캄보디아 국경연계 송전망 타당성 연구

백승도, 김종화, 김세현, 최상주*
한국전력공사

Feasibility Study for the cross border transmission project in Cambodia

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

Abstract - KEPCO is executing a project in Cambodia consisting of two components, "Power Development Master Plan and Institutional Strengthening" and "Greater Mekong Sub-region (GMS) Power Project Preparation" upon request by the government of the Ministry of Industry, Mines and Energy of Cambodia, contracted on 29th September 2005.
This paper includes a basic design and review of economical efficiency for constructing the two (2) cross border 115 kV transmission lines, which run from the border of Vietnam and Laos to Cambodia, and four (4) 115 kV substations
The main contents of the paper include the process of design and results of a review of line route selection, tower and hardware design regarding transmission line design, as well as the type of substation, and arrangement and specifications of equipment with expects to substation design. Also, long-term demand forecasting, and an economic analysis of the project area are included.

1. 서 론

한국전력공사는 2005년 9월 캄보디아 산업광산에너지부와 '캄보디아 전력망 마스터 플랜 수립용역' 사업계약을 체결하고 1년간에 걸쳐 수행 중에 있다.

본 논문에서는 베트남국경에서 캄퐁참 Province를 연결하는 115kV 송전선로 64km 구간과 라오스국경에서 스텅트랭 Province를 연결하는 115kV 송전선로 56km 및 4개의 빈전소에 대한 기본설계와 경제성 평가 내용을 논하고 있다.

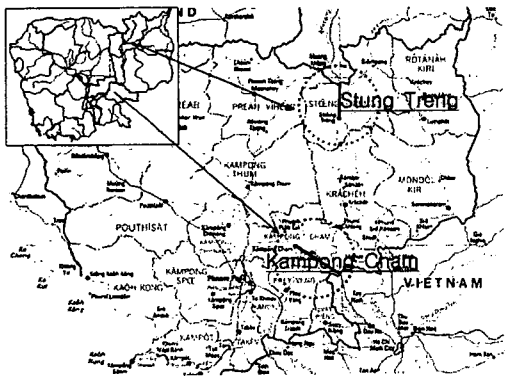
송변전설비 기본설계는 송전선로 경과지 선정, 철탑 및 애자 금구류 선정, 변전소 부지 및 형태 선정, 변전소 기기배치 및 기기정격 선정 등에 대한 과정 및 결과에 대해 기술하였으며, 송전선로 건설지역에 대한 장기 수요예측, 환경영향평가, 경제성 분석내용 등을 포함하고 있다. 본 연구 결과는 향후 GMS 프로젝트 건설사업의 일환으로 착수될 예정이다.

2. 본 론

2.1 사업의 개요

'캄보디아 전력망 마스터 플랜 수립용역'은 라오스 및 베트남과 연계되는 송전망에 대한 타당성조사 및 수요예측, 전원개발, 계통계획 수립 그리고 수력발전 예비타당성조사 등으로 구성되어 있으며, 본 논문에서는 국경연계 송전망에 대한 타당성 조사 부문에 대하여 수행한 아래 역무에 대하여 기술하였다.

1) 3개 Province(캄퐁참, 스텅트랭, 크라체)에 대한 수요예측
2) 경제성 평가
3) 기본설계
4) 예비 환경영향 평가



<그림 1> 국경연계 송전망 타당성 조사 지역

2.2 캄보디아 전력산업 개황

캄보디아 인구는 1천3백만명에 이르며 국토면적은 18만㎢로 남한의 약1.8배, 북쪽으로는 태국과 라오스의 국경과 접해 있고, 동쪽과 남쪽으로 베트남의 국경과 접해 있으며, 남서쪽으로 태국해안과 접해 있다. 전력분야는 정부의 산업광산에너지부(MIME)와 국영 전력회사인 전력청(EdC), 규제기관(EAC) 그리고 독립발전사업자(IPP)로 이루어져 있다. 캄보디아의 에너지 자원으로는 수력을 시작으로 석유, 천연가스, 석탄 등이 존재한다고 하지만, 어느 것도 거의 개발이 진행되지 않고 캄보디아 국내에서 사용하는 상업에너지의 거의 100%를 수입에 의존하고 있는 상황이다.

