

미얀마 500kV 송전망 기본설계

백승도, 김중화, 최영성*, 한성민
한국전력공사

Basic Design for the 500 kV Transmission System in Myanmar

S.D.Baek, J.H.Kim, Y.S.Choi*, S.M.Han
Korea Electric Power Corporation

Abstract - KEPCO conducted the project called the "Feasibility Study & Basic Designs for the 500kV Transmission System in Myanmar" as its second overseas project following the "Development Study on the Power System Network Analysis in Myanmar" as its first project. This paper deals with the design processes and results of 423 kilometers of the 500kV single circuit transmission lines and three substations. The main contents of the basic design include insulation design, transmission line design and substation design.

1. 서 론

한국전력공사는 최초의 해외송전사업인 "미얀마 전력망 진단사업"을 2001년 10월부터 2002년 10월까지 수행, 미얀마 북부지역의 대규모 발전전력을 남부 수요지까지 안정적으로 공급하기 위하여 미얀마 정부 측에 송전전압 격상을 권고하였다. 이 권고안을 받아들인 미얀마 정부는 후속사업인 "미얀마 500kV 송전전압격상 타당성 조사 및 기본설계사업"을 한국정부에 공식 요청하였고, 한국전력공사는 한국정부의 승인 하에 2004년 1월부터 2005년 12월까지 동 사업을 수행하였다.

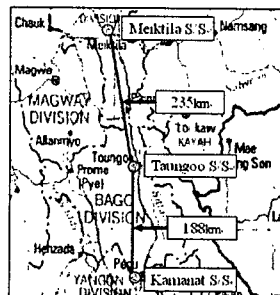
본 사업 역무의 일환으로 미얀마 장기 계통계획을 수립하여 2005년 1월에 미얀마 측에 제시하였으며, 본 논문에서는 기 수립된 미얀마 장기 계통계획을 토대로 2005년 12월까지 수행한 "미얀마 500kV 송전망 기본설계"의 결과를 논하였다. 주요내용은 크게 절연설계, 송전설계, 변전설계로 나누어지며, 각 분야에 대한 기술성, 경제성, 신뢰성 검토 결과를 보여주고 있다. 상기 사업수행의 결과는 향후 미얀마 500kV 송전망 기술의 표준이 될 것이며, 이를 토대로 현재 낙후된 미얀마 전력계통의 안정도 및 신뢰도를 높이는 결정적인 밑거름이 될 것으로 예상된다.

2. 본 론

2.1 사업의 개요

"미얀마 500kV 송전전압격상 타당성 조사 및 기본설계사업"은 2030년까지 장기 계통계획 수립과 초기 500kV 송전망에 대한 기본설계가 주요 역무이다. 본 논문에서는 선행역무로서 2005년 1월에 완료한 장기 계통계획에서 제시된 송전선로 최대고장전류 및 변압기 용량 등 초기 500kV 송전설비의 적정규모를 기초로 하여 500kV 송전망 기본설계분야에서 수행한 아래 역무에 대하여 기술하였다.

- 1) 송전선로 및 변전소 절연설계
- 2) 전기환경, 경각지 선정, 철탑 및 애자 급구류 등 송전선로 기본설계
- 3) 변전소 형태, 모선방식, 기기규격 등 변전소 기본설계



〈그림 1〉 500kV 계통도

2.2 절연설계

절연설계 분야에서는 송전선로의 개폐과전압 및 뇌사고을 예측을 통하여 철탑 상간 및 상-대지간 절연거리와 가공지선의 차폐 각도를 제시하였고, 변전소의 경우는 개폐과전압 및 뇌과전압 해석을 통하여 부상 연면누설거리, 공기절연거리 등을 산정하였다. 계통최고전압은 송전선로 길이에 따른 송전단 및 수전단 전압을 검토하여 1.1 P.U인 550kV로 결정하였으며, 장거리 1회선 송전선로의 상호 캐패시턴스 불평형에 따른 상간 불평형을 해결하기 위하여 연가가 필요한 것으로 검토되어 선로별로 3등분한 지점을 선택하여 연가철탑을 사용토록 하였다.

절연설계 분야에서는 EMTP(Electro-Magnetic Transient Program) 프로그램 사용하여 절연설계 분야의 다양한 요소들을 도출하고 계통의 과도 현상 해석을 수행하였으며 그 주요내용은 아래와 같다..

2.2.1 송전선로 설계를 위한 과전압 해석

계통해석을 통해 얻어진 등가임피던스를 활용하여 오손설계를 위한 상용주파단시간과전압 배수를 1.2 P.U로 결정하였으며, 이를 적용하여 오손설계에 필요한 목표내전압을 정하여 등가분부차밀도를 이용하여 애자의 소요 수량을 구하였다.

