

Global Report

서아프리카 신재생 에너지 계획 및 전망

[요약]

1. 도입
2. 방법론 개요
3. 시나리오의 가정
4. 모델링 결과
5. 결론

1. 요약

다른 많은 국가들과 마찬가지로 서아프리카 역시 2015년 파리 협약에 따라 기후변화에 미치는 영향을 줄이기 위해 탄소소비를 줄이는 에너지 정책을 재구성하는 것이 시급한 상황이다. 유엔이 채택한 지속 가능한 개발 목표는 신재생 에너지를 중심으로 한 새로운 에너지 시스템으로의 전환을 요구하고 있다. 이에 2013년 IRENA(International Renewable Energy Agency)는 서아프리카 경제공동체 (ECOWAS)의 대륙 국가들의 신재생 에너지 전망에 대한 첫 번째 평가를 수행했다.

2011년 서아프리카 전력 풀 (WAPP, West African Power Pool) 마스터 플랜 및 ECOWAS 신재생 에너지 정책 (EREP)에 따르면 2020년 전체 발전량 중 신재생 에너지 점유율은 23%까지, 2030년에는 31%까지 확대할 계획이다.

IRENA 자체 전력 부문 계획 모델은 2013년 서아프리카 전력 Pool 보고서에서 서아프리카 국가의 "신재생 에너지 확대 시나리오"를 개발하는 데 사용되었으며, 이 시나리오는 신재생에너지 기술을 향상시키는 데 기여하였으며, 이 지역에서의 점유율을 2010년 22%에서 2030년 52%로 증가할 수 있음을 보여주었다. 그 이후에도 서아프리카의 에너지 환경은 역동적으로 변화하였는데, 여기에는 많은 재생에너지를 활용하고 접근성을 높여 급성장하는 수요를 충족시키고자하는 정책과 국가 및 지역차원에서의 노력이 있었다.

이 보고서에서는 신재생 에너지의 전망과 최근의 세계와 지역 상황을 잘 반영할 수 있도록 개발된 1) 기준 시나리오(Reference Scenario), 2)지역 신재생 에너지 정책 목표 시나리오(Regional EREP Target scenario), 3) 국가적 목표 시나리오(National Targets scenario)의 3가지 시나리오가 적용되었다.

기준 시나리오는 다양한 가정을 토대로 기술 확산의 핵심 요인인 비용경쟁력을 토대로 국가 또는 지역의 목표와 상관없는 신재생에너지의 확산에 대해 설명한다. 이 시나리오는 해당 분석의 2013 버전에서의 신재생 에너지 촉진 시나리오를 기반으로 하며, 국가적 전문가, IRENA의 최신 연구, 특히 자원 이용 가능성과 신재생 에너지 기술의 비용에 관한 정보를 보완하였다.

