

# 고성능/대규모 수치 시뮬레이션을 위한 Clustering 병렬처리 방법

- HPC코리아사의 CAE-Simulator ThunderBolt 사례

Cluster Parallel Processing Method for High Performance  
and Large Scale Computation



송명환\*



이장현\*\*

\* 에이치피씨코리아(주) 솔루션사업팀 팀장

\*\* 인하대학교 기계공학부 선박해양공학과 부교수

## 1. 개요

최근 들어 컴퓨터 하드웨어의 성능이 발전함에 따라서, Unix 계열의 고가 워크스테이션에서 수행하던 해석이 개인용 PC에서도 가능하게 되었다. 특히 저가의 비용으로 고속 연산 능력을 가진 병렬 컴퓨터와 같은 장비 활용이 확산되면서 CAE 분야의 해석 업무와 연구에서도 효율성이 높아지고 있다. Clouding computing, Clustering Computing, Parallel computing 등 다양한 방법으로 전산기를 이용하여 과거에는 해석이 불가능했던 대용량 모델이 해석 가능한 수준으로 인식되고 있다. 특히, 유체 구조 연성 문제, CFD해석이 필요한 문제들은 그 특성상 많은 수의 절점(Node)과 수치적인 연산이 필요하며, 문제의 해를 구함에 있어서 Clustering computation 방법은 매우 효과적이라고 할 수 있다.

클러스터링(Clustering)은 고성능 또는 대규모의 계산작업을 처리하기 위해 전용 네트워크로 분산된 여러 개의 컴퓨터 시스템을 연결하여 마치 하나의 컴퓨터 시스템처럼 작동하게 만드는 것을 의미하며, 큰 작업을 작은 작업으로 나누어 네트워크에 연결된 여러 컴퓨터에게 분산 처리함으로써 처리속도를 향상시킨다. 이러한 고성능/대규모 연산을 위한 클러스터링을 HPC(High Performance Computing)라고도 한다.

이와 비슷한 병렬처리 Processing 기술에는 아래와 같은 것들이 있다.

- ① 대칭형 다중 처리 시스템 : Symmetric multiprocessing (SMP) System
- ② 비균등 메모리 액세스 시스템 : Non-Uniform Memory Access(NUMA) System
- ③ 초병렬 처리 시스템: Massive Parallel processing(MPP)

HPC Clustering 병렬 처리 방법의 장점은 다음과 같다.

- ① 10대 정도의 컴퓨터를 이용한 소규모에서부터 그 이상 컴퓨터를 연결하는 대규모까지 자유롭게 하드웨어를 구성할 수 있다.
- ② PC 수준의 컴퓨터를 이용하여 저렴한 비용으로 높은 성능을 구현할 수 있다.
- ③ 표준방식의 병렬처리시스템으로 지원되는 병렬 프로그램이 다양하여, 별도의 코딩이 필요하지 않고 프로그램 사용방식만 알면 쉽게 이용할 수 있다.
- ④ Clustering 솔루션은 위의 SMP, NUMA, MPP 등의 병렬처리기술이 혼합된 형태로 구성이 되며, 필요에 따라 이들 방식을 다 같이 사용할 수 있다.

개인용 PC에 사용되는 x86 계열 CPU 성능의 형상, 메모

리 기술의 향상 등에 따라 PC를 Clustering 기술이 향상되고 있으며 최근의 기술동향은 아래와 같다.

- ① CPU Processor가 32-bit과 64-bit을 동시에 지원함으로써, O/S 및 해석 프로그램이 대규모 메모리 접근 및 성능향상을 꾀할 수 있는 64-bit 환경으로 급격하게 진행되었다.
- ② Multi-Core CPU Processor가 일반화되었다. 1개의 CPU 안에 여러 개의 코어가 존재함으로써 좀 더 적은 비용으로 많은 프로세스를 수행할 수 있는 환경이 되었다. 이러한 64-bit 지원과 Multi-Core 환경은 전산모사가 대형화하는 즉, 해석 격자수가 급격히 증가하는 결정적 계기가 되었다.
- ③ 프로세서간에 계층적으로 메모리 공유가 가능한 NUMA 구조로 CPU 구조가 변경되었다. 즉 메모리 컨트롤러가 CPU 외부에서 내부로 들어 옮겨 따라 CPU가 메모리에 직접 접근을 할 수 있게 되었고, 이러한 구조는 메모리 접근 속도를 획기적으로 개선하였다.
- ④ 메모리 타입이 DDR2에서 성능 및 전력소모가 적은 DDR3 Memory로 변경되었다. 따라서 서버의 소형화 및 안정성이 개선되었다.

