

함수계수 모형을 이용한 장기 제주 전력판매량 예측

최용옥*

요 약

최근 전국-제주 전력판매량 사이의 디커플링 추세 심화를 제주지역의 인구와 관광객 수 증가 및 육지와 상이한 산업구조에 기인한 것으로 인식하고 제주 지역의 장기 용도별(가정용·상업용·산업용) 전력판매량 예측모형을 개발하였다. 용도별 제주 전력판매량과 전국의 전력판매량 사이의 장기균형관계가 제주의 부문별 부가가치 상대비율에 따라서 달라지는 것으로 모형하고 이를 함수계수 모형으로 추정 및 예측하는 방법을 소개한다. 새로운 예측모형으로 예측한 결과, 제8차 전력수급계획의 전국 전력판매량 및 제주연구원의 제주지역 GRDP 전망 전제하에서 제주지역 전력판매량은 2031년까지 연평균 2.5% 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 구조적 VAR 모형으로부터 2018년 0.3%의 제주 인구증가는 2025년 이후 지속적으로 제주 전력판매량을 0.36%~0.72% 증가시키는 것으로 분석되었다.

주요 단어 : 제주 전력판매량예측, 함수계수모형, 구조적 VAR 모형
경제학문헌목록 주제 분류 : C14, C53, Q47

* 중앙대학교 경제학부 조교수. choiyongok@cau.ac.kr

I. 서 론

최근 제주의 전력판매량이 급증하면서 전국-제주 전력판매량 사이의 디커플링 추세가 심화되고 있다. 이러한 급속한 전력판매량 증가는 기존 수급계획의 예상을 벗어난 것으로 제주지역 수급의 안정성 확보에 제한 요인이 되고 있다. 실제로 기본 계획 수립 이후 잦은 긴급설비 결정 사례가 있었다. 6차 전력 수급기본계획 이후 제주 LNG 복합발전소, 7차 전력수급기본계획 이후 남제주 LNG 복합발전소의 긴급설비 사례가 발생하였다. 또한 초고압 직류 송전 (High Voltage Direct Current) 3호기가 5차 계획에서 최초 반영되었으나, 6차 및 7차에서 준공시기가 재조정되는 상황이 발생하였다. 이러한 상황에서 제주 전력 수급의 안정성 확보를 위해서 제주의 지역적 특성을 반영한 장기 전력판매량전망 모형 개발이 절실히 요구된다.

그러나 제주 전력수요¹⁾에 대한 기존 연구는 부족한 실정이며, 그나마도 전력 수요함수를 추정하거나 단기 수요 예측모형에 집중되어 있다. 김혜민, 김인겸, 이대근, 임병환, 유승훈(2018)은 제주도의 분기별 기온변수 및 소득 자료를 이용하여 전력수요(판매량)함수를 추정하였다. 내생시차변수모형 등을 포함하여, 기온변수를 추가하고 계절더미변수를 추가하여 전력수요의 단기 가격탄력성을 -0.72, 소득탄력성을 0.94로 추정하였다. 그러나 이들 연구는 판매량의 예측 보다는 추정에 중점을 둔 연구이다. 구분희, 윤경하, 차준민(2011)은 기온특성을 이용하여 하절기 제주지역 전력수요를 예측하는 모형을 제시하고 있다. 직전 연도의 자료를 기온 상승기와 하락기로 구분하여 기온 민감도를 계산하고 이를 5일 동안의 평균부하에 가감하는 방식으로 단기 제주의 최대전력수요를

1) 전력수요는 시간별 부하전력, 최대전력, 발전량, 판매량 등을 통칭한다. 엄밀하게는 전력 수요(부하전력, 최대전력 등)와 전력수요량(발전량, 판매량 등)은 구분되어야 한다. 본 연구에서는 전력판매량을 예측하는 것을 목표로 하고 있다.

예측하였다. 그러나 제주도의 장기 전력판매량 예측에 관한 연구는 전무한 실정이다. 다만, 한국전력거래소에서 수급계획을 세우면서 전국 계획의 부속적인 성격으로 이루어져왔다. 예를 들어서 6~7차 전력수급 기본계획에서는 전국 전력판매량의 비중으로 예측하였다. 그러나 향후 비중이 어떻게 변해갈지에 대해서 자의성이 개입될 여지가 크다. 8차 전력수급 기본계획에서는 제주의 전력판매량과 전국 GDP 사이의 장기균형관계를 이용하여 예측하였다. 이 모형에서도 탄력성 변화추이에 대한 예측이 필요한데, 자의성이 개입될 여지가 클 뿐 아니라, 이와 같은 모형으로는 제주의 인구 증가 및 관광객 수 급증, 혹은 육지와 다른 산업구조 등에 기인하는 전력판매량 급증현상을 설명하기 힘들다.

한편, 전력판매량을 포함한 일반적인 장기 에너지 수요모형은 여러 학자들에 의해서 연구되었다.²⁾ 예를 들어서 Richmond and Kaufmann(2006)은 선형 고정계수 모형을 탈피하고 소득 변수를 포함한 다양한 변수를 여러 형태의 비선형 계량 모형에 적합시켰으며, Nguyen-Van(2010)은 준모수 부분선형 패널 모형(semiparametric partially linear panel model)으로 에너지 소비와 소득의 관계를 분석했다. 특히 Chang and Hsing(1991)을 위시하여 Haas and Schipper(1998), Galli(1998), Chang et al.(2014), Chang et al.(2016) 등은 에너지수요의 소득 탄력성이 표본기간 동안 일정하지 않다는 실증분석 결과들을 제시하였다. 실제로 한국의 전력수급 기본계획이나 천연가스수급 기본계획 등에서 사용되는 장기 에너지(전력, 천연가스) 수요량 예측모형에서도 소득탄력성이 변하는 것으로 상정하고 있다.

본 연구에서는 제주 전력판매량과 전국 전력판매량 사이의 장기 균형관계를 분석하고, 전국 전력판매량 예측치를 사용하여 제주의 전력판매량을 예측하는 방안을 제시한다. 이는 일반적인 장기 전국 전력/천연가스/에너지 판매량(소비량) 예측 모형의 구축환경과 크게 다른 점이다. 전국 전력판매량은 제주 전력판매량과 밀접한 관계를 지니고 있으며, 전국 전력판매량 예측치는 많은 전문가들의 검토를 거쳐서 공표된다. 따라서 전국 모형에 비해서 지역(제주)

2) 일반적인 장기 에너지 수요모형에 대한 선행연구는 배영수(2015)에서도 확인할 수 있다.

