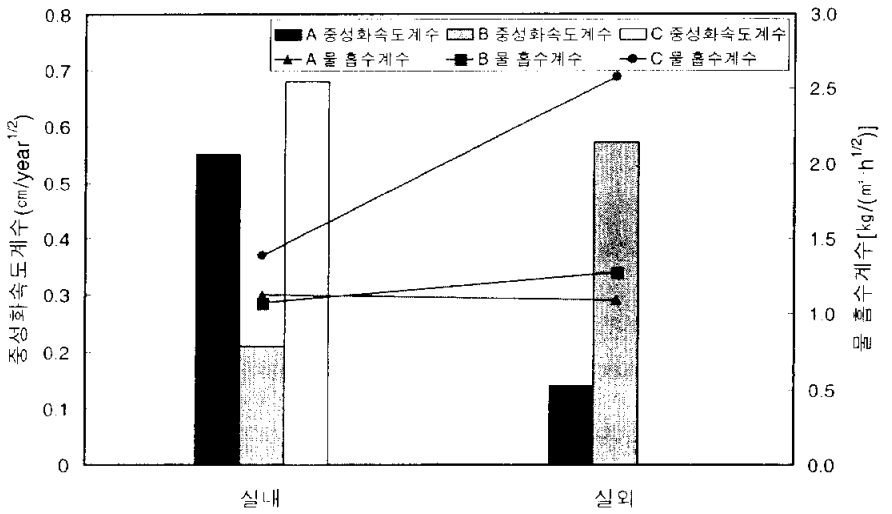



그림 4.2 수평부재의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수

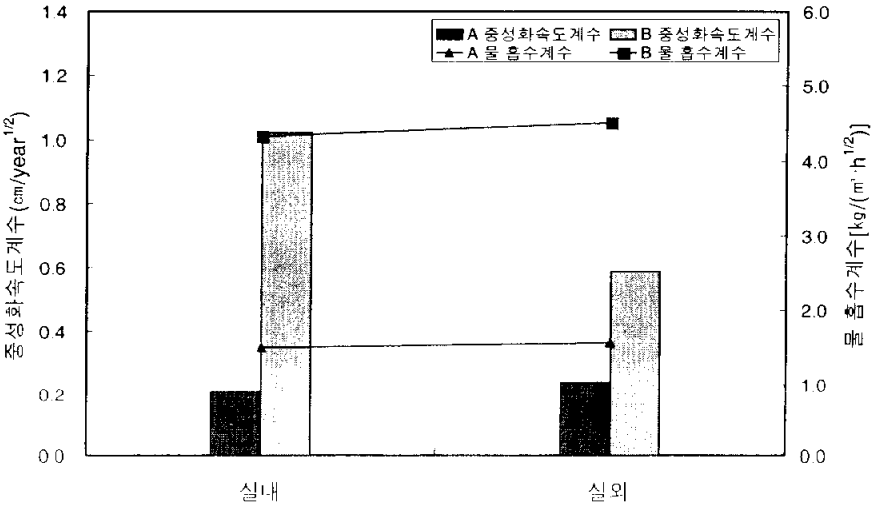



그림 4.3 수직부재의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수

### 4.3.1 보의 중성화속도계수

표 4.5는 보의 중성화속도계수 및 물 흡수계수를 나타낸 것이다.

표 4.5 보의 중성화속도계수 및 물 흡수계수

| 조사 건물 | 경과 년수 (년) | 중성화깊이 평균 (cm) | | | | 중성화속도계수 ($cm/year^{1/2}$) | | 물흡수계수 [$kg/(m^2 \cdot h^{1/2})$] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 실내 | 변동계수 | 실외 | 변동계수 | 실내 | 실외 | 실내 | 실외 |
| B | 32 | 0.00 | 0.00 | 4.01 | 0.33 | 0.00 | 0.71 | 1.05 | 1.53 |
| C | 58 | 13.27 | 0.78 | - | - | 1.74 | - | 1.81 | - |
| 평균 | | 6.64 | 1.23 | 4.01 | 0.33 | 0.87 | 0.71 | 1.43 | 1.53 |

그림 4.4에서 B건물 보의 평균 중성화속도계수는 실외($0.71cm/year^{1/2}$)가 실내($0.00cm/year^{1/2}$)보다 높게 나타났다. 또한 물 흡수계수도 실외[$1.53kg/(m^2 \cdot h^{1/2})$]가 실내[$1.05kg/(m^2 \cdot h^{1/2})$]보다 높게 나타났다. 그 이유는 건물의 내부는 다수의 학생들이 이용하는 강의실의 유지보수를 위한 도색작업이 빈번하였으나, 외부는 해안지역 영향과 도시의 간선도로에 부지의 두 면이 접하고 있어 차량통행에 의한 배기가스의 영향일 것으로 추정된다.

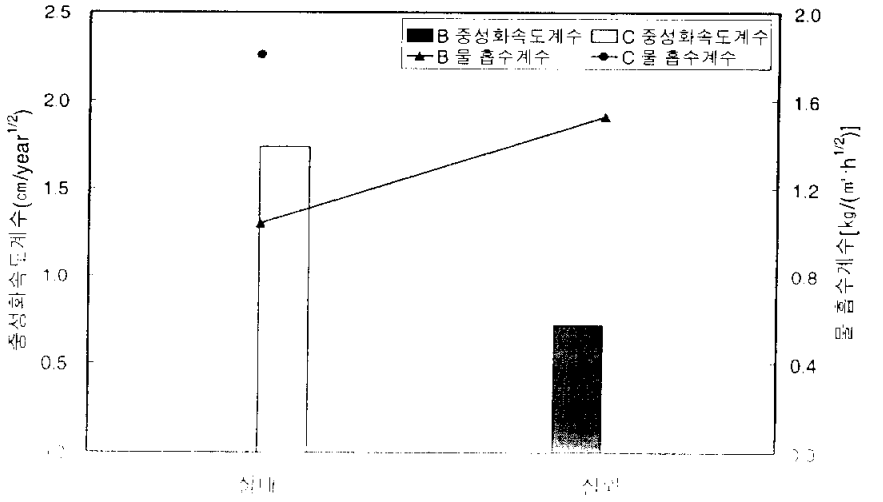



그림 4.4 보의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수

### 4.3.2 슬래브의 중성화속도계수

표 4.6은 슬래브의 중성화속도계수 및 물 흡수계수를 나타낸 것이다.

표 4.6 슬래브의 중성화속도계수 및 물 흡수계수

| 조사 건물 | 경과 년수 (년) | 중성화깊이 평균 (㎝) | | | | 중성화속도계수 ($cm/year^{1/2}$) | | 물 흡수계수 [$kg/(m^2 \cdot h^{1/2})$] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 실내 | 변동계수 | 실외 | 변동계수 | 실내 | 실외 | 실내 | 실외 |
| A | 24 | 2.61 | 0.97 | 0.97 | 3.05 | 0.53 | 0.20 | 1.13 | 1.74 |
| B | 32 | 1.81 | 0.40 | 2.43 | 1.19 | 0.32 | 0.43 | 1.09 | 1.02 |
| C | 58 | 0.30 | 17.07 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 1.13 | 2.58 |
| 소계 | | 1.57 | 1.95 | 1.13 | 1.85 | 0.30 | 0.21 | 1.12 | 1.78 |

그림 4.5에서와 같이 각 건물의 중성화속도계수와 물 흡수계수의 관계는 반비례로 나타났다. 그 이유는 콘크리트 자체의 품질보다는 마감재료의 두께 및 품질 등의 영향이 작용한 것으로 판단된다.

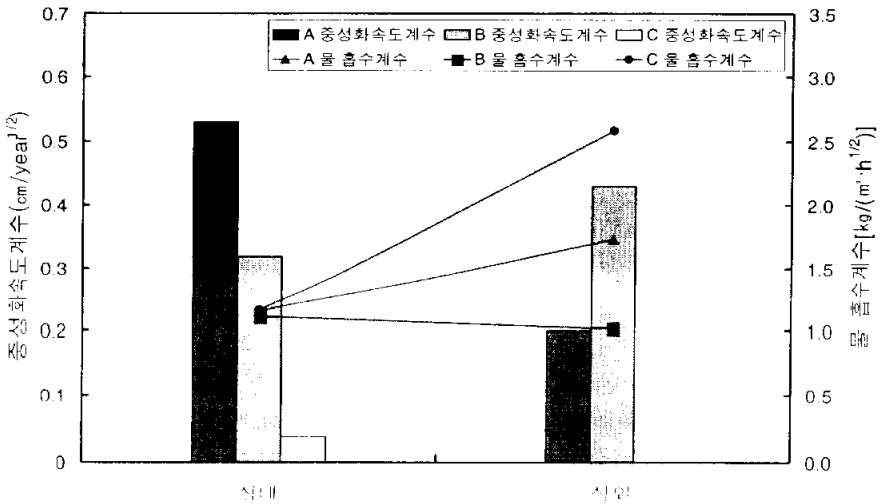



그림 4.5 슬래브의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수

### 4.3.3 기둥의 중성화속도계수

표 4.7은 기둥의 중성화속도계수 및 물 흡수계수를 나타낸 것이다.

표 4.7 기둥의 중성화속도계수 및 물 흡수계수

| 조사 건물 | 경과 년수 (년) | 중성화깊이 평균 (㎝) | | | | 중성화속도계수 (㎝/year$^{1/2}$) | | 물 흡수계수 [kg/(m$^2$ · h$^{1/2}$)] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 실내 | 변동계수 | 실외 | 변동계수 | 실내 | 실외 | 실내 | 실외 |
| A | 24 | - | - | 4.06 | 0.65 | - | 0.83 | - | 4.31 |
| B | 32 | 5.75 | 0.70 | 3.33 | 0.13 | 1.02 | 0.59 | 4.33 | 4.50 |
| 평균 | | 6.64 | 1.23 | 4.01 | 0.33 | 0.87 | 0.71 | 4.33 | 4.40 |

B 건물의 경우 표 4.7에서와 같이 실내의 중성화속도계수가 1.02㎝/year$^{1/2}$로 실외의 중성화속도계수 0.59㎝/year$^{1/2}$보다 약 2배정도 높게 나타났다. 그러나 물 흡수계수는 거의 비슷하게 나타났다.

B건물의 경우 학교의 강의를 위한 공간으로서 다수의 학생들이 거주했기 때문인 것으로 판단된다.

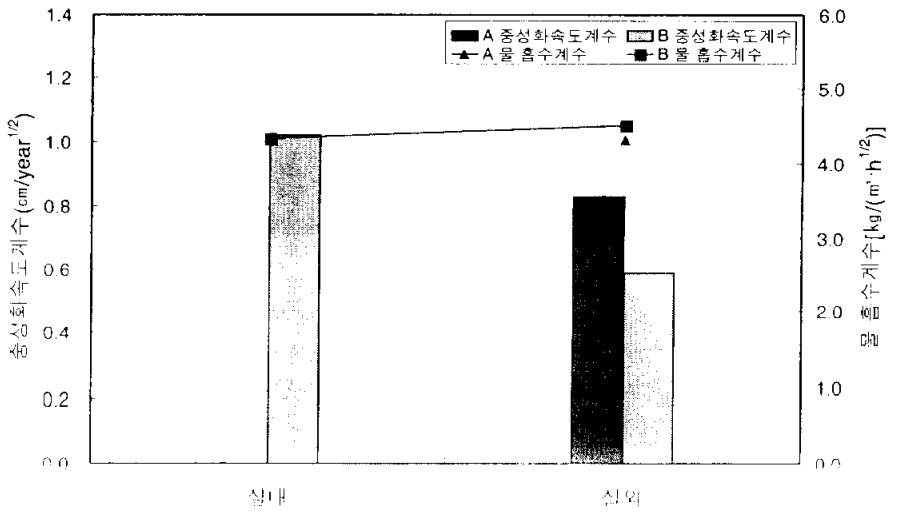



그림 4.6 기둥의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수

### 4.3.4 벽체의 중성화속도계수

표 4.8은 벽체의 중성화속도계수 및 물 흡수계수를 나타낸 것이다.

표 4.8 벽체의 중성화속도계수 및 물 흡수계수

| 조사 건물 | 경과 년수 (년) | 중성화깊이 평균 (㎝) | | | | 중성화속도계수 ($cm/year^{1/2}$) | | 물 흡수계수 [$kg/(m^2 \cdot h^{1/2})$] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 실내 | 변동계수 | 실외 | 변동계수 | 실내 | 실외 | 실내 | 실외 |
| A | 24 | 1.17 | 1.38 | 0.12 | 7.95 | 0.24 | 0.02 | 0.62 | 0.62 |
| 평균 | | 1.17 | 1.38 | 0.12 | 7.95 | 0.24 | 0.02 | 0.62 | 0.62 |

그림 4.7에서와 같이 벽체의 물 흡수계수는 실내외의 변화가 없지만 중성화속도계수는 실내가 실외보다 매우 높게 나타났다.

이는 재실자의 영향으로 실내는 공기순환이 잘 안되었지만 실외는 공기순환이 잘 되어 $CO_2$의 농도가 낮았기 때문으로 생각된다.

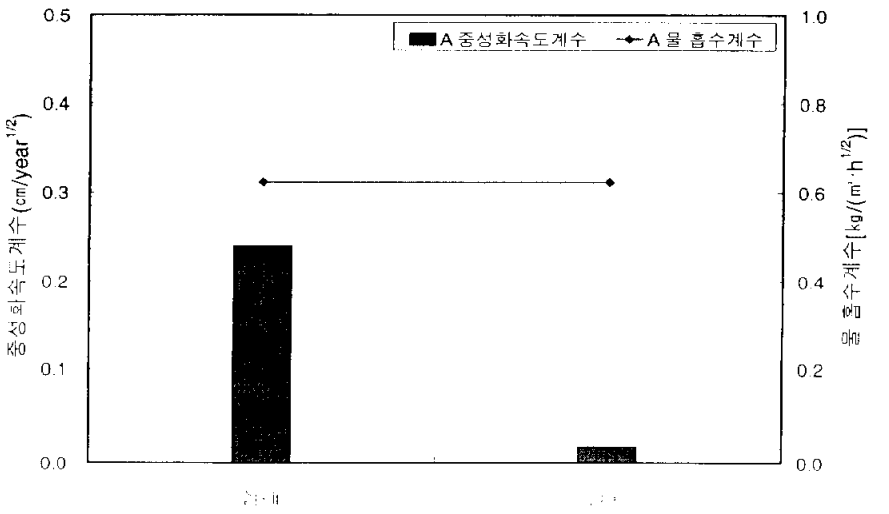



그림 4.7 벽체의 실내외 중성화속도계수 및 물 흡수계수

## 4.4 높이별 중성화속도계수

표 4.9는 각 건물의 높이별 중성화속도계수 및 물 흡수계수를 나타낸 것이다.

중성화속도계수는 실내가 실외보다 2배정도 높게 나타났고, 물 흡수계수는 실외가 2.07kg/(㎡ · $h^{1/2}$)로 실내의 1.37kg/(㎡ · $h^{1/2}$)보다 훨씬 높게 나타났다.

콘크리트 자체의 품질은 실외보다 실내가 훨씬 나은 것으로 나타났지만 마감재료와 환경의 복합적인 요인으로 인하여 실내의 중성화속도계수가 실외보다 높게 나타난 것으로 판단된다.

