「정보시스템연구」 제28권 제1호
한국정보시스템학회
2019년 3월, pp. 133~153
http://dx.doi.org/10.5859/KAIS.2019.28.1.133

오픈 소스 최적화모형을 이용한 지역단위 전력계획*

정 용 주**

〈목 차〉

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 최적화기반의 에너지 모형
2.1 전력계획 모형 기존연구
2.2 OSeMOSYS 개요
Ⅲ. 지역단위 전력계획 모형
3.1 국내 전력계획 주요 데이터
3.2 지역단위 접근법 및 주요 데이터
Ⅳ. 분석결과
Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제
참고문헌
<Abstract>

Ⅰ. 서 론

전력은 국가의 가장 중요한 에너지원으로서 급변하는 에너지 환경과 온실가스 감축 정책 등에 부응하는 국가 전력수급계획의 필요성이 증대되고 있다. 국가 전력수급계획에는 전력의 수요와 공급 측면에 미래의 불확실성이 내재되는 것이 불가피하고 막대한 투자가 수반되므로 체계적이고 합리적인 전력수급계획 방법론의 정립 및 개발이 국내외에서 활발히 진행되고 있다.

전력수급계획은 전력수요의 예측, 발전기 건설, 발전원별 믹스(mix) 등에서부터 발전기별 기동과 발전량 결정에 이르기까지 계획기간에 따라 구분할 수 있는데, 비교적 장기적인 관점에서 발전기의 도입, 발전원별 믹스 등을 결정하는 발전설비확장계획(generation capacity expansion planning: GCEP)과 단기(next day, next week)적으로 발전기별 기동여부 및 발전량을 결정하는 발전기 기동계획(unit commitment planning) 및 급전계획(dispatch planning) 등으로 크게 분류된다.

GCEP와 관련된 기존의 많은 국내 연구들이 단일지역을 대상으로 하여 전력공급계획을 설계하고 있다(한국원자력연구원, 2011; 조성진, 2015; 최봉석 등, 2014). 최근 지역별 차등요금제 논란, 지역별 미세먼지의 차이 등으로 전력수급을 지역단위로 구분하여 지역별 발전설비 및 발전원 분포와 이에 따른 지역별 미세먼지

* 이 논문은 부산외국어대학교 2018년도 교내학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임
** 부산외국어대학교 e비즈니스학과, chungyj@bufs.ac.kr(주저자, 교신저자)

발생량을 분석하는 것이 요구되고 있다(임병인 등, 2016; 현대경제연구원, 2013). 즉, 국가적인 관점에서 전력공급의 효율성도 중요하지만 전력수급에 있어 지역별 불평등에 대한 논란도 고려해야 하기 때문이다. 어떤 지역이 해당지역의 수요에 비하여 훨씬 많은 전력을 생산하고 있다면 이에 따라 그 역의 미세먼지 발생량도 증가하게 되고 전력생산과 관련된 불만족도 높을 것이다. 또한 지역별 수요와 생산 사이에 불균형이 존재한다면 생산된 전력을 다른 지역으로 송전하는데 비용이 소요되고 장거리로 전송함에 따른 전송손실도 증가한다.

본 연구는 이러한 점에 착안하여 우리나라를 7개의 지역으로 구분한 지역단위 전력계획 모형을 제시하고 모형의 실행결과를 분석하고자 한다. 이를 위해서는 먼저 전체 수요를 지역별 수요로 분할하고 전력공급 설비도 지역별로 구분한다. 이때 동일 지역내에서의 발전으로 수요를 충족할 경우에는 전송손실이 발생하지 않지만 타지역의 수요를 위하여 송전할 경우에는 송전손실이 발생하여 비용을 줄이기 위해서는 지역간 송전을 최소화하여야 한다. 또한 지역간 전력수급 및 온실가스 배출과 관련된 불평등을 수치로 확인하고 지역단위 전력계획 모형이 장기적으로 이러한 불평들을 해소하는 방향으로 전력공급 계획안을 제시하고 있음을 확인하고자 한다.

2절에서는 본 연구에서 사용하고 있는 전력계획 도구의 접근법과 이와 관련된 기존연구들을 살펴본다. 3절에서는 국내 전력계획을 지역으로 구분하여 분석하고자 할 경우에 필요한 주요 데이터를 제시하고 4절에서는 우리나라를 대상으로 하는 지역단위 전력계획 모형의 실행결과 및 분석결과를 제시한다. 5절에서는 본 연구의 결론과 더불어 추후 진행될 연구과제를 제시한다.

Ⅱ. 최적화 기반의 전력계획 모형

2.1 전력계획 모형 기존연구

GCEP는 “주어진 공급신뢰도의 제약 하에 미래의 전력수요를 최소의 비용을 만족시킬 수 있는 연도별 발전기 공급능력과 발전믹스의 결정”으로 정의된다(K.Rajesh et al., 2015). GCEP를 위한 방법론은 상향식(bottom-up)과 하향식(top-down)으로 구분될 수 있는데, 전력시스템은 상향식 방법론이 주류를 이루고 있다. 상향식 방법론은 GCEP에서 요구되는 다양한 제약조건, 기술(technology) 특성, 전력수요의 변동성 등을 현실에 가깝게 반영할 수 있다는 장점이 있기 때문이다.

GCEP를 위한 상향식 수리모형(mathematical model)에 대한 연구는 그 역사가 비교적 오래 되었고, 모형의 범위, 해법 등에 있어 매우 다양한 종류의 모형들이 존재하는데, 수리모형(또는 해법)을 기준으로 보면 선형계획(linear programming), 비선형계획(non-linear programming) 그리고 동적계획(dynamic programming) 모형 등이 있다.

GCEP 관련 연구는 1970년대 초에 전력시장이 급격하게 팽창하는 과정에서 비용 효율적인 장기 전원구성 계획을 위한 경영과학적 접근법이 대두되었다. 비용 최소화를 목적함수로 갖는 확정적 최적화(deterministic optimization) 모형

을 활용한 초기 연구결과들이 발표되었다 (Peterson, 1973). 또한 이러한 접근법은 MESSAGE, TIMES, OSeMOSYS 등의 범용도구들의 기본적인 기능으로 탑재되고 있으며 이러한 도구들의 사용빈도가 늘어남에 따라 아직도 많은 연구결과들이 발표되고 있다(원자력연구원, 2011; MARKAL/TIMES, 2007; Messner, 1995; Walter et al., 2011).

한편 수요 전망 및 연료 가격 등 장기 전원구성 계획에 활용되는 주요 자료들의 장기 예측 불확실성을 고려하여 비용 효과적·수급 안정적 장기 전력계획을 수립하는 연구들이 진행되고 있다(Jin et al., 2011; Pisiella, 2016). 국내에서도 우선순위 동적계획법(preference-order dynamic programming approach)을 WASP (Wien Automatic System Planning Package)에 적용한 연구(Kim and Ahn, 1993)를 시작으로, 최근까지 장기 전원 구성 계획과 공급 안정성에 관련된 다수의 연구들이 발표되고 있다(이유수 등, 2012)

한편, 전력부문에서의 온실가스 배출량 감축에 대한 관심이 커짐에 따라, 태양광, 풍력 등 신재생 에너지 기술, CCS(carbon capture and storage) 등 온실가스 감축 기술, 신재생 에너지 공급의무화 제도(renewable portfolio standard) 및 온실가스 배출권 거래제(carbon cap and trade system) 등 새로운 정책들의 도입에 따른 장기 전력계획 수립 및 영향 분석에 대한 연구들이 다수 발표되었다. (Choi and Thomas, 2012; Aghaei et al., 2012; Hu and Jewell, 2013).

국내에서도 최근 관련 연구들이 많이 발표되고 있다. 일본 원자력발전소 사고 이후 증가된 원자력 발전의 사후 비용과 사회적 비용에 대한 관심을 바탕으로 원자력 발전의 경제적·사회적 비용을 고려하여 기존의 전력수급기본계획에 대한 새로운 평가와 장기 전원구성에 대한 새로운 방향을 제시한 연구들이 있다(이창훈 등, 2013; 노동석 등, 2013; 최봉석 등, 2014). 또한, 신재생 에너지 공급의무화 제도, 신재생 에너지 기본계획, 탄소 배출권거래제 등 신재생 에너지 및 온실가스 감축 정책 도입에 따른 장기 전원구성 변화 및 전력시장 영향에 대한 연구들이 있다(이상림 등, 2015; Choi et al., 2015). 최근에는 신정부의 탈원전·탈석탄·신재생 에너지 확대 정책에 따른 장기 전력구성 시나리오 수립 및 영향을 분석하는 '탈원전·탈석탄·신재생 에너지 확대 정책에 따른 신규 전원구성의 수급 안정성 평가' 등이 발표되었다(민대기 등, 2017).

