

보-거더 시스템 슬래브에서 지지부 처짐영향에 관한 연구

Support Deflection Effects in Slabs with Beam and Girder

곽 호 경*
Kwak, Hyo-Gyoung

송 종 영**
Song, Jong-Young

요 지

본 논문에서는 건축 구조물에서 널리 사용되는 보-거더 구조계 슬래브에서 분포하중과 차량하중이 작용하는 경우에 지지부가 되는 가로보와 거더의 처짐이 슬래브 부재력에 미치는 영향을 연구하였다. 전체 패널에 한 개의 가로보가 존재하는 단일 가로보(one-beam) 구조계 슬래브와 두 개 존재하는 이중 가로보(two-beam) 구조계 슬래브에서 지지부가 되는 가로보와 거더 및 슬래브의 강성을 변화시키면서 유한요소해석을 수행하였으며, 얻어진 결과를 토대로 회귀분석을 수행하여 설계시 지지부 처짐 영향을 고려할 수 있도록 보정계수를 제시하였다. 또한 제안된 보정계수를 대표적인 구조물의 설계 방법에 적용시켜 그 타당성을 검증하였다.

Abstract

In this study the support deflection effects in beam-girder slabs which are broadly being adopted in building structures are studied for both distributed loads and concentrated vehicle loads. Taking the finite element analysis of slabs supported with one or two cross beams, the member forces of slabs including the support stiffness have been calculated. Based on the obtained numerical results and regression analysis of those, correction factors of member forces for slabs supported with girders and cross beams have been proposed. Finally, the validity of the proposed correction factors are demonstrated through a typical design example.

Keywords : beam-girder system, slab, support deflection, distributed loads, vehicle loads

1. 서 론

하중이 양방향으로 전달되는 이방향 슬래브 가운데 기둥과 기둥 사이에 위치하는 거더에 가로보를 설치하여 슬래브 위에 작용하는 하중을 효

율적으로 분담하도록 도모하는 보-거더 구조계는 우리나라에서 현재까지 설계, 시공된 슬래브 구조물의 주종을 이루고 있으며, 넓은 기둥 간격을 요구하는 구조물에 널리 사용되고 있다(그림 1 참조). 한편 슬래브의 설계는 발생하는 부재력

* 정회원·한국과학기술원 토목공학과, 조교수

** 한국과학기술원 토목공학과, 박사과정

• 이 논문에 대한 토론은 1998년 6월 30일까지 본 학회에 보내주시면 1998년 9월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

의 평형조건과 기하학적인 적합조건을 토대로 구성된 직접설계법(direct design method)과 동가결조합(equivalent frame method)의 사용을 추천하고 있다^{2),4)}. 그러나 이 방법들은 보가 네 기둥 사이에만 존재하는 양방향 슬래브나 처짐이 일어나지 않는 지지부에 의하여 지지되는 슬래브의 경우에는 적용이 용이하나, 지지부에서 처짐이 발생하는 보-거더 구조계 슬래브의 경우에는 보다 정확한 결과를 얻기위해 지지보와 거더의 처짐 현상에 적합한 해석에 의거하여 설계해야 한다고 규정하고 있다⁴⁾. 일반적으로 실무에서는 보-거더 구조계에 위치하는 슬래브의 변장비가 2보다 큰 경우에는 일방향 슬래브로 간주하여 설계되며, 변장비가 2보다 작은 경우에는 슬래브의 사변이 고정단이라는 가정하에 표 1과 같이 탄성 해석을 통해 얻어진 약산식을 토대로 설계되고 있다. 따라서 지지부의 처짐을 고려하지 않고 설계된 슬래브는 양방향 슬래브 거동에 의해 슬래브의 중앙부는 물론 기둥을 연결하는 거더를 따라 슬래브의 장변방향 지점부와 단변방향 지점부의 부모멘트의 증가로 지점부 휨 균열이 유발되는 등 많은 구조적인 문제가 발생하고 있다.

본 연구에서는 보-거더 구조계에 위치하는 슬래브의 지지부가 되는 거더와 가로보에서 처짐이 유발될 경우 슬래브 부재력의 거동변화를 살펴보고 설계할 때 이러한 지지부 처짐 영향을 효과적으로 고려할 수 있는 방법을 제안하였다. 나아가 보-거더 구조계가 널리 사용되고 있는 주차장 관련 구조물에서 중, 소형 차량하중¹⁾에 의한 지지부 처짐 영향을 살펴보고 이를 효과적으로 고려할 수 있는 보정계수를 제안하였다.

표 1 건축규준에 따른 슬래브의 설계 부재력³⁾

방향 \ 위치	중앙부 정모멘트	지점부 부모멘트
단변방향	$\frac{1}{18} w_x l_x^2$ (1)	$\frac{1}{12} w_x l_x^2$ (2)
장변방향	$\frac{1}{36} w l_y^2$ (3)	$\frac{1}{24} w l_y^2$ (4)

Note : l_x =단변길이, l_y =장변길이, $w_x = \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} w$

2. 보-거더 구조계 슬래브

슬래브의 형식 가운데 널리 사용되고 있는 보-거더 구조계는 그림 1과 같이 네 기둥사이에 존재하는 평판 위에 한 개의 가로보가 존재하는 단일 가로보(One-Beam) 슬래브와 두 개의 가로보가 존재하는 이중 가로보(Two-Beam) 슬래브로 구분된다.

따라서 단변방향과 장변방향에 대하여 각각 설계가 이루어지는 단일 가로보 구조계와 이중 가로보 구조계의 슬래브는 슬래브 지지부의 조건에 따라 그림 1의 ㉠과 ㉡ 및 ㉢으로 각각 구분할 수 있다. 즉 슬래브 ㉠은 슬래브의 장변길이 L2방향으로 상단은 가로보(beam)에 의하여, 하단은 거더(girder)에 의하여 각각 지지되는 경우이며, 슬래브 ㉡는 L2방향으로 상 하단 모두 가로보에 의하여 지지되며, L1방향은 거더에 의하여 지지되는 경우를 나타내고 있다. 또한 슬래브 ㉢은 슬래브 ㉠과 동일한 지지조건이나 상단 지지부가 되는 가로보가 전체 슬래브의 중앙에 위치하지 않고 1/3지점에 위치하는 경우를 나타내고 있다. 따라서 슬래브 ㉡의 경우에는 상단 부모멘트 부재력과 하단 부모멘트 부재력이 동일한 반면, 슬래브 ㉠과 ㉢의 경우에는 지점부에 위치하는 상·하단 부모멘트가 다르게 나타나므로 상단 부모멘트 부재력과 하단 부모멘트 부재력 가운데에 큰 부재력을 단변방향 설계 부재력으로 결정하게 된다.

