

# 대용량 컴퓨터 시스템을 위한 무정전 전원공급 시스템의 구성방안

(The Configurations of the UPS system for large scale computer system)

성진우\* · 이영주 · 김성준 · 손상호 · 박찬열

(Jin-Woo Sung · Young-Joo Lee · Sung-Jun Kim · Sang-Ho Son · Chan-Yeol Park)

## Abstract

This study described the designed and construction of uninterruptible power supply(UPS) system for large scale computer system. KISTI's supercomputer system is serviced 24 hours and power supply should be achieved in stable voltage and frequency range. We analyzed the electric power usage for 4 years, and we found several optimal parameters for new design of UPS configuration.

## 1. 서론

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) 슈퍼컴퓨팅센터에서는 약 5년 주기로 대용량 컴퓨터 시스템을 도입하여 운영하고 있으며, 슈퍼컴퓨팅파워가 필요한 연구자에게 서비스하고 있다. 현재 슈퍼컴퓨터 3호기를 운영하고 있으며, 슈퍼컴퓨터 4호기의 도입을 추진하고 있다. 그리고 슈퍼컴퓨터 시스템의 도입뿐만 아니라 전력공급 시스템, 설치공간, 공기조화 시스템 등 슈퍼컴퓨터 시스템의 운영에 필요한 기반시설의 구축도 일정에 맞추어

진행하고 있다. 슈퍼컴퓨터 시스템은 수백억원 규모의 고가이므로 주어진 5년의 활용기간에서 도입과 설치에 많은 기간이 소요되면 컴퓨터의 이용기간이 짧아지는 결과를 초래한다. 그래서 지금의 슈퍼컴퓨터 3호기 시스템의 경우에는 차기 슈퍼컴퓨터가 선정된 후 바로 시스템 설치가 되도록 기반시설의 구축을 조기에 진행하여 왔다. 그리고 차기 시스템을 경험하게 하거나 운영 중인 시스템과의 연구공백을 없애기 위하여 2차에 걸쳐 시스템을 분할하여 설치하고 있다. 사전에 기반시설을 설치하여야 하는 이유로 인하여 시스템 관리자, 시설 관리자 그리고 설계자들은 기반시설의 구성방안이나 용량산정에 있어서 어려움을 겪고 있었다.

본 연구에서는 대용량 컴퓨터 시스템을 위해 필수적인 UPS 시스템을 구성하고자 할 경우에 필요한 구성방안과 용량산정을 제시하고자 한다. 본 논문의 구성은 1장의 서론에 이어 2장은 UPS 구성방안, 3장은 UPS와 축전지의 용량산정, 그리고 마지막으로 결론으로 되어 있다.

## 2. UPS 구성방안

### 2.1 전력시설 현황 및 4호기 전기용량

KISTI는 현재 3대의 UPS(600[KVA]/대)를 가동하고 있으며 3대중 2대를 운영하고 있으며 1대는 백업용이다. 운영용량은 1,200[KVA]이고, 현재 사용용량은 약 670KVA이며 여유분은 230[KVA]정도이다. 축전지는 30분간 UPS에 전력을 공급할 수 있으며 2set의 축전지가 UPS:축전지가 3:2방식으로 구성되어 있다. 축전지의 용량은 1,600AH 192cell로서 2000년도에 도입하였다. 발전



점 때문에 채택하지 못하였다.

그림 4는 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 역율은 On-Line Mode에서 98% 이상이며, 종합 효율은 On-Line Mode에서 98% 이상이다. 출력부의 특성은 전압안정도는 ±5% 이상이며, 부하효율은 0.8이상이다. UPS의 한전전원은 전원안정화를 위하여 ALTS(자동부하전환개폐기, Automatic Load Transfer Switch)를 이용하여 두 곳으로부터 수전을 받으며 한곳이 정전이 되더라도 자동으로 절체가 되어 정상적으로 전원을 공급 받을 수 있게 구성하였다.

