

철골보의 부동탄성처짐을 고려한 비합성데크 일방향 슬래브의 근사적인 휨모멘트 계수 평가

Evaluation for Approximate Bending Moment Coefficients of Non-Composite Form Deck One-Way Slab considering Unequaled Elastic Deflection of Steel Beams

김 호 수¹⁾ · 임 영 도^{2)†}
Kim, Ho Soo · Lim, Young Do

요약 : 거푸집용 데크 플레이트를 사용하는 일방향 슬래브는 구조형식상 4변을 강성이 다른 철골보로 지지된 플레이트 요소이지만 일반 실무에서는 철근콘크리트구조 설계기준을 적용하여 일정폭을 가진 연속보로 간주하여 근사적인 해석법을 사용하고 있다. 거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브를 지지하고 있는 철골보는 지지형태 및 위치에 따라 서로 다른 처짐이 발생하는 탄성지점으로서 지점별로 발생하는 휨모멘트 값은 단부지점의 탄성처짐효과를 고려하지 않은 철근콘크리트구조 설계기준상의 휨모멘트 계수에 의한 휨모멘트 값과 서로 큰 차이가 난다. 따라서, 본 연구는 단부의 부동처짐 효과를 고려한 근사해석법상의 휨모멘트 계수를 합리적으로 산정하기 위하여 다양한 해석모델을 가정하였으며, 해석상의 변수로는 고정하중에 대한 활하중의 비율, 스패널 활하중의 배열(패턴재하) 및 스패ن길이를 고려하였다. 또한 해석방법으로 3차원 플레이트 유한요소해석, 이차원 탄성지점해석, 이차원 무한강성지점해석, 설계기준상의 근사해석을 각각 적용하여 결과값을 비교·분석하였다.

ABSTRACT : In a steel structural system, noncomposite form deck one-way slab is the plate element supported by four-edged steel beams with unequaled stiffness. However, design criterion has analyzed the one-way slab as the continuous beam. Because the end beams that support the one-way slab have elastic supports that cause different deflections according to the support conditions and locations, the bending moments corresponding to the support locations differ from the moment values in case that the elastic support effect is not considered in the design criterion. Accordingly, to conduct a reasonable estimation of approximate moment coefficients considering the unequaled elastic support conditions, this study analyzes and estimates various models with variables for the ratios of live load to dead load and pattern arrangements of live loads and span lengths. The analytical methods considering the finite three-dimensional plate element, the two-dimensional elastic support and the infinite stiffness support are performed.

핵심용어 : 부동탄성처짐, 근사해석법, 모멘트 계수, 비합성데크, 일방향 슬래브

KEYWORDS : unequaled elastic deflection, approximate analysis method, moment coefficient, non-composite form deck, one-way slab

1. 서론

최근 대부분의 고층건물 및 대규모 건물은 철골구조와 합성구조로 시공되고 있는 추세이다. 이러한 철골구조물의 바닥구조 시스템은 건식공법인 데크 플레이트로 지지하는 슬래브 구조로 채택되어 공기단축, 시공성 향상 등 여러 측면에서 합리적인 슬래브 구조시스템으로 인정받고 있다. 데크 플레이트는 여러 가지 형태의 공장제품으로 공급되며 적절한 스패너로 설치된 철골보로 지지되어 상부 콘크리트와 일체화된 합성데크

일방향 슬래브로 설계·시공되는 경우가 많아지고 있지만, 데크 플레이트를 단지 거푸집용으로 사용하는 비합성데크 철근콘크리트 일방향 슬래브로 설계·시공하는 경우도 많은 실정이다. 이러한 경우 합성데크 슬래브 구조와는 달리 데크 플레이트 강재의 재질 및 특성 등을 무시하고 단지 시공 시 하부 가설 받침기둥을 생략한 콘크리트의 거푸집 역할만 담당하도록 설계하며 바닥구조는 철근콘크리트 일방향 슬래브 구조로서 구조해석 시 철근콘크리트구조 설계기준을 적용하여 연속보의 근사해법인 모멘트 계수법을 사용하고 있다.

철골구조 건물의 경우 철근콘크리트구조 건물과 달리 일방향

1) 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사(hskim@cju.ac.kr)

2) 교신저자, 정회원, 청주대학교 건축공학과 박사수료

(Tel. 02-839-0561, Fax. 02-839-0562, E-mail : alimse@chol.com)

본 논문에 대한 토의를 2006년 12월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

슬래브의 바닥구조는 단부 지지보가 철골보이며 슬래브 중간에 설치되는 작은보는 연속보가 아닌 단순보로 거동을 하며 철근콘크리트 지지보 경우보다 연직방향 강성이 훨씬 작기 때문에 일방향 슬래브의 단부 지지점에서 큰 수직처짐 값이 발생되어 다소 큰 이방향 거동을 하게 된다. 따라서 철근콘크리트구조 설계기준상의 모멘트 계수를 동일하게 적용하는 것은 다소의 오차가 있을 수 있으며, 결과적으로 일부 슬래브 상단부에서 휨 철근량 부족에 의한 휨 균열 발생이 예상된다.

철근콘크리트 일방향 슬래브는 구조 거동상 플레이트 요소로 해석되며 슬래브의 4변을 지지하는 보는 보 요소로서 서로 상이한 거동과 응력을 발생시키고 있지만 실무 설계시에는 일방향 슬래브를 일정 폭을 가진 연속보로 간주하여 근사적인 방법으로 해석하고 있다. 이러한 해석방법은 미국 콘크리트학회기준(ACI-318)에서 오래전부터 적용되어 지금까지도 실무에 사용되고 있으며, 현재 우리나라 건축구조설계 기준(대한건축학회, 2005)에서도 그대로 적용되고 있다. 그리고 캐나다 기준(CSA-A23, 1994)과 국제표준화기구기준(ISO-15673, 2002)에서도 거의 비슷한 설계기준이 적용되고 있으며, 영국 기준(BSI-8110, 1997)에서는 일방향 슬래브 연속보 구조와 일반적인 연속보 구조로 구분하여 서로 다른 계수를 적용하고 있다. 그러나 일본건축학회 기준(日本建築學會, 1998)에서는 모멘트 계수에 대한 적용규준은 없으나 큰보 지점의 과도한 균열을 방지하기 위하여 작은보의 충분한 휨 강성을 확보하도록 하는 조항을 두고 있다. 또한 우리나라 건축학회의 "합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설"(1985)에서 거푸집용 비합성데크 바닥구조의 설계 시 철근콘크리트 구조계산 기준 및 해설에 따른다고 규정하고 있다. 근사적 해석방법인 모멘트 계수법은 실용적인 방법은 될 수 있지만 정밀한 해석법이라 할 수는 없으며 연구배경이 모멘트 분배법 등 고전적인 구조해석법에 이론적 근거를 두고 있으며 연속보의 구조에 적용할 수 있도록 제안되었고 특히 각 스패의 단부지점에서의 변위는 무시되고 있다. 이에 따라 일방향으로만 하중이 전달되는 것으로 가정된 일방향 슬래브는 플레이트 요소이면서도 연속보로 치환되어 근사적으로 설계되고 있으나, 4변에서 지지하고 있는 단부 보의 경우 일정량의 수직 처짐이 발생하는 탄성지점을 제공하고 있는 구조형태이므로 이러한 근사해석법을 적용하면 단부 각 지점 보의 강성 차이에 따른 모멘트 해석 값을 고려할 수가 없다.

따라서 본 연구는 거푸집용 비합성데크를 사용하는 철근콘크리트 일방향 슬래브 시스템의 구조해석 시 기존의 철근콘크리트구조 설계기준에 제시된 실용적인 근사해법의 모멘트 계수를 사용하는데 따른 문제점을 파악하여 슬래브 단부의 각 지점별 부동처짐효과를 고려한 탄성 지점을 갖는 연속보 구조형태로서 철골보의 실제적 처짐 조건에 부합되는 개선된 근사해법의 모멘트 계수와 슬래브 구조 안전성과 사용성을 증진시킬 수 있는 보다 합리적인 철근배근 방안을 제안하고자 한다.

2. 철근콘크리트구조 설계기준상의 근사해법 및 모멘트 계수

현행 철근콘크리트 설계기준(ACI, 2002; KBC, 2005)에서 제시된 일방향 슬래브의 근사해법은 그림 1과 같이 상·하단 지점이 고정단인 기둥과 지점처짐이 구속된 연속보로 구성된 층 라멘구조(Sub Rigid Frame)를 해석모델로 설정하여 식(1)에서 식(4)에 의한 모멘트 분배방식에 의해 산정된 각 부위별 휨모멘트 값을 근거로 하여 일정한 적용조건을 만족하는 경우 정확한 구조해석법 대신 표 1과 같이 각 조건별로 근사모멘트 계수를 적용할 수 있도록 하였다.

