

인터넷을 이용한 원격병렬 유사동적실험 : 면진교량에 대하여

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

윤정방* 김재민** 김남식*** 심종민**** 구기영****
Yun, Chung-Bang Kim, Jae-Min Lee, Jong-Won Shim, Jong-Min Koo, Ki-Young

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 parallelly 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 facilities located 250km apart through Internet for 1000 time steps is about 20 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.

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 원격병렬 유사동적실험을 수행하기 앞서 예비연구로서, 한국과학기술원과 여수대학교에 위치한 2개의 컴퓨터를 인터넷으로 연결하여 수치 시뮬레이션에 의한 원격 병렬 실험을 수행하였다. 대상구조물은 그림 1-(a)의 3경간연속 콘크리트 박스거더 교량이며, 높이와 구조적 특성이 다른 2개의 교각과 상판사이에 면진 베어링이 설치된 경우이다. 이 예비연구에서는 2개의 면진 베어링에 대한 유사동적실험을 가정한 비선형 특성을 가진 면진 베어링에 대한 수치 시뮬레이션 해석으로 대체하였다. 연구결과, 거리가 약 250km 떨어진 두 기관에 설치된 컴퓨터를 인터넷으로 연결하여 면진 베어링의 변위와 비선형 반력에 대한 데이터를 2000회 상호 전송하며 수치 실험을 수행하는데 약 20분이 소요되었다. 이는 실제 구조에 대한 유사동적실험에 소요되는 시간과 같은 수준으로 판단되어, 본 인터넷을 이용한 원격병렬 유사동적실험 기법의 적용성을 입증하였다.

* 한국과학기술원 토목공학과 교수
** 여수대학교 해양토목공학과 조교수
*** 현대건설기술연구소 선임연구원
**** 한국과학기술원 토목공학과 석사과정

2. 대상교량 및 원격병렬 유사동적실험의 구성

연구 대상구조는 그림 1-(a)에서 보인 3경간연속 콘크리트 박스거더 교량이며, 높이가 다른 2개의 교각위에 면진베어링이 설치된 경우이다. 해석모형은 그림 1-(b)와 같이 상판 및 2개의 교각에 대한 집중 질량과 2개의 교각에 대한 선형요소 및 2개의 면진베어링에 대한 비선형 요소로 구성되어있다. 인터넷을 이용한 데이터 전송과정을 분석하기 위한 본 예비연구에서는, 2개의 면진 베어링에 대한 유사동적실험을 각각의 수치 시뮬레이션으로 대체하였다. 본 교량모형에 대한 물성치는 표 1에 보이였다. 상판이 교각 1에서는 고정지점이고, 교각 2에서는 활동지점으로 지지된 비면진 교량의 경우 교축방향 기본고유주기 0.64초이며, 면진교량의 경우는 2.16초로 구해졌다. 지진입력으로는 최대지반가속도가 0.2g로 조정된 El Centro가속도 기록(남북성분, 1940)을 사용하였다.

인터넷을 활용한 원격병렬 유사동적실험의 구성도는 그림 2에 보이였다. 한국과학기술원에 위치한 주컴퓨터는, 그곳과 여수대학에 위치한 2개의 부컴퓨터를 통제하여 매 시점 면진장치에서 발생하는 비선형 반력 데이터를 받아서, 다음 시점의 전체 교량 구조물의 동적응답을 해석하는 과정을 반복하였다. 3개의 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/W는 Fortran90으로 작성되었고, 인터넷을 통한 데이터 전송용 S/W는 Visual C++로 작성되었다.

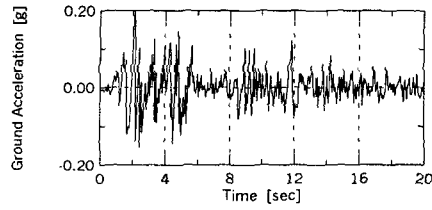
3. 예제해석 결과 및 분석

인터넷을 통한 데이터 전송시간을 비교하기 위하여, 컴퓨터의 위치에 따른 3가지 경우에 대한 소요 해석시간을 표 2에 정리하였다. 이 들은 전체해석을 하나의 컴퓨터로 해석한 경우, 한국과학기술원 내에서 위치한 3대의 컴퓨터를 연결하여 해석하는 경우와 거리가 250km 떨어진 곳에 위치한 컴퓨터들을 연결한 경우인데, 해석기간 20초에 대하여 시간간격(Δt)을 0.02초로 하여 인터넷을 통한 데이터 전송을 1000회 수행하여 교량의 수치 유사동적실험을 수행한 결과이다.

