현장재하실험을 통한 PC 지하주차장 주조물의 거동분석

Assessments of Precast Concrete Underground Parking Garage Using Site Instrumentations

곽효경*, 윤정방*, 이형진**, 이석용***
Hyo-Gyoung Kwak, Chung-Bang Yun, Hyeong-Jin Lee and Seok-Yong Lee

ABSTRACT

The structural behaviors under wheel loads are much different from those under uniform loads which are generally adopted for the design of parking garage. In such a viewpoint, the structural behavior of a Half-PC concrete underground parking garage under wheel loads was investigated using the site instrumentations. The static wheel loads were applied on the structure to evaluate the actual static resistance, and moving load tests were also performed to evaluate the impact factors of the structure. Besides, the impact tests were also conducted to estimate the modal parameters of the structure. Through the experimental investigations, it was found that the structural performance of the underground parking garage can be improved by use of structural type such as Half-PC concrete structures.

1. 서 론

오늘날 사회의 발달과 경제발전에 따라 자동차의 수가 끊임없이 증가하고 있으며 이로 인한 주차공간의 확보도 지속적으로 요구되고 있다. 따라서 이러한 사회적 요구에 따라 많은 주차공간이 새로 건설되고 있으며 특히 아파트 구조물의 경우는 효과적인 주차공간의 확보를 위해 부속 지하주차장 구조물의 건설이 활발히 진행되고 있다. 이러한 추세는 가속화될 전망이며 이로 인해 건설되는 주차공간은 대형화되고 주차장의 지하층수도 증가될 전망이다. 그러나 여러 차례의 구조물 안전점검을 통해서도 나타났듯이 아파트 부속 주차장을 포함한 대부분의 주차장 구조물에서 구조적 균열을 포함한 많은 구조적인 결함이 있는 것이 발견되었다. 이들의 대부분은 설계상의 결함과 시공상의 결함이 중첩되어 나타난 것으로 판단된다. 시공측면에서는 슬래브 콘크리트 타설시 상부철근에 처짐이 발생하여 특히 부멘트부의 상부철근이 단면의 중심측 이하에 위치하는 경우도 발생하고 있고, 시공중 대형 차량의 통행도 빈번하며, Jack Support의 효과적인 거치가 부족한 점 등 여러요인이 있다. 설계측면에서 보면 동하중인 차량하중이 작용함에도 불구하고 기존의 건축구조물에서와 마찬가지로 등분포하중이 작용하는 것으로 가정하여 설계하기 때문에 상대적으로 구조적으로 취약한 부분이 발생하게 되며, 슬래브의 두께를 너무 얇게 함으로써 동하중에 의한 피로하중과 반복하중에 저항하도록 하기 위한 최소한의 강성을 확보하지 못하게 하는 등의 여러요인에 의해 주차장 구조물은 많은 문제점을 내포하고 있다. 따라서 구조물의 정확한 내력의 평가를 위해 충격계수를 포함한 구조물의 동특성에 대한 영향평가가 절실히 요구되어져 왔다. 특히 최근에 들어 인건비의 상승과 품질관리의 강화에 따라 Half-PC 주차장 구조물의 시공이 활발히 이루어지고 있으나 아직 설계와 해석 및 구조거동에 대한 정확한 분석이 이루어지고 있지 않은 시점에서 이러한 구조물의 정확한 내력의

* 한국과학기술원 토목공학과, 교수
** 한국과학기술원 토목공학과, 박사후 과정 연구원
*** 삼성물산 건설부문 기술연구소, 선임연구원

평가가 절실히 요구되며 이를 토대로 향후 주차장 구조물의 설계, 시공시 보다 합리적인 구조계가 될 수 있도록 하기 위한 방안을 강구할 필요성이 대두 되었다. 따라서, 본 연구에서의 시험대상은 아파트의 지하주차장으로 건설중인 Half-PC 콘크리트 형식의 주차장 구조물을 대상으로 현장실험을 실시하여 이러한 구조형식의 특성을 분석하였다. 본 연구에서는 설계개념과는 달리 실제 작용하고 있는 차량하중이 미치는 영향에 대해서 중점적으로 분석하였다. 먼저, 일반적으로 설계에서 고려되는 양식인 분포하중에 대하여 실제 작용하는 하중인 집중하중으로서의 차량하중에 대한 정적 구조거동을 파악하기 위한 정적재하실험, 주차장내에서의 차량주행에 따른 특성을 파악하기 하고, 이로 부터 설계에 반영될 충격계수를 파악하기 위한 주행실험 및 주차장 구조물의 동적거동을 파악하고 해석모형의 검증을 위한 동특성 추정실험인 충격실험이 수행되었다. 이를 바탕으로 수치해석모형에 의한 결과와 비교하고, 설계검토를 수행하여 실제적인 구조물의 재하력, 충격계수를 산정하였다. 이로부터, 이러한 형식의 시공방법이 실제 차량하중이 작용하는 상태의 안전도에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 설계검토 및 정적재하실험