상-대지간 개폐과전압 최고치는 2.0 P.U 이하로 나타나 상-대지간 개폐

과전압 배수는 2.0 P.U로, 상간 개폐과전압 최고치는 3.32 P.U 이하로 나타나 상간 개폐과전압 배수는 3.5 P.U로 결정하였으며, 500kV 송전선로 절연거리는 아래 표와 같다.

〈표 1〉 500kV 송전선로 절연거리

절연거리	일반지역	오염지역
Horn gap length	3,300mm	3,800mm
표준절연간격	3,800mm	4,400mm
최소절연간격	2,900mm	2,900mm
이상시절연간격	1,500mm	1,500mm
상간간격	5,000mm	

500kV 송전선로 뇌사고을 목표치는 계산결과 0.2583 [Fault/100km/yr]로 나타났으며, 가공지선의 최대전류를 계산한 결과 가공지선 1조당 20kA 이하로 나타났다.

2.2.3 변전소 설계를 위한 과전압 해석

변전소 오손설계를 위한 상용주파과전압 배수는 1.2 P.U로 송전선로의 경우와 동일하며, 중오손에 있어 부상 연면누설거리는 13,200[mm] 이상을 추천하였다. 공기절연설계를 위한 개폐과전압 배수 계산결과, 지락오장과 고장해소는 송전선로 설계의 경우와 동일하게 2.0 P.U이다. 변전소 상-대지간 개폐과전압은 PIR 고장의 경우 2.1 P.U이며 상간 개폐과전압은 동일조건 하에서 4.0 P.U로 나타났다.

〈표 2〉 AIS 변전소의 최소 선택거리

구분	과전압배수	최소선택거리	절연간격	비고
상-대지간	2.1 P.U	3,896mm	5,000mm	PIR out
상간	4.0 P.U	7,100mm	8,000mm	PIR out

또한 뇌과전압 해석을 통하여 변전소 기기의 절연강도를 결정하였으며, 선로인입부, 분기모선과 선로측 인출선과의 연결부, 각 모선 중단부 및 변압기 1차측에 정격전압 420kV 피뢰기 설치가 필요한 것으로 검토되었다.

〈표 3〉 변전기기 BIL 결정

구분	전압계산치(kV)	BIL(kV)	Margin(%)
선로인입부	1,281	1,550	21
모선	987	1,550	57
변압기	957	1,425	47

2.3 송전설계

송전설계 분야에서는 장기계통 연구 결과에 따라 송전용량에 적합한 전선을 선정 후, 전기환경측면에서 각국의 기준에 적합한지 재검토 하여 시공성 및 경제성을 고려하여 최적의 전선을 선정하였다. 또한 송전선로 경과지가 423km(북부 Meikhtila S/S ~ Taungoo S/S 구간 234.771km, 남부 Taungoo S/S ~ Kamanat S/S 구간 188.049km)로 장대하고 철탑수량 또한 약 884기 정도로 인력으로 철탑위치를 결정하기에는 기술적으로 한계가 있어 현지 지형에 적합한 철탑설계 프로그램인 Optimal PowerLINE 소프트웨어를 도입하여 철탑경간, 철탑높이를 결정지어 경제적으로 시공할 수 있는 발판을 마련하였다. 애자의 경우는 기존의 자기 애자와 신기술인 폴리머 애자와의 시공성과 경제성을 비교 검토하여 자기 애자와 성능은 유사하면서도 경제성은 자기 애자에 비해 뛰어난 폴리머 애자를 적용토록 추천하였다.

2.3.1 전선배열 및 전선 선정

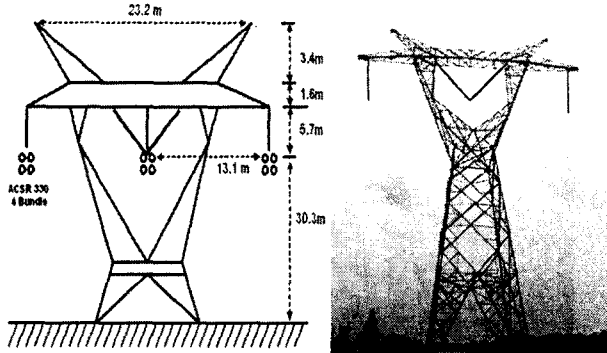
전선배열은 수평, 삼각 및 직삼각 배열에 대해 현지 설계조건을 고려하여 검토한 후 가장 유리한 수평배열 방식을 적용하였으며, 도체의 경우에는 장기계통계획상의 이상시 최대조류를 기준으로 후보도체를 선정하여 전선용량을 검토한 결과 480mm² ACSR 2-cond bundle, 330mm² ACSR 4-cond bundle 전선의 경우가 상시 및 이상시 최대조류를 만족시켜 주었으며, 330mm² ACSR 4-cond bundle 전선이 코르나, TVI, RI 등 전기환경장해 검토결과 모든 기준치를 만족시켜주었다. 따라서 ACSR 330mm² 도체 가운데 기계적 강도, 경제성, 제작의 용이성 및 시공성면에서 가장 유리한 "SCOTER" 전선을 500kV 송전선로용 전선으로 선정하였다.