2.2 OSeMOSYS 개요

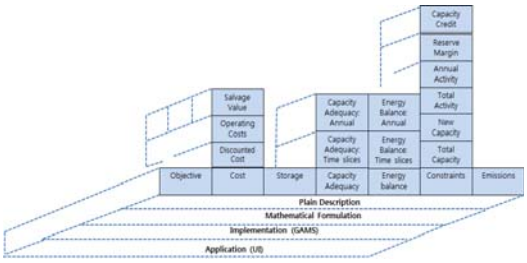
GCEP 상향식모형의 수립, 실행 그리고 결과 도출을 지원하는 도구(S/W) 관점에서 보면 전력시스템에 초점을 둔 전용도구(Walter et al., 2011)와 에너지자원에서 에너지수요에 이르기까지 전반적인 에너지시스템의 설계를 대상으로 하는 범용 모형화 도구(TIMES, MESSAGE, OSeMOSYS 등)로 구분될 수 있다(원자력연구원, 2011; MARKAL/TIMES, 2007; Messner, 1995). 전력시스템 전용도구는 GCEP의 고유 및 도구개발 국가의 특성이 함께 모형에 반영되어 있고 전력시스템에 특화된 조건들을 모형에 직접적으로 반영하고 있어 모형의 수립, 변경 및 확장이 용이한 반면에 범용도구는 지원

하는 기능을 도구 사용자가 활용하여 GCEP을 모형화하기 때문에 전력시스템에 대한 이해와 더불어 도구의 활용 능력이 요구된다. 따라서 전용모형에 비해 범용도구의 모형 인터페이스는 복잡한 편이다.

본 연구에서는 범용도구의 하나인 OSeMOSYS를 사용하여 발전계획을 수립하고자 한다. 많은 범용도구들 중에 OSeMOSYS를 선택한 것은 모형의 자유도가 높기 때문이다. 즉 GUI를 통하여 모형을 만들고 결과를 분석해야 하는 TIMES나 MESSAGE 등의 경우 새로운 변수를 만들어 사용하거나 복잡한 제약식을 입력하기가 어렵기 때문이다.

OSeMOSYS는 2011년에 개발된 선형계획법 기반의 모형 도구로써 분석하고자 하는 목적에 따라 쉽게 변경할 수 있도록 설계되었다. 실제로 많은 연구들이 중장기 에너지 계획모형에 OSeMOSYS를 분석도구로 활용하고 있으며 그 빈도는 점차 증가할 것으로 예상되고 있다 (e.g., Welsch et al., 2014; Eshraghi and Ahadi, 2016; Pinto de Moura et al., 2017).

OSeMOSYS에서는 모형(또는 코드)의 구조를 기능블록(functional block)으로 나누고 각각의 기능 블록들은 그들의 구체성 정도에 따라 4개의 계층(layer)로 구분한다. 블록들 각각은 나름의 제약식 또는 기능으로 명확히 구분되어 있어 관련 의사결정변수 및 입력모수가 연계되며, 각 블록에 대해서는 계층별로 다시 구분되어 그것의 의미 및 기능, 수리적 정식 그리고 코드가 일관되게 연결된 구조를 가지게 된다. 이렇게 함으로써 모형 개발 현 상태의 구조와 문서화를 일목요연하게 파악하게 하여 모형개발에 따른 중복된 노력과 시행착오를 최소화할 수 있다. 추가된 기능은 또 다른 블록으로 더하는 형태를 가지게 된다. (Howells et al., 2011; http://www.osemosys.org/publications1.html)



<그림 1> OSeMOSYS의 기능 블록화 개념

OSeMOSYS는 원래 GNU MathProg 프로그래밍 언어로 작성되었으며 GLPK (GNU Linear Programming Kit)로 사용하여 최적화 문제를 풀고 있다. 본 연구에서는 MathProg와 유사하지만 친숙도가 높은 프로그램 언어인 GAMS(http://www.gams.com)로 변환하였으며 최적화 문제를 풀기 위한 도구로써 보다 효과적인 cplex를 사용하였다(https://www.ibm.com/kr-ko/products/ilog-cplex-optimization-studio).

Ⅲ. 지역단위 전력계획 모형

GCEP 모형은 방대한 양의 집합(sets), 변수(variables)와 제약식(constraints)이 포함되어 상세히 기술하기 어려우며 다음과 같은 선형계획법 최적화 문제로 요약될 수 있다(원자력연구원, 2011).

목적함수	발전소별 투자비, 변동운영비, 고정운영비 등
결정변수	발전원별 신규 설비 발전원별 가동률 예비율 제공 설비
제약식	기본 에너지 균형식 (balance equations) 국가 전력 수급 정책 및 제약 - 신재생공급의무화(RPS; Renewable Portfolio Standard) 제약 - 온실가스 배출 제약 - 전력 공급 예비율(reserve) 제약 - 발전원 별 설비 계획(예, 탈원전 정책 등) 등
패러미터	발전원별 비용 발전원별 수명 Time Slice 구분 전력공급 예비율 연도별 수요 및 피크수요 등

전력계획 모형과 관련된 국내외 연구들은 일반적으로 전국을 단일지역으로 하여 발전계획과 송배전 설비계획을 순차적으로 수립하고 있다. 즉, 발전계획으로 연도별 신규발전 설비 계획을 수립하고 이 계획을 바탕으로 송배전 계획을 수립하게 된다. 그러나 발전설비와 송배전 설비는 하나의 망으로 연결되어 상호 보완적 영향을 주기 때문에 수급계획 시 두 설비를 동시에 수립하는 접근법이 필요하다. 본 연구에서의 지역단위 전력계획 모형은 전국단위 전력수요 뿐만아니라 지역별 전력수요 및 지역간 송전망 구성을 고려하여 전력설비 계획을 수립하고자 한다.

3.1 국내 전력계획 주요 데이터

먼저 본 연구에서 구분한 전력생산을 위한 기술 및 저장장치는 아래 표와 같다. 표에서 집합 RENEWAL, INTERM, SR, QR 각각은 TECHNOLOGY 집합의 부분집합으로, 신재생에너지로 구분되는 발전원, 최소운용 조건이 요구되는 발전원, Spinning Reserve(SR) 또는 Quick Start Reserve(QSR) 용도로 사용될 수 있는 발전원 등을 나타낸다.

본 연구에서 사용하는 데이터의 대부분은 전력거래소에서 관리하는 전력 빅 데이터 포탈인 전력통계정보시스템(epsis.kpx.or.kr)으로부터 구한 것이다.

본 연구의 GCEP 모형에서는 일 년을 복수개의 타임슬라이스(time slice; TS)라 부르는 하위 시간대로 구분하여 전력수요의 시간대별 변동성을 모형에 반영하고 있다. 본 연구에서는 적정한 문제 규모를 유지하면서도 시간에 따른 전력수요 및 발전형태의 변동성을 효과적으로 반영할 수 있도록 48개의 TS를 설정하였다. 즉, 1년을 봄, 여름, 가을, 겨울 등 네 가지 계절로 구분하고, 각 계절을 주중(WD)과 주말(WE)로 다시 나누며, 주중과 주말 각각을 6개의 시간대역으로 세분하여, 8760시간으로 이루어진 1년을 총 48개(4 seasons × 2 (WE/WD) × 6개 시간대 = 48)의 TS로 구분한다. 한편, 집합 FUEL은 전력생산을 위해 사용되는 에너지원(또는

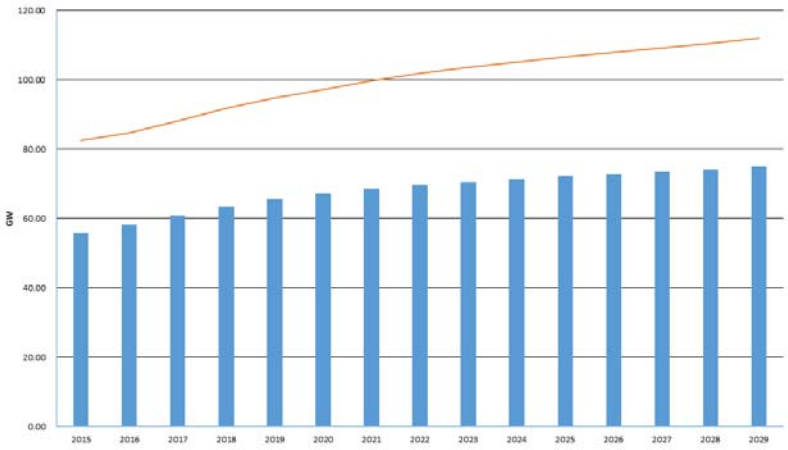
<표 1> 전력계획 모형에서의 기술 및 저장장치 구분

구분	발전원	이름	RENEWAL	INTERM	SR	QR	비고
TECHNOLOGY	원자력	Nuclear					
	기력	LNG-steam			O	O	
		Oil-steam		O	O	O	
		Coal-steam		O	O		무연탄
		HCoal-steam		O	O		유연탄
	복합화력	Oil-CC1		O	O	O	
		LNG-CC			O	O	
		Coal-CC					
	열병합	LNG-Co					
		Oil-Co					
		Coal-Co					
	내연	Oil-CC2		O			
	수력	Dam-Hydro	O				댐수력
		River-Hydro	O				소수력
	신재생	Solar	O				
		Wind	O				
		OceanE	O				해양에너지
		WasteE	O				
		ByProductGas	O				부생가스
		IGCC	O				
STORAGE		PUMP					양수발전
		ESS					