시험대상 아파트 PC 콘크리트 주차장 구조물은 층고 3.6 m, 최대 경간 7.5m의 지하 3층 구조물로서 구조형식은 프리캐스트 부분과 현장타설 라아멘 골조의 합성으로 이루어졌다 (그림 1, 그림2). 슬라브의 두께는 Half Slab부분과 현장타설 콘크리트 Slab를 포함하여 20cm이다. 이 구조물중에서 중앙부의 S1슬라브를 대상으로 현장실험이 수행되었다.

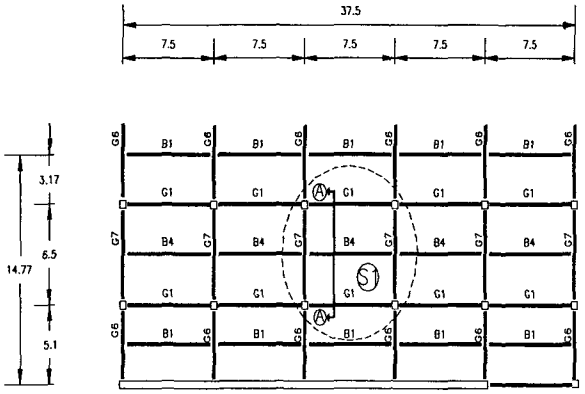


그림 1 지하 1층 구조물 평면도

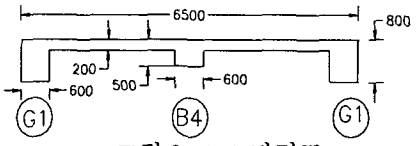


그림 2. A-A 단면도

사용된 차량의 제원은 표 1 및 그림 3과 같고, 설치된 변형률게이지 및 변위계의 위치는 그림 4, 5와 같다. 이때, 각각 광학게이지(D1, D2)와 LVDT(D3, D4)가 변위계로 사용되었다. 차량의 재하는 사전에 계산된 각 게이지에서 최대 부재력이 발생되도록 하는 위치에 재하하였다. 이때의 계산 결과 및 계측된 변형률을 표 2에 나타내었다. 이때 각각의 하중조건은 관심이 되는 게이지에서의 계측값이 최대가 되도록하는 차량하중의 배치상황을 의미한다.

표 1 차량의 제원

종류 / 항목	설계기준차량	실험차량	
		Case 1	Case 2,3
전폭(TW)	2.5 m	2.17 m	2.17 m
전장(TL)	5.0 m	4.88 m	4.88 m
윤거(W)	1.5 m	1.27 m	1.27 m
축거(L)	2.5 m	2.50 m	2.50 m
총 중량	2.4 t	3.67 t	5.75 t
전륜하중	0.4 t	1.41 t	1.99 t
후륜하중	0.8 t	2.26 t	3.76 t