실제 사용되는 슬래브 규격의 경우 20cm내외의 두께와 9m내외의 장변 및 단변길이를 갖는다. 이 연구에서는 지금까지 설계, 시공된 일반 건축구조물과 주차장 구조물의 평면도를 참고로

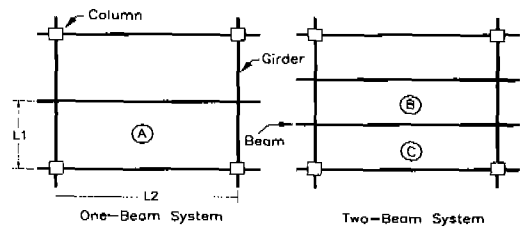


그림 1 보-거더 구조계 슬래브

하여 수치해석에 사용하기 위한 구조부재의 단면을 다음과 같이 가정하였다. 단일 가로보 구조계인 경우는 슬래브의 단면길이(L1)가 4m에서 6m의 범위로, 이중 가로보 구조계의 경우에는 3m에서 5m로 변한다고 가정하였으며, 이때 변장비 또한 각각 2와 3까지 변하는 것으로 가정하였다. 또한 보-거더 구조계 슬래브의 지지부가 되는 구조부재의 강성변화에 따른 영향을 연구하기 위해 지지부 단면은 표 2와 같이 거더와 중간 보의 폭과 깊이를 각각 1.2m×1.5m, 0.8m×1.0m, 0.5m×0.6m로 변화시켰으며, 슬래브의 두께를 0.1m, 0.2m, 0.3m로 변화시키면서 유한요소해석을 수행하여 슬래브 부재력의 거동을 해석하였다.

3. 구조해석 및 결과분석

지지부 처짐을 고려하지 않은 슬래브의 부재력은 지점부 최대 부모멘트 부재력과 중앙부 최대

표 2 구조부재의 단면제원 (단위:m)

분 류	거더(폭×깊이)	보(폭×깊이)	슬래브(두께)	$\alpha^* = E_s I_s / E_c I_c$	
				거더	보
A1	0.5×0.6	0.5×0.6	0.10	20.60	41.3
A2			0.20	2.57	5.14
A3			0.30	0.72	1.41
B1	0.8×1.0	0.5×0.6	0.10	145.0	41.3
B2			0.20	19.6	5.14
B3			0.30	5.75	1.41
C1	0.8×1.0	0.8×1.0	0.10	145.0	289.0
C2			0.20	19.6	39.1
C3			0.30	5.75	11.5
D1	1.2×1.5	0.5×0.6	0.10	685.0	41.3
D2			0.20	95.6	5.14
D3			0.30	29.3	1.41
E1	1.2×1.5	0.8×1.0	0.10	685.0	289.0
E2			0.20	95.6	39.1
E3			0.30	29.3	11.5
F1	1.2×1.5	1.2×1.5	0.10	685.0	1370.0
F2			0.20	95.6	191.0
F3			0.30	29.3	58.7

*) α 는 식 (6) 참조.

정모멘트 부재력이 지지부에 관계없이 일정하게 발생하는 반면에, 지지부가 되는 가로보의 강성이 충분치 않은 경우에는 가로보를 포함한 전체 슬래브가 하나의 슬래브와 유사한 거동을 하여 이와 같이 부모멘트 부재력과 정모멘트 부재력 모두 증가하게 된다. 즉 슬래브 내의 설계 부재력은 슬래브 및 지지부 역할을 하는 주변 부재(보-거더)의 강성차이에 따라 각각 다른 거동을 나타내게 된다.

특히 이 논문에서 구조계를 유한요소로 모사함에 있어 4절점 등매개변수 요소(isoparametric element)를 사용하였으며, 집중하중이 작용할 때 부재력의 특이점(singularity) 발생으로 인한 해석상의 문제점을 극복하기 위해 작용하는 하중($P=2.4\text{ton}$)의 점지면적(40cm×40cm)과 슬래브의 단면길이(L)의 관계로부터 요소의 크기(b)가 0.035L 이하가 되도록 하였다^{10,13}. 또한 대상 슬래브의 지점부 침하 영향과 경계조건을 효과적으로 모사하기 위해 대상 슬래브로부터 상, 하, 좌, 우 각 방향으로 동일한 두 슬래브가 위치하도록 하였으며 선형 탄성해석을 수행하였다.

3.1 단일 가로보(One-Beam) 구조계 슬래브

거더와 거더 사이에 한 개의 가로보가 위치하는 단일 가로보 구조계(그림 1의 슬래브①)에서 슬래브의 지지부가 되는 거더와 보의 강성변화에 따른 슬래브의 부재력은 그림 3과 같다. 등분포 하중이 작용하는 경우($w=500\text{kg/m}^2$)는 그림 3의 모멘트 등고선도를 살펴보면 지지부의 강성이 감소함에 따라 지지부의 처짐에 의한 이차 부재력이 발생하여 중앙부 정모멘트 부재력은 증가하고 지점부 부모멘트 부재력은 감소하였다. 즉 슬래브의 두께가 0.1m, 거더단면의 폭×깊이(1.2

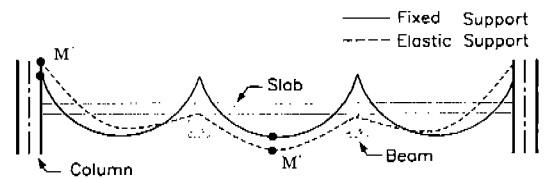


그림 2 지점처짐에 의한 부재력의 변화

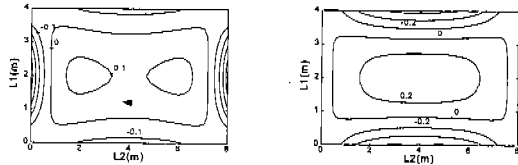
×1.5m), 가로보 단면의 폭×깊이(0.8×1.0m)로써 지지부의 강성이 상대적으로 큰 표 2의 E1 슬래브에 발생하는 그림 3(b)의 부재력은 지지부가 그림 3(a)의 고정단인 경우와 유사하나 슬래브 두께가 0.3m로 증가하여 상대적으로 지지부 강성이 슬래브 강성에 비하여 작은 그림 3(c)의 E3 슬래브에서는 부재력이 현저히 변하게 된다. 특히 거더에 비해 중간 보의 강성이 작은 경우에는 상대적으로 강성이 강한 거더에 비하여 가로보를 포함한 지지부의 처짐이 크게 유발되기 때문에 기둥을 중심으로 한 슬래브의 판 거동이 지배적으로 나타나게 되며, 가로보의 반대쪽인 거더에 위치한 슬래브의 지지부 부모멘트 부재력이 오히려 증가하는 경향을 나타내게 된다. 이러

한 처짐에 의한 영향으로 인해 슬래브 중앙부는 물론 지지부에서도 부재력이 증가하게 되고, 이는 구조물의 설계 부재력을 부정확하게 평가하게 하는 요인이 되고 있다.