모형은 안정적인 설명변수가 있다는 점에 큰 차이가 있으며, 이를 충분히 활용하되, 지역별 특이성을 반영할 수 있는 모형을 개발하는 것이 본 연구의 목표이다. 본 연구에서는 전국 전력판매량을 설명변수로 십분 활용하되, 장기 균형관계가 시간에 따라서 변할 수도 있다는 점을 염두에 두고 모형화³⁾하였다.

본 연구에서는 최근 전국-제주 전력판매량 디커플링 심화를 제주지역의 인구나 관광객 수 급증 및 육지와 상이한 산업구조에 기인한 것으로 인식하고 이러한 제주의 지역적 특성을 반영하여 장기 제주의 전력판매량을 전망하는 새로운 모형을 제안한다. 본 연구에서는 용도별로 상응하는 산업부문별 부가가치의 상대비율에 따라서 전국 전력판매량에 대한 탄력성이 변하는 것으로 상정하였다. 이 모형으로 제주의 지역적 특성을 반영한 제주의 용도별 전력판매량을 설명하고 예측할 수 있을 것으로 기대한다. 예를 들어서, 제주지역 관광객 수의 급증은 비생산부문 부가가치의 상대비율을 높일 것이고, 비생산부문 부가가치 비율과 제주 상업용 전력판매량의 전국 전력판매량에 대한 탄력성 사이에 양의 상관관계가 있다면, 관광객 수의 급증이 제주의 상업용 전력판매량 증가를 설명할 수 있다. 또한 제주 인구의 급증은 전국 GDP 대비 제주의 GRDP 비율을 높일 것이고, 만일 부가가치 상대비율과 제주 가정용 전력판매량의 전국 전력판매량에 대한 탄력성 사이에 양의 상관관계가 있다면, 인구의 증가가 제주의 가정용 전력판매량 증가를 설명할 수 있다.

본 연구의 전력판매량 예측모형은 함수계수모형으로서, Robinson(1988) 추정량의 일종인 partially linear smooth coefficient 모형으로 추정하는 데, 이때 띠너비 모수를 체계적으로 선택하는 방법을 제안하였다. 최적 띠너비 모수의 선택에 대한 이론은 변수들이 정상시계열이라는 가정 하에 도출된 것이며, 본 연구에서와 같이 비정상시계열인 경우에는 적용하기가 어렵다. 본 연구의

3) 제주 전력판매량과 전국 전력판매량에 로그를 취하면 전국 전력판매량 앞의 계수는 제주 전력판매량의 전국 전력판매량에 대한 탄력성을 의미하게 된다. 따라서 본 연구의 모형은 해당 탄력성이 시간에 따라서 변하는 것을 허용하는 것으로 이해될 수 있으며, 특히 탄력성이 시간에 따라서 확정적으로 변하는 것이 아니라, 산업부문별 부가가치 상대비율에 의해서 변하는 것으로 상정하였다.

목적은 안정적인 예측모형을 개발하는데 있으므로 피너비 모수를 용도별로 표본외예측 실험의 평균제곱근오차(RMSE)가 가장 작아지는 값으로 설정하였다.

또한 제주 전력판매량에 영향을 미칠 것으로 판단되는 변수를 중심으로 구조적 VAR 모형을 추정하고 이 결과를 본 예측모형과 결합하여 충격반응 분석을 수행하였다. 구체적으로 구조적 VAR 모형에서 인구의 증가가 부가 가치를 시간에 따라서 어떻게 변화시키는지 분석하고, 그 결과를 본 모형의 함수계수추정결과에 적용하여 최종적으로 전력판매량에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 다음 장에서는 제주 지역 전력판매량의 특징을 추세와 용도별 비중 관점에서 기술한다. 제Ⅲ장에서는 용도별 제주 전력판매량을 예측하기 위한 함수계수 모형을 소개하고 추정결과 및 예측 결과를 정리하고 해석한다. 제Ⅳ장에서는 구조적 VAR 모형을 이용하여 제주 인구변화가 장기적으로 제주 전력판매량을 어떻게 변화시키는 지를 정량적으로 분석한다. 마지막 제Ⅴ장에서는 논문의 전체 내용을 요약하고 결론을 내린다.

Ⅱ. 제주 전력판매량의 특징

1. 전국-제주 간 디커플링 추세 심화

제주의 전력판매량은 한국 전체의 전력판매량과 더불어 지속적으로 증가해 왔으나, 최근에는 제주 지역 전력판매량 증가율이 한국 전체의 증가율보다 훨씬 높게 실현(디커플링 추세 심화)되고 있다. <표 1>에서 확인할 수 있듯이 1979년 이후 2018년까지 약 40년간 전국과 제주의 전력판매량 증가율은 각각 7.5%, 10.7%에 이른다. 동 기간 동안, 전반적으로 전력판매량의 증가율은 낮아지는 추세지만, 전국 증가율 대비 제주 증가율은 1.3-1.5배 정도로 상대적

으로 일정하게 나타났다. 그러나 최근 5년의 경우에는 제주 지역 전력판매량 증가율이 전국에 비해서 2.5배 높은 것으로 나타나는 등 전국-제주 간 디커플링 추세가 심해지는 것으로 보인다.

〈표 1〉 기간별 전력판매량 증가율 비교: 전국 vs 제주

기간	전력판매량 연평균 증가율		상대 비율
	전국 (A)	제주 (B)	(B/A)
1979~2018	7.5%	10.7%	1.42
1979~2000	10.2%	14.4%	1.41
2000~2018	4.5%	6.5%	1.45
1979~1989	10.2%	15.5%	1.53
1989~1999	10.1%	13.1%	1.30
1999~2009	6.3%	8.6%	1.36
2009~2018	3.3%	5.2%	1.59
2013~2018	2.1%	5.2%	2.50

2. 상업용에 집중된 전력판매량

〈표 2〉에서 확인할 수 있듯이, 2018년 기준으로 제주 전력판매량의 52.2%는 서비스업 및 공공용으로 분류⁴⁾되는 상업용에 해당한다. 이는 국내 전력판매량의 50% 이상이 제조업을 비롯한 산업용에서 소비되는 것과 큰 대조를 이룬다. 또한 제주 지역의 산업용 전력판매량의 대부분은 농림어업용에 집중되어 있다는 점도 특이한 사항이다.