표 4.9 높이별 중성화속도계수 및 물 흡수계수

| 조사 건물 | | 경과 년수 (년) | 중성화깊이 평균 (㎝) | | | | 중성화 속도계수 (㎝/year$^{1/2}$) | | 물 흡수계수 [kg/(㎡ · $h^{1/2}$)] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 실내 | 변동계수 | 실외 | 변동계수 | 실내 | 실외 | 실내 | 실외 |
| A | 1층 | 24 | - | - | 4.06 | 0.65 | - | 0.83 | - | 4.31 |
| | 2층 | | 2.88 | 0.88 | 0.41 | 2.37 | 0.61 | 0.08 | 0.93 | 0.79 |
| | 3층 | | 1.47 | 1.33 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 1.11 | 0.79 |
| | 4층 | | 0.53 | 3.29 | 1.18 | 0.84 | 0.11 | 0.24 | 0.46 | 0.40 |
| | 옥상 | | 2.59 | 0.91 | 0.67 | 1.29 | 0.53 | 0.14 | 1.04 | 1.04 |
| **소계** | | | **1.87** | **1.11** | **1.26** | **1.69** | **0.39** | **0.26** | **0.89** | **1.47** |
| B | 1층 | 32 | 2.23 | 1.51 | 3.91 | 0.46 | 0.39 | 0.69 | 2.70 | 2.13 |
| | 2층 | | 2.25 | 0.70 | 3.90 | 0.28 | 0.40 | 0.69 | 1.49 | 3.34 |
| | 3층 | | 3.03 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.54 | 0.00 | 1.01 | 1.04 |
| 소계 | | | 2.50 | 1.05 | 2.60 | 0.58 | 0.44 | 0.46 | 1.74 | 2.17 |
| C | 1층 | 58 | 11.10 | 1.11 | 0.00 | - | 1.46 | 0.00 | 2.23 | 2.58 |
| | 2층 | | 3.09 | 1.54 | - | - | 0.41 | - | 1.01 | - |
| | 3층 | | 3.29 | 1.60 | - | - | 0.43 | - | 1.20 | - |
| 소계 | | | 5.82 | 1.66 | 0.00 | - | 0.77 | 0.00 | 1.48 | 2.58 |
| 전체 | | | 3.40 | 1.36 | 1.29 | 0.91 | 0.53 | 0.24 | 1.37 | 2.07 |

건물의 층별 중성화 정도 차이를 나타내면 그림 4.8, 그림 4.9와 같다.

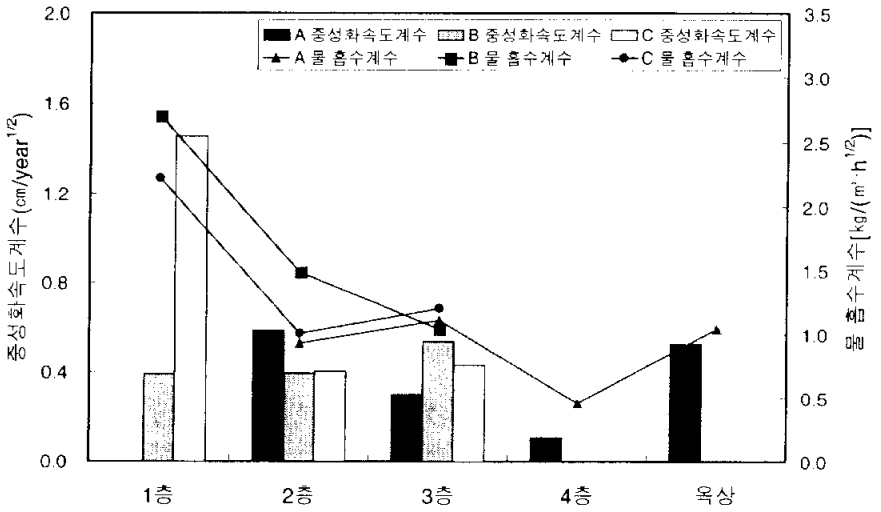



그림 4.8 높이별 중성화속도계수 및 물 흡수계수(실내)

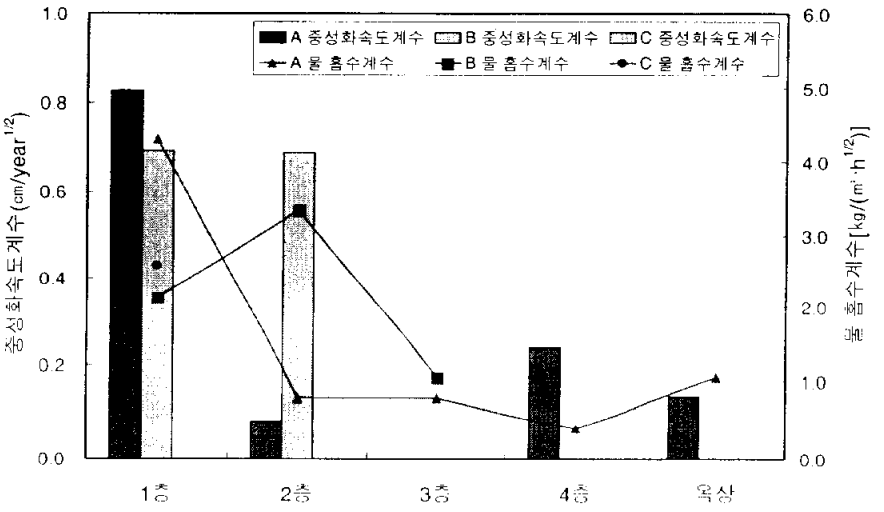



그림 4.9 높이별 중성화속도계수 및 물 흡수계수(실외)

실내의 경우 중성화속도계수가 대체로 저층부에서 높고, 고층부위에서 낮아지는 경향이 있다.

A건물은 중성화속도계수가 2층>옥상>3층>4층, B건물은 1층>3층>2층, C건물은 1층>3층>2층 순서로 높게 나타난다.

C건물의 경우 1층의 중성화속도계수가 가장 높은 것은 콘크리트의 품질이 가장 낮고, 일반 행정업무 용도의 공간으로 인해 다수 인이 거주했던 까닭에서 나타나는 것으로 생각된다.

또한 전체적으로 볼 때, 저층부에서 물 흡수계수가 높게 나타나는 경향이 있다. 이는 콘크리트의 시공시 품질차이에서 비롯된 것으로 추정된다.

실외의 경우 평균 중성화속도계수는 그림 4.9에서와 같이 A건물은 1층>4층>옥상>3층, B건물은 1층>2층>3층 순서로서 건물의 1층이 가장 높게 나타났다.

1층의 중성화속도계수가 가장 높은 것은 대기중의 $CO_2$농도가 1층 부위에서 상층부와 비교하여 높은 이유에서 나타나는 것으로 추정된다. 또한 1층의 물 흡수계수가 높게 나타나는 것은 1층의 콘크리트 시공시 품질차이에서 비롯된 것으로 생각된다.

## 4.5 마감재료별 중성화속도계수

표 4.10은 각 건물의 마감재료에 따른 중성화속도계수를 나타내었다.

표 4.10 마감재료별 중성화속도계수

| 조사건물 | | 경과년수(년) | 평균 중성화깊이 (㎝) | | | | 중성화속도계수 (㎝/year$^{1/2}$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 실내 | 변동계수 | 실외 | 변동계수 | 실내 | 실외 |
| A | 돌로마이트 플라스터+온수온돌 | 24 | 2.85 | 1.00 | - | - | 0.58 | - |
| | 모르터+벽지 | | 4.95 | 0.60 | - | - | 1.01 | - |
| | 모르터+타일 | | 0.00 | 0.00 | - | - | 0.00 | - |
| | 모르터+수성페인트 | | 0.42 | 4.32 | 0.17 | 4.86 | 0.09 | 0.03 |
| | 모르터+아스팔트시트 | | 0.00 | 0.00 | 0.49 | 1.79 | 0.00 | 0.10 |
| | 블록+벽지 | | 2.90 | 0.57 | - | - | 0.66 | - |
| | 수성페인트 | | - | - | 2.26 | 0.81 | - | 0.46 |
| **평균** | | | **1.85** | **1.11** | **0.97** | **1.69** | **0.39** | **0.20** |
| B | 노출 | 32 | - | - | 4.86 | 0.59 | - | 0.86 |
| | 인조석 | | 0.19 | 4.06 | - | - | 0.03 | - |
| | 수성페인트 | | 3.43 | 0.20 | - | - | 0.61 | - |
| | 모르터+수성페인트 | | 2.87 | 1.13 | 3.67 | 0.27 | 0.51 | 0.65 |
| | 모르터 | | - | - | 0.00 | 0.00 | - | 0.00 |
| **평균** | | | **2.16** | **1.05** | **2.43** | **0.58** | **0.38** | **0.43** |
| C | 인조석 | 58 | 0.29 | 13.37 | - | - | 0.04 | - |
| | 수성페인트 | | 0.32 | 20.50 | - | - | 0.04 | - |
| | 모르터+수성페인트 | | 13.27 | 0.78 | - | - | 1.74 | - |
| | 노출 | | - | - | 0.00 | 0.00 | - | 0.00 |
| **평균** | | | **4.63** | **1.66** | **0.00** | **0.00** | **0.61** | - |
| **전체평균** | | | 2.88 | 1.36 | 1.70 | 0.91 | 0.46 | 0.31 |

A건물의 경우 모르터 위 벽지 마감의 중성화속도계수가 1.01㎝/year$^{1/2}$로 가장 높고, B건물은 노출면(0.86㎝/year$^{1/2}$), C건물은 모르터 위 수성페인트(1.74㎝/year$^{1/2}$) 마감이었을 때 중성화 속도계수가 가장 높게 나타났다.

이처럼 A건물에서는 모르타와 벽지바름이 있어도 중성화 진행이 빠르고, B건물에서는 모르타 바름으로 인해 내부 콘크리트의 중성화가 기의 나타나지 않는 차이를 볼 수 있다. 이것은 모르타 바름 보호층이 있다하더라도 모르타 재료 자체의 품질 차이나 내부 콘크리트의 품질차이가 중성화에 더 큰 요소로 작용하여 나타난 현상으로 보인다.

C건물 실내에서 마감재료가 수성페인트였을 때보다 모르타 바름 위 수성페인트로 마감한 경우의 중성화속도계수가 높게 나타났다. 그 이유는 C건물의 수성페인트 마감한 부위의 아래에 추가로 천정 텍스판이 설치되어 있어 부재의 노출이 덜 한 영향으로 판단된다. 또한 수성페인트 마감한 부위보다 모르타 바름 위 수성페인트로 마감한 경우의 콘크리트 품질이 낮았기 때문으로 판단된다.

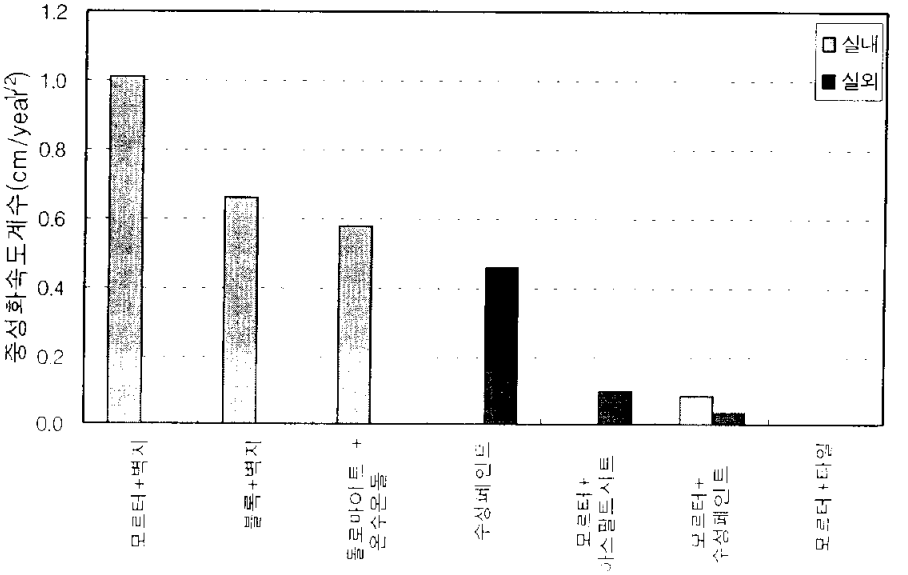



그림 4.10 마감재료별 중성화속도계수(A건물)

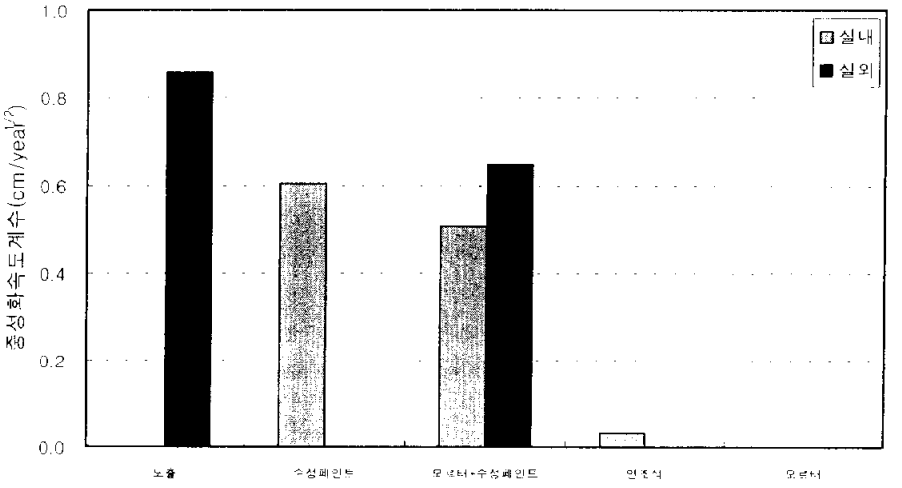



그림 4.11 마감재료별 중성화속도계수(B건물)

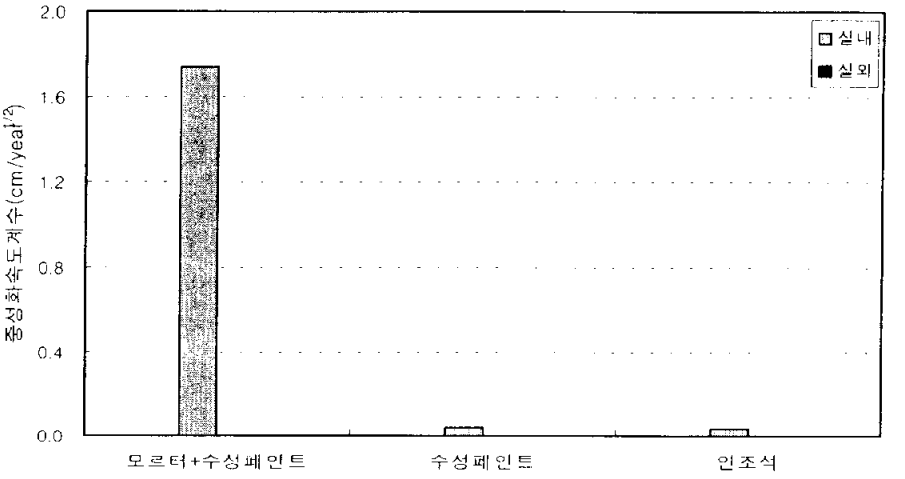



그림 4.12 마감재료별 중성화속도계수(C건물)

이상의 그림 4.10, 그림 4.11, 그림 4.12에서 나타난 결과를 전체적으로 볼 때 밀실하고 투기성이 낮은 마감재료로 피복된 콘크리트 부재일수록 중성화속도계수가 낮게 나타남을 알 수 있다. 특히 모르터 바름의 경우는 바름층의 유무 이외에도 모르터의 품질과 작업상태에 따라 중성화속도계수가 영향을 많이 받는다고 사료된다.

