

## 제3장

# 현장조사 및 시험

### 3.1 개 요

### 3.2 현장조사

### 3.3 재료시험



# 제3장 현장조사 및 시험

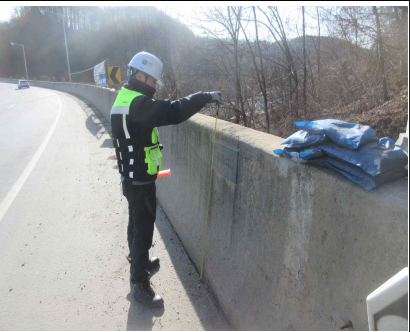
## 3.1 개 요

현장조사는 공용 중 구조물에 악영향을 미치는 과도한 외력이나 열악한 사용환경 조건 하에서 나타나는 열화 손상상태를 육안 또는 간단한 기구를 사용하여 조사하는 점검 및 진단에 대한 기본자료 및 안전성, 사용성 평가에 있어 필수적인 중요한 자료를 제공한다.

따라서 『시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법』 제11조에 따라 고시된 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(이하 세부지침이라 한다)』에서는 외관조사의 결과로부터 주요 구조 부재별 열화 손상정도에 따라 항목별 평가기준을 책정하여 구조물의 평가를 체계화 하였으며 건전도 평가 및 구조물의 보수·보강 범위 그리고 방법 결정의 기본 자료로 활용하고 있다. 결함, 손상 열화현상을 정확히 파악하고 원인을 추정하기 위해 시설별로 조사항목을 선정하였으며, 교량점검차, 고소작업차 및 접근사다리 등을 이용한 근접조사를 원칙으로 하고 점검망치를 이용한 청음조사를 실시하여 박리 및 층분리 발생 여부와 보수·보강 부위의 상태에 대한 조사를 중점적으로 실시하였다.

외관조사 시 정밀하고 체계적인 조사 및 분석을 위하여 조사요령, 양식 및 평가기준을 『세부지침(교량편 2022. 12)』에 따라 결과를 주요구조 부재 및 조사단위 별로 요약·정리 하였다.

[표 3.1] 현장조사 방법

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 점검차량을 이용한 근접조사                                                                      | 고소차량을 이용한 근접조사                                                                       | 부재 측정 및 조사                                                                            |
|  |  |  |
| 부재 측정 및 조사                                                                          | 부재 측정 및 조사                                                                           | 거더내부 육안조사                                                                             |

## 3.2 현장조사

### 3.2.1 시설물의 점검사항

[표 3.2] 교량 부재별 점검사항(1)

| 부재명            | 점검부위            |         | 손상종류                                                                                                                                                                    |
|----------------|-----------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 콘크리트 바닥판       | 공통              |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출</li> <li>◦ 재료분리(공동, 공극)</li> <li>◦ 누수 및 백태(유리석회)</li> </ul>                                              |
|                | 거더교             |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 균열, 망상균열</li> </ul>                                                                                                            |
|                | 바닥판, 라멘상부       | 받침부(단부) | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 부스러짐</li> <li>◦ 사인장균열</li> </ul>                                                                                               |
|                |                 | 중앙부     | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 휨균열</li> </ul>                                                                                                                 |
| 프리스트레스 콘크리트 거더 | 공통              |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 박리, 박락(파손), 철근노출, 백태</li> </ul>                                                                                                |
|                | 받침부             |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 부스러짐</li> <li>◦ 복부 사인장 균열</li> <li>◦ 연속교 상단 휨균열</li> <li>◦ 격벽 개구부 모서리 균열</li> </ul>                                            |
|                | 중앙부             |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 휨균열, 거더처짐</li> <li>◦ 쉬스관 노출 및 파손</li> <li>◦ 박스내부 플랜지 및 복부의 강선방향 균열</li> <li>◦ 시공이음부 균열 및 누수</li> </ul>                         |
|                | 강선정착부           |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 정착부 균열 및 파손</li> </ul>                                                                                                         |
| 강 거더           | 공통              |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 도장 손상 및 부식</li> <li>◦ 현장이음부 볼트손상, 누수</li> <li>◦ 신축이음 하면, 배수구 주변, 난간하면 누수, 부식</li> <li>◦ 이상음 발생</li> </ul>                      |
|                | 받침부             |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 복부판 부식 및 국부좌굴</li> <li>◦ 거더와 받침연결부 부식</li> <li>◦ 지점보강재 하단 용접부 균열</li> <li>◦ 박스내부 출입구 방치</li> <li>◦ 박스내부 바닥 물고임 및 부식</li> </ul> |
|                | 중앙부             |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 부식</li> <li>◦ 플랜지 변형 및 처짐</li> <li>◦ 맞대기 용접부, 덮개판 덧댐부 끝부분 균열</li> </ul>                                                        |
|                | 보수부위            |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 용접부 및 용접부 주변 균열</li> </ul>                                                                                                     |
| 콘크리트 가로보       | 공통              |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 박리, 박락, 층분리, 파손, 철근노출, 백태(유리석회)</li> </ul>                                                                                     |
|                | 철근콘크리트 가로보      |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 박락(파손), 철근노출</li> <li>◦ 경사균열(거더의 상대처짐 의심)</li> </ul>                                                                           |
|                | 프리스트레스 콘크리트 가로보 |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 쉬스관 노출 및 파손</li> <li>◦ 정착부 균열 및 파손</li> </ul>                                                                                  |

