제철플랜트 수 변전설비의 설계 및 분석

박장태 / (주)태광전선공사
electricjang@hanmail.net

한양대학교 플랜트엔지니어링 석사
(현) (주)태광전선공사 대표이사

1. 서 론

1.1 연구 목적

제철 플랜트는 철광석을 원료로 하는 고로 설비와 고철을 원료로 하는 전기로 설비로 대별 할 수 있으며 고로 설비와 전기로 설비는 제철 플랜트의 기본 소재인 빌레트, 슬라브 등 반제품을 생산하기 위한 공정이며 전기로 설비는 아아크 열을 이용하여 고철을 용해하는 공정으로서 전기로의 전력 원 단위를 절감하기 위하여 최근에는 UHP (Ultra High Power) 방식의 조업을 하고 있다. 특히 전기로 설비에는 1650[℃]의 용강을 취급하는 관계로 무정전의 안정된 고품질의 전력 공급을 필요로 하여 고 신뢰성의 설계가 중요하다고 할 수 있다. 이러한 중요한 수 변전 설비 설계에 있어서 우리나라의 엔지니어링사의 기술과 경험 부족 및 발주자의 선입감으로 기본 설계 단계부터의 참여가 제대로 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 연산 100 만톤 베이스의 전기로 제강 플랜트의 수 변전설비 설계에 필요한 기술적 접근방법을 조사하여 우리나라의 실정에 적합한 수 변전설비의 신축 공사 시 필요한 변전소 건설 계획, 변전소 위치선정, 수 변전기기선정, 송전 선로 용량계산, 계통의 고장전류 계산 및 보호 협조에 대한 설계 기준 및 수 변전 설비 설계 후 전문 프로그램을 활용한 전력계통을 분석하는 방안을 제시하는데 그 연구 목적을 두고 있다.

1.2 연구 방법

본 연구는 전기로 제강플랜트 설비의 효율적인 수 변전설비 설계 방안을 도출하기 위하여 다음과 같은 방법 및 절차에 따라 수행하였다. 먼저 최근 신축하여 조업 중인 전기로 제강플랜트의 현장 조사를 통하여 계획 수립 시 인허가 문제 및 기본 설계를 외국 전문 엔지니어링사가 수행함으로서 상세 설계 및 시공단계에서 기술적인 문제 해결을 위하여 국내 엔지니어링 사와 시공사 간의 접근방법을 시공계획 단계, 설계 단계, 시공단계 및 운영단계의 자료를 조사하여 분석하였다. 또한 우리나라의 전기분야 엔지니어링사의 설계기준 및 관련 자료를 파악하여 수 변전설비의 설계 시 고려사항, 변압기의 용량 선정, 전력 계통의 기기 선정, 설계 계산 방법, 전력 계통의 보호 협조 등 설계방안을 제시 할 수 있었다. 수 변전설비의 단계별 설계 방안에 대하여 고찰하였다. 전기로 제강플랜트 설비의 신축공사시 설계 단계에 필요한 변전실 건설 추진계획, 변전실 설계 및 수 변전 기기 선정 방안을 제시하였으며 기술적 검토 후 년간 100 만톤 생산규모의 수 변전설비 설계를 도출하였다. 수 변전설비 설계 후 전력 공급사로부터 송전케이블 허용전류계산 및 계통의 사고시 고장전류를 계산하여 기기 선정의 적합성과 보호 계전기의 보호협조 방안을 제시하였으며, 계통의 고장전류 및 보호계전기 정정치를 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 모의실험으로 설계치와 비교 분석하여 안정적인 전력을 공급하기 위한 설계의 신뢰성을 검증하였다.

2. 수 변전설비 설계 지침

2.1 설계 적용기준 및 설계조건

플랜트 전기설비의 설계 적용 기준은 발주자가 설계 용역을 발주함에 있어서 설계에 적용할 기준을 제시하는 것으로서 발주 여건에 따라 상이하다. 일반적으로 수 변전 설비에 적용하는 기준은 전기설비기술기준, 내선규정, 배전 규정, 전력공급사의 설계기준(ESB), 산업 표준화법에 의한 한국산업 규격(KS), 건축법, 소방법, 환경보전법 및 국제규격(NEC, IEC, NEPA)에 적합하도록 설계한다. 설계 조건은 기술적 설계 기준이외의 현장 여건의 특수성을 고려하여 발주자가 제시하는 설계 조건으로서 본 연구에서는 전력 공급사로부터 154[kV] 1회선을 수전 받는 것으로 하였으며 154[kV] 변전소는 옥외형으로 구성하고 수전 변압기는 무 부하 탭 절환이 가능한 유입식 3권선 변압기를 적용하였고 차단기는 신뢰성이 높은 가스차단기를 설계에 적용토록 한다.

2.2 설계도서의 종류

수 변전 설비 설계에는 크게 기본 설계와 상세 설계로 나누어지며 기본설계는 플랜트의 건물 배치 및 기기 배치 등의 기본 계획안이 확정 되어지면 개략 공사비 산정을 위한 개략 설계도를 작성하는 단계로서 개략 설계 설명서, 계산서, 시방서, 개략공사비 내역서 등이 포함되어야한다.

상세 설계는 확정된 기본설계를 구체화하여 시공 가능한 설계도를 작성하는 단계로서 수 변전 설비에 대한 상세 설계 설명서, 계산서, 특기시방을 포함한 공사시방서, 세부공사비내역서, 계통도, 결선도, 시공 상세도, 배치도 등을 포함하도록 설계한다.

2.3 설계도서의 작성

설계용역을 발주 받은 용역업자는 발주자가 제시한 설계 작성 지침서를 기준으로 설계검토 및 설계용역을 수행하여 최종 승인 도서를 발주자에게 제출하여 승인을 득 함으로서 용역이 완료된다.

(1) 설계 주요 착안사항

수 변전설비 설계는 전기설비 기술기준, 변전설계기준, KS 및 ESB 등 관련법 및 규정에 준하여 작성한다. 또한 송배전 선로 인 출입, 유지보수성, 시공성, 경제성, 확장성을 고려하여 설계하도록 한다.

(2) 세부설계 도면의 작성

수 변전설비의 세부 설계도면의 종류는 단선결선도, 각층 평면도, 기기 배치도, 배관 배선도, 분전반 결선도, 접지 평면도 및 기타 상세도 등으로 나누어진다. 단선결선도에는 전력계통 및 기기 사양을 결정하는 주요 사항을 표기하여야하며 각층 평면도에는 분전반, 전등, 전열, 주요 기기의 배치 및 배관 배선을 표기하여 시공이 가능토록 한다. 기기 배치도는 변전소 내 변압기, 차단기 및 수배전반의 평면도와 측면도를 작성하여 시공의 간섭검토가 가능하고 제작 및 설치가 용이토록 작성하여야한다. 배관 배선도는 전력계통의 주요 모선, 간선 및 제어배선을 포함하여야하며 분전반 결선도는 회로별 차단기의 정격을 명기한다.