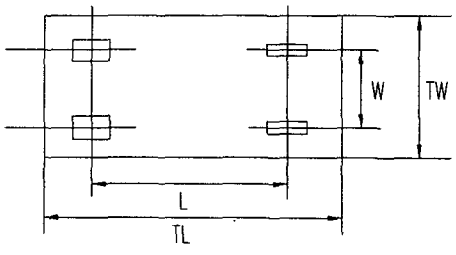


그림 3 차량의 제원

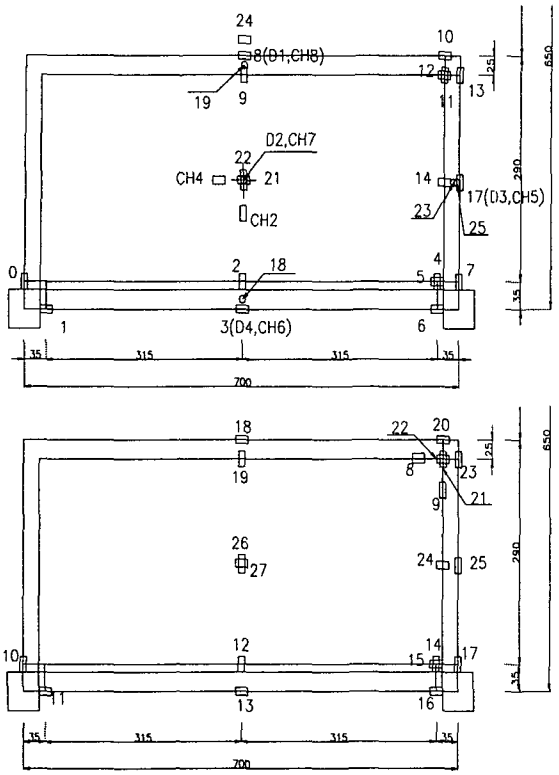


그림 4. 변형률의 측정위치

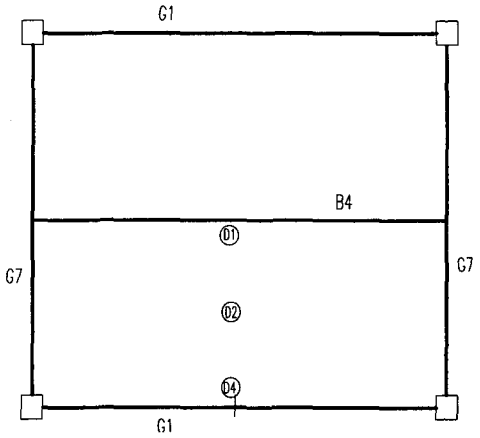


그림 5 처짐량의 측정위치

표2 계산값 및 측정된 변형률 값의 비교 (단위 : meter)

부재 \ 항목		Gage 번호 (상/하)	하중 조건	계산변형률 (×10⁻⁶)		측정변형률 (×10⁻⁶)			기준 변형률
				CASE 1	CASE 2,3	CASE 1	CASE 2	CASE 3	
SLAB	단변	12/2	S1	11.29/-11.38	18.15/-18.30	15.0/-9.5	20.7/-11.4	- / -	20.7
		26/22	S1	-27.25/27.31	-45.46/45.84	-13.5/9.5	- / -	- / -	
		19/9	S3	-23.55/23.75	-39.11/39.43	- / -	- / -	- /16.1	
		14/4	S5	0.49/-0.49	0.83/-0.84	- / -	- / -	- / -	
		21/11	S6	0.31/-0.32	0.43/-0.44	- / -	-11.3/ -	- / -	
	장변	22/12	S6	-9.16/9.16	5.88/-5.88	- / -	5.3/ -	- / -	5.3
		27/21	S2	-27.31/27.31	-45.39/45.39	- / -	- / -	- / -	
		24/14	S4	17.98/-17.98	16.02/-16.02	- / -	10.9/-11.4	15.7/ -	15.7
		15/5	S5	4.49/-4.49	7.03/-7.03	- / -	- / -	- /-3.8	
보	C	18/24	B4	-14.74/13.44	-24.32/22.17	-12.9/ -	-22.5/20.9	- / -	20.9
	E	20/10	B5	11.63/-11.47	18.93/-18.66	- / -	17.6/ -	- / -	17.6
거더 G1	C	13/3	B1	-11.50/11.15	-18.54/17.96	- / -	- / -	-24.7/ -	-24.7
	E	16/6	B2	8.07/-7.91	13.03/-12.77	- / -	10.8/-8.5	- /-13.3	-13.3
		11/1	B3	12.05/-11.80	7.44/-7.29	15.1/-8.5	6.7/ -	- / -	6.7
거더 G7	C	23/13	B6	-10.02/9.71	-15.89/15.40	- / -	- / -	- / -	
		25/17	B6	-6.04/5.61	-9.75/-9.04	- / -	- /6.6	- / -	6.6
	E	17/7	B6	6.14/-5.95	9.85/-9.54	- / -	8.9/ -	- / -	8.9

표3 계산값 및 측정된 처짐량의 비교 (단위 : mm)

하중 조건	D1		D2		D3		D4	
	해석값	계측값	해석값	계측값	해석값	계측값	해석값	계측값
S1	-0.3936	-0.497	-0.3982	-0.10	-0.0398		-0.1662	-0.0154
S2	-0.3840	-0.227	-0.4101	-0.107	-0.03789	0	-0.1309	0
S3	-0.3822	-0.0526	-0.3414	-0.098	-0.03635	0	-0.1516	0
S4	-0.2674	-0.135	-0.2435	-0.095	-0.080		-0.0909	
S5	-0.1766	-0.042	-0.1669	-0.052	-0.0762		-0.0843	
S6	-0.3022	-0.368	-0.3036	-0.167	-0.0866	0	-0.0955	-0.017
B1	-0.207	-0.246	-0.2788	-0.0059	-0.03367	-0.001	-0.2122	-
B2	-0.1875	-0.20	-0.2466	-0.031	-0.03799		-0.1887	
B3	-0.1875	-0.226	-0.2466	-0.023	-0.01843	0	-0.1887	-0.05
B4	-0.4533	-0.486	-0.3635	-0.105	-0.04262		-0.0914	
B5	-0.3952	-0.306	-0.3148	-0.083	-0.0707	-0.0034	-0.1133	-0.02
B6	-0.1853	-0.034	-0.1623	-0.059	-0.105	0	-0.0502	0

