

해외 송변전 사업 추진사례(미얀마 전력망 진단 및 분석)

문봉수\*, 방민재\*, 최호진\*\*, 김종화\*, 김세현\*, 최영성\*  
한국전력공사\*, 주영전력기술단\*\*

Development Study on the Power System Analysis in Myanmar

B.S.Mun\*, M.J.Bang\*, H.J.Choi\*\*, J.H.Kim\*, S.H.Kim\*, Y.S.Choi\*  
KEPCO\*, Juyoung Power Engineering Co.\*\*

**Abstract** - KEPCO is now promoting the overseas transmission businesses on the basis of competitive transmission technology. This paper deals with a development study on the power system network analysis in Myanmar which was performed as the first overseas transmission business of KEPCO. The aim of this study is to establish comprehensive and stable power system network plan by analyzing the current and future system in Myanmar.

계획을 수립하고 현재 1차 5개년계획을 추진중에 있으며 전력설비 확충을 그중 최우선의 과업으로 시행하고 있다.

2.3 기존 전력망 실태분석 및 진단

본 사업의 목적을 달성하기 위하여 전력 수요예측, 계통계획, 설비건설 및 운영 등 각 분야의 전문가로 구성된 조사단을 파견하여 2차에 걸친 현지조사를 시행하였고 그 결과를 토대로 미얀마의 기존 전력망 시설에 대한 분석을 시행하였다.

1. 서 론

미얀마의 전력수요는 최근 10년 동안 2배 정도 증가하였으나 노후화 된 전력설비 및 비효율적인 송배전망 체계로 인하여 전력 공급력이 부족하고 단일 송전선로 사고에서도 전국이 정전되는 등 전력계통이 불안정한 실정이다. 이에 따라 미얀마 정부에서는 전체 전력망 현황에 대한 진단 및 향후 계통에 대한 대책방안 수립이 우선적으로 필요함을 절감하고 1999년 본 사업의 지원을 한국 정부에 공식 요청하였고, 한국 정부는 2000년 한국국제협력단을 통하여 동 사업에 대한 사전 타당성 조사를 거쳐, 본 사업을 2001~2002년에 걸쳐 지원하기로 결정하였는바, 본 논문에서는 한국전력공사에서 송변전분야 최초의 해외사업으로 수행한 미얀마 전력망 진단 및 분석 사례에 관하여 논하였다.

표1. 기존 전력망의 발전원별 점유율 현황

발전원	Grid System		Isolated System		Total	
	설비용량 [MW]	점유율 [%]	설비용량 [MW]	점유율 [%]	설비용량 [MW]	점유율 [%]
수력발전	327.00	32.90	33.32	19.255	360.32	30.88
가스터빈	508.10	51.126	35.89	20.740	543.99	46.620
기력발전	142.50	14.339	31.1	17.972	173.60	14.88
디젤발전	16.22	1.63	72.74	42.03	88.96	7.624
총 계	993.82	100.00	173.05	100.000	1166.87	100.000

표2. 최근의 전력생산량과 소비량 현황

	1996년	1997년	1998년	1999년	2000년
생산량[GWh]	4130	4445	4579	4291	5028
소비량[GWh]	2434	2676	2848	2785	3259
소비/생산(%)	58.93	60.20	62.19	64.90	64.81
손실율(%)	41.07	39.8	37.81	35.1	35.19

2. 본 론

2.1 사업의 개요

미얀마 전력망 진단 사업은 미얀마의 기존 전력망 시설을 조사 분석하여 단기적으로는 기존 전력망의 효율적 이용방안을 수립하고 미래 수요를 감안한 안정적인 전력망 확충계획을 수립하여 기존 전력망의 효율성을 제고하기 위한 목적으로 2001년 10월부터 2002년 10월까지 12개월 동안 아래 항목에 대한 역무를 수행하였다.

- 1) 기존 전력망의 운영 및 관리실태 분석 및 진단
- 2) 기존 전력망의 효율적 이용방안 수립
- 3) 신규 전력망 확충계획 검토
- 4) 미얀마 현실에 적합한 전력망 진단 프로그램 개발
- 5) 현지조사 및 현지인 초청 연수과정을 통한 전력망 진단 관련 기술 이전

2.2 미얀마 전력사업 개황

미얀마는 인구 5천만에 남한의 7배에 달하는 국토와 풍부한 자원을 보유하고 있으면서도 낙후된 경제로 인해 극심한 빈곤국가이며, 발전설비는 한국의 50분의 1 수준인 100만kW 정도에 지나지 않아 대도시에서도 제한 송전이 하루단위로 시행될 정도로 열악한 실정이며, 이로 인하여 국민들의 일상생활은 물론 산업설비 운용에도 많은 어려움을 겪고 있다. 이에 따라서 미얀마 정부는 과거 한국의 경제개발계획을 본딴 30년 장기 경제개발