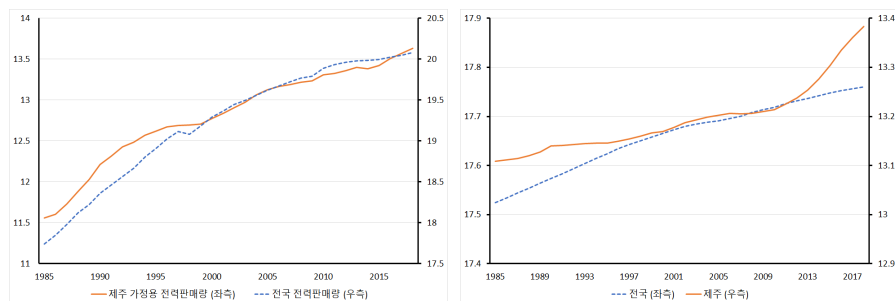
최근 5년간의 디커플링 심화추세는 상업용과 가정용의 증가율이 상대적으로 더 높았기 때문이다. 〈표 2〉에서 확인할 수 있듯이, 전국대비 상업용과 가정용의 비중이 높을 뿐 아니라, 최근 5년간의 연평균 증가율이 2배 이상인 것으로

4) 전력판매량은 계약종별 및 용도별로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 용도별 구분 자료를 이용해서 분석한다.

나타났다. 이는 관광객 수의 증가와 최근 유입인구의 증가에 기인 것으로 보인다.

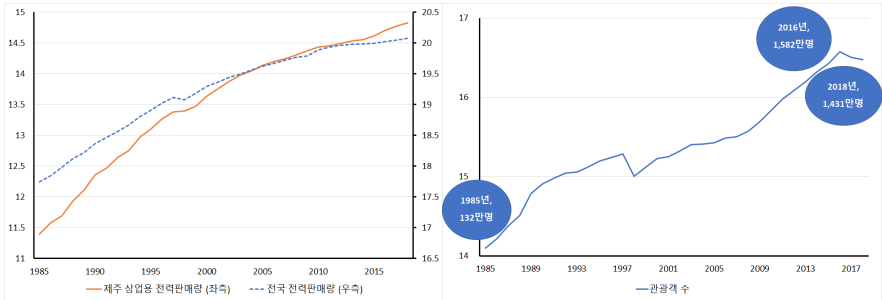
[그림 1]은 제주지역 가정용 전력판매량 추이와 인구 추이를 나타낸다. 좌측 그래프의 실선은 제주지역 가정용 전력판매량을 나타내며, 점선은 전국 전력 판매량 추이를 나타낸다. 모든 시계열은 자연로그를 취했으므로 기울기는 증가율로 해석할 수 있는데, 2010년 이후 제주의 가정용 전력판매량 증가율이 높아진 것을 확인할 수 있다. 우측 그래프는 제주(실선)와 전국(점선) 인구 추이를 나타낸다. 2010년 이후 제주의 인구 증가율이 급증한 것을 알 수 있다.

[그림 1] 제주지역 가정용 전력판매량 추이 및 제주 인구 추이



[그림 2]는 제주지역 상업용 전력판매량 추이와 관광객 수 추이를 나타낸다. 좌측 그래프의 실선은 제주지역 상업용 전력판매량을 나타내며, 점선은 전국 전력판매량 추이를 나타낸다. 2015년 이후 제주 상업용 전력판매량 증가율이 높아진 것을 확인할 수 있다. 우측 그래프는 제주의 관광객 수 추이를 나타낸다. 2010년 이후 관광객이 급속히 증가한 것을 확인할 수 있다.

[그림 2] 제주지역 상업용 전력판매량 추이 및 관광객 수 추이



〈표 2〉 2018년 기준 용도별 전력판매량 비교: 전국 vs 제주

(단위: MWh)

용도	전국			제주		
	판매량	비중	2013-18년 연평균 증가율	판매량	비중	2013-18년 연평균 증가율
합계	526,149,161	100%	2.1%	5,272,603	100%	5.2%
가정용	70,687,228	13.4%	2.0%	831,090	15.8%	4.8%
상업용	공공용	24,568,576	4.7%	315,891	6.0%	4.8%
	서비스업	147,188,694	28.0%	2,436,214	46.2%	6.3%
산업용	농림어업	17,126,089	3.3%	1,433,981	27.2%	4.1%
	광업	1,478,380	0.3%	4,556	0.1%	-8.4%
	제조업	265,100,194	50.4%	250,871	4.8%	3.9%

Ⅲ. 장기 제주 전력판매량 예측모형

1. 개관

전력판매량을 분석하는 모형은 미시 모형과 거시 모형으로 구분할 수 있다.

미시 모형은 각 용도의 전력판매량이 결정되는 과정을 명시적인 요인으로 모형화한다. 예를 들어서, 1~3차 전력수급기본계획에서는 가정용 전력판매량을 가전기기 수요 및 기타 가정용 수요로 구분하여 모형하고 있다. 여기서 가전기기 수요는 가전기기 보급대수 및 평균 소비량을 이용해서 예측하고 기타 가정용 수요는 가구 수 및 호당사용량을 이용해서 예측하였다. 반면에 거시 모형은 전력판매량과 거시경제변수 사이의 장기 균형관계를 모형화한다. 예를 들어서, 4-8차 전력수급기본계획에서는 우리나라 전체의 전력판매량과 GDP 사이의 장기균형관계를 추정 및 예측하여 GDP의 예측치를 사용해서 전체 전력판매량을 예측한다.

미시 모형은 전력판매량이 결정되는 요인을 설명하기 쉽다는 장점이 있지만, 거시 모형에 비해서 예측오차가 크게 나타난다는 단점이 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 장기간 동안 제주 지역의 전력판매량을 안정적으로 예측하는 방법을 제안하는 것을 목표로 하고 있으며, 이를 위해서 거시 모형에 기반을 둔 예측모형을 제안하고 있다.

