교각 코핑 및 기둥연결부 설계 개선 검토

제공처 : 한국도로공사 설계처

출처 : 2019년도 고속도로 설계 실무자료집(2020, 한국도로공사)

1. 일반현황

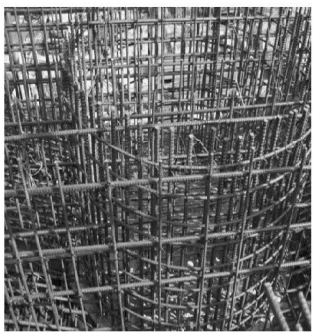
1.1 검토배경

(1) 그간 건설현장에서 교각 코핑부는 구조적으로 많은 철근량이 배근되고, 그에 따른 철근 간섭으로 인해 시공성이 불리하여 항시 현장에서 작업자 안전에 노출되어 있었던 바,

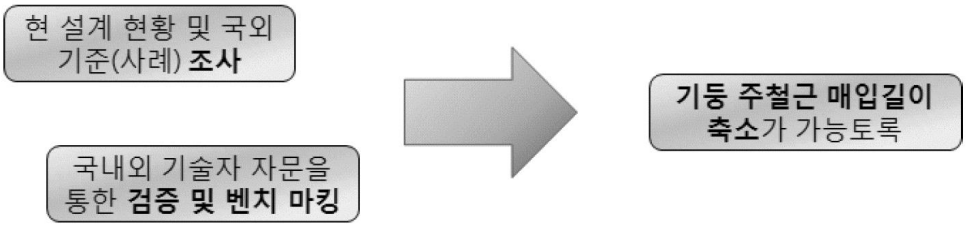
* 최근 3년간(2016~2018) 고속도로 현장 철근 관련 안전사고 9건 발생

(2) 이에 대한 개선 방안으로 코핑부로의 매입 기둥 주철근의 합리적인 길이 산정 방안 검토하여 시공성 향상 및 작업자의 안전사고 예방에 기여하고자 함

※ 교각 코핑부 철근 배근 작업시 과다한 철근량 배치로 인해 어려움


1.2 검토방향



2. 현황 및 문제점

2.1 현설계 현황 및 국외 사례(기준) 조사

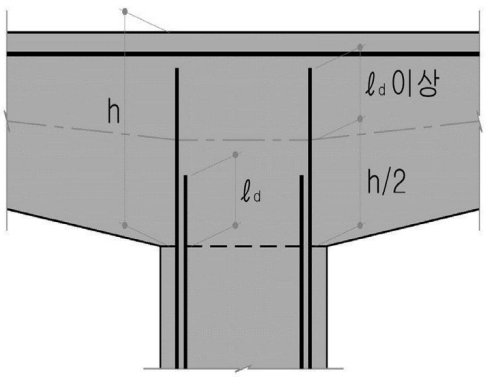
2.1.1 현 설계 현황

(1) 우리 공사 “코핑부 철근 시공성 개선 검토(설계처, ˆ.12)“에 의거

(1.1) 코핑부 기둥철근은 유효단면의 1%이상을 만족하고 구조계산상 여유가 확보되면 2단 철근 중 1단은 코핑 하단에 정착토록 제시하고 있음

(1.2) 기둥과 보가 일체화된 라멘의 구조세목으로서 캔틸레버 거동을 하는 T형 교각에서는 과하거나 불필요한 구조세목임

(2) 개요도



※기둥 주철근 매입길이 산정

: f_y = 500MPa, f_{ck} = 40MPa

철근 직경 : 29mm, h = 3.0m

$$\ell_d = 0.9 \times \frac{d_b^2 \times f_y}{c_b \sqrt{f_{ck}}} = 1{,}164mm$$

☞ h/2 + l_d = 2,664 mm

(3) 설계 실무에서는 2단 배근이 필요한 곳에서

(3.1) 1단은 1/2 지점을 지나서 정착길이만큼 확보하고

(3.2) 나머지 1단은 코핑하단부터 정착길이만큼 확보토록 설계함

2.1.2 국외 기준(사례) 조사

(1) 유럽 기준(사례)

(1.1) Eurocode 8: Design ot structures for earthquake resistance.
Part l:General rules, seismic actions and rules for buildings 5.62.1

(1.2) 축인장력을 받는 기둥의 경우에는 정착장을 EN 1992-1-1:2004에서 산출된 정착장 값의 50%를 할증하여야 함.

