

양성자 가속기 연구센터 관련 전력설비 설계 현황

문 경준*, 전 계포*, 민 의섭*, 남 정민*, 김 준연*, 김 보현**, 정 우성**, 유 석태**
 * 한국원자력연구소 양성자기반공학기술개발사업단, ** (주) 한국전력기술

Electric Power System Design Status for the Proton Accelerator Conventional Facilities of PEPF

K. Mun*, G. P. Jeon*, Y. S. Min*, J. M. Nam*, J. Y. Kim*, B. H. Kim**, W. S. Jeong**, S. T. 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[1, 2]. 이에 양성자 사업단은 21세기 미래 원천기술을 개발하고 산업경쟁력을 제고하며 공공복지를 증진시킬 수 있는 양성자가속기를 개발하여, NT, BT, IT, ST등 중요 국가과학기술분야의 발전기반을 확충하기 위한 프론티어 사업목표로 하고 있으며 이에 부응할 수 있는 양성자 가속기 연구센터 건설계획을 설정하여 추진 중에 있다.

본 논문에서는 양성자 가속기 연구센터 건설계획 과정 중에서 전력설비 설계 방법, 즉 154kV 수전 설비, 직류전원계통, 무정전 전원계통 설비, 접지 및 피뢰설비의 기능 및 특징에 대해 기술하고자 한다.

1. 서 론

양성자 공학기술은 핵자인 양성자를 고에너지로 대량 생산하여, 기초과학, 재료과학, 생명과학, 원자력, 산업, 의료, 국방 등 산업전반에 걸쳐 새로운 혁신기술을 개발하는 통합적인 과학기술 분야이다. 현재 양성자 공학기술을 응용한 기술들을 살펴보면 극한기술들을 융합한 양성자 빔 발생장치 개발, 빔 장치를 활용한 공동 핵심기술 개발 및 이를 바탕으로 한 빔이용/융용기술 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 전력설비 중 154kV 수전 설비, 직류전원 계통 설비, 무정전 전원계통 설비, 접지 및 피뢰설비의 기능 및 특징을 기술하였다. 154kV 수전 설비의 목적은 양성자 가속기 및 부대시설에 전력을 원활히 공급하는 것이며, 이는 양성자 가속기의 RF 전원장치에 전력을 공급하기 위한 2대의 변압기와 양성자 가속기 연구센터에 전력을 공급하기 위한 2대의 변압기 및 기타 전력설비로 구성되어 있다. 한편 직류전원 계통 설비는 전력계통의 정상 및 비정상 운전시 필수 기기의 동력 및 직류제어를 위한 전원공급 설비로서 충전기, 축전기 및 각 직류모선의 접지를 경보하기 위한 접지검출 장치와 직류 모선의 부족전압 상태를 경보하기 위한 부족전압 계전기 등으로 구성되어 있다. 무정전 전원계통은 전압변동, 순간정전, 주파수변동, 정전사고 등의 각종 장애 발생시 무정전을 필요로 하는 양성자 가속기 연구센터 중 제어 및 계측설비 등의 필수부하에 정전압, 정주파수의 양질의 교류전원을 공급하기 위해 도입되었다. 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.

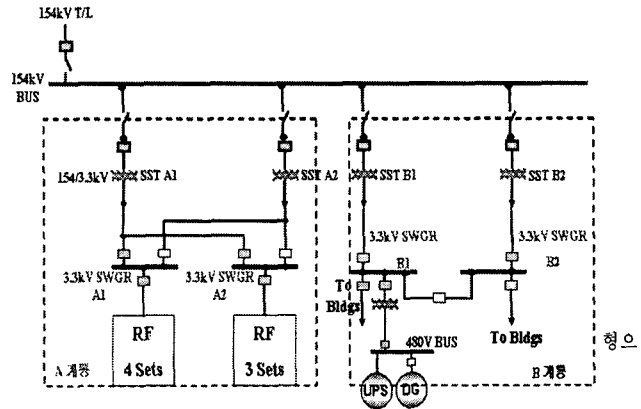
2. 양성자 가속기 연구센터 관련 전력설비

2.1 154kV 수전 설비

154kV 수전설비 계통은 한전의 송전망과 연결하기 위한 인출 철탑에서부터 154kV 인입선로, 170kV 가스절연개폐설비 및 수전용 변압기 등으로 구성되어 있으며 이들 각 계통은 제어, 감시 및 보호설비를 포함한다. 이러한 154kV 수전설비 계통도를 그림 1에 나타내었다.

154kV 수전설비의 각 구성을 살펴보면 다음과 같다.

