

시공중인 합성바닥슬래브의 처짐보정에 대한 수치적 연구

김영찬 · 이정현*

부경대학교 건축학부 · *이레구조

Abstract

In the composite deck system, beams and deck plates deflect during construction. This lens-shaped deflection may cause problems in the serviceability of a building. Therefore, it should be compensated to be level. Several methods for leveling of floor slab are available, such as increasing stiffness of structural members, pouring additional concrete. In this study, additional weight and volume of concrete for level compensation are examined for various size of floors.

1. 서론

철골구조에서 합성바닥슬래브는 콘크리트가 경화되었을 때 합성작용으로 고정하중과 적재하중을 지지하게 된다. 따라서 콘크리트가 경화되기 전까지는 큰보와 작은보, 데크 플레이트가 경화되지 않은 콘크리트를 포함하는 시공하중을 지지해야 한다. 시공하중은 시공시에 골조가 처지는 원인이 된다. 콘크리트 타설에 의한 렌즈형태의 처짐은 바닥슬래브가 수평을 유지하지 못하는 원인이 되며 결국은 건물의 사용성 문제를 야기하기 때문에 공사시 수평을 유지하기 위한 방법이 강구되어야 한다. 일반적으로, 바닥슬래브의 수평을 유지하기 위해서는 4가지 방법을 이용한다: (1) 보의 강성을 증가시킨다, (2) 보를 지주로 지지한다, (3) 보에 치울림을 둔다, (4) 콘크리트를 타설한다.

본 연구에서는 4번째 방법으로 수평을 보정할 때 수평보정을 위해 요구되는 콘크리트의 체적과 중량을 개략적으로 산정할 수 있는 수치적 데이터를 제시하고자 한다.

2. 시공중 바닥의 처짐과 체적

콘크리트 타설시의 바닥의 초기처짐 형태는 물고임(water ponding)에 의한 처짐과 유사하다고 생각할 수 있으며이에 대하여 Mario¹⁾가 연구한 바 있다. Mario에 의하면 초기 콘크리트 타설에 의한 처짐(δ_{G_0})과 이 처짐을 보정하기 위한 추가 콘크리트의 타설에 의한 처짐(δ_{G_1})의 비는 큰보의 경우, 식(1) 작은보의 경우, 식(2)와 같다.

$$\frac{\delta_{G_1}}{\delta_{G_0}} = \frac{\alpha_g \left[1 - \frac{\pi}{4} \alpha_b + \frac{\pi}{4} \rho (1 + \alpha_b) \right]}{1 - \frac{\pi}{4} \alpha_b \alpha_g} \quad (1)$$

$$\frac{\delta_{BI}}{\delta_{Bo}} = \frac{\alpha_b \left[1 - \frac{\pi^3}{32} \alpha_g + \frac{\pi^2}{8\rho} (1 + \alpha_g) + 0.1835 \alpha_b \alpha_g \right]}{1 - \frac{\pi}{4} \alpha_b \alpha_g} \quad (2)$$

여기서,

$$C_b = \frac{\gamma \left(\frac{L_g}{n} \right) L_b^4}{\pi^4 EI_b}, \quad C_g = \frac{\gamma L_b L_g^4}{\pi^4 EI_g}, \quad \alpha_g = \frac{C_g}{1 - C_g}, \quad \alpha_b = \frac{C_b}{1 - C_b}, \quad \rho = \frac{C_b}{C_g}$$

그림 1은 큰보와 작은보로 이루어진 바닥슬래브의 시공중 처짐을 나타낸 것이다. 따라서, 수평을 보정하기 위해서는 수평면에서 아래로 처진 부분의 체적을 구하면 필요한 콘크리트의 체적을 구할 수 있다.

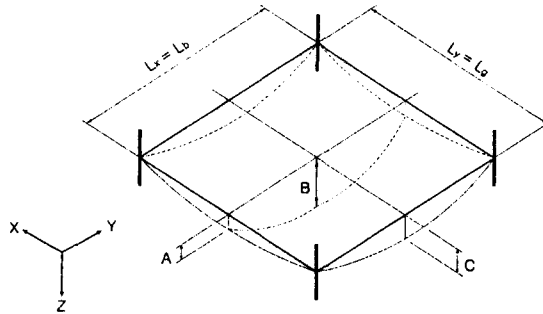


그림 1. 바닥슬래브의 처짐형태

Ruddy의 연구²⁾에 의하면, 3개의 위치 A, B, C에서 구한 처짐을 이용한 체적은 식(3)과 같다.