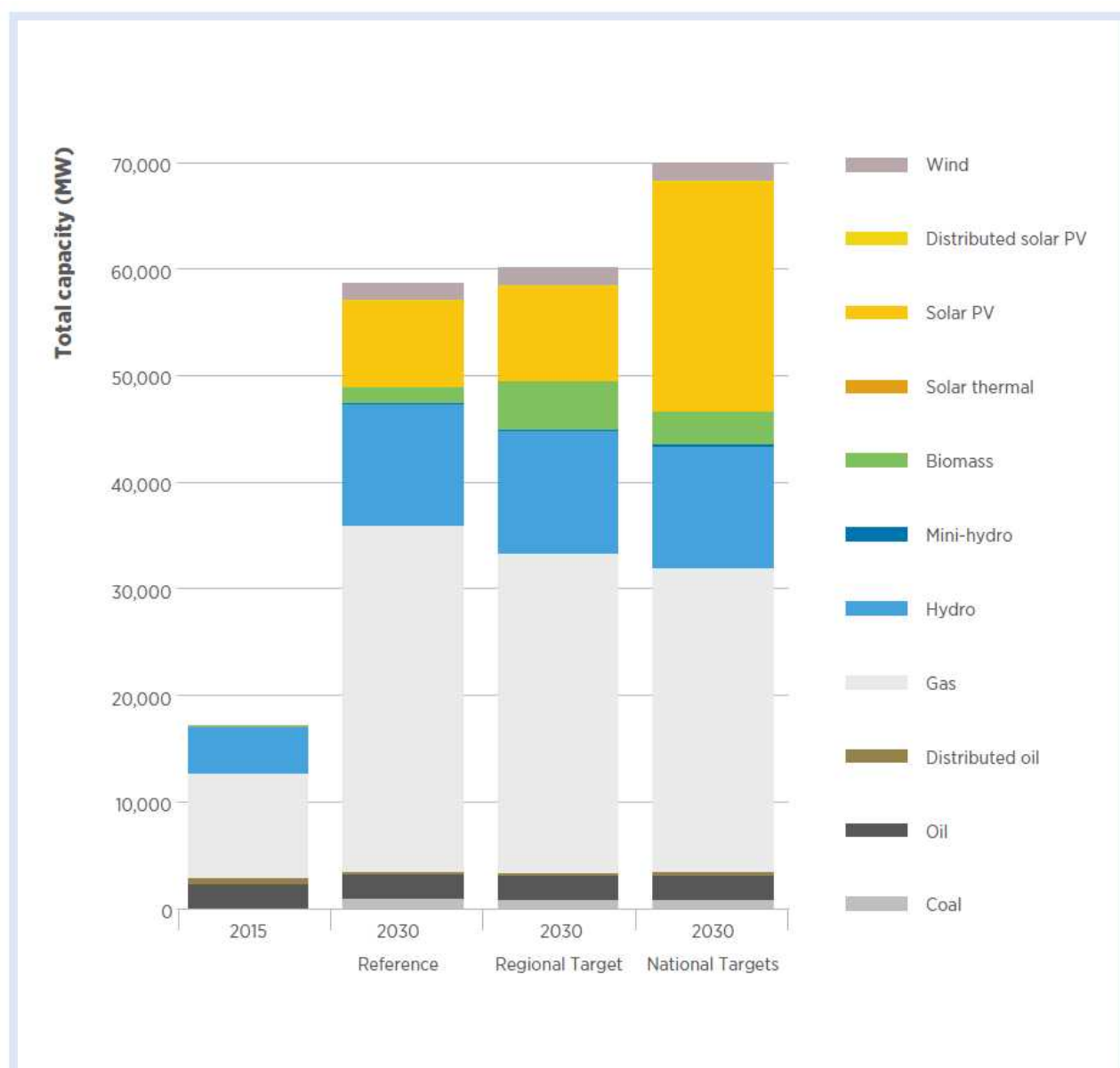
지역 신재생에너지 목표 시나리오는 설정된 목표에 따라 기준 시나리오가 어떻게 변하는지 설명하는 한편, 국가 목표 시나리오는 국가 전문가 및 지속가능한 에너지 실행 계획(SEforAll, Sustainable Energy for all) 문서에 근거하여 국가적 신재생 에너지 목표를 포함한다.

이 보고서는 세가지 시나리오에 IRENA의 SPLAT-W 모델을 사용하여 다음의 결론을 도출하였다.

- IRENA의 2013년 분석에 비해 지역 수요가 4배 증가하고 수력발전의 잠재력이 제한적임에도 본 보고서 기준 시나리오에서의 신재생 전력 비중은 EREP 용량 목표를 초과하여 2030년까지 최고 부하의 65%에 도달할 것이다.
- 기준시나리오의 신재생 전력 용량의 도입은 예상치보다 상회하지만, 동일한 시나리오에서 재생 가능 전력생산이 EREP 목표인 31%보다 6% 낮게 나타나, 다양한 단위를 적용하여 설정한 신재생에너지 목표설정의 복잡성이 나타나고 있다.
- 국가 신재생 목표는 기준 및 지역 목표 시나리오에 비해 훨씬 더 많은 신재생 목표를 제시하고 있고, 이 목표치는 예상보다 5년 빨리 31%의 지역 신재생 발전용량 확보 목표를 넘어서서 2030년까지 신재생 에너지의 38%에 이를 것이다.
- 태양광과 풍력의 비용감소는 모든 시나리오에서 비수력 신재생에너지의 성장을 주도하고 있고, 국가 목표 시나리오에서는 2020년 중후반에는 태양광, 풍력, 바이오매스가 전체 지역 발전량의 23%를 차지할 것이다.

- 분석된 시나리오에 따르면 ECOWAS 지역의 태양광 발전량은 2030년까지 8GW(기가와트)에서 20GW를 넘을 것이며, 이는 국가 목표 시나리오에서 연평균 1.5GW 용량의 추가 도입에 해당한다.
- ECOWAS 회원국의 대다수에서 전력 공급방식 조합의 다양성(그에 다른 회복탄력성)은 다양한 신재생 자원을 추가함에 따라 증가한다.
- 대부분의 국경 송전 인프라 프로젝트의 개발은 모든 시나리오에서 유익한 것으로 나타났다.
- 국가 신재생 목표 달성을 위해 필요한 투자 비용의 상승은 화석 연료 발전의 연료 비용의 절감으로 거의 동등하게 상쇄된다.

