

국내 철근콘크리트 구조물의 유지관리 동향

Recent Repair and Maintenance Techniques of R/C Structures in Korea.

심 중 성* 배 인 환** 김 정 호***
Sim, Jongsung Bae, Inhwan Kim, Jungho

ABSTRACT

This paper presents the recent repair and maintenance techniques of R/C structures in Korea. This paper consists of four parts: the first part introduces the current diagnosis techniques, the second one includes the repair methods and the third one classifies the repair material. Finally a repair case of the R/C structure in a chemical plant in Korea was introduced.

1. 서 언

콘크리트구조물은 수명이 반영구적이고 공사비가 저렴하기 때문에 건설분야에서 콘크리트구조물의 중요성이 날로 증대되고 있으나 콘크리트구조물의 내구성을 저해하는 내적, 외적 요인으로 인한 결함으로 보수하여야만 하는 사례가 늘고 있다. 내구성에 영향을 미치는 이들 결함은 일정하게 나타나지 않고 복합적인 형태로 나타나므로 열화된 구조물을 진단하여 보수하는 작업은 매우 어려운 문제이다.

콘크리트구조물의 내구성에 영향을 미치는 요인으로는 동결융해작용, 화학적침해, 물리적마모현상, 골재의 화학반응 등을 대표적인 것으로 들 수 있고, 이들 요인에 의한 결함정도를 점검하는 방법으로는 크게 육안에 의한 조사, 화학반응 조사 또는 물리적 강도 조사, 그리고 현장에서의 비파괴조사 등으로 구분될 수 있다. 콘크리트 내구성 평가의 결과는 적용되는 점검방법 및 판정기준에 따라 그 보수방법 또는 보수재료의 선정이 달라지게 된다. 그러나 현재 국내 현실은 내구성 평가를 실행하는 주체에 따라 그 진단 방법 및 판정결과가 상이하게 나타나고 있다.

본 논문에서는 현재 국내에서 적용되고 있는 콘크리트구조물의 각종 열화원인에 대한 진단방법 및 그에 따른 판정기준, 그리고 열화현상에 대한 보수공법 및 재료선정방법 등을 소개하고, 이러한 철근콘크리트구조물의 유지관리기술이 실제 현장에서 어떻게 적용되는가를 조사하였다.

2. 진단방법 및 판정기준

콘크리트 구조물의 열화에 대한 진단방법은 크게 육안에 의한 조사방법, 물리적 및 화학적 방법 그리고 비파괴시험(NDT:Nondestruction testing)등으로 분류될 수 있다.

2.1 육안에 의한 조사방법

육안에 의한 진단방법이란 콘크리트의 외관상태를 육안에 의하여 콘크리트의 노후화 상태를 조사하는 방법을 말한다. 이 방법에서는 구조물을 육안으로 조사하기도 하지만, crack scale, 자 등을 사용하여 간단한 치수를 측정하기도하며, 칼이나 못으로 콘크리트 표면을 긁어서 표면경도를 조사하기도 한다. 균

열에 대해서는 균열의 방향, 길이, 폭 등을 조사하며, 박리나 표면풍화에 대해서는 단면결손 부분의 형상의 크기와 발생위치를 조사한다. 또한 골재의 노출상태 및 표면에서 떨어진 paste나 mortar의 두께를 측정하기도 한다. 이러한 방법으로 조사된 자료에 대한 판정기준은 표1과 같다.

표1. 육안에 의한 표면상태의 평가

표 면 상 태	판 정
외관상 거의 이상없다.	안 전
이상은 확인되었지만 표면적 또는 국부적인 현상으로, 내역에의 영향은 경미하다고 판단된다.	구조상 거의 문제없음
이상현상이 상당한 범위에서 확인되고, 부분적으로는 심한 피해도 발생하고 있지만, 이상현상의 진행속도는 완만하고, 장기하중에 대해서는 아직 여력이 있다고 판단된다.	내구성 부족
변형이나 과대한 단면결손이 확인되고, 이상현상의 진행속도도 크다.	내구성 결 여

2.2 물리적 방법

Core를 현장에서 채취하여 행하는 물리적 시험에는 동결융해시험과 압축강도측정시험이 있다.

동결융해시험에 의한 내구성의 예측 및 진단방법에는 ASTM666 A법이 있다. 이 실험에서는 재료비교 시험을 실시하고, 심한 자연조건하에서의 실험을 통해 구조물의 내동결성을 예측하게 되는데 내구성지수(300사이클)가 60이상이면 충분히 내구적이며, 200사이클의 내구성지수가 80이상이면 안전하다고 판정한다. 또한 굳지않는 콘크리트의 용적에 관한 시험방법으로서 콘크리트의 공기량을 측정하는 KS F2449 시험방법이 있다. 이 실험으로부터 내구성의 판단은 동결융해를 받는 콘크리트의 경우, 공기량이 25mm골재에 5.0%이상이면 양호한것으로 판정한다.