## 4.6 콘크리트의 흡수성과 중성화속도계수

### 4.6.1 물 흡수계수와 중성화속도계수

그림 4.13과 그림 4.14는 실내외의 물 흡수계수와 중성화속도계수와의 관계를 나타낸 것이다.

물 흡수계수와 중성화속도계수의 상관관계는 실내 r=0.48, 실외 r=0.57로 나타났다. 또한 그림 4.13 및 그림 4.14와 같이 물 흡수계수와 중성화속도계수는 비례하고 있으며, 실내보다는 실외의 물 흡수계수와 중성화속도계수의 상관성이 다소 높게 나타났다.

그러나 전체적으로 볼 때, 물 흡수계수와 중성화속도계수와의 상관성은 높게 나타나지 않았다. 이는 콘크리트 마감재료의 품질, 두께 및 작업상태의 영향이 더욱 크게 미치는 까닭에서 비롯되는 결과인 것으로 판단된다.

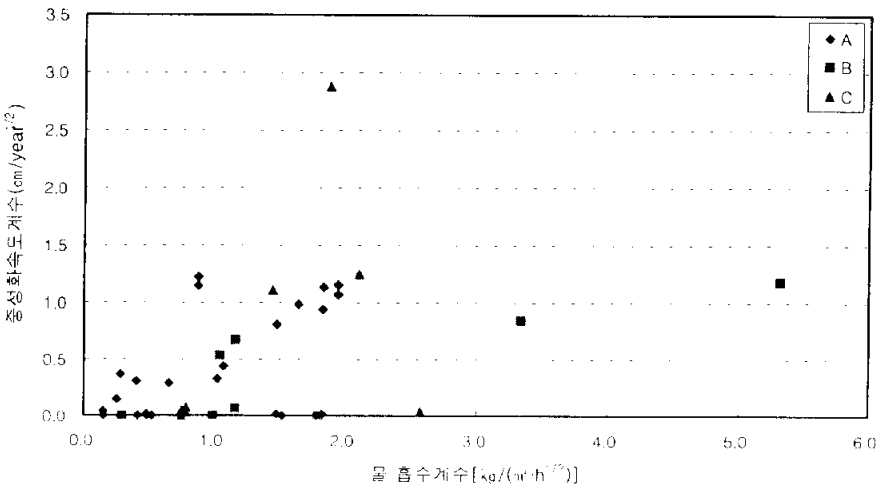



그림 4.13 물 흡수계수와 중성화속도계수(실내)

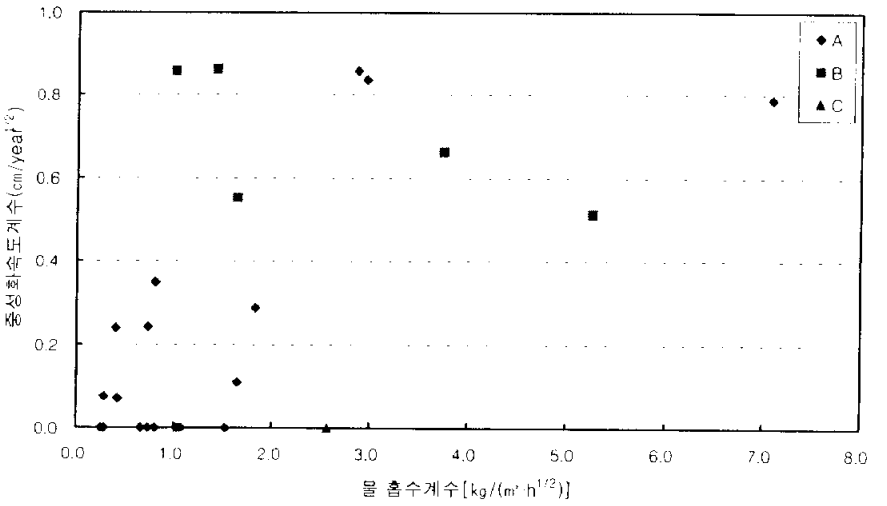



그림 4.14 물 흡수계수와 중성화속도계수(실외)

### 4.6.2 콘크리트의 밀실성과 중성화속도계수의 상관성

콘크리트 마감재료의 품질 및 마감두께, 해안과 산기슭 및 도로에 면한 건물의 위치 등에 따른 환경적인 요인과 건물의 콘크리트 및 마감재료의 작업상태 등의 영향으로 인하여 물 흡수계수와 중성화속도계수의 상관성이 모든 공시체에서 높게 나타나지 않았다.

이러한 이유로 인하여 이 장에서는 물 흡수계수와 중성화속도계수의 상관성이 낮다고 판단되는 공시체는 제외하고, 물 흡수계수와 상관성이 높다고 판단되는 공시체를 대상으로 중성화속도계수와의 관계를 상관분석하였다.

표 4.11은 위에서 기술한 바와 같이 물 흡수계수와 중성화속도계수의 상관성이 높은 공시체를 나타낸 것이며, 표 4.12은 물 흡수계수와 중성화속도계수의 상관분석한 결과를 나타낸 것이다.

표 4.11 상관분석에 사용된 시료

| 시료 번호 | 실내외 구분 | 경과년수 (년) | 중성화깊이 (cm) | 중성화 속도계수 (cm/year$^{1/2}$) | 물 흡수계수 [kg/(m$^2$ · h$^{1/2}$)] |
|---|---|---|---|---|---|
| A01 | 내 | 24 | 1.80 | 0.37 | 0.28 |
| A01 | 외 | 24 | 0.00 | 0.00 | 0.28 |
| A02 | 내 | 24 | 1.45 | 0.30 | 0.66 |
| A03 | 내 | 24 | 5.65 | 1.15 | 1.95 |
| A03 | 내 | 24 | 5.25 | 1.07 | 1.95 |
| A05 | 내 | 24 | 0.18 | 0.04 | 0.15 |
| A07 | 내 | 24 | 1.63 | 0.33 | 1.02 |
| A09 | 내 | 24 | 4.61 | 0.94 | 1.83 |
| A10 | 내 | 24 | 3.96 | 0.81 | 1.48 |
| A12 | 내 | 24 | 0.73 | 0.15 | 0.25 |
| A14 | 내 | 24 | 1.52 | 0.31 | 0.40 |
| A14 | 외 | 24 | 1.18 | 0.24 | 0.40 |
| A16 | 내 | 24 | 4.84 | 0.99 | 1.64 |
| A19 | 외 | 24 | 1.71 | 0.35 | 0.80 |
| A20 | 외 | 24 | 1.19 | 0.24 | 0.73 |
| B01 | 외 | 32 | 4.86 | 0.86 | 0.99 |
| B06 | 내 | 32 | 3.83 | 0.68 | 1.16 |
| B09 | 외 | 32 | 4.88 | 0.86 | 1.42 |
| B11 | 내 | 32 | 3.03 | 0.54 | 1.04 |
| C05 | 내 | 58 | 8.42 | 1.11 | 1.44 |
| C06 | 내 | 58 | 9.49 | 1.25 | 2.10 |

표 4.12 물 흡수계수와 중성화속도계수의 상관분석

| 신뢰수준 95% | 물 흡수계수 | 중성화속도계수 |
|---|---|---|
| 물 흡수계수 | 1 | |
| 중성화속도계수 | 0.92 | 1 |

물 흡수계수와 중성화속도계수의 관계는 그림 4.15와 같으며 상관계수는 r=0.92로서 상관성이 매우 높게 나타났다.

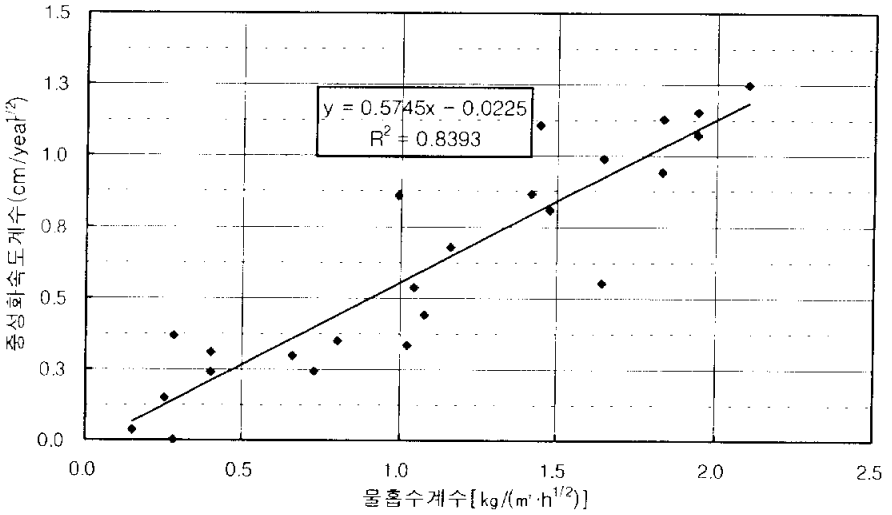



그림 4.15 물 흡수계수와 중성화속도계수의 상관성

# V. 결 론

본 연구는 콘크리트의 중성화속도에 미치는 영향요소을 파악하기 위해 재건축 사업으로 철거되는 경과년수 24년의 아파트 건물과 경과년수 32년의 학교시설 강의동 및 58년 재령의 사무실용도 철거건물에서 채취한 콘크리트 공시체를 대상으로 콘크리트의 품질과 중성화 정도의 관계를 평가하고, 중성화속도에 미치는 영향요소를 파악하고자 하였다.

이를 위해 구조물의 실내외, 층별, 부재별, 마감재료 구성 등의 요소를 파악하고, 공시체의 중성화 깊이를 측정한 후, 중성화 속도와의 상관관계를 분석하였다.

본 연구에서 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 중성화속도계수는 실내가 실외보다 약 2배정도 크게 나타났으며, 이는 실내의 $CO_2$농도가 재실자의 영향으로 실외보다 높은 사용환경요인에서 비롯되는 것으로 추정된다.

(2) 건물의 층별에 따른 중성화속도계수는 다소 차이가 나타나며, 대체로 저층부에서 높은 경향을 나타내었다. 그 원인은 파악하기 어려우나, 다만 건물 단지(團地)내의 저층부위와 고층부위의 대기중 $CO_2$ 농도 차이가 영향을 미치는 것으로 추정 할 수는 있을 것으로 본다.

(3) 마감종의 유무와 종류에 따라 중성화속도계수는 상당한 차이가

나타났으며, 시멘트 모르터 미장 마감의 경우 모르터 품질과 작업 상태의 영향이 있는 것으로 본다.

(4) 콘크리트 시료의 물 흡수계수는 중성화속도계수와 대체로 비례하나 실내(r=0.48)의 경우는 실외(r=0.57)에 비해 상관성이 낮게 나타났다. 이는 콘크리트 마감재료의 품질 및 마감두께, 해안과 산기슭 및 도로에 인한 건물의 위치 등에 따른 환경적인 요인과 건물의 콘크리트 및 마감재료의 작업상태 등의 복합적인 영향요인에 의한 것으로 판단된다.

(5) 콘크리트의 물 흡수계수와 상관성이 높은 공시체만 선별하여 중성화속도계수와의 관계를 분석한 결과, 밀실성을 나타내는 물 흡수계수와 중성화속도계수의 상관성은 r=0.9로 매우 높게 나타나 내부조직의 치밀도가 중성화 속도를 현격히 감소시키는 것으로 판단된다.

이상의 연구결과에서 보면 콘크리트의 중성화 속도는 콘크리트와 마감재료의 품질 및 환경적인 요인 등의 복합적인 영향을 받는 것으로 나타났다.

한편, 본 연구에서 시험대상으로 한 공시체는 준공년한이 너무 오래되어 공사시기의 작업상태와 콘크리트의 품질에 대한 초기자료를 감도할 수 없었으므로 향후 콘크리트의 품질과 작업조건에 대한 추가적인 분석연구가 필요할 것으로 사료된다.

# 참 고 문 헌


1. 고정원, 공극분포가 경화콘크리트의 압축강도에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제20권 1호, 2000, pp.375~378.
2. 권용상, 장기재령 건축물의 콘크리트 중성화속도계수에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 1997.
3. 김동훈, 철근콘크리트의 염해와 중성화 피해 사례 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제21권 2호, 2001, pp.435~438.
4. 김무한 외 3명, 국내 철근콘크리트조 아파트의 실태조사에 의한 중성화속도 및 잔여수명 검토에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제17권 1호, 2001, pp.45~50.
5. 박기근, 콘크리트의 내구성과 중성화, 콘크리트학회지, 콘크리트학회지, 제7권 2호, 1995, pp.74~81.
6. 박동준, 철근콘크리트 구조물의 중성화요인에 관한 기초적 연구, 동아대학교 석사학위논문, 1996.
7. 이민석, 물 흡수계수를 이용한 콘크리트의 수밀성 평가, 대한건축학회 학술발표논문집, 제17권 2호, 2001, pp.75~82.
8. 이종득, 콘크리트 구조물의 내구성진단 시리즈, 일광, 1996.
9. 유명열, 지시약에 의한 시멘트복합체의 수소이온농도 측정방법, 서울대학교 석사학위논문, 2002.
10. [illegible] 1호, 1992, pp.17~24.

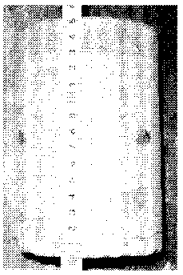
11. 정재동, 콘크리트의 배합조건 및 미세구조가 중성화에 미치는 영향, 철근콘크리트 구조물의 내구성향상에 관한 심포지엄 논문집, 대한건축학회, 1995, pp.1～10.
12. 정재동, 콘크리트의 피복과 중성화, 콘크리트학회지, 제11권 4호, 1999.
13. 한국콘크리트학회 편, 최신 콘크리트공학, 기문당, 1996.
14. KS F 2609, 건축재료의 물 흡수계수 측정 방법.
15. 岸谷孝一 : 鐵筋コンクリートの耐久性, 鹿島出版會, 1981.
16. 嵩英雄・和泉意登志 外 : 既存 RC 構造物における コンクリートの中性化と鐵筋腐蝕について, 日本建築學会, 1983.
17. 大韓建築土協會京畿道地部 ; "工事檢査의 實際 I", 理建社, pp.430～434.
18. A.M. Neville ; "Properties of Concrete" 4th Edition, LONGMAN, 1995, pp.269～272.