이 결과와 식 (1)를 이용하여 해석모델의 부재별 보정계수를 구해보면 표 4와 같다.

$$F_i = \frac{\varepsilon_{Anal}}{\varepsilon_{Exp}} \tag{1}$$

표 4. 해석모델의 구조 부재별 보정계수

부재 \ 항목		Gage 번호 (상/하)	하중조건	최적 strain^{exp}	최적 strain^{cal}	보정계수
SLAB	단변	12/2	S1	20.7	18.15	0.88
		26/22	S1			
	장변	21/11	S6			
		22/12	S6	5.3	5.88	1.11
		27/21	S2			
		19/9	S3			
		24/14	S4	15.7	16.02	1.02
		14/4	S5			
		15/5	S5			
보	C	18/24	B4	20.9	22.17	1.06
	E	20/10	B5	17.6	18.93	1.07
거더 G1	C	13/3	B1	-24.7	-18.54	0.75
	E	16/6	B2	-13.3	-12.77	0.96
		11/1	B3	6.7	7.44	1.11
거더 G7	C	23/13	B6			
		25/17	B6	6.6	9.04	1.37
	E	17/7	B6	8.9	9.85	1.11

3. 구조부재의 실제 내하력 산정

구조물의 설계 기본 내하력이란 설계된 구조 부재가 갖는 저항력을 의미한다. 또한 이는 각각의 구조 부재가 구조물의 사용 연한 내에 구조 부재로써 충분히 제 기능을 발휘함과 아울러 예상치 못한 외력의 작용에 의해 구조적인 손상이 유발된 경우 구조물의 안전 진단 및 보수, 보강 검토에 있어 일차적인 참고 자료로 요구되므로 설계 도면에 따라 완벽 시공을 전제로한 설계 상의 내하력의 산정은 매우 중요하다. 일반적으로 기존 구조 계산서를 참고로 하면 설계 기본 내하력의 산정이 곧바로 가능하지만, 지하 주차장이 실제 자동차 하중에 대하여 설계되지 않고 등분포의 적재 하중 $w = 500\ kg/m^2$ 에 대해서 설계되어 있는 관계로 차륜 하중에 대한 검토를 통해 설계된 슬래브, 보, 거더 등 각 구조 부재의 실제 재하 가능한 차량의 무게에 의한 설계 기본 내하력을 정확히 산정할 필요성이 있다. 본 연구에서는 등분포하중에 의한 구조단면력과 실제 자동차 하중에 의한 구조 단면력을 산정하고 그 결과의 상호 비교를 통하여 설계시 고려한 등분포하중에 대한 등가의 차량하중을 산정하였고 이를 토대로 고려한 등분포 활하중의 타당성 여부를 검토하였다. 또한 각 구조 요소의 설계 저항 단면력을 산출하고 이것과 실제 자동차 하중에 의한 단면력을 비교하여, 설계 상의 기본

내하력을 실재 자동차 하중의 형태로 산출하였으며 이를 통해 본 지하 주차장을 이용할 수 있는 설계상 한계 차량하중의 기준을 각 구조 부재별로 산정하였다. 이들 등가 차량하중은 식 (2)에 입각하여 표 5와 같이 구하여 졌다. 여기서, M_L, M_D 과 M_n 은 각각 활하중, 사하중 및 공칭 모멘트를 의미하고, 허용가능한 활하중 모멘트를 2.4 ton의 설계기준차량에 의한 활하중 부재력으로 나누어 주면 등가차량하중이 계산될 수 있다.

$$M_L^{allow} = \frac{M_n - 1.4\,M_D}{1.7}, \qquad P^{EQ} = \frac{2.4\,M_L^{allow}}{M_L^{Cal}} \tag{2}$$

표 5 구조부재별 등가차량하중 (단위 : Ton-meter)