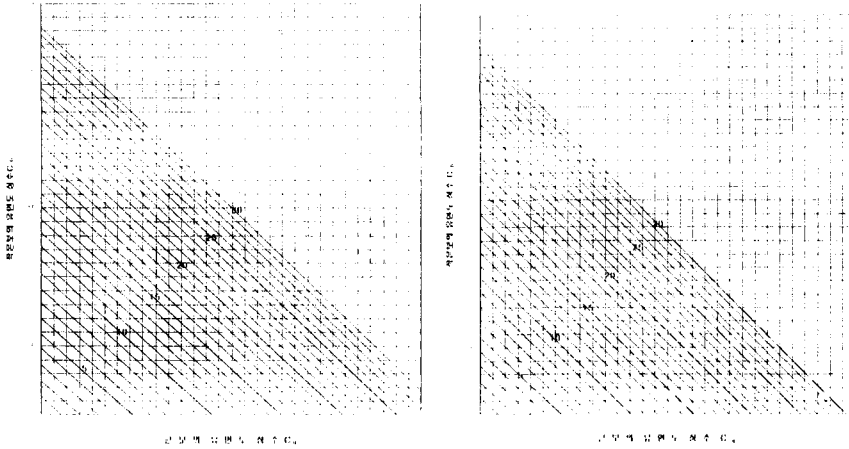
$$V = L_b L_g (0.231A + 0.405B + 0.231C) \quad (3)$$

위의 식으로 초기 콘크리트타설로 야기된 처짐을 보정하기 위해 필요한 콘크리트의 체적을 예측할 수 있다.

3. 바닥시스템에의 적용

앞에서 언급한 식들을 이용하여 공사시 추가처짐에 의한 바닥수평을 보정하기 위한 방법중 추가콘크리트 타설과 보부재의 강성증가의 효율성을 검토하는데 기둥으로 둘러싸인 바닥을 1개의 작은보로 분할하는 경우(case A)와 2개의 작은보로 분할하는 경우(case B)에 대해서 검토하였다. 하중은 철골과 데크플레이트의 자중은 무시하고, 콘크리트의 자중만을 고려하며 보통콘크리트(2.3tf/m³), 토핑콘크리트의 두께는 8cm로 하였다.

바닥판의 처짐에 의한 추가 체적을 무시하는 경우, 보의 유연도 상수 C는 스패น L과 단면 2차모멘트 I에 따라 그 값이 달라진다. 따라서 큰보와 작은 보의 스패น과 단면 2차모멘트를 임의의 값으로 변화시켜 초기 체적과 추가체적을 계산하면 추가체적과 유연도 상수 C_g , C_b 와의 관계를 구할 수 있다. 그림 2는 보의 처짐에 의한 체적증가율을 나타낸 그래프로 유연도상수를 알면 추가체적을 구할 수 있다. 바닥의 고정하중은 360kgf/m^2 , 적재하중은 250kgf/m^2 로 하였다.



(a) case A

(b) case B

그림 2. 보의 처짐에 의한 체적증가율

표 1. 바닥부재의 경간

Case	Model No.	No. of Span(n)	$L_g(\text{m})$	$L_b(\text{m})$
Case A	1	2	5	5
	2		5	6
	3		6	6
	4		7	6
	5		7	7
	6		8	7
Case B	7	3	8	8
	8		8	9
	9		9	9
	10		9	8
	11		10	8
	12		10	9

표 2. 바닥 부재일람표

Model No.	Beam	Girder
1	200×200×8×12	298×149×5.5×8
2	200×200×8×12	294×200×8×12
3	294×200×8×12	350×175×7×11
4	298×201×9×14	300×305×15×15
5	354×176×8×12	400×200×8×13
6	244×252×11×16	298×299×9×14
7	350×150×6.5×9	386×299×9×14
8	354×176×8×12	506×201×11×19
9	350×175×7×11	394×398×11×18
10	310×305×15×20	400×408×21×21
11	298×201×9×14	406×403×16×24
12	496×199×9×14	588×300×12×20

주) 모든 부재는 H형강임.

4. 추가 처짐 및 체적의 산정

수평보정방법중 콘크리트를 추가적으로 타설하는 것과 보부재의 강성을 증가시키는 방법을 비교하였다. 먼저, 콘크리트타설만으로 보정하는 경우를 보면, 6m×6m의 경우 큰보와 작은보의 초기처짐 δ_{b0} 와 δ_{g0} 를 구하면 다음과 같다.

$$\delta_{B0} = \frac{5wL_b^4}{384EI_b} = \frac{5 \times 0.0023 \times 11.75 \times 300 \times 600^4}{384 \times 2.1 \times 10^6 \times 11100} = 0.61\text{cm}$$

$$\delta_{G0} = \frac{PL_g^3}{48EI_g} = \frac{0.0023 \times 11.75 \times 300 \times 600 \times 600^3}{48 \times 2.1 \times 10^6 \times 23700} = 0.50\text{cm}$$

큰보와 작은보의 유연도 상수 C_g 와 C_b 는 다음과 같다.

$$C_b = \frac{\gamma \left(\frac{L_g}{n}\right) L_b^4}{\pi^4 EI_b} = \frac{0.0023 \times \frac{600}{2} \times 600^4}{\pi^4 \times 2.1 \times 10^6 \times 11100} = 0.039$$

$$C_g = \frac{\gamma L_b L_g^4}{\pi^4 EI_g} = \frac{0.0023 \times 600 \times 600^4}{\pi^4 \times 2.1 \times 10^6 \times 23700} = 0.0369$$