# 부 록

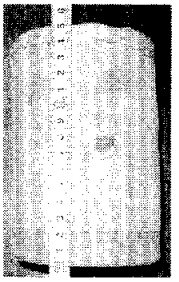
· 중성화측정 사진

· 중성화깊이 측정

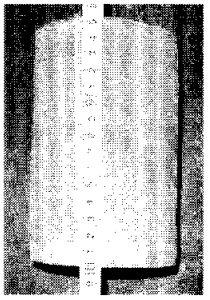
## · 중성화 측정 사진



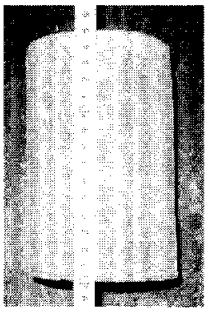
A01 내부



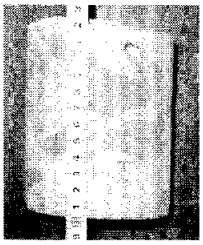
A01 외부



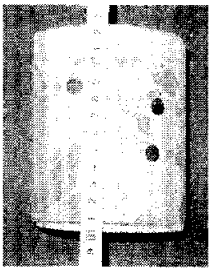
A02 내부



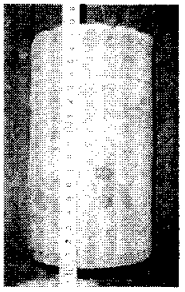
A02 외부



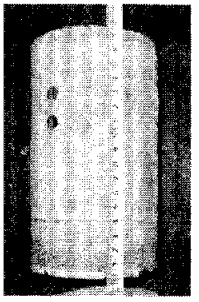
A03 위, 아래



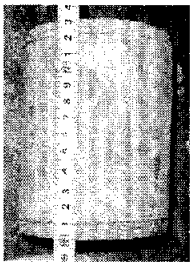
A04 위, 아래



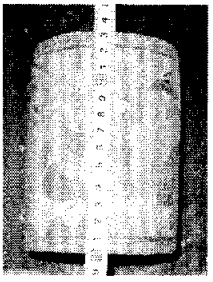
A05 아래



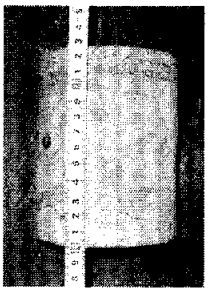
A05 위



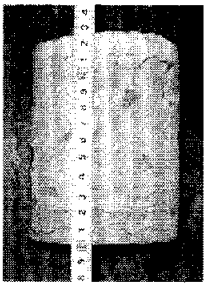
A06 내부



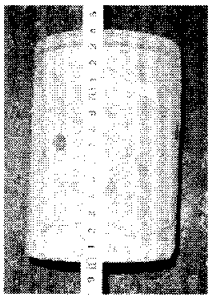
A06 외부



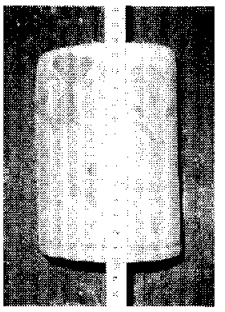
A07 내부



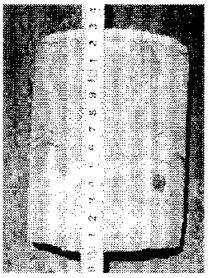
A07 외부



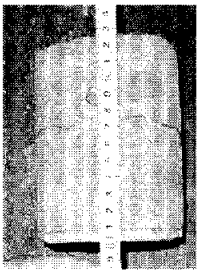
A08 내부



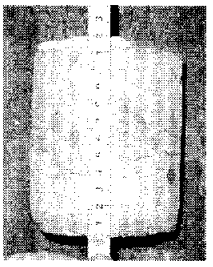
A08 외부



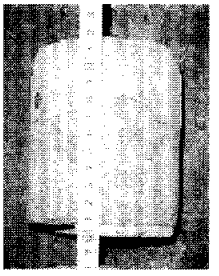
A09 아래



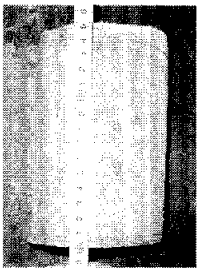
A09 위



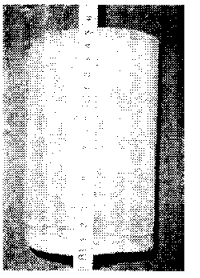
A10 아래



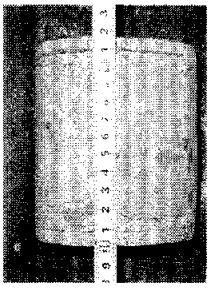
A10 위



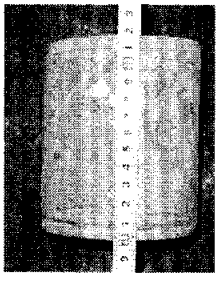
A11 아래



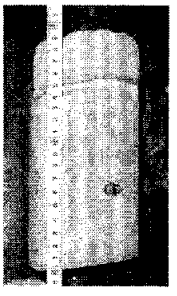
A11 위



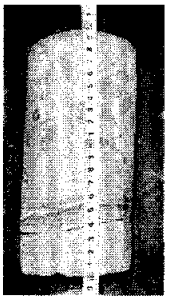
A12 내부



