

18. 남고양교

- 18.1 시설물 개요
- 18.2 자료수집 및 분석
- 18.3 현장조사
- 18.4 콘크리트 내구성조사
- 18.5 상태평가
- 18.6 종합평가 및 안전등급 지정
- 18.7 보수·보강 및 유지관리 방안
- 18.8 종합결론

18. 남고양교

18.1 시설물의 개요

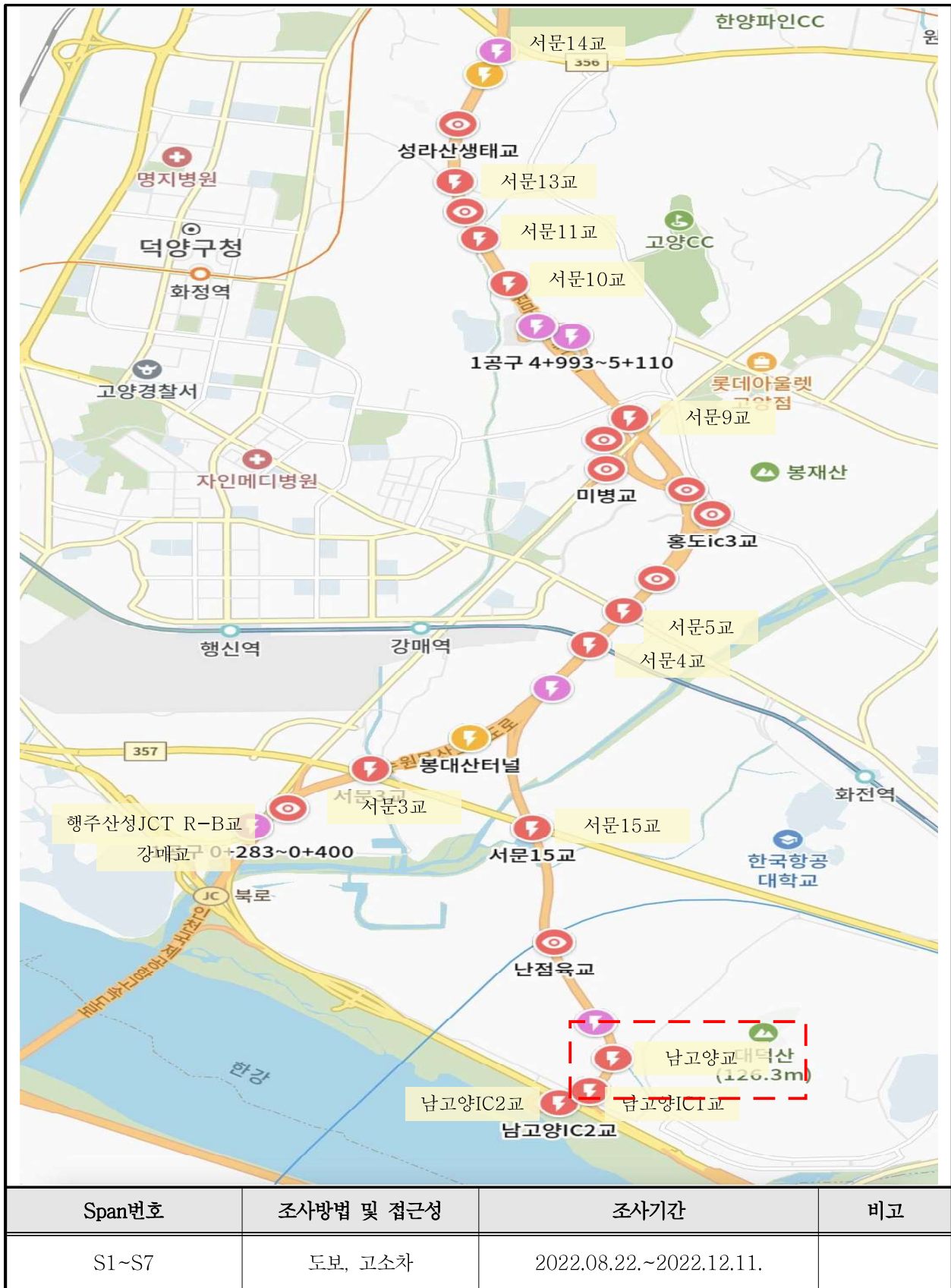
본 시설물은 경기도 고양시 덕양구 대덕로 426 (현천동)에 위치한 교량으로 총 연장 390.0m, 폭 25.0m로 시공되어 있다.

18.1.1 일반사항

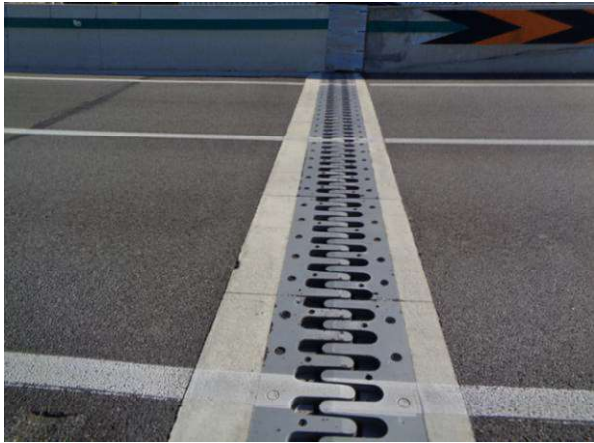
【표 18.1.1】 남고양교 일반사항

구 분		내 용	구 분	내 용	
시설물번호		BR2020-0000233	관리번호	-	
시설물위치		경기도 고양시 덕양구 대덕로 426 (현천동)	준공년월일	2020. 11. 06	
시점이정		-	노 선 명	고속국도 17호선	
제원	연장	L=390.0m (40+4@60+65+45=390m)			
	폭	B=25.0m, 4차로			
구조 형식	상부	Steel Box	기초 형식	교 대	강관말뚝기초
	하부	교대: 역T형, 교각: π 형		교 각	현장타설말뚝
교량받침		고무받침(변진받침)	신축이음	강평거쥔인트	
교차시설물		-	통과높이	-	
부착시설내용		-	설계하중	DB-24/DL-24	
시 공 자		지에스건설(주)	설 계 자	(주)다산건설턴트	
감 리 자		(주)동일기술공사	관리주체	서울문산고속도로주식회사	
					
측면 전경			상부 전경		

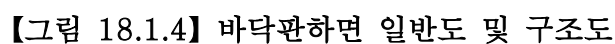
18.1.2 위치도 및 전경사진

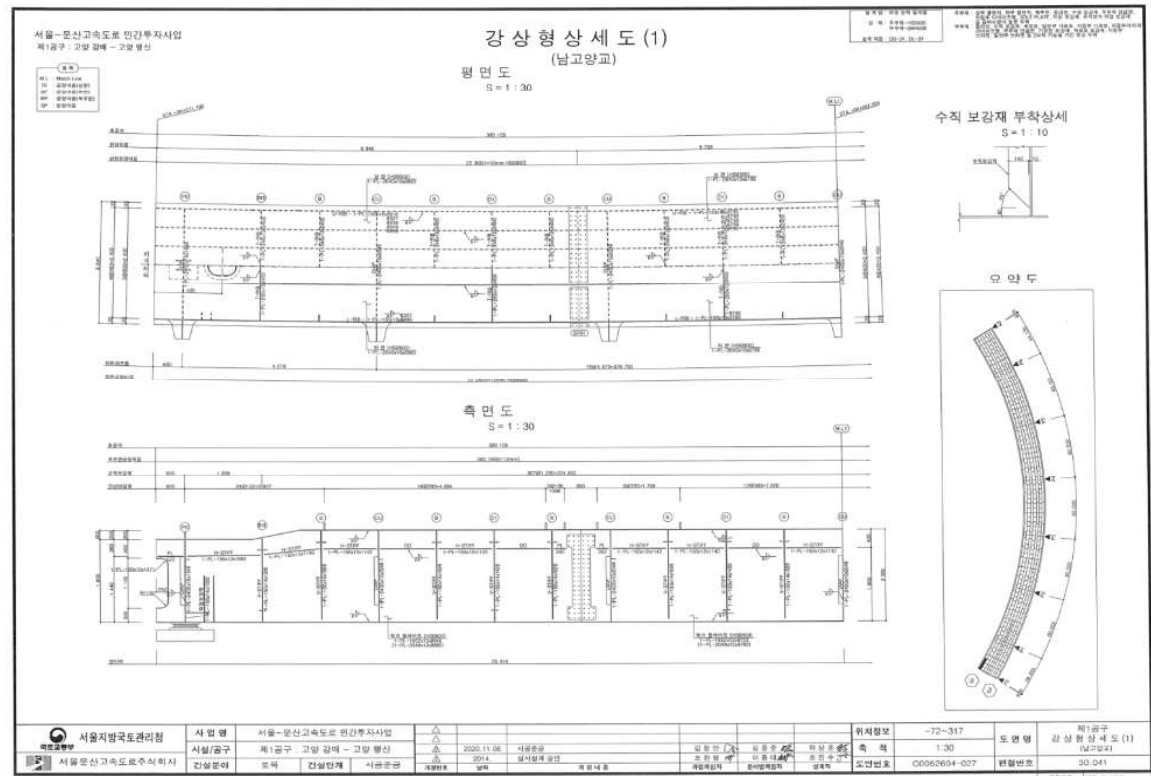
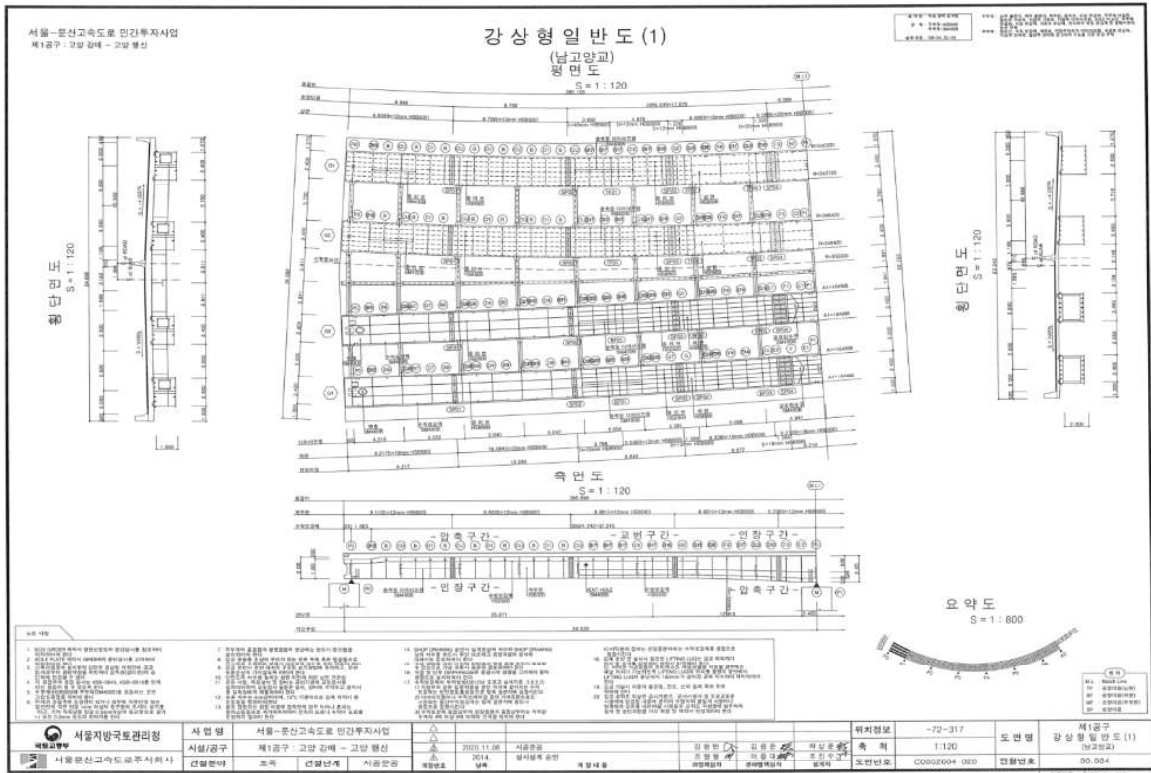


【그림 18.1.1】 위치도

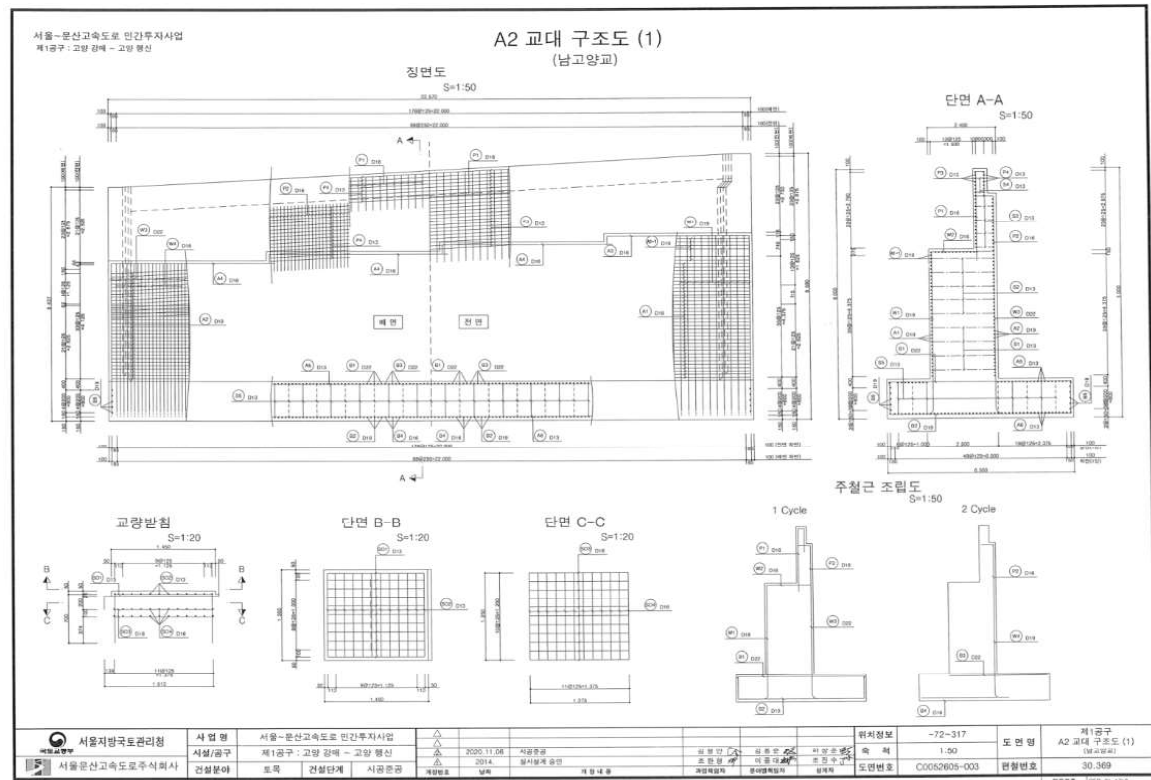
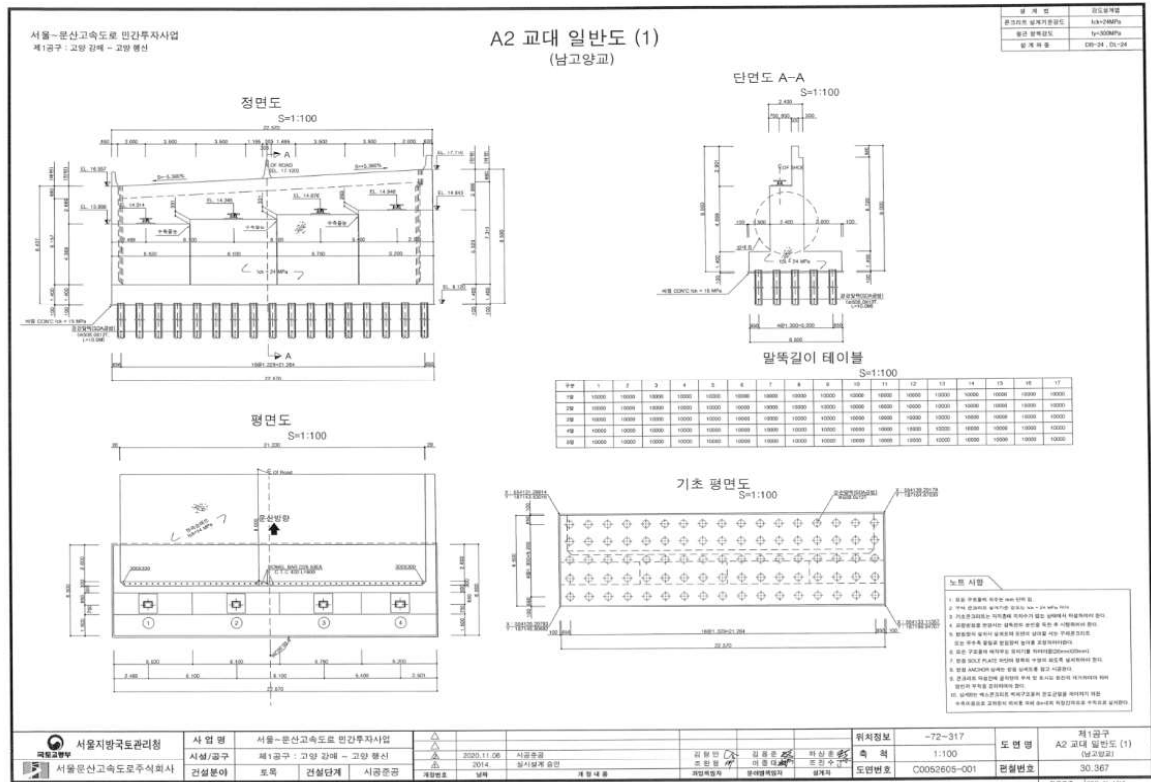
	
교면포장 전경	신축이음 전경
	
거더 전경	바닥판하면 전경
	
교대 전경	교각 전경

【그림 18.1.2】 부재별 현황

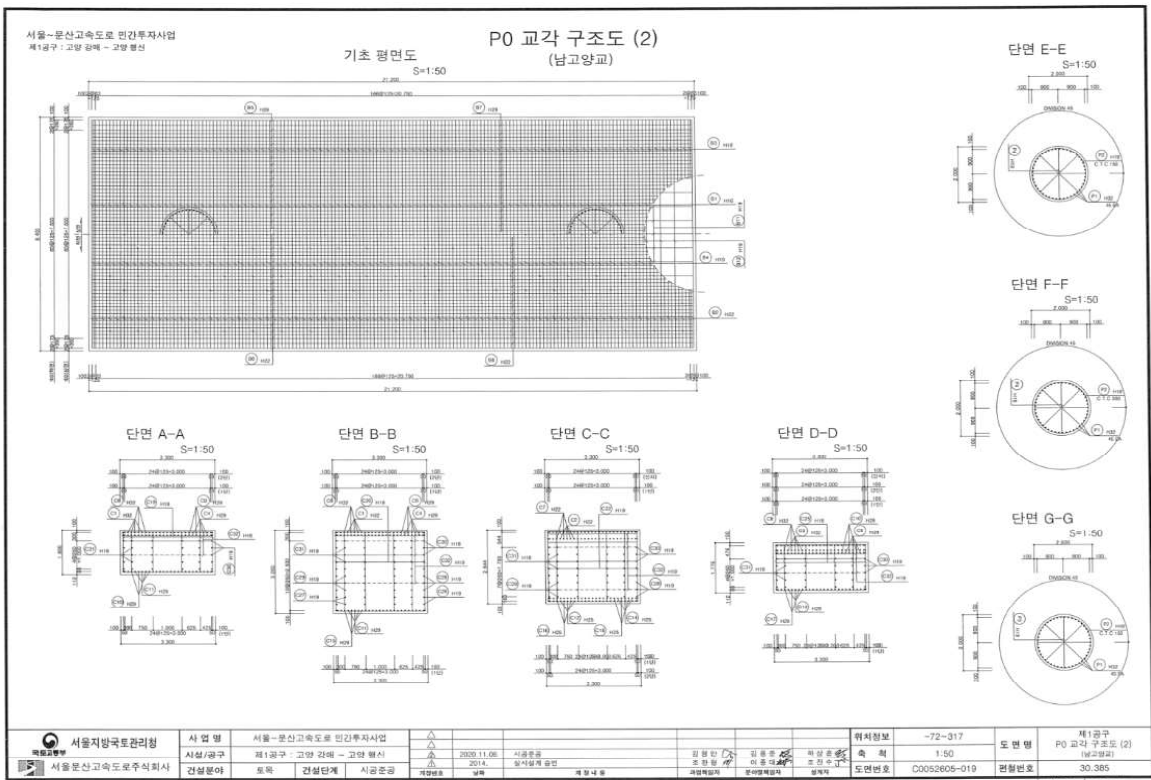
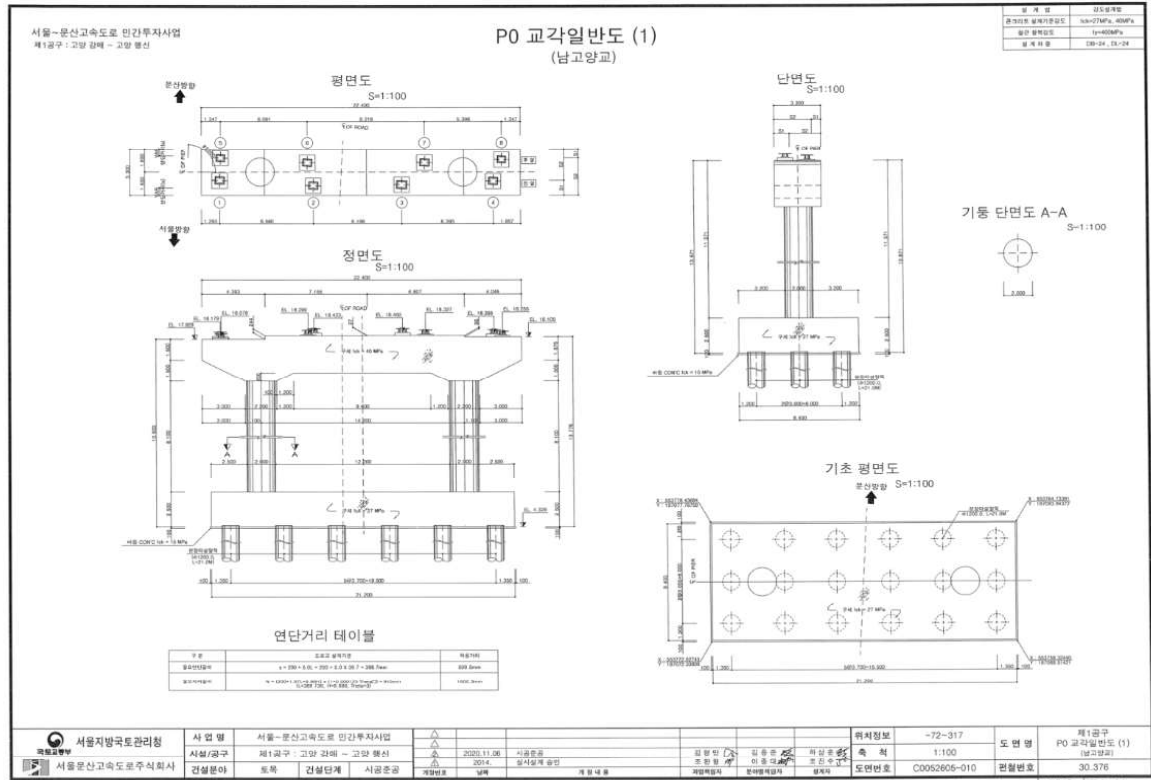