[표 3.3] 교량 부재별 점검사항(2)

| 부재명         | 점검부위       |      | 손상종류                                                                                                                                                                     |
|-------------|------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 강 가로보 및 세로보 | 공통         |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 도장 손상 및 부식</li> <li>◦ 현장이음부 볼트손상, 누수</li> <li>◦ 이상음 발생</li> </ul>                                                               |
|             | 2차부재       |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 가로보, 세로보, 브라켓 및 브레이싱 변형</li> <li>◦ 하중집중점, 가로보와 세로부 교차부 균열</li> <li>◦ 거세트판 용접부 끝부분 균열</li> </ul>                                 |
|             | 보수부위       |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 용접부 및 용접부 주변 균열</li> </ul>                                                                                                      |
| 교대          | 공통         |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 교대 기울음 및 전도</li> <li>◦ 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)</li> </ul>                                                               |
|             | 두부(Coping) |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 두부 물고임</li> <li>◦ 받침부 균열 및 파손</li> <li>◦ 두부와 홍벽 경계부 균열</li> <li>◦ 거더와 홍벽 신축유간 부족</li> </ul>                                     |
|             | 벽체         |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 수직균열 및 침하</li> <li>◦ 구체와 날개벽 분리</li> <li>◦ 구체부 배수구 막힘</li> <li>◦ 수면접촉부 침식</li> </ul>                                            |
|             | 날개벽(옹벽 포함) |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 날개벽 이동, 전도</li> <li>◦ 석축이 있는 경우 사면붕괴</li> </ul>                                                                                 |
| 콘크리트 교각     | 공통         |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 교각 기울음 및 전도</li> <li>◦ 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)</li> </ul>                                                               |
|             | 두부(Coping) |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 두부 물고임</li> <li>◦ 받침부 하부 균열 및 파손</li> </ul>                                                                                     |
|             | 벽체         |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 시공이음부 균열</li> <li>◦ 이동 또는 기울음</li> <li>◦ 수면접촉부 침식</li> </ul>                                                                    |
| 기초          | 공통         |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 박리, 박락, 철근노출, 백태</li> <li>◦ 침식, 세굴, 측방유동, 침하</li> <li>◦ 하부구조물 기울음 및 전도</li> </ul>                                               |
|             | 직접기초       |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 콘크리트 균열 및 파손</li> </ul>                                                                                                         |
|             | 말뚝기초       |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 말뚝 노출 및 침식</li> </ul>                                                                                                           |
|             | 케이슨기초      |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 케이슨 노출 및 침식</li> <li>◦ 충돌파손</li> </ul>                                                                                          |
| 교량받침        | 본체         | 공통   | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 가동받침의 신축유간 부족</li> <li>◦ 가동받침 전·후방의 가동장애 요소</li> <li>◦ 받침과 거더의 밀착상태</li> <li>◦ 수직보강재와 받침 편기상태</li> <li>◦ 받침 물고임 및 부식</li> </ul> |
|             |            | 강재받침 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 가동면 부식</li> <li>◦ 부속물 파손(부상방지장치 및 이동제한 장치)</li> </ul>                                                                           |
|             |            | 탄성받침 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 부풀음 및 갈라짐</li> <li>◦ 고무판의 과도한 변형</li> </ul>                                                                                     |
|             | 받침콘크리트     |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 앵커볼트 파손, 절단</li> <li>◦ 콘크리트 파손, 하부공동 및 침하</li> <li>◦ 교각두부 균열</li> </ul>                                                         |

[표 3.4] 교량 부재별 점검사항(3)

| 부재명         | 점검부위                |      | 손상종류                                                                                                                                                         |
|-------------|---------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 신축이음        | 본체                  | 공통   | <ul style="list-style-type: none"> <li>충격음, 본체유동 및 파손</li> <li>누수</li> <li>유간부족 및 유간과다</li> <li>유간 오물퇴적</li> </ul>                                           |
|             |                     | 고무재  | 고무판 마모, 강판노출 및 부식                                                                                                                                            |
|             |                     | 강재   | 강재 연결부 이완 및 파손                                                                                                                                               |
|             | 후타재                 |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>단차(본체, 교면포장, 접속슬래브)</li> <li>균열 및 파손</li> </ul>                                                                       |
| 교면포장        | 공통                  | 아스팔트 | 균열, 함몰, 단차 및 요철, 블리딩, 마모                                                                                                                                     |
|             |                     | 콘크리트 | 균열, 마모, 박리, 파손                                                                                                                                               |
|             | 신축이음 전후, 구조물 경계부    |      | 단차, 파손                                                                                                                                                       |
|             | 곡선부, 중차량 통행차로       |      | 마모, 바퀴자국                                                                                                                                                     |
|             | 배수구 주변              |      | 물고임                                                                                                                                                          |
| 배수시설        | 배수구(유입구) - 뚜껑(그레이팅) |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>뚜껑파손 및 주변파손, 누락</li> <li>오물퇴적, 막힘</li> <li>배수구의 설치높이가 높음</li> <li>배수구 설치위치 불량</li> <li>배수구 설치간격 넓음</li> </ul>         |
|             | 배수관                 |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>관의 연결부 어긋남, 파손</li> <li>이물질에 의한 막힘</li> <li>지지철물의 이완 및 파손</li> <li>배수관 길이 부족(짧음)</li> <li>유출구 위치 부적절(도로구간)</li> </ul> |
| 난간 및 연석     | 강재, 알루미늄            |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>강재의 경우 도장 손상 및 부식</li> <li>난간과 상판연결부의 결함, 파손</li> <li>전체적인 처짐 및 선형불량</li> </ul>                                       |
|             | 철근 콘크리트             |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>균열, 박리, 파손</li> <li>철근노출 및 부식</li> <li>전체적인 처짐 및 선형불량</li> </ul>                                                      |
| 공중이 이용하는 부위 | 추락방지시설              |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>결함 및 파손</li> <li>고정부 및 연결부 파손</li> </ul>                                                                              |
|             | 도로포장                |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>도로포장 결함 및 파손</li> <li>포트홀, 배수불량</li> </ul>                                                                            |
|             | 도로부 신축이음부           |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>신축이음 토사 및 이물질 퇴적, 고무판 노후</li> <li>국부적인 열화 및 후타재 균열</li> <li>신축유간 밀착 또는 본체 탈락</li> </ul>                               |
|             | 환기구 등의 덮개           |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>덮개 등에 결함 및 파손</li> <li>덮개 등 탈락</li> </ul>                                                                             |

