

## 비파괴 및 재하시험에 의한 노후 교량의 거동특성

### Behavior Properties of Bridge by Non Destructive and Loading Test

민 정 기\* · 김 영 익\*\*

Min, Jeong Ki · Kim, Young Ik

#### Abstract

The performance evaluation and deflection of 3 spans concrete simplicity slab bridge analyzed by non-destructive and loading test. Compressive strength of slab and pier appeared in the range of each 353~366 kgf/cm<sup>2</sup> and 152~215 kgf/cm<sup>2</sup> in rebound number test. Also, it appeared that concrete quality of slab was good after performance improvement. The average compressive strength of slab by core picking appeared 229 kgf/cm<sup>2</sup>. In reinforcing bar arrangement test of span and member, it appeared that horizontal and vertical reinforcing bar was arranged to fixed interval. The value of calculation deflection that carried structural analysis with deflection analysis wave in static loading test appeared higher than that of experimental deflection and it appeared that hardness of this bridge was good. Maximum impact factor that estimated from deflection by running speed in dynamic loading test appeared by 0.216 in 10 km/hr running speed.

*Keywords : Performance improvement, Rebound number, Reinforcing bar, Static loading, Dynamic loading, Impact factor*

#### I. 서 론

교량의 성능이 저하되거나 붕괴되어 사용할 수 없게 되었을 때 국민생활에 미치는 영향은 예측하기 어려울 정도의 혼란을 초래하게 됨으로, 교량은 일단 건설되면 반영구적인 기능이 요구되어 진다.

따라서, 교량의 수명연장 및 사용기간 동안은 공

공의 안전성과 신뢰성이 확보되어야 하므로 이에 대한 적절한 유지관리가 상당히 중요하다.

효과적이 교량의 유지관리는 결함, 손상 및 열화를 초래할 수 있는 요인들은 미리 발견하여 예방적 조치를 취함으로써 손상단계로의 진전을 미연에 방지하거나, 이미 결함, 손상 및 열화가 발생한 경우에는 초기에 적절한 대책을 강구함으로써 대규모의 보수, 보강에까지 이르지 않도록 경제적인 유지관리를 행하여 교량의 공용수명을 연장하는 것이다.

일반교량은 유지관리가 이루어지지 않을 경우 준공 후 10년 동안 구조성능의 25%, 20년 후에는 40%, 30년 후에 55%를 상실하는 것으로 알려져

\* (주)크린월드하이테크 책임연구원  
\*\* 충남대학교 농업과학연구소  
\* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-7866  
Fax: +82-42-825-5791  
E-mail address: min\_jk@hanmail.net

있다.

특히, 저등급 교량의 경우는 적절한 유지관리를 실시하여도 준공 후 15년 후에 약 17%, 준공 후 20년 후에 27%의 내하력 저하가 발생하는 것으로 알려져 있다.

따라서, 본 연구는 설계하중 DB-18로 준공되어 공용년수 20년이 지난 3경간 콘크리트 단순 슬래브교를 대상으로 하여 비파괴 및 재하시험에 의한

거동특성을 평가하여 대상구조물의 내하성능을 고찰하고자 실시하였다.

## II. 대상교량의 제원

대상교량은 설계하중 DB-18로 준공된 3경간 콘크리트 단순 슬래브교로서 공용기간이 약 20년 경과되었으며, 교량 단면은 Fig. 1과 같다.

