

인공 신경망을 이용한 플랫 슬래브 주차장 구조물의 등가차량하중계수

Determination of Equivalent Vehicle Load Factors for Flat Slab Parking Structures Using Artificial Neural Networks

곽 효 경†

Kwak, Hyo-Gyoung

송 종 영*

Song, Jong-Young

(논문접수일 : 2002년 5월 17일 ; 심사종료일 : 2003년 6월 2일)

요 지

이 논문에서는 기존의 보-거더 구조계 주차장 구조물에 대한 차량하중영향 연구를 토대로, 플랫 슬래브 구조계에서 차량하중 영향에 대한 연구를 수행하였다. 먼저, 최대부재력을 일으키는 차량하중의 적용을 위해 플랫 슬래브의 주요 설계지점에 대한 영향면을 구성하였으며, 플랫 슬래브의 등가차량하중계수를 인공 신경망기법을 이용하여, 슬래브 두께, 지판 두께, 지판 크기, 슬래브의 단면, 장변 길이 등 주요구조변수로 제시하였다. 사용된 신경망의 훈련은 많은 패턴수를 갖는 비선형 회귀분석에 적합한 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 이용하였으며, 해석결과와 인공 신경망의 출력의 비교를 통해 알고리즘의 유효성을 검증하였다. 플랫 슬래브 구조계의 등가차량하중계수를 살펴보면, 보-거더 구조계의 경우와 유사하게 주열대와 중간대의 정모멘트 부재력에서 차량하중에 매우 취약함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 플랫 슬래브, 등가차량하중계수, 영향면, 인공신경망, Levenberg-Marquardt 알고리즘

Abstract

In this paper, the effects of vehicle loads on flat slab system are investigated on the basis of the previous studies for beam-girder parking structural system. The influence surfaces of flat slab for a typical design section are constructed for the purpose of obtaining maximum member forces under vehicle loads. In addition, the equivalent vehicle load factors for flat slab parking structures are suggested using artificial neural network. The network responses are compared with the results obtained by numerical analyses to verify the validation of Levenberg-Marquardt algorithm adopted as training method in this paper. Many parameter studies for the flat slab structural system show dominant vehicle load effects at the center positive moments in both column and middle strips, like the beam-girder parking structural system.

Keywords : flat slab, equivalent vehicle load factors, influence surface, neural networks, Levenberg-Marquardt algorithm

1. 서 론

콘크리트 바닥판 구조물은 주철근이 일방향으로만 배근되는 일방향 구조계와 양방향으로 배근되는 이방향 구조계로 나눌 수 있으며, 이방향 바닥판 구조계는 크게 기둥과 기둥이 이루는 패널이 주변 보요소에 의해 지지되는 보-거더 구조계 그림 1(a)와 보요소가 없는 플랫 슬래브 구조계

그림 1(b)로 구분할 수 있다. 국내에서 설계, 시공되어 온 주차장 구조물은 구조체적인 면에서 보-거더 구조계가 주를 이루어 왔으며, 최근에는 플랫 슬래브 구조계를 갖는 구조물의 시공이 점진적으로 증가하는 추세에 있다. 주지하는 바와 같이 건축법상의 높이 제한 허용 범위 내에서, 최대 층수의 건축물을 시공하기 위해서는 각층의 층고를 줄이는 것이 가장 효과적이며, 이러한 요구에 부합되는 구조

† 책임저자, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 부교수

전화: 042-869-3621; Fax: 042-869-3610

E-mail: khg@kaist.ac.kr

* 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 연수연구원

* 이 논문에 대한 토론을 2003년 9월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2003년 12월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

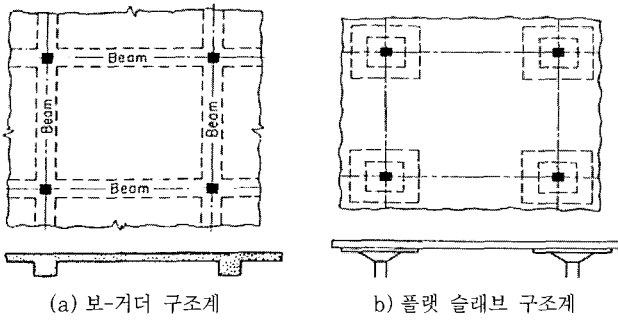


그림 1 대표적인 양방향 슬래브의 종류

계가 플랫 슬래브 구조계이다.

플랫 슬래브 구조계는 보-거더 구조계에 비해 시공시 거푸집 형성이 간편할 뿐만 아니라, 경제적이며 보다 효율적으로 공간을 활용할 수 있는 장점이 있는 반면에, 기둥 주변 위험단면에서 전단에 의한 파괴가 발생할 가능성이 높고 과다하중이 작용할 때 발생하는 불균형모멘트 처리가 어려운 단점이 존재한다. 지금까지 보-거더 구조계로 구성된 주차장 구조물에서 차량하중에 대한 연구는 국내에서는 슬래브, 보, 거더 등 주요 구조부재를 중심으로 등가차량하중계수를 제시한 연구^{2),3)}와 국외에서는 최근 Wen 등이 단변이 12m이고 장변이 18m인 주차장에서 기둥에 대한 축하중과 보의 모멘트에 대한 영향선을 토대로 등가분포하중을 제시한 연구¹⁷⁾ 등이 있으나, 플랫 슬래브 주차장 구조물에서 차량하중의 영향에 대한 연구는 미미한 실정이다. 플랫 슬래브 구조계는 지판(drop panel)이나 주두부(capital)의 유무에 따라 플랫 슬래브와 플랫 플레이트로 구분되며, 구조적인 특성상 보-거더 구조계보다 차량에 의한 집중하중영향이 크게 나타날 것으로 예견된다.

그러나 현재 설계단계에서 차량하중은 적절하게 고려되지 못하고 있어, 플랫 슬래브 구조계 자체가 설계단계부터 구조적인 문제를 유발시킬 가능성을 내포하고 있다. 이에 따라 주차장 구조물에 적용시킬 설계기준차량하중을 포함

한, 보-거더 구조계에서 차량하중 영향에 대해 수행된 연구를 토대로, 플랫 슬래브 주차장 구조물이 내포하고 있는 이러한 근본적인 원인을 검토하고 보다 효과적이고 경제적인 설계를 도모하기 위해서는 플랫 슬래브에서 차량하중에 대한 연구가 절실히 요구된다.

이 논문에서는 플랫 슬래브 구조물에 대한 차량하중의 적용을 위해서 선행되어야 하는 영향면 작성을 포함하여, 기존에 설계/시공된 플랫 슬래브 주차장 구조계의 평면구성 및 관련자료를 토대로 슬래브의 규격을 포함한 지판의 크기, 두께 등 주요 구조변수를 변화시키면서 차량하중을 적용시켜 구조해석을 수행하였으며, 이를 토대로 인공신경망을 이용하여 플랫 슬래브 구조계의 주요 지점에 대한 등가차량하중계수를 제시하였다.