본 기사에는 Clustering의 개념과 사례 및 CAE/FEA/CFD 문제 등에 활용하고 있는 clustering 기술에 대해서 소개하고자 한다. 에이치피씨코리아(주)의 HPC 클러스터링 병렬 처리솔루션인 CAE-Simulator ThunderBolt를 예로 들어 대규모 연구실 등에서 구축할 수 있는 Clustering 시스템에 대해 소개하고자 한다.

## 1. HPC 의 하드웨어 구조 및 구성요소

Clustering 시스템은 통상 아래와 같은 구성 요소로 만들어 진다.

- Node 컴퓨터: PC 또는 워크스테이션
- 서버 운영체제(OS): Linux 또는 Windows Server 계열
- 고속 네트워크: Giga bit과 같은 고속 네트워크를 지원하는 장비
- 클러스터 미들웨어(단일 시스템 이미지 및 시스템 가용성 지원)
- 병렬 혹은 분산 연산이 지원되는 수치해석 프로그램

본 장에서는 HPC-Korea사의 Thunderbolt을 이용하여 실제 Clustering 컴퓨터 구성을 설명하고자 한다.

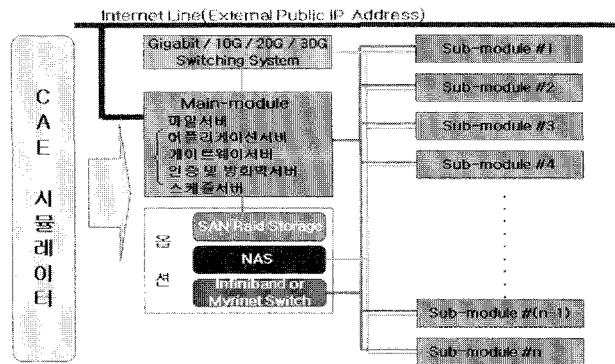


그림 1 HPC CAE-Simulator ThunderBolt의 구조도

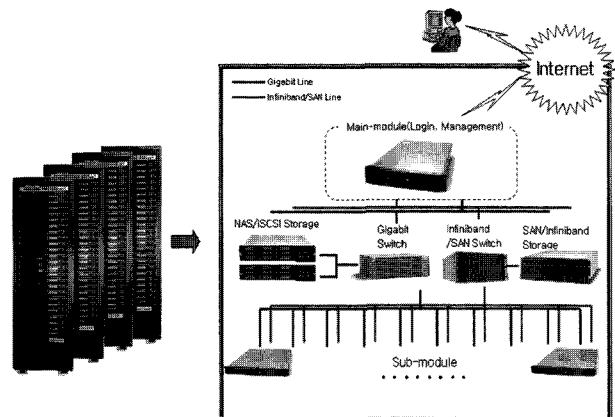
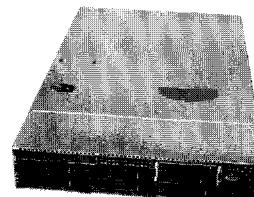


그림 2 HPC CAE-Simulator ThunderBolt 모사도

클러스터링 솔루션인 CAE-Simulator ThunderBolt는 메인모듈, 서브모듈, 통신장비, 콘솔장치, 스토리지, 무정전전원 공급장치, 케비넷 등으로 구성되며, 이를 각 항목별로 살펴보면 다음과 같다.

### 1.1 메인모듈



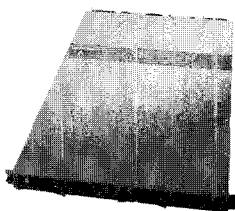
메인모듈은 콘솔(키보드, 마우스, 모니터)이 연결되어 있으며, 모든 사용자는 메인모듈을 통해 HPC 시스템에 접속하여 작업을 수행한다.

주요기능은 ① Login Service ② Cluster Management ③ Job submit ④ Storage ⑤ Gateway ⑥ Application Server ⑦ Authentication & Firewall ⑧ Pre/Post Workstation 등이다.

메인모듈은 다양한 기능을 수행해야 하기 때문에 어느

정도의 확장성이 요구된다. 예를 들어 Pre/Post 작업을 위한 많은 용량의 메모리를 지원할 수 있어야 하고, Data를 저장할 스토리지 확장 공간이 필요하며, 추가 기능을 위한 컨트롤러 장착 Slots 등이 갖추어져 있어야 한다.