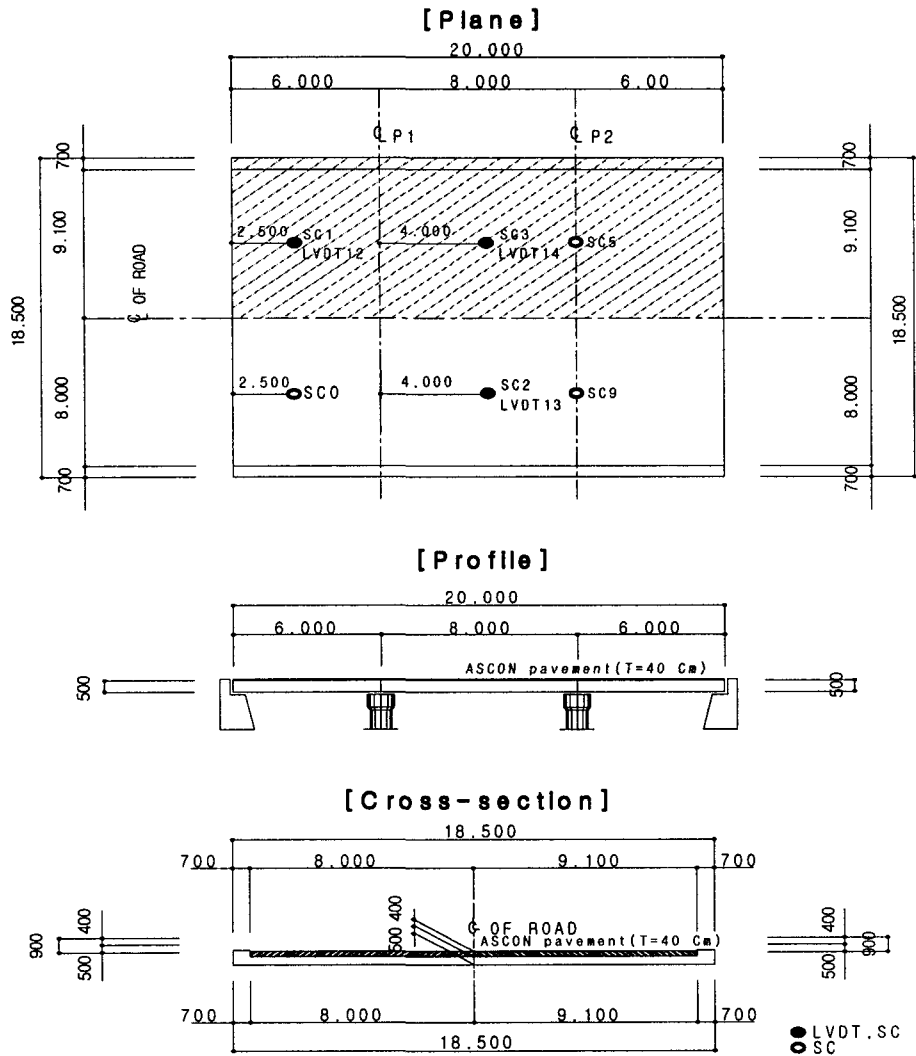


Fig. 1 Bridge section and location of gauge

### Ⅲ. 시험방법

#### 1. 반발경도시험

반발경도시험은 ASTM C-805-85 (Standard test method for rebound number of hardened concrete)에 준하여 실시하여 다음 식으로 산출하였고 재령에 따른 보정을 실시하였다.

$$F = -184 + 13.0 \times R_o$$

$$R_o = R + \Delta R_1 + \Delta R_2$$

여기서,  $R_o$  : 수정반발경도

$R$  : 측정반발경도

$\Delta R_1$  : 타격각도에 대한 보정치

$\Delta R_2$  : 측정표면에 따른 보정치

$F$  : 표면강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )

$$F_c = K_f \times F$$

여기서,  $F_c$  : 보정 후 표면강도

$K_f$  : 보정계수 (재령 3,000일 이상: 0.63)

#### 2. 코어 압축강도시험

코어 압축강도측정은 대상구조물에서 코어를 채취하여 콘크리트의 압축강도를 추정하는 국부과파시험으로, 비파괴시험과는 구별되지만 구조물의 실제강도를 추정한다는 관점에서 비파괴적인 방법과 함께 실시하여 강도를 측정하였다.

#### 3. 철근탐사시험

철근조사는 대상 구조물의 시공상태 및 구조적인 안전성을 검토하는데 목적이 있으며, 이를 위하여 우선 배근된 철근의 위치와 간격, 철근의 피복두께 및 깊이를 조사하였다.

사용된 기기는 자극유도원리(impulse induction principle)에 의해 작동하며 철근의 상태는 휴대용 모니터에 그래픽으로 나타난다.

#### 4. 재하시험

##### 가. 정적재하시험

작용하는 외력에 대한 대상구조물의 중·횡방향의 정적거동 상태를 파악하였으며, 이를 위한 차량의 재하위치는 경간별로 최대 정모멘트가 발생할 수 있는 경우를 고려하여 선정하였다.