위 치	M_L^{cal}	M_D	M_n	M_L^{allow}	P^{EQ}	Gage 번호
SLAB(단변)	-0.2388	-0.38535	-2.98	-1.44	14.47	12/2
	0.39936	0.30234	2.02	0.94	5.65	26/22
	0.445	0.3512	2.02	0.90	4.85	21/11, 22/12
SLAB(장변)	-0.189	-0.448	-2.14	-0.89	11.30	14/4, 15/5, 24/14
	0.3817	0.290	2.02	0.95	5.97	19/9, 27/21
보 (B1)	-1.226	-3.922	-22.5	-10.00	19.58	20/10
	1.225	1.915	53.91	30.13	59.03	18/24
거더(G1)	-1.920	-10.385	-27.76	-7.78	9.73	11/1, 16/6
	2.05	6.493	58.86	29.28	34.28	13/3
거더(G7)	-1.843	-9.507	-27.76	-8.50	11.07	17/7
	1.278	3.731	101.36	56.55	106.70	23/13, 25/17
	3.009	12.728	101.36	49.14	39.19	없음

지금까지 설계된 단면의 최대 단면력에서 허용가능한 활하중모멘트와 차량하중을 적용시킬 때 발생하는 활하중 모멘트를 비교함으로써 설계된 단면에 적용 가능한 활하중 모멘트 부재력을 차량하중의 중량으로 나타내었다. 표 5와 같이 구조 해석모델과 설계단면을 통하여 구하여진 허용가능한 구조 부재별 등가차량하중을 비교하여 보면 프레임요소인 보, 거더는 비교적 차량하중에 대해 큰 내하력을 갖고 있는 반면에 슬래브는 이보다 작은 내하력을 갖음을 알 수 있다. 보나 거더의 경우에 정모멘트에 대한 내하력이 부모멘트에 대한 내하력보다 큼을 알 수 있다. 이는 실제로 작용하는 차량하중의 영향이 정모멘트 부재력에 미치는 영향이 더 크지만, 설계된 단면의 최대 단면력을 살펴보면, 예를들어 슬래브 중앙에 위치하는 보 B1의 경우 정모멘트 설계 단면력이 54 Ton-meter로써 부모멘트 설계 단면력 22.5 Ton-meter 보다 두 배 정도 커서 보의 중앙부에서 허용가능한 차량하중이 60 Ton이나 되는 반면에 단부에서는 20 Ton밖에 되지 않는다. 설계단면력이 정모멘트보다 부모멘트일 때가 작은 이유는 부모멘트 부재력을 주로 저항하는 상단 철근이 하단 철근보다 적게 배근되었기 때문인데 이처럼 보나 거더의 단부 상단 철근이 하단 철근보다 적게 배근된 까닭은 지하 주차장의 시공방법의 특수성에서 기인한 것으로 보와 거더의 하부는 공장에서 미리 제작이 된 Half Beam으로 하단 철근량이 결정된 상태에서 상단 철근을 배근하여 현장 타설 콘크리트로 Half Beam과 일체화 시키는 과정에서 시공성을 높이기 위해 균일하게 상단 철근을 현장에서 배근하였기 때문이다. 하지만 원칙적으로 지하 주차장의 거더와 보 부재는 단순지점으로 설계되었다. 따라서 하중이 극한 하중에 도달되면 부모멘트를 받는 단부는 구조적으로 소성힌지가 발생하게되고 결국 전체 구조계의 파괴는 보나 거더의 중앙부에서 생성되는 소성힌지에 의해 일어나게된다. 이러한 이유로 설계단면의 허용가능한 차량하중은 실제로 파괴를 일으키는 소성힌지가 형성되는 중앙부의 정모멘트 단면저항력이 결정하게 된다. 이를 바탕으로 구조부재별 보정계수(표 4)를 설계단면의 허용가능한 차량하중에 곱하여 구조 부재별로 실측내하력을 차량하중의 크기로 산정하여 표 6에 보이었다.

보정계수는 구조해석 모델에 의한 변형률값을 실제로 실험을 통하여 측정된 변형률값으로 나눠 준 것으로 1 보다 값이 크면 실제 구조물보다 해석 모델이 유연하다는 것을 의미하며 1 보다 작으면 반대로 더 강성이 크게 모델링되었다는 것을 의미한다. 이와같이 실제 구조물과 해석 모델사이를 보정하여 각 구조부재에 작용할 수 있는 허용 차량하중을 구한 결과가 표 6에 주어져 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 보와 거더의 허용 차량하중을 결정짓는 부위는 실제 구조물의 파괴가 일어나는 중앙부 정모멘트 부재력에 대한 단면 내하력이다. 거더 G7은 보 B4의 경우보다 2배 정도 큰 단면 저항력을 갖으며 이에 비해 슬래브의 단면 내하력은 상대적으로 작음을 알 수 있다.