### 1.2 서브모듈



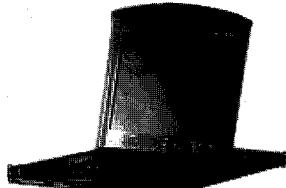
계산모듈로 불리며 주로 해석(solving)기능을 담당한다. 빠른 계산을 위해 고성능 프로세서가 요구되며, 해석에 적당한 사이즈의 메모리와 안정성, 그리고 많은 모듈의 적재를 위해 고밀도 시스템이 권장된다. 최근에는 1개의 Chassis에 두개의 노드가 장착되는 시스템등이 출시 되었으며 이를 활용하면 초고밀도를 구현할 수 있다.

### 1.3 통신장비



일반적으로 많이 사용되는 1Gbps의 Gigabit Switch 또는 전용 통신장비인 인피니밴드(Infiniband) 10G/20G/40Gbps 등 의 장비를 사용할 수 있다. 인피니밴드를 통한 초고속 네트워크를 구축할 경우 통신량이 많은 해석 프로그램의 경우 30%이상의 성능향상을 보인다. 최근에는 멀티코어 프로세서의 등장으로 노드 간의 트래픽이 많이 증가하고 있기 때문에 인피니밴드 장비의 도입이 요구되고 있다.

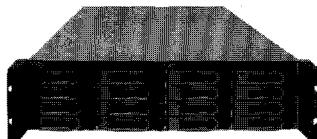
### 1.4 콘솔장치



각 메인모듈 또는 서브모듈의 콘솔 역할을 담당한다. 여러 개의 호스트를 컨트롤할 수 있는 KVM기능을 추가하여, 여러 클러스터를 각각 컨트롤할 수 있다. 최근에는 랜등을 통해 원격에서 조정이 가능한 Remote KVM 기능을 지원하

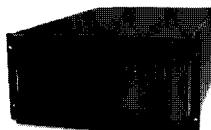
기도 한다. 필요에 따라 랙 캐비넷 또는 외부에 장착할 수 있다.

### 1.5 스토리지



많은 용량의 스토리지가 필요한 경우, ① 외장형 어레이 모듈(Array module), ② NAS(Network Attached Storage), ③ SAN(Storage Area Network) 등을 추가 장착하여 스토리지 용량을 확장할 수 있다. 리눅스 O/S를 사용할 경우 파일시스템의 Volume Size를 수백 테라바이트(Terabyte) 또는 패타바이트(Petabyte)까지 확장을 할 수 있다.

### 1.6 무정전 전원 공급장치(UPS)



무정전 전원공급장치를 장착함으로써 갑작스런 정전과 전기쇼크에 따른 데이터의 손실 및 장비고장을 예방하고, 장비 및 데이터의 안정성을 높일 수 있다. 정전 상황에 따라 클러스터를 자동종료(Auto shutdown) 할 수 있는 기능과 원격 모니터링과 관리 등의 기능을 갖추어야 한다.

### 1.7 캐비넷



19" 서버랙 캐비넷으로 위의 각종 모듈이 장착되는 공간이다. 많은 장치가 장착되어야 하기 때문에 재질 및 구조가 일반 랙형 캐비넷과는 구별되어야 한다. 클러스터에 사용되는 모듈들의 무게가 많이 나가기 때문에 전체 프레임 재질이 튼튼해야 하며, 외부에서 공기를 원활하게 공급할 수 있도록 전/후면은 Air Vented Doors이어야 하고, 깊이(Depth)도 장착되는 모듈들을 원활하게 지원할 수 있도록 충분히 길어야 한다.

위에서 CAE-Simulator의 하드웨어 구조 및 구성요소에 대해 살펴 보았다. 이러한 하드웨어 시스템은 ① 64-bit 프로세서 ② 멀티코어 ③ 메모리 접근 속도 개선(NUMA 구조) 등의 주요 기능 등을 유기적으로 개선하여, 최종적으로 사용자로 하여금 좀 더 큰 계산을 유연성 있게 수행할 수 있도록 하였다.

## 2. HPC 의 소프트웨어 구조 및 구성요소

소프트웨어의 일반적 구조는 운영체제(O/S), 미들웨어(Middleware), 어플리케이션(Application) 등으로 이루어지며 아래는 이를 도식화한 그림이다.