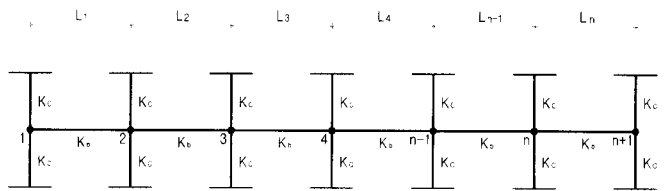


그림 1. 설계기준상의 모멘트 계수산정을 위한 해석모델(k_c, k_b =일정)

$$M_{n,n+1} = FEM_{n,n+1} + \left(\frac{4EI}{L_n}\right)\theta_n + \left(\frac{2EI}{L_n}\right)\theta_{n+1} \quad (1)$$

$$M_s = M_0 - \frac{1}{2}(M_n + M_{n+1}) \quad (2)$$

$$\Delta M_{n,n+1} = M_{n,n+1} - FEM_{n,n+1} = \left(\frac{4EI}{L_n}\right)\theta_n + \left(\frac{2EI}{L_n}\right)\theta_{n+1} \quad (3)$$

$$\theta_n = \frac{\Delta M_{n,n+1} - \frac{1}{2}\Delta M_{n+1,n}}{3EI/L_n} \quad (4)$$

표 1. 설계기준(ACI, KBC)에 의한 일방향 슬래브의 모멘트 계수

a) 순스팬 길이(l_n) > 3.0m								
스팬	2개 스패			3개 이상 스패				
B.M.D								
위치	①	②	③	①	②	③	④	⑤
지점 조건	최외단 지점	내부 스패	내부 지점	최외단 지점	첫번째 내부스팬	첫번째 내부지점	내부 스패	내부 지점
기둥	-1/16	+1/14	-1/9	-1/16	+1/14	-1/10	-1/11	+1/16
테두리보	-1/24			-1/24				-1/11
단순지지	0	+1/11		0	+1/11			
b) 순스팬 길이(l_n) ≤ 3.0m				c) 각단 ΣKcol > 8 Kb 인 경우				
< 적용 조건 >								
① 두 경간 이상일 때								
② 서로 인접한 2개 경간길이의 차가 20% 이하일 때								
③ 등분포 하중일 때								
④ 활하중이 고정하중의 3배 이하일 때								
⑤ 변단면 부재가 아닐 때								

식(1)은 처짐각 방정식에서 유도된 단부 부모멘트이며, 식(2)는 단순보의 최대 정모멘트와 처짐각에 의한 양단부 부모멘트의 평균값을 중첩시킨 연속보의 중앙부 정모멘트이다. 여기서, 탄성곡선각(θ)은 모멘트 변화(ΔM)에 따라 식(4)와 같이 구할 수 있다.

또한, 설계기준상의 모멘트 계수는 지점간의 스패ん길이를 순스패ん길이로 사용하며, 순스패ん길이(3.0m 이상, 3.0m 이하), 보강성에 대한 기둥강성의 비, 스패ん의 개수(2개, 3개 이상), 지점조건별로 다르게 설정되어 있다.

3. 부동탄성지점을 고려한 해석방법

강성 k_{ij} 는 j 절점에서의 단위변위에 대응하는 i 절점에서의 힘으로 정의가 되며, 다자유도를 갖는 구조물에서 행렬형태로 나타내면 $[K] = \{P\} / \{U\}$ 로 표현된다. 여기서 강성행렬 $[K]$ 는 절점에 작용하는 힘 $\{P\}$ 가 일정할 경우 변위행렬 $\{U\}$ 에 의해서 크기가 결정된다. 즉, 강성 $[K]$ 가 $\lim_{\{U\} \rightarrow 0} \frac{\{P\}}{\{U\}}$ 라면 $[K]$ 는 ∞ 가 되며, 이러한 경우를 무한 강성지점이라 정의한다. 그러나 4번의 보에 의해 지지되고 있는 슬래브는 보의 위치가 지점역할을 하며, $\{U\} = 0$ 이 아닌 탄성체로 거동을 하게 된다.

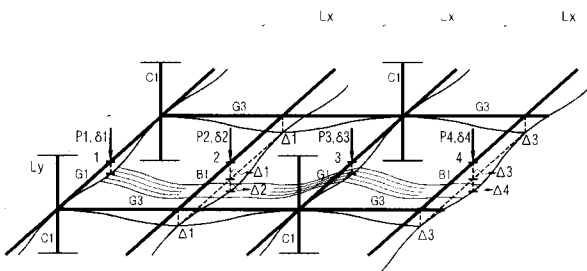


그림 2. 일방향 슬래브의 3차원 거동 개념도

특히, 그림 2에서 보는 바와 같이 ①, ③절점에서 G1의 처짐값 δ_1 과 δ_3 는 큰보로써 비슷한 처짐량을 나타내지만 ②, ④절점의 B1의 처짐량 δ_2 와 δ_4 는 G3의 처짐량(Δ_1)과 B1 자체의 처짐량(Δ_2)을 중첩시킨 효과를 나타낸다. 즉, $\delta_1 \approx \delta_3 < \delta_2 \approx \delta_4$ 가 되며 따라서 각 절점에서의 지점강성은 서로 다르게 된다. 따라서 이러한 지점조건을 부동탄성지점이라 정의하였으며, 그림 3은 지점침하를 고려한 탄성지점을 갖는 2차원 연속보의 해석모델 및 강성행렬을 도시하고 있다.

탄성지점을 갖는 연속보의 강성행렬은 식 (5)에서 보는 바와 같이 무한 강성지점의 강성행렬에 z 방향 자유도에 대응하는 주대각항의 강성 $k_{ij(i=j)}$ 에 탄성지점의 강성 k_n 을 더한 강성

행렬을 구성하게 된다. 즉, 전체 외력(Y'_n)은 각 지점에서 z 방향 자유도에 대응하는 외부하중(Y_n)에 지점침하에 의한 추가하중($k_n \cdot v'_n$)을 더한 효과를 나타내며, 여기서 추가하중은 연직방향 처짐량(v'_n)과 지점의 수직강성(k_n)의 곱에 의해 산출되며, 2차원 해석시 추가하중은 3차원 유한요소 해석에 의한 처짐값을 2차원 지점의 강제변위로 작용시켰다. 따라서 본 연구는 이러한 지점침하에 의한 추가하중이 연속보로 치환된 거푸집용의 비합성데크 일방향 슬래브 구조시스템의 휨모멘트 계수에 미치는 영향을 고려하였다.