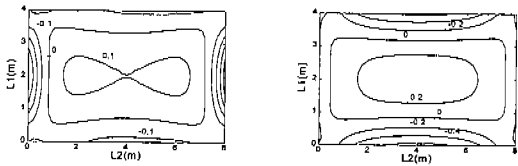
이와 같은 임의의 강성을 갖는 지지부의 처짐에 따른 슬래브 설계부재력의 변화는 단변방향과 장변방향에 대하여 다음과 같다. 슬래브의 단변길이가 4m이고 지지부의 강성이 슬래브의 강성에 비해 상대적으로 큰 슬래브 A1에 분포하중이 작용하는 경우에는, 고정단 지지부를 갖는 경우와 유사한 부재력을 갖는다. 그러나 슬래브의 두께가 A1의 0.1m에서 A2의 0.2m, A3의 0.3m로 점점 증가함에 따라 상대적으로 지지부의 강성이 작아져서 하중이 작용할 때, 가로보를 포함한 슬래브가 한 판의 슬래브처럼 거동하여 중앙부의 정모멘트와 지지부의 부모멘트는 그림 4(a)와 같이 모두 증가한다. 이러한 경향은 상대적으로 지지부의 강성이 작은 경우인 그림 4(b)의 슬래브의 변장비가 3인 경우에 더 크게 나타난다.

지지부 강성변화에 따른 슬래브 단변방향 부재력은 그림 5과 같이 기둥에 의해 지지되는 거더의 처짐에 비해 거더에 지지되는 가로보의 처짐에 따른 영향이 크므로 이러한 상대적인 처짐차이에 의한 이차 모멘트가 발생하여 거더에 접하는 지지부 부모멘트 부재력은 증가하고, 가로보에 접하는 지지부 부모멘트 부재력은 감소한다. 따라서 가로보와 이를 지지하고 있는 거더의 강성이 크지 않을 경우에는 그림 5의 A3에 대한 결과로부터 지지부에서 정모멘트 부재력이 발생할 수 있음을 보여준다. 특히 변장비가 3이며 지지부의 강성이 가장 작은 슬래브 A3의 경우에는 보요소가 없는 평판 슬래브와 유사하게 거동함을 알 수 있다.

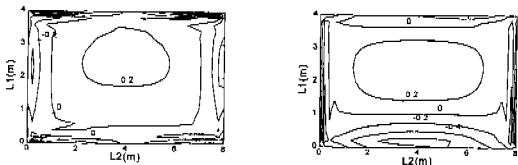
한편 전면적에 걸쳐 동일한 크기의 분포하중이 작용하는 경우와는 달리 주차장 구조물의 슬래브와 같이 집중하중(차량하중)이 지배적으로 작용하는 경우의 단변길이당 슬래브 모멘트를 살펴보기 위해 주차장 구조물에 작용하는 설정된 설계 기준차량¹⁾을 토대로 해석을 수행한 결과, 차량의



장변방향 단변방향
(a) 지지부가 무한 강성을 갖는 경우

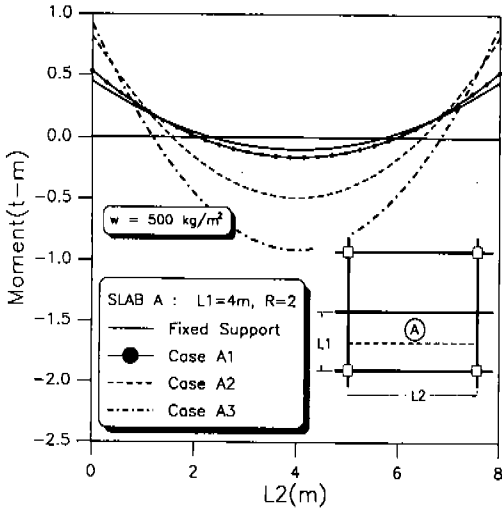


(b) 지지부가 1.2m×1.5m의 거더와 0.8m×1.0m의 보에 의해 지지된 경우 (슬래브두께=10cm)

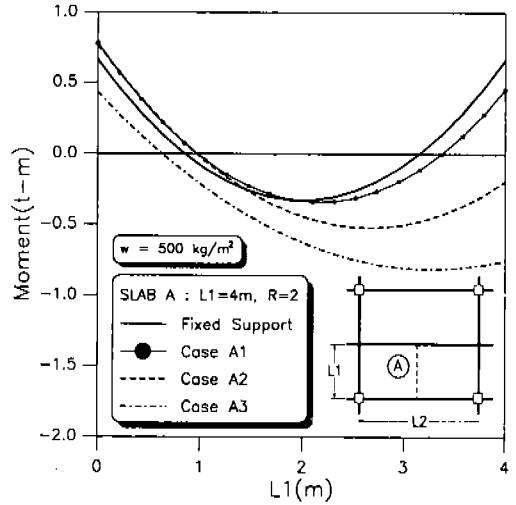


(c) 지지부가 1.2m×1.5m의 거더와 0.8m×1.0m의 보에 의해 지지된 경우 (슬래브두께=30cm)

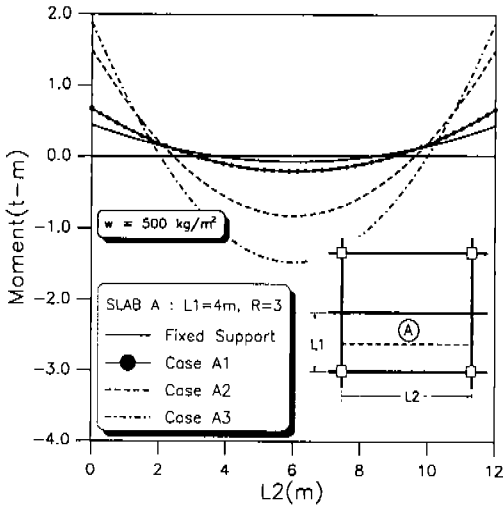
그림 3 단일 가로보가 사용된 경우에 등분포하중에 대한 슬래브 모멘트의 등고선도



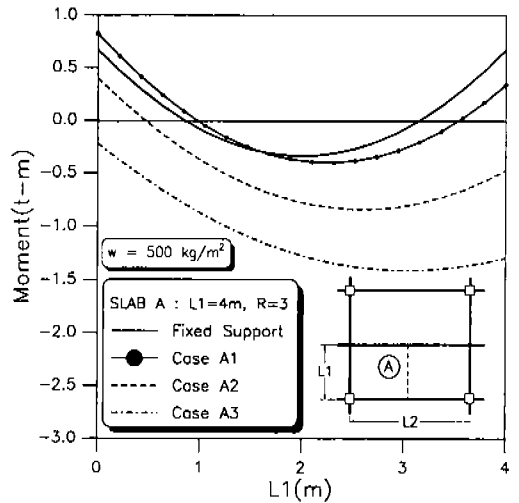
(a) $R=L2/L1=2$ 인 경우



(a) $R=L2/L1=2$ 인 경우



(b) $R=L2/L1=3$ 인 경우



(b) $R=L2/L1=3$ 인 경우

그림 4 단일 가로보 슬래브의 분포하중에 대한 장변 방향 부재력

총중량이 슬래브에 직접 전달되는 차륜아래부분에서 큰 부재력이 발생하나 분포하중에 비하여 상대적으로 지지부의 처짐 영향은 적었다.