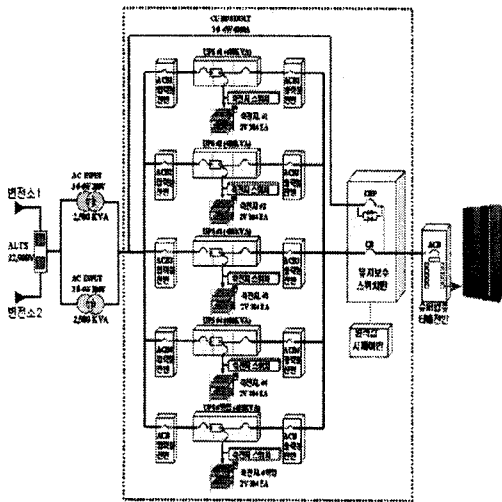


그림 4. UPS 시스템 구성도  
Fig 4. UPS system configuration

슈퍼컴퓨터 4호기 시스템은 두 차례에 걸쳐 분할 납품되며, 기종은 MPP 시스템과 SMP 시스템이다. 그림 5와 표 2는 슈퍼컴퓨터 1차 시스템을 위한 UPS의 구성 방안과 용량산정을 나타낸다. 슈퍼컴퓨터 1차 시스템의 소요전력은 1,089[KVA] (843[KVA]+246[KVA])이다. MPP 시스템을 지원하기 위해서는 480[KVA] 용량의 UPS 4대가 요구된다. 이 경우에 UPS의 사용율은 43.9%를 유지하며 UPS 1대에 장애가 발생하더라도

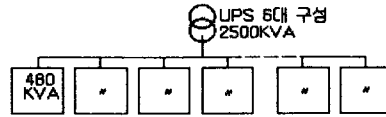


그림 5. 1차 UPS 구성도  
Fig 5. Phase 1 UPS configuration

표 2. 1차 UPS 구성 설계  
Table 2. Phase 1 UPS configuration design

구분	MPP 시스템
UPS 시설용량	480[KVA]×4대=1,920[KVA]
운용시	843[KVA]/1920[KVA]=43.9%
UPS 1대 고장시	843[KVA]/(480×3대)=58.5%

구분	SMP 시스템
UPS 시설용량	480×2대=960[KVA]
운용시	246 KVA/960[KVA]=25.6%
UPS 1대 고장시	246 KVA/480[KVA]=51.25%

58.5%의 사용율을 유지하는 구성이다. SMP 시스템의 경우는 25.6%의 평상시 사용율과 1대의 장애시에도 51.25%로 사용율을 유지한다. SMP 시스템의 경우는 MPP 시스템의 경우보다 여유는 있는 편이며 추가의 전산장비 부하를 위한 여유를 가지고 있다. 슈퍼컴퓨터 1차 시스템의 구성은 2차 시스템 설치까지 약 18개월 동안 운영되어 그림 6의 UPS 구성형태를 따르지 않고 그림 5와 같이 6대의 UPS로 임시로 구성하였다. 2차 시스템의 도입시에는 1차 시스템의 구성이 그림 6과 같은 구성으로 변경된다.

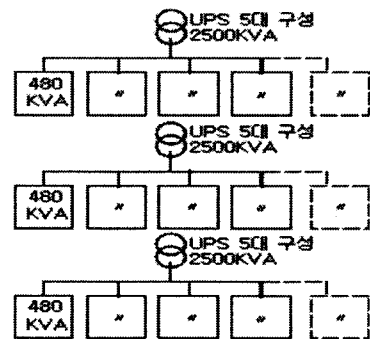


그림 6. 2차 UPS 구성  
Fig 6. Phase 2 UPS configuration

그림 6과 표 3는 슈퍼컴퓨터 2차 시스템의 구성과 용량산정을 나타낸다. 슈퍼컴퓨터 2차 시스템의 소요전력이 4,555[KVA](3,144[KVA]+1,411[KVA])이므로, MPP

시스템을 지원하기 위해서는 480[KVA] 용량의 UPS 5대가 요구된다. 이 경우에 UPS의 가동율은 65.5%를 유지하며 UPS 1대가 장애가 발생하더라도 81.8%의 가동율을 유지하는 구성이다. SMP 시스템의 경우는 정상시에는 58.79%를 유지하다가 UPS 1대가 장애가 발생하더라도 73.48%로 구성된다.

