구조물 장수명화를 위한 교량슬래브 종방향 일체화 설계방안

제공처 : 한국도로공사 설계처

출처 : 2012년도 고속도로 설계 실무자료집(2013, 한국도로공사)

1. 일반현황

1.1 검토목적

(1) 교량 슬래브는 행선별 분리(20mm)하여 설계 · 시공됨에 따라 조인트구간 제설제 침투로Con’c 열화등 내구수명 저하의 주 요인으로 작용하고 있음.

(1.1) 교량 종방향 조인트 삭제를 통한 구조물 장수명화 필요

1.2 추진경위

(1) 1997 이전 : 교량슬래브 상 · 하행선 이격거리 10m/m일률적적용

(2) 1997. 5. 20 : 교량슬래브 행선별 이격거리 검토[설계이16210-165]

(2.1) 내진설계지침에 의거 ILM 교량을 제외한 교좌장치 설치교량에 대하여 교량슬래브 상 · 하행선 이격거리 20m/m 일률적 적용

* 내진설계 지침(1996. 12)

· 교좌장치 배치는 상부구조의 질량중심과 하부구조의 강성 중심간의 대칭성 확보를 위하여 교좌장치 고정축선을 각 행선 Center로 변경

· 상부 슬래브의 횡방향 온도 신축량을 처리하기 위하여 상·하행선 분리시 신축 이격거리 고려

※ 편도 4차로 교량(한랭지역) 신축유간 계산결과(11.6~13.1mm)에 의거 20m/m 이격 적용

2. 현황 및 문제점

(1) 누수로 인한 구조물 열화등 내구성 감소

(1.1) 콘크리트 내구성 평가결과

(1.1.1) 표면염화물량 증가에 따라 내구수명이 급격히 감소됨

* 표면염화물량에 따른 내구수명 측정(Life365 활용)

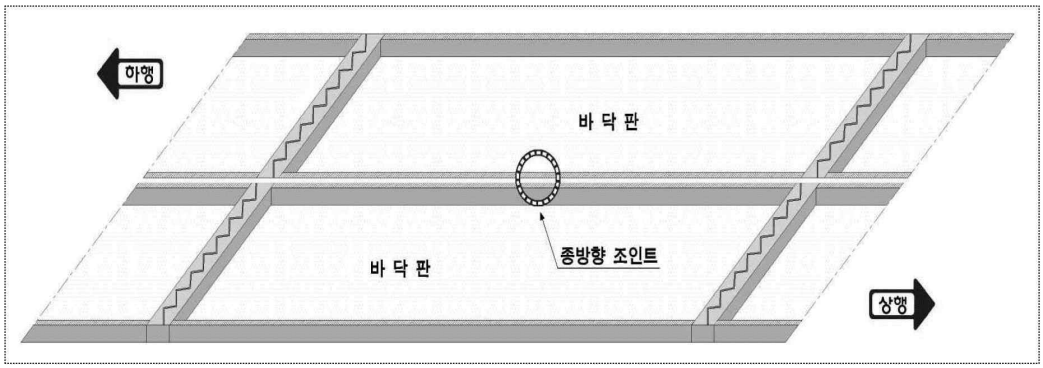
표면염화물량	0.3kg/㎥	5kg/㎥	7kg/㎥	13kg/㎥	18kg/㎥
내구수명	500년이상	5.8년	3.9년	2.3년	1.8년

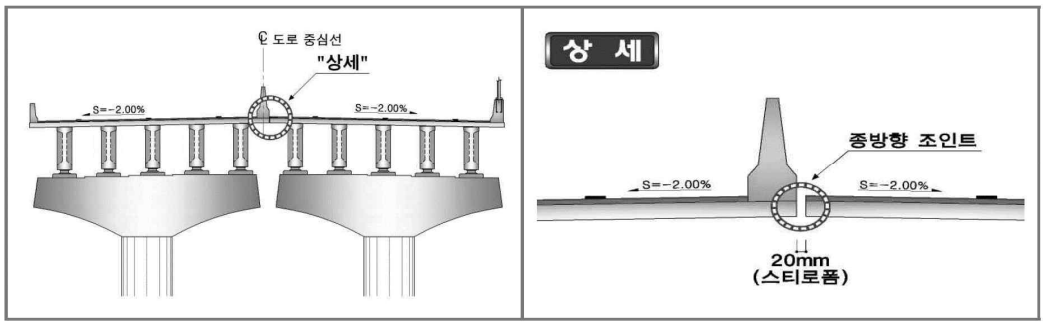
(1.2) 구조물 부재별 열화실태 현장 합동조사(강원본부관내 상대1교 등, ‘12. 2월) 결과

