고강도 콘크리트(40MPa) 교각 설계적용 검토

제공처 : 한국도로공사 설계처

출처 : 2009년도 고속도로 설계 실무자료집(2010, 한국도로공사)

1. 일반현황

1.1 검토 배경

(1) 고속도로 교량의 교각에 고강도 콘크리트(40MPa) 적용을 검토하여 단면감소를 통한 미관개선 및 경제성 증진에 기여코자 함

(2) 고강도 콘크리트 정의

(2.1) 콘크리트 표준시방서 : 설계기준강도 40 MPa 이상

(2.2) ACI 363 : 설계기준강도 41 MPa(6,000psi)이상

(2.2.1) 1 MPa= 10kgf/㎠ = 145psi , psi = pound/in^2

1.2 추진경위

(1) 2008. 1 : 고강도 콘크리트 실용화 추진계획 수립

(2) 2007~2008 : 고강도 콘크리트 TF팀 회의 개최 (3회)

(3) 2008. 4 ~ 7 : 시험시공 교각 재설계(음성충주 5공구 신효교)

(4) 2008. 7 ~12 : 교각 시험시공

(5) 2009. 5 : 콘크리트 학회 논문 발표

(6) 2009. 8 : 고강도 콘크리트 시공지침(안) 수립

2. 현황 및 문제점

2.1 도로교 설계 기준

부재의 종류		최저설계기준강도(MPa)	비고
무근콘크리트 부재		18	
철근콘크리트 부재		21	
프리스트레스트 콘크리트 부재	프리텐션 방식	35	
	포스트텐션 방식	30	

2.2 우리회사 방침(기술심사실-2059호, 2005.12.29)

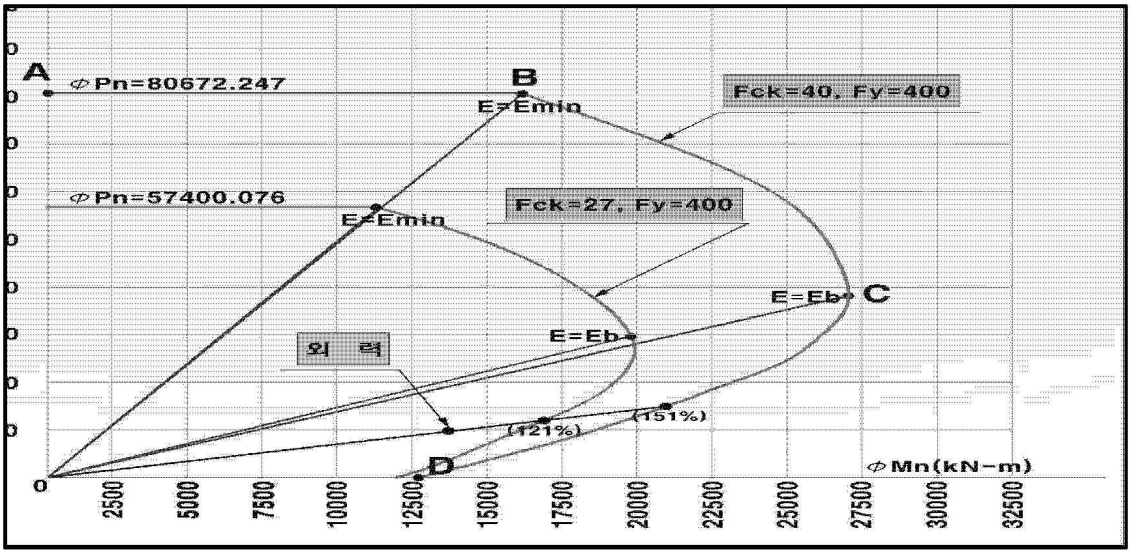
교각의 콘크리트 설계기준강도는 27MPa이상을 원칙으로 한다

3. 개선내용

3.1 교각 기둥 및 코핑 단면의 구조적 특성

(1) 휨-압축부재(기둥)