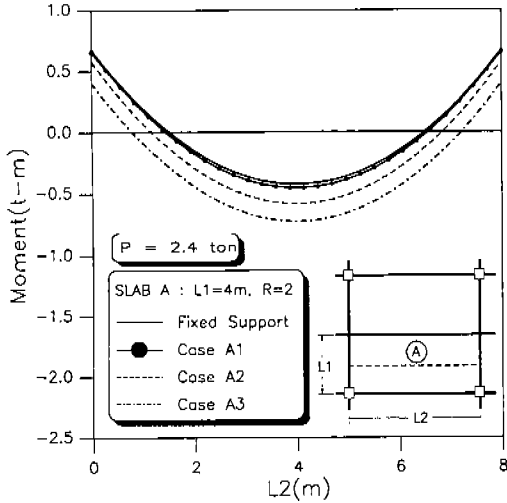
또한 그림 4과 같이 지지부의 강성이 작아짐에 따라 중앙부 정모멘트와 지지부 부모멘트가 모두

그림 5 단일 가로보 슬래브의 분포하중 ($w=500 \text{ kg/m}$)에 대한 단변방향 부재력

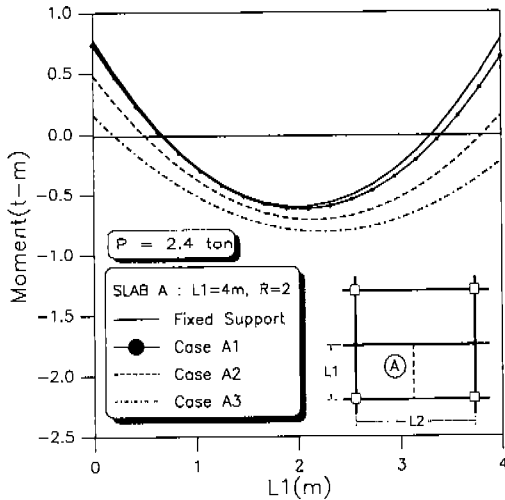
증가하는 등분포하중 작용시와는 달리 집중하중이 작용할 경우는 하중이 국부적으로 편중되는 관계로 전형적인 지점 침하시의 거동과 동일하게 그림 6에서 보는 바와 같이 지지부 부모멘트는 감소하고 중앙부 정모멘트는 증가하였다.

3.2 이중 가로보 슬래브

기둥과 기둥사이에 두 개의 가로보가 존재하는 이중 가로보(two-beam) 슬래브의 경우, 지지부 강성변화에 따른 슬래브 부재력의 변화는 단일 가로보 구조계의 경우와 유사한 경향을 나타내

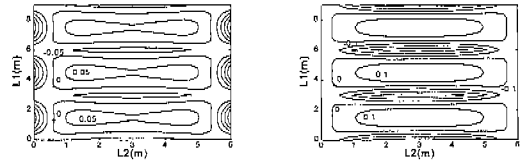


(a) 장변방향 부재력

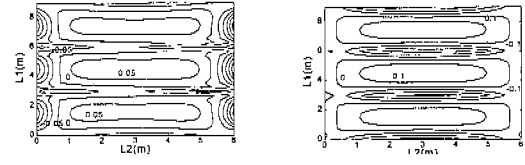


(b) 단변방향 부재력

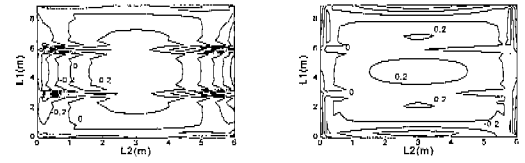
그림 6 단일 가로보 슬래브의 차량하중에 대한 부재력



(a) 지점부가 무한 강성을 갖는 경우



(b) 지지부가 1.2m×1.5m의 거더와 0.5m×0.6m의 보에 의해 지지된 경우(슬래브두께=10cm)



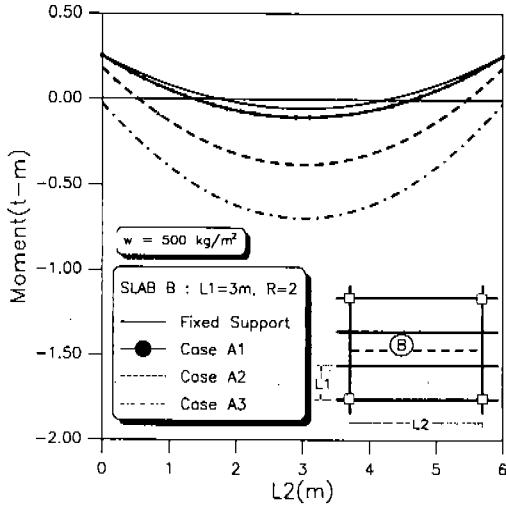
(c) 지지부가 1.2m×1.5m의 거더와 0.5m×0.6m의 보에 의해 지지된 경우(슬래브두께=30cm)

그림 7 이중 가로보 슬래브의 분포하중에 대한 부재력의 등고선도

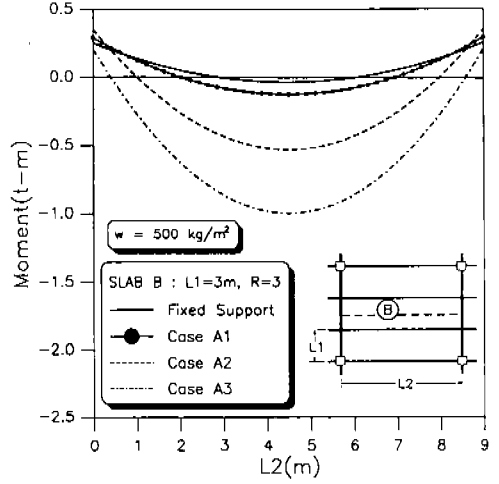
며, 특히 장변방향에 비하여 단변방향의 경우에 지지부 처짐영향이 적었다.

등분포하중 ($w=500kg/m^2$) 이 작용하는 경우인 그림 8의 중앙부 슬래브 ㉔의 장변방향 부재력은 지지부의 처짐이 커질수록, 또는 슬래브의 강성에 비하여 지지부의 강성이 작을수록 중앙부 정모멘트는 증가하고 지점부 부모멘트는 감소하였다.