< EN 1992-1-1:2004에 의한 정착장 산정 시 >

1. 검토 조건

$f_{ck} = 40MPa$, $f_y = 500MPa$, 피복=125mm, 철근간격=100mm,

철근직경=29mm

2. 부착강도 산정

$f_{bd} = 2.25\eta_1\eta_2 f_{ctd} = 2.25 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.701 = 3.828MPa$

3. 기본정착길이 산정

$l_{b,rqd} = (\phi/4)(\sigma_{sd}/f_{bd}) = (28.6/4)(450/3.828) = 841mm$

4. 설계정착길이 산정

$l_{bd} = \alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5 l_{b,rqd} = 1.0 \times 0.776 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 841 = 653mm$

5. 기둥철근의 정착길이 산정 $l_d = 1.5 \times l_{bd} = 1.5 \times 653$ = 980mm

(2) 미국 기준(사례)

(2.1) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 8th Edition 5.11.4.3

(2.2) Seismic Zones 3, 4에서 기둥과 코핑간의 이음은 죽방향 철근이 완전하게 항복하는데 필요한 정착길이의 1.25배 이상을 확보하여야 하며, 소성힌지 구역의 횡방향철근 보강 범위는 기둥최대치수의 1/2배나 380㎜ 이상 이어야 함.

2.2 기술 자문 추진

2.2.1 설계 자문 개요

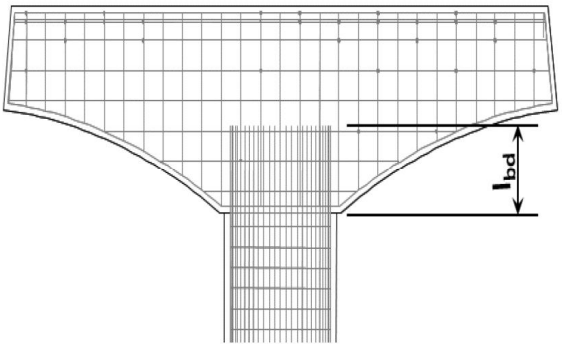
(1) 자문위원 : 서울시립대 임성순 교수 외 6인
(미국 설계사)에 근무 중인 기술자 2인 포함)

(2) 자문기간 : 2019. 5월 ~ 6월

(3) 자문요청 내용

(3.1) "한계상태설계법 상세설계를 위한 교각 코핑 철근 배근 합리화"
연구과업에서 교각 코핑부 기둥철근을 최소 정착길이만큼만 배근하는 것이 타당한 것으로 제시

(3.2) 코핑부 배근 개선(안)에 대한 기술 자문 요청

	· 교각 코핑부 **기둥철근**은 기둥의 실제 거동에 필요한 **정착길이**(l_d) 만큼만 매입토록 개선 · **II형 교각**에서의 적용 가능성