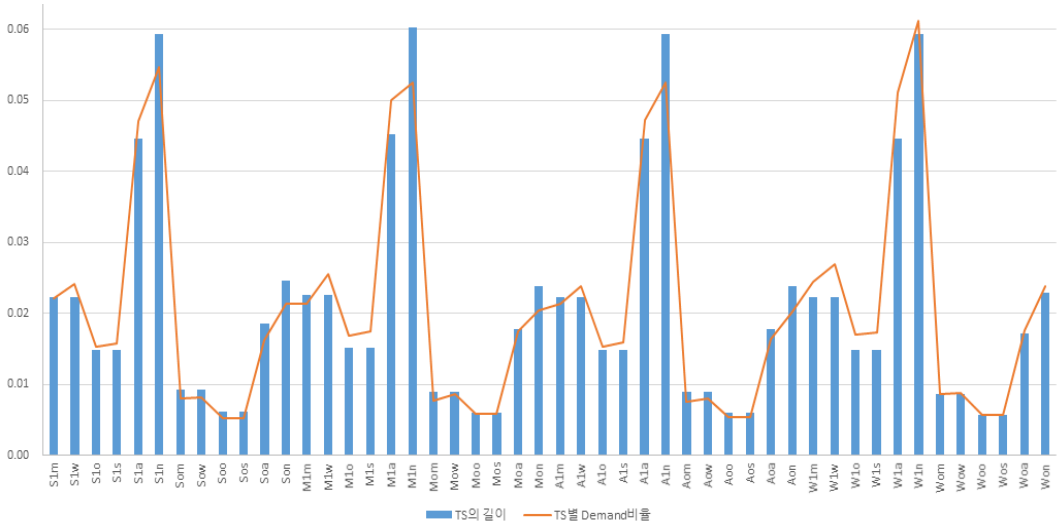
연료)으로서, 여기에는 유연탄, 무연탄, 오일, LNG, 전기, 디젤, 우라늄이 포함된다.

GCEP모형에서 추가적으로 요구되는 입력자료는 수요, 발전과 저장장치 특성, 투자비용, 운용 조건 및 비용, 배출가스 등으로 크게 구분될 수 있다. 전력수요와 관련된 파라메타로는 연간 평균 전력사용량(MWh)과 피크전력수요(peak electricity demand, MW) 등 두 가지가 있다. 일반적으로 평균전력사용량은 발전설비의 용량과 발전량과 모두에 그리고 피크전력수요는 발전설비의 용량과 발전량과 모두에 그리고 피크전력수요는 발전설비의 용량결정에 영향을 미친다. 특히, 설비에 대한 계획예비력(planning reserve)에 관한 제약식이 모형에 포함되는 경우 피크전력수요는 발전설비의 용량결정에 절대적인 영향을 미치게 된다. <그림 2>은 7차 전력수급계획에 주어진 평균전력수요와 피크수요를 보여준다. 평균전력수요는 TS별로 피크전력수요는 연도별로 정의된다. <그림 3>에서는 TS별 (시간)길이와 (평균)전력수요의 비율을 보여주고 있다. 특정 TS에서의 전력수요비율이 TS의 길이 보다 큰 경우는 해당 TS의 전력수요가 그렇지 않은 경우에 비해 높음을 의미한다.

기술(technology)에 대해서는 용량 및 운용 특성, 비용 그리고 용량증설 제약 등과 관련된 파라메타가 있다. 특성 파라메타로는 수명(operation life), 계획정지율(planned outage), 비계획정지율(forced outage), 이용률(capacity factor), 용량크레딧(capacity credit) 등이 있는



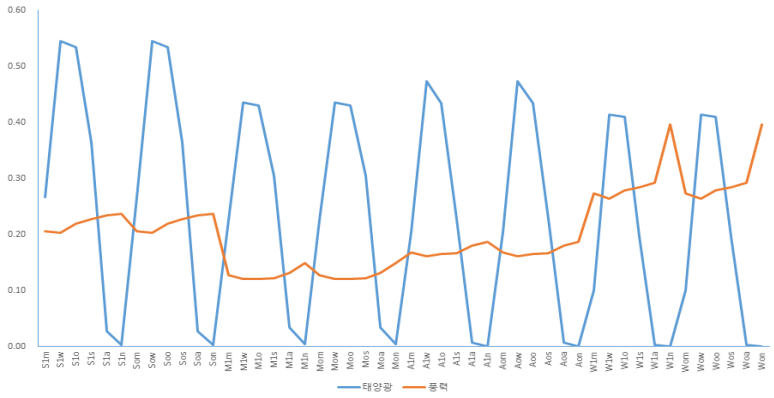
<그림 2> 평균전력수요와 피크수요(2015-2029)



<그림 3> TS별 길이와 전력수요

데, 태양광이나 풍력과 같은 신재생에너지의 이용률과 용량크레딧 파라메타는 GCEP에서 신재생에너지의 포지션을 결정하는데 매우 중요하기 때문에 매우 신중하게 결정되어야 한다. <그림 4>는 2010-2015년 6년간 태양광과 풍력의 시간대별 용량 및 발전량 자료를 이용해 구한 TS별로 태양광과 풍력의 이용률을 보여준다.

한편, 지면관계상 소개하지는 않지만 계획년도 이전에 이미 가동 중이거나 또는 계획년도 이후라도 증설 및 철거가 이미 확정된 상황을 고려하여 기술별 연도별 잔여용량에 대한 정보, 전력 한 단위 생산을 위해 투입되는 연료의 양에 대한 정보 등을 필요로 한다. 발전원별 투자비용(capital cost), 변동비용(variable cost), 고정비용(fixed cost) 등의 기술별 비용정보도 확



<그림 4> TS별 태양광과 풍력의 이용률

보되어야 한다.

3.2 지역단위 접근법 및 주요 데이터

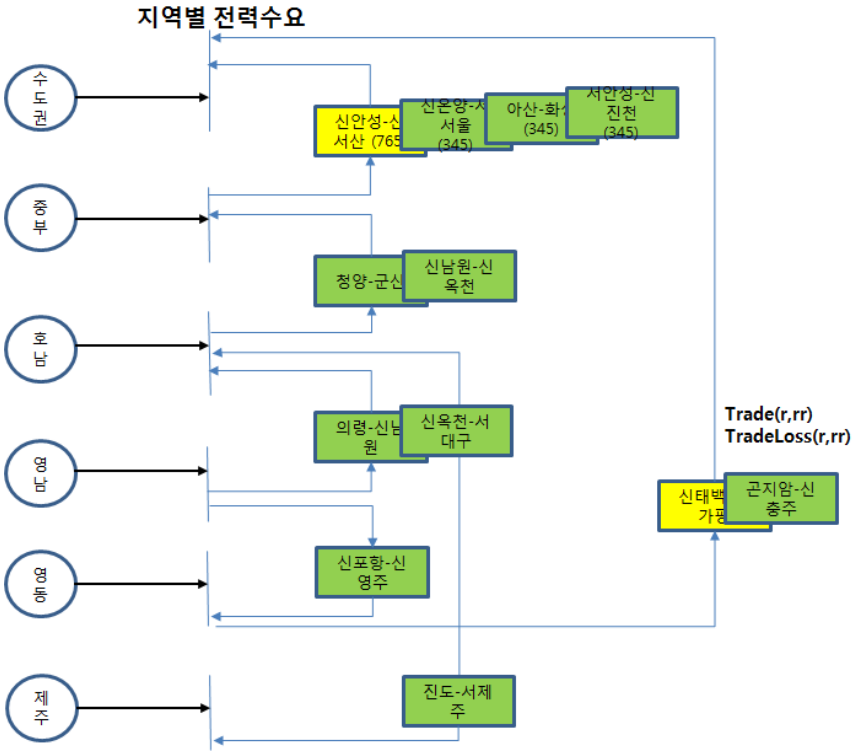
본 연구는 지역별 발전소 설비와 발전량을 결정하지만 지역간의 송전용량이나 송전선로의 전력전송량을 설계하지는 않는다. 지역별 수요와 송전망(송전용량 및 연결)이 주어진 상태에서 발전원 발전용량 및 지역수요를 고려하여 효율적인 지역별 신규 발전설비의 종류와 배치, 지역간 송전량을 결정하는 것이다.