그림 3 CAE-Simulator의 소프트웨어 구조

### 2.1 운영체제

CAE-Simulator는 크게 3가지의 O/S 형태로 운영이 가능하다.

① 64-bit Linux기반 Cluster ② 64-bit Windows HPC기반 Cluster ③ Hybrid(Linux+Windows)기반 Cluster이다.

선택기준은 ① 사용 Application의 지원여부 ② 사용자수 ③ 클러스터 규모 ④ 사용자의 기호 등이다.

64-bit Linux 기반 Cluster는 하드웨어 성능 및 확장성을 극대화하여 사용할 수 있다는 장점이 있다. 특히 HPC Korea가 자체 개발한 미들웨어인 DreamFast Server, 즉 작은 RAM에 O/S를 탑재하여 운영하는 RAMROM 기술을 사용하면, 수십 배 빠른 O/S 응답속도 및 웹기반 인터페이스와의 결합을 통한 쉬운 통합관리가 가능하다. Multi-user, Multi process 환경을 잘 지원하여 사용자 수가 많은 경우 또는 구축하고자 하는 클러스터 규모가 큰 경우 적합하다. 다양한 해석 프로그램이 폭넓게 지원되기 때문에 현재까지 가장 많이 사용되는 클러스터의 형태이다.

64-bit Windows HPC기반 Cluster는 최근에 출시된 Windows Server HPC 2008을 사용하며, 사용자에게 익숙한 윈도우 환경에서 O/S가 운영되기 때문에 사용자에게 친숙하다는 장점이 있다. MS Visual Studio 등 Visual 환경의 개발툴을 사용할 수 있다. 다만 윈도우 O/S Limitation으로 ① 노드당 최대 지원 메모리: 128GB, ② 최대 지원 Volume: 2TB, ③ 동시 사용자수) 중 소규모의 클러스터에 적합하다. 지원되는 해석프로그램 또한 점점 증가하고 있다.

Hybrid기반 Cluster는 사용자군과 사용 Application 리눅스용과 윈도우용이 혼재되어 있는 경우 적합하며, 필요에 따라 양쪽의 장점을 적절히 이용할 수 있다는 장점이 있다.

### 2.2 미들웨어 (MiddleWare)

#### 2.2.1 DreamFast Server

서브모듈(Computation module)의 OS 운영을 관리하는 미들웨어로 클러스터의 중앙집중형 관리가 가능하며 노드간의 간섭을 최소화한다. Disk 및 Diskless 환경을 모두 지원하며, 서브모듈의 O/S를 램에 탑재할 수 있도록 작은 크기로 모듈화한 RAMROM 기반으로 작동하며, 기존 시스템 및 타사 시스템 보다 수십배 빠른 O/S 응답속도 및 안정성을 구현하였다.

#### 2.2.2 DTK

콘솔 터미널 기반 클러스터 관리 툴킷(Cluster Management Toolkit)으로 사용자 관리, 프로세스 관리, 노드모듈 관리 등을 수행한다.

#### 2.2.3 ThunderManager

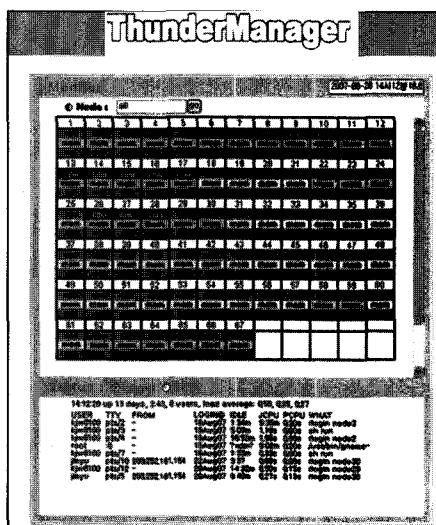
웹기반 CAE-Simulator ThunderBolt 관리 툴로 윈도우 컴퓨터에서 웹브라우저를 통해 쉽게 클러스터를 사용할 수 있도록 지원한다. 사용자는 리눅스에 대한 지식이 없어도 윈도우의 연장선상에서 윈도우를 사용하듯이 클러스터를 사용할 수 있다. 주요기능은 ① CAE-Simulator 모니터링 ② 사용자 관리 ③ 시스템 관리 ④ 라이센스 관리 ⑤ 시스템 무결성 관리 ⑥ 서브노드 관리 ⑦ Extra Tools 등이 있다.