3. 수 변전설비 설계

3.1 변전소 설계 추진계획

전기로 제강플랜트의 건설시 중점 고려사항인 원재료의 수급과 제품의 소비지를 고려한 건설입지를 선정하여야 물류비용을 최소화 할 수 있으며 또한 조업의 특성상 용수공급의 원활성 및 대용량 전력의 공급이 가능한 장소의 선정도 중요하다. 따라서 전기로 제강플랜트의 건설 입지가 선정되면 전력 공급자인 한전 측으로부터의 전력수급계획을 검토하여야 하며 한전 송전선로의 지중화 또는 가공선로의 부지확보 용이성 및 민원

예방에 주력하여야 한다. 전기로 제강플랜트의 수전 설비 용량은 대용량 수전 설비로서 변전소의 소요 부지를 최대한 축소시킬 수 있는 방안을 강구하여야 하며 신뢰성이 보증된 기기 및 시스템의 적용으로 전력의 품질을 향상시키도록 설계 추진계획을 수립하여야 한다.

3.2 변전소 건설 계획

전기로 제강플랜트 변전소 건설시 고려사항으로는 전력 공급사의 변전소로부터 구내 인입까지의 송전선로 건설과 수용가의 구내변전소 건설에 대한 사항으로 나누어지며 본 연구에서는 수용가의 구내변전소 건설 계획에 대하여 연구한다.

(1) 변전소 위치 선정 및 면적 산정

변전소 위치 선정은 플랜트의 장기적인 운영 및 관리적인 측면에서 상당히 중요함으로 신중히 검토하여 선정하여야 한다. 또한 선정에 있어서 전기적, 재해적, 경제적, 환경적인 사항을 고려하여야 한다. 전기적 측면에서는 플랜트의 건물배치를 검토하여 부하의 중심에 위치하고 수전 및 배전에 유리하며 향후 용량 증설 및 확장성을 고려하여 결정한다. 재해측면에서는 변전소 주변에 화재의 우려가 없으며 부식성 가스, 염해 및 침수에 대한 영향이 적은 곳을 고려한다. 경제적 측면에서는 시공성이 용이하며 배선, 배관 물량의 감소와 운전비용의 저감 및 유지보수성을 고려한다. 환경적 측면에서는 옥내변전소일 경우 환기의 용이성 및 주변의 요인으로 인한 고온 다습하지 않으며 기기의 반 출입이 용이한가를 고려한다.

변전소 면적 산정 시 고려사항은 변전소의 수전전압. 강압방식, 배전반(특고압. 고압. 저압)의 수량, 변압기 대수, 기기 배치성, 유지보수성 및 향후 증설공간을 고려하여 산정 한다.

(2) 변전소 형태 결정 및 사업기간

1) 변전소 형태

변전소 형태 결정은 향후 계통증설의 용이성, 유지보수성, 경제성, 환경 영향 등을 종합적으로 검토하여 결정한다. 변전소 형태는 옥외형과 옥내형으로 나누어지며 옥외형은 중소도시 외곽지역으로 향후 주변 여건의 개발전망이 없는 곳이나 주위 환경에 큰 문제가 없는 지역 또는 용지비가 대체적으로 저렴한 지역에 주로 적용하고 옥내형은 인가 밀집 지역 등 도심지 중심지역, 향후 개발 예정지역으로 주변 환경이 중요시되는 지역 및 용지비가 고가인 지역에 주로 적용한다. 본 연구에서는 발주자가 제시한 옥외형으로 설계토록 한다.

2) 사업기간

플랜트 건설공사에 있어서 사업 착수 일은 실시계획 승인시점 또는 시행 계획 결정 일을 말하며, 공사 착수 일은 공사 도급 계획서상의 착공 일을 말한다. 준공 일은 도급계약서상의 준공일 또는 공사를 완료하고 준공계를 접수하는 날을 말하며, 사업기간은 사업 착수 일로부터 준공일 까지의 기간으로 전력공급사에서 주로 적용하며 공사기간은 공사 착공 일로부터 공사 준공일 까지의 기

<표 1> 변전소 건설 사업기간

(단위 : 개월)

구분		사업준비기간	사업기간(공사기간)	합계
345[kV] 변전소	옥외	25	50 (26)	75
	GIS	25	44 (20)	69
154[kV] 변전소	옥외	20	36 (14)	56
	옥내GIS	20	36 (13)	56
	옥외GIS	20	36 (13)	56

간으로 정의한다.

전기로 제강 플랜트는 대용량 수전 설비를 요구함으로 전력공급사의 변전소 용량이 부족할 경우에는 전력공급사의 변전소 건설기간을 고려하여 사업 기간을 선정하여야 한다.

본 연구의 변전소는 154[kV]옥내형 GIS 변전소로서 전력공급사의 기존 변전소의 여유 용량이 충분하여 수용가의 구내 변전소 공사기간을 고려 시 자재 발주 기간을 포함하면 13개월이 소요 될 것으로 예상된다. 전력 공급사에서 표준으로 적용하는 345[kV] 및 154[kV]변전소의 변전소 형태별 사업 준비기간, 사업기간 및 공사기간을 **표 1**에 나타내었다.

3.2 수 변전 기기 선정

(1) 수전 변압기 용량 및 형식 선정

전기로 제강 플랜트의 변전소 위치가 결정되어지면 전기로 및 압연 설비용 수전 변압기 용량 및 형식을 선정하여야 한다. 변압기 용량계산은 설계지침의 부하 용량을 계산하여 선정하고 변압기 결선방식, 냉각방식, 중성점 접지방식을 선정한다.

1) 변압기 용량 결정

변압기 용량 결정은 부하조사 및 조업패턴을 분석하여 부하용량을 계산후 변압기 용량계산을 하여야 하나 본 연구에서는 발주자가 제시한 부하용량을 기준으로 다단 강압 방식의 부등률 만 적용하여 변압기 용량을 계산한다.

본 연구와 같은 다단 강하방식의 전력 계통에 있어서 수전 변압기 각각의 최대 수요전력은 동시에는 발생하는 일이 없고 그 발생에는 시간적인 차가 있다. 따라서 각각의 최대수요 전력의 합계는 수용군의 최대수요전력보다 크다. 이 비율을 부등률(diversity factor)이라 하며 이는 1보다 큰 수로 나타난다. 수전 계통별 부등률 계수를 나타내는 **표 2**에서 본 연구의 부등률 적용은 전기로 수전변압기 1.09, 전기로 동력용 수전변압기 1.03, 압연 수전변압기 1.18를 적용하였다.