2.2.1 전력수급 현황

국가전체의 전기보급율은 약17%, 1인당 년간 전력소비량은 55kWh로서 최빈 국가 중 하나이다. 전력계통 구성은 22kV와 15kV 배전전압으로 독립적인 21개 계통으로 이루어져 있으며 국가적인 송전망은 갖추어져 있지 않다. 수도인 프놈펜지역을 중심으로 115kV 송전선로 128c-km와 4개 변전소(총용량 200MVA)로 구성되어 있다. 발전설비의 약90%는 디젤발전기로서 전체발전량의 60%는 독립발전사업자가 운영하고 있으며, 연간 최대부하는 약 140MW('04년기준) 이다.

2.2.2 GMS 프로젝트

GMS(Great Mekong Subregion)프로젝트는 메콩강 유역의 국가들로 이루어진 중국, 태국, 라오스, 미얀마, 베트남, 캄보디아 등이 풍부한 자원을 바탕으로 전력, 가스분야 연계 등을 통하여 경제발전을 도모하고자 협력을 추진하고 있다. 장기적으로 전력계통의 경우 2020년에 500kV 계통연계를 통하여 풍부한 수력발전을 활용할 예정이다. 논문에서 검토한 국경연계 송전선로는 GMS 프로젝트의 일환으로 월드뱅크의 지원 아래 건설될 예정이다.

2.3 수요예측

수요예측 모델에는 크게 시계열(Time Series), 추세 추정(Trend Extrapolation) 및 최종용도(End Use) 모델 세 가지로 구분할 수 있다. 시계열 모델의 경우 최근에 주로 사용되는 기법 중에 하나이나 추세추정과 함께 전력수요에 대한 축적된 데이터를 기반으로 이루어지게 된다. 그러나 캄보디아의 경우 축적된 데이터가 없을 뿐만 아니라 송전망 계통의 미흡함으로 인하여 최종용도 방법을 중심으로 복합적인 모델를 채택하여 20년(2005~2024)간의 수요예측을 수행하였다.

2.3.1 지역별 수요예측

캄보디아 24개 Province 중 3개 Province를 District별로 분리한 후 District은 다시 주거용, 산업 및 상업용, 공공부분으로 세분화하여 예측하였다. 수요예측 산정시 20년 기간 동안 송배전 손실(비기술적 부분 포함)은 17%에서 12%로 감소되며, HV:MV:LV의 손실비율은 3:5:2로 가정하였다. 또한 민감도 분석은 3단계로 나누어 제시되었으며 GDP 성장률에 대해 년간 6%, 4%, 3% 로 분석하였다. 민감도 분석 결과 최대 6% 경제성장률을 고려할 경우 수요예측 값은 22%에서 36%로 증가하였다.

<표 1> 지역별 최대수요

지역	최대수요(MW)				
	'05	'10	'15	'20	'24
캄퐁참	16.7	34.6	57.1	88.4	123.2
스텅트랭	3.7	7.5	13.1	21.2	32.1
크라체	2.6	5.9	11.3	16.6	21.8

2.4 경제성평가

캄보디아는 재정적으로 투자비가 부족한 빈곤 국가로서 대부분을 국제원조 및 차관에 의존하기 때문에 사업에 대한 경제성 분석은 사업수행 가능성에 대한 중요한 변수가 된다. 디젤발전기 설치시와 국가간 송전망 연계를 통한 전력수입의 경우에 대한 장기적 관점에서 비용과 편익을 분석하였다.

2.4.1 Least-Cost 비교 분석

부하규모, 예비율, 유지보수의 용이성 등을 고려하여 소규모 용량(3MW)의 디젤발전기를 설치하는 조건과 베트남~캄퐁참 구간을 115kV 송전망으로 연계하는 조건으로 순 현재가치(NPV)를 분석한 결과 디젤발전기 설치

시 16.4백만US$, 송전망으로 연계시 128.2백만US$로서 약 111.8백만US$가 높게 분석되었다.

2.4.2 경제성 분석 내역

송전망 구성에 대한 경제성 분석은 비용과 편익에 대한 흐름을 비교하는데 아래와 같은 4가지 사항을 포함하여 검토하였다.

