

3 국내외 설계기준 비교분석

– 철근 정착길이 및 겹침이음길이 중심으로

글 조현준 \ 토목기술팀 과장 \ 공학박사 \ 전화 02-3433-7918 \ E-mail hjcho@ssyenc.com

글 송태언 \ 토목기술팀 부장 \ 전화 02-3433-7775 \ E-mail songtairn@ssyenc.com

1. 머리말

최근 지속되는 국내 건설 경기의 침체로 우수한 국내 건설사들이 해외 프로젝트 입찰에 적극 참여하며 해외 건설 사업에 주력하고 있다. 해외 입찰 시 입찰 방식이나 설계법 등에 대한 그 나라의 특수성을 이해하는 것은 필수적일 것이다. 특히 각 나라에서 적용하고 있는 설계기준의 이해 정도는 적정 설계 물량 산출은 물론 시공성, 공사비 등에 영향을 미칠 수 있는 중요한 변수로 작용하고, 근래에는 Preconstruction Service나 Design & Build처럼 설계 기술력이 크게 반영되는 프로젝트가 빈번하므로 사전에 각국의 설계기준을 이해하고 적용성에 대해 숙지하는 것이 중요하다.

또한, 공사가 진행되는 과정에서도 감리사의 요구에 대하여 적절한 대응을 하거나, 필요 시 설계 변경을 원활히 진행하기 위해서는 해당 국가의 설계기준을 잘 이해해야 경제적이며 합리적인 설계안을 제시할 수 있을 것이다.

그 동안 본 기술지에서는 해외시장이 확대되고 있는 분위기에 따라 'BS코드를 이용한 박스구조물의 설계(2011)', '카타르 설계기준(Eurocode)을 이용한 콘크리트 구조물의 설계(2013)'를 기고함으로써 해외 설계기준을 소개하고 국내 설계기준과의 비교 분석을 통해 구조물 본체에 대한 해외 설계기준의 이해를 도모하였다. 본 고에서는 좀 더 세부적인 항목으로 접근하여, 철근상세에 해당하는 내용 중 철근 정착길이(Anchorage Length) 및 겹침이음길이(Lap Spliced Length)에 대해 기술하고자 한다. 대형 프로젝트일수록 철근의 정착길이 및 겹침이음길이에 따라 결정되는 철근량이 크게 달라지므로 설계기준에 준하는 명확한 값의 산정이 필요

하다. 이에 대해 대표적인 해외 설계기준(Eurocode2)에서 제시하고 있는 철근의 정착길이 및 겹침이음길이에 관한 내용을 파악하고, 국내 설계기준(콘크리트구조기준 2012, 도로교설계기준 2015)과 비교 및 분석하였다.

2. 부착에 관한 철근의 일반적인 성질

2-1. 철근의 부착 메커니즘

정착은 철근이 콘크리트에서 일정 길이로 묻혀 빠지지 않도록 저항하는 것이고, 겹침이음은 철근이 배근되어야 할 길이가 생산된 길이보다 긴 경우 철근끼리 겹쳐서 이어주는 것을 말한다. 이러한 정착과 겹침이음이 성립되는 기본 요소로 부착(Bond)이 있으며, 부착은 철근과 콘크리트의 경계면에서 활동(Slip)에 저항하여 두 재료가 같이 거동하기 위한 전제 조건이다.

원형 철근에서는 시멘트의 점착성에 의한 점착(Cohesion)과 마찰(Friction)로 부착이 유지되지만, 이형철근에서는 주로 철근 마디에 의한 역학적 저항(Mechanical Resistance)으로 부착이 유지된다. 실제로 부착은 3차원적 힘의 평형으로 이루어진다. 즉, 철근 마디 주위 콘크리트에는 경사방향의 압축저항력과 원주방향 인장력 및 직경방향 인장력이 발생하고 내부에 발생한 인장력이 인장강도를 초과하면 철근 마디에서 시작하여 내부균열이 발생한다. 균열이 발생한 철근 주위의 콘크리트는 각 마디마다 원추형의 콘크리트 요소로 부착 파괴에 저항한다.

2-2. 철근의 부착 강도

부착은 철근 마디에 형성되는 원추형 콘크리트 요소가 강도를 넘어서서 미끄러지거나 피복 부족 등으로 횡방향 인장력에 더 이상 저항하지 못해 철근 길이 방향 또는 수직하게 균열이 발생할 때 파괴된다. 부착 강도는 다음의 요소들에 의해 영향을 받는다.

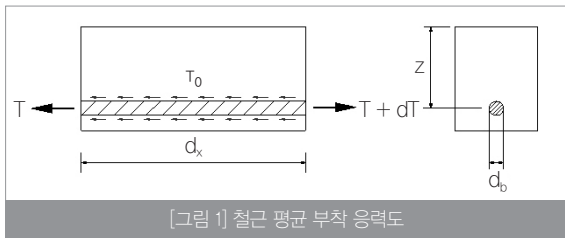
- ① 철근 마디 형태 : 마디 높이 / 마디 간격의 비
- ② 콘크리트 강도(f_{ck}) : 압축 강도 또는 압축 강도의 평방근
- ③ 철근 배근 위치 : 수평 철근의 아래쪽은 콘크리트 타설 시 수막이나 공극이 생기므로 부착 강도가 감소한다. 블리딩 현상으로 상부 콘크리트의 강도가 낮으므로 하부 콘크리트에 비하여 상부 콘크리트에 배치된 철근의 부착 강도가 작다.
- ④ 철근 주위에 작용하는 응력 : 부재 주변에 압축력이 작용하면 부착강도가 증가한다. 나선 철근 등이 배치되었을 때 부착강도가 증가한다.
- ⑤ 덮개 : 충분한 피복 두께는 부식 및 화재에 의해 철근의 기능이 저하되는 것을 막는 것 외에도 횡방향 인장력을 부담하기 위해 필수적이다.

