

인터넷을 이용한 원격병렬 유사동적실험 : 면진교량에 대하여

Remote Parallel Pseudo-Dynamic Testings Using Internet on Base Isolated Bridge

윤정방¹⁾

이인원¹⁾

김남식²⁾

박동욱³⁾

Yun, Chung-Bang Lee, In-Won Kim, Nam-Sik Park, Dong-Uk

요 약 : 본 논문에서는 인터넷을 이용한 원격병렬 유사동적실험에 대한 수치적 시뮬레이션의 연구를 수행하였다. 이 실험 방법을 이용하면 원거리에 위치한 실험장비들을 인터넷으로 연결하여 대형 구조계의 심각한 비선형 거동에 관한 실험을 원격병렬방식으로 수행할 수 있다. 그 예제로써 지진격리된 교량의 지진에대한 해석을 수행하였다. 연구결과, 거리가 약 150km 떨어진 두 기관에 설치된 컴퓨터를 인터넷으로 연결하여 데이터를 4000회 상호 전송하며 병렬실험을 수행하는데, 약 35분이 소요되었다. 이 시간은 주로 데이터를 전송하는데 소요된 시간이며 이는 유사동적 실험의 수행에 소요되는 시간과 같은 수준으로 판단되어서, 현 실험기법의 실제 적용성을 입증할 수 있었다. 인터넷을 통한 데이터 전송방법이 더욱 개선된다면, 이 실험기법은 보다 유용해질 것이다.

ABSTRACT : This paper presents a numerical simulation study for remote parallel pseudo-dynamic testings using Internet. In this testing method, experimental facilities located at different places can be parallely used for testing a large-scale structure with many components subjected to severe nonlinear behavior. Example analysis is carried out on a base-isolated bridge for earthquake loading. The results indicate that the time required for data communication between two experimental systems located 150km apart through Internet for 4000 time steps is about 35 minutes, which is fairly equivalent to the time required for pseudo-dynamic testing. This testing method can be more powerful, as the data transmitting technique through Internet improves.

핵심용어 : 원격병렬실험, 유사동적실험, 인터넷, 면진교량

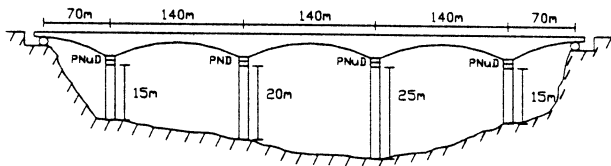
KEYWORDS : Remote Parallel Test, Pseudo-Dynamic Test, Internet, Base-Isolated Bridge

-
- 1) 한국과학기술원 토목공학과 교수
 - 2) 현대건설기술연구소 선임연구원
 - 3) 한국과학기술원 토목공학과 박사과정

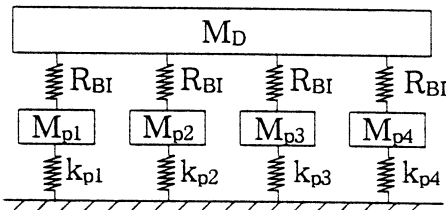
1. 서론

인터넷을 이용한 원격병렬 유사동적실험의 개념은 Watanabe[1]에 의하여 제안되었다. 이 개념은 비선형 거동이 크게 발생하는 여러 구조부재를 포함하는 대형 구조계의 동적거동을 분석할 수 있는 현실적인 실험기법을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 대형이고 복잡한 구조계의 동적실험에는 대규모이고 고가인 실험장비가 필요한데, 이런 대규모 장비는 한 연구기관이 보유하지 못한 경우가 많이 발생된다. 이 경우, 여러 기관이 보유한 실험장비들을 인터넷으로 연결하여 원격조정에 의한 병렬 실험을 수행하면, 대규모 구조계의 동적 비선형거동을 효과적으로 분석할 수 있다. 특히, 실물 크기인 구조부재의 비선형 거동에 대한 실험과 전체 구조계의 동적거동에 대한 전산해석을 매시간 병렬로 수행하는 실험기법인 유사동적실험[2,3,4]은 이에 매우 적합한 실험 방법이다.

