

양성자 가속기 연구센터 내 전력계통 설비 구축

문경준*, 이승현*, 전계포*, 김준연*, 최병호*, 이원희**, 정우성**, 유석태**
* 한국원자력연구원 양성자기반공학기술개발사업단, ** 한국전력기술주식회사

Electric Power System Configuration for the Proton Accelerator and the Conventional Facilities

Kyeong-Jun Mun*, Seong Hyun Lee*, Gye Po Jun*, Jun Yeon Kim*, Byung Ho Choi*, Won Hee Lee**, Woo Sung Jeong**, Suk Tae Yoo**
* Korea Atomic Energy Research Institute Proton Engineering Frontier Project, ** Korea Power Engineering Company, Inc.

Abstract - 90년대에 들어서면서부터 미래원천기술 개발에 필요한 양성자원 및 중성자원의 중요성이 부각됨으로써, 이에 적합한 고에너지(수백 MeV~수 GeV) 및 대전류(수십 mA)의 대형 양성자 가속기가 개발되어 반도체 생산, 의료장비 등 여러 분야에 널리 적용되고 있는 추세이다.

본 논문에서는 이러한 양성자 가속기 연구센터에 전력을 공급하기 위한 전력설비를 구축하였다. 구축한 전력설비의 유용성을 입증하기 위하여 현재 건설중인 미국의 SNS project 및 유럽의 양성자 가속기 연구센터 전원설비와 비교·검토함으로써 본 논문에서 설계한 전력설비의 유용성을 입증할 수 있었다.

1. 서 론

양성자 공학기술은 핵자인 양성자를 고에너지로 대량 생산하여, 기초과학, 재료과학, 생명과학, 원자력, 산업, 의료, 국방 등 산업전반에 걸쳐 새로운 혁신기술을 개발하는 종합적인 과학기술 분야이다. 현재 양성자 공학기술을 응용한 기술들을 살펴보면 극한기술들을 융합한 양성자 빔 발생장치 개발, 빔 장치를 활용한 공통 핵심기술 개발 및 이를 바탕으로 한 빔이용/응용기술 개발을 통하여 여러 산업분야의 기술혁신을 제공하여 왔다[1,2].

따라서 90년대에 들어서면서부터 미래원천기술 개발에 필요한 양성자원 및 중성자원의 중요성이 부각됨으로써, 이에 적합한 고에너지(수백 MeV~수 GeV) 및 대전류(수십 mA)의 대형 양성자 가속기가 개발되어 반도체 생산, 의료장비 등 여러 분야에 널리 적용되고 있는 추세이다.

본 논문에서는 이러한 양성자 가속기 연구센터에 전력을 공급하기 위한 전력설비를 구축하였다. 구축한 전력설비는 양성자 가속기의 RF 전원장치에 전력을 공급하기 위한 2대의 변압기와 양성자 가속기 연구센터에 전력을 공급하기 위한 2대의 변압기로 구성된 변전설비, 비상전원설비, 접지 및 피뢰설비, 일방조명, 및 비상조명, 화재감지 및 경보설비계통을 구축하였다. 구축한 전력설비의 유용성을 입증하기 위하여 현재 건설중인 미국의 SNS project 및 유럽의 양성자 가속기 연구센터 전원설비[1,2]와 비교·검토함으로써 본 논문에서 설계한 전력설비의 유용성을 입증할 수 있었다.

2. 양성자 가속기 연구센터 전력설비

2.1 수변전설비

양성자 가속기 연구센터는 수십 MW에 상당하는 많은 전력량을 소비한다. 따라서 이에 적합한 수 변전설비를 구축하기 위해서는 다음 사항을 충분히 검토해야 한다.

- 1) 설비 용량
- 2) 수전방식 (수전전압, 수전회로 방식)
- 3) 수변전설비의 형식 (옥외, 옥내, 개방식, 큐비클식)
- 4) 주회로의 결선 방식 (모선방식, 변압기 뱅크 수,

- 전압 분기회로수)
- 5) 주요기기의 선정 (기기의 종별, 경격)
- 6) 감시제어 및 보호 방식
- 7) 수변전실의 위치, 크기 및 기기배치
- 8) 예비전원 설비

2.2 비상 전원계통

양성자 가속기 시설에서 중요한 기능을 발휘하는 전력설비에서 고장이 발생하여 상용전원의 정전이 발생하면, 공기조화, 급수 및 배수 등의 설비기능이 정지되므로 양성자 가속기 시설에 대한 막대한 위험을 초래할 수 있다. 상용전원의 신뢰도는 설비의 개선을 통해서 날로 향상되고 있는 실정이지만 천재에 의한 정전, 기기교체 등의 작업 때문에 상용 전원이 정전된 경우에는 예비전원을 확보할 필요가 있다.