현지 조사과정에서는 기존 전력망에 대한 단선도, 중요 발전기 및 변압기의 정격용량과 임피던스 등 제정수에 관한 데이터, 송전선로의 종류, 굵기, 길이 및 송전용량 등에 관한 데이터, 주요 변전소의 주요 전력기기 및 보호계전기가 표시된 단선도와 침두부하시 부하량 및 부하차단량 등 전력설비에 대한 중요자료를 모두 수집하였으며, 미얀마의 전력계통 운전 현황에 대한 조사를 시행하였고 현장 데이터 분석을 통하여 주요 변전소 일일 24시간 부하, 주요 발전기 일일 24시간 출력에 대하여 최근 5년 실적 및 2001년 일일 침두부하시 주요 변전소 및 지역별로 침두부하에 대한 점유율을 산정하였다.

이와 함께 송전선로, 변전소 및 보호계전기 관리실태에 대한 진단 및 개선안을 제시하였으며, 단기적으로 기존 전력망의 효율적 이용을 위하여 가스터빈발전기를 최초로 발전하려는 계획, 무효전력 보상설비 증설, 송전선로 연계 방안, 송전선 보호방식 추가 및 변경, 전력설비의 보수유지 및 관리를 체계화하고 기타 전력계통에 관련한 통계관리 방안을 제시하였다.

2.4 신규 전력망 확충계획 검토

2030년까지의 장기 전력수요를 예측하였고 향후 5년간 예측된 수요를 변전소 혹은 지역별로 할당하였으며 이를 바탕으로 2007년까지 현재 건설 혹은 계획 중인 전력망 확충계획에 대하여 연도별 전력조류 및 계통 단락용량 검토, 연도별 주요 송전선로의 개방조건에 대한

Contingency 검토 및 대안을 제시하였다. 또한 근본적인 전력계통의 발전을 위하여 북부지역에 건설 중인 대용량 수력발전 전원을 남부의 수요지까지 안정적으로 수송하기 위한 중추적 송전선로로서 400kV 또는 500kV로의 송전선압 격상을 제시하였고 그중에서 계통운영에 유리하고 또한 인접국과의 계통연계를 고려하여 500kV를 우선적으로 권고하였다.

#### 2.4.1 최대전력 수요예측

미얀마와 관련하여 수집 제공된 과년도 자료의 크기가 작고 절대적으로 필요한 자료가 없는 경우가 있기 때문에 분석에 사용되는 모형은 가급적 단순화 하였고, 시나리오 생성에는 가장 안정적인 변수만을 활용하였다. 또한 경제지표 및 전력통계를 주요 동남아시아의 국가들과 비교한 결과 미얀마는 태국과 유사점이 많아 예측 모델을 단순화하기 위하여 여러 상황을 가정하여 다음과 같이 세 가지 관점의 방법으로 전력수요를 예측하여 미얀마 전력부에서 의지적으로 제시한 예측값 결과와 비교하였다. 각 방법에서 예측값은 성장의 여건을 미얀마 전력부에서 제시한 것과 같이 Low Growth Scenario, Base Growth Scenario 및 High Growth Scenario로 구분하였다.

○ Method I: 태국의 경우와 마찬가지로 미얀마의 최근 10년 동안의 전력 생산량 추세는 향후에도 지속될 것으로 예상하고 전력 생산량에 부하율을 적용하여 최대 전력수요를 산정하였다.

○ Method II: 최대전력수요는 인구 1인당 전력소비량과 밀접한 관계가 있으므로 증가율은 1인당 전력소비량과 선형관계를 갖는 것으로 가정하였다. 태국의 경우의 1인당 전력소비량과 증가율을 참고하여 미얀마의 전력수요 증가율을 계산하여 최대수요를 산정하였다.

○ Method III: 미얀마의 과년도 최대전력수요 증가 추세는 향후에도 계속될 것으로 가정하고 산정하였다.

○ 미얀마 전력부의 수요예측: 미얀마 전력부에서는 향후 30년간 5년 단위로 의욕적인 높은 증가율을 적용하여 예측하였다. 또한 2011년부터는 태국에 1500MW정도의 전력을 수출하고 2021년부터는 인도를 비롯한 인접국가에 추가로 2000MW를 수출하는 것으로 최대 전력수요를 예측하였다.