표 6 실측 내하력의 산정

부재 \ 항목		gage 번호	하중조건	보정계수	P^{EQ}	P^{EQ}_{real}	비 고
SLAB	단변	12/2	S1	0.88	14.47	12.73	12.73
		26/22	S1		5.65		
	장변	21/11	S6		4.85		
		22/12	S6	1.11	4.85	5.4	5.4
		27/21	S2		5.97		
		19/9	S3		5.97		
		24/14	S4	1.02	11.30	11.53	
		14/4	S5		11.30		
		15/5	S5		11.30		
보 B4	center	18/24	B4	1.06	59.03	62.6	62.6
	end	20/10	B5	1.07	19.58	21	
거더 G1	center	13/3	B1	0.75	34.28	25.7	25.7
	end	16/6	B2	0.96	9.73		
		11/1	B3	1.11	9.73		
거더 G7	center	23/13	B6		106.70		
		25/17	B6	1.37	106.70	146	146
	end	17/7	B6	1.11	11.07		

4. 동특성 추정 및 주행하중에 의한 특성분석

주차장 구조물은 차량하중에 의한 집중하중의 영향외에 주차장 내에서의 차량 주행에 따른 주행하중을 수반한다. 이는 교량의 경우에서와 같이 설계나 재하력 분석에 있어 충격계수의 형태로 추가적으로 고려되어야 하는 사항으로 이의 특성분석이 요구되었다. 본 연구에서는 이를 위해 주차장 구조물의 고유치를 분석하고, 이 결과를 이용한 주행하중에 의한 구조거동 분석이 수행되었다.

주차장 구조물의 동적특성 분석을 위하여는 해석적 방법의 고유치 해석과 구조물의 현존하는 동적특성을 실험적기법을 통하여 구하는 방법이 이용되었다. 해석적 방법으로는, 정적해석에 사용되었던 해석모형에 질량의 영향을 추가로 고려하여 구조해석 프로그램을 이용하여 동적 고유치해석을 수행하였다. 실험적 방법으로는 Impact Hammer와 가속도계를 이용한 충격실험을 수행하여 주파수응답함수를 추정하고, 이 결과를 바탕으로 구조물의 고유치인 모우드 계수(고유진동수, 감쇠계수 및 모우드 형상)를 실험적으로 추정하였다. 충격실험에 사용된 장비와 타격점은 그림 6, 7에 나타내었다. 또한, 이때 추정된 모우드 계수는 그림 8에서 이론적인 값과 비교되었다.

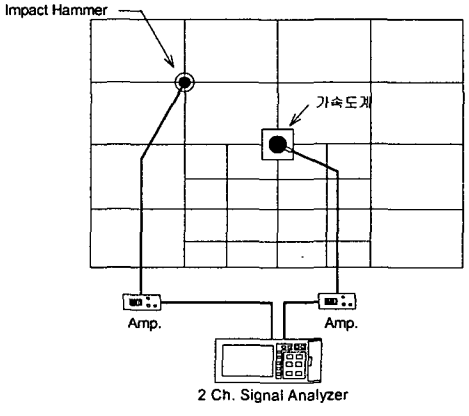


그림 6 충격시험을 위한 장비와 배치도

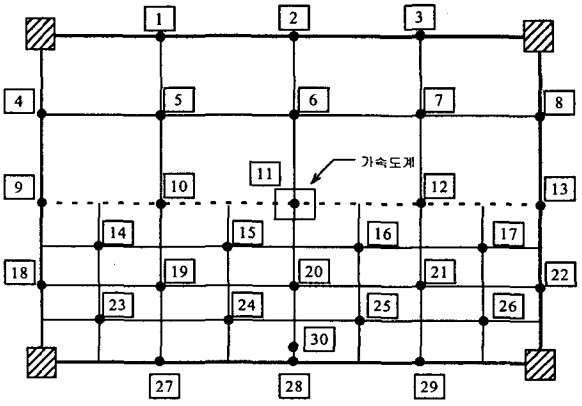
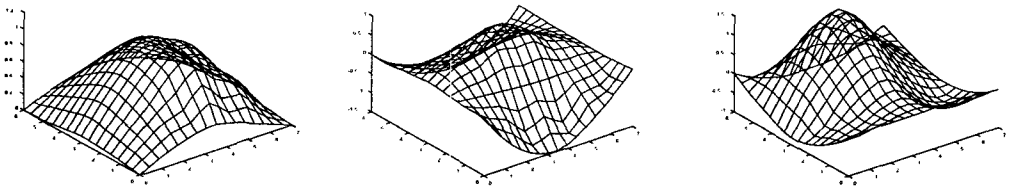


