제 3장 현장조사 및 시험

3.1 외관조사 개요

3.2 외관조사

3.3 콘크리트 내구성조사

3.4 강재 내구성조사

3.5 현장조사 및 시험결과 요약

제 3장 현장조사 및 시험

3.1 외관조사 개요

동대구IC고가교는 대구광역시 동구 용계동 고속도로 진입로(대구부산고속도로 부산기점 IC R-A)에 위치하고 있으며, 2006년도에 준공되어 약 10년의 공용기간이 경과하고 있으며, 도시계획도로 광로2-5호를 횡단하고 있는 1종 시설물이다.

동대구IC고가교의 연장은 285.0m(40.0m+55.0m+3@50.0m+40.0m)이며, 상부구조는 6경간 연속되어 시공된 Steel Box Girder 형식이고, 하부구조의 교대는 역T형, 교각은 T형이며, 기초는 직접기초로 시공되어 있다.

본 시설물에 대한 외관조사는 대상교량의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 교량부재 전체에 대하여 가능한 한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 따라서, 사전 현장답사를 통해 주변 여건을 파악하여 현장 접근에 필요한 접근방법 및 장비 동원과 그에 따른 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전검토를 통하여 주요 손상을 파악한 후 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침-교량편(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는 데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다.

본 교량의 외관조사시에는 고소작업차를 이용하여 구조물에 최대한 근접한 상태에서 외관조사를 실시하였다.

본 장에서는 외관조사 결과 확인된 결함과 손상 상태에 대하여 교량의 구성 부재별로 사진을 첨부하여 설명하고 발생 원인을 분석하여 보수·보강 및 유지관리 방안을 마련하는데 참고할 수 있도록 하였으며, 전체 부재에 대한 외관조사망도를 작성하여 향후 교량의 점검 및 유지관리 시 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.

【표 3.1.1】 부재별 조사항목

구 분		조 사 항 목	비 고
상부 구조	바닥판	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 재료분리 • 누수, 백태, 표면오염	
	강재 거더	• 균열, 파손, 변형 • 연결부 부식, 이완, 이상음, 볼트 파손 • 표면상태 오염, 부식, 가로보 연결불량 • 강박스 거더 내부로의 우수 유입	
하부 구조	교대	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 누수, 백태, 박락, 파손, 재료분리 • 교대의 이동 및 회전 유무 • 거더 또는 바닥판과 협착 유무	
	교각	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 재료분리	
	기초	• 세굴, 침하, 파손, 침식	
교면포장		• 균열, 요철, 단차, 포트홀, 물고임(체수)	
배수시설		• 파손, 배수관 길이 부족, 배수관 주변 및 연결부 누수, 배수구 위치불량	
연석 및 난간		• 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 백태	
교량 받침	강재 받침	• 균열, 부식, 변형, 파손	
	기타	• 유간 부족, 편기, 수평불량, 가동불량, 교량받침 설치오류, 앵커볼트 파손	
신축이음		• 본체의 파손, 부식, 누수, 이상음 및 진동, 유간 부족 • 후타재의 균열, 파손, 단차 • 후타재와 포장면 사이 이격	

고소작업차를 이용한 조사

【사진 3.1.1】 근접 육안조사

3.2 외관조사

3.2.1 상부구조

가. 바닥판

1) 부재의 개요

- 동대구IC고가교의 바닥판은 철근콘크리트 구조로 시공되어 있고, 좌·우측 캔틸레버부 하면에는 외부로부터의 우수유입을 방지하기 위해 물끊기 홈이 전 구간에 설치되어있다.
- 바닥판의 외관조사는 고소작업차를 이용하여 근접조사를 시행하였다.

바닥판 하면	캔틸레버

【사진 3.2.1】 바닥판 전경

2) 외관조사 결과

- 바닥판 하면에 대한 외관조사 결과, 거더와 거더사이의 망상균열이 확인되었으며, 캔틸레버부 폭 0.1㎜ 정도의 횡방향 균열 및 지점 측면 구간 백태가 일부 조사되었다.
- 거더와 거더사이의 망상균열 및 캔틸레버부의 미세균열은 거더에 의해 바닥판의 건조수축이 구속되어 발생된 것으로 판단되며, 윤하중 등에 의한 균열폭의 진전은 없는 것으로 확인되었다.
- 지점 측면 구간에 발생한 백태의 경우 방호벽 접합부를 통한 우수유입에 의해 발생하였으나, 백태에 의한 내부 결함은 없는 것으로 조사되었다.

【표 3.2.1】 바닥판 외관조사 결과

구 분	균열(m/개소) (0.3㎜ 미만)	망상균열 (㎡/개소)	백태 (㎡/개소)	비고
S1	4.0/4	-	-	
S2	4.0/4	-	-	
S3	-	3.0/2	-	
S4	-	3.0/3	-	
S5	-	-	-	
S6	-	-	0.02/1	
합 계	8.0/8	6.0/5	0.02/1	

폭 0.1㎜ 횡방향균열(S1)

폭 0.2㎜ 횡방향균열(S2)

망상균열(S3)

망상균열(S4)

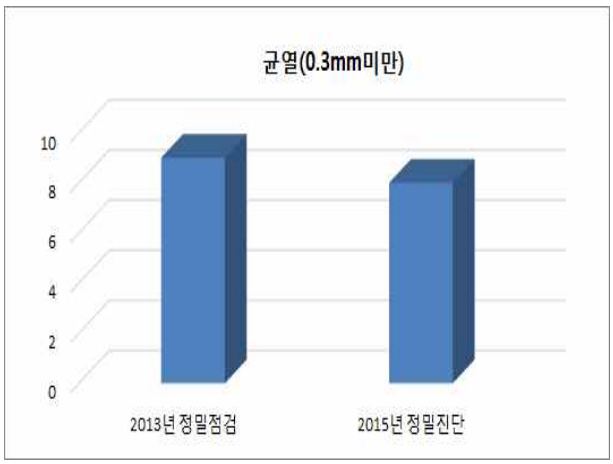
【사진 3.2.2】 바닥판 손상현황

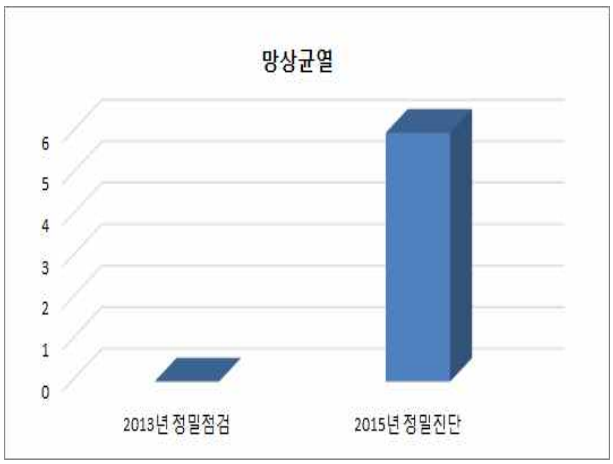
3) 기 점검(2013년) 결과와 비교

- 기 발생된 손상은 보수가 일부 실시된 상태이나, 망상균열이 일부 추가 조사되었다.

【표 3.2.2】 바닥판 하면 기 점검 결과 비교

구 분	2013년 정밀점검	2015년 정밀진단	비 고
균열 (0.3㎜ 미만), (m)	9.0	8.0	
망상균열(㎡)	-	6.0	





【그림 3.2.1】 바닥판 하면 기 점검 결과 비교

4) 검토의견

- 폭 0.1㎜ 정도의 균열 및 망상균열은 구조적인 안전성의 문제는 없는 것으로 판단되나, 지속적인 윤하중 및 우수유입을 통한 동결융해 등의 작용에 의해 손상의 진전(균열 폭, 길이)이 우려되는 바, 내구성 확보를 위한 보수 및 지속적인 점검을 통한 주의관찰이 필요하다.
- 백태 발생부위는 내부결함은 없는 상태이나, 방호벽 접합부를 통한 우수유입이 지속될 경우 손상의 진전이 우려되므로 방호벽과 병행하여 보수를 실시하는 것이 바람직하다.

나. 강박스 거더

1) 부재의 개요

- 동대구IC고가교의 거더는 2.8m(B)×2.3m(H)×2열의 Steel Box Girder가 6경간 연속으로 시공되어 있으며, 각 경간의 거더 시·종점부에는 점검구가 설치되어 있다.
- 거더 외부는 고소작업차를 이용하였으며, 거더 내부는 도보를 이용하여 근접조사를 시행하였다.
- 외관조사시에는 붕괴유발부재(F.C.M)에 대해 보다 정밀한 점검을 실시하였으며, 특히, 피로균열 발생 부재, 부식에 의한 단면감소, 구조적인 변형 여부, 도장손상 등 안전성, 내구성 및 사용성에 영향을 미치는 결함에 대하여 조사를 수행하였다.

강박스 거더 내부 전경

강박스 거더 외부 전경

【사진 3.2.3】 강박스 거더 전경

2) 강박스 거더 내부

① 외관조사 결과

- 강박스 거더 내부는 현장이음부를 통한 우수유입 및 습도, 불균일한 도막두께 등의 환경적·시공적인 원인에 의한 도장손상 및 부식이 추가로 조사되었다.
- 거더 내부 시·종점부에 설치된 점검구 주위에서 이물질퇴적이 일부 확인되었다.

【표 3.2.3】 거더 내부 외관조사 결과

구 분	도장손상(㎡/개소)	우수유입흔적(㎡/개소)	이물질퇴적(㎡/개소)	부식(㎡/개소)
S1	-	-	0.08/2	-
S2	-	-	-	-
S3	-	0.1/1	-	-
S4	-	-	-	0.01/1
S5	0.01/1	-	-	0.01/1
S6	-	-	0.04/1	0.12/1
합 계	0.01/1	0.1/1	0.12/3	0.14/3

도장손상(S5-G1-LF)	이물질퇴적(S6-G1-LF)
부식(S4-G2-LW)	부식(S6-G2-LF)
현장이음부 전경(S3-G1-SP15)	수직보강재 전경(S6-G2-RW)

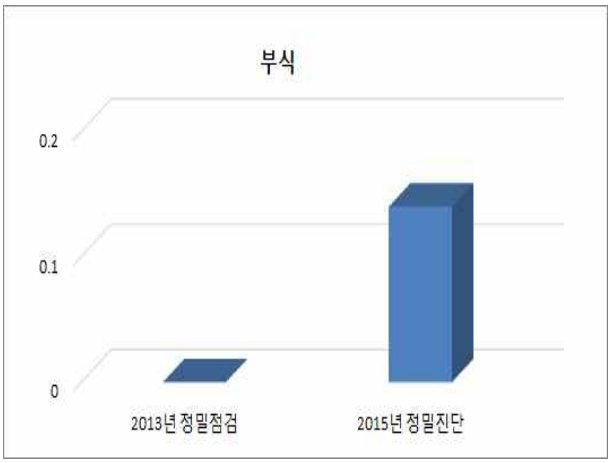
【사진 3.2.4】 거더 내부 손상현황

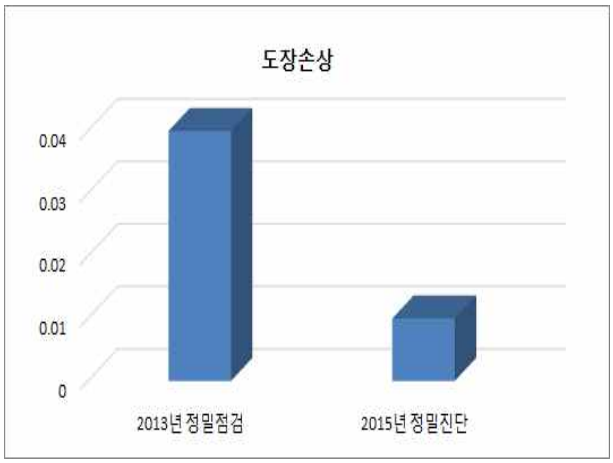
② 기 점검(2013년) 결과와 비교

- 기 점검 이후 도장손상 및 부식이 일부 추가 조사되었다.

【표 3.2.4】 거더 내부 기 점검 결과 비교

구 분	2013년 정밀점검	2015년 정밀진단	비 고
부식(㎡)	-	0.14	
우수유입흔적(㎡)	-	0.1	
이물질퇴적(㎡)	-	0.12	
도장손상(㎡)	0.04	0.01	





【그림 3.2.2】 거더 내부 기 점검 결과 비교

③ 검토의견

- 거더 내부에 발생한 도장손상 및 부식은 강재의 단면감소 및 교량의 안전성을 저해하는 수준은 아닌 것으로 확인되었으나, 공용 중 외기 등에 의해 부식이 진행될 수 있으므로 도장보수를 실시하는 것이 바람직하다.
- 거더 내부에 발생한 이물질퇴적은 정비를 통한 유지관리가 필요하다.

3) 강박스 거더 외부

① 외관조사 결과

- 강박스 거더 외부는 도장손상 및 부식, 용접부 결함, 강재 변형 등의 손상이 없는 전체적으로 양호한 상태로 조사되었다.

② 기 점검(2013년) 결과와 비교

- 기 점검 이후 신규 손상의 발생 및 보수부 재손상 등은 없는 상태로 확인되었다.

다. 가로보 및 CROSS BOX

1) 부재의 개요

- 동대구IC고가교의 거더와 거더 사이에는 가로보 및 CROSS BOX(지점부)가 설치되어 있으며, 외관조사시에는 강박스 거더 외부 점검과 동일한 방법으로 조사를 실시하였다.

가로보 전경	CROSS BOX 전경

【사진 3.2.5】 가로보 및 CROSS BOX 전경

2) 외관조사 결과

- 가로보 및 CROSS BOX에 대한 외관조사 결과, 부식, 용접부 결함, 강재 변형 등의 손상은 없는 전체적으로 양호한 상태로 조사되었다.

3) 기 점검(2013년) 결과와 비교

- 기 점검 이후 신규 손상의 발생 및 보수부 재손상 등은 없는 상태로 확인되었다.

3.2.2 하부구조

가. 교대

1) 부재의 개요

- 동대구IC고가교의 교대는 역T형 형식이며, 기초는 직접기초로 시공되어 있다.
- 외관조사시에는 도보를 이용하여 근접조사를 시행하였다.

교대 전경(A1)	교대 전경(A2)

【사진 3.2.6】교대 전경

2) 외관조사 결과

- 교대 벽체에서는 기 발생한 균열에 대한 보수가 일부 실시된 상태이나, 망상균열이 일부 추가 조사되었다.
- 벽체 상면에서는 신축이음부를 통한 누수흔적이 일부 확인되었나, 누수로 인한 콘크리트 열화는 없는 것으로 조사되었다.
- A1 좌측 날개벽에 국부적인 실란트 파손이 발생하였다.

【표 3.2.5】교대 외관조사 결과

구 분	균열(m/개소) (0.3㎜ 미만)	망상균열 (㎡/개소)	우수유입흔적 (㎡/개소)	실란트파손 (m/개소)	비고
A1	2.5/3	1.5/1	4.7/2	5.0/1	
A2	1.0/1	-	-	-	
합 계	**3.5/4**	**1.5/1**	**4.7/2**	**5.0/1**	

망상균열(A1 벽체)	망상균열(A1 벽체)
폭 0.2㎜ 수직균열(A1 벽체)	폭 0.2㎜ 수직균열(A1 벽체)
누수흔적(A1 벽체)	폭 0.1㎜ 수직균열(A2 벽체)

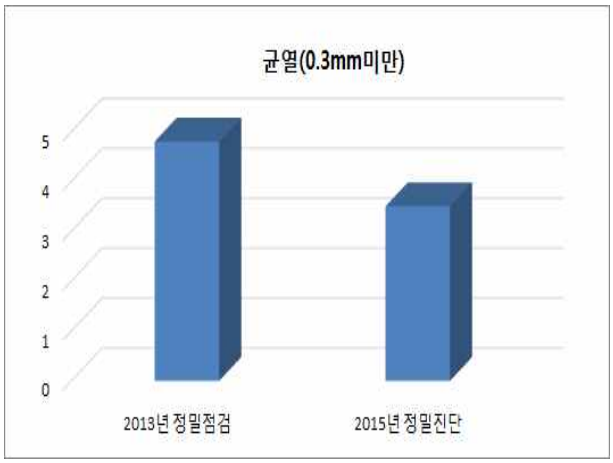
【사진 3.2.7】교대손상현황

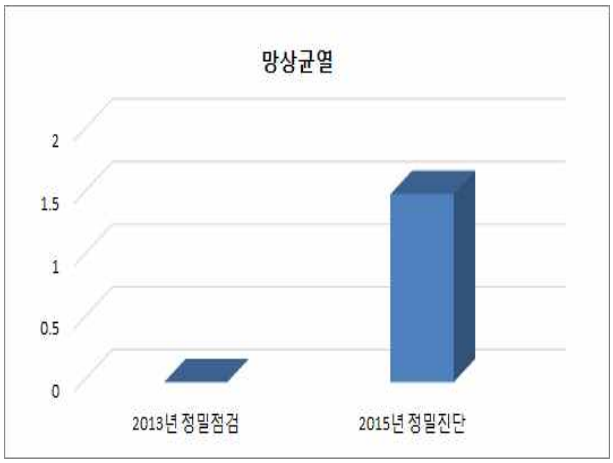
3) 기 점검(2013년) 결과와 비교

- 기 점검 이후 기 발생한 손상에 대한 보수가 일부 실시되었으나, 망상균열이 추가로 조사되었다.

