

## 병렬 유한요소모형 이용을 위한 병렬 클러스터 시스템 구축 및 황해 조석모의의 초기 접근

### Setting up of parallel cluster system and FEM model and initial approach to Yellow Sea tidal modeling

서승원<sup>1</sup>, 이화영<sup>2</sup>, 조완희<sup>3</sup>

SeungWon Suh<sup>1</sup>, HwaYoung Lee<sup>2</sup> and WanHei Cho<sup>3</sup>

#### 1. 서 론

불과 몇 년 전에는 대규모 연산이 필요한 연구에서 슈퍼컴퓨터의 도움이 지배적 이었지만, 고가의 사용료와 이용의 불편함 등이 있어 그리 많이 사용되지 못하였다. 하지만 지난 40여 년간 무어의 법칙(Moore's Law, [www.intel.com/technology/mooreslaw](http://www.intel.com/technology/mooreslaw))에 따라 지속적으로 CPU(Central Processing Unit)의 연산능력 향상과 더불어 Hardware(이하 H/W)의 가격은 크게 하락 하였고, 이에 따라 새롭게 등장한 Cluster 기술을 통하여 보다 저가의 비용으로 슈퍼컴퓨터에 준하는 대규모 연산을 손쉽게 할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 최신의 H/W를 사용하여 병렬 클러스터 시스템을 구축하였다. 이에 따라 서해연안의 폭풍 해일고 산정을 위해 기 선행된 연구(최병호, 2004)에서는 반영되지 못한 변화된 조석체계와 해안선 변화 등을 반영하여 수만에서 십만 여개의 절점으로 이루어진 상세 격자망을 구축하였고, 폭풍해일고의 재 산정을 가능하게 하였다. 따라서 본 연구에서는 구축된 64비트 8node 병렬 클러스터 시스템과 병렬 유한요소 모형(PADCIRC)을 이용한 서해연안의 폭풍 해일고 정밀 산정을 위한 초기 연구로 병렬 유한요소 모형의 계산효율성과 유효성을 제고 하였다. 또한 계속해서 논의될 폭풍 해일고의 정밀산정을 위한 연구 기반의 틀을 마련하고자 한다.

#### 2. 병렬 클러스터 시스템

##### 2.1 병렬 클러스터(Parallel Cluster)의 구성

Cluster란 네트워크로 연결된 컴퓨터들의 그룹이 하나의 공통작업을 나누어 처리하여 대규모의 연산을 빠르게 처리 할 수 있도록 구성된 시스템을 말한다. 본 연구에서도 8node 병렬 클러스터 시스템을 구축하였는데, 기 구축된 Beowulf 시스템(김경욱, 2001)과 달리 병렬계산 이외의 용도로 사용시 독립적 사용이 가능한 COW(Cluster Of Workstaion) 시스템 방식을 사용하여 H/W 자원의 효율성을 높였다. 뿐만 아니라, 32비트 머신의 제한사항을 보완한 64비트 머신과 Gigabit Ethernet을 사용하여 기본 대역폭을 확대 하는 등의 최신의 H/W와 S/W를 사용하여 고성능을 꾀하였다. 보다 자세한 병렬 클러스터 구축 환경은 Fig. 1 및 Table 1에 제시하였다.

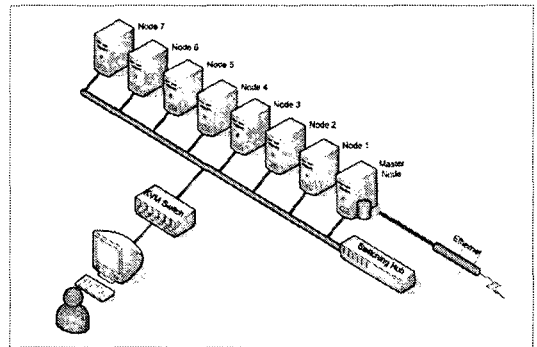


Fig. 1. Parallel cluster systems used in this study.

1 군산대학교 해양시스템공학 교수

2 발표자: 군산대학교 대학원 해양산업공학과 석사과정

3 군산대학교 대학원 해양산업공학과 석사과정

Table 1. Parallel Cluster Platform.