제주지역의 장기 전력판매량을 거시 모형으로 예측하기 위해서 가장 중요한 과정은 제주 전력판매량과 거시변수 사이의 장기 균형관계를 모형화하는 것이다. 거시변수는 제주 전력판매량을 충분히 설명하면서 안정적인 예측결과가 공표되는 변수로 선택할 필요가 있으며, 장기 균형관계가 시간에 따라서 변할 수도 있다는 점을 염두에 두고 모형화할 필요가 있다.

제주지역 지역내총생산(GRDP)을 거시변수로 검토하는 것은 자연스러운 일 것이다. 전력판매량이 경제성장과 밀접한 관계가 있는 것은 주지의 사실이고, 제주지역 지역내총생산은 제주지역의 전반적인 경제상황을 나타내는데 적합한 변수이기 때문이다. 다만, 안정적인 제주 GRDP의 예측치를 취득하기 어렵다는 점에서 제주지역 지역내총생산 변수를 직접 변수로 사용하는 것에는 한계가 있다.

앞 절에서 살펴본 바와 같이 지난 30여 년간 제주 지역의 전력판매량은 한국 전체 전력판매량과 안정적인 관계를 보이면서 성장해왔다. 또한 최근 5년

동안에는 전국-제주 전력판매량 사이의 디커플링 현상은 인구유입이나 관광객 증가에 기인한 상업용이나 가정용 판매량 증가에서 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이에 본 연구에서는 제주 용도별 전력판매량과 전국 전력판매량 사이의 장기 균형관계를 부문별 GRDP의 전국대비 상대비율에 따라서 달라지도록 모형화하고 추정하는 방법을 제시한다.

2. 함수계수모형

본 연구에서는 제주 전력판매량을 가정용, 상업용, 산업용으로 구분하여 다음과 같은 함수계수 (functional coefficient, 혹은 partially linear smooth coefficient) 모형⁵⁾으로 추정하고 예측한다.

$$\ln(y_{s,t}^{JJ}) = \alpha + \beta(z_{s,t})\ln(y_t^{KR}) + e_t \quad (1)$$

$y_{s,t}^{JJ}$: 제주지역 t 년도 s (r : 가정용, c : 상업용, i : 산업용) 부문의 전력판매량

y_t^{KR} : t 년도 전국 전력판매량

$z_{s,t}$: s 부문 전국대비 제주의 부가가치 상대비율⁶⁾

식 (1)은 제주지역의 용도별 전력판매량과 한국전체의 전력판매량 사이의 장기균형관계를 모형하고 있다. 특히 균형관계가 해당 부문 부가가치 비중 변화에 따라서 변할 수 있도록 하였다.

부분적으로 선형(partially linear) 항을 포함하는 함수계수 모형은 두 단계를

5) 일반적인 partially linear smooth coefficient 모형의 추정 방법에 관해서는 Li and Racine (2007)을 참조할 수 있다.

6) 가정용의 경우는 전국 GDP 대비 제주 GRDP의 비율을 사용하였고, 상업용의 경우는 비생산부분 부가가치합의 전국 대비 제주의 비율, 산업용의 경우는 생산부분 부가가치 합의 전국 대비 제주의 비율을 각각 사용하였다.

거쳐서 추정할 수 있다. 우선 식 (1)의 부분 선형의 모수 α 가 알려져 있다고 가정하면 좌변으로 옮겨서 다음의 식 (2)와 같이 일반적인 smooth coefficient 모형으로 전환할 수 있다.

$$\ln(y_{s,t}^{JJ}) - \alpha = \beta(z_{s,t})\ln(y_t^{KR}) + e_t \quad (2)$$

$\ln(y_{s,t}^{JJ}) - \alpha$ 를 종속 변수로 상정한다면, $\beta(z_{s,t})$ 는 다음과 같이 추정된다.

$$\begin{aligned} \hat{\beta}(z_{s,t}) &= \left[\sum_i \ln(y_i^{KR})^2 K_{h,z_{s,t},z_i} \right]^{-1} \sum_i \ln(y_i^{KR}) [\ln(y_{s,i}^{JJ}) - \alpha] K_{h,z_{s,t},z_i} \\ &\equiv \hat{\beta}_y(z_{s,t}) - \hat{\beta}_l(z_{s,t})\alpha, \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $\hat{\beta}_y$ 와 $\hat{\beta}_l$ 는 각각 다음과 같이 추정된다.

$$\begin{aligned} \hat{\beta}_y(z_{s,t}) &= \left[\sum_i \ln(y_i^{KR})^2 K_{h,z_{s,t},z_i} \right]^{-1} \sum_i \ln(y_i^{KR}) \ln(y_{s,i}^{JJ}) K_{h,z_{s,t},z_i} \\ \hat{\beta}_l(z_{s,t}) &= \left[\sum_i \ln(y_i^{KR})^2 K_{h,z_{s,t},z_i} \right]^{-1} \sum_i \ln(y_i^{KR}) K_{h,z_{s,t},z_i} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (3)과 (4)에서 사용된 $K_{h,z_{s,t},z_i}$ 는 비모수 추정에서 나타나는 가중치항으로서 적절한 대너비 모수(bandwidth parameter) h 가 주어지면 $K_{h,z_{s,t},z_i} = \frac{1}{h} K\left(\frac{z_{s,t} - z_i}{h}\right)$ 로 정의되며, 본 연구에서는 커널함수 K 로 가우시안 커널(Gaussian Kernel)을

사용하였다.

첫 번째 단계에서는 식 (2)의 $\beta(z_{s,t})$ 를 식 (3)의 추정량 $\hat{\beta}(z_{s,t})$ 로 치환하여 다음과 같은 식으로 정리한다.

$$\ln(y_{s,t}^{JJ}) - \ln(y_t^{KR})\hat{\beta}_y(z_{s,t}) = (1 - \ln(y_t^{KR})\hat{\beta}_l(z_{s,t}))\alpha + u_t \quad (5)$$

식 (5) 형태로 주어진 $\ln(y_{s,t}^{JJ}) - \ln(y_t^{KR})\hat{\beta}_y(z_{s,t})$ 를 종속변수, $(1 - \ln(y_t^{KR})\hat{\beta}_l(z_{s,t}))$ 를 설명변수로 갖는 최소자승추정법으로 α 를 추정할 수 있다.