콘크리트의 압축강도를 측정하기 위한 core boring법은 실제 콘크리트의 압축강도가 설계상의 필요강도를 확보하고 있는지를 구조물에서 직접 boring machine으로 core를 채취하여, 열화의 원인을 추정하기 위한 목적으로 수행한다. Core 공시체의 압축강도 시험방법은 KS F2422(콘크리트 압축강도시험방법, ASTM C39)에 따르며 이 시험방법에 의한 콘크리트 압축강도시험의 판정기준은 표2과 같다.

* 정회원 한양대학교 토목공학과 조교수

** 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

*** (주) 경진엔지니어링 대표

표2. 콘크리트의 압축강도와 판정

콘크리트의 압축강도	판정
$F \geq F_c + \sigma$ $F_c + \sigma > F \geq 0.5 F_c + \sigma$ $F < 0.5 F_c + \sigma$	안전 강도불충분 현저한강도부족

(F:실측치 Fc:설계치 σ:표준편차)

2.3 화학적 진단방법

Core를 현장에서 채취하여 행하는 화학적 시험에는 중성화시험방법이 있고, 시료를 실내에서 제작하여 행하는 화학적 실험에는 알칼리-골재반응이 있으며, 절취법으로 조사하는 염화물에 대한 시험방법도 화학적 진단방법으로 분류될 수 있다.

중성화시험은 core 절제면 또는 현장절삭 V cut 절취면에 1%의 페놀프탈레인(Phenolphthalein) 용액을 분무하여, 콘크리트 core 및 절취면의 상황을 다음 표3과 같이 조사한다.

표3. 중성화 시험요령

상황	측정면	표면처리	시약의 분무시기	중성화 깊이의 측정시기
I	현장절삭 V-cut 면	blower	직후 3-6시간 1-7일후	직후 1-10분후 1분-2일후
II	코아 절제면	blower, 물	직후-1일후 2-4일후 5-7일후	직후 직후-2일후 직후
III	발취한 코아표면, 콘크리트 커트 절단면	수세후 표면 건조	1일후	10분-2일후
IV	수중양생의 절제면	blower	직후-1일후	직후
V	수중양생후의 콘크리트 커트 절단면	수세후 표면 건조	1일후	10분-1일후

중성화에 의한 열화도의 평가는 실측한 각 점에서 중성화시험시기의 콘크리트재령, 중성화의 깊이, 및 철근의 피복두께와의 관계로부터 잔존수명을 추정함으로써 내구성에 대한 평가를 한다. 콘크리트 내의 철근위치와의 관계로부터 중성화에 대한 판단은 표4과 같다. 여기서 열화도 A는 중성화 깊이가 철근까지 도달한 상태이고 모든 철근이 전전, B는 중성화가 더욱 진행되어 소수의 철근이 부식, C는 반수이상의 철근이 부식한 상태이다.

표4. 중성화깊이와 철근피복과의 관계

열화도	옥외(흙에 접한 부위)	옥외
A	$C_t < 0.5 D$	$C_t < 0.7 D$
B	$0.5 D \leq C_t < D$	$0.7D \leq C_t < D + 20$
C	$D \leq C_t$	$D + 20 \leq C_t$

(Ct : 중성화 깊이 D : 철근피복 두께)

알칼리 골재반응에 의한 콘크리트 열화원인의 진단방법은 외관에 의한 조사로서 균열 깊이측정, 실

내 core실험으로써 골재의 반응시험, 현장 core 채취에 의한 실험으로써 gel 성분 분석, 팽창시험 등이 있다. 이에 관한 국내연구는 최근 매우 활발하게 진행되고 있다.

염화물에 의한 콘크리트 구조물의 열화는 콘크리트가 염화물 자체에 의하여 피해를 입는 것이 아니라, 콘크리트가 염분용액으로 인하여 전기적 유도체가 됨으로써 철근이 부식하게 되어 발생한다. 철근이 부식하게 되면 체적팽창을 일으키게 되며 그 체적은 원래 철근체적의 8배로 증가하게 된다. 체적팽창으로 인해 콘크리트 피복에 균열이 발생하거나 박리현상이 일어나게 된다. 따라서 염화물에 의한 구조물의 열화현상을 측정하는 방법은 콘크리트내의 염분함유량을 직접 측정하거나, 철근의 부식정도를 측정하는 방법이 있으며 열화도는 잠복기, 전전기 및 열화기로 나누어진다. 철근부식정도에 의한 콘크리트구조물의 열화도 판정은 표5와 같다.

