교량기초 휨철근 설계기준 개선

제공처 : 한국도로공사 설계처

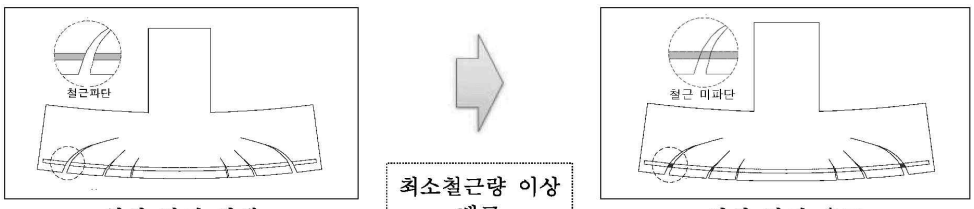
출처 : 2011년도 고속도로 설계 실무자료집(2012, 한국도로공사)

1. 일반현황

(1) 휨부재 최소철근량 규정과 관련하여 콘크리트구조설계기준과 도로교설계기준이 상이하며, 도로교설계기준 적용으로 기초철근량이 과다하게 배근되어, 비경제적이고 시공성이 불리해짐.

(2) 따라서, 합리적 기준 검토를 통해 경제성 및 시공성을 개선코자 함.

(2.1) 휨부재의 “최소철근량” 규정 : 콘크리트 구조물의 취성파괴 방지



취성 파괴 발생
(철근·콘크리트 동시 파괴)

연성 파괴 유도
(콘크리트 파괴, 철근이 견딤)

2. 현황 및 문제점

2.1 현 설계기준

(1) 콘크리트구조설계기준 및 도로교설계기준 비교

콘크리트구조설계기준(2007)	도로교설계기준(2010)
4.3.6.1 휨부재 최소철근량 (1) $A_{s,\min}=\frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y}bd$, $A_{s,\min}=\frac{1.4}{f_y}bd$ 중 큰 값 (3) 예외 : $A_{s,\min}=\frac{4}{3}A_{s,req}$인 경우 (4) 예외 : 두께 일정한 슬라브 및 기초판은 온도철근량이 최소철근량임	6.3.2 휨부재 최소철근량 (1) $A_{s,\min}=\frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y}bd$, $A_{s,\min}=\frac{1.4}{f_y}bd$ 중 큰 값 적용 (3) 예외 : $A_{s,\min}=\frac{4}{3}A_{s,req}$인 경우

(2) 콘크리트구조설계기준은 기초판 예외 규정이 있어, 온도철근량만을 최소철근량으로 규정함으로써 필요철근량만 배근이 가능함

(3) 도로교설계기준은 기초판 예외 규정이 없어 필요철근량 4/3배 배근함

2.2 문제점

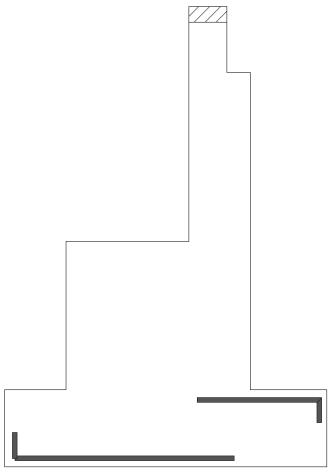
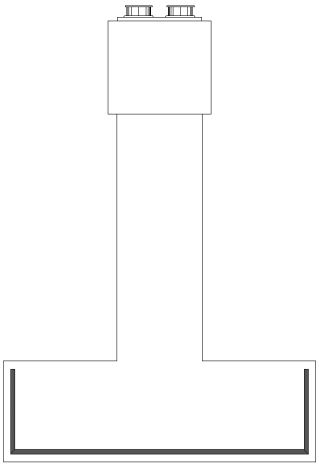
(1) 콘크리트구조설계기준과 도로교설계기준이 서로 불일치하고 도로교 설계기준 적용시 휨철근 33%이상 과다배근 필요