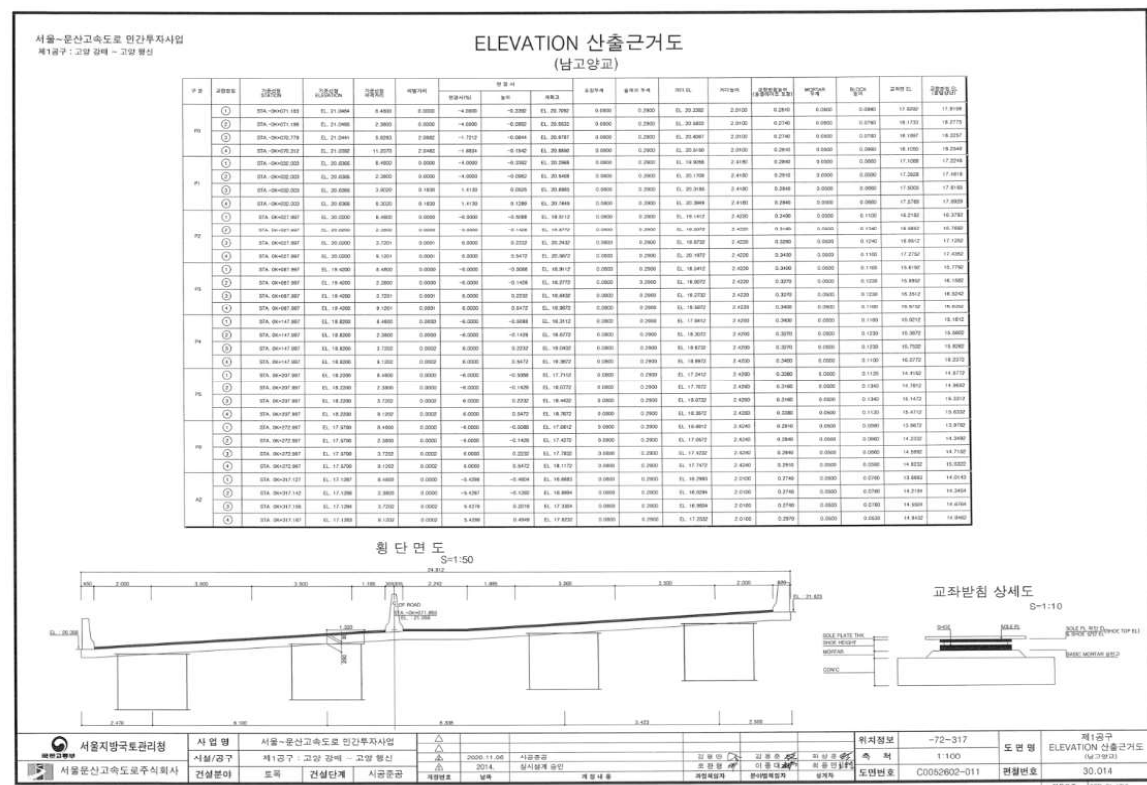
【그림 18.1.5】 강상형 일반도 및 상세도



【그림 18.1.6】 교대 일반도 및 구조도



【그림 18.1.7】 교각 일반도 및 구조도



【그림 18.1.8】 교량받침 배치도

가. 지형 및 지질

[illegible]

제4편 성과분석 및 설계지반정수

2.6.2 수리 지반특성 분석

계	요
•	문헌 및 기존사료에 의한 투수계수의 범위를 분석하고, 현장시험을 통한 투수계수 산정

○ 문헌자료

구분	투수계수(cm/s)	토질	투수계수(cm/s)	일반의 상태	특	정	투수계수(cm/s)
GW	1.0×10^{-2} 이하	SC	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-6}$	균일 간격이 매우 좁은 상태	높은 투수성	일반	$1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^2$
GP	1.0×10^{-2} 이하	ML	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-3}$				
GM	$1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-3}$	CL	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-6}$	균일 간격이 보통인 상태	보통 투수성	일반	$1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-2}$
GC	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-6}$	OL	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-4}$				
SW	1.0×10^{-2} 이하	MH	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-4}$	균일 간격이 매우 넓은 상태	약간 투수성	일반	$1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-3}$
SP	1.0×10^{-2} 이하	CH	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-6}$				
SM	$1.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	OH	$1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-4}$	균일 간격이 있음	물투수성	일반	1.0×10^{-3} 이상

○ 현장시험에 의한 투수계수(cm/s) 산정 결과

구분	분류	시험결과	지
배달층	전도	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	5.4×10^{-4}
	모래	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	1.2×10^{-2}
	자갈	1.0×10^{-2} 이하	6.6×10^{-4}
회색층	모래	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	6.6×10^{-4}
	자갈	1.0×10^{-2} 이하	5.9×10^{-3}
점토층	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	$1.96 \times 10^{-4} \sim 3.08 \times 10^{-4}$
	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	4.53×10^{-5}
	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	$3.06 \times 10^{-4} \sim 4.76 \times 10^{-4}$
점토층	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	$1.28 \times 10^{-4} \sim 2.49 \times 10^{-4}$
	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	5.0×10^{-7}
	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	5.4×10^{-6}
점토층	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	$1.28 \times 10^{-4} \sim 2.49 \times 10^{-4}$
	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	1.8×10^{-6}
	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	3.9×10^{-4}
점토층	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	$1.28 \times 10^{-4} \sim 2.49 \times 10^{-4}$
	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	1.8×10^{-6}
	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	3.9×10^{-4}
점토층	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	$1.28 \times 10^{-4} \sim 2.49 \times 10^{-4}$
	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	1.8×10^{-6}
	점토	$1.0 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	3.9×10^{-4}

89

서울문산고속도로주식회사

SM 서울~문산고속도로 민간투자사업

2.7 설계지반정수 요약

2.7.1 토사 및 기반암의 설계지반정수

구분	단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	연장계수(MPa)	포아송비(v)	k(cm/s)
배달층	토사	18.0	15.0	28.0	—	—
	암석	20.0	0.0	35.0	—	—
	자갈	19.0	0.0	35.0	11.0	0.33
회색층	점토	17.0	15.0	0.0	6.0	0.50
	모래	18.0	0.0	30.0	10.0	0.35
	자갈	19.0	0.0	35.0	14.0	0.32
점토층	점토	17.5	22.0	28.0	45.0	0.33
	점토	20.0	30.0	31.0	150.0	0.30

2.7.2 파일구간 암반등급별 설계지반정수

구분	단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	연장계수(MPa)	포아송비(v)	k(cm/s)
I등급	27.0	4,200	44	18,000	0.21	5.0×10^{-7}
II등급	26.0	3,500	41	13,000	0.22	5.4×10^{-6}
III등급	25.0	2,000	37	4,000	0.24	1.9×10^{-6}
IV등급	24.0	800	34	1,000	0.25	3.9×10^{-6}
V등급	23.0	400	33	500	0.26	6.4×10^{-6}

2.7.3 불연속체 설계지반정수

구분	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
암	47.0	34.0

2.7.4 기타 설계지반정수

구분	V _s (m/s)	V _h (m/s)	G _d (MPa)	E _r (MPa)	K _s (MPa)	v _s
배달층	488	180	62	164	161	0.33
	645	200	68	190	317	0.40
	480	170	52	140	156	0.35
회색층	514	190	69	181	168	0.32
	952	382	268	713	699	0.33
	1,144	544	562	1,539	1,262	0.30
점토층	1,834	954	2,164	5,504	3,822	0.26
	2,246	1,235	3,813	9,456	6,062	0.24

국토교통부

90

제3편 지반조사 결과

제 3 장 물리탐사

S-2

5-2

경상북도

경상북도

구 분	단위(단위)	소정(백만톤)	소정(백만톤)
광산지역(10km²)	0.9	0.4-1.3	1.3
광산지역 외 유출지역(10km²)	3.18	0.82	0.8-4.09

※ 단, 광산지역 외 유출지역의 유출량은 2,250~4,090 t/년으로, 광산지역의 유출량은 850~1,250 t/년, 기안면지역의 유출량은 2,150~2,250 t/년으로 유출되는 것으로 추정하며, 10년간의 유출량을 기준으로 산정함

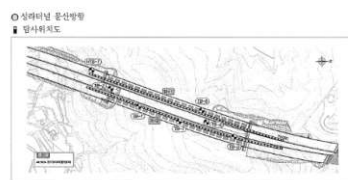
※ 단, 유출량 산정기준은 유출지점으로부터 500m, 유출방향을 따라 유출지점으로부터 0.5km의 기안면지역의 유출을 유출지점으로 산정함

5-3

 中国科学院

제3편 지반조사 결과

제3편 지반조사 결과



제3권 지반조사 결과

4.2 수리 및 무수특성 분석

 서울~문산고속도로 민간투자사업

• 조사구(조) 불의대의 특수성 파악하기 위하여 4회 수업

구분	구분	시정기준 (GL,mm)	기준	투입재료	투입재료 X(mm/s)	투입재료 GL(mm)
상하하일	TB-1	2.0 ~ 3.0	중하하일	GL	1.65×10^{-4}	7.4
	TB-2	2.0 ~ 3.0	중하하일	GL	3.08×10^{-4}	6.1
	TB-3	12.0 ~ 13.0	중하하일	-	4.53×10^{-4}	17.0
	TB-4	8.0 ~ 9.0	중하하일	GL	2.57×10^{-4}	10.9

0.000000

구분	유속 (cm/s)	중속 (cm/s)
성라디널	$1.00 \times 10^{-4} \sim 3.00 \times 10^{-4}$	4.53×10^{-5}

2000

개요 • 이집트군에 분포하는 기린잡의 목수초상 및 Lugeon 계란은 폐악령기 이후 시추조사의
명령하여 설치

◎ 시험결과

구분	구분	강도(σ_{yk} , N/mm ²)	대단단강도 (σ_{yk} , N/mm ²)	Lapton 값	Flow type	
상하리브	TB-1	7.0 ~ 12.0	연강	3.06×10 ⁻⁶	0.33	Dilation
	TB-2	16.0 ~ 21.0	경강	1.26×10 ⁻⁶	0.06	Dilation
	TB-3	20.0 ~ 25.0	경강	2.48×10 ⁻⁶	0.04	Dilation
	TB-6	3.0 ~ 11.0	연강	4.76×10 ⁻⁶	0.34	Dilation

2000

구분	두수리수 (cm/s)		조교 Lagoon	
	연평균	최대값	연평균	최대값
성하리역	3.08X10 ⁻² ~ 4.76X10 ⁻²	1.28X10 ⁻¹ ~ 2.69X10 ⁻¹ *	0.11 ~ 0.56	0.04 ~ 0.08

다. 구조계산서

		구 조 계 산 서						
현 장 명	서울-문산간 고속도로		발 주 처	서울문산고속도로(주)				
교 량 명	남고양교		연 장	40,000 + 60,000 + 60,000 + 60,000 + 60,000 + 60,000 + 40,000 = 360,000 m				
교량종류	1 등급 (DB-24 및 DL-24 적용)		교량 폭	22,570 mm				
교량형식	Steel 박스거더교		사 각	90.000 °				
바닥판 설계								
구 분	검토위치	검토방식	최소바닥판두께	사용바닥판두께	판 경	안전율		
최 소 계 산	좌측 콘크리트배부	강도설계법	266.6 mm	290.0 mm	0. K 11	108.7%		
	우측 콘크리트배부	강도설계법	255.6 mm	290.0 mm	0. K 11	113.5%		
	중양부	거더	경향직설계법	220.0 mm	290.0 mm	0. K 11	131.8%	
		기초부	경향직설계법	237.4 mm	240.0 mm	0. K 11	101.1%	
바닥판 설계								
구 분	검토위치	검토항목	계산값	필요철근	판 경	안전율		
단 면 설 계	좌측 콘크리트배부 (상도)	모멘트 강도	124.0 kN·m	143.6 kN·m	0. K 11	115.8%		
		철강강도 검토	1,693.9 mm²	1,686.0 mm²	0. K 11	H16E200+H16E200		
		배치철근 검토	1,134.9 mm²	1,145.0 mm²	0. K 11	H16E250		
		단부보강주철근	3,387.8 mm²	3,871.0 mm²	0. K 11	H28E200+H28E200		
		단부보강배치철근	2,269.9 mm²	2,292.0 mm²	0. K 11	H16E125		
	우측 콘크리트배부 (상도)	모멘트 강도	113.0 kN·m	143.6 kN·m	0. K 11	127.1%		
		철강강도 검토	1,534.6 mm²	1,686.0 mm²	0. K 11	H16E200+H16E200		
		배치철근 검토	1,029.3 mm²	1,145.0 mm²	0. K 11	H16E250		
		단부보강주철근	3,069.6 mm²	3,871.0 mm²	0. K 11	H28E200+H28E200		
		단부보강배치철근	2,056.6 mm²	2,292.0 mm²	0. K 11	H16E125		
중 양 부	거더 및 기초부 (경향)	주철근강도	960.0 mm²	993.0 mm²	0. K 11	H16E400+H16E400		
		배치철근강도	720.0 mm²	794.4 mm²	0. K 11	H16E250+H16E400		
		배치철근강도	720.0 mm²	794.4 mm²	0. K 11	H16E250		
		단부보강주철근	960.0 mm²	993.0 mm²	0. K 11	H16E400+H16E400		
		단부보강배치철근	720.0 mm²	794.4 mm²	0. K 11	H16E250		
	내부지점부	철근강도	3,600.0 mm²	4,584.0 mm²	0. K 11	H16E125+H16E125		
		주철근 강도	0.0036 mm²/mm²	0.0040 mm²/mm²	0. K 11			
		시 유 선 검 토	좌측 콘크리트배부	구원곡률	100.0 mm	488.3 mm	0. K 11	488.3%
			우측 콘크리트배부	구원곡률	100.0 mm	524.8 mm	0. K 11	524.8%
			구 분	검토위치	검토항목	계산값	필요구원곡률	판 경

1. 설계 조건

1) 교량 제 원

- (1) 교 량 명 : 남고양교
- (2) 교 량 종 류 : 1 등급 (DB-24 및 DL-24 적용)
- (3) 교 량 형 식 : Steel 박스거더교
- (4) 교 량 연 장 : 40,000 + 60,000 + 60,000 + 60,000 + 60,000 + 60,000 + 40,000 = 360,000 m
- (5) 교 량 폭 원 : B = 22,570 mm
- (6) Girder 제 형 : B = 2,400 mm H = 2,000 ~ 2,400 mm
- (7) 사 각(Skew) : 90.000 °
- (8) 곡률반경(R) : 선형중심 = 350,000 m
- (9) 설 계 속 도 : 80.000 km/h
- (10) 사용재료 및 물리적 특성치

① 강 재

• 사용 재료

주 부 재	HSB500(상판, 하판, 복부판, 상부플레지브, 하부플레지브, 수평보강재, 지점부 다이아프램, 지점보강재, 슬랩레이브)
부 부 재	SM400B(지점부의 다이아프램, 수직보강재, 플레지브, 세로보, 일반부 가로보, 지점부 가로보)
강재 탄성계수 (E _s)	205,000.000 MPa
강재의 전단탄성계수 (G)	79,000.000 MPa

• 허용 응력 (MPa)

		(≡ 도.설.해 3.3.2.1)					
용어 종류	판 두께(mm)	SS 400 SM 400 SMA400	SM 490	SM 490Y SM 520 SMA490	SM 570 SMA570	HSB500	HSB500
속방향 인장응력 및 횡 방향응력	40 이하	140	190	215	270		
	40 초과 75 이하			200 (215)	260 (270)	230	380
	75 초과 100 이하		130	175 (190)	195 (215)	270	

② 바닥판 콘크리트 (≡ 도.설.해 3.9.2.7, 도.설.해 3.9.2.8, 도.설.해 4.2.3, 도.설.해 4.6.3.3)

콘크리트 설계 기준강도 (f _{ck})	27.0 MPa
콘크리트 탄성계수 (E _c)	27,804.0 MPa
전단 탄성계수 (G _c)	12,297.2 MPa
탄성계수비 (ν _c)	7.0
바닥판 콘크리트의 설계 인장인력의 본도자	10.000 %
바닥판 콘크리트의 설계 인장인력의 본도자	0.000012
인장수축 계수 (ε _s)	0.000270
상 대 습 도	70.0 %
CREEP 계수 (φ ₂)	φ ₂ = 2φ ₁ : 2

③ 바닥판 철근	
철근 설계 항복강도 (f _y)	400.0 MPa
철근 탄성계수 (E _s)	200,000.0 MPa

2) 하 중 조 건

(1) 고 정 하 중 (≡ 도.설.해 2.1.2)

- ① 활 근 콘크리트 : 25,000 kN/m²
- ② 부근 콘크리트 : 23,500 kN/m²
- ③ 강 재 : 78,500 kN/m²
- ④ 부강 콘크리트 : 23,000 kN/m²

(2) 활 하 중 (≡ 도.설.해 2.1.3)

- ① 설계 차선수 신장
N_s = 20,890 mm, N = 6 차로
N = 20,890 / 6 = 3,482 mm < 3,600 mm
∴ 설계 차로폭 3,482mm이다 6차로 연속도로 처리

⑤ 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.

- DB-24 하중
 - 전륜하중 : P_f = 24,000 kN
 - 후륜하중 : P_r = 96,000 kN
- DL-24 하중
 - 차로당 등분포 하중 : W_f = 12,700 kN/m
 - 모멘트 계산시 집중하중 : P_m = 108,000 kN
 - 전단력 계산시 집중하중 : P_s = 156,000 kN

⑤ 용 리 계 수

• 1 시간

$$\xi = 15 / (40 + L) = 0.189 < 0.300 \therefore \xi = 0.189$$

• 2 시간

$$\xi = 15 / (40 + L) = 0.150 < 0.300 \therefore \xi = 0.150$$

• 3 시간

$$\xi = 15 / (40 + L) = 0.150 < 0.300 \therefore \xi = 0.150$$

• 4 시간

$$\xi = 15 / (40 + L) = 0.150 < 0.300 \therefore \xi = 0.150$$

• 5 시간

$$\xi = 15 / (40 + L) = 0.150 < 0.300 \therefore \xi = 0.150$$

• 6 시간

$$\xi = 15 / (40 + L) = 0.143 < 0.300 \therefore \xi = 0.143$$

• 7 시간

$$\xi = 15 / (40 + L) = 0.178 < 0.300 \therefore \xi = 0.178$$

(3) 콘크리트의 Creep와 건조수축의 영향

- 활근 콘크리트의 바닥판의 Creep와 건조수축의 영향에 대한 단면력을 검토한다.

(4) 지점하에 의한 영향

- 각 지점에서 발생할 수 있는 부동침하 발생을 가정하여 가장 불리한 단면력을 산정한다.

(5) 온도변화에 대한 영향

- 바닥판과 주철의 온도차 발생시 생기는 단면력 및 응력을 산정하고 이때의 온도 변화는 적선변화 한다고 가정한다.