##### 나. 동적재하시험

동적재하시험은 정적재하시험에서 최대응력 및 처짐이 발생하는 지점을 측정지점으로 선택하여 의사정적하중인 5 km/h부터 현장여건이 허락하는 최대속도까지 주행속도를 일정하게 증가시키면서 실시하였으며, 최대 단면력이 예상되는 위치에 변형률 Gauge 및 변위계를 Fig. 1과 같이 설치하여 변형률 및 처짐을 측정하여 구조물의 동적거동 상태를 파악하였다.

##### 다. 차량제원 및 재하위치

재하시험에 사용된 시험차량은 15 tf 덤프트럭에 하중을 적재하여 총하중이 26.52 tf이 되도록 하였으며, 재하차량의 축중량은 Table 1과 같다.

차량재하위치는 정적시험의 경우 계측센서 부착 위치의 응답치를 크게 하고 거동특성을 반영할 수 있도록 선정하였고, 측정된 측정값의 신뢰성을 검토할 수 있도록 재하경우(load case)를 고려하여 설정하였으며, 시험차량의 재하위치는 Fig. 2와 같다.

Table 1 Load by a vehicles type

Vehicles type	Front wheel (Pf)	Middle wheel (Pm)	Rear wheel (Pr)	Total load
DUMP	6.02tf	11.14tf	9.36tf	26.52tf

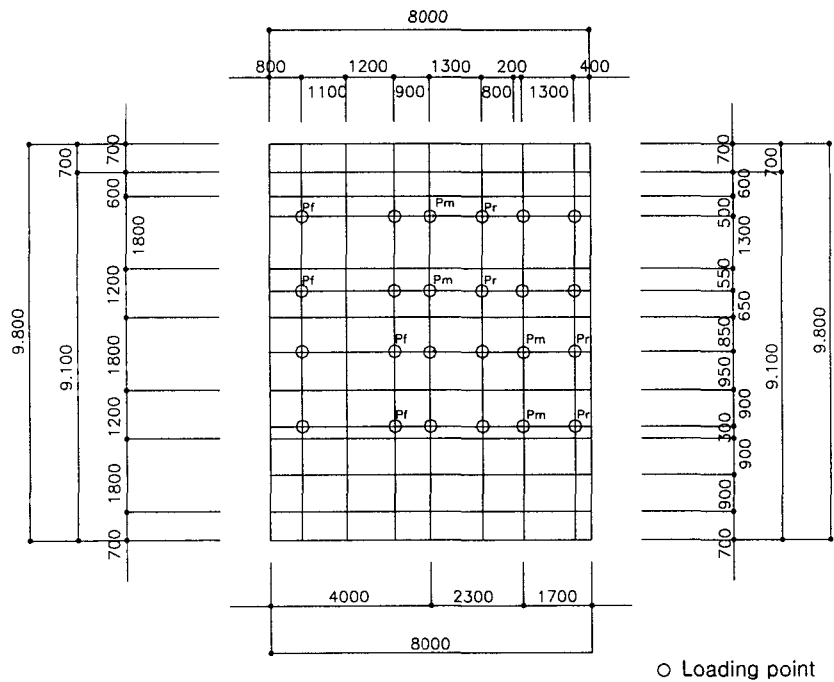


Fig. 2 Loading section

### 5. 구조해석

교량에 대한 응답비 산정을 위해 정적재하시험에서 사용된 재하하중과 동일한 위치에 하중을 재하하여 얻어진 결과를 재하시험 결과치와 비교 분석하였다.

#### 가. 설계조건

교량형식은 연장 20 m의 3경간 RC Slab교로서 기존교량은 폭원 9.8 m의 직교이며, 해석에는 범용프로그램인 SAP-2000을 사용하였다.

#### 나. 하중조건 및 재료특성

- 사하중 : 철근 콘크리트 (2.5 tf/m<sup>3</sup>), 아스콘 포장층 (2.3 tf/m<sup>3</sup>)
- 활하중(재하시험의 차량하중)은 전륜하중(3.01 tf), 중륜하중(5.57 tf), 후륜하중(4.68 tf)
- 콘크리트의 압축강도는( $\sigma_{ck} = 229 \text{ kgf/cm}^2$ ), 탄

성계수 ( $E_c = 227,000 \text{ kgf/cm}^2$ )

- 철근은 SD30 ( $\sigma_s = 3,000 \text{ kgf/cm}^2$ ), 탄성계수 ( $E_s = 2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ )
- 콘크리트의 허용 휨압축응력 ( $f_{cu} = 0.4 f_{ck} = 92 \text{ kgf/cm}^2$ )
- 철근의 허용 휨인장응력(SD24) ( $f_{su} = 1,500 \text{ kgf/cm}^2$ )