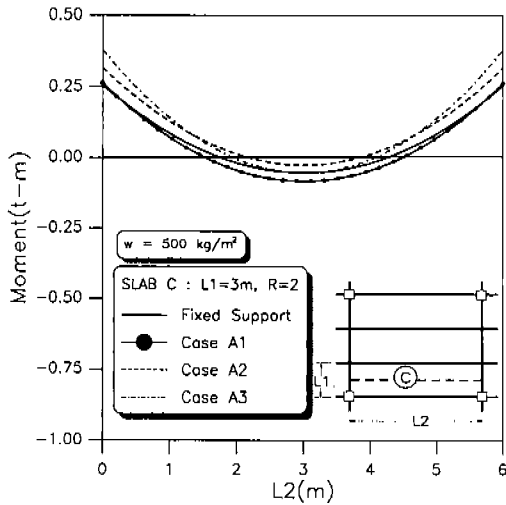
동일한 지지부 조건인 경우 가로보와 거더에 의하여 지지되는 하단 슬래브 ㉓는 중앙부 슬래브에 비하여 지지부 처짐의 영향이 적었다. 이는 하단 슬래브 ㉓가 중앙부 슬래브 ㉔보다 기둥과 기둥을 잇는 선상에 가깝게 위치하여 지지부의 구속조건이 상대적으로 크기 때문인 것으로 판단된다. 그림 9의 슬래브의 변장비가 3인 경우에 중앙부



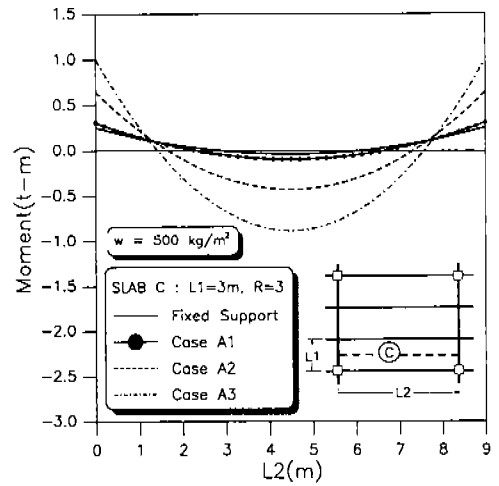
(a) 슬래브 ㉔



(a) 슬래브 ㉔



(b) 슬래브 ㉕



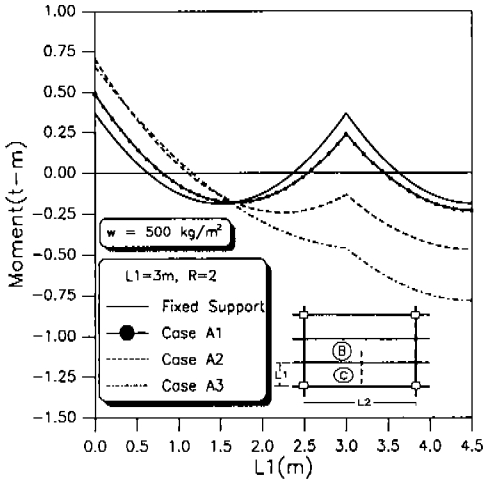
(b) 슬래브 ㉕

그림 8 이중 가로보 슬래브의 $L_1=3\text{m}$ 이고 $R=2$ 일 때 장변방향 부재력

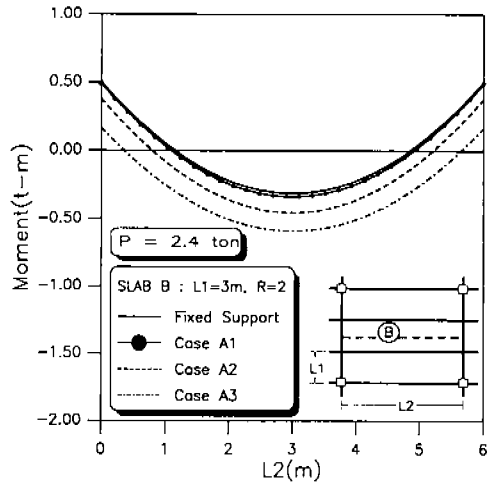
슬래브 ㉔와 하단 슬래브 ㉕의 거동을 살펴보면 지지부 침하의 영향이 변장비가 2인 경우보다 크나 전체 거동은 유사하였다. 슬래브의 단변길이가 3m 이고 변장비가 2인 경우, 지지부 강성 변화에 따른 단변방향 부재력은 그림 10과 같다.

그림 9 이중 가로보 슬래브의 $L_1=3\text{m}$ 이고 $R=3$ 일 때 장변방향 부재력

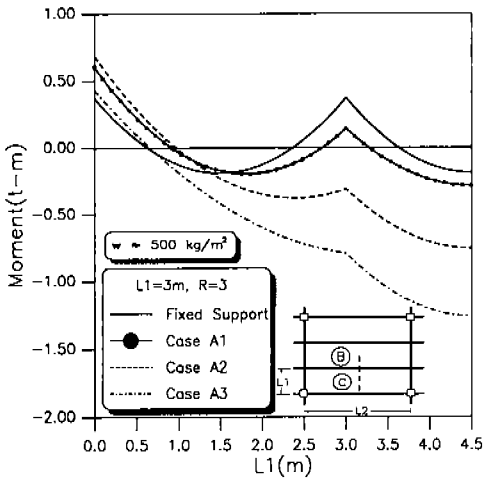
이중 가로보 슬래브의 경우도 단일 가로보 구조계의 경우와 마찬가지로 그림 11와 12와 같이, 차량하중이 작용할 때는 분포하중에 비하여 지점 침하의 영향이 적게 나타나며 일반적으로 지점부 부모멘트 부재력은 감소하고 중앙부 정모멘트 부재력은 증가한다.