(2) 따라서, 보수적인 기준(도로교설계기준) 적용으로 인해 철근량이 많아져, 비경제적이고, 시공성이 불리해짐

3. 개선내용

3.1 기준검토

3.1.1 검토단면

교 대	교 각
	
기초 앞굽 하면, 뒷굽 상면	기초하면

3.1.2 휨철근 관련 설계기준 비교

<table>
<tr><th>구분</th><th>콘크리트구조설계기준(2007)</th><th>도로교설계기준(2010)</th><th>철도설계기준(2011)</th><th>AASHTO 2002</th></tr>
<tr><td rowspan="4">시방
규정</td><td>6.3.2 휨부재의 최소 철근량
(1) 해석에 의하여 인장철근 보강이 요구되는 휨부재의 모든 단면에 대하여 6.3.2(2), 6.3.2(3)과 6.3.2(4)에 규정된 내용을 제외하고는 철근의 단면적 As는 아래 식 (6.3.1)과 식 (6.3.2)에 의해 계산된 값 중에서 큰 값 이상으로 하여야 한다.
$A_{s,\min}=\frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y}b_w d$ (6.3.1)
$A_{s,\min}=\frac{1.4}{f_y}b_w d$ (6.3.2)</td><td>4.3.6 휨부재의 철근
4.3.6.1 최소철근량
(1) 해석에 의하여 인장철근 보강이 요구되는 휨부재의 모든 단면에 대하여 4.3.6.1 (2)에 규정된 내용을 제외하고는 철근의 단면적 As는 아래 식 (4.3.2)와 식 (4.3.3)에 의해 계산된 값 중에서 큰 값 이상으로 하여야 한다.
$A_{s,\min}=\frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y}b_w d$ (4.3.2)
$A_{s,\min}=\frac{1.4}{f_y}b_w d$ (4.3.3)</td><td>10.6.4 휨부재
(2) 휨부재 설계의 제한 사항
② 휨부재의 최소 철근량
가. 해석에 의하여 인장철근 보강이 요구되는 휨부재의 모든 단면에 대하여 아래 「나., 다., 라.항」에 규정된 내용을 제외하고는 철근의 단면적 As는 <식 (10.6.1)>과 <식 (10.6.2)>에 의해 계산된 값 중에서 큰 값 이상으로 하여야 한다.
$A_{s,\min}=\frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y}b_w d$ (10.6.1)
$A_{s,\min}=\frac{1.4}{f_y}b_w d$ (10.6.2)</td><td>$\phi M_n \geq 1.2 M_{cr}$ 이 되도록 하는 철근량을 최소철근량으로 정한다
$\phi A_s f_y d = 1.2\times 0.623\sqrt{f_{ck}}\times\frac{bh^2}{6}$
$A_{s,\min}=\frac{1.2\times 0.623\sqrt{f_{ck}}}{\phi f_y}\times\frac{1}{6}\frac{bh^2}{d}$</td></tr>
<tr><td>(3) 부재의 모든 단면에서 해석상 필요한 철근량보다 1/3 이상 인장철근이 더 배근되는 경우에는 6.3.2(1)의 규정을 적용하지 않을 수 있다.</td><td>(3) 부재의 모든 단면에서 해석상 필요한 철근량보다 1/3 이상 인장철근이 더 배근되는 경우에는 4.3.6.1(1)의 규정을 적용하지 않을 수 있다.</td><td>다. 부재의 모든 단면에서 해석에 의해 필요한 철근량보다 1/3 이상 인장철근이 더 배치되는 경우에는 「가.항」의 규정을 적용하지 않을 수 있다.</td><td>※단, 필요철근량보다 1/3 이상 배치되는 경우 상기 규정 따르지 않음</td></tr>
<tr><td>(4) 두께가 균일한 구조용 슬래브와 기초판에 대하여 경간방향으로 보강되는 인장철근의 최소단면적은 5.7에 규정한 값과 같아야 한다. 철근의 최대 간격은 슬래브 또는 기초판의 두께의 3배와 450mm 중 작은 값을 초과하지 않도록 하여야 한다.</td><td>(4) 구조용 슬래브와 기초판에서의 철근의 최대 간격은 슬래브 두께의 3배와 400mm 중에서 작은 값을 초과하지 않도록 해야 한다.</td><td>라. 두께가 균일한 구조용 슬래브와 기초판에 대하여 경간방향으로 보강되는 인장철근의 최소 단면적은 「10.4.8항」에 규정한 값과 같아야 한다. 철근의 최대 간격은 슬래브 또는 기초판의 두께의 3배와 400mm 중 작은 값을 초과하지 않도록 하여야 한다.</td><td></td></tr>
<tr><td>5.7 수축·온도철근
5.7.2 1방향 철근콘크리트 슬래브
(1) 수축·온도철근으로 배치되는 이형철근은 어떠한 경우에도 0.0014 이상이어야 한다.
(2) 다만, 5.7.2(1)에서 요구되는 수축·온도철근비에 전체 콘크리트 단면적을 곱하여 계산한 수축·온도철근 단면적을 단위m당 1,800 mm² 보다 크게 취할 필요는 없다.</td><td></td><td>10.4.8 수축 및 온도철근
(1) 수축·온도철근으로 배치되는 이형철근은 어떠한 경우에도 0.0014 이상이어야 한다.
(2) 교대, 기초 등 교량 하부구조에 배치하여야 하는 온도·수축철근의 단면적은 0.0015·h·s 이상이어야 한다. 여기서, h는 부재의 두께이며 s는 온도·수축철근의 간격이다. 다만, 부재의 두께가 1,200mm를 초과하는 기초판의 경우에는 h를 1,200mm보다 크게 취할 필요는 없다.</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">▶ 휨철근 관련 콘크리트구조설계기준 및 철도설계기준 규정 동일
▶ 도로교설계기준은 타 기준에 비해 휨철근량 33% 이상 배근 불가피</td></tr>
</table>