(6) 통 하 중 (≡ 도.설.해 2.1.9)

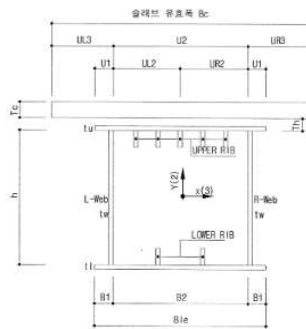
단 면 형 상	통 하 중
1 ≤ B/D < 8	(4.0 - 0.2(B/D)) 0 ≥ 6.0
8 ≤ B/D	2.4 D ≥ 6.0

(7) 통 돌 하 중 (≡ 도.설.해 2.4.3.3, 도.설.해 2.4.3.6)

- 다리에 제시된 충돌력은 난간인 경우 바닥판의 설계에만 사용하며, 이 충돌력을 사용하여 차방 방호 울타리 자체를 설계하는 것은 곤란하다.

수 평 력 (kN/m)		작 용 높 이	수 직 력 (kN/m)
도심 도로상	일반 도로상		
3,750	2,500	난간 상단부	1,000

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종 : HS3500	
Bc = 5,200.0	mm
UL3 = 1,500.0	mm
UR3 = 1,300.0	mm
U1 = 120.0	mm
UL2 = 1,200.0	mm
UR2 = 1,200.0	mm
상부 플랜지 유효폭	
Bw = 2,640.0	mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble = 2,640.0	mm
B1 = 120.0	mm
B2 = 2,400.0	mm
Tc = 440.0	mm
Th = 50.0	mm
h = 1,000.0	mm
α _c = 0.000	°
θ _a = 0.000	°

구분	단위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ϵ_s : 비탄성 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축률	-	0.000276
α : 강재 및 콘크리트의 선형장계수	-	0.000012
ϕ_p : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
Δ : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_p : 완전전 고정하중에 의한 모멘트	kN-m	1,706.404
M_u : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN-m	832.999
M_{ps} : 풍하중에 의한 모멘트	kN-m	22.321
M_{ps} : (활하중+지점하중)에 의한 모멘트	kN-m	1,521.999
V_p : 완전전 고정하중에 의한 전단력	kN	577.176
V_{up} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	290.807
V_{ps} : 풍하중에 의한 전단력	kN	6.944
V_{ps} : (활하중+지점하중)에 의한 전단력	kN	595.666
M_{uL} : 완전전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN-m	-148.777
M_{uL} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN-m	-334.065
M_{uL} : 풍하중에 의한 비틀림 모멘트	kN-m	-26.620
M_{uL} : (활하중+지점하중)에 의한 비틀림 모멘트	kN-m	-707.066

< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중
 합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

지(지)속 발달 단면 계층							
구분	구	역	$A_1(\text{mm}^2)$	$\gamma(\text{mm})$	$A_1 \cdot \gamma(\text{mm}^3)$	$A_1 \cdot \gamma^2(\text{mm}^4)$	$I_{\text{max}}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1	$-2,640.0 \times 10.0$	26,400.0	905.0	2.389×10^7	2.162×10^{10}	2.200×10^8
UPPER IR	5	-150.0×16.0	12,000.0	825.0	9.900×10^6	8.168×10^9	2.250×10^7
C - WEB	1	$-1,800.0 \times 12.0$	21,600.0	-	-	-	5.832×10^8
R - WEB	1	$-1,800.0 \times 12.0$	21,600.0	-	-	-	5.832×10^8
LOWER IR	2	-150.0×16.0	4,800.0	-825.0	-3.960×10^6	3.267×10^9	9.000×10^6
LOWER FL.	1	$-2,640.0 \times 10.0$	26,400.0	-905.0	-2.399×10^7	2.162×10^{10}	2.200×10^8
강재 단면 합계			112,800.0	-	5.940×10^6	5.408×10^{10}	1.170×10^{10}
PC SLAB	1	$-5,200.0 \times 440.0$	2,289,004.4	1,170.0	2.677×10^9	3.132×10^{12}	3.691×10^{10}
SLAB 단면 합계			2,289,004.4	-	2.677×10^9	3.132×10^{12}	3.691×10^{10}
총 $A_1 =$			112,800.0 mm^2	$\gamma_{\text{avg}} =$	2,288,004.4 mm^2		

- 도심식 이용량

$$\delta_y = \sum A_i y^i / \sum A_i = 5,940,000 / 112,800 = 52.660 \text{ mm}$$
- 도심속에서 상하부 플랜지 연단거리

$$y_{fu} = h/2 + t_w - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 52.660 = 857.340 \text{ mm}$$

$$y_{fd} = -[h/2 + t_f + \delta_y] = -[1,800.0 / 2 + 10.0 + 52.660] = -962.660 \text{ mm}$$
- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_g = \sum I_o + \sum A_i x_i^2 - A_g \delta_y^2$$

$$= 11,695,940,000.0 + 54,679,020,000.0 - 112,800.0 \times 52.660^2 = 6.600E+10 \text{ mm}^4$$
- 플랜지 용각 검토

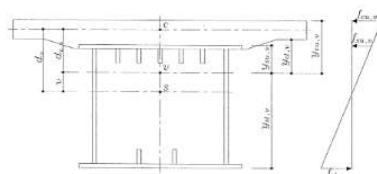
$$f_{ru} = M_{cu} / I_g / I_g = 1,706.040 \times 857.3 / 660,082,162.127 = 22.141 \text{ MPa}$$

$$f_{rd} = M_{cd} / I_g / I_g = 1,706.040 \times -962.7 / 660,082,162.127 = -24.860 \text{ MPa}$$
- 부재의 전단용각 검토

$$F = \dots = 4.365E+05 \text{ mm}^2$$

$$U = V_{us} A_{us} + M_{us} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 577.176 / 43,200.0 + 148.777 / (2 \times 4,365,720.0 \times 12.0) = 14.780 \text{ MPa}$$



• 바닥판 콘크리트 환산단면적	$A_{c1st} = A_{c1} / n$	$= 2,288,004.4 / 7.0$	$= 326,857.8 \text{ mm}^2$
• 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트	$I_{c1st} = I_{c1} / n$	$= 36,913,137,653.3 / 7.0$	$= 5,273,036.9 \text{ mm}^4$
• 합성 단면적	$A_g = A_s + A_{c1st}$	$= 112,800.0 + 326,857.8$	$= 439,657.8 \text{ mm}^2$
• 합성도심에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리	$d_g = y_{cg} - t_w + T_b + T_c/2$	$= 857.3 - 10.0 + 50.0 + 440.0/2$	$= 1,117.3 \text{ mm}$
• 합성 단면적 도심속기 이종률	$v = A_{c1st} \times d_g / A_g$	$= 326,857.8 \times 1,117.3 / 439,657.8$	$= 830.7 \text{ mm}$
• 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리	$d_{c1st} = d_g - v$	$= 1,117.3 - 830.7$	$= 286.7 \text{ mm}$
• 합성단면의 단면2차 모멘트	$I_g = I_s + A_s \cdot y_s^2 + I_{c1st} + A_{c1st} \cdot d_{c1st}^2$	$= 66,052,162,127.7 + 12,800.0 \times 830.7^2 + 5,273,305,379.0 + 326,857.8 \times 286.7^2$	$= 1.760 \times 11 \text{ mm}^4$
• 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리	$y_{top,w} = y_{cm} - v$	$= 857.3 - 830.7$	$= 26.7 \text{ mm}$
	$y_{bot,w} = y_{cm} - v$	$= -982.7 - 830.7$	$= -1,793.3 \text{ mm}$
• 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하판까지의 거리	$d_{c1st} = d_{c1st} + T_c / 2$	$= 286.7 + 440.0 / 2$	$= 506.7 \text{ mm}$
	$y_{c1st,w} = y_{c1st,w} - T_c$	$= 506.7 - 440.0$	$= 66.7 \text{ mm}$
• 응력 계도	$f_{c1st,w} = M_w \cdot y_{c1st,w} / I_g$	$= 832.999 \times 26.7 / 176,030,044,016.4$	$= 0.128 \text{ MPa}$
	$f_{s1st,w} = M_w \cdot y_{s1st,w} / I_g$	$= 832.999 \times (-1,793.3) / 176,030,044,016.4$	$= -8.486 \text{ MPa}$
	$f_{c1st,w} = M_w \cdot y_{c1st,w} / (I_g \cdot n)$	$= 832.999 \times 506.7 / (176,030,044,016.4 \times 7.0)$	$= 0.343 \text{ MPa}$
	$f_{s1st,w} = M_w \cdot y_{s1st,w} / (I_g \cdot n)$	$= 832.999 \times 66.7 / (176,030,044,016.4 \times 7.0)$	$= 0.045 \text{ MPa}$
• 연동응력 계도	$F_w =$		$= 4.442 \times 10^5 \text{ mm}^2$
	$U = V_w / A_g + M_w / (2 \cdot F_w \cdot t_w)$	$= 290,697 / 43,200.0 + 334,065 / (2 \times 4,441,530.0 \times 12.0)$	$= 9.866 \text{ mm}$

(3) 활 하중

• 음력 검토

$$\begin{aligned} f_{su,v} &= M_{su,v} / I_{sv} = 1,521.990 \times 26.7 / 176,030,044,016.4 = 0.231 \text{ MPa} \\ f_{sd,v} &= M_{sd,v} / I_{sv} = 1,521.990 \times -1,793.3 / 176,030,044,016.4 = -15.505 \text{ MPa} \\ f_{cu,v} &= M_{cu,v} / (I_{sv} \cdot n) = 1,521.990 \times 506.7 / (176,030,044,016.4 \times 7.0) = 0.026 \text{ MPa} \\ f_{cd,v} &= M_{cd,v} / (I_{sv} \cdot n) = 1,521.990 \times 66.7 / (176,030,044,016.4 \times 7.0) = 0.082 \text{ MPa} \end{aligned}$$

• 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_{sd} / A_w + M_{ed} / (2 \cdot F_v \cdot l_w) \\ &= 595,666 / 43,200.0 + 707,066 / (2 \times 4,441,530.0 \times 12.0) = 20.422 \text{ MPa} \end{aligned}$$

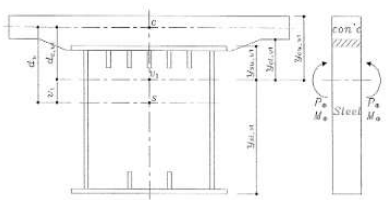
(4) 종 하중 [활하중 비제하시의 종하중에 의한 응력값으로 활하중 제하시에는 계산된 값의 1/2를 적용]

• 음력 검토

$$\begin{aligned} f_{su,v} &= M_{su,v} / I_{sv} = 22,321 \times 26.7 / 176,030,044,016.4 = 0.003 \text{ MPa} \\ f_{sd,v} &= M_{sd,v} / I_{sv} = 22,321 \times -1,793.3 / 176,030,044,016.4 = -0.227 \text{ MPa} \\ f_{cu,v} &= M_{cu,v} / (I_{sv} \cdot n) = 22,321 \times 506.7 / (176,030,044,016.4 \times 7.0) = 0.009 \text{ MPa} \\ f_{cd,v} &= M_{cd,v} / (I_{sv} \cdot n) = 22,321 \times 66.7 / (176,030,044,016.4 \times 7.0) = 0.001 \text{ MPa} \end{aligned}$$

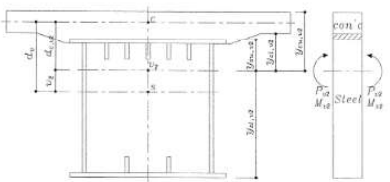
• 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_{sd} / A_w + M_{ed} / (2 \cdot F_v \cdot l_w) \\ &= 6,944 / 43,200.0 + 26,620 / (2 \times 4,441,530.0 \times 12.0) = 0.410 \text{ MPa} \end{aligned}$$



• 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,st} &= P_s / A_{st} + k \cdot M_{st} \cdot y_{su,st} / I_{st} \\ &= 443,400.7 / 276,228.9 + 0.927 \times 202,312.107.9 \times 196.3 / 152,017,009,563.4 = 1.847 \text{ MPa} \\ f_{sd,st} &= P_s / A_{st} + k \cdot M_{st} \cdot y_{sd,st} / I_{st} \\ &= 443,400.7 / 276,228.9 + 0.927 \times 202,312.107.9 \times -1,623.7 / 152,017,009,563.4 = -0.397 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향 (※ 도.설.제 3.9.2.8)

• 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용되는 최종수축률 ϵ_{cs} 는 27×10^{-4} , 크리프계수 Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 를 표준으로 한다.

$$\begin{aligned} n_2 &= n \cdot (1 + \Phi_2 / 2) = 7.0 \times (1 + 4.0 / 2) = 21.000 \\ A_{s2} &= A_s + A_{s1} / n_2 = 112,800.0 + 2,288,004.4 / 21.0 = 2,218E+05 \text{ mm}^2 \\ v_2 &= (A_{s2} / n_2) \times d_p / A_{s2} = (2,288,004.4 / 21.0) \times 1,117.3 / 221,752.6 = 549.0 \text{ mm} \\ d_{c,s2} &= d_p - v_2 = 1,117.3 - 549.0 = 568.4 \text{ mm} \\ I_{s2} &= (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_{s1} / n_2 + A_{s1} / n_2 \cdot d_{c,s2}^2) \\ &= (66,062,162,127.7 + 112,800.0 \times 549.0^2) + (36,913,137,653.3 / 21.0 + 2,288,004.4 / 21.0 \times 568.4^2) = 1.370E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

• 합성단면도상에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$\begin{aligned} y_{su,s2} &= y_{su} - v_2 = 857.3 - 549.0 = 308.4 \text{ mm} \\ y_{sd,s2} &= y_{sd} - v_2 = -962.7 - 549.0 = -1,511.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

• 합성단면 도상에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$\begin{aligned} y_{cu,s2} &= d_{c,s2} + T_c / 2 = 568.4 + 440.0 / 2 = 788.4 \text{ mm} \\ y_{cd,s2} &= y_{cu,s2} - T_c = 788.4 - 440.0 = 348.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

• 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{s2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{s2} / n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 2,288,004.4 / 21.0 = 6.031E+06 \text{ N}$$

• P_{s2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{s2} = P_{s2} \times d_{c,s2} = 6,030,525.9 \times 788.4 = 3.428E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

• 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_c / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향 (※ 도.설.제 3.9.2.6)

• 합성단면도상에서 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 Φ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= 2.0 \\ k &= 0.927 \text{ (2차 부형설력으로 인한 영향 고려)} \\ n_1 &= n \cdot (1 + \Phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000 \\ A_{s1} &= A_s + A_{s1} / n_1 = 112,800.0 + 2,288,004.4 / 14.0 = 2.782E+05 \text{ mm}^2 \\ v_1 &= (A_{s1} / n_1) \times d_p / A_{s1} = (2,288,004.4 / 14.0) \times 1,117.3 / 278,228.9 = 961.1 \text{ mm} \\ d_{c,s1} &= d_p - v_1 = 1,117.3 - 961.1 = 156.2 \text{ mm} \\ I_{s1} &= (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_{s1} / n_1 + A_{s1} / n_1 \cdot d_{c,s1}^2) \\ &= (66,062,162,127.7 + 112,800.0 \times 961.1^2) + (36,913,137,653.3 / 14.0 + 2,288,004.4 / 14.0 \times 156.2^2) = 1.520E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

• 합성단면도상에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$\begin{aligned} y_{su,s1} &= y_{su} - v_1 = 857.3 - 961.1 = -103.8 \text{ mm} \\ y_{sd,s1} &= y_{sd} - v_1 = -962.7 - 961.1 = -1,923.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

• 합성단면 도상에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$\begin{aligned} y_{cu,s1} &= d_{c,s1} + T_c / 2 = 156.2 + 440.0 / 2 = 378.2 \text{ mm} \\ y_{cd,s1} &= y_{cu,s1} - T_c = 378.2 - 440.0 = -61.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

• 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_s = M_{su} \cdot d_{c,s1} / A_{s1} (I_{s1} \cdot I_s) = 833.0 \times 286.7 \times 2,288,004.4 / (7.0 \times 176,030,044,016.4) = 4.434E+05 \text{ N}$$

• 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_s = N_s \cdot 2 \cdot \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 443,400.7 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 4.434E+05 \text{ N}$$

• P_{s2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_s = P_s \times d_{c,s1} = 443,400.7 \times 456.3 = 2.023E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

• 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \Phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

• 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하부 응력

$$\begin{aligned} f_{su,s} &= M_{su} \cdot y_{su,s} / (I_{s1} \cdot n) = 832,999 \times 506.7 / (176,030,044,016.4 \times 7.0) = 0.343 \text{ MPa} \\ f_{sd,s} &= M_{sd} \cdot y_{sd,s} / (I_{s1} \cdot n) = 832,999 \times 66.7 / (176,030,044,016.4 \times 7.0) = 0.045 \text{ MPa} \end{aligned}$$

• 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,s1} &= 1/n_1 \cdot (P_s / A_{s1} + k \cdot M_s \cdot y_{su,s1} / I_{s1}) - E_{c1} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/14.0) \times (443,400.7 / 276,228.9 + 0.927 \times 202,312.107.9 \times 196.3 / 152,017,009,563.4) - 13,902.0 \times 0.343 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.168 \text{ MPa} \\ f_{sd,s1} &= 1/n_1 \cdot (P_s / A_{s1} + k \cdot M_s \cdot y_{sd,s1} / I_{s1}) - E_{c1} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/14.0) \times (443,400.7 / 276,228.9 + 0.927 \times 202,312.107.9 \times -1,623.7 / 152,017,009,563.4) - 13,902.0 \times 0.045 \times 2.0 / 27,804.0 = 0.090 \text{ MPa} \end{aligned}$$

• 바닥판 콘크리트의 응력변화량

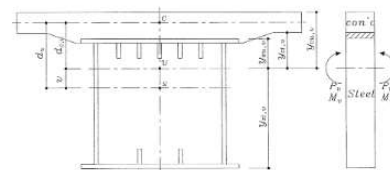
$$\begin{aligned} f_{su,s2} &= 1/n_2 \cdot (P_{s2} / A_{s2} + k \cdot M_{s2} \cdot y_{su,s2} / I_{s2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/21.0) \times (6,030,525.9 / 221,752.6 + 0.927 \times 3,427,528,664.0 \times 196.3 / 137,010,830,965.8) - 9,761.9 \times 0.000270 = -0.470 \text{ MPa} \\ f_{sd,s2} &= 1/n_2 \cdot (P_{s2} / A_{s2} + k \cdot M_{s2} \cdot y_{sd,s2} / I_{s2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/21.0) \times (6,030,525.9 / 221,752.6 + 0.927 \times 3,427,528,664.0 \times 196.3 / 137,010,830,965.8) - 9,761.9 \times 0.000270 = -0.956 \text{ MPa} \end{aligned}$$

• 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,s2} = P_{s2} / A_{s2} + k \cdot M_{s2} \cdot y_{su,s2} / I_{s2} = 6,030,525.9 / 221,752.6 + 0.927 \times 3,427,528,664.0 \times 196.3 / 137,010,830,965.8 = 34.343 \text{ MPa}$$

• 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{sd,s2} = P_{s2} / A_{s2} + k \cdot M_{s2} \cdot y_{sd,s2} / I_{s2} = 6,030,525.9 / 221,752.6 + 0.927 \times 3,427,528,664.0 \times -1,511.6 / 137,010,830,965.8 = -7.848 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트의 강재보와의 온도차 영향 (※ 도.설.제 3.9.2.7)

• 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10℃를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 신장률계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

• 온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

• 바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{c1} = E_c \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1} / n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 2,288,004.4 / 7.0 = 8.041E+06 \text{ N}$$

• P_{c1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{c1} = P_{c1} \times d_{c,s1} = 8,040,701.2 \times 286.7 = 2.305E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

• 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,s1} &= 1/n_1 \cdot (P_{c1} / A_{c1} + k \cdot M_{c1} \cdot y_{cu,s1} / I_{c1}) - E_{c1} \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (8,040,701.2 / 439,657.8 + 0.927 \times 2,305,015,126.4 \times 506.7 / 176,030,044,016.4) - 27,804.0 \times 0.000120 = 0.154 \text{ MPa} \\ f_{cd,s1} &= 1/n_1 \cdot (P_{c1} / A_{c1} + k \cdot M_{c1} \cdot y_{cd,s1} / I_{c1}) - E_{c1} \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (8,040,701.2 / 439,657.8 + 0.927 \times 2,305,015,126.4 \times 86.7 / 176,030,044,016.4) - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.608 \text{ MPa} \end{aligned}$$

• 강재의 상·하부 플랜지 응력 분포와

$$f_{m,nt} = P_{nt}/A_{nt} + k \cdot M_{nt} \cdot y_{m,nt} / I_{nt}$$

$$= 8,040,701.2 / 439,657.8 + 0.927 \times 2,305,015.126 \cdot 4 \times 26.7 / 176,030,044,016.4 = 18.812 \text{ MPa}$$

$$f_{m,nt} = P_{nt}/A_{nt} + k \cdot M_{nt} \cdot y_{m,nt} / I_{nt}$$

$$= 8,040,701.2 / 439,657.8 + 0.927 \times 2,305,015.126 \cdot 4 \times -1,793.3 / 176,030,044,016.4 = -3.472 \text{ MPa}$$

(8) 전단 및 비틀림

• 종하중 비제하시의 전단응력

$$u = (V_u + V_{u0}) / A_{wt} + M_{u0} / (2 \cdot F \cdot l_{u0}) + (M_{u0} + M_{u1}) / (2 \cdot F \cdot l_{u0})$$

$$= 1,463,649 / 43,200.0 + 148,777 / 104,777,280.0 + 1,041.131 / 106,596,720.0 = 45.068 \text{ MPa}$$

$$u = 45.1 \text{ MPa} \leq u_a = 135.0 \text{ MPa} \quad \dots\dots 0.K !!$$

• 종하중 제하시의 전단응력

• 활하중 비제하시

$$u = (V_u + V_{u0}) / A_{wt} + M_{u0} / (2 \cdot F \cdot l_{u0}) + (M_{u0} + M_{u1}) / (2 \cdot F \cdot l_{u0})$$

$$= 874,927 / 43,200.0 + 148,777 / 104,777,280.0 + 380.685 / 106,596,720.0 = 25.057 \text{ MPa}$$

$$u = 25.1 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 162.0 \text{ MPa} \quad \dots\dots 0.K !!$$