(1.1) 외력이 균형파괴구간(C영역)에 가까울수록 콘크리트 강도 상향 조정시 단면의 공칭강도(축력, 모멘트) 증가



*A~C영역(압축파괴구간) : 철근항복하기전 콘크리트가 항복상태 도달

C 영역(균형파괴구간) : 철근과 콘크리트가 동시에 항복상태 도달

C~D영역(인장파괴구간) : 콘크리트가 항복하기전에 철근이 항복상태 도달

(1.2) 강도변화에 따른 구조계산 결과

(1.2.1) 40MPa 콘크리트 적용시 공칭축력 증대로 단면 축소

구 분	직경 (m)	극한축력 [Pu(kN)]	공칭축력 [ΦPn(kN)]	안전율 (ΦPn/Pu)	비고
27MPa	1.9	상시 : 14,728 지진 : 10,190	상시 : 17,788 지진 : 26,510	1.21 2.60	H=15m
40MPa	1.8	상시 : 14,612 지진 : 10,098	상시 : 17,973 지진 : 30,583	1.23 3.02	〃

(2) 휨-전단부재(코핑, 기초)

$$M = \phi As \cdot fy(d - \frac{a}{2}) = \phi \cdot p \cdot fy(1 - 1.7\frac{p \cdot fy}{fck})bd^2$$

* (1.7 · P · fy/fck)의 값이 0에 가까우므로 단면의 공칭휨강도는 fy에 의해서 결정

3.2 고강도 콘크리트 적용시 고려사항 검토

(1) 수화열에 의한 균열발생 여부 검토

(1.1) 사전 온도응력 해석결과 유해균열 미발생

결합재	타설높이 (m)	최고온도 (℃)	최대응력 (Mpa)	균열 지수
보통시멘트	3단 (6m)	기둥 79.8 코핑 83.3	2.5	0.93
FA 혼합	〃	기둥 77.9 코핑 83.2	2.5	1.01
저열시멘트	〃	기둥 68.2 코핑 70.1	1.8	0.98

* 균열지수 0.7~1.2 : 유해균열 발생을 제한

* 균열지수 = 콘크리트 인장강도 /수화열에 의한 인장 주응력

(2) 지진시 거동 검토

(2.1) 고강도(40MPa) 적용에 의한 지진시 거동 변화 미미

콘크리트 강도	기둥직경	고유치	교대변위	교대수평력
27MPa	2.5m	1.927초	101㎜	243KN
40MPa	2.3m	1.939초	102㎜	245KN

(3) 코핑부 휨균열 검토(콘크리트 구조설계기준 p125)

(3.1) 필요철근 최소간격(215mm)이하로 배근(125mm)하므로 휨균열 O.K

콘크리트 강도	필요철근최소간격(S)	적용간격	비고
27MPa	213㎜	125㎜	O.K
40MPa	215㎜	125㎜	O.K

* 필요철근 최소간격 (S) = 300(210/f_s) · f_s : 철근의 응력

(4) 단면 및 공사비 분석

(4.1) 대상교량 : 충주~제천간 고속도로 산척3교 등 10개 교량

(4.2) 분석결과

(4.2.1) 기둥에서는 단면축소 및 공사비 절감 효과가 있음

(4.2.2) 코핑은 휨응력에 좌우되므로 콘크리트 강도 증가에 의한 단면 감소효과가 기둥보다 적음

구분	기둥	코핑	비고
단면축소 비율	-5 ~ -8%	0 ~ -6%	- : 감, + : 증
공사비 변화비율	-2 ~ -7%	+2 ~ -2%	

3.3 교량 재설계 및 시험시공 결과

3.3.1 재설계 현황

(1) 대상교량 : 음성충주 5공구 신효교

(1.1) 형식 : IPC거더 (30m+40m+30m=100m), T형교각(h=20m)

(2) 결과 분석

(2.1) 기둥

구분	원설계(27MPa)	재설계(40MPa)	비고
기둥 직경	2.8m	2.2m	
적용철근비	1.356%	1.065%	
총공사비	3.3천만원	2.7천만원	원설계대비 80%

(2.2) 코핑

구분	원설계(27MPa)	재설계(40MPa)	비고
콘크리트 강도	27MPa	40MPa	
코핑높이	3.0m	2.6m	
공사비	3.67 천만원	3.55 천만원	원설계대비 97%

(2.3) 기초 : 콘크리트 강도 증가로 인한 단면 감소효과가 미미하고, 단면이 매시브하여 수화열의 영향이 예상되므로 기존 콘크리트 강도(27MPa) 적용함