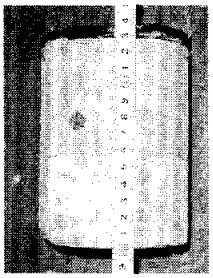
A12 외부



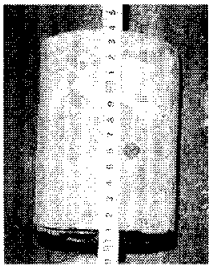
A13 아래



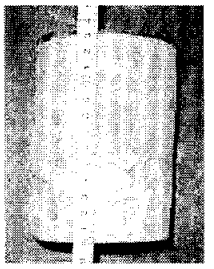
A13 위



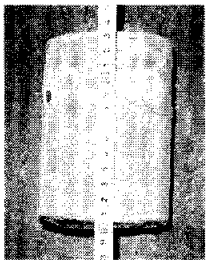
A15 아래



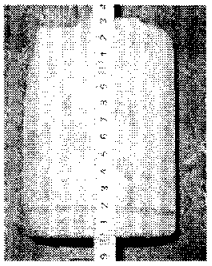
A15 위



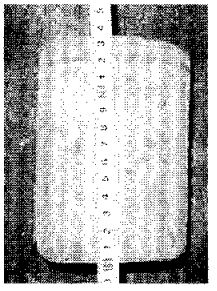
A16 아래



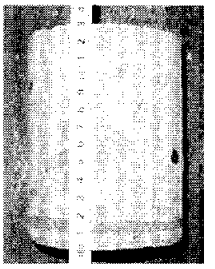
A16 위



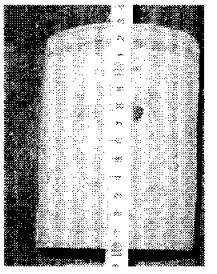
A17 내부



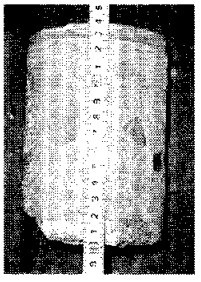
A17 외부



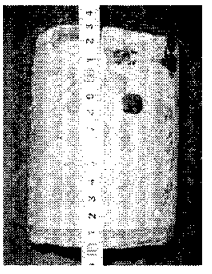
A18 내부



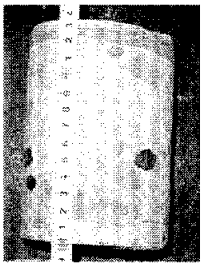
A18 외부



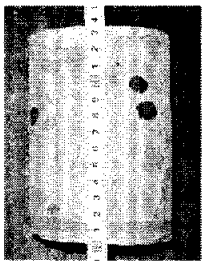
A19 아래



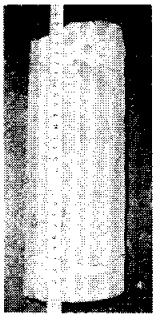
A19 위



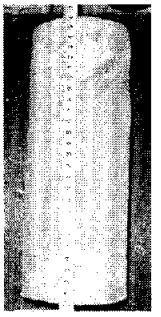
A20 아래



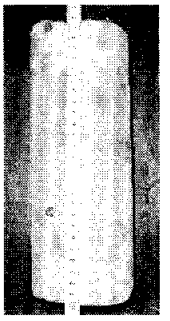
A20 위



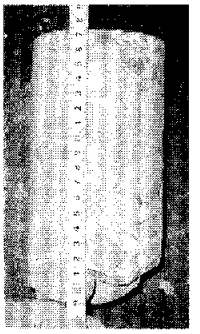
A21 중성화 깊이



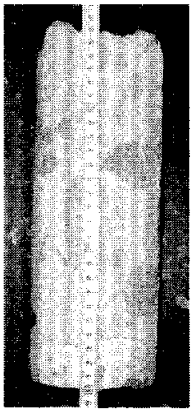
A22 중성화 깊이



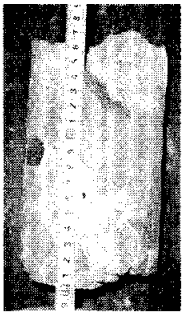
A23 중성화 깊이



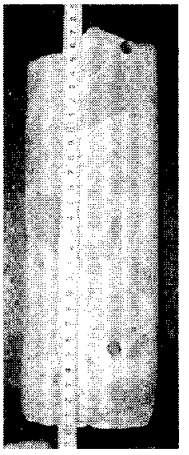
B01 아래



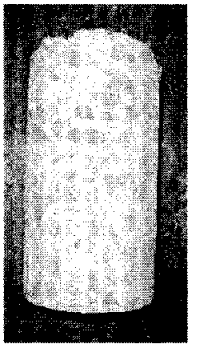
B02 중성화 깊이



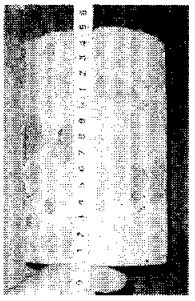
B03 중성화 깊이



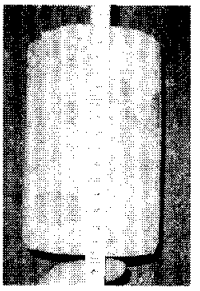
B04 중성화 깊이



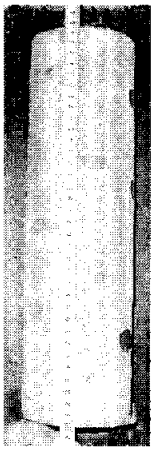
B05 중성화 깊이