그림 1) 각 시나리오별 전력 용량



- 풍력 2,000MW 이하, 분산발전태양광 약4,000MW, 바이오메스 약5,000MW
- 수력 약12,000MW (소수력 포함), 가스발전 30,000MW, 디젤/석탄 발전소 약3,000MW
- 추가 데이터는 원본참조 (2015년 현황, 2030년 국가목표)

이 리포트의 시나리오에는 2015년과 2016년 IRENA의 건설 역량 분과의 많은 국가적 전문가들의 식견

과 본 보고서의 동일 리포트의 2013년 에디션에 적용된 가정들에 대한 중요한 수정내용이 적용된 현재 시장현황 등을 반영하고 있는데 이는 대형수력발전소의 잠재성의 한계와 중앙아프리카의 수입옵션 누락, 더 낮은 화석연료 가격 예측, 의미 있을 정도의 신재생 에너지 비용 감소도 포함되어 있다. (중략)

본 보고서의 분석 결과는 국가 신재생 에너지 목표가 현재 지역의 목표를 초과한다는 사실이고, 이는 향후 정기적인 데이터 기반으로 목표를 업데이트하는 과정이 필요함을 의미한다. 이러한 프로세스는 이해관계자 간의 합의를 도출하고 파리협정에 따라 정기적으로 업데이트되는 국가별 기여도(NDC, Nationally Determined Contributions)에 반영함으로써 전체 기후목표와 에너지 계획을 조율하는 역할을 할 수 있을 것이다. 이 분석에서 밝혀진 바와 같이, 국가 에너지 계획과 NDC가 지역차원의 목표보다 높은 수준이라면, ECOWAS 신재생 에너지 계획에도 이러한 목표가 반영되어야 할 것이다.

1. 도입

1.1 배경

IRENA (The International Renewable Energy Agency) 는 멤버들의 친환경적이고 최대한 활용 가능하며, 화석연료가 없는 신재생 기술 기반의 에너지 시스템 이행 계획을 돕고자 한다. 이 목표는 특별히 지속가능한 각 지역의 신재생 에너지 잠재력과 인구 증가를 위한 에너지, 저렴하고 안전한 에너지와 연계되어 있다.

2011년 IRENA 의 시나리오와 전략은 아프리카의 신재생 에너지의 촉진과 가속을 위해서였다. 그 분석에 따라 서부아프리카 경제 공동체 국가들(ECOWAS)의 더 집중 가능한 신재생에너지의 전망을 'IRENA 2013년 서부아프리카 전력Pool' 라는 보고서로 수행된바 있다. 이 보고서에서 IRENA 는 서부아프리카 국가들을 위한 자체전력 섹터 계획 수립 모델을 평가한 적이 있는데 이 모델은 System Planning Test model for Western Africa (SPLAT-W, or SPLAT for short) 라고 불리웠다. 이 테스트 모델은 분석가들이 다양한 시스템 동작 요구환경을 파악하기 위해 전력시스템을 탐색하여 개발이 가능하게 해준다. (신뢰성, 안정적인 성장, 전력수요의 변동성, 투자 및 운영비용 등 포함) 이 SPLAT-W 모델은 WAPP (West African Power Pool) 시스템의 데이터베이스와 기존 발전소들, 국제송전망 그리고 미래기술옵션 등을 기반으로 구축되어있다.

첫 번째 버전의 SPLAT-W 모델은 2014년 아프리카 전력풀 리포트에서 사용되었고, 2011/12 WAPP 마스터 플랜으로 선정되어 시스템 데이터베이스 구축의 시발점이 되었다. 이 모델은 점점 더 정교한 시나리오를 개발하는데 사용되어 졌는데 이는 신재생 기술들의 잠재력을 EXOWAS 멤버국가들이 탐구하여 신재생발전의 글로벌 원가절감 트렌드의 혜택을 얻을 수 있도록 하기 위함이었다.

2013년 서부아프리카 전력풀 보고서에 따르면 2010년 발전량의 22%에 달하는 신재생 기술의 잠재성은 2030년에는 52%까지 증가할 수 있다.

2013년 7월 ECOWAS 회장은 서부 아프리카의 신재생 에너지 정책 (EREP) 의 목표를 2020년 23% 그리고 2030년 31% 로 증가시켜 지속가능한 에너지를 공급하겠다는 약속을 표명하였다.