• 활하중 제하시

$$u = (V_u + V_{u0} + V_{u1} / 2) / A_{wt} + M_{u0} / (2 \cdot F \cdot l_{u0}) + (M_{u0} + M_{u1} / 2) / (2 \cdot F \cdot l_{u0})$$

$$= 1,467,121 / 43,200.0 + 148,777 / 104,777,280.0 + 1,054.441 / 106,596,720.0 = 45.273 \text{ MPa}$$

$$u = 45.3 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 168.8 \text{ MPa} \quad \dots\dots 0.K !!$$

(9) 조압 응력의 검토

$$i = 0.65 (\phi / n)^2 + 0.13 (\phi / n) + 1.0 \quad (\text{☞ 도.설.제 3.4.2.3})$$

$$= 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_{t1} - f_{t2}) / f_{t1} \approx 0.0$)
 f_{t1} , f_{t2} : 보강된 판의 양면의 종력 (단, $f_{t1} \geq f_{t2}$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)
 i : 응력구배계수
 n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

• 인장 (하부) 플랜지의 허용응력 (HSB500 사용) (☞ 도.설.제 3.3.2)

$$f_{ta} = 230.0 \text{ MPa}$$

• 압축 (상부) 플랜지의 허용응력 (HSB500 사용) (☞ 도.설.제 3.4.2.3)

$$b / 22.0 \cdot i \cdot n = 18.2 \text{ mm} > l_{u0} = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ta} = 230.0 \text{ MPa}$$

$$b / 44.0 \cdot i \cdot n = 9.1 \text{ mm} \leq l_{u0} = 10 \text{ mm} < b / 22.0 \cdot i \cdot n = 18.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ta} = 230.0 - 5.2 (b / (l_{u0} \cdot i \cdot n) - 2.0) = 136.4 \text{ MPa}$$

$$b / 88.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq l_{u0} = 10 \text{ mm} \geq b / 44.0 \cdot i \cdot n = 9.1 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ta} = 229,800 \cdot \{ (l_{u0} \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ta} = 230.0 \text{ MPa} \quad (\text{합성후 압축플랜지가 콘크리트 비파괴 판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형}$$

단면, π 형 단면과 같이 형상결이 일어나기 어려운 경우)

$$\therefore f_{ta} = 230.0 \text{ MPa}$$

[상 연]

$$\left(\frac{77,300}{290,000} \right)^2 + \left(\frac{45,068}{135,000} \right)^2 = 0.067 + 0.111 = 0.178 \leq 1.2 \quad \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-57,097}{230,000} \right)^2 + \left(\frac{45,068}{135,000} \right)^2 = 0.062 + 0.111 = 0.173 \leq 1.2 \quad \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

• 압축(상부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$l_{min} = \text{자유둘줄목} / 16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq l_{use} = 10.0 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$$

$$l_{min} = b \cdot (d / (d \cdot i \cdot n)) = 2,400.0 / (44 \times 1.0 \times 6) = 9.1 \leq l_{use} = 10.0 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스타트 설치시}) \quad l_{min} = 10.0 \geq l_{use} = 10.0 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$$

• 인장(하부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$l_{min} = \text{자유둘줄목} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq l_{use} = 10.0 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$$

• 박 부 편 [수평보강재 사용단수 1 단] (☞ 도.설.기 3.8.4.1)

$$l_{min} = b / (199 \times 1.200) = 1,800.0 / (199 \times 1.200) = 7.5 \leq l_{use} = 12.0 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ta} / f_c)} = \sqrt{(230.0 / 22,141)} = 3.22 \geq 1.20 = 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

• 활하중(승객을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 비파괴 콘크리트의 간소수축 및 크리프의 영향,

비파괴 콘크리트와 강재 주거터와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

• 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete		판	Steel		판
	작용응력(MPa)	허용응력(MPa)		작용응력(MPa)	허용응력(MPa)	
상 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	28.783	-32.319
1+2+3	1,791	0.236	16,200	0.K !!	29.443	-76.688
1+2+3+7	1,945	0.844	16,200	0.K !!	48.055	-80.160
1+2+3+5	1,623	0.326	16,200	0.K !!	31.290	-77.085
1+2+3+5+6	1,152	-0.630	16,200	0.K !!	65.633	-84.933
1+2+3+5+6+7	1,307	-1.238	16,200	0.K !!	84.245	-88.405
1+2+3+5+6+7	0.999	-0.022	16,200	0.K !!	47.021	-81.461
1+2+4	0.454	0.000	16,200	0.K !!	28.950	-43.578
1+2+3+0.5×4	1,795	0.236	16,200	0.K !!	29.444	-76.801
1+2+3+0.5×4+7	1,950	-0.372	16,200	0.K !!	48.056	-80.273
1+2+3+0.5×4+5	1,627	0.327	16,200	0.K !!	31.292	-77.199
1+2+3+0.5×4+5+6	1,157	-0.630	16,200	0.K !!	65.635	-85.047
1+2+3+0.5×4+5+6+7	1,311	-1.238	16,200	0.K !!	84.247	-88.519
1+2+3+0.5×4+5+6+7	1,002	-0.021	16,200	0.K !!	47.023	-81.574

• 활하중 콘크리트의 허용응력

(☞ 도.설.제 3.9.3.1)

$$f_{cm} = 0.40 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

$$(f_{cc} = 27.0 \text{ MPa 사용})$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

• 슬라브의 주거터에 작용응력 및 허용응력

(☞ 도.설.제 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	22.141	-24.880	136.400	230.000
1+2+3	0.968	0.127	10.800	10.800	22.497	-48.852	230.000	230.000
1+2+3+5	0.800	0.218	10.800	10.800	24.345	-49.250	264.500	230.000
1+2+3+5+6	0.330	-0.738	10.800	1.890	58.688	-57.097	264.500	230.000
1+2+3+5+6+7	0.484	-1.347	12.420	2.174	77.300	-60.570	299.000	264.500
1+2+3+5+6+7	0.175	-0.130	12.420	2.174	40.076	-53.625	299.000	264.500
1+2+4	0.352	0.046	12.960	12.960	22.270	-33.574	276.000	276.000
1+2+3+0.5×4	0.973	0.128	13.500	13.500	22.499	-48.966	287.500	287.500
1+2+3+0.5×4+5	0.805	0.218	13.500	13.500	24.346	-49.363	287.500	287.500
1+2+3+0.5×4+5+6	0.334	-0.738	13.500	2.363	58.690	-57.211	287.500	287.500
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.489	-1.345	14.580	2.552	77.302	-60.683	310.500	310.500
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.180	-0.129	14.580	2.552	40.078	-53.730	310.500	310.500

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(☞ 도.설.제 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(u/u_a)^2$		합성응력		판	범
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연		
1	0.026	0.012	0.111	0.111	0.138	0.123	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.010	0.045	0.111	0.111	0.121	0.157	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.008	0.046	0.111	0.111	0.120	0.157	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.049	0.062	0.111	0.111	0.161	0.173	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.067	0.062	0.111	0.111	0.178	0.164	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.018	0.041	0.111	0.111	0.129	0.153	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.007	0.015	0.024	0.024	0.030	0.039	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.006	0.029	0.072	0.072	0.078	0.101	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.007	0.029	0.072	0.072	0.079	0.101	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.042	0.040	0.072	0.072	0.114	0.112	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.062	0.038	0.072	0.072	0.134	0.110	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.017	0.030	0.072	0.072	0.089	0.102	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (u/u_a)^2 \leq 1.2 \quad \dots\dots 0.K !!$$

■ 결과 요약

■ 유역 안전검토 및 유역검토

구분	항목	검토값	기준값	비고
평상시	하중지하력(kN/EA)	938.45	563.772	0.K
	하중인발력(kN/EA)	130.747	-	0.K
	충격력(MPa)	140	97.1	0.K
	전단응력(MPa)	80	9.737	0.K
	수평변위(mm)	15	14.44	0.K
지진시	하중지하력(kN/EA)	1407.67	674.345	0.K
	하중인발력(kN/EA)	196.12	-27.762	0.K
	충격력(MPa)	210	103.206	0.K
	전단응력(MPa)	120	12.911	0.K
	수평변위(mm)	15	10.768	0.K

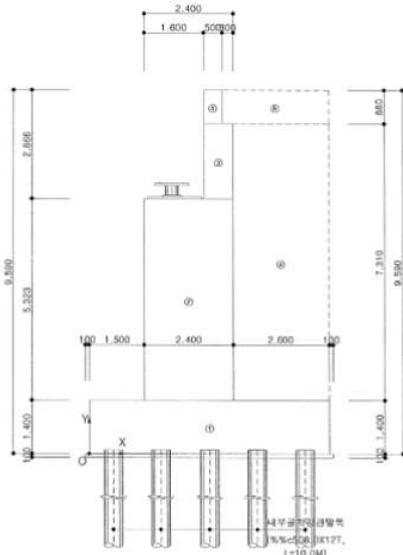
■ 단면 용량

단면위치	깊이 H(mm)	do (mm)	Req. As (mm ²)	사용철근량 (mm ²)	Mu (kN.m)	수평 (kN)	안전도	비고	
전면지판	1400	150	1568.74	1940.4	501.677	611.443	1.219	0.K	
후면지판	1400	100	2213.68	3096.8	724.647	1006.608	1.392	0.K	
벽체 : H-B 190	2400	100	1727.76	2694.4	1007.732	1566.853	1.555	0.K	
층벽	800	100	714.217	1588.8	126.531	278.868	2.204	0.K	
좌측널개벽	A(T=500 mm)	500	80	1100.03	1588.8	115.545	165.427	1.432	0.K
	B(T=500 mm)	500	80	927.604	1588.8	97.733	165.427	1.693	0.K
	C(T=500 mm)	500	80	1307.44	2292	136.822	235.623	1.722	0.K
	D(T=900 mm)	900	80	1794.66	2569.6	369.225	524.923	1.422	0.K
우측널개벽	A(T=900 mm)	900	80	3862.51	5139.2	779.677	1025.085	1.315	0.K
	B(T=900 mm)	900	80	1968.2	3096.8	394.090	629.559	1.639	0.K
	C(T=900 mm)	900	80	3389.75	4053.6	687.251	816.798	1.189	0.K
	D(T=900 mm)	900	80	3389.75	4053.6	687.251	816.798	1.189	0.K

■ 사용성 검토

구분	인장응력(f _t)	허용응력(f _{ta})	철근간격(S)	최대간격(S _g)	비고
전면지판	136.92	150	125	215.604	0.K
후면지판	115.45	150	125	456.613	0.K
벽체 : H-B 190	98.592	150	125	576.244	0.K
층벽	86.901	150	125	676.205	0.K
좌측널개벽	A(T=500 mm)	105.397	150	567.177	0.K
	B(T=500 mm)	89.708	150	697.852	0.K
	C(T=500 mm)	88.334	150	713.2	0.K
	D(T=900 mm)	105.063	150	585.797	0.K
우측널개벽	A(T=900 mm)	112.506	150	536.027	0.K
	B(T=900 mm)	92.006	150	683.422	0.K
	C(T=900 mm)	126.845	150	452.089	0.K
	D(T=900 mm)	126.845	150	452.089	0.K

2. 단면 가검



※ 교량발설 반력 집계표

구분	1	2	3	4	계
교량하중	1017.105	1088.378	859.247	1295.856	4260.640
불하중	517.121	733.500	628.040	641.714	2520.376

※ 지진하중 집계표

구분	1	2	3	4	계
교량하중	142.747	142.744	142.743	181.675	609.909
적각발설	161.888	160.571	159.569	202.897	684.925

1. 설계 조건

1) 일반 사항

- (1) 구조 형식 : 역T형 교대
- (2) 상부 형식 : STEEL BOX
- (3) 교량 형식 : 1 등급
- (4) 교대 총 폭 : B = 22.570 M
- (5) 교대 총 높이 : H = 9.590 M
- (6) 기초 형식 : 말뚝기초
- (7) skew : 90.000°

2) 하중

- (1) 콘크리트의 단위중량 : $\gamma_c = 25.000 \text{ kN/m}^3$ [도로교 설계기준 2.1.2]
- (2) 타설물체의 단위중량 : $\gamma_{sl} = 20.000 \text{ kN/m}^3$ (토사) [도로교 설계기준 제3편 P380]
- (3) 기초지반의 단위중량 : $\gamma_{s2} = 20.000 \text{ kN/m}^3$
- (4) 과하 하중 : $q_l = 10.000 \text{ kN/m}^2$
- (5) 상부 고정하중 반력 : $R_d = 188.775 \text{ kN/m}$
- (6) 상부 활하중 반력 : $R_l = 111.609 \text{ kN/m}$
- (7) 교량발설 마찰계수 : $f_s = 0.050$

3) 지반 조건

- (1) 토질층의 내부마찰각 : $\phi_1 = 35.000^\circ$
- (2) 기초지반의 N치 : $N = 7.000$
- (3) 기초지반의 내부마찰각 : $\phi_2 = 25.247^\circ$ ($\phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)
- (4) 기초지반의 점착력 : $C = 0.000 \text{ kN/m}^2$
- (5) 기초지반의 마찰계수 : $\mu = 0.303$; $\tan(\phi_1 + \phi_2)$; 슬래브 콘크리트
- (6) 지반 가속도 계수 : $A = 0.154$; 위험도계수 × 지진구역계수
- 내진 등급 : I 등급 - 위험도 계수 : 1.400 [도로교 설계기준 6.3.1]
- 지진 구역 : I 구역 - 지진구역 계수 : 0.110

4) 사용재료 강도

- (1) 콘크리트의 설계기준 강도 : $f_{ck} = 24.000 \text{ MPa}$
- 탄성계수 : $E_c = 27849.000 \text{ MPa}$ [도로교 설계기준 2.3.3]
- (2) 철근의 항복 강도(S30300) : $f_y = 300.000 \text{ MPa}$
- 탄성계수 : $E_s = 200000.000 \text{ MPa}$ [도로교 설계기준 2.3.3]

5) 설계 방법

- (1) 안전성 검토 : 허용응력 설계법
- (2) 단면 설계 : 국한강도 설계법

7. 사용성 검토

1) 활하중

① 콘크리트에 의한 부하력

$$P_y = 114.60 \times K_a$$

$$= 114.60 \times 0.251 = 28.765 \text{ kN}$$

$$M_p = 114.60 \times K_a \times (H - 0.36)$$

$$= 114.60 \times 0.251 \times (2.866 - 0.36) = 72.096 \text{ kN.m}$$

② 토압에 의한 부하력

$$P_h = 1/2 \times K_a \times r \times H^2 \times \cos \delta$$

$$= 1/2 \times 0.251 \times 20.000 \times 2.866^2 \times \cos 11.667^\circ = 20.197 \text{ kN}$$

$$M_o = 1/3 \times H \times P_h$$

$$= 1/3 \times 2.866 \times 20.197 = 19.296 \text{ kN.m}$$

③ 설계 단면력 산정

$$V_s = 28.765 + 20.197 = 48.962 \text{ kN}$$

$$M_o = 72.096 + 19.296 = 91.394 \text{ kN.m}$$

2) 액하중

① 작용하중 집계표 : H = 8.190 m 『하중계산 참조』

구분	수평력	작용거리	하중계수	평상시	지진시	전단력	모멘트
1. 교대구체	28.499	3.205	-	1.000	-	28.499	91.343
2. 배면토압(평상시)	164.868	2.730	1.000	-	-	164.868	450.069
3. 배면토압(지진시)	210.600	4.095	-	1.000	-	210.600	862.368
4. 앞면토압 상하하중	20.131	4.095	1.000	-	-	20.131	82.433
5. 교량발설 반력	9.439	5.723	1.000	-	-	9.439	54.021
6. 상부구체	9.439	5.723	-	1.000	-	9.439	54.021

- 교대구체에 작용하는 수평력 및 작용거리 산출

: 공통역치(H = 1.400 m)를 제외한 교대구체에 대하여 다시 산정한다.

$$H_o = \sum (H_0 - H_0) = 28.499 \text{ kN}$$

$$M_o = \sum (H_0 \times (y_0 - 1.400) - H_0 \times (y_0 - 1.400)) = 91.343 \text{ kN.m}$$

$$y = M_o / H_o = 91.343 / 28.499 = 3.205$$

② 설계 단면력 산정

구분	전단력(kN)	모멘트(kN.m)	비고
설계단면력	194.438	586.523	

3) 기초 설계

① 하중조합

구분	구분	V(kN)	H(kN)	M _x (kN.m)	M _y (kN.m)
COMB 1	고정하중+활하중+토압 (1+3+5+7+8)	1094.517	275.202	4365.415	921.231
COMB 2	고정하중+활하중+토압+온도하중 (1+3+5+7+8)	1094.517	275.202	4365.415	921.231
COMB 3	고정하중+토압+지진하중 (2+4+6)	1028.762	367.972	4011.912	1711.944
COMB 4	고정하중+활하중+토압 (1+3+5+7+8+9+10)	1394.961	275.202	5041.414	921.231
COMB 5	고정하중+활하중+토압+온도하중 (1+3+5+7+8)	1394.961	275.202	5041.414	921.231
COMB 6	고정하중+토압+지진하중 (2+4+6+9+12)	1217.537	377.411	4436.656	1779.180

註) COMB 1, 2, 3 : COMB 4, 5, 6, 상부하중 비제하시(가설시) : 상부하중 제하시
가설시의 활하중은 디딤기(트롤러)를 건설기계의 하중을 포함.

② 말뚝도심에서의 작용하중 계산

$$\sum W = \sum W_1 + \sum W_2$$

e = 말뚝도심(-3.250) - $\sum W / \sum V$: 말뚝도심의 계산은 「4. 안정검토」 참조

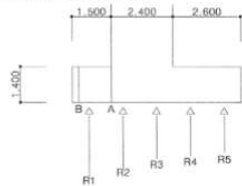
$$W_0 = V \times e$$

- 하중조합별 작용하중

구분	구분	V(kN)	H(kN)	e(m)	M _x (kN.m)
COMB 1	고정하중+활하중+토압 (1+3+5+7+8)	24703.249	6211.309	0.103	2544.435
COMB 2	고정하중+활하중+토압+온도하중 (1+3+5+7+8)	24703.249	6211.309	0.103	2544.435
COMB 3	고정하중+토압+지진하중 (2+4+6)	23219.158	8305.128	1.014	23544.227
COMB 4	고정하중+활하중+토압 (1+3+5+7+8+9+10)	31484.270	6211.309	0.296	9319.944
COMB 5	고정하중+활하중+토압+온도하중 (1+3+5+7+8)	31484.270	6211.309	0.296	9319.944
COMB 6	고정하중+토압+지진하중 (2+4+6+9+12)	27479.810	8518.156	1.067	29320.957

註) COMB 1, 2, 3 : 상부하중 비제하시(가설시), COMB 4, 5, 6 : 상부하중 제하시
각 작용하중은 교대의 전폭(22.570 m)을 고려한 결과임.

③ 전연자판(말뚝)의 단면력 계산



$$\begin{aligned} R1 &= R_{u1} \times 17\% / 22.570 \text{ (kN/m)} \\ R2 &= R_{u2} \times 17\% / 22.570 \text{ (kN/m)} \\ R3 &= R_{u3} \times 17\% / 22.570 \text{ (kN/m)} \\ R4 &= R_{u4} \times 17\% / 22.570 \text{ (kN/m)} \\ R5 &= R_{u5} \times 17\% / 22.570 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

구분	Ru1	Ru2	Ru3	Ru4	Ru5
COMB 1	409.460	345.160	290.870	260.340	239.820
COMB 2	409.460	345.160	290.870	260.340	239.820
COMB 3	572.310	422.740	273.170	166.630	60.100
COMB 4	547.740	454.190	360.640	309.460	258.280
COMB 5	563.770	462.210	360.640	302.660	244.680
COMB 6	674.350	498.820	323.290	190.620	57.940

- 기초자중에 의한 단면력

$$\begin{aligned} V_0 &= 1.400 \times 0.250 \times 25.000 = 8.750 \text{ kN} \\ M_0 &= 1.400 \times 1.500 \times 25.000 \times 1.500 / 2 = 39.375 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- 말뚝단면에 의한 단면력

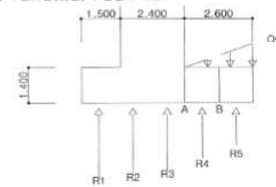
$$\begin{aligned} V_0 &= 0.00 \\ M_0 &= R1 \times 0.850 \end{aligned}$$

- 설계단면력 산정

구분	말뚝단면에 의한 단면력		설계단면력	
	Vb(kN)	Ma(kN.m)	Vs(kN)	Ms(kN.m)
COMB 1	0.000	262.149	8.750	222.774
COMB 2	0.000	262.149	8.750	222.774
COMB 3	-	-	-	-
COMB 4	0.000	360.680	8.750	311.305
COMB 5	0.000	360.943	8.750	321.568
COMB 6	-	-	-	-

註) 사용성 검토에서 지진시 조합(3,6)은 고려하지 않는다.