【표 3.2.6】교대 기 점검 결과 비교

구 분	2013년 정밀점검	2015년 정밀진단	비 고
균열(0.3㎜ 미만), (m)	4.8	3.5	
망상균열(㎡)	-	1.5	
실란트파손(m)	5.0	5.0	





【그림 3.2.3】교대 기 점검 결과 비교

4) 검토의견

- 교대 구체에 발생한 폭 0.3㎜ 미만의 균열 및 망상균열은 공용년수 경과에 따른 노후화 등의 원인에 의한 비구조적인 손상이나, 내구성 확보를 위한 보수가 필요하다.
- 신축이음부 우수유입에 의한 누수흔적은 현재 콘크리트의 열화를 초래하는 정도의 손상은 아닌 것으로 판단되는 바, 지속적인 주의관찰 후 장기적인 대책을 수립하는 것이 바람직하다.
- 날개벽에 발생한 실란트 파손은 우수유입에 의한 손상의 진전이 우려되므로 실란트 충전이 필요하다.

나. 교각

1) 부재의 개요

- 동대구IC고가교의 교각은 T형 교각이며, 기초는 직접기초로 시공되어 있다.
- 각각의 교각에는 점검로가 설치되어 있으며, 점검로는 교각 하부에서 진출입이 가능하도록 설치되어 있다.
- 외관조사시에는 도보를 이용하여 근접조사를 시행하였다.

교각 전경(P1)	교각 전경(P2)

【사진 3.2.8】 교각 전경

2) 외관조사 결과

- 교각 기둥부의 경우 기 발생한 균열에 대한 보수가 일부 실시되었으나, 코핑부에서는 폭 0.1~0.2㎜ 일방향 균열이 일부 조사되었다.
- 교각 코핑에 발생한 균열의 양상은 폭 0.1~0.2㎜ 정도의 경미한 균열이며, 교축방향 시·종점부의 수평균열이 대표적인 양상으로 확인되었다.
- 교각 코핑에 국부적인 콘크리트 들뜸이 추가로 발생하였다.
- 교각 기둥의 균열 보수부위는 재손상이 발생하지 않은 양호한 상태로 확인되었다.

【표 3.2.7】 교각 외관조사 결과

구 분	균열(m/개소) (0.3㎜ 미만)	들뜸(㎡/개소)	비고
P1	21.5/14	0.05/1	
P2	11.0/9	-	
P3	9.5/13	-	
P4	9.5/8	-	
P5	14.0/14	-	
합 계	**65.5/58**	**0.05/1**	

폭 0.2㎜ 수평균열(P1)

콘크리트 들뜸(P1)

폭 0.2㎜ 수직균열(P3)

폭 0.1㎜ 수평균열(P5)

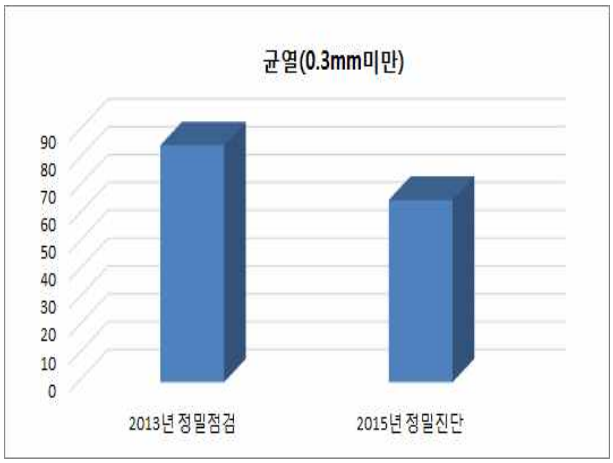
【사진 3.2.9】 교각 손상현황

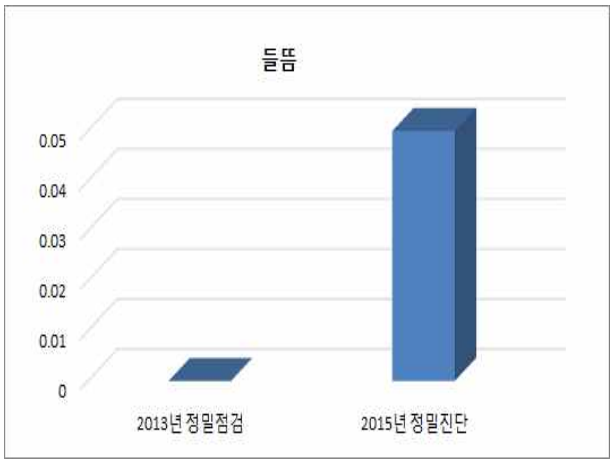
3) 기 점검(2013년) 결과와 비교

- 기 점검 결과를 토대로 손상을 비교한 결과, 기 발생한 손상에 대한 보수가 일부 실시되었으나, 국부적인 들뜸이 일부 추가 조사되었다.

【표 3.2.8】교각 기 점검 결과 비교

구 분	2013년 정밀점검	2015년 정밀진단	비 고
균열 (0.3㎜ 미만), (m)	85.1	65.5	
균열 (0.3㎜ 이상), (m)	1.7	-	
망상균열(㎡)	47.75	-	
들뜸(㎡)	-	0.05	





【그림 3.2.4】교각 기 점검 결과 비교

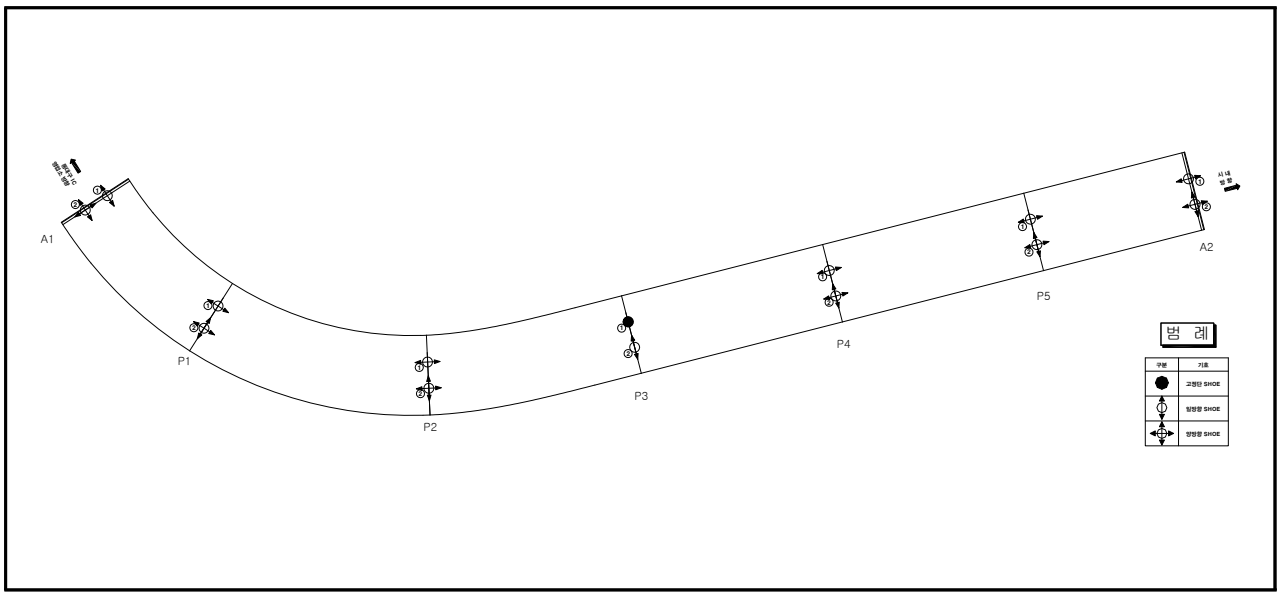
4) 검토의견

- 조사된 균열들은 균열의 패턴, 발생위치 등을 고려해 볼 때, 외력에 의해 발생된 균열이 아닌 공용년수 경과에 따른 노후화 등에 의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되나, 내구성 확보를 위한 보수가 필요하다.
- 교각 코핑에 발생한 콘크리트 들뜸은 시공초기 다짐불량, 마감불량 등의 원인에 의해 발생한 것으로 판단되며, 우수유입에 의한 추가 손상의 우려가 있으므로 단면보수가 필요하다.

3.2.3 교량받침

가. 부재의 개요

- 동대구IC고가교의 교량받침은 포트받침이 총 14개소 설치되어 있으며, 교량받침의 배치도는 아래와 같다.
- 교량받침은 상부구조에서 발생된 하중을 하부구조로 전달하고 상부구조의 신축 및 회전에 능동적으로 대응하는 부재이며, 본 조사에서는 과반력 및 부반력 발생 여부, 온도변화 및 활하중에 의한 신축거동 여부뿐만 아니라 강재 부식, 콘크리트 손상 여부 등 내구성, 기능성, 사용성 등에 대한 현장조사를 중점적으로 시행하였다.



【그림 3.2.5】 교량받침 배치도

포트받침(고정단) 전경

포트받침(일방향) 전경

포트받침(양방향) 전경

【사진 3.2.10】 교량받침 전경

나. 외관조사 결과

- 교량받침에 대한 외관조사 결과, 기 발생한 무수축몰탈 균열에 대한 보수가 전반적으로 실시된 상태이나, 국부적인 무수축몰탈 균열이 일부 조사되었다.

【표 3.2.9】교량받침 외관조사 결과

구 분	무수축 몰탈 균열 (m/개소) (0.3㎜ 미만)	비 고
A1	-	-
P1	-	-
P2	-	-
P3	-	-
P4	0.1/1	-
A2	-	-
합 계	0.1/1	-

무수축몰탈 균열(P4 Sh2)

무수축몰탈 균열 보수(A2 Sh1)

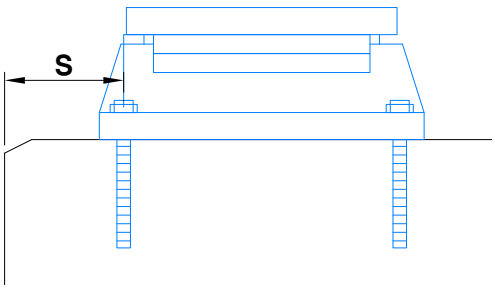
무수축몰탈 균열 보수(P3 Sh2)

무수축몰탈 균열 보수(P5 Sh1)

【사진 3.2.11】교량받침 손상현황

다. 연단거리 검토

- 교대 및 교각의 받침면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위이고, 지진 시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 연단거리가 짧으면 고정단에서는 콘크리트 구체 또는 교량받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다.
- 상부구조의 길이에 따라 '도로교설계기준(2010, 국토교통부)'에서는 최소값을 규정하고 있다.



< 포트받침 >

- 거더의 경간길이 100m 이하
  : S(㎜) = 200 + 5L
- 거더의 경간길이 100m 이상
  : S(㎜) = 300 + 4L
  여기서, L은 경간길이(m)

【그림 3.2.6】 도로교설계기준 연단거리 산출방법

1) 연단거리 산출

- 거더 경간길이(L=40.0m) : 200+5×40.0 = 400.0(㎜)
- 거더 경간길이(L=55.0m) : 200+5×55.0 = 475.0(㎜)
- 거더 경간길이(L=50.0m) : 200+5×50.0 = 450.0(㎜)

2) 연단거리 측정 결과

- 연단거리 측정 결과, 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고 있는 것으로 측정되어 시방규정을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

연단거리 측정

【사진 3.2.12】 연단거리 측정 전경

【표 3.2.10】 연단거리 측정 결과

구 분		계산 연단거리 (㎜)	실측 연단거리(㎜)		검토 결과
			Sh1	Sh2	
A1		400	400	500	O.K
P1	A1측	400	1,100	1,200	O.K
	A2측	475	1,050	1,200	O.K
P2	A1측	475	1,000	1,150	O.K
	A2측	450	1,050	1,150	O.K
P3	A1측	450	1,150	1,100	O.K
	A2측	450	1,150	1,150	O.K
P4	A1측	450	1,050	1,150	O.K
	A2측	450	1,150	1,150	O.K
P5	A1측	450	1,150	1,150	O.K
	A2측	400	1,200	1,200	O.K
A2		400	550	550	O.K

라. 교량받침 신축거동상태 검토

1) 온도변화에 따른 가동상태 검토

- 교량받침은 포트받침으로 현재 여유량을 실측함으로써 온도 변화와 활하중에 의한 거더의 처짐에 따른 신축 시 이동량 부족으로 인한 받침의 기능 저하 여부를 검토하고자 하였다.
- 교량받침의 신축거동상태 검토 시에는 이동량 측정 당시의 실측 온도(17.4℃, 10월 20일)를 이용하여 검토를 실시하였다.

2) 설계기준온도(-10℃ ~ 40℃(보통지방))에 따른 여유량 검토

- 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장 시 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었다.

【표 3.2.11】 교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	27.4	22.6	1.2×10^{-5}	145	47.7	39.3	8.9	47.7	48.2
P1	27.4	22.6	1.2×10^{-5}	105	34.5	28.5	-	34.5	28.5
P2	27.4	22.6	1.2×10^{-5}	50	16.4	13.6	-	16.4	13.6
P3	고정단								
P4	27.4	22.6	1.2×10^{-5}	50	16.4	13.6	-	16.4	13.6
P5	27.4	22.6	1.2×10^{-5}	100	32.9	27.1	-	32.9	27.1
A2	27.4	22.6	1.2×10^{-5}	140	46.0	38.0	8.9	46.0	46.9

1) 조사당시 온도 : 17.4℃(조사일 : 2015년 10월 20일, 실측온도)

2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방)

3) 신축장 100m 이상 교량의 경우 신장시에만 거더의 처짐에 의한 이동량 고려(도로설계요령, 2009)

【표 3.2.12】 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	5(A1)	47.7	48.2	80	70	±75	O.K
	Sh2	10(A1)			85	65	±75	O.K
P1	Sh1	5(A1)	34.5	28.5	55	45	±50	O.K
	Sh2	5(A1)			55	45	±50	O.K
P2	Sh1	5(A1)	16.4	13.6	55	45	±50	O.K
	Sh2	5(A1)			55	45	±50	O.K
P3		고정단						
P4	Sh1	5(A2)	16.4	13.6	55	45	±50	O.K
	Sh2	0			50	50	±50	O.K
P5	Sh1	0	32.9	27.1	50	50	±50	O.K
	Sh2	0			50	50	±50	O.K
A2	Sh1	0	46.0	46.9	75	75	±75	O.K
	Sh2	0			75	75	±75	O.K

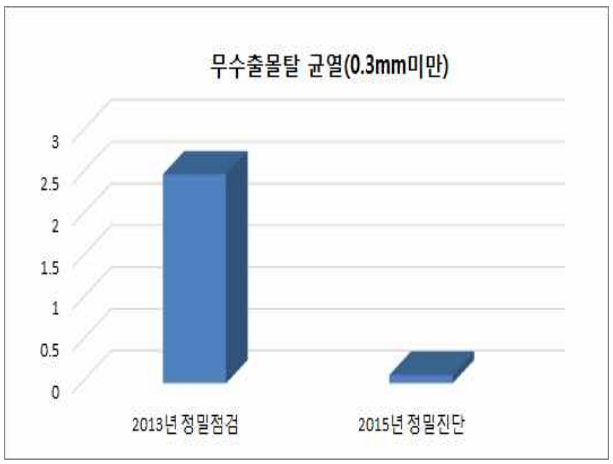
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K

마. 기 점검(2013년) 결과와 비교

- 기 점검 결과를 토대로 손상의 진전 여부를 검토한 결과, 기 발생한 무수축몰탈 균열에 대한 보수가 전반적으로 실시되었으나, 경미한 손상이 일부 조사되었다.

【표 3.2.13】교량받침 기 점검 결과 비교

구 분	2013년 정밀점검	2015년 정밀진단	비 고
무수축 몰탈 균열 (0.3㎜ 미만), (m)	2.5	0.1	



【그림 3.2.7】교량받침 기 점검 결과 비교

바. 검토의견

- 동대구IC고가교의 교량받침은 온도변화에 따른 수축 및 신장 시 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되어 가동상태는 양호한 것으로 판단된다.
- 무수축몰탈에 발생된 균열들의 원인은 몰탈 양생 시 발생되는 수화열 및 콘크리트 건조 수축 시 발생되는 마찰력에 의한 응력으로 인하여 미세균열이 유발된 것으로 판단되며, 손상의 정도가 경미한 상태이므로 보수는 불필요 할 것으로 판단된다.

3.2.4 신축이음장치

가. 부재의 개요

- 동대구IC고가교의 신축이음장치는 A1, A2에 Finger Joint가 시공되어 있다.
- 외관조사시에는 도보를 이용하여 근접조사를 시행하였다.