2. 플랫 슬래브의 구조해석

일반적으로 플랫 슬래브를 해석하는 방법에는 푸리에(Fourier), 급수 함수를 이용하여 여러 가지 경계 조건 하에서 집중하중이나 분포하중 등과 같은 하중이 작용할 때, 슬래브 중앙점의 처짐이나 모멘트를 산정하는 탄성론에 의한 고전적인 방법,¹⁵⁾ 막 실험에 의한 처짐 방정식과 상사성을 이용한 Moire 막 실험을 이용하는 방법,⁴⁾ 직접법, 등가골조법 등과 같이 실험을 기초로 하여 제안된 반 실험적, 반 이론적인 방법,^{1),7),10)} 슬래브의 파괴 항복선을 가정하여 슬래브를 해석하는 항복선 이론, 유한 차분법, 유한 대판법, 유한 요소법, 경계 요소법 등과 같은 수치적 해석 방법에 이르기까지 다양한 방법이 있다. 그러나, 지금까지 수행된 연구의 대부분은 분포하중이 작용하는 경우에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 일부 집중하중이 작용하는 경우에 대한 연구결과는 구조물의 경계조건과 기하형상이 정형화된 경우에 제한되어 있는 실정이다. 이 논문에서는 주차장 구조물로 사용되는 플랫 슬래브 구조계를 해석함에

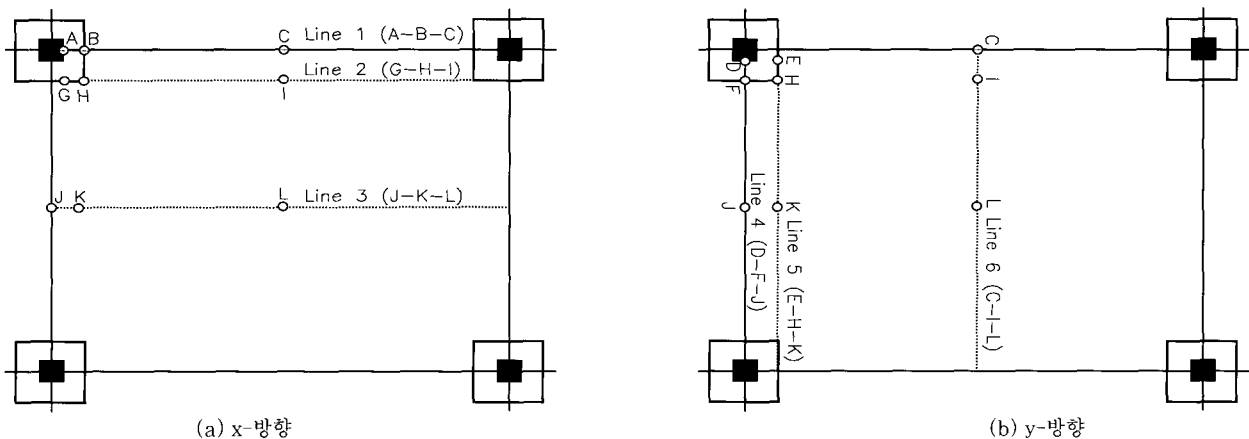


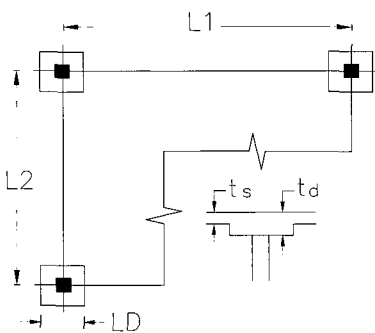
그림 2 구조해석의 검토영역

있어서 다양한 경계조건과 각 구조부재의 강성변화 등을 가장 효과적으로 해석 할 수 있는 유한요소법을 사용하였다. 플랫 슬래브의 모델은 회전 자유도를 갖는 변절점 평면 응력요소를 사용하였으며,⁵⁾ 기둥과 같은 프레임 요소는 보 요소를 이용하여 모델링하였다. 플랫 슬래브의 영향면 검토영역은 그림 2에 나타난 바와 같이 플랫 슬래브의 단변, 장변방향에 대해 주열대 기둥 라인, 지판 라인과, 중간대 중심라인을 각각 설정하였다. 영향면의 작성은 각각의 검토라인의 기둥면과 지판면, 그리고 중앙점에서 이루어졌는데, 이는 설계시 기둥 중심점의 부재력을 사용하는 것이 아니라, 기둥면의 값을 산출하여 사용하는 것처럼 구조부재의 강성이 변하는 지점의 부재력 거동을 확인하기 위한 것이다.

이 논문에서 고려한 구조변수는 슬래브의 단변, 장변길이, 슬래브의 두께, 지판 두께, 크기 등 다섯가지 변수이며 각 변수의 영역은 표 1에 나타난 바와 같다. 또한 각 설계 변수에 의해 결정되는 해석을 위한 슬래브의 종류는 576개로 결정되어진다.

표 1 구조변수의 영역(단위:m)

구조 변수	변수 영역	개 수
단변 길이(L1)	6, 8, 10, 12	4
변장비(L2/L1)	1.00, 1.25, 1.50	3
슬래브 두께(ts)	0.20, 0.25, 0.30, 0.35	4
지판 두께(td)	1.5×ts, 2.0×ts, 2.5×ts	3
지판 크기(LD)	11, 22, 33, 44	4
해석 슬래브 갯수		576



3. 플랫 슬래브의 영향면

3.1 영향면의 작성

주차장 구조물에 작용하는 차량하중은 이동하중으로써 최대 부재력을 유발하는 재하위치, 부재력의 종류가 정모멘트인지 부모멘트 인지에 따라서 변하게 된다. 이와 같이 플랫 슬래브에서 최대 부재력을 유발하는 하중의 위치