주요기능을 살펴보면 아래와 같다.

#### ① CAE-Simulator 모니터링

한 눈에 전체 CAE-Simulator 시스템 전체의 상태를 모니터링 할 수 있는 기능으로, 아래와 같은 사항들을 모니터링 할 수 있다.

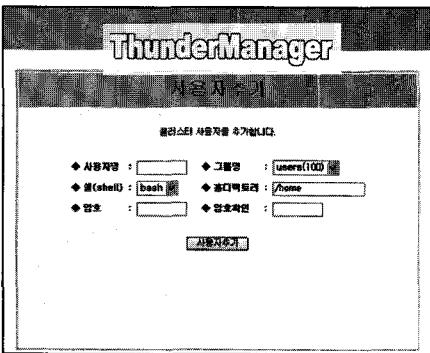
- 모듈당 CPU 사용률 및 사용유저별 CPU 사용상태
- 모듈당 메모리 사용상황 및 사용유저별 메모리 사용상태
- 모듈당 네트워크 사용상황
- 모듈별 top 프로세스 모니터링



- CAE-Simulator 사용자 Login Status
  - CAE-Simulator Scheduler 작업 상태 모니터링
- 위의 기능들은 한 화면에서 일괄적으로 모니터링되기 때문에 사용이 쉽고 편리하다.

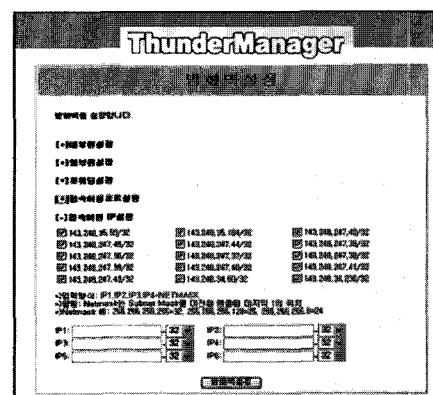
### ② 사용자 관리

CAE-Simulator 사용자의 일괄관리를 처리하는 부분으로 사용자 추가, 사용자 삭제, 사용자 변경, 그룹추가, 그룹삭제, 사용자 동기화 등을 처리할 수 있다. 썬더매니저(ThunderManager)와 클러스터 시스템은 동일 유저로 통합로간환경을 제공하며, 하이브리드 클러스터(Hybrid Cluster)의 경우 윈도우 사용자 또한 통합관리 된다.



### ③ 시스템 관리

CAE-Simulator 시스템을 관리하는 부분으로 메인노드 모니터링, 파워온/오프/리부트, 네트워크 주소설정, 보안기능설정, 쉘(Shell) 환경설정 등을 할 수 있다. 특히 보안기능 설정을 통해 방화벽을 쉽게 구성할 수 있으므로, 외부로부터의 해킹문제를 원천적으로 차단할 수 있다. 그외 메인모듈 및 서브모듈의 전원을 원격 관리할 수 있으므로, 필요에 따라 쉽게 서브모듈의 전원을 On/Off 할 수 있다.



## 3. HPC 가상화센터

가상화센터는 웹기반 관리툴인 ThunderManager에 추가 할 수 있는 선택적 모듈제품으로 CAE-Simulator의 자원을 가상화하여 사용자가 쉽고 편하게 병렬작업을 등록, 관리, 모니터링할 수 있도록 지원한다.

### 3.1 주요특징

- CAE-Simulator에 대한 전문적 지식이 없어도 “HPC 가상화센터”를 통해 PC에서와 같이 병렬작업을 사용할 수 있으므로 실행속도를 획기적으로 개선하여 연구기간을 단축할 수 있다.
- MPI 및 OpenMP기반의 병렬프로그램뿐만 아니라 다양한 조건의 Serial Program을 분산배치하여 수행함으로써 전체 실행시간을 최소화 해준다.
- 작업 스케줄링 기능으로 여러 사용자가 동시에 CAE-Simulator를 사용하여도 자동으로 최적의 자원을 분배하여, 유휴자원을 최소화하고 CAE-Simulator의 사용을 극대화 해준다.
- 사용자별 작업결과의 DB화로 이전 작업 검색 및 재실행 등이 가능하며, 작업결과를 쉽고 편하게 확인할 수 있다.
- 모든 사용자에게 통합되고 일관된 실행 및 사용환경을 제공하여 업무 및 생산 효율성을 극대화한다.