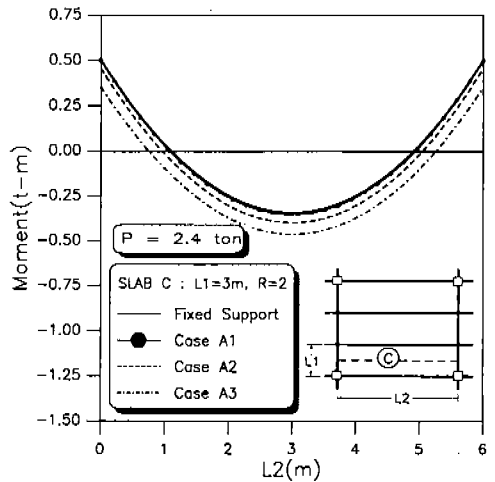
(a) R=2 인 경우



(a) 슬래브 ㉔



(b) R=3 인 경우



(b) 슬래브 ㉕

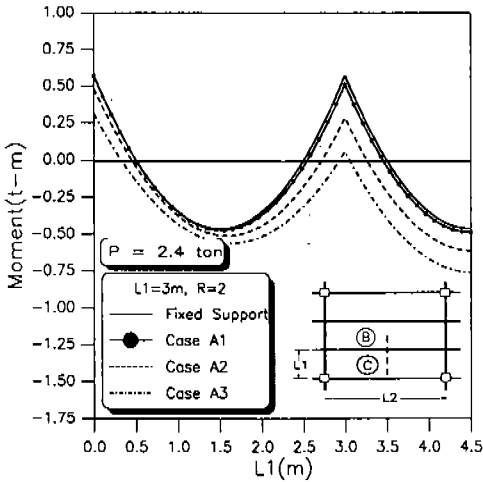
그림 10 이중 가로보 슬래브의 분포하중에 대한 단 변방향 부재력

그림 11 이중 가로보 슬래브의 차량하중에 대한 장 변방향 부재력

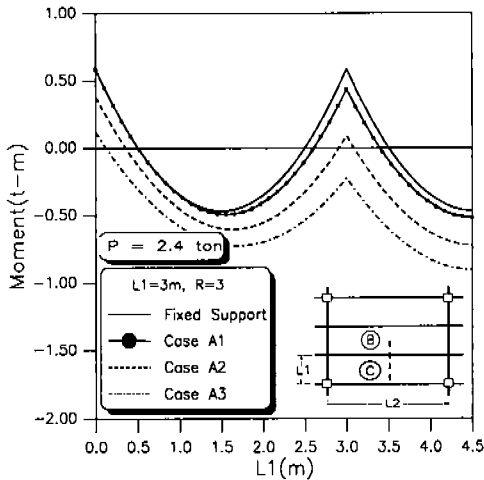
4. 보정계수의 산정

단일 가로보 (One-Beam) 슬래브와 이중 가로보 (Two-Beam) 구조계에 존재하는 슬래브는 사변을 고정단으로 가정하는 설계 가정과는 달리 슬래브의 지지부가 되는 보-거더슬래브의 상대적인 강성차이에 따라 매우 다른 거동을 나타냄

을 알 수 있다. 특히 분포하중이 작용하는 경우에는 차량하중이 작용할 때 보다 지지부 처짐에 따른 영향이 크게 나타나므로, 설계할 때 지지부 처짐의 영향을 고려하여 설계 부재력을 산정하는 것이 필요하다. 따라서 슬래브의 설계 부재력을 산정할 때 지지부의 처짐 영향을 고려할 수 있도록 다양한 해석결과를 토대로 보정계수가 제안되



(a) R=2 인 경우



(b) R=3 인 경우

그림 12 이중 가로보 슬래브의 차량하중에 대한 단 변방향 부재력

었다. 지지부의 강성을 고려하는 보정계수는 다음 식과 같이 사변이 고정단인 경우에 발생하는 부재력 M_{∞} 에 대한 유한한 강성을 갖을 때의 부재력 $M_{elastic}$ 의 비로 정의된다.

$$F = \frac{M_{elastic}}{M_{\infty}} \quad (5)$$

단인 경우의 부재력을, $M_{elastic}$ 사변이 유한한 강성을 갖을 때의 부재력을 각각 의미한다. 이와 같이 정의되는 보정계수는 슬래브의 규격, 슬래브 두께, 가로보 그리고 거더의 강성 등에 따라 변하게 된다. 이와같은 슬래브와 지지부의 강성비는 아래 식과 같이 고려하는 방향의 슬래브의 강성 대 지지부의 강성비로 정의되는 α 를 사용하여 산정하는 것이 일반적이다^{6), 7), 9)}.

$$\alpha = \frac{E_b I_b}{E_s I_s} \quad 0 \leq \alpha \leq \infty \quad (6)$$

여기서 E_b, E_s 는 보와 슬래브의 탄성계수를 의미하며, I_b, I_s 는 보와 슬래브의 단면 이차모멘트를 각각 의미한다.

따라서 보가 없는 경우에 α 는 0의 값을, 고정단인 경우에는 무한대의 값을 갖게 되며 새로운 변수 J 를 도입하면 J 는 0에서 1의 값을 갖게 된다. 특히 본 연구에서는 지지부가 되는 가로보와 거더의 강성이 다소 큰 영역까지 효과적으로 고려할 수 있도록 변수 J 를 수정하여 H 변수를 사용하였다. 참고로 α 값의 변화에 따른 변수 J 와 H 값의 변화는 다음과 같다.

$$J = \frac{\alpha}{1+\alpha}, \quad 0 \leq J \leq 1,$$

$$H = \frac{\alpha}{10+\alpha}, \quad 0 \leq H \leq 1 \quad (7)$$

일반적인 보-거더 구조계 슬래브의 지지부는 그림 1과 같이 장변방향으로는 동일한 단면을 갖는 거더에 의해 지지되며, 단변방향으로는 가로보 또는 거더에 의해 각각 지지된다. 따라서 보-거더 구조계 슬래브의 지지부는 그림 13과 같이 슬래브의 지지조건에 따라 H_1, H_2, H_3 의 세 변수로 표현될 수 있다. 본 연구에서는 지지부와 슬래브의 상대 강성비의 함수인 H 를 사용하여 슬래브 지지부의 처짐영향을 고려하는 보정계수를 다음 식 (8)과 같이 제시하였으며 회귀분석을 통하여 얻어진 결과는 표 3-표 8과 같다.

$$F = aH_1 + bH_2 + cH_3 + dH_1H_2 + eH_1H_3 + fH_2H_3 + gH_1H_2H_3 + h \quad (8)$$

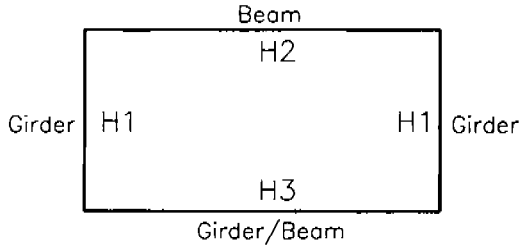


그림 13 H변수 부호규약

여기서 F 는 보정계수, H_1, H_2, H_3 은 각각 그림 13과 같이 슬래브 네 변의 슬래브에 대한 지지부의 상대 강성비, a, b, c, d, e, f, g, h 는 회귀분석을 통하여 산정되는 비례상수이다.

그림 14의 슬래브 ②의 단변방향 보정계수를 살펴보면, 중앙부 정모멘트의 경우 슬래브의 단변이 3m이고 변장비가 2인 경우에는 3m만의 값을 갖으나 슬래브의 규격이 커질수록 그 값이 점점 증가하며 가로보와 만나는 지점부 부모멘트의 경우에는 슬래브의 규격이 커질수록 음의 값이 된다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 슬래브의 규격이 커질수록 지지부의 상대적인 강성이 줄어들어 지점부에서 부모멘트 부재력이 발생하는 것이 아니라 정모멘트 부재력이 발생하는 현상이 나타나기 때문이다.

5. 예제해석

본 연구에서 제시한 보정계수를 이용하여, 그림 15의 평면도에 나타난 가로보와 거더 지지부를 갖는 슬래브 S1의 지지부 처짐에 의한 부재력의 변화는 다음과 같다.