Finger Joint 상부	Finger Joint 하부

【사진 3.2.13】 신축이음장치 전경

나. 외관조사 결과

- 신축이음장치에 대한 외관조사 결과, 기 발생한 후타재 균열에 대한 보수가 전반적으로 실시되었으며, 보수 상태는 양호한 것으로 확인되었다.
- 신축이음 본체는 파손 및 변형 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으나, 국부적인 부식이 조사되었다.
- 신축이음 후타재의 경우 신축이음 유간 부족에 의한 파손이 확인되었다.

【표 3.2.14】 신축이음장치 외관조사 결과

위 치	구 분		손상내용	비고
A1	Finger Joint	본체	■ 부식(1.0m/1개소)	
		후타재	-	
A2	Finger Joint	본체	■ 부식(1.0m/1개소)	
		후타재	■ 파손(0.1㎡/1개소)	

후타재 파손(EXP.J2)	본체 부식(EXP.J1)

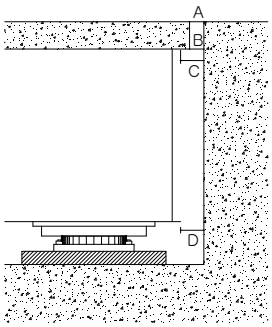
【사진 3.2.14】 신축이음장치 손상현황

다. 신축이음 신축거동상태 검토

1) 온도변화에 따른 가동상태 검토

- 본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 2회[(1차:18.2℃, 9월15일), (2차:13.0℃, 11월19일)]에 걸쳐 신축이음장치, 바닥판 거더 상·하부에 대한 유간을 측정하였고, 이론 변동량과의 비교를 통해 신축거동상태를 검토하였다. 또한, 측정된 유간으로부터 최대 온도 상승 시 신장량과 최저 온도 하강 시 수축량을 계산하여 유간확보 여부를 검토하였다.

신축이음장치 유간(A)	바닥판 유간(B)	거더 하부 유간(D)



< 측정 개요도 >

【사진 3.2.15】 신축이음 유간 측정방법

【표 3.2.15】 신축이음 유간 측정결과

측정위치	측 정 값(㎜)								비 고
	신축이음장치(A)		바닥판(B)		거더 상부(C)		거더 하부(D)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
EXP.J1(A1)	31	43	138	146	202	216	217	230	Finger Joint(No.150)
EXP.J4(A2)	32	42	131	140	182	194	190	205	Finger Joint(No.150)

- 9월(18.2℃)과 11월(13.0℃)의 온도 변화에 따른 변동량 측정결과, 실측 변동량과 이론 변동량이 미소하게 차이가 발생하고 있었으나, 그 차이는 최대 3.0㎜에 불과하여 전반적으로 이론치와 유사하게 가동하고 있는 것으로 판단된다.

【표 3.2.16】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과

측정위치		측정유간(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
EXP.J1(A1)	신축이음장치	31	43	12.0	9.0	
	바닥판 단부	138	146	8.0		
EXP.J4(A2)	신축이음장치	32	42	10.0	9.0	
	바닥판 단부	131	140	9.0		

2) 설계기준온도(-10℃ ~ 40℃(보통지방))에 따른 여유량 검토

- 신축이음 유간을 검토한 결과, 온도변화에 따른 동절기 수축 시 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었으나, 하절기 신장 시에는 유간 여유량이 최대 6.9㎜ 정도 부족한 것으로 평가되었다.

【표 3.2.17】 신축이음 신축이동량 산정

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이(L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
EXP.J1(A1)	28.2	21.8	1.2×10^{-5}	145	49.1	37.9	8.9	58.0	37.9
EXP.J4(A2)	28.2	21.8	1.2×10^{-5}	140	47.4	36.6	8.9	56.3	36.6

1) 조사당시 온도 : 18.2℃(조사일 : 2015년 9월 15일, 실측온도)
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방)
3) 신축장 100m 이상 교량의 경우 수축시에만 거더의 처짐에 의한 이동량 고려(도로설계요령, 2009)

【표 3.2.18】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP.J1(A1)	신축이음장치	58.0	37.9	31	150	61.0	-6.9	N.G
	바닥판 단부	56.3	37.9	138	-	-	100.1	O.K
EXP.J4(A2)	신축이음장치	58.0	36.6	32	150	60.0	-4.6	N.G
	바닥판 단부	56.3	36.6	131	-	-	94.4	O.K

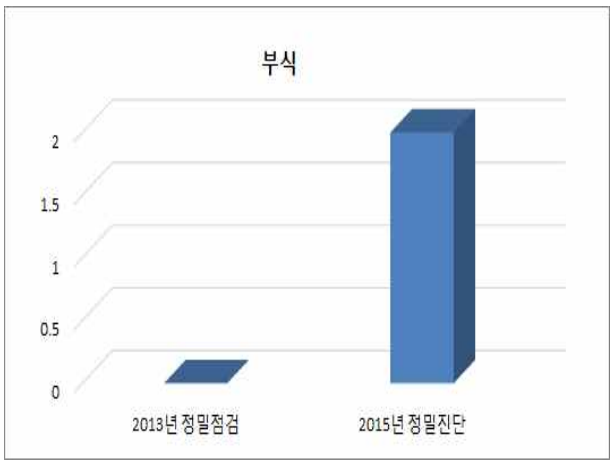
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K

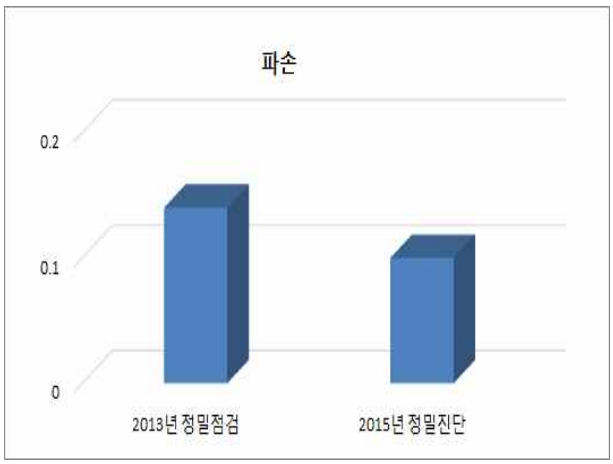
라. 기 점검(2013년) 결과와 비교

- 기 점검 결과를 토대로 손상의 변화 여부를 검토한 결과, 기 발생된 손상에 대한 보수가 실시되었으며, 본체 부식 및 후타재 파손은 진전이 없는 것으로 조사되었다.

【표 3.2.19】 신축이음장치 기 점검 결과 비교

구 분		2013년 정밀점검	2015년 정밀진단	비 고
본체	부식(m)	-	2.0	
후타재	파손(㎡)	0.14	0.1	
	균열(0.3㎜ 미만), (m)	11.4	-	





【그림 3.2.8】 신축이음장치 기 점검 결과 비교

마. 검토 결과

- 동대구IC고가교의 신축이음에 대한 유간 여유량 조사에서 동절기 수축 시에는 여유량을 확보하는 것으로 평가되었으나, 하절기 신장 시 최대 6.9㎜ 정도의 유간 부족이 확인되었다.
- 후타재는 기 발생한 균열에 대한 보수가 전반적으로 실시되었으며, 보수 상태는 양호한 것으로 확인되었으나, 유간 여유량 부족에 의한 파손이 확인된 바, 파손에 대한 보수와 함께 신축이음 유간 확보를 위한 조치가 필요하다.
- 본체는 국부적인 부식이 발생한 것으로 확인되었으며, 동절기 제설 작업 등에 의해 손상의 진전이 우려되므로 내구성 확보를 위한 보수가 필요하다.

3.2.5 교면포장

가. 부재의 개요

- 동대구IC고가교의 교면은 아스팔트(T=80㎜)로 포장되어 있으며, 교면방수는 침투식 방수층으로 시공되어 있는 것으로 확인되었다.

교면포장 전경

【사진 3.2.16】교면포장 전경

나. 외관조사 결과

- 교면포장에 대한 외관조사 결과, 균열, 함몰, 단차 등의 손상이 없는 전체적으로 양호한 상태로 조사되었다.

다. 기 점검(2013년) 결과와 비교

- 기 점검 이후 신규 손상의 발생 및 보수부 재손상 등은 없는 상태로 확인되었다.

3.2.6 기타부재

가. 배수시설

1) 부재의 개요

- 동대구IC고가교는 교량의 횡단구배(-6.0%~+6.0%)에 따라 좌·우측 캔틸레버에 배수시설이 설치되어 있다.

배수구 전경	배수관 전경

【사진 3.2.17】배수구 및 배수관 전경

2) 외관조사 결과

- 배수시설에 대한 외관조사 결과, 배수구 막힘, 배수관 지지대 탈락 등의 손상이 없는 전체적으로 양호한 상태로 조사되었다.

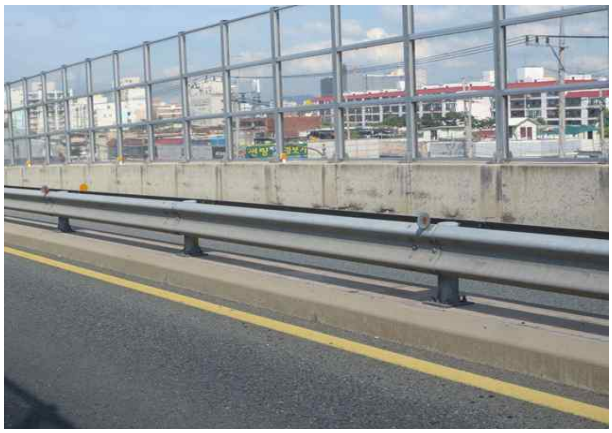
3) 기 점검(2013년) 결과와 비교

- 기 점검 이후 신규 손상의 발생 및 보수부 재손상 등은 없는 상태로 확인되었다.

나. 난간 및 연석(방호벽, 중앙분리대)

1) 부재의 개요

- 동대구IC고가교의 방호벽은 철근콘크리트, 중앙분리대는 강재로 시공되어 있으며, S1~S6 방호벽에는 방음벽이 설치되어 있다.
- 동대구IC고가교 방호벽의 높이는 노면으로부터 100cm로 확인되어 차량방호울타리 적정 설치높이인 100cm(도로안전시설 설치 및 관리 지침)에 만족하고 있는 것으로 확인되었다.

	
방호벽, 방음벽 전경	중앙분리대 전경

【사진 3.2.18】 난간 및 연석 전경

2) 외관조사 결과

- 방호벽에 대한 외관조사 결과, 균열 및 균열부 백태가 다수 확인되었으며, 균열부 우수 유입에 따른 철근부식 등의 원인에 의한 국부적인 파손이 일부 확인되었다.
- 방음벽의 경우 강재프레임 변형, 충진재 탈락 및 판넬 잔균열이 조사되었다.
- 시인성 향상을 위해 설치한 델리네이터 파손이 일부 발생하였다.

【표 3.2.20】 난간 및 연석 외관조사 결과

구 분	균열(m/개소)		균열부백태 (㎡/개소)	콘크리트 파손 (㎡/개소)	델리네이트 파손(개소)	방음벽변형 (개소)	방음벽잔균열 (개소)
	(0.3㎜ 미만)	(0.3㎜ 이상)					
S1	19.6/12	5.5/3	0.7/2	0.6/2	-	1	-
S2	59.0/20	1.2/1	1.34/12	-	2	-	-
S3	18.5/19	-	1.7/15	-	2	-	2
S4	9.0/2	0.2/1	3.2/30	-	-	-	18
S5	23.8/4	3.0/1	0.4/3	-	1	-	-
S6	23.0/2	-	0.44/10	-	-	-	-
합 계	152.9/59	9.9/6	7.78/72	0.6/2	5	1	20

콘크리트 파손(S1)	균열부 백태(S3)
균열부 백태(S4)	방음벽 강재프레임 변형 및 충진재 탈락(S1)

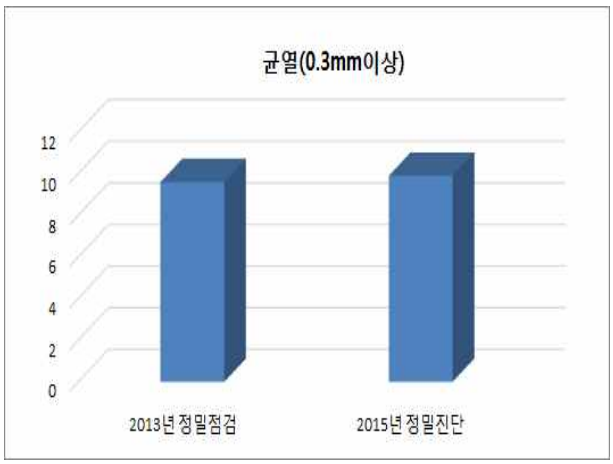
【사진 3.2.19】 난간 및 연석 손상현황

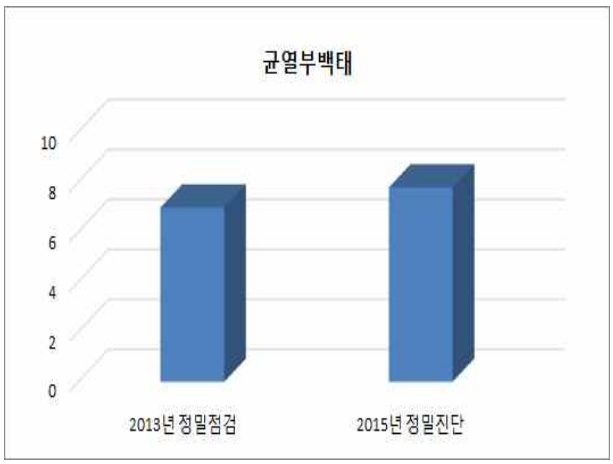
3) 기 점검(2013년) 결과와 비교

- 기 점검 이후 손상의 진전은 없는 것으로 확인되었으나, 균열 및 균열부 백태 등의 손상이 다수 발생한 상태이다.

【표 3.2.21】 난간 및 연석 기 점검 결과 비교

구 분	2013년 정밀점검	2015년 정밀진단	비 고
균열 (0.3㎜ 미만), (m)	113.9	152.9	
균열 (0.3㎜ 이상), (m)	9.6	9.9	
균열부백태(㎡)	6.98	7.78	
콘크리트 파손(㎡)	-	0.6	
델리네이트파손(개소)	-	5	
방음벽변형(개소)	1	1	
방음벽잔균열(개소)	16	20	





【그림 3.2.9】 난간 및 연석 기 점검 결과 비교

4) 검토 의견

- 방호벽에 발생한 균열들은 시공초기 건조수축 및 우수유입 등의 시공적·환경적 특성에 의해 발생된 것으로 판단된다.
- 조사된 손상들은 방호벽의 사용성을 저하시킬 만한 정도는 아닌 상태이므로 즉각적인 보수는 불필요하나, 백태와 같은 손상들은 방치할 경우 미관성을 저하시키고 운전자에게 심적 부담감을 줄 수 있으므로 적정시기에 보수조치를 실시하는 것이 바람직하다.