3.1.3 각 설계기준별 산출 예시

<산출 예시 대상교량(OO교 기초) : f_y=400MPa, f_{ck}=27MPa, h=1,800mm, d=1,650mm>

관련기준	산출기준	산출결과(예)
도로교설계기준	(1) $A_{s,\min}=\frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y}bd$, $A_{s,\min}=\frac{1.4}{f_y}bd$ 중 큰 값 (2) 예외 : $A_{s,\min}=\frac{4}{3}A_{s,req}$인 경우	$A_{s,req}$=26,574㎟ $A_{s,\min}$=37,537㎟ $A_{s,use}$=35,432㎟ (약 33% 이상 배근)
콘크리트구조설계기준 철도설계기준 한계상태설계법 초안 ACI 318-08	(1) $A_{s,\min}=\frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y}bd$, $A_{s,\min}=\frac{1.4}{f_y}bd$ 중 큰 값 (2) 예외 : $A_{s,\min}=\frac{4}{3}A_{s,req}$인 경우 (3) 예외 : 기초판은 온도철근량 적용 ※ A_s = 1800㎟/m(콘, 철) A_s= 0.0018~0.0020bd(ACI)	$A_{s,req}$=26,574㎟ $A_{s,\min}$=11,700㎟ 또는 21,450㎟(ACI) $A_{s,use}$=26,574㎟
Euro Code	$A_{s,\min}=0.26\frac{f_{ctm}}{f_{yk}}bd$ $f_{ctm}=0.3f_{ck}^{2/3}$	$A_{s,req}$=26,574㎟ $A_{s,\min}$=18,876㎟ $A_{s,use}$=26,574㎟
AASHTO 2002	$\phi M_n \geq 1.2M_{cr}$을 만족하는 철근량 $\phi A_s f_y d = 1.2\times 0.623\sqrt{f_{ck}}\times\frac{bh^2}{6}$ $A_{s,\min}=\frac{1.2\times 0.623\sqrt{f_{ck}}}{\phi f_y}\times\frac{1}{6}\frac{bh^2}{d}$	$A_{s,req}$=26,574㎟ $A_{s,\min}$=24,304㎟ $A_{s,use}$=26,574㎟

(1) 도로교설계기준 외의 타 기준 적용 시에는 필요철근량만으로 배근 가능

3.1.4 관계기관 협의 (한국도로교통협회: 도로교설계기준 관리)

(1) 추진경위

(1.1) 2011. 6. 24. 한국도로교통협회 질의

(1.2) 2011. 7. 14. 한국도로교통협회 도로교설계기준 회의 참석

(1.2.1) 협회 : 도로교는 공공성 측면에서 보수적 설계가 필요함.