본 논문에서는 비상전원설비로 비상디젤 발전 설비, 축전 설비, 무정전 전원 공급장치를 도입하였다.

2.3 접지 및 피뢰설비

접지 및 피뢰설비 계통은 양성자 가속기 연구센터내의 낙뢰 및 접지사고 등으로 인한 위험전압으로부터 인체와 기기를 보호하며 고장기기를 계통으로부터 분리하기 위한 보호계전기의 동작을 확실하게 하며, 대지에 대한 회로 전압을 안정시킨다.

2.4 일반조명 및 비상조명 설비

조명계통은 양성자 가속기 연구센터의 전원이 정상적일 때 모든 지역에 필요한 조도를 유지하는 기능을 수행한다. 이러한 조명계통은 일반 조명계통, 상시대기 조명계통 및 비상 조명계통으로 구분할 수 있다.

2.5 화재감지 및 경보설비계통

화재감지 및 경보설비의 기능은 화재가 발생한 지역의 열이나 연기를 감지하여 자동 또는 수동 발신에 의해 경보를 발하여 화재의 조기 진압을 수행함으로써 인명과 재산 손실을 최소화하는 것이다.

3. 사례연구

본 논문에서 설계한 전력설비 운용방안의 유용성을 검증하기 위하여 기존의 양성자 가속기 연구센터 전원설비와 비교·검토하였다.

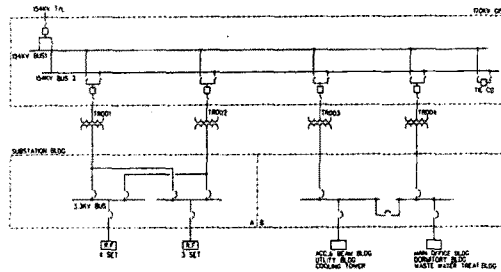
3.1 수변전설비

본 논문에서 설계한 수 변전설비는 부하가 많은 양의 전력을 소모하므로 초고압인 154kV를 배전전압인 3.3kV로 강압하도록 구성하였으며 개폐기로는 가스절연 개폐장치를 도입하였다. 이러한 수 변전설비는 양성자 가속기 설비 중 가속기 고주파 장치(RF), 각 건물 및 설비에 전력을 공급하며, 이를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에 나

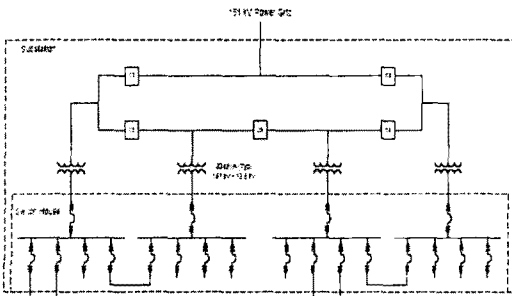
타낸 바와 같이, 154kV로부터 공급받은 전력은 양성자 가속기 고주파 장치와 건물 및 설비에 각각 2대씩의 변압기를 통하여 전력을 공급한다. 여기서 154kV 수전설비 계통으로는 그림 1에 나타난 바와 같이 설비의 확장 가능성을 고려하여 2중모선, 1 tie 차단기 방식으로 선정하였다. 본 논문에서 도입한 2중모선 방식은 그림 1의 (a)에서와 같이 1회선당 2개씩의 차단기를 가지므로 한 쪽 모선에 고장이 발생하면 다른 쪽 모선으로 쉽게 절제 가능하므로 회선정전이 발생하지 않는다는 장점을 가진다. 이에 비해 SNS의 전력설비[1]에서는 13.8kV 3상 3선식의 수전설비를 사용하며 동일 변전소의 동일 배크에서 2회선로 상시 전력을 공급하는 환상방식을 사용하였으며 이를 그림 1의 (b)에 나타내었다. 이러한 환상방식은 부하의 절환이 편리하고 신뢰도가 높으나 구조가 복잡하여 오조작할 우려가 있다는 단점을 가진다.