Master Node 1	
Processor	Intel Pentium D(Dual Core) 820 SmithField EM_64T 2.8GHz (Front side bus 800MHz L1 cache 16KB ×2 L2 cache 1MB ×2)
Mainboard	INTEL D945GTPL
Memory	DDR2 SDRAM 1GB (512 ×2) PC3200 400MHz
HardDisk	SCSI 80GB 10000rpm 68pin
Cluster Node 7	
Processor	Intel Pentium4 630 3.0GHz EM_64T, Hyper Threading: HT) (Front side bus 800MHz L1 cache 16KB L2 cache 2MB)
Mainboard	INTEL D915GAGL
Memory	DDR SDRAM 512GB (256 ×2) PC3200 400MHz
Harddisk	S-ATAII 80GB (7200rpm/8M)
Common	
Network	Gigabit Ethernet Switch HUB, Intel Gigabit Lan card
MPI	MPICH2-1.0.3
OS	REDHAT Enterprise WS ver.4 64Bit

## 2.2 Parallel Cluster Performance

병렬 클러스터의 성능은 네트워크를 통한 메시지 전달을 의미하는 네트워크 성능과 이를 통해 단위시간당 얼마나 많은 연산을 하는가에 대한 계산 성능을 기준으로 평가를 한다. 본 연구에서 구축한 병렬 클러스터의 성능을 알아보고자 SCL(Scalable Computing Laboratory)에서 개발된 NetPIPE([www.scl.ameslab.gov/netpipe](http://www.scl.ameslab.gov/netpipe))란 도구를 사용하여 네트워크 통신 대역폭(Bandwidth)을 측정하였다. 또한 미 항공우주국(NASA)에서 만든 슈퍼컴퓨터 벤치마킹 도구인 NPB(NAS Parallel Benchmark, [www.nas.nasa.gov/cgi-bin/software/start](http://www.nas.nasa.gov/cgi-bin/software/start))를 사용하여 계산 성능을 측정하였다. 결과는 Fig. 2 과 Table 2에 각각 제시하였다.

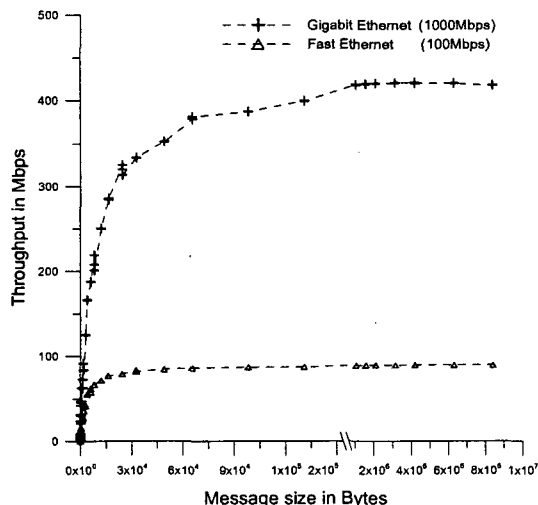


Fig. 2. Network bandwidth of cluster.

Table 2. Bench mark results of parallel system performance.

LU Benchmark Completed.		
Class	=	A
Size	=	64x 64x 64
Iterations	=	250
Time in seconds	=	194.96
Total processes	=	1
Compiled procs	=	1
Mop/s total	=	611.89
Mop/s/process	=	611.89
Operation type	=	floating point
Verification	=	SUCCESSFUL
Version	=	2.4
Compile date	=	17 Jul 2006
Class	=	A
Size	=	64x 64x 64
Iterations	=	250
Time in seconds	=	28.27
Total processes	=	8
Compiled procs	=	8
Mop/s total	=	4219.99
Mop/s/process	=	527.50
Operation type	=	floating point
Verification	=	SUCCESSFUL
Version	=	2.4
Compile date	=	17 Jul 2006

제시한 그림과 표의 결과를 분석해 보면 네트워크 성능은 Gigabit Ethernet의 성능에 조금 못 미치는 450Mbps를 보였으며 CPU 계산 성능은 약 7배에 달하는 성능의 향상을 보였다. 본 연구에서 구축된 병렬 클러스터 시스템의 연산능력은 4219Mop/s(Mop/s와 Mflops는 동일 의미로 사용됨)로 나타났는데 이는 일반 Pentium4 PC의 성능이 대략 200Mflops인 것을 감안하면 상당한 성능을 지닌 것으로 판단된다.

### 3. 병렬 유한요소 모형

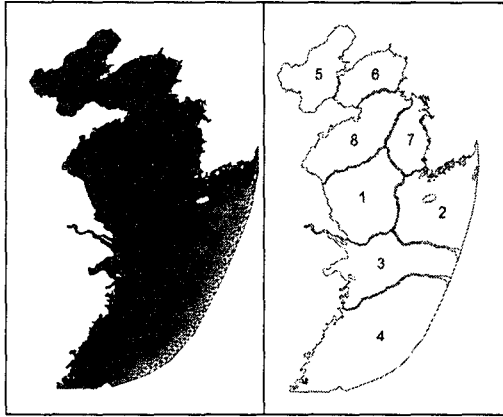


Fig. 3. FEM meshes on the Yellow Sea and domain decomposition.