부재내의 부착응력은 각 위치에 따라 다르나, 이론적으로 부착 응력 τ_0 는 d_x 의 길이에 균일하게 작용하는 것으로 가정하여 구할 수 있다.

$$\Sigma F_x = 0 ; T + dT - T - \tau_0 \pi d_b dx = 0$$

$$\tau_0 = \frac{1}{\pi d_b} \frac{dT}{dx} \quad M = Tz ; dM = dTz$$

$$\tau_0 = \frac{1}{\pi d_b} \frac{1}{z} \frac{dM}{dx} = \frac{V}{\pi d_b z}$$



3. 국내외 설계기준 비교

3-1. 정착(Anchorage)

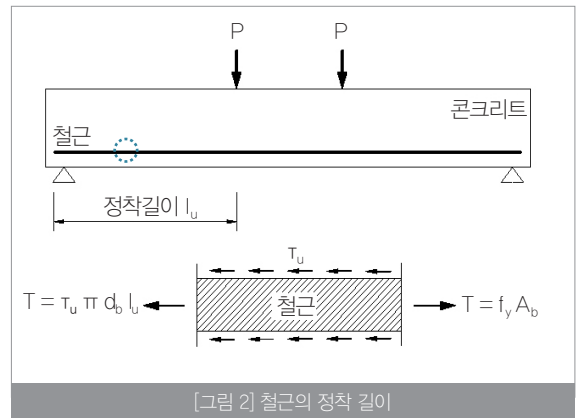
1) 일반 사항

정착(Anchorage)은 부착의 특별한 경우로 철근에 작용하는 인장력이 부착력만으로 저항되는 경우를 일컫는다. 즉 일반적인 부착

이 철근 양측의 인장력 차이를 부담하는데 반하여, 정착은 한 쪽의 인장력이 0인 경우이므로 철근이 받는 인장력을 모두 활용하기 위해 필요한 부착력의 합을 정착력이라 한다. 정착은 철근의 끝 부분에서 일어나는 부착 문제로 예를 들어서 곧은 철근이 정착을 유지하려면 어느 정도 이상의 길이(정착길이)가 콘크리트에 묻혀야 되며, 이를 묻힘길이(Embedded Length)에 의한 정착이라 한다.

일반적인 부착 응력과는 달리 철근 끝 부분은 부착응력이 매우 높으므로 끝 부분에서부터 정착이 파괴되는 경우가 많은데 이를 정착파괴(Anchorage Failure)라 한다. 철근이 자신의 강도를 발휘하기 위해서는, 검토단면에서부터 다음과 같이 계산되는 값 이상의 정착 길이를 가져야 한다.

강도설계법에서는 철근이 항복할 경우를 고려하므로 철근이 항복하는 일 없이 그 기능을 발휘 할 수 있는 철근의 최소 묻힘길이, 즉 정착길이는 [그림 2]의 관계로부터 다음과 같이 구할 수 있다.



$$\tau_u \pi d_b l_u = f_y A_b$$

$$l_u = \frac{A_b f_y}{\tau_u \pi d_b}$$

여기서 τ_u 는 극한 부착응력(Ultimate Bond Stress)이고, f_y 는 철근의 항복강도이다.

2) 정착 방법

통상 철근을 정착할 경우에는 묻힘길이에 의한 정착과 갈고리에 의한 정착 방법 중 한 가지 방법을 사용하거나 두 가지 이상의 방법을 조합하여 사용한다. 기타 방법으로 철근의 가로방향에 따라 철근을 용접해 붙이는 방법과 기계적 정착장치를 사용하는 경우도 있다.

① 문힘길이에 의한 정착

문힘길이에 의한 정착 방법은 철근이 직선일 경우, 콘크리트 속에 충분한 길이만큼 묻어서 콘크리트와의 부착에 의해 정착하는 방법이다. 이때 묻히는 길이를 정착길이라고 하며 철근의 피복두께가 크고, 간격이 크면 정착길이는 짧아진다.

② 갈고리에 의한 정착

갈고리에 의한 정착은 철근 끝에 표준 갈고리(Standard Hook)를 만들어 갈고리의 기계적 작용과 직선부분의 부착과의 조합 작용으로 정착하는 방법으로 보통의 원형철근의 정착에는 반드시 갈고리를 적용해야 하고, 이형철근을 사용할 경우라도 부재의 고정지점, 부재의 접합부, 확대기초, 캔틸레버의 고정단과 자유단 등의 정착부에서는 갈고리를 두는 것이 좋다.

3) 갈고리 정착(Standard Hook)

문힘길이(Embedded Length)가 모자라서 정착이 어려울 때는 철

근을 구부려서 그 역학적 저항력을 이용한다. 이를 갈고리라 하는데 다양한 형태가 가능하지만 특별히 설계기준에서 정한 형태를 표준 갈고리(Standard Hook)라 하며 이에 대해서는 많은 시험을 통하여 그 정착력을 알고 있다. 콘크리트구조기준 2012에서는 단부에 표준갈고리가 있는 인장 이형철근의 정착길이는 기본정착길이에 보정계수를 곱하여 산정하고 있다. 국내와 달리 Eurocode2에서는 표준갈고리에 대한 규정은 별도로 정해놓지는 않으며, 갈고리 부분을 제외한 부분을 등가정착길이로 산정하고 갈고리 형태에 따라 갈고리부분의 길이를 산정하여 적용하고 있다.

4) 국내외 설계기준 비교

국내 콘크리트구조기준 2012와 Eurocode2의 정착길이 기준에 관한 내용을 비교하기 쉽도록 <표 1>에 나타냈다. 그리고 갈고리 정착에 관한 비교 내용을 <표 2>에 나타내었다. 두 설계기준 모두 기본정착길이에 보정계수를 곱하여 산정하는 개념은 동일하다.