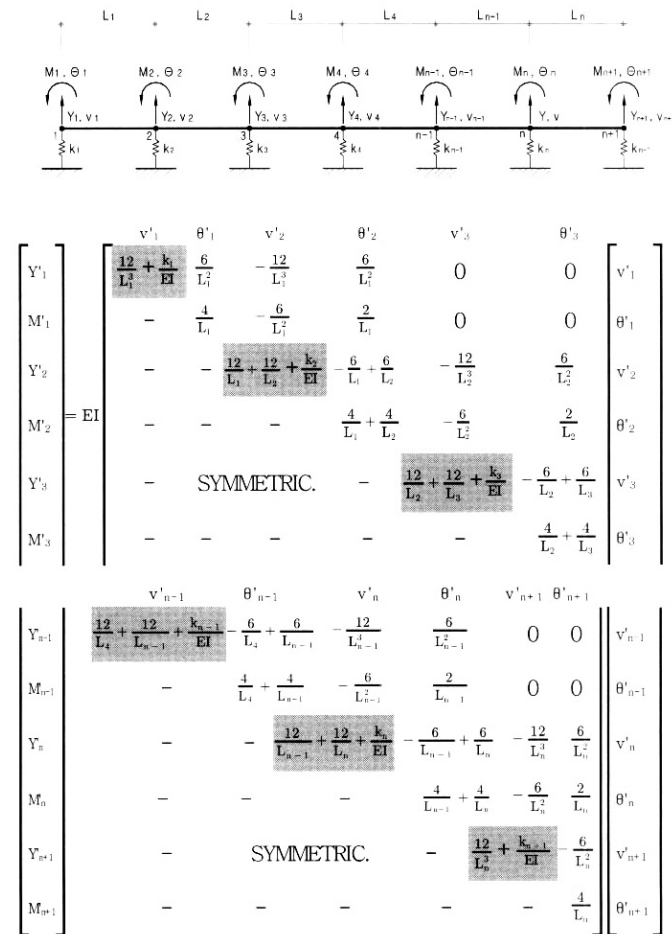


그림 3. 2차원 탄성지점 모델 및 강성행렬

$$Y'_n = Y_n + k_n \cdot v'_n \quad (5)$$

4. 해석모델 설정 및 결과 분석

4.1 해석모델 설정 및 해석방법

현행 철근콘크리트구조 설계기준에 적용되는 근사해법상의 각종 조건과 비교하기 위하여 해석모델은 그림 4와 같이 기

등열의 큰보 사이에 두개의 작은보로 지지되는 3개 스펠 이상의 일방향 슬래브 구조와(모델 I), 한 개의 작은보로 지지되는 3개 스펠 이상의 일방향 슬래브 구조(모델 II) 및 두 스펠의 일방향 슬래브 구조(모델 III)의 3가지 형태로 설정하였으며, 스펠길이는 장변방향 길이(L_y)를 8.0m로 고정하고 단변방향 길이(L_x)는 3.5m(순스팬 길이 3.0m이상)와 3.0m(순스팬 길이 3.0m이하) 두 가지 경우에 대해서 전 스펠을 동일한 길이로 가정하여 해석하였다.

해석 방법은 3차원 플레이트 유한요소 해석, 2차원 무한강성지점 연속보해석, 2차원 탄성지점 연속보해석 및 설계기준상 근사해석의 4가지 방법을 수행하여 결과값을 비교분석하였으며, 설계하중으로는 고정하중을 슬래브 자중과 거푸집용 데크플레이트 무게 및 기타 부착하중을 고려하여 5kN/m^2 로 고정하고 고정하중에 대한 활하중의 비(LL/DL)를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0의 6가지로 변화시킨 등분포하중으로 적용하였다. 그리고 스펠별 활하중의 배열(패턴재하)효과를 고려하기 위해 그림 5와 같이 8가지 경우에 대해서 고려하였다.

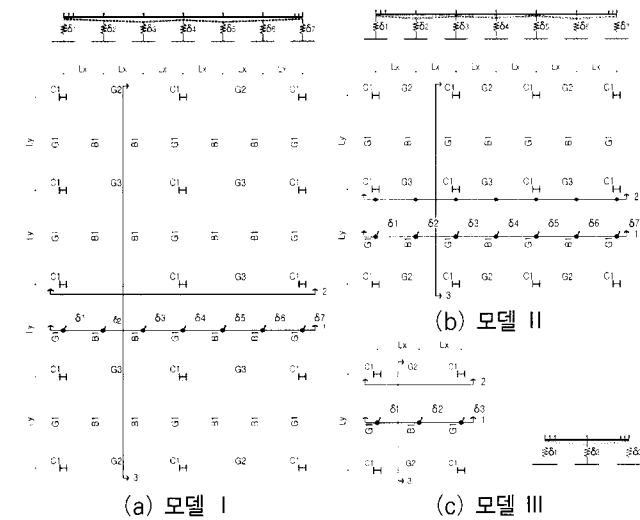


그림 4. 해석 모델

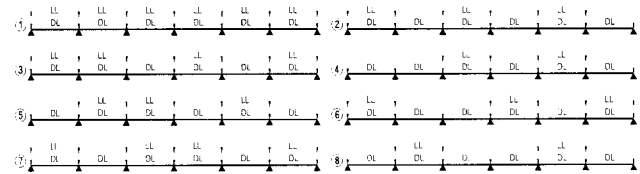


그림 5. 스펠별 활하중의 배열

또한, 철골부재의 항복강도(F_y)는 245MPa 로 가정하고 슬래브를 지지하는 큰보와 작은보의 단면크기는 3차원 해석결과 활하중의 크기별로 산정된 보의 휨모멘트 값에 대해 강구조설계기준에 의한 85~95%의 휨내력을 충족하는 부재단면을 채택하였으며, 설계기준상 휨부재의 처짐 한계치를 만족하도

록 하였다. 또한 철근콘크리트 슬래브와 일체화된 합성데크 바닥구조는 제외하였으며 단지 거푸집용의 비합성데크 바닥구조를 대상으로 하였다. 모델 및 활하중의 크기별로 적용된 철골보의 단면 크기(깊이: H, 폭: B)를 정리하면 표 2와 같다.

표 2. 해석모델 유형별 활하중에 따른 부재 크기(mm)

모델	부재명	2.5		5.0		7.5		10.0		12.5		15.0	
		H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B
I	G1	446	199	500	200	596	199	600	200	606	201	582	300
	G2	440	300	488	300	588	300	692	300	700	300	792	300
	G3	588	300	700	300	800	300	792	300	800	300	808	302
	B1	450	200	500	200	600	200	606	201	582	300	588	300
II	G1	446	199	500	200	596	196	600	200	606	201	582	300
	G2	396	199	400	200	450	200	500	200	500	200	600	200
	G3	450	200	596	199	600	200	582	300	588	300	692	300
	B1	450	200	500	200	600	200	606	201	582	300	588	300
III	G1	446	199	500	200	596	199	600	200	606	201	582	300
	G2	396	199	400	200	450	200	500	200	500	200	600	200
	B1	450	200	500	200	600	200	606	201	582	300	588	300

4.2 결과 분석

4.2.1 적용변수에 따른 결과분석

1) 활하중의 배열 및 크기 영향

거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브에서 활하중의 크기와 배열은 발생하는 전체 휨모멘트에 상당한 영향을 미치는 변수로 작용한다. 따라서 고정하중(DL)에 대한 활하중(LL)의 비를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0의 6가지와 활하중의 배열 8가지 경우를 고려하여 산정된 각 부위별 휨모멘트 계수를 분석한 결과, 먼저 활하중의 배열에 따른 영향을 살펴보면 각 지점에서 발생하는 부모멘트 계수의 경우 전스팬에 동일하게 균등 배열되는 경우에서 가장 큰 값을 나타냈으며 스펠 중앙부의 정모멘트 계수의 경우 인접 2스팬에만 활하중이 균등 배열되고 다른 스펠에는 활하중이 재하되지 않는 경우가 가장 크게 나타났다.

또한 활하중의 크기에 따른 영향은 표 3에서 $LL/DL=1.0$ (조건①, $0 \leq LL/DL < 1.5$)과 $LL/DL=2.0$ (조건②, $1.5 \leq LL/DL < 3.0$)의 두 경우로 구분하여 부위별 모멘트 계수를 나타냈다. 조건①의 경우는 일반적인 건축물의 용도에 주로 사용되는 경우이며 조건②의 경우는 특수한 용도의 구조물에 적용될 수 있는 것으로 구분하였으며, 해석결과 조건 ①, ②간 휨모멘트 계수 차이가 약 10%이내의 범위로 거의 비슷한 값을 나타냈다. 따라서 활하중의 크기에 따른 영향은 크지 않을 것으로 판단되며 현행 철근콘크리트구조 설계기준

에서와 같이 활하중의 크기에 관계없이 동일한 모멘트 계수를 적용하는 것이 합리적이다.