④ 후연자판(말뚝)의 단면력 계산



$$\begin{aligned} R1 &= R_{u1} \times 17\% / 22.570 \text{ (kN/m)} \\ R2 &= R_{u2} \times 17\% / 22.570 \text{ (kN/m)} \\ R3 &= R_{u3} \times 17\% / 22.570 \text{ (kN/m)} \\ R4 &= R_{u4} \times 17\% / 22.570 \text{ (kN/m)} \\ R5 &= R_{u5} \times 17\% / 22.570 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

구분	Ru1	Ru2	Ru3	Ru4	Ru5
COMB 1	321.960	301.390	280.870	216.570	152.270
COMB 2	321.920	301.390	280.870	216.570	152.270
COMB 3	486.240	379.700	273.170	123.590	-25.980
COMB 4	463.010	411.830	360.640	267.100	173.550
COMB 5	476.600	418.620	360.640	259.080	157.510
COMB 6	588.640	455.970	323.290	147.770	-27.760

- 기초자중에 의한 단면력 : 「단면설계」 참조

- 횡재물 조사에 의한 단면력 : 「단면설계」 참조

- 상재하중에 의한 단면력 : 「단면설계」 참조

- 토압의 연직분력에 의한 단면력 : 평상시 - 「단면설계」 참조

- 말뚝단면에 의한 단면력

$$\begin{aligned} V_b &= R5 \\ M_0 &= R4 \times 0.650 + R5 \times 1.950 \end{aligned}$$

- 설계단면력 산정

구분	말뚝단면에 의한 단면력		설계단면력	
	Vb(kN)	Ma(kN.m)	Vs(kN)	Ms(kN.m)
COMB 1	114.692	329.679	186.425	436.957
COMB 2	114.692	329.679	186.425	436.957
COMB 3	-	-	-	-
COMB 4	130.720	385.673	170.397	382.062
COMB 5	118.638	358.187	182.479	410.448
COMB 6	-	-	-	-

註) 사용성 검토에서 지진시 조합(3,6)은 고려하지 않는다.

4) 사용성 검토

(1) 전연자판

① 응력 산정

$$\begin{aligned} f_s &= W / [A_s \times (d - x/3)] = 321.568 \times 1000000 / [1940.400 \times (1250.000 - 171.191/3)] \\ &= 136.900 \text{ MPa} \\ x &= -nA_s/b + nA_s/b \sqrt{1 + 2bd/(nA_s)} \\ &= -7 \times 1940.400/1000.0 + 7 \times 1940.400/1000.0 \times \sqrt{1 + 2 \times 1000.0 \times 1250.0 / (7 \times 1940.400)} \\ &= 171.191 \text{ mm} \\ \text{사용성검토} &= 1940.4 \text{ mm}^2 \text{ (철근도심 : 150.0 mm)} \\ \text{1단} &: D19 - 4.0 EA, D16 - 4.0 EA (- 1940.4 mm}^2) \end{aligned}$$

② 철근의 최대 응력검역

$$\begin{aligned} C_c &= 150.00 - 19/2 = 140.50 \text{ mm} \\ \text{여기서 } C_c &: \text{인장철근이나 인장재의 표면과 콘크리트 표면사이의 두께(mm)} \\ S_{min} &: 375 \times (K_{cr} / f_s) - 2.5 \times C_c = 375 \times (210 / 136.92) - 2.5 \times 140.50 = 215.62 \text{ mm} \\ 300 \times (K_{cr} / f_s) &= 300 \times (210 / 136.92) = 453.50 \text{ mm} \\ S_{min} &: \text{작은 값인 215.62 mm를 적용} \\ S &= 1000.00 / 8.0 EA = 125.00 \leq S_a (- 215.62 \text{ mm}) \therefore O.K. \end{aligned}$$

(2) 후연자판

① 응력 산정

$$\begin{aligned} f_s &= W / [A_s \times (d - x/3)] = 438.957 \times 1000000 / [3096.800 \times (1300.000 - 216.716/3)] \\ &= 115.450 \text{ MPa} \\ x &= -nA_s/b + nA_s/b \sqrt{1 + 2bd/(nA_s)} \\ &= -7 \times 3096.800/1000.0 + 7 \times 3096.800/1000.0 \times \sqrt{1 + 2 \times 1000.0 \times 1300.0 / (7 \times 3096.800)} \\ &= 216.716 \text{ mm} \\ \text{사용성검토} &= 3096.8 \text{ mm}^2 \text{ (철근도심 : 100.0 mm)} \\ \text{1단} &: D22 - 8.0 EA (- 3096.8 mm}^2) \end{aligned}$$

② 철근의 최대 응력검역

$$\begin{aligned} C_c &= 100.00 - 22/2 = 89.00 \text{ mm} \\ \text{여기서 } C_c &: \text{인장철근이나 인장재의 표면과 콘크리트 표면사이의 두께(mm)} \\ S_{min} &: 375 \times (K_{cr} / f_s) - 2.5 \times C_c = 375 \times (210 / 115.45) - 2.5 \times 89.00 = 459.61 \text{ mm} \\ 300 \times (K_{cr} / f_s) &= 300 \times (210 / 115.45) = 545.69 \text{ mm} \\ S_{min} &: \text{작은 값인 459.61 mm를 적용} \\ S &= 1000.00 / 8.0 EA = 125.00 \leq S_a (- 459.61 \text{ mm}) \therefore O.K. \end{aligned}$$

(3) 복재 : H=6.190

① 응력 산정

$$\begin{aligned} f_s &= W / [A_s \times (d - x/3)] = 586.523 \times 1000000 / [2694.400 \times (2300.000 - 276.292/3)] \\ &= 98.592 \text{ MPa} \\ x &= -nA_s/b + nA_s/b \sqrt{1 + 2bd/(nA_s)} \\ &= -7 \times 2694.400/1000.0 + 7 \times 2694.400/1000.0 \times \sqrt{1 + 2 \times 1000.0 \times 2300.0 / (7 \times 2694.400)} \\ &= 276.292 \text{ mm} \end{aligned}$$

사용철근량 = 2694.4 mm² (철근도심 : 100.0 mm)
 1단 : D22 - 4.0 EA, D19 - 4.0 EA (= 2694.4 mm²)

② 철근의 최대 중심간격
 $C_c = 100.00 - 22/2 = 89.00 \text{ mm}$
 여기서 C_c : 인장철근이나 긴장재의 표면과 콘크리트 표면사이의 두께(mm)
 $S_{min} = 375 \times (K_{cr} / f_s) - 2.5 \times C_c = 375 \times (210 / 98.59) - 2.5 \times 89.00 = 576.24 \text{ mm}$
 $300 \times (K_{cr} / f_s) = 300 \times (210 / 98.59) = 638.99 \text{ mm}$
 $S_{a는}$ 작은 값인 576.24 mm 를 적용
 $S = 1000.00 / 8.0 \text{ EA} = 125.00 \leq S_a (= 576.24 \text{ mm}) \quad \therefore \text{O.K.}$

(4) 용벽
 ① 용벽 산정
 $f_s = M / [A_s \times (d - \chi/3)] = 01.394 \times 1000000 / [1588.800 \times (700.000 - 114.154/3)]$
 $= 86.901 \text{ MPa}$
 $\chi = -nA_s/b + nA_s/b \sqrt{1 + 2bd/(nA_s)}$
 $= -7 \times 1588.800/1000.0 + 7 \times 1588.800/1000.0 \times \sqrt{1 + 2 \times 1000.0 \times 700.0/(7 \times 1588.800)}$
 $= 114.154 \text{ mm}$
 사용철근량 = 1588.8 mm² (철근도심 : 100.0 mm)
 1단 : D16 - 8.0 EA (= 1588.8 mm²)

② 철근의 최대 중심간격
 $C_c = 100.00 - 16/2 = 92.00 \text{ mm}$
 여기서 C_c : 인장철근이나 긴장재의 표면과 콘크리트 표면사이의 두께(mm)
 $S_{min} = 375 \times (K_{cr} / f_s) - 2.5 \times C_c = 375 \times (210 / 86.90) - 2.5 \times 92.00 = 676.20 \text{ mm}$
 $300 \times (K_{cr} / f_s) = 300 \times (210 / 86.90) = 724.96 \text{ mm}$
 $S_{a는}$ 작은 값인 676.20 mm 를 적용
 $S = 1000.00 / 8.0 \text{ EA} = 125.00 \leq S_a (= 676.20 \text{ mm}) \quad \therefore \text{O.K.}$

(3) 사용성 검토

① A(T=500 mm)

① 용벽 산정
 $f_s = M / [A_s \times (d - \chi/3)] = 65.521 \times 1000000 / [1588.800 \times (420.000 - 86.171/3)]$
 $= 105.397 \text{ MPa}$
 $\chi = -nA_s/b + nA_s/b \sqrt{1 + 2bd/(nA_s)}$
 $= -7 \times 1588.800/1000.0 + 7 \times 1588.800/1000.0 \times \sqrt{1 + 2 \times 1000.0 \times 420.0/(7 \times 1588.800)}$
 $= 86.171 \text{ mm}$
 사용철근량 = 1588.8 mm² (철근도심 : 80.0 mm)
 1단 : D16 - 8.0 EA (= 1588.8 mm²)

② 철근의 최대 중심간격

$C_c = 80.00 - 16/2 = 72.00 \text{ mm}$
 여기서 C_c : 인장철근이나 긴장재의 표면과 콘크리트 표면사이의 두께(mm)
 $S_{min} = 375 \times (K_{cr} / f_s) - 2.5 \times C_c = 375 \times (210 / 105.40) - 2.5 \times 72.00 = 567.18 \text{ mm}$
 $300 \times (K_{cr} / f_s) = 300 \times (210 / 105.40) = 597.74 \text{ mm}$
 $S_{a는}$ 작은 값인 567.18 mm 를 적용
 $S = 1000.00 / 8.0 \text{ EA} = 125.00 \leq S_a (= 567.18 \text{ mm}) \quad \therefore \text{O.K.}$

② B(T=500 mm)

① 용벽 산정
 $f_s = M / [A_s \times (d - \chi/3)] = 55.768 \times 1000000 / [1588.800 \times (420.000 - 86.171/3)]$
 $= 89.708 \text{ MPa}$
 $\chi = -nA_s/b + nA_s/b \sqrt{1 + 2bd/(nA_s)}$
 $= -7 \times 1588.800/1000.0 + 7 \times 1588.800/1000.0 \times \sqrt{1 + 2 \times 1000.0 \times 420.0/(7 \times 1588.800)}$
 $= 86.171 \text{ mm}$
 사용철근량 = 1588.8 mm² (철근도심 : 80.0 mm)
 1단 : D16 - 8.0 EA (= 1588.8 mm²)

② 철근의 최대 중심간격

$C_c = 80.00 - 16/2 = 72.00 \text{ mm}$
 여기서 C_c : 인장철근이나 긴장재의 표면과 콘크리트 표면사이의 두께(mm)
 $S_{min} = 375 \times (K_{cr} / f_s) - 2.5 \times C_c = 375 \times (210 / 89.71) - 2.5 \times 72.00 = 697.85 \text{ mm}$
 $300 \times (K_{cr} / f_s) = 300 \times (210 / 89.71) = 702.28 \text{ mm}$
 $S_{a는}$ 작은 값인 697.85 mm 를 적용
 $S = 1000.00 / 8.0 \text{ EA} = 125.00 \leq S_a (= 697.85 \text{ mm}) \quad \therefore \text{O.K.}$

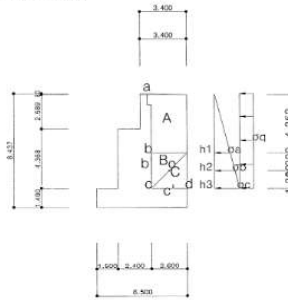
③ C(T=500 mm)

① 용벽 산정
 $f_s = M / [A_s \times (d - \chi/3)] = 78.208 \times 1000000 / [2292.000 \times (420.000 - 101.150/3)]$
 $= 88.354 \text{ MPa}$
 $\chi = -nA_s/b + nA_s/b \sqrt{1 + 2bd/(nA_s)}$
 $= -7 \times 2292.000/1000.0 + 7 \times 2292.000/1000.0 \times \sqrt{1 + 2 \times 1000.0 \times 420.0/(7 \times 2292.000)}$
 $= 101.150 \text{ mm}$

8. 날개벽 설계

1) 좌측 날개벽

(1) 단면력 산정



$U = 1.700 \times H + 2.150 \times L$
 경사도압계수 $K_o = 1 - \sin\phi = 1 - \sin(35.0^\circ) = 0.425$
 30 Plate 해석 시 자동차는 프로그램 내부에서 고려됨.

(2) 해석 모델



사용철근량 = 2292.0 mm² (철근도심 : 80.0 mm)
 1단 : D19 - 8.0 EA (= 2292.0 mm²)

② 철근의 최대 중심간격

$C_c = 80.00 - 19/2 = 70.50 \text{ mm}$
 여기서 C_c : 인장철근이나 긴장재의 표면과 콘크리트 표면사이의 두께(mm)
 $S_{min} = 375 \times (K_{cr} / f_s) - 2.5 \times C_c = 375 \times (210 / 88.33) - 2.5 \times 70.50 = 715.25 \text{ mm}$
 $300 \times (K_{cr} / f_s) = 300 \times (210 / 88.33) = 713.20 \text{ mm}$
 $S_{a는}$ 작은 값인 713.20 mm 를 적용
 $S = 1000.00 / 8.0 \text{ EA} = 125.00 \leq S_a (= 713.20 \text{ mm}) \quad \therefore \text{O.K.}$

18.2.2 시설물 점검이력

대상시설물은 1종 시설물로서 금회 점검은 최초의 정밀안전점검이다. 준공이후 기준에 따라 정기안전점검을 지속적으로 실시해 왔으며, 정기안전점검 3회를 실시한 것으로 이력사항은 다음과 같다.

【표 18.2.1】 남고양교 점검이력사항

번호	기 간	구 분	점검 결과	안전 등급
1	2021. 03. 22 ~ 2021. 06. 30	정기안전점검	남고양교의 주요 손상현황으로는 바닥판하면 균열부백태 등이 조사되었다. 기 발생한 손상은 초기건조수축 및 시공미흡으로 인한 손상으로 판단되며 주의관찰 및 내구성 확보 차원의 보수가 필요하다.	양호
2	2021. 08. 23 ~ 2021. 11. 24	정기안전점검	남고양교의 주요 손상현황으로는 바닥판하면 균열부백태, 교대 균열, 망상균열 등이 조사되었다. 기 발생한 손상은 초기건조수축 및 시공미흡으로 인한 손상으로 판단되며 주의관찰 및 내구성 확보 차원의 보수가 필요하다.	양호
3	2022. 03. 02 ~ 2022. 06. 15	정기안전점검	바닥판 하면 균열부백태 교대 균열(0.3mm미만), 망상균열	양호

18.2.3 전차 정밀안전점검 실시결과

금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

18.2.4 수집자료 검토결과 및 점검방향 설정

구 분	내 용	비고
설계도서	○ 현장조사 시 부재치수를 실측하여 구조물도와 비교·검토 후 치수가 상이할 경우 설계도서 재작성 하고, 실측치와 동일 시 구조물도를 기준을 과업을 진행토록 함	
시설물관리대장	○ 관리대장의 내용과 설계도서를 비교 검토한 결과, 상이한 내용은 없으며, 정밀한 현장소사를 실시하여 향후 유지관리를 위한 사항들을 보고서에 수록함	
시공관련자료	○ 안전, 품질, 공정 및 변경등에 관한 검토를 통해 합당한 공사가 시행 된 것으로 확인되었고, 안전점검 기록 및 현장시험을 통해 품질의 현 상태를 분석하고 확인함	
안전점검 및 정밀안전진단자료	○ 점검이력을 검토한 결과, 시설물의 손상 및 상태가 확인되었고, 기존 점검 결과를 비교·검토하여 추가 손상 확인, 보수여부 재확인 후 대책방안을 검토함	
보수보강자료	○ 일괄보수 보다는 하자보수를 통하여 단계적인 예방 보수가 시행되고 있고, 기 보수부 상태를 확인하여 재손상 발생여부를 확인함	
중 점 관리사항	○ 금회 점검에서는 시설물의 하중 변화 여부, 신규손상 발생 여부, 비파괴 시험 등에 대하여 중점조사 및 점검 방향으로 한다.	
시설물 특이사항	○ 중대결함 : 없음 ○ 구조가 변경(하중변화, 단면변화)된 경우 : 없음	
점검주기	○ 점검일 현재 정기점검은 총3회를 실시하였으며, 전반적으로 점검 시기는 적정하게 이루어지고 있는 것으로 조사됨.	

18.2.5 시설물 보수 이력

【표 18.2.2】 남고양교 보수이력사항

NO	보수위치	내용	기간	공사비	시공자	비고
1	—	—	—	—	—	—

18.2.6 시설물의 내진설계 여부 확인

【표 18.2.3】 내진설계 여부 확인

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약
해당사항 없음	Y	—	—
• 준공도서 및 FMS상 내진설계는 반영 된 것으로 확인되었고, 내진성능평가는 미실시 된 것으로 확인되었다.			

18.3 현장조사

18.3.1 개요

대상시설물에 대한 자료수집 및 현장조사결과를 토대로 정밀조사를 실시하기 위하여 고소차를 이용한 근접조사를 원칙으로 시행하였으며, 점검 망치를 이용한 타격조사를 실시하여 공동 및 박리, 층분리 발생여부를 확인 및 제거를 실시하였다.

가. 장비사용 현황

Span번호	조사방법 및 접근성	조사기간	비고
S1~S7	도보, 고소차	2022.08.22.~2022.12.11.	
			
작업전경		작업전경	
			
연단거리 측정		비파괴시험	

【사진 18.3.1】 근접조사를 위한 장비 사용 전경

18.3.2 현장조사 결과

가. 바닥판 하면

1) 부재의 개요

- 남고양교는 총 7경간으로 이루어져 있으며, 연장은 L=390.0m 폭 25.0m로 바닥판은 철근 콘크리트로 시공되어있다.
- 바닥판하면에 대한 현장조사는 도보 및 고소점검차로 근접조사를 실시하였다.



【사진 18.3.2】 바닥판하면 전경

2) 현장조사 결과

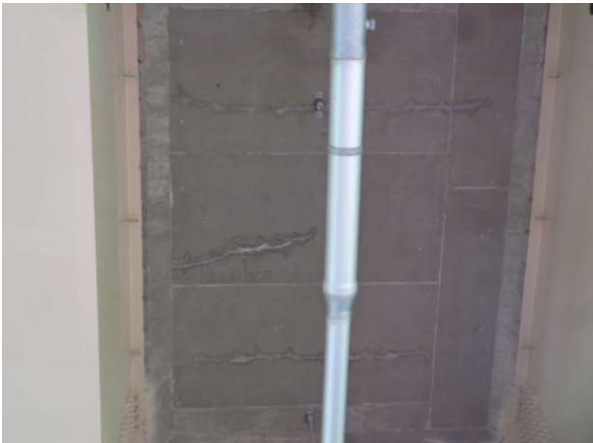
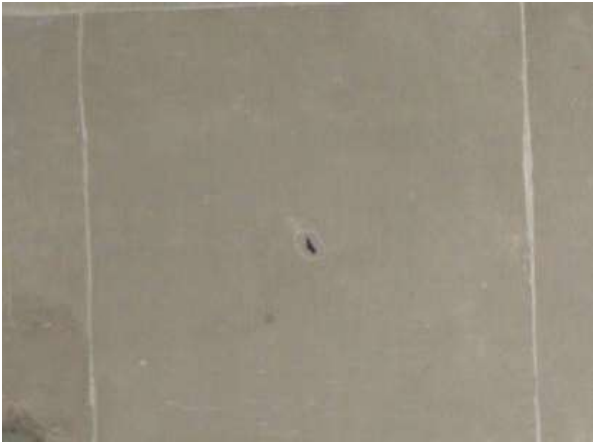
- 바닥판 하면 현장조사 결과 균열(0.3mm미만), 망상균열, 균열부백태, 재료분리가 조사되었다.

【표 18.3.1】 바닥판하면 현장조사 결과

구분	균열(0.3mm미만) (m/개소)		망상균열 (㎡/개소)		균열부백태 (㎡/개소)		재료분리 (㎡/개소)	
S1	—	—	12.50	1	0.70	6	—	—
S2	—	—	—	—	1.00	10	—	—
S3	—	—	—	—	3.02	18	—	—
S4	—	—	—	—	7.14	21	—	—
S5	10.00	2	50.00	4	1.87	11	0.01	1
S6	—	—	—	—	0.56	6	—	—
S7	—	—	—	—	6.48	21	—	—
합계	10.00	2	62.50	5	20.77	93	0.01	1

	
바닥판 하면 S1 균열부백태(0.2×0.4)	바닥판 하면 S1 망상균열(2.5×5.0)
	
바닥판 하면 S2 균열부백태(0.2×1.0)	바닥판 하면 S2 망상균열(3.0×4.0)
	
바닥판 하면 S3 균열부백태(0.2×0.4, 0.2×1.0)	바닥판 하면 S4 균열부백태(0.2×1.0)

【사진 18.3.3】 바닥판하면 전경

	
바닥판 하면 S4 균열부백태(0.2×2.5 ×2EA)	바닥판 하면 S4 망상균열(3.0×4.0)
	
바닥판 하면 S5 재료분리(0.1×0.1)	바닥판 하면 S6 균열부백태(0.2×0.5)

【사진 18.3.3】 바닥판하면 전경(계속)

3) 기 점검 결과 비교

- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

4) 검토의견

- 바닥판 하면의 현장조사 결과 시공초기 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형, 우수유입, 수분침투, 다짐불량, 시공미흡 등에 의한 균열(0.3mm미만), 망상균열, 균열부백태, 재료분리가 조사되었으며, 조사된 손상은 내구성 확보 차원에서 표면처리, 단면보수 등을 실시하는 것이 필요하다.