각 지역별 목표를 달성하기 위해 멤버국가들은 NREAP에 (National Renewable Energy Action Plan-신재생에너지 계획) 개발을 수행하여야만 한다. NREAP 는 미래 에너지 믹스(번역주: Risk 관리와 효율성을 위해 다양한 발전원을 섞는 것)의 시스템적 평가를 토대로 하고 있는데, 이를 위해 IRENA의 SPLAT-W 같은 Tool 사용이 필요할 것이다.

해당국가의 에너지 역량을 강화하고자 하는 ECOWAS 멤버를 돕는 목적에 따라 특별히 EREP 산하의 NREAP에서, IRENA에서, 그리고 신재생 효율화(ECREEE)를 위한 EXOWAS 센타에서 NREAP 준비 템플릿의 개발과 SPLAT-W 모델을 보완하도록 도와줄 것이다.

2015년 12월 그리고 2016년 1월에 다카르에서 심도 있는 SLAPT-W 교육이 2회 열렸다.

세네갈에서는 6개월 일정으로 IRENA, ECREEE 와 IAEA(International Atomic Energy Agency) 그리고 UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change) 주관하는 개발프로그램 행사가 있었는데 세션이 열리는 동안 에너지부, 전력회사, 에너지 스페셜리스트 등 전문가로 구성된 10개국 ECOWAS 멤버국가 팀들이 신재생 에너지의 최적의 원가를 통합/탐색하는 시나리오를 개발하였다.

IRENA 교육 프로그램을 통해 수집된 새로운 입력데이터와 개선된 통합 SPLAT-W 시나리오는 각 ECOWAS 멤버들에게 중요한 데이터를 제공하고 지역 조화를 강화시킨다. 이는 2013년 EPER에서 채택된 사항으로 SEforALL (모두에게 지속가능한 에너지를) 이라는 계획으로 파리회의에서 결정된바 있다.

2. 방법론 개요

이 보고서에서 사용된 SPLAT-W 모델은 모델링 플랫폼을 사용하여 개발되었는데 이 플랫폼 SW 는 선형과 복합정수의 최적화 기술이 활용된 동적, 상향적(bottom-up) 다년간의 에너지 시스템 모델로서 일반적인 환경 영향 모델(MESSAGE, 각 키워드의 첫 글자를 딴 약자 - 검수자주)로 명명하였다. 이 모델링 플랫폼은 원래 국제응용시스템 분석 연구소(IIASA)에서 개발되었지만 IAEA 가 이를 최근에 더 강화시킨바 있다. 이 모델링 플랫폼은 범용성이 높은 체계(framework)로서 이 플랫폼을 이용해서 실제 모델이 개발된다.