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 반발경도시험

콘크리트에 대한 반발경도 시험은 상부공과 교대, 교각의 각 구조요소에 대해서 실시하였으며, 반발경도 측정방법은 Ferroskan으로 철근의 위치를 조사해서 철근이 없는 부위를 선정하여 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등은 그라인딩으로 제거

Table 2 Compressive strength by rebound number test

Measurement point	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Measurement point	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )
Slab 1	366	Slab 3	383
Slab 1	353	Pier 1	152
Slab 2	362	Pier 1	170
Slab 2	354	Pier 2	215
Slab 3	360	Pier 2	173

하고 곰보, 공극, 노출된 자갈 부위 등은 측정점에서 제외하였다.

또한, 각 측정 부재에 따라 타격방향, 표면의 건조상태, 재령 등을 보정하였으며 설계상 교각의 사하중 압축응력에 대해서도 보정하여 반발경도에 의한 강도추정을 수행하였다.

반발경도 시험방법에 의한 교량의 콘크리트 압축강도 측정결과는 Table 2와 같다.

반발경도시험결과 슬래브의 압축강도는 353~366 kgf/cm<sup>2</sup>으로 평균압축강도는 363 kgf/cm<sup>2</sup>을 나타냈으며, 교각은 152~215 kgf/cm<sup>2</sup>으로 평균 압축강도는 177 kgf/cm<sup>2</sup>를 나타내어 슬래브 하면의 콘크리트 품질은 양호한 것으로 나타났다.

### 2. 코어 압축강도시험

코어 채취는 파괴검사의 한 방법으로 구조물에 사용된 콘크리트의 실제적인 강도를 측정하기 위하여 시편을 채취하고 실내시험으로 압축강도를 측정하였으며, 슬래브의 평균압축강도는 229 kgf/cm<sup>2</sup>로 측정되었다.

### 3. 철근탐사시험

철근탐사시험은 철근의 배근상태 및 피복두께를 파악하기 위하여 실시하는 것으로, 철근의 피복두께가 지나치게 작은 경우에는 콘크리트의 중성화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되고, 피

Table 3 Test results of reinforcing bar investigation

Measurement location	Reinforcing bar	Arrangement space (mm)	Overlay depth (mm)	
Slab	1 Span	Vertical	176	42
		Horizontal	194	44
		Vertical	140	36
		Horizontal	184	40
	2 Span	Vertical	163	43
		Horizontal	131	35
		Vertical	164	52
		Horizontal	185	57
	3 Span	Vertical	157	53
		Horizontal	200	45
		Vertical	151	53
		Horizontal	197	45

복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반하는 등 구조물의 내구성에 많은 영향을 미친다.

경간 및 부재별로 실측된 철근 배근상태의 측정결과는 Table 3에서 보는 바와 같이 수평철근과 수직철근의 배근간격이 일정한 간격으로 배근되어 있음을 확인할 수 있었다.

### 4. 정적재하시험

하중경우별 정적재하시험 결과를 나타내면 Table 4와 같다.

시험차량 하중의 재하에 의해서 현장에서 측정된 데이터의 신뢰성 문제는 측정값의 결과 분석에 있어서 매우 중요한 변수로서 정적 재하경우에 시험차량 재하시 측정된 변위의 분포를 통하여 결과를 검증할 수 있다.

변위는 교량을 구성하는 부재의 전체적인 강성에 관계하기 때문에 동일한 하중 조건하에서 특정부재의 처짐이 과다하면 부재의 손상, 설계 또는 시공 오류 등의 원인을 찾아야 한다.