가공지선은 절연설계에서 추천된 가공지선의 최대전류를 만족하는 97mm

이상 전선에 대해 검토한 결과 유도전류 및 최대고장전류를 만족하고 장벽면에서 안전율 2.8 이상을 유지하는 전선 중 강심의 소선구성에서 유리하고 강심단면적이 적어 시공이 용이한 ACSR 107mm²(Cochin)으로 결정하였다.

2.3.2 첩합설계

첩합형태는 Optimal PowerLINE을 사용하여 분석한 결과, 500kV 송전첩합은 A, B, C, D 및 T형으로 5가지 유형을 나눌 수 있으며 각각의 경간, 수평각도 및 절연거리는 다음과 같다.



〈그림 2〉 500kV 수평배열 1회선 첩합(A Type)

〈표 4〉 첩합형태에 따른 경간 및 선로각도

형태	현수	경간 (m)			선로 각도
		Wind	Weight(max)	Weight(min)	
A	현수	500	700	100	3°
B	Light angle	500	700	100	20°
C	Medium angle	500	700	100	40°
D	Heavy angle	500	700	100	50°
	Dead end				40°
T	연가	500	700	100	30°

〈표 5〉 첩합 절연거리

구분	현수(A형)		내장(B, C, D 및 T형)	
	횡진각	Clearance	횡진각	Clearance
기준절연거리	20°	4,400mm	10°	4,400mm
최소절연거리	40°	2,900mm	30°	2,900mm
이상시절연거리	60°	1,500mm	50°	1,500mm

2.3.4 애자 및 금구류 설계

송전선로용 애자는 현재 안정적으로 확대적용 추세에 있는 폴리머애자와 기존의 자기애자의 장단점 및 경제성을 비교한 결과, 경제적인 측면에서 폴리머애자가 자기애자에 비하여 210kN의 경우 59%, 300kN의 경우 49%로 매우 유리할 뿐만 아니라 폴리머애자의 경량성(자기애자의 약 20%)으로 운반비 및 설치비 등을 추가로 절감 가능하고 시공측면에서 애자인상 및 절단취부 등이 용이하므로 공사기간 단축에도 유리할 것으로 검토되어 500kV 송전선로 애자장치로서 폴리머애자를 사용토록 하였다.

애자련의 형태는 경제적 측면과 현지실정을 고려하여 I-V-I 형태로 제시하였으며, 현수 애자련은 장경간(약 650m)을 고려하여 210kN으로 하고 주요 횡단개소에는 신뢰성을 감안 이중 애자련을 적용하였고, 내장 애자련은 160kN 이중 애자련을 사용토록 하였다.

2.4 변전설계

변전설계에서는 장기계통계획 및 절연설계 결과를 바탕으로 신설되는 3개 변전소에 대하여 향후 계통확장을 대비한 증설 및 현실적인 운영여건 등을 종합 검토하여 신뢰성 있고 경제적인 변전소 형태와 모선구성방식을 선정하였고, 변압기, 차단기 등 주기에 대하여 변전소 용량, 고장전류 등 계통 관련 고려사항을 종합적으로 검토하고 중량물 수송을 위한 현지여건, 인접국가의 적용사례, 유지보수 여건을 감안한 여러 가지 방안을 비교 검토하여 경제적이면서도 미안마 계통연선에 가장 적합한 규격을 선정할 수 있도록 하였다.

이와 더불어 작업자의 안전과 기기보호를 위한 접지설계를 위하여 예정부지의 겔보기 저항을 측정결과와 고장전류 및 대지저항을 분석한 후 접지설계 프로그램을 활용하여 접지설계를 수행하였다.

2.4.1 변전소 형태

3개 변전소 예정부지 모두 부지확보에 큰 어려움이 없고 평탄한 지역으로 부지정지를 위한 토목비용도 적게 소요되고 현실적인 유지보수 여건을 고려할 때 경제적으로 유리한 육외철구형으로 선정하였다.