우선 154kV 인입선로는 양성자 가속기설비에 필요한 전력을 연속적으로 수전하기에 충분한 용량의 내열강심알루미늄연선(TACSR) 240mm² 2도체(Bundle), 1회선 가공선로로 가장 가까운 한전 154kV 변전소 인출 철탑까지 연결한다. 154kV 변전소는 옥외로 170kV 전폐형 가스절연개폐설비(GIS)로 설치하며, 주요 기기는 가스절연모선(GIB), 차단기, 단로기, 변류기,



<그림 1> 154kV 수전설비 계통도

계기용 변압기, 피뢰기 및 기타 부속물과 수전용 인출 철탑 등으로 구성되며, 양성자가속기 시설 부지내 필요한 전력을 공급할 수 있도록 154kV 전력회로를 개폐하는 기능을 한다.

한편 수전용 변압기는 3상 3선식의 단일 탱크로서 유입식, 옥외형이며, 154kV의 수전전압을 양성자 가속기 설비에 필요한 3.3kV의 전압으로 강압하는 기능을 한다. 154kV 변전소는 단일모선으로 구성하였으며, 차단기, 단로기, 모선 및 기타 부대설비들이 급속제 외함으로 밀폐된 구조로 SF₆가스에 의해 절연된 옥외형으로 설계하였다. 특히 차단기는 소호성능 및 절연성능이 뛰어난 170kV SF6형 가스차단기를 사용하며, 연속 정격전류로부터 정격 차단전류의 100%까지 3 Cycle 이내에 어떤 고장 전류라도 차단할 수 있도록 설계하였다.

154kV/3.3kV 수전용 변압기의 경우, 정격용량은 65°C 온도상승 정격의 유입냉각/유입풍냉식(ONAN/ONAF) 기준으로 1대의 용량이 100% 부하에 대해 전력을 충분히 공급할 수 있도록 설계하였다. 이러한 변압기의 극성은 감극성이며, 안정권선을 가진 3권선변압기를 채택하였다. 고압측과 저압측의 결선은 성형결선으로 하며, 안정화 결선은 삼각결선으로 하였다. 또한 변압기 고압측 권선에는 정격전압탭을 기준으로 각 단계별 2.5%씩 4단(상위:2단, 하위:2단)의 무부하 절환탭을 설치하여 부하전압을 조절할 수 있도록 설계하였다. 또한 변압기 보호를 위해 차동보호, 고압측 순시/한시과전류 보호 및 중성점 지락과전류 보호, 저압측 중성점 지락과전류 보호 및 기타 기계적 사고보호를 위한 계전기를 도입하였다.

2.2 직류전원 계통 설비

직류전원계통은 설계중인 양성자가속기 연구센터 전력설비의 정상시 뿐만 아니라 정전시 및 비상시에도 154kV 스위치야드, 3.3kV 고압차단기, 480V 및 220V 로드센터 차단기의 제어, 필수계장 설비 등에 전력을 공급하고, 비상조명 등 주요 부하와 120V 교류 무정전전원 계통에 예비전원이나 비상 전원용으로 전력을 공급하는 기능을 수행한다.

이러한 직류전원계통은 비상디젤발전기와 연계된 장소에 배치되어 독립적인 전원을 구비하도록 설계하였다. 직류전원계통의 모선전압은 125V로 설정하였으며 충전기와 축전지는 각각 1조를 설치하였다. 직류전원계통의 전압레벨 기준은 부동충전 전압은 125V, 균등충전전압은 135V, 방전종지전압은 105V으로 설정하였으며 충전기 공급차 운전 조건을 따르도록 하였다. 이러한 충전기의 용량 결정시에는 IEEE 485를 참조하여 설정하였으며 정상전원 상실시 30분 동안 충전기의 보조 없이 전력을 공급할 수 있도록 충분한 용량으로 설계하였으며 충전기용량은 10시간을로 하고 부하 사이클동안 방전종지전압은 1.81V/cell로 설정하였다. 또한 축전지의 전해액 온도는 21°C를 기준으로 설정하였다. 이 경우 축전지의 수량은 균등 충전 상태의 전압이 계통의 최고전압을 초과하지 않도록 하기 위해 125V 계통에 대해 58 cell로 구성하였다. 또한 직류전원계통의 충전기는 여러 경우의 정상운전 부하를 조합하여 설정한 최대 수용 부하에 대해 어떠한 운전상태에서도 12 시간 이내에 축전지를 방전종지전압 상태에서 만충전 상태까지 회복할 수

있도록 충분한 충전용량으로 설정하였다.