본 연구에서는 실제 구조에 대한 원격 병렬 유사동적 실험을 수행하기 앞선 예비연구로서, 한국과학기술원과 현대건설기술연구소에 위치한 5대의 컴퓨터를 인터넷으로 연결하여 수치 시뮬레이션에 의한 원격 병렬 실험을 수행하였다. 대상구조물은 그림 1-(a)의 5경간 연속 콘크리트 박스거더 교량으로, 총연장 560m의 내진 1등급교이다.



(a) 예제구조물



(b) 해석모델

그림 1 예제 면진 교량과 해석모델

높이와 구조적 특성이 다른 4개의 교각과 상판 사이에 납충진 고무받침(LRB)이 설치된 경우와 강재 이력

감쇠받침(PNuD)이 설치된 경우, 그리고 모든 교각에 Shock Transmission Unit(STU)가 설치된 경우를 각각 비교하였다. 이 예비연구에서는 4개의 면진 베어링에 대한 유사동적실험을 가정한 비선형 특성을 가진 면진 베어링에 대한 수치 시뮬레이션해석으로 대체하였다. 연구결과, 거리가 약 150km 떨어진 두 기관에 설치된 컴퓨터를 인터넷으로 연결하여 면진 베어링의 변위와 비선형 반력에 대한 데이터를 총 4000회 상호 전송하며 수치 실험을 수행하는데 약 35분이 소요되었다. 이는 실제 구조에 대한 유사동적실험에 소요되는 시간과 같은 수준으로 판단되어, 본 인터넷을 이용한 원격병렬 유사동적실험 기법의 적용성을 입증하였다.

2. 대상교량 및 원격병렬 유사동적실험의 구성

연구 대상구조는 그림 1-(a)에서 보인 5경간 연속 콘크리트 박스거더 교량이며, 높이가 다른 4개의 교각 위에 두가지 종류의 면진베어링 및 STU가 설치된 경우에 대해 각각의 해석을 수행하였다. 해석모형은 그림 1-(b)와 같이 상판 및 4개의 교각에 대한 집중 질량과 4개의 교각에 대한 선형요소 및 4개의 면진베어링에 대한 비선형 요소로 구성되어있다. 인터넷을 이용한 데이터 전송과정을 분석하기 위한 본 예비연구에서는, 4개의 면진 베어링에 대한 유사동적실험을 각각의 수치 시뮬레이션으로 대체하였다. 본 교량 및 면진 장치에 대한 물성치는 표 1에 보였다. 상판의 축방향 변위가 2번교각에서는 고정이고 다른 지점에서는 활동인 경우의 기본 고유주기는 0.98초이고, 모든 교각에 STU가 설치된 경우의 교축방향 기본고유주기는 0.47초이며, 납충진 베어링이나 강재 이력감쇠받침이 설치된 면진교량의 항복전 고유주기는 2.01초로 구해졌다. 지진입력으로는 최대지반가속도가 0.2g로 조정된 El Centro가속도 기록(남북성분, 1940)을 사용하였다.

인터넷을 활용한 원격병렬 유사동적실험의 구성도는 그림 2에 보였다. 한국과학기술원에 위치한 주컴퓨터는, 그곳과 현대기술연구소에 위치한 4대의 부컴퓨터를 통제하여 매 시점 면진장치에서 발생하는 비선형 반력 데이터를 받아서, 다음 시점의 전체 교량 구조물의 동적응답을 해석한 후, 산정한 면진장치의 변위를 각 컴퓨터에 전송하여 실험을 수행하는 과정을 반복하였다. 5대의 컴퓨터는 거의 동등한 성능(OS: MS Windows 98, CPU: Pentium III 500MHz,

RAM: 512 Mbyte)을 가지고 있으며, Network의 최대 데이터 전송속도는 10Mbps이다. 전체 교량구조의 해석용 S/W와 인터넷을 통한 데이터 전송용 S/W는 Visual C++로 작성되었다.