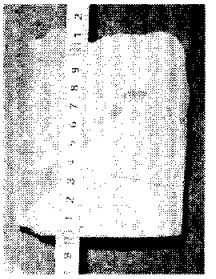
B06 아래



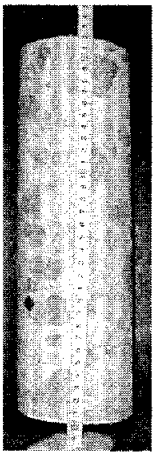
B06 위



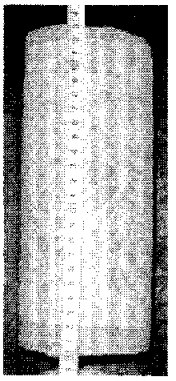
B07 중성화
깊이



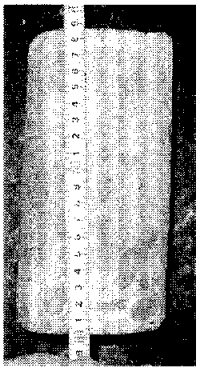
B08 중성화
깊이



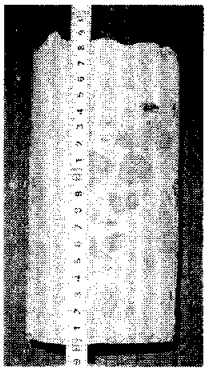
B09 중성화
깊이



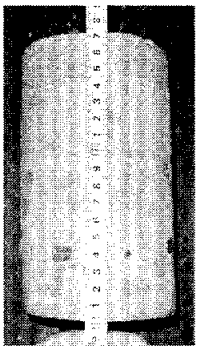
B10 중성화
깊이 측정



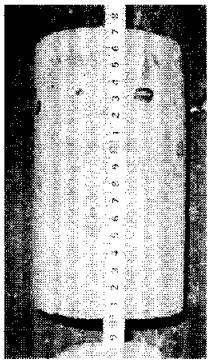
B11 위



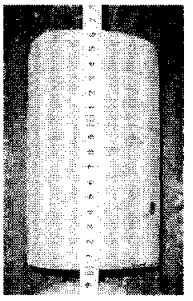
C01 아래, 위



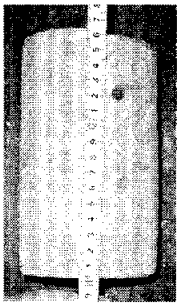
C02 아래



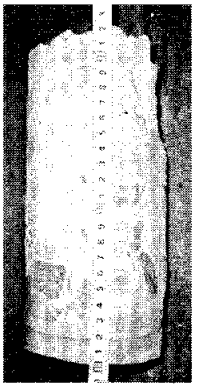
C02 위



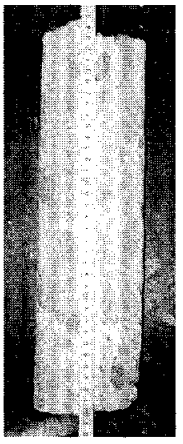
C03 아래



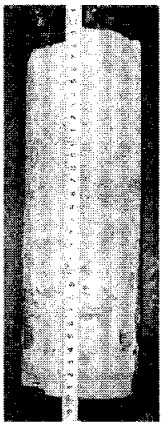
C03 위



C04 중성화 깊이



C05 중성화 깊이



C06 중성화 깊이

# 중성화깊이측정

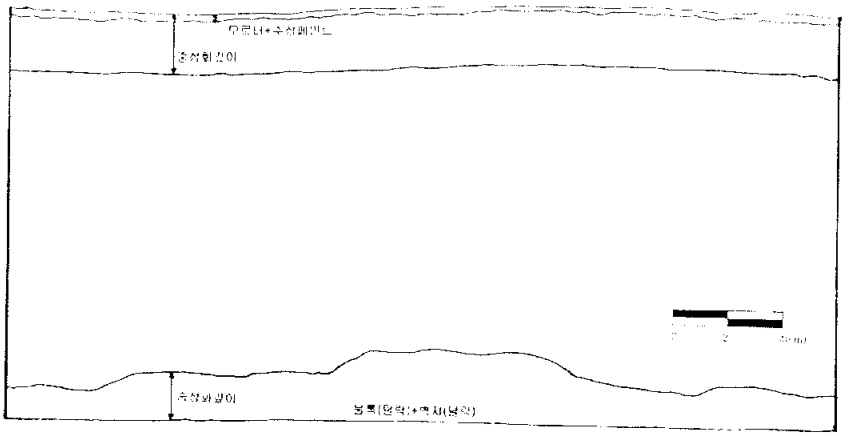



그림 1. A01

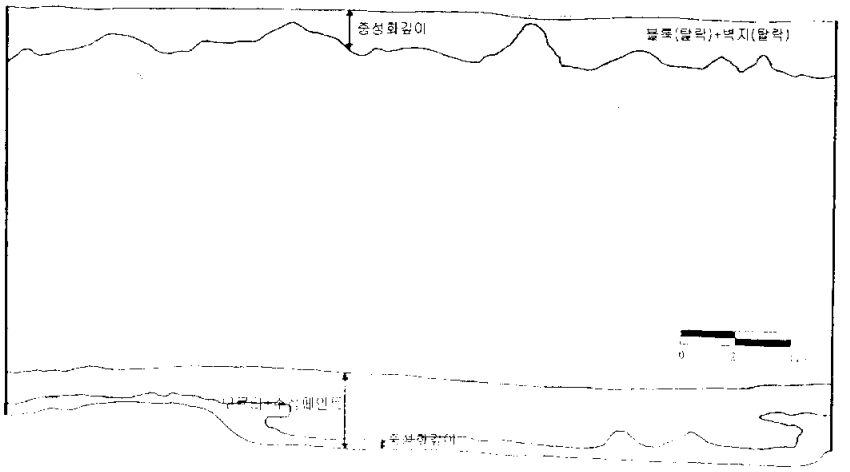



그림 2. A02

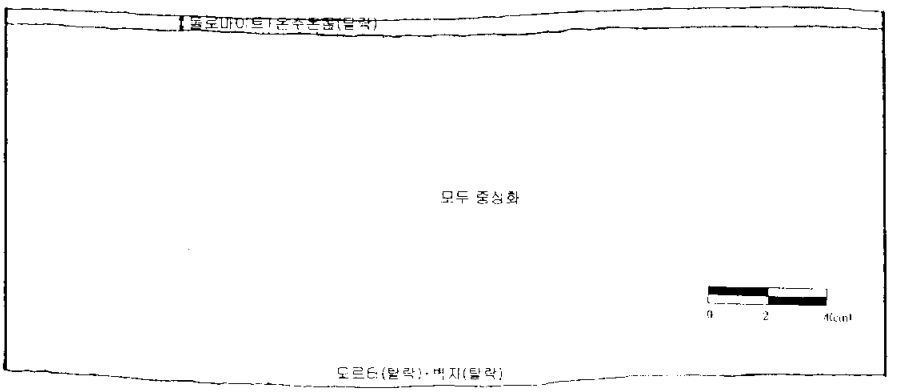



그림 3. A03

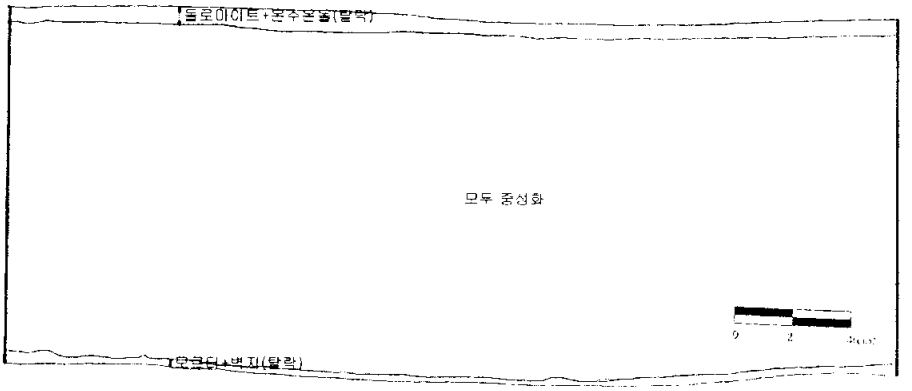



그림 4. A04

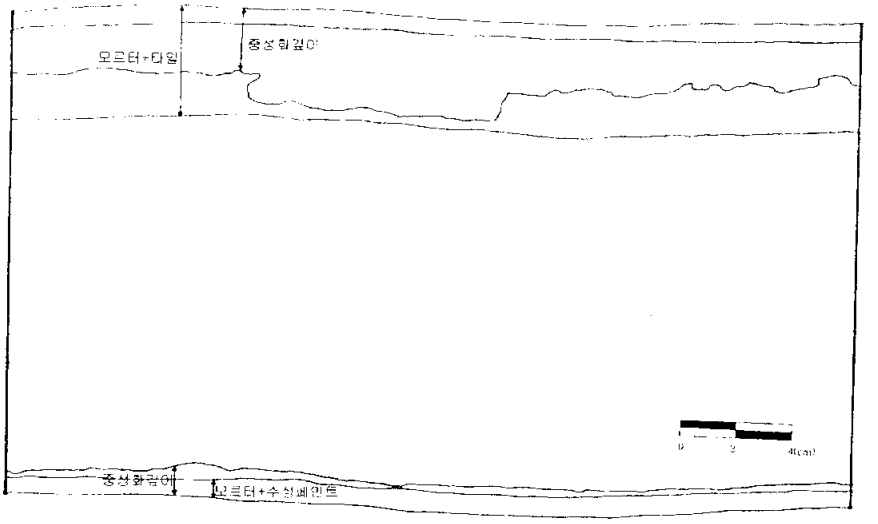



그림 5. A05

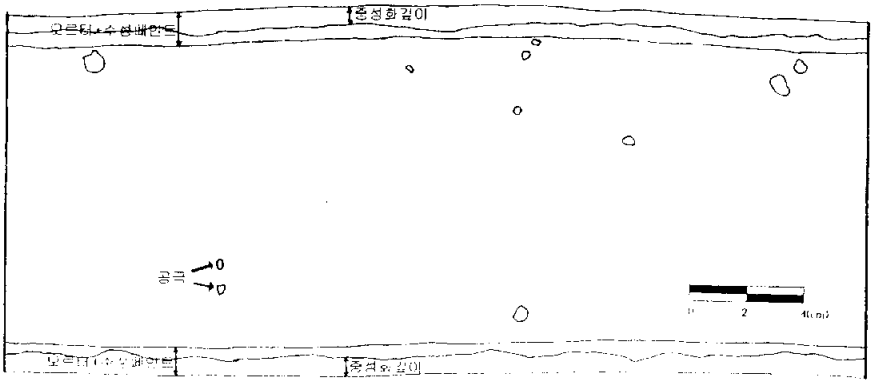



그림 6. A06

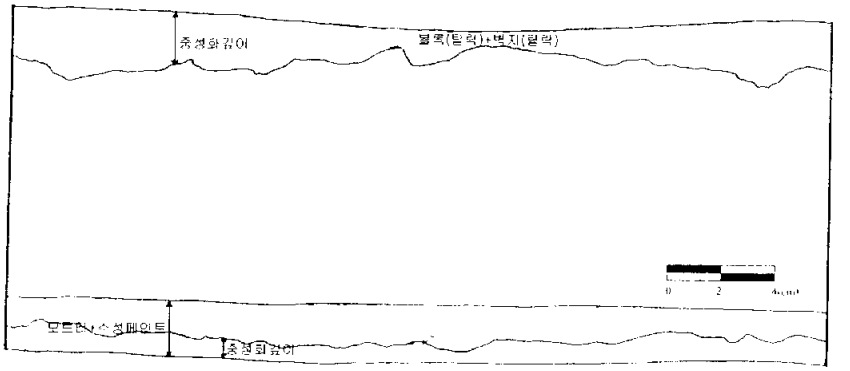



그림 7. A07

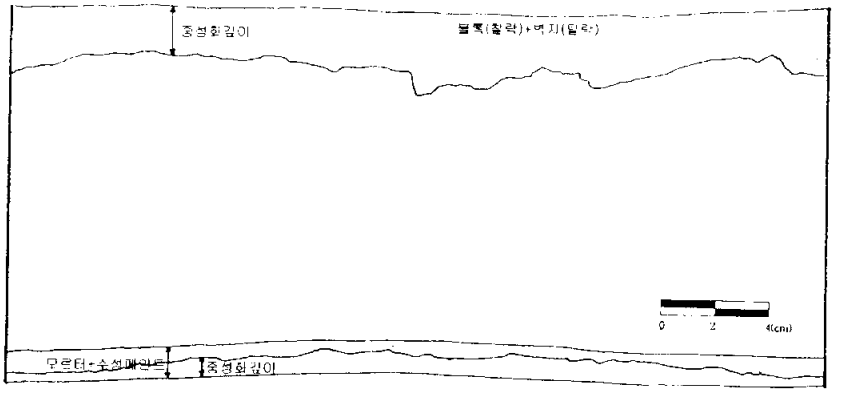



그림 8. A08

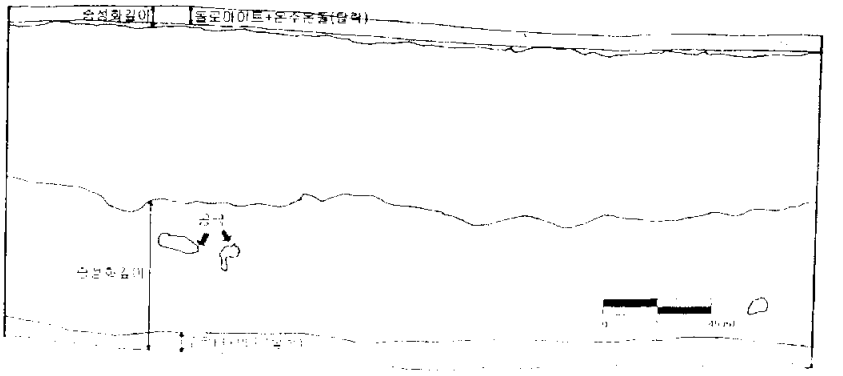



그림 9. A09

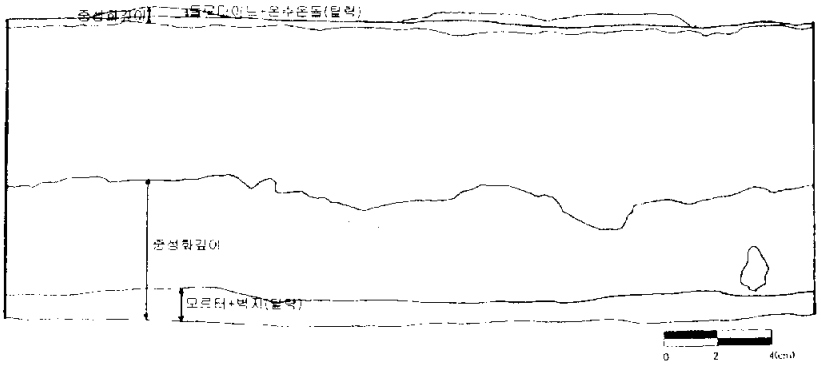