두 번째 단계에서는 앞서 추정된 $\hat{\alpha}$ 를 이용하여 $\hat{\beta}(z_{s,t}) (= \hat{\beta}_y(z_{s,t}) - \hat{\beta}_l(z_{s,t})\hat{\alpha})$ 를 추정할 수 있다.

이 모든 추정과정에 앞서서 띠너비 모수의 선택이 선행되어야 한다. 그러나 최적 띠너비 모수의 선택에 대한 현존하는 모든 계량경제학 이론은 변수들이 정상시계열이라는 가정 하에 도출된 것이며, 본 연구에서와 같이 비정상시계열인 경우에는 적용하기가 어렵다. 일반적으로 비정상시계열 변수가 있을 때는 정상시계열 가정하에서 찾은 띠너비 모수보다 더 큰 값을 사용하는 것이 바람직한 것으로 알려져 있다. 이에 대한 보다 자세한 설명은 Phillips and Park (1998)를 참조할 수 있다.

본 연구의 목적은 안정적인 예측모형을 개발하는데 있으므로 띠너비 모수를 용도별로 최근 2년간의 표본외예측 실험의 평균제곱근오차(RMSE)가 가장 작아지도록 하는 값으로 설정하였으며, 그 결과는 <표 3>에 정리하였다.

〈표 3〉 용도별 모형의 띠너비 모수 선택결과

용 도	선택된 띠너비 모수
가정용	0.00015
상업용	0.000485
산업용	0.00152

3. 예측력 평가

모형의 예측력을 평가하기 위해서 제7차 및 제8차 전력수급기본계획에서 활용된 모형과 본 연구에서 제안하는 모형의 표본외예측(out-of-sample forecast) 결과를 정리한다.

제7차 전력수급기본계획에서는 제주도 전력판매량을 다음과 같이 전국 전력 판매량을 설명변수로 하여 함수계수모형으로 예측하고 있다.

$$\ln(y_t^{JJ}) = \alpha + \beta_t \ln(y_t^{KR}) + e_t \quad (6)$$

y_t^{JJ} : 제주지역 t 년도 전력판매량

y_t^{KR} : t 년도 전국 전력판매량

β_t : 함수계수, 시간변동계수

한편 제8차 전력수급기본계획에서는 제주도 전력판매량을 다음과 같이 전국 GDP를 설명변수로 하여 함수계수모형으로 예측하고 있다.

$$\ln(y_t^{JJ}) = \alpha + \beta_t \ln(x_t^{KR}) + e_t \quad (7)$$

y_t^{JJ} : 제주지역 t 년도 전력판매량

x_t^{KR} : t 년도 한국 실질 GDP

β_t : 함수계수, 시간변동계수

1990년부터 2008년까지의 자료를 이용하여 식 (1), (6), (7)로 표현되는 각 모형을 추정하고, 2009년부터 2018년까지의 설명변수 실적치⁷⁾를 이용하여 표본외

예측 실험을 하고 평균 절대 백분율 오차(MAPE)를 비교하였다. <표 4>에서 확인할 수 있듯이, 본 연구의 모형의 예측오차가 기존 전력수급기본계획에서 활용되었던 모형의 오차보다 각각 24%, 24.2% 낮은 것으로 분석되었다.

〈표 4〉 표본외예측 실험결과

	본 연구	제7차 전력수급기본계획 모형	제8차 전력수급기본계획 모형
MAPE (%)	4.45	5.85	5.87

4. 추정 및 예측결과

본 연구에서는 1990년부터 2018년까지의 실적자료를 이용하여 용도별로 제주 전력판매량 모형을 추정하고 2019년부터 2031년까지의 전력판매량을 예측한다. 우선 용도별 판매전력량 실적은 매년 발표되는 한국전력통계의 행정구역별 용도별 판매전력량 자료를 가공하여 사용⁸⁾하였다. 공공용과 서비스업용 판매 전력량의 합을 상업용으로 정의하고, 농림어업, 광업 및 제조업의 판매전력량의 합을 산업용으로 정의하였다.

설명변수로 사용되는 한국의 전체 전력판매량은 1990년에서 2018년까지는 한국전력통계의 자료를 사용하고, 2019년에서 2031년까지는 제8차 전력수급

7) 함수계수의 예측 값은 기존의 전력수급기본계획에서와 마찬가지로 대상기간의 평균적인 속도로 감소하는 것으로 가정하여 계산하였다.

8) 1994년 이후 자료는 통계청 KOSIS (http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=310&tblId=DT_31002_A006&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=310_31002&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE, 접속일자: 2019.7.1.)에서 확인할 수 있으며, 1990~93년의 자료는 한국전력공사의 자료실 (https://home.kepco.co.kr/kepco/KO/ntcob/list.do?pageIndex=13&boardSeq=0&boardCd=BRD_000099&menuCd=FN05030103&pamScrpSeq=0&categoryCdGroup=®DateGroup2=, 접속일자: 2019.7.1.)에서 확인가능하다.

기본계획의 예측치를 사용하였다.

함수계수의 변수로 사용되는 부문별 GRDP의 전국 대비 제주 비율은 용도별로 다른 값을 사용한다. 가정용의 경우에는 함수계수의 변수를 전국 GDP 대비 제주의 GRDP 비율로 사용한다. 상업용과 산업용의 경우에는 함수계수의 변수를 전국 비생산부문 부가가치합 대비 제주 비생산부문 부가가치합⁹⁾의 비율과 전국 생산부문 부가가치합 대비 제주 생산부문 부가가치합의 비율로 각각 사용한다. 전국 GDP, 비생산부문 부가가치합 및 생산부문 부가가치합의 실적 및 예측치는 제9차 전력수급 기본계획의 자료를 준용하였다. 제주의 GRDP, 생산부문 부가가치합 및 비생산부문 부가가치합은 통계청의 행정구역(시도)별/경제활동별 지역내총생산¹⁰⁾을 사용하였으며, 예측치는 제주연구원의 제주 GRDP 중장기 전망결과¹¹⁾를 사용하였다.