Table 4에서 알 수 있듯이, 차량재하시 변위분

Table 4 Test results of static loading test

Measurement point \ Loading condition	Load case 1	Load case 2	Load case 3	Load case 4
LVDT 12	0.251	0.286	0.071	0.073
LVDT 13	0.569	0.708	0.396	0.315
LVDT 14	0.662	0.784	0.950	1.006
SC 0	0.061	0.116	0.141	0.060
SC 1	1.822	0.148	0.228	2.038
SC 2	1.450	2.084	1.894	0.166
SC 3	0.094	1.260	0.989	2.091
SC 6	0.055	0.030	0.133	0.041
SC 9	2.975	8.491	0.271	2.533

\* LVDT gauge : mm, SC gauge :  $\times 10^{-6}$  strain

Table 5 Deflection for loading condition

Loading condition	Measurement point	Calculation value (mm)	Experimental value (mm)	Calculation / Experimental
L.C 1	LVDT 13	0.856	0.569	1.504
	LVDT 14	0.587	0.662	0.887
L.C 2	LVDT 13	1.324	0.708	1.870
	LVDT 14	0.897	0.784	1.144
L.C 3	LVDT 13	0.440	0.396	1.111
	LVDT 14	0.673	0.950	0.708
L.C 4	LVDT 13	0.667	0.315	2.117
	LVDT 14	1.046	1.006	1.040
Average				1.300

포가 교량 폭 방향에 대한 횡분배가 선형거동을 나타내므로 측정값은 충분한 신뢰도를 가지며, 따라서 정적재하에 의한 교량의 거동은 양호한 것으로 생각된다.

한편, 처짐에 대한 측정결과를 나타내면 Table 5와 같다.

여기서 알 수 있듯이, 측정된 변위값 중 최대변위는 하중경우 4일 때 1.006 mm이며, 이는 허용 처짐량인 10 mm와 비교하면 허용처짐 안에 들어온다는 것을 알 수 있다.

또한, 변형률은 교량을 구성하는 부재의 전체적인 강성과 부재 상세에 관계하고 변형률이 커지면 변위도 커진다. 본 교량의 재하시험 결과에 따른 변형률 값을 측정값 중 비교적 신뢰성이 있는 값으로 재하경우별 변형률 분포도와 변위 분포도를 비교하면 변형률과 변위의 분포형상이 거의 일치하고 있으며 분포가 일정하게 이루어진 것으로 보아 교량의 거동은 전반적으로 양호한 것으로 판단되어진다.

그리고 하중재하에 따른 처짐 분석결과 구조해석을 실시한 계산처짐이 실측처짐보다 대체적으로 크게 나타나 본 교량의 강성은 양호한 상태인 것으로 판단되어진다.

### 5. 동적재하시험

동적재하시험은 대상 교량의 실제 충격계수를 측정하기 위하여 수행하였으며, 주행경로는 일정하게 하여 교량 2차로를 따라 시험차량을 주행시켰고, 차량 주행속도 단계는 5 km/h와 10~55 km/h 사이의 속도로서 10 km/h씩 증가시키면서 변위와 변형률을 측정하였으며, 시험결과는 Table 6 및 Fig. 3과 같다.

그리고 동적재하시험 결과로부터 시험차량이 5 km/h로 주행할 때 얻은 최대 응답치를 의사정적상

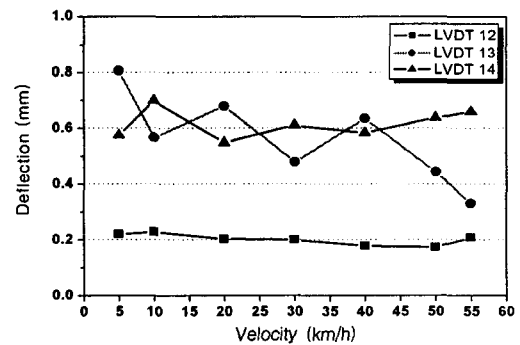


Fig. 3 Deflection for measurement point by loading condition (velocity)

Table 6 Test results of dynamic loading test

Measurement point	Loading condition	Loading condition						
		5km/h	10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h	55km/h
LVDT 12		0.220	0.229	0.203	0.200	0.178	0.173	0.208
LVDT 13		0.806	0.566	0.679	0.479	0.635	0.444	0.330
LVDT 14		0.574	0.698	0.547	0.610	0.583	0.637	0.659
SC 0		0.004	0.166	0.045	0.099	0.175	0.096	0.118
SC 1		-	-	0.525	-	-	-	-
SC 2		1.394	0.111	1.497	1.881	1.066	1.608	2.008
SC 3		2.119	0.751	0.230	2.097	1.227	0.176	0.041
SC 6		0.076	0.070	0.137	0.082	0.077	0.117	0.110
SC 9		2.492	8.104	2.117	7.890	8.218	4.898	5.770