표 1 철근 정착길이에 대한 설계기준 비교

콘크리트구조기준 2012		Eurocode2																									
8-2. 철근의 정착 1) 인장 철근 ① 정착 길이(l_b)는 기본정착 길이(l_{bd}) × 보정계수($\geq 300\text{mm}$) $\text{기본정착 길이 } l_b = \frac{0.6d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}}$ <정착길이 산정 보정계수>		8-4. Anchorage of Longitudinal Reinforcement 1) 극한 부착 응력 $f_{bd} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$ 여기서, f_{ctd} : 콘크리트 설계 인장강도 $f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ck,0.05} / \gamma_c$ $f_{ck,0.05}$: 평균인장강도 70%, 하위 5분위 기준인장강도 γ_c : 콘크리트 부분 안전계수																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>조건</th> <th>철근지름</th> <th>D19이하</th> <th>D22이상</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>정착되거나 이어지는 철근 순간격이 d 이상, 피복 두께 d 이상이면서 l_b 전 구간에서 설계기준에서 규정된 최소 철근량 이상의 스티럽 또는 띠철근을 배근한 경우 또는 정착되거나 이어지는 철근 순간격이 $2d$ 이상이고 피복두께가 d 이상인 경우</td> <td></td> <td>$0.8\alpha\beta$</td> <td>$\alpha\beta$</td> </tr> <tr> <td>기타</td> <td></td> <td>$1.2\alpha\beta$</td> <td>$1.5\alpha\beta$</td> </tr> </tbody> </table>		조건	철근지름	D19이하	D22이상	정착되거나 이어지는 철근 순간격이 d 이상, 피복 두께 d 이상이면서 l_b 전 구간에서 설계기준에서 규정된 최소 철근량 이상의 스티럽 또는 띠철근을 배근한 경우 또는 정착되거나 이어지는 철근 순간격이 $2d$ 이상이고 피복두께가 d 이상인 경우		$0.8\alpha\beta$	$\alpha\beta$	기타		$1.2\alpha\beta$	$1.5\alpha\beta$	<극한한계상태에서의 재료 부분 안전계수> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>콘크리트 γ_c</th> <th>철근 γ_s</th> <th>PS강재 γ_s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지속 및 일시</td> <td>1.5</td> <td>1.15</td> <td>1.15</td> </tr> <tr> <td>돌발</td> <td>1.2</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>		구분	콘크리트 γ_c	철근 γ_s	PS강재 γ_s	지속 및 일시	1.5	1.15	1.15	돌발	1.2	1.0	1.0
조건	철근지름	D19이하	D22이상																								
정착되거나 이어지는 철근 순간격이 d 이상, 피복 두께 d 이상이면서 l_b 전 구간에서 설계기준에서 규정된 최소 철근량 이상의 스티럽 또는 띠철근을 배근한 경우 또는 정착되거나 이어지는 철근 순간격이 $2d$ 이상이고 피복두께가 d 이상인 경우		$0.8\alpha\beta$	$\alpha\beta$																								
기타		$1.2\alpha\beta$	$1.5\alpha\beta$																								
구분	콘크리트 γ_c	철근 γ_s	PS강재 γ_s																								
지속 및 일시	1.5	1.15	1.15																								
돌발	1.2	1.0	1.0																								
a) α : 철근배치 위치계수 (가) 상부 철근(정착길이 또는 겹침이음부 아래 300mm를 초과되게 굳지 않은 콘크리트를 친 수평철근) : 1.3 (나) 기타 철근 : 1.0 b) β : 철근 도막계수 (가) 피복 두께가 $3d_b$ 미만 또는 순간격이 $6d_b$ 미만인 예폭시 도막철근 또는 철설 : 1.5 (나) 기타예폭시 도막철근 또는 철설 : 1.2 (다) 아연도금 철근 : 1.0 (라) 도막되지 않은 철근 : 1.0 c) $\alpha\beta \leq 1.7$		<극한한계상태에서의 재료 부분 안전계수> α_{ct} : 장기하중 효과 및 불리한 효과 고려 계수 η_1 : 부착상태에 따른 계수 (좋은 : 1.0, 슬립품 및 이외 : 0.7) η_2 : 철근 직경에 따른 계수 ($\phi \leq 32\text{mm}$: 1.0, $\phi > 32\text{mm}$: $(132-\phi)/100$)																									
2) 기본 정착 길이(Basic Anchorage Length) $l_{b, reqd} = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}}$ 여기서, σ_{sd} : 정착부의 설계응력 ϕ : 철근 직경, 다발철근의 경우 $\phi_n = \phi \sqrt{2}$		2) 기본 정착 길이(Basic Anchorage Length) $l_{b, reqd} = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}}$ 여기서, σ_{sd} : 정착부의 설계응력 ϕ : 철근 직경, 다발철근의 경우 $\phi_n = \phi \sqrt{2}$																									
3) 설계 정착 길이(Design Anchorage Length) $l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b, reqd} \geq l_{b, min}$ 여기서, 인장 $l_{b, min} \geq \max(0.3l_{b, reqd}, 10\phi, 100\text{mm})$ 압축 $l_{b, min} \geq \max(0.6l_{b, reqd}, 10\phi, 100\text{mm})$		3) 설계 정착 길이(Design Anchorage Length) $l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b, reqd} \geq l_{b, min}$ 여기서, 인장 $l_{b, min} \geq \max(0.3l_{b, reqd}, 10\phi, 100\text{mm})$ 압축 $l_{b, min} \geq \max(0.6l_{b, reqd}, 10\phi, 100\text{mm})$																									

d) λ: 경량콘크리트 계수

구분	f _{sp} 값이 없는 경우	f _{sp} 값이 주어진 경우
경량콘크리트	0.75	λ = f _{sp} / (0.56 √f _{ck}) ≤ 1.0 ※ f _{sp} : 평균포괄인장강도
모래경량콘크리트	0.85	
보통중량콘크리트	1.0	

㉔ 정밀식으로 계산하는 방법

$$l_d = \frac{0.9d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \cdot \frac{\alpha \beta \gamma}{\left(\frac{c + K_{tr}}{d_c} \right)}$$

여기서 (c+K_{tr})/d_c은 2.5 이하이어야 한다. 그리고 계수 γ, c와 K_{tr}은 다음과 같다.

a) γ: 철근 크기 계수(D19 이하: 0.8, D22 이상: 1.0)

b) c: 철근 간격 또는 피복 두께에 관련된 치수

철근 또는 철선의 중심으로부터 콘크리트 표면까지 최단거리 또는 정착되는 철근 또는 철선의 중심간 거리의 1/2 중 작은 값을 사용하여 mm단위로 나타낸다.

c) K_{tr}: 횡방향 철근지수

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{sn}$$

설계를 간편하게 하기 위해 K_{tr} = 0 으로 사용할 수 있다.

