

주차장 구조물의 보와 거더의 등가차량 하중계수에 관한 연구

Equivalent Vehicle Load Factors for Girder and Beam of Parking Garage Structure

곽 호 경*
Kwak, Hyo-Gyoung

송 종 영**
Song, Jong-Young

요 지

본 논문에서는 실무에서 이동 집중하중에 대한 별도의 복잡한 구조해석을 수행하지 않고도 등분포하중에 대한 부재력으로부터 손쉽게 차량하중의 영향을 고려한 거더와 보 부재의 설계 부재력을 구할 수 있도록 등가차량하중계수를 제안하였다. 먼저 국내에서 생산되는 중, 소형 차량의 조사와 외국의 주차장 관련 설계규준의 비교, 검토를 통해 주차장 구조물의 한계 활하중인 총중량 2.4ton의 설계기준차량을 설정하였으며, 이를 토대로 설계 활하중인 등분포하중(500kg/m²)과 집중하중(P=2.4ton)에 대한 구조부재의 거동 특성을 분석하고 회귀분석을 통해 상호 관계식을 부재 길이의 함수로 구성하였다. 나아가 제안된 등가차량하중계수를 대표적인 보와 거더 부재에 적용시켜 그 효율성과 신뢰성을 검증하였다.

Abstract

The Equivalent vehicle load factors of Beams and Girders on parking garage structure are proposed in this study. Without taking the sophisticated numerical analysis for the concentrated wheel loads, the design member forces of beam and girder can be easily calculated only with those for the distributed load by using the constructed relationships between the equivalent vehicle load factor and the length of member. Besides, the standard vehicle with total weight of 2.4ton is designed based on the review of many foreign design codes for parking garage and the investigation of small to medium vehicles made in Korea. Finally the efficiency and the reliability of the proposed equivalent vehicle load factors are demonstrated through the application of the typical beam and girder.

Keywords : vehicle loads, uniform loads, design standard vehicle, equivalent vehicle load factor, girder, beam

1. 서 론

근자에 들어 자동차 수의 기하급수적인 증가로

인해 아파트 부속 주차장을 비롯하여 빌딩의 부속 주차장 및 독립된 지하 주차장 등 주차장 관련 구조물의 건설이 활발히 이루어지고 있으나

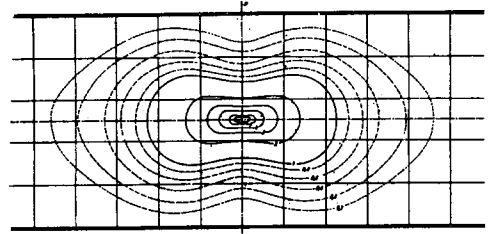
* 정회원·한국과학기술원 토목공학과, 조교수
** 정회원·한국과학기술원 토목공학과, 박사과정

* 이 논문에 대한 토론을 1997년 12월 31일까지 본 학회에 보내주시면 1998년 3월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

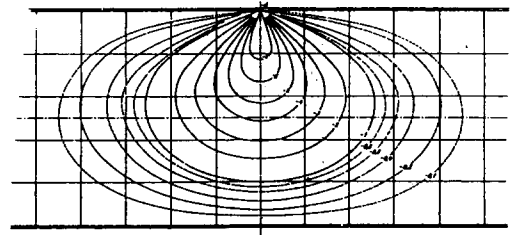
알려진 바와 같이 주차장 관련 구조물은 구조체의 균열을 포함한 상당히 많은 구조적 결함을 내포하고 있는 실정이다. 이와같은 주차장 관련 구조물의 하자요인은 작은 규격의 철근을 사용하는데 기인한 콘크리트 타설중의 상부철근 침하와 과적 작업차량의 빈번한 통행 등 시공상의 원인과 더불어, 설계단계에서 주차장 구조물에 작용하는 실제 하중인 차량하중의 특성을 반영하지 못한채 다른 일반 건축구조물과 동일하게 등분포하중에 대해서만 고려하는 설계상의 원인으로 나눌 수 있다. 특히 차량하중의 경우 전체 총중량은 슬래브 전면적에 걸쳐 작용하는 등분포하중(500kg/m^2)에 비해 그 크기는 작지만 상대적으로 좁은 면적(0.04m^2)의 차륜을 통해 구조물에 전달이 되므로 경우에 따라 등분포하중보다 큰 부재력을 유발시킨다. 또한 차량하중은 정적인 등분포하중과는 달리 차량의 속도, 구조물의 표면조도 및 구조물과 차량의 동적 특성치 등 여러 요인에 따라 그 크기가 변화하는 동적 거동특성을 나타낸다¹⁾.

나아가 슬래브 구조체의 경우는 영향면 상에서 단변 및 장변방향의 정, 부모멘트에 지배적으로 영향을 미치는 영역이 제한되어 있는 관계로 등분포하중보다는 집중하중의 영향이 지배적이므로 슬래브의 크기가 크지 않은 일반적인 구조물의 경우 활하중에 의한 설계부재력은 차륜(wheels)에 의한 집중하중이 좌우하게 된다(그림 1 참조).

그러나 보, 거더 구조부재의 경우는 항복선을 따라 형성된 슬래브 위에 작용하는 등분포하중이 부재에 전달된다고 가정하므로 부재의 길이가 길어질 경우 등분포하중이 활하중에 의한 설계부재력을 좌우하게 된다. 따라서 슬래브 부재의 경우는 집중하중에 의한 영향이 지배적인 반면 보, 거더 부재의 경우는 등분포하중에 의한 영향이 오히려 지배적으로 나타나는 등 구조부재의 거동이 서로 다르게 나타나는 경향이 있다. 그러므로 설계등분포하중($w=500\text{kg/m}^2$)만을 고려하여 설계하는 현재 주차장 구조물의 경우, 슬래브는 상대적으로 취약하게 설계되는 반면에 보, 거더 부재는 오히려 과다하게 설계되는 경우가 종종



(a) 단변방향 정모멘트



(b) 단변방향 부모멘트

그림 1 장방향 슬래브의 영향면

발생하는 등 전체적으로 주차장 구조물의 효과적이고 효율적인 설계가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 주차장 구조물의 주요부재인 보, 거더에서 등분포하중과 차량하중에 의한 영향을 비교, 분석하고 이를 바탕으로 현 설계 방법대로 구한 부재력으로 부터 차량하중의 영향을 고려한 설계 활하중 부재력을 손쉽게 산정할 수 있도록 하기 위하여 보, 거더 부재에 대한 등가 차량하중계수를 제안하였다.