전국을 <그림 5>과 같이 수도권(SD), 강원(GW), 중부(JB), 호남(HN), 영남(YN), 제주(JJ) 등의 여섯 개 지역과 전국(NR) 등 총 7개의 지역으로 구분하고 권역별로 발전원별 잔여용량과 각 권역별 전력수요가 주어진 것으로 가정한다. 신재생을 포함하여 용량이 작아 분산전력으로 분류되어 위의 6개 지역에 포함시키기 어려운 발전기술도 존재하게 되는데 이들은 전국 지역에 속하는 것으로 분류하였다.

또한, 지역과 지역을 연결하는 송전망 구성이 주어져 특정 지역에서 생산된 전력은 해당 지역의 전력 수요를 위해 사용되고 부족한 전력은 인접한 지역에서 받을 수 있고 남는 전력을 다른 지역에 보낼 수 있다. 송전능력을 고려하여 인접 지역으로 송전하는 전력량에 제약을 둘 수도 있지만 본 연구에서는 일단 송전능력은 고려하지 않았다. 지역내에서 발전소로부터 변전소까지의 송전은 고려하지 않았다.

각 발전기술은 지역으로 구분되어야 하는데 지역별로 구분된 정보가 없기 때문에 지역에 관계없이 동일한 특성(수명, 투자비, 변동비용, 고정비용 등)을 가지고 있는 것으로 가정하였다. 원자력은 영남과 호남 지역에만 설치될 수 있고 기력(HCoal, Coal, LNG, Oil) 그리고 복합발전(LNG, Oil)은 모든 지역에 설치될 수 있는 것으로 가정하였다. 또한, 지역단위가 어려운 신재생, 저장장치 및 RWE(Renewal With ESS; Solar with ESS와 Wind with ESS를 포함), 그리고 열병합 발전은 전국(NR) 지역에 설치되는 것으로 가정하였다.

지역별 수요는 편의상 2014년의 지역별 분포가 분석기간동안 유지된다고 가정하였다. 또한 본 모형에서는 지역간 송전손실은 3%로 가정



<그림 5> 지역단위 전력계획 모형의 접근법

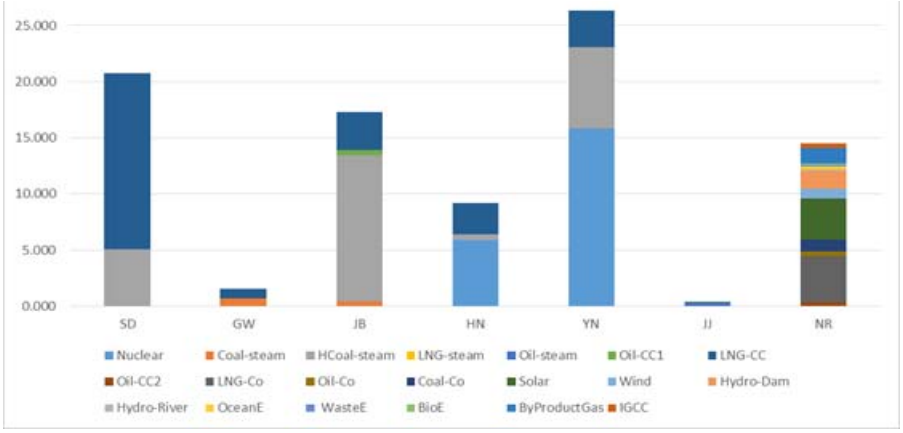
<표 2> 지역별 수요 비율

지역	수도	강원	중부	호남	영남	제주
비율	43.9%	2.7%	12.8%	9.8%	29.7%	1.2%

하였으며 NR지역에서 다른 지역으로 송전할 때는 손실이 발생하지 않는 것으로 가정하였다. 또한 NR지역에서 생산된 전기는 지역별 수요 비율대로 전송되는 것으로 가정하였다.

모형에서 기술(technology)은 발전원을 의미하고 발전원별로 지역단위로 구분할 수 있다. 즉 발전원 및 지역 단위로 기술을 정의하게 된다. 예를 들어 일반적인 전력계획 모형에서는 원자력 발전을 대표하는 하나의 기술이 정의되는데 반해 지역단위가 가능한 모형에서는 각 지역단위로 원자력발전 기술이 정의된다.

이와 같은 분류체계에 따라 2015년도 각 지역별 잔여용량(residual capacity)을 구하면 <그림 6>과 같다. 그림에서와 같이 원자력은 호남과 영남 지역에, 석탄은 수도권, 중부 및 영남 지역에 집중되어 있다. 수도권은 상대적으로 LNG-CC가 집중되어 있음을 알 수 있다. 전국(NR) 지역에는 신재생을 비롯하여 열병합 발전 기술들이 포함되어 있다.



<그림 6> 2015년 지역별 잔여 용량

Ⅳ. 분석결과

<표 3>과 같이 기준 시나리오(basis scenario)를 만들고 이를 바탕으로 2개의 시나리오를 추가하고 3개의 시나리오별로 최적해를 구하고 실행결과들을 비교분석한다. 시나리오 1은 7차 전력수급 기본계획을 참조하여 설정한 제약식이며(산업자원통산부, 2015), 시나리오 2는 대기오염 물질 배출의 지역별 불균형을 완화하기 위하여 도입한 것으로 전체 TSP(Total Suspended Particles; 총 부유 입자) 배출 대비 각 지역의 TSP의 배출 비율이 (해당 지역의 수요비율×1.2배)를 넘지 않도록 제한한다. 일차적으로 오염물질 중에서 TSP에 대해서만 적용하였지만 어렵지 않게 나머지 오염물질로 확장할 수 있다.

모든 시나리오의 실행결과는 제약식의 효과가 거의 없는 2015년과 제약식의 효과가 극명하게 드러나는 7차 전력수급 기본계획의 마지막 연도인 2031년을 비교한다.

본 연구에서는 실험을 통하여 두 가지를 확인하고자 한다. 먼저, 발전원별 특성이 있으며 이에 따라 설치되고 가동되는 패턴이 달라지는데 본 연구에서 제시한 모형이 이러한 패턴을 따르고 있는 지를 확인한다. 예를 들어, 원자력과 석탄은 경제적인 에너지원으로써 다른 제약이 없으면 가장 먼저 설치되고 가동률이 높은 발전원이다. 가스발전의 경우 발전원가가 높은 편이지만 기동력이 높아 평균적인 가동률은 낮고 예비전력으로서의 역할을 한다. 신재생의 경우 투자비는 높고 운영비가 낮은 발전원으로 신규설치는 최대한 피하지만 일단 설치되면 최대한 가동되는 특징을 가지고 있다. 이와 같은 발전원별 특성을 확인하기 위하여 각 시나리오하에서 지역별 발전원별 설치용량과 이용률을 분석한다.

또한, 지역단위 전력계획 모형을 통하여 발전에 있어서 우리나라의 지역적인 특성(예를 들어, 전력의 지역적인 수급 불균형, 대기오염물질 발생량의 지역적인 불균형)을 파악하고 본 연구의 결과로써 이를 해소할 수 있는 방안을 제시하는 것이다. 지역적인 특성분석과 문제해결 방안을 제시하기 위하여 본 연구에서는 각 시나리오하에서 지역별 발전원별 전력수요,

<표 3> 시나리오 요약

구분	추가된 제약 및 파라메타
기준시나리오	RPS 제약 없음, Emission 제약 없음, RWE 허용되지 않음
시나리오 1	기준 시나리오 +풍력 상한 제약+RPS 제약 + LNG_CC 운영 하한 제약 + 연도별 총부유먼지(TSP) 제약 + RWE 하한 제약
시나리오 2	기준 시나리오 + 지역별 TSP 배출비율 제약

발전량, 송전량 및 대기오염물질의 발생 등의 결과를 분석한다.

<그림 7>는 각 시나리오 하에서의 지역별 발전원별 설치용량(rated capacity) 분포를 나타낸다. 전국(NR) 지역에 설치된 발전원은 복잡도를 줄이기 위하여 그림에서 표시하지 않았다. 먼저 기준시나리오에서는 2015년도는 신규로 설치되는 발전설비가 아주 적기 때문에 <그림 6>의 2015년 잔여용량에서 크게 벗어나지 않는다. 2015년에는 호남과 영남 지역에 원자력 발전이 집중되어 있지만 2031년에는 상대적으로 투자비가 저렴한 LNG-steam이 전역에 배치되고 수도권에 LNG-CC 집중됨을 확인할 수 있다. 송전손실이 있기 때문에 신규 설비가 한 지역에 집중적으로 설치되지 않고 전 지역에 골고루 분산되는 것을 확인할 수 있다.