여기서, A_s은 정착된 철근을 따라 쪼개질 가능성이 있는 면을 가로질러 배치된 간격 s 이내에 있는 횡방향 철근의 전체 단면적(mm²)

n: 쪼개질 가능성이 있는 평면을 따라 정착되거나 이어지는 철근 수

s: 정착길이 구간 내 횡방향 철근의 최대 중심간격(mm)

2) 압축 철근

압축을 받는 이형 철근의 정착길이 l_{db}는 기본정착 길이 l_{bd}에 보정계수를 곱하여 산정한다. 이때 l_{db}는 항상 200mm 이상 이어야 한다.

$$l_{db} = \frac{0.25d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}}$$

이 값은 0.043d_bf_y/λ 이상이어야 하며, 경량콘크리트계수 λ는 인장시와 동일하며 보정계수는 다음과 같다.

a) 해석 결과에 요구되는 철근량을 초과 배치한 경우: 소요A_s/배근A_s

b) 지름이 6mm 이상이고 나선간격이 100mm 이하의 나선철근 또는 중심 간격 100mm 이하로 압축부재에 사용되는 띠철근의 규정에 따라 배치된 D13 띠철근으로 둘러싸인 압축 이형철근: 0.75

<정착길이 산정 보정계수>

구분	정착부 형태	인장측 철근	압축측 철근
형상	직선	α ₁ = 1.0	α ₁ = 1.0
	직선 외	α ₁ = 0.7(c _d) ^{3φ} α ₁ = 1.0(그 외)	α ₁ = 1.0
피복	직선	α ₂ = 1 - 0.15(c _d - φ) / φ (0.7 ≤ α ₂ ≤ 1.0)	α ₂ = 1.0
	직선 외	α ₂ = 1 - 0.15(c _d - 3f) / φ (0.7 ≤ α ₂ ≤ 1.0)	α ₂ = 1.0
주철근에 응접되지 않은 횡철근에 의한 구속	모든 형상	α ₃ = 1 - Kλ (0.7 ≤ α ₃ ≤ 1.0)	α ₃ = 1.0
응접된 철근에 의한 구속	모든 형상	α ₄ = 0.7	α ₄ = 0.7
횡압에 의한 구속	모든 형상	α ₅ = 1 - 0.04p (0.7 ≤ α ₅ ≤ 1.0)	-

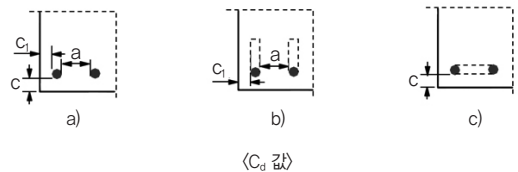
여기서, λ = (ΣA_{st} - ΣA_{st,min}) / A_s

ΣA_{st}: 설계정착길이 l_{bd}내의 횡철근 단면적

ΣA_{st,min}: 설계정착길이 l_{bd}내의 최소 횡철근 단면적(보: 0.25A_s, 슬래브: 0)

A_s: 최대지름을 가진 정착철근 한 개의 단면적

p: l_{bd}내의 극한한계상태의 횡방향 압력(MPa)



a) 직선 철근 C_d = min(a/2, c_d, c)

b) 굽힘 철근 또는 갈고리 C_d = min(a/2, c)

c) 루프 철근 C_d = c

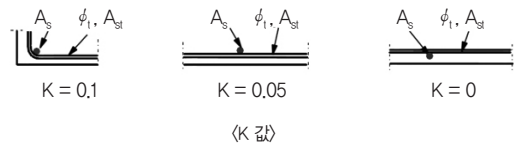


표 2 갈고리정착에 대한 설계기준 비교

콘크리트구조기준 2012		Eurocode2															
표준갈고리가 있는 인장 이형철근의 정착길이 $l_{db} = l_{db} \times$ 보정계수 ($\geq 8d_b, 150\text{mm}$) 갈고리는 압축을 받는 경우 철근정착에 유효하지 않은 것으로 보아야 한다. 기본정착길이 = $l_{db} = \frac{0.24\beta d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}}$		종방향 철근의 갈고리는 굽힘각도가 $90^\circ \sim 150^\circ, 150^\circ$ 이상인 경우, 루프철근(굽힘각도 180°), 횡방향 철근이 용접된 경우로 각 표준 갈고리의 모양은 아래 그림과 같다.															
<표준갈고리 정착길이 보정계수>																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>내용</th> <th>보정계수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D35 이하의 철근으로 갈고리 평면에 직각인 측면의 덮개가 70mm 이상이고, 또 90°갈고리의 경우 그 연장 끝에서 덮개가 50mm 이상인 경우</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>D35 이하 90°, 180°갈고리 철근으로서 정착길이 구간을 $3d_b$ 이하의 간격으로 띠철근 또는 스테럽으로 둘러감은 경우</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>휨부재의 철근이 소요량 이상 사용된 경우</td> <td>소요A_s/사용A_s</td> </tr> </tbody> </table>		내용	보정계수	D35 이하의 철근으로 갈고리 평면에 직각인 측면의 덮개가 70mm 이상이고, 또 90°갈고리의 경우 그 연장 끝에서 덮개가 50mm 이상인 경우	0.7	D35 이하 90°, 180°갈고리 철근으로서 정착길이 구간을 $3d_b$ 이하의 간격으로 띠철근 또는 스테럽으로 둘러감은 경우	0.8	휨부재의 철근이 소요량 이상 사용된 경우	소요 A_s /사용 A_s	<table border="1"> <thead> <tr> <th>표준굽힘에 대한 등가정착길이</th> <th>표준갈고리에 대한 등가정착길이</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td>표준루프에 대한 등가정착길이</td> <td>횡방향 철근 용접에 대한 등가정착길이</td> </tr> </tbody> </table>		표준굽힘에 대한 등가정착길이	표준갈고리에 대한 등가정착길이			표준루프에 대한 등가정착길이	횡방향 철근 용접에 대한 등가정착길이
내용	보정계수																
D35 이하의 철근으로 갈고리 평면에 직각인 측면의 덮개가 70mm 이상이고, 또 90°갈고리의 경우 그 연장 끝에서 덮개가 50mm 이상인 경우	0.7																
D35 이하 90°, 180°갈고리 철근으로서 정착길이 구간을 $3d_b$ 이하의 간격으로 띠철근 또는 스테럽으로 둘러감은 경우	0.8																
휨부재의 철근이 소요량 이상 사용된 경우	소요 A_s /사용 A_s																
표준굽힘에 대한 등가정착길이	표준갈고리에 대한 등가정착길이																
표준루프에 대한 등가정착길이	횡방향 철근 용접에 대한 등가정착길이																
		<갈고리 정착 형상>															