여기서 사용된 장비들을 살펴보면, 가스절연개폐장치(GIS)로는 170kV, 50kA, 1200A(300MVA), 154/3.3kV 수전 변압기로는 유입자냉식/유입풍냉식(ONAN/ONAF) 방식을 채택하였고, RF 장치용으로는 20/26.6MVA 2대, 부대설비용으로 10/13.3MVA 2대를 설치하였으며, 이 과정에서는 최대부하 및 20% 정도의 부하증가에 대비하여 용량을 산정하였다. 이 경우 차단기의 용량 때문에 각 RF 장치용 변압기에서는 2개의 분기선을 인출하여 각 RF 모선에 전력을 공급하였다. 만일 운전중 수전변압기 중 1대에서 고장이 발생하면 해당 고장발생 변압기에 연결된 부하는 RF 장치 부분에서는 전원절제를 이용하며, 부대설비 부분에서는 모선 Tie 운전을 통하여 고장발생 변압기 부하를 건전변압기 측으로 절제하게 된다. 또한 154/3.3kV의 변압기 절선방식으로는 Δ -Y결선을 도입함으로써 1차측인 Δ 결선에서는 제 3고조파를 제거할 수 있으며 2차측인 Y측은 중성점을 접지함으로써 이상전압을 저감시킬 수 있다는 장점을 가진다.

3.3kV 고압차단기반 계통은 460V 부하 및 480V 전동기 제어반에 전력을 공급하는 480V 로드센터 계통, 220V 시험설비 부하에 전력을 공급하는 220V 로드센터 계통 및 소용량 저압 동력부하에 전력을 공급하는 480V 전동기 제어반으로 구성되어 있다.



(a) 제안한 양성자 가속기 설비관련 수전 계통도



(b) SNS의 양성자 가속기 설비관련 수전 계통도

그림 1 양성자 가속기 설비 관련 수전설비 계통도

3.2 비상 전원계통

본 논문에서는 비상전원설비로 비상디젤 발전 설비, 축전 설비, 무정전 전원 공급장치를 도입하였다.

비상디젤 발전 설비는 정상운전 중에 사고나 기타 이유로 센터 내 계통이 정전되었을 때 경제적 피해를 최소화하고 운전원의 안전을 제공할 수 있는 필수부하, 즉 안전연동(interlock) 시스템, 진공 시스템 설비 및 통제, 주 통제실 서버 및 하드웨어, 원격통신장치, 정보 시스템, 상시대기 조명 시스템과 축전기용 충전기 및 무정전 전원 공급장치 등에 대해 충분한 전력을 공급한다. 이러한 비상디젤 발전기는 과도한 진동 또는 손상없이 2,000시간 연속운전이 가능해야 하며, 24시간 운전 중 2시간 동안 과도한 진동 또는 손상이 없이 운전할 수 있는 용량을 정격으로 설정하였다.[1,2] 이러한 비상디젤발전기는 가속기 및 연구동, 이온빔 연구동, main office, 기숙사에 각각 1대씩 설치하여 한전계통 정전시 자동으로 기동하며 외부전원 복귀시 무정전으로 복전할 수 있는 기능을 가진다. 본 논문에서는 비상디젤발전기로는 3상 480kV, 200kW급을 채택하였다.

축전설비는 비상용 조명전원, 유도동용 전원, 보완동용 전원 및 무정전 전원장치 등의 예비 전원용이나 기기 감시제어용 전원, 전화 교환기 등의 직류를 필요로 하는 기기의 전원용 등의 용도로 정전시에도 전기를 필요로 하는 개소에 전력을 공급하는 설비이다. 이러한 축전설비는 정상전원 상실시 30분 동안 충전기의 보조 없이 전력을 공급할 수 있는 충분한 용량을 가지도록 설계하여야 한다. 이러한 축전설비는 비접지로 운전하고 각 축전설비의 접지 및 부족 전압상태를 경보하기 위한 접지검출 및 부족 전압계전기를 설치하여야 한다. 480V 비상로드센터의 전원 상실시 축전지는 2시간동안 양성자 가속기 부대설비의 운전 및 계통상태를 감시할 수 있도록 제어 및 계측설비 부하에 전력을 공급한다. 이러한 축전설비를 사용하는 직류전원계통은 정격전압이 125V DC이며, 축전지, 충전기, 직류 분배전반 등으로 구성되어 있으며, 480V 비상발전기 모선으로부터 전력을 공급받아 교류를 직류로 변환하여 양성자가속기 연구센터 중 직류전원을 필요로 하는 부하 및 120V 교류 무정전 전원 계통에 전력을 공급한다.

