

슈퍼컴퓨터 시스템을 위한 무정전 전원공급 시스템의 구축

(The Construction of the UPS system for supercomputer system)

성진우* · 우준 · 김성준 · 최윤근 · 홍태영 · 이영주 · 장지훈 · 이상동

(JinWoo Sung · Joon Woo · SungJun Kim · YunKeon Choi · YoungJoo Lee · JiHoon Jang · SangDong Lee)

Abstract

This study described the design and construction of uninterruptible power supply(UPS) system for supercomputing system. KISTI's supercomputer system is served for all 24 hours, and power be achieved in stable voltage and frequency range. We analyzed the electric power usage for 4 years, and we considered cost and stability and we constructed UPS for supercomputer system.

Key words : UPS, Supercomputer, UPS design

1. 서 론

지식정보화 사회를 이끄는 가장 강력한 인프라를 꼽으라면 단연 슈퍼컴퓨팅파워(supercomputing power)가 될 것이다. 슈퍼컴퓨터와 같은 대용량 컴퓨터 시스템이 갖는 강력한 계산능력과 정보저장 능력은 슈퍼컴퓨터를 자연과학은 물론 사회과학 연구의 필수도구로 만들고 있다.[1] 이러한 중요한 슈퍼컴퓨터 장비는 전원에 대하여 상당히 민감한 부하(負荷)들이며, 전원의 이상 현상이 짧은 시간 동안 발생하는 경우에도 그 피해는 매우 심각할 수 있다. 이러한 피해를 최소화하기 위해서는 무정전 전원공급(UPS: Uninterruptible Power Supplies) 시스템이 필요하다. UPS 시스템을 구성하고자 할 경우에 정확한 부하의 소요 전력을 알 수가 없는 경우가 많다. 또한, 장기간의 수요까지 예측하여 UPS 용량을 구성하여야 한다면 구성방안이나 용량산정은 어려운 작업이 될 것이다. 용량산정이 과다하거나 과소하게 설계가 되었다면 예산이 낭비되거나 정상적인 컴퓨터시스템의 가동에 차질이 발생할 수 있다. 따라서 대용량 컴퓨팅 시스템의 도입을 계획하고 준비하는 단계에서 전력시스템의 구성을 위한 용량산정 설계는 중요하다.

한국과학기술정보연구원(KISTI) 슈퍼컴퓨팅본부에서는 약 5년 주기로 대용량 컴퓨터 시스템을 도입하여 운영하고 있으며, 슈퍼컴퓨팅파워가 필요한 연구자에게 서비스하고 있다. 슈퍼컴퓨터 3호기가 2008년 9월로 퇴역하였으며, 슈퍼컴퓨터 4호기의 1차 시스템이 설치완료되어 활용되고 있다. 그리고 슈퍼컴퓨터 4호기의 2차 시스템을 위한 기반시설 공사가 2009년 1월말로 완료하였으며, 2009년 3분기에 슈퍼컴퓨터 2차 시스템이 설치될 예정이다.

본 연구에서는 슈퍼컴퓨터 4호기 시스템을 위한 무정전전원공급시스템의 구축내용에 대하여 설명하며, 표준적인 컴퓨터시스템의 전원계통구성과 비교하여 고려하여야 할 사항을 제시하고자 한다.

2. UPS 최적 설계

2.1. 전력시설 구축현황 및 4호기 용량

KISTI는 현재 13대의 UPS(480[kVA]/대)를 가동하고 있으며 3대는 백업용이다. 축전지는 30분간 UPS에 전력을 공급할 수 있으며, 13set의 축전지가 1:1방식(UPS: 축전지)으로 UPS와 구성되어 있다. 축전지의 용량은 600AH 384cell로 구성되어 있다. 발전기는 2대를 보유하고 있으며 단위용량은 1,250KW로서 2001년도에 구입하였다.

그리고, 슈퍼컴퓨터 4호기 시스템을 위하여 2006년 하반기부터 시작하여 2009년 1월말 까지 신규 설비(UPS, 축전지, 냉동기, 냉각탑 등)을 구축하였으며, 한전 수전용량은 22,900V를 받고 있으며, 계약용량은 10,500[kW]이다.

표 1. 슈퍼컴퓨터 4호기 전기용량

Table 1. Electriccapacity for supercomputer phase 4

구분	시스템	MPP 시스템	SMP 시스템	기타	계(kVA)
1차		364	260.7	327.3	952
2차		2,233.2	708.4	380.9	3,322.5
합계		2,597.2	969.1	708.2	4,274.5

* MPP(Massively Parallel Processing)

* SMP(Symmetric MultiProcessing)

표 1은 슈퍼컴퓨터 4호기 시스템의 정격 전기용량을 나타낸다. 1차 시스템의 총 전기용량은 952[kVA]이며, 2차 시스템의 경우는 4,322.5[kVA]이다. 전체 합계는 4,274.5kVA의 전기용량이다.