나. 거더

1) 부재의 개요

- 바닥판으로부터 전달되는 상부하중을 지지하고 교량받침으로 하중을 전달하는 역할을 하는 ST. BOX는 4열로 시공되었으며, 도보 및 고소점검차로 현장조사를 실시하였다.



【사진 18.3.4】 거더 전경

2) 현장조사 결과

- 거더에 대한 현장조사 결과 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았으며, 거더외부 및 거더내부 모두 양호한 상태로 조사되었다.

【표 18.3.2】 거더외부 현장조사 결과

구분		상태양호	
거더 외부	S1	—	—
	S2	—	—
	S3	—	—
	S4	—	—
	S5	—	—
	S6	—	—
	S7	—	—
합계		—	—

【표 18.3.3】 거더내부 현장조사 결과

구분		상태양호	
거더 내부	S1	—	—
	S2	—	—
	S3	—	—
	S4	—	—
	S5	—	—
	S6	—	—
	S7	—	—
합계		—	—



【사진 18.3.5】 거더 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

4) 검토의견

- 거더외부 및 거더내부는 손상이 없는 양호한 상태이며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.

다. 가로보 및 세로보(2차부재)

1) 부재의 개요

- 공용기간 중 주거더의 횡변형 방지와 하중 횡분배 등의 역할을 하는 가로보 및 세로보는 강재로 시공되어 있으며, 조사방법은 거더와 동일한 방법으로 도보 및 고소점검차를 통한 근접조사를 실시하였다.



【사진 18.3.6】 가로보 및 세로보 전경

2) 현장조사 결과

- 가로보 및 세로보에 대한 현장조사 결과, 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었다.

【표 18.3.4】 가로보 및 세로보 현장조사 결과

구분		상태양호	
가로보	S1	—	—
	S2	—	—
	S3	—	—
	S4	—	—
	S5	—	—
	S6	—	—
	S7	—	—
세로보	S1	—	—
	S2	—	—
	S3	—	—
	S4	—	—
	S5	—	—
	S6	—	—
	S7	—	—
합계		—	—

	
가로보 상태양호	가로보 상태양호
	
세로보 상태양호	세로보 상태양호

【사진 18.3.7】 가로보 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

4) 검토의견

- 가로보 및 세로보는 현재 손상이 없는 양호한 상태이며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생 여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.

라. 교대

1) 부재의 개요

- 남고양교 교대는 역T형으로 시공되어있으며, 기초는 강관말뚝기초로 시공되어있다. 교대에 대한 현장조사는 도보 및 고소점검차를 이용한 근접조사를 실시하였다.



교대 전경 (A2)

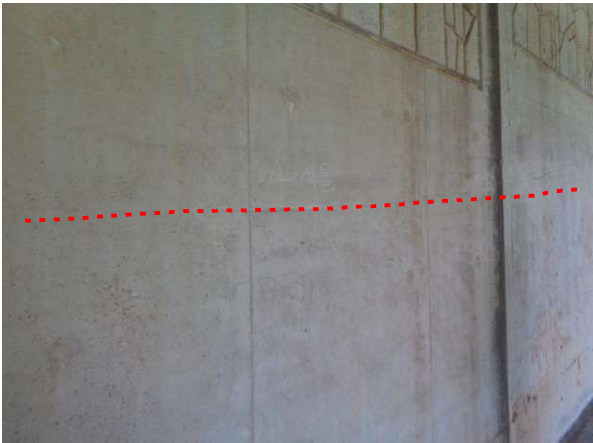
【사진 18.3.8】 교대 전경

2) 현장조사 결과

- 교대 A2에 대한 현장조사 결과 균열(0.3mm미만), 망상균열 등의 손상이 발생한 것으로 조사되었다.

【표 18.3.5】 교대 현장조사 결과

구분	균열(0.3mm미만) (m/개소)		망상균열 (㎡/개소)	
A2	32.00	2	16.00	2
합계	32.00	2	16.00	2

	
교대 A2 구체 균열(Cw=0.3mm미만)	A2 구체 균열(Cw=0.3mm미만)
	
교대 A2 구체 망상균열(5.0×2.0)	교대 A2 구체 망상균열(6.0×1.0)

【사진 18.3.9】 교대 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

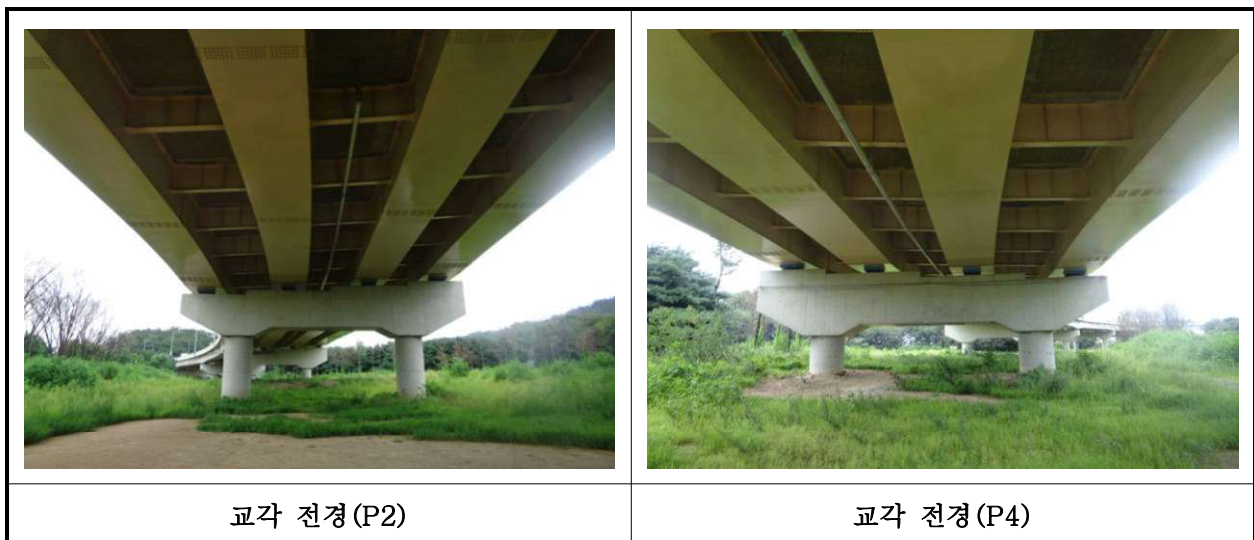
4) 검토의견

- 교대의 현장조사 결과 시공초기 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형 등에 의한 균열(0.3mm 미만), 망상균열이 조사되었으며, 조사된 손상은 내구성 확보 차원에서 표면처리 등을 실시하는 것이 필요하다.

마. 교각

1) 부재의 개요

- 남고양교의 교각은 π 형으로 구성되어 있으며, P0~P6 현장타설말뚝으로 시공되었다. 교각에 대한 현장조사는 도보조사 및 고소점검차를 통한 근접조사를 실시하였다.



【사진 18.3.10】 교각 전경

2) 현장조사 결과

- 교각에 대한 현장조사 결과, 망상균열이 조사되었다.

【표 18.3.6】 교각 현장조사 결과

구분	망상균열 (㎡/개소)	
P0	24.00	1
P1	—	—
P2	—	—
P3	4.00	1
P4	24.00	1
P5	24.00	1
P6	—	—
합계	76.00	4

	
교각 P3 기둥부 망상균열(4.0×1.0)	교각 P3 기둥부 망상균열(4.0×1.0)
	
교각 P4 코핑부 망상균열(12.0×2.0)	교각 P5 코핑부 망상균열(12.0×2.0)

【사진 18.3.11】 교각 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

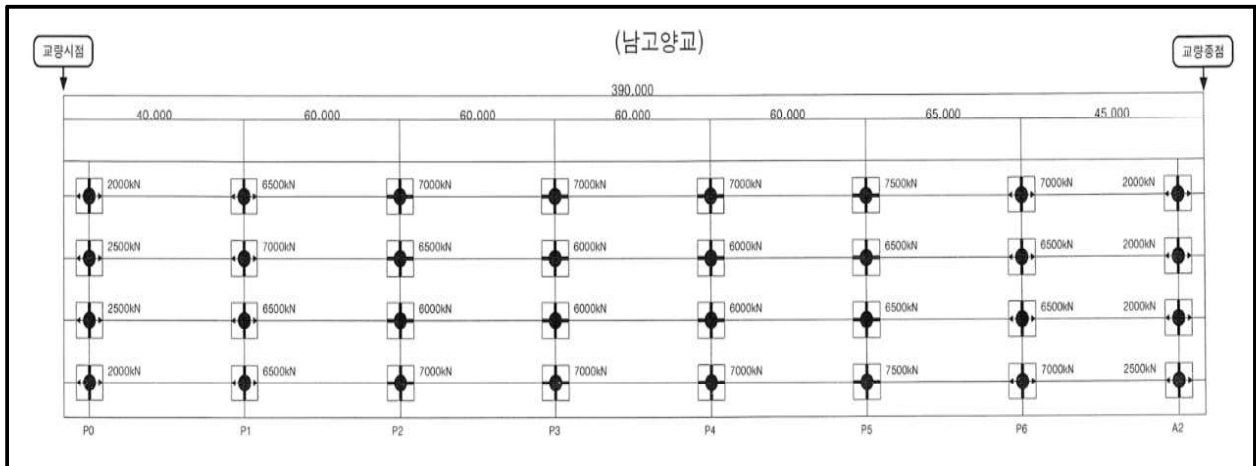
4) 검토의견

- 교각에 발생한 망상균열은 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형 등의 복합적인 원인에 의한 비구조적 손상으로 내구성 확보 차원에서 표면보수를 실시하는 것이 바람직하다.

바. 교량받침

1) 부재의 개요

- 남고양교의 받침은 면진받침으로 총 32기가 설치되어 있으며, 받침장치의 순번은 한국도로공사 집중점검세부시행 방법에 따라 번호를 부여하여 현장조사를 수행하였다.



【그림 18.3.1】 교량받침 배치도



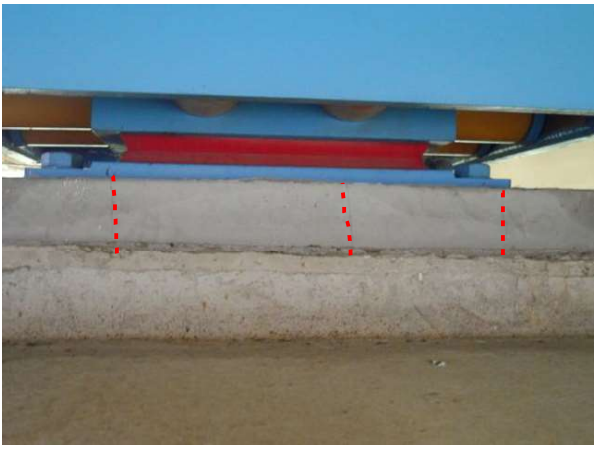
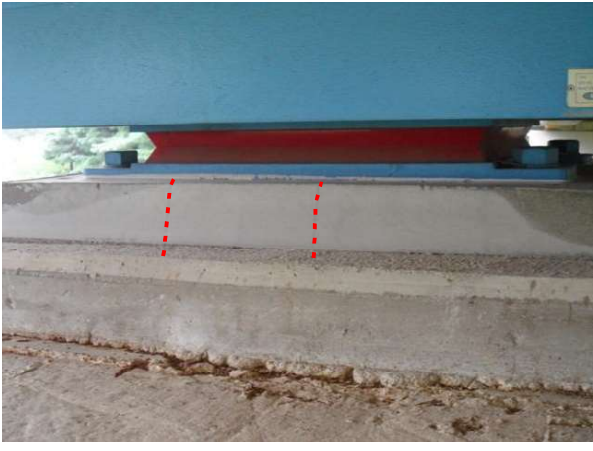
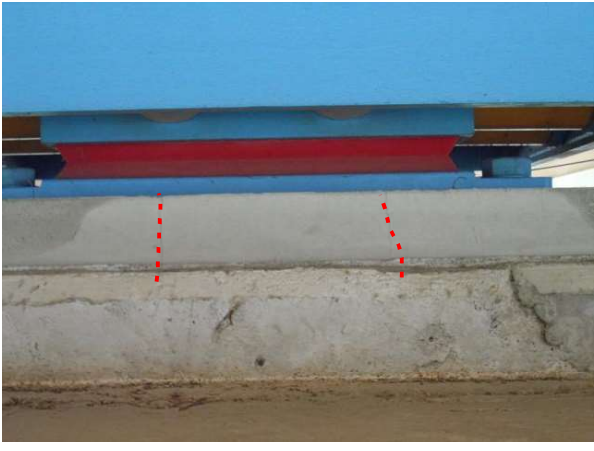
【사진 18.3.12】 교량받침 전경

2) 현장조사 결과

- 교량받침의 현장조사 결과 받침몰탈 균열(0.3mm미만)이 조사되었다.

【표 18.3.7】 교량받침 현장조사 결과

구분	받침몰탈 균열(0.3mm미만) (m/개소)	
P0	3.00	6
P1	6.90	23
P2	9.30	31
P3	7.80	26
P4	9.00	30
P5	7.80	26
P6	—	—
A2	—	—
합계	43.80	142

	
P0-Sh7 받침몰탈 균열(Cw=0.3mm미만)	P4-Sh3 받침몰탈 균열(Cw=0.3mm미만)
	
P5-Sh1 받침몰탈 균열(Cw=0.3mm미만)	P5-Sh2 받침몰탈 균열(Cw=0.3mm미만)

【사진 18.3.13】 교량받침 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

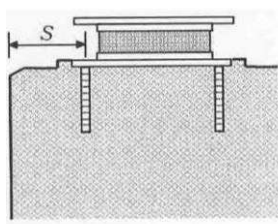
- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

4) 검토의견

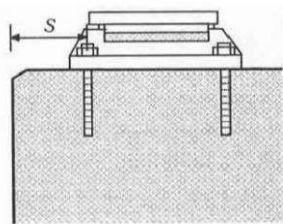
- 교량받침의 현장조사 결과 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형 등에 의한 받침물탈 균열(0.3mm미만)이 조사되었으며, 조사된 손상은 내구성 확보 차원에서 표면처리 등의 보수를 실시하는 것이 바람직하다.

5) 연단거리 검토

- 교대 및 교각의 교좌면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위이고, 지진시에는 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(2009, 국토교통부)’에서는 최소값을 규정하고 있다.



(a) 고무받침



(b) 강재받침

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

【그림 18.3.2】 도로교설계기준 연단거리 산출방법



받침장치 연단거리 측정



받침장치 연단거리 측정

【사진 18.3.14】 교량받침장치 연단거리측정

① 연단거리 산출

- 거더 경간길이(L=40.0m) : $200+5 \times 40.0 = 400(\text{mm})$
- 거더 경간길이(L=45.0m) : $200+5 \times 45.0 = 425(\text{mm})$
- 거더 경간길이(L=60.0m) : $200+5 \times 60.0 = 500(\text{mm})$
- 거더 경간길이(L=65.0m) : $200+5 \times 65.0 = 525(\text{mm})$

【표 18.3.8】연단거리 측정 결과

구 분		설계 연단거리 (mm)	실측 연단거리(mm)				검토 결과
			Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	
P0	A1측	400	650	650	640	640	O.K
P1	A1측	400	1040	1040	1040	1040	O.K
	A2측	500	1030	1030	1030	1030	O.K
P2	A1측	500	1050	1050	1050	1050	O.K
	A2측	500	1050	1050	1050	1050	O.K
P3	A1측	500	1050	1050	1040	1050	O.K
	A2측	500	1050	1040	1050	1050	O.K
P4	A1측	500	1010	1010	1010	1010	O.K
	A2측	500	1010	1010	1010	1010	O.K
P5	A1측	500	1010	1010	1010	1010	O.K
	A2측	525	1040	1040	1040	1040	O.K
P6	A1측	525	1050	1050	1050	1050	O.K
	A2측	425	1000	1000	990	1000	O.K
A2	A1측	425	710	710	720	720	O.K

② 연단거리 검토의견

- 연단거리 측정 결과, 전 개소 모두 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고 있는 것으로 측정되어 설계기준을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

6) 교량받침 신축거동상태 검토

가동받침은 상부구조의 온도변화, 처짐 콘크리트의 크리프 및 건조수축 등에 의해 생기는 이동량에 대해서 여유를 가져야 한다.



【사진 18.3.15】 교량받침 이동량 측정

① 설계기준온도(−20℃ ~ 40℃(한랭지방))에 따른 여유량 검토

【표 18.3.9】 교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정

구 분	온도변화 (ΔT , °C)		선팅창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(mm)		비고
	동절기	하절기			동절기	하절기	
P0	45.4	14.6	0.000012	195.0	106.2	34.2	
P1	45.4	14.6	0.000012	155.0	84.4	27.2	
P2	45.4	14.6	0.000012	95.0	51.8	16.6	
P3	45.4	14.6	0.000012	35.0	19.1	6.1	
P4	45.4	14.6	0.000012	25.0	13.6	4.4	
P5	45.4	14.6	0.000012	85.0	46.3	14.9	
P6	45.4	14.6	0.000012	150.0	81.7	26.3	
A1	45.4	14.6	0.000012	195.0	106.2	34.2	
1) 조사당시 온도 : 25.4℃(조사일 : 2022년 08월 23일, 평균온도, 서울)							
2) 검토온도 : −20℃ ~ 40℃(한랭지방)							

【표 18.3.10】 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과

위치		이동량	실측 받침 가동여유량		최대 받침 이동량		허용변위 (mm)	검토 결과
			수축	신장	최대수축	최대신장		
P0	SH1	30(P0)	230	170	106.2	34.2	±200	O.K
	SH2	20(P0)	220	180			±200	O.K
	SH3	20(P0)	220	180			±200	O.K
	SH4	20(P0)	220	180			±200	O.K
P1	SH1	40(P0)	220	140	84.4	27.2	±180	O.K
	SH2	40(P0)	220	140			±180	O.K
	SH3	40(P0)	220	140			±180	O.K
	SH4	40(P0)	220	140			±180	O.K
P2	SH1	20(P0)	140	100	51.8	16.6	±120	O.K
	SH2	20(P0)	140	100			±120	O.K
	SH3	20(P0)	140	100			±120	O.K
	SH4	20(P0)	140	100			±120	O.K
P3	SH1	0	120	120	19.1	6.1	±120	O.K
	SH2	0	120	120			±120	O.K
	SH3	0	120	120			±120	O.K
	SH4	5(A2)	125	115			±120	O.K
P4	SH1	10(A2)	130	110	13.6	4.4	±120	O.K
	SH2	10(A2)	130	110			±120	O.K
	SH3	10(A2)	130	110			±120	O.K
	SH4	10(A2)	130	110			±120	O.K
P5	SH1	10(A2)	130	110	46.3	14.9	±120	O.K
	SH2	10(A2)	130	110			±120	O.K
	SH3	10(A2)	130	110			±120	O.K
	SH4	10(A2)	130	110			±120	O.K
P6	SH1	60(A2)	240	120	81.7	26.3	±180	O.K
	SH2	60(A2)	240	120			±180	O.K
	SH3	60(A2)	240	120			±180	O.K
	SH4	60(A2)	240	120			±180	O.K
A2	SH1	100(A2)	300	100	106.2	34.2	±200	O.K
	SH2	100(A2)	300	100			±200	O.K
	SH3	100(A2)	300	100			±200	O.K
	SH4	100(A2)	300	100			±200	O.K

주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K

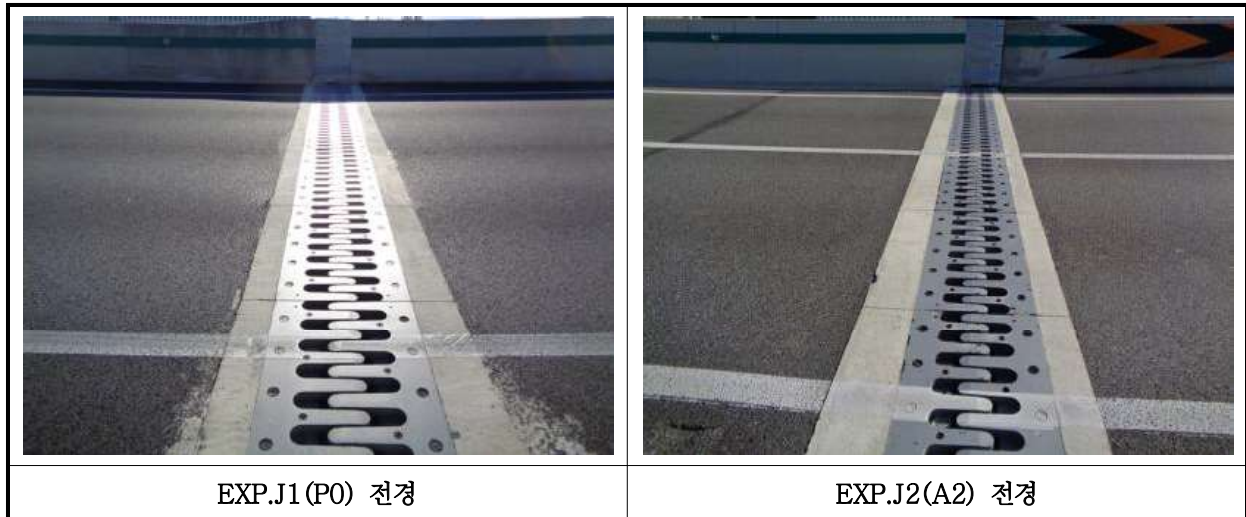
② 교량받침 이동량 검토의견

- 계산여유량과 실측여유량의 비교 · 검토결과 가동여유량이 충분한 것으로 조사되었으며, 교량 받침의 이탈 가능성은 없는 상태로 판단된다.