1) EIRR (경제적 내부수익률, Economic Internal Rate of Return)
2) FIRR (재무적 내부수익률, Financial Internal Rate of Return)
3) NPV (순현재가치, Net Present Value) : 투자사업의 최종년도까지 얻게 되는 순편익(편익-비용)의 흐름을 현재가치로 환산하는 것으로 0보다 크면 투자가치가 있음
4) B/C (비용편익비 : Benefit-Cost Ratio) : 비용의 현재가치에 대한 편익의 현재가치의 비율로서 1보다 크면 타당성이 있음

2.4.2 경제성 및 민감도 분석결과

30년간의 전체 사업기간을 대상으로 한 현금수지분석을 실시한 후 이를 기초로 재무적 투자수익률(FIRR) 및 경제적 투자수익률(EIRR)을 분석한 결과 송전망 건설에 대한 사업투자는 타당성이 높은 것으로 분석되었다.

또한 민감도는 비용이 20% 상승할 경우, 전력수입단가가 20% 상승할 경우, 비용과 편익이 20% 상승할 경우에 대해 분석결과 재무적 투자수익률은 8~36% 상승하는 것으로 나타나 송전망 구성은 비용 및 전력수입단가의 변화가 재무적 투자수익률에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

<표 2> 경제성 분석결과

구분	EIRR(%)	FIRR(%)	NPV(백만US$)	B/C
Line 1 (베트남~캄퐁참)	39.23	77.79	52.34	7.97
Line 2 (라오스~스텅트랭)	22.69	42.12	9.08	2.99

2.5 송전 기본설계

캄보디아 및 인접국가의 전력계통 현황 및 캄보디아 전력계통 정책 수립 내용을 분석하여 최적의 설계가 될 수 있도록 전압 및 선종 등을 선정하였다.

2.5.1 송전선로 예비 경과지 선정

송전선로 예비 경과지 선정을 위하여 캄보디아 전력청(EdC) 관계자와 함께 캄보디아 답사를 시행하고 예비 경과지를 선정하였다.

○ 베트남국경 ~ 캄퐁참 : 2005. 10. 18 ~ 10. 21
○ 라오스국경 ~ 스텅트랭 : 2005. 10.24 ~ 10. 26

2.5.2 송전전압 및 선종

송전전압의 경우 연계국과의 전압구성의 용이성 및 수요예측에 따른 전력 수입량 등을 고려하여 115kV로 결정하였으며, 송전선로 회선수는 GMS 국가들이 채택하고 있는 기준인 N-1 상정고장과 건설비 및 유지보수의 용이성 등을 고려하여 2회선 건설을 채택하였다. 도체의 경우 열적한계, 전압강하, 안정도, 선로 긍장, 역률 등을 고려하였으며 한전이 보유하고 있는 허용전류 프로그램을 활용하여 캄보디아에서 표준적으로 사용할 수 있는 선종을 제시하였다.

<표 3> 송전설비 기본설계 내역

구 분	Line 1 (베트남~캄퐁참)	Line 2 (라오스~스텅트랭)
송전전압	115kV	
회선수	2회선	
도체	ACSR 400㎟ (Drake)	ACSR 240㎟ (Hawk)
선로용량	144MW (역률 0.95)	104MW (역률 0.95)
긍장	64km	56km

2.5.3 철탑 및 애자

캄보디아는 콘크리트 폴을 사용하고 있으나 송전선로 경과지의 지형 및 환경적이 제약요건에 따라 지지물 형태를 결정할 수 있도록 철탑(steel lattice tower)과 콘크리트 폴(concrete pole)을 병행 사용토록 하였다.

애자는 현재 송전용으로 확대 적용 추세에 있는 폴리머 애자를 선정하였으며 이는 폴리머 애자와 기존의 자기애자의 장단점을 비교 검토한 결과 경제적인 측면에서 폴리머애자가 자기애자에 비하여 유리할 뿐만 아니라 폴리머 애자의 경량성(자기애자의 80%) 때문에 시공측면에서 용이하므로 공사기간 단축에도 상당히 유리하다고 판단되었다.

2.5.4 철탑기초 및 진입로

현장답사결과 견고한 부지에는 독립기초, 연약부지에는 현장타설 말뚝기초를 권장하였으며 정확한 기초 설계를 위해서는 지질조사 및 철탑형별에 따라 변경될 수 있음을 제시하였다.

일반적으로 송전선로 건설시 소요되는 인력, 자재 등을 수송하기 위한 진입로 개설은 필수적이나 캄보디아의 경우는 철탑부지에 인접한 도로나 타 건설부지에 개설된 도로를 사용하는데 지장이 없으므로 추가 진입로 개설은 불요한 것으로 판단되었다.