표 3. 모델 1의 유한요소 해석에 의한 휨모멘트 계수

스팬	LL/DL	배열	단변방향 모멘트계수					장변방향 모멘트계수				
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
L _x = 3.5m	1.0	1	1/149	1/308	1/133	1/24.6	1/47.0	1/7.2	1/17.8	1/8.1	1/27.0	1/9.0
		3	1/149	1/31.0	1/12.7	1/33.8	1/103.8	1/9.3	1/18.6	1/8.2	1/27.2	1/9.0
		7	1/143	1/41.1	1/31.5	1/32.4	1/30.0	1/8.3	1/22.2	1/8.4	1/28.4	1/9.0
		8	1/42.3	1/47.5	1/12.2	1/34.0	1/100.3	1/11.4	1/19.6	1/8.6	1/27.3	1/8.9
	2.0	1	1/15.3	1/21.6	1/14.5	1/20.2	1/40.0	1/7.5	1/25.8	1/10.2	1/35.4	1/10.5
		3	1/15.5	1/20.8	1/13.3	1/33.7	1/60.8	1/10.8	1/26.2	1/10.0	1/34.2	1/10.2
		7	1/14.2	1/33.1	1/69.3	1/31.8	1/25.5	1/8.6	1/28.8	1/9.7	1/33.7	1/10.0
		8	1/127.6	1/37.7	1/12.6	1/29.1	1/159.8	1/16.2	1/26.5	1/9.6	1/32.9	1/9.8
L _x = 3.0m	1.0	1	1/12.5	1/88.2	1/10.8	1/29.4	1/68.7	1/6.6	1/16.2	1/7.0	1/26.9	1/8.0
		3	1/12.4	1/107.1	1/10.4	1/37.7	1/53.3	1/8.4	1/18.3	1/7.7	1/29.3	1/8.7
		7	1/12.3	1/95.7	1/24.6	1/33.6	1/32.1	1/8.2	1/18.3	1/7.0	1/24.5	1/7.6
		8	1/32.4	1/250.0	1/10.0	1/49.7	1/104.7	1/9.3	1/18.9	1/7.7	1/29.0	1/8.6
	2.0	1	1/13.4	1/29.5	1/12.5	1/23.1	1/47.4	1/6.8	1/24.9	1/8.8	1/38.9	1/9.7
		3	1/13.4	1/29.8	1/11.6	1/36.0	1/42.2	1/9.7	1/28.2	1/10.3	1/40.7	1/10.4
		7	1/12.6	1/43.5	1/58.7	1/33.3	1/25.4	1/8.3	1/26.3	1/8.6	1/32.8	1/9.1
		8	1/97.8	1/56.0	1/109.1	1/37.1	1/86.5	1/13.0	1/28.4	1/9.4	1/39.5	1/10.1
BMD	단변 방향											
	장변 방향											

2) 스패길이의 영향

등분포 하중을 받는 연속보에서 스패중앙부의 정모멘트와 지점의 부모멘트는 $M = C \cdot \omega \cdot l_n^2$ (C: 모멘트 계수, ω : 등분포하중, l_n : 순스패길이)으로 순스패길이의 제곱에 비례하여 산정된다. 따라서 휨모멘트의 값은 스패 길이에 따른 영향이 매우 크다고 할 수 있으며 모멘트 계수는 지점의 처짐에 따른 강성, 탄성계수, 보 단면의 크기 등 다양한 변수에 따라 영향을 받는 계수이다.

표 1에서 철근콘크리트구조 설계기준상의 휨모멘트 계수는 3개 스패 연속보의 경우 외부스패 정모멘트 계수는 스패길이 3.5m인 경우가 스패 길이 3.0m인 경우보다 약 27% 적은 값을 규정하고 있으며, 다른 부위의 내부스패 정모멘트 계수는 동일한 값을 규정하고 있다. 또한 첫 번째 내부 지점의 부모멘트 계수는 스패 길이 3.5m인 경우가 스패 길이 3.0m인 경우보다 약 20% 큰 값을 규정하지만 다른 내부 지점에서의 부모멘트 계수는 약 10% 큰 값을 규정하고 있다. 또한 3차원 유한요소해석결과 표 3에서 나타난 결과와

같이 스패 길이 3.5m인 경우와 3.0m의 경우를 비교하면, 일부분에서 10%이상 차이가 발생되어 스패 길이에 영향을 받는 것으로 나타났다.

철근콘크리트구조 설계기준에서의 모멘트 계수는 연속보의 양단부에 기둥으로 지지된 라멘구조로 산정된 값이므로 기둥과 보의 강성 비에 따른 모멘트의 값이 상당히 영향을 받을 수 있으며 특히 순스패 길이가 3.0m 이하인 경우 각 지점의 부모멘트 계수는 모두 동일한 값(1/12)으로 규정되고 있다. 이 경우는 보의 스패 길이가 짧아지면 보의 강성이 상대적으로 커지면서 단부 부모멘트 값의 변동성은 크지 않다고 볼 수 있다. 그러나 부동탄성처짐 조건을 고려한 2차원 연속보는 단부 기둥지지가 없는 구조이므로 보의 강성에만 영향을 받고 스패길이 변화에 따른 영향은 작다고 할 수 있으나 실무설계시 스패길이를 설계기준과 같이 구분하여 적용하는 것이 합리적이다.

3) 지지보의 강성비 영향

일방향 슬래브의 각 부위별 발생하는 휨모멘트 값은 4번 지지보의 수직처짐 값의 변동에 따라 차이가 있다. 이것은 지점의 강성이 무한하여 수직처짐이 전혀 발생되지 않는다고 가정한다면 주변 지지보의 단면이 어떠한 경우이더라도 동일한 휨모멘트가 발생된다고 할 수 있다.

거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브를 지지하고 있는 주변보는 탄성체로서 자체의 강성에 따라 각기 다른 수직처짐이 발생하는 수평부재이며 이러한 부동탄성처짐은 일방향 거동 슬래브를 부분적인 이방향 거동 슬래브로 만들어 복잡한 휨응력을 발생시키는 원인이 된다. 각각의 보 중앙부 수직처짐 값은 보 각각의 절대적인 강성에 따라 산정되는 값이지만 건물 바닥 슬래브의 구조형태는 인접 보와 상호 비례적인 단면 크기로 구성되며 특히 발생하는 응력에 안전하고 경제성이 확보되는 적절한 응력비에 따라 단면이 설계되고 있는 실정 이므로 주변보의 상대적인 강성이 특히 중요하며 보 각각의 절대강성은 설계상 큰 의미가 없다고 할 수 있다.

따라서 실무설계에서는 보 단면을 대부분 적절한 응력비를 충족시키는 단면으로 결정하여 구조해석을 수행하며 처짐을 검토하고 소요강성을 확인한다.

표 4는 모델 I의 슬래브 주변보에서 작은보는 전체 건물구조에서 수평강성에 영향을 미치지 않고 수직 강성의 영향만 받는 단순부재이므로 설계 응력비를 90%로 고정시키고 단변방향 큰보와 장변방향 큰보의 설계응력비는 70%, 80%, 90%의 3경우로 변화시켜 총 9가지의 경우의 작은보에 대한 큰보들의 상대적인 강성비에 따른 부위별 휨모멘트 계수의 변동성을 보여주고 있다.

분석결과 단변방향에 설치된 크보의 응력비가 10% 작아지면 작은보에 대한 상대 강성비는 약 10% 커지면서 단변방향 크보지점의 부모멘트 계수는 약 5% 이내로 커지고 작은보 지점의 부모멘트 계수는 반대로 약 5% 이내로 작아진다. 또한 내부 스패의 중앙부 정모멘트 계수와 장변방향 부모멘트 계수는 거의 비슷한 값을 나타냈다. 그러나 장변방향에 설치된 크보의 응력비가 약 10% 작아지면 작은보에 대한 상대 강성비는 약 10% 커지면서 수직처짐 값이 다소 작게 발생되어 단변방향 크보 지점의 부모멘트 계수는 약 5% 이내로 작아지며 작은보 지점의 부모멘트 계수는 반대로 약 5% 이내로 큰값을 나타냈다.

거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브 주변 지지보에 대한 응력비를 무시한 모멘트 계수의 비교는 실무설계상 의미가 없으며 보 각각의 단순한 절대강성 또한 의미가 없어지게 된다. 따라서 검토결과 주변보의 상대 강성비에 따른 각 부위별 모멘트 계수의 변동성이 크지 않으므로 적절한 보의 응력비를 고려한 상대적인 강성비에 따른 각 부위별 모멘트 계수 중 가장 큰 값을 적용하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

표 4. 일방향 슬래브 주변 지지보의 상대 강성비에 따른 모멘트 계수 비교

CASE	응력비			상대 강성비			모멘트 계수				
	B1	G1	G3	B1	G1	G3	단변방향			장변방향	
							큰보 지점	작은보 지점	첫번째 스패	내부 스패	큰보 지점
1-1	0.9	0.7	0.7	1.0	0.95	3.78	1/7.7	1/22.2	1/15.3	1/14.3	1/8.0
1-2	0.9	0.7	0.8	1.0	0.95	3.29	1/7.2	1/24.3	1/14.9	1/13.5	1/8.1
1-3	0.9	0.7	0.9	1.0	0.95	2.92	1/7.0	1/25.2	1/14.8	1/13.2	1/8.2
2-1	0.9	0.8	0.7	1.0	0.82	3.78	1/8.1	1/21.1	1/15.5	1/14.5	1/8.1
2-2	0.9	0.8	0.8	1.0	0.82	3.29	1/7.6	1/22.9	1/15.1	1/13.7	1/8.2
2-3	0.9	0.8	0.9	1.0	0.82	2.92	1/7.4	1/23.7	1/14.9	1/15.0	1/8.3
3-1	0.9	0.9	0.7	1.0	0.73	3.78	1/8.3	1/20.6	1/15.5	1/14.5	1/8.1
3-2	0.9	0.9	0.8	1.0	0.73	3.29	1/7.8	1/22.3	1/15.1	1/13.7	1/8.2
3-3	0.9	0.9	0.9	1.0	0.73	2.92	1/7.6	1/23.1	1/15.0	1/13.4	1/8.3

해석 모델	Lx			Lx			Lx		
	c _H	G3	c _H						
	c _H	G3	c _H						
	c _H	G3	c _H						

B1 : 작은보
G1 : 단변방향 크보
G3 : 장변방향 크보

4.2.2 해석방법에 따른 거동 분석

표 5~7은 모델 I, II, III에 대한 단변방향의 스패길이 3.0m 및 3.5m의 경우에 대해 기본적인 거동을 해석방법별로 분석하기 위해 LL/DL=1.0인 패턴재하 1의 경우를 표본요약하였으며 해석프로그램은 MIDAS GENw를 사용하였다.