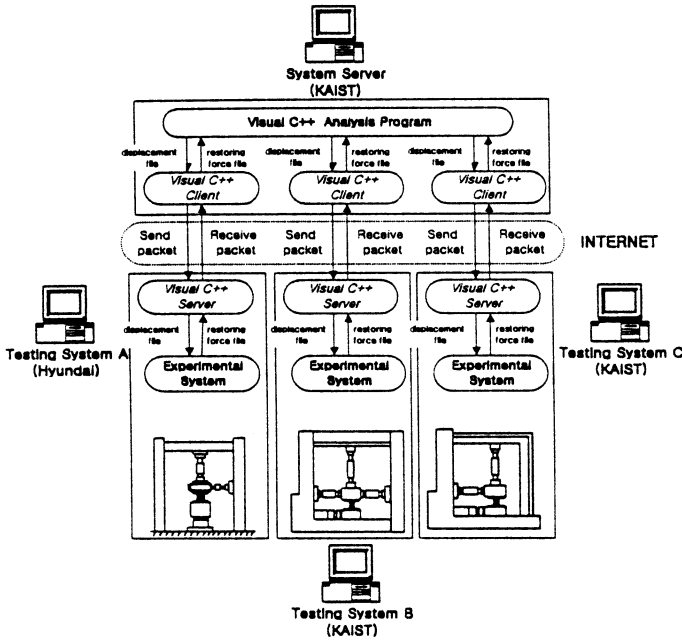


그림 2 원격병렬 유사동적실험의 구성

표 1 교량모델 및 면진장치의 물성치

Cases	Mass (ton)	Stiffness(kN/m)			Damping	
		Yield Displacement (cm)				
		Initial	After Yielding			
		PNuD & LRB	PNuD	LRB		
Deck	13,000		Rigid Body		0.03	
Pier1	300		6.5*10 ⁸		0.05	
Pier2	400		5.3*10 ⁸		0.05	
Pier3	500		4.5*10 ⁸		0.05	
Pier4	300		6.5*10 ⁸		0.05	
Base Isolator	1.5*10 ⁸	1.6*10 ⁶	3.57*10 ⁷		1.0	
						1
						2
						3
4						

3. 예제해석 결과 및 분석

인터넷을 통한 데이터 전송시간을 비교하기 위하여, 컴퓨터의 위치에 따른 3가지 경우에 대한 소요해석시간을 표 2에 정리하였다. 이들은 전체해석을 하나의 컴퓨터로 해석한 경우, 한국과학기술원 내에 위치한 5대의 컴퓨터를 연결하여 해석하는 경우와 거리가 150km 떨어진 곳에 위치한 컴퓨터들을 연결한 경우인데, 실험기간 20초에 대하여 시간간격(Δt)을 0.02초로 하여 인터넷을 통한 데이터 전송을 4000회 수행하여 교량의 수치 유사동적실험을 수행한 결과이다.

표 2의 결과에 의하면 거리가 150km 떨어진 컴퓨터 시스템을 인터넷으로 연결하여 수치 유사동적실험을 수행한 경우 약 35분이 소요되었는데, 이의 대부분은 4000회에 걸친 데이터의 왕복전송에 소요된 시간이다. 따라서, 1회 왕복 데이터 전송에 0.53초가 소요된 것인데, 이는 실제 구조물의 유사동적실험시 소요되는 시간과 비슷한 수준이어서 본 인터넷을 이용한 원격병렬 유사동적실험기법이 실제 문제에 적용성이 우수함을 보이고 있다.