2. 설계기준차량의 설정

교량을 주 대상 구조물로 하는 도로교 표준 시방서²⁾에서는 차량하중에 의한 활하중 설계부재력을 계산하기 위하여 교량의 등급에 따라 총중량, 축간거리, 윤거, 각 차륜의 하중 분담률 등 설계차량하중의 제원을 상세히 명시해 놓고 있다. 현재 국내 주차장 구조물의 경우도 바닥 평면을 계획³⁾하는 데 있어서는 현재 생산되고 있는 중, 소형 차량 한 대가 차지하는 면적($2.3\text{m} \times 5.0\text{m}$)을 기준으로 주행공간(roadway area)과

주차공간(parking ar- ea)을 설계하고 있다. 그러나 설계 활하중 부재력을 산정하는데 필요한, 주차장 구조물에 실제로 작용하는 차량하중을 대표하는 설계기준차량의 제원은 아직 설정되어 있지 않은 실정이다. 나아가 한계하중이 2.4ton 미만인 일반 중, 소형 차량을 전용으로 하는 주차장 구조물에 도로교 표준 시방서에서 명시하고 있는 트럭하중을 적용시키기에는 너무 과다하므로 주차장 구조물에서 차량하중 영향을 평가하기 위해서는 먼저 주차장 구조물에 타당한 차량하중 모형의 제원을 중, 소형 차량을 기준으로 설정할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 생산되는 승용차 및 소형 트럭의 조사를 통하여 (표 1참조) 주차장 구조물에 작용하는 차량하중을 대표하는 설계기준차량 모형을 표 2와 같이 설정하였다. 특히 표 1에 나타난 바와 같이 국내에서 생산되는 중, 소형 차량의 경우 차량의 무게와 차종의 차이에도 불구하고 집중하중의 고려시 가장 중요한 요소인 축거(L2)와 윤거(W)는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 본 연구에서 설정한 설계기준차량은 접지 면적이 0.04m²(0.2m×0.2m)인 차륜을 통하여 구조물에 전달되며 전륜과 후륜이 각각 1:2의 비율로 차량 총중량을 분담한다고 가정하였는데, 이는 각국의 설계기준 가운데 최소형 설계차량(총중량 3.0ton 기준)을 규정하고 있는 DIN 1072규준²⁾의 전륜과 후륜의 하중 분담률을 참고로 한 것이다. 또한 설계기준차량은 전폭(TW)과 전장(TL)에 의해 정의된 면적(그림 2참조)에 한 대의 차량이 위치하며 차량

이 인접할 때는 두 차량간 바퀴사이의 중심간 간격이 최소한 좌·우로 1.0m, 전·후로 2.5m를 각각 유지하며 재하된다고 설정하였다.

또한 차량하중은 이동하중인 관계로 정적인 등분포하중과 달리 차량의 속도, 구조물의 표면조도 등에 따라 구조물에 미치는 영향이 다르게 나타난다. 일반적으로 교량 구조물에서는 동적인 차량하중에 의한 구조부재의 응력 증가를 정적인

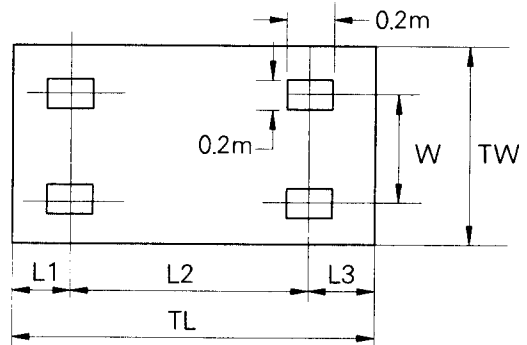


그림 2 설계기준차량의 제원

표 2 설계기준차량

총중량	2.4 ton
전폭(TW)	2.5m
전장(TL)	5.0m
윤거(W)	1.5m
축거(L2)	2.5m
후륜 하중	0.8 ton
전륜 하중	0.4 ton

표 1 국내 차량 제원

(단위 : mm, kg)

제원 \ 차종	그랜저 3.0	소나타	콩코드	프라이드	누비라	봉고 2.7
전장(TL)	4,865	4,578	4,550	3,565	4,470	4,600
전폭(TW)	1,725	1,756	1,705	1,605	1,700	1,690
오버행전(L1)	1,015	858	975	680	-	-
오버행후(L3)	1,115	1,141	1,055	590	-	-
축거(L2)	2,735	2,579	2,520	2,295	2,570	-
윤거전(W1)	1,455	1,455	1,440	1,405	1,466	1,450
윤거후(W2)	1,405	1,425	1,430	1,385	1,450	1,305
차량중량(WG)	1,540	1,255	1,180	750	1,105	1,410

응답과 동적인 응답의 비로 정의되는 충격계수를 통해 작용하는 활하중을 정량적으로 키워줌으로써 고려하는데, 이 때 충격계수는 식 (1)에 나타난 바와 같이 대부분 일방향 슬래브 교량을 기준으로 설정된 지간 길이의 함수로 표현하고 있다⁵⁾. 그러나 주차장 내에 존재하는 거더나 보는 그 지간 길이가 대부분 8m 이내로써 식 (1)에 의하면 0.3의 상한값을 갖게된다. 또한 주차장 구조물은 대상으로 하는 차량의 크기는 물론 슬래브의 두께를 포함한 구조부재의 강성과 평면 구성 등 동적인 거동을 지배하고 있는 영향인자가 교량 구조물과 크게 다르므로 식 (1)에 의해 제시된 식을 직접 적용하는 데에는 한계가 있다.

따라서 충격에 의한 영향을 보다 정확히 고려하기 위해서는 주차장 구조물의 동특성 실험 및 주행 실험 등이 폭 넓게 수행되어야 할 것으로 판단되며 동하중의 영향을 보다 정확히 고려하기 위하여 이론적 연구와 병행하여 일부 실험적 연구⁴⁾가 수행되었으나 제한된 실험결과인 관계로 이를 직접 반영하지 않았다(그림 3 참조). 따라서 본 연구에서는 차량하중의 동적인 영향을 일차적으로 충격계수식 (1)의 최대값인 0.3을 차량 총중량에 곱하여 줌으로써 고려하였으며 추후 충분한 실험적 연구와 이론적 연구를 통해 주차장 구조물에서의 합리적인 충격계수가 산출된 경우 이를 보정 할 수 있도록 도모하였다.

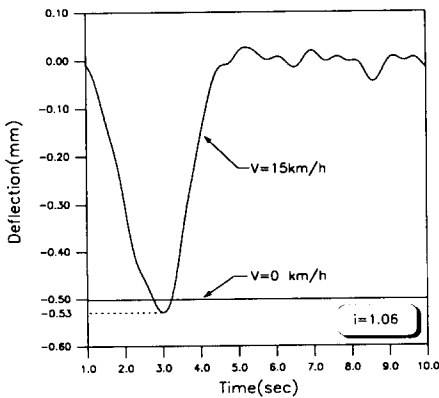


그림 3 차량하중에 의한 주차장 구조부재 보의 중앙점 변위예⁴⁾

$$I = 15.24 / (L + 38.1) \leq 0.3 \quad (1)$$

여기서 L 은 영향선 상의 지간길이(m)를 의미한다.