표 3 철근 겹침이음길이에 대한 설계기준 비교

콘크리트구조기준 2012		Eurocode2	
1) 인장 이형철근의 이음 인장철근의 겹침이음 최소길이는 다음값 이상, 300mm 이상이어야 한다. a) A급 이음 : $1.0L_d$ 이상 b) B급 이음 : $1.3L_d$ 이상 여기서, L_d 는 철근의 정착길이이며, A급 이음은 배치된 철근량이 이음부 전체 구간에서 해석결과에 요구되는 소요철근량의 2배 이상이고 소요겹침이음길이 내 겹침이음된 철근량이 전체 철근량의 1/2 이하인 경우이고, B급 이음은 A급 이외의 경우에 해당된다. 서로 다른 크기의 철근을 인장 겹침이음 하는 경우, 두 철근의 겹침이음 길이 중 큰 값 이상을 사용한다.		1) 철근 겹침이음(Adjacent Laps) 	
2) 압축 이형철근의 이음 압축철근의 최소 겹침이음길이(Minimum Lap Spliced Length)는 다음과 같이 구할 수 있다. $l_s = \left(\frac{1.4f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} - 52 \right) d_b$ 이는 f_y 가 400MPa 이하 일때는 $0.072l_s d_b$ 이하, f_y 가 400MPa 초과할 때는 $(0.13f_y - 24)d_b$ 이하이어야 하며, 어느 경우에도나 300mm 이상이어야 한다. 이때 콘크리트의 설계기준 압축강도가 21MPa 미만인 경우에는 겹침이음길이를 1/3증가되어야 한다.		<Eurocode 2 겹침이음길이> 2) 겹침이음길이(Lap Spliced Length) $l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,req} \geq l_{0,min}$ $(l_{0,min} \geq \max(0.3\alpha_6 l_{b,req}, 15\phi, 200\text{mm}))$ 여기서, $\alpha_1 \sim \alpha_5$ 는 정착길이 산정 계수와 동일하며, α_6 는 다음과 같다. $\alpha_6 = (\rho_s/25)^{0.5} \quad (1.0 \leq \alpha_6 \leq 1.5)$ $\rho_s: \text{이음길이 중심으로부터 } 0.65l_0 \text{ 이내의 철근비}$	

3-2. 겹침이음(Lap Splice)

1) 겹침이음 개념

상품화된 철근의 길이는 8~12m로 제한되어 있어 구조물 형상에 따라 배근을 하면 철근을 이어야 하는 경우가 발생한다. 철근의 이음은 구조상 불리하게 작용할 수 있으므로 최대 응력이 작용하는 곳은 피하고 여러 개의 철근의 이음부가 서로 엇갈리게 해서 위험을 분산시키는 것이 좋다.

곧은 철근을 겹쳐서 잇는 겹침이음은 간접이음의 대표적인 방법으로 국내에서는 D35이하의 철근에서 사용한다. 직선 겹침이음은 역학적으로 두 개의 철근이 서로 다른 방향으로 정착되는 것과 동일하다. 인장철근의 겹침이음에 대한 힘 전달 메커니즘은 [그림 3]과 같으며, 이는 균열 현상을 통해 확인 가능하다.



2) 국내외 설계 기준 비교

겹침이음길이에 대한 국내기준(콘크리트구조기준 2012)과 해외기준(Eurocode2)의 내용을 <표 3>에 비교 정리하였다. 국내 설계 규정은 부재의 종류, 이어달 철근의 응력 및 해당 단면에서의 철근량에 따라 A급, B급으로 나누어 정착길이 L_d 에 일정 계수를 곱하여 산정한다. Eurocode2에서는 정착길이에 횡철근에의 정착과 관련된 보정계수 α_4 대신 횡단면적에 대한 겹침 철근의 비율을 나타내는 보정계수인 α_6 를 곱하여 산정한다.

4. 설계기준별 철근 정착 및 겹침이음길이 비교 분석

4-1. 정착길이

다음의 <표 4 및 5>는 동일한 조건($f_{ck} = 24\text{MPa}$, $f_y = 300\text{MPa}$, 철근간격 $s = 150\text{mm}$, 피복 $c = 100\text{mm}$)에서 각 설계기준에 따른 정착길이를 산정한 결과이다. 도로교설계기준 2015의 그 외와 Eurocode2의 'Poor'는 콘크리트구조기준 2012의 상부철근 개념에 해당되며, 여기서 상부철근은 <표 1> 철근의 위치계수(α)에 나타낸 바와 같이 정착 또는 겹침이음부 아래 300mm를 초과되게 콘크리트를 친 수평철근을 말한다.

인장철근의 경우, 300mm의 최소 정착길 이로 인해 D13철근은 콘크리트구조기준 2012가 다른 설계기준에 비해 길었고, D22철근을 제외하면 Eurocode2가 다른 설계기준에 비해 7~27% 길게 산정되었다. 압축철근의 경우, 콘크리트구조기준 2012에서는 일반철근과 상부철근에 대한 별도의 구분이 없다. 이로 인해 일반 철근

(도로교설계기준 2015 '양호'와 Eurocode2 'Good')에서는 콘크리트 구조기준 2012가 Eurocode2에 비해 5~8% 길게 산출되었으며, 상부철근(도로교설계기준 2015 '그외'와 Eurocode2 'Poor')에서는 30~35%까지의 차이를 보였다.

표 4 설계기준별 인장철근 정착 길이

구분	콘크리트구조기준 2012		도로교설계기준 2015		Eurocode2	
	일반	상부	양호	그외	Good	Poor
D13	300	300	250	350	260	380
D16	300	370	300	430	320	460
D19	340	440	360	510	390	550
D22	490	640	420	600	450	650
D25	560	730	520	740	560	800
D29	631	820	650	920	700	1000
D32	744	970	740	1060	800	1150