### 3.3 재료시험

#### 3.3.1 개요

철근콘크리트 구조물의 내구성 저하의 대표적인 현상은 콘크리트 탄산화, 철근부식, 균열, 강도저하, 표면 노후화, 부재의 큰 변형, 동해, 누수 등의 현상으로 분류된다. 철근의 부식과 콘크리트의 균열은 열화 현상이 독립된 원인에 의해 나타나는 것이 아니고, 그 밖의 열화 현상을 일으키는 원인과도 복합적으로 관계되고 있다.

콘크리트 내구성 조사, 품질조사 등을 실시하여 구조물편에서 기술한 현장조사 내용과 함께 구조물의 내구성과 사용성을 검토하고 상태평가의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였으며, 주요조사 및 시험내용은 다음과 같다.

[표 3.5] 재료시험 항목 및 내용

| 구 분                 | 조 사 내 용                                                                                                                       |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 콘크리트 강도<br>(반발경도시험) | ◦ 콘크리트의 표면 경도를 측정하여 이 측정치로부터 콘크리트의 압축 강도를 비파괴로 추정하는 검사방법이다. (슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면을 타격하여 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도와와의 사이에 특정 상관관계식 적용) |
| 탄산화 깊이 측정           | ◦ 탄산화 조사원리는 페놀프탈레인 1% 용액이 알칼리성에서는 붉은색을 띠고, 중성 및 산성에서는 무색을 띤다는 화학적 이론에 기초하여, 공시체 및 드릴을 이용하여 시험을 실시                             |

※ 정밀안전점검의 경우 철근배근 상태조사는 세부지침상의 선택과업이나 탄산화 잔여깊이를 분석하기 위하여 탄산화 깊이 측정부는 철근탐사를 실시하여 실측 피복두께를 산정하였다.

[표 3.6] 교량 시설물 재료시험 수량

| 구 분         | 세부지침 기준                                                          |             | 금회 실시수량                             |    | 비고 |
|-------------|------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------|----|----|
|             | 상부구조                                                             | 하부구조        | 기준                                  | 실시 |    |
| 반발경도시험      | ○ 50m 마다                                                         | ○ 연장 50m 마다 | 세부지침(교량편 2022. 12)』 기준수량에 의거하여 실시함. |    | -  |
| 탄산화깊이<br>측정 | ○ 5경간 이내 : 2~3개소 <sup>1)</sup><br>○ 5경간 이상 : 3~6개소 <sup>2)</sup> |             |                                     |    | -  |

주1) 교량 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시

주2) 교량 상부구조에서 최소 2개소 이상 실시

### 3.3.2 콘크리트 강도시험

#### 가. 반발경도시험

반발경도시험은 콘크리트 표면을 슈미트 햄머(Schmidt Hammer)로 타격하여 얻은 측정경도값으로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 시험방법으로, 슈미트 햄머의 반발경도값( $R$ )과 콘크리트 강도( $f_c$ )사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

일반적으로 반발경도는 타격에너지, 피시험체의 형상 및 크기, 재료의 물리적 특성에 따라 다르다. 특히 콘크리트와 같은 불균질한 재료에서는 슈미트 햄머로 표면을 국부적으로 타격하는 경우 반발도는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤상태, 콘크리트의 재령 등에 따라 차이가 난다.

0℃ 이하의 온도에서 콘크리트는 정상보다 높은 반발경도를 나타내어 신뢰성이 낮아질 수 있으므로, 이러한 경우 콘크리트 내부 온도가 상온에 도달한 후에 시험을 실시하는 것을 원칙으로 한다. 또한 테스트 햄머의 자체 온도가 반발도에 영향을 주므로 외기 온도가 극심하게 변동되는 경우 시험을 자제해야 한다.

따라서, 강도 추정의 유일한 방법으로 사용할 경우에는 문제가 있으나, 사용이 간편하고 짧은 시간에 강도추정이 가능하며 콘크리트 구조물 전체에 대한 강도 추정이 가능하다는 점에서 유효한 시험법이라 할 수 있다.

#### 1) 시험방법

##### ① 타격면 선정

타격면은 평탄한 면을 선정하고, 표면이 거칠 경우 그라인더 등 전동공구를 사용하여 콘크리트 표면의 시험부위를 정리하여 타격면의 요철이나 부착물, 분말 등을 제거한다. 또한, 타격면내에 있는 불량면, 공극, 노출된 자갈 부분은 타격점에서 제외한다. 보 또는 기둥 부재의 경우에는 모서리에서부터 최소 3~6 cm 이상 이격 된 중앙부에서 측정하도록 한다.