예측 결과를 비교해 보면 향후 10년 동안은 미얀마 전력청(MEPE)의 예측값과 본 검토에서 수행한 각 방법의 예측값은 유사하였으나 그 이후의 예측값은 상당한 차이를 보이고 있다. 특히 MEPE에서는 의지적인 수요 증가율로서 기간별로 변경하여 적용하였으나 본 검토에서는 고정된 증가율을 적용하여 발생한 차이로 생각되며 간략하게 정리하면 아래와 같다.

표3. 최대전력수요[MW] 예측값 비교

Year		00-01년도	10-11년도	20-21년도	30-31년도
Low Growth Scenario	MEPE	890	1792	5742	12657
	Method I	890	1736	4916	10221
	Method II	890	1752	4952	10251
	Method III	890	1688	4701	9571
Base Growth Scenario	MEPE	890	2012	6960	16723
	Method I	890	1906	5615	12385
	Method II	890	1917	5602	12178
	Method III	890	1938	5718	12684
High Growth Scenario	MEPE	890	2107	7617	19004
	Method I	890	2090	6448	15215
	Method II	890	2094	6341	14315
	Method III	890	2152	6704	16085

#### 2.4.2 발전소 확충계획 검토

전원계획의 검토대상 기간은 장기간인데 비하여 본 사업의 최종 검토대상 기간이 2007년도이므로 전원계획 자체는 본 검토에서 수행하지 않았다. 현재 미얀마는 가

스터빈 발전기가 설비용량의 50% 이상을 점유하고 있으나 경제적 여건상 연료비가 비싼 가스터빈 발전기를 가동할 형편이 못되어, 가능하면 몬순기후와 많은 산악지형 덕분에 풍부한 수력자원을 이용한 수력발전소 건설에 주력하는 전원계획을 장기적으로 추진하고 있다. 수력발전소의 단위용량과 발전기 단위용량을 검토한 결과 전력계통의 규모에 비하여 매우 크다. 한편 수력발전 설비용량이 최소한 전력수요 보다는 많아지는 2007년까지는 가스터빈 발전기를 운전하지 않으면 현재처럼 제한송전은 불가피하며, 갈수기를 대비하여 발전연료원이 다른 발전소 건설도 함께 추진해야 할 것으로 판단되었다.

#### 2.4.3 송변전설비 확충계획 검토

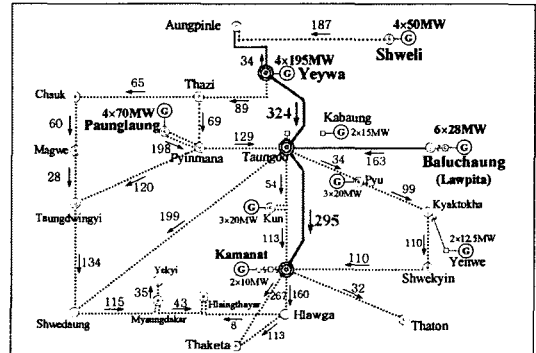
미얀마의 송변전설비 확충 계획은 발전소 건설계획과 마찬가지로 수년간에 걸쳐서 수정되면서 계획되었으며 현재 10여개의 건설프로젝트가 진행 중에 있다.

계통을 확충하기 위해서는 특정 송전계통을 계획하기 전에 이 송전계통의 전체 전력계통에서의 역할과 이 송전계통이 계통에서 분리되는 경우의 영향을 충분히 이해하는 것이 중요하다. 정상적인 계통조건에서는 물론 비정상적인 계통여건에서도 경제적이고 신빙성 있게 발전전력이 부하지역까지 수송되도록 계획하기 위해서 고려해야 할 기술적인 분야와 기타 상세사항을 검토하였으며, 현재까지 확인된 2002년~2007년 사이에 건설이 완료되어 운전될 송변전 설비계획을 검토한 결과 단위용량이 큰 발전소도 1회선 송전선으로 추진하고 있어 단일 송전선 사고에도 전력계통 붕괴나 계통의 분리현상이 나타날 것으로 예견되었다.

또한 2007년도에 건설될 계획인 설비용량 780MW의 Yeywa 발전소의 전력을 양곤지역까지 안정적으로 수송하는 방안으로 400kV 또는 500kV로의 송전선압 격상을 제시하였고 500kV를 우선적으로 권고하였다. 그 주된 이유로는 현재 미얀마의 송전선압이 230kV로서 일반적으로 두배 정도의 차이가 송전용량이나 다른 기술적인 측면에서 적절한 것으로 받아들여지고 있는 점과 이미 500kV 계통을 운전 중인 태국, 베트남 등 인도차이나 반도에서 장차 계통연계의 용이성을 고려하였다.