3. 거더의 부재력 산정

3.1 등분포하중에 의한 부재력

현 설계방법에 의한 거더의 부재력은 그림 4에 나타난 바와 같이 거더를 포함한 슬래브가 극한 하중을 받아 항복을 할 때 이루어지는 항복선의 형상을 근거로 하고 있다. 즉 기둥 중심에서 양쪽 거더에 45도 각도로 슬래브 중심으로 향하는 선을 그려서 두 선이 만나는 점을 중심으로 형성된 빗금친 면적 내에 작용하는 분포하중을 슬래브에 위치한 거더 G1이 분담하는 설계 활하중으로 간주한다. 통상적으로 기둥의 강성은 거더의 강성에 비해 매우 크기 때문에 거더의 양지점을 고정단이라 가정할 수 있으며 등분포하중이 작용할 경우 거더의 활하중 설계 부재력인 최대 정모멘트와 최대 부모멘트가 동시에 발생하게 된다(그림 5참조). 나아가 그림 5의 최대 부재력을 표현한 식에서 볼 수 있듯이 현 설계기준 적재하중 500kg/m^2 이 작용할 때 거더에 발생하는 부재력은 슬래브 길이의 삼차함수($L1 \times L2^2$)로 표현되며 거더에 발생하는 정모멘트와 부모멘트 최대 부재력의 비는 3 : 5로써 항상 일정한 비율을 유지하게 된다.

3.2 차륜하중에 의한 부재력

정모멘트와 부모멘트의 최대 부재력이 항상 동시에 발생하는 등분포하중과는 달리 차량하중은

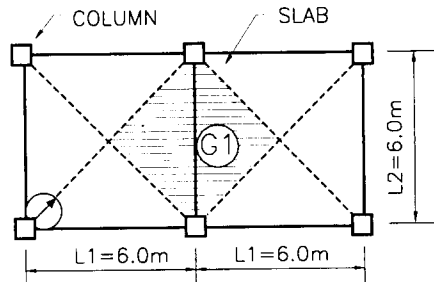


그림 4 거더에 작용하는 하중

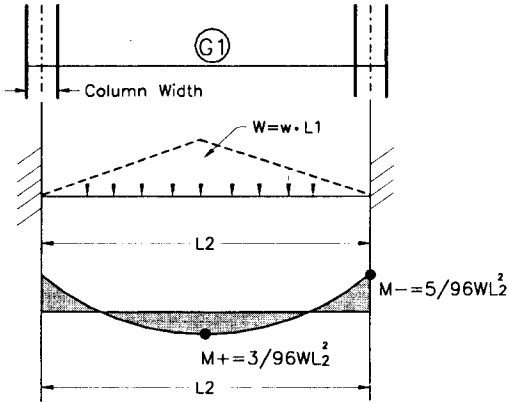
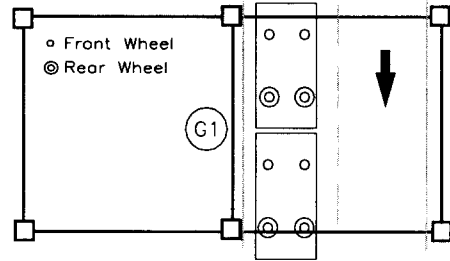


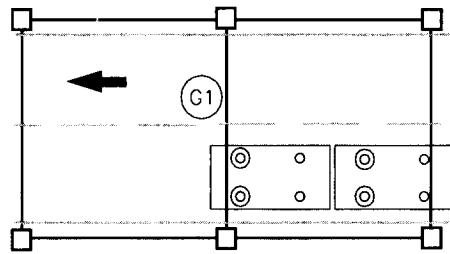
그림 5 거더에 작용하는 하중과 부재력

이동하중이므로 먼저 최대 부재력을 일으키는 차량하중의 위치를 결정해야 하는데, 일반적으로 단위하중의 작용으로 발생하는 부재력의 종거를 그림으로 나타내 주는 영향선(influence line)을 사용하게 된다. 또한 주차장 구조물은 일반 구조물과는 달리 설계 대상 부재가 차로부(roadway)에 위치하는가(그림 6(a), (b)) 또는 차고부(parking area)에 위치하는가(그림 6(c), (d))에 따라서, 차량 이동방향과 부재가 교차(crossing)하는가 또는 평행(parallel)하게 만나는가에 따라서 고려 대상 거더에 미치는 차량하중의 영향이 각각 다르게 나타나게 된다. 이는 차량하중을 대표하는 설계기준차량의 전륜과 후륜의 하중분담률이 1 : 2로 다르게 설정된 관계로 차량의 배치상황에 따라 차량하중에 의한 부재력이 서로 달라지기 때문이다. 이와같은 사실로부터 본 연구에서는 차량하중에 의한 거더의 활하중 부재력을 계산하기 위하여 그림 6과 같이 네가지 차량하중 재하조건을 설정하였다.

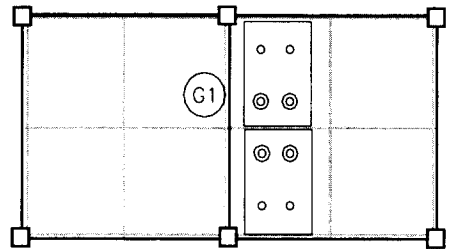
결정된 네가지 경우의 차량하중 재하조건을 토대로 차량하중에 의한 거더의 부재력을 산정하게 되는데, 그림 6에서 볼 수 있듯이 각각의 경우에 차량하중이 고려 대상 거더(G1)와 평행하게 작용하는 경우는 거더 위에 차량하중이 직접 작용하지는 않으며(그림 6(a), (c)참조), 고려 대상 거더와 차량하중이 교차하는 경우는 작용하는 차량이 한 대 이상이 되는 것은 물론(그림 6(b),



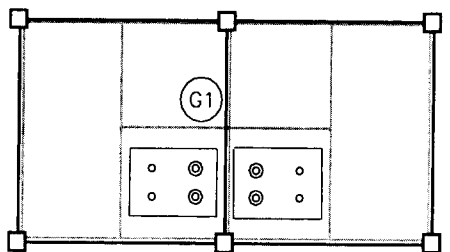
(a)차로부 평행 (roadway : parallel)



(b)차로부 교차(roadway : crossing)



(c)차고부 평행(parking area : parallel)

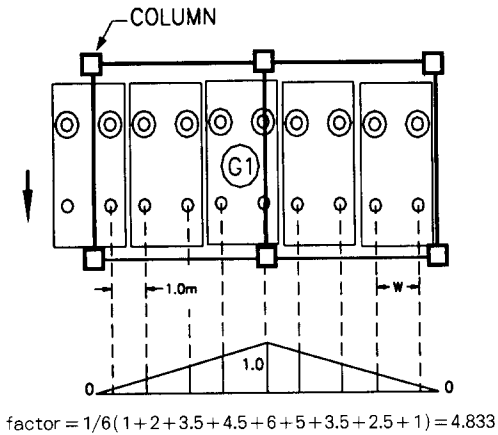


(d)차고부 교차(parking area : crossing)