(1.2.1) 중분대 종조인트 누수로 하부바닥판 열화 및 손상발생 심함

(1.3) 구조물 열화현황 조사(전교량, ‘12. 2월) 결과[구조물처-124]

(1.3.1) 종조인트 누수발생으로 인한 바닥판 및 흉벽열화 : 77개교량





	
흉벽 열화(상대1교, 1999)	바닥판 열화(상대2교,1999)
	
흉벽 철근부식(속사천4교, 1999)	흉벽 철근부식(주천강교, 1999)

(2) 종 조인트부 누수방지대책 수립 필요

3. 개선내용

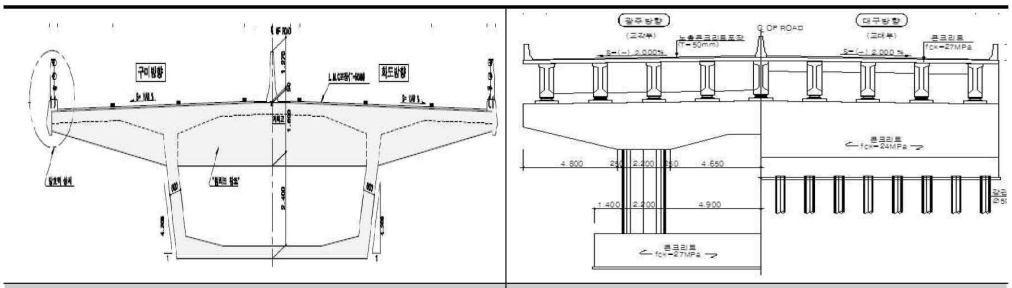
3.1 개선방안 검토

3.1.1 교량슬래브 일체화

(1) 특수교량 및 턴키교량은 교량슬래브 일체화 사례있음

(1.1) 특수교량 : 서해대교, 양평대교(PSC BOX, FCM) 등

(1.2) 턴키대상교량 : 함양~성산(10공구) 양항천교 외 1개교량(PSC 빔)등



양평대교 | 양항천교

(2) 자문결과 구조적 안정성측면에서 유리한 것으로 검토됨.

* 자문결과

자문위원	자 문 내 용
○○○	· 설계 및 시공시 온도·수축균열 관리하는 품질방안 확보필요 * 일부 거더교에서는 일체타설로 인한 경제성 확보할 것으로 판단 · 4차로구간 선적용 후 차후 단계별 추진이 바람직
△△△	· 상부구조의 경우 경제성측면 뿐만 아니라 내진성능 향상 기대 · 하부구조의 경우 지진시 여용력이 증대되어 구조 안정성확보에 유리
□□□	· 포트받침의 경우 다점고정을 교량 중앙부에 배치시 일부 응력은 발생하나 문제는 없을 것으로 판단 · 지층변화 큰곳은 기초공사시 계단식 기초 등 세심한 설계·시공필요

(3) 설계 및 시공시 중점고려 사항

(3.1) 교대·교각 일체화 및 슈 고정단 중앙부 배치

(3.2) 편경사 교량의 경우 중분대측 배수구 설치 가능여부 사전검토

(3.3) 슬래브 시공이음부 발생방지 위하여 동시타설(데크피니셔 2대 활용) 또는 중

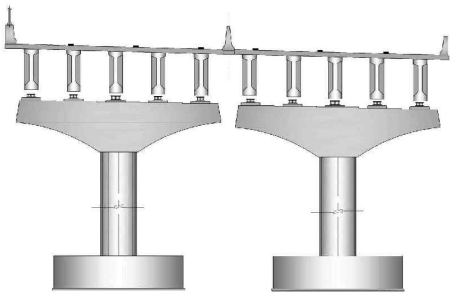
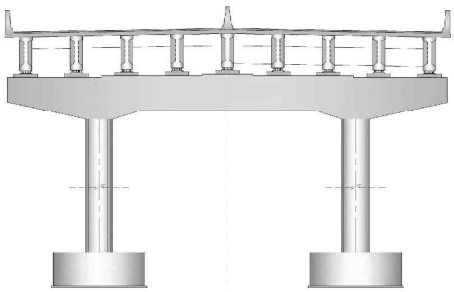
앙분리대에 시공이음부 위치하도록 계획수립