식 (1), (2)를 이용하여 초기처짐비 δ_{BI}/δ_{B0} 와 δ_{GI}/δ_{G0} 를 구하면 각각 0.09과 0.07이므로, 큰보와 작은보의 추가처짐은

$$\delta_{BI} = 0.61 \times 0.09 = 0.056\text{cm}, \quad \delta_{GI} = 0.5 \times 0.07 = 0.036\text{cm}$$

체적증가율은 그림 2(a)에서 $C_g=0.039$ 와 $C_b=0.064$ 을 찾아보면, 체적증가율은 약 6.4%가 된다. 따라서 보정콘크리트의 체적 V_c 은

$$V_c = 6 \times 6 \times 0.1175 \times 0.064 = 0.27\text{m}^3$$

위와 같은 방법으로 각각의 스펠에 대해 처짐과 체적을 계산하면 표 2와 같다.

표 2 추가처짐과 체적

Case	Model No.	δ_{B0} (cm)	δ_{G0} (cm)	δ_{BI} (cm)	δ_{GI} (cm)	V_c (m ³)	P_{vc} (%)
Case A	1	0.67	0.41	0.060	0.029	0.18	6.25
	2	0.90	0.41	0.093	0.034	0.27	7.73
	3	0.61	0.50	0.056	0.036	0.27	6.47
	4	0.71	0.65	0.082	0.060	0.40	8.05
	5	0.74	0.61	0.083	0.055	0.46	8.02
	6	0.85	0.78	0.116	0.087	0.64	9.77
Case B	7	0.99	1.08	0.157	0.139	0.95	12.60
	8	1.35	0.90	0.227	0.122	1.17	13.84
	9	1.10	1.08	0.186	0.147	1.13	13.38
	10	1.24	1.09	0.221	0.157	1.37	14.45
	11	1.21	1.44	0.261	0.251	1.58	16.81
	12	1.37	1.44	0.307	0.263	1.90	17.96

단위 면적당 체적증가는 추가체적을 바닥면적으로 나눈 것으로 초기 바닥콘크리트 두께에 추가되는 바닥콘크리트두께와 같은 것으로 생각할 수 있다. 이 값은 Case A의 경우 평균 0.87cm이고, Case B의 경우 1.4cm이다. 또한, 단위면적당 중량 증가를 보면 Case A의 경우, 평균 20kg/m², Case B의 경우 평균 40kg/m²이다. 증가된 중량은 기둥에서 지지하여야 하는 하중으로 설계단계에서 추가콘크리트에 의한 하중을 산정하여 기둥의 하중으로 적용하여야 한다. 특히, 고층건물의 경우, 증가되는 하중의 크기는 무시 못할 정도이므로 구조체의 안전에도 영향을 줄 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 연구를 바탕으로 수치적 해석을 통해 합성데크에서 시공중 바닥처짐에 의한 수평보정 콘크리트의 체적과 중량을 산정하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시공중 처짐에 의한 바닥의 체적증가율은 바닥보의 유연도에 선형으로 비례한다.
2. 수평보정을 위한 콘크리트의 추가타설은 기둥에 작용하는 하중을 20~40kg/m²정도 증가시키며, 이 하중을 기둥의 중력하중 산정시 반영하여야 한다.
3. 수평을 보정하기 위해 추가되는 콘크리트 슬래브의 두께는 0.87~1.4cm이다.

참고문헌

1. Frank J. Marino, "Ponding of Two-way Roof Systems", AISC Engineering Journal, July 1966.
2. John L. Ruddy, "Ponding of Concrete Deck Floors" AISC, Engineering Journal, Vol.23, No.3, 1986, pp107~115.
3. 한국강구조학회, "강구조의 설계", 구미서관, 2000
4. Steel Deck Institute, Steel Decks for Floors and Roofs, 1997.
5. 대한건축학회, 합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설, 1998
6. ASCE, "Standard for the Structural Design of Composite Slabs" ANSI/ASCE 3-91, Dec, 1992.

기호설명

- α_g, α_b = 큰보, 작은보의 유연도 계수
 γ = 콘크리트의 단위체적당 중량 (Kgf/cm³)
 δ_{Bo}, δ_{BI} = 작은보의 초기처짐, 추가처짐(cm)

$\delta_{G_0}, \delta_{G_I}$ = 큰보의 초기처짐, 추가처짐(cm)
 C_g, C_b = 큰보, 작은보의 유연도 상수
 E = 강재의 탄성계수 (Kgf/cm²)
 I_g, I_b = 큰보, 작은보의 단면2차모멘트(cm⁴)
 L_g, L_b = 큰보, 작은보의 길이(cm)
 n = 단위바닥에서 작은보로 구분된 바닥의 갯수
 P_{vc} = 작은보와 큰보의 처짐에 의한 추가체적 증가율(%)
 V_c = 작은보와 큰보의 처짐에 의한 추가체적(m³)