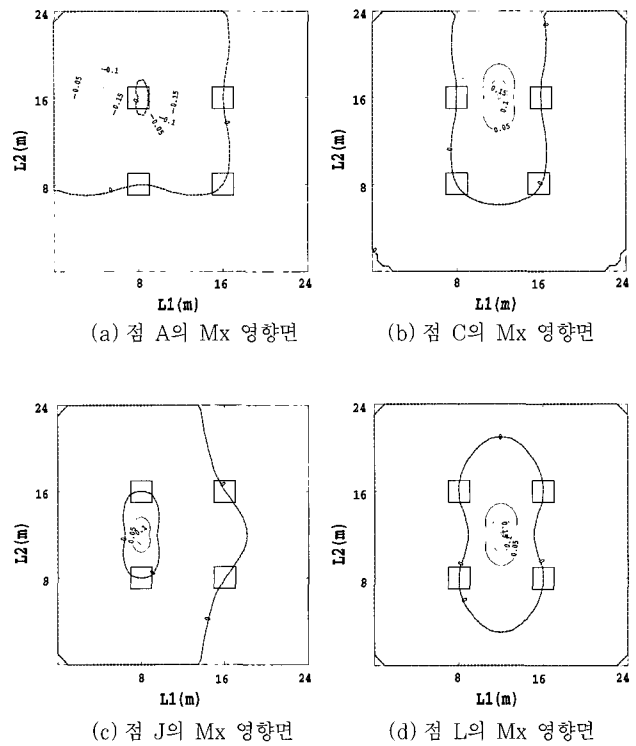


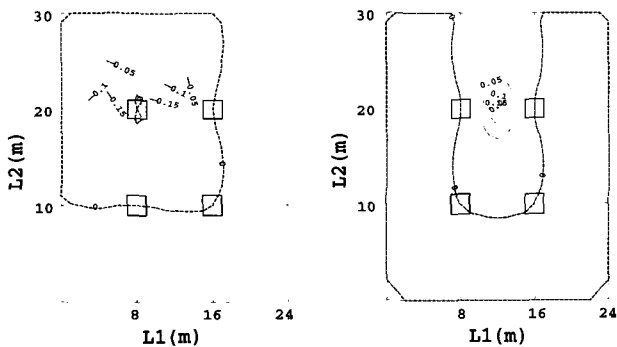
그림 3 정방형 슬래브의 영향면

를 결정하기 위해서는 보 요소와 같은 일차원 부재에 대한 영향선의 이차원 확장적인 영향면을 이용하는 것이 용이하다.⁶⁾ 이 논문에서는 플랫 슬래브에서 차량하중이 최대 부재력을 일으키도록 적용하기 위한 영향면을 그림 2의 구조 검토영역에 대하여 각각 작성하였다. 이 때, 주변 슬래브의 영향을 고려하기 위해, 해석 대상 슬래브를 포함한 9개의 패널에 대한 구조해석을 6자유도를 갖는 평판 요소를 이용하여 수행하였으며, 각 주요지점의 영향면 작성을 위해 단위하중을 0.5m 간격으로 재하하였다.

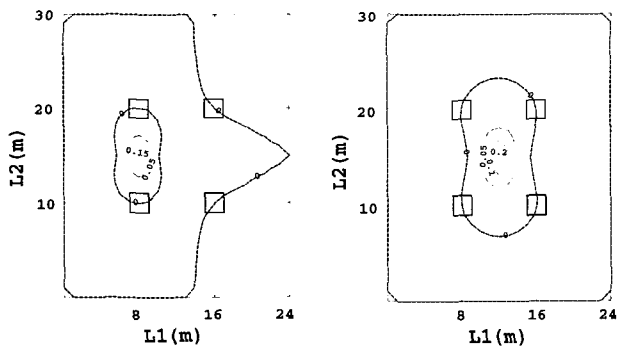
그림 3은 슬래브의 단변길이가 8m이고, 슬래브의 두께가 0.2m, 지판의 두께가 0.4m, 지판의 크기가 2m×2m인 정방형 슬래브에서 그림 2에 표시된 주요지점에 대한 영향면을 나타낸 것이다. 그림에서 굵은 점선은 영향면의 증거값이 0(zero)인 선을 나타내고 있다. 부모멘트 부재력이 지배적으로 발생하는 기둥 주위를 살펴보면, 그림 3(a)에서 보는 바와 같이 기둥면(그림 2의 점 A)의 경우에는 기둥을 중심으로 대칭모양을 가지며, 고려영역을 포함한 주변 패널의 영향이 기둥선을 중심으로 나타남을 알 수 있다. 영향면을 살펴보면 중간대의 경우 기둥면에서 일반적으로 분포하중이 작용하는 경우에는 부모멘트가 발생하나, 차량과 같이 이동하중이 작용하는 경우에는 반대로 정모멘트 부재력이 유발될 수 있음을 알 수 있다. 또한, 영향면상에서 나타나는 등고선을 살펴보면, 부재력의 방향과 평행한 방향으로 등고선의 경사가 급하게 감소함을 알 수 있다.

며, 부모멘트 부재력보다 정모멘트 부재력의 경우, 종거값이 높은 영역이 좁게 분포함을 알 수 있다. 따라서, 이로부터 차량하중의 집중하중영향이 정모멘트 부재력의 경우에 크게 나타남을 예견할 수 있다. 중간대의 중심라인의 영향면을 살펴보면 기둥과 기둥을 잇는 중심선상에 보나 거더와 같은 지지부재가 존재하지 않는 까닭에, 기둥 끝단면과 지판 끝단면의 경우도 중앙부의 슬래브와 유사하게 하중이 작용하면 양의 부재력을 유발시키는 영역이 존재한다. 하중의 부분재하 영향(pattern loading effect)을 살펴보면,¹²⁾ 주열대 중앙점인 그림 2의 점 C에 대한 영향면을 나타내고 있는 그림 3(b)를 살펴보면 인접한 기둥에 의해 형성되는 상, 하 패널에 작용하는 하중만이 양의 영향을 나타내며, 중간대 중앙점(그림 2의 점 L)은 중앙점을 포함하는 한 패널만이 양의 영역을 나타냄을 알 수 있다(그림 3(d)).

그림 4와 5는 장방향 슬래브의 단변방향과 장변방향에 대한 영향면을 주열대 중심라인, 중간대 중심라인에 대해 각각 나타낸 것이다. 장방향 슬래브의 영향면 특성도 정방향 슬래브와 대부분 유사하게 나타남을 알 수 있으며, 장변방향의 중앙부 정모멘트 영향면(그림 5의 (b))을 살펴보면, 단변방향에 비해 활하중의 부분재하영향이 넓은 영역에 걸쳐 나타남을 알 수 있다.