3.3 콘크리트 내구성조사

3.3.1 개 요

가. 개 요

콘크리트 내구성조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 내구성조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

나. 조사 현황 및 위치

1) 조사 현황

본 과업에서 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험), 철근탐사시험, 탄산화깊이 측정, 염화물함유량시험 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3.3.1】 콘크리트 비파괴시험 현황

항 목	기준수량		수 량(개소)				비 고
	상부구조(STEEL BOX)	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시 험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	6	6	7	7	동일부위 시험
초음파 전달속도시험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	6	6	7	7	
철근탐사 시 험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	6	6	7	7	
탄산화 깊이 측정	• 5경간 이내: 4~6개소[1)] • 5경간 이상: 6~9개소[2)]		6~9		3	7	
염화물 함유량시험	• 3개소 이상[3)]		3		2	2	
균열깊이 조 사	• 부재의 중요도를 고려하여 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		-		-	-	폭 0.3㎜ 이상 균열
강재용접부 초음파탐상시험	• 플레이트거더교 : 1개소 / 경간별 거더 • 박스거더교 : 2개소 / 경간별 거더		24		24		맞대기용접

주1) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 2개소 이상 실시 주2) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 3개소 이상 실시
주3) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시

2) 콘크리트 강도시험 위치 선정사유

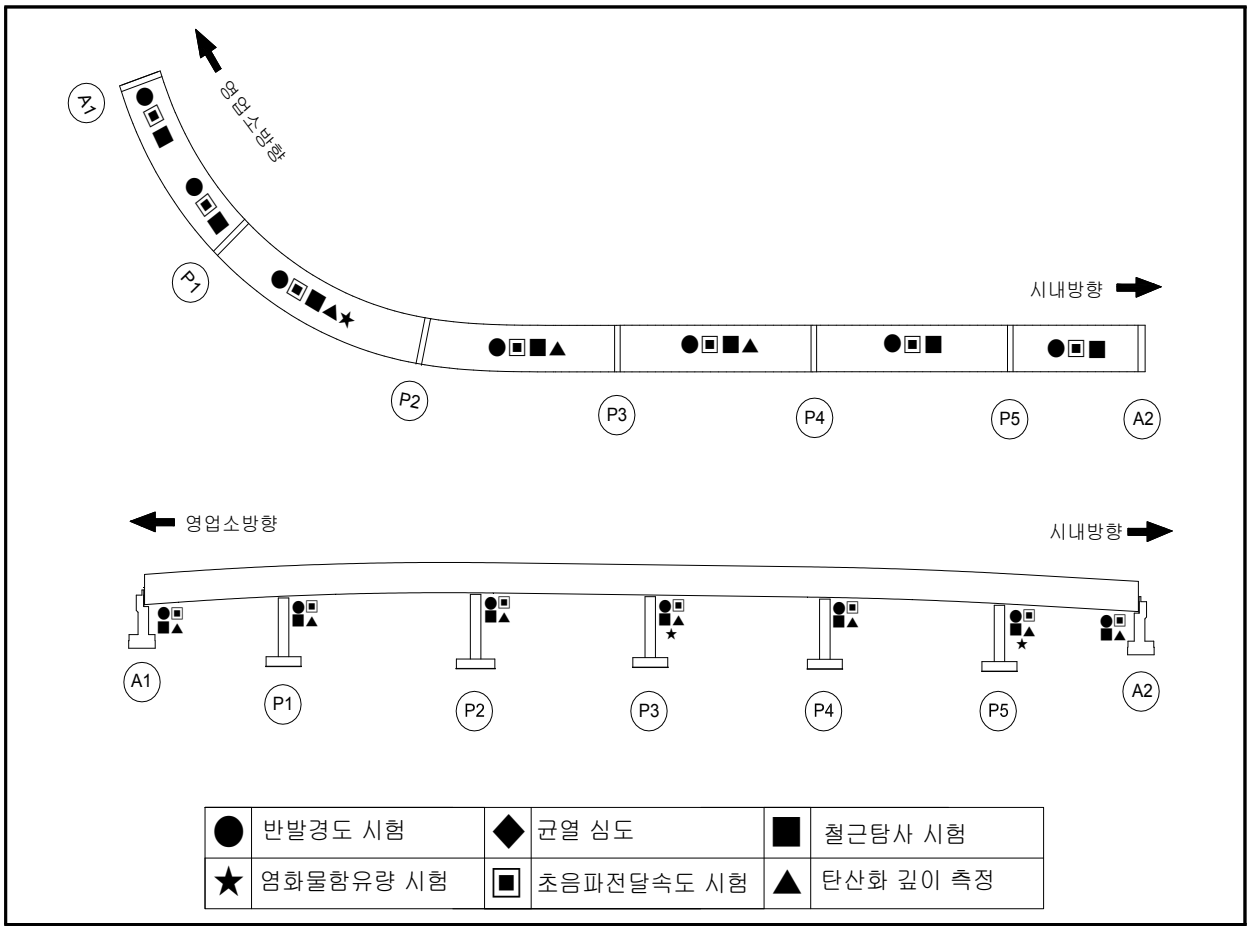
상부구조(STEEL BOX)는 외관조사 결과 바닥판은 전경간 노출된 상태로 되어 있으며, 내구성시험의 정확한 결과값을 얻기 위하여 접근성이 용이하고 콘크리트표면의 요철 및 곰보자국 등을 피하여 외관상 양호한 곳을 선정하여 내구성 시험을 실시하였다.

3) 조사 사진

반발경도시험	초음파전달속도시험	탄산화 깊이 측정	철근탐사시험

【사진 3.3.1】 콘크리트 내구성조사 전경

4) 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3.3.1】 콘크리트 내구성조사 위치도

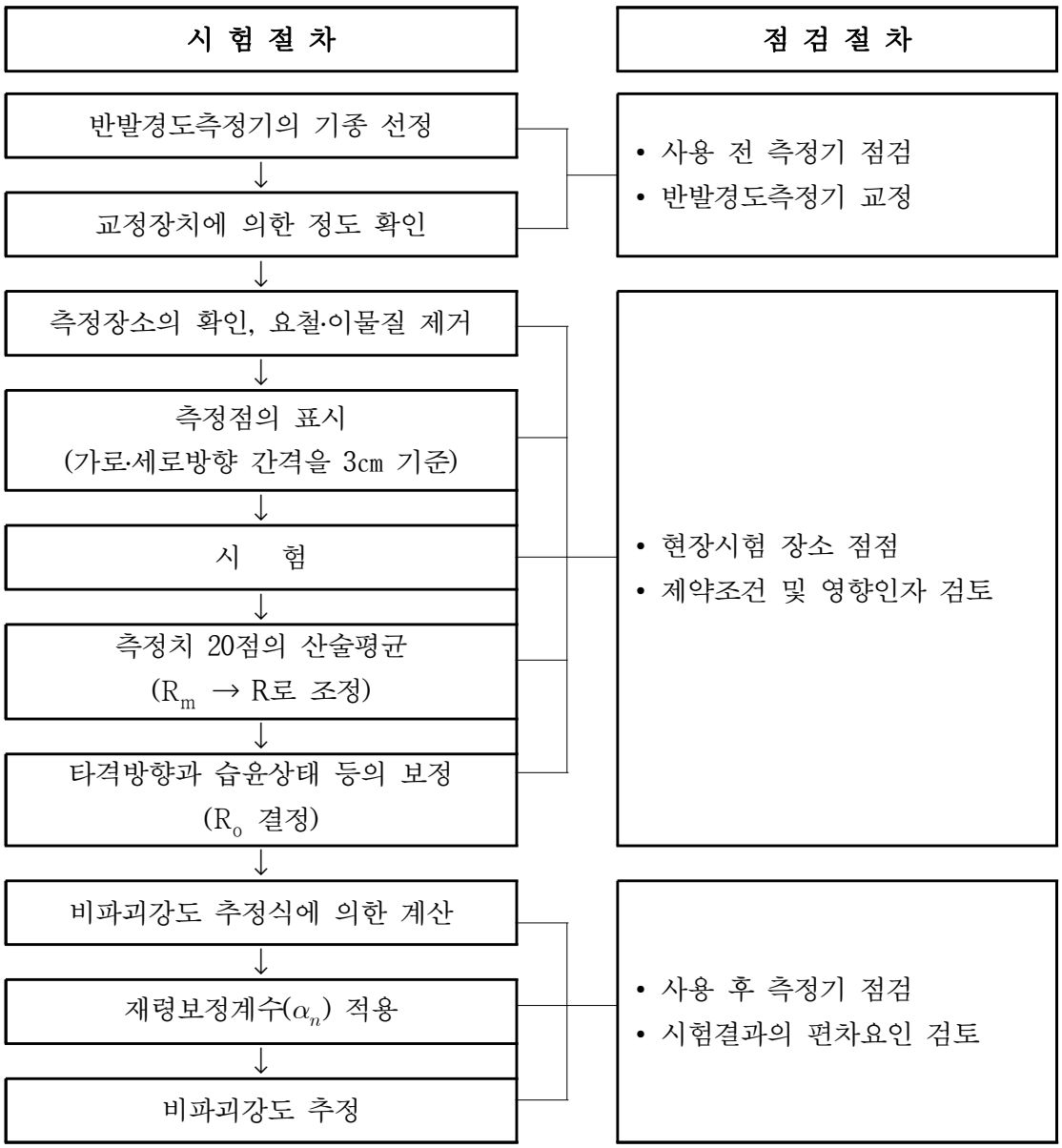
3.3.2 시험내용 및 평가기준

가. 콘크리트 강도시험

1) 반발경도시험

콘크리트의 표면 경도를 측정하여, 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 추정하는 검사방법이다. 반발경도를 구하는 방법으로는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법이 가장 널리 사용된다. 슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면을 타격 시, 반발경도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

① 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차



【그림 3.3.2】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

외관조사 결과에 의해 결정된 측정개소에 대해서 타격점 상호간의 간격은 3㎝를 표준으로 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도 값의 산술평균값(R_m)을 구한다. 산술평균값(R_m)에 대해서는 릴렘(RILEM) 규정에 따라 각 반발경도의 값이 $R_m \pm 20\%$의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R을 결정한다.

② 보정반발경도(R_o)

【표 3.3.2】 보정반발경도(R_o)

◈ 보정반발경도 : $R_o = R + \Delta R_1 + \Delta R_2$

여기서, R : 반발경도

ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

㉠ 타격방향에 따른 보정값(ΔR_1)

- 수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 함

⇒ 하향 타격(-90°)의 경우 : (+)값으로 보정

상향 타격(+90°)의 경우 : (-)값으로 보정

R \ α	보 정 값			
	+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	+1.5	+2.2
60	-2.2	-1.6	+1.3	+1.7

㉡ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값(ΔR_2)

- 콘크리트는 함수율이 증가함에 따라 반발경도가 저하됨

⇒ 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 : ΔR_2 = +3으로 보정

측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : ΔR_2 = +5로 보정

③ 압축강도의 추정

보정반발경도(R_o)로부터 압축강도(F_c)의 상관관계를 도출한 제안식들은 다음과 같다.

【표 3.3.3】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구 분	추 정 식(㎫)	비 고
일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R_o$	금회 적용(식①)
일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	금회 적용(식②)
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)		

④ 28일 강도의 추정

시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 아래 식과 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α는 아래【표 3.3.4】과 같으며, 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

$$F_{28}' = \alpha \cdot F_c$$

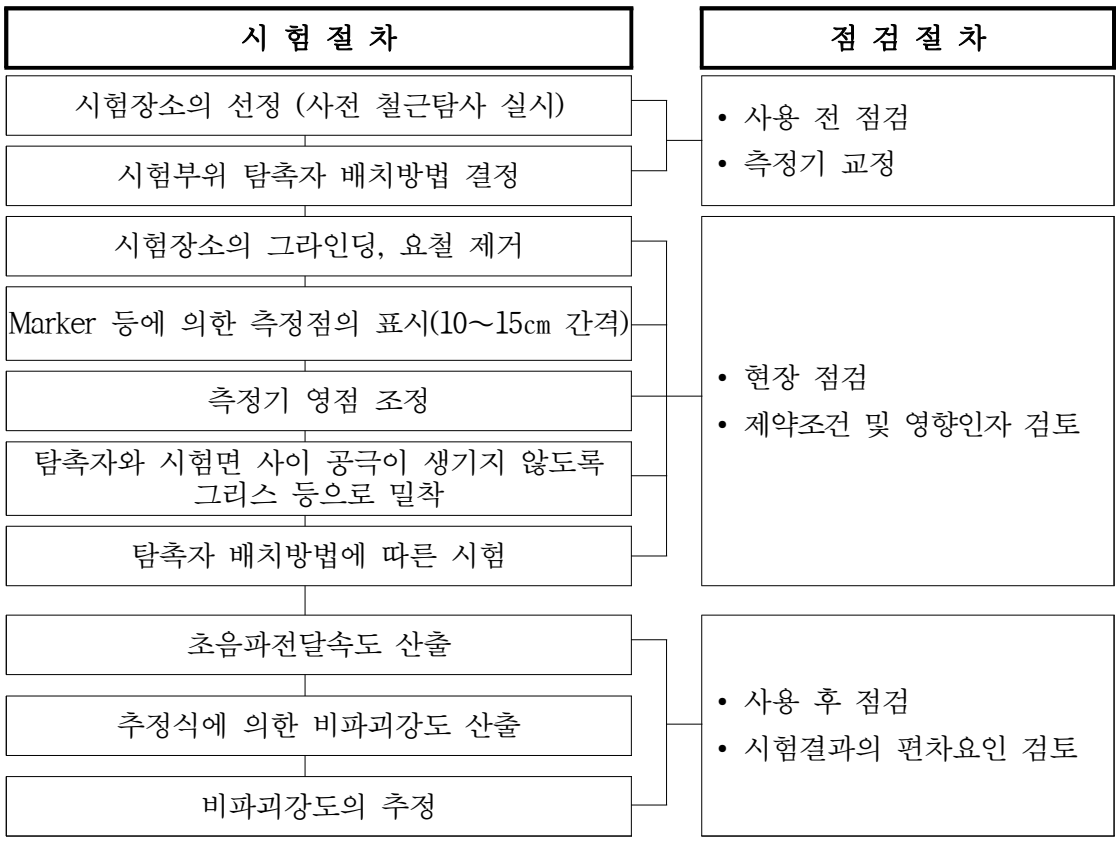
【표 3.3.4】 재령계수 α값

재령(일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1,000	3,000
α	1.55	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

2) 초음파전달속도시험

초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 이 투과속도로부터 콘크리트의 동적 특성, 강도, 균열상태 등을 추정하는 방법이다. 그러나, 강도 추정의 정확도는 높지 않으며, 일반적으로 콘크리트의 강도 및 품질 비교 또는 균열깊이를 판정하는 수단으로서 이 방법을 사용하고 있다.

① 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차



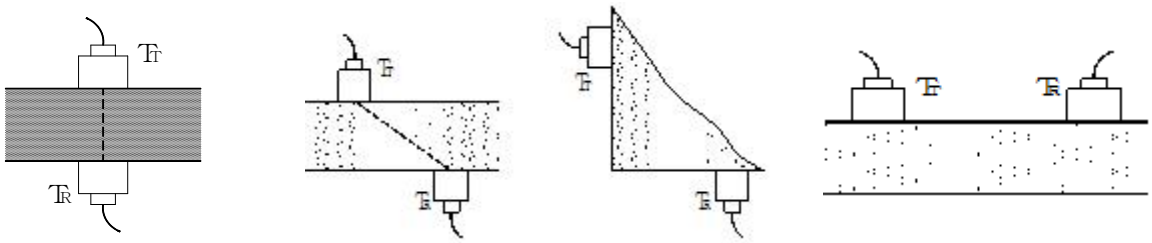
【그림 3.3.3】 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차

② 초음파전달속도시험에 의한 전달속도 분석

초음파전달속도를 결정하기 위해서는 재료에서 초음파가 전달되는 거리를 미리 측정하고 장비상에 나타난 초음파 전달시간을 측정한 후 아래 식에 의해서 구한다.

$$\text{전달속도(Velocity)} = \frac{\text{전달길이(Path Length)}}{\text{전달시간(Transit Time)}}$$

초음파전달속도시험을 위한 탐촉자의 배치방법으로는 직접법, 간접법 및 표면법이 있다.



(a)직접법 (b)간접법 (C)표면법

【그림 3.3.4】초음파전달속도시험을 위한 탐촉자 배치방법

표면법과 직접법에서 구한 초음파전달속도는 근사적으로 아래 식과 같은 관계가 있다.

$V_d \approx 1.05 V_i$

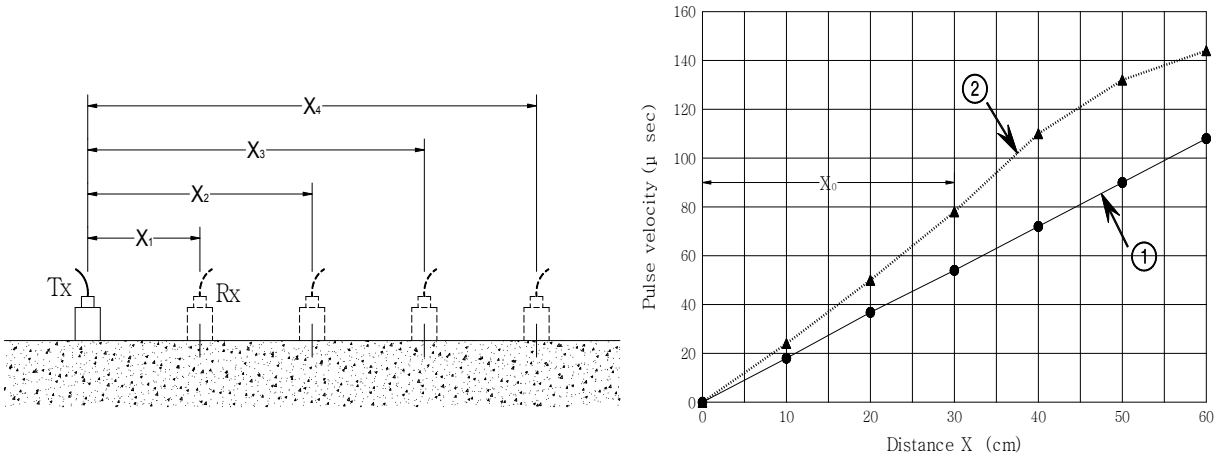
여기서, V_d : 직접법에 의한 초음파 속도

V_i : 표면법에 의한 초음파 속도

직접법과 표면법의 초음파전달속도는 재료의 종류, 배합, 함수율 등 여러 가지 원인으로 변동을 나타내고 있으며, 보편적으로 현장 콘크리트의 초음파전달속도 관계는 $V_d \approx 1.05 \sim 1.15 V_i$의 사이에 있다고 경험적으로 보고되고 있다.

보다 정확한 직접법과 표면법의 초음파전달속도의 관계를 파악하기 위해서는 표면법을 수행한 동일 조건의 구조물이나, 동일한 부위에서 채취한 코어의 종파(직접법) 속도를 측정하여 상관관계에 의해 환산하여 이용하는 방법이 바람직하다.

표면법은 등간격(100㎜)으로 5점 이상의 측점을 정하고 초음파의 전달거리(X_i)에 따른 전달시간(T_i)을 측정하고, 최소자승법에 의해서 회귀직선식을 구하여 그 기울기를 전달속도(V_i)로 한다.



【그림 3.3.5】 표면법에 의한 초음파전달속도의 측정

회귀직선의 적정성 여부를 판단하기 위해서 회귀직선의 유의성(有意性)검정에 사용되는 결정계수(Coefficient of determination)를 다음 식에 의해서 계산한다.