표5. 염화물에 의한 열화현상 분류

항목	잠복기	전전기	열화기
부식현상	피복 콘크리트 속으로 염소이온의 침투, 국부 부식	부식 생성물의 생성, 국부 철근 국부 팽창 (내부)이 피복 콘크리트 표면으로 전진	피복 콘크리트 표면에 있어서 철근 국부 팽창 발생, 확장 부식 생성물의 유출 피복 콘크리트의 박락
기능손상	전 전	대부분 전전	피복 콘크리트와 철근과의 밀착성 상실 과다형식의 변화 내하력의 저하

2.4 비파괴시험(NDT:Nondestruction Testing)

비파괴시험에는 표면타격법, 음향적방법, 국부 파괴법, 전기적법, 자기법, 방사선법, 중성자법 등이 있다.

2.4.1 표면타격법

표면타격법에는 경도법 및 반발도법이 있다. 경도법에는 Williams Testing Pistol법, Frank Spring Hammer 법, Einbeck Pendulum Hammer 법 등이 있으나 최근에는 거의 사용되지 않는다.

반발경도법인 Schmidt Hammer 법은 일반 콘크리트 구조물(N형), 벽(P형), 경량, 중량 콘크리트 구조물의 압축강도 측정에 적용되며, 비파괴시험중에서 가장 많이 사용되고 있다. 이 방법은 측정이 간편하고 측정물의 크기, 형상에 관계없이 적용가능한 반면에 콘크리트 구조물의 내부품질을 판정할 수 없는 단점이 있다. Schmidt hammer에 의한 강도 판정은 $R_o = R + \Delta R$ 로서 행한다. 여기서, R_o 는 기준경도, R 는 측정경도이며 ΔR 는 타격방향, 압축응력 혹은 양생환경에 따른 보정치이다.

또한 시공후 시간이 지나 건조상태로 보호된 콘크리트는 추정된 실재보다 상당히 큰 값으로 나타나 윗식에서 구한 압축강도에 표 6과 같이 시간경과계수 α_n 를 곱한 값을 압축강도로 한다.

표 6. 재령과 시간경과계수

재령(일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	3000
α_n	1.55	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

기준경도 R_o 로 부터 압축강도 F 를 추정하는 식은 다음과 같다.

$$F = 13 R_o - 184 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (\text{일본 재료학회})$$

$$F = 10 R_o - 110 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (\text{동경도 재료시험소})$$

2.4.2 음향적 방법

이 방법에는 공진법, 음속법 그리고 Acoustic Emission 법이 있다. 공진법에는 중.형 진동법과 비틀진동법이 있으며, 이 방법은 원주 및 각주형 시편에서 동탄성계수, 대수감쇄율, 포와송비 측정에 적용된다. 장점으로는 시편에 대한 적용결과가 정확하고 콘크리트의 평균적인 성질을 알 수 있으나, 피측정물의 형상, 크기에 제약이 있어 현장활용에 곤란하다는 단점이 있다.

음속법에는 초음파법, 충격파법 및 위상법이 있다. 초음파법에는 측정방법에 따라 $T_c - T_o$ 법 및 수정 BS법이 있으며, $T_c - T_o$ 법은 발신자와 수신자를 균열로부터 a 에 놓는다. 균열이 없는 부근 $2a$ 에서의 전파속도 T_c, T_o 로 부터 균열길이 y 를 계산한다. 즉 $y = a \sqrt{(T_c/T_o)^2 - 1}$ 이며 수정 BS법은 발,수신자를 균열로부터 각각 $a = 5 - 15 \text{ cm}$, $a = 2a$ 에 놓았을 때의 전파시간 T_1, T_2 로 부터 균열길이 $y = a \sqrt{(4T_1T_2 - T_2^2)/(T_2^2 - T_1^2)}$ 로 구한다. 이 두 방법은 모든 시편, 구조물, 댐에 적용가능하며, 초음파 pulse의 전파시간, 반사파의 검출, 투과파의 감쇄상향 및 결함위치 또는 상판두께를 측정하여 구조물의 알카리-골재반응의 정도 및 균열 상황 등을 비파괴적으로 진단한다. 초음파법의 장점은 시편의 형태에 무관하고 어떤 형태의 콘크리트 구조물에도 적용가능하며, 콘크리트 내부의 품질변화를 알 수 있다는 점이다. 반면에 표면이 거친 콘크리트에 적용하기 어렵고, 측정결과와 정확성은 측정자에 의해 어느 정도 좌우되는 단점이 있다.

초음파법에 의한 측정방법은 transducer의 위치에 따라 직접법, 반직접법, 간접법으로 구분된다. 또한 철근의 위치는 초음파 전파속도에 영향을 미치므로 그에 대한 보정 값을 고려해야 한다. 측정된 전파속도에 따른 콘크리트의 상태판정은 표 7와 같다.