##### ② 타격점 선정

각 측정개소마다 타격점은 20점을 표준으로 한다. 타격점 상호간 간격은 3~5 cm를 표준으로 하며, 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격한다.

##### ③ 측정값의 처리

측정값은 원칙적으로 정수값을 읽는다. 측정값은 타격시 반향음이 이상하거나 타격점이 불량한 경우의 값과 평균 타격값의  $\pm 20\%$  범위에서 벗어나는 경우에는 신뢰할 수 있는 데이터의 범위에서 제외시킨다. 신뢰할 수 있는 측정값의 평균을 그 측정개소의 반발도( $R_0$ )로 한다.



## 2) 반발경도값의 보정

반발경도에 미치는 영향인자와 시험결과에 편차 요인에 대하여 시험 전·후에 이를 파악하여 산정한 각종 보정값( $\Delta R$ )을 콘크리트 비파괴강도 추정에 적용하여야 한다.

## ① 타격방향에 따른 보정

반발경도에 의한 압축강도 추정식의 산정 시 타격방향은 수평을 기준으로 산정하기 때문에 수평으로 타격하는 경우가 아닌 경우는 중력의 영향을 추가로 받게 되어 장치 특성에 맞는 보정이 필요하게 된다. 일반적으로 수평타격에 의한 측정값이 가장 안정된 값을 가지므로 수평타격을 원칙으로 하며, 슬래브 등과 같이 불가피하게 수직타격 등으로 방향이 바뀔 경우에는 보정계수를 적용하며, 중간값에 대해서는 직선 보간법을 이용한다.

## ② 압축응력에 따른 보정

타격방향과 직각방향으로 압축응력을 받는 부재는 압축응력이 커짐에 따라 반발경도에 의한 압축강도가 실제보다 커진다는 사실이 실험결과 입증되었다.

## ③ 습윤 상태에 따른 보정

콘크리트는 함수율이 증가함에 따라 반발경도가 저하되므로, 가능하면 표면이 젖어있지 않은 상태에서 시험을 해야 한다. 그러나 습윤 상태를 피할 수 없는 경우에는 다음의 일본 토목연구소에서 제시하고 있는 방법에 의해 반발경도를 보정하는 것이 바람직하다.

- 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 : 보정값 3을 더한다.
- 측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : 보정값 5를 더한다.

[표 3.7] 보정계수

보정반발경도 :  $R_0 = R + \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3$

$\Delta R_1$  : 타격방향에 따른 보정값

$\Delta R_2$  : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값

$\Delta R_3$  : 콘크리트의 습윤 상태에 따른 보정값

$\Delta R_2$  (압축응력에 따른 보정값)

◦ 타격방향과 직각방향으로 압축응력을 받는 부재는 반발도에 의한 압축강도가 커짐.

▶ 1 MPa인 경우  $\Delta R_2 = -0.015R$

▶ 2.5 MPa인 경우  $\Delta R_2 = -0.05R$

| 반발경도 | 보 정 치 |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
|      | +90°  | +45° | -45° | -90° |
| 10   | -     | -    | +2.4 | +3.2 |
| 20   | -5.4  | -3.5 | +2.5 | +3.4 |
| 30   | -4.7  | -3.1 | +2.3 | +3.1 |
| 40   | -3.9  | -2.6 | +2.0 | +2.7 |
| 50   | -3.1  | -2.1 | +1.6 | +2.2 |
| 60   | -2.2  | -1.6 | +1.2 | +1.7 |

압축응력(MPa)

$\Delta R_3$  (콘크리트 습윤상태에 의한 보정값)

◦ 콘크리트 표면이 습윤 상태에 있으면 기건 상태 보다 반발도가 작음

◦ 완전 습윤상태에서는 기건 상태를 기준으로  $\Delta R_3 = +5$ 로 보정

## 3) 콘크리트 비파괴강도 추정

## ① 기존의 제안식을 이용한 콘크리트 비파괴강도 추정

반발경도를 이용한 비파괴강도 추정식은 반발경도( $R_0$ )와 타격방향에 따른 보정계수( $\Delta R$ ), 재령계수( $\alpha$ )를 이용하여 아래의 식에 의해 측정개소의 압축강도를 구한 다음 이 식에 의한 결과의 평균값을 측정개소의 평균 압축강도로 추정한다.

◦ 일본재료학회(보통콘크리트) :  $F_c = -18.0 + 1.27 \cdot R_0$  (MPa) [식 3.1]

◦ 일본건축학회(보통콘크리트) :  $F_c = (7.3 \cdot R_0 + 100) \times 0.098$  (MPa) [식 3.2]

◦ 권영웅 외 (고강도콘크리트) :  $F_c = 2.304 \cdot R_0 - 38.80$  (MPa) [식 3.3]

◦ 과학기술부(고강도콘크리트) :  $F_c = (15.2 \cdot R_0 - 112.8) \times 0.098$  (MPa) [식 3.4]

그러나 이러한 비파괴 시험방법들은 동일한 콘크리트에서도 그 시험결과가 다르게 나타나는 이유는 콘크리트가 기본적으로 시멘트와 굵은골재 및 잔골재의 조합으로 이루어진 복합재료이며, 타설방법과 다짐 및 양생방법, 철근의 유무, 피복두께 등의 여러 가지 영향에 의해 물리적 특성이 달라지게 되며, 상기의 비파괴 시험방법들 또한 각기 다른 시험재료와 시험환경으로부터 도출된 경험공식이기 때문이다.