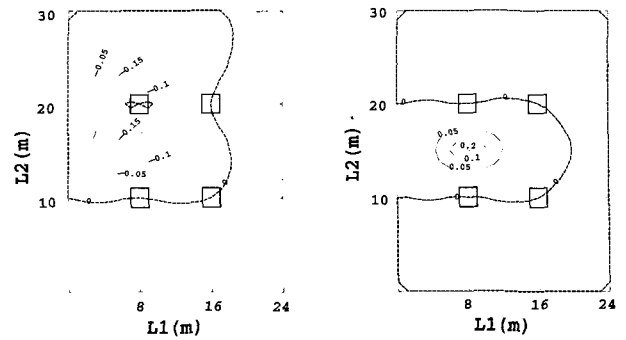


(a) 점 A의 Mx 영향면 (b) 점 C의 Mx 영향면

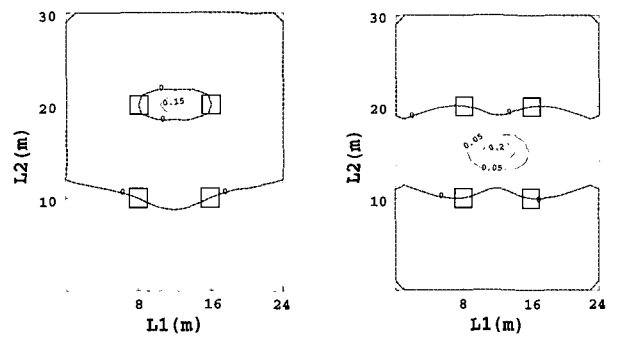


(c) 점 J의 Mx 영향면 (d) 점 L의 Mx 영향면

그림 4 장방향 슬래브의 단변방향 영향면



(a) 점 D의 My 영향면 (b) 점 J의 My 영향면



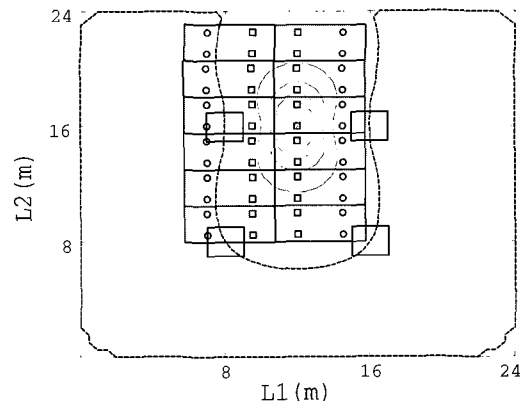
(c) 점 C의 My 영향면 (d) 점 L의 My 영향면

그림 5 장방향 슬래브의 장변방향 영향면

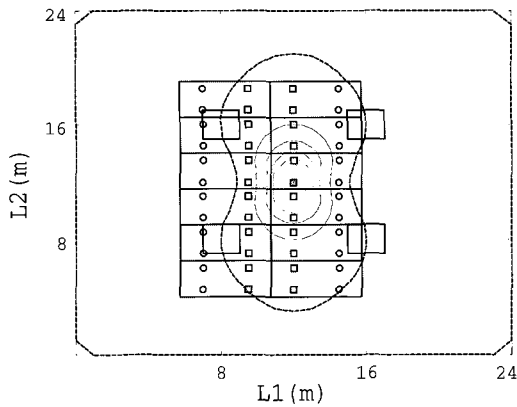
3.2 영향면을 이용한 차량하중재하

이 논문에서 적용시킨 차량하중은 국내차량을 기준을 설정된 2.4톤 설계기준차량이며,^{2),13),14)} 정방향 슬래브에 대한 영향면을 이용하여 주열대 중앙점과 중간대 중앙점의 단변방향 최대 정모멘트를 산정하기 위해 차량하중을 재하시킨 예를 그림 6에 나타내었다.

영향면을 이용한 차량하중의 적용은 그림에서 보는 바와 같이, 먼저 영향면상에서 가장 종거값이 큰 지점에 차륜의 2/3를 분담하는 후륜 하나를 재하시킨 뒤에 설계기준차량



(a) 주열대 중앙점(그림 2의 점 C)



(b) 중간대 중앙점(그림 2의 점 L)

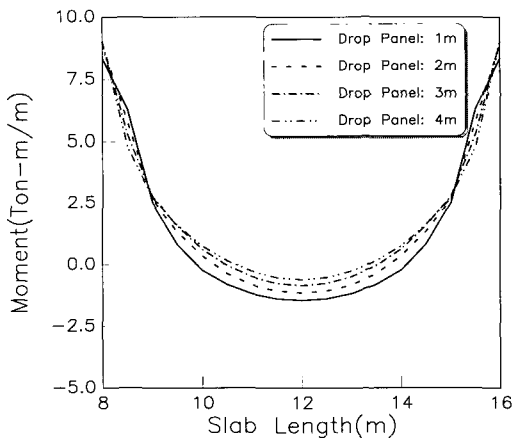
그림 6 영향면을 이용한 차량하중재하

의 윤거, 축거 등을 고려하여, 영향면상에서 고려하고자 하는 부재력이 최대가 되도록 재하가능한 차량을 재하시킨다.^{2),13)} 네변이 보나 거더에 지지되지 않는 플랫 슬래브의 경우에는 영향면의 특성상, 하중의 부분재하의 영향(pattern loading effect)이 보-거더 구조계 슬래브 보다 크게

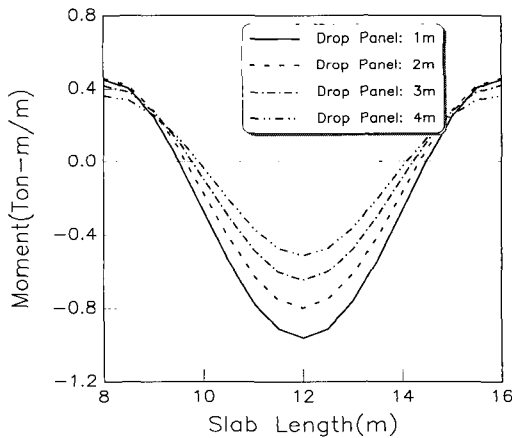
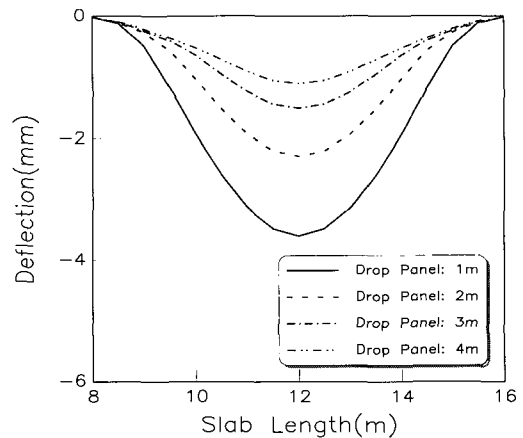
발생함을 알 수 있다.

4. 구조변수 변화에 따른 거동특성

이 논문에서 고려한 주요 구조변수 변화에 따른 플랫 슬래브 구조계의 거동특성을 살펴보기 위해서 분포하중이 작용할 때 슬래브의 두께, 지판의 두께, 지판의 크기 등을 변화시키면서 주열대와 중간대에서 휨모멘트 부재력과 처짐량의 거동변화를 나타내었다. 슬래브의 두께가 0.2m 인 경우(그림 7)와 0.25m 인 경우(그림 8)를 각각 살펴보면 지판의 크기가 증가할수록 중앙점에서의 정모멘트 부재력이 감소함을 알 수 있으며, 이러한 거동특성은 주열대보다 중간대에서 특히 크게 나타난다. 이는 주열대의 경우에는 상대적으로 강성이 큰 기둥이 지지부가 되기 때문이며, 부재력에 비해 처짐의 경우에는 지판의 크기를 증가시킬수록 현저하게 중앙점의 처짐량이 감소함을 알 수 있다. 고려한 구조변수 가운데에 슬래브와 지판의 두께 등은 상대적으로 부재력 거동에 미치는 영향이 적음을 알 수 있다.