2.2. UPS 최적 구성

상용전원의 정전이나 순간 전압저하 등 단시간 정전에 대비한 경우에는 축전지를 사용하지만 장시간 정전에 대비하기 위해서는 자가발전기와 연결시켜야 한다. 컴퓨터 부하가 소규모 용량이면 단위로 하여 해당 설비에만 무정전 전원 공급 시스템을 시설하는 것이 좋지만 무정전 전원 공급용량이 매우 크거나 장시간의 정전에도 안정하게 전원을 공급하여야 할 경우에는 대규모 전원공급을 계통화 하는 것이 무정전 전원 품질을 높일 뿐만 아니라 경제적 측면에서도 유리하게 된다.[2] 그림 1은 자가 발전기를 가진 대규모 무정전 전원공급 시스템의 기본구성도이다. 그림 2는 대규모 무정전 전원공급 시스템의 동작순서도를 나타낸 것이다.[2]

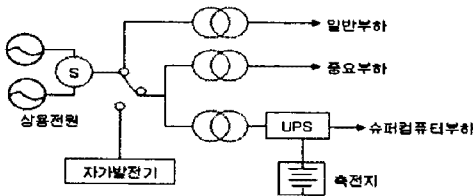


그림 1. 슈퍼컴퓨터 전력시스템의 기본구성도
Fig 1. Basic configuration of supercomputer power system

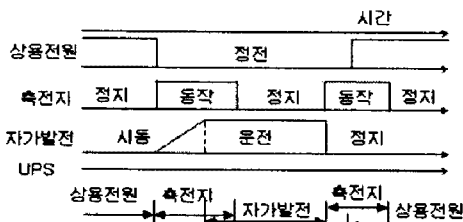


그림 2 전력시스템 동작 순서도
Fig 2. Power system sequence diagram

슈퍼컴퓨터 시스템에 일체의 무전압 상태나 주파수 변동을 허용할 수 없는 부하가 있을 때는 복수의 단위로 병렬 무정전 전원공급 시스템을 구성하여야 한다. 일반적으로 일반부하는 일반동력과 조명용으로 구분되고, 컴퓨터와 같은 중요한 부하에 대해서는 무정전 전원공급 시스템으로 구분하여 구성하게 된다. 이 경우에 장시간 정전에 대응하기 위하여 자가용 발전기가 연결된 무정전 전원공급 시스템을 구성하여야 한다. 특별히, 전원공급의 신뢰성을 높여야 할 경우에는 단위 무정전 전원공급 시스템 여러 대를 1대의 예비용이 포함된 N+1의 형태의 병렬화 방식으로 구성한다. 병렬화 구성

방식은 UPS의 장애 발생이나 점검에도 정상적인 전원 공급이 가능한 구성이다. 병렬화 구성과 비교가 되는 이중화 구성은 소요되는 UPS의 용량이 두배로 드는 구성으로 병렬화 구성에 비하여 구축비용이 많이 드는 단점 때문에 채택하지 못하였다. 표 2는 UPS 구성방식에 따른 장단점을 정리하였다.

표 2. UPS 구성 비교

Table 2. UPS Composition comparison

구분	병렬화	이중화
장점	- UPS 장애에도 전원공급 가능 - 투자대비 높은 안정화 - 대규모, 대용량에 적합	- 계통의 2중화로 높은 신뢰성 확보 - UPS 관리 용이 - 소규모, 소용량에 적합
단점	- UPS 관리가 복잡	- 구축비용 과다 - 설치 공간 확보 - 관리범위가 증가

그림 3은 대용량 컴퓨터 시스템을 위한 UPS 시스템 구성도를 나타낸 것으로 5대의 UPS가 N+1형태의 병렬로 구성된다. 구성되는 설비들은 UPS, 축전지, 입력분기반, 출력분기반, 유지보수 스위치반, 원격감시 제어반, 축전지 스위치반, UPS 및 축전지 가대, 장치(UPS, 축전지, 입력분기반, 출력분기반, 유지보수 스위치반, 원격감시 제어반, 축전지 스위치반)간 전원결선 등이다. UPS의 정류부 및 인버터부 제어방식은 ALL IGBT방식으로 UPS 입력 전원은 380[V]/220[V] × 60[Hz] × 3상 4선이다. 구성되는 UPS의 장비특성은 입력 역류 고조파 전류(THDI)는 3% 이내이며, 전압변동범위는 ±10%, 주파수 60Hz, 주파수 변동범위는 ±5%, 입력 역률은 On-Line Mode에서 98% 이상이며, 종합 효율은 On-Line Mode에서 98% 이상이다. 출력부의 특성은 전압안정도는 ±5% 이상이며, 부하역률은 0.8이상이다.