<표 2> 뱅크별 수전 변압기용량 계산

뱅크명	부하명	부하용량 [MVA]	부등률	변압기용량 [MVA]
전기로	전기로부하	105	1.09	120
	LF 부하	25		
	합계	130		
전기로 동력	전기로 동력1	15	1.03	30
	전기로 동력2	15		
	합계	30		
압 연	B/D Mill	8.5	1.18	50
	F.1.2.4 Mill	5		
	F.5.7.8 Mill	5		
	F.3.6.9.10 Mill	5		
	Main OT	0.1		
	B/D Field	0.25		
	압연 주 설비	20		
	압연부대설비	15		
	합 계	58.85		

2) 수전 변압기 용량 계산

전기로 수전 변압기, 전기로 동력 수전 변압기 및 압연 수전 변압기의 부하별 용량과 적용 부등률 및 계산된 뱅크별 변압기 용량은 다음과 같다.

전기로 수전 변압기 부하 설비 용량은 전기로 로용 부하 105[MVA]와 LF 부하 25[MVA]가 되고 합산 부하용량은 130[MVA]로 계산되며, 여기에 부등률을 적용하면 수전 변압기 용량은 120[MVA]가된다. 전기로 동력 수전 변압기 부하 설비 용량은 전기로 동력1의 15[MVA]와 전기로 동력2의 15[MVA]가되어 합산 부하 설비용량은 30[MVA]가 되며, 여기에 부등률을 적용하면 수전 변압기 용량은 30[MVA]가 된다. 압연 수전 변압기 부하 설비용량은 압연기동력 23.85[MVA], 압연 주 설비 20[MVA]및 압연부대설비 15[MVA]가되고 합산 부하용량은 58.85[MVA]가되며, 여기에 부등률을 적용하면 수전 변압기 용량은 50[MVA]가 된다.

(2) 차단기의 선정

전기로 제강플랜트의 차단기는 정상의 부하전류를 개폐함과 동시에 계통의 이상상태 발생시 신속히 계통을 차단하여 계통에 접속된 전기 기기, 전선류를 보호하고 안전하게 유지하도록 차단기의 형식, 적용규격, 정격선정의 방침, 차단용량의 선정에 의하여 다음과 같이 선정한다.

1) 차단기의 형식별 특성

차단기 형식의 선정은 계통의 신뢰성, 안전성, 경제성 및 유지보수성을 고려하여 선정하여야 한다. 차단기 종류에는 유입차단기, 진공차단기 및 가스차단기 등이 있으며, 유입차단기는 차단성능 및 경제성은 우수하나 화제 및 폭발의 위험으로 현재는 잘 사용하지 않고 있다. 진공차단기는 유지관리성 및 경제성이 우수하나 개폐서지의 발생으로 절연등급이 낮은 몰드 변압기와 계통 접속시에는 서지흡수기와 보호 협조하여 많이 사용하고 있다. 가스차단기는 경제성은 다소 떨어지나 차단성능 및 신뢰성 이 우수하여 고 신뢰성을 요구하는 전력 계통에 도입이 활발한 실정이다. 본 연구에서는 전력계통의 신뢰성 및 장래성을 고려하여 가스차단기를 적용토록 한다.

2) 적용규격의 선정

차단기의 종류가 선정되면 차단기의 정격전압, 정격전류 및 정격 차단전류를 선정하여야한다. 정격 전압은 계통전압에 따라 선정하며 본 연구의 154[kV] 계통에는 정격 전압을 170[kV] 로 선정하고 22[kV]계통에는 정격 전압을 25.8[kV]로 선정한다. 정격 차단 전류는 계통의 고장전류를 계산하여 고장 전류이상의 정격 차단 전류를 선정한다.

(3) 변류기의 선정

변류기에는 사용목적에 따라 계전기용 변류기와 계측기용 변류기로 나누어진다. 계측기용 변류기가 1차 정격전류의 5[%] ~ 120[%]를 대상으로 한 반면 계전기용 변류기는 회로의 정상 상태를 대상으로 하지 않고 어떤 형태로든 회로의 고장상태 또는 비정상적인 과도 상태를 대상으로 하기 때문에 1차 정격 전류의 50[%]이하는 그 대상으로 하지 않는다. 따라서 계전기용 변류기를 선정 시는 계통의 고장 전류를 고려하여 선정하여야며, 다음과 같이 선정한다. 회로의 정격 전압과 정격 주파수의 선정은 계통의 전압과 주파수로 선정하고, 정격 1차 전류는 회로의 최대 부하전류를 계산하여 여유를 두어 선정한다. 본 연구의 수전 인입 회로와 변압기 보호는 최대 부하 전류의 125[%] ~ 150[%]를 선정한다. 변류기의 정격부담은 변류기 2차에 접속될 보호 계전기 사이의 전선로의 부담을 포함한 총 부담 보다 크도록 선정하여야 하며, 과전류 정수의 선정은 계통의 사고 최대 전류에서 변류기가 포화되지 않도록 설계되어야 한다. 전력 계통의 보호 대상별 계

전기에 적용되는 과전류 정수를 **표 3**에 나타내었다. 본 연구의 과전류 정수는 과전류 계전기의 20를 적용한다. 과전류 강도는 계통의 고장 전류에 의한 열적 과 전류 강도가 되며, 기계적 과전류 강도는 열적 과전류 강도의 2.5배가된다. 변류기의 변류비가 적어서 변류기의 과전류 강도가 부족시에는 변류기의 비율을 조정하여 과전류 강도를 높이도록 한다.

(4) 변성기의 선정

변성기의 1차 정격 전압은 계통의 전압으로 선정하며, 변성기의 2차 정격 전압은 IEC 에서는 100[V], 110[V], 200[V]를 선정 하도록 되어있으나 우리나라의 경우에는 110[V]를 적용한다. 변성기의 정격부담 선정은 변성기에 접속되는 계전기의 소비 부담을 계산하여 적정 정격부담을 선정하여야한다. 일반적으로 정격부담은 역률 0.8에서 볼트 암페어[VA] 로 표시되며 10, 15, 25, 30, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 400, 500 [VA]가 표준용량으로 되어있으며, 3상 변성기의 정격부담은 각 상의 정격부담을 말한다. 본 연구에서는 계전기의 소비 부담을 고려하여 정격부담은 200[VA]를 선정한다.