1) 지점 처짐 분석

거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브를 지지하는 보의 지점의 역할을 하게 되며 수직강성에 따라서 지점별 수직 처짐 값이 서로 다르게 발생된다. 처짐 값(Δ)은 3차원 플레이트 유한요소 해석 결과 각 보의 중앙부에서 발생된 수직 처짐값으로 모델 I에서는 작은보 (②, ③지점)와 크보 (④지점)간에 수직 처짐값의 차이가 약 2.0배 이상 발생되었고, 모델II에서는 작은보(②지점)와 크보(③지점)간에 처짐 값의 차이가 약 1.5배 이상 발생되었다.

또한 장변 방향을 지지하는 크보의 수직 처짐도 크게 발생되어 완전히 1방향 거동이 아니고 부분적인 2방향 거동의 슬래브 조건을 부여하게 된다. 이러한 지점별 수직 처짐 값의 차이는 지점에 대한 부동탄성 처짐의 조건을 부여하게 되며 각 지점별 휨모멘트의 값이 큰 차이를 보이게 된다.

2) 휨모멘트 분석

3차원 플레이트 유한요소해석(방법 A)과 무한강성지점 2차원 연속보해석(방법 B), 부동탄성지점 2차원 연속보 해석(방법 C)의 3가지 방법으로 부위별 발생하는 휨모멘트 값을 표 3, 4, 5와 같이 해석모델별로 산정하였다. M^{1,2,3}의 값은 해석방법 A의 결과로서 실제조건을 고려한 정밀한 해석결과이며 주간대(M¹)와 주열대(M²)의 휨모멘트 값이 큰 차이를 나타냈다. 특히 주열대의 휨모멘트는 크보 지점에서 발생하는 부모멘트를 제외한 전 부위에서 무시할 수 있는 작은값의 휨모멘트가 발생되었다.

장변방향의 휨모멘트 값인 M³은 일반적인 경우 일방향 슬래브에서 고려되지 않지만 장변방향 지점보의 수직처짐 발생으로 인한 부분적인 이방향 거동으로 단변방향 크보 지점 부모멘트와 거의 비슷한 큰 부모멘트가 발생되었다.

M⁴의 값은 해석방법 B의 결과로서 지점처짐을 전혀 고려하지 않은 연속보의 해석값이며 일방향 슬래브의 실제조건과 부합되지 않으므로 해석방법 A, C와 큰 차이를 보인다.

M⁵의 값은 해석방법 B의 연속보 구조시스템에서 외부 등분포 하중을 고려하지 않고 해석방법 A에서 발생된 지점 처짐 값을 강제 변위로 적용한 결과 값으로서 작은보의 지점에서 부모멘트가 발생되지 않고 정모멘트가 발생되며 크보 지점에서도 해석방법 B에 의한 부모멘트 값의 약 60% 이상의 부모멘트 값이 발생되었다.

M⁶의 값은 해석방법 C의 결과로서 각 지점의 부동처짐을 고려하여 합리적으로 휨모멘트가 산정되었으며 M⁴의 값과 M⁵의 값을 정량적으로 합한 결과치이며, 또한 M⁶의 값은 해석방법 A의 M¹과 거의 비슷한 값을 나타냈다. 이에 따라 부동탄성 지점을 고려한 2차원 연속보의 근사해석법은 실제 구조물의 거동과 유사하므로 상당히 합리적이라 할 수 있다.

표 5. 모델 I의 해석결과 (Δ : mm, M : kN·m)

스팬	해석	위 치	A, M	①	②	③	④			
L _x = 3.0 m	3 차원	단 변	주간대 Δ	1.487	6.986	6.236	3.026			
			M ¹	-3.75	7.21	-1.02	8.53	-3.06	1.31	-13.67
			M ²	-3.75	1.45	6.25	4.42	4.80	-1.99	-13.32
		장 변	M ³	0.0	5.57	-12.99	3.34	-11.66		
			CEN. M ⁴	-3.75	5.12	-8.50	3.39	-7.22	3.82	-7.64
			CEN. M ⁵	0.0	2.77	5.54	4.32	3.10	-2.46	-6.29
	2 차원	단 변	CEN. M ⁶	-3.75	7.89	-2.96	7.71	-4.11	1.36	-13.92
			CEN. M ⁴	-3.75	5.12	-8.50	3.39	-7.22	3.82	-7.64
			CEN. M ⁵	0.0	2.77	5.54	4.32	3.10	-2.46	-6.29
		장 변	M ³	0.0	5.57	-12.99	3.34	-11.66		
			CEN. M ⁴	-3.75	5.12	-8.50	3.39	-7.22	3.82	-7.64
			CEN. M ⁵	0.0	2.77	5.54	4.32	3.10	-2.46	-6.29
L _x = 3.5 m	3 차원	단 변	주간대 Δ	1.238	8.041	7.060	2.598			
			M ¹	-5.10	8.21	-3.98	9.19	-4.98	2.60	-16.93
			M ²	-5.10	2.16	-4.40	4.26	-3.03	-1.13	15.65
		장 변	M ³	0.0	6.89	-15.15	4.54	-13.60		
			CEN. M ⁴	-5.10	6.97	-11.58	4.61	-9.82	5.20	-10.40
			CEN. M ⁵	0.0	2.46	4.92	4.18	3.43	-2.45	-6.33
	2 차원	단 변	CEN. M ⁶	-5.10	7.89	-2.96	7.71	-4.11	1.36	-13.92
			CEN. M ⁴	-5.10	6.97	-11.58	4.61	-9.82	5.20	-10.40
			CEN. M ⁵	0.0	2.46	4.92	4.18	3.43	-2.45	-6.33
		장 변	M ³	0.0	6.89	-15.15	4.54	-13.60		
			CEN. M ⁴	-5.10	6.97	-11.58	4.61	-9.82	5.20	-10.40
			CEN. M ⁵	0.0	2.46	4.92	4.18	3.43	-2.45	-6.33
B.M.D	M ^{1, 2, 4, 6}									
	M ³									
	M ⁵									

표 6. 모델 II의 해석결과 (Δ : mm, M : kN·m)

스팬	해석	위 치	A, M	①	②	③	④			
L _x = 3.0 m	3 차원	단 변	주간대 Δ	2.430	6.279	4.593	5.410			
			M ¹	-3.75	8.45	0.44	4.61	-10.48	3.70	-2.02
			M ²	-3.75	3.26	9.93	0.69	-14.67	-0.25	-8.46
		장 변	M ³	0.0	5.48	-13.36	5.48	0.0		
			CEN. M ⁴	-3.75	5.12	-8.50	3.39	-7.22	3.82	-7.64
			CEN. M ⁵	0.0	3.45	6.90	0.80	-5.30	-0.51	-4.28
	2 차원	단 변	CEN. M ⁶	-3.75	8.57	-1.60	4.19	-12.52	3.31	-3.36
			CEN. M ⁴	-3.75	5.12	-8.50	3.39	-7.22	3.82	-7.64
			CEN. M ⁵	0.0	3.45	6.90	0.80	-5.30	-0.51	-4.28
		장 변	M ³	0.0	5.48	-13.36	5.48	0.0		
			CEN. M ⁴	-3.75	5.12	-8.50	3.39	-7.22	3.82	-7.64
			CEN. M ⁵	0.0	3.45	6.90	0.80	-5.30	-0.51	-4.28
L _x = 3.5 m	3 차원	단 변	주간대 Δ	2.088	7.105	4.110	5.800			
			M ¹	-5.10	9.98	-1.22	5.48	-14.89	4.91	-2.63
			M ²	-5.10	3.50	-7.09	1.13	-13.11	-0.66	5.60
		장 변	M ³	0.0	5.43	-14.49	5.43	0.0		
			CEN. M ⁴	-5.10	6.97	-11.58	4.61	-9.82	5.20	-10.40
			CEN. M ⁵	0.0	3.83	7.66	0.39	-6.86	-0.46	5.93
	2 차원	단 변	CEN. M ⁶	-5.10	10.80	-3.92	5.01	-16.68	4.74	-4.48
			CEN. M ⁴	-5.10	6.97	-11.58	4.61	-9.82	5.20	-10.40
			CEN. M ⁵	0.0	3.83	7.66	0.39	-6.86	-0.46	5.93
		장 변	M ³	0.0	5.43	-14.49	5.43	0.0		
			CEN. M ⁴	-5.10	6.97	-11.58	4.61	-9.82	5.20	-10.40
			CEN. M ⁵	0.0	3.83	7.66	0.39	-6.86	-0.46	5.93
B.M.D	M ^{1, 2, 4, 6}									
	M ³									
	M ⁵									