(a) 주열대 중심선(그림 2의 선 1)



(b) 중간대 중심선(그림 2의 선 3)

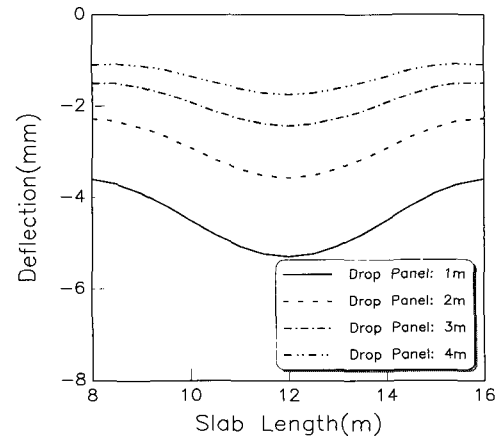
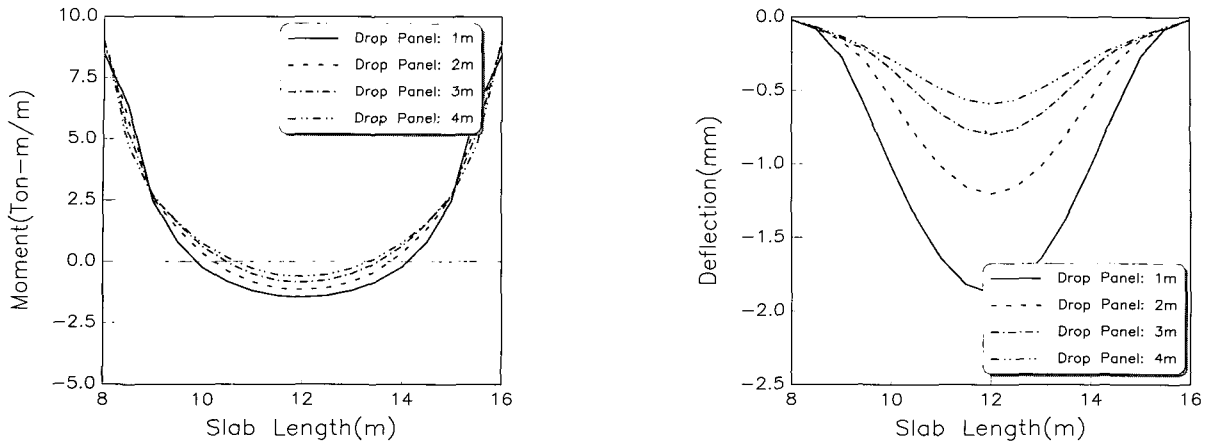
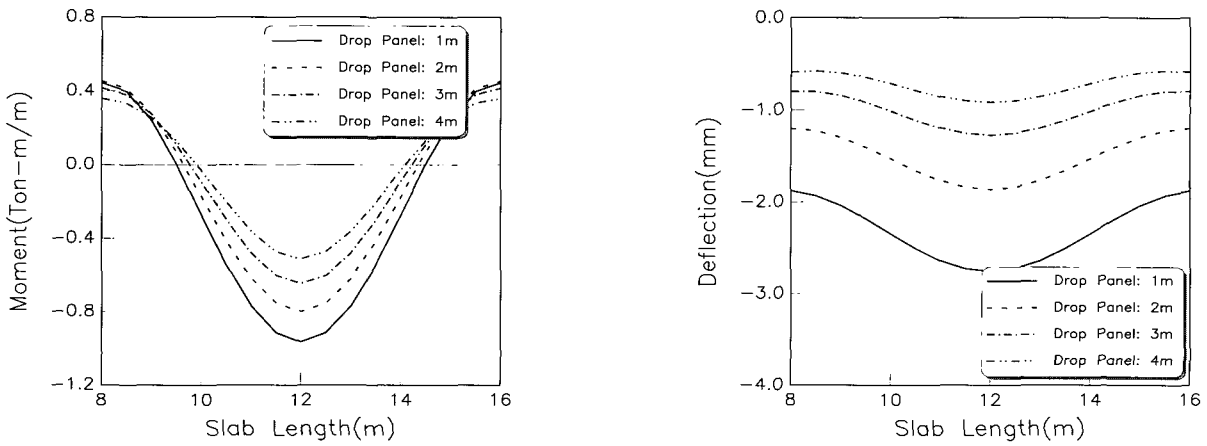


그림 7 슬래브 두께가 0.2m 인 경우의 모멘트 부재력과 처짐도



(a) 주열대 중심선(그림 2의 선 1)



(b) 중간대 중심선(그림 2의 선 3)

그림 8 슬래브 두께가 0.25m 인 경우의 모멘트 부재력과 처짐도

5. 인공 신경망을 이용한 등가차량하중계수의 산정

5.1 인공 신경망 이론의 적용

최근에 들어 구조공학 분야에서도 구조물의 최적화 문제에서, 진동제어에 이르기까지 다양한 분야에서 광범위하게 신경망을 적용하는 연구가 진행되어 왔다. 특히 인공 신경망 이론의 주요 장점은 주어진 문제에 대한 의미있는 해의 도출을 일련의 예제의 학습으로부터 수행할 수 있으며, 학습에 이용되는 자료는 이론적인 값은 물론, 실험값 또는 이들의 조합이 될 수 있고, 특히 쉽게 정량화 되지않는 영향 인자를 갖는 문제에 대해 효율적인 결과를 도출할 수 있는 점들이 있다.^{8),9),11)} 주차장 구조물에 대한 차량하중연구의 경우, 보-거더 구조계에서는 다음 식과 같이 정의되는 등가차량하중계수를 주요 구조변수의 함수로 회귀분석을 통해 제시하였다.

$$F = M_p / M_w \quad (1)$$

여기서, F 는 등가차량하중계수를, M_p 는 충격을 고려한 설계기준차량하중 2.4톤이 작용할 때의 부재력을, M_w 는 설계 분포하중 $w=500kg/m^2$ 이 작용할 때의 부재력을 각각 의미한다.

제안된 등가차량하중계수는 분포하중이 작용할 때 발생하는 부재력에 대한 차량하중이 작용할 때 부재력의 비를 의미하는 것으로, 등가차량하중계수가 1 보다 작은 경우에는, 차량하중의 영향을 고려할 필요가 없으나, 1 보다 큰 경우에는, 집중하중에 의한 부재력이 분포하중에 의한 부재력보다 크기 때문에 계산된 등가차량하중계수에 대해 활하중 모멘트를 보정해 줌으로써 집중하중에 의한 영향을 설계에 반영하게 된다.