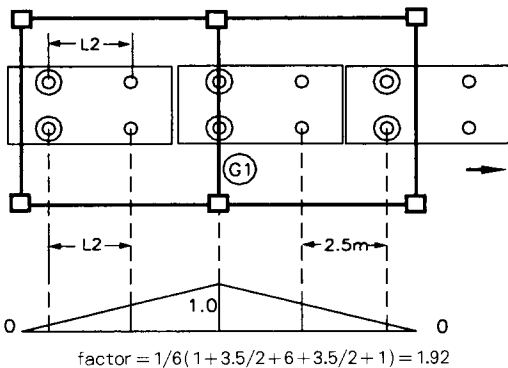
그림 6 거더에서 차량하중 재하조건

(d)참조), 차량하중의 특성상 작용하중은 좌, 우 또는 상, 하로 움직이게 된다. 따라서 고려되는

거더 부재(G1)의 최대 부재력을 산출하기 위해서는 먼저 거더(G1)를 포함하는 슬래브 위에 설계기준차량을 재하시켜서 거더와 수직인 방향으로 차량하중이 거더 반력에 미치는 영향계수(factor)를 구한 후(그림 7참조), 영향계수가 곱해진 차량하중이 작용하는 고정된 보에 대한 구조해석을 수행하여 거더의 정모멘트 부재력과 부모멘트 부재력을 각각 계산하게 된다. 인접한 곳에 위치한 차륜하중의 영향을 고려하는 방법으로는 격자해석법(Grillage method), 관용계산법(1-0 method), Guyon-Massonnet 방법 및 유한요소해석법 등 다양한 하중의 횡분배 방법이 있으며



(a) 평행(parallel)한 경우



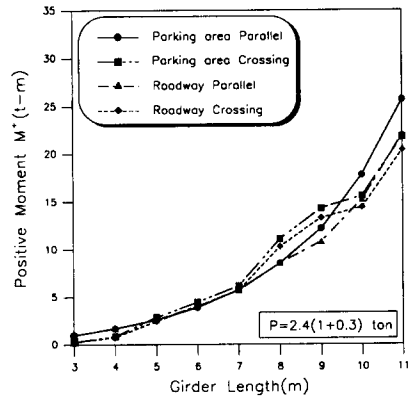
(b) 교차(crossing)하는 경우

○ Front wheel ⊙ Rear wheel

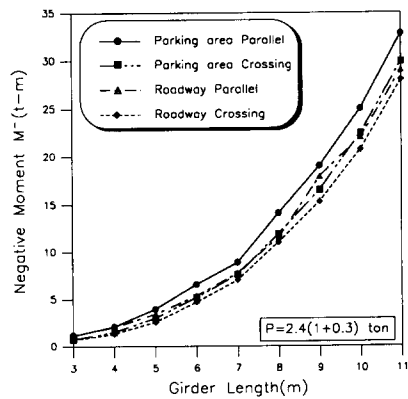
그림 7 차로부(roadway area)에서 부재력의 산정

본 연구에서는 계산의 편의성과 다양한 하중의 경우에 효과적으로 대처하기 위하여 다소 안전측으로 고려되는 경향이 있기는 하나 널리 사용되고 있는 관용계산법에 따라 고려대상 부재(G1)의 영향계수를 산정하였다.

네가지 차량하중 재하조건에 대해 설계기준차량에 의한 거더의 활하중 부재력을 계산하면 그림 8과 같이 나타나는데 이 그림에서 알 수 있듯이 차량하중이 작용하는 네가지 재하조건 가운데 차고부(parking area)에서 차량과 거더가 평행(parallel)인 경우(그림 6(c)참조)에서 정모멘트 부재력과 부모멘트 부재력 모두 가장 큰 부재력이 유발되므로 이 경우의 재하조건이 거더의 설



(a) 정모멘트 부재력



(b) 부모멘트 부재력

그림 8 차량에 의한 거더의 활하중 부재력

계 활하중 부재력을 지배함을 알 수 있다. 나아가 차량하중 총중량의 2/3을 분담하는 후륜이 연이어 작용할 수 있는 차고부(parking area)의 부재력이 차로부(roadway)보다 더 크며 거더와 차량의 위치가 평행(parallel)인 경우가 교차(crossing)하는 경우보다 더 큰 부재력이 발생함을 알 수 있다.

4. 중간 보의 부재력 산정

4.1 등분포하중에 의한 부재력

거더의 경우와 마찬가지로 거더와 거더 사이에 위치하는 중간 보가 분담하는 활하중 부재력은 거더와 보가 만나는 점을 중심으로 그림 9와 같은 사다리꼴 면적 위에 작용하는 분포하중으로 간주하며 설계는 그림 10과 같이 거더를 지점으로 하는 연속 보로 간주하여 이루어진다.

본 연구에서는 슬래브의 단변 길이($L1$)를 2m에서 5m까지 변화시키고 각각 보 길이($L2$)는 $L1$ 에서 $3L1$ 까지 변화시키면서 현 설계기준에 따라 등분포하중 500kg/m^2 을 작용시켜 슬래브에 위치한 보의 부재력을 계산하였으며 참고로 중앙부의 계산된 부재력은 다음 그림 11과 같이 나타난다.

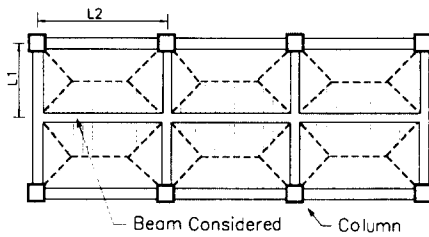


그림 9 중간 보가 분담하는 하중

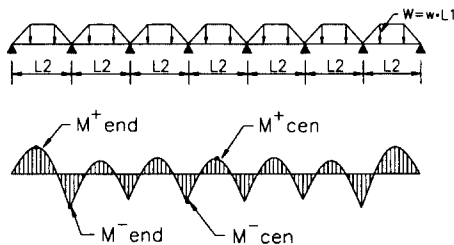
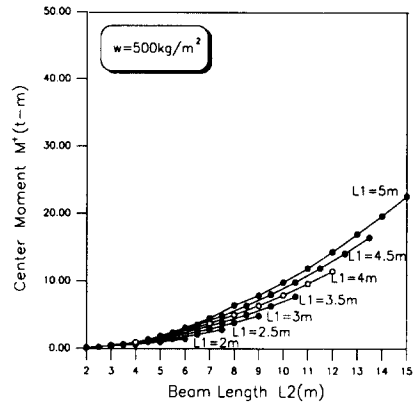
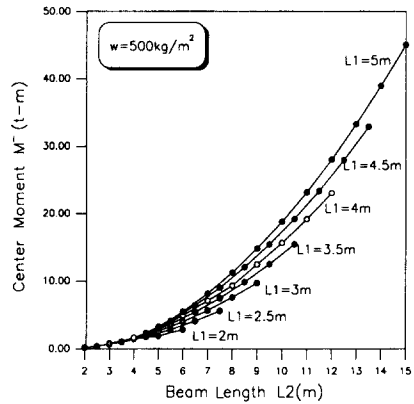


그림 10 7경간 연속보



(a)정모멘트



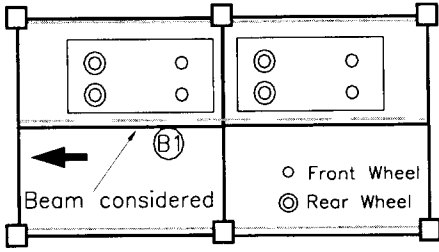
(b)부모멘트

그림 11 중간 보의 부재력

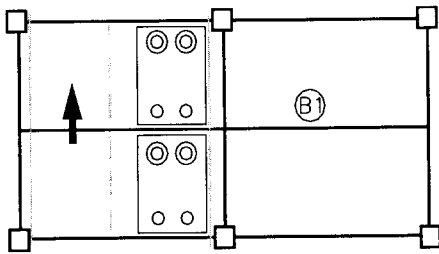
발생한 부재력을 살펴보면 동일한 보 길이($L2$)에 대해 슬래브 단변길이($L1$)가 커질수록 보에 작용하는 분포하중도 커지므로 부재력이 증가하지만 그 차이는 크지 않음을 알 수 있다.