\* LVDT gauge : mm, SC gauge :  $\times 10^{-6}$  strain

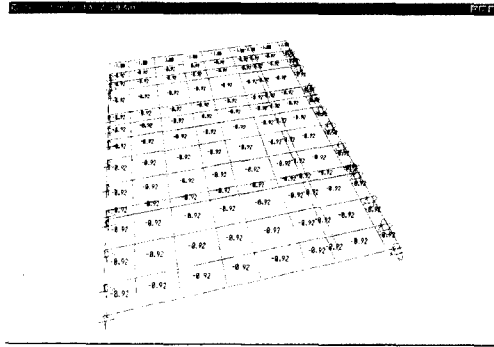
Table 7 Test results of impact factor and dynamic amplification factor

Measurement point	Velocity (km/h)	Static maximum value	Dynamic maximum value	Dynamic amplification factor	Impact factor
LVDT12	10	0.220	0.229	1.040	0.040
	20		0.203	0.922	-
	30		0.200	0.909	-
	40		0.178	0.809	-
	50		0.173	0.786	-
	55		0.208	0.945	-
LVDT13	10	0.806	0.566	0.702	-
	20		0.679	0.842	-
	30		0.479	0.594	-
	40		0.635	0.787	-
	50		0.444	0.550	-
	55		0.330	0.409	-
LVDT14	10	0.574	0.698	1.216	0.216
	20		0.547	0.952	-
	30		0.610	1.062	0.062
	40		0.583	1.015	0.015
	50		0.637	1.109	0.109
	55		0.659	1.148	0.148
Experimental impact factor		0.216 (10 km/h)			
Calculation impact factor		0.300 (L=8.0m)			

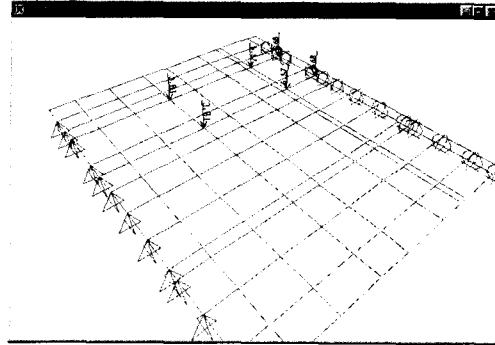
태로 간주한 동적증폭계수 및 충격계수는 Table 7 과 같다.

주행속도별 처짐비로부터 산정된 실측 최대충격 계수는 주행속도 10 km/h에서 0.216으로 나타났

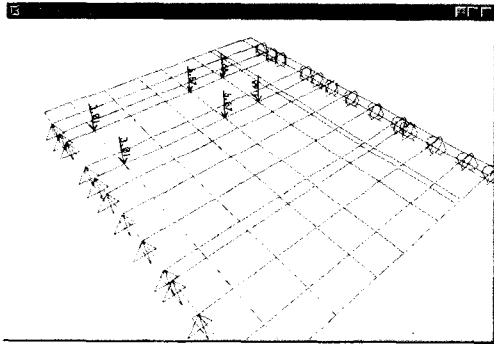
으며, 이는 도로교 시방서 상의 계산 충격계수 0.3 보다 작은 값으로 만족하고 있음을 알 수 있다.