(1.2.2) 도공 : 국내 · 외 기준 추가조사 후 재협의하겠음

(1.3) 2011. 8. 26. ~ 31. 도로교설계기준 위원회 방문 설명

(1.3.1) 국내 · 외 기준 등 추가 자료 제시(책임위원 신현목 교수 등)

(1.4) 2011. 8. 29. 전문가 회의 실시

(1.5) 2011. 9. 5. 한국도로교통협회 방문

(1.5.1) 그간 경위 및 국내 · 외 기준 등 설명(협회 기술국장 등)

(1.6) 2011. 9. 14. 한국도로교통협회 회신(협회→도공)

(2) 질의 회신 내용

(2.1) 질의내용

(2.1.1) 교량 기초 휨철근 최소철근량 산정시 도로교설계기준과 콘크리트구조 설계기준이 상이하여 혼선이 야기되고 도로교설계기준 적용시 비경제적 설계가 되므로, 콘크리트구조설계기준 6.3.2 휨부재의 최소철근량 적용 예외 규정에 따라 온도 · 수축철근의 최소철근비만 만족시키도록 적용하여도 되는 것인지.

(2.2) 답변내용

(2.2.1) 도로교의 휨부재의 최소철근량의 규정은 교량이 부정정차수가 낮고, 공공성이 강조되므로 도로교설계기준을 적용하여야 함.

(2.2.2) 따라서, 기초판에 대해서도 휨부재의 최소철근량의 규정을 따라야 함.

(2.2.3) 다만, 휨부재의 최소철근량을 산정함에 있어서, 도로교설계기준 등에서 채택하고 있는 최소철근량의 식 $\rho = \frac{1.4}{f_y}$은 설계자의 편의를 위한 간략식이므로, 과소보강보의 취성파괴를 방지하기 위한 보다 원론적인 식인 AASHTO의 기준 식 $\phi M_n \geq 1.2 M_{cr}$을 적용하여도 큰 문제는 없을 것으로 판단됨.

3.1.5 검토결론

(1) 일반적인 시방서 제정은 콘크리트구조설계기준을 모법으로 하여 도로교 및 철도교 관련 기준을 제정함.

(2) 공공성이 강한 철도설계기준(노반편)과 콘크리트구조설계기준은 동일하나, 도로교설계기준만 상이하여 비경제적인 설계가 되고 있음

(3) 현재 최신 개정 중이거나 최신 설계법 등을 고려할 때

(3.1) 기초 최소철근량은 온도철근량으로 규정되거나,

(3.2) $\phi M_n \geq 1.2 M_{cr}$에 해당되는 철근량으로 기초 최소철근량을 규정함.

(4) 또한 기초는 지반 상의 구조물로써 취성파괴 가능성이 거의 없음.

(5) 따라서, 교량기초 최소철근량은 구조적 연관성, 경제성, 최신 설계법 추세 등을 고려할 때 온도철근량으로 규정하는 것이 타당함.

3.2 교량기초 휨철근량 기준 개선 방안

3.2.1 콘크리트구조설계기준 적용으로 교량기초 휨철근량 산정

당 초	개 선
① 필요철근량($A_{s,req}$) 산정	① 필요철근량($A_{s,req}$) 산정
② 최소철근량($A_{s,\min}$) 산정 ㉮ $A_{s,\min} = \max\left(\frac{1.4}{f_y} bd \ , \ \frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y} bd\right)$ ㉯ $A_{s,\min} = \frac{4}{3} A_{s,req}$ ☞ ㉮, ㉯ 중 작은 값	
③ 온도철근량($A_{s,\min}$) 산정 $A_{s,temp}$ = 0.0015bh(h:최대 1,200mm)	② 온도철근량($A_{s,\min}$) 산정 $A_{s,temp}$ = 0.0015bh(h:최대 1,200mm)
④ 사용철근량($A_{s,use}$) ①,②,③ 비교하여 큰 값 이상 적용	③ 사용철근량($A_{s,use}$) ①, ② 비교하여 큰 값 이상 적용