표 7. 모델 III의 해석결과 (Δ : mm, M : kN·m)

스팬	해석	위 치	A, M	①	②	③	④	
L _x = 3.0 m	3 차원	단 변	주간대 Δ	3.907	9.180	3.907		
			M ¹	-3.75	10.15	-4.61	10.15	-3.75
		주열대 M ²	-3.75	5.40	-5.80	-5.40	-3.75	
	장 변	M ³	0.0	6.91	0.0			
		CEN. M ⁴	-3.75	4.69	-9.37	4.69	-3.75	
		CEN. M ⁵	0.0	5.32	10.65	5.32	0.0	
L _x = 3.5 m	3 차원	단 변	주간대 Δ	3.454	11.391	3.454		
			M ¹	-5.10	12.06	-3.25	12.06	-5.10
		주열대 M ²	-5.10	6.62	-5.56	-6.62	-5.10	
	장 변	M ³	0.0	7.60	0.0			
		CEN. M ⁴	-5.10	6.39	-12.73	6.39	-5.10	
		CEN. M ⁵	0.0	5.89	11.78	-5.89	0.0	
L _x = 3.5 m	2 차원	단 변	CEN. M ⁶	-5.10	12.28	-0.97	12.28	-5.10
			CEN. M ⁴	-5.10	6.39	-12.73	6.39	-5.10
			CEN. M ⁵	0.0	5.89	11.78	-5.89	0.0
	장 변	M ³	0.0	7.60	0.0			
		CEN. M ⁴	-5.10	6.39	-12.73	6.39	-5.10	
		CEN. M ⁵	0.0	5.89	11.78	-5.89	0.0	
B.M.D	M ^{1, 2, 4, 6}							
	M ³							
	M ⁵							

그리고 최외단부 지점은 힌지 지점으로써 해석이론상 휨모멘트가 0이 되어야 하지만 철근콘크리트구조 설계기준(KBC, ACI)에서 휨모멘트 계수를 최소값인 1/24로 규정되어 같은 조건으로 비교하기 위하여 각 해석방법 A, B, C에서도 1/24계수에 의한 강제 휨모멘트 하중을 부여하였다. 이러한 최외단부의 슬래브 휨모멘트는 구조설계시 지지하는 보에 비틀림 모멘트로 전달되어 설계되어야 한다

표 8. 이방향모델에 대한 일방향모델의 모멘트 비(M¹, M^{1a}: kN·m)

1) 모 델		일방향 모델				이방향 모델			
3차원 유한요소 해석모델	y								
장변방향(B.M.D)									
2) 모멘트값 비교		일방향 모델		이방향 모델		부모멘트 비			
SPAN (m)	LL/DL	② END	③ END	② END	③ END	② END	③ END		
		M ¹	M ¹	M ^{1a}	M ^{1a}	M ¹ /M ^{1a}	M ¹ /M ^{1a}		
3.5×8.0 (10.5×8.0)	1.0	-15.15	-13.60	-50.00	-42.62	0.30	0.32		
	2.0	-18.03	-17.51	-75.24	-64.78	0.24	0.27		
3.0×8.0 (9.0×8.0)	1.0	-12.99	-11.66	-43.66	-38.33	0.30	0.30		
	2.0	-16.13	-15.06	-66.16	-58.72	0.24	0.26		

3) 이방향 거동 분석

슬래브를 지지하는 4변의 단부보가 연직방향 처짐이 전혀 없는 무한강성 지점일 경우 완전한 일방향 거동 슬래브로 설계하는 것이 이론적으로 합리적인 설계법이지만 4변 지지보가 탄성부재로서 연직방향으로 각각 서로 다른 처짐이 발생되며 특히 장변방향 단부에 지지되는 보의 중앙부 처짐도 크게 발생되어 무한강성지점이 제공되지 않기 때문에 슬래브 하중의 일부가 장변방향으로 전달되어 부분적인 휨거동을 하게 된다.

표 8은 부분적인 이방향 거동을 분석하기 위하여 모델 I에서 기동열의 크보 사이에 배치된 작은보를 모두 제거하고 완전한 이방향 슬래브로 구성된 3차원 유한요소 해석결과 발생한 장변방향 중앙 단부의 부모멘트 값(M^{1a})과 작은보를 제거하지 않은 일방향 슬래브에 대한 3차원 유한요소 해석결과 동일지점의 부모멘트값(M^1)을 비교하면 M^1/M^{1a} 의 값이 약 0.3로 나타났다. 이러한 결과는 슬래브 시스템이 완전한 일방향 거동을 하지 않고 부분적으로 이방향 거동을 한다는 것을 의미한다.

4.2.3 해석방법에 따른 휨모멘트 계수 분석

그림 6~9는 모델 I, II, III에 대해서 철근콘크리트구조 설계기준상의 적용 조건과 가능한 한 동일하게 비교하기 위하여 스패길이, 스패개수, 고정하중에 대한 활하중의 비율, 활하중의 배열 상태 등을 변화시키면서 3차원 유한요소해석, 부동탄성지점 2차원 연속보해석, 무한강성지점 2차원 연속보해석을 수행한 결과를 토대로 안전성이 확보될 수 있는 최적의 휨모멘트 계수를 산정하여 부위별, 단·장변방향별로 설계기준상의 휨모멘트 계수와 비교분석한 그래프이다.

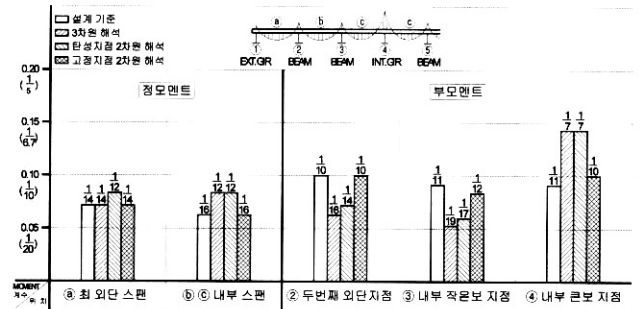
1) 단변방향 휨모멘트 계수

그림 6은 스패길이 3.5m(순스패 길이 3.0m 이상 적용)이고 3개 스패 이상인 일방향 슬래브에서 각 부위별로 해석 방법별 휨모멘트 계수를 비교한 그래프이다.

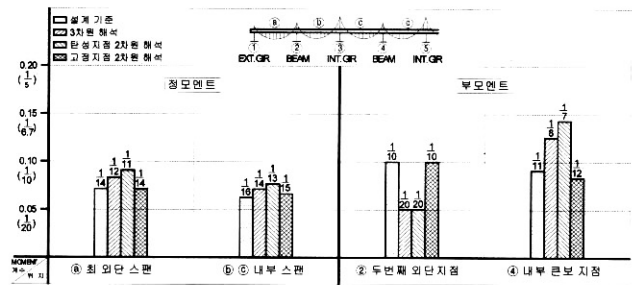
철근콘크리트구조 설계기준에 의한 계수와 고정지점 2차원 해석에 의한 계수는 약 10% 이하의 범위에서 비슷한 값을 보이며 3차원 유한요소 해석에 의한 계수와 탄성지점 2차원 해석에 의한 계수도 10~15% 범위에서 비슷한 값을 나타냈다.

그러나 설계기준에 의한 계수(C_R)와 탄성지점 조건을 고려한 계수(C_E)를 비교하면 부분적으로 큰 차이가 난다. 특히, 내부 큰보 지점의 부모멘트 계수는 C_E 가 C_R 보다 1.4~1.6배 큰 값을 나타내며 내부 작은보 지점의 부모멘트 계수는 C_E 가 C_R 보다 오히려 약 1.4~2.0배 작은 값을 나타냈다. 또한 최외단 및 내부 스패의 정모멘트 계수는 C_E 가 C_R 보다 약

1.2~1.3배 큰 값을 나타냈다.