표 7. 전파속도에 따른 콘크리트 상태

전파속도(m/sec.)	콘크리트 상태
4575	매우 좋음
3660 - 4575	좋음
3050 - 3660	문제 있음
2135 - 3050	나쁨
2135	매우 나쁨

충격파법과 위상법은 포장콘크리트 구조물, 벽 등에 적용되며, 측정항목은 충격파의 전파시간, 형, 중파의 파장 등이다. 이 측정항목으로부터 구조물의 안전도를 추정한다.

Acoustic Emission법은 고체재료의 파괴에 수반되어 발생하는 음파로 모든 시편, 구조물, 벽 등을 진단한다. 미소파괴에 의해 발생하는 탄성파동으로서 AE파동은 지진파동이지만, 지진파보다 발생파동의 주파수 성분이 높다. 이동하중하에서 음파를 계속할 때 외력에 대한 AE파가 발생된다. 이 AE법은 현재 연구 단계에 있다.

2.4.3 국부파괴법

국부파괴법에는 판입저항법, 인발법 및 극강도법이 있다.

판입저항법에는 Simbi Hammer법, Spit Pins법, Windsor Probe법이 있고, 이 방법에서는 일반콘크리트 구조물에 Pin을 타격하여 판입깊이를 측정함으로써 압축강도를 추정한다. 이 방법은 측정이 용이하지만 화약을 사용하여 타격하므로 위험하고, 시험 후에 보수를 필요로 하는 단점이 있다.

인발법(Pullout법)은 일반콘크리트 구조물에 적용되며, 이미 매립된 못, 볼트 등의 인발내력을 측정하여 압축강도를 추정한다. 이 방법은 강도추정의 정도가 비교적 좋으나, 콘크리트 타설 전에 사전준비가 요구된다.

극강도법(Break off법)은 일반콘크리트 구조물에 적용되며, core를 절취한 후 극강도를 구하여 압축강도를 추정한다.

2.4.4 전기적법

전기적법은 철근의 부식상태를 조사하기 위한 비파괴 시험방법으로서, 전위도법(전위map법), 전기저항법, 전기저항Probe에 의한 측정법, 분극측정법 등이 있다.

전위도법(전위map법)은 자연전극전위를 측정하여 각주, 벽 등의 철근부식상태를 추정하는데 유용하다.

철근의 전위측정법은 철근과 조합전극을 전압계의 단자에 도선으로 연결하고, 콘크리트 표면을 따라 조합전극을 이동시켜 여러점에서 철근전위를 측정한다. 측정된 전위차로부터 ANSI/ASTM C876의 판정기준은 다음과 같다. 전위(V(SCE))가 -0.2000 이상이면 부식확률은 5%이하이며, $-0.2000 - 0.350$ 이면 부식확률은 약 50%, 전위가 -0.350 이하이면 부식확률은 95% 이상이다.

전기저항법은 콘크리트 표면에 4개의 전극을 등간격으로 병렬연결하고, 양단의 전극 사이에 전류(직류 또는 교류)를 흐르게 하여 전극사이의 전위차를 측정한다. 이로부터 저항율을 산출한다. 콘크리트의 저항율과 철근의 부식성과의 관계에서 콘크리트 저항율($\Omega \cdot \text{cm}$)이 5,000이하 이면 철근의 부식성은 상당히 크고, 5,000 - 10,000일때 부식성은 크며, 10,000 - 20,000이면 철근의 부식성은 작고, 20,000 이상이면 철근의 부식성은 없는 것으로 판정한다.

전기저항 Probe 법에 의한 측정은 선 또는 판 모양으로 된 특수 형상의 강제 Probe을 콘크리트 내에 설치하여, 부식으로 생긴 Probe의 전기저항의 증가로부터 철근의 부식량을 구하는 방법이다. 이 측정법은 철근부식량을 정량적으로 측정할 수 있는 잇점이 있으나, 부식이 국부화되어 있는 경우에는 측정결과와 해석이 용이하지 않은 단점이 있다.

분극측정법에는 직선분극법과 교류임피던스법이 있다. 직선분극법은 외부에서 미소한 전류를 가해 10-20mv의 전위변화(E)를 발생시키는데 필요한 전류를 측정하여 부식전류(I)를 구한다. 교류임피던스법은 외부로부터 철근에 10-20mv의 미소한 교류신호를 주어, 임피던스의 주파수 해석에 의해 부식속도를 구한다. 그러나 이 측정방법은 실험적연구에서 그 유용성이 입증되었으나, 실제 구조물에서의 적용은 측정기술상의 어려움으로 연구개발이 필요한 분야이다.