표 2 소요시간 해석

System Configuration			Computation Time	
Main System	Sub system	Connection	4000steps	1step
at KAIST	at Hyundai and KAIST	Internet (Distance : 150km)	35min	0.53sec
at KAIST	at KAIST	Internet [LAN]	13min	0.2sec
at KAIST	at KAIST	Using a single Program	0.3sec	0.75msec

그림 3-8 및 표 3에서는 비면진교량과 면진교량의 지진응답을 비교하였는데, 면진장치에 의해 교량상판의 절대가속도(Total acceleration)가 27% 수준으로 감소되어서, 교각에 발생하는 밀면 전단력이 크게 감소함을 알 수 있다. 반면, STU를 장착시 절대가속도가 1.8배로 증가함을 알 수 있다. 위의 결과는 한국과학기술원과 현대건설기술연구소의 컴퓨터를 Internet으로 연결하여 수행한 수치 실험결과이지만, 이는 하나의 컴퓨터에서 해석한 결과와 물론 동일하다. 그림 5-8에서는, 4개의 교각위에 설치된 면진베어링의 비선형특성은 동일하지만 교각의 구조적특성이 상이하여 교각에 발생하는 밀면 전단력과 면진받침의 거동이 다소 달라짐을 보이고 있다.

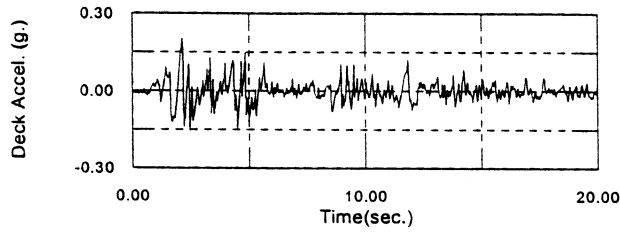
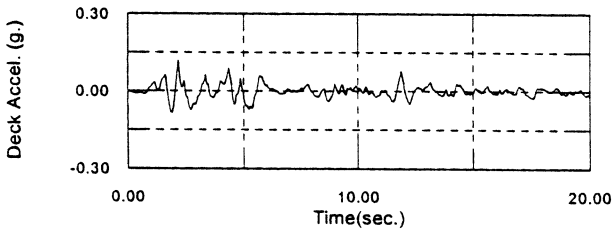
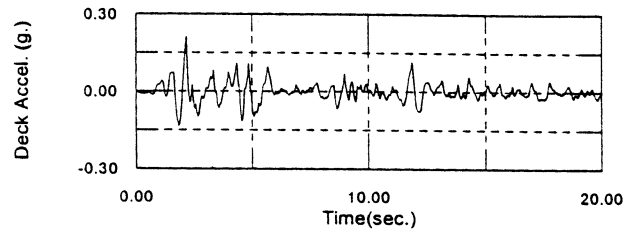


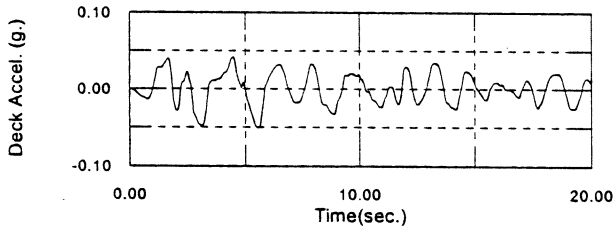
그림 3 지진입력 : El Centro 1940 (pga=0.2g)