2.2.2 설계 자문 주요 내용

구분	주요 내용	조치계획 및 검토결과
1	- 해외 기준3)에서도 소성힌지 구역에서 1.25배 정착장 길이 이상으로 기둥 주철근이 매입되도록 규정되어 있으므로, 위 기준 준용은 합리적이라 판단되나, 지진구역에 대한 비교로 적용이 가능한 지 확인 필요	- **미국 강진 구역** 설계응답스펙트럼이 **국내 지진보다 크게 산정**되므로 미국 기준 준용 가능 (붙임 #1참조)
2	- 기둥 주철근 정착길이 보다는 소성힌지 구역의 횡방향 철근 배근 범위(0.5D)가 지배인자가 될 수 있음.	- 주철근 정착길이와 횡방향 철근 배근 범위 중 큰 값으로 적용토록 검토
3	- T형 교각 및 Π형 교각 모두 사용 가능하나, Π형 교각은 코핑 높이가 낮아 정착길이만큼 확보가 안 되는 경우 갈고리 또는 기계적 연결이 필요함.	- 설계 단계에서 검토
미국 설계사에 근무 중인 **자문위원**의 기술자문 결과 미국 내에서는 강진구역(미서부 캘리포니아 등)에서 **정착길이의 25% 할증**으로 적용 중임을 확인		

3. 개선내용

3.1 설계 개선 방안 검토

3.1.1 “기둥 주철근 매입길이 “ 국외 기준 준용 여부 검토

(1) 유럽기준(Eurocode 8)은

(1.1) 내진 설계 시 기본 정착길이의 1.5배로 배근하도록 규정

(1.2) 그러나, 현 시점에서는 국내 기술자들은 유로코드에 익숙치 않은 실정임

(2) 미국기준(AASHTO LRFD BDS 8th)은

(2.1) 지진구역 3, 4에서 기본 정착길이의 1.25배로 배근하도록 규정

(2.2) 현행 도로교설계기준(한계상태설계법) 지진 관련 하중조합이 위 기준을 준용하고 있으며,

(2.3) 국내 지진하중은 미국 지진하중(지진구역 4)보다 월등히 작은 것으로 비교됨 (5.1절 참조)