<표 5>는 전국 및 제주의 부문별 부가가치 전망전제를 요약한 것이다. 전국 및 제주 모두 2019-31년까지의 연평균 증가율은 비생산부문이 상대적으로 높게 나타났으며, 제주지역의 생산부문 증가율이 전국의 생산부문 증가율보다는 다소 낮게 전제되어 있음을 알 수 있다. 그러나 그 차이는 미미하여 전국 대비 제주의 부문별 부가가치 비율은 상대적으로 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

9) 제주연구원의 중장기 GRDP 전망은 1) 농축산업 (GRDP1), 2) 광공업(제조업), 출판·영상·방송통신·정보서비스업, 전기·가스·증기·수도사업 (GRDP2), 3) 건설업, 부동산 및 임대업 (GRDP3), 4) 도소매업, 운수업, 숙박·음식업 (GRDP4), 5) 공공행정·교육·의료·사회복지, 금융·보험 등 기타서비스업 (GRDP5) 등 총 5개부문으로 이루어져있다. 본 연구에서는 GRDP1과 GRDP2의 합을 생산부문 부가가치 합으로 정의하고 나머지 GRDP3, GRDP4, 및 GRDP5의 합을 비생산부문 부가가치 합으로 정의하였다.

10) http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1C61&conn_path=I3 접속일자: 2019.7.1.

11) 기준 전망으로 볼수 있는 시나리오 I (인구수는 통계청 중위추계 준용, 관광객은 현재보다 100만명 증가 전제, 재정지출 연평균 3% 증가 전제)의 결과를 이용하였다.

〈표 5〉 전국 및 제주의 부문별 부가가치 전망전제

(단위: 10억원, 2010년 기준년가격(연쇄))

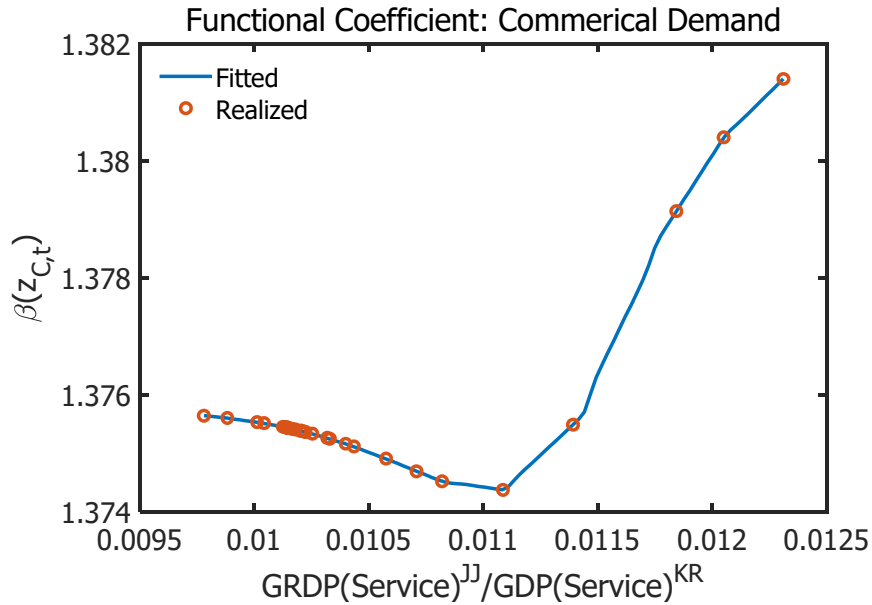
연도	전국			제주			상대비율		
	GDP (A1)	생산부문 부가가치 (A2)	비생산부문 부가가치 (A3)	GRDP (B1)	생산부문 부가가치 (B2)	비생산부문 부가가치 (B3)	B1/A1	B2/A2	B3/A3
2018	1,597,514	493,838	944,021	16,431	3,279	11,622	1.03%	0.66%	1.23%
2020	1,688,227	519,199	1,007,294	17,516	3,362	12,286	1.04%	0.65%	1.22%
2025	1,926,020	575,019	1,165,043	19,837	3,447	14,583	1.03%	0.60%	1.25%
2030	2,129,494	619,285	1,303,241	21,816	3,915	15,823	1.02%	0.63%	1.21%
2031	2,163,526	626,711	1,326,423	22,143	3,935	15,870	1.02%	0.63%	1.20%
연평균 증가율 ¹²⁾	2.36%	1.85%	2.65%	2.32%	1.41%	2.42%			

[그림 3]은 제주 상업용 전력판매량의 함수계수를 추정한 결과이다. 전반적으로 전국대비 제주지역의 비생산부문 부가가치 비율이 높아질수록 국내총 전력판매량에 대한 탄력성이 높아지는 것¹³⁾으로 분석되었다.

12) 2018~31년 연평균 증가율

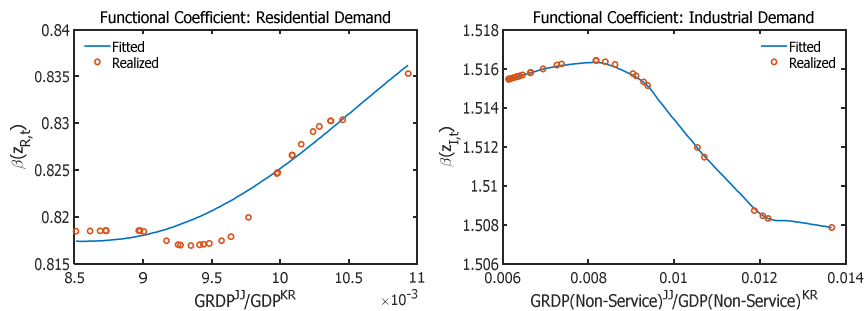
13) 함수계수의 추정 결과는 띠너비 모수 값에 의해서 smoothness가 바뀔 수 있다. 상업용의 경우는 선택된 띠너비 모수가 다소 작은 것으로 판단되며, 이를 키울 경우 비대칭적 U자 형 형태에서 단조 증가에 가까운 함수로 바뀌는 것으로 나타났다.

[그림 3] 상업용 전력판매량의 함수계수 추정결과



[그림 4]는 가정용과 산업용 전력판매량의 함수계수를 추정한 결과이다. 제주 가정용 전력판매량의 경우에 전국대비 제주의 GRDP 비율이 높아지면서 전국판매량에 대한 탄력성이 높아지는 것으로 나타났다. 반면에, 제주 산업용 전력판매량의 경우에 전국대비 제주의 생산부문 부가가치의 비율이 높아지면서 오히려 전국판매량에 대한 탄력성이 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 제주 산업용 전력판매량의 대부분이 농림어업용에 집중되어 있고, 이들의 원단위, 즉 부가가치당 전력사용량이 상대적으로 낮기 때문인 것으로 보인다.