(3.4) 지반변동이큰 지형(경사지등)에기초 설치시 비틀림에 대한 안정성검토

(3.5) 교대부 균열발생 저감을 위하여 수축줄눈 시공 등 별도검토

(4) 교량슬래브 일체화 비교검토 결과

(4.1) 대상교량 : PSC Beam(L=2@30.0=60m, B=24.3m)

당 초(빔 본수 : 10본)	개 선(빔 본수 : 9본)
	

(4.2) 검토조건

구 분		당 초	개 선
빔간격		2.5m	2.75m
사용 주철근	중앙부	H16@200=993mm^2	“좌 동”
	캔틸레버	H16@200=993mm^2	“좌 동”

(4.3) 구조 검토

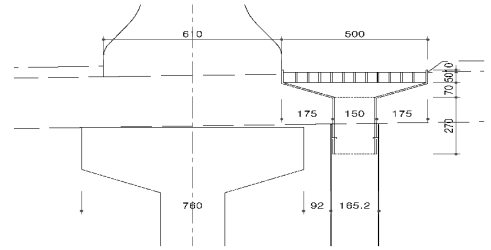
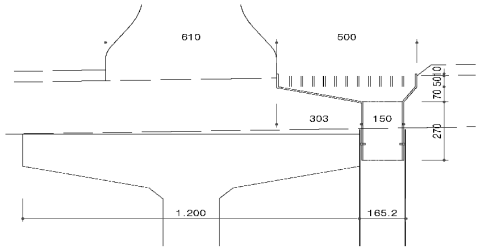
(단위 : MPa)

구 분	당초(분리형)				개선(일체형)			
	상연		하연		상연		하연	
	외측거더	내측거더	외측거더	내측거더	외측거더	내측거더	외측거더	내측거더
발생응력	9.788	9.292	-0.739	0.416	10.114	9.915	-1.077	-0.547
허용응력	* 인장측 : $0.63\sqrt{f_{ck}} = 0.63\times\sqrt{40} = -3.98MPa$ 이내 * 압축측 : $0.60f_{ck}=0.60\times 40 = 24.0MPa$ 이내 [도로교설계기준 4.6.3.3]							

* 구조계산 결과

· 콘크리트 허용응력 검토결과 PSC거더 상연, 하연 작용응력증가는 미미하며 허용휨응력 기준 이내임.

(4.4) 편경사교량 중분대측 배수구 설치시 빔간섭 검토

PSC Beam(L=35.0m)	개선 PSC Beam(플랜지 폭 1.2m)
	

* 중분대측 배수구 설치 검토결과 빔 폭원 1.2m까지 배수구 편측배치 가능

(4.5) 교각 코핑부 수화열 해석에 따른 온도균열지수 검토결과 (0.81→0.88)당초(분리형) 대비 균열 가능성 다소 감소

(현행과 같이 콘크리트 타설시기에 따른 Pre-Cooling등 온도균열 제어방안 필요)

(4.6) 공사비 검토

(4차로,경간당)

구 분	수 량			공사비 증·감 (백만원)
	당초	개선	증 · 감(△)	
계(제잡비 40%반영)				△43
Beam 제작 및 설치	10본	9본	△1본	△20
교량받침	20EA	18EA	△2EA	△5
레 미 콘	228㎥	205㎥	△23㎥	△2
철 근	45.3ton	40.8ton	△4.5ton	△4
기타(무수축 모르타르 타설비 등)	1식	1식		△1

* 교량 슬래브 일체화 시 43백만원/경간의 공사비 절감이 가능

4. 결론

4.1 검토의견

(1) 교량슬래브 종방향 누수방지에 따른 내구성 확보 및 경제성 측면에서 교량슬래브는 일체화 하는 것이 타당함.