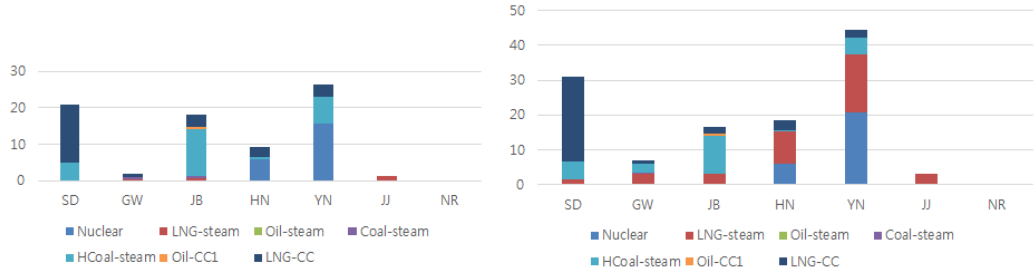
시나리오 1의 경우 2015년은 기준 시나리오와 큰 차이가 없으며 2031년에는 LNG-steam이 설치되는 지역이 기준 시나리오에서는 주로 영남에, 시나리오 1에서는 수도권에 집중되어 있으나 LNG-steam은 가동이 되지 않는 발전원이기 때문에 큰 의미는 없는 것으로 판단된다.

시나리오 2는 기준 시나리오의 LNG-CC의 일부분을 Oil-CC1가 대체하는 형태를 보이고 있다. TSP 배출 관점에서는 LNG-CC가 유리하지만 운영비가 비싸기 때문에 가능한 범위내에서 LNG-CC를 Oil-CC1으로 대체하고 있다.

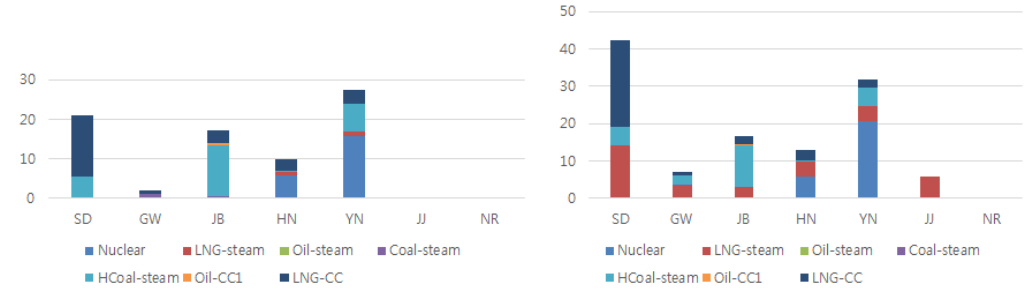
<그림 8>는 각 시나리오 하에서 지역별 발전원별 이용률(capacity factor)를 나타낸다. 이용률을 보면 발전원별 특징을 이해할 수 있다. 먼저 경제적으로 경쟁력이 높은 원자력과 석탄은 최고이용률로 가동하고 있으며 나머지 부족한 전력은 LNG-CC로 채우고 있음을 알 수 있다. Oil-CC1은 최저필요가동률 만큼 가동되고 있다. 특징적인 것은 상당히 많은 신규 발전원이 LNG-steam으로 채워지고 있지만 전혀 가동은 되지 않는다. 즉, LNG-steam은 예비전력으로서의 역할에 충실하고 수행하고 있음을 알 수 있다.

시나리오 1의 경우 기준 시나리오 대비 LNG-CC의 이용률이 확대되었으며, 또한 LNG-CC의 이용률이 지역별로 상이함을 확인할 수 있다. LNG-steam은 설치는 되지만 가동은 되지 않는 예비력 전원으로서의 역할에 충실함을 알 수 있다.

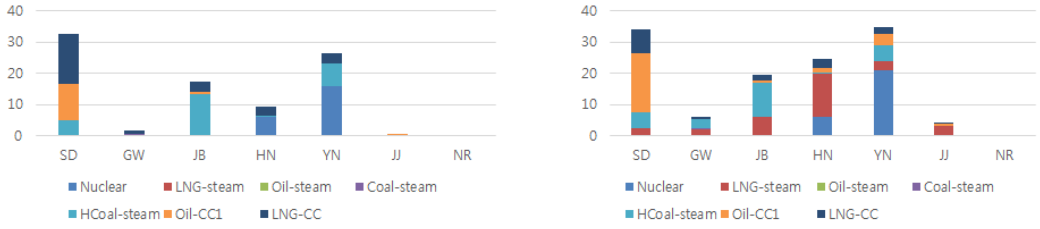
시나리오 2의 경우 지역간 편차를 줄이기 위하여 지역별로 중점적으로 가동하는 발전원이 다름을 알 수 있다. 원자력을 최대로 가동할 수



(a) 기준 시나리오



(b) 시나리오 1

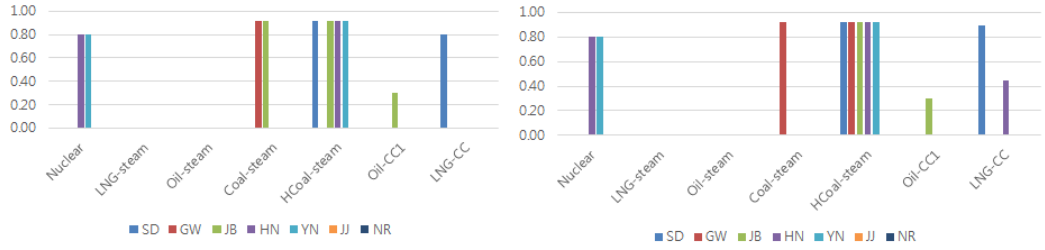


(c) 시나리오 2

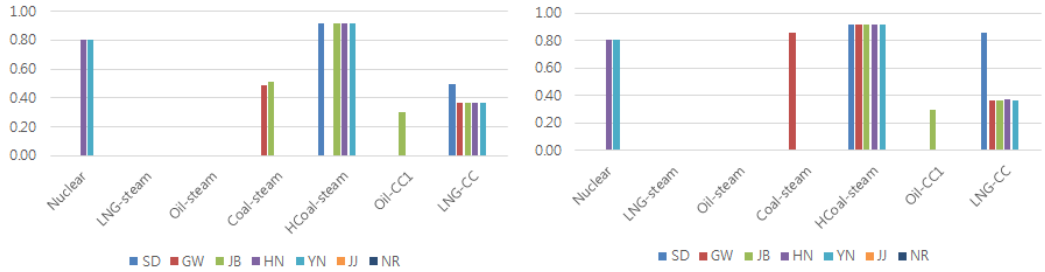
<그림 7> 지역별 발전원별 설치용량(좌:2015년,우:2031년)

있는 영남 및 호남의 경우 TSP 배출의 여유가 있으므로 석탄 및 유류 발전원을 집중 가동하고 중부의 경우 석탄 가동 줄이고 대신 유류 발전소의 이용률을 높이고 있다.

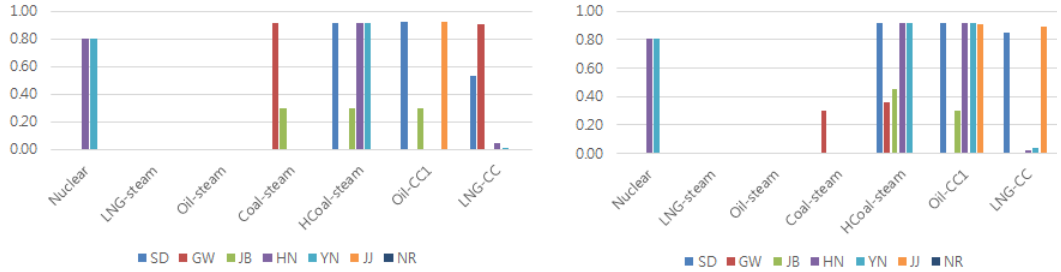
<그림 9>는 각 시나리오 하에서 지역별 수요, 발전 및 송전량을 나타낸다. 각 지역의 막대기에서 맨위 빨간색 블록은 그 지역에서 자체생산하는 전력을 아래에 있는 블록들은 외부에서 유입되는 전력을 나타낸다. 녹색 연결선은 수요전력을 나타낸다. 기준시나리오 하에서 2015년 수도권의 수요는 자체생산하는 전력과 중부 및 전국 지역에서 송전해 주는 전력으로 충족된다. 중부권의 경우 자체생산하는 전력과 외부(전국 및 영남)에서 유입되는 전력이 수요를 초과하여 초과된 전력은 수도권으로 송전되고 있음을 확인할 수 있다. 2015년도에는 지역내 수요와 생산량의 불균형이 심하여 지역간 송전량이 크지만 2031년도에는 수요와 생산간