그림 10. A10

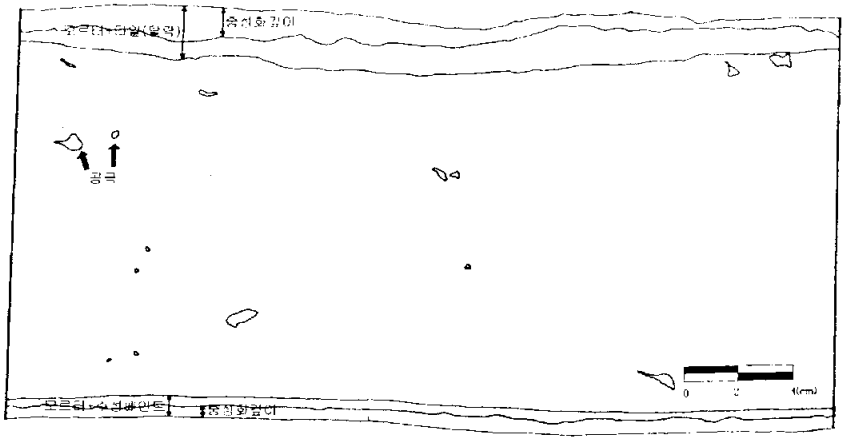



그림 11. A11

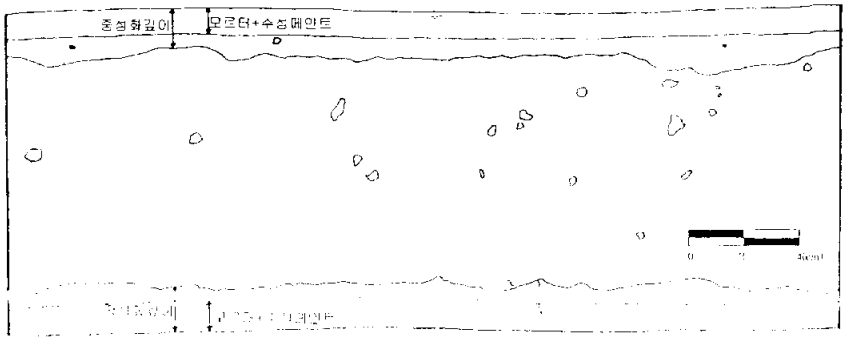



그림 12. A12

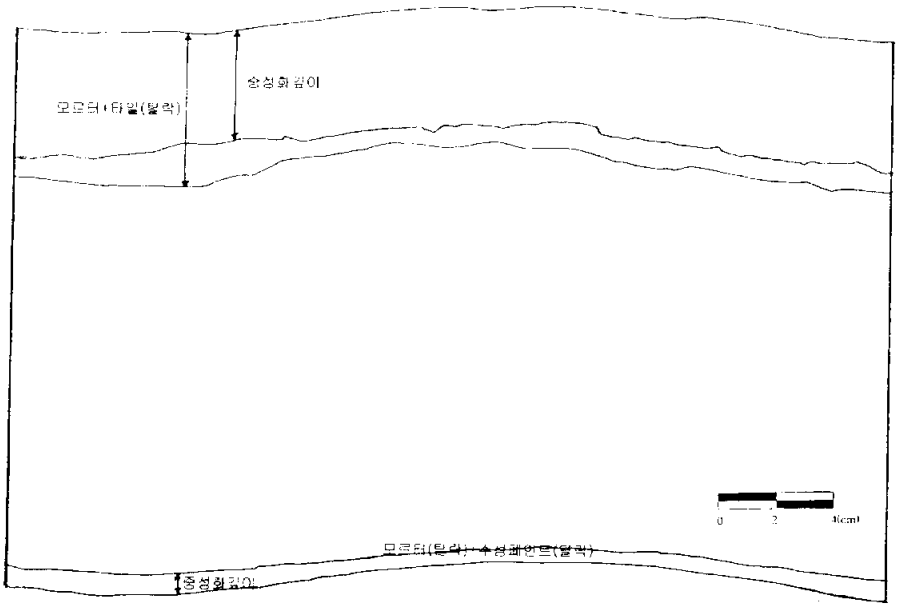



그림 13. A13

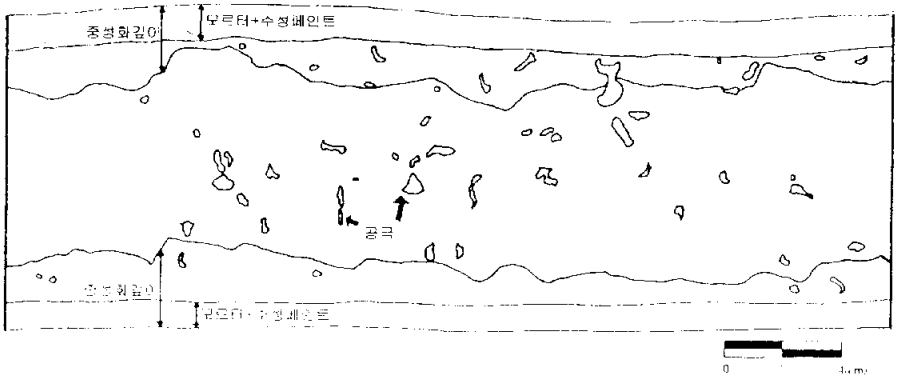



그림 14. A14

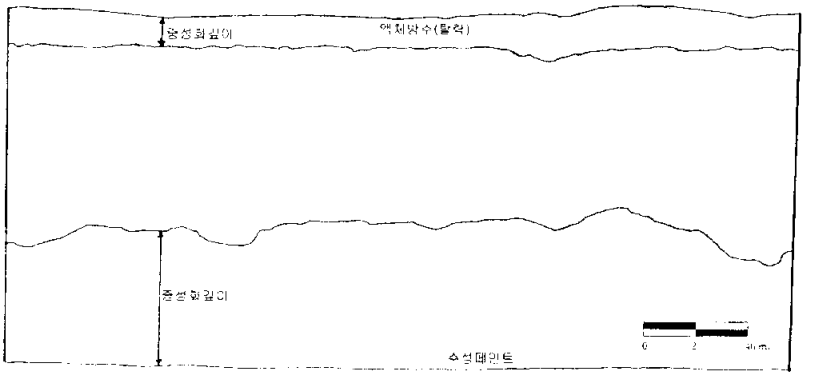



그림 15. A15

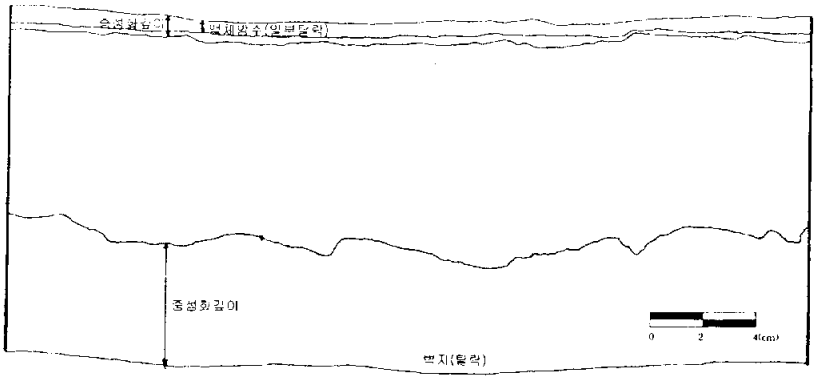



그림 16. A16

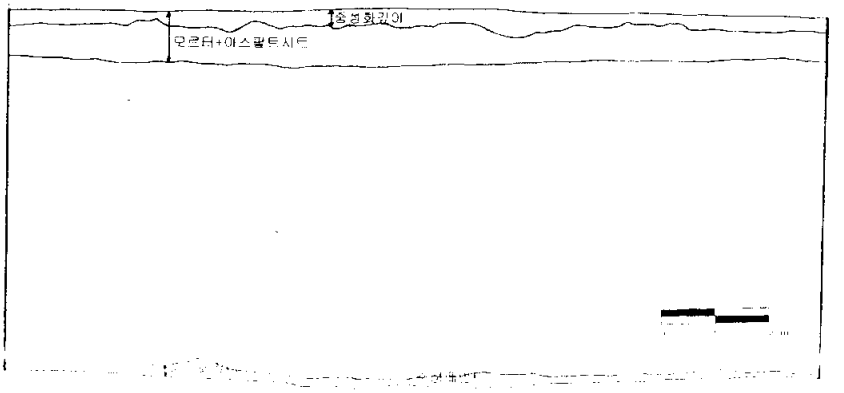



그림 17. A17

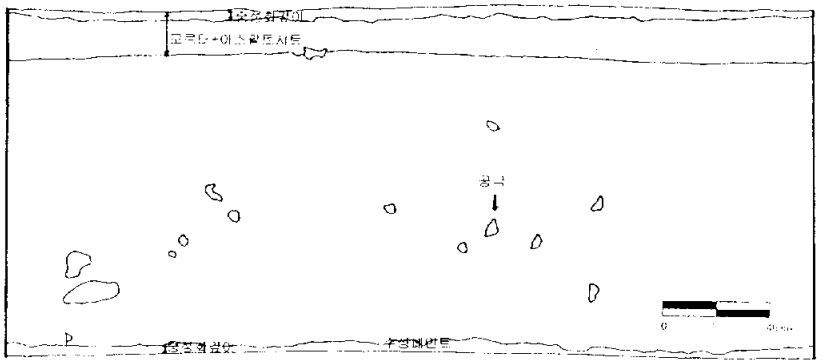


그림 18. A18

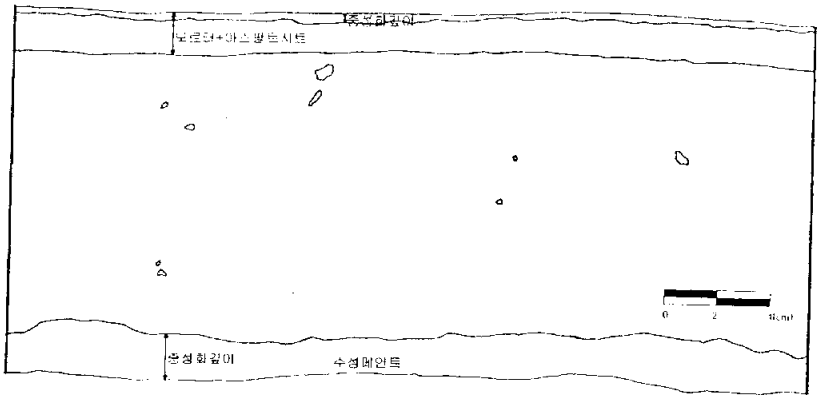


그림 19. A19

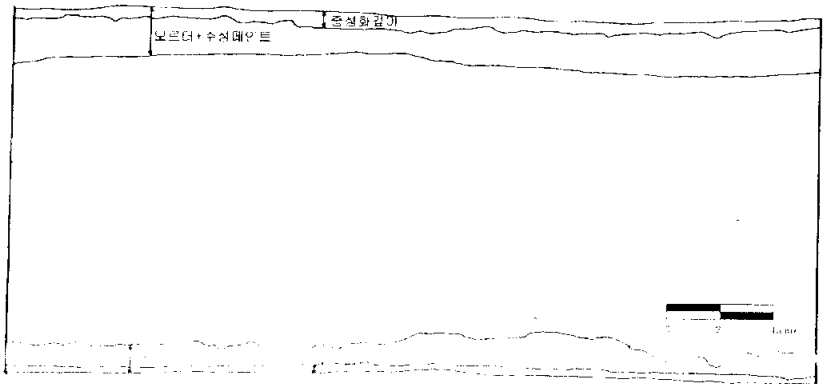


그림 20. A20

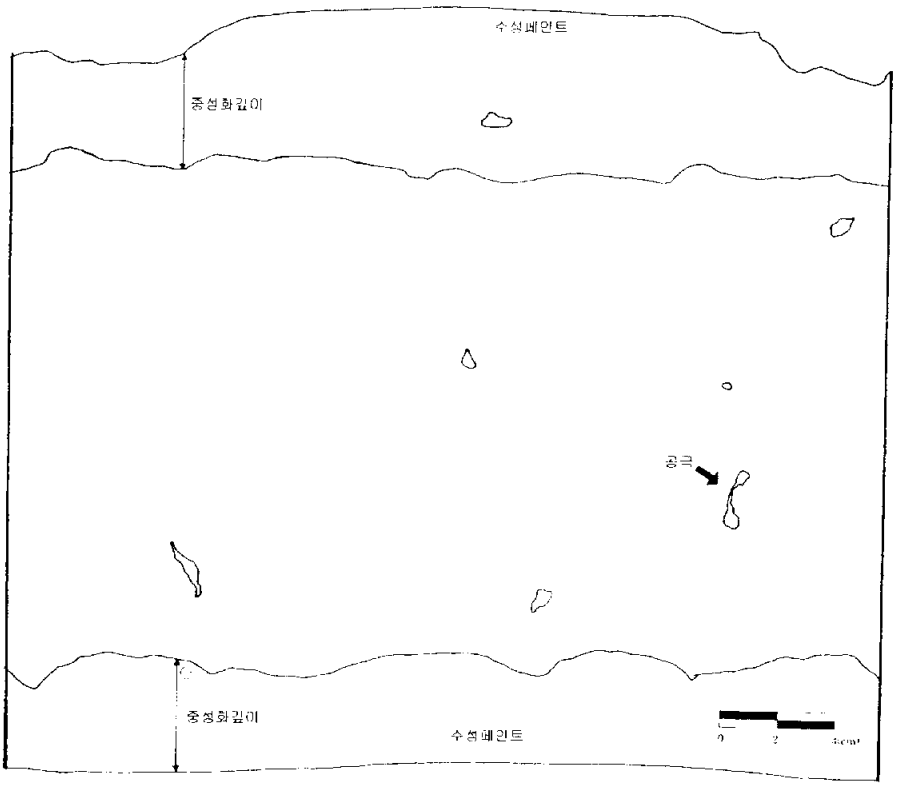



그림 21. A21

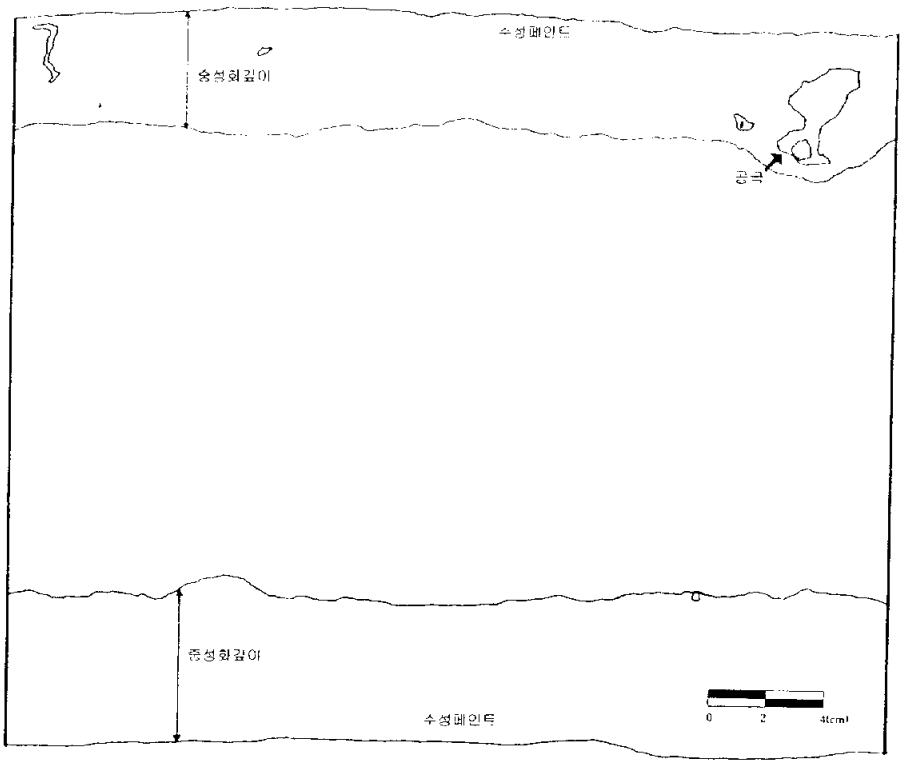



그림 22. A22

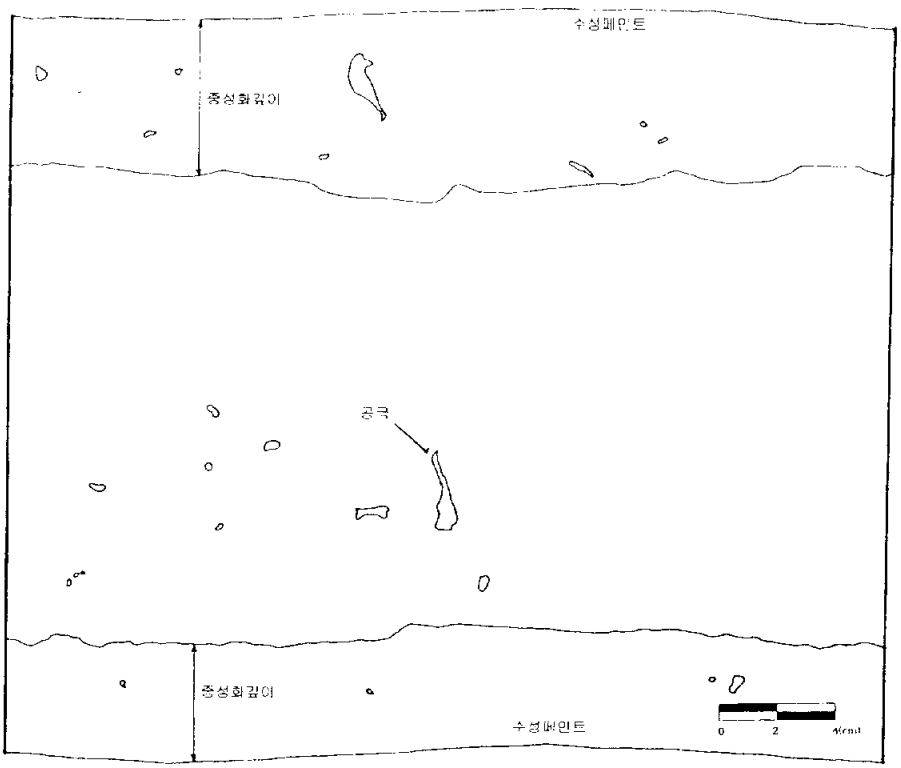



그림 23. A23

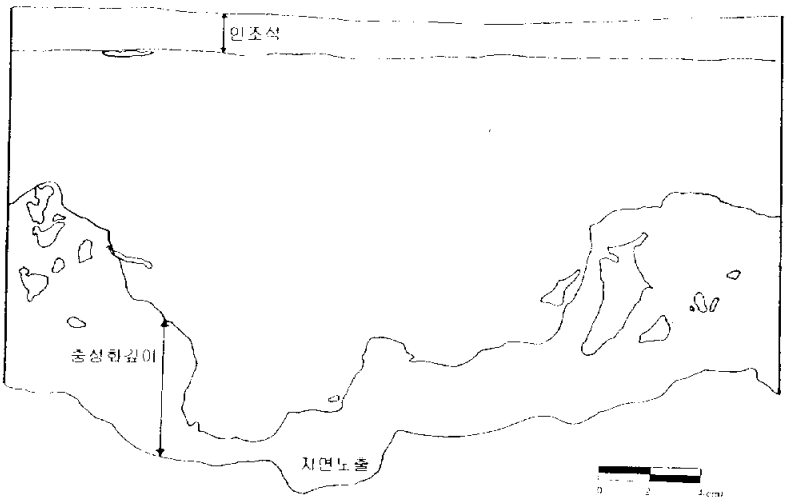



그림 24. B01

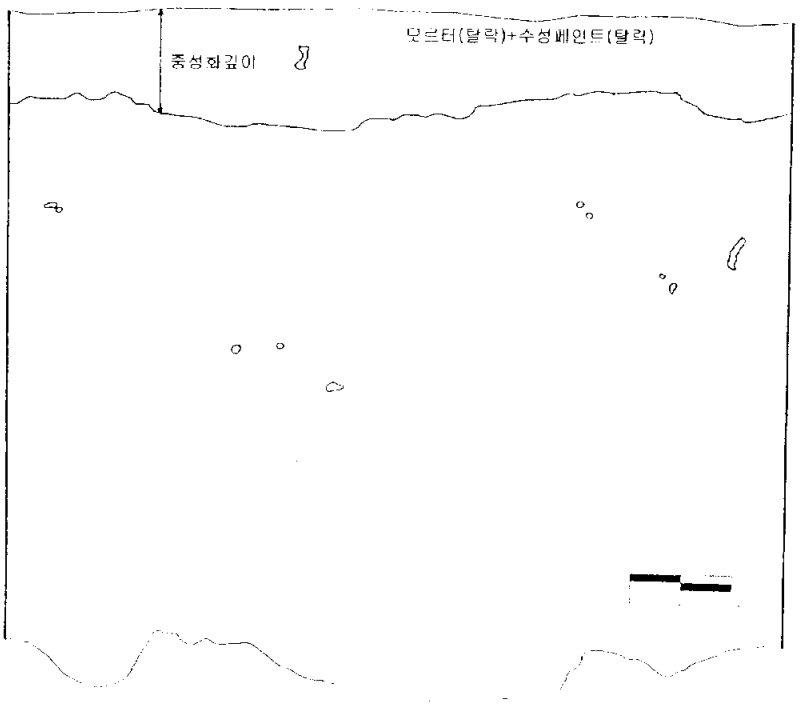



그림 25. B02

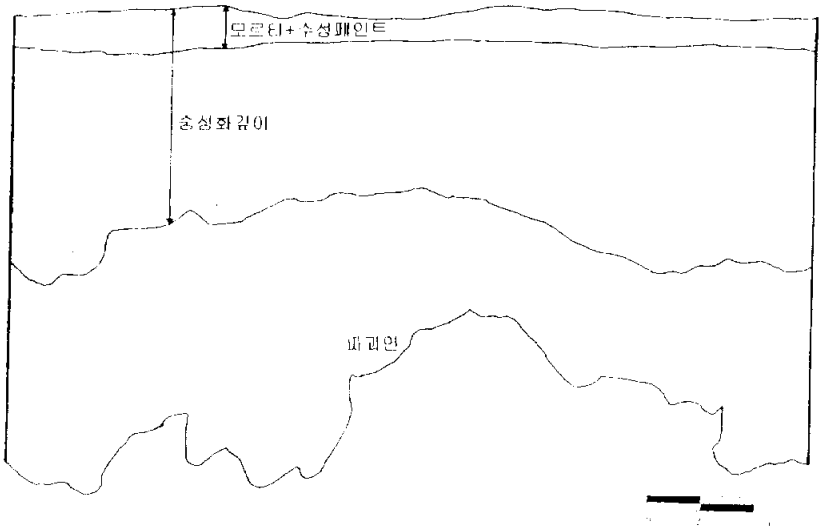



그림 26. B03

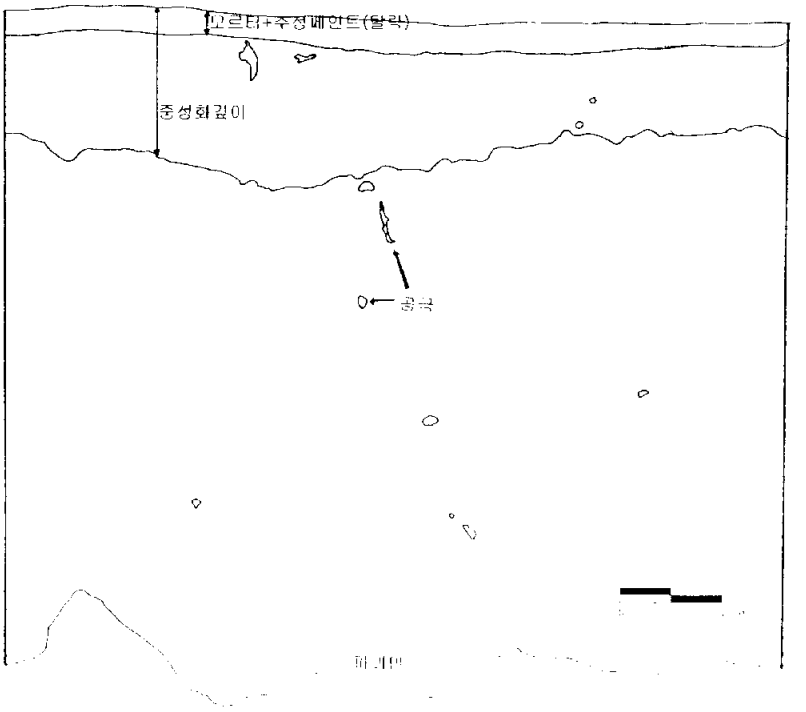



그림 27. B04

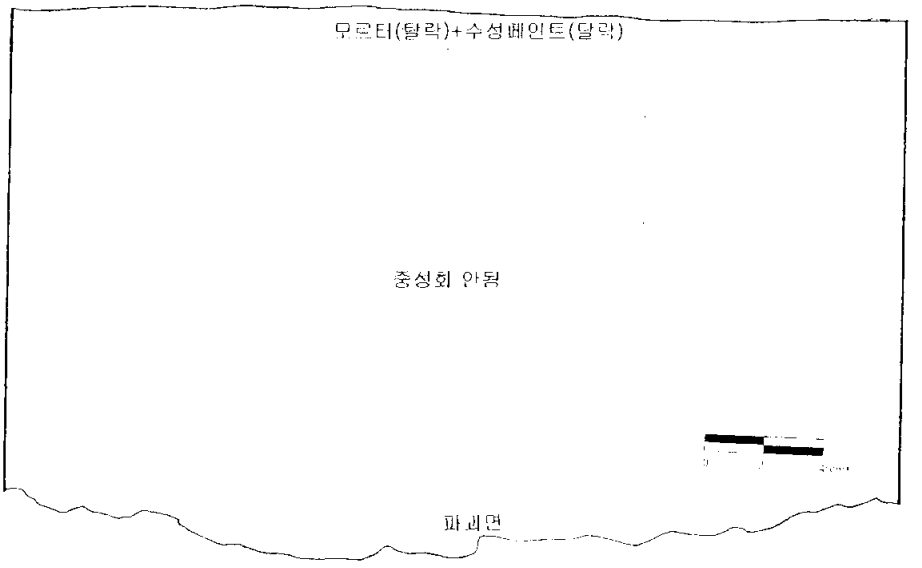



그림 28. B05

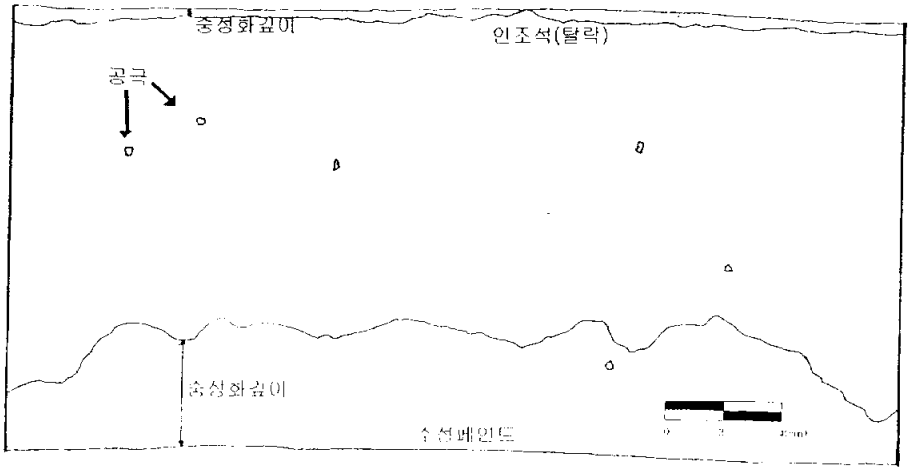



그림 29. B06

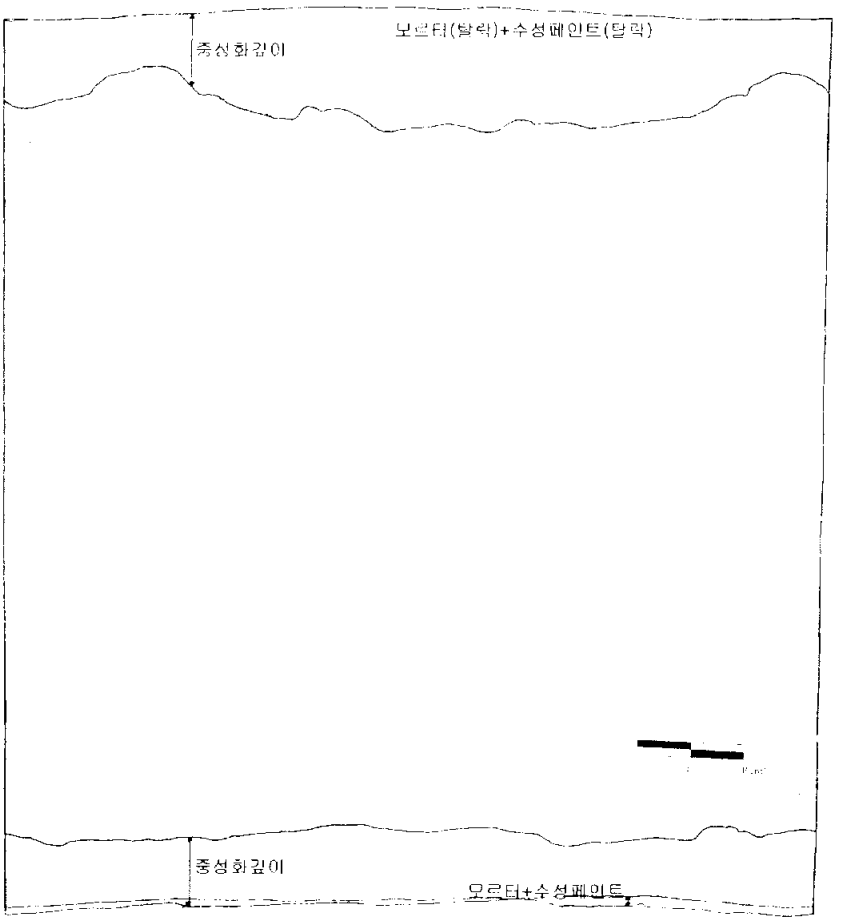



그림 30. B07

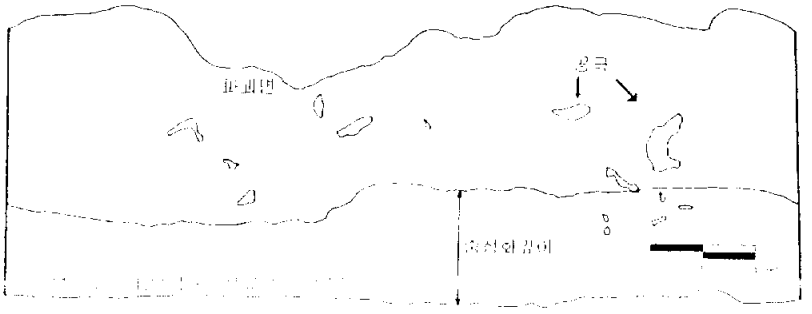



그림 31. B08