한편, 미얀마와 인도를 포함한 동남아 국가들의 자료를 수집 분석하여 230kV, 400kV 및 500kV 송전망의 건설비를 산출하여 제시하였으며, MEPE의 요청에 따라 송전선압 격상사업의 추진과 관련하여 한국의 765kV 격상사례를 참고하여 착수, 계획, 실행, 조정 및 종료 단계로 나누어 각 단계별 세부 절차를 제시하였다.

그림1. 2007 Network with Additional 500kV T/L



### 2.5 전력계통 분석

#### 2.5.1 분석 기준

1) 전력계통 분석 대상 전력망  
 신규 전력망 확충계획에서 확인된 2002년부터 2007년도까지의 전력계통을 대상으로 연도별로 분석하였다. 분석 분야는 조류계산 분석과 3상 단락 고장전류

계산으로 전력계통 설비 데이터는 MEPE에서 제공한 자료를 활용하였다. 제한송전 적용 여부는 실시하지 않는 조건으로 분석하였으며 적정 전압 유지범위 기준은 모선전압이 0.92~1.05puV이면 적정한 것으로 판단하였다.

2) 변전소별 모선 운전 부하량 할당

2001년도 8월20일 19시의 자료에서 가공된 변전소 모선별 부하를 활용하여 변전소와 지역별로 부하 점유율을 산정하고 2002년도를 비롯하여 향후 매년의 부하는 MethodⅡ의 최대전력수요 예측값을(Base Growth Scenario Case: 부하 8% 성장 기준) 변전소와 지역별의 부하 점유율을 할당하여 분석업무에 활용하였으며 부하의 역율은 지역을 87%로 적용하였다.

3) 발전소별 발전출력 할당

MEPE의 가스터빈발전기 운전 최소화 정책에 따라서 가스터빈발전기는 가능한 운전하지 않고 수력발전기를 운전하는 방향으로 발전기의 발전력을 할당하였다.

4) 조류계산 분석 CASE 선정

향후 2002년~2006년까지의 확충계획에 대한 전력계통과 2007년의 확충계획에 대한 전력계통 및 보완계획에 대해 기본 CASE를 분류하고 Yeywa 발전소가 계통에 병입되는 2007년도 전력계통에 대해서는 송전전압을 격상하는 방안이 따라서 분석의 조건, 목적과 내용별로 기본 CASE를 분류하고, 정상운전 조건 및 송전선 1회선이 계통에서 탈락한 경우(Single Contingency)에 대해 조류계산 분석을 수행하였으며 전력계통의 수요조건은 최대전력수요 조건만 수행하였다.

5) 고장전류계산 분석 CASE 선정

2007년도 Yeywa 발전소와 Yangon 지역을 500kV로 격상하는 대안 계통들에 대하여 3상단락 고장전류를 계산하였다. 전력계통은 경제급전 방안으로 운전하는 상태이므로 최소한의 가스터빈발전기만 발전하고 수력발전기는 최대한 발전하는 경우이며 송변전설비는 모두 건전한 상태로 연계되는 조건이다. 고장모선의 고장전 모선전압은 1.0pu를 가정하였다.

2.5.2 분석 결과

1) 연도별 전력수급 체계

연도별 미안마의 예상 전력수급 현황은 표4와 같으며 수력발전기의 설비용량이 최대 전력수요보다 많지는 연도는 2007년부터이므로 수치상으로 이때까지는 가스터빈 발전기를 일부 운전해야 한다.

표4. 연도별 발전설비 용량과 최대전력수요[MW]

	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
수력	327.0	337.0	572.0	712.0	1092.1	1092.1	1872.1
가스·기력	657.6	706.3	826.3	814.3	814.3	814.3	934.3
설비용량계	984.6	1063.3	1398.3	1526.3	1906.4	1906.4	2806.4
최대수요	961.2	1038.0	1121.0	1210.4	1307.0	1411.2	1523.6

또한 전력계통 규모에 비하여 단위 발전소의 용량이 크고 단위기의 용량도 크게 계획되어 있으나 전력을 대용량으로 송수하는 송전선이 대부분 1회선으로 계획되어 있어 이러한 송전선이 계통에서 탈락할 경우에 전력계통의 안정성과 신뢰도에 상당한 피해가 예상되므로 230kV 송전계통을 비롯하여 132kV 송전계통의 계획을 조정 보완할 필요가 있다.