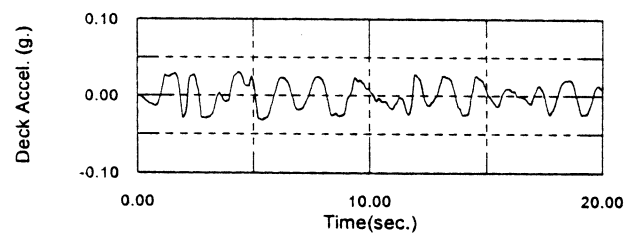
(a) 비면진교량



(b) 비면진교량-STU

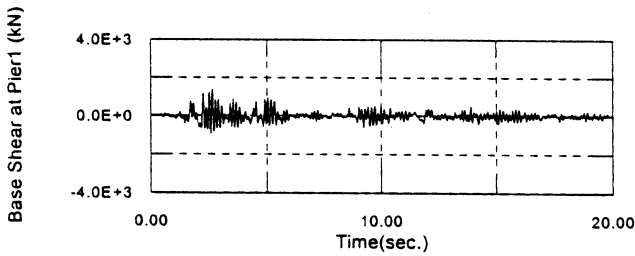


(c) 면진교량-LRB

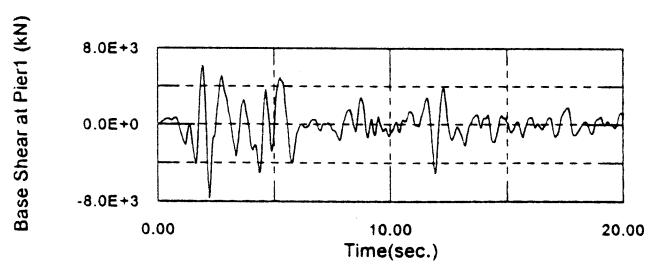


(d) 면진교량-PNuD

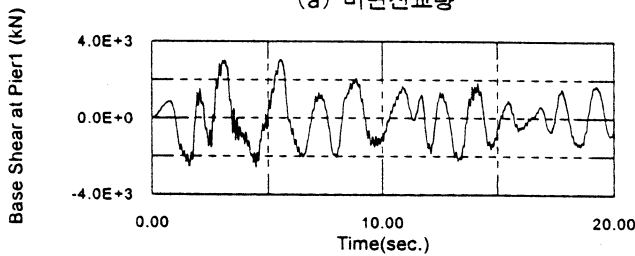
그림 4 상판 절대 가속도



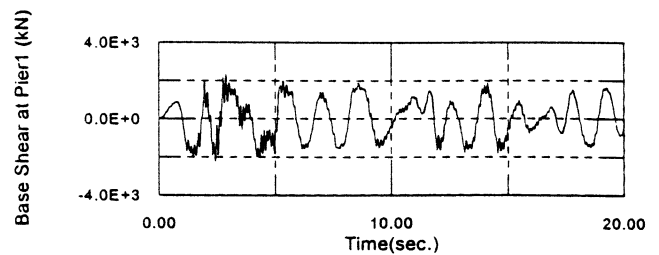
(a) 비면진교량



(b) 비면진교량-STU

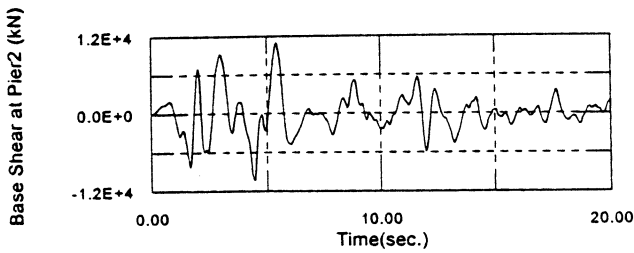


(c) 면진교량-LRB

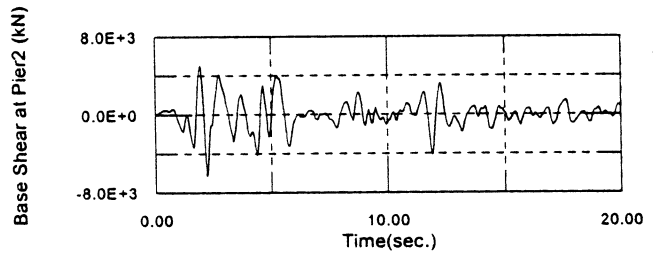


(d) 면진교량-PNuD

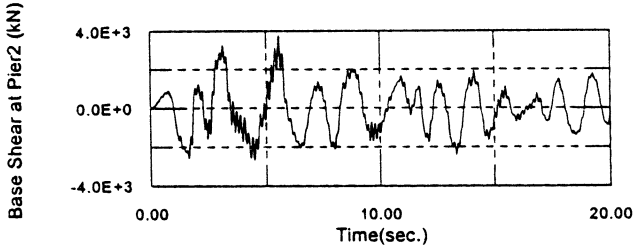
그림 5 교각1에서의 밑면전단력



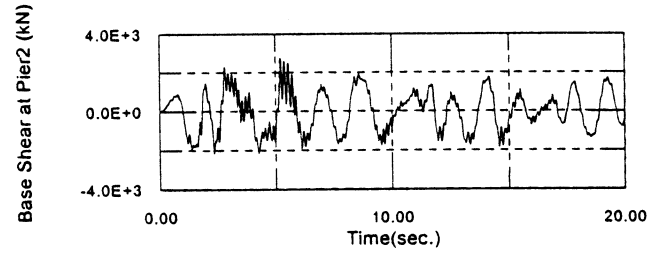
(a) 비면진교량



(b) 비면진교량-STU

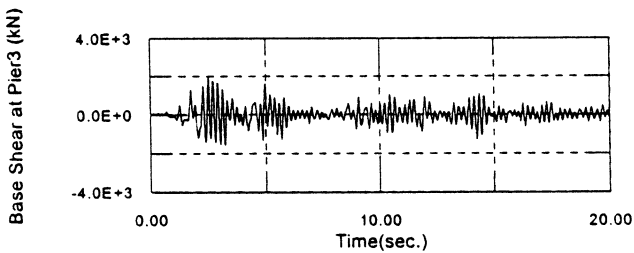


(c) 면진교량-LRB

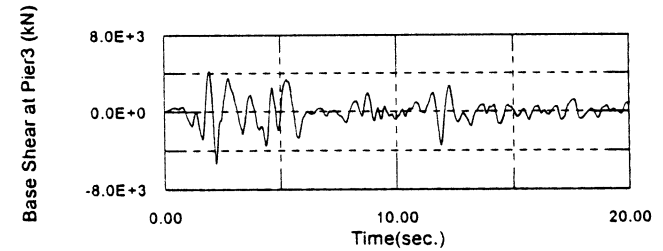


(d) 면진교량-PNuD

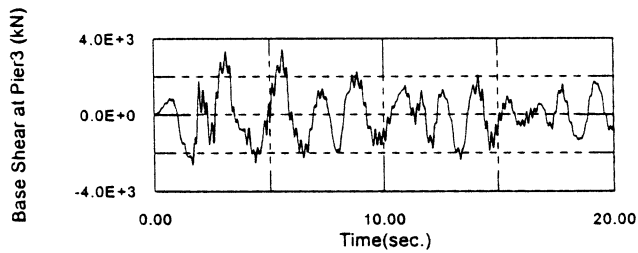
그림 6 교각2에서의 밑면전단력



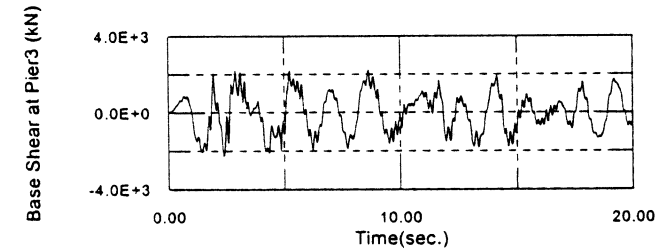
(a) 비면진교량



(b) 비면진교량-STU

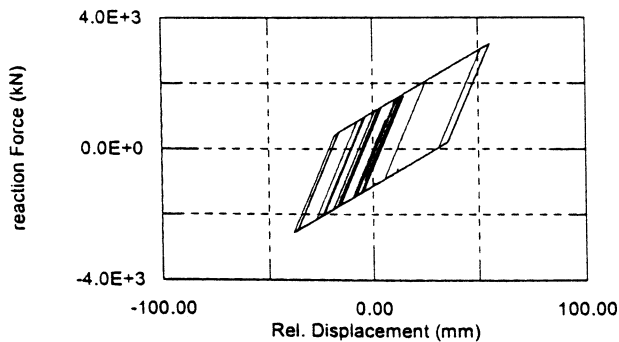


(c) 면진교량-LRB

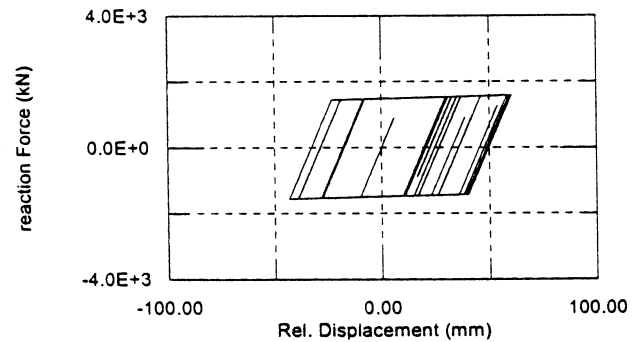


(d) 면진교량-PNuD

그림 7 교각3에서의 밑면전단력



(a) LRB



(b) PNuD

그림 8 교각1에서의 면진장치 이력곡선

표 3 비면진 교량과 면진교량의 최대응답 비교 : El Centro 지진 (0.2g)