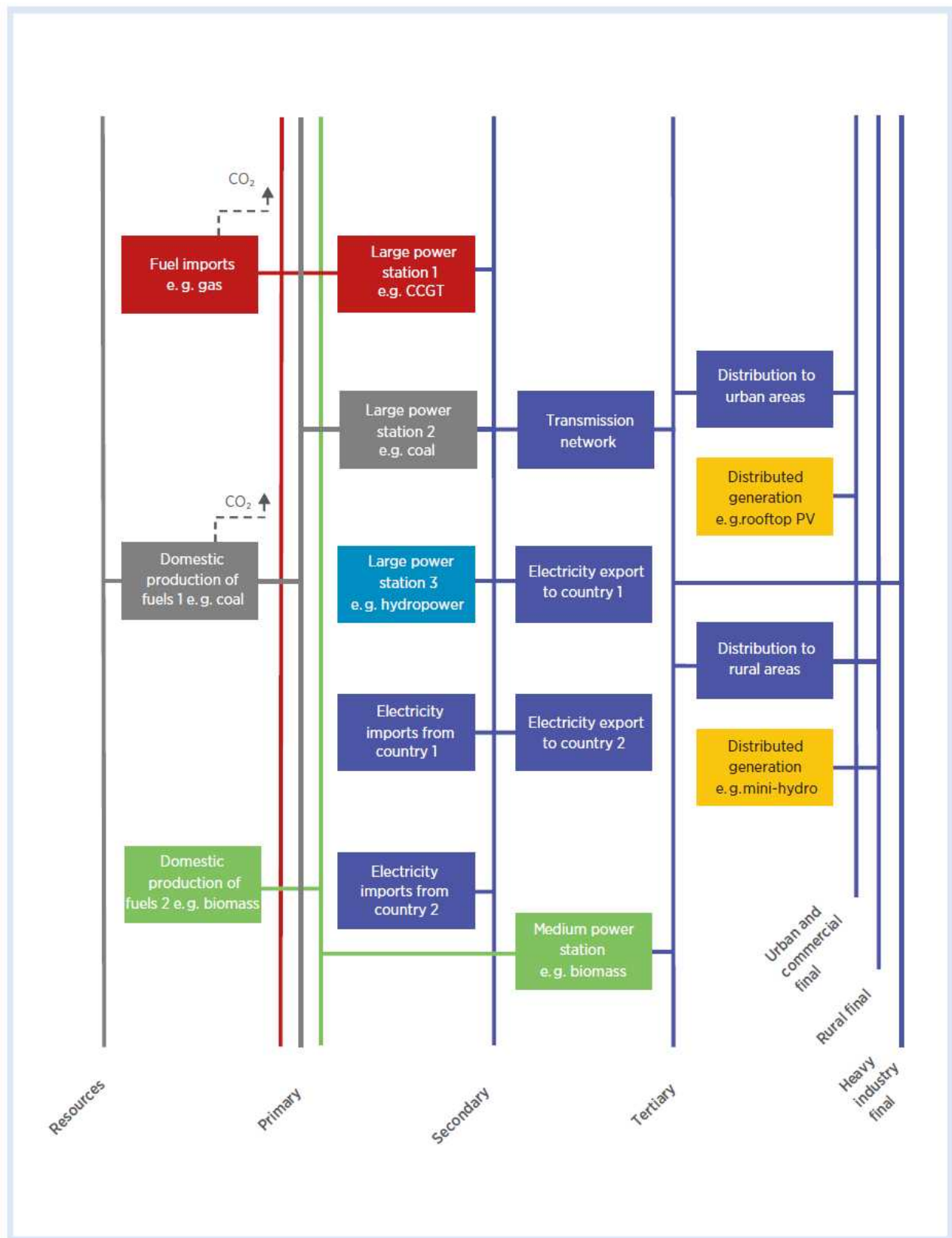
MESSAGE 모델링 플랫폼은 수요예측, 송배전 인프라 데이터베이스, 전원공급기술에 따른 경제성 그리고 기술적인 변수들, 그리고 현재의 금융정보와 잔존수명에 대한 정보를 포함하고 있다. 어떤 지역에 위치해 있는 전력인프라로부터 이 모델은 계산을 하여 가능한 전력기술 Mix를 추정해내는데 이는 계획기간동안 최소 비용이라는 목표를 달성하기 위해서이다. 총 최소 할인 시스템 비용에는 투자비용 운영비용, 유지보수비용, 연료 그리고 어떤 다른 명목의 비용들 등등이 포함되어 있다. 이 최소비용이라는 목표를 달성하면서도 다양한 시스템 요구조건을 충족시키고, (예 : 주어진 시간동안 충분한 자원과 용량을 매칭) 사용자가 규정한 제한조건 등을 만족한다. (전력예비율, 기술전파속도, 배출물 제한, 정책의 목표 등)

위에서 설명한 모델은 사용자의 선호도에 따라 다양한 시나리오로 입력이 가능하다. 이 모델의 해법에는 새로운 기술에 대한 투자, 생산물, 연료 사용과 무역 등이 포함되어 있다. 최소비용에너지 시스템과 연관된 경제 그리고 환경 영향 정도는 이 모델에 의해 수월하게 계산이 가능하다.

위에 설명된 MESSAGE를 사용하여 IAEA는 ECOWAS 지역에서 향후 20년 간 전력시스템 발전에 대한 분석 목적의 모델과 훈련자료를 개발했다. IRENA의 SPLAT-W 모델은 2012-2013 IAEA의 초기작업에서 유래하였으며 계속해서 향상되고 있다. 가장 최근의 이 모델의 주요특징은 다음과 같다.