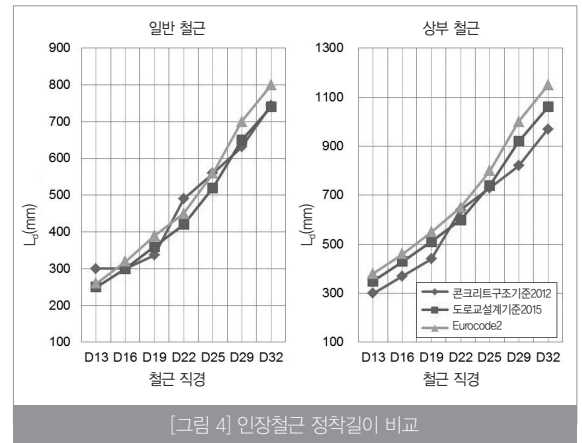
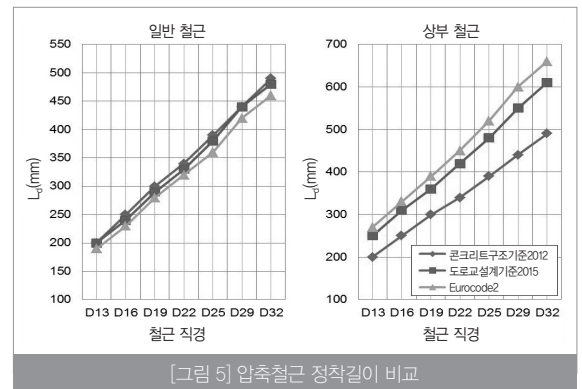


표 5 설계기준별 압축철근 정착 길이

구분	콘크리트구조기준 2012		도로교설계기준 2015		Eurocode2	
	L_d	양호	그외	Good	Poor	
D13	200	200	250	190	270	
D16	250	240	310	230	330	
D19	300	290	360	280	390	
D22	340	330	420	320	450	
D25	390	380	480	360	520	
D29	440	440	550	420	600	
D32	490	480	610	460	660	



4-2. 겹침이음길이

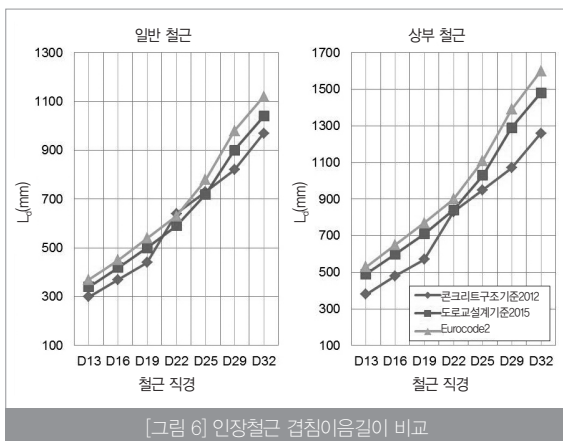
겹침이음길이를 비교하기 위해 정착길기와 동일한 조건을 적용하였으며, 아래 <표 6>은 인장철근에서의 겹침이음길이를 산정한 값이다. 이때, 도로교설계기준 2015와 Eurocode2는 겹침이음 비율이 50%에 해당하는 계수($\alpha_6=1.4$)를 곱하여 산정하였으며, [그림 6]은 콘크리트구조기준 2012의 B급 이음을 적용하여 결과를 비교한 그래프이다.

표 6 설계기준별 인장철근 겹침이음길이

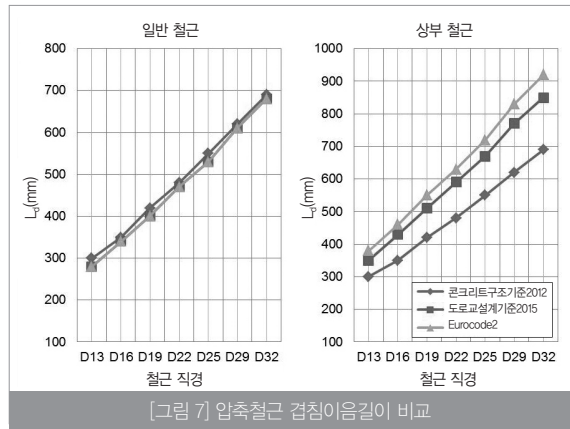
구분	콘크리트구조기준 2012		도로교설계기준 2015		Eurocode2			
	A급	B급	양호	그외	Good	Poor		
직경	일반	상부	일반	상부	양호	그외	Good	Poor
D13	300	300	300	380	340	490	370	530
D16	300	370	370	480	420	600	450	650
D19	340	440	440	570	500	410	540	770
D22	490	640	640	830	590	840	630	900
D25	560	730	730	950	720	1030	780	1110
D29	640	820	820	1070	900	1290	980	1390
D32	750	970	970	1260	1040	1480	1120	1600

표 7 설계기준별 압축철근 겹침이음길이

구분	콘크리트구조기준 2012	도로교설계기준 2015		Eurocode2	
	L_d	양호	그외	Good	Poor
직경	L_d	양호	그외	Good	Poor
D13	300	280	350	260	380
D16	350	340	430	320	460
D19	420	400	510	390	550
D22	480	470	590	450	630
D25	550	530	670	510	720
D29	620	610	770	590	830
D32	690	680	850	650	920



[그림 6] 인장철근 겹침이음길이 비교

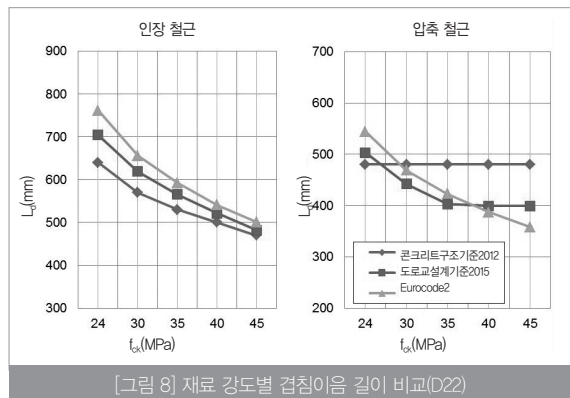


[그림 7] 압축철근 겹침이음길이 비교

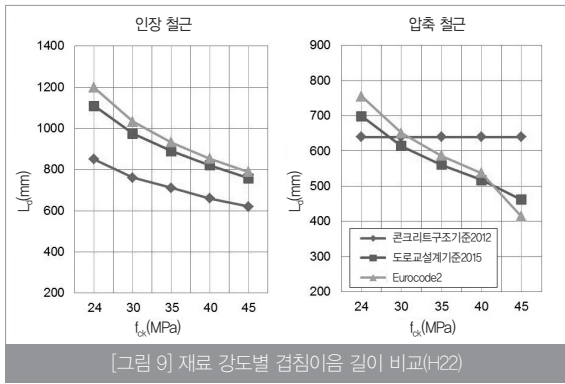
겹침이음길이는 정착길기에 계수만 변경되어 구해지므로 양상은 정착길기의 경우와 비슷하다. 인장철근의 경우 D22철근을 제외하고는 Eurocode2가 콘크리트구조기준 2012에 비해 7~40% 길게 산정되었으며, 압축철근의 경우 일반 철근에서는 콘크리트 구조기준 2012가 Eurocode2에 비해 5~13% 길게, 상부철근에서는 Eurocode2가 콘크리트구조기준 2012에 비해 27~34%까지 길게 산출되었다.