플랫 슬래브의 경우에는 고려해야 하는 변수의 수가 증가할 뿐만 아니라 전체 자료의 수가 급증하여 비선형 다중회귀분석을 적용함에 있어, 적합한 함수를 선정하기가 쉽지 않고, 선정된 회귀분석함수를 이용하여 충분히 만족할 만한 결과를 얻기 어려우므로, 이 논문에서는 등가차량하중계수에 대한 비선형 다중회귀분석법의 대안으로 인공 신

경망 이론을 적용하였다.

사용한 신경망 기법은 가장 보편적으로 사용되고 있는 역전파(back-propagation) 알고리즘을 이용한 다층 퍼셉트론 신경망 구조이다. 주어진 문제마다 최적의 학습 알고리즘의 선택은 각각 다르게 되며, 이러한 학습 알고리즘의 결정은 주어진 문제의 복잡성, 훈련 데이터의 개수, 신경망 구조의 가중치와 임계값의 개수, 목표 에러의 크기, 그리고 주어진 문제가 패턴인식(pattern recognition)에 유사하느냐, 함수 근사화(function approximation) 문제에 유사하느냐 등 여러가지 요소에 의존한다. 여러 구조변수에 따른 등가차량하중계수의 제안과 같은 비선형 회귀분석문제는 함수 근사화 영역에 포함되며, 이 경우 Levenberg-Marquardt(L-M) 알고리즘이 그 수렴성이 매우 뛰어난 것으로 알려져 있다.¹¹⁾

기본적인 신경망 이론은 여러 문헌에서 자세히 다루고 있으므로, 여기서는 간략히 이 논문에서 사용된 L-M 알고리즘을 중심으로 기본 이론을 살펴보고자 한다. 먼저, 다층 신경망에서 각 층의 출력값은 전단계 층의 입력값이 되며, 이는 다음 식과 같이 표현된다.

$$a^{m+1} = f^{m+1}(W^{m+1}a^m + b^{m+1}) \quad m=0, 2, \dots, M-1 \quad (2)$$

여기서, W 는 신경망의 가중치 벡터, b 는 임계값 벡터, f 는 전이함수, a 는 신경망의 출력값, 그리고 M 은 신경망에서 사용된 전체 은닉층(hidden layers)의 개수를 각각 의미한다.

회귀분석과 같은 함수 근사화 문제에서, 목표값(t)과 신경망의 출력값(a)의 차이의 평균제곱의 합(SSE, sum of square erros)으로 구성되는 목표함수(식(2))를 최소화 하는 알고리즘이 다음 단계에서 초기 가중치와 임계값 벡터를 갱신하는데 사용된다.

$$\hat{F}(X) = (t(k) - a(k))^T \cdot (t(k) - a(k)) = e^T(k) \cdot e(k) \quad (3)$$

L-M 알고리즘은 보다 빠른 수렴속도를 얻기 위해 개발된 수정된 뉴턴 근사화방법의 하나이며, 다음의 식(3)에서 나타낸 바와 같이 목적함수의 이차 도함수값을 사용함으로써 수렴성이 높은 반면에 다른 방법에 비해 상대적으로 많은 메모리를 요구하는 단점이 있다.

$$x_{k+1} = x_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (4)$$

여기서, x_k 는 k 번째 반복과정에서의 가중치와 임계값 벡터이며, J 는 가중치와 임계값에 대한 에러의 자코비안

(Jacobian) 행렬을, e 는 신경망의 에러를, I 는 단위행렬을, μ 는 스칼라상수를 각각 의미한다.

나아가, 신경망의 학습에서 주의할 점은 신경망 구조가 학습 데이터를 일반화하지 않고, 단순히 기억하는 오류에 빠지지 않도록 도모하는것이다. 신경망 구조에서 과도한 개수의 가중치와 임계값을 사용하면, 주어진 데이터를 과적합(overfitting)하게 되어서, 훈련된 데이터에 대해서는 정확한 값을 출력하지만, 입력값이 훈련데이터와 조금 다른 경우에는 에러가 증폭되는 문제, 즉 과적합 문제가 발생하게 된다. 본 논문에서는 인공 신경망 구조의 과적합 현상을 방지하고 일반성(generalization)을 높이기 위해 많이 사용되는 학습 초기 중단법(early stopping)과 정규화법(regularization) 중에서, 정규화법을 사용하여 은닉층의 적절한 절점수를 결정하였다.

이 논문에서 사용된 신경망 구조는 이 논문에서 설정한 다섯가지 주요 구조변수(표 1의 L1, L2, ts, td, Ld)의 영향을 효과적으로 반영하기 위하여, 그림 9와 같이 5개의 입력값을 갖으며, 두 개의 은닉층으로 이루어진 다층 역전파 신경망이며, 이를 이용하여 최종적으로 산정되는 결과인 분포하중이 작용하는 부재력에 대한 차량하중이 작용할 때의 부재력의 비로 정의되는 등 가차량하중계수(F)를 제시하였다.