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{(\Sigma(X_i - \overline{X})(T_i - \overline{T}))^2}{\Sigma(X_i - \overline{X})^2 \Sigma(T_i - \overline{T})^2}$$

여기서, $\overline{X}$, $\overline{T}$는 거리 및 전달시간의 평균값

③ 비파괴강도의 추정

본 과업에서는 r^2값이 99% 이상이 되는 회귀직선식만을 사용하여 전달속도 V_i를 계산하였다. 전달속도에 따른 콘크리트 압축강도의 추정을 위하여 초음파전달속도와 압축강도의 상관관계를 도출한 다음 식을 사용하였다.

【표 3.3.5】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(초음파전달속도시험)

구 분	추 정 식(MPa)	비 고
일본건축학회	$F_c = (215\,V_d - 620) \times 0.098$	금회 적용(식③)
한전기술연구원	$F_c = (339.1\,V_d - 1107) \times 0.098$	금회 적용(식④)

※ V_d : 직접법에 의한 초음파전달속도(㎞/s)
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토교통부/한국시설안전공단) 참조
※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(2006. 12, 한국시설안전기술공단) 참조

나. 철근탐사시험

1) 개 요

본 시험은 전자파레이더를 이용한 철근탐사 시험기(RC Radar)를 활용하여 철근콘크리트 구조물에 배근된 철근간격, 콘크리트 피복을 측정하기 위해 실시한다.

철근콘크리트 구조물의 부재 내부에 배근되어 있는 철근의 피복두께가 지나치게 작은 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있으므로 철근탐사는 설계 당시와 같이 콘크리트 내에 배근되어 있는 철근의 배근상태 및 피복두께를 파악하기 위하여 실시한다.

2) 측정원리

전자파레이더의 원리는 현재 널리 사용되고 있는 레이더와 동일하다. 즉, 콘크리트용 전자파레이더는 임펄스 상의 전자파를 송신안테나로부터 콘크리트 내로 방사하면 그 전자파가 콘크리트와 전기적 성질(비유전율, 도전율)이 다른 물체(철근, 매설관, 공동 등)와의 경계에서 반사한다. 이를 수신안테나로 수신하고, 그에 소요되는 왕복전파시간으로부터 반사물체까지의 거리를 계산하면 그 위치를 구할 수 있다. 원리를 아래【그림 3.3.6】에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

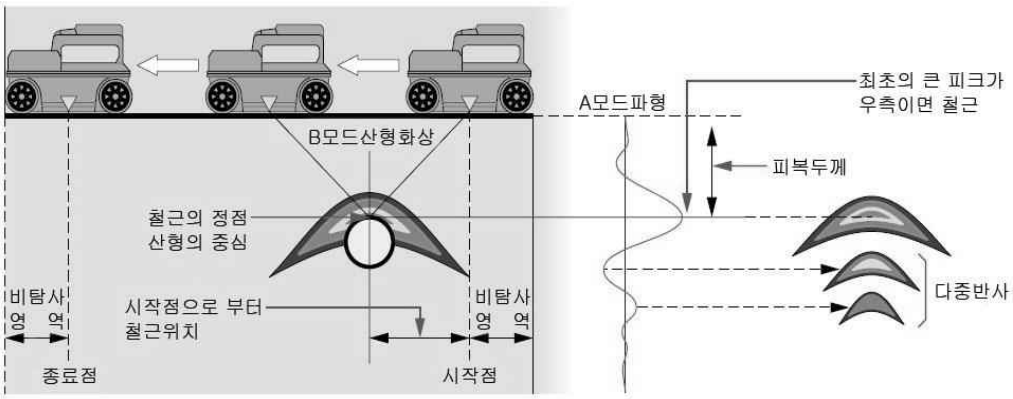
$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (m/sec)$$

여기서, C : 진공 중에서 전자파의 속도(3×10^8 m/sec)

ε_r : 콘크리트의 상대유전율(6～10)

또한, 반사물체까지의 거리(D)는 송신 시각으로부터 수신 시각까지의 시간차(T)의 측정치와 콘크리트 내부의 전파속도(V)로부터 구할 수 있다.

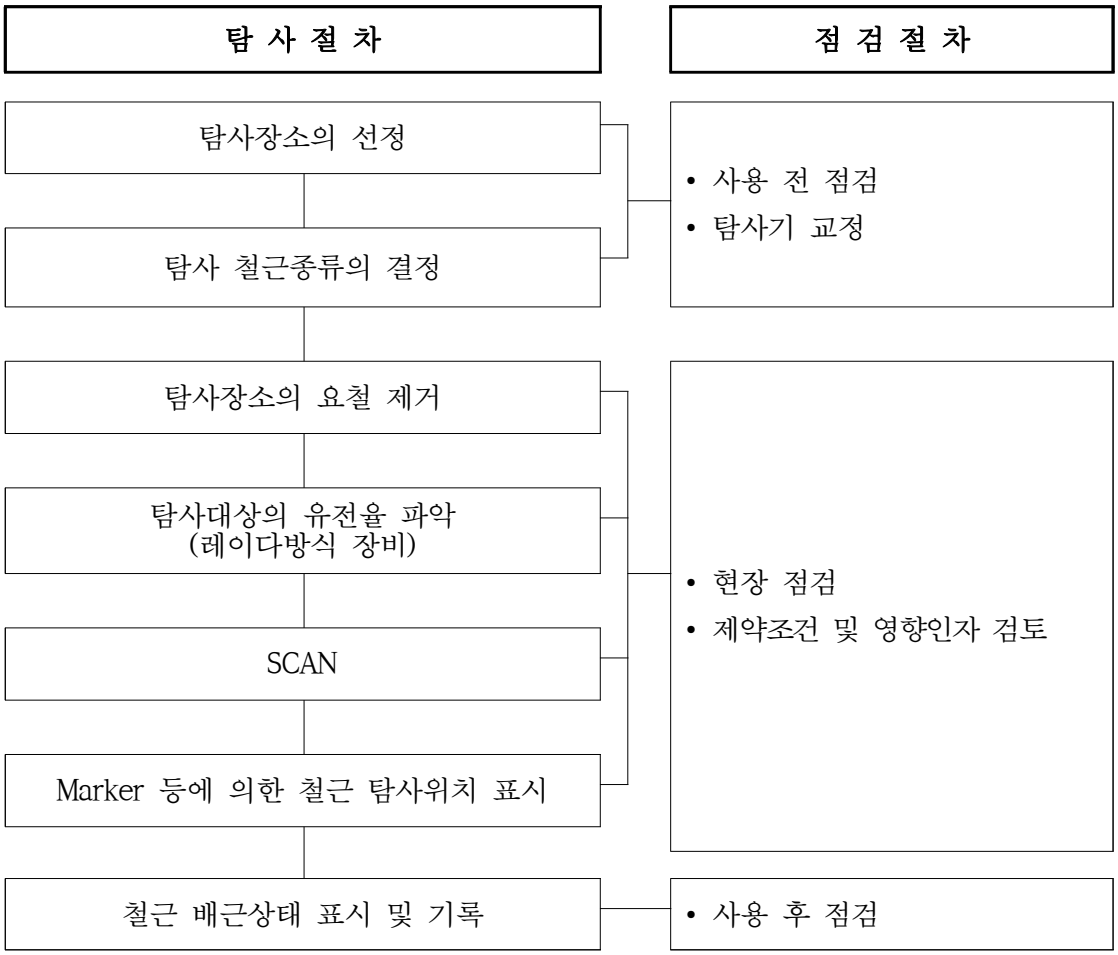
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (m)$$



【그림 3.3.6】 철근탐사 측정원리

3) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

철근탐사시험 방법에 대한 절차는 KS F 2734 및 KS F 2735의 규정에 준한다.



【그림 3.3.7】 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

4) 탐사조건 및 적용한계(RC Radar의 경우)

① 탐사조건

- 적용 가능한 조건
  - 탐사심도 200㎜이내
  - 탐사대상 철근지름이 ø6㎜이상
  - 콘크리트의 질이 균일한 곳
  - 철근이 안테나 진행방향과 직교인 경우
- 적용 곤란한 조건
  - 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
  - 100㎜이하의 피치로 배근되어 있는 경우
  - 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우

② 적용한계

- 탐사대상 물체의 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
- 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우
- 비유전율에 따라 피복두께의 차이가 있으므로 탐사 대상물의 비유전율을 추정하기 어려움
- 철근직경과 복철근 및 경사철근의 판독 불가능
- 탐사대상 표면에 요철이 많은 장소는 탐사결과의 신뢰성 저하
- 안테나의 사용으로 좁고, 짧은 위치의 탐사 불편

다. 탄산화깊이 측정

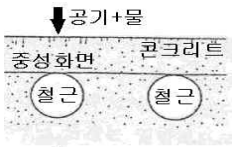
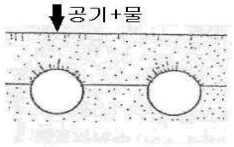
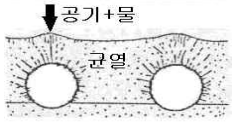
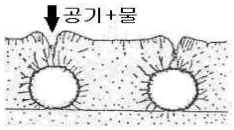
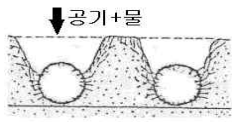
1) 개 요

탄산화란 콘크리트의 탄산화(Carbonation) 과정에서 나타나는 현상으로 탄산화에 의해서 문제가 발생되는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근에 녹이 발생함으로써 문제를 일으키는 것이다.

$$\underset{\text{수산화칼슘}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{탄산가스}}{CO_2} \rightarrow \underset{\text{탄산칼슘}}{CaCo_3} + \underset{\text{물}}{H_2O}$$

(pH 12~13) (대기 중에 존재) (pH 8.5~10)

탄산화가 일어나는 메카니즘을 보면 시멘트의 수화반응에서 생성되는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)은 pH 12~13정도의 강알칼리성을 나타내지만 대기 중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%)와 접촉하면 탄산칼슘과 물로 변화하고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH가 8.5~10 정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다. 콘크리트 내부의 pH가 11이상에서 철근은 표면에 1×10^{-6}㎜ 두께의 수산화물($\gamma-Fe_2O_3 \cdot nH_2O$) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH가 11보다 낮아지면 부동태막이 파괴되면서 철근에 녹이 발생하게 된다. 이러한 녹은 원래 부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 팽창하고 녹의 팽창압력에 의해 콘크리트 내부에는 균열이 발생하게 되며 철근의 부착강도 저하, 피복 콘크리트의 탈락, 철근 단면적의 감소 등 구조물의 내구성 저하를 초래하게 된다. 이러한 원인으로 녹의 진행과 함께 콘크리트 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.

	STEP 1 • 정상, 재료 및 강도상의 변화는 거의 없음 (약간의 건조수축에 의한 균열)
	STEP 2 • 녹의 발생에 의한 팽창압이 콘크리트 내부에 발생하여 미세한 균열이 발생
	STEP 3 • 철근의 윗면이 팽창함 • 균열이 표면까지 연장되어 공기와 수분의 침입이 격화되어 동해 등의 다른 열화도 유발시키며 녹물이 보임
	STEP 4 • 철근 윗면의 피복이 떨어지고, 철근의 노출이 시작됨 • 철근단면적이 감소함
	STEP 5 • 철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출됨 • 내구성능은 없음

【그림 3.3.8】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

2) 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로는 환경조건(대기 중의 탄산가스 농도, 온도, 습도, 마감재 등)을 주원인으로 하는 외적요인 및 콘크리트 자체의 성능·품질(함수율, 강도, 시멘트의 종류, 배합조건, 시공조건 등)을 주원인으로 하는 내적요인에 의해 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 대표적인 원인을 정리하면 다음과 같다.

【표 3.3.6】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구분	영향인자	탄산화 속도
내적 요인	시멘트의 종류	• 수화반응이 느릴수록 탄산화 속도가 빠름 • 조강 포틀랜드시멘트 < 보통 포틀랜드시멘트 < 중용열 포틀랜드시멘트
	골재의 종류	• 투기성이 큰 골재일수록 탄산화 속도가 빠름
	계면활성제 종류	• 동일 물-시멘트비, 동일 슬럼프라면 탄산화 속도와 무관함
	압축강도	• 압축강도가 낮을수록 탄산화 속도가 빠름
	물-시멘트비	• 물-시멘트비가 증가하면 탄산화 속도가 빠름

【표 3.3.6】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인(계속)

구분	영향인자	탄산화 속도
내적 요인	시공 정밀도	• 다짐이 불충분할수록 탄산화 속도가 빠름
	콘크리트 결함부	• 균열부위, 이음부, 손상부위 등에서 탄산화 속도가 빠름
외적 요인	온도	• 온도 상승시 탄산화 속도가 빠름 • 20~50°C 사이에서는 영향이 크지 않음
	이산화탄소 농도	• 농도가 클수록 탄산화 속도가 빠름 • 탄산가스 농도 3~10% 사이에서 상승비율이 큼
	습도	• 상대습도 50~70% 에서 탄산화 속도가 최대
	실내, 실외	• 실내의 탄산화 속도가 빠름

3) 탄산화깊이의 측정

본 과업에서는 일반적으로 현장에서 간편하게 이용되는 페놀프탈레인법(페놀프탈레인은 pH 지시약의 일종으로 1% 알칼리용액)을 이용하여 콘크리트의 탄산화 진행 정도를 측정한다.

콘크리트 파단면에 1% 페놀프탈레인 용액을 도포한 후 색의 변화를 관찰하는 방법으로 강알칼리성일수록 짙은 보라색을 띠며 pH 9이하에서는 무색을 나타낸다. 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 버니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

4) 탄산화를 고려한 잔존수명 예측

탄산화 속도는 경과시간(t)의 평방근에 비례하여 진행한다고 하는 $\sqrt{t}$법으로 표현된다. 탄산화(C)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, C : 탄산화깊이(㎜)

A : 탄산화 속도계수(㎜/ $\sqrt{년}$)

t : 재령(년)

여기서 구해진 탄산화 속도계수(A)를 실제 탄산화깊이와 경과년수를 이용하여 역추적으로 구한 후 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하면 콘크리트의 탄산화에 의한 잔존수명을 예측할 수 있다.

수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화 속도계수)^2

잔존수명예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수

5) 평가기준

탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

【표 3.3.7】 탄산화 상태평가 기준

기 준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	• 30㎜이상	• 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	• 10㎜이상 ~ 30㎜미만	• 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	• 0㎜이상 ~ 10㎜미만	• 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 0㎜미만	• 철근부식 발생
e	-	-

라. 염화물함유량시험

1) 콘크리트 속의 염분에 대한 일반적 사항

염화물의 콘크리트 침투를 구분해 보면 일반적으로 두 가지로 크게 구분할 수 있다.

하나는 이미 건립된 구조물에 해풍, 해수 및 염화물을 함유한 외부 환경조건에 의해 염화물이 침투 축적되는 경우이고, 다른 하나는 방동대책으로서 염화칼슘($CaCl_2$)과 염화나트륨(NaCl)의 살포에 의해 염화물이 침투하는 경우이다.

다음은 콘크리트 제조 시에 배합재료로부터 직접 콘크리트에 침투하는 경우, 특히 아직 굳지 않은 프레쉬 상태일 때 혼입하는 경우인데 이의 예로서는 ① 깨끗이 세척하지 않은 바다모래의 사용, ② 경화 촉진제로서 염화칼슘($CaCl_2$)의 사용, ③ 염화칼슘($CaCl_2$)을 주체로 한 조강형 AE제의 사용, ④ 혼화수로서 해수의 사용 등을 들 수 있다. 이 중 미세정 바다모래에 의한 염분(염화나트륨(NaCl)을 주로 함유한 것)의 혼입에 의한 것이 염해 원인의 대부분을 차지하고 있다.

콘크리트 중에 함유하는 염화물은 ① 가용성 염화물(수용성 염화물), ② 전 염화물(산 용해성 염화물)의 2종류로 분류할 수 있다. ①의 가용성 염화물로는 콘크리트에서 물에 의해 유출되는 염화물이고, ②의 전 염화물은 콘크리트를 강한 산으로 용해함으로써 유출되는 염화물이다. 가용성 염화물의 측정은 콘크리트의 세공용액 속에 용해되어 있는 유리 염화물의 양을 구하는 경우로 측정할 수 있고 유출온도 등 시험방법의 자세한 내용은 제안되고 있는 각 방법에 따라 약간 차이가 있다. 일본 콘크리트공학협회(JCI)에서는 가용성 염화물을 「경화콘크리트 중에 함유된 50℃의 온수에 녹는 염화물」이라 정의하여 측정방법을 정하고 있다.

전 염화물량과 가용성 염화물량과의 차이는 시멘트 수화물에 고정되어 있는 염화물로써 판정되어진다.

강재 위치에 대한 염화물 이온의 강재 부식발생 한계농도는 콘크리트 단위용적 당 양으로서 0.3~1.2kg/m³ 정도이고 이 값은 구조물의 설치 환경조건이나 강재부식 허용량 등의 조건에 따라서 다르다. 예를 들면, 미리 염화물을 혼입한 공시체에 의한 촉진시험 등에서는 0.3~0.6kg/m³ 정도이고 실제 환경의 노출실험에서는 1.2~2.4kg/m³ 정도로 되어 있다. 촉진시험과 실제 환경에서 얻어지는 한계농도의 차이는 시험 공시체와 실제 구조물의 덮개나 물-시멘트비의 차이 그리고 촉진시험 시에 설정되는 고온환경 등 온도의 영향이라고 생각된다.