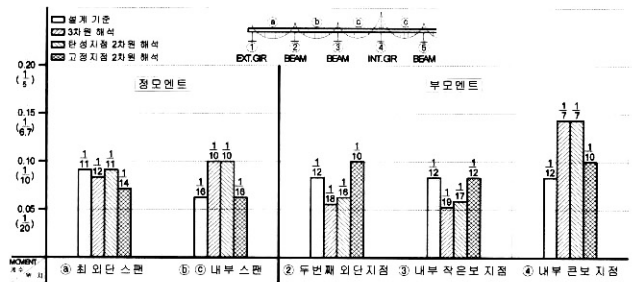


(a) 모델 I

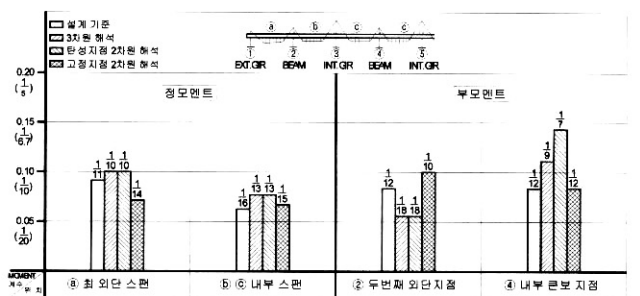


(b) 모델 II

그림 6. 단변방향 휨모멘트 계수 비교($l_n > 3m$)



(a) 모델 I



(b) 모델 II

그림 7. 단변방향 휨모멘트 계수 비교($l_n \le 3m$)

그림 7은 스패길이 3.0m(순스패 길이 3.0m 이하 적용)이고 3개 스패 이상인 일방향 슬래브의 각 부위별 휨모멘트 계수이다. 내부 큰보 지점의 부모멘트 계수는 C_E 가 C_R 보다 약 1.4~1.7배 큰 값이며 내부 작은보 지점의 부모멘트 계수는

C_E 가 C_R 보다 오히려 약 1.5~1.8배 작은 값을 보인다. 또한 최외단 및 내부 스패의 정모멘트 계수는 C_E 가 C_R 보다 약 1.0~1.6배 큰 값을 나타냈다.

그림 8은 스패길이 3.5m와 3.0m로서 2개 스패인 일방향 슬래브의 각 부위별 휨모멘트 계수를 나타낸 그래프이다.

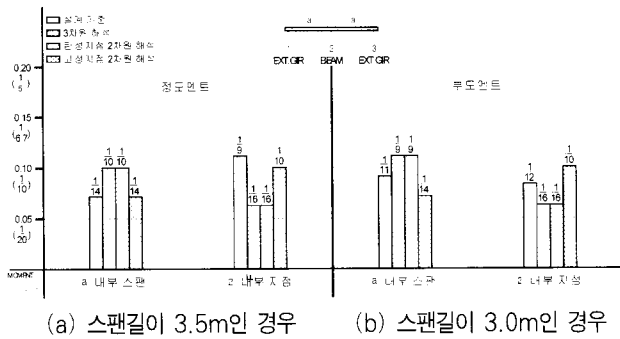


그림 8. 단변방향 휨모멘트 계수 비교 (모델 III)

내부스패의 정모멘트 계수는 C_R 이 C_E 보다 약 1.2~1.4배 큰 값을 나타냈으나, 내부 지점의 부모멘트 계수는 C_E 가 C_R 보다 약 1.3~1.8배 큰 값을 나타냈다.

그러나 3차원 유한요소 및 탄성지점 2차원 해석에 의한 내부 지점(②지점) 부모멘트 계수는 무한 강성지점 연속보 해석에 의한 모멘트 계수보다 약 60% 정도의 작은 모멘트 계수가 산정되었는데, 이는 표 7의 M^0 와 같이 지점의 처짐에 의해 부모멘트가 아닌 정모멘트의 발생으로 연속보 지점의 부모멘트가 감소되기 때문이다.

2) 장변방향 휨모멘트 계수

그림 9는 모델 I, II에 대한 장변방향의 내부지점 부모멘트 계수를 나타낸 그래프이다. 일반적으로 일방향 슬래브에서는 단변방향으로만 모든 하중이 전달되고 장변방향으로는 하중 전달이 없어 휨모멘트의 발생이 없는 것으로 가정하여 설계하고 있다.

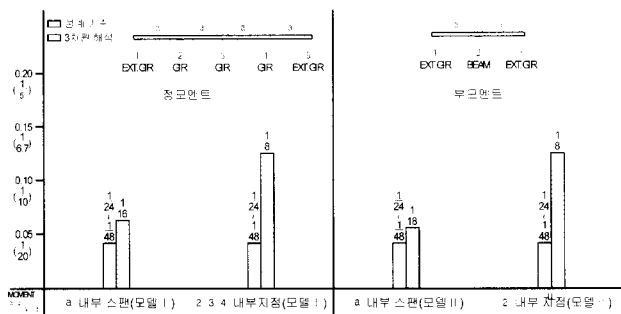


그림 9. 장변방향 휨모멘트 계수 비교(모델 I, II)

그러나 슬래브를 지지하는 모든 보에서 부동의 수직처짐이

발생되는 탄성지점 조건을 고려하면 완전한 일방향 거동을 하지 않고 부분적으로 이방향 거동을 하는 것으로 나타났다. 따라서 일방향 슬래브를 지지하는 주변보의 탄성지점조건을 고려하여 해석하여야하며 장변방향으로의 단부 부모멘트도 설계시 고려되어야 한다.

철근콘크리트구조 설계기준에 의한 장변방향의 휨모멘트 계수는 모든 경우 0으로 규정하고 있지만 탄성지점 조건을 고려하면 약 1/8의 휨모멘트 계수가 산정되었다. 이 값은 단변방향의 구간내 내부 큰보 지점에서 발생하는 휨모멘트 계수와 거의 비슷한 값을 보여준다.

5. 휨모멘트계수 및 배근설계방안 제안

5.1 휨모멘트계수 제안

철근콘크리트 설계기준에서 규정한 일방향 슬래브의 휨모멘트 계수(C_R)를 동일한 조건을 충족시키면서 비합성데크 일방향 슬래브의 부동탄성지점 조건을 고려하여 해석모델, 스패길이, 해석방법, 하중비, 활하중 배열 등 여러 조건을 포함한 총 480여개의 해석 결과치를 분석하여 어떠한 조건에서도 안전성을 만족시킬 수 있는 가장 큰 값을 보수적으로 하는 반올림하여 각 부위별 최적의 모멘트 계수(C_E)로 제안하여 비교한 결과를 표 9~11에 나타냈다.

두 계수를 비교한 결과 모든 부위에서 큰 차이를 나타냈다. 단변방향 내부 큰보 지점 부모멘트 계수간의 비(C_E/C_R)는 약 1.5~1.7배로 큰 차이가 나며 내부 작은보 지점의 부모멘트 계수비(C_E/C_R)는 약 0.7~0.8배, 내부 스패의 정모멘트 계수비(C_E/C_R)는 약 1.1~1.5배다. 또한 장변방향의 내부지점 부모멘트 계수는 1/8로서 설계기준상의 1/24 값과 약 3.0배 차이가 났다.

따라서 현재 실무에서 적용되고 있는 철근콘크리트구조 설계기준의 근사적인 휨모멘트 계수는 다소 불합리하며 이러한 휨모멘트의 계수 간 차이를 고려하여 제안된 모멘트 계수를 적용하면 거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브에서 부동탄성 지점 조건을 고려한 실용적인 근사해법이 될 것으로 판단된다.

5.2 합리적인 배근설계 방안 제안

일반적으로 거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브의 배근설계는 단변방향의 전 구간으로만 데크 플레이트 형태에 따라 일정한 간격의 휨철근을 주근으로 배근하고 장변방향의 철근은 최소철근비를 고려한 온도, 건조수축 철근만 슬래브 두께

가 180mm 이하일 경우 슬래브 상부에 단배근으로 설계하고 있으며, 슬래브 두께가 200mm 이상일 경우에는 장변방향으로 상하부 복배근으로 설계하고 있다.

그러나 지지하는 철골보의 부동탄성지점 조건을 고려하면 실제로 발생하는 휨모멘트 값이 단변방향의 경우 큰보 지점과 작은보 지점에서 큰 차이가 나며 장변방향도 지점의 부모멘트가 크게 발생된다.