4.2 차륜하중에 의한 부재력

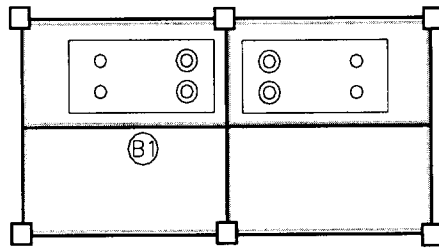
설계기준차량의 적용은 거더부재와 동일한 방법으로 주차장 구조물의 중간 보 부재에 대해 차로부(roadway)에서 차량과 부재가 평행(parallel)하게 만나는가, 교차(crossing)하는가 또한 차고부(parking area)에서 차량과 부재가 평행(parallel)하게 만나는가, 교차(crossing)하는가에 따라 그림 12와 같이 네가지 차량하중 재하조



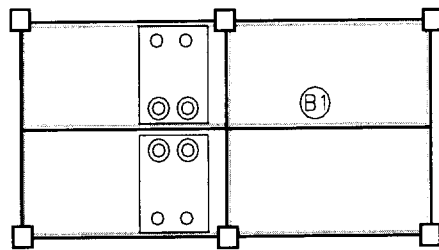
(a)차로부 평행 (roadway : parallel)



(b)차로부 교차 (roadway : crossing)



(c)차고부 평행 (parking area : parallel)



(d)차고부 교차 (parking area : crossing)

그림 12 중간 보에서 차량하중의 네가지 재하조건

건으로 설정하였다.

앞에서 설정된 네가지 차량하중 재하조건에 따

라 중간 보 부재의 설계 활하중 부재력을 계산하는 방법은 거더의 경우와 동일하다.

먼저 차로부(roadway)에서 차량과 보가 평행(parallel)한 경우를 살펴보면 기둥사이에 위치한 횡방향(A-A) 거더의 반력에 대한 영향선을 이용하여 재하된 차량하중의 영향계수를 산정한다. 나아가 이를 횡방향(A-A) 차륜을 대표하는 차량하중(그림 13의 P^{EQ})에 곱하여 좁으므로써 횡방향으로 작용하는 차륜의 효과를 하나의 차륜으로 나타낸다. 또한 계산된 등가의 차륜하중을 축거(L2)와 차간거리(2.5m)를 유지하면서 종방향으로 작용시켜 7경간 중간 보에서 발생하는 부재

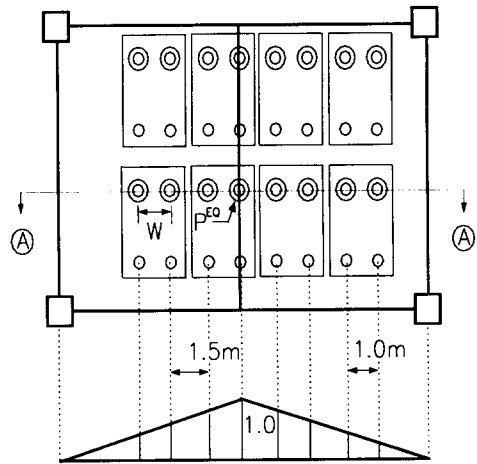


그림 13 평행(Parallel)한 경우

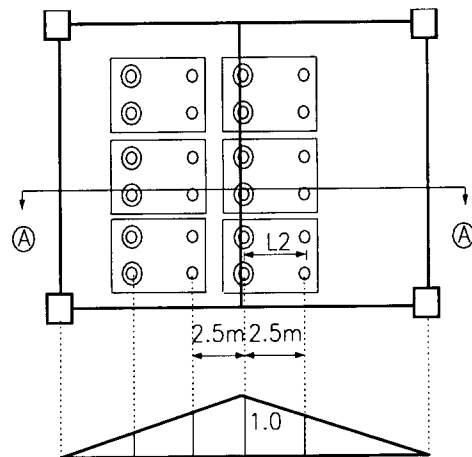


그림 14 교차(Crossing)하는 경우

력을 산정한다. 이 때 상대적으로 강성이 큰 기둥을 지점으로 하는 거더와는 달리 보 부재는 기둥과 기둥 사이에 위치한 상대적으로 강성이 크지 않은 거더 위에 단순지지 되었다고 가정하고 부재력을 구하게 된다. 참고로 그림 15의 지간 길이가 5m인 7경간 연속 보의 중앙부 정모멘트와 부모멘트에 대한 영향선을 살펴보면 정모멘트는 중앙 지간에 작용하는 차량하중에 의한 영향이 가장 크며 인접한 지간에 작용하는 차량하중은 오히려 정모멘트를 감소시키는 효과(relieving effect)를 나타냄을 알 수 있다. 마찬가지로 부모멘트의 경우는 중앙부 두 지간에 작용하는 차량하중이 가장 큰 영향을 미치며 인접한 두 지간에 작용하는 차량하중은 부모멘트를 감소시키는 효과(relieving effect)를 나타낸다. 이와같이 거더 위에 지지된 보 부재는 작용하는 하중의 전달에 의해 부재력을 증가시키는 효과(adversing effect)와 감소시키는 효과(relieving effect)를 나타내는데 이러한 영향을 고려하여 활하중을 재하시키는 것을 pattern loading이라 한다.

주차장 구조물은 평면계획상 차로부와 차고부가 반복되는 관계로 이러한 pattern loading의 영향을 받는 대표적인 구조물이다. 본 연구에서는 강성이 큰 기둥의 영향으로 pattern loading 효과가 나타나지 않는 거더와 달리 7경간 중간 보에서는 pattern

loading을 고려하여 각 경우의 부재력을 산정하였다.