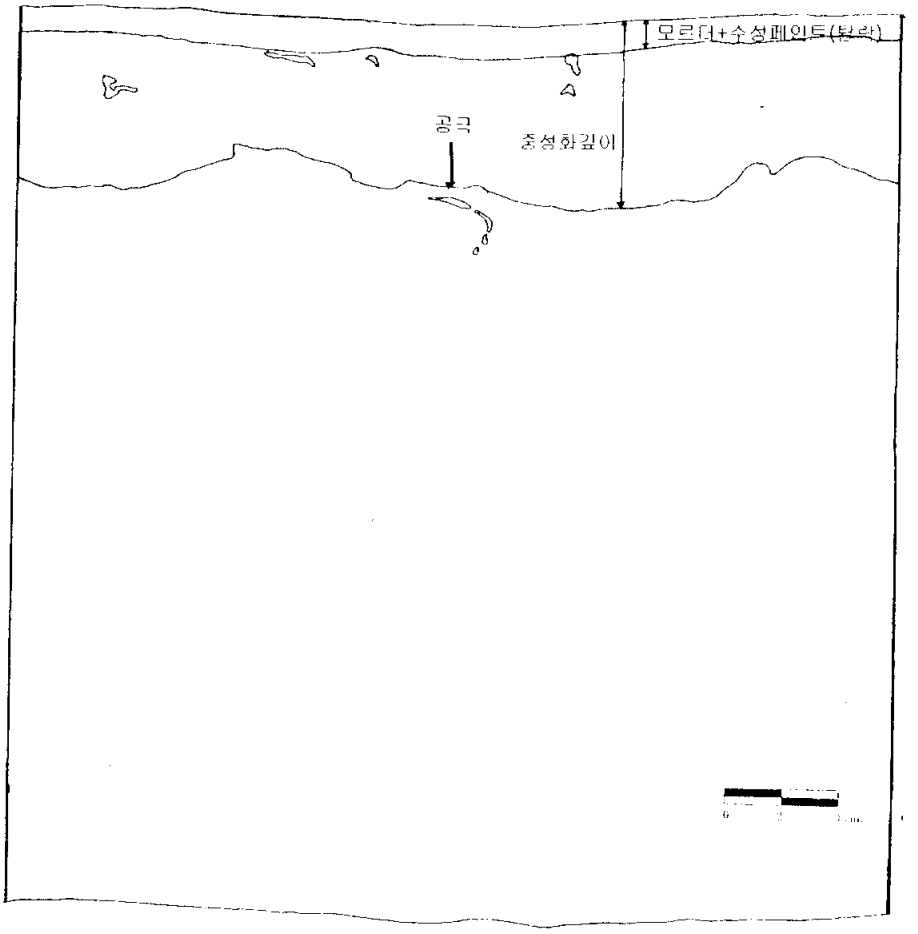



그림 32. B09

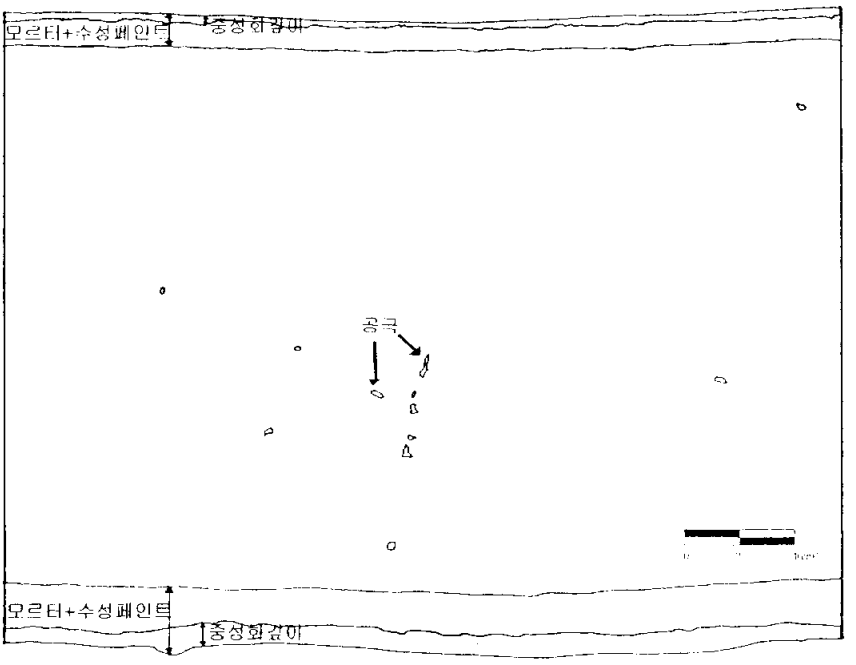



그림 33. B10

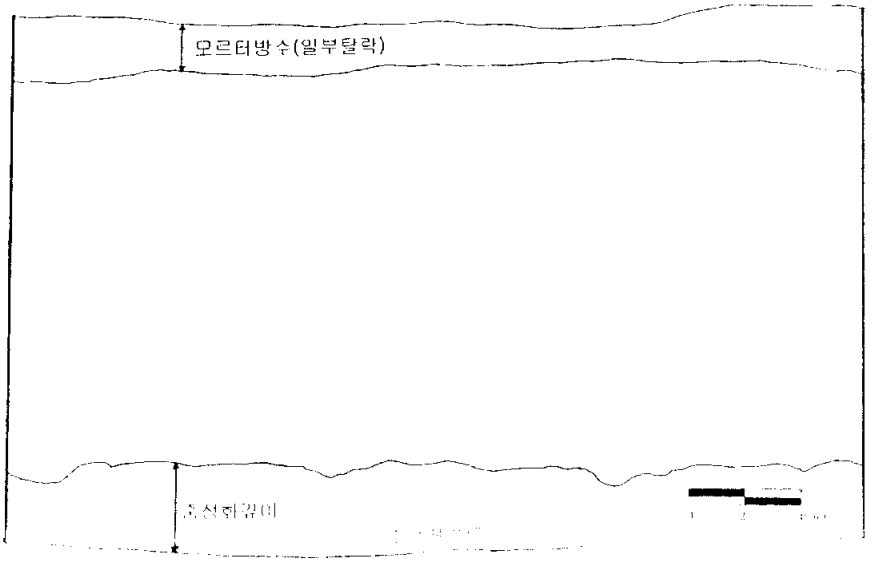



그림 34. B11

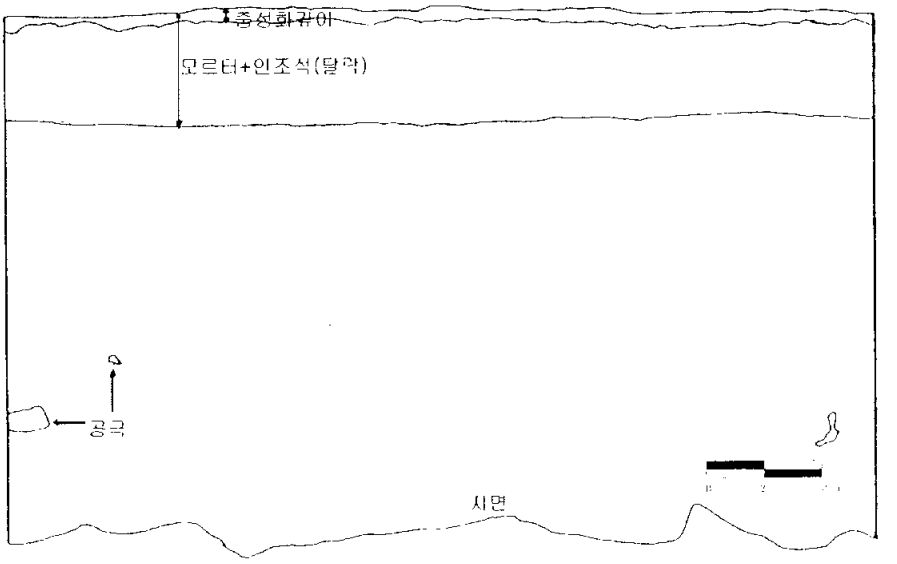



그림 35. C01

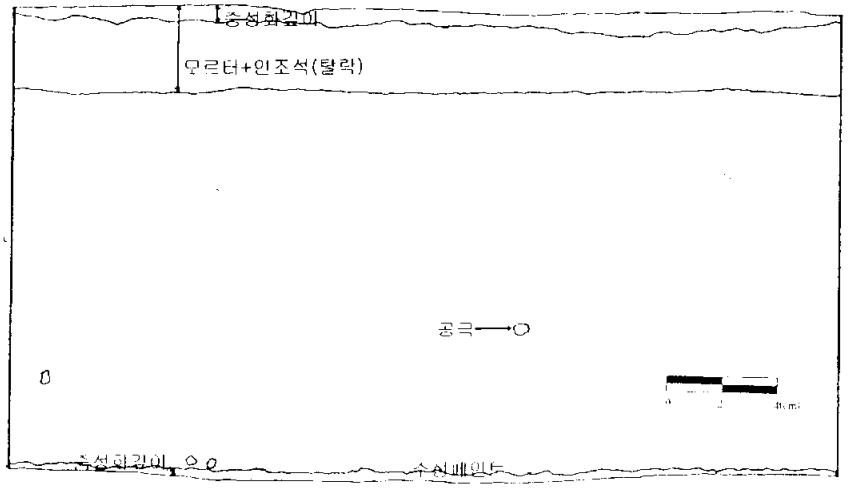



그림 36. C02

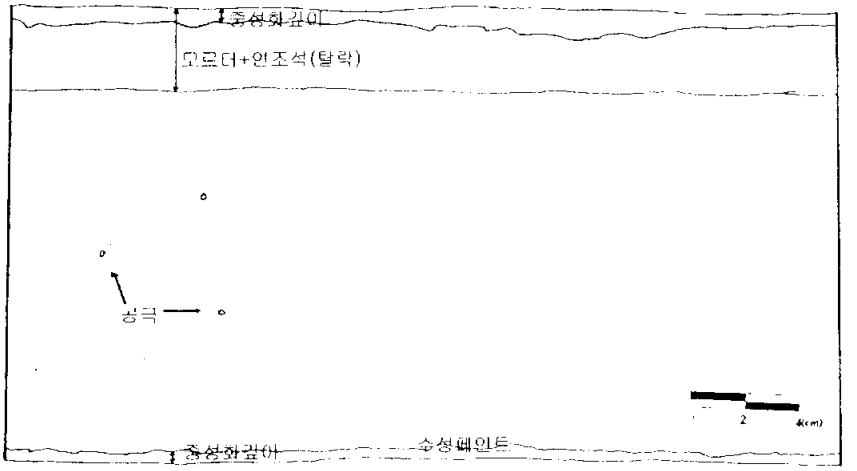



그림 37. C03

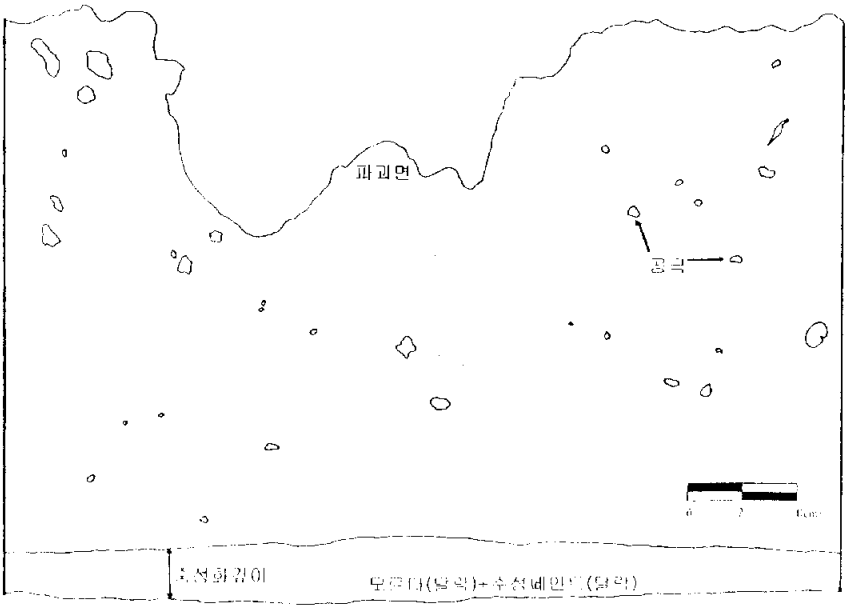



그림 38. C04

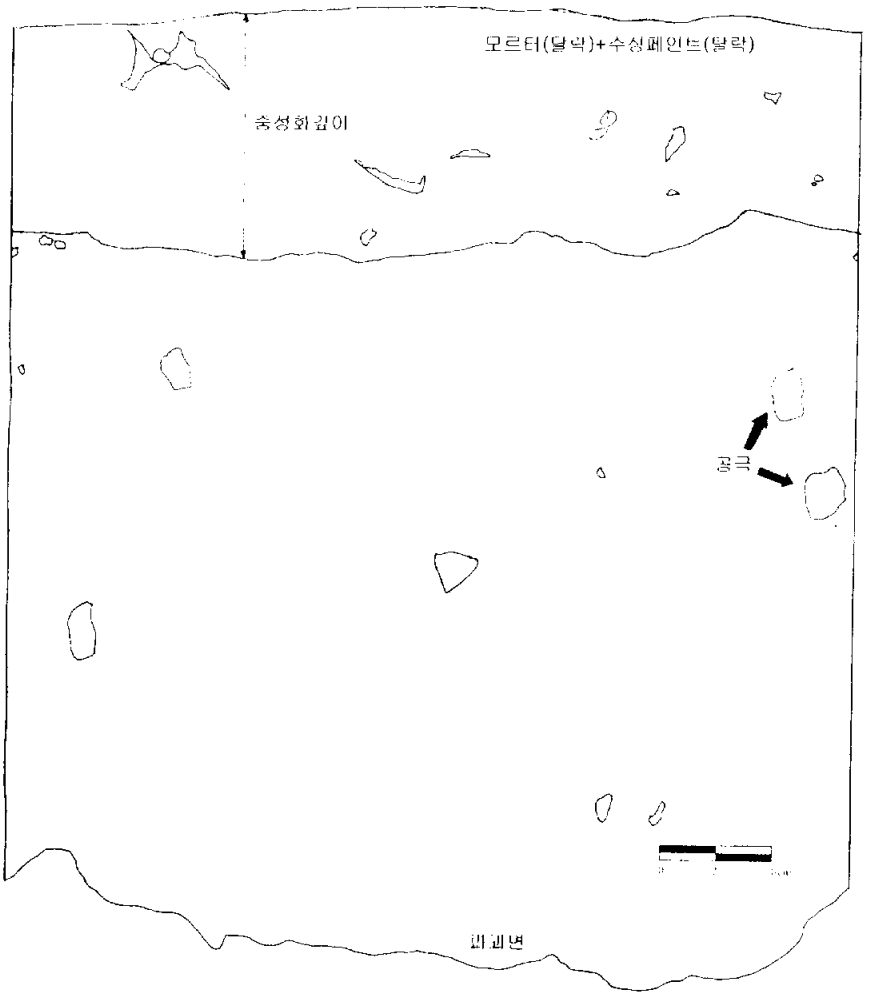



그림 39. C05

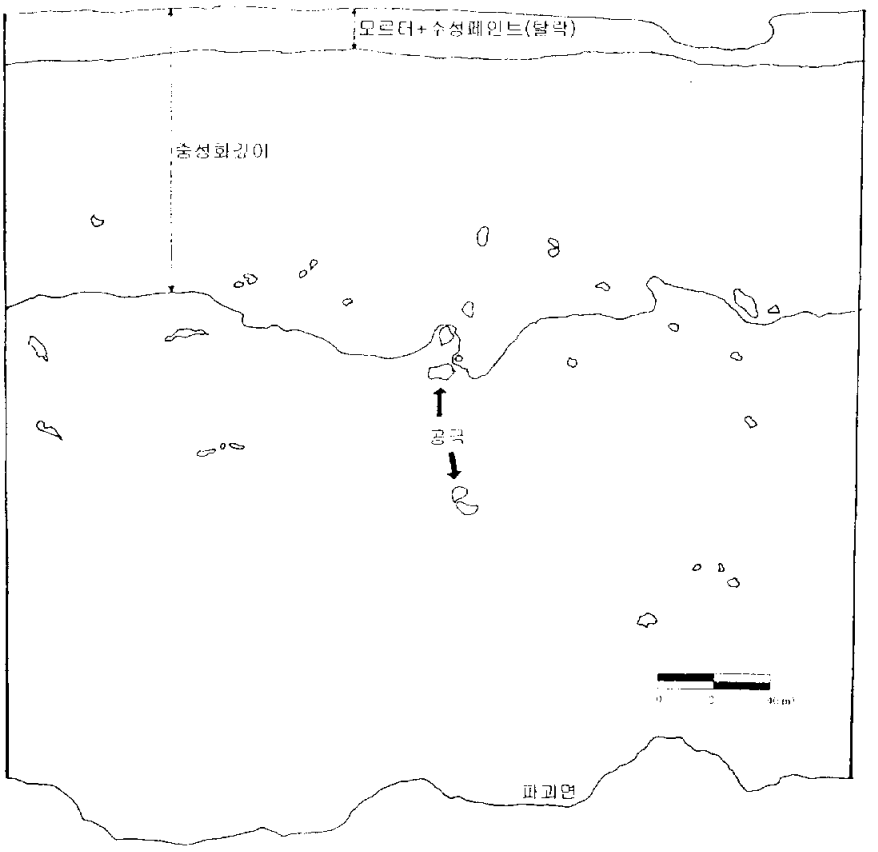



그림 40. C06

# 감사의 글

오늘의 결실이 있기까지 열과 성을 다하여 지도하여 주시고, 따뜻한 인간애와 깊은 사랑으로 인간됨을 일깨워 주신 지도교수 이수용 교수님의 은혜에 진심으로 감사의 말씀을 올립니다.

아울러 바쁘신 중에도 본 논문의 심사를 맡아 자상한 검토와 세심한 조언으로 논문이 완성될 때까지 지도하여 주신 이재용 교수님과 임영빈 교수님께 충심으로 깊은 감사를 드리며, 학부과정에서부터 오늘에 이르기까지 항상 따뜻한 격려와 지도를 해주신 류종우 교수님, 조홍정 교수님, 박천석 교수님, 신용재 교수님, 김영찬 교수님, 김기환 교수님들께도 진심으로 깊은 감사를 드립니다.

또한, 실험에 많은 도움을 주신 이승철(박사과정)님과 가까이에서 용기를 북돋아주고 격려해준 대준형과 안재형, 김경민, 성민형, 창환형에게도 많은 감사 드립니다.

늘 곁에 없어도 곁에 있는 것 같이 든든한 친구들인 현욱, 하윤, 주홍, 영수에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

항상 바쁘다는 이유로 소홀했던 동생 내외, 귀여운 조카 유리와 가족 친지에게도 진심으로 감사를 드립니다. 또한 비록 멀리 떨어져 있더라도 나에게 끝까지 격려와 관심을 아끼지 않고 지켜봐준 미정이에게도 감사를 드립니다.

끝으로, 오늘의 제가 있기까지 깊은 사랑으로 보살펴 주신 부모님께 이 결실을 받칩니다.

2002 . 12 . 9

손 일 도