- 분리된 노드들이 송전망을 통해 각 국가의 모델들이 모두 연결. 각각의 노드는 단일 국가의 전력시스템 개별세팅
- 4가지 종류의 전력수요에 대한 상향식(Bottom-up) 전망 (중공업, 상업용/소상공인, 도시거주, 지방거주), 전력수요에 대한 자세한 내용이 궁금하다면 Section 3.3 참고할 것
- 4가지 전력수요 모델에 따른 각각 다른 레벨의 송전망과 배전망 인프라. 자세한 내용이 궁금하다면 Section 3.4(지역별 송전 및 배전) 참고할 것
- 주어진 전력수요를 만족시키기 위한 최소비용 전력공급 시스템의 계산
- 4가지 타입의 국경선을 넘는 송전망과 발전 옵션 :
 - 기존 용량, 진행 중인 발전 프로젝트, 고려하고 있는 장소가 있는 발전 프로젝트(후보 건설지역)
 - 구체적인 장소가 없는 발전프로젝트 (섹션3.7 및 3.8 참고)
 - (번역주: 발전소 개발 프로젝트의 역순으로 기재)
- 다양한 신재생 에너지기술이 각 자원의 특성에 기초한 “확실한” 용량수준을 가진 다양한 재생기술임에도 불구하고 10% 전력예비율을 확보하는 공급 신뢰성 (섹션 3.9 시스템과 각 유닛운영과 연관된 제약 참조)
- 가장 최신의 IRENA 비용 및 자원평가 자료 및 자료비용곡선을 기반으로 한 용량 factor 데이터와 최신의 기술비용을 반영한 의미 있는 확장과 정제된 신재생 에너지 공급 옵션, 섹션 3.5 (신재생 잠재력) 3.7 (발전 옵션) 참고

그림 2 : 국가 전력 부문 모델 구조 (Resource-Primary-Secondary-Tertiary-Heavy Industry)



3. 시나리오의 추정

3.1 일반적인 시나리오 정의

업데이트된 이번 보고서에서는 3가지 메인 시나리오가 개발되었다.

- 기준 시나리오
- 지역별 EREP 목표 시나리오

• 국가 목표 시나리오

위에 대해서는 아래 섹션에서 차례로 설명하겠다.

위 시나리오 중 2개의 “목표” 시나리오는 SPLAT-W 모델의 용량 확장의 최적화를 위해 설정된 목표가 2020년까지와 2030년까지 총 발전량을 기준하여 최소 비율의 신재생 에너지 비율을 충족시키는 시나리오이다.

지역별 EREP 시나리오는 전반적인 레벨에서 시행된다. 신재생에너지 발전용량의 경우 모든 지역별로 할당하여 도입하는 경우로 국가의 경우 최소 규정치는 없다.

국가 목표 시나리오의 경우에는 목표가 설정이 되어 국가레벨에서만 각 국가가 최소 규정을 달성해야 한다. 국경을 넘는 무역은 기존 전력망과 계획된 송전망 프로젝트 등에 따라 동등하게 다뤄질 것이다 (번역주: 한국과 다르게 유럽이나 아프리카 국가들은 전력망이 연결되어 있어 전기도 수출입하고 있음)

기준 시나리오는 국가목표나 지역목표가 없는 경우 실제로 개발 중인 신재생 프로젝트들을 기본으로 저렴한 신재생에너지를 도입해 나가기 위함이다.

(번역주 : 개발 중인 신재생 프로젝트를 pipeline 으로 부른다)

1장 에서 설명한대로 전문 국영팀의 투입과 IRENA 자체 리서치가 반영되어 업데이트 된 이 보고서의 2013 버전의 Renewable Promotion 시나리오에 기초하여 이러한 기준 시나리오가 작성되었다.

최신 신재생 자원에 대해 업데이트 하는 것 이외에 가장 중요한 수정사항은 아래와 같다.

전력수요 전망 업데이트, Non-site-specific 수력발전자원 잠재성 개발옵션의 삭제 (IRENA 앞선 연구 결과에 따라 나이지리아에 개발된 7GW 대형수력발전 포함), 중앙아프리카의 전력수입 잠재력 배제, 그리고 화석연료 가격의 하향추세 전망. 이 시나리오는 신재생 단가를 빠르게 감소시킬 수 있는 정책 및 시장 발전상황이 반영된 우호적인 기관 환경이 조성된다는 가정하에서의 시나리오이다.

표 1 : EREP 송전망 연결형 신재생 에너지 목표

	2010	2020	2030
설치 목표 MW		2,425	7,606
Peak 전력 예측 ECOWAS MW		25,128	39,131
EREP 목표 Peak 전력 비중	0%	10%	19%
중/대형 수력 도입 MW		6,370	11,177
EREP 목표 Peak 전력 비중 (중대형 수력포함)	32%	35%	48%
발전량 목표 GWh		8,350	29,229
부하 예측 ECOWAS GWh		155,841	243,901
EREP 목표 발전량 비중	0%	5%	12%
중/대형 수력 도입 GWh		27,493	46,380
EREP 목표 발전량 (중대형 수력 포함)	26%	23%	31%

Note : GWh = gigawatt hour(시간당 발전량의 단위), MW = megawatt (설치용량의 단위)

Source: ECREEE (2013) ECOWAS Renewable Energy Policy,
www.ecreee.org/page/ecowas-renewable-energy-policy-erep.