2.4.5 자기법

자기법에는 파코메타(Pachometer)법과 카비메타법이 있다. 자기법은 각주, 벽, 상 등에서 철근의 존

재에 따른 자기코일의 전류변화로 부터 철근의 위치를 탐사한다. 이 측정법은 측정이 비교적 용이하고, 동일장소에 반복측정이 가능한 잇점이 있으나, 철근이 많거나 깊게 삽입된 경우에는 철근의 탐사가 용이하지 않은 단점이 있다.

2.4.6 방사선 및 중성자법

방사선법에는 x선법, r법(Radio Graphy법, Radio Meter법)이 있다. 방사선방법은 주로 각주, 벽, 슬래브 등에 방사선을 투과하여 철근의 두께, 위치, 그라우트의 충전도, 콘크리트 공동의 결함을 탐사한다. 이 측정법은 콘크리트 내부 상황을 직접 관찰할 수 있다는 큰 잇점이 있으나, 방사선에 의한 위험과 장치가 고가인 단점이 있다.

중성자법에는 중성자 함유량측정법과 중성자활성화분석법이 있다. 중성자법은 각주, 벽, 슬래브 등에 중성자 감쇄상황을 측정하여 함수율, 단위시멘트량을 추정한다. 이 측정법은 정확도가 비교적 높으나, 방사선의 위험과 장치가 대형인 단점이 있다.

2.4.7 기타

상기 언급된 비파괴시험법 이외에 Micro Wave 흡수법과 간역투기법이 있다. 이 두 방법은 현재 연구 단계에 있으며, 그 측정대상은 각주, 벽, 슬래브 등이며, 이러한 시험은 함수율과 투기성을 측정하기 위한 시험이다.

3. 보수공법

콘크리트 구조물의 보수는 앞서 언급되었던 열화에 대한 진단방법을 통하여 열화의 정도 및 원인이 밝혀지면 그를 근거로 행하여 진다. 현재까지의 보수공법은 열화현상에 따라 다르며, 크게 균열에 대한 보수 그리고 박리 및 표면봉괴에 대한 보수공법으로 나누어질 수 있다.

3.1 균열에 대한 보수공법

균열의 보수는 균열의 길이, 폭 또는 보수 목적에 따라 적합한 방법을 선정하여 진행한다. 균열에 대한 보수공법의 종류는 표면처리공법, 충전 및 주입공법 그리고 강제앵카 및 프리스트레스를 이용하는 공법 등이 있다.

3.1.1 표면처리공법

이 공법은 균열을 따라 콘크리트 표면에 피복을 설치하는 방법으로 통상은 좁은 균열(0.2mm이하)에서 구조적인 강도 회복을 목적으로 하지 않는 경우에 이용된다. 표면의 피막용 재료는 그 구조물의 사용목적에 따라 적당한 것을 선택하지만 일반적으로는 에폭시(epoxy)계 수지 혹은 글라스 클로스제 수지를 사용하며 균열 폭이 변동하는 균열에서 방수 목적으로 행하는 경우에는 신장성이 있는 타르, 에폭시(epoxy) 등을 사용하고 있다. 균열의 간격이 좁고 많이 존재하는 경우에는 표면전체에 피막을 설치하는 방법이 사용되고 있으며 이 경우에도 상기 언급된 각종 보수재료가 이용될 수 있다.

또한 수지에 의하지 않는 방법으로서 몰탈(mortar) 붙여 붙이기에 의한 방법 혹은 간단히 방수만을 목적으로 할 경우에는 아스팔트 도포에 의한 방법 등도 행하여지고 있다.

3.1.2 충전공법

균열 폭이 비교적 클 경우의 보수공법으로서 수지

또는 무기계 재료를 균열에 충전 또는 주입하는 공법이다. 이 중에 수지주입공법은 구조부재의 강도회복의 목적에도 이용되는 경우도 있다.

충전공법으로는 균열이 발생한 부분을 절취해내고 다시 콘크리트로 충전하는 공법과 절취한 부분에 충전재를 넣어 보수하는 방법이 있다. 이 방법에는 V형과 U형이 있지만 U형은 댄어내기가 곤란하여 일반적으로 V형이 사용되고 있다. 수지 몰탈충전인 경우에는 V형에도 문제가 없으나 몰탈충전의 경우에는 탈락하기 쉽기 때문에 반드시 U형이 요망된다. 충전공법의 시공은 절취 후 콘크리트 조각을 와이어 브러쉬로 청소하여 제거한 후 필요에 따라 프라이마를 도포하고 충전재를 매워 충전재가 충분히 경화한 후, 표면을 글라인더 혹은 샌더 등으로 평활하게 마무리한다.

3.1.3 주입공법

주입공법은 표면의 균열 뿐 아니라 내부까지도 충전하는 공법이다. 주입용 재료로서는 일반적으로 저점성의 에폭시(epoxy)수지가 이용되고 있다. 주입공법은 균열부위를 따라 주입용 파이프를 접착시키고 그 외부에는 V cut 충전, 표면피막 혹은 접착테이프 등으로 주입재가 흘러 나오지 않도록 하여 진동펌프, 누름 또는 제자리 펌프 등으로 수지를 주입한다. 이때 주입하는 속도가 지나치게 크면 실패하거나 과대한 압력이 가해져 균열을 확장시키기 때문에 주의가 요한다.