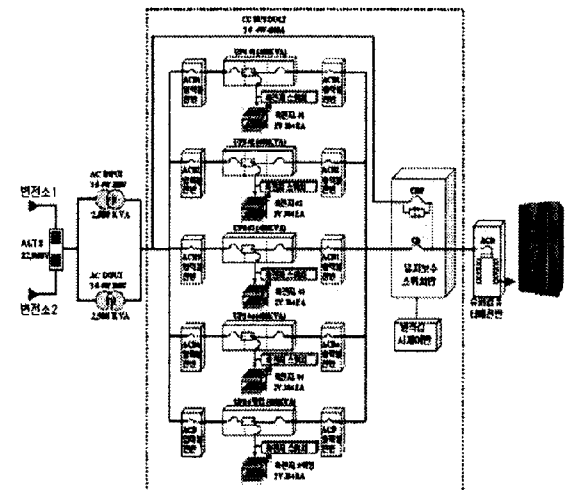


그림 3. UPS 시스템 구성도
Fig 3. UPS system configuration

UPS의 한전전원은 전원안정화를 위하여 ALTS(자동 부하전환개폐기, Automatic Load Transfer Switch)를 이용하여 두 곳으로부터 수전을 받으며 한곳이 정전이

되더라도 자동으로 절체가 되어 정상적으로 전원을 공급받을 수 있게 구성하였다.

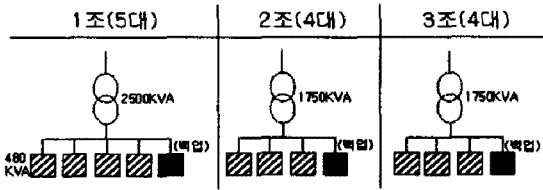


그림 4. UPS 구성
Fig 4. UPS system configuration

부하 연결계획

UPS에 연결될 부하는 3개의 구성이 있으며, 첫 번째 부하군에는 대용량시스템을 두 번째와 세 번째 부하군에는 초병렬시스템을 절반씩 분담하여 연결하였다. 각 부하군의 부하용량은 표 4에 나와 있으며, 전체 부하용량은 3,910.5 kVA이다.

표 3. 슈퍼컴퓨터 부하 현황

Table 3. Supercomputer load list

연결부하	정격부하전력 (kVA)	수용량 (수용율90% 적용)
1번 부하군	1,677.3	1,509.5
2번 부하군	1,116.6	1,004.9
3번 부하군	1,116.6	1,004.9
합 계	3,910.5	3,519.3

표 4. UPS 구성 설계

Table 4. UPS configuration design

구분	1조(1번 부하군)
UPS 시설용량	480[kVA]×5대=2,400[kVA]
5대운용시	1,509.5[kVA]/2,400[kVA]=62.9%
UPS 1대 고장시	1,509.5[kVA]/(480×4대)=78.6%

구분	2조/3조(2번/3번 부하군)
UPS 시설용량	480×4대=1,920[kVA]
4대운용시	1,004.9[kVA]/1,920[kVA]=52.3%
UPS 1대 고장시	1,004.9[kVA]/(480×3대)=69.8%

그림 4와 표 4는 슈퍼컴퓨터 시스템을 위한 UPS의 구성과 부하 현황을 나타낸다. 표1의 슈퍼컴퓨터 4호기 시스템의 부하와 기타 시스템 그리고 기반시설 부하 용량을 고려한 전체 부하의 구성 계획은 표4에 있다. 표5는 UPS 구성 설계를 나타내고 있으며, UPS에 장애가 발생하였을때의 전체 사용율이 나타나 있다. 표5에서 1번 부하군의 소요전력은 1,509.5[kVA]이다. 1번 부하군을 지원하기 위해서는 480[kVA] 용량의 UPS 5대가 요구된다. 이 경우에 UPS의 사용율은 62.9%를 유지하며 UPS 1대에 장애가 발생하더라도 78.6%의 사용율을 유

지하는 구성이다. 2번과 3번 부하군의 경우는 52.3%의 평상시 사용율과 UPS 1대 장애시에도 69.8%의 사용율을 유지한다. 2조/3조의 경우는 1조의 경우보다 여유 있는 편이며 추가의 전산장비 부하를 위한 여유를 가지고 있다.