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12) 및 콘크리트 표준시방서 내구성조사편에서는 경화콘크리트의 경우 전염화물 기준으로 실제 환경의 노출실험 결과 하한치인 1.2kg/m³ 을 강재 부식발생 한계농도로서 정하고 있다. 비록, 부식환경에 따른 전염화물량이 1.2kg/m³ 를 넘더라도 부식이 발생하지 않을 가능성이 있지만 잠재적으로 부식 가능성이 높을 것으로 평가되므로 부식방지를 위한 조치가 검토되어야 할 것이다.

2) 평가기준

① 국내 콘크리트 표준시방서 기준

굳지 않은 콘크리트의 경우는 철근의 부식을 방지하기 위하여 0.3kg/㎥이하로 규정하며, 책임기술자의 승인이 있는 경우 0.6kg/㎥까지 허용

② 콘크리트 구조설계기준(2007년)

【표 3.3.8】 염화물 평가기준(콘크리트 구조설계기준(2007))

부재의 종류	최대 수용성 염소이온(Cl^-), 시멘트의 중량에 대한 비(%)
프리스트레스트 콘크리트	0.06
염화물에 노출된 철근콘크리트	0.15
건조상태 또는 습기로부터 차단된 철근콘크리트	1.00
기타 철근콘크리트	0.30

③ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12)

【표 3.3.9】 염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12))

기 준	전염화물 이온량(kg/m³)	철근부식의 가능성
a	• 염화물 < 0.3kg/m³	• 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	• 0.3kg/m³ < 염화물 ≤ 1.2kg/m³	• 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	• 1.2kg/m³ < 염화물 ≤ 2.5kg/m³	• 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 염화물 ≥ 2.5kg/m³	• 철근 부식발생
e	-	-

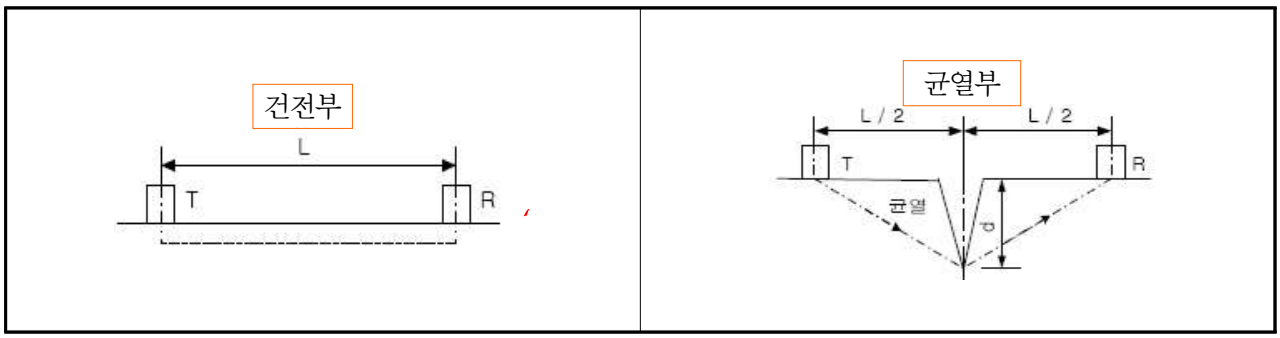
마. 균열깊이 조사

콘크리트 표면의 균열깊이는 일반적으로 T_c-T_o법으로 구한다.

T_c-T_o법은 콘크리트 부재의 균열부와 건전부에서 아래【그림 3.3.9】과 같이 각각 측정하고, 양자의 데이터 비교에 의해 균열깊이를 산출하는 것이다. 본 방법에서는 균열부분을 중심으로 하여 송신탐촉자와 수신탐촉자를 등간격으로 배치한다. 송신탐촉자(T)로부터 발신된 종파초음파가 그림 중의 점선과 같이 콘크리트 내를 전파하고 균열 선단부를 경유해서 수신탐촉자(R)에 도달하기까지의 시간 T_c를 구한다.

비교용으로서 같은 콘크리트 부재에서 균열이 없는 부분을 대상으로 송신탐촉자와 수신탐촉자의 거리 L과 초음파가 전파하는 시간 T_o를 구해 다음 식을 적용하여 균열깊이를 구한다. 본 과업에서는 X=10㎝를 적용하였다.

$$d = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{(T_c^2)}{(T_o^2)} - 1}$$



【그림 3.3.9】 T_c-T_o법에 의한 탐촉자 배치 및 균열깊이 측정방법

3.3.3 시험결과 및 분석

가. 동대구IC고가교

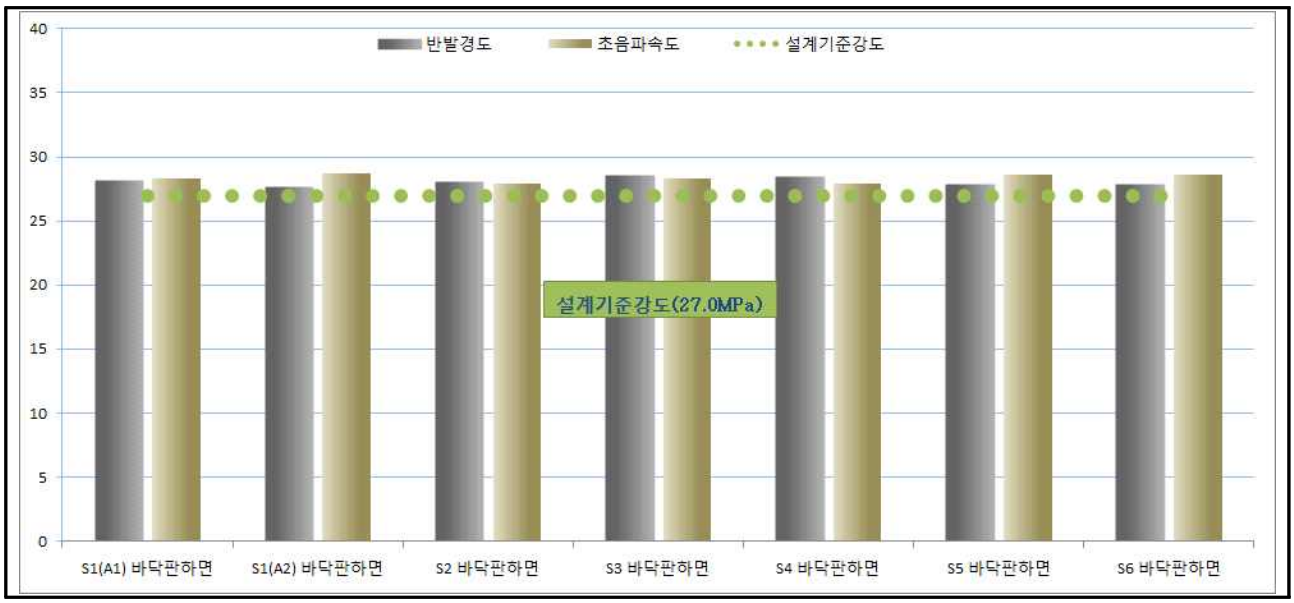
1) 콘크리트 강도시험

- 동대구IC고가교의 콘크리트 비파괴강도시험은 상·하부구조에서 반발경도시험(총 14개소) 및 초음파전달속도시험(총 14개소)를 실시하였으며, 검토결과는 【표 3.3.10】, 【표 3.3.11】과 같다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.3.10】 상부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과

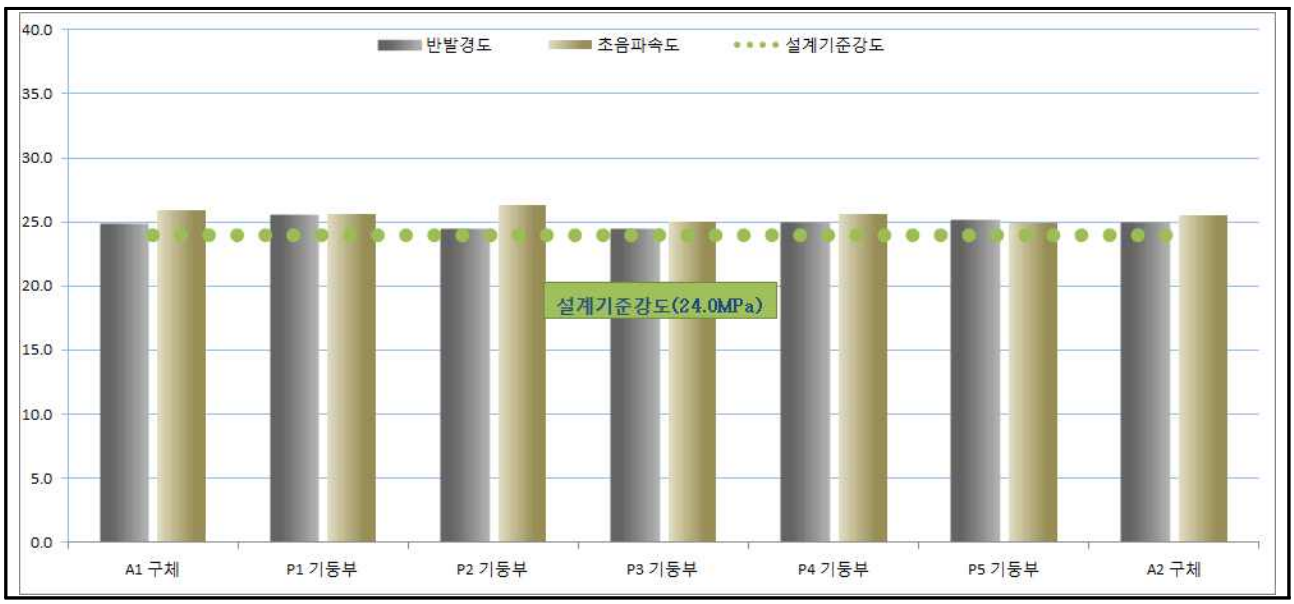
시험위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)			초음파속도법(MPa)			설계기준강도(MPa)
		반발경도 (R_o)	초음파속도 (V_d)	식①	식②	평균	식③	식④	평균	
상부구조	S1(A1) 바닥판하면	49.0	4.16	27.8	28.3	28.1	26.8	29.7	28.3	27.0
	S1(A2) 바닥판하면	48.2	4.17	27.2	27.9	27.6	27.2	30.2	28.7	
	S2 바닥판하면	48.9	4.14	27.8	28.2	28.0	26.5	29.2	27.9	
	S3 바닥판하면	49.7	4.16	28.4	28.6	28.5	26.8	29.7	28.3	
	S4 바닥판하면	49.5	4.14	28.3	28.5	28.4	26.5	29.2	27.9	
	S5 바닥판하면	48.6	4.17	27.5	28.1	27.8	27.1	30.1	28.6	
	S6 바닥판하면	48.6	4.17	27.5	28.1	27.8	27.1	30.1	28.6	
	평 균			27.8	28.2	28	26.9	29.7	28.3	
	표준편차			0.4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	
	변동계수			1.4	0.7	1.1	1.1	1.3	1.1	



【그림 3.3.10】 상부구조 평균압축강도 추정결과

【표 3.3.11】 하부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)			초음파속도법(MPa)			설계기준강도(MPa)
		반발경도 (R_o)	초음파속도 (V_d)	식①	식②	평균	식③	식④	평균	
하부구조	A1 구체	43.7	4.07	23.6	25.9	24.8	25.0	26.7	25.9	24.0
	P1 기둥부	44.9	4.06	24.6	26.4	25.5	24.8	26.4	25.6	
	P2 기둥부	43.1	4.09	23.1	25.6	24.4	25.3	27.3	26.3	
	P3 기둥부	43.1	4.04	23.1	25.6	24.4	24.3	25.7	25.0	
	P4 기둥부	43.9	4.06	23.8	26.0	24.9	24.8	26.4	25.6	
	P5 기둥부	44.2	4.03	24.0	26.1	25.1	24.2	25.5	24.9	
	A2 구체	44.0	4.05	23.9	26.0	24.9	24.7	26.3	25.5	
	평 균			23.7	25.9	24.9	24.7	26.3	25.5	
	표준편차			0.5	0.3	0.4	0.4	0.6	0.5	
	변동계수			2.1	1.2	1.6	1.6	2.3	2	



【그림 3.3.11】 하부구조 평균압축강도 추정결과

- 검토결과, 설계기준 대비 상부구조 : 102.2~105.6%, 하부구조 : 101.7~106.3%로 상・하부구조 모두 반발경도법에 의한 비파괴 추정강도는 모두 100% 이상을 상회한 값이 측정되었다.
- 비파괴 추정식에 의해 평가된 강도는 설계기준강도의 100%이상을 만족하면 적정한 것으로 판단함(일본 국토개발기술연구센터)에 따라 전구간 강도가 설계강도에 100%이상으로 조사되어 상・하부구조의 콘크리트 강도는 양호한 것으로 판단된다.
- 따라서, 금회 시험을 실시한 동대구IC고가교 상부구조 및 하부구조에 대한 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하는 없는 것으로 판단된다.

【표 3.3.12】 비파괴강도 시험결과 분석

구 분	시험방법	평균강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
상부 구조	반발경도법	27.6～28.5	27.0	102.2～105.6
	초음파속도법	27.8～30.0		103.3～106.3
하부 구조	반발경도법	24.4～25.5	24.0	101.7～106.3
	초음파속도법	24.9～26.3		103.8～109.6

② 기 정밀점검 결과와의 비교

【표 3.3.13】 비파괴강도 기 정밀점검 결과와의 비교

구 분		'13년 정밀점검	금회 정밀안전진단	설계기준강도
반발경도법	상부구조	27.5～28.3	27.6～28.5	27.0
	하부구조	24.4～25.8	24.4～25.5	24.0
검토의견		■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물에 강도저하는 없는 것으로 판단됨		

2) 철근탐사시험

철근탐사기(RC-Radar)를 이용한 철근탐사시험은 총 14개소(상부구조 7개소, 하부구조 7개소)에서 실시하였으며, 철근탐사시험 결과, 측정된 배근간격 및 피복두께는 미소한 차이는 있으나 전반적으로 설계도면과 근사한 것으로 확인되었다.

① 철근탐사 시험결과

【표 3.3.14】 철근탐사 시험결과

시험위치		철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부 구조	S1(A1) 바닥판하면	주철근	123.0	41.0	120.0	40.0	
		배력철근	121.0	41.0	125.0	40.0	
	S1(A2) 바닥판하면	주철근	120.0	41.0	120.0	40.0	
		배력철근	127.0	44.0	125.0	40.0	
	S2 바닥판하면	주철근	125.0	41.0	120.0	40.0	
		배력철근	123.0	41.0	125.0	40.0	

【표 3.3.14】 철근탐사 시험결과(계속)

시험위치		철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	S3 바닥판하면	주철근	123.0	41.0	120.0	40.0	
		배력철근	127.0	44.0	125.0	40.0	
	S4 바닥판하면	주철근	121.0	41.0	120.0	40.0	
		배력철근	123.0	44.0	125.0	40.0	
	S5 바닥판하면	주철근	123.0	41.0	120.0	40.0	
		배력철근	127.0	45.0	125.0	40.0	
	S6 바닥판하면	주철근	130.0	45.0	120.0	40.0	
		배력철근	130.0	44.0	125.0	40.0	
하부구조	A1 구체	수직철근	255.0	105.0	250.0	100.0	
		수평철근	153.0	100.0	150.0	100.0	
	P1 기둥부	수직철근	130.0	105.0	125.0	100.0	
		수평철근	160.0	105.0	150.0	100.0	
	P2 기둥부	수직철근	125.0	96.0	125.0	100.0	
		수평철근	155.0	100.0	150.0	100.0	
	P3 기둥부	수직철근	125.0	105.0	125.0	100.0	
		수평철근	153.0	97.0	150.0	100.0	
	P4 기둥부	수직철근	127.0	105.0	125.0	100.0	
		수평철근	150.0	96.0	150.0	100.0	
	P5 기둥부	수직철근	127.0	103.0	125.0	100.0	
		수평철근	153.0	98.0	150.0	100.0	
	A2 구체	수직철근	255.0	105.0	250.0	100.0	
		수평철근	155.0	98.0	150.0	100.0	

3) 탄산화 깊이 측정

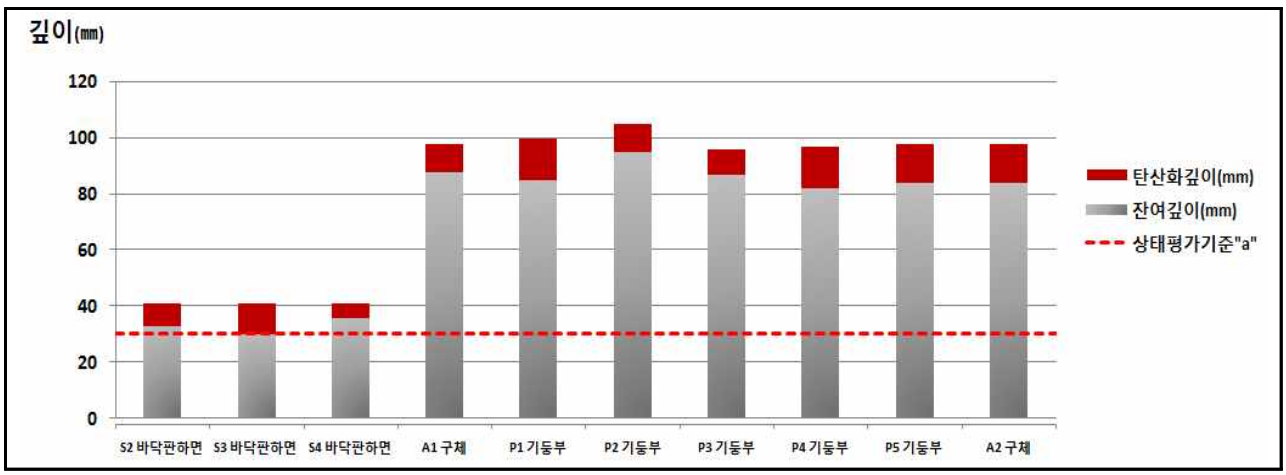
탄산화 깊이 측정은 총 10개소(상부구조 3개소, 하부구조 7개소)에서 실시하였다. 실측한 최소 피복두께와 탄산화 깊이를 비교한 결과, 전 개소의 탄산화 잔여깊이가 30.0㎜ 이상을 초과한 상태로 측정되어 상태평가 “a” 로 평가되었다.