Bearing Conditions on Piers	Fixed/Free	STU	Base Isolated (LRB)	Base Isolated (PNuD)
Total Acceleration of Deck [g]	0.117	0.211	0.051	0.032
Base Shear on Pier 1 [kN]	1,374	7,731	3,058	2,301
Base Shear on Pier 2 [kN]	11,010	6,309	3,746	2,742
Base Shear on Pier 3 [kN]	1,935	5,360	3,442	2,281
Base Shear on Pier 4 [kN]	1,374	7,731	3,058	2,301
Bearing Deformation 1 [mm]	21.5	-	55.6	60
Bearing Deformation 2 [mm]	-	-	55.8	61.5
Bearing Deformation 3 [mm]	21.7	-	54.4	60.3
Bearing Deformation 4 [mm]	21.5	-	55.6	60
Bearing Reaction 1 [kN]	1.9	7,454	3,211	1,581
Bearing Reaction 2 [kN]	10,840	5,949	3,217	1,583
Bearing Reaction 3 [kN]	1.9	4,924	3,165	1,581
Bearing Reaction 4 [kN]	1.9	7,454	3,211	1,581
Natural Period(sec)	0.98	0.47	2.01	2.01

4. 결 언

본 연구에서는 인터넷을 이용한 대형구조계의 원격 병렬 유사동적실험기법에 대하여 연구하였다. 면진베어링이 설치된 5경간연속 콘크리트 박스거더 교량에 대하여 150km 떨어진 두 기관에 설치된 컴퓨터 시스템을 인터넷으로 연결하여 원격병렬 유사동적실험을 수행할 경우, 데이터 전송에 소요되는 시간이 실제 유사동적실험 수행시간과 비슷한 수준이어서, 본 연구방법의 실제 문제에서의 적용성을 입증할 수 있었다. 