표 3. 2차 UPS 구성 설계  
Table 3. Phase 2 UPS configuration design

구분	MPP 시스템
UPS 시설용량	480[KVA]×5대 =2,400[KVA]×2set =4,800[KVA]
운용시	1,572[KVA]/2,400[KVA] =65.5%
UPS 1대 고장시	1,572[KVA]/(480×4대) =81.8%
※ set당 컴퓨터 부하량 : 3,144+2=1,572	
구분	SMP 시스템
UPS 시설용량	480×5대=2,400[KVA]
운용시	1,411[KVA]/2,400[KVA] =58.79%
UPS 1대 고장시	1,411[KVA]/(480×4대)[KVA] =73.48%

### 2.3 발전기 구성

발전기의 구성은, 소방법(소방설비 부하), 건축법(비상용 승강기, 비상조명등)등의 요구하는 법적 비상부하등과 통신 및 정보처리 설비등과 저장설비 등 불가피한 부하의 정전시 대응책 또는 허가상의 조건만을 충족시키기 위해 비상용 발전설비로 설치하는 경우가 대부분의 경우로 전력회사의 공급전력 품질이 향상되고 있는 현실로 볼 때에 유효성, 투자가치성 등을 내세워 낭비적이라는 비난을 듣게 되는 것이 현실이다.[8]

그리고 슈퍼컴퓨터의 성능 규모는 시간이 지남에 따라 대규모화 되어져, 시스템의 소비전력 또한 많아지고 있다. 대규모의 슈퍼컴퓨터에게 안정적인 전원을 확보하기 위하여 컴퓨터 전기용량에 해당하는 발전기 용량을 확보한다는 것은 예산부족뿐만 아니라 설치할 수 있는 공간도 부족하여 어려운 일이다. 발전기 구성에 대하여 필요성을 검토한 후 다음의 2가지 방안을 세웠다.

1. 신규로 발전기를 구축하지 않으며 기존의 발전기 용량으로 중요 부하만 전원을 공급한다.
2. 슈퍼컴퓨터들은 UPS의 축전지 유지시간인 30분 이내에 안전조치들을 취할 수 있도록 하여야 한다.

## 3. UPS와 축전지의 용량산정

### 3.1 UPS 용량산정

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.

$$UPS의 용량 [VA] \geq 총 사용 용량 \times A \quad (1)$$

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 고조파 전류에 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 1.3~2.0 정도의 여유를 감안해야 하지만 본 구성에서는 UPS 시스템에서 권장하는 값인 1.25를 적용하였다. 그러므로 UPS의 용량은 1,362[KVA](1,089[KVA]×1.25) 이상으로 구성하면 되며, 2차 시스템의 UPS 용량은 5,694[KVA](4,555[KVA]×1.25)이다.

표 4는 슈퍼컴퓨터의 UPS 여유율을 계산하였다. UPS를 안정적으로 사용할 수 있는 안정사용율은 70% 정도가 권장된다. 70%이상의 UPS 운전은 장애나 점검으로 인하여 일시적으로 운영될 수는 있지만 평상시에도 70% 이상으로 운영이 된다면 UPS에 과부하 운전으로 인하여 장애를 일으킬 여지가 많다. 표 4는 UPS의 안전사용율을 최대치로 보고 계산하였으며 ()안은 안전율을 고려하지 않은 100% 기준값이다. 가장 큰 여유율

표 4. 슈퍼컴퓨터의 UPS 여유율

Table 4. UPS flexibility of supercomputer

구분	1차 시스템	2차 시스템	평균
MPP 시스템	26.1(56.1)	4.5(34.5)	15.3(45.3)
SMP 시스템	44.4(74.4)	11.3(41.3)	27.8(57.8)
평균	35.2(65.2)	7.9(37.9)	21.5(51.5)

※ ()의 숫자는 UPS의 사용율을 100%로 기준

을 가진 시스템은 1차 시스템의 SMP 시스템이 44.4의 여유를 가지고 있으며, 2차의 MPP 시스템이 4.5%의 여유율로 가장 작은 여유율을 가지고 있다. 시스템별로는 MPP 시스템이 평균 15.3%의 여유율을 가지고 있고, SMP 시스템이 평균 27.8%의 여유율을 가지고 있다. 도입 시기별로는 초기 1차 시스템에 35.2%, 2차 시스템은 7.9%여유를 가지고 있다. 최종적으로 여유율은 21.5%의 UPS 여유율을 가지도록 구성하였다.