지역별 EREP 목표 시나리오는 기준 시나리오의 지역에 최소한의 최소 목표를 부가하는 것이다. 이는 표 1을 참고할 것. EREP의 목표는 전력망 연결형 신재생 에너지의 비중을 높이는 것이다. 신재생에너지가 전력망 연결이 되어야 전체 에너지 Mix 가 다양해지는데 2020년 35%, 2030년 48%목표에는 2020년 25%, 2030년 29%의 중대형 수력발전이 포함되어 있다.

지역별 목표 시나리오와는 다르게 국가 목표 시나리오는 국가별 최소 신재생에너지 비중 목표를 설정함에 있다. 이는 IRENA의 2015-2016 지역별 SPLAT-W training 워크샵에 참석한 각국의 전문가들에 의한 입력 데이터 기준으로 설정되었다.

표 2 : 국가별 송전망 연결형 신재생 에너지 목표

Country	National target constraint	2020	2030	Source
Benin	RE	20 %	44 %	Benin SPLAT-W training team (2015)
Burkina Faso	RE	23 %	50 %	Burkina Faso SPLAT-W training team (2015)
Cabo Verde	RE	50 %	100 %	Cabo Verde SPLAT-W training team (2015)
Côte d'Ivoire	RExH	0 %	16 %	N'Goran (2015)
Gambia	RE	35 %	48 %	Gambia SPLAT-W training team (2015)
Ghana	RExH	10 %	20 %	Tettey (2015)
Guinea	RExH	25 %	30 %	Guinea SPLAT-W training team (2015)
Guinea-Bissau	RE	30 %	50 %	Raul (2015)
Liberia	RE	25 %	30 %	Liberia SPLAT-W training team (2015)
Mali	RExH	0 %	30 %	Touré (2015)
Niger	RE	40 %	57 %	Niger SPLAT-W training team (2015)
Nigeria	RE	20 %	30 %	Adebisi (2015)
Senegal	RExH	20 %	30 %	Niane (2015)
Sierra Leone	RE	30 %	50 %	Sierra Leone SPLAT-W training team (2015)
Togo	RE	17 %	30 %	Togo SPLAT-W training team (2015)

아프리카 국가별 2020년 2030년 전체 발전량 대비 신재생 비율이 목표로 설정되어 있음

3.4 지역 송전망과 배전망

송배전망은 피크전력수요를 해결하기 위해 투자를 필요로 한다. SPLAT-W에서는 피크전력수요를 어느 정도 초과하는 경우 이를 해결하기 위해 송배전망에 투자를 결정한다. 미니그리드 해법은 이번에 고려되지 않았으며, 표 3에 평균 송전망 비용과 손실에 대한 추정치를 기재해 놓았다. 중공업 지역의 경우 비용이 가장 낮고 도시와 상업지역은 보통이고 시골의 경우가 가장 비용이 높다. 각 국가별 송배전 손실은 Appendix D의 표 25에 자세히 기재되어 있다.