(2.4) AASHTO LRFD 기준 준용한 기둥 주철근 매입길이 산정 가능

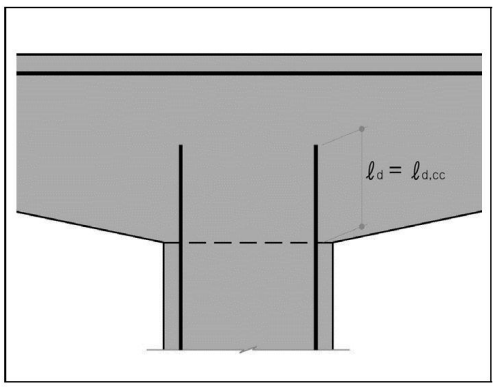
3.1.2 교각 형상 및 구조 거동에 따른 개선방안 검토

(1) 단주식(T형) 교각

(1.1) 소성힌지 발생 유무는 교각 하단에서 결정되며,

(1.2) 교각 상단에 연결되는 코핑부는 소성 힌지 발생이 없으므로,

(1.3) $\dfrac{\text{기본정착길이}(\ell_{d.cc})\text{만큼만매입}}{\ell_d = \ell_{d.cc}}$



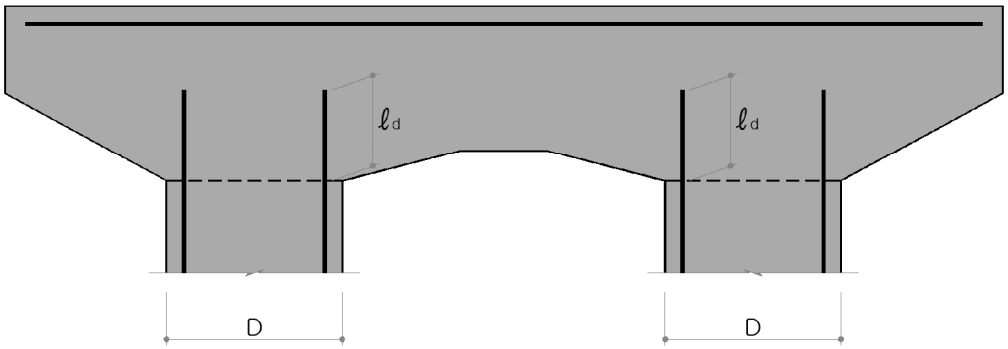
(2) 다주식(Ⅱ형) 교각 : 소성힌지 발생 여부에 따라 구분 필요

(2.1) 소성힌지 발생이 없는 경우 : T형 교각과 동일하게 적용

(2.2) 소성힌지 발생이 있는 경우 : 기둥 횡방향 철근 배근 범위를 함께 고려하여 산정

① 소성힌지 無 : l_d = Max($l_{d,cc}$, 0.5D , 380mm)

② 소성힌지 有 : l_d = Max(1.25$l_{d,cc}$, 0.5D , 380mm)



4. 결론

4.1 기대효과

(1) 시공성 개선

(1.1) 현장 시험시공 및 작업자 인터뷰(*건설현장 협조 필요(건설처))를 통한 효과 확인

(2) 예산절감

(2.1) 4차로용 교각 1개소 : 1.7백만원

(2.2) 향후 계획 중인 도로 건설 물량 추정 시 183억원 절감

4.2 적용 및 향후 추진 계획

(1) 적용

(1.1) 설계 중 노선부터 적용

(1.2) 공사 중 노선은 현장여건에 따라 즉시 시행

(2) 추후 국가기준으로의 등재 추진

5. 기타

5.1 국내기준(KDS)과 미국기준(AASHTO)의 지진하중 설계 응답스펙트럼 비교

5.1.1 지진구역(Seismic Zones)

각 교량은 아래 표에 따라 4개의 지진 구역 중 하나에 할당되며, 지진 구역은 전국의 지진 위험의 변화를 반영하며 분석 방법, 최소 지지 길이, 기둥 설계 세부 사항 및 기초 및 교대 설계 절차에 대한 다양한 요구 사항을 허용하는데 사용됨.

(1) 미국(AASHTO) 설계응답스펙트럼을 기준으로 한 Seismic Zone 구분

구분		Spectral Acceleration Coefficient at Period 1.0 sec (S_1)								
		0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Site Class	A	0.400	0.360	0.320	0.280	0.240	0.200	0.160	0.120	0.080
	B	0.500	0.450	0.400	0.350	0.300	0.250	0.200	0.150	0.100
	C	0.650	0.608	0.560	0.508	0.450	0.388	0.320	0.248	0.170
	D	0.750	0.698	0.640	0.595	0.540	0.475	0.400	0.330	0.240
	E	1.200	1.080	0.960	0.910	0.840	0.750	0.640	0.503	0.350

(2) 국내 (KDS) 설계응답스펙트럼을 기준으로 한 Seismic Zone 구분

구분		지진1구역, 재현주기 1,000년	지진1구역, 재현주기 500년	지진2구역, 재현주기 1,000년	지진2구역, 재현주기 500년
		S=0.154	S=0.110	S=0.098	S=0.070
지반 종류	S1	0.129	0.092	0.082	0.059
	S2	0.223	0.164	0.147	0.107
	S3	0.253	0.186	0.167	0.121
	S4	0.322	0.240	0.216	0.158
	S5	0.437	0.327	0.295	0.216

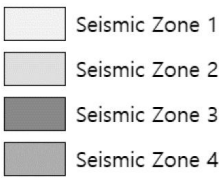


Table 3.10.6-1—Seismic Zones

Acceleration Coefficient, S_{D1}	Seismic Zone
$S_{D1} \le 0.15$	1
$0.15 < S_{D1} \le 0.30$	2
$0.30 < S_{D1} \le 0.50$	3
$0.50 < S_{D1}$	4

※ S_{D1} : 설계응답스펙트럼의 주기 1초에서의 탄성지진응답계수

5.1.2 지진하중 설계응답스펙트럼 비교

(1) KDS 설계스펙트럼 산출 조건

(1.1) 지진구역 : I

(1.2) 재현주기 : 1,000년

(1.3) 지반종류 : S_5 (깊고 연약한 지반, 전단파 속도 V_S < 180m/s)