## ② 재령보정계수

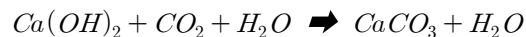
콘크리트 구조물은 시일이 경과할수록 표면경도가 높아지므로 재령 28일의 강도( $F_{28}$ )로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수  $\alpha$ 는 아래 표에 나타나 있는 재령계수를 이용하여 보정해야하며, 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

[표 3.8] 재령에 따른 보정치

| 재 령      | 28일  | 100일 | 200일   | 300일   | 400일   |
|----------|------|------|--------|--------|--------|
| $\alpha$ | 1.00 | 0.78 | 0.72   | 0.70   | 0.68   |
| 재 령      | 500일 | 750일 | 1,000일 | 2,000일 | 3,000일 |
| $\alpha$ | 0.67 | 0.66 | 0.65   | 0.64   | 0.63   |

### 3.3.3 탄산화깊이 측정

일본 콘크리트공학회(JCI) 탄산화 연구위원회 보고서의 경우 탄산화는 시멘트의 수화생성물이 이산화탄소와 반응하여 탄산화합물 및 그 외의 물질로 분해하는 현상으로 정의하고 있으며, 구체적으로는 탄산화 현상 이외의 요인을 포함하여 산성비, 산성토양과의 접촉, 화재에 의한 피해 등을 포함한 포괄적인 개념이 탄산화이다. 탄산화는 경화시멘트폴의 수산화 화합물 중 약 25 %를 차지하는 수산화칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )의 영향으로 pH가 12~13인 강알칼리성을 나타내나, 탄산가스가 수산화칼슘과 반응하면 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )으로 환원되면서 표면부터 콘크리트의 pH가 서서히 10이하로 낮아지는 현상이다.



콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 성능이 저하되는 것은 아니며, 단지 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 피복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근 표면의 부식이 시작되기 때문이다. 이와 같이 콘크리트의 탄산화에 의한 철근의 부식 및 콘크리트의 박리 및 박락으로 진행되는 콘크리트의 성능저하 과정은 아래 그림과 같다. 콘크리트의 탄산화에 영향을 주는 요소는 대기중의 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )에 의해 타설한 후에 강한 알칼리성(pH=12~13)을 점점 잃어가고, 대기중의 산소, 태양열, 염화물, W/C비, 콘크리트 강도, 구조물의 환경조건, 균열, 양생과정에 따라 영향을 받는다.

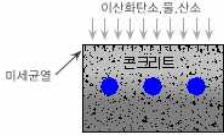
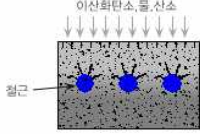
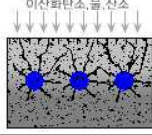
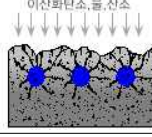
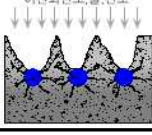
#### 1) 시험방법

콘크리트 탄산화조사 원리는 페놀프탈레인 1 % 용액이 알칼리성에서는 붉은색을 띠고, 탄산 및 산성에서는 무색을 띠는 화학적 이론에 기초한다. 페놀프탈레인 1 % 용액을 이용하여 탄산화를 조사하는 방법은 다음과 같다.

- ① 코어 채취를 하여 공시체를 만든다. 만약 코어 공시체를 만들지 못할 경우에는 조사 대상 부위를 철근이 노출될 때까지 파취한 후 파취면을 깨끗이 청소한다.
- ② 분무기를 이용하여 페놀프탈레인 1 % 용액으로 파취부를 충분히 적신다.
- ③ 파취면에 나타난 색상 변화를 관찰하여 표면에서 부터 붉은색으로 변하기 시작하는 부분까지 거리를 측정하여 기록한다. 이때 골재부분의 색깔 변화는 무시한다.

[표 3.9] 페놀프탈레인과 변색

| 변색범위(pH)     | 4      | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11 | 12 | 13 |
|--------------|--------|---|---|---|---|---|------|----|----|----|
| 페놀프탈레인 1 %용액 | 백색(무색) |   |   |   |   |   | 적색변화 |    |    |    |

|     |                                                                                   |                                                               |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1단계 |  | 재질 및 강도상의 변화는 거의없다.<br>(약간의 건조수축에 의한 균열)                      |
| 2단계 |  | 녹 발생에 의한 팽창압이 콘크리트<br>내부에 발생하며, 미세한 균열이 발생                    |
| 3단계 |  | 철근의 윗면이 팽창하며 균열이 표면까지<br>연장되고, 동해 등의 다른 열화를 유발 시키며,<br>녹물이 보임 |
| 4단계 |  | 철근 윗면의 피복이 탈락되기 시작하고,<br>철근노출이 시작되며, 철근의 단면적이 감소              |
| 5단계 |  | 철근의 피복이 탈락하며 철근은 공기와<br>풍우에 직접 노출되어, 내구성능 저하                  |

[그림 3.1] 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

## 2) 경과년수에 따른 탄산화 깊이의 비교분석 방법

다음 표는 탄산화 진행 예측식을 나타낸 것이다. 본 과업에서 예측식의 적용은 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고 AE제와 같은 혼화제는 사용하지 않으며 골재는 일반 골재, 표면마감은 없는 것으로 가정하였다.