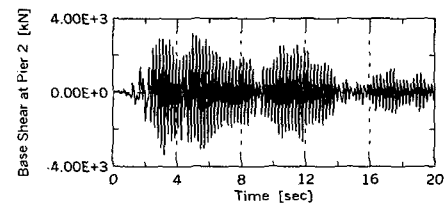
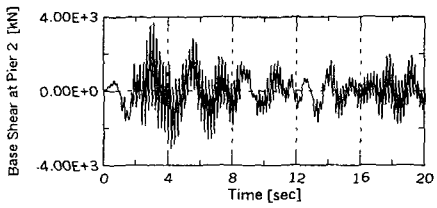
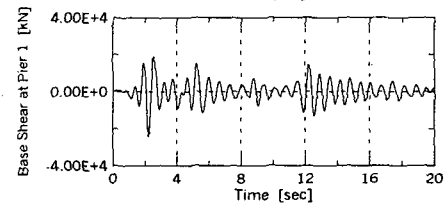
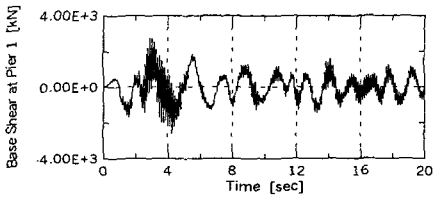
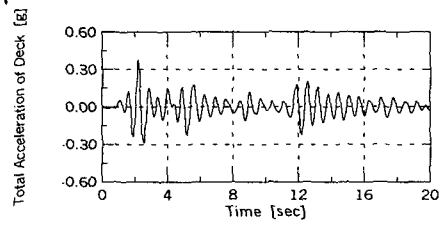
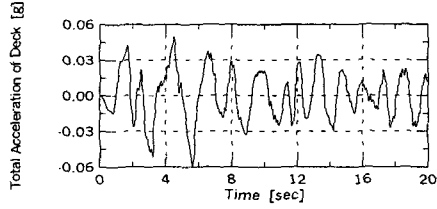
표 2의 결과에 의하면 거리가 250km 떨어진 컴퓨터 시스템은 인터넷으로 연결하여 수치 유사동적실험을 수행한 경우 약 20분이 소요되었는데, 이의 대부분은 1000회에 걸친 데이터의 왕복전송에 소요된 시간이다. 따라서, 1회 왕복 데이터 전송에 1.2초가 소요된 것인데, 이는 실제 구조물의 유사동적실험시 소요되는 시간과 비슷한 수준이어서 본 인터넷을 이용한 원격병렬 유사동적실험기법이 실제 문제에 적용성이 우수함을 보이고 있다. 그림 3과 4 및 표 3에서는 비면진교량과 면진교량의 지진응답을 비교하였는데, 면진장치에 의해 교량상판의 가속도(Total acceleration)가 1/6 수준으로 감소되어서, 교각에 발생하는 밀면 전단력이 크게 감소함을 알 수 있다. 위의 결과는 한국과학기술원과 여수대학교의 컴퓨터를 연결하여 수행한 수치 실험결과이지만, 이는 하나의 컴퓨터에서 해석한 결과와 물론 동일하다. 그림 3-(b)와 그림 4-(a)에서는, 면진베어링의 비선형거동특성은 동일하지만 교각의 구조적특성이 상이하여 교각에 발생하는 밀면 전단력과 면진베어링의 거동이 다소 달라짐을 보이고 있다.

4. 결 언

본 연구에서는 인터넷을 이용한 대형구조계의 원격병렬 유사동적실험기법에 대하여 연구하였다. 면진베어링이 설치된 3경간연속 콘크리트 박스거더 교량에 대하여 250km 떨어진 두 기관에 설치된 컴퓨터 시스템을 인터넷으로 연결하여 원격병렬 유사동적실험을 수행할 경우, 데이터 전송에 소요되는 시간이 실제 실험수행시간과 비슷한 수준이어서, 본 연구기법의 실제 문제의 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.



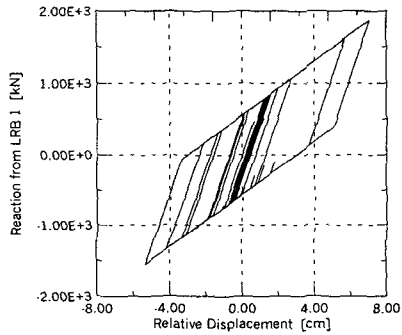
(a) 지진입력



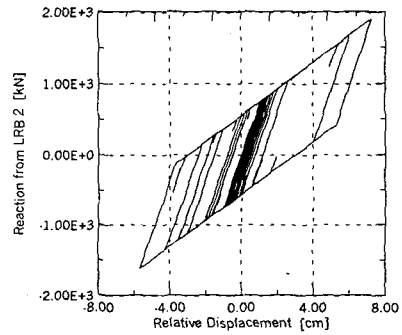
(b) 면진교량의 응답

(c) 비면진교량의 응답

그림 3 지진입력과 면진 및 비면진 교량의 응답



(a) BI-1



(b) BI-2

그림 4 면진장치의 이력곡선

표 1 교량모델의 물성치

Cases	Mass (ton)	Stiffness (kN/m)	Damping (%)	Cases	Stiffness(kN/m)		Yield Displacement (cm)
					Initial	After yielding	
Deck	6,500	-	0.03	Base Isolator 1	7.44×10^4	1.86×10^4	1.0
Pier 1	300	6.5×10^5	0.05	Base Isolator 2	7.44×10^4	1.86×10^4	1.0
Pier 2	500	4.5×10^5	0.05				

표 2 소요해석시간

System Configuration			Computation Time	
Main System	Sub-System	Connection	1000 steps	1 steps
at KAIST	at Yosun Univ.	Internet [distance : 250km]	20 min	1.2 sec
at KAIST	at KAIST	Internet [LAN]	7 min	0.4 sec
at KAIST	at KAIST	Using a Single Program	0.2 sec	0.002 sec

표 3 비면진교량과 면진교량의 최대응답 비교: El Centro지진(0.2g)

Bearing Conditions on Piers	Fixed/Free	Base Isolated
Total Acceleration of Deck [g]	0.375	0.059
Base Shear on Pier 1 [kN]	24,400	2,790
Base Shear on Pier 2 [kN]	3,340	3,680
Bearing Deformation 1 [cm]	-	7.07
Bearing Deformation 2 [cm]	3.91	7.28
Bearing Reaction 1 [kN]	23,400	1,870
Bearing Reaction 2 [kN]	-	1,910
Natural Period(sec)	0.64	2.16