(a) 기준 시나리오



(b) 시나리오 1



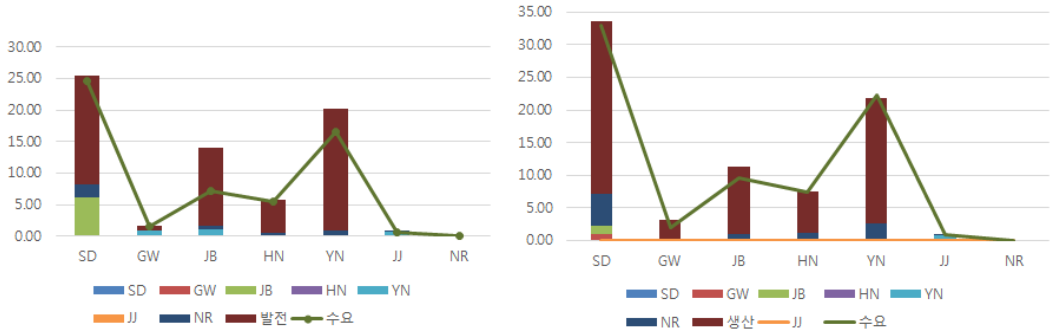
(c) 시나리오 2

<그림 8> 지역별 발전원별 이용률(좌:2015년,우:2031년)

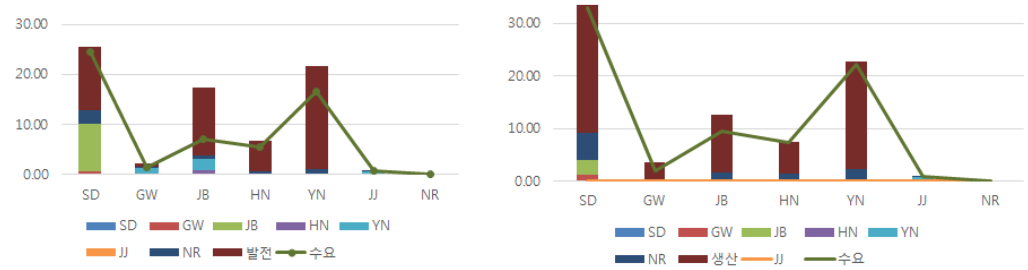
불균형이 해소되어 지역간 송전량이 크게 감소함을 알 수 있다. 즉 상향식 지역단위 모형은 지역간 균형 발전을 도모하는 효과를 가져 온다고 할 수 있다.

시나리오 1과 시나리오 2도 기준 시나리오와 유사한 결과를 보여 2015년에는 지역간 수요와 생산의 편차가 커서 다른 지역에서 송전하는 전력량이 크지만 2031년에는 지역간 송전량이 대폭 줄어들고 있다.

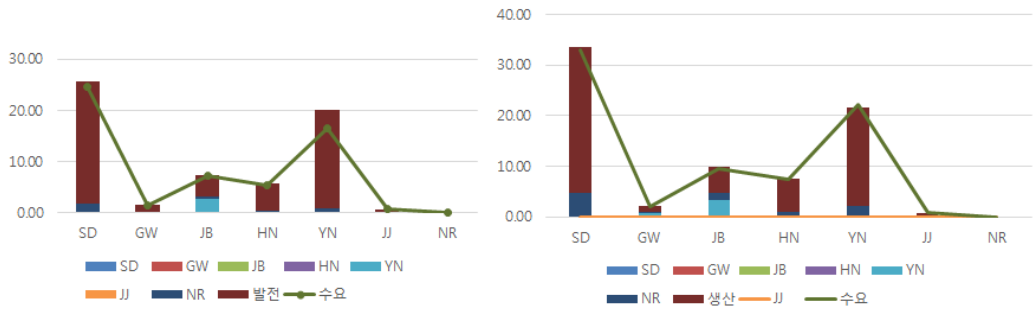
<그림 10>은 각 시나리오 하에서의 지역별 대기오염 물질(CO_2, NO, SO) 배출비율, 지역별 수요 및 생산 비율을 나타낸다. 먼저 기준시나리오 하에서 2015년도에는 지역간 대기오염 물질 배출의 불평등이 존재한다. 중부권은 수요



(a) 기준 시나리오



(b) 시나리오 1

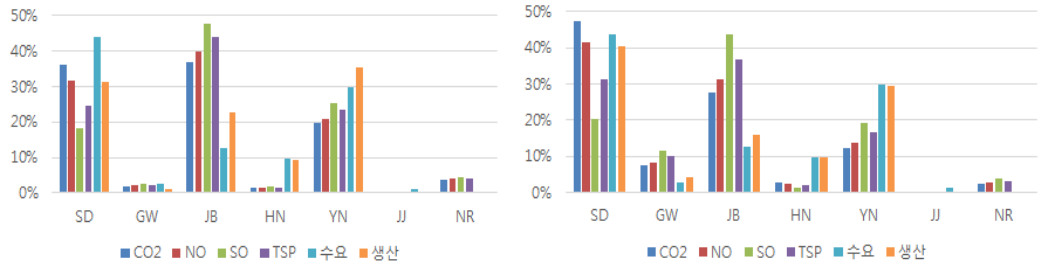


(c) 시나리오 2

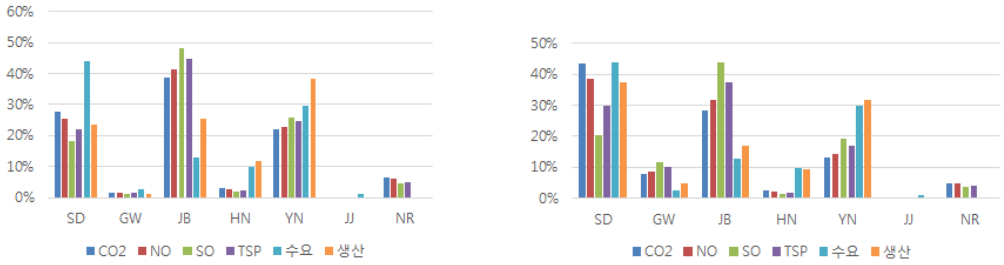
<그림 9> 지역별 발전원별 수요, 발전 및 송전(좌:2015년,우:2031년)

의 비율에 비하여 전력생산 비율이 높고 대기오염 배출량은 더 높음을 알 수 있고 호남 및 영남은 대기오염 물질을 배출하지 않는 원자력 발전에 의하여 정반대의 현상을 보이고 있다. 2031년에는 수요와 생산 격차는 줄어들지만 수요나 생산전력의 비율과 대기오염 물질 배출 비율간에는 큰 격차가 여전히 존재함을 확인할 수 있다.

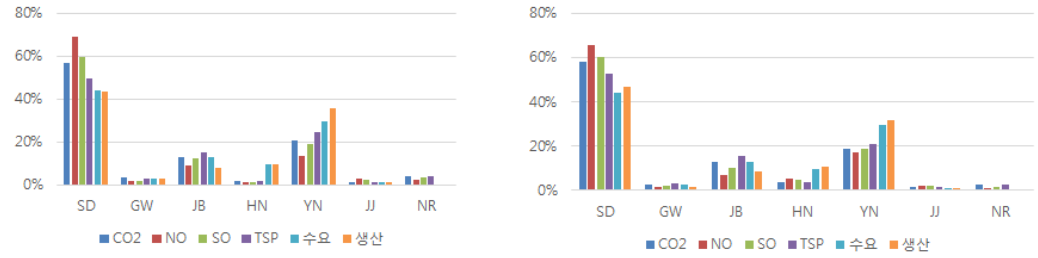
시나리오 1의 경우 기준 시나리오와 동일한 결과를 보여 주어 지역간 온실가스 배출량 불평등이 존재하고 2031년에 수요와 생산 격차는 줄어들지만 지역간 대기오염물질 배출량 불평



(a) 기준 시나리오



(b) 시나리오 1



(c) 시나리오 2

<그림 10> 지역별 발전원별 대기오염물질, 수요 및 발전 비율(좌:2015년,우:2031년)

등은 존재한다.

시나리오 2는 기준 시나리오와 시나리오 1보다 대기오염물질의 지역간 불평등이 상당부분 해소되었음을 알 수 있다. 전체적으로 지역에서 수요와 생산은 거의 유사한 비율을 보이고 있으며 대기오염물질의 배출비율도 이 비율에 근접하고 있다.

Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제

오래전부터 전력계획과 관련된 연구들이 많이 있었지만 전력계획 모형은 수요와 공급의 즉시성을 반영하기 위한 타임슬라이스 구분으로 데이터가 방대해지고 복잡한 식으로 표현되는 정책이나 제약사항을 포함하고 있기 때문에

<표 4> 시나리오 요약

항목	시나리오	요 약
지역별 발전원별 설치용량	기준 시나리오	2015년에는 호남과 영남 지역에 원자력 발전이 집중되어 있지만 2031년에는 상대적으로 투자비가 저렴한 LNG-steam이 전역에 배치되고 수도권에 LNG-CC 집중됨. 송전손실이 있기 때문에 신규 설비가 한 지역에 집중적으로 설치되지 않고 전 지역에 골고루 분산
	시나리오 1	2015년은 기준 시나리오와 큰 차이가 없으며 2031년에는 LNG-steam이 설치되는 지역이 기준 시나리오에서는 주로 영남에, 시나리오 1에서는 수도권에 집중되어 있으나 LNG-steam은 가동이 되지 않는 발전원이기 때문에 큰 의미는 없음.
	시나리오 2	기준 시나리오의 LNG-CC의 일부분을 Oil-CC1가 대체. TSP 배출 관점에서는 LNG-CC가 유리하지만 운영비가 높기 때문에 가능한 범위내에서 LNG-CC를 Oil-CC1으로 대체.
지역별 발전원별 이용률	기준 시나리오	경제적으로 경쟁력이 높은 원자력과 석탄은 최고이용률로 가동하고 있으며 나머지 부족한 전력은 LNG-CC로 채움. Oil-CC1은 최저필요가동률 만큼 가동되고 있다. 상당히 많은 신규 발전원이 LNG-steam으로 채워지고 있지만 전혀 가동은 되지 않아. LNG-steam은 예비전력으로서의 역할 수행.
	시나리오 1	기준 시나리오 대비 LNG-CC의 이용률이 확대되었으며, 또한 LNG-CC의 이용율이 지역별로 상이함. LNG-steam은 설치는 되지만 가동은 되지 않는 예비력 역할에 충실.
	시나리오 2	지역간 편차를 줄이기 위하여 지역별로 중점적으로 가동하는 발전원이 상이. 원자력을 최대로 가동할 수 있는 영남 및 호남의 경우 TSP 배출의 여유가 있으므로 석탄 및 유류 발전원을 집중 가동하고 중부의 경우 석탄 가동 줄이고 대신 유류 발전소의 이용률을 높이고 있음.
지역별 발전원별 수요/발전/송전	기준 시나리오	중부권의 경우 자체생산하는 전력과 외부(전국 및 영남)에서 유입되는 전력이 수요를 초과하여 초과된 전력은 수도권으로 송전. 2015년도에는 지역내 수요와 생산량의 불균형이 심하여 지역간 송전량이 크지만 2031년도에는 수요와 생산간 불균형이 해소되어 지역간 송전량이 크게 감소. 즉 지역단위 모형은 지역간 균형 발전을 도모하는 효과.
	시나리오 1	기준 시나리오와 유사.
	시나리오 2	기준 시나리오와 유사
지역별 발전원별 대기오염물질, 수요/발전비율	기준 시나리오	2015년도에는 지역간 대기오염물질 배출의 불평등이 존재. 중부권은 수요의 비율에 비하여 전력생산 비율이 높고 대기오염 배출량은 더 높고 호남 및 영남은 대기오염 물질을 배출하지 않는 원자력 발전에 의하여 정반대의 현상을 보임. 2031년에는 수요와 생산 격차는 줄어들지만 수요나 생산전력의 비율과 대기오염 물질 배출 비율간에는 큰 격차가 여전히 존재.
	시나리오 1	기준 시나리오와 동일한 결과를 보여 주어 지역간 온실가스 배출량 불평등이 존재하고 2031년에 수요와 생산 격차는 줄어들지만 지역간 대기오염물질 배출량 불평등은 존재.
	시나리오 2	기준 시나리오와 시나리오 1보다 대기오염물질의 지역간 불평등이 상당부분 해소. 전체적으로 지역에서 수요와 생산은 거의 유사한 비율을 보이고 있으며 대기오염물질의 배출 비율도 이 비율에 근접.

많은 연구들이 모형의 설계와 시나리오에 의한 감축효과 분석이 연구의 핵심이다(한국원자력연구원, 2011; Eshraghi, 2016; Welsch, 2014). 본 연구는 이러한 전력계획에 지역단위 구분이라는 하나의 축을 추가하여 접근한 우리나라 최초의 시도이며 가공 데이터가 아닌 실제 국내 데이터를 바탕으로 본 연구에서 제시한 지역단위 전력계획 모형의 효과를 검증하였다. 또한, 오픈소스인 OSeMOSYS를 사용하여 전력계획 모형을 작성함으로써 대부분의 전력계획

관련 정책이나 기술 및 제약을 모형으로 표현할 수 있는 유연성을 가지고 있다.

전력계획을 지역으로 구분하기 위해서 본 연구에서는 수요와 발전설비를 먼저 7개의 지역단위로 분할하고 원자력 발전설비의 지역 제한 등 지역별 특성을 포함할 수 있도록 모형화하였다. 또한 지역간 수급 불균형에 따른 지역간 전력 송배전 양과 송배전 손실을 고려하였다. 그리고 단순한 전력과 온실가스의 관점에서만 분석하는 것이 아니라 TSP 물질의 지역간 불균형도 분석할 수 있도록 하였다.

지역단위 전력계획 모형의 효과를 검증하기 위하여 3개의 시나리오를 작성하고 시나리오별로 지역별 설치용량, 이용률, 수요/발전/송전, 대기오염물질 배출량 등의 결과를 분석하였다. <표 4>는 분석결과를 요약한 것이다.

먼저, 각 발전원이 가지고 있는 속성대로 설치되고 가동되어 본 연구의 모형이 제대로 설계되었음을 확인하였다. 즉, 원자력 및 석탄은 기저 발전원으로써 특별한 제약이 없는 한 먼저 설치되고 최대한 높은 가동률을 가지고 있으며 LNG-CC, LNG-Steam 등의 가스발전원은 예비전력으로서의 역할을 수행하고 있다. 또한 신재생은 고가의 발전원으로 특별한 제약이 없으면 최대한 도입을 꺼리되 도입되면 최대한 가동되는 특징을 가지고 있다. <표 4>의 설치용량과 이용률 항목의 시나리오 결과는 이러한 발전원별 속성과 부합된다.

또한 <표 4>의 수요, 발전, 전송 항목과 대기오염물질, 수요/발전비율 항목의 시나리오 결과에 따르면 전력수요 대비 전력생산량, 대기오염물질의 배출량 등의 관점에서 지역간 불균형이 심각하게 존재하고 있음을 확인하였다. 그리고 지역단위 전력계획 모형은 모든 시나리오에서 장기적으로 이런 지역간 불균형을 해소하는 발전설비 계획안을 제시하고 있음을 확인하였다. 특히 지역별 TSP 배출비율에 직접적인 제약을 두는 시나리오는 대기오염물질의 지역간 불평등도 해소할 수 있는 방안을 제시하고 있다.

결론적으로 본 연구에서의 지역단위 접근법으로 지역간 전력 불균형과 이에 따른 지역간 온실가스 내지 오염물질의 불평등을 확인할 수 있었으며 지역단위 전력계획 모형은 지역간 전력과 오염물질의 불평등을 분석하고 이를 해소할 수 있는 정책개발의 강력한 분석도구로 활용될 수 있음을 증명하였다.

또한, 본 연구는 7차 전력수급 기본계획을 근간으로 하고 있지만 제약식의 조정 등으로 탈원전, 탈석탄 및 신재생 에너지확대로 요약되는 현 정부의 8차 전력수급 기본계획도 반영할 수 있다. 또한, 본 연구에서 지역간 송배전은 송배전 설비의 용량을 고려하지 않고 무제한 전송할 수 있는 것으로 가정하고 있다는 한계를 지니고 있다. 지역간 발전계획과 더불어 송배전 용량과 이에 따른 송배전 설비와 관련된 비용 및 전송손실까지 고려하는 명실상부한 발전 및 송배전 통합계획 모형의 개발은 추후 연구과제로 한다.