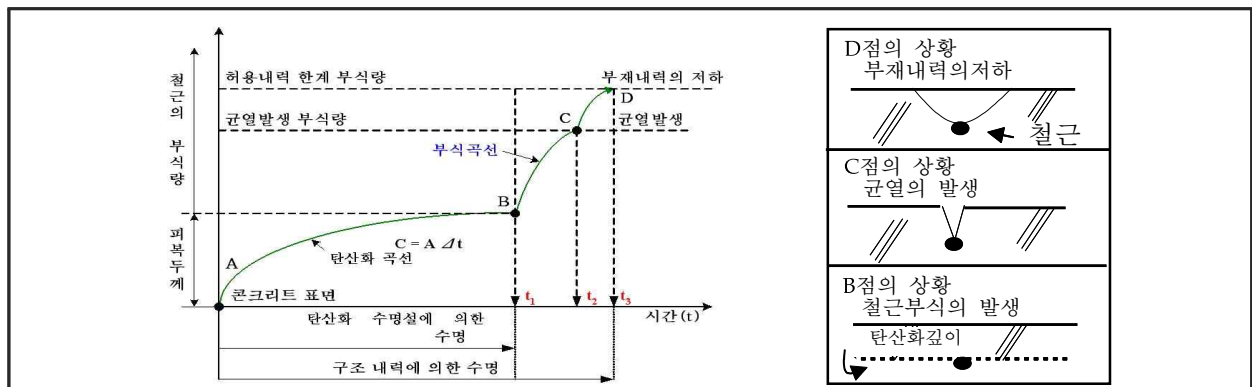
[표 3.10] 탄산화 속도식 비교

| 식 종류           | 탄산화 속도식                                                                                                                                                | 비 고                                                                          |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 하마다식<br>(浜田式)  | $t = \frac{0.3(1.15 + 3x)}{R} C^2$                                                                                                                     | $x$ : 물-시멘트 비<br>$R$ : 시멘트, 골재, 혼화제의 종류에 따른 계수                               |
| 키시타니식<br>(岸谷式) | $t = \frac{0.3(1.15 + 3x)}{R^2(x - 0.25)^2} C^2 \quad (x > 0.6)$<br>$t = \frac{(7.2)}{R^2(4.6x - 1.76)^2} C^2 \quad (x \leq 0.6)$                      | $x$ : 물-시멘트 비<br>$R$ : 시멘트, 골재, 혼화제의 종류에 따른 계수                               |
| 시로야마식<br>(白山式) | $t = a\beta\gamma\delta\epsilon \frac{500C^2}{(x - 38)^2}$                                                                                             | $x$ : 물-시멘트 비<br>$a\beta\gamma\delta\epsilon$ : 시멘트, 시공정도, 마감재, 실내외 등에 따른 계수 |
| 요다식<br>(依田式)   | $t = a\beta\gamma \frac{262}{(100x - 18)^2} \times C^2 \quad (\text{실내})$<br>$t = a\beta\gamma \frac{155}{(100x - 36)^2} \times C^2 \quad (\text{실외})$ | $x$ : 물-시멘트 비<br>$a\beta\gamma$ : 마감재, 실내외 등에 따른 계수                          |

주) 여기서,  $t$ 는  $x$ 까지 탄산화되는 기간(년),  $x$ 는 탄산화 깊이(cm),  $x(W/C)$ 는 콘크리트의 물/시멘트비,  $R$ 은 시멘트와 골재종류 및 혼화제 특성에 관련되는 탄산화 비율 상수로 천연골재를 사용한 보통시멘트는 1이며, AE제를 첨가한 경우 0.6을 적용한다.

## 3) 내구수명 평가

콘크리트의 탄산화가 진행하여 철근에 도달하게 되면 철근의 부식이 시작된다. 그러나 철근주변까지 콘크리트가 탄산화 되었다고 해서 부식이 발생하여 철근의 단면 결손이 발생하는 것은 아니며 실내외의 환경조건에 따라 철근 부식 조건이 달라진다. 송영웅 등의 연구에 따르면 실외에서는 탄산화영역이 철근위치에 도달하면 급속하게 철근의 부식이 발생하는 반면, 실내의 경우는 탄산화영역이 철근에 도달해도 급속하게 부식하는 경우는 없고, 탄산화영역이 피복두께를 20~30 mm 지나치는 시점에서 부식이 시작된다. 콘크리트가 탄산화 되어 철근의 부식이 시작되고, 수명에 이르는 개념을 다음 그림에 나타내었다.  $t_1$ 은 탄산화영역이 철근표면에 도달하는 시점,  $t_2$ 는 그 결과 철근이 부식되고 콘크리트에 균열을 발생시키는 시점,  $t_3$ 는 부재내력이 한계에 달하는 시점이다. 지금까지 철근콘크리트 구조물의 수명은  $t_1$ 의 시점이라고 판단되어 왔으나 실제 구조물에 적용할 경우 많은 문제점이 나타나게 된다. 전문가에 따라서는  $t_1$ 의 시점이 반드시 철근의 유해한 부식량의 시점이라고는 생각되지 않기 때문에,  $t_2$ 의 시점을 수명으로 산정하는 것이 적절하다는 의견이 있으므로 아직까지는 명확한 수명을 판단하기가 어렵다. 또한, 다양한 환경조건에 따라  $t_1$ 에서  $t_2$ 까지 도달하는 시간이 다르기 때문에 본 과업에서는 탄산화에 대한 내구수명 으로서  $t_1$ 에 도달할 때까지의 시간으로 결정하고 내구수명을 산정하였다.