(5) 수 변전설비의 보호 시스템 선정

수 변전설비의 보호시스템은 전력 계통의 이상상태 발생시 발생 개소를 전력 계통과 신속히 분리하여 인적 및 물적 안전을 도모하고 2차 재해로의 확산을 방지하여 전력 계통의 안정성과 신뢰성을 추구하기위한 보호계전기를 중심으로 하는 보호시스템을 말하며, 보호시스템의 선정과 정정은 수 변전설비의 구성과 부하의 성격 및 운전 조건 등을 충분히 고려하여 선정하여야한다. 본 연구에서 제강 플랜트의 부하 운전 조건과 설비용량을 고려하여 모선 보호용 변류기는 계전기 전용 변류기를 설치하고, 수전단의 보호계전기는 과전류 계전기, 지락 과전류계전기, 지락 과전압계전기, 부족 전압계전기 및 과전압계전기를 적용하여 송전 계통의 사고 파급을 방지토록하며, 154 [kV]모선의 보호계전기는 과전류 계전기 및 지락 과전류 계전기를 적용한다. 154[kV]변압기의 보호 방식은 변압기의 용량, 권선 결선, 전압비등에 따라 보호방식을 구분 적용하며, 일반적으로 10 [MVA]이상인 경우에는 주보호로 비율 차동계전기를 적용하고 10[MVA]미만인 경우에는 과전류 계전기, 과전압 계전기를 적용한다. 본 연구에서의 수전 변압기용량은 10[MVA]를 초과함으로 비율 차동 계전기를 적용하며 저항 접지 방식이므로 변압기 2차의 지락보호를 위하여 중성선에 지락 과전류 계전기를 적용하고, 과전류는 모

<표 3> 계전 방식에 따른 과전류 정수

보호 대상	계전 방식	과전류 정수	
		표준	특수
발전기	차동	10	20
2 권선 변압기			
3 권선 변압기		10	20
송전선	차동	20	40
	거리	10	20
	과전류	20	40
전동기	과전류	10	20
배전선	과전류	5	10

선의 과전류 계전기에서 보호한다. 22[kV]모선의 보호계전기는 계통별로 과전류 계전기, 지락 과전류계전기, 지락 과전압계전기, 부족 전압계전기 및 과전압계전기를 적용하여 타계통의 사고발생시 파급을 방지토록 설계한다.

4. 수 변전설비 설계 계산 및 보호협조

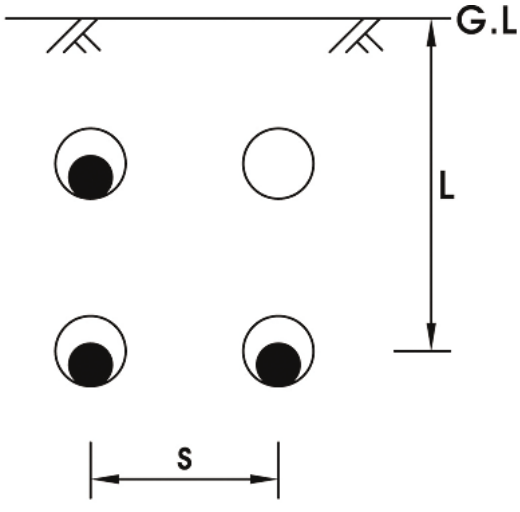
4.1 송전선로의 허용전류 계산

전력공급사의 변전소에서 전기로 제강플랜트 설비의 송전선로의 허용전류를 다음과 같이 계산한다.

(1) 계산 조건

송전선로는 지중 관로 1회선을 기준으로 하며 다음과 같은 조건으로 계산한다.

① 수전 설비용량 : 200[MVA]
② 케이블 : 154 [kV]CAZE 1C 1200 [mm^2]
③ 포설 구간 : 전력공급사 변전소에서 수용가 변전소
④ 포설 조건 : 관로포설(1공1조) 1회선, 관내경(d7) : 200[mm]
⑤ 시스 접지 : 크로스 본딩



[그림 1] 154[kV]송전 케이블 지중 관로 매설도

⑥ 주파수(f) : 60[Hz]
⑦ 손실율(Lf) : 0.75
⑧ 토양 열저항(g) : 100[℃]
⑨ 최저 케이블의 지표면에서의 케이블 중심까지의 깊이(L) = 1728[mm]
⑩ 케이블 중심거리(S) =360[mm]

154[kV]송전선로의 지중 관로는 **그림 1**과 같이 매설깊이 L은 1728[mm], 관로의 중심 거리 S는 360[mm]로 예비 1공을 포함하여 4공으로 설계한다.

(2) 상시 허용 전류의 계산

154[kV]송전 케이블 1회선 상시허용전류 I 는 식 (1)과 같다.

$$I=\sqrt{\frac{T_1-T_2-T_d}{n\times r\times R_{th}}} \qquad (1)$$

여기서 T_1 : 도체허용 최고온도 [℃]
T_2 : 기저 온도 [℃]
T_d : 유전체손에 따른 온도상승[℃]
n : 케이블의 심선수
r : 교류도체 실효저항 [Ω/㎝]
R_{th} : 전 열저항 [℃]

본 연구에서 상시허용전류 I를 식 (1)과 같이 계산하면, 1300.1[A]가 되며 수전설비 용량 대비 1.7배가되므로 송전 케이블의 허용전류는 적정하다.

(3) 송전용량의 계산

전기로 제강플랜트의 송전 선로의 허용전류가 계산되면 송전용량 P는 식 (2)와 같다.

$$P = \sqrt{3}\times E\times I\times 10^{-3} \qquad (2)$$

여기서, E : 공칭전압[kV], I : 허용전류[A]

본 연구에서 송전용량 P를 식 (2)와 같이 계산하면, 346.8[MVA]가 되며 수전설비 용량 대비

1.7 배가되므로 송전용량은 적합하다.

(4) 단락시 허용전류 계산

전기로 제강플랜트의 변전소 구내 계통 단락 사고시 송전선로의 단락 허용 전류 I′는 식 (3)과 같다.

$$I = \sqrt{\frac{J \times Qc \times Ac}{\alpha \times r_1 \times ts} \times \ln\left(\frac{\frac{1}{\alpha} - 20 + T_5}{\frac{1}{\alpha} - 20 + T_4}\right)} \qquad (3)$$

여기서,

J : 주울의 정수

Q_c : 도체의 단위 체적당 열용량[Cal/℃. ㎤]

A_c : 도체의 단면적[㎠]

a : 20 에서의 도체의 저항온도 계수

r_1 : 20 에서의 교류도체저항 [Ω/㎝]

T_4 : 단락전의 도체온도 [℃]

T_5 : 단락시의 최고 허용온도 [℃]

ts : 단락전류의 지속시간 [s]

본 연구에서 단락 시 허용전류 I′를 계산하면, 234.3[kA]가 되며 154[kV]모선의 고장전류 29.75[kA]대비 7.8배가 되므로 적정함을 알 수 있다.

4.2 계통의 고장전류 계산

계통의 고장전류를 계산하는 방법은 퍼센트 임피던스 법 및 대칭 좌표 법이 있으며 퍼센트 임피던스 법이 계통 고장전류계산에 가장 많이 활용되고 있다. 본 연구에서는 퍼센트 임피던스 법에 의하여 계산하기로 한다. 계통의 고장전류 계산을 위 하여는 전력공급사 변전소의 퍼센트 임피던스와 송전선로의 퍼센트 임피던스 및 구내 계통의 임피던스를 산출하여 임피던스 맵을 작성하고 임의의 고장 지점을 지정하여 전원 단까지의 합산 퍼센트 임피던스를 계산 후 고장전류를 산출하게 된다.