(2) 양방향 4차로이하 폭원에 우선적용하고 시공성 및 Con’c 균열등을 감안 폭원 확대적용 추후 검토

(3) 엇교를 제외한 교량에 대하여 검토후 설계적용

(3.1) 엇교로 계획된 교량의 경우 활하중 등에 의한 상·하행 바닥판 처짐 거동이 일치하지 않으므로 미지의 응력 발생 가능성 상존

4.2 적용방안

(1) 설계중인 노선 : 본 방침 적용

(2) 공사중인 노선 : 공사주관(시행)부서 판단 후 적용

5. 기타

5.1 공사비 비교 · 검토

공종명	규격	단위	합계단가	수 량			공 사 비		
				분 리	일 체	증 감	분 리	일 체	증 감
상부공							296,077,146	266,054,336	-30,022,810
1 P.S.C BEAM 제작 및 설치							200,980,450	180,882,405	-20,098,045
a P.S.C BEAM 제작									
a-1 P.S.C BEAM 제작	L=30M	본	18,916,629.	10.	9.	-1	189,166,290	170,249,661	-18,916,629
b P.S.C BEAM 설치									
b-1 P.S.C BEAM 가설	L=30M	본	1,170,599.	10.	9.	-1	11,705,990	10,535,391	-1,170,599
c P.S.C BEAM 전도방지공	L=30M	본	10,817.	10.	9.	-1	108,170	97,353	-10,817
2. 교량받침							42,638,400	37,936,960	-4,701,440
a 탄성받침									
a-1 고정단용									
a-1-1 135TON		개	2,413,720.	2.	1.	-1.	4,827,440	2,413,720	-2,413,720
a-2 가동단용(일방향)									
a-2-1 135TON		개	2,287,720.	10.	9.	-1.	22,877,200	20,589,480	-2,287,720
a-3 가동단용(양방향)									
a-3-1 135TON		개	1,866,720.	8.	8.		14,933,760	14,933,760	
3. 콘크리트							15,958,026	14,362,223	-1,595,803
a. 레미콘	25-40-15	M3	69,930.	228.2	205.38	-22.82	15,958,026	14,362,223	-1,595,803
4. 철근							35,389,032	31,871,100	-3,517,932
a-1 고강	H10mm	TON	791,000.						
a-2 고강	H13mm	TON	781,000.						
a-3 고강	H16~32mm	TON	776,000.						
a-4 연강	D10mm	TON	781,000.	0.63	0.567	-0.063	492,030	442,827	-49,203
a-5 연강	D13mm	TON	776,000.						
a-6 연강	D16~32mm	TON	771,000.	45.262	40.763	-4.499	34,897,002	31,428,273	-3,468,729
4. 기타							1,111,238	1,001,648	-109,590
a. 무수축 콘크리트									
a-1 무수축 모르타르 타설		M3	168,859.	3.02	2.727	-0.293	509,954	460,478	-49,476
a-2 무수축 콘크리트		M3	213,846.						
b. 자재운반									
b-1 시멘트 운반									
b-1 시멘트 운반	포대	TON	42,052.	4.822	4.34	-0.482	202,754	182,485	-20,269
b-3 모래 운반		M3	10,702.	2.398	2.158	-0.24	25,663	23,095	-2,568
c 뒷채움재 운반		M3							
c. 자재대									
c-1 시멘트									
c-1-1 시멘트	포대	TON	74,350.	4.8215	4.3395	-0.482	358,479	322,642	-35,837
c-2 모래		M3	6,000.	2.398	2.158	-0.24	14,388	12,948	-1,440

1 페이지

5.2 콘크리트 내구수명 평가

(1) 내구수명

(1.1) 철근 위치에서 임계염화물 농도에 도달하기까지의 시간

(2) 적용조건

* 적용시멘트 : 일반포틀랜드시멘트(OPC)