3.3.2 시험시공 결과

(1) 배합 설계

(1.1) 수화열에 의한 온도균열 검토를 위하여 1종시멘트, 플라이 애쉬 및 저열포틀랜드시멘트 사용 배합 제시

구 분	G_{max}	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W (Kg)	C (Kg)	고성능 AE 감수제 (시멘트 중량 비)
1종 시멘트	25㎜	15±2.5	5~7	163	454	1.0%
FA 20 (20%)				165	382	1.0%
저열시멘트				158	438	0.8%

* 시험시공시 현장여건 등을 감안하여 1종 시멘트를 사용함

(2) 수화열 및 균열 실측 결과

(2.1) 4개 모든 교각에서 균열이 발생하지 않음

구 분	해 석	실 측	비 고
콘크리트 온도	18~27℃	18~27℃	
콘크리트압축강도	58MPa	58MPa	
양생방법	양생포+살수	은박보온재+천막비닐	
최고온도	84.6℃	89.6℃	
최대응력	3.38MPa	균열발생 없음	
최소균열지수	0.84		

* 거푸집 탈형시기 및 보온양생 등의 양생관리가 주효

(3) 배합강도 이상의 조기 강도 발현 → 고강도 콘크리트 강성 확보

(3.1) 재령 7일 강도 44Mpa, 28일 강도 56Mpa

(4) 촉진중성화와 동결융해저항성은 27Mpa 콘크리트 대비 우수함

구분	원설계(27MPa)	재설계(40MPa)	비고
촉진중화성 깊이	12.2mm	3.3mm	낮을수록 수밀함
동결융해저항성 (상대동탄성계수)	76.3%	80.4%	높을수록 우수함

3.4 자문의견

(1) 자문내용 : 40MPa 콘크리트 교각 적용에 대한 의견

(2) 자문위원 : 고려대 윤영수 교수 등 4명

(3) 자문결과 요약

항목	자문의견 및 조치사항	자문위원
구조성능	○고강도 콘크리트를 활용함으로써 단면슬림화를 통한 미관개선 및 부분적인 경제성 향상이 가능할 것으로 판단됨.	허석범
	○단기적으로는 시행착오 등 여러 가지문제가 있을 수 있으나 장기적으로 필요한 사항임. ※기둥부(압축부재)는 콘크리트 강도증가에 의한 공칭축력의 증대로 단면축소가 가능	이성근
	○교각(기둥, 코핑)에 40MPa을 사용하는 경우, 공칭축하중강도 및 공칭휨강도의 증가로 인해 단면 감소 및 공사비 절감을 통한 경제성 향상 가능.	서석구
콘크리트 품질관리	○코핑부 휨균열 검토시 콘크리트 강도변화에 따라 철근 간격(S)가 달라지는 원인이 철근피복두께 변화에 의한것인지? → 철근 응력(f_s)은 콘크리트 강도를 고려하여 구조해석후 구한값으로 철근간격(S)은 철근응력에 의해서 달라짐.	윤영수

4. 결론

(1) 교각(기둥, 코핑)에 고강도 콘크리트(40MPa) 적용시 단면 감소로 인한 공사비 절감과 미관개선 효과가 기대되고

(2) 시험시공 결과 수화열에 의한 균열 발생이 없는 등 시공성에는 문제점이 없는 것으로 분석되므로

(3) 향후 교각(기둥, 코핑) 설계시는 설계기준 강도 40MPa 콘크리트 적용을 원칙으로 함

단, 교각규격과 현장여건 등을 고려하여 27MPa 콘크리트 적용이 바람직할 경우에는 27MPa 콘크리트 적용이 가능함

(4) 콘크리트 생산 · 운반 · 타설 등에 관한 품질관리는 “고강도 콘크리트 시공지침(안)” 및 “고강도 콘크리트 품질관리 방안(건설계획처-1638, 2009.5.20)” 참조

(5) 기대효과

(5.1) 공사비 절감 : 4,096백만원

$$\frac{12\text{백만원}}{Km\text{당 절감액}} \times \frac{341.3Km}{2010\text{년이후 발주물량}} = 4{,}096\text{백만원}$$

(6) 적용방안

(6.1) 본 방침 시행이후 실시설계중인 노선부터 적용