(1) 전력공급사 및 수전 변압기 퍼센트 임피던스

본 연구의 대상인 전기로 제강플랜트와 전력공급사 변전소의 퍼센트 임피던스는 **표 4**와 같이 전력공급사 변전소, 전기로변압기, 전기로 동력 변압기 및 압연 변압기의 퍼센트 임피던스는 각각 1.11[%], 13.5[%], 11.0[%], 11.0[%]가되며 이를 100 [MVA] 기준 용량 퍼센트 임피던스로 환산 하면 각각 1.11[%], 10.8[%], 36.7[%], 22.0[%]가된다. 여기서 전력공급사의 퍼센트 임피던스는 3상 단락 시 부하가 평형상태이므로 정상분만 고려하기로 한다.

(2) 154〔kV〕송전선로의 퍼센트 임피던스

고장 전류를 계산하기위하여 전력공급사의 변전소로부터 전기로 제강플랜트 변전소까지의 송전선로 퍼센트 임피던스를 계산한다.

1) 계산조건

송전선로 퍼센트 임피던스 계산을 위한 계산조건으로서 **표 5**의 송전선로 특성 표와 같이 전선의 규격은 1C × 1200[㎟], 선로의 긍장은 1.5

<표 4> 전력 계통의 기준 용량 퍼센트 임피던스

구 분	내 용	%Z〔%〕	100〔MVA〕 기준%Z〔%〕
전력공급사 변전소	$\%Z_1 = \%Z_2 = 0.065 + j1.104$ $\%Z_0 = 0.251 + j1.510$	1.11	1.11
전기로 변압기	154 KV/22 KV, 120 MVA	13.5	10.8
전기로 동력 변압기	154 KV/22 KV, 30 MVA	11.0	36.7
압연 변압기	154 KV/22 KV, 50 MVA	11.0	22.0

[km], 도체의 저항은 0.0156[Ω/km], 포설 조건은 1공1조 관로 포설로 하며, 포설 방법은 삼각 배치로 하고, 등가 선간 거리 D는 378[mm], 도체의 외경 d는 41.7[mm]로 하여 계산한다.

2) 리액턴스 임피던스 계산

송전선로의 등가 선간 거리 D와 도체의 외경 d에 의하여 송전선로의 리액턴스 L는 식 (4)와 같다.

$$L = 0.05 + 0.4605 \times \log\frac{2P}{d}\,[\mathrm{mH/km}] \quad (4)$$

여기서, L : 리액턴스
D : 등가 선간 거리
d : 도체의 외경

등가 선간 거리 D는 378[mm], 도체의 외경 d는 41.7[mm]로 하여 송전선로 리액턴스 L를 계산하면, 0.6295[mH/km] 가 된다. 송전선로 리액턴스 L가 계산되면 송전선로 리액턴스 임피던스 XL는 식 (5) 과 같다.

$$X_L = j(WL + \frac{1}{WC}) \quad (5)$$

여기서, XL : 리액턴스 임피던스
W : 각주파수 ($2\pi f$)
L : 리액턴스
C : 케패시던스
f : 주파수

단, 선로의 긍장이 3[km]미만이므로 케패시던스 성분을 무시하면 리액턴스 임피던스 크기는 식 (6)이 된다.

$$|XL| = WL \quad (6)$$

식에서 주파수 f 는 60[Hz], 리액턴스 L는 0.6295[mH/km]로 리액턴스 임피던스 XL을 계산하면, 0.237[Ω/km] 가 된다.

3) 퍼센트 임피던스 계산

송전선로의 도체저항 R과 리액턴스 임피던스 XL이 주어지면 식 (7), (8)에 의하여 퍼센트 임피던스를 계산한다.

$$Z_L = R + jX_L \quad (7)$$

$$\%Z_L = \frac{P}{10V^2} \times Z \quad (8)$$

여기서, ZL : 송전선로 임피던스
R : 도체저항
XL : 리액턴스 임피던스
%ZL : 송전선로 퍼센트 임피던스
P : 기준용량 [kVA]

<표 5> 송전선로 특성 표

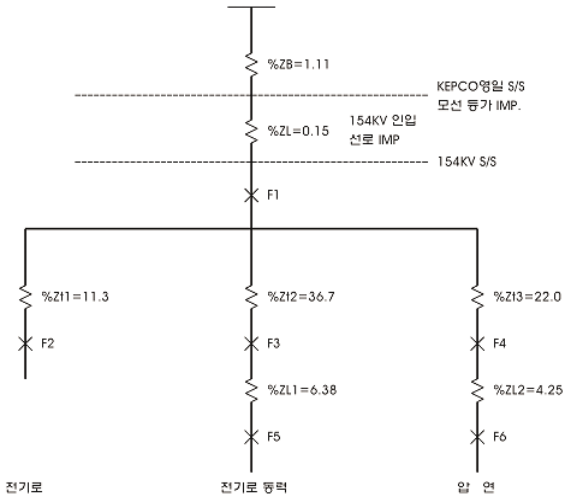
구 분	내 용	비 고
전선의 규격	1C × 1200 [mm²]	
선로 긍장	1.5 [km]	
도체저항	0.0156 [Ω/km]	at 20℃
포설 조건	1공1조 관로포설	
포설 방법	삼각배치	
등가 선간 거리(D)	378 [mm]	$\sqrt[3]{D_{12} \times D_{23} \times D_{31}}$
도체의 외경(d)	41.7 [mm]	

V : 계통전압 [kV]

계산 조건에서 주어진 도체저항 R 0.0156[Ω /km]와 리액턴스 임피던스 XL 0.237[Ω/km]에 의하여 송전선로 임피던스 ZL 의 크기를 계산하면, 0.1[%]가 되고 이 값은 1[km]에 대한 값으로 긍장 1.5 [km]로 환산하면 0.15[%]가 된다.

(3) 계통의 임피던스 맵

상기에서 전력 공급사의 퍼센트 임피던스와 송전선로 및 수전 변압기의 퍼센트 임피던스가 주어지면 임의의 고장 지점을 정하여 임피던스 맵을 작성하여야 한다. 임피던스 맵의 작성은 크게 전원측 임피던스 맵과 수전뱅크별 임피던스 맵으로 구성되며 전원측 임피던스 맵의 퍼센트 임피던스는 주어진 전력공급사 퍼센트 임피던스 1.11[%]와 전력공급사에서 전기로 제강플랜트의 변전소까지의 송전선로 퍼센트 임피던스 0.15[%]가 된다. 수전 뱅크별 임피던스 맵의 퍼센트 임피던스는 전기로 수전 변압기, 제강부대 수전 변압기 및 압연 수전 변압기로 구성이 되며 각각 수전 변압기의 퍼센트 임피던스는 기준용량 100[MVA]로 환산하면 11.3[%], 36.7[%], 22.0[%]가 된다. 전원측 임피던스 맵 및 수전 뱅크별 임피던스 맵에 의하여 **그림 2**과 같이 임피던스 맵이 작성되면, 계통별 임의의 고장점 F을 지정하여 고장점에서의 고장전류를 계산하여야한다. 본 연구의 고장전류 분석을 위한 임의의 고장점은 메인차단기 후단의 F1과 전기로 수전 변압기 2차측 F2, 제강 부대 수전 변압기 2차측 F3 및 압연 수전 변압기 2차측 F4로 지정하여 고장전류를 분석하고 제강부대 및 압연공장의 지구 변전실의 고장점 F5, F6에 대하여는 연구 대상에서 제외한다.