표 9. 단변방향의 3스팬 이상 연속 슬래브 휨모멘트 계수

모멘트		부모멘트				정모멘트	
스팬	위치 구분	최외단 지점	첫번째 내부지점	큰보 내부지점	작은보 내부지점	첫번째 내부스팬	내부스팬
		①	②	③	④	⑤	⑥
3m이상	기준	1/24	1/10	1/11	1/11	1/11	1/16
	제안	1/24	1/14	1/7	1/16	1/11	1/12
3m이하	기준	1/12	1/12	1/12	1/12	1/11	1/16
	제안	1/24	1/16	1/7	1/16	1/10	1/11
B.M.D							

표 10. 단변방향의 2스팬 슬래브 휨모멘트 계수

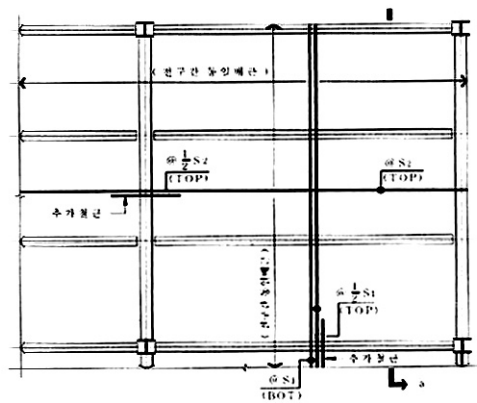
모멘트		부모멘트		정모멘트
스팬	위치 구분	외부지점	내부지점	내부스팬
		①	②	③
3m이상	기준	1/24	1/9	1/11
	제안	1/24	1/12	1/10
3m이하	기준	1/12	1/12	1/11
	제안	1/24	1/12	1/9
B.M.D				

표 11. 장변방향의 2스팬 및 3스팬 이상 슬래브 휨모멘트 계수

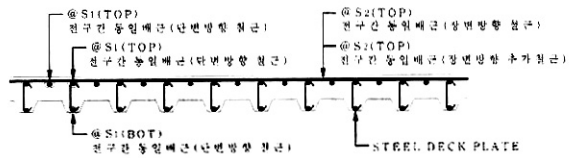
모멘트		부모멘트		정모멘트
스팬	위치 구분	외부지점	내부지점	내부스팬
		①	②	③
2스팬	기준	1/24	1/24	1/24
	제안	1/24	1/8	1/24
3스팬 이상	기준	1/24	1/24	1/24
	제안	1/24	1/8	1/24
B.M.D				

따라서 이러한 조건을 고려하지 않은 기존의 철근배근 설계는 단변방향의 내부 큰보 지점 상부와 장변방향 내부 큰보 지점 상부에서 휨철근량 부족으로 휨 균열의 발생이 예상된다

다. 이를 고려하여 그림 10은 부동탄성지점 조건을 고려한 거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브의 합리적인 철근 배근도를 보여준다. 개선된 내용은 단변방향에서 내부 큰보 지점 상부철근 간격을 내부 작은보 지점 상부 철근간격의 1/2 간격으로 하며, 장변방향의 내부지점 상부 철근은 다른 구간 철근 간격의 1/2 간격으로 현장에서 배근하도록 하였다.



(a) 배근 평면도



(b) ①-④ 단면 배근도(슬래브 두께 : 180mm 이하)

그림 10. 거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브의 배근설계 방안

6. 결론

거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브 구조시스템을 지지하는 철골보의 부동처짐 효과를 고려한 부동탄성지점 연속보에 대한 근사해석기법 및 그에 따른 합리적인 휨모멘트 계수를 산정하기 위하여 다양한 해석모델을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 부동탄성지점을 고려한 이차원 연속보해석과 3차원 플레이트 유한요소해석을 비교한 결과, 휨모멘트 값은 모든 부위에서 거의 비슷한 결과를 보였으나, 철근콘크리트 구조 설계기준상 근사해석법의 모멘트 계수에 의한 결과값과는 큰 차이가 났다. 이는 단부가 기둥으로 지지된 연속보와 탄성지점을 갖는 연속보의 단부구속조건차이 때문이다. 따라서 철근콘크리트구조 설계기준의 연속보 근사해석 시 적용되는 모멘트 계수법은 골조형식의 일반적인 연속보구조와 일방향 슬래브의

치환 연속보구조를 구분하여 서로 다른 모멘트 계수를 적용하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

- (2) 일반적으로 작은보의 역할은 이방향 슬래브의 큰 플레이트를 일방향 슬래브의 구조로 전환하기 위하여 내부 지점을 제공하는 것으로, 이론상 무한 강성지점을 제공하여야 하는데 실제로는 탄성지점 역할을 하는 것으로 나타났다. 따라서 완전한 일방향 슬래브의 거동을 하지 못하고 일부분 이방향 슬래브의 거동을 하여 장변방향에서도 단부의 부모멘트가 크게 발생되어 이에 대한 개선방안이 요구되었다.
- (3) 비합성데크 일방향 슬래브에 대한 부동탄성지점조건을 고려한 모멘트 계수(C_E)를 철근콘크리트구조 설계기준상의 모멘트 계수(C_R)와 비교해본 결과, 단변방향의 큰보 지점의 부모멘트 계수비(C_E/C_R)는 1.5~1.7배, 내부 작은보 지점의 부모멘트 계수비(C_E/C_R)는 0.7~0.8배, 내부 스패의 정모멘트 계수비(C_E/C_R)는 1.1~1.5배, 그리고 장변방향 내부지점 부모멘트 계수비(C_E/C_R)는 3.0배 차이가 났다. 따라서 거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브 구조해석시 철근콘크리트구조 설계기준의 근사해법에 의한 모멘트 계수의 실무적용은 문제가 있는 것으로 판단되며 이에 따라 지점의 부동탄성처짐 효과를 고려하여 제안된 모멘트계수를 적용하는 것이 합리적이다.
- (4) 거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브의 기존 배근 설계는 단변방향의 전 구간에 데크 플레이트의 형태에 따라 동일하게 주근을 배근하고 장변방향으로는 설계기준상 건조수축 및 온도철근의 최소 철근량만 배근하는 것이 일반적이었으나 이에 따른 부분적인 휨철근량 부족으로 균열의 발생이 예상된다. 따라서 이를 예방하기 위해 거푸집용 비합성데크 일방향 슬래브에 대한 합리적인 배근 설계 방안으로 단변방향에서 큰보와 작은보를 구분하여 배근간격을 다르게 하고 장변방향에 대한 철근도 이방향 거동에 따라 발생된 휨응력에 저항할 수 있는 주근을 상단부에 추가 배근하는 방안을 강구하였다.

참 고 문 헌

대한건축학회(2005), 건축구조설계기준(KBC), 건설교통부
 대한건축학회(1983), 강구조계산 기준 및 해설

대한건축학회(1998.5), 합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설, 대한건축학회
 대한건축학회(1998), 합성데크 바닥구조 시공지침, 대한건축학회
 日本建築學會(1992), 剛構造設計施工指針・同解説 日本建築學會
 日本建築學會(1998), 鐵筋コンクリート構造計算規準・同解説
 松山輝男・井野 智, 土橋由造 小梁付き床スラブの設計用應力の簡易計算法について, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 昭 56.9
 ACI Committee 318(2002), Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, Michigan.
 ACI(1965), Reinforced Concrete Design Handbook, Publication SP-3, pp.267-270
 A. J. Boase and J. T. Howell(1939), Design Coefficients for Building Frames, *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 36, pp. 21-36
 BSI-8110(1997), Structural Use of Concrete Standards, British Standards Institution(BSI-8110)
 Chu-Kia Wang and Charles G. Salmon(1998), Reinforced Concrete Design, Thomas Y. Crowell Company Harper & Row Publishers
 CSA-A23(1994), Canadian Standard Association
 ISO-15673(2002), Guidelines for the Simplified of Structural Reinforced Concrete for Buildings, International Organization Standardization, Canadian Standard Association
 MIDAS IT(2005), MIDAS GENw, MIDAS IT
 Portland Cement Association(1959), Continuity in Concrete Building Frames
 Steel Deck Institute(1992), Standard Practice Details for Composite Floor Deck, Non-Composite Form Deck, Steel Roof Deck
 T. Y. Yang(1999), Finite Element Structural Analysis, Prentice Hall

(접수일자 : 2006. 1. 12 / 심사일 2006. 2. 3 /
 심사완료일 2006. 4. 11)