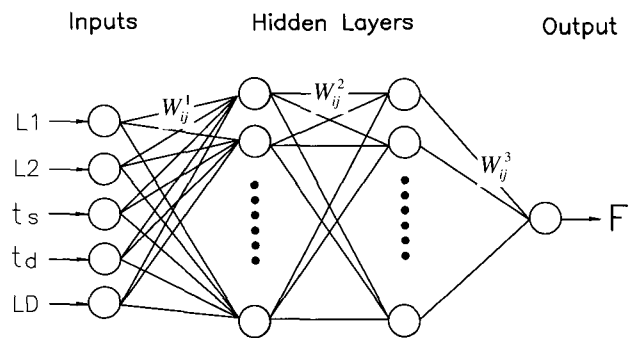


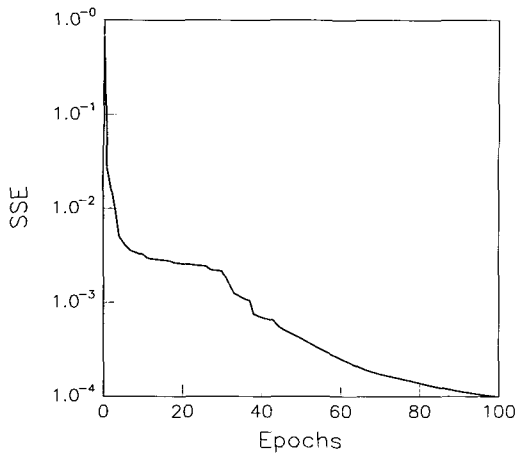
그림 9 사용된 신경망의 구조

5.2 해석결과의 검증

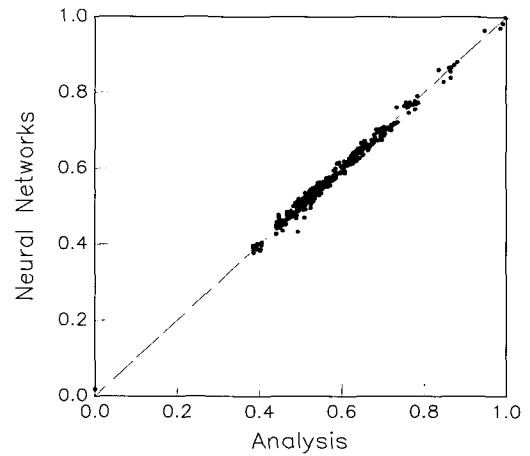
신경망 학습의 검증은 학습에 참여하지 않은 검증용 데이터와 학습된 결과를 포함하여 인공신경망에 의해 산정되는 등가차량하중계수와 구조해석값과의 비교를 통해서 이루어졌으며, 그 결과는 그림 10~12와 같다. 그림 10, 11, 12는 각각 x방향 주열대 부모멘트 지점(그림 2의 점 A), 주열대 중앙부 정모멘트 지점(그림 2의 점 C), 그리고 중간대 중앙부의 정모멘트 지점(그림 2의 점 L)에 대한 인공 신경망 학습결과를 해석값과 비교한 것이다. 그림에서 나타나는 바와 같이, L-M(Levenberg-Marquardt)

알고리즘을 적용한 결과가 매우 만족할만한 정확도를 나타냄을 알 수 있으며, 그 수렴성도 매우 뛰어난 것을 알 수 있다. 참고로 중간대 중앙부 정모멘트에 대한 데이터를 이용

하여 일반적으로 널리 사용되는 역전파 학습방법의 하나인 국부 최소점에 수렴되는 현상을 방지하기 위해 모멘텀과 또한 학습률을 학습정도에 따라서 변화시키는 모멘텀-변화

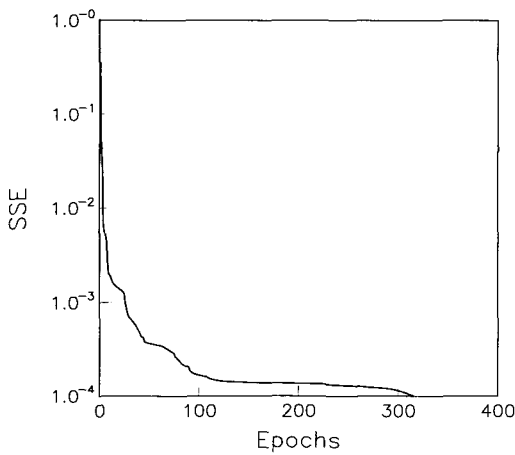


(a) epoch증가에 따른 에러감소

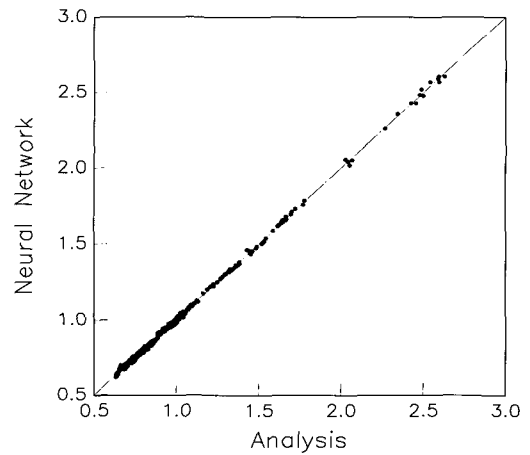


(b) 학습결과와의 검증

그림 10 x방향 주열대 부모멘트 지점

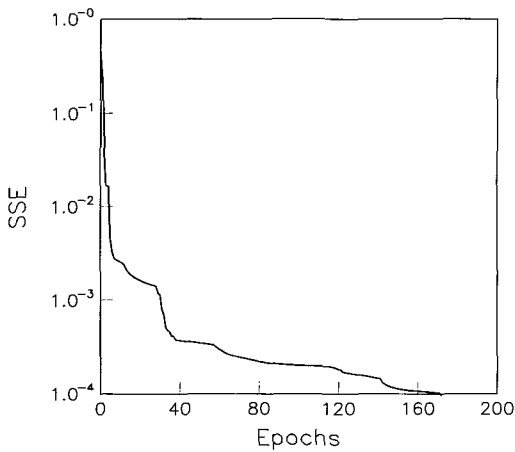


(a) epoch증가에 따른 에러감소

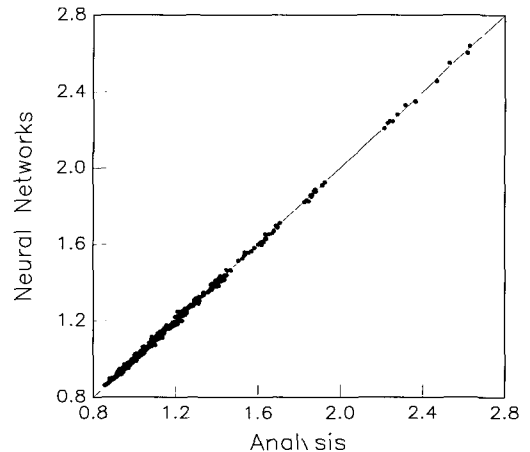


(b) 학습결과와의 검증

그림 11 x방향 주열대 정모멘트 지점



(a) epoch증가에 따른 에러감소



(b) 학습결과와의 검증

그림 12 x방향 중간대 정모멘트 지점

표 2 학습 알고리즘의 비교(중간대 중앙부 정모멘트의 경우)

알고리즘	신경망 구조	epoch	Time(sec)
(1) 모멘텀 변화 학습률법	5-7-7-1	136,284	1740
(2) L-M 알고리즘	5-5-5-1	172	28
비교 (1)/(2)		792	62

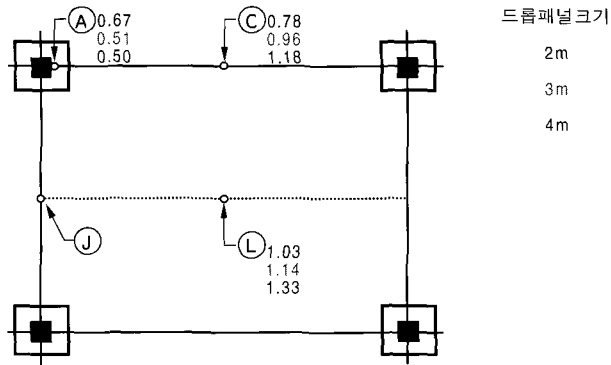


그림 13 지판 크기 증가에 따른 플랫 슬래브 등가차량하중계수

학습률법(momentum-variable learning rate)과 비교한 결과는 표 2와 같다. 표 2에서 나타나는 바와 같이 L-M 알고리즘이 보다 적은 수의 노드 수를 갖으면서도, 수렴속도가 오히려 모멘텀-변화학습률법 보다 뛰어난 것을 알 수 있다. 따라서, 이와 같은 결과로부터 본 논문의 경우와 같이 비교적 많은 패턴의 입력데이터를 갖는 비선형 회귀 분석문제를 인공 신경망에 적용하는 경우에는 L-M 학습 알고리즘을 사용한 다층 신경망기법이 매우 효율적임을 알 수 있다.