현재의 기반시설은 여유율 30%를 적용하여 구축한 것이다. 그림 7은 현재 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅센터에서 운영중인 슈퍼컴퓨터 3호기 시스템의 부하에 대한 월별 최대 수요전력의 현황을 나타낸 것이다. 월별 사용량은 계절의 변화에 관계없이 대체로 일정한 사용현황을 나타내고 있는 것이 특징적이며, 2003년의 8월의 경우는 슈퍼컴퓨터 3호기 시스템의 2차 시스템이 가동된 시기로서 사용량이 증가하였다. 슈퍼컴퓨터 시스템은 4계절 냉방기가 가동되며 계절에 관계없이 약 73만[KW]/월의 전력이 소비되고 있었다.

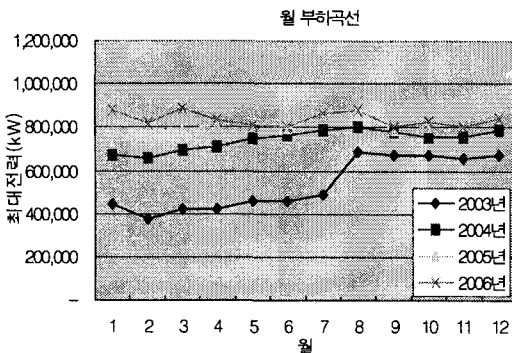


그림 7. 월 부하곡선  
Fig 7. Monthly load curve

그림 8은 UPS용량 대비 월 사용율을 나타낸 그래프로써 2006년은 임계치인 약 70%에 도달하였다. 2003년부터 매년 약 5.5% 사용량이 증가하였다.

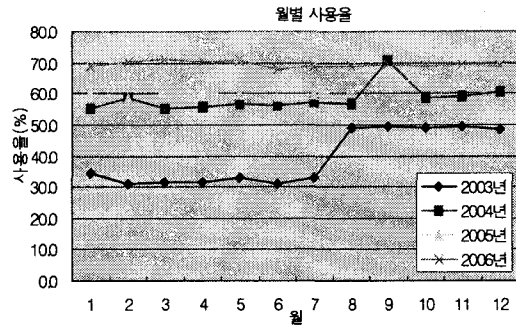


그림 8. 월별 사용율  
Fig 8. Monthly usage

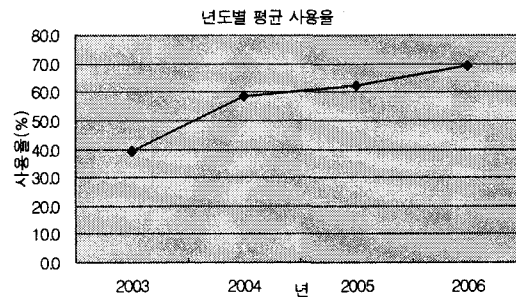


그림 9. 연도별 평균 사용율  
Fig 9. Yearly average usage

그림 9는 2003년부터 2006년까지 4년 동안의 평균 사용율을 나타내었다. 그림 9를 통하여 UPS의 부하율이 적정 사용율인 70%에 도달한 것을 알 수 있다. 30%의 여유율이 적절한 용량이었음을 그림 7~9로 알 수 있다.

### 3.2 축전지 용량산정

축전지는 UPS와 1:1방식으로 연결되며, 한전 정전시 30분간 전력을 공급하는 것으로 구성한다. 30분 이상 정전이 지속될 경우에는 발전기를 이용한 발전 등의 대책을 세워야 한다. 축전지의 용량 산정은 식(3)을 이용하여 산정할 수 있으며 UPS의 사양에 따라 달라진다. 축전지의 종류는 장수명 연속전지(UXL)이며 용량은 2[V] 600[AH]이다. UPS 구성에 필요한 축전지 수량과 방전전류는 다음의 식(3)과 식(4)로 구한다. 최소 인버터입력전압이 652[V], 셀당 방전종지전압이 1.7[V], 부하용량이 480[KVA], 역률이 0.8일 경우에는 384cell의 축전지 규모로 구성하여야 한다.

$$N(\text{Cells}) = \frac{652[V](\text{최소인버터입력전압})}{1.7[V](\text{셀당종지전압})} = 384\text{Cells} \quad (3)$$