[그림 2] 임피던스 맵

4.3 수 변전설비의 보호협조

전기로 제강 플랜트의 부하계통 사고에 의한 정전의 범위가 수전단까지 확대될 경우 전기로 및 압연 설비의 운전에 막대한 영향을 초래한다. 따라서 수전 변압기의 각 뱅크별 보호 계전기의 보호협조가 중요하다.

본 연구에서는 보호대상 기기 별 보호 계전기 정정 방법을 ANSI 및 IEEE 기준으로 제시하였으며 정정치 계산과 보호 계전기 모의실험 결과를 분석하면 다음과 같다.

(1) 설비별 정정 원리 및 기준

1) 수전 설비

수전 설비 보호 계전기는 전력공급사 변전소와 협조를 고려하여 전력공급사에서 정정하므로 이 값을 그대로 적용한다.

2) 변압기

① 한시요소

NEC, IEEE등 여러 가지 기준이 있으나 전력공급사 기준을 적용하여 정격전류의 150[%]에 정정한다. 이 경우 변압기의 열 한계점인 ANSI Point 및 돌입 전류를 고려하여 정정하여야한다.

② 순시요소

순시요소의 정정은 변압기 여자돌입전류에 동

작하지 않도록 하며, 또한 변압기 2차측 단락전류에 동작하지 않도록 정정한다.

③ 변압기 ANSI Point 및 열적 한계 곡선

변압기에 대한 열적 한계는 일반적으로 ANSI Point에 표현되며 정격전류 대 시간의 배수로 나타낸다. 일반적으로 변압기의 자체 냉각 정격에서 단위전류 제곱 초당 1250 배까지 변압기가 견딜 수 있다. 일반적으로 변압기 퍼센트 임피던스에 대하여 변압기의 열적 한계 전류는 다음과 같이 적용할 수 있다.

- %Z 가 4[%]이하인 경우 전류 I 는 전 부하전류의 25 배
- %Z 가 4~7[%]이하인 경우 전류 I 는 전 부하전류 (100/%Z)
- %Z 가 7[%]이상인 경우 전류 I 는 전 부하전류의 14.3 배 가 되므로 보호 계전기 정정 시 열적 한계전류를 고려하여 정정한다.

④ 변압기 돌입 전류

변압기 돌입 전류 I 는 변압기 전 부하전류 의 8~12 배(t = 0.1 초)가 되므로 돌입 전류에 의한 보호계전기가 오 동작하지 않도록 정정한다.

3) 케이블

① 한시요소

케이블 보호를 위하여 한시요소는 최대부하전류의 150[%]또는 케이블 허용전류의 150[%] 중 적은 값에 정정한다.

② 순시요소

단락사고 시 단락전류에 의한 발생 열은 모두 케이블 내에 축적된다. 따라서 모선의 단락 전류에 동작하고, 변압기 2차 부하전류에 동작하지 않도록 보호계전기를 정정한다.

(2) 계전기별 정정 방법

1) 과전류 계전기(OCR)

① 한시 탭의 정정

한시 탭의 정정은 보호계전기의 동작 검출 전류를 설정하는 것으로서 수전 변압기 1차 및 2차 과전류 계전기의 정정은 변압기 정격전류의 150[%]범위 내에서 정정한다. 또한 부하 특성에 따라 변압기 정격전류의 150[%]초과시에는 설정사유를 명기하여 관리토록 한다. 모선의 경우에는 모선 최대부하전류의 150[%] 또는 케이블 허용전류의 150[%]중 작은 값으로 정정한다.

② 한시 레버의 정정

한시 레버의 정정은 보호계전기의 동작 시간을 설정하는 것으로서 정정 시에는 후위 보호계전기와 보호협조를 고려하여야 한다. 수전 변압기 1차 과전류 계전기의 정정은 변압기 2차 측 3상 단락전류(30사이클)에서 0.6 초 이내에 동작하도록 정정하며 수전 변압기 2차 과전류 계전기의 정정은 변압기 1차측 계전기 보다 0.3~0.4 초 이상 먼저 동작하도록 정정한다. 단, 후단과의 0.3~0.4 초의 협조가 안될 경우 변압기 1차 계전기와 같게 정정한다. 모선의 경우 전후위 계전기와 0.3 초 이상 협조를 고려하여 정정한다.

③ 순시 탭의 정정

순시 탭의 정정은 계통의 고장전류에 의한 보호계전기의 동작 검출 전류를 설정하는 것으로서 수전 변압기 1차 측 단락사고에는 동작하고 2차 측 3상 단락전류 및 여자 돌입전류에 동작하지 않도록 하며 보통 변압기 2차 3상 단락전류(30사이클)의 150~250[%]범위에서 정정한다. 수전 변압기 2차측 과전류 계전기는 각 분기간선 말단 3상 단락전류의 150[%]에 동작하지 않도록 정정 또는 변압기 1차 순시 값과 같게 정정한다. 모선의 경우 모선 2상 단락 전류 값의 1/1.5에 동작하고 접속 변압기 2차 단락전류의 1.5배에 동작하지 않도록 정정한다.

④ 순시 레버의 정정

순시레버의 정정은 보호계전기의 동작 시간을 설정하는 것으로서 모선은 최소치로 하고 메인은 후위보호계전기와 보호협조를 고려하여 정정한다.

2) 지락 과전류 계전기 (GOCR)

① 한시 탭의 정정

한시 탭의 정정은 보호계전기의 동작 검출 전류를 설정하는 것으로서 계통이 직접접지의 경우 최대부하전류의 30[%]이하로서 상시 부하 불평형 전류의 1.5배 이상으로 정정하고 저항접지의 경우 동일 계통에서 단계별로 최대지락전류의 30[%], 20[%], 10[%], 5[%]로 정정한다.

② 한시 레버의 정정

한시 레버의 정정은 보호계전기의 동작 시간을 설정하는 것으로서 정정 시에는 후위 보호계전기와 보호협조를 고려하여야 하며 수전 보호구간 최대 1선 지락고장전류에서 0.2초 이하가 되도록 한다.