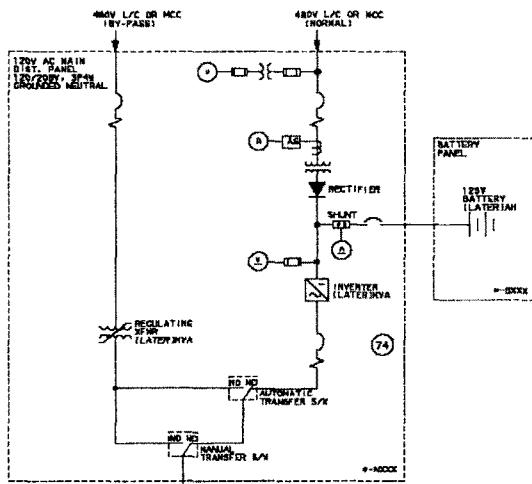
직류전원계통의 운전시에는 비접지로 운전하며 각 직류모선의 접지 및 부족 전압상태 검출 및 경보를 위해 접지검출 및 부족 전압계전기를 설치하였다.

이러한 직류전원계통에 도입된 충전기는 역전력 방지장치 및 입력력 차단기를 구비하며, 입력전압은 480V AC±10%, 3상, 60Hz±5%이며, 출력전압은 125V DC±0.5%로 설정하였다.

직류전원계통의 운전방식은 정상운전시 충전기는 480V 로드센터 또는 전동기 제어반으로부터 전력을 공급받아 교류를 직류로 변환하여 직류배전반에 전력을 공급함과 동시에 축전지에 전력을 공급하는 부동충전 운전을 한다. 직류배전반은 직류전원을 필요로 하는 기기의 제어 및 계속설비 부하에 전력을 공급한다. 480V 로드센터 또는 전동기제어반의 진원 상실시 축전지는 30분 동안 양성자 가속기 연구센터 설비의 운전 및 계통상태를 감시할 수 있도록 제어 및 계속설비 부하에 전력을 공급한다. 정상 교류 전원 회복시 충전기는 방전상태에 있는 축전지를 충전시키고 직류 부하에 전력을 공급하는 기능을 수행한다.

2.3 무정전 전원 설비

본 연구에서 설계한 무정전 전원장치를 그림 2에 나타내었다.



〈그림 2〉 무정전 전원장치의 구성도

무정전전원 설비는 정상시에는 480V 로드센터 또는 전동기제어반으로부터 정전압, 정주파수 전원을 해당 부하에 공급하고, 운전중 사고나 기타 이유로 정전되었을 때 125V 축전지로부터 양성자 가속기 연구센터의 정전유지에 필요한 필수부하에 일정시간동안 무정전으로 전원을 공급하는 기능을 가진다.

무정전전원 설비는 크게 축전지 분리형과 축전지 내장형으로 구분된다. 축전지 분리형은 변전소 부지내 제어건물 전기실에 설치되며, 인버터, 정지형 자동정전스위치, 수동정전스위치, 자동전압조정기, 120V 무정전 교류분전반 등을 포함하며, 각 건물 전기실에 설치되는 축전지 내장형의 경우에는 축전지, 정류기, 인버터, 정지형 자동정전스위치, 수동정전스위치, 자동전압조정기, 120V 무정전 교류분전반 등을 포함한다.

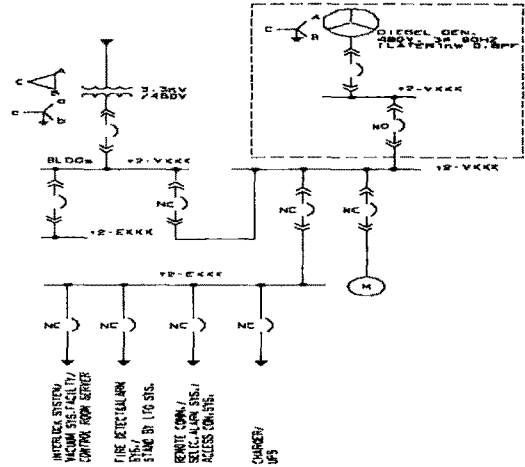
무정전전원 설비의 구성은 무정전전원공급장치, 축전지반, 120V 교류분전반으로 구성되며 국내 자립형구조 점검 및 보수가 용이하고 방열통풍이 잘 되는 곳에 설치하여야 하며, 내장형 축전지는 밀폐형 무부수 무누액 연 축전지를 사용한다. 이러한 무정전전원계통은 단시간 정전이 발생한 경우에도 순간적인 정전없이 정전압, 정주파수의 교류 전원을 해당 부하에 공급할 수 있도록 하여야 하며, By-Pass 전원계통은 입력측의 전압 변동과 써지 발생시에도 자동전압조정기를 통하여 일정한 교류 정전압, 정주파수를 공급할 수 있도록 설계하였다. 무정전 전원계통은 480V 로드센터 또는 전동기제어반으로부터 전원을 공급받으며, By-Pass 전원계통은 480V 공용 모선으로부터 전원을 공급받는다. 또한 무정전전원 설비의 출력측에는 비선형 부하, 즉 컴퓨터, 제어계통부하 등으로부터 발생하는 기수 고조파를 제거하기 위해 고조파 필터 장치를 구비하였으며, 교류 입, 출력단에서 발생하는 과도 전압을 방지하도록 서지 및 노이즈 보호 장치를 구비하였다. 한편 정류기는 전압과 전류를 일정하게 제어할 수 있는 것으로 유지 및 보수가 용이하도록 제작하였으며, 입력 변압기부의 출력전류는 축전지 충전전류와 역변환부 정격전류를 합한 용량 이상이 되도록 설계하였다.