3.1.4 프리스트레스에 의한 공법

이 공법은 균열에 직각 방향으로 강재를 설치하고 이것을 긴장시킴으로써 프리스트레스를 주는 공법이다. 이 공법에는 부재 내부에 구멍을 뚫는 방법 이외에도 부재 밖에서 프리스트레스를 도입하는 방법이 있으며, D형 앵카로 균열을 봉합하는 공법도 있다.

3.2 박리 및 표면봉괴에 대한 보수공법

박리 및 표면봉괴의 보수에 쓰이는 주요 공법은 jacketing, 공기연행몰타르법, 프리팩트 콘크리트, 건조포장, 콘크리트의 대치공법 등이 있다.

3.2.1 Jacketing

Jacketing이란 열화된 부분에 거푸집을 놓고 새로운 콘크리트로 타설하여 열화된 부분을 보강하는 공법이다. 이 공법은 현재의 부재의 단면을 회복하거나 보강하며 특히 열화된 기둥, 피어, 파일의 보수에서 열화에 대한 내구성 뿐 아니라 강도회복을 주도록 단면을 보강하는 데 이용된다. 이 방법에서는 콘크리트의 수축을 줄이기 위해 혼화물이 흔히 사용된다.

3.2.2 공기연행몰타르법(Pneumatically Applied Mortar)

이 공법은 열화가 상대적으로 좁은 콘크리트 표면의 보수에 쓰이는 데, 침식으로 인해 박리가 생긴 표면을 보수하는 데 특히 유용하며 거의 반 세기 동안 쓰여졌으나 그 효과는 여전히 논의 중에 있다.

이 공법에서는 포틀랜드 시멘트, 모래 그리고 골의 혼합물을 압축된 공기로 노즐이나 파이프를 통해 살포하는데, 노즐이나 파이프를 통해 뿌려지는 혼합물 중에 약 20-30% 정도가 rebound 된다. 또한 상당히 진행된 작업에서는 몰타르의 침전이 발생한다.

3.2.3 프리팩트 콘크리트(Prepacked concrete)

이 공법은 어떤 형태의 보수에도 적용된다. 구조

물 내부의 공동을 채우고 토대를 굳히며 피어를 확장하여 벽을 보존하고 기초를 세워서 구조물의 표면을 보강하는 데 이용된다. 또한 jakeling에서 거푸집을 채우는데 쓰인다.

프리캐스트 콘크리트는 특정한 입도를 가진 굵은 골재를 거푸집 속에 채워넣고, 그 공간속에 특수한 몰타르(mortar)를 적당한 압력으로 주입하여 만드는 것이다. 이 공법은 거푸집의 시공이 중요하며, 보수시 기초와 거푸집 사이 그리고 거푸집 이음부에서 주입 몰타르가 새나오지 않도록 주의해야 한다.

3.2.4 콘크리트의 대치

이 공법은 새로운 콘크리트로 열화된 기존의 콘크리트의 한 부분전체를 대치하는 데 이용된다. 특히 방수 구조물과 콘크리트단면을 통해 완전히 열화가 진행된 구조물에서 요구되며 피어, 벽, 수중구조물 등에 적용된다.

4. 보수재료의 종류

4.1 균열에 대한 보수재료

균열에 대한 보수 재료는 보수방법, 즉 표면처리 공법, 충전공법, 주입공법, 강제앵카 및 폴리에스텔을 이용하는 공법 및 균열의 양상에 따라 선정되며 각 공법에 따른 재료의 종류 및 선정방법은 다음과 같다.

표면처리공법에서는 미관을 개선하고 내구성을 증진시키기 위한 재료를 선정한다. 균열의 움직임이 클 경우의 보수재료는 폴리우레탄, 포리사투파이드, 실리콘 등이 쓰이며 균열의 움직임이 비교적 적을 경우에는 에폭시계 재료, 폴리머 시멘트, 아스팔트 및 시멘트몰타르 등의 재료가 이용된다.

충전공법에는 내구성을 증진시키고 건물의 방수성을 높이기 위한 재료를 선정한다. 균열의 움직임이 비교적 클 경우의 보수재료는 폴리우레탄, 포리사투파이드, 실리콘 등이 쓰이며 균열의 움직임이 비교적 적을 경우에는 납 코팅, 폴리머 시멘트 등의 재료가 이용된다.