또한, 철근까지의 탄산화 도달시간은 시험개소 모두 100년 이상으로 측정되어 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성이 없는 양호한 상태로 분석되었다.

① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.3.15】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	실측 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
상부 구조	S2 바닥판하면	8.0	41.0	33.0	a	2.53	252	
	S3 바닥판하면	11.0	41.0	30.0	a	3.48	128	
	S4 바닥판하면	5.0	41.0	36.0	a	1.58	662	
하부 구조	A1 구체	10.0	98.0	88.0	a	3.16	950	
	P1 기둥부	15.0	100.0	85.0	a	4.74	434	
	P2 기둥부	10.0	105.0	95.0	a	3.16	1,092	
	P3 기둥부	9.0	96.0	87.0	a	2.85	1,127	
	P4 기둥부	15.0	97.0	82.0	a	4.43	460	
	P5 기둥부	14.0	96.0	84.0	a	4.43	480	
	A2 구체	14.0	98.0	84.0	a	4.43	480	



【그림 3.3.12】 탄산화 깊이 측정결과

② 기 정밀점검 결과와의 비교

【표 3.3.16】 탄산화 깊이 기 정밀점검 결과와의 비교

구 분		'13년 정밀점검	금회 정밀안전진단	비 고
탄산화 진행깊이 (㎜)	상부구조	3~7	5~11	측정위치에 따른 편차.
	하부구조	8~12	9~15	
검토의견		■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단됨		

4) 염화물함유량 시험

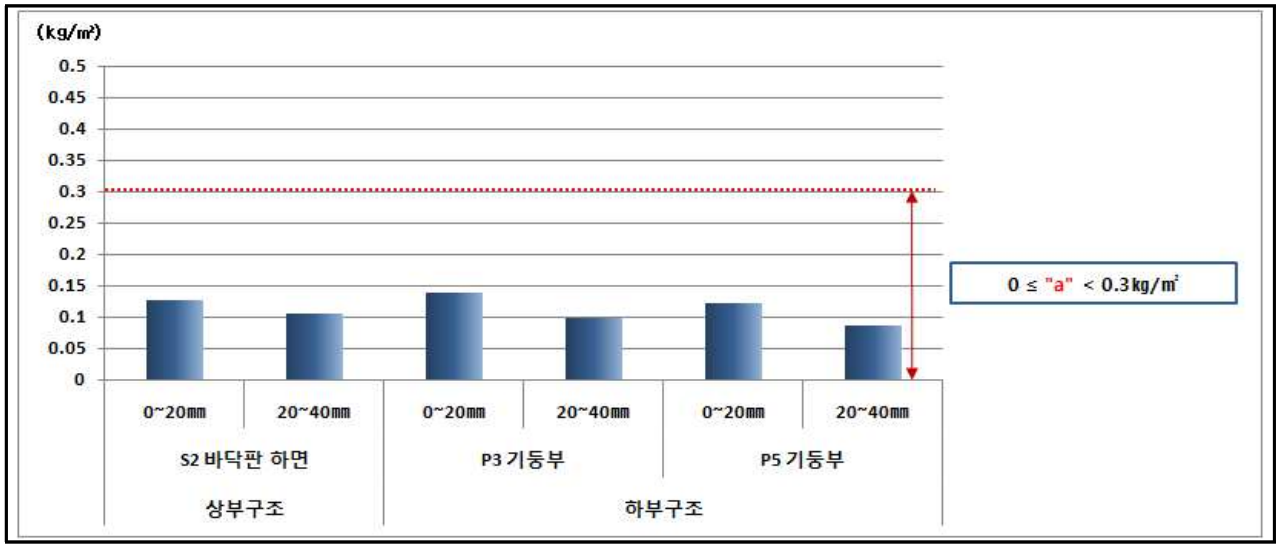
염화물함유량 시험은 총 3개소(상부구조 1개소, 하부구조 2개소)에서 깊이별 시험을 실시하였으며, 바닥판하면 및 하부구조는 “a”로 평가되어 염화물에 의한 부식이 발생할 우려가 없다고 평가되었다.

① 염화물 함유량 시험결과

【표 3.3.17】 염화물 함유량 시험결과 및 평가

시험위치			실측 피복두께 (㎜)	염화물 함유량		평가 결과	비 고
				Cl^-(%)	Cl^-(kg/㎥)		
상부 구조	S2 바닥판하면	0~20㎜	41.0	0.0056	0.127	a	
		20~40㎜		0.0046	0.104	a	
하부 구조	P3 기둥부	0~20㎜	96.0	0.0061	0.138	a	
		20~40㎜		0.0043	0.097	a	
	P5 기둥부	0~20㎜	96.0	0.0054	0.122	a	
		20~40㎜		0.0038	0.086	a	

※ 콘크리트 환산 염화물 함유량(kg/㎥) = 전 염화물 함유량(Cl^-)% / 100 × 콘크리트 단위중량(2,263kg/㎥)



【그림 3.3.13】 염화물시험 측정결과

3.4 강재 내구성조사

3.4.1 개 요

가. 개 요

공용 중 교량에 있어서 강재 비파괴조사는 강구조의 주요 부재에 대한 제작상태 및 결함의 분포 현황을 조사하고, 그 결과를 분석하여 교량 전체의 내구성평가에 요구되는 기초자료를 제공하기 위하여 실시한다.

나. 조사 현황 및 위치

1) 조사 현황 및 선정사유

본 과업에서 강재 비파괴조사를 위해 초음파탐상시험(UT)을 실시하였다. 본 교량의 초음파탐상시험은 강재 비파괴시험에 앞서 강재 용접부에 대한 외관조사 결과를 토대로 용접결함 및 결함 의심부위가 없는 경우 타부위에 비해 구조적 취약부위인 맞대기용접부에 대해서 시험을 실시하도록 되어 있다.(과업지시서와『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침_교량편(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』참조)

동대구IC고가교는 약 10년 정도의 공용기간이 경과한 상태로 현재 강재 용접부에 문제가 될 만한 용접결함이 없는 양호한 상태로 조사되어 상기 언급한 과업지시서 및 세부지침에 따라 책임기술자의 판단하에 필렛용접구간의 시험은 실시하지 않았으며, 인장 및 교번구간의 맞대기이음부에 대해서 초음파탐상시험을 실시하였다. 각 부재별 강재 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3.4.1】강재 비파괴시험 현황

조사위치		초음파탐상시험	비고
S1	G1	2	
	G2	2	
S2	G1	2	
	G2	2	
S3	G1	2	
	G2	2	
S4	G1	2	
	G2	2	
S5	G1	2	
	G2	2	
S6	G1	2	
	G2	2	
합 계		24	
세부지침 기준수량		24	

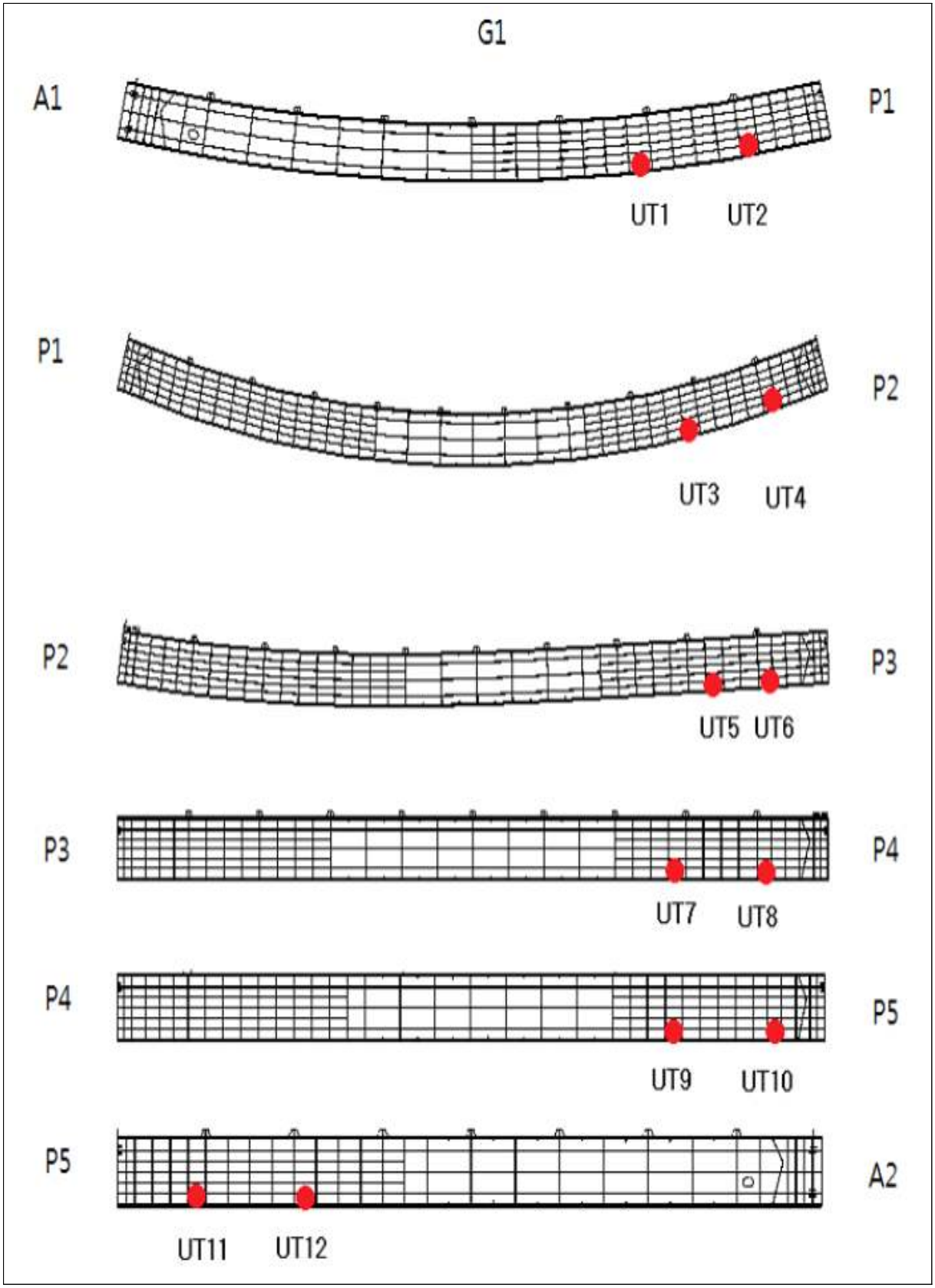
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 상 기준수량(강재 초음파탐상시험) : 2개소/경간별 거더(맞대기 용접부)

2) 조사 사진

초음파 탐상 검사	초음파 탐상 검사
초음파 탐상 검사	초음파 탐상 검사

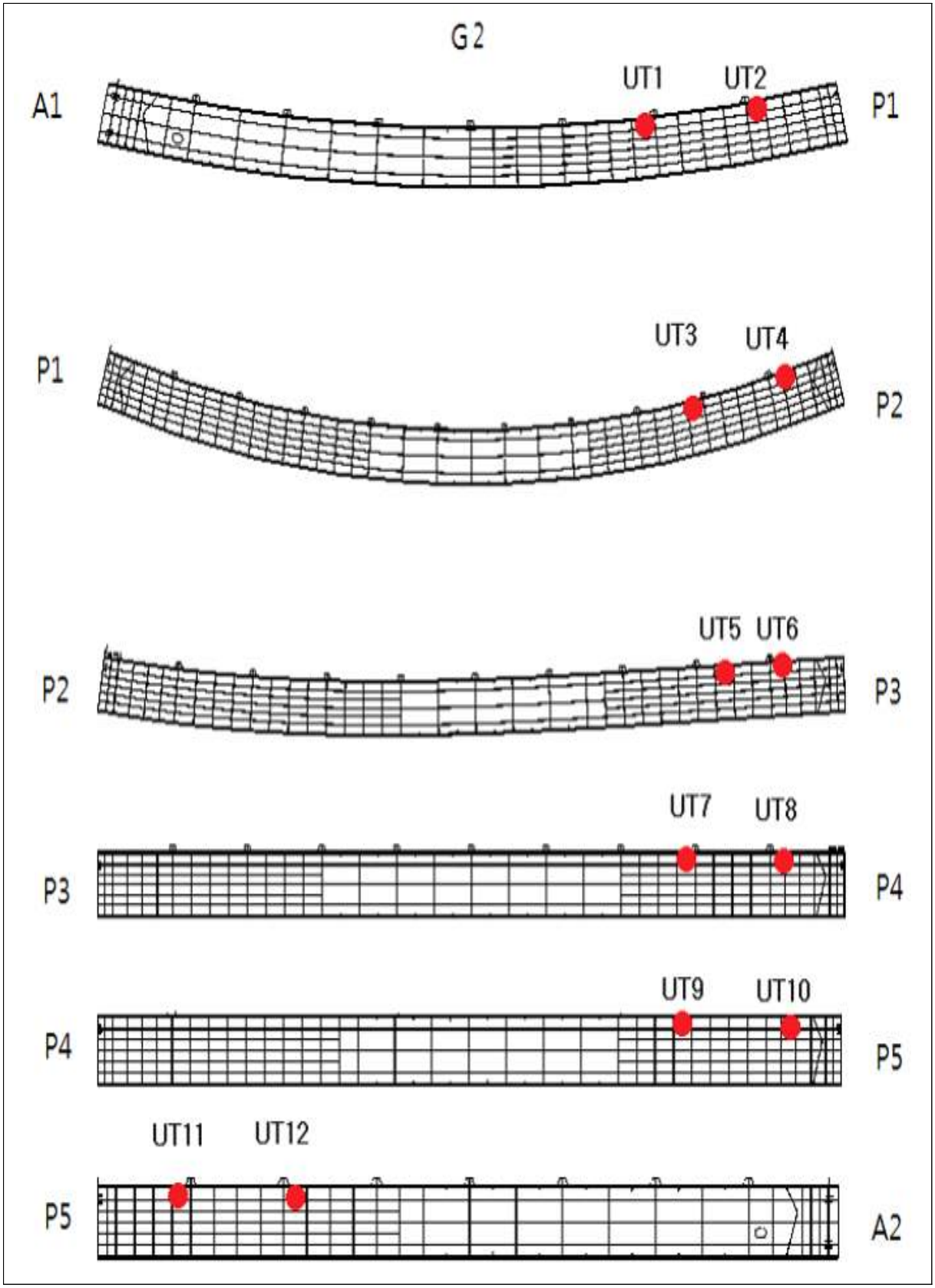
【사진 3.4.1】 강재 내구성조사 전경

3) 강재 내구성조사 위치도(G1)



【그림 3.4.1】 강재 내구성조사 위치도(G1)

4) 강재 내구성조사 위치도(G2)



【그림 3.4.2】 강재 내구성조사 위치도(G2)

3.4.2 시험내용 및 평가기준

가. 초음파탐상시험(UT : Ultrasonic Testing)

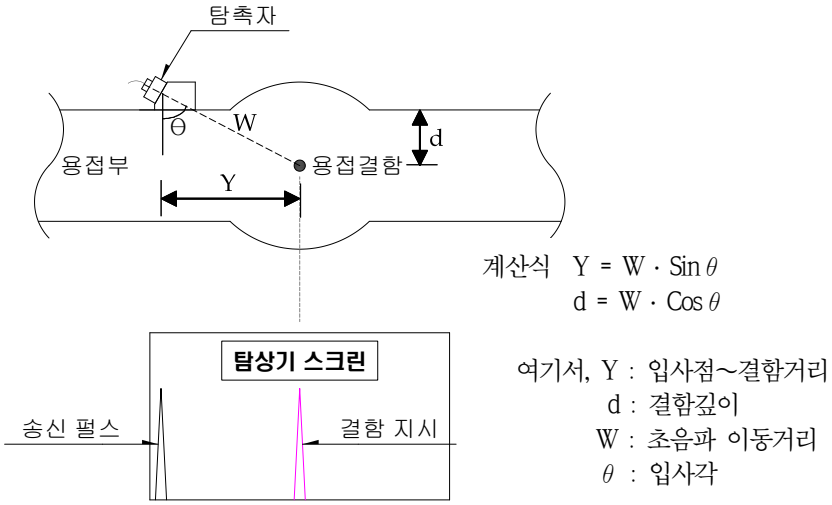
1) 개 요

가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20,000㎐이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행경로 상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린 상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재 여부 및 결함 정보를 알아내는 검사방법이다.