이와같이 네가지 차량하중 재하조건인 차로부 교차(roadway : crossing), 차로부 평행(roadway : parallel), 차고부 교차(parking area : crossing), 차고부 평행(parking area : parallel)에 대해 계산된 부재력은 그림 16과 같이 나타나는데 거더의 경우와 마찬가지로 차량하중의 2/3를 부담하는 후륜이 연이어 위치하게 되는 차고부(parking area)가 차로부(roadway)보다 항상 더 큰 부재력이 발생함을 알 수 있다. 나아가 차고부인 경우의 부재력을 살펴보면 보의 길이가 작을 때는 차량 방향과 보가 평행(parallel)인 경우가 지배적이지만 보의 길이가 길어질수록 교차

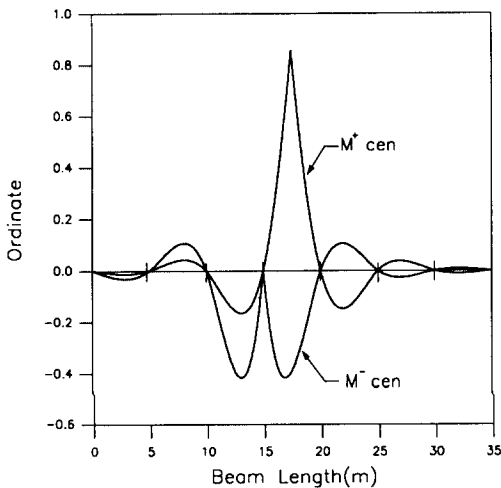
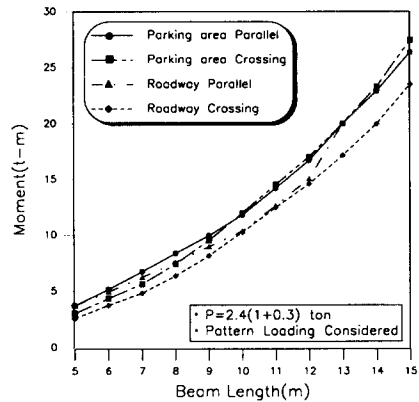
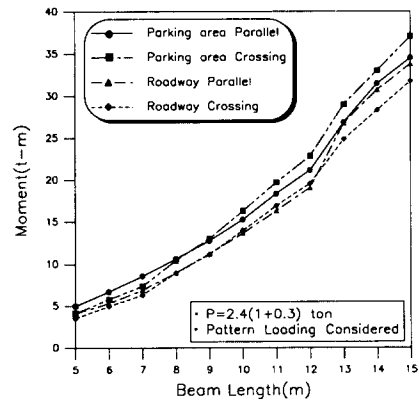


그림 15 7경간 연속보의 중앙부 영향선



(a)정모멘트



(b)부모멘트

그림 16 네가지 재하조건일 때 중앙부 부재력

(crossing)하는 경우가 더 지배적인 하중조건이 됨을 알 수 있다. 따라서 중간 보의 설계 활하중 부재력을 구하기위해 차량하중 재하조건을 고려할 때는 차고부인 경우(parking area)에 대해서만 고려하게 된다.

5. 등가차량하중계수의 결정

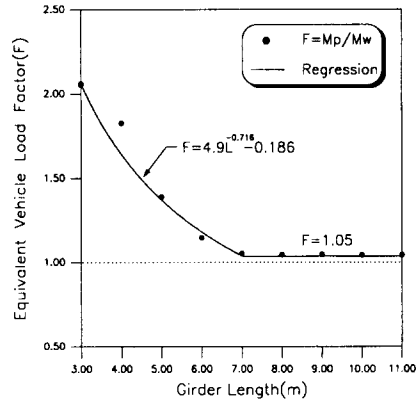
5.1 거더의 등가차량하중계수

앞 절에서 거더에 차량하중을 적용시키는 네가지 재하조건 중에서 차고부 평행(parking area : parallel)일 때가 가장 지배적인 하중조건임을 살펴보았다. 따라서 본 절에서는 이 경우를 기준으로 하여 거더 부재에서 차량하중의 영향을 고려하는 등가차량하중계수(equivalent vehicle load factor)를 산정하였다. 등가차량하중계수란 식(2)와 같이 현 설계등분포하중 500kg/m^2 이 작용할 때의 부재력에 대한 충격을 고려한 $2.4(1+0.3)\text{ton}$ 설계기준차량하중이 작용할 때의 부재력 비를 의미하는 것으로 현 설계방법대로 등분포하중에 의해 산정된 부재력에 등가차량하중계수를 곱해주면 차량하중에 대한 복잡한 구조해석을 따로 수행하지 않고도 효과적으로 차량하중의 영향을 고려한 설계 활하중 부재력을 구할 수 있다. 등가차량하중계수가 1이면 등분포하중만을 고려하는 현 설계방법에 의해 산정된 부재력과 차량하중이 작용할 때의 부재력이 같다는 것을 의미하며 1보다 큰 경우에는 차량하중이 작용하는 경우에 더 큰 부재력이 발생함을 의미하므로 설계 등분포하중의 적용에 의해 계산된 부재력에 등가차량하중계수를 곱하여 설계 활하중 부재력을 결정해야 한다.

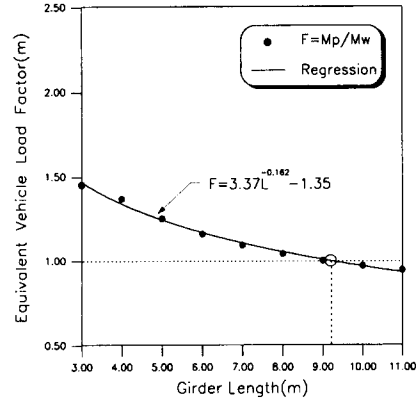
$$F = \frac{M_p}{M_w} \quad (2)$$

여기서 F 는 등가차량하중계수를, M_p 는 설계 기준차량이 작용할 때의 부재력을, M_w 는 현 설계규준과 설계방법에 의한 등분포하중 500kg/m^2 이 작용할 때의 부재력을 각각 말한다.

앞에서 계산된 부재의 길이변화에 따른 활하중 모멘트를 토대로 식(2)에 의한 등가차량하중계수를 각각 산정한 후(그림 17의 산점도) 회귀분석을 수행하여 정모멘트와 부모멘트에 대한 등가차량하중계수를 표 3과 같이 부재 길이의 함수식으로 나타내었다. 제시된 관계식과 등가차량하중계수와의 적합성을 알아보기 위하여 각각 상관계



(a) 정모멘트



(b) 부모멘트

그림 17 거더의 등가차량하중계수

표 3 거더의 등가차량하중계수

CASE	$F = aL^b + c$	r^2
정모멘트 부재력	$4.9L^{-0.716} - 0.186$	0.94
부모멘트 부재력	$3.37L^{-0.162} - 1.35$	0.99

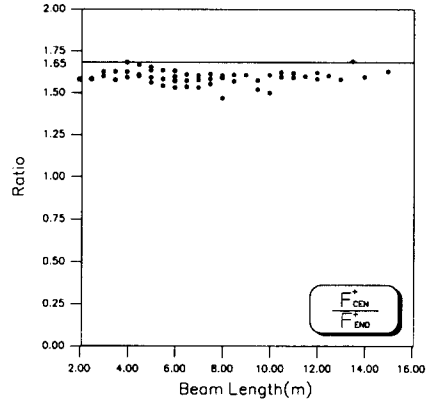
수(r^2)를 구하여 본 결과 모두 신뢰할 만한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 차량하중은 차륜에 의한 집중하중 영향으로 부재 길이가 짧을수록 등분포하중보다 더 큰 부재력을 유발시키지만 부재 길이가 길어질수록 그 영향이 감소하여 1보다 작은 등가차량하중계수를 갖게 된다(그림 17 (b)참조).