3. UPS 용량산정과 사용통계

앞 장에서 기술한 바와 같이 UPS를 구성하기 위한 설계에서 UPS의 용량을 산정할 때 대상은 슈퍼컴퓨터 시스템만 반영하고, 냉각공조 시스템과 같은 부하들은 반영하지 않았다. 냉각공조 시스템까지 UPS가 지원하게 되면 1/3 정도의 UPS 용량이 더 필요하게 된다. 그래서 냉각공조 시스템에 UPS를 지원하지 않는 대신에 냉수 저장 설비인 수축열 시스템을 구축하여 전원 등으로 인한 냉각공조시스템의 장애로 인한 영향을 최소화하도록 구성하였다. UPS의 용량을 산정하고자 할 경우에 쓰이는 계산식은 2가지 정도가 사용된다. 식(1)은 총 사용 용량에 간단히 1.5배를 하는 용량계산이다.

$$UPS의용량[VA] \geq 총사용용량 \times A \quad (1)$$

식(1)에서 A는 부하에 대한 예비율 혹은 사용내구성 환산 수치로서 중대용량 전산시스템에 사용하는 경우의 식이다. 식(2)는 부하의 수용율, 여유율, 모터와 같이 시동 돌입 용량을 고려한 식이다.

$$Pr \geq (Pk + Pt) \times Ps \times \alpha \times \beta \quad (2)$$

여기서, Pr은 필요한 UPS 시스템 용량(kVA)이며, Pk는 부하역율을 고려한 부하 용량의 합계(kVA)이다. Pt는 증설될 부하 용량 합계(kVA)이며 Ps는 최대 시동 돌입 용량(kVA)이다. 그리고 α는 부하의 수용율로서 총 부하량 대비 가동 부하율로 구한다. β는 고조파전류에 대한 여유율이다. 세부적인 숫자는 Pk(부하 용량 합계)는 1,089[kVA]이다. 그리고 슈퍼컴퓨터들은 모터와 같이 시동 돌입 용량이 크지 않은 부하들이므로 Ps는 1이며, 모든 전산장비들이 가동되기 때문에 α도 1이다. 그리고 고조파전류에 대한 여유율인 β는 부하 내용에 따라 3상부하인 경우는 1.2~1.5이며 단상부하에서는 1.3~2.0정도의 여유를 감안해야 하지만 본 구성에서는 UPS 시스템에서 권장하는 값인 1.25를 적용하였다. 그러므로 UPS의 용량은 최소한 5,343[kVA](4,274.5[kVA] × 1.25)이상으로 구성하면 되며, 실제 구성은 6,240[kVA]이다. 897[kVA]의 여유를 가지고 있으며, 이는 약 14%에 해당된다.

그림 5는 슈퍼컴퓨터 시스템의 부하에 대한 월별 최

대 수요전력의 현황을 나타낸 것이다.

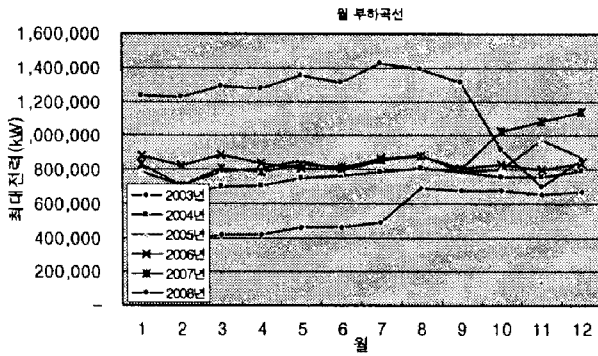


그림 5. 월 부하곡선

Fig 5. Monthly Load Curve

그림 6은 UPS용량 대비 월 사용율을 나타낸 그래프로서 2005년하반기부터 임계치인 약 70%에 도달하였다. 슈퍼컴퓨터 3호기가 철수되는 2008년 하반기부터 사용율이 하락하였다. 2003년부터 매년 약 5.5% 사용량이 증가하였다.

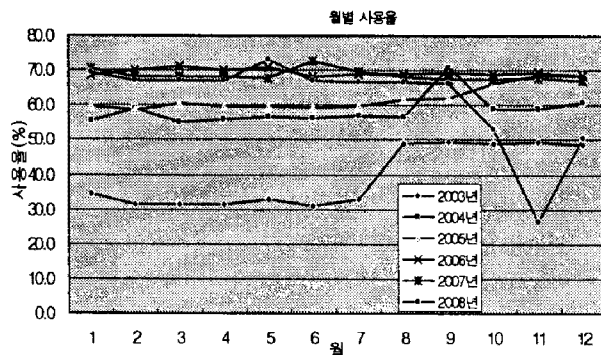


그림 6. 월별 사용율

Fig 6. Monthly Usage

그림 7은 2003년부터 2008년까지 6년 동안의 평균 사용율을 나타내었다. 그림 7을 통하여 UPS의 부하율이 적정 사용율인 70%에 도달하였다가 슈퍼컴 3호기의 철수와 슈퍼컴 4호기용 UPS도입으로 인하여 사용율이 약 60%로 내려간 것을 알 수 있다.