3.2.2 기대효과

(1) 교량 기초 철근량 절감에 따른 건설원가 절감, 시공성 향상, CO2발생량 저감

(1.1) 원가절감 : 약 250억원(제잡비 포함), CO2감축 : 35,544 ton

(1.2) 교대 1기당 78만원(철근량 0.49ton) 절감, 1.15 ton · CO2 발생 저감

(1.2.1) 교각 1기당 520만원(철근량 3.15ton) 절감, 7.37 ton · CO2 발생 저감

(1.3) 설계중 및 착공예정인 부산외곽선 외 3개노선 적용시

(1.3.1) 9,833백만원(철근량 5,945ton) 절감, 13,911 ton · CO2 발생 저감

(1.4) 시공중인 상주~영덕 외 10개노선 미시공 교대 · 교각에 적용시

(1.4.1) 4,734백만원(철근량 2,862ton) 절감 , 6,697 ton · CO2 발생 저감

(1.5) 향후 계획노선(기본설계중) 광주순환 외 6개노선 적용시

(1.5.1) 10,509백만원(철근량 6,380ton) 절감 , 14,936 ton · CO2 발생 저감

4. 결론

(1) 설계 중 노선 : 본 방침 적용

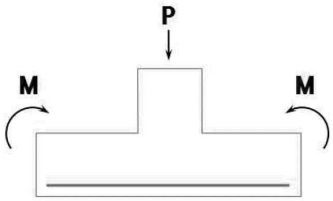
(2) 공사 중 노선 : 현장여건에 따라 미시공 교량에 적용
(상부구조계 변경 없이 기초 철근량 조정 가능)

5. 기타

5.1 교량기초 휨 철근량 산정 방법

구분	콘크리트구조설계기준(2007)	도로교설계기준(2010)
철근량 산정식	①필요철근량 $\Phi M_n = \Phi A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \geq M_u$가 되도록 하는 철근량	①필요철근량 $\Phi M_n = \Phi A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \geq M_u$가 되도록 하는 철근량
		②최소철근량 ㉮ $A_{s,\min} = \max\left(\frac{1.4}{f_y} bd \ , \ \frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y} bd\right)$ ㉯ $A_{s,\min} = \frac{4}{3} A_{s,req}$ ☞ ㉮, ㉯ 중 작은 값
	②온도철근량 $A_{s,\min} = 0.0015bh$ (h: 최대 1.2m)	③온도철근량 $A_{s,\min} = 0.0015bh$ (h: 최대 1.2m)
철근량 결정	- ①, ② 중 큰 값 적용	- ②최소철근량 적용 원칙 - ①, ②, ③ 중 큰 값 적용

5.2 기초 휨철근량 산정 계산 예

구분	콘크리트구조설계기준(2007)	도로교설계기준(2010)
검토 단면		
검토 조건	b=6,500, h=1,800, d=1,650, Mu=14586.4, fck=27MPa, fy=400MPa, Φ=0.85	
필요 철근량	$M_u/\phi = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$ …① $a = A_s \times f_y / (0.85 f_{ck} b)$ …② ②를 ①에 대입하여 이차방정식을 풀면 $A_{s,req}$ = 26,574㎟	$M_u/\phi = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$ …① $a = A_s \times f_y / (0.85 f_{ck} b)$ …② ②를 ①에 대입하여 이차방정식을 풀면 $A_{s,req}$ = 26,574㎟
최소 철근량		① $A_{s,\min} = \max\left(\frac{1.4}{f_y} bd \ , \ \frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y} bd\right)$ $= \max(37537 \ , \ 34830)$ = 37,537㎟ ② $A_{s,\min} = \frac{4}{3} \times A_{s,req}$ $= \frac{4}{3} \times 26574$ = 35,432㎟ ☞ $A_{s,\min}$ = min(①, ②) = 35,432㎟
온도 철근량	$A_{s,t} = 0.0015bh$ $= 0.0015 \times 1200 \times 6500$ = 11,700㎟	$A_{s,t} = 0.0015bh$ $= 0.0015 \times 1200 \times 6500$ = 11,700㎟
사용 철근량	$A_{s,use}$ = max($A_{s,req}$, $A_{s,t}$) = 26,574㎟	$A_{s,use}$ = max($A_{s,req}$, $A_{s,\min}$, $A_{s,t}$) = 35,432㎟
검토 의견	- “도로교설계기준”은 필요철근량 4β배 배근 - “콘크리트설계기준”은 필요철근량 배근함(25% 절감)	