그림 17에서 보듯이 정모멘트의 경우에는 항상 1보다 큰 등가차량하중계수를 갖으며 부모멘트는 거더 길이가 9m보다 작은 경우에 1보다 큰 값을 가지므로 거더의 길이가 9m보다 작은 거더를 현 설계방법대로 등분포하중에 대해서 설계하면 정, 부모멘트 모두 취약한 단면을 갖게 됨을 알 수 있다. 그러나 앞서서도 언급한 바와 같이 본 연구에서는 0.3의 충격계수값이 사용되었으므로, 실제의 동하중 영향($i=0.1$ 내외)을 고려하면 등분포하중이 지배하는 지간 길이는 6.0m미만이 될 것으로 판단된다.

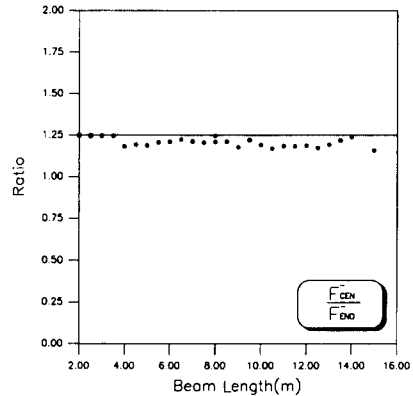
5.2 중간 보의 등가차량하중계수

주차장 구조물의 보 부재에서는 차고부 재하조건이 가장 지배적인 차량하중 재하조건이므로(그림 16참조) 이 경우에 대해서 거더부재와 마찬가지로 방법으로 중앙부(center)와 단부(end)에서 등가차량하중계수(F)를 각각 산정하였다. 특히 7경간 연속 보 부재의 중앙부와 단부에서 등가차량하중계수의 비율(F_{CEN}/F_{END})을 비교해 보면 정모멘트의 경우는 그림 18과 같이 중앙부의 등가차량하중계수(F_{CEN})가 단부의 등가차량하중계수(F_{END})보다 약 1.65배 큼을 알 수 있고 부모멘트는 약 1.25배 큼을 알 수 있다. 등가차량하중계수의 비(F_{CEN}/F_{END})가 정모멘트와 부모멘트에 대해 일정하게 나타나는 이유는 등분포하중이 작용할 때 정모멘트의 경우는 2배, 부모멘트의 경우는 1.3배 정도 단부 부재력이 중앙부 보다 크게 나타나듯이 집중하중이 작용하는 경우에도 단부와 중앙부 부재력의 정, 부모멘트 비가 일정하므로 두 경우의 비율을 바탕으로 계산된 등가차량하중계수 역시 일정한 값을 갖게 되기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 등가차량하중계수식을



(a) 정모멘트

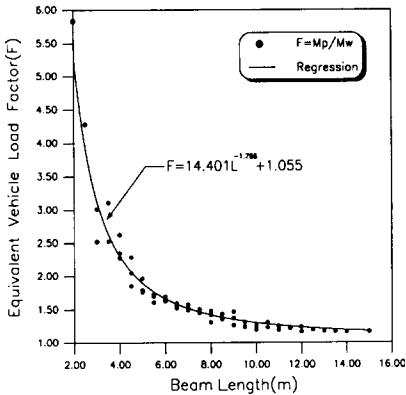


(b) 부모멘트

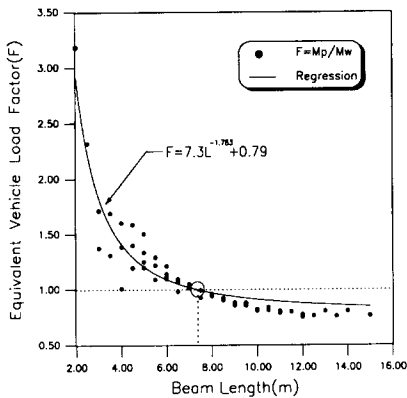
그림 18 중앙부와 단부의 등가차량하중계수(F)비

중앙부에 대해서만 제시하였으며, 단부의 등가차량하중계수는 계산된 중앙부 값을 정모멘트인 경우는 1.65배, 부모멘트인 경우는 1.25배 줄여서 사용하도록 하였다.

회귀분석을 통하여 보의 길이(L2; 그림 9참조) 함수로 나타낸 등가차량하중계수를 살펴보면(그림 19 참조) 정모멘트에 대한 등가차량하중계수는 항상 1보다 큰 반면에 부모멘트에 대한 등가차량하중계수는 보의 길이가 7.5m보다 길어지면 1보다 작은 값을 갖음을 알 수 있다. 또한 그림에서 나타나듯이 슬래브의 단면 길이(L1; 그림 9참조)는 등가차량하중계수에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 살



(a) 중앙부 정모멘트



(b) 중앙부 부모멘트

그림 19 보의 중앙부 등가차량하중계수

퍼본 중간 보가 위치하는 슬래브는 단변 대 장변의 비(L1 : L2, 그림 9참조)가 1 : 1에서 1 : 3 사이의 값을 갖는 양방향 슬래브로써 슬래브 위에 작용하는 설계 등분포하중은 주로 강성이 큰 중간 보를 포함하는 단변방향으로 전달이 되는 반면 차량하중의 경우에는 등분포하중과 달리 차량하중의 총중량이 차륜을 통해 직접 중간 보에 작용하므로 슬래브의 단변(L1)방향에 대한 영향이 상대적으로 작아지기 때문이다.

6. 예제해석

본 연구에서 제안한 등가차량하중계수를 5m×5m

표 4 보의 등가하중하중계수식

(단위 : L(m))

CASE	$F=aL^b+c$	r^2
중앙부 정모멘트	$14.4L^{-1.766}+1.055$	0.97
중앙부 부모멘트	$7.30L^{-1.783}-0.79$	0.91
단부 정모멘트	$\frac{1}{1.65}(14.4L^{-1.766}+1.055)$	—
단부 부모멘트	$\frac{1}{1.25}(7.30L^{-1.783}-0.79)$	—

정방향 슬래브에 위치한 거더(그림 4참조)와 4m×8m 장방향 슬래브에 위치한 중간 보(그림 9참조)에 대해 적용시켜 그 타당성을 검증하여 보았다. 먼저 등분포하중 $w=500\text{kg/m}^2$ 이 작용할 때 거더에 발생하는 부재력은 그림 5에 나타난 식에 의해 $M^+=1.953\text{ton-m}$, $M^-=3.255\text{ton-m}$ 로 각각 계산된다. 또한 거더에 차량하중 $P=2.4(1+0.3)\text{ton}$ 이 작용할 때 가장 지배적인 하중조건은 차고부에서 차량과 부재가 평행할 때(parking area : parallel)이므로(그림 8참조) 이 경우에 대하여 거더의 부재력을 산정하려면 먼저 슬래브 위에 재하 가능한 모든 차량을 재하시킨 뒤, 그림 20에서와 같이 관용계산법을 이용하여 거더의 종방향의 영향계수(factor)를 구하게 되는데 본 예제의 경우 그 값은 그림에서 나타나듯이 4.0이 된다.

횡방향으로는 대상 거더가 상대적으로 강성이 큰 기둥에 고정 지지되어 있으므로 고정단 보에 대한 중앙부와 지점부의 영향선을 이용하여 차량하중의 축거(L2)와 바퀴사이의 간격을 유지하면서 거더와 평행하게 작용할 때 발생하는 부재력을 산정한다.