[그림 4] 가정용 및 산업용 전력판매량의 함수계수 추정결과



<표 5>에 정리된 전국 및 제주의 부문별 부가가치 전망전제를 변수로 하여 [그림 3] 및 [그림 4]의 추정결과를 이용하면 각 용도별 모형의 함수계수를 예측할 수 있다. 이와 더불어 제8차 전력수급 기본계획하에서의 전국전력 판매량을 설명변수의 예측치로 사용하면 <표 6>와 같이 제주지역 용도별 전력 판매량을 예측할 수 있다. 제주연구원의 GRDP 전망 전제하에서의 2018년 이후 2031년까지의 제주 지역 전력판매량은 연평균 2.5%으로 한국 전체의 전력 판매량의 연평균 증가율인 1.9%보다 약 30% 높을 것으로 예측되었다.

<표 6> 제주지역 용도별 전력판매량 예측결과

Year	전국전력판매량 (TWh)	제주 전력판매량(GWh)			
		가정용	상업용	산업용	합계
2018	526.1	831	2,752	1,689	5,273
2020	552.3	873	2,930	1,816	5,618
2025	615.8	949	3,442	2,132	6,523
2030	667.0	1,005	3,789	2,413	7,207
2031	675.4	1,014	3,810	2,459	7,282
연평균 증가율	1.9%	1.5%	2.5%	2.9%	2.5%

IV. 구조적 VAR 모형

1. 분석 모형

앞서 언급한 바와 같이, 최근 전국-제주 전력판매량 사이의 디커플링 현상은 인구유입이나 관광객증가에 기인한 것으로 보인다. 이 장에서는 이들 변수의 충격에 따라 제주지역의 부문별 부가가치가 어떻게 변동하는지 분석하는 구조적 VAR 모형을 수립하고 추정한다. 또한 추정결과를 바탕으로 최종적으로 전력판매량에 어떠한 영향을 주는지 정량적으로 분석하고자 한다.

인구나 관광객 등의 변수의 충격이 제주지역의 GRDP에 미치는 동태적인 영향을 분석하기 위해서 관광객수, 인구수, 생산부문 부가가치, 비생산부문 부가가치 등 4변수를 선택하고 모형을 구성하였다. 또한 예측 모형과의 적합성을 위해서 각 변수들의 전국대비 제주의 상대비율로 변환하여 사용하였다. <표 7>은 VAR 모형의 변수와 생성방법에 대해서 설명하고 있으며, [그림 5]는 생성된 변수들을 시간에 따라서 plot한 것이다.

본 연구에서는 다음 식 (8)과 같은 4변수(z_t)¹⁴⁾의 구조적 VAR¹⁵⁾ 모형을 고려하였다.

$$Az_t = A_1z_{t-1} + A_2z_{t-2} + e_t, \quad Var(e_t) = B \quad (8)$$

구조형 VAR모형을 식별하기 위해서 Sims(1980)와 같이 인과사슬의 구조를 적용한다. 네 변수 사이에 $Tour \Rightarrow Pop \Rightarrow$ 생산부문 부가가치 $\Rightarrow$ 비생산부문

14) $z_t = (Tour_t, Pop_t, GDPtIND_t, GDPtSRVC_t)$

15) VAR 모형의 차수는 BIC 기준으로 선택하였다.

부가가치로 이어지는 인과사슬관계를 가정하여 구조형 VAR 식별하였다. 이와 같은 단기 제약조건 하에서 A 는 하방삼각행렬로 주어지고 B 는 대각행렬이 된다.

〈표 7〉 구조적 VAR 모형의 변수 및 생성방법

변수명	설명	생성방법
$Tour_t$	t년도, 제주의 전국대비 관광객 비율	TR_t^{KR} : 총인구대비 해외관광객수 TR_t^{JJ} : 제주인구대비 제주관광객수 $Tour_t = TR_t^{JJ}/TR_t^{KR}$
Pop_t	t년도, 제주의 전국대비 인구비율	POP_t^{JJ} : 제주인구 POP_t^{KR} : 총인구 $POP_t = POP_t^{JJ}/POP_t^{KR}$
GDP_t^{IND}	t년도, 제주의 전국대비 생산부문 부가가치 비율	GDP_t^{IND-JJ} : 제주의 생산부문 부가가치 GDP_t^{IND-KR} : 전국의 생산부문 부가가치 $GDP_t^{IND} = GDP_t^{IND-JJ}/GDP_t^{IND-KR}$
GDP_t^{SRVC}	t년도, 제주의 전국대비 비생산부문 부가가치 비율	$GDP_t^{SRVC-JJ}$: 제주의 비생산부문 부가가치 $GDP_t^{SRVC-KR}$: 전국의 비생산부문 부가가치 $GDP_t^{SRVC} = GDP_t^{SRVC-JJ}/GDP_t^{SRVC-KR}$

함수계수 모형을 이용한 장기 제주 전력판매량 예측

[그림 5] VAR 모형의 변수



2. 분석결과

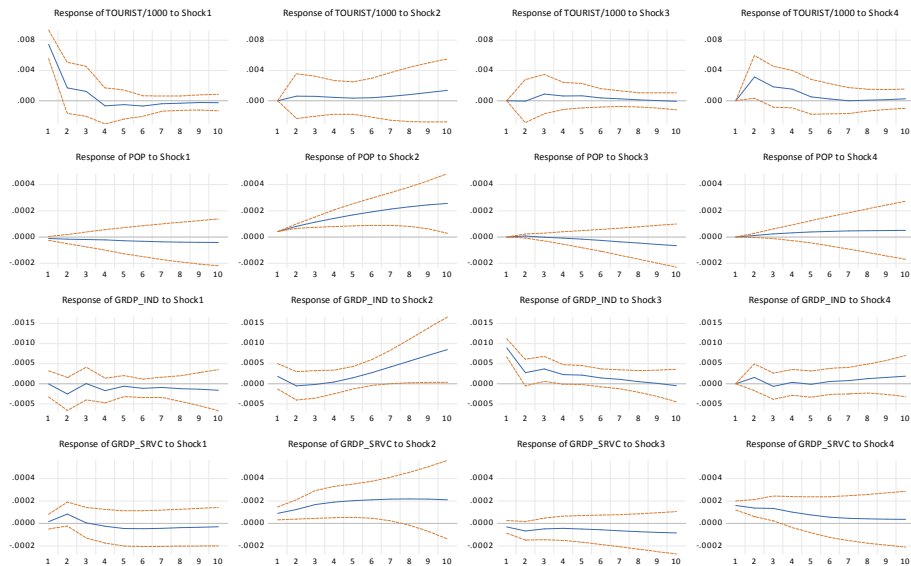
1985년에서 2018년까지의 자료를 이용해서 식 (8)을 추정한 결과 A 와 B 는 각각 다음과 같이 추정되었다.