### 3.2 주요지원프로그램

Abaqus / ANSYS CFX / FLUENT / CFD-ACE / Gamess / Gaussian / LS-Dyna / Mcnp / Molcas / Molpro / NWChem / Pwscf / Siesta / StarCD / StarCCM+ / Vasp / MPI기반 Code / OpenMP Code / Serial Code / 그외 다른 Solver program도 Customizing 가능

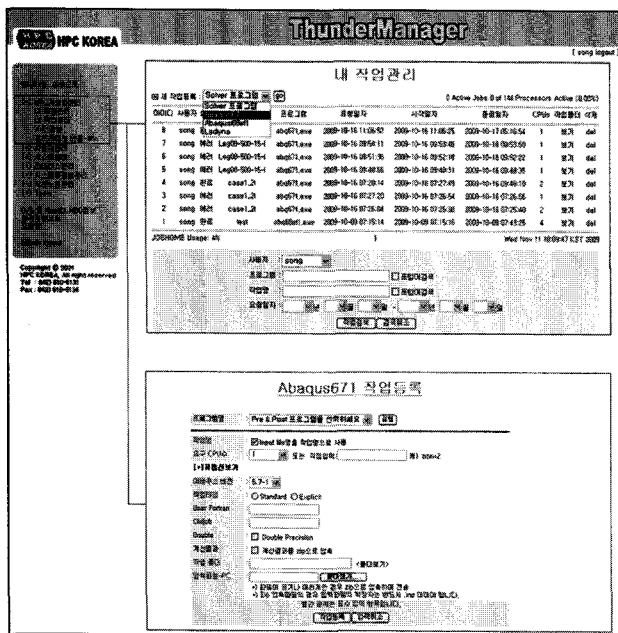


그림 4 CAE-Simulator 가상화센터

### 3.3 주요기능

- H/W 및 라이센스 자원의 가상화 및 통합화
- H/W 및 라이센스 자원의 스케줄링 및 작업분배/대기 기능
- 웹기반 작업관리 및 검색, 재사용기능
- Web기반 Solver Program 작업제출 인터페이스
- 웹기반 내 작업풀더 관리기능(업로드, 이동, 삭제, 변경, 폴더생성)
- 웹기반 원격 X-Windows 이용한 파일편집 및 작업모니터링, 터미널 생성
- 웹기반 원격 X-Windows 이용한 Solver의 Pre/Post Processing
- Samba 기반 네트워크 드라이브 연결기능

### 3.4 도입효과

- 해석속도의 획기적 개선을 통한 생산성 향상
- CAE-Simulator 자원(H/W, 라이센스, S/W)의 효율적 배치를 통한 시뮬레이터 활용도 제고
- 쉽고 통합된 사용자 인터페이스로 복잡한 실행 단계를 단순화
- 해석작업의 DB화로 작업의 검색 및 재사용
- 웹하드 형태의 폴더로 쉬운 작업 데이터 관리
- 원격 X를 이용한 웹 기반의 쉬운 Pre/Post 프로그램 구동
- 각 노드별 시스템 모니터링 및 프로세스 관리
- 통합 가상화된 시스템 운영방식으로 운영비용 최소화

본 기사는 HPC Korea社의 CAE-Simulator에 대해 살펴보았다. 최근 클러스터는 64-bit와 Multi-cores 지원으로 하드웨어적으로는 대규모 해석을 지원하고, 소프트웨어적으로는 ThunderManger 같은 사용자 위주의 관리 툴과 자원가상화 센터와 같은 Job Management Tools로 이전보다 훨씬 쉽고 편하게 장비를 사용할 수 있도록 변화되었다.

또한 주요 해석 프로그램들도 병렬 클러스터를 기반으로 구조, 진동, 열, 유체, 정전기 등의 해석과 이들의 Multi-Physics 해석을 지원할 수 있도록 개발되고 있어, 사용자는 전산모사를 위한 운영 및 비용을 최소화할 수 있게 되었다. □

에이치피씨코리아(주)는 1999년에 설립되었다. HPC Cluster 제품인 CAE-Simulator ThunderBolt 등을 개발하였으며, x86 계열의 CPU를 가진 PC를 이용한 클러스터 솔루션 구축 기술을 제공하고 있다. Clustering에 대한 자세한 정보와 활용방안은 HPC Korea 홈페이지 [www.hpkorea.co.kr](http://www.hpkorea.co.kr)에서 제공하고 있다.

[담당 : 이장현, 편집위원]