먼저 각 방향의 지지부 강성 대 슬래브 강성비인 α 를 산정하면 G7과 G1의 단면이 같으므로 $\alpha_1 = 7.3867, \alpha_2 = 3.9593, \alpha_3 = 17.0462$ 로 계산된다. 따

표 3 등분포하중 $w=500\text{kg/m}^2$ 에 대한 슬래브 ①의 보정계수식

위 치		$F = aH_1 + bH_2 + cH_3 + dH_1H_2 + eH_1H_3 + fH_2H_3 + gH_1H_2H_3 + h$							
		a	b	c	d	e	f	g	h
단변 방향	중앙부	-21.191	-2.7460	4.7182	23.411	14.132	-4.9279	-16.037	3.5975
	지점부(상)	21.882	5.4750	-7.3747	-26.694	-13.235	5.3617	17.970	-2.3246
	지점부(하)	-1.7751	-0.29890	5.8426	1.5415	-1.3058	-3.5904	0.99528	-0.3830
장변 방향	중앙부	-163.37	-19.279	39.165	171.75	108.60	-40.091	-117.16	21.052
	지점부	-56.745	-8.1838	21.601	56.5852	31.773	-14.445	-35.093	5.7788

표 4 차량하중 $P=2.4\text{ton}$ 에 대한 슬래브 ①의 보정계수식

위 치		$F = aH_1 + bH_2 + cH_3 + dH_1H_2 + eH_1H_3 + fH_2H_3 + gH_1H_2H_3 + h$							
		a	b	c	d	e	f	g	h
단변 방향	중앙부	-7.9928	-1.0255	2.0924	8.3739	5.0665	-1.9329	-5.5624	1.9705
	지점부(상)	8.3929	3.2517	-3.0167	-10.466	-4.8182	1.7654	6.7256	-0.82439
	지점부(하)	-9.1605	-0.01453	6.7470	8.1652	4.2383	-5.0263	-3.7692	-0.15879
장변 방향	중앙부	-9.4689	-2.5437	1.4894	9.8681	6.2633	-0.48207	-7.2180	3.0638
	지점부	-8.4459	-0.43238	3.8458	1.4210	4.5276	-0.65714	-0.45507	1.0900

표 5 등분포하중 $w=500\text{kg/m}^2$ 에 대한 슬래브 ㉔의 보정계수식

위 치		$F=aH_1+bH_2+cH_3+dH_1H_2+eH_1H_3+fH_2H_3+gH_1H_2H_3+h$							
		a	b	c	d	e	f	g	h
단변 방향	중앙부	-58.361	-10.300	18.857	70.896	33.273	-17.839	-43.319	7.7437
	지점부	12.727	3.0194	-10.090	-10.948	-2.3908	6.1622	2.6560	-2.2754
장변 방향	중앙부	-303.85	-47.267	107.67	368.35	175.61	-104.12	-224.98	29.27
	지점부	-32.484	-0.6200	21.522	33.567	15.519	-20.264	-15.547	-0.7573

표 6 차량하중 $P=2.4\text{ton}$ 에 대한 슬래브 ㉔의 보정계수식

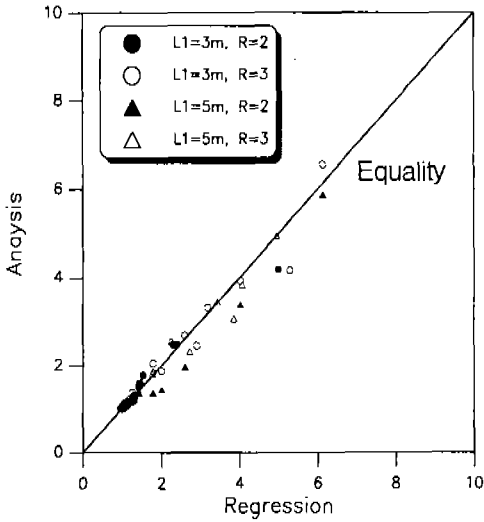
위 치		$F=aH_1+bH_2+cH_3+dH_1H_2+eH_1H_3+fH_2H_3+gH_1H_2H_3+h$							
		a	b	c	d	e	f	g	h
단변 방향	중앙부	-10.448	-2.0685	3.4117	12.067	5.9563	-2.8491	-7.4557	2.3731
	지점부	9.7233	3.0664	-3.5979	-8.8597	-5.3445	1.0372	5.7927	-0.8088
장변 방향	중앙부	-12.531	-3.6396	4.3724	14.944	6.8081	-2.9181	-9.1032	3.0418
	지점부	-2.7665	0.76569	4.2452	1.9764	0.35036	-3.8986	0.52999	-0.20491

표 7 등분포하중 $w=500\text{kg/m}^2$ 에 대한 슬래브 ㉕의 보정계수식

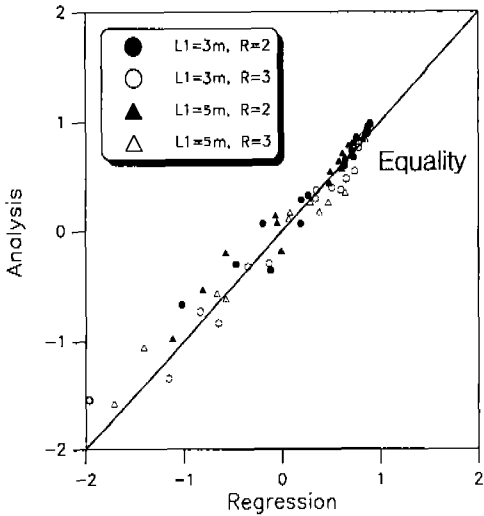
위 치		$F=aH_1+bH_2+cH_3+dH_1H_2+eH_1H_3+fH_2H_3+gH_1H_2H_3+h$							
		a	b	c	d	e	f	g	h
단변 방향	중앙부	-9.0652	-0.72125	0.021089	10.798	7.8003	-1.1618	-8.7784	2.0995
	지점부	-14.123	-1.8550	11.452	12.345	4.3981	-7.2229	-4.9010	0.92195
장변 방향	중앙부	-190.54	-29.143	48.011	213.25	123.98	-43.356	-145.10	23.557
	지점부	-36.951	-2.4795	11.403	39.344	23.501	-13.608	-24.182	3.9436

표 8 차량하중 $P=2.4\text{ton}$ 에 대한 슬래브 ㉕의 보정계수식

위 치		$F=aH_1+bH_2+cH_3+dH_1H_2+eH_1H_3+fH_2H_3+gH_1H_2H_3+h$							
		a	b	c	d	e	f	g	h
단변 방향	중앙부	-6.4849	-1.0027	1.8993	7.4414	3.9050	-1.7234	-4.7653	1.7301
	지점부	5.2203	0.85130	0.16179	-5.2933	-3.7154	0.04215	4.0480	-0.30047
장변 방향	중앙부	-9.7820	-2.2143	2.1061	10.823	6.2175	-1.3595	-7.4482	2.6444
	지점부	-2.1826	0.67513	1.3929	0.21025	1.2232	-1.4820	0.37507	0.78819



(a) 중앙부 정모멘트



(b) 지점부 부모멘트

그림 14 해석값과 회귀곡선값의 비교(슬래브 B 단 변방향 부재력)

라서 $H_1 = \alpha_1 / (\alpha_1 + 10) = 0.4248$, $H_2 = 0.2836$, $H_3 = 0.6302$ 이다. 이 값들을 표 3의 보정계수식에 대입하면 장변방향 중앙부 정모멘트는 4.57, 지점부 부모멘트는 3.04, 단변방향 중앙부 정모멘트는 1.29, 가로보와 접하는 상부 지점 부모멘트

부재력은 -0.56, 거더와 접하는 하부 부모멘트 부재력은 1.58 로 각각 계산된다. 이를 토대로 지지부 처짐을 고려한 슬래브 부재력을 산정하여 다른 방법과 비교하면 표 9와 같다.