사. 신축이음장치

1) 부재의 개요

- 본 교량의 신축이음장치는 P0, A2 모두 강평거조인트로 시공된 상태이다.



【사진 18.3.16】 신축이음장치 전경

2) 현장조사 결과

- 신축이음 현장조사 결과 이물질퇴적, 차수판 파손, 차수판 볼트탈락이 조사되었다.

【표 18.3.11】 신축이음장치 현장조사 결과

구분	이물질퇴적 (m/개소)		차수판 파손 (개소)		차수판 볼트탈락 (개소)		여유량 부족 (개소)	
P0 (EXP J1)	—	—	—	—	6.00	6	—	—
A2 (EXP J2)	1.00	1	1.00	1	3.00	3	1.00	1
합계	1.00	1	1.00	1	9.00	9	1.00	1

	
신축이음 P0 차수판 볼트탈락	신축이음 A2 이물질퇴적(L=1.0m)
	
신축이음 A2 차수판 파손	신축이음 A2 차수판 볼트탈락

【사진 18.3.17】 신축이음장치 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

4) 검토의견

- 신축이음에 발생한 이물질퇴적, 차수판 파손 및 볼트탈락의 경우 초기 건조수축, 차량 통행 하중 및 충격, 시공미흡 등에 의한 손상으로 판단되며, 내구성 및 미관 확보를 위한 정비를 실시하는 것이 요구된다.

5) 신축이음 거동상태 검토

① 설계기준온도(−20℃ ~ 40℃(한랭지방))에 따른 여유량 검토

구분	계산방법				비고	
이론 신축량	- 온도변화에 의한 이동량 $\Delta l_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$ - 여기서, Δl_t : 온도변화에 의한 이동량 ΔT : 온도변화 범위(기상청 자료참조) α (강재): 1.2×10^{-5}, α (콘크리트): 1.0×10^{-5} L : 신축보의 길이(mm)					
	- 소요 가동량 산정 - 조사일 : 2022. 10. 18. 기온 적용: 9.4℃(일평균) $\Delta T(\text{신장시}) : 40.0^{\circ}\text{C} - 9.4^{\circ}\text{C} = 30.6^{\circ}\text{C}$ $\Delta T(\text{수축시}) : -20.0^{\circ}\text{C} - (9.4^{\circ}\text{C}) = 29.4^{\circ}\text{C}$ $\Delta l_t(\text{최소필요유간}) : \Delta T \times \alpha \times L$ - 형식별 온도변화범위(℃)				 	
소요 신축량	교량형식		보통지방	한랭지방	선팽창계수 α (/℃)	
	강 교	상로교	-10~+40	-20~+40	1.2×10^{-5}	
		하로교, 강바닥판교	-10~+50	-20~+40	1.2×10^{-5}	
	RC, PSC교		-5~+35	-15~+35	1.0×10^{-5}	

【사진 18.3.18】 신축이음 유간 측정방법

【표 18.3.12】 신축이음 신축이동량 산정

구 분	온도변화 (ΔT , ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(mm)		신축이음 실측유간 (mm)	바닥판 실측유간 (mm)	거더 실측유간 (mm)	비고
	동절기	하절기			동절기	하절기				
P0 (서울)	29.4	30.6	0.000012	318.4	112.3	116.9	145	230	280	
P0 (문산)	29.4	30.6	0.000012	255	90.0	93.6	120	230	280	
A2	29.4	30.6	0.000012	195	68.8	71.6	120	170	200	

1) 조사당시 온도 : 9.4℃(조사일 : 2022년 10월 18일, 평균온도, 서울)
 2) 검토온도 : −20℃ ~ 40℃(한랭지방)

【표 18.3.13】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과

구 분		계산 이동량(mm)		점검당시 실측유간(mm) ③	허용량(mm) ④	신축 여유량(mm)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 (③-②)	
P0 (서울)	신축이음	112.3	116.9	145	300	42.70	28.10	O.K
	바닥판			230	-	-	113.1	O.K
	거더			280	-	-	163.1	O.K
P0 (문산)	신축이음	90.0	93.6	120	300	90.00	26.40	O.K
	바닥판			230	-	-	136.4	O.K
	거더			280	-	-	186.4	O.K
A2	신축이음	68.8	71.6	120	150	-38.80	48.40	N.G
	바닥판			170	-	-	98.4	O.K
	거더			200	-	-	128.4	O.K
주) 판정 : 0.0mm ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K								

※ 구조계산서 신축량 계산에 따르면 A2 최대허용 신축량은 200mm로 계산되었으나, 준공도면에 150mm를 적용한 것으로 나타났으며, 이에 보수적으로 판단되는 150mm를 적용하여 계산함.

6) 신축거동상태 검토의견

- 신축이음 유간을 검토한 결과, 온도변화에 따른 신장시 모든 신축이음에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었으나 수축시 A2 신축이음에서 여유량이 부족한 것으로 나타났으며, 이는 시공시 프리세팅 오류 등이 원인인 것으로 추정된다. 따라서 신축이음 여유량 확보를 위한 재설치 등과 같은 보수가 필요하며, 수축시(겨울철) 이동량에 대한 주기적인 계측을 실시하는 것이 필요하다.

아. 교면포장

1) 부재의 개요

- 남고양교의 바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 역할을 하는 교면포장은 아스콘 포장으로 되어있다.



【사진 18.3.19】 교면포장 전경

2) 현장조사 결과

- 교면포장의 현장조사 결과 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 18.3.14】 교면포장 현장조사 결과

구분	상태양호	
S1	—	—
S2	—	—
S3	—	—
S4	—	—
S5	—	—
S6	—	—
S7	—	—
합계	—	—

	
교면포장 상태양호	교면포장 상태양호

【사진 18.3.20】 교면포장 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

4) 검토의견

- 교면포장의 현장조사 결과 손상이 없는 양호한 상태이며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생 여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.

자. 배수시설

1) 부재의 개요

- 남고양교는 교량의 횡단구배 특성에 따라 교량의 좌, 우측에 배수시설이 설치되어 있다.



【사진 18.3.21】 배수시설 전경

2) 현장조사 결과

- 배수시설에 대한 현장조사 결과, 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었다.

【표 18.3.15】 배수시설 현장조사 결과

구분	상태양호	
S1	—	—
S2	—	—
S3	—	—
S4	—	—
S5	—	—
S6	—	—
S7	—	—
합계	—	—

	
배수구 상태 양호	배수관 상태 양호

【사진 18.3.22】 배수시설 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

4) 검토의견

- 배수구는 현재 양호한 상태이나, 공용기간 경과 및 추량통행에 의한 비산물퇴적 등의 원인으로 이물질퇴적, 그로인한 체수, 배수관 부식 등의 손상이 발생할 수 있으므로, 주기적인 정비를 통한 유지관리가 필요하다.

차. 방호벽

1) 부재의 개요

- 차량의 차도이탈 방지, 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호울타리는 철근콘크리트 구조로 설치되어있다.



【사진 18.3.23】 방호벽 및 중앙분리대 전경

2) 현장조사 결과

- 방호벽에 대한 현장조사 결과, 균열 및 재균열(0.3mm이상), 균열부백태가 확인되었다.

【표 18.3.16】 방호벽 및 중앙분리대 현장조사 결과

구분	균열(0.3mm이상) (m/개소)		재균열(0.3mm이상) (m/개소)		균열부 백태 (㎡/개소)	
S1	8.00	8	—	—	—	—
S2	1.00	1	6.00	6	—	—
S3	—	—	10.00	10	—	—
S4	1.00	1	10.00	10	—	—
S5	—	—	12.00	12	—	—
S6	1.00	1	3.00	3	0.40	4
S7	—	—	—	—	0.30	1
합계	11.00	11	41.00	41	0.70	5

	
S1 방호벽 균열(Cw=0.3mm이상)	S4 방호벽 재균열(Cw=0.3mm이상)
	
S5 방호벽 재균열(Cw=0.3mm이상)	S7 방호벽 균열부백태(0.2×1.5)

【사진 18.3.24】 방호벽 및 중앙분리대 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

4) 검토의견

- 방호벽에 발생한 균열 및 재균열(0.3mm이상), 균열부백태는 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형, 우수유입, 수분침투 등에 의한 손상으로 판단되며, 부재의 내구성 확보를 위한 표면처리, 주입보수 등의 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

카. 교량 점검시설

1) 부재의 개요

- 남고양교의 점검통로는 교량 상면 갓길을 이용하여 출입가능하며, P0에 강재+알루미늄 재질의 점검통로가 전·배면 2면에 설치되어 있다.



【사진 18.3.25】 교량 점검시설 전경

2) 현장조사 결과

- 교각에 설치된 점검통로 조사 시 점검발판, 볼트 체결상태, 점검난간, 사다리 등을 중점적으로 조사하였으며, 전반적인 상태는 양호한 상태로 확인되었다.

【표 18.3.17】 교량 점검시설 현장조사 결과

구분	상태양호	
P0	—	—
합계	—	—



【사진 18.3.26】 교량 점검시설 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

4) 검토의견

- 점검시설은 현재 양호한 상태로 확인되었으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.

타. 공중이 이용하는 부위

공중이 이용하는 부위는 추락방지시설, 도로포장, 도로부 신축이음부, 환기구 등의 덮개가 있다.

1) 도로포장

공중이 이용하는 부위 중 도로포장은 “현장조사 결과 - 교면포장”에 기입된 사항으로 대체하였다.

2) 도로부 신축이음부

공중이 이용하는 부위 중 도로부 신축이음부는 “현장조사 결과 - 신축이음장치”에 기입된 사항으로 대체하였다.

3) 추락방지시설, 환기구 등의 덮개

공중이 이용하는 부위 중 추락방지시설, 환기구 등의 덮개는 미설치된 상태이다.

18.3.3 현장조사 총괄표

【표 18.3.18】 손상내용 총괄표

구분		손상 내용	단위	물량	개소	비고
바닥판 하면		균열(0.3mm미만)	m	10.00	2	
		망상균열	m ²	62.50	5	
		균열부백태	m ²	20.77	93	
		재료분리	m ²	0.01	1	
거더	거더외부	상태양호	—	—	—	
	거더내부	상태양호	—	—	—	
가로보 및 세로보		상태양호	—	—	—	
교대		균열(0.3mm미만)	m	32.00	2	
		망상균열	m ²	16.00	2	
교각		망상균열	m ²	76.00	4	
교량받침		받침몰탈 균열(0.3mm미만)	m	43.80	142	
신축이음		이물질퇴적	m	1.00	1	
		차수판 파손	EA	1.00	1	
		차수판 볼트탈락	EA	9.00	9	
교면포장		상태양호	—	—	—	
배수시설		상태양호	—	—	—	
방호벽		균열(0.3mm이상)	m	11.00	11	
		재균열(0.3mm이상)	m	41.00	41	
		균열부백태	m ²	0.70	5	
점검시설		상태양호	—	—	—	

18.3.4 전회차 손상물량 비교

- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

18.4 콘크리트 내구성 조사

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 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2021. 12, 국토교통부/국토안전관리원)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

18.4.1 조사 현황 및 위치

가. 조사 현황

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

【표 18.4.1】 콘크리트 비파괴시험 현황

항 목	기준수량		수 량(개소)				비 고
	상부구조	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시 험	50m 마다	연장 50m마다	8	8	8	8	
탄산화 깊이 측정	• 5경간 이내: 2~3개소 ¹⁾ • 5경간 이상: 3~6개소 ²⁾		2	4	2	4	

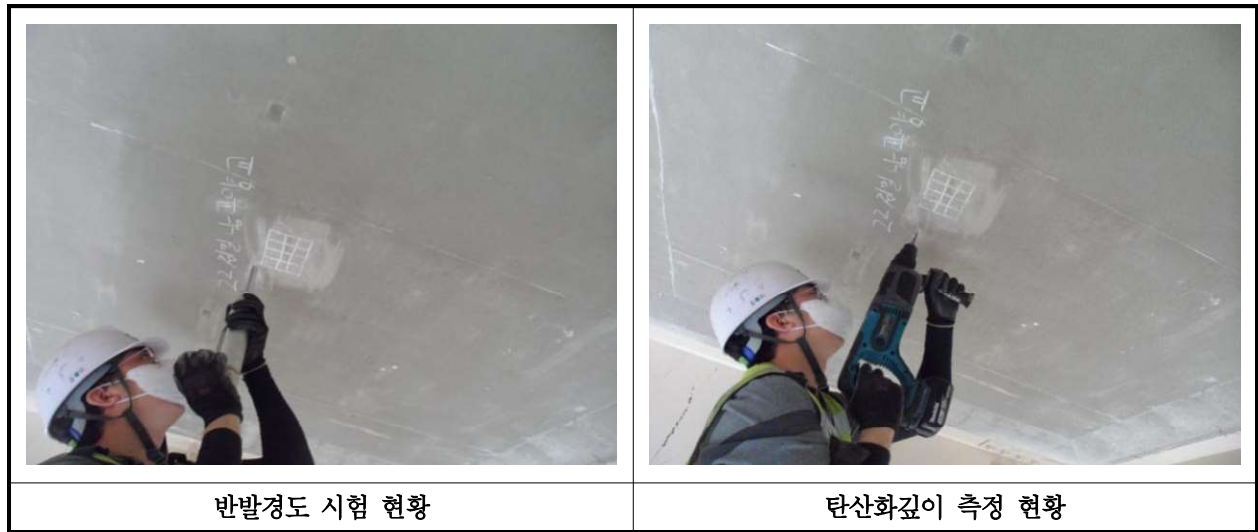
주1) 교량 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시

주2) 교량 상부구조에서 최소 2개소 이상 실시

나. 콘크리트 내구성시험 위치 선정사유

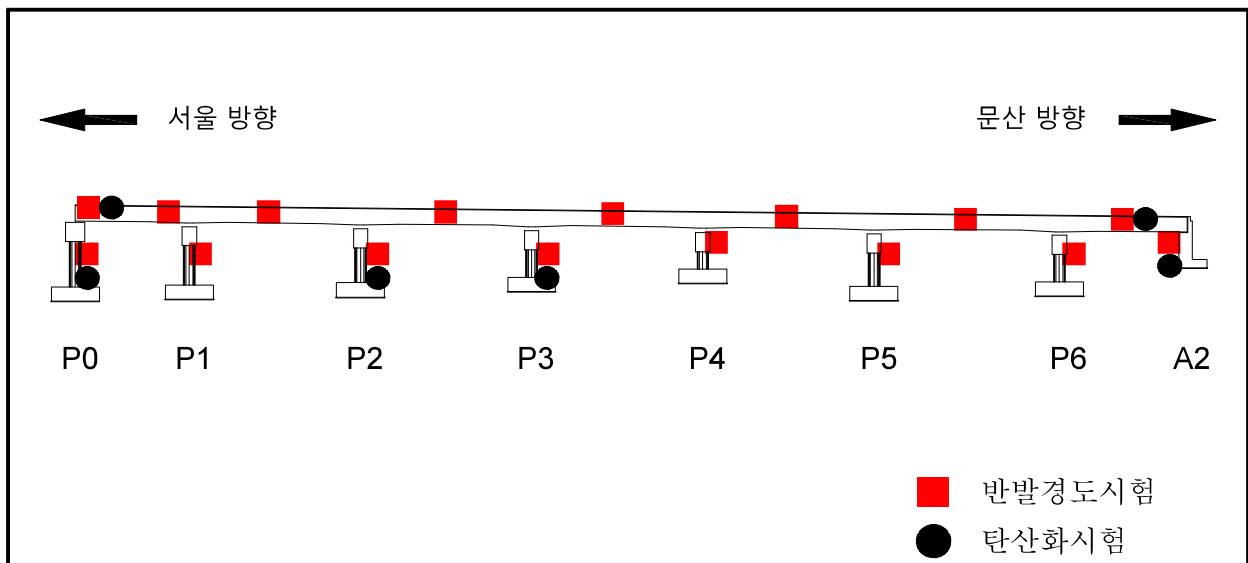
대상 구조물에 대한 재료시험은 도로로 접근이 가능한 위치를 우선적으로 실시하였으며, 도로로 접근이 가능하지 못한 부위는 점검차, 사다리 등을 이용하여 접근 후 시험을 실시하였다. 교량은 전반적으로 양호한 상태이기 때문에 건전부에서 각 1회씩 실시하였다. 기존에 실시한 부위는 주변 및 미실시한 부재를 중심으로 실시하여 차후 점검 및 진단 비교·평가를 목적으로 하였다.

다. 조사 사진



【사진 18.4.1】 콘크리트 내구성조사 현황

라. 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 18.4.1】 콘크리트 내구성조사 위치도

18.4.2 시험결과 및 분석

가. 콘크리트 강도시험

콘크리트 비파괴강도시험은 상·하부구조에서 반발강도시험(각 8개소)을 실시하였으며, 검토결과
는 다음과 같다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 18.4.2】 상부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과(바닥판)

시험위치			반발경도법(MPa)				설계기준 강도 (MPa)	비고
			반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회	재령보정 계수		
상부 구조	S1(A1)	바닥판	47.1	28.0	29.1	0.67	27.0	
	S1(P1)	바닥판	46.1	27.2	28.7			
	S2	바닥판	46.7	27.7	28.9			
	S3	바닥판	46.1	27.2	28.7			
	S4	바닥판	46.5	27.5	28.9			
	S5	바닥판	46.0	27.1	28.6			
	S6	바닥판	46.6	27.6	28.9			
	S7	바닥판	46.6	27.6	28.9			

【표 18.4.3】 하부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과(교대)

시험위치			반발경도법(MPa)				설계기준 강도 (MPa)	비고
			반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회	재령보정 계수		
하부 구조	A2	홍벽	43.4	24.9	27.4	0.67	24.0	

【표 18.4.4】 하부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과(교각)

시험위치			반발경도법(MPa)				설계기준 강도 (MPa)	비고
			반발경도 (R_o)	과학기술부	권영웅 외	재령보정 계수		
하부 구조	P0	코평부	48.8	41.2	49.3	0.67	40.0	
	P1	기둥부	49.1	41.6	49.8			
	P2	기둥부	49.5	42.0	50.4			
	P3	코평부	49.3	41.7	50.0			
	P4	기둥부	48.9	41.3	49.4			
	P5	코평부	49.0	41.5	49.6			
	P6	기둥부	48.5	41.0	48.9			

- 반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 상부구조 바닥판하면 27.1~29.1MPa, 하부구조 교대 24.9~27.4MPa, 교각 41.0~50.4MPa 로 측정되었으며, 설계기준 압축강도(바닥판: 27.0MPa, 교대: 24.0MPa, 교각: 40.0MPa)를 상회하므로, 강도 저하가 없는 것으로 판단된다.

【표 18.4.5】 비파괴강도 시험결과 분석

구 분	시험방법	측정강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
상부구조	바닥판 하면	27.1~29.1	27.0	100.4~107.9
하부구조	교대	24.9~27.4	24.0	103.6~114.0
	교각	41.0~50.4	40.0	102.5~126.0

② 기 점검결과와의 비교

- 금회 정밀안전점검이 최초의 정밀안전점검이다.

나. 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 드릴링을 통한 천공 후 지시약을 사용하여 적색으로 변색되는 시점을 탄산화깊이로 정하였으며, 버니어캘리퍼스를 이용하여 그 깊이를 측정하였다. 피복두께는 설계피복두께를 적용하였다.

① 탄산화 깊이 측정결과

【표 18.4.6】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (mm)	피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	평가 결과
상부구조	S1 바닥판	1.5	40.0	38.5	1.06	100년이상	a
	S7 바닥판	2.0	40.0	38.0	1.41	100년이상	a
하부구조	A2 홍벽	1.5	100.0	98.5	1.06	100년이상	a
	P0 코핑부	1.0	100.0	99.0	0.71	100년이상	a
	P2 기둥부	0.5	100.0	99.5	0.35	100년이상	a
	P3 코핑부	1.5	100.0	98.5	1.06	100년이상	a

- 측정결과, 상부구조 탄산화깊이는 1.5~2.0mm, 하부구조 탄산화깊이는 0.5~1.5mm로 측정되었으며, 잔여깊이가 30mm이상을 확보하고, 세부지침 지침기준 "a"로 평가 되어 탄산화에 따른 철근의 부식발생 영향은 없는 것으로 판단된다.

【표 18.4.7】 탄산화 시험결과 분석

구 분	탄산화 깊이(mm)	잔여깊이(mm)	비고
상부구조	1.5~2.0	38.0~38.5	
하부구조	0.5~1.5	98.5~99.5	

② 기 점검결과와의 비교

- 금회 정밀안전점검이 최초의 정밀안전점검이다.