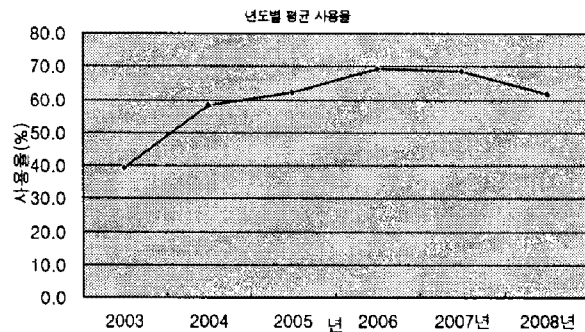


그림 7. 년도별 평균 사용율

Fig 7. Yearly Average Usage

월별 사용량은 계절의 변화에 관계없이 대체로 일정

한 사용현황을 나타내고 있는 것이 특징적이며, 2003년의 8월의 경우는 슈퍼컴퓨터 3호기 시스템의 2차 시스템이 가동된 시기로서 사용량이 증가하였다. 그리고 2008년 4/4분기는 슈퍼컴퓨터 3호기가 철거되고 4호기가 설치되어 서비스 되는 시기로서 사용율의 변화가 있는 시기이다. 슈퍼컴퓨터 시스템은 4계절 냉방기가 가동되며 계절에 관계없이 약 73만[kW]/월의 전력이 소비되고 있었다.

4. 결론

슈퍼컴퓨터 시스템은 24시간 연속적으로 가동되어야 하는 시스템으로서, 안정적인 전원공급이 필요한 부하들이다. 그러므로 무정전 전원공급 시스템이 필요하다. 슈퍼컴퓨팅센터에서는 슈퍼컴퓨터 4호기 신규시스템을 위한 대규모 무정전 전원공급(UPS) 시스템으로 구성되는 전력시스템을 구축하였다. 슈퍼컴퓨터 시스템을 구성하고자 할 경우에 시스템을 위한 전력량, 향후의 소요량, 변화량 그리고 여유량까지 고려하여 구성한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 본 논문에서는 슈퍼컴퓨터 시스템의 과거 전력사용 특성을 알아보았으며, 이를 토대로 UPS 구성과 용량을 산정한 사례를 기술하였다. 용량산정방식이 합리적인 용량산정이라는 것이 전력사용 통계자료를 통하여 확인하였다.(그림 5~7)

구성내용으로는 UPS시스템은 5대와 4대의 UPS 시스템이 1set으로 구성되며 그중에서 1대에 장애가 발생하거나 점검중이라도 안정적인 전원공급이 유지되도록 병렬로 구성하였다. 슈퍼컴퓨터 2차 시스템까지 설치되고 나면 3set의 대규모 UPS 시스템이 가동된다. UPS의 용량산정은 평균 44%의 여유율이 유지되는 구성이다.

이 논문은 대용량 컴퓨터 시스템을 위한 UPS 시스템 구성에 있어서 적당한 구성기준을 알고자 했던 관리자나 설계자에게 참고 자료가 될 것이다. 향후의 연구로는 컴퓨터 기종별/용량별 실제소비전력량을 파악하는 일이다.

참 고 문 헌

- (1) 박성진, "슈퍼컴퓨터 4호기 도입의 타당성 조사 연구", KIST연구보고서, pp 1, 2005
- (2) 송언빈, 윤병도, "대규모 무정전 전원공급 시스템의 구성 방안", 한국조명·전기설비학회지, pp80-81, 1991
- (3) 이경식, 이 사, "자가용 전기설비의 합리적 전원공급", 한국조명·전기설비학회논문집, 1993
- (4) 김세동, "컴퓨터 시스템의 전원계통구성에 관한 고찰", 한국조명·전기설비학회지, 제4권 제4호, 1990
- (5) 성진우, "대용량 컴퓨터 시스템을 위한 무정전 전원공급 시스템의 구성방안", 조명·전기설비학회 춘계학술대회, 1997
- (6) 박천열, "국가슈퍼컴퓨팅", KIST보고서, 2008년 12월