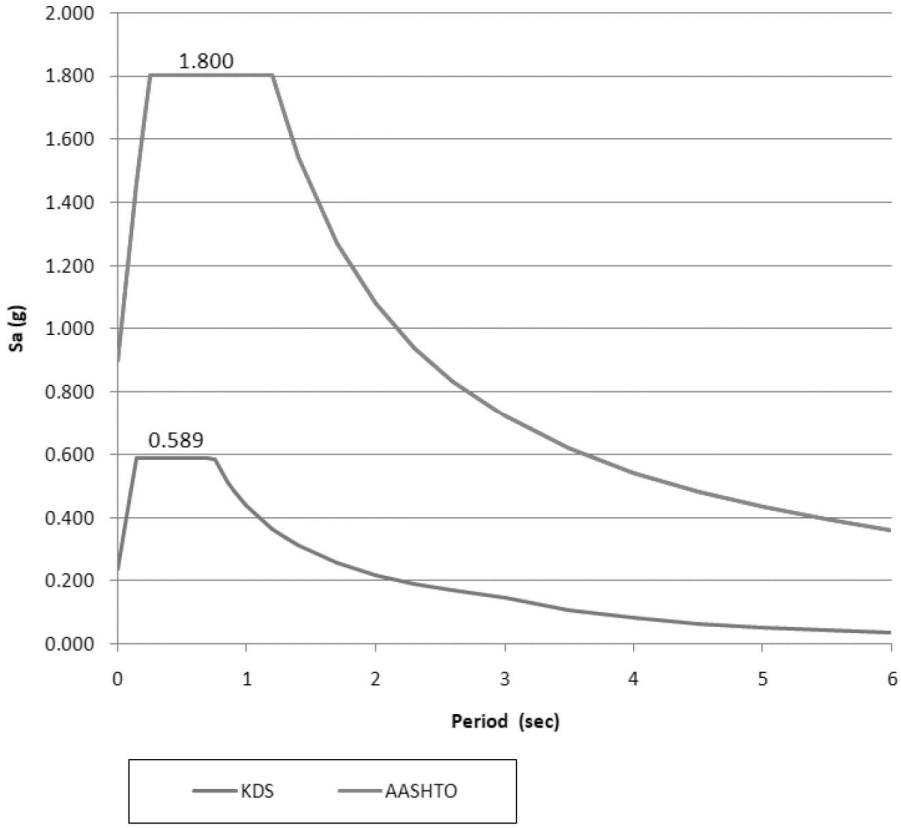
(2) AASHTO 설계응답스펙트럼 산출 조건

(2.1) 지진구역 : 캘리포니아주 강진구역 (PGA=1.0, S_S=2.0, S_1=0.9)

(2.2) 재현주기 : 1,000년

(2.3) 지반등급 : E (연약한 지반, 전단파 속도 V_S < 180m/s)

(3) 지진하중 설계응답스펙트럼 비교



5.2 기둥 주철근 매입길이 설계 방법

5.2.1 적용 조건(중요)

(1) 철근직경(d_b) = 35㎜ 이하

(2) 콘크리트설계기준 강도(f_{ck}) = 100MPa 이하

(if, f_{ck} > 69MPa ☞ D10@300 이상의 횡방향 철근보강 필요)