앞으로 실제 구조물에의 적용시, 여러 기관의 컴퓨터 시스템을 연계하는 과정에서, 컴퓨터 시스템 및 정보 보안에 따른 문제점을 극복하여야 하며, 인터넷을 이용한 데이터 전송기술의 개선으로 소요시간이 더욱 단축된다면 외국의 연구기관과도 인터넷을 이용한 공동실험이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구에 대한 현대건설기술연구소의 연구비지원과 학술진흥재단에서 주관하는 BK21 사업의 재정적 지원에 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. E. Watanabe, K. Sugiura, K. Nagata, T. Yamaguchi and K. Niwa, (1999) "Multi-phase Interaction Testing system by means of the Internet", Proc. of 1st Int'l Conf. on Adv. in Str. Eng. & Mech., Seoul, Korea
2. P.B. Shing and S.A. Mahin, (1984) Pseudodynamic Test Method for Seismic Performance Evaluation: Theory and Implementation, Earthquake Engineering Research Center, Report no. UCB/EERC-84/01, CA, USA
3. N.S. Kim and D.G. Lee, (1995) Pseudo-dynamic test for evaluation of seismic performance of base-isolated liquid storage tanks, Engineering Structures, 17(3), 198-208
4. W-J. Chung, C-B. Yun, N-S. Kim and J-W. Seo, (1998) "Shaking table and pseudodynamic tests for the evaluation of the seismic performance of base-isolated structures", Engineering Structures, 21(4), 365-379