지지부 강성에 따른 보정계수를 산정하면 단변방향 상단 지점부 부모멘트에 대한 값이 음수이므로, 실제 구조물은 지지부의 처짐에 의하여 설계 가정과는 달리 정모멘트 부재력이 발생된다. 본 연구에서 제시한 보정계수를 이용하여 지지부의 처짐을 고려한 설계 부재력은 장변방향 중앙부 정모멘트를 제외하고, 유한요소 해석값과 유사함을 알 수 있다. 장변방향 중앙부 정모멘트의 경우에는 실제 슬래브에 발생하는 부재력보다 표 1의 약산식을 이용하여 산정한 부재력이 두 배 가까이 크기 때문에 차이가 발생한 것으로 판단된다. 이 결과로부터 그림 15와 같은 지지부

표 9 슬래브 설계 부재력의 비교 해석방법

해석 방법	단변방향			장변방향	
	중앙부 정모멘트	지점부(상부) 부모멘트	지점부(하부) 부모멘트	중앙부 정모멘트	지점부 부모멘트
*약산식 (W)	+0.283	-0.425	-0.425	+0.147	-0.220
보정계수 (F)	1.29	-0.56	1.58	4.57	3.04
W×F	+0.365	+0.238	-0.672	+0.660	-0.668
FEM 해석	+0.320	+0.228	-0.729	+0.272	-0.624

* 표 1의 설계기준식 적용

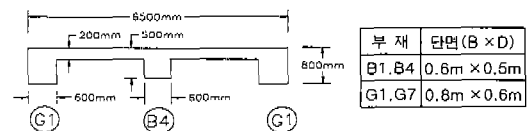
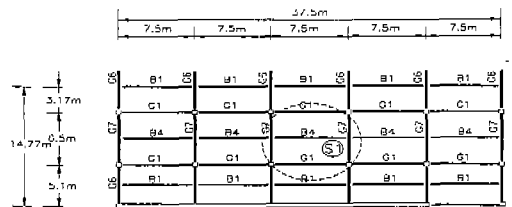


그림 15 보-거더 구조계 슬래브

를 갖는 단일 가로보 슬래브 S1은 가로보의 강성이 설계가정과는 달리 충분하지 않아서 실제 하중이 작용하게 되면 지지부가 되는 가로보와 거더에 처짐이 유발되어 장변방향 슬래브 부재력은 정, 부모멘트 부재력 모두 증가하며, 단변방향 부재력은 지점부 부모멘트 부재력이 증가할 뿐 아니라 가로보가 위치하는 지점에서 설계 가정과는 달리 정모멘트 부재력이 발생된다.

6. 결 론

본 연구에서는 건축 구조물에서 널리 사용되고 보-거더 구조계 슬래브의 설계에 지지부 처짐 영향을 분포하중이 작용하는 경우와 차량하중이 작용하는 경우에 대하여 각각 살펴보았다. 이를 위해 보-거더 구조계 가운데에 가로보가 한 개 존재하는 단일 가로보 슬래브와 가로보가 두 개 존재하는 이중 가로보 슬래브에 대하여 지지부가 되는 가로보와 거더 그리고 슬래브의 강성을 변화시키면서 유한요소해석을 수행하였으며, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 차량하중이 작용하는 경우에 비하여 등분포하중이 작용하는 경우에는 지지부 처짐 영향이 크게 나타난다.

(2) 일반적으로 지지부 처짐에 의하여 중앙부 정모멘트 부재력은 증가하고, 지점부 부모멘트는 감소한다.

(3) 그러나 거더에 비하여 가로보의 강성이 작은 경우에는 상대적인 처짐의 차이에 의한 이차 모멘트가 발생하여 거더에 접하는 지점에서 부모멘트 부재력이 크게 증가하며, 가로보가 접하는 지점에서는 설계 가정과 달리 경우에 따라 정모멘트 부재력이 발생된다.

(4) 지지부의 강성이 슬래브 강성에 비하여 현저하게 작은 경우에는 가로보를 포함한 전체 패널이 하나의 슬래브처럼 거동하여 정, 부모멘트 부재력 모두 크게 증가한다.

(5) 슬래브를 설계할 때 지점부 처짐의 영향이 효과적으로 고려될 수 있도록 보정계수가 분포하중이 작용하는 경우와 차량하중이 작용하는 경우에 대하여 각각 제시되었다.

참 고 문 헌

1. 곽효경, 송종영, "주차장 구조물의 보와 거더의 등가차량하중계수에 관한 연구", 전산구조공학회 논문집, 제10권, 제3호, pp. 203-216., 1997.
2. 건설교통부, 콘크리트 표준시방서, 건설교통부 제정, 1996.
3. 건설교통부, 건축물의 구조기준등에 관한 규칙, 건설부령 제505호, 1992.
4. ACI-318, Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI, 1995.
5. Borse, G. J., Numerical Methods with MATLAB, PWS Publishing Company, Boston, 1997.
6. Cope, R. J. and Clark, L. A., Concrete Slabs Analysis and Design, Elsevier, London, 1984.
7. Gamble, W. L., "Moments in Beam Supported Slabs", ACI, Vol. 69, No. 3, pp.149-157, 1972.
8. Hetenyi, M., Beams on Elastic Foundation, The University of Michigan Press, Michigan, 1976.
9. Muspratt, M. A., "Elastic Design of Slabs for Uniformly Distributed Loads", Computers & Structures, Vol. 2, No. 6, pp. 893-895, 1972.
10. Park, R. and Gamble, W. L., Reinforced Concrete Slabs, John Wiley & Sons, New York, 1980.
11. Szilard, R., Theory and Analysis of Plates, Prentice-Hall, New Jersey, 1974.
12. Wang, C. K. and Salmon, C. G., Reinforced Concrete Design, HaperCollins, New York, 1992.
13. Zienkiewicz, O. C., The Finite Element Method in Engineering Science, McGraw-Hill, London, 1971.

(접수일자 : 1997. 12. 1)