콘크리트강도 : 27Mpa, 콘크리트 피복 : 40mm

임계염화물이온농도 : 1.5kg/㎥

적용산식 : $C_d - C_i = (C_s - C_i)(1 - erf(\frac{x}{\sqrt[2]{D_d t}}))$

※ C_d : 위치 x(cm), 시간 t(년), 또는 초(s)에서 염화물이온 농도의 설계값

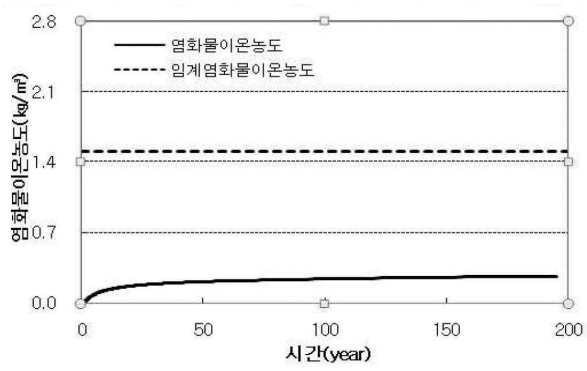
C_i : 초기 염화물이온 농도로서 최대값으로 0.3kg.㎥

C_s : 표면 염화물이온 농도

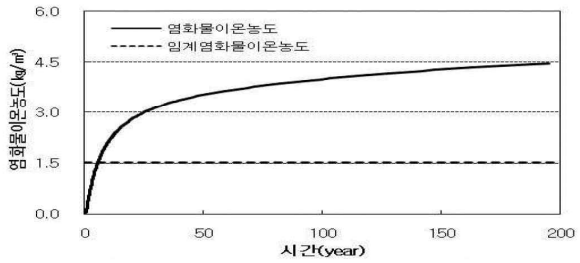
erf : 오차함수, D_d : 염화물이온의 유효확산계수(㎠/y 또는 ㎠/s)

(3) 평가결과

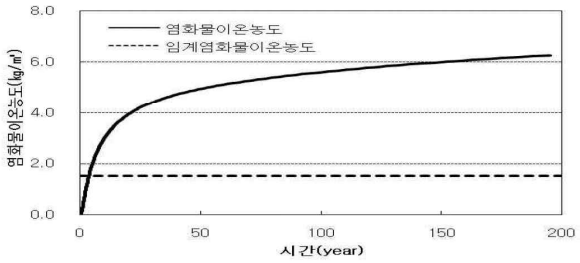
(3.1) 표면 염화물량 : 0.3kg/㎥ - 내구수명 : 500년 이상

시간 - 임계염화물 이온농도 비	시간(year)	농도(kg/㎥)
	163.181	0.261
	169.202	0.2625
	175.222	2.264
	181.56	0.2655
	188.215	0.267
	195.186	0.2685
	·	·
	·	·
	·	·

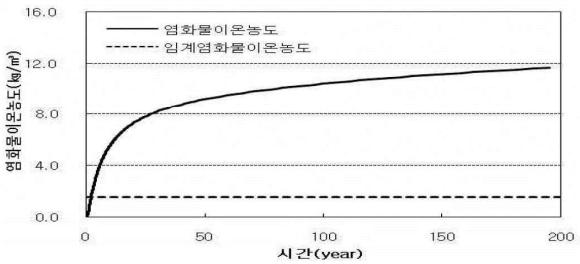
(3.2) 표면 염화물량 : 5.0kg/㎥ - 내구수명 : 5.8년

시간 - 임계염화물 이온농도 비	시간(year)	농도(kg/㎥)
	4.923	1.3313
	5.098	1.3663
	5.273	1.4005
	5.448	1.4456
	5.624	1.4803
	5.799	1.5116

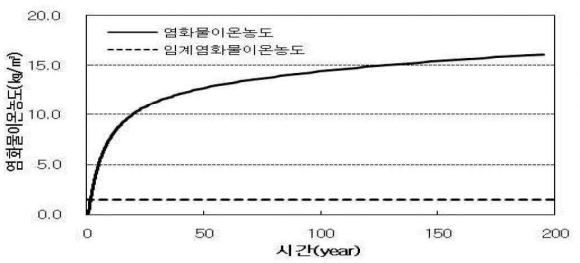
(3.3) 표면 염화물량 : 7.0kg/㎥ - 내구수명 : 3.9년

시간 - 임계염화물 이온농도 비	시간(year)	농도(kg/㎥)
	3.346	1.2844
	3.433	1.3312
	3.521	1.3778
	3.608	1.416
	3.696	1.4466
	3.871	1.5066

(3.4) 표면 염화물량 : 13.0kg/㎥ - 내구수명 : 2.3년

시간 - 임계염화물 이온농도 비	시간(year)	농도(kg/㎥)
	1.944	1.1792
	2.031	1.2511
	2.119	1.3227
	2.207	1.394
	2.294	1.4708
	2.382	1.57

(3.5) 표면 염화물량 : 15.0kg/㎥ - 내구수명 : 1.8년

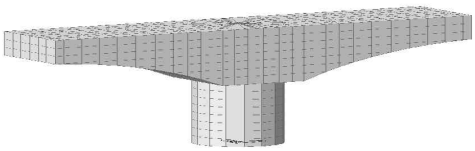
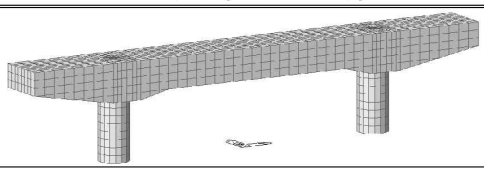
시간 - 임계염화물 이온농도 비	시간(year)	농도(kg/㎥)
	1.55	1.1387
	1.593	1.2128
	1.637	1.2783
	1.725	1.3833
	1.812	1.4831
	1.856	1.533