초음파의 종류는 크게 수직법과 사각법으로 대별되며, 수직법은 탐촉자를 시험체에 접촉하여 시험체에 수직으로 초음파를 전파시켜 검사하는 방법으로 통상적으로 판재 및 봉재, 주·단강품 결함 검사와 부재의 부식두께 측정 등에 이용되며, 사각법은 시험체에 임의의 일정각으로 초음파를 전파시켜 검사하는 방법으로 주로 강구조물 용접부 검사에 적용된다.

2) 방법(사각법)

일반적으로 강교 용접부의 사각탐상에서는 주로 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량, 용입부족 등의 결함과 균열에 대한 조사가 실시되고 있으며, 각각의 결함부로부터 반사한 에코파형의 펄스형태(펄스폭&높이), 반사체(결함)까지의 진행거리, 초음파 입사각도, 에코의 반사패턴 등을 종합적으로 분석하여 결함의 입체적인 위치를 산출하고 결함종류 및 길이 등을 측정한다.



【그림 3.4.3】 초음파탐상(사각법)시험 개요도

3) 특 성

① 시험체가 두꺼워도 검사가 가능하다.

② 불연속의 위치를 정확히 알 수 있다.

③ 검사 결과를 바로 알 수 있다.

④ 균열 등의 면상 결함의 검출에는 방사선투과검사보다 유리하다.

⑤ 시험체 한 면에서의 탐상이 가능하다.

⑥ 결함의 종류 및 형상, 크기를 식별하기 어렵다.

⑦ 금속 조직의 영향을 많이 받는다.

⑧ 검사자의 기량에 의해 검사 결과가 영향을 받는다.

⑨ 검사 결과의 기록 보존이 어렵다.

4) 평가기준

초음파탐상검사 방법 및 결함지시에 대한 등급 분류는 아래 표와 같다.

【표 3.4.2】 결함의 등급 분류

영 역	M검출 레벨은 Ⅲ L검출 레벨은 Ⅱ와 Ⅲ			Ⅳ		
판두께(㎜) / 등급	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과
1급	6㎜ 이하	t/3 이하	20㎜ 이하	4㎜ 이하	t/4 이하	15㎜ 이하
2급	9㎜ 이하	t/2 이하	30㎜ 이하	6㎜ 이하	t/3 이하	20㎜ 이하
3급	18㎜ 이하	t 이하	60㎜ 이하	9㎜ 이하	t/2 이하	30㎜ 이하
4급	3급을 초과하는 것					

※ 강도로교 용접 및 도장요령(1998, 국토교통부) 참조
※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(2006. 12, 한국시설안전기술공단) 참조

5) 합·부 판정기준

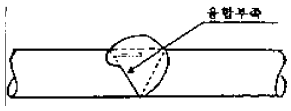
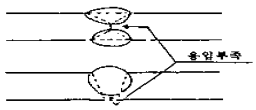
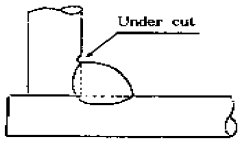
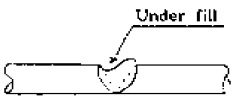
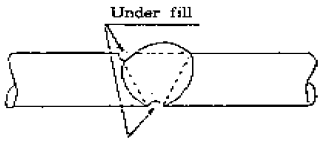
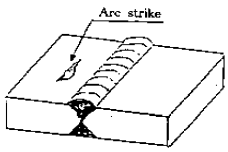
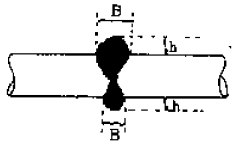
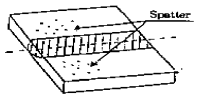
강도로교 용접 및 도장요령(1998, 국토교통부)에 의거하여 합·부를 판정하였다.

【표 3.4.3】 용접부 결함의 합·부 판정기준

검 사 부 위	합 격 기 준	비 고
인장 및 교번하중이 작용하는 부재의 용접부	2급 이상	KS-B-0896
압축 및 전단응력이 작용하는 부재의 용접부	3급 이상	

3.4.3 용접부에 발생하는 대표적인 결함

【표 3.4.4】 용접부에 발생하는 대표적인 결함

결 함 내 용	설 명	비 고
• 균열 Crack	• 용접부의 작은 단면에 걸리는 하중이 금속의 응력값을 초과할 때 발생함. 균열은 모재 또는 용접금속에서도 나타나며 다른 결함, Notch 등과 함께 나타나기도 함	
• 융합부족(LF) Lack of fusion	• 그림과 같이 용접금속과 모재 사이가 완전하게 융합이 되지 아니한 상태	
• 용입부족(IP) Incomplete Penetration	• 그림과 같이 용융금속의 두께가 모재두께 보다 적게 용입이 이루어진 상태	
• 언더 컷 Under cut	• 용접사 기량 또는 용접조건 불량 등의 원인에 의하여 그림과 같이 움푹 패인 형상으로, 도로교 표준시방서 15.3.3의 (12)에 의하면 0.3~0.8㎜ 까지 허용됨	
• 언더 필 Under fill	• 용융금속이 덜 채워진 형상 	
• 아크 스트라이크 Arc strike	• 용접을 시작할 때 용접봉을 모재쪽에 대고 Arc를 발생시킴으로 인하여 모재가 움푹 패인 현상으로 응력집중의 원인이 됨	
• 기공 Porosity	• 이물질이나 수분에 의해 용접부 내부에 가스가 발생되어 용접금속 외부로 빠져 나오지 못하고 내부에서 기포를 형성한 상태	
• 블로 홀 Blow hole (Pit)	• 이물질이나 수분에 의해 발생된 가스가 용접비드 표면에 빠져 나오면서 발생된 작은 구멍	
• 용접Bead 상태불량 -과대한 용접 덧붙임 -Bead 표면의 과대한 요철	• 도·시(표 15.3.7)에 의하면 용접 Bead 폭 B에 따라 용접 덧붙임 높이 h값이 규정되어 있으며, 이 규정을 초과하는 덧붙임, 용접 Bead 표면의 과대한 요철 등이 발생	
• 스패터 Spatter	• 용접 시 용융 Pool로부터 모재쪽으로 튀겨 나온 조그마한 금속 알갱이	
• 슬래그 혼입 Slag Inclusion	• 용접봉 피복 등이 용접금속 내에 혼입된 상태. 용접 내부의 슬래그는 강도를 저하시키며, 표면의 슬래그는 도장박리의 원인이 됨	

3.4.4 시험결과 및 분석

가. 동대구IC고가교

1) 초음파탐상시험

초음파탐상시험으로 강박스 거더의 맞대기 용접부에 대해 용접상태를 검사한 결과, 전 개소에서 균열, 기공, 슬래그 및 용입부족 등의 내부결함이 없는 1등급(합격)으로 조사되었다.

【표 3.4.5】 초음파탐상(UT) 시험결과

시험위치			시험개소	결함등급	합격여부		결함발생 현황	비 고
					합격	불합격		
G1	S1	UT1	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT2	1	1급	1	-	결함사항없음	
	S2	UT3	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT4	1	1급	1	-	결함사항없음	
	S3	UT5	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT6	1	1급	1	-	결함사항없음	
	S4	UT7	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT8	1	1급	1	-	결함사항없음	
	S5	UT9	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT10	1	1급	1	-	결함사항없음	
	S6	UT11	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT12	1	1급	1	-	결함사항없음	
G2	S1	UT1	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT2	1	1급	1	-	결함사항없음	
	S2	UT3	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT4	1	1급	1	-	결함사항없음	
	S3	UT5	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT6	1	1급	1	-	결함사항없음	
	S4	UT7	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT8	1	1급	1	-	결함사항없음	
	S5	UT9	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT10	1	1급	1	-	결함사항없음	
	S6	UT11	1	1급	1	-	결함사항없음	
		UT12	1	1급	1	-	결함사항없음	
주) 합격기준 : 2급 이상(인장 및 교번하중 작용부재), 3급 이상(압축 및 전단응력 작용부재)								

3.5 현장조사 및 시험 결과요약

3.5.1 외관조사 결과 요약

가. 동대구IC고가교

1) 금회 진단 외관조사 결과 요약

【표 3.5.1】금회 진단 외관조사 결과 요약

구 분		주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판		• 전반적으로 구조적으로 손상이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었으나, 바닥판 하면 횡균열(폭 0.3㎜ 미만)과 망상균열이 조사됨 • 캔틸레버 측면(방호벽 접합부)에 백태 발생함	• 대부분 미세균열(폭 0.3㎜ 미만)로 깊이가 얕은 표면균열 형태를 띄고 있고, 균열의 형상, 방향성, 발생위치 등을 고려해 볼 때 구조적인 안전성에는 문제가 없으나 내구성 확보를 위한 보수 및 지속적인 주의관찰이 필요함 • 내부결함은 없으나 우수유입이 지속될 경우 손상의 진전이 우려되므로 보수 필요함
거더	내부	• 도장손상 및 부식	• 현장이음부를 통한 우수유입과 불균일한 도막두께 등 환경적·시공적 원인에 의한 것으로 안전성에는 문제가 없으나 내구성 확보를 위한 도장보수 필요함
	외부	• 전반적으로 양호한 상태를 유지하고 있음	-
가로보 및 세로보		• 전반적으로 양호한 상태를 유지하고 있음	-
교대		• 폭 0.3㎜ 미만 균열, 망상균열, 실란트 파손 • 우수유입 흔적	• 구조물의 안전성에는 문제가 없으나 내구성 확보 차원의 보수 필요함 • 주로 신축이음부를 통한 우수유입이 주원인으로 체수 시 콘크리트 열화 및 강재 부식을 유발하므로 신축이음부 유도배수관과 연계하여 보수 필요함
교각		• 폭 0.3㎜ 미만 균열 • 그 외 국부적인 들뜸 발생	• 균열의 형상, 방향성, 발생 위치 등을 고려해 볼 때 콘크리트 재료적 특성인 시공초기 건조수축에 의해 발생된 균열로 안전성에는 문제가 없으나 내구성 확보차원의 보수 필요함 • 경미한 단면결함이나 보수하는 것이 바람직함
교량받침		• 무수축몰탈에 발생한 폭 0.3㎜ 미만의 균열	• 공용년수 경과에 의한 노후화로 인해 발생된 균열로서 내구성 확보를 위한 보수 필요함
신축이음		• 신장 시 유간여유량 부족(최대 6.9㎜) • 후타재 파손 • 본체 부식	• 여유량 부족에 의해 후타재 파손이 발생된 것으로 유간확보를 위한 조치 필요함 • 동절기 제설작업과 노면수의 체수 등에 의해 손상의 진전이 우려되므로 내구성 확보를 위한 보수 필요함
교면포장		• 전반적으로 양호한 상태를 유지하고 있음	-
배수시설		• 전반적으로 양호한 상태를 유지하고 있음	-
난간 (방호벽)		• 폭 0.3㎚이하의 균열, 균열부백태, 철근부식 • 방음벽 프레임 변형, 충진재 탈락	• 교량의 안전성에 영향이 없는 부재이나 내구성 및 미관 확보를 위한 보수 필요함 • 방음벽의 사용성 및 기능 유지를 위해 보수 필요함

2) 기 점검(2013년) 결과와의 비교

구 분	2013년 점검결과	금회 진단결과	비 고
바닥판	• 기 발생된 손상에 대해 전반적으로 보수를 실시하였으며 횡방향 균열이 일부 조사됨	• 기존 보수부의 상태는 양호하며 금회 조사된 균열은 추가로 조사된 균열로 전회 대비 손상은 다소 증가됨	
거더, 가로보 및 세로보	• 기 발생된 손상에 대해 전반적으로 보수를 실시하였으며 국부적인 도장 손상이 일부 조사됨	• 대부분 기 발생된 손상의 진전이나 추가 발생된 손상은 없는 상태이나 소규모의 도장손상과 우수유입이 추가로 조사됨	
하부구조	• 기 발생된 손상에 대해 전반적으로 보수를 실시하였으며 폭 0.3㎜ 미만 균열과 들뜸, 실란트 파손이 조사됨	• 일부 균열에 대해 보수가 실시되었으며 금회 조사된 균열은 미보수 및 추가로 조사된 균열로 전회 대비 손상은 다소 감소됨	
교량받침	• 무수축 몰탈 균열	• 기 발생된 손상에 대해 보수를 실시하였으며 금회 조사된 균열은 추가로 조사된 균열임	
신축이음	• 후타재 균열, 파손 발생	• 후타재 균열과 파손에 대해 보수를 실시하였으며 금회 본체 부식과 후타재 파손이 조사됨	
교면포장	• 양호	• 추가 발생된 손상 없음	
기타부재	• 배수시설 : 양호 • 방호벽 : 균열폭 0.3㎜이하 균열, 백태, 방음벽 변형	• 배수시설 : 양호 • 방호벽 : 기 발생된 손상의 진전은 없는 상태이나 대부분의 손상이 추가로 조사됨	
검토의견	• 기 점검(2013년)결과 발생된 손상 중 하부구조와 교량받침, 신축이음에 발생된 손상은 보수가 이루어진 것으로 확인되었으며 보수상태도 양호하나 미보수된 손상과 금회 상세조사를 통한 추가적인 손상이 확인됨 • 또한, 콘크리트 부재인 바닥판과 방호벽, 지속적으로 차량의 윤하중을 받는 부재인 신축이음장치에서 손상이 증가된 것으로 확인됨		

3.5.2 내구성조사 결과요약

가. 동대구IC고가교

1) 금회 진단 내구성조사 결과요약

【표 3.5.2】금회 진단 내구성조사 결과요약

시 험 명	시험부위		시험 결과	비 고
비파괴 강도 (㎫)	상부구조	반발경도	27.6～28.5	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨
		초음파	27.8～30.0	
	하부구조	반발경도	24.4～25.5	
		초음파	24.9～26.3	
철근탐사 (㎜)	바닥판하면	배근간격	120.0～130.0	■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계값과 근사함
		피복두께	41.0～45.0	
	교대 (구체부)	배근간격	153.0～255.0	
		피복두께	98.0～105.0	
	교각 (기둥부)	배근간격	125.0～160.0	
		피복두께	96.0～105.0	
탄산화 잔여깊이 (㎜)	상부구조		30.0～36.0	■ 잔여깊이가 30㎜이상 'a등급' 으로 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨
	하부구조		82.0～95.0	
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	상부구조		0.104～0.127	■ 염화물 함유량은 0.3kg/㎥ 이하로 확인되어 철근의 부식환경은 없는 상태로 확인됨
	하부구조		0.086～0.138	
초음파 탐상시험 (개소)	거더 내부		1등급: 24개소	■ 전 개소에서 균열, 기공, 슬래그, 용입부족 등의 내부 결함이 없는1등급(합격)으로 조사됨
종합 평가	• 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도 대비 100%이상으로 조사되었으며, 공용년수 경과에 따른 구조물의 강도저하는 없는 것으로 판단됨 • 탄산화 깊이 측정결과, 전 개소에서 상태평가 "a" 로 검토되어 현 상태에서는 탄산화에 의한 철근부식의 우려가 없는 상태로 판단됨 • 염화물함유량 시험결과, 철근의 부식환경은 없는 상태로 확인되어 염화물에 의한 철근부식 영향은 없을 것으로 판단됨 • 초음파탐상 시험결과, 전 개소에서 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 판단됨			

2) 기 점검(2013년 정밀점검) 결과 비교

【표 3.5.3】 내구성조사 기 점검(2013년 정밀점검) 결과 비교

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
			'13년 정밀점검	금회 정밀안전진단	
비파괴 강도 (MPa)	상부구조	반발경도	27.5~28.3	27.6~28.5	■ 설계기준강도 대비 100% 이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨
	하부구조	반발경도	24.4~25.8	24.4~25.5	
탄산화 잔여깊이 (mm)	상부 구조		33.0~37.0	30.0~36.0	■ 잔여깊이가 30㎜이상 'a 등급' 으로 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨
	하부 구조		88.0~92.0	82.0~95.0	
종합 평가	• 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도 대비 100%이상으로 조사되었으며, 기 점검과의 비교·분석 결과, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨 • 탄산화 깊이 측정결과, 전 개소에서 상태평가 "a" 로 검토되어 현 상태에서는 탄산화에 의한 철근부식의 우려가 없는 상태로 판단됨 • 기 정밀점검 결과와 비교할 때 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 콘크리트 내구성저하는 거의 없는 상태이며, 탄산화에 의한 철근부식의 우려가 없는 상태로 판단됨				