다. 금회점검 내구성조사 결과요약

【표 18.4.8】 금회 점검 내구성조사 결과요약

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
			측정결과	설계기준	
비파괴 강도 (MPa)	상부구조	바닥판 하면	27.1~29.1	27.0	■ 설계강도 이상(양호)
	하부구조	교대	24.9~27.4	24.0	
		교각	41.0~50.4	40.0	
탄산화 잔여깊이 (mm)	상부구조		38.0~38.5	a등급	■ 탄산화 잔여깊이 30mm이상 ■ 탄산화에 의한 내구성저하 없음
	하부구조		98.5~99.5	a등급	
종합 평가	• 콘크리트 강도는 설계강도 이상으로 양호한 상태로 평가됨 • 탄산화에 의한 내구성 저하 가능성은 없는 상태임				

라. 기 점검결과와 비교

- 금회 정밀안전점검이 최초의 정밀안전점검이다.

18.5 상태평가

시설물의 상태평가는 재료시험 및 현장조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (안전점검·진단 편 -2021. 12.)』의 상태평가 기준에 따라 실시한다. 정밀점검의 상태평가 기준은 시설물의 전체 부재에 대하여 외관조사방도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하며, 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정하게 된다.

18.5.1 시설물 전체 상태평가 결과

가. 상태평가 결과

현장조사 및 시험결과에 의한 상태평가를 수행한 결과, 구조물에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않은 상태로서 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 ‘B등급’으로 산정되었다.

【표 18.5.1】 상태평가 결과표

부재의 분류			상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성요소	
상부	하부	구조형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간연석	신축이음	교량받침	하부	기초	탄산화	
													상부	하부
S1	P0	STB	b	a	a	a	a	b	a	b	b	q	a	a
S2	P1	STB	b	a	a	a	a	b	—	b	a	q	—	—
S3	P2	STB	b	a	a	a	a	b	—	b	a	q	—	a
S4	P3	STB	b	a	a	a	a	b	—	b	b	q	—	a
S5	P4	STB	b	a	a	a	a	b	—	b	b	q	—	—
S6	P5	STB	b	a	a	a	a	b	—	b	b	q	—	—
S7	P6	STB	b	a	a	a	a	b	—	a	a	q	a	—
	A2								b	a	b	q	—	a
평균			0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.200	0.150	0.175	0.163	—	0.100	0.100
가중치			18	20	5	7	3	2	9	9	20	—	4	3
(평균×가중치) /가중치합			0.036	0.020	0.005	0.007	0.003	0.004	0.014	0.016	0.033	—	0.004	0.003
													0.144	
													B	

■ 결함도 범위 : $0.130 \leq \text{결함도지수}(0.144) < 0.260$

나. 시설물 전체 상태평가 결과

【표 18.5.2】 시설물 전체 상태평가 결과표

구 분	환산 결합도점수	상태평가 등급	연장 (m)	차선	길이 X 차선	연장비	환산결합도점수 X 연장비
남고양교	0.144	B	390	4	1,560	1.000	0.144
합계(Σ)			390	4	1,560	1	0.144
1. 평가지수 =							0.144
2. 상태평가결과 =							B

18.5.2 기 점검 결과와의 비교

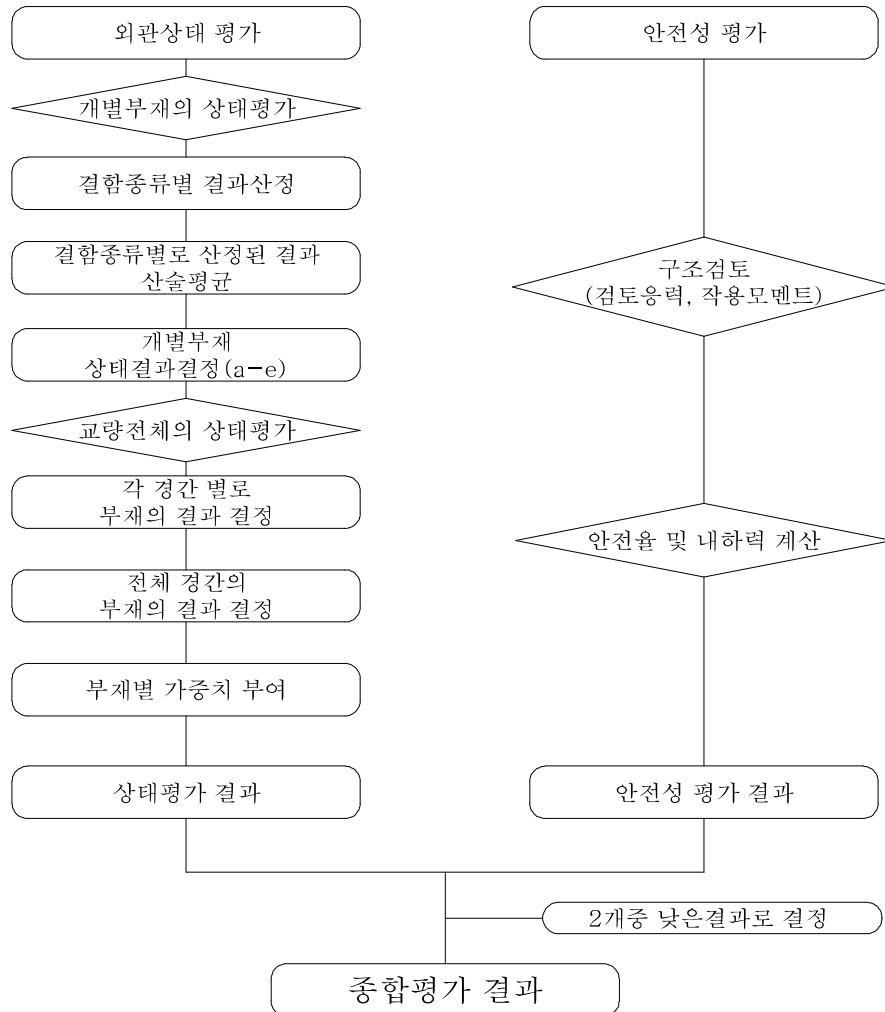
- 금회 정밀안전점검은 최초의 정밀안전점검이다.

18.6 종합평가 및 안전등급 지정

18.6.1 종합평가 결과 산정방법

현장조사에 따른 상태평가등급과 안전성 검토에 근거한 안전성평가등급 중 낮은 등급을 시설물의 종합평가등급으로 결정한다.

■ 종합평가 등급=MIN(상태평가 결과, 안전성 평가 결과)



【그림 18.6.1】 종합평가 결과 산정절차

18.6.2 종합평가 결과

본 과업에서는 안전성평가를 실시하지 않았으므로, 현장조사 및 시험에 의한 상태평가 결과를 검토하여 종합평가 결과는 “B” 로 평가되었다.

【표 18.6.1】 종합평가 결과

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S·F	기준	
남고양교	0.144	B	—	—	B
종합평가	•현장조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 “B” 로 평가됨 •종합평가 결과, “B” 로 평가됨				

18.6.3 안전등급 지정

종합평가 결과에 따른 본 시설물의 안전등급은 『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 “B등급” 으로 지정하였다.

【표 18.6.2】 안전등급 지정

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물 안전에 위협이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

18.7 보수·보강 및 유지관리방안

18.7.1 보수·보강 방안

【표 18.7.1】 손상별 보수·보강 방안

구분		손상 내용	단위	물량	개소	보수방안	우선순위
바닥판 하면		균열 (0.3mm미만)	m	10.00	2	표면처리	하자
		망상균열	m ²	62.50	5	표면처리	하자
		균열부백태	m ²	20.77	93	표면처리	하자
		재료분리	m ²	0.01	1	단면보수	하자
거더	거더 외부	상태양호	—	—	—	—	—
	거더 내부	상태양호	—	—	—	—	—
가로보 및 세로보		상태양호	—	—	—	—	—
교대		균열 (0.3mm미만)	m	32.00	2	표면처리	하자
		망상균열	m ²	16.00	2	표면처리	하자
교각		망상균열	m ²	76.00	4	표면처리	하자
교량받침		반침물탈 균열 (0.3mm미만)	m	43.80	142	표면처리	하자
신축이음		이물질퇴적	m	1.00	1	정비(청소)	하자
		차수판 파손	EA	1.00	1	정비(재설치)	하자
		차수판 볼트탈락	EA	9.00	9	정비(재설치)	하자
		여유량 부족	EA	1.00	1	정비(재설치)	하자
교면포장		상태양호	—	—	—	—	—
배수시설		상태양호	—	—	—	—	—
방호벽		균열 (0.3mm이상)	m	11.00	11	주입보수	하자
		재균열 (0.3mm이상)	m	41.00	41	주입보수	하자
		균열부백태	m ²	0.70	5	표면처리	하자
점검시설		상태양호	—	—	—	—	—

18.7.2 개략공사비

【표 18.7.2】 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상물량	보수물량	단위	단가 (천 원)	개략공사비 (천원)	우선 순위
바닥판 하면	균열 (0.3mm미만)	표면처리	10.00	2.50	m ²	—	—	하자
	망상균열	표면처리	62.50	93.75	m ²	—	—	하자
	균열부백태	표면처리	20.77	31.16	m ²	—	—	하자
	재료분리	단면보수	0.01	0.02	m ²	—	—	하자
교대	균열 (0.3mm미만)	표면처리	32.00	8.00	m ²	—	—	하자
	망상균열	표면처리	16.00	24.00	m ²	—	—	하자
교각	망상균열	표면처리	76.00	114.00	m ²	—	—	하자
교량받침	받침몰탈 균열(0.3mm미만)	표면처리	43.80	10.95	m ²	—	—	하자
신축이음	이물질퇴적	정비(청소)	1.00	1.50	m	—	—	하자
	차수판 파손	정비(재설치)	1.00	1.00	EA	—	—	하자
	차수판 볼트탈락	정비(재설치)	9.00	9.00	EA	—	—	하자
	여유량 부족	정비(재설치)	1.00	1.00	EA	—	—	하자
방호벽	균열 (0.3mm이상)	주입보수	11.00	16.50	m	—	—	하자
	재균열 (0.3mm이상)	주입보수	41.00	61.50	m	—	—	하자
	균열부백태	표면처리	0.70	1.05	m ²	—	—	하자
개략 공사비 (천원)	구 분	1순위		2순위		3순위		
	순공사비	—		—		—		
	재경비 (순공사비의 50%)	—		—		—		
	합계	—		—		—		
개략공사비 총계(천원)		—						

주1) 보수물량은 손상물량에 50%를 할증하였음.

주2) 0.3mm미만 균열보수는 손상물량(m)×0.25(m)를 하여 면적(m²)으로 산출하였음.

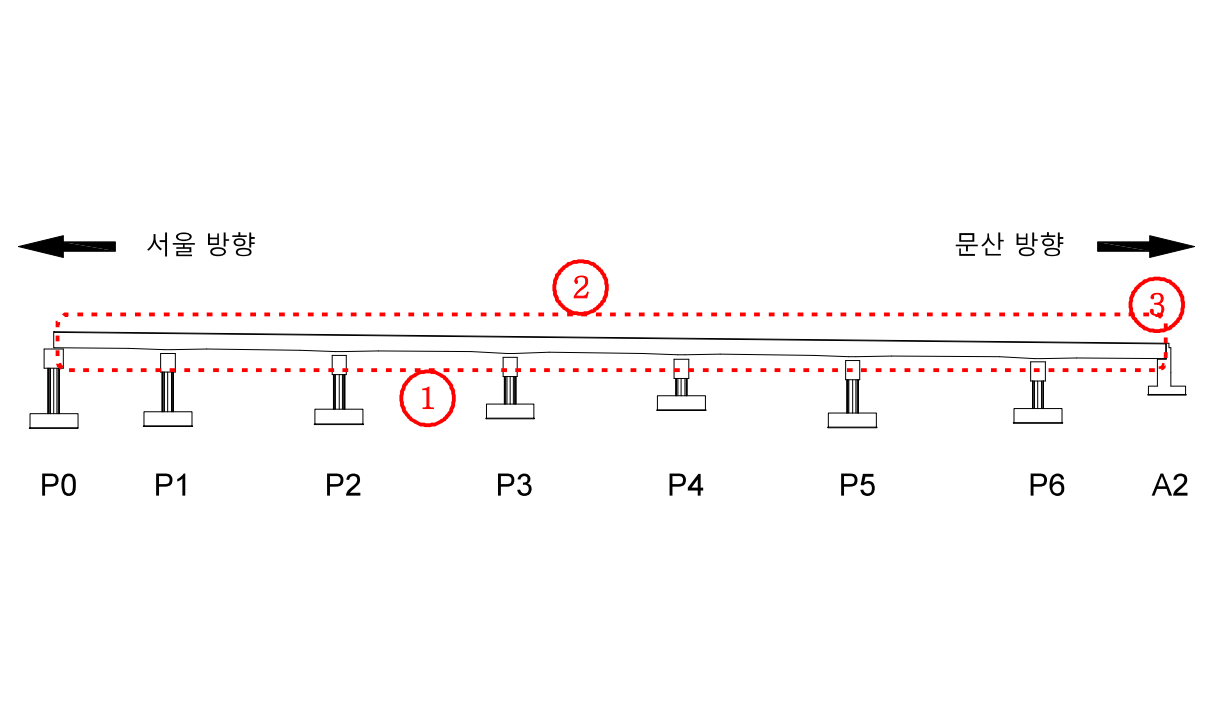
18.7.3 유지관리방안

본 시설물에 대한 정밀안전점검 결과에 따라, 향후 유지관리 시 교량의 안전성, 사용성 및 내구성 차원에서 중점적으로 관찰하고 유의하여야 할 중점유지관리 항목을 설정하여 다음 표와 같이 제시하였다.

【표 18.7.3】 중점유지관리 항목

부재구분	중 점 사 항
교면포장	교면포장 손상여부 점검(주행성 중심)
방호벽	- 방호벽 손상여부 점검 - 기존 손상 진전여부 확인
배수시설	배수구 막힘 여부 점검(발생여부 점검)
바닥판	- 바닥판하면 손상여부 점검(발생여부 점검) - 기존 손상 진전여부 확인
거더 및 가로보	- 거더 및 가로보 손상여부 점검(발생여부 점검) - 기존 손상 진전여부 확인
교량받침	- 교량받침 손상여부 점검(발생여부 점검) - 기존 손상 진전여부 확인 - 이동 여유량 지속적 관리
신축이음장치	- 신축이음 손상여부 점검(발생여부 점검) - 기존 손상 진전여부 확인 - 이동 여유량 지속적 관리
하부구조	- 하부구조 손상여부 점검(발생여부 점검) - 기존 손상 진전여부 확인

◎ 부재별 중점점검 손상

		
① 바닥판 하면 균열부백태 - 진전 여부확인	② 방호벽 균열 및 균열부백태 - 진전 여부확인	③ 신축이음 A2 여유량 부족 - 주기적인 계측 필요
 Diagram illustrating the inspection points (P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, A2) and the direction of travel (서울 방향, 문산 방향) for the bridge structure. The diagram shows a horizontal bridge span with vertical supports. Inspection points are marked along the span. Red dashed lines and circles highlight specific areas of concern: 1. Near P2, 2. Between P3 and P4, and 3. Near A2.		

18.8 종합결론

본 시설물은 경기도 고양시 덕양구 대덕로 426 (현천동)에 위치한 교량으로 총 연장 390.0m, 폭 25.0m의 Steel Box 거더 교량으로, 2020년도에 준공되어 약 2년간 공용중인 교량 구조물이며, 시공자료 분석을 포함, 현장조사 및 시험, 상태평가 등을 통한 종합결론을 요약하면 다음과 같다.

18.8.1 종합결론

가. 현장조사 및 시험

1) 바닥판 하면

- 바닥판 하면의 현장조사 결과 시공초기 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형, 우수유입, 수분침투, 다짐불량, 시공미흡 등에 의한 균열(0.3mm미만), 망상균열, 균열부백태, 재료분리가 조사되었으며, 조사된 손상은 내구성 확보 차원에서 표면처리, 단면보수 등을 실시하는 것이 필요하다.

2) 거더

- 거더외부 및 거더내부는 손상이 없는 양호한 상태이며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.

3) 가로보 및 세로보

- 가로보 및 세로보는 현재 손상이 없는 양호한 상태이며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.

4) 교대

- 교대의 현장조사 결과 시공초기 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형 등에 의한 균열(0.3mm미만), 망상균열이 조사되었으며, 조사된 손상은 내구성 확보 차원에서 표면처리 등을 실시하는 것이 필요하다.

5) 교각

- 교각에 발생한 망상균열은 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형 등의 복합적인 원인에 의한 비구조적 손상으로 내구성 확보 차원에서 표면보수를 실시하는 것이 바람직하다.

6) 교량받침

- 교량받침의 현장조사 결과 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형 등에 의한 받침물탈 균열(0.3mm미만)이 조사되었으며, 조사된 손상은 내구성 확보 차원에서 표면처리 등의 보수를 실시하는 것이 바람직하다.
- 연단거리 측정 결과, 전 개소 모두 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고 있는 것으로 측정되어 설계기준을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.
- 계산여유량과 실측여유량의 비교·검토결과 가동여유량이 충분한 것으로 조사되었으며, 교량받침의 이탈 가능성은 없는 상태로 판단된다.

7) 신축이음장치

- 신축이음에 발생한 이물질퇴적, 차수판 파손 및 볼트탈락의 경우 초기 건조수축, 차량 통행 하중 및 충격, 시공미흡 등에 의한 손상으로 판단되며, 내구성 및 미관 확보를 위한 정비를 실시하는 것이 요구된다.
- 신축이음 유간을 검토한 결과, 온도변화에 따른 신장시 모든 신축이음에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었으나 수축시 A2 신축이음에서 여유량이 부족한 것으로 나타났으며, 이는 시공시 프리세팅 오류 등이 원인인 것으로 추정된다. 따라서 신축이음 여유량 확보를 위한 재설치 등과 같은 보수가 필요하며, 수축시(겨울철) 이동량에 대한 주기적인 계측을 실시하는 것이 필요하다.

8) 교면포장

- 교면포장의 현장조사 결과 손상이 없는 양호한 상태이며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생 여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.

9) 배수시설

- 배수구는 현재 양호한 상태이나, 공용기간 경과 및 추량통행에 의한 비산물퇴적 등의 원인으로 이물질퇴적, 그로인한 체수, 배수관 부식 등의 손상이 발생할 수 있으므로, 주기적인 정비를 통한 유지관리가 필요하다.

10) 방호벽

- 방호벽에 발생한 균열 및 재균열(0.3mm이상), 균열부백테는 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형, 우수유입, 수분침투 등에 의한 손상으로 판단되며, 부재의 내구성 확보를 위한 표면처리, 주입보수 등의 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

11) 교량 점검시설

- 점검시설은 현재 양호한 상태로 확인되었으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.

12) 공중이 이용하는 부위

- 공중이 이용하는 부위중 도로포장, 도로부 신축이음부, 추락방지시설은 본문의 교면포장, 신축이음장치, 교량 점검시설에 기입된 내용으로 대체하였으며, 환기구 등의 덮개는 미설치된 상태이다.

13) 내구성조사

- 반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 상부구조 바닥판하면 27.1~29.1MPa, 하부구조 교대 24.9~27.4MPa, 교각 41.0~50.4MPa 로 측정되었으며, 설계기준 압축강도(바닥판: 27.0MPa, 교대: 24.0MPa, 교각: 40.0MPa)를 상회하므로, 강도 저하가 없는 것으로 판단된다.
- 측정결과, 상부구조 탄산화깊이는 1.5~2.0mm, 하부구조 탄산화깊이는 0.5~1.5mm로 측정되었으며, 잔여깊이가 30mm이상을 확보하고, 세부지침 지침기준 "a"로 평가 되어 탄산화에 따른 철근의 부식발생 영향은 없는 것으로 판단된다.

나. 상태평가 결과

- 금회 정밀안전점검 결과, 남고양교의 상태평가 결과는 환산결함도 점수가 0.144인 “B” 로 산정되었다.

다. 결론

- 금회 정밀안전점검 결과를 바탕으로 남고양교에 발생한 손상의 진전을 방지하고 보수를 통한 구조물의 내구성 확보를 위한 적절한 조치가 필요하다.
- 이상과 같이 자료조사, 현장조사, 내구성 조사 등의 결과를 분석하여 평가된 구조물의 상태평가 결과를 종합적으로 평가한 안전등급은 「기능 발휘에는 지장이 없으나 경미한 손상, 결함, 열화 등이 발생하여 내구성 증진을 위해 부분적으로 보수가 필요한 상태인」인 「B」 등급으로 평가되었다. 구조적인 손상 및 결함은 없는 것으로 판단되어 별도의 정밀안전진단은 필요 없을 것으로 판단되며, 본 보고서에 제시된 방안으로 보수를 시행하고 지속적인 유지관리를 실시한다면 구조물의 사용성을 확보하는데 문제가 없을 것으로 사료된다.

18.8.2 종합결론, 정밀안전진단 및 사용제한의 필요성 여부

- 대상 시설물에 대한 정밀안전점검 결과, 국부적으로 손상이 발생하였으나 시설물의 전반적인 안전성 및 기능성에는 특별한 문제가 없는 상태로서 주기적인 점검을 통한 관리를 시행한다면 대상시설물의 사용성은 확보될 수 있을 것으로 판단된다.
- 대상 시설물은 금회 점검결과, 정밀안전진단 및 사용제한이 필요치 않다.

18.8.3 기타 필요한 사항

- 시설물의 안전성 유지는 점검 당시에는 양호한 상태로 존재하여도, 이후의 유지관리 상태 및 예기치 않던 외적요인에 의해 잔존해 있던 위험요소가 일시적으로 노출되어 안전성에 영향을 미칠 수 있으므로 지속적인 점검 등의 유지관리를 통해 기능성과 안전성을 유지하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.