③ 순시 탭의 정정

순시 탭의 정정은 계통의 지락전류에 의한 보호계전기의 동작 검출 전류를 설정하는 것으로서 후위 계전기와 협조가 가능하도록 최소치에 정정하며 모선 메인의 경우 모선 사고에 동작할 우려가 있을 경우 순시 요소는 제거한다.

④ 순시 레버의 정정

순시 레버의 정정은 계통의 지락 전류에 의한 보호계전기의 동작 시간을 설정하는 것으로서 모선은 최소치로 하고 메인은 후위 보호계전기와 보호협조를 고려하여 정정한다.

3) 부족 전압 계전기 (UVR)

탭의 정정은 정격전압의 70[%]에 정정하고 레버는 2초 정도로 정정한다.

4) 과전압 계전기 (OVR)

탭의 정정은 정격전압의 130[%]에 정정하고 레버는 2.0초 정도로 정정한다.

5) 과전압 지락 계전기 (OVGR)

탭의 정정은 수용가 수전 모선의 1선 완전지락 사고시 계전기에 인가되는 최대영상전압의 30[%]이하로 정정하고 레버는 수전 모선 1선 완전지락 시 2~3초 로 하여 경보 운전을 하도록 한다.

6) 비율 차동 계전기 (87T)

한시 탭의 정정은 최대 외부 사고시 발생 가능한 오차를 검토하여 30~40[%]에 정정하고 순시 탭은 전류보상 탭의 1000[%]로 정정한다.

(3) 정정치 계산

수 변전설비의 기기 선정 후 부록 B와 같이 전력계통이 설계되면 보호 계전기를 정정하여야한다. 본 연구에서 보호 계전기 정정치 계산은 전력 계통 자료를 활용하여 154[kV]인입반, 전기로, 전기로 동력 및 압연 수 전반으로 계산한다.

1) 154[kV]인입반 과전류 계전기 (OCR)

① 변류기 데이타 : 1200/5

② 계전기 데이타

- 형식 : GCO-C I IIID3 (INVERSE)
- 한시 탭 범위 : 3 ~ 8A (3, 4, 5, 6, 8)
- 레버 범위 : 1 ~ 10 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
- 순시 탭 범위 : 20 ~ 80A
- 제작사 : 경보

③ 계산 데이타

- 수전 설비용량 : 200 [MVA]
- 정격 전류 (In) : 749.8 [A]

2) 전기로 수 전반 과전류 계전기 (OCR)

① 변류기 데이타 : 750/5

② 계전기 데이타

- 형식 : GCO-C I IIID3 (INVERSE)
- 한시 탭 범위 : 3 ~ 8[A] (3, 4, 5, 6, 8)
- 레버 범위 : 1 ~ 10 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
- 순시 탭 범위 : 20 ~ 80[A]

③ 계산 데이타
- 수전 설비용량 : 120 [MVA]
- 정격 전류 (In) : 449.88 [A]

3) 전기로 동력 수 전반 과전류 계전기 (OCR)
① 변류기 데이타 : 200/5
② 계전기 데이타
- 형식 : GCO-C I IIID3 (INVERSE)
- 한시 탭 범위 : 3 ~ 8[A] (3, 4, 5, 6, 8)
- 레버 범위 : 1 ~ 10 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
- 순시 탭 범위 : 20 ~ 80[A]
- 제작사 : 경보

③ 계산 데이타
- 수전 설비용량 : 30 [MVA]
- 정격 전류 (In) : 112.47 [A]

4) 압연 수 전반 과전류 계전기 (OCR)
① 변류기 데이타 : 300/5
② 계전기 데이타
- 형식 : GCO-C I IIID3 (INVERSE)
- 한시 탭 범위 : 3 ~ 8[A] (3, 4, 5, 6, 8)
- 레버 범위 : 1 ~ 10 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
- 순시 탭 범위 : 20 ~ 80[A]
- 제작사 : 경보

③ 계산 데이타
- 수전 설비용량 : 50 [MVA]
- 정격 전류 (In) : 187.45 [A]

5. 모의실험

5.1 모의실험 조건

본 모의실험은 제강 플랜트 수 변전설비 설계와 현장 조사를 통한 자료를 근거로 하여 전력 계통 분석 전문 프로그램을 활용하여 모의실험을 실시하였다. 수 변전설비 설계 시 고장 전류 계산은 퍼센트 임피던스 법에 의하여 계산함으로서 계통의 고장 사이클에 따른 비대칭 및 대칭분에 대하여 정밀한 분석이 어려운 실정이며, 전력 계통의 보호 계전기의 정정치 설정 또한 전위 및 후위 계통의 보호를 위하여 이론적 정정은 가능하나 계통의 사고 전류와 시간에 따른 정밀한 전력 계통의 협조는 어려운 실정이다.

따라서 계통의 고장 전류 및 보호 계전기의 정정치를 이론적 계산치와 전문 프로그램의 분석결과를 비교 검토하기 위하여 다음과 같은 조건으로 모의실험을 실시하였다.

① 수 변전설비 설계와 동일한 전력 계통
② 설계 계산 자료와 동일한 기기 특성

위의 조건으로 전력 계통의 고장전류 계산에 의한 차단기 선정과 보호 계전기의 정정치에 의한 전력 계통의 보호협조를 전문 전력 계통해석 프로그램을 통한 모의실험을 실시하여 설계의 적합성을 비교검토 한다.

5.2 모의실험 결과

본 모의실험을 위한 전문 프로그램은 ANSI, IEEE 141, 242, 399 및 IEC 909, 363 등에 의한 계통 분석 기능을 가지고 있는 EDSA Technical 2000 프로그램을 활용하여 실험한다.

(1) 고장전류 계산

계통의 고장 전류 계산 모의실험 목적은 계통 내 각 지점의 고장전류를 분석하여 전기 기기의 단락 용량을 계산하여 차단기의 용량을 결정하고 보호 계전기의 정정치를 실험함을 그 목적으로 한다.

1) 계통 특성 자료

계통 고장 실험을 위한 계통의 특성 자료는 **표 6**과 같이 전력 공급사의 퍼센트 임피던스 1.11[%]와 전기로, 전기로 동력 및 압연 뱅크의 수전 용 변압기 용량 및 퍼센트 임피던스는 각각 13.5

[%], 11.0[%],11.0[%] 로 한다.

2) 고장전류

수전 설비 계통의 기기 특성 자료 입력 및 전력 계통도를 작성 후 전문 프로그램에 의한 계통별 대칭 고장전류 및 비대칭 고장전류는 0.5 사이클에서의 비대칭 고장전류가 가장 크며 정상상태로 가면서 고장전류도 안정이 되어 적어짐을 알 수 있다. 따라서 차단기의 선정에 필요한 계통의 고장 전류 선정은 0.5 사이클과 3~8 사이클 구간에 대한 고장 전류를 선정하며 일반적으로 차단기가 동작하는 동작 사이클에서의 고장전류를 선정한다. 본 연구에서는 차단기의 동작 사이클을 고려하여 3 사이클에서의 고장 전류를 적용하기로 한다.