[그림 3.2] 콘크리트 내부에서의 철근부식의 개념

대기중의 탄산가스에 의한 콘크리트 표면으로부터의 탄산화 진행을 경과시간의 함수로서 표현한 것이 탄산화 속도식이다. 탄산화가 정상상태에서 탄산가스의 콘크리트 내부 확산에 따라 생긴다고 가정하면, 탄산화깊이  $C$ 는 경과시간  $t$ 의 평방근에 비례하며 이를 통상,  $\sqrt{t}$ 법으로 불리며, 가장 일반적으로 사용되고 있다.

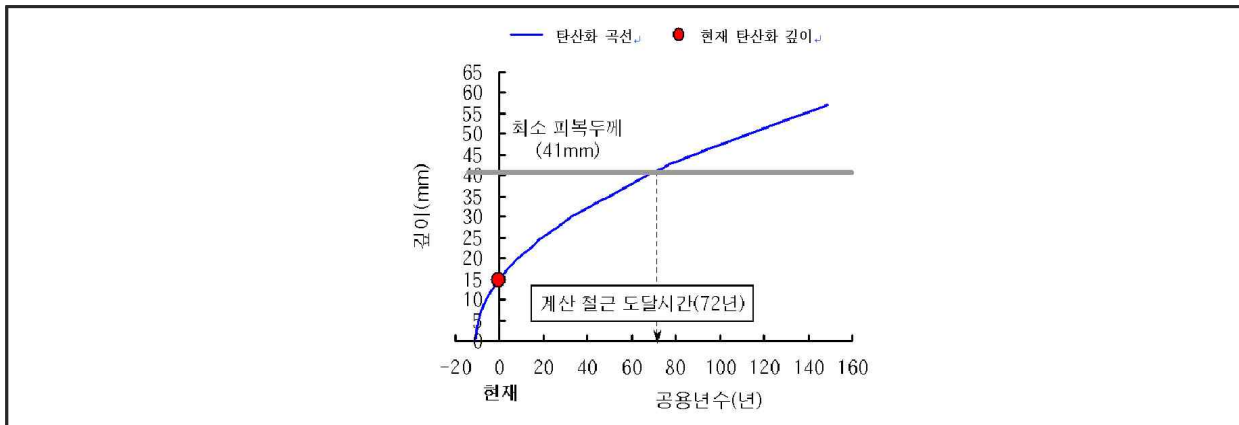
$$C = A\sqrt{t}$$

위의 식에서 계수  $A$ 는 탄산화속도 계수라고 하며  $A$ 의 수치가 큰 만큼 탄산화 속도가 크게 된다. 계수  $A$ 는 콘크리트의 재료적 요인 및 환경조건에 의해 정해지는 복잡한 함수이다. 본 과업에서 탄산화에 의한 수명 평가는 경과 년 수와 탄산화깊이와의 관계를 통해 탄산화 속도계수를 역추적 하여 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하였다. 앞서

언급한 식  $C=A\sqrt{t}$  에서 준공 후 현재까지의 경과년수  $t$ 는 설계도서로부터 구할 수 있고, 탄산화 깊이  $C$  는 현장조사를 통하여 얻을 수 있으므로 탄산화 속도계수  $A$ 를 계산할 수 있다. 이에 따라 다음 식을 통하여 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간을 추정할 수 있다.

$$t_d = \frac{D_c^2}{A^2} - t_0$$

여기서,  $t_d$ 는 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간,  $D_c$ 는 현장조사로부터 얻어진 철근까지의 피복두께(mm),  $A$ 는 탄산화시험으로부터 계산된 계수,  $t_0$ 는 현재의 구조물 경과시간이다.



[그림 3.3] 탄산화 곡선을 이용한 내구수명(철근도달시간) 산정 방법 예

#### 4) 탄산화 진행에 따른 상태평가

탄산화 진행상태는 철근피복의 측정값이 클수록 탄산화 잔여값이 커지므로, 측정 철근 덮개가 클수록 일반적으로 철근위치까지의 탄산화 도달시간에 대한 여유가 크다. 측정 철근덮개와 탄산화 측정깊이를 고려한 철근 콘크리트 구조물에서의 탄산화 진행 상태에 대한 상태평가 등급은 다음과 같다.

[표 3.11] 탄산화 상태평가 기준

| 기준 | 탄산화 잔여 깊이         | 철근부식의 가능성              |
|----|-------------------|------------------------|
| a  | ◦ 30 mm이상         | 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음     |
| b  | ◦ 10 mm이상~30 mm미만 | 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음 |
| c  | ◦ 0 mm이상~10 mm미만  | 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음    |
| d  | ◦ 0 mm미만          | 철근부식 발생                |
| e  | -                 | -                      |

### 3.3.4 철근탐사 시험

철근콘크리트 구조물의 내구성 및 안전성은 균열 및 강도와 더불어 철근 배근상태에 크게 의존한다. 철근의 배근이 넓은 간격으로 설계기준보다 적은 갯수로 배근된 경우, 구조물의 내력이 감소하게 되어 구조물의 내구성 및 안전성에 치명적인 약점을 줄 수 있으며, 설계기준보다 좁은 간격으로 과도하게 많은 갯수로 배근된 경우에는 구조물의 내력은 충분히 만족하지만 예기치 못한 갑작스러운 붕괴(취성과괴)를 초래할 수도 있는 약점이 있다. 일반적으로 철근 배근상태 조사는 부재의 국부파괴법과 비파괴 시험법이 있다. 부재의 국부 파괴법은 경제적인 측면과 구조물 손상 등을 발생시킬 수 있는 부정적인 영향이 있으므로 비파괴 시험법을 통한 방법으로 구조물의 전반적인 철근 배근상태를 확인하는 것이 일반적이며 본 과업에서는 전자파 레이더법을 이용한 RC-Radar를 사용하였다.