참고문헌

이상림, 이지웅, 김양수, “7차 전력수급 기본계획하에서 배출권거래제가 전력시장에 미치는 영향”, 에너지경제연구원, 2015

현대경제연구원, “국내 전력수급의 구조적 문

제점 및 개선방안", 2013

한국원자력학회, "보도자료: 탈원전·탈석탄 확대 정책과 적정 전력 설비 예비율", 2017

조영혁, 백승엽, 최원용, 정대율, "분산 재생에너지의 효율적 활용을 위한 가상발전소(VPP) 플랫폼 개발에 관한 연구", 정보시스템연구, 27권 2호, 2018, pp. 95-114

에너지경제연구원. "신정부 전원구성안 영향분석", 2017

한국에너지기술연구원, "에너지기술 정책분석 및 기술기획 연구", 2013

이종화, 이현규, "오픈소스 소프트웨어를 활용한 자연어 처리 패키지 제작에 관한 연구", 정보시스템연구, 25권, 4호, 2016, pp. 121-139

노동석, 조성진, 박찬국, 김종인, 남재현, "원자력발전의 경제적·사회적 비용을 고려한 적정 전원믹스 연구", 에너지경제연구원, 2013

최봉석, 박찬국, 조성진, 노동석, 윤태연, 권오상, 허혜진, 이홍림, "원자력발전의 경제적·사회적 비용을 고려한 적정 전원믹스 연구: 전원별 외부 비용 추정", 에너지경제연구원, 2014

조성진, 박찬국, 노동석, 최봉석, 김양수, 박호정, 김윤경, "원자력발전의 경제적·사회적 비용을 고려한 적정 전원믹스 연구: 적정 전원믹스 연구", 에너지경제연구원, 2015

전력거래소, "전력통계정보시스템 (http://epsis.kpx.or.kr)"

산업통상자원부, "제4차 신재생 에너지기본계획", 2014

산업통상자원부, "제7차 전력수급기본계획", 2015

임병인, 김명규, 강만옥, 고재경, "지역 간 전력수급 불균형에 따른 상생방안 연구", 경기연구원 정책연구, 2016, pp. 1-114

이유수, 정용훈, 김영산, "포트폴리오 이론을 활용한 전원믹스 계획의 분석", 에너지경제연구원, 2012

민대기, 류종현, 최동구, "탈원전·탈석탄·신재생 에너지 확대 정책에 따른 신규 전원구성의 수급 안정성 평가", 에너지경제연구, 17권, 제1호, 2017, pp. 1-36

이창훈, 이미숙, 조공장, 조연경, 김지은, 이수철, 김종환, "화석연료 대체에너지원의 환경·경제성 평가 I - 원자력을 중심으로", 한국환경정책평가연구원 기후환경정책연구, 2013

한국원자력연구원, "MESSAGE 모형을 이용한 부문별 온실가스 감축잠재량 분석", 2011

Peterson, E.R., "A Dynamic Programming Model for the Expansion of Electric Power Systems", Management Science, Vol. 20, 1973, pp. 656-664

MARKAL/TIMES, "A Model to Support Greenhouse Gas Reduction Policies, Part 1", Sustainable production and Consumption Patterns, 2007

Pisciella, P., Vespucci, M.T., Bertocchi, M.. and Zigrino, S., "A Time Consistent Risk Averse Three-stage Stochastic Mixed

Integer Optimization Model for Power Generation Capacity Expansion", *Energy Economics*, Vol. 53, 2016, pp. 203-211

Choi, D.G. and Thomas, V.M.. "An Electricity Generation Planning Model Incorporating Demand Response", *Energy Policy*, Vol. 41, 2012, pp. 429-441

Eshraghi, H., Ahadi, M.S., 2016. "An Initiative Towards an Energy and Environment Scheme for Iran: Introducing RAISE (Richest Alternatives for Implementation to Supply Energy) Model", *Energy Policy*, Vol. 89, 2016, pp. 36–51.

Loulou, R., Remme, U., Kanudia, A., Lehtilä, A., Goldstein, G., "Documentation of the TIMES Model", www.etsap.org, 2005

K.Rajesh, K.Karthikeyan, S.Kannan and M.Karuppasamypandian, "Generation Capacity Expansion Planning with Solar Power Plant Incorporating Emission", *VFSTR Journal of STEM*, Vol. 1, 2015, pp. 2455-2062

Welsch, M., Deane, J.P., Howells, M., Ó Gallachóir, B.P., Rogan, F., Bazilian, M., Rogner, H.-H., "Incorporating Flexibility Requirements into Long-term Energy System Models – A Case Study on High Levels of Renewable Electricity Penetration in Ireland", *Appl. Energy*, Vol. 135, 2014, pp. 600-615.

Aghaei, J., Akbari, M.A., Roosta, A., Gitizadeh, M. and Niknam, T., "Integrated Renewable-Conventional Generation Expansion Planning Using Multiobjective Framework", *IET Generation Transmission & Distribution*, Vol. 6, 2012, pp. 773-784

Rogan, F., Cahill, C.J., Daly, H.E., Dineen, D., Deane, J.P., Heaps, C., Welsch, M., Mark Howells, M., Bazilian, M., Ó Gallachóir, B.P., 2014, "LEAPs and Bounds—an Energy Demand and Constraint Optimised Model of the Irish Energy System". *Energy Effic.*, Vol. 7, 2014, pp. 441-466.

Jin, S., Ryan, S.M., Watson, J.P. and Woodru, D.L., "Modeling and Solving a Large-scale Generation Expansion Planning Problem under Uncertainty", *Energy Systems*, Vol. 2, 2011, pp. 209-242

Welsch, M., Howells, M., Bazilian, M., DeCarolis, J.F., Hermann, S., Rogner, H.H., "Modeling elements of Smart Grids–Enhancing the OSeMOSYS (Open Source Energy Modeling Systems) code", *Energy*, Vol. 46, 2012, pp. 337-350.

Kim, Y.-C., and Ahn, B.-H., "Multicriteria Generation-Expansion Planning with Global Environmental Considerations"

IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 40, 1993, pp. 154-161

Hu, Z. and Jewell, W.T., "Optimal Generation Expansion Planning with Integration of Variable Renewable and Bulk Energy Storage Systems" *Proceedings of IEEE Conference on Technologies for Sustainability*, 2013, pp. 1-8

Adiprasetya, R., Hasibi, A., Hadi, S.P., Widiastuti, A.N., "Optimizing Geothermal Energy and Hydro Power in Capacity Expansion at the Electrical System of Java-Madura-Bali". *Int. J. Eng. Comput. Sci.*, Vol. 13, 2013, pp. 1-8

Howells, M., Rogner, H., Strachan, N., Heaps, C., Huntington, H., Kypreos, S., Hughes, A.,Silveira, S., DeCarolis, J.F., Bazillian, M., Roehrl, A., "OSeMOSYS: the Open Source Energy Modeling Systems - An Introduction to its Ethos, Structure, and Development", *Energy Policy*, 2011, pp. 5850–5870.

Choi, D.G., Park, S.Y., and Hong, J.C., "Quantitatively Exploring the Future of Renewable Portfolio Standard in the Korean Electricity Sector via a Bottom-up Energy Model", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 50, 2015, pp. 793-803

Walter Short, et al., "Regional Energy Deployment System(ReEDS)", National Renewable Energy Laboratory, 2011

Pinto de Moura, G.N., Legey, L.F.L., Balderrama, G.P., Howells, M., "South America Power Integration, Bolivian Electricity Export Potential and Bargaining Power: An OSeMOSYS SAMBA approach", *Energy Strategy Rev.*, Vol. 17, 2017, pp. 27-36.

Messner, S., and Strubegger, M., "User's Guide for MESSAGE III", International Institute for Applied Systems Analysis, 1995, Laxenburg, Austria.

http://www.gams.com

https://www.ibm.com/kr-ko/products/ilog-cplex-optimization-studio

http://www.osemosys.org/publications1.html

정 용 주 (Chung, Yong Joo)

연세대학교 경영학사와 한국과학기술원 석사/박사학위를 취득하였다. 현재 부산외국어대학교 e비즈니스학과 교수로 재직하고 있으며, 주요 관심분야는 온실가스모형, 에너지 최적화모형, 모바일 비즈니스 등이다.

<Abstract>

Regional Electricity Planning Using Open Source-Based Optimization Model

Chung, Yong Joo

Purpose

The purpose of this study is to design a regional electricity planning model rather than the existing single region ones and verify its usefulness. The regional electricity planning model is to determine both electricity distribution among regions and power plant planning at the same time satisfying regional demands and distribution networks.

Design/methodology/approach

This study made a regional electricity planning model by integrating power plant planning and electricity distribution among regions. The regional electricity planning model is formulated into a linear programming problem, and coded and run using the OSeMOSYS, one of open source energy systems.

Findings

According to the empirical analysis result, this study confirmed that the regional electricity planning model proposed in this study deducts the unfairness among regions in view of electricity and green house gas. In addition, the model is expected to be used in evaluating and developing the national policies concerning fine dust and/or green house gas.

Keyword: Green House Gas, Optimization Model, OSeMOSYS, Regional Electricity Planning, Energy System, Electricity Distribution Network.

* 이 논문은 2019년 1월 31일 접수, 2019년 2월 6일 1차 심사, 2019년 2월 14일 게재 확정되었습니다.