그리고, 최대 방전전류는 식(4)와 같이 단위 축전지

$$I = \frac{480,000(\text{부하용량}) \times 0.8}{1.7 \times 384 \times 0.95(\text{인버터효율})} = 619[A] \quad (4)$$

#### 4. 결 론

슈퍼컴퓨터 시스템은 24시간 연속적으로 가동되어야 하는 시스템으로서, 안정적인 전원공급이 필요한 부하들이다. 그러므로 무정전 전원공급 시스템이 필요하다. 슈퍼컴퓨팅센터에서는 대용량화 되어가는 슈퍼컴퓨터의 성능과 용량에 맞추어 전력시설을 구축하고 있으며, 2007년 3/4분기에 설치될 신규시스템을 위한 대규모 무정전 전원공급(UPS) 시스템으로 구성되는 전력시스템을 구축하였다. 대용량 컴퓨터 시스템을 구성하고자 할 경우에 시스템을 위한 전력량, 향후의 소요량, 변화량 그리고 여유량까지 고려하여 구성한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 본 논문에서는 대용량 컴퓨터 시스템의 4년간 전력사용 특성을 알아보았으며, 이를 토대로 UPS 구성과 용량을 산정한 사례를 기술하였다. 용량산정방식이 합리적인 용량산정이라는 것이 전력사용 통계자료를 통하여 확인하였다.(그림 7~9)

구성내용으로는 UPS시스템은 5대의 UPS 시스템이 1set으로 구성되며 5대중에서 1대에 장애가 발생하거나 점검중이라도 안정적인 전원공급이 유지되도록 병렬로 구성하였다. 슈퍼컴퓨터 2차 시스템까지 설치가 되고 나면 3set의 대규모 UPS 시스템이 가동된다. 발전기 구성은 대용량 컴퓨터 시스템의 전력량이 커서 발전기를 사용하기가 힘들뿐만 아니라 설치공간도 부족하다. 그래서 축전지 용량이 최종 비상 전력이므로 필요한 조치는 축전지 제공시간내에 취하여야 한다. 축전지는 UPS 1set당 384개의 축전지가 연결되며 cell당 축전지 용량은 619[A]이다. UPS의 용량산정은 부하용량에 21.5%의 여유율을 고려하여 산정하였다. 용량산정시에 시동돌입 용량과 고조파 전류에 대한 여유율은 25%여유율을 적용하여 산정하였다.

이 논문은 대용량 컴퓨터 시스템을 위한 UPS 시스템 구성에 있어서 적당한 구성기준을 알고자 했던 관리자나 설계자에게 참고 자료가 될 것이다. 향후의 연구로는 컴퓨터 기종별 연간 전력사용에 관한 통계자료를 분석하여 UPS 종류에 따른 최적의 용량산정 방법을 알아 내는 일이다.

- (1) 박성진, "슈퍼컴퓨터 4호기 도입의 타당성 조사 연구", KISTI연구보고서, pp 1, 2005
- (2) 송언빈, 윤희동, "대규모 무정전 전원공급 시스템의 구성 방안", 한국조명·전기설비학회지, pp80-81, 1991
- (3) 곽철훈, 최규하, "무정전전원장치의 병렬운전 제어기법에 관한 연구", 전력전자학회, 제8권 제6호, 2003년
- (4) 김세동, 최도혁, 류승기, "지하상가시설의 부하특성을 고려한 전기설비 설계기준 설정에 관한 연구", 한국조명·전기설비학회논문집, 1996
- (5) 고강훈, 김천식, 김수용, 박정우, 고희석, 이현우, "지능형 전력관리시스템의 구축사례", 한국조명·전기설비학회논문집, 2000
- (6) 이익수, "운전을 적용에 의한 동력부하의 적정산정", 한국조명·전기설비학회논문집, 1998
- (7) 김세동, "자가용전기설비의 전력원단위 향상을 위한 전력관리 방안", 한국조명·전기설비학회논문집, 2000
- (8) 이경식, 이 사, "자가용 전기설비의 합리적 전원공급", 한국조명·전기설비학회논문집, 1993
- (9) 성진우, 김중권, "슈퍼컴퓨터 기반시설 수요분석", KISTI 내부문서(ISBN:89-5884-399-3 93500), 2005
- (10) 성진우, 김중권, "슈퍼컴퓨터 4호기 기반시설 구축 계획", KISTI 내부문서, 2006