$$\hat{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.001 & 1 & 0 & 0 \\ -0.006 & -4.475 & 1 & 0 \\ -0.006 & -2.316 & 0.0345 & 1 \end{pmatrix} \quad \hat{B} = \begin{pmatrix} 0.007453^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0000414^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.000897^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.00016^2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

위 결과로부터 각 변수의 직교충격반응함수를 구할 수 있으며, 그 결과는 [그림 6]과 같다. 세 번째와 네 번째 행은 각 구조적 충격에 대한 생산부문

부가가치 비율 및 비생산부문 부가가치 비율의 반응을 나타낸다. 특히 인구수의 충격이 5기 이후에 생산부문 부가가치를 의미있게 올리고 비생산부문 부가가치는 인구충격의 효과를 즉시, 그리고 지속적으로 받는 것으로 나타났다. 또한 관광객수의 충격은 다음기에 일시적으로 비생산부문 부가가치를 올리는 것 이외에는 유의미한 효과가 없는 것¹⁶⁾으로 나타났다.

[그림 6] 각 구조적 충격 1단위에 대한 반응함수



위와 같은 분석결과를 인구수의 단위 표준편차 충격이 장기 제주도 전력 판매량에 어떠한 영향을 미치는지 분석해보았다. 식 (9)에서 인구수 비율의 단위 표준편차는 0.0000414로 추정되었으며, 이는 2018년 기준 2,139명 제주 인구 증가¹⁷⁾에 상응하는 값이다. 이와 같은 충격으로 부문별 부가가치 비율의

16) 그러나 관광객 수의 증가는 일시적으로 최대전력의 증가를 야기할 수 있으며, 그 크기를 파악하는 것은 제주 전력수급 안정성 측면에서 중요할 수 있다. 다만, 이에 대한 분석은 본 연구의 범위를 벗어난다.

17) 2018년 전국인구가 51,635,256명이므로 $51,635,256 \times 0.0000414 = 2,139$ 명이 된다.

변화는 [그림 6]의 두 번째 열 세 번째 및 네 번째 행으로 추정된다. 이 차이를 반영하여 함수계수의 변수를 보정하고 용도별 전력판매량을 예측한 결과는 <표 8>에 정리하였다. 즉, 2018년 기준 제주의 인구가 0.3% 증가¹⁸⁾하면 7년 후인 2025년 이후 제주 지역의 매년 전력판매량이 0.36%-0.72% 증가하는 것으로 분석되었다.

<표 8> 인구수 충격 전후 제주판매량 예측결과 차이

(단위: MWh)

Year	기존	인구수 충격 후				차이 (B-A)
	합계 (A)	가정용	상업용	산업용	합계 (B)	
2018	5,273	831	2,752	1,689	5,273	0
2025	6,523	958	3,449	2,139	6,547	24
2030	7,207	1,015	3,805	2,433	7,253	46
2031	7,282	1,023	3,831	2,480	7,334	52

V. 결론

전국-제주 전력판매량 사이의 디커플링 추세가 심화되고 있는 상황에서 제주 전력수급의 안정성을 도모하기 위해서는 제주의 지역적 특성을 반영한 장기 제주 전력판매량 전망모형이 필요하다. 본 연구에서는 디커플링이 제주지역의 급격한 인구 및 관광객 증가와 산업구조 차이에서 기인한 것으로 인식하고 용도별 제주 전력판매량 예측 모형을 새롭게 개발하였다.

새로운 모형에서는 용도별 제주 전력판매량과 한국전체의 전력판매량 사이의 장기 균형 관계를 모형화되, 그 균형 관계가 부문별 부가가치의 전국대비 제주

18) 2018년 제주인구가 651,052명이므로 2,139명 증가는 제주 인구가 0.3% 증가하는 것에 상응하는 값이다.

지역의 상대비율에 따라서 변하는 것으로 설정하였다. 이와 같은 partially linear smooth coefficient 모형은 Robinson(1988) 추정량으로 추정이 가능하다. 본 연구의 모형으로 장기 제주 전력판매량을 제8차 전력수급기본계획의 전국 전력판매량 전제와 제주연구원의 제주지역 GRDP 전망 전제하에서 예측한 결과, 제주지역의 전력판매량은 2031년까지 연평균 2.5% 증가하는 것으로 예측되었다.

또한 본 연구에서는 구조적 VAR 모형을 수립하여 제주인구증가가 제주전력 판매량에 장기적으로 어떤 영향을 주는지를 정량적으로 분석하였다. 2018년 기준 0.3%의 제주 인구증가는 2025년 이후 전력판매량을 지속적으로 0.36%~0.72% 증가시키는 것으로 분석되었다.

이번 연구에서 개발된 제주 전력판매량 예측모형에서는 연도간의 기온차이에 따른 전력판매량 변이를 반영하지 못한다는 점에서 일정 부분 한계를 가지고 있다. 또한 전국의 전력판매량과 제주지역 GRDP 전망 결과에 예측결과가 크게 달라질 수 있다는 점도 한계로 지적될 수 있다.

그럼에도 불구하고 제주 지역의 특성을 직접 반영한 장기 모형을 처음으로 제시했다는 점에서, 그리고 제주 전력판매량에 영향을 미치는 가장 큰 요인을 파악하고 그에 따른 효과를 정량적으로 분석했다는 데에 의의를 갖는다.

접수일(2019년 7월 19일), 수정일(2019년 9월 16일), 게재확정일(2019년 9월 26일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 김혜민, 김인겸, 이대근, 임병환, 유승훈. 2018. “기온변수를 이용한 제주지역의 전력수요 함수 추정”, 한국혁신학회지 13(2), pp. 105-120.
- 구본희, 윤경하, 차준민. 2011. “기온특성