2.4.2 모선방식, 도체 및 용량

신설 500kV 변전소 모선방식은 각 모선방식별 신뢰성과 유연성 및 경제성을 비교검토한 후 1차측(500kV)은 경제성과 신뢰도 및 유연성에서 유리

한 이중모선 1.5CB 방식을, 2차측(230kV)은 경제성과 500kV 변전소의 신뢰도 향상을 위하여 이중모선 1CB 방식으로 결정하였다.

주모선은 Al-Tube 지지형으로 구성하고 기기연결 및 선로인출 구간 등엔 ACSR 내장형으로 구성하였으며, 계통계획 분석과 부하 조건을 통하여 1차측 주모선 용량은 4,000A, 2차측 주모선 용량은 3,000A로 결정하였다.

2.4.3 주기기 규격

1) 변압기

변압기 규격은 계통과 관련된 정격용량, 전압 및 %임피던스 등을 검토하고 국제기준 및 Bank 구성, 결선방식 등 기기배치 관련사항들을 고려하여 최적의 규격을 제시하였다. 또한 변압기 Bank 구성시 고장복구시간 감소를 통한 계통 신뢰도 향상을 위해 예비모선 및 예비변압기를 설치할 것을 권장하였으며, 세부규격은 아래와 같다.

- 형태 : 단상단권변압기
- 정격전압 : 500/√3 / 230/√3 / 11kV
- 정격용량(단상) : 100/133.3/166.7MVA (65℃ONAN, FOA1, FOA2)
- 결선방식 : Y-Y-Δ
- 탭 절환 : OLTC
- 탭 절환 범위 : ± 12.5%
- 탭수 : 21탭 (정격 전압 탭 포함)
- %임피던스 : 12.5%
- CT : BCT (정격 2차전류 : 1A)
- 절연유 보존방식 : 공기주머니식 또는 격막식

2) 차단기

차단기의 규격은 계통계획 검토결과 적정규격으로 제시된 40kA, 4,000A 차단기에 대해 절연설계 결과와 국제규격 및 보호제어 관련사항 등을 종합 검토하여 현재 상용화 되어있는 차단기중에서 가장 적절한 규격을 선택하였다.

〈표 6〉 500kV 및 230kV 차단기 규격

항목	500kV	230kV
형태	GCB	GCB
정격전압	550kV	245kV
정격전류	4,000A rms	3,150A rms (bus-sec, bus-tie용 CB) 2,000A rms (변압기 2차, 선로용 CB)
정격차단전류	40kA rms	40kA rms
정격차단시간	2Cycles	3Cycles
정격차단전류 통전시간	1sec	1sec
정격투입전류	100kA peak	100kA peak
표준동작책무	O-0.3sec-CO-1min-CO	O-0.3sec-CO-1min-CO

2.4.4 보호 및 감시제어 설계

500kV 송전망의 신뢰도를 높이기 위해 500kV 송전선로와 500kV 모선보호 시스템을 2계열로 구성하고 변압기 보호는 송전선에 비하여 사고 빈도가 적으므로 경제성을 고려하여 1계열로 구성하였다. 또한 500kV 송전선로 보호의 신뢰성과 계통안정도 향상을 위하여 주보호가 고장 또는 정지시 보호 역할을 수행할 수 있도록 후비보호를 적용토록 하였다.

감시제어 시스템은 운전원들의 경험과 유지보수에 필요한 시간적, 기술적인 지원사항 등을 고려하여 유지보수가 용이하고 시스템 이상 시에도 전력설비 조작이 가능하며, 향후 전력기술 발전과 SCADA 등의 도입이 용이도록 하기위하여 Mosaic 배전반 Type과 컴퓨터 설비를 혼합한 집중감시제어 시스템으로 적용하였다.

3. 결 론

본 사업은 지난 40여년간 국내사업을 통해 쌓은 기술력을 활용하여 세계 전력시장에 한국의 높은 송변전 기술을 널리 알리고, 전력기반시설이 낙후된 국가에 대한 원조사업을 통해 국가 대외신뢰도를 향상하는데 기여하였다. 또한 미안마와의 지속적인 선린관계 유지를 통해 관련 후속사업도 현재 진행 중이며, 본 사업을 통하여 최근 급속한 성장을 시작한 동남아시아의 전력시장에서 우월한 경쟁력 확보가 예상되며 국내 제작사 등 관련업체들의 참여를 통하여 침체된 국내 전력산업계에 활기를 불어넣어 줄 것으로 예상된다.

【참 고 문 헌】

- [1] 한국국제협력단, 한국전력공사, "미안마 500kV 송전선압력상 타당성 조사 및 기본설계사업", 최종보고서, 2005. 12