5.3 교각 코핑부 수화열해석

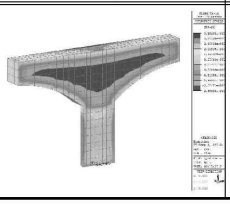
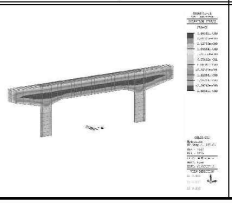
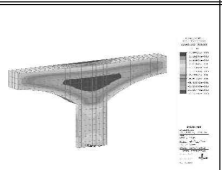
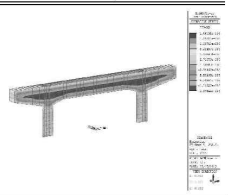
(1) 설계변수

해석조건 및 재료특성		분리형	일체형
타설시 외기온도(℃)		20	20
콘크리트 설계기준강도(MPa)		40	40
콘크리트 열적특성	열전도율(kcal/mh℃)	2.3	2.3
	비열(kcal/kg℃)	0.25	0.25
	열팽창계수(kcal/℃)	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}
열전달률($W/m^2℃$)	강재거푸집	14	14

(1.1) 구조해석 모델링

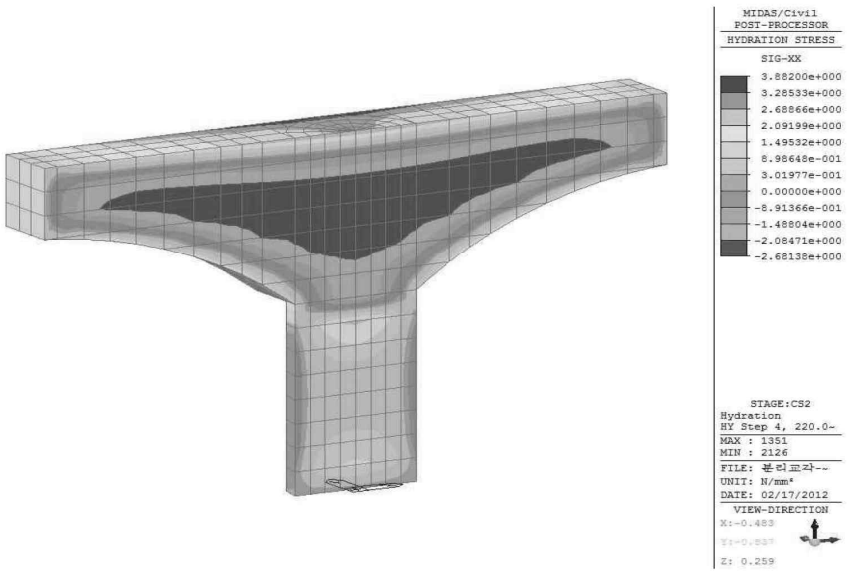
분리형(T형교각)	일체형(II형교각)
	
코핑(두께 2.5m, 높이 3.5m), 기둥 2.3m	코핑(두께 2.5m, 높이 2.5m), 기둥 1.5m

(2) 해석결과

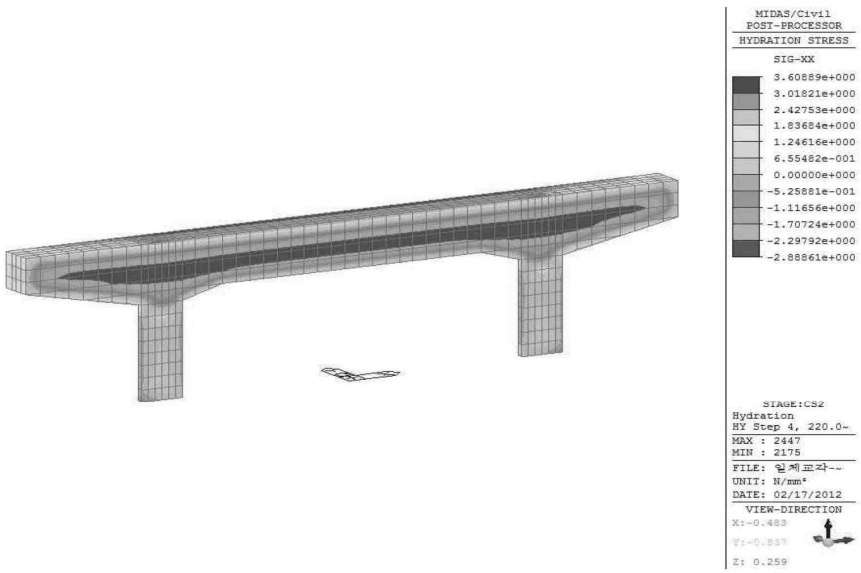
구분	보통 포틀랜드 시멘트		저열 포틀랜드 시멘트	
	분리형	일체형	분리형	일체형
발생 응력				