본 연구에 사용된 (P)ADCIRC ver.43 모형은 정밀한 경계처리를 하며 광역에서의 해수순환을 모의할 수 있고, 병렬화를 통해 계산효율을 증진시킨 모형으로 (Chipada et al, 1996; 최병호 등, 2001), 미 국립 허리케인 센터(National Hurricane Center)의 예경보에 활용되고 있으며, 선행된 연구(서승원, 2003, 2005)에서 우수한 신뢰성과 결과를 나타낸바 있다. 격자망은 선행 연구된(서승원, 1999a, 1999b, 2000) G1,G2,G3,G4격자망에 이어 G5라 명한 격자망을 서해연안의 최소 격자 크기가 1km 내외가 되도록 해상하였다. 10만 여개의 요소로 이루어진 하나의 격자망을 병렬 처리하기 위해서는 대상 영역을 클러스터의 node수에 맞추어 비슷한 절점과 유한요소로 나누어 계산하는 것이 중요하다. 이러한 병렬 계산을 위한 격자분할 방법으로는 METIS Ver. 4.0(Karypis and Kumar, 1998)을 사용하였으며, 분할된 격자는 Fig. 3에 제시하였다.

### 4. 병렬 유한요소 모형을 통한 황해조석 산정

서해연안의 폭풍 해일고 산정을 위한 초기 연구 단계로써 병렬 클러스터 시스템을 통해 계산의 유효성 및 효율성을 알아보하고자 4개 주요 분조인  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ 에 대해 35일간(처음 5일 Ramp Up) 수치실험을 실시하였다. 모의는  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  4개 분조를 하였으나, 본 지에서는 주요한 2개 분조만을 분조별 등진폭과 등위상각으로 나타내어 Fig. 4에 제시하였다. 결과를 분석하면 기 수행된 연구(서승원, 1999a, 1999b, 2000; 최병호, 2001)에서와 같이 무조점의 위치 및 위상각등이 매우

잘 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 수심에 따라 변하는 혼합 비선형 해저 마찰계수(hybrid nonlinear bottom friction)를 적용하였음에도 불구하고 서해연안의 특히, 경기만 일대의  $M_2$ ,  $S_2$ 의 조석진폭이 다소 낮게 모의 되었다. 이는 기 선행된 연구(서승원, 1999b; 최병호, 2001)의 결과와는 다소 차이가 있는 것으로, 계속 진행되는 서해연안의 폭풍 해일고 산정을 위한 차후 연구에서 개선되어야 할 점이다.

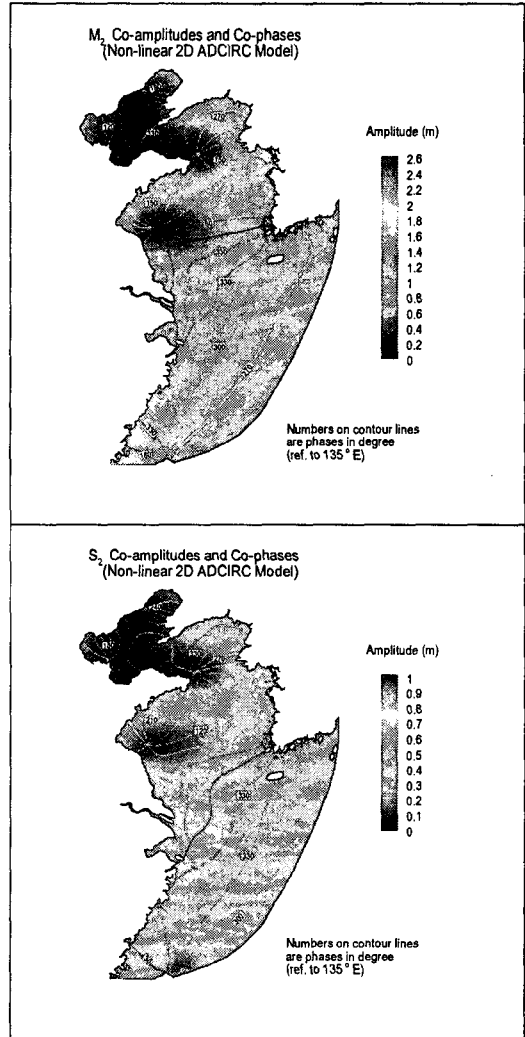


Fig. 4. Computed  $M_2$ ,  $S_2$  tidal chart.