주입공법에서는 구조물의 내구성 및 방수성을 높이기 위한 재료를 선정한다. 균열의 움직임이 비교적 클 경우에는 폴리우레탄, 고속아스팔트 등의 재료가 이용되며 균열의 움직임이 비교적 적을 경우에는 에폭시, 폴리에스텔, 시멘트 페이스트, 시멘트 몰타르, 플라이애쉬, 폴리머 시멘트몰타르 등의 재료가 이용된다.

강제앵카 및 폴리에스텔을 이용하는 공법에서는 구조내력을 높이기 위한 재료를 선정한다. 통상 콘크리트 및 철근이 이용되며 P.C봉강 에폭시, 폴리에스텔, 폴리머시멘트계, 강관 등이 이용된다. 또한 에폭시용봉강에 쓰이는 재료로서 스테인레스, 보통강재, 카스카이 등이 쓰인다.

4.2 바리 및 표면봉괴에 대한 보수재료

일반적으로 바리 및 표면봉괴에 사용되는 재료는 다음과 같다.

시멘트계에서는 조강 포틀랜드시멘트, 포틀랜드 고로시멘트, 저열포틀랜드시멘트, 알루미늄시멘트, 내황산시멘트, 수지첨가시멘트, 라텍스-수정콘크리트, 조졸란시멘트, 고험산처리시멘트 등이 있으며 연약 표면에 의한 바리 및 표면봉괴를 막기 위한 재료로는 플루오르화 마그네슘, 플루오르화 아연, 황산염화나트륨, 점질고무, 왁스 등이 쓰인다. 철근의 부식

으로 인한 표면봉괴 및 바리를 막기위해서 아연, 카드뮴, 니켈, 구리 등으로 철근피복을 만들기도 하며 또한 비 부식성 철근을 사용하기도 한다.

5. 적용 예

지금까지 콘크리트의 내구성을 진단하는 방법 및 판정기준 그리고 열화된 콘크리트 구조물의 보수공법 및 재료선정방법 등을 소개하였다.

본 절에서는 국내 어느 화학공장내의 열화된 콘크리트 구조물의 보수실례를 소개하고자 한다.

이 조사에서는 NDT조사방법으로서 ultrasonic test 와 schmidt hammer법을 병용한 추정법으로 콘크리트의 강도를 추정하였고, 또한 외관에 의한 상태조사 및 중성화 test를 통하여 현 구조물의 산화 및 부식 정도를 파악하였으며, 이에 대한 적절한 보수 방법을 적용하였다.

5.1. 외관에 의한 판단

표 8. 외관조사에 의한 판단

구 분	상 태
매우불량	* 부식에 의한 콘크리트면의 상태가 매우 불량 * 골재의 분리현상 및 철근의 부분적 노출이 매우 심함 * 부분적 콘크리트면의 탈락현상 * 아스팔트내산 coating면이 매우 불량한 상태
불 량	* 부식에 의한 콘크리트면의 상태가 대체적으로 불량 * 아스팔트내산 coating면이 대체적으로 불량 * 부분적 탈락 현상
약간불량	* 콘크리트면의 상태 불량(백화) * 아스팔트내산 coating면이 부유됨
양 호	* 콘크리트면의 상태가 대체적으로 양호

5.2. NDT에 의한 판단

5.2.1 Ultrasonic test

Ultrasonic test에 의한 내구성 평가 중 전파속도에 따른 콘크리트의 상태에 대하여 적용하였다.

표 9. Ultrasonic test에 의한 판단

Column No	ultrasonic test(km/sec)	column 상태
1	상단 3.6	보 통
	하단 3.9	중 음
2	상단 3.6	보 통
	하단 3.7	중 음
3	상단 3.8	중 음
	하단 3.5	문 제있음
4	상단 3.8	중 음
	하단 3.7	중 음

5.2.2 Schmidt hammer

수평타법을 원칙으로 실시하였으며 몰타르 및 부식에 의한 표면상태가 좋지않은 경우에는 angle 글라인더로 표면을 처리하였다. 여기서 시간경과계수 α_n 은 재령 3000일로서 0.63이다.

표10. Schmidt hammer에 의한 판단

Column No	Rebound No (Rm. DIV)	압축 강도
1	상단 47	292
	하단 46	283
2	상단 44	264
	하단 42	239
3	상단 47	292
	하단 48	302
4	상단 46	283
	하단 46	283

위 두 실험을 통하여 얻은 자료는 cube강도 그래프 또는 $\log \sigma_c = 0.3794 V + 0.01249 Rm - 0.5668$ 를 사용하여 강도를 계산하는데, 이 실험에서는 콘크리트 tester CCT - 4에 산출되어 있는 cube 강도 (derived from pulse velocity (V) & value from the schmidt hammer) 그래프를 가지고 강도를 산출하였다. 이 실험 결과는 기동역의 경우 콘크리트 강도는 측정가능한 경우 최저 200 kg/cm² 에서 274 kg/cm² 를 나타내고 있으며 그 폭이 약간 심하나 대체적으로 양호한 것으로 나타났다.