무정전 전원장치(unlimited power supply : UPS)는 운전중 사고나 기타 이유로 외부 전원에 각종 장애가 발생하는 경우, 즉 전압 변동, 주파수 변동, 순간 정전, 과도 전압이 발생하는 경우에도 정전없이 주어진 방전시간 동안 안정한 출력을 부하에 공급하는 전원장치로써 이를 통해 전원 상실시 경제적 손실절감 및 운전원의 안전을 보장하고자 한다. 이러한 UPS는 안전연동(interlock) 시스템, 진공 시스템 설비 및 통제, 주 통제실 서버 및 하드웨어, 원격통신장치, 정보 시스템, 전원제어 및 보호장치에 정전시 전력을 공급한다.[1,2] 정상 운전시에는 상용교류 전원인 480V 비상발전기 로드센터로부터 수전하여 정류기, 인버터를 거친후 120/208V AC 60Hz의 양질의 전원을 공급하며 내장형 축전지에 충전할 수 있다. 상용 교류전원 고장 발생시에는 내장형 축전지로부터 직류전원을 공급받아 인버터를 통하여 정전압, 정주파수의 양질의 교류전원을 축전지의 방전시간 동안 연속으로 운전한다. 이때 축전지의 전압이 설정치 이하가 되어도 상용 교류 전원이 복구되지 않는 경우, 인버터의 고장 및 오동작, 점검 및 보수시에는 By-Pass 전원으로 절체된다.

본 논문에서 도입한 무정전 전원 장치는 OFF-line 방식으로써 정상적인 상용전원 인입시에는 직접 상용전원을 부하에 공급하고 있다가 정전 발생시에는 인버터가 동작하여 축전지의 충전전력을 부하에 공급하는 방식으로 이를 그림 2에 나타내었다.

본 논문에서 도입한 비상디젤 발전기, 축전설비 및 무정전 전원장치를 포함한 비상전원 설비를 그림 3에 나타내었다.

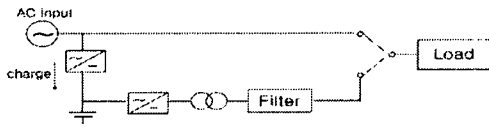
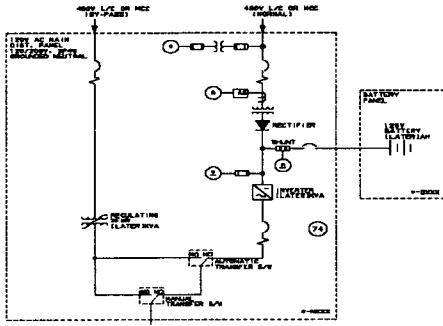
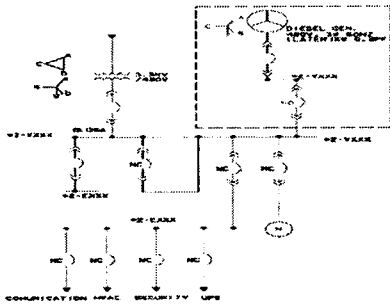


그림 2 무정전 전원 장치의 구성



(a) 무정전 전원장치 및 축전설비



(b) 비상전원 관련 계통도

그림 3 양성자 가속기 시설 내의 비상전원 설비

3.3 접지 및 피뢰설비

양성자 가속기 연구센터 내의 접지망은 기기 접지를 위하여 변전소 전 지역에 걸쳐 포설하여야 한다. 보폭전압 및 접촉전압은 어떠한 고장상태에서도 안전치 이하로 제한하여야 하며, 고장 발생시 연구센터 내에 위험한 전이전압이 발생하지 않도록 하여야 한다. 본 논문에서는 각 건물단위별로 Loop식 접지선을 구성하는 공용 접지방식을 채택하였다. 이러한 공용접지 방식의 장점은 접지선이 짧고 접지계통이 단순해져 보수·점검이 용이하며 각 접지극간의 병렬접속으로 작은 저항값을 얻을 수 있으며 접지전극의 신뢰도가 높고 접지전극의 수가 적어져서 설비·시공 측면에서 경제적이다. 그러나 이 방식의 단점으로는 다른 기기계통에 전위상승 효과를 나타내며 다른 기기계통의 영향을 받는다는 점이다. 양성자 가속기 연구센터에 설치한 접지망의 접지 저항치는 1-5 Ω으로 제한하였다.