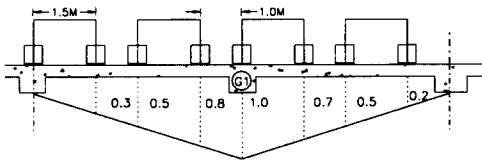
이러한 과정을 거쳐 산정된 차량하중에 의한 부재력은 각각 $M^+=2.6\text{ton-m}$, $M^-=3.952\text{ton-m}$ 로 계산된다. 따라서 본 연구에서 제시한 거더 부재에 대한 등가차량하중계수(F)를 현 설계방법대로 등분포하중을 작용시켜 구한 부재력(W)에 곱하여 차량하중이 작용할 때 발생하는 부재력(P)과 비교하여 표 5에 나타내었다. 표에서 나타나듯이 제시한 등가차량하중계수가 효과적으로 차량하중의 영향을 고려할 수 있음을 알 수 있다.

한편 현 설계방법에 따라 등분포하중 500kg/m^2

표 5 거더의 부재력 비교

(단위 : t-m))

CASE	부재력	
	정모멘트	부모멘트
W	1.953	3.255
P	2.60	3.952
W×F	2.73	4.06



factor = (0.3 + 0.5 + 0.8 + 1.0 + 0.7 + 0.5 + 0.2) = 4.0

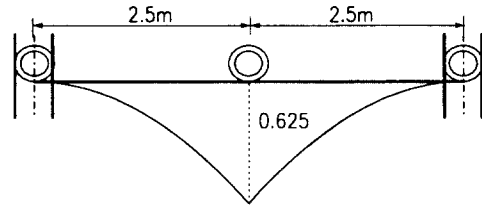
그림 20 거더 반력에 대한 영향계수

이 작용할 때 거더 위에 단순지지된 7경간 중간 보가 분담하는 하중(그림 9참조)을 산정하고 연속보에 대한 구조해석을 수행하면 활하중에 의한 중앙부 부재력은 $M^+_{CEN} = 5.024\text{ton-m}$, $M^-_{CEN} = 9.626\text{ton-m}$ 로, 단부 부재력은 $M^+_{end} = 9.238\text{ton-m}$, $M^-_{end} = 11.977\text{ton-m}$ 로 각각 계산된다. 나아가 중간 보에 차량하중이 작용할 때 가장 지배적인 하중조건은 차고부(parking area)이므로 이 경우 그림 14와 같은 7경간 연속 보의 영향선을 이용한 구조해석을 통해 활하중에 대한 설계 부재력을 구하면 중앙부 부재력은 $M^+_{CEN} = 7.110\text{ton-m}$, $M^-_{CEN} = 9.327\text{ton-m}$ 로, 단부 부재력은 $M^+_{end} = 7.899\text{ton-m}$, $M^-_{end} = 9.822\text{ton-m}$ 로 각각 계산된다. 따라서 주차장 구조물의 중간 보 부재에 대해 제시한 등가차량하중계수(F; 그림 18참조)를 현 설계방법대로 등분포하중을 작용시켜 구한 부재력

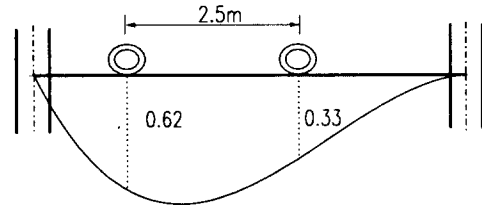
표 6 중간 보의 부재력 비교

(단위 : t-m))

CASE	중앙부		단부	
	정모멘트	부모멘트	정모멘트	부모멘트
W	5.024	9.626	9.238	11.977
P	7.110	9.327	7.899	9.822
W×F	7.130	9.340	7.940	9.300



(a) 정모멘트



(b) 부모멘트

그림 21 거더 부재력에 대한 영향선

(W)에 곱하여 차량하중을 고려한 부재력(P)과 비교한 결과 활하중에 의한 설계 부재력을 효과적으로 나타내고 있음을 알 수 있다.

7. 결론

지금까지 주차장 구조물은 작용하는 하중이 차량 하중임에도 불구하고 전용 시방서가 존재하지 않아 일반 구조물과 동일하게 규정된 등분포하중에 대해서만 설계, 시공되어 왔다. 그러나 차량하중은 등분포하중에 비해 전체 크기는 작을지라도 좁은 면적의 차륜을 통해 구조물에 전달되므로 부분적으로 등분포하중보다 큰 부재력을 유발시켜 등분포하중에 대해서만 설계된 구조부재는 상대적으로 취약한 단면을 갖게 된다. 본 연구에서는 유한요소해석을 통하여 주차장 구조부재 가운데 거더와 중간 보에 미치는 차량하중의 영향을 비교, 분석하였으며 이를 바탕으로 회귀분석을 통하여 차량하중의 영향을 고려할 수 있는 등가차량하중계수를 구조부재 길이의 함수로 제안하였다. 제안된 등가차량하중계수 관계식의 사용을 통해 차량하중에 대한 복잡한 구조해석을 별도로 수행하지 않고 차량하중이 작용할 때 발생하는 설계 활하중 부재력을 현 설계방법에

의해 계산된 부재력으로부터 효과적으로 산정할 수 있도록 도모하였다. 그러나 본 연구에서 채택한 설계기준차량은 국내에서 생산되는 중, 소형 차량의 조사와 DIN 1072 규준을 근간으로 하여 설정되었으므로 보다 합리적인 주차장 구조물의 설계가 이루어지기 위해서는 설계기준차량의 제원을 포함한 주차장 구조물에 대한 전용 시방서의 제정이 시급한 실정이다. 나아가 활하중 크기에 영향을 미치는 주차장 구조물의 동특성 거동 분석에 대한 실험적, 이론적 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김경호, "주차장 계획과 설계", 건축문화, 1994.
2. 건설부령 제505호, "건축물의 구조기준 등에 관한 규칙", 1992.
3. 건설부, "도로교 표준시방서", 1995.
4. 윤정방, 광효경, 현장재하시험을 통한 PC 지하 주차장 구조물의 거동분석연구, 최종보고서, 1997.
5. AASHTO, Standard specification for highway bridges, Washington, D.C., 1989.
6. E.L. Wilson and Habibullah, SAP90 Structural Analysis Program, Computers & Structures, California, 1992.
7. DIN 1072, Standard imposed loads assigned to the revised bridge.
8. IMSL Library, "User's Manual, Fortran Subroutines for Mathematics and Statics" Volume 1 to 4, IMSL Inc., Houston, 1982.
9. John F. Stanton, "Point Loads on Precast Concrete Floors". Journal of Structural Engineering, Vol. 109, No. 11, 1982, pp. 2619-2637.
10. John E. Akin and Massood Mofid, "Numerical Solution For Response of Beams with Moving Mass", Journal of Structural Engineering, Vol. 115, No. 1, 1989, pp. 120-131.
11. Mahil J. Inbanathan and Martin Wieland, "Bridge Vibrations due to Vehicle Moving over Rough Surface", Journal of Structural Engineering, Vol. 113, No. 9, 1987, pp. 1994-2008.
12. UBC, Uniform Building Code, 1991.

(접수일자: 1997. 4. 7)