3.5 잠재 신재생 자원

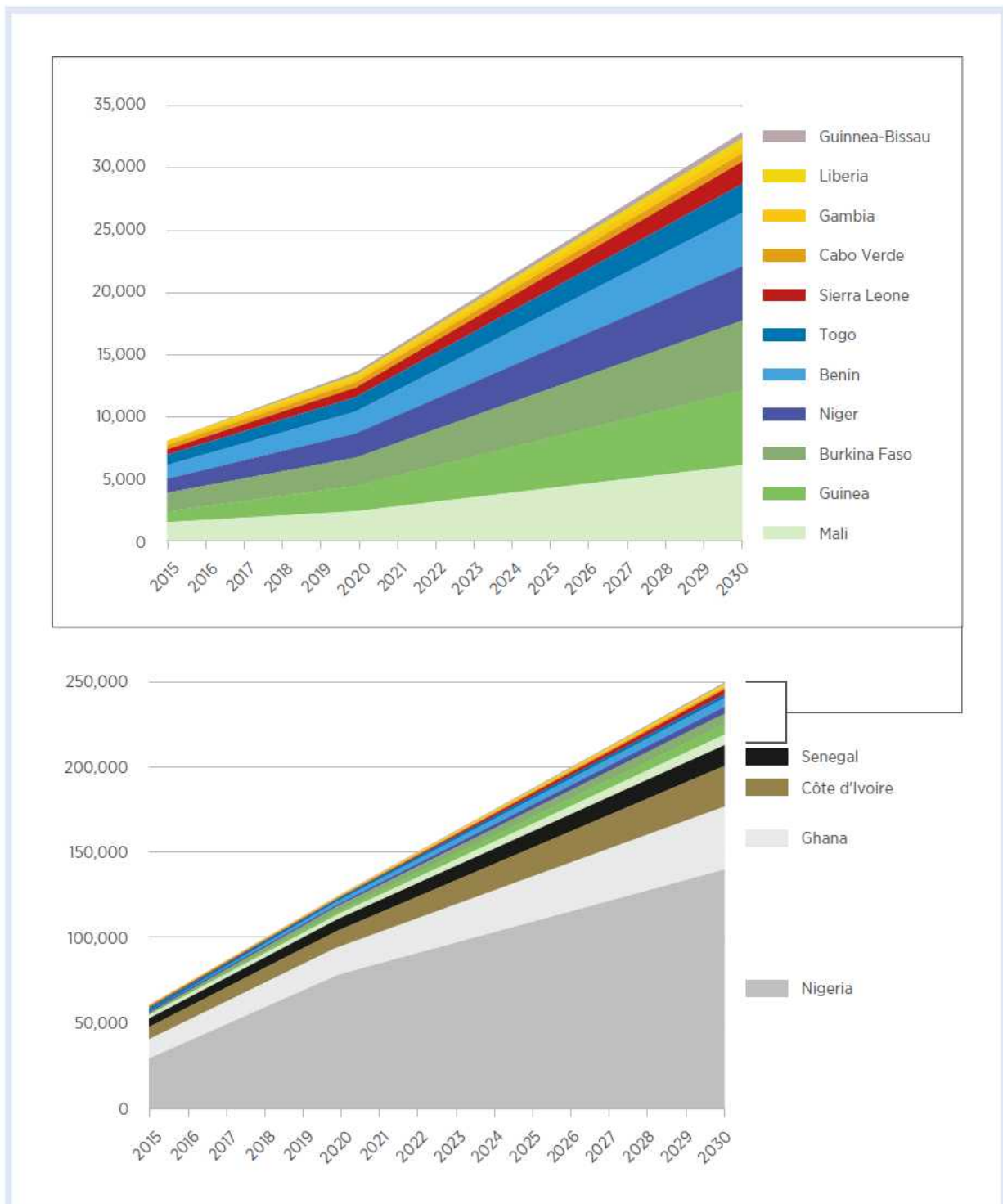
대형 수력발전의 잠재성은 표 4에 요약되어 있으며 대형수력발전소의 자세한 파라미터는 Appendix B의 표 17과 19를 참고하기 바란다. 그 외 표 4 현존하는 수력발전 프로젝트 설치용량 리스트와 표 5에 각 국가별 잠재 신재생 에너지 MW (소수력, 태양열, 태양광, 바이오메스, 풍력)이 기재되어 있으니 참고바람

4. 모델링 결과 : 각 시나리오별 각 국가별 신재생에너지 Trend 참고

5. 결론

지역 시나리오의 경우 2030년에 지역별 전력 수요가 4배가 더 증가했지만 IRENA 2013년 분석과 비교하여 더 낮아진 화석연료 가격전망과 가뭄으로 인한 수력발전 잠재성의 제한으로 인해 본 보고서의 기준 시나리오의 재생에너지원의 비중은 EREP 용량 목표를 넘어 2030년 peak 전력의 65%까지 달할 것으로 추정된다. 국가 시나리오의 경우 참고 시나리오나 지역 시나리오보다 훨씬 많은 신재생에너지 목표를 달성하여 2030년 보다 5년 앞서 31% 목표를 달성하여 2030년에는 38% 달성이 가능하다

표 3 : 아프리카 국가별 secondary 전력수요 예측 그래프 2015-2030(GWh)



기니시바우,라이베리아,감비아,카보,사이레리아,토고,베닌,니제르,부르키나파소,기니아,말리
 (번역주 : secondary electricity demand는 발전소 기준의 전력수요량을 의미함 (실제 전력수요를 계산할때는 송전손실 및 변전 손실이 발생하여 이를 계산에 포함시켜야함))

<원문제목> Planning and prospects for renewable power: WEST AFRICA

<원문출처> https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA_Planning_West_Africa_2018.pdf