변전소를 포함한 양성자 가속기 센터 건물에는 낙뢰에 의해 발생하는 화재, 파손 또는 인명의 상상을 방지하기 위한 낙뢰 방호설비를 설치하여야 한다. 일반적으로 화약, 가연성 액체, 가연성 가스 등의 위험물 저장의 용도로 사용되는 피보호물에 설비하는 피뢰침은 보호각을 일반적으로 45도로 설정하고 화약류의 저장 또는 취급용도에 필요한 피보호물에는 피뢰침 또는 독립 가공전선을 설치하므로 양성자 가속기 연구센터에도 피뢰침의 보호각을 45도로 설정하였다. 이러한 피뢰침은 건축물 또는 공작법에 관한 건축기준법에 따라 20m 이상 돌출된 설비에 대해 설치하도록 규정되어 있다.

3.4 일반조명 및 비상조명 설비

조명계통은 일반 조명계통, 상시대기 조명계통 및 비상 조명계통으로 구분할 수 있다.

일반 조명계통은 480V 전동기 제어반에서 전원을 공급받는 조명용 변압기로부터 380V/220V, 3상 4선식 전원을 공급받는다. 각 조명계통 본전반 차단회로는 누전 차단기를 사용하여야 하며 단락사고 발생에 대해 충분한 차단용량을 가져야 한다.

상시대기 조명계통은 정전 발생시 비상 디젤발전기로부터 전원을 공급받아 중요설비의 shutdown, 비상료 및 방사능 제거 관련 조명을 지원하며, 보안 및 감시 관련 지역의 조명설비에 사용된다. 이러한 비상 조명계통은 소방법에 따라 정전 또는 비상시 안전 및 대피에 필요한 최소한의 조도를 유지하도록 설계한다. 이러한 상시대기 조명계통은 전원이 상실되면 비상발전기 전원모선으로부터 전원을 공급받아 필수운전시 필요한 최저 조도를 제공한다.

비상 조명계통은 비상조명 등기구와 축전지 내장형 유도등으로 구성되어 있으며, 비상 조명 등기구는 일반조명 및 상시대기 조명 상실시 자동적으로 점등되고 유도등은 상시 점등된다. 비상조명 등기구 중 축전지 내장 유도등은 비상구, 출입구, 복도, 계단 등에 사용하며, 평상시는 정상 전원으로 부터 전원을 공급받다가 전원 상실시 10초 이내에 내장 축전지 전원으로 자동 전환한다. 이 경우 축전지 용량은 20분 이상이며 유도 표시를 한다.

3.5 화재감지 및 경보설비계통

화재감지 및 경보설비는 독립적인 집중감사가 가능하도록 단일 계통으로 구성되며 모든 경보신호는 주제어실에 전송된다. 해당 설비에는 상용전원 및 비상전원이 공급되는데 상용전원은 120Vac 배전반에서 공급되고 비상전원은 축전지에서 자동으로 공급된다. 비상전원은 내장형의 직류 24V 축전지를 사용하는데 이는 정전 후 24시간 이상 감시기능을 수행할 수 있으며, 5분 이상 화재 경보를 동작시킬 수 있는 용량에 해당된다. 이는 연기 및 열감지 시스템과 연동되는 스프링클러 시스템을 이용한 화재 검출 및 보호기능을 수행한다.

4. 결 론

본 논문에서는 양성자 가속기 연구센터에 전력을 공급하기 위한 전력설비를 구축하였다. 구축한 전력설비는 양성자 가속기의 RF 전원장치에 전력을 공급하기 위한 2대의 변압기와 양성자 가속기 관련 센터에 전력을 공급하기 위한 2대의 변압기로 구성된 변전설비, 비상전원설비, 접지 및 피뢰설비, 일반조명, 및 비상조명, 화재감지 및 경보설비계통을 구축하였다. 구축한 전력설비의 유용성을 입증하기 위하여 현재 건설중인 미국의 SNS Project 및 유럽의 양성자 가속기 연구센터 전원설비[1,2]와 비교·검토함으로써 본 논문에서 설계한 전력설비의 유용성을 입증할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 한국원자력연구소 양성자기반공학기술개발사업단의 건설공사관리 과제에서 수행한 연구임

[참고 문헌]

- [1] Report of the Spallation Neutron Source, 1997
- [2] European Spallation Source: Volume 3, The ESS Technical Study, Report ESS 96-53-M, Nov., 1996