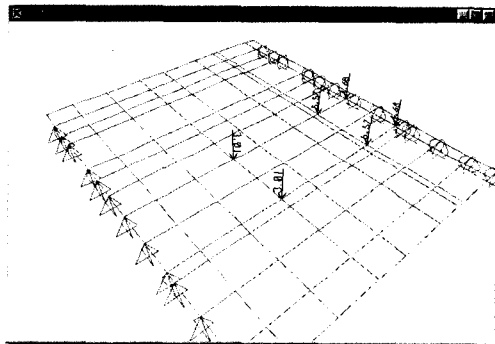
(a) Dead load



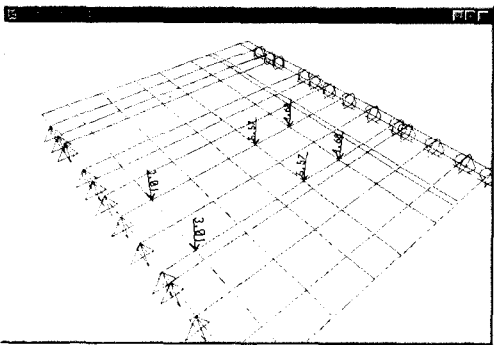
(b) Live load case-1



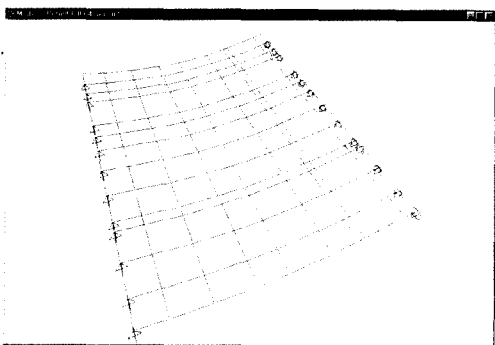
(c) Live load case-2



(d) Live load case-3



(e) Live load case-4



(f) Dynamic mode diagram

Fig. 4 Load diagram



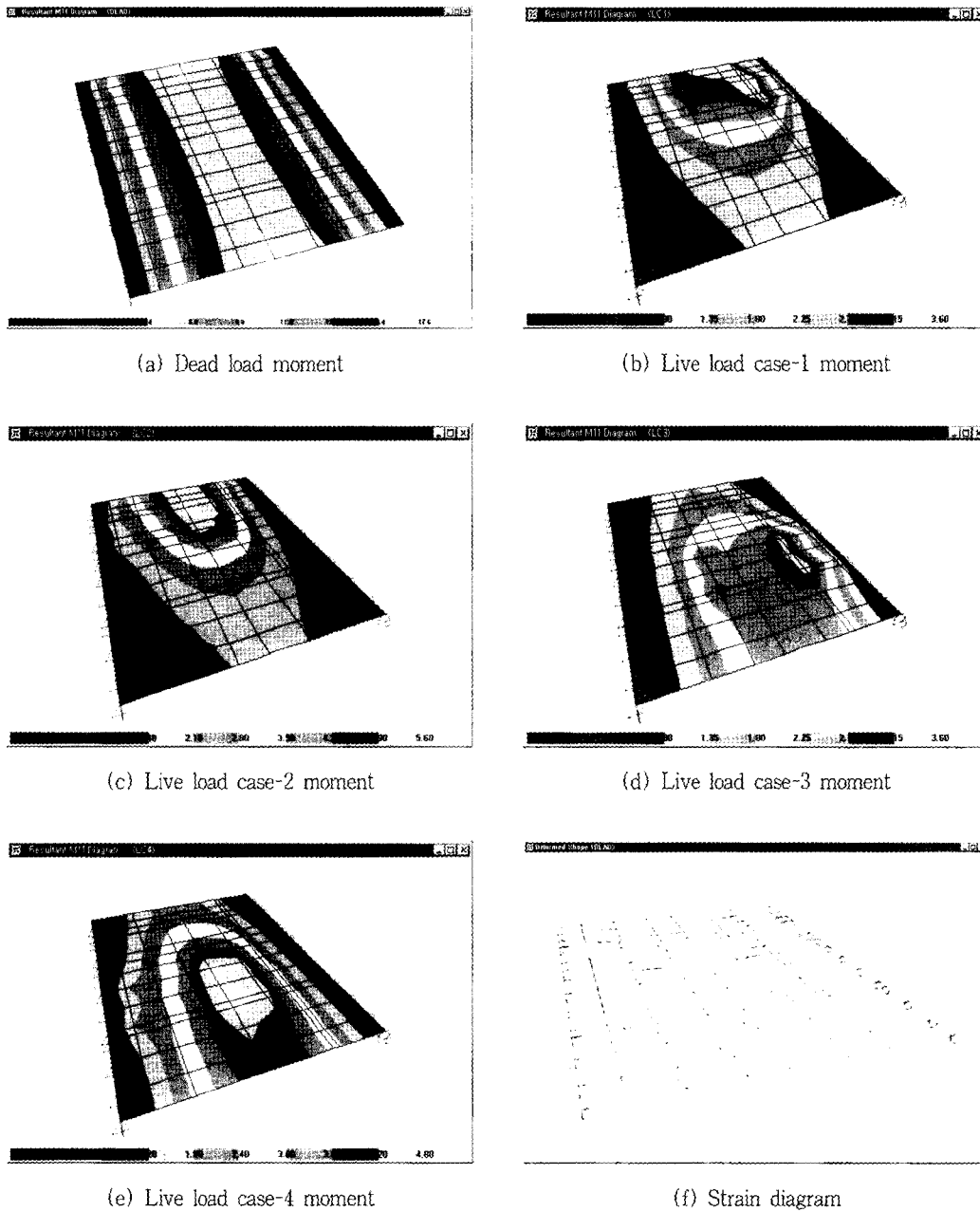


Fig. 5 Moment diagram by structural analysis

## 6. 구조해석

교량에 대한 응답비 산정을 위해 정적재하시험에

서 사용된 재하하중과 동일한 위치에 하중을 재하하여 얻어진 결과를 재하시험 결과치와 비교 분석하였으며, 사하중 및 활하중 재하위치는 Fig. 4와

Table 8 Response ratio of deflection for load condition

Joint		Deflection (mm)				Remark
		Load case-1	Load case-2	Load case-3	Load case-4	
No 13	Calculator	0.856	1.324	0.440	0.667	Joint No-105
	Experimental	0.569	0.708	0.396	0.315	
	Response ratio	1.504	1.870	1.111	2.117	
No 14	Calculator	0.587	0.897	0.673	1.046	Joint No-65
	Experimental	0.662	0.784	0.950	1.006	
	Response ratio	0.887	1.144	0.708	1.040	

같고 해석결과 각각의 하중경우에 따른 모멘트도는 Fig. 5와 같다.

하중경우에 대한 실측 처짐과 구조해석에 의한 계산 처짐에 대한 결과는 Table 8과 같다.

여기서 보는 바와 같이, 계산처짐량/실측처짐량은 하중경우에 대하여 절점 13 및 14에서 각각 1.111~2.117 및 0.708~1.114 범위로 나타났으며, 평균응답비는 1.30을 나타내었다.

## V. 결 론

본 연구는 설계하중 DB-18로 준공되어 공용년 수 20년이 경과된 3경간 콘크리트 단순 슬래브교를 대상으로 하여 비파괴 및 재하시험에 의한 교량의 거동특성을 측정하여, 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 반발경도시험결과 슬래브 및 교각의 압축강도는 각각  $353\sim 366 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $152\sim 215 \text{ kgf/cm}^2$ 로 나타나 콘크리트 품질은 양호한 것으로 나타났다.
2. 코어 채취에 의한 슬래브의 평균압축강도는  $229 \text{ kgf/cm}^2$ 로 나타났다.