### 5. 토의 및 결론

본 연구에서 서해연안의 폭풍 해일고 산정을 위해 64비트 8node 병렬 리눅스 클러스터 시스템을 구축하였다. 구축된 병렬 클러스터 시스템의

네트워크 대역폭은 Fast Ethernet 보다 4배 이상 향상된 430Mbps를 나타냈고, 계산 성능은 NPB 벤치마크 결과 약 7배라는 우수한 계산 성능을 나타냈다. 이와 같이 구축된 고성능의 병렬 클러스터를 사용하여 10만 여개의 유한요소로 이루어진 황해격자망을 구축하여 모의하였다. 모의결과기 선행된 연구(서승원, 1999a, 1999b, 2000; 최병호, 2001)에서와 같이 황해에서 무조점의 위치 및 위상각등이 매우 잘 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 서해연안의 경기만 일대에서는  $M_2$ ,  $S_2$  분조의 저 진폭 현상이 나타났는데, 이러한 문제점의 원인은 조석 에너지의 소산을 서해연안에서 적절히 모의하지 못하기 때문인 것으로(서승원, 1999a) 차후 계속되는 연구에서 개선되어야 할 점이다. 이러한  $M_2$ ,  $S_2$  분조의 저 진폭 현상을 해결하기 위해 수심에 따라 해저 마찰계수를 달리 취하는 혼합 비선형 해저마찰계수(hybrid nonlinear bottom friction)를 사용하고, 해저마찰계수를 조절하여 진폭을 높이는 등의 시도를 하였으나, 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 G5 격자 시스템의 매 절점의 수심에 따라 적절한 해저마찰계수를 산정하여 적용하는 등의 다각적인 연구가 진행 중에 있다.

비록 경기만 일대에서  $M_2$ ,  $S_2$ 의 조석진폭을 잘 모의하지 못하였으나, 무조점의 위치 및 위상각 등이 매우 잘 일치하고 구축된 병렬 클러스터 시스템의 우수한 계산 성능 등을 미루어 볼 때, 서해연안의 폭풍 해일고 산정을 위한 황해 조석 모의의 초기 접근으로써는 성공적인 것으로 판단되어 진다.

### 감사의 글

본 연구는 새만금환경연구센터(SERC)의 연구지원, 해양수산부 2006 KSGP 지원에 의해 수행되었기에 심심한 사의를 표한다.

### 참고문헌

- 최병호, 변상신, 김경옥, 2001. 병렬유한요소 모형에 의한 황해의 조석산정. 한국해양·해양공학 회 발표논문집, 12, 108-118.
- 김경옥, 문종윤, 최병호, 2001. 황해의 3차원 유한요소모형의 운용. 토목공학회 학술발표 논문집, 1-4.
- 최병호, 2004. 우리나라 서해안의 최고극 조위, 한반도 해역의 고파. 폭풍해일 워크숍 논문집, 145-154.
- 서승원, 1999a, 3차원 유한요소모형을 이용한 황해 및 동중국해의 조석 수동역학 해석. 대한토목공학회논문집, 19(II-3), 375-387.
- 서승원, 1999b, 비선형 3차원 조화유한요소모형을 이용한 황해의 천해조석 발생. 대한토목학회논문집, 19(II-3), 389-399.
- 서승원, 2000, 유한요소 수동역학 모형에서의 질량보존 평가. 대한토목공학회논문집, 20(2-B), 305-315.
- 서승원, 김정훈, 2003, 조석수동역학 모의에서 조건대 침수-노출 고려효과 비교연구. 한국해양안·해양공학회지, 15(2), 97-107.
- 서승원, 조원희, 2005, 홍수전파와 배수갑문 운영에 따른 새만금호 내부 수리특성의 동적응답. 한국해양·해양공학회지, 17(4), 269-279.
- Chipada, S., Dawson, C.N., Martinez M. Wheeler, 1996, Parallel Computing for Finite Element Models on Surface Water Flows, Computational Methods in Water Resources XI, Computational Mechanics Publications, Southampton, U.K.: 63-70.
- George Karypis and Vipin Kumar, 1998, A Software Package for Partitioning Unstructured Graphs, Partitioning Meshes, and Computing Fill-Reducing Orderings of Sparse Matrices, Version 4.0, University of Minnesota, Department of Computer Science/ Army HPC Research Center.