#### 1) 탐사방법

전자파 레이더의 원리는 현재 널리 사용되고 있는 레이더와 동일하게 콘크리트에 수백 MHz~수 GHz의 전자파를 안테나로부터 발사시켜 콘크리트 중의 비전도율, 비전도율이 다른 물체(철근, 매설물, 공동 등)와의 경계에서 반사파를 일으키는 성질을 이용해서 반사파를 수신안테나로 수신하여 왕복한 전파시간으로부터 반사물체까지의 거리를 구하는 반사파의 영상을 해석함으로써 조사를 수행하는 방법이다. 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음과 같다.

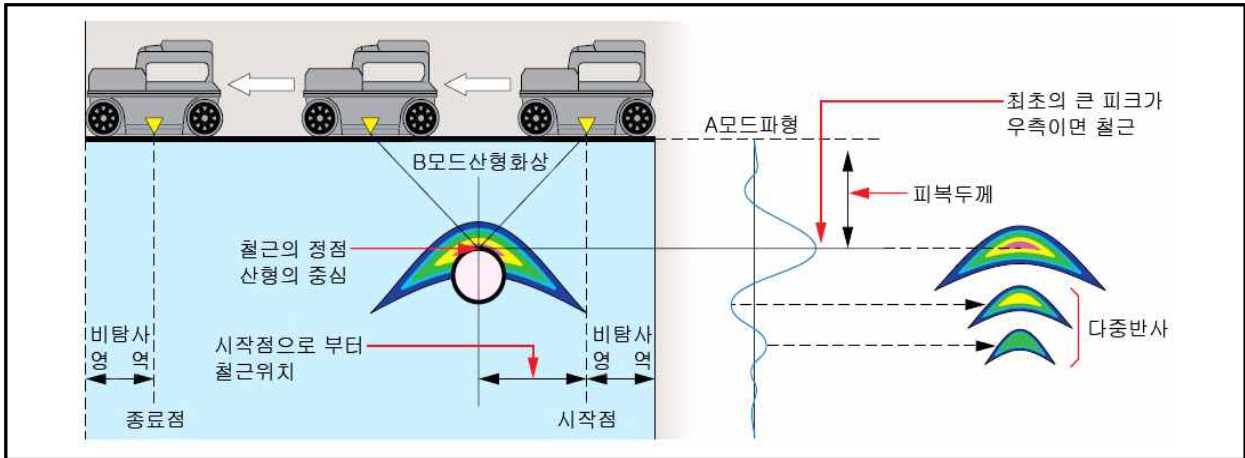
$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} (m/s)$$

여기서,  $C$  = 진공중에서 전자파의 속도( $3 \times 10^8$  m/s),  $\epsilon_r$  = 콘크리트의 비유전율(6~10)

반사물체까지의 거리(D)는 송신 시작으로부터 수신 시각까지의 시간차(T)의 측정치와 콘크리트내 전파속도(V)로부터 다른물체(철근, 매설물, 공동 등)의 철근덮개를 구할 수 있다.

$$D = \frac{1}{2} VT(m)$$

RC-Radar를 이용한 전자파 레이더법의 원리는 다음에 나타나 있는 것처럼 스캐너로부터 형성된 전자파를 이용하여 콘크리트 내부에 금속(철근, 배관 등)이 존재하면, 그 정보(배근상태 및 피복두께 등)를 모니터로 보여주게 된다.



[그림 3.4] RC-Radar 측정원리

## 2) 평가기준

- ① 철근의 피복두께는 콘크리트 표면에서 철근 최외측면까지의 거리로 한다.
- ② 철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성 여부를 판단한다.
- ③ 실측된 철근배근 간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단함이 바람직하다.

[표 3.12] 콘크리트 구조설계기준의 최소 피복두께

| 부 위                               |                            | 피복두께(㎜)     |    |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------|----|
| 수중에서 타설하는 콘크리트                    |                            | 100         |    |
| 흙에 접하여 콘크리트를 친 후 영구히 흙에 묻혀있는 콘크리트 |                            | 80          |    |
| 흙에 접하거나 옥외의 공기에 직접 노출되는 콘크리트      | D29 이상의 철근                 |             | 60 |
|                                   | D25 이하의 철근                 |             | 50 |
|                                   | D16 이하의 철근, 지름 16 ㎜ 이하의 철선 |             | 40 |
| 옥외의 공기나 흙에 직접 접하지 않는 콘크리트         | 슬래브, 벽체, 장선                | D35 초과하는 철근 | 40 |
|                                   |                            | D35 이하인 철근  | 20 |
|                                   | 보, 기둥                      |             | 40 |
|                                   | 셀, 절판부재                    |             | 20 |

| 유효깊이(d)                 | 유효높이의 허용오차          | 콘크리트 최소 피복두께 |
|-------------------------|---------------------|--------------|
| $d \leq 200 \text{ mm}$ | $\pm 10 \text{ mm}$ | - 10 mm      |
| $d > 200 \text{ mm}$    | $\pm 13 \text{ mm}$ | - 13 mm      |