3) 고장전류 분석

전력계통 고장전류 계산은 퍼센트 임피던스법에 의한 계산으로 고장 전류의 개략치 분석은 가능하나 대칭 및 비 대칭분 고장전류를 사이클 별 상세 분석이 어려운 실정이다. 그러나 본 모의 실험 결과와 같이 전문 프로그램에 의하면, 전력 계통별 대칭 및 비 대칭분 고장전류를 사이클별 상세 분석이 가능하다. 따라서 차단기의 동작시 차단기를 흐르는 고장 전류를 차단하는 차단기를 선정함으로서 최적의 경제적인 설계가 가능함을 알 수 있다. 본 모의 실험 결과에서 보듯이 고장전류는 0.5 사이클에서 가장 크며 정상상태에서는 안정됨을 알 수 있다. 이는 고장 전류중 DC 성분을 포함하는 비대칭 고장전류가 초기의 고장시 과도상태에서 시간이 경과함으로서 안정이 되어 소멸되고 정상상태에서는 AC 성분인 대칭 고장전류만 남게 되어 안정하게 된다. 또한 퍼센트 임피던스법에 의한 고장전류와 모의 실험결과는 **표 7**과 같이 다소 편차가 발생함을 알 수 있다. 수전 메인 계통의 퍼센트 임피던스법에 의한 고장전류는 29.755[kA] 이나 모의실험 결과 차단기 선정 기준인 3 사이클에서 32.771 [kA]로 3.016 [kA]가 실험 결과 증가하였으며 전기로, 전기로 동력, 압연의 수전 변압기 2차 모선에서는 퍼센트 임피던스법에 의한 고장전류는 각각 21.760 [kA], 6.914 [kA], 11.283 [kA]이나 모의실험 결과 3

<표 6> 전력공급사 및 수전 변압기 퍼센트 임피던스

구 분	내 용	%Z [%]
전력공급사 변전소	$\%Z_1 = \%Z_2 = 0.065 + j1.104$ $\%Z_0 = 0.251 + j1.510$	1.11
전기로 변압기	154 kV/22 kV, 120 MVA	13.5
전기로 동력 변압기	154 kV/22 kV, 30 MVA	11.0
압연 변압기	154 kV/22 kV, 50 MVA	11.0

<표 7> 고장전류 계산 결과 비교

계통 명	전압 [kV]	%Z고장 전류[kA]	모의실험 결과 고장전류[kA]			
			0.5사이클	3사이클	8사이클	정상상태
수전메인	154	29.755	45.935	32.771	29.914	29.845
전기로	22	21.761	30.550	21.702	20.004	19.971
전기로동력	22	6.914	10.024	7.128	6.554	6.542
압연	22	11.283	16.238	11.535	10.634	10.617

사이클에서 각각 21.702[kA], 7.128[kA], 11.535[kA]로 증감이 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구의 차단기 선정 및 계통 보호 협조를 위한 고장 전류는 0.5 사이클의 고장전류를 기준시 과다 설계가 예상되어 차단기와 보호협조가 가능한 3 사이클의 고장전류로 선정하기로 한다.

(2) 보호 계전기 정정 모의실험

보호계전기 정정 모의실험의 목적은 전력 계통에서 발생되는 고장 전류를 검출하여 계통을 사고 구간으로부터 차단 및 각종 보호계전기 정정 및 그 정정 값이 전력 계통사고의 최소화 및 사고 범위의 확산을 방지하기 위하여 전위 및 후위 보호계전기간 보호협조를 고려하여 적정하게 되었는가를 전문 프로그램을 활용한 정정 값과 비교 분석함을 그 목적으로 한다.

6. 결론

제철플랜트의 수 변전설비는 설비용량이 대용량이고 전력 부하의 중요성으로 인하여 설계의 신뢰성 확보가 최우선 과제이다. 따라서 본 연구에서는 제철플랜트중 전기로 제강 플랜트의 수 변전설비 신축 공사 시 필요한 계획 단계, 설계 단계, 시공단계 및 운영 단계의 자료를 조사 분석하여 변전소 추진 계획 시 변전소 위치 선정, 변전소의 형태 결정 및 사업기간 선정 방안을 제시하여 설계 시 계획 수정으로 인한 설계 품질 저하를 방지토록 하였으며, 설계 단계에서 가장 중요한 변압기, 차단기, 변류기, 변성기, 보호시스템 등의 기기 선정 방안을 제시하여 기기 선정의 오류로 인한 시공 단계에서 재시공에 따른 시공 품질 저하를 예방토록 하였다. 특히 본 연구에서와 같이 수 변전기기 선정 시 적용하는 설계 계산 자료의 정확도에 따라 기기 선정의 기준이 달라짐을 알 수 가있다. 따라서 전력 공급사로부터 수전을 받기위한 송전선로의 용량 계산은 포설 조건을 고려하여 적정용량을 검토 선정하여야하며, 차단기 및 보호계전기의 선정을 위한 전력 계통의 고장전류 계산은 전기로, 전기로 동력, 압연의 수전 변압기 2차 모선에서는 퍼센트 임피던스법에 의한 고장전류는 각각 21.760[kA], 6.914[kA], 11.283[kA]이나 모의실험 결과 3 사이클에서 각각 21.702[kA], 7.128[kA], 11.535[kA]로 증감이 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구의 차단기 선정 및 계통 보호 협조를 위한 고장전류 계산 후 전문 프로그램에 의한 차단기의 동작 사이클을 고려하여 선정할 필요가 있다. 또한 전력 계통의 보호협조가 설계 단계에서 검토되어 보호 시스템이 적용되어야함으로 계산에 의한 정정치 선정시 154[kV]인입반 메인 OCR 계전기의 한시레버 정정치는 1로 계산되었으나 모의실험을 실시한 결과 후위 계전기인 전기로 수 전반 OCR1 계전기와 0.1초의 동작 협조로 오동작의 우려가 있으므로 인입반 한시레버를 2로 정정하였으며 전기로, 전기로 동력, 압연 수전반의 순시 탭이 제4장에서 각각 30, 40, 40으로 정정되었으나 모의실험을 실시한 결과 변압기 여자돌입전류 포인트인 M와 계전기의 순시특성이 근접하여 변압기 가압시 보호계전기가 오동작하여 트립의 우려가 있으므로 순시탭 정정치를 각각 50으로 정정치를 수정 적용하였다. 따라서 보호계전기의 정정치 계산후 전문 프로그램에 의한 보호협조 특성을 분석하여 전력 계통의 신뢰성을 확보하여야한다. 향후 완벽한 설계를 위 하여는 계획 단계의 철저한 검토와 설계 단계의 신뢰성 확보를 위한 설계 기준의 정립 및 전문 프로그램 활용에 관한 연구가 요구된다.