2) CASE별 결과 요약

수력발전기의 출력이 설비용량의 80%~97% 정도까지 되는 조류계산 결과는 발전기의 보수 등을 고려하면 현실적이지 못하다. 따라서 가스터빈발전기 운전을 최소화하면 년도도와 같이 상당량의 제한송전이 불가피할 것으로 예측된다. 한편 전력계통의 전압유지와 기술적인 송변전 손실 등을 줄이기 위하여 2007년 이후에도 일부 가스터빈과 기력 발전기를 운전해야 한다.

가스터빈 발전기의 운전을 최소화하면 송변전 손실이

많아지고 무효전력 보상설비의 용량도 증가함을 보였으며, 각 연도마다 전력수요가 증가함에 따라서 일부 변압기와 송전선의 과부하 현상이 발생되었다. Yeywa 발전소를 비롯한 북방의 대단위 수력발전소의 전력을 Yangon 지역까지 송전하는 방안으로 현재의 230kV 전압 대신에 500kV로 전압을 격상하는 방안이 전력계통의 신뢰성 측면과 경제급전 측면에서 유리한 것으로 나타났다.

또한 참고자료에 의하면 1회선 송전계통에서 사고 확률이 70% 이상인 1선 지락 사고 시 건전상을 통해서 수송할 수 있는 전력은 사고 전 수송전력의 54% 정도가 된다. 따라서 전력공급의 안정성과 신뢰도 향상을 위하여 재폐로 보호방식을 채택하는 방안이 적절한 것으로 판단된다.

3) 변전소별 Shunt Condenser 혹은 Reactor 소요 용량

기본 CASE의 정상운전 조건에서 조류계산이 가능해지고 각 변전소 모선의 전압이 적절한 수준으로 유지될 수 있도록 무효전력 보상장치를 시행착오 방법으로 각 변전소 모선에 투입하면서 보상장치의 종류 및 용량을 확인하였다. 일부 변전소의 경우에는 특정 연도에 Shunt Condenser가 필요하고 또 다른 특정 연도에는 최대 전력수요 조건에서도 Shunt Reactor가 필요한 것으로 나타났다.

4) 기본 CASE의 Single Contingency 검토 결과

검토결과 일부 송전선이 개방되는 조건에서는 조류계산이 수행되지 않아서 결과를 확인할 수 없었다. 이러한 결과는 전력계통의 전압이 붕괴되어 전체 전력계통이 정전되거나 전력계통이 몇 개로 분리되는 현상으로 나타날 것이다. 특히 송전전압을 격상하지 않는 2007년 계통 망과 발전조건에서는 대부분의 230kV 송전선에서 이러한 현상을 발견하였다. 따라서 신뢰성 높은 전력계통을 구성하기 위해서는 송전전압을 격상할 필요가 있음을 확인하였다.

5) 송전전압 격상시의 기존 설비 단락전류 정격의 적정성

2007년도 계통에서 500kV로 송전전압을 격상하는 방안에 대하여 3상 단락 고장전류를 계산한 결과 현재 설치된 전력설비의 단락전류 정격은 고장전류에 비하여 높기 때문에 송전전압을 격상하여도 기존 설비는 계속하여 사용 가능하다.

3. 결 론

본 사업을 통하여 수집한 미안마 정부의 전력망 데이터 및 장기 확충계획에 대한 자료는 향후 국내업체의 미안마 전력분야 진출에 좋은 자료로 활용 가능할 것으로 판단된다. 또한 향후 미안마에서의 전력망 확충 및 분석에는 본 사업에서 제공된 프로그램이 활용될 것이므로 한전과의 지속적인 기술교류는 필수적이며 변경되는 미안마 전력망의 추이를 용이하게 추적할 수 있다. 특히 본 사업을 통해 구축된 인맥과 한국의 높은 기술력을 이용하여 후속사업 수주 및 관련 기자재 시장 진출에 절대적으로 유리한 고지를 선점할 것으로 판단된다.

해외사업은 국내사업의 성공적 추진으로 얻어진 과실을 따먹는 것으로서, 765kV 격상사업 수행으로 확보한 국제경쟁력을 이용하여 향후 국내전력시장의 성장단계에 따른 적극적인 해외수요 창출 및 시장개척이 필요하며 이를 위해 산·학·연이 힘을 합쳐야 할 때이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국국제협력단, "미안마 전력망 진단사업 사전타당성조사 결과보고서", 2000.11
- [2] 한국국제협력단, 한국전력공사, "미안마 전력망 진단 개발조사사업", 최종보고서, 2002.10