그림 13에서는 학습된 신경망을 이용하여 슬래브의 길이가 8m이고, 슬래브의 두께가 0.25m, 지판의 두께가 0.5m인 정방형 슬래브의 주요 설계지점에서 지판의 크기 변화에 따른 등가차량하중계수를 나타내었다. 등가차량하중계수를 살펴보면, 주열대와 중간대의 중앙부 정모멘트 부재력의 경우 차량하중이 지배적으로 나타남을 알 수 있다. 또한 지판의 크기가 증가할수록 등가차량하중계수가 증가함을 알 수 있다. 이는 분포하중의 경우에는 지판의 크기 증가에 따른 슬래브의 경계조건에 큰 영향을 받지만, 차량하중과 같은 집중하중의 경우에는 경계조건변화에 큰 영향을 받지 않기 때문인 것으로 판단된다.

표 3 구조해석과 신경망 예측결과에 의한 등가차량하중계수 비교

위치	점 A		점 C		점 J		점 L	
	구조해석	신경망	구조해석	신경망	구조해석	신경망	구조해석	신경망
2m	0.6715	0.6634	0.7796	0.7652	0.9926	0.9878	1.1276	1.1334
3m	0.5076	0.5016	0.9746	0.9581	1.0170	1.0134	1.2318	1.2330
4m	0.5002	0.5009	1.2990	1.3011	1.0445	1.0435	1.3738	1.3691

6. 결 론

이 논문에서는 플랫 슬래브 구조계를 중심으로 차량하중에 대한 영향을 연구하기 위하여 필수적인 플랫 슬래브 구조계의 영향면에 대한 연구를 수행하였으며, 또한 설계 분포하중이 작용하는 경우의 구조변수 변화 따른 플랫 슬래브 구조계의 거동특성을 살펴보았다. 이를 위해, 먼저 기존의 설계, 시공된 플랫 슬래브 주차장 구조물을 중심으로 주요 구조 변수인 슬래브의 단면 길이, 변장비, 슬래브 두께, 지판의 두께, 지판의 크기 등을 결정하였으며, 차량하중은 보-거더 구조계에 대한 연구에서 설정된 2.4 Ton 설계기준차량하중을 사용하였다. 또한 비선형 다중회귀분석방법의 대안으로 Levenberg-Marquardt 학습법을 이용한 다층신경망을 이용하여 플랫 슬래브 구조계의 등가차량하중계수를 제시하였다. 인공신경망의 적용 결과, 이 논문과 같이 많은 입력패턴을 갖는 비선형 회귀분석의 경우, L-M 알고리즘이 수렴성과 정확도가 매우 뛰어난 것을 알 수 있었다. 플랫 슬래브 구조계의 등가차량하중계수를 살펴보면 주열대와 중간대의 중앙점에서 차량하중에 대해 취약할 가능성이 많음을 예상할 수 있었다. 또한 분포하중이 작용할 때, 구조변수변화에 의한 부재력 거동특성 연구를 통하여, 고려하는 구조변수 가운데에 부재력의 거동에 가장 큰 영향을 미치는 구조변수는 지판의 크기이며, 슬래브의 두께와 이에 대한 지판의 상대적인 두께비와 같은 변수는 처짐량에는 영향을 미치나, 부재력의 변화에는 그 영향이 미미함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국 과학재단 지정 우수 연구센터인 SMART 사회기반시설 연구센터(SISTEC)의 연구비 지원에 의해 이루어졌음을 밝히며 이 지원에 대하여 깊이 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 콘크리트 표준시방서, 건설교통부제정, 1999

2. 곽효경, 송종영, "주차장 구조물 슬래브의 등가차량하중계수에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제17권, 제I-4호, 1997, pp.529~540
3. 곽효경, 송종영, "주차장 구조물의 보와 거더의 등가차량하중계수에 관한 연구", 전산구조공학회논문집, 제10권 제3호, 1997, pp.203~216
4. 송호산, "Flat Slab의 휨모멘트를 구하는 해석 방법에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 제13권 제1호, 1997 pp.155~163
5. 이완훈, 면내 회전자유도를 가진 변이 평면 셀요소의 개발과 이를 이용한 적응적 체눈 세분화, 한국과학기술원박사학위논문, 1994
6. Adolf Pucher, "Influence Surface of Elastic Plates", Springer-Verlag Wien, 1977
7. Corley, W. G., and Jirsa, J. O., "Equivalent Frame Analysis for Slab Design", *Journal of ACI*, Vol.67, No.11, 1970, pp.875~884
8. El-Kassas, E. M. A., Mackie, R. I., and El-Sheikh, A. I., "Using neural networks in cold-formed steel design", *Computers & Structures*, Vol.79, No.18, 2001, pp.1687~1696
9. Flood, I. and Kartam, N., "Neural Networks in Civil Engineering I: Principles and Understanding", *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, Vol.8, No.2, 1994, pp.131~148
10. Gamble, W. L., "Moments in Beam Supported Slabs", *Journal of ACI*, Vol.69, No.3, 1972, pp.149~157
11. Hagan, M. T., Demuth, H. B., and Beale, M., *Neural Network Design*, PWS Publishing Company, Boston, 1996
12. Jirsa, J. O., Sozen, M. A., and Siess, C. P., "Pattern Loading on Reinforced Concrete Floor Slabs", *Journal of Structural Division, ASCE*, Vo.96, No.ST4, 1969, pp.1117~1137
13. Kwak, H. G., Song, J. Y., "Live Load Factors for Parking Garage Members", *Structural Safety*, Vol.22, No.3, 2000, pp.251~279
14. Kwak, H. G., Song, J. Y., "Live Load Design Moments for Parking Garage Slabs Considering Support Deflection Effects", *Computers & Structures*, Vol.79, No.19, 2001, pp.1735~1751
15. Timoshenko, S. P. and Woinowsky-Krieger, S., *Theory of Plates and Shells*, McGraw-hill, New York, 1959
16. Vapnik, V. N. and Chervonenkis, A. Y., "On the uniform convergence of relative frequencies of events to their probabilities", *Theory of Probability and its Applications*, Vol.16, No.2, 1971, pp.264~280
17. Wen, Y. K. and Yeo, G. L., *Design Live Loads for Parking Garage: a report to the Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers*, Structural Engineering Institute, Virginia, 2000