그림 7 충격시험을 위한 가속도계 위치 및 타격점

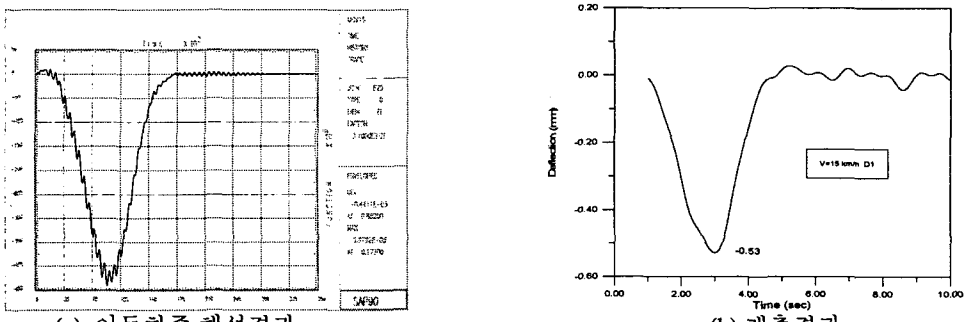


(a) 19.813 *Hz* (mode 1- 19.864 *Hz*) (b) 44.250 *Hz*(mode 26- 45.316 *Hz*) (c) 62.125 *Hz* (mode 46- 64.554 *Hz*)

그림 8 추정된 고유진동수와 모우드 형상 (괄호안의 값은 대응되는 이론적 고유진동수)

그림 8의 결과는 동적 거동분석에 사용될 이론적 모형이 실제의 거동을 매우 잘 묘사하고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 본 연구에서 사용된 구조모형이 정적, 동적 거동의 분석에 상당히 유용하다는 것을 보여주고 있다.

다음은 충격계수의 산정을 위해 주행하중에 대한 이론적 해석 및 실험이 수행되었다. 이때, 얻어진 이론적 결과와 실측치는 그림 9와 같고, 최종적으로 충격계수의 형태로 정리되어 표 7, 8에 나타내었다. 이때, 실제 계측되는 변위값이 매우 작아 표 8의 D2에서 보인 바와 같이 과도한 계측오차로 인하여 충격계수의 산정에 상당한 오차가 유발되기도 하였다. 따라서, 교량구조와 달리 실제 변위가 매우 작게 나타나는 구조계에서의 계측에서는 극히 정밀한 계측이 요구됨을 관찰할 수 있었다.



(a) 이동하중 해석결과 (b) 계측결과

그림 9 보 중앙(D1)에서의 처짐 (V=15 Km/h)

표 7 계산된 동적최대처짐과 충격계수

보 중앙(D1)			
속도(km/h)	동적최대 처짐(mm)	정적처짐 (mm)	충격계수+1
5	0.4272	0.4125	1.036
10	0.4315		1.046
15	0.4411		1.070
슬라브 중앙(D2)			
속도(km/h)	동적최대 처짐(mm)	정적처짐 (mm)	충격계수+1
5	0.3803	0.3916	-
10	0.3834		-
15	0.3891		-

표 8 계측된 동적최대처짐과 충격계수

보 중앙(D1)			
속도(km/h)	동적최대 처짐(mm)	정적처짐 (mm)	충격계수+1
5	0.47	0.50	--
10	0.52		1.04
15	0.53		1.06
슬라브 중앙(D2)			
속도(km/h)	동적최대 처짐(mm)	정적처짐 (mm)	충격계수+1
5	0.18	0.11	1.64
10	0.14		1.27
15	0.19		1.73

5 종합결론

본 지하주차장의 계산된 내력은 아래 표와 같으며 실제 2.4ton의 설계 차량하중을 고려하고 있는 현 시방서를 토대로 하면 기존의 주차장 구조물이 가지고 있는 슬래브의 취약성이 없이 설계상의 단면저항력은 충분한 것으로 판단된다. 특히 아래 표에서 산출된 각 부재의 내하력은 현장시험에서

얻어진 변형률과 충격계수 등의 결과를 종합적으로 반영한 것으로 궁극적인 구조부재의 내하력으로 평가할 수 있다. 이 실험적 연구에 의해 얻어진 세부적인 결론 사항은 아래와 같다.

표 9 본 구조물의 내하력 단위(ton)

구조부재	보	거더	슬래브
내 하 력	62.6	25.7	12.7

① 여타 기존의 일반적인 주차장 구조물의 슬래브 두께는 15cm인 반면 본 지하 주차장 구조물의 슬래브 두께는 각국의 설계규준에서 추천하고 있는 20cm로 되어 있으며 구조해석결과를 통해 볼 때 상대적인 슬래브 강성의 증가로 인해 처짐이 극히 작고 힘의 분산이 원활히 이루어짐으로써 국부적으로 취약하게 나타나는 부분이 대부분 제거되는 경향을 보이고 있다.