4-3. 재료 강도에 따른 겹침이음길이 비교

지름 22mm 철근(D22, H22)에 대하여 콘크리트구조기준 2012(B급), 도로교설계기준 2015(그 외), Eurocode 2(Poor)의 설계기준별 콘크리트 및 철근 강도에 따른 겹침이음길이를 비교해 보았다. [그림 8 및 9]에서 알 수 있듯이 인장철근은 콘크리트 강도가 클수록 정착길기와 겹침이음길이가 짧아진다. 이는 정착력이 콘크리트 강도 특성과 반비례 관계에 있어서 나타난 결과이다. 압축철근은 콘크리트구조기준 2012를 적용한 철근의 겹침이음길이에서 최소 규정으로 인해 강도에 따른 변화가 없다. 일반강도와 고강도 철근의 겹침이음길이를 비교하면 철근의 인장강도의 비율(1.33)만큼 정착 길이가 길어짐을 알 수 있다.



[그림 8] 재료 강도별 겹침이음 길이 비교(D22)



[그림 9] 재료 강도별 겹침이음 길이 비교(H22)

5. 해외 현장 사례

5-1. 현장 개요

구조물에 적용된 철근의 겹침이음길이를 비교하기 위해 당사가 2013년 6월에 준공한 싱가포르의 마리나해안고속도로 482공구 (Marina Coastal Expressway C482 : MCE C482) 현장 개착박스 구조물의 한 단면을 예시로 선택하였다.

싱가포르 마리나 해안 고속도로(MCE)는 Kallang-Paya Lebar 고속도로와 동쪽의 East Coast Parkway에서 서쪽의 Ayer Rajah 고속도로 사이를 전략적으로 연결시키며 전체 길이 약 5km에 달하는 새로운 노선으로 개착공법을 사용하는 지하터널 3.5km를 포함하고 있다. 이중 당사가 담당한 MCE C482 현장은 설계와 시공을 동시에 진행하는 Design & Build 방식으로 진행되었으며, 지하 고속도로(L = 0.56km)와 지하 진입도로(L = 0.44km) 등 총 연장 1km, 왕복 10차선 고속도로를 건설하는 것이었다.

표 8 현장 개요

발주처	싱가포르 LTA(Land Transport Authority)
계약방식	Fixed Lump Sum Construct
공사방식	Design & Build
공사기간	56개월(2008.10.31 ~ 2013.6.28)
공사내용	<ul style="list-style-type: none"> • Twin Cell Box : 10차선(최대 폭 68m, 연장 1km) • Depress Road : 330m, Main Tunnel : 670m • Slip Road : 760m / 590m(2개소) • Future Stub : 폭 51m, 연장 110m • Future Transit Tunnel(MRT) : 폭 21m, 연장 285m • Trunk Sewer : 최대 직경 2m, 연장 1,135m

5-2. 겹침이음길이 비교

MCE C482 현장의 겹침이음길이는 2008년 설계당시 BS Code를 바탕으로 한 싱가포르 표준(Singapore Standard CP65)이 적용되

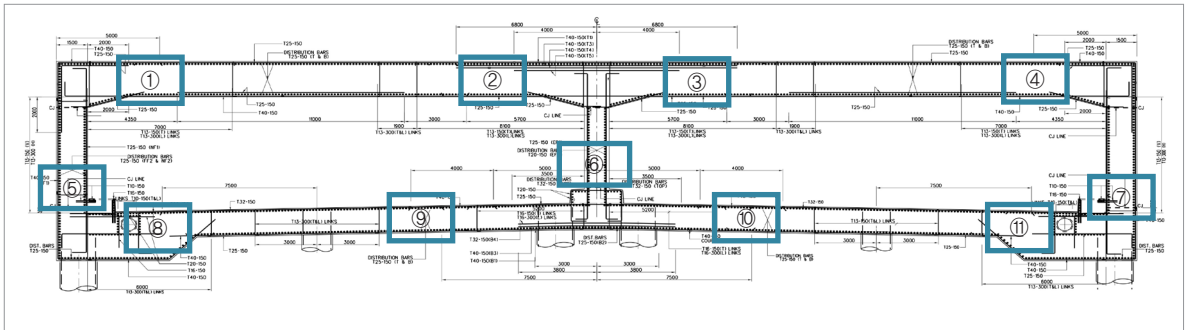
었고 최근 발주되는 싱가포르의 프로젝트는 Eurocode2가 적용되고 있다. 겹침이음길이는 철근 직경의 비로 표기하는데, 기본 겹침이음길이는 철근 직경의 32배(32φ)이며, 여기서 상단 피복이 철근 직경의 2배보다 작을 경우나 모서리에 위치한 철근의 양쪽 피복이 철근 직경의 2배보다 작을 경우 1.4배를 곱하여 구한다. 또한, BS Code의 경우 직경이 서로 다른 철근을 겹침이음할 경우 직경이 작은 철근의 겹침이음길이를 적용하도록 명시되어 있다. 반면 콘크리트구조기준 2012에서는 직경이 서로 다른 철근을 겹침이음할 경우 직경이 큰 철근의 겹침이음길이를 적용하도록 규정되어 있다. <표 9>는 현장에서 사용된 철근 직경별 겹침이음길이와 콘크리트구조기준 2012(KCI2012) B급을 적용하여 산정된 겹침이음길이를 나타낸 비교표이다. 콘크리트구조기준 2012에는 D35를 초과하는 인장철근은 겹침이음을 적용할 수가 없다고 규정하고 있으나, 본 예시에서는 단순 비교를 위해 T40철근에서도 설계기준에 따르는 겹침이음길이를 적용하였다. 그리고 T40철근이 배근될 경우 현장 설계기준에서의 피복(c=75mm)은 철근 직경의 2배보다 작으므로 전 단면에 이를 적용하여 기본 겹침이음길이 32φ의 1.4배인 45φ를 적용하였다.