5.2.3 중성화 test 및 PH도 test

이 실험을 위해 angle grinder를 이용하여 콘크리트 표면을 1 mm 이상 10 mm까지 grinding한 후 1% phenolphthalein 용액을 뿌려 색으로 변화하는 정도를 측정하였다. 또한 콘크리트의 ph도 시험은 기동 및 보의 일부분을 sampling 하여 실시하였다. 시료는 0 - 3cm 와 3 - 5cm로 채취하였다. 중성화 실험에서 피복 0 - 3cm 까지의 시료의 ph value는 8.0 이상인 것으로 나타났고, 3 - 5cm의 시료는 10.0 이상으로 매우 양호한 것으로 판정되었다. 또한 보의 경우, 외관상 부식이 심한부위에서 채취한 시료 중 0 - 3cm의 ph value는 7.0정도로 중성을, 3 - 5cm에서는 9.0 - 10.0을 나타내고 있어 콘크리트 피복의 보수를 요한다.

5.3 보수 및 보수재료 선정방법

조사된 콘크리트구조물은 전해조 용액의 흐름에 의해 콘크리트가 침식되었고, 노출된 철근이 부식되어 있는 상태이다.

균열에 대한 보수는 표면처리공법으로서, 산화된 콘크리트와 부식된 철근의 녹을 제거한 후 콘크리트 파쇄부위의 신구콘크리트 접착제로 도포하였고, 노출된 철근에 부식 방지제를 입혔다. 또한 균열이 발생된 곳에는 epoxy 충전을 하였고 그 후 고분자 중합물

타르로 보강하였다.

바리 및 표면봉피에 대한 보수는 표면처리가된 거친 콘크리트 표면을 내산 epoxy나 타르로 coating을 하기 위하여 시멘트계 coating재로 5 - 10mm를 미장하였고 노출된 철근의 부식을 방지하기 위하여 부식방지제를 입혔다. 콘크리트 표면을 깨끗이 한 후 primer로 도포하였고, 내산 coating재로 입혀서 마무리 하였다.

6. 결론

콘크리트 구조물의 종합적인 유지관리체계란 열화정도를 측정하고 각종 실험을 통한 열화의 원인 분석 결과를 토대로 보수가 필요한 경우 적절한 보수방법 및 보수재료를 선정하는 과정을 통틀어서 일컫는다. 그러나 콘크리트 구조물의 내구성 평가 결과는 어떠한 점검 방법을 실시하고, 어떠한 판정기준을 적용하느냐에 따라 그 결과가 상이하다. 또한 콘크리트 구조물의 보수재료 및 보수공법의 선정은 콘크리트 구조물의 열화원인에 따라 그 선택이 달라져야 함으로 열화의 원인 분석과정 및 판정기준은 매우 중요하다.

그러나 현재의 국내실정은 콘크리트구조물의 내구성평가를 행하는 주체에 따라 그 판정결과가 상이하기 때문에 이에 대한 획일적이고 전문적인 기술축적이 필요하다. 따라서 본 연구실에서는 이에 대한 국내현황조사를 착수하고 있으며 본 논고에서는 그 중 일례를 소개하였다.

7. 참고문헌

1. Malhotra, V.M., "Testing Hardened Concrete: Non-destructive Methods," Monograph No.9, ACI, Detroit, MI, 1976, pp.188
2. Nixon, P. and Pase, C., "Pore Solution Chemisting and Alkali Aggregate Reaction," ACI SP-100, Vol. , 1987, pp. 1833 - 1862 & Schiessl, P., "Influence of the composition of Concrete on the Corrosion Protection of the Reinforcement," ACI SP-100, Vol. , 1987, pp.1633-1650
3. Philip H. Perkins, "repair, protection and waterproofing of concrete structures", elsevier applied science publishers, 1986.
4. Sidney, M.J., "Deterioration, Maintenance, and Repair of Structures", McGraw - Hill Book Co., 1965
5. Sim, Jongsung and Kim, Jungho, "Building Diagnosis, Repair and Maintenance," ACI Korea Chapter, 추계학술발표회 논문집, 1988, pp. 57 - 69
6. 최계식, 이도범, "토목 건축 구조물의 구조 진단방법," 형설출판사, 1988
7. 심중성, 문일환, "콘크리트 구조물의 유지관리에 관한 체계적 연구," 한국 콘크리트학회 논문집 제 1권 1호, 1989.11.11
8. 심중성, "콘크리트구조물의 유지관리를 위한 최근 연구동향," 건설안전, 6,7월호, 1990
9. 한국건설기술원, "국내콘크리트 구조물의 내구성 평가를 위한 연구," 1988.12