② 주차장 구조물이 Half-PC로 설계, 시공된 관계로 기존의 주차장 구조물에서 문제가 되는 상부근의 시공중 처짐에 따른 제반 문제 등 시공관리상의 문제가 상당부분 해소되었음을 알 수 있었다. 또한, 구조부재의 제작과 시공상 보강개념으로 설치된 철근(Wire-Mesh)이 구조물의 거동을 향상시키고 단면의 필요한 저항력에 크게 보탬이 되고 있는 것으로 판단된다.

③ 보, 거더 부재의 경우는 설계의 개념상 단순보로 이루어진 관계로 부재 중앙의 정모멘트를 받는 부분에 주철근이 집중적으로 배근된 반면 부모멘트를 받는 기둥주위의 부분 등은 비교적 적은 수의 기본 철근이 배근되어 있다. 그러나 구조물의 거동 특성상 작용하는 하중이 그다지 크지 않은 경우는 설계상의 단순보 보다는 연속보의 거동현상이 나타나는 것을 볼 수 있으며 이러한 현상은 하중이 작지 않은 상태까지 지속되는 경향이 있음을 알 수 있었다. 따라서 본 구조물의 추가적인 여분의 저항력 증가를 위해서는 부모멘트를 받는 부분에 추가적인 철근의 배근이 추천된다.

④ 본 주차장 구조물은 전체적으로 등분포 하중에 대한 설계와 슬래브의 두께가 20cm로 이루어지는 등 사하중의 증가요인이 발생한 현 상황과 단순보로 설계가 이루어진 관계로 거더와 보 부재의 규격이 타 구조물과는 달리 크게 제작되었다. 특히 일반 주차장 구조물에서도 알 수 있듯이 슬래브는 취약한 구조부재로 나타나는 반면 보 부재의 경우는 넓은 면적의 등분포 하중을 집중적으로 받는 관계로 오히려 과다하게 설계가 되어지는 경향이 있음을 알 수 있었다.

⑤ 실험이 수행된 주차장 구조계는 일반 토목 구조물과는 달리 상당히 고차의 진동수(첫번째 고유주파수가 약 20Hz)를 갖으며 감쇠계수는 대략 1 %였다. 일반적인 콘크리트 구조물의 설계 감쇠계수가 5 %정도 인데 비해 실제 주차장 구조물은 비교적 낮은 감쇠계수를 갖음을 알 수 있다. 또한, 주차장내의 저속운행시 충격계수는 0.1 미만의 값을 갖음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김경호, "주차장계획과 설계", 건축문화, 1994
2. "교량내하력조사(구조물안전도연구)", 건설부 국립건설시험소, 1985, 12.
3. Adolf Pucher, "Influence Surface of Elastic Plates", New York, 1977
4. Ewins, D.J. 1984, Modal Testing : Theory and Practice, John Wiley & Sons Inc.
5. Hong, Kyu-Seon and Yun, Chung-Bang 1993, "Improved Method for Frequency Domain Identifications of Structures", *Journal of Engineering Structures*, Vol.15 (3), 179-188
6. Kim, Jeong-Tae, "Assessment of Relative Impact of Model Uncertainty on the Accuracy of Nondestructive Damage Detection in Structures", *Ph. D. Dissertation, Dept. of Civil Engrg,, Texas A & M University*, 1993
7. Nowak, A. S., "Diagnostic Procedures for Bridges", *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Bridge Evaluation, Repair and Rehabilitation*, Baltimore, Maryland, U.S.A., 1990
8. Paultre, P., Proulx, Jean and Talbot, M., "Dynamic Testing Procedures for Highway Bridges Using Traffic Loads", *J. of Engrg Struct., ASCE*, Vol 121(2), 1995, 362-376
9. Schneider, H.J., Elf, H.P. and Kolle, P., "Modeling of Travelling-Loads and Time-Dependent Masses with ADINA", *Computers & Structures*, Vol 17(5-6), 1983, 749-755
10. Stephen, G.A., Brownjohn, J. M. W., and Taylor, C. A., "Measurements of static and dynamic displacement from visual monitoring of Humber Bridge", *Engrg Struct.*, 1993,15, 197-208
11. Stetson, K.A. and Harrison, I.R., "Redesign of Structural Vibration Modes by Finite-Element Inverse Perturbation", *J. of Eng. for Power, ASME*, Vol 103, 1981, 319-325
12. Wilson, E.L. and Habibullah, "SAP90 Structural Analysis Program", *Computer and Structures*, California, 1992