표 9 겹침이음길이 비교($f_{ck} = 40\text{MPa}$, $f_t = 460\text{MPa}$)

구분	T13	T16	T20	T25	T28	T32	T40
Singapore Standard(45φ)	600	750	900	1150	1300	1450	1800
KCI2012(B급)	350	440	550	870	1340	1730	2730

<표 9>에서 T28 철근보다 직경이 작은 철근은 현장에서 적용한 설계기준의 겹침이음길이가 더 길게 산정되었고, T28 철근보다 직경이 큰 철근은 콘크리트구조기준 2012의 겹침이음길이가 더 길게 산정되었음을 알 수 있다.

[그림 10]의 대표 단면에 각 설계기준을 적용하여 겹침이음길이를 산정한 값을 <표 10>에 나타내었다. 당 현장의 경우, 기본적으로 같은 직경의 이음은 기계식 이음인 커플러(Coupler)를 사용하였고, 직경이 다른 철근을 이을 경우에만 겹침이음을 적용하였는데 이때 싱가포르 설계기준에 따라 작은 직경의 겹침이음길이를 적용하였다. 반면, 콘크리트구조기준 2012에서는 직경이 서로 다른 철근을 겹쳐서 이을 때 큰 직경의 겹침이음길이를 따라가기 때문에 이로 인한 차이로, 단위 길이에 대한 철근량 차이는 콘크리트구조기준 2012를 적용한 경우가 약 40%(0.46t/m) 더 크게 산정되었다.



[그림 10] 겹침이음길이 비교 단면

표 10 주철근 겹침이음길이 비교

No.	위치	겹침이음 철근	Singapore		콘크리트구조기준 2012	
			길이 (mm)	철근량 (cm ²)	길이 (mm)	철근량 (cm ²)
1	상부슬래브	T25 + T40	1150	1005	2269	1983
2	상부슬래브	T25 + T40	1150	1005	2269	1983
3	상부슬래브	T25 + T40	1150	1005	2269	1983
4	상부슬래브	T25 + T40	1150	1005	2269	1983
5	외부벽체	T25 + T25	1150	565	1418	696
6	내부벽체	T25 + T25	1150	565	1418	696
7	외부벽체	T25 + T25	1150	565	1418	696
8	바닥슬래브	T25 + T32	1150	745	1815	1175
9	바닥슬래브	T32 + T40	1450	1494	2269	2338
		T40 + T25	1150	1005	2269	1983
10	바닥슬래브	T25 + T40	1150	1005	2269	1983
		T40 + T32	1450	1494	2269	2338
11	바닥슬래브	T32 + T25	1150	745	1815	1175
계			15550	12200	26036	21010
단위폭(1m) 환산			103672	0.64t	173582	1.10t

6. 맺음말

해외건설 사업의 입찰설계 또는 시공 시에 적절한 물량을 산정하고 현장의 상황에 적절하게 대처를 하기 위해서는 해당 국가가 제시하는 설계기준에 대한 이해가 반드시 필요하다. 본 고에서는 앞서 기고하였던 구조물 본체에 대한 국내외 설계기준을 비교한 내용에서 좀더 세부적인 항목으로 접근하여 철근상세 중 정착길이와 겹침이음길이에 대해 비교 분석하였다.

콘크리트구조기준 2012와 도로교설계기준 2015 및 Eurocode2에 제시한 방법에 따라 철근 정착길이와 겹침이음길이를 각각 산정하고 콘크리트와 철근 강도에 따른 값을 그래프로 비교 분석하였으며 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

① 정착길이를 동일한 조건에서 비교한 결과, 인장철근의 경우 Eurocode2가 콘크리트구조기준 2012에 비해 7~27% 길게 산정되었으며, 압축철근에서는 일반철근일 경우 콘크리트구조기준 2012가 Eurocode2에 비해 5~8% 길게 산정되었다. 콘크

리트구조기준 2012에는 상부철근에 대한 별도의 구분이 없어 Eurocode2가 30~35% 길게 산정되었다.

② 겹침이음길이 산정값을 비교한 결과, 인장철근에서는 Eurocode2가 콘크리트구조기준 2012에 비해 7~40% 길게 산정되었고, 압축철근에서는 일반철근에서 콘크리트구조기준 2012가 Eurocode2에 비해 5~13% 길게, 상부철근에서는 Eurocode2가 콘크리트구조기준 2012에 비해 27~34%까지 길게 산정되었다.

③ 재료 강도별 겹침이음길이는 인장철근에서는 모든 기준에 걸쳐 콘크리트 강도가 클수록 짧았고, 철근의 강도가 클수록 비율만큼 길게 산출되었다. 압축철근에서는 도로교설계기준 2015와 Eurocode2는 콘크리트 강도가 클수록 짧았으며, 철근의 강도가 클수록 강도증가 비율만큼 길게 산출되었으나, 콘크리트구조기준 2012는 최소 길이 규정에 의해 일정한 값을 나타내었다.

④ 직경이 다른 철근끼리 겹침이음을 할 경우, 콘크리트구조기준 2012에서는 직경이 큰 쪽의 겹침이음길이를 적용하고, BS Code에서는 직경이 작은 쪽의 겹침이음길이를 적용하도록 되어 있어 해외설계기준을 적용할 경우, 겹침이음에 대한 철근물량이 작게 산출됨을 알 수 있었다.

본 기고가 갈수록 경쟁이 심해지고 어려워지는 건설 여건 속에서 국내외 프로젝트 입찰 시 철근상세에 대한 설계기준의 이해를 통해 물량을 좀더 합리적으로 산출하고 공사 진행 시에도 경제성과 시공성을 향상시키는데 도움이 될 수 있는 자료로 활용되기를 바란다. S

참고문헌

- ① 콘크리트구조기준해설 2012, 한국콘크리트학회
- ② 도로교설계기준해설(한계상태설계법) 2015, 한국교량및구조공학회
- ③ 유로코드2 콘크리트구조물설계, BS-영국표준협회
- ④ 철근콘크리트(1판), 변동균, 동명사
- ⑤ BS 코드를 이용한 박스구조물의 설계, 이타, 건설기술/쌍용 제59호
- ⑥ 카타르 설계기준(Eurocode)을 이용한 콘크리트 구조물의 설계, 문영철, 건설기술/쌍용 제67호