2.6 변전 기본설계

변전 기본설계분야에서는 장기 수요예측 및 베트남, 라오스와 연계되는 송전선로 구성을 바탕으로 향후 계통확장을 대비한 증설 및 현실적인 운영여건 등을 종합 검토하여 신뢰성 있고 경제적인 변전소 형태와 모선구성방식을 선정하였다. 변압기, 차단기 등 주기기에 대하여 변전소 용량, 고장전류 등 계통상 고려사항을 종합적으로 검토하고 인접국가의 적용사례, 유지보수 여건을 감안한 여러 가지 방안을 비교 검토하여 경제적이면서도 캄보디아 여건에 가장 적합한 규격을 선정할 수 있도록 하였다.

2.6.1 변전소 형태

변전소 부지선정 답사 후 제시된 변전소 위치는 평탄한 지역으로 부지정지가 용이하고, 공간적인 토지사용 제약이 적은 점, 유지보수에 용이한 점 등을 고려할 때, 경제적으로 유리한 옥외철구형으로 선정하였다.

2.6.2 모선구성 방식 및 도체

변전소 모선 구성방식은 장기적인 측면에서 신뢰성과 계통확장 계획 및 경제성을 비교 검토한 후 결정하였으며, 유연성 및 경제성 측면에서 모선방식은 이중모선에 1 CB 방식으로 검토되었다. 또한 주모선 도체는 유지보수 및 건설의 용이성, 기계적 특성 등을 고려하여 내장형(strain)을 채택하였다.

2.6.3 주기기 규격

1) 변압기

변압기 규격은 변압기의 용량 및 전압 그리고 중량물 이동에 따른 수송로의 여건과 수송방법에 따라 변압기의 크기 및 무게 또한 중요한 요소로서 일반적으로 제시된 규격 및 변전소별 변압기 용량은 아래와 같다.

○ 형태 : 3상 2권선 변압기 ○ 정격전압 : 115/2 / 22/3kV
○ 탭절환 : OLTC

<표 4> 변전소별 변압기 용량

구 분		115kV 변전소			
변전소명		Kampong Cham	Suong	Kraek	Stung Treng
변압기 용량	'08년	40MVA	30MVA	10MVA	20MVA
	'14년	70MVA	60MVA	30MVA	40MVA

2) 차단기

차단기의 규격은 절연설계, 보호 및 제어, 비용 그리고 계통확장 등을 종합 검토하였으며 국제규격에 적합하도록 선정하였다.

<표 5> 차단기 규격

구 분	115kV 차단기
형 태	GCB
정격전압	123kV
정격전류	1,200A
정격차단전류	31.5kA rms
표준동작책무	O - 0.3 sec - CO - 1 min - CO

또한 기기운전 및 제어 등에 중요한 요소인 소내전원 구성 및 소방시설, 소음 그리고 철구 및 기기 기초에 대한 기본설계 내용을 제시하였다.

2.6 예비 환경영향 평가

캄보디아내의 환경에 관련된 법적 요구사항인 환경 영향평가 및 관련 협정서의 내용을 검토 후 현장조사 등을 실시하였으며 검토 내용은 아래와 같다.

○ 토지수용 및 사용승인
○ 수목자원 손실
○ 농작물 및 토지 사용제한
○ 온실가스 방출
○ 수질 및 토양 오염
○ 문화재 보존
○ 인체안전
○ 건물 및 주택 이주
○ 토지 사용제한
○ 야생동물 영향
○ 침식
○ 소음
○ 라디오 및 TV 장해
○ 사회적, 경제적 편익

3. 결 론

본 사업은 우리나라에서 계통전압으로 운영되지 않은 115kV에 대한 송변전 기본설계, 경제성분석 및 환경영향평가 등을 완수함으로서 한전의 기술력을 국제적으로 인정받게 되었다. 또한 본 사업을 통하여 세계은행 및 아시아개발은행에서 발주하는 사업에 대한 정보를 확보하였으며 사업수행 과정에서 국제적 인적네트워크를 확보함으로서 후속사업 개발 및 향후 한국의 전력산업 업체들이 캄보디아에 진출하는데 교두보를 마련하게 되었다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력공사, "캄보디아 국경연계 송전망 타당성조사 사업", 최종보고서, 2006. 4