(3) If, 철근 항복강도(f_y) > 520MPa ㅡ 횡방향 최소철근 배근 필요

(4) 도막되지 않은 철근 및 보통콘크리트 사용

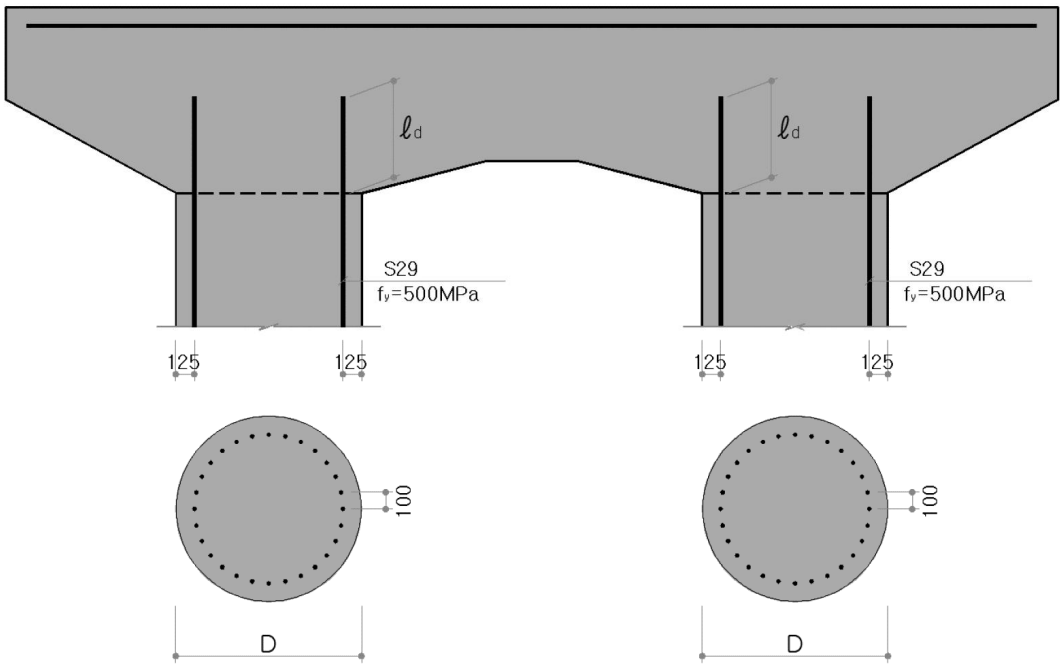
5.2.2 기둥 주철근 기본 매입길이($\ell_{d,cc}$) 산정 방법

(1) $\ell_{d,cc} = 0.914 \times \dfrac{d_b^2 \times f_y}{c_b \sqrt{f_{ck}}}$

여기서,

d_b = 기둥주철근 직경(mm)
f_y = 기둥주철근 항복강도(MPa)
c_b = min(철근중심피복, 철근중심간격의 1/2)(mm)
f_{ck} = 콘크리트 설계기준강도(MPa)

5.2.3 기둥 주철근 매입길이 산정 계산 및 설계 예시



(1) 기둥 주철근 기본 매입길이($\ell_{d.cc}$) 계산

$$\ell_{d,cc} = 0.914 \times \frac{d_b^2 \times f_y}{c_b \sqrt{f_{ck}}} = 1{,}182\,mm$$

여기서,

d_b = 28.6mm

f_y = 500MPa , f_{ck} = 40MPa

c_b = min(125, 100/2) = 50mm

D = 2,300 mm

(2) 기둥 주철근 매입길이($\ell_{d.cc}$) 설계 방법 : 기둥 구조계산 결과에 따라 소성힌지 발생 여부 판단

(2.1) 소성힌지 발생이 없는 경우

ℓ_d = Max(1.0$\ell_{d,cc}$, 0.5D, 380mm)

ℓ_d = Max(1.0×1,182=1,182mm, 0.5×2,300=1,150mm, 380mm)

= <u>1,182 mm</u>

(2.2) 소성힌지 발생이 있는 경우

ℓ_d = Max(1.25$\ell_{d,cc}$, 0.5D, 380mm)

ℓ_d = Max(1.25×1,182=1,182mm, 0.5×2,300=1,150mm, 380mm)

= <u>1,478 mm</u>