무정전전원설비의 운전방식은 먼저 정상 운전시에는 정류기를 이용하여 상용교류전원인 480V 로드센터 또는 전동기제어반으로부터 수전한 후 수전한 교류전원을 정전압의 직류전원으로 변환하여 인버터를 통해 120/208V AC의 정전압, 60Hz의 정주파수를 갖는 양질의 전원을 양성자 가속기 연구센터의 주요 부하에 공급하도록 하며 특히 축전지 내장형 무정전 전원장치의 경우에는 동시에 충전할 수 있도록 설계하였다.

상용교류전원이 전력을 공급하지 못할 경우에는 직류모선 또는 내장형

축전지로부터 직류전원을 공급받아 인버터를 통하여 정전압, 정주파수의 양질의 교류전원으로 변환한 후 순간적인 정전없이 축전지의 방전시간동안 연속으로 운전할 수 있도록 설계하였다. 이 때 축전지의 전압이 규정치 이하가 되어도 상용교류 전원이 복구되지 않으면 자동으로 By-Pass 전원으로 절체되도록 하였다. 또한 상용교류전원이 정상으로 복구되면 축전지의 방전이 자동으로 멈추고 정상운전하게 된다.

그림 3에서는 앞에서 언급한 축전설비 및 무정전 전원장치를 구비한 비상전원 관련 계통도를 나타내었다.



〈그림 3〉 비상전원 관련 계통도

2.4 접지 및 피뢰설비

양성자 가속기 연구센터 내에서는 기기 접지를 위하여 변전소 전 지역에 걸쳐 접지망을 포설함으로써 보폭전압 및 접촉전압이 어떠한 고장상태에서도 안전치 이하로 제한하였으며, 고장 발생시 연구센터 내에 위험한 천이전압이 발생하지 않도록 설계하였다.

따라서 본 논문에서는 각 건물단위로 Loop식 접지선을 구성하는 공용 접지 방식을 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 경제적인 장점을 가진다. 그러나 이 방식은 다른 기기계통에 전위상승 효과를 나타내며 다른 기기계통의 영향을 받는다는 단점을 가진다. 한편 양성자 가속기 연구센터에 설치한 접지망의 접지 저항치는 1-5 [Ω]으로 제한하였다.

변전소를 포함한 양성자 가속기 센터 건물에는 낙뢰에 의해 발생하는 화재, 파손 또는 인명의 사상을 방지하기 위해 낙뢰 방호설비를 설계하였다. 일반적으로 화학, 가연성 액체, 가연성 가스 등의 위험물 저장의 용도로 사용되는 피뢰호물에 설비하는 피뢰침은 보호각을 일반적으로 45도로 설정하고 화학약품의 저장 또는 취급용도에 필요한 피뢰호물에는 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. 결 론

본 논문에서는 양성자 가속기 연구센터에 전력을 공급하기 위한 전력설비를 구축하는 방법을 기술하였다. 즉 구축한 전력설비는 양성자 가속기의 RF 전원장치에 전력을 공급하기 위한 2대의 변압기와 양성자 가속기 관련 센터에 전력을 공급하기 위한 2대의 변압기로 구성된 변전설비, 직류전원 계통 설비, 무정전 전원설비, 접지 및 피뢰설비를 구축내용 및 각 전력설비의 특징 및 유용성을 기술하였다.

감사의 글

본 논문은 한국원자력연구소 양성자기반공학기술개발사업단의 "건설공사관리"과제에서 수행한 연구임

[참 고 문 헌]

[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