재 료	교각형식	최대온도(℃)		최대응력(MPa)	온도균열 지수(Icr)
		내부	표면	인장응력	
보통포틀랜드시멘트	분리형(T형교각)	63.4	20.6	3.88	0.47
	일체형(II형교각)	61.8	21.4	3.58	0.49
저열포틀랜드시멘트	분리형(T형교각)	48.9	20.6	1.95	0.81
	일체형(II형교각)	45.2	20.9	1.65	0.88

(2.1) 보통 포틀랜드시멘트

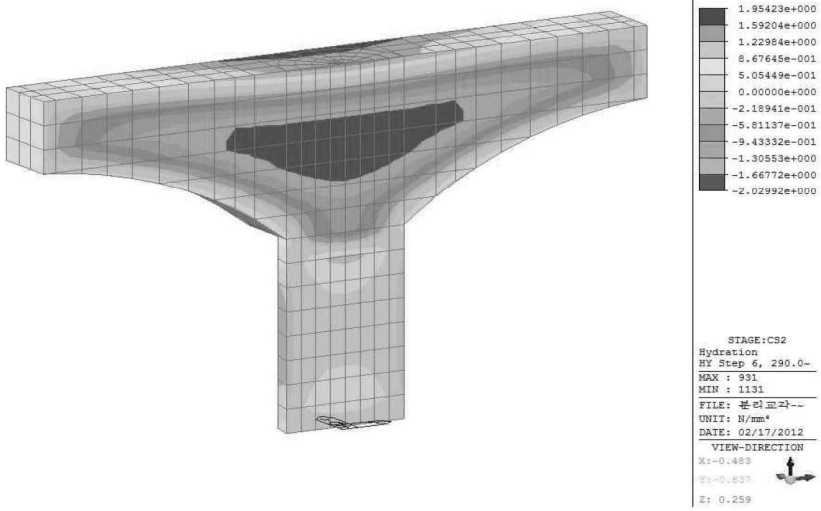


분리형(T형교각)

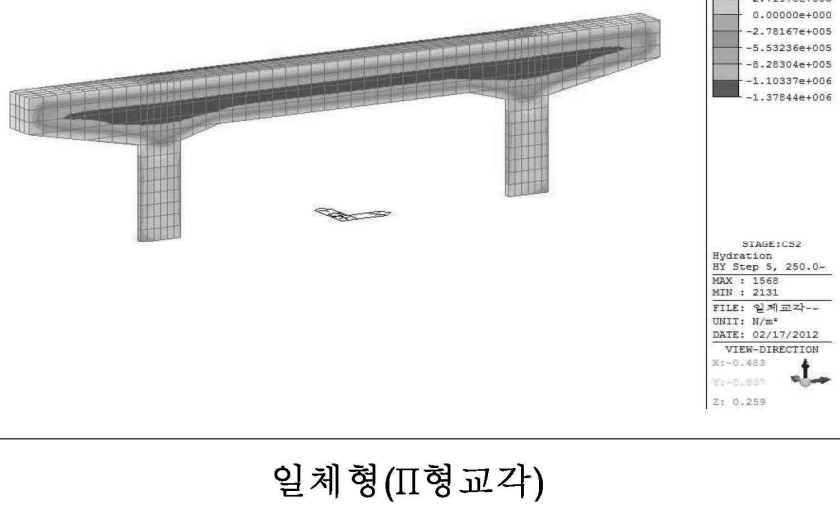


일체형(Π형교각)

(2.2) 저열 포틀랜드시멘트



분리형(T형교각)



일체형(Π형교각)