3. 철근배근상태는 수평철근과 수직철근 모두 일정한 간격으로 배근된 것으로 나타났다.
4. 정적재하시험에 따른 처짐 분석결과 구조해석을 실시한 계산처짐이 실측처짐보다 대체적으로 크게 나타남으로서 대상교량의 강성은 양호하다고 생각

각 된다.

5. 정적재하 구조해석에서 계산 처짐량/실측 처짐량은 하중경우에 대하여 1.111~2.117의 범위로 나타났으며, 평균응답비는 1.30으로 나타났다.

6. 동적재하시험에 의한 최대충격계수는 주행속도 10 km/h에서 0.216으로, 계산 충격계수인 0.3보다 작은 것으로 나타났다.

따라서, 대상교량은 설계하중에 대하여 양호한 거동을 하고 있는 것으로 평가되었다.

## References

1. C. G. Salmon and J. E. Johnson, 1996, Steel structures : design and behavior, Emphasizing Load and Resistance Factor Design, 4th Edition, Harper Collins College Publishers.
2. Edward G. Nawy, 1995, *Prestressed Concrete*, PRENTICE HALL
3. Koo, B. K., et al, 2001, A New Method Load Carrying Capacity with Respect to Traffic Loads, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance Inspection* 5(3) : 115-122. (in Korean)
4. Park, C. H. and B. S. Ku, 2002, The Effects on Structures caused by Replacement of Bridge Bearing, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance Inspection* 6(1) : 209-217. (in Korean)
5. Park, S. B. and S. J. Hong, 2000, A Study on

Performance Elevation of the Deteriorated Concrete Girder-Bridge by Continuous and External Tendons, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance Inspection* 4(2) : 159-166. (in Korean)

6. Woo, S. I. and K. S. Jung, 2000, The Distribution of the Normal Traffic Loads on the Steel Plate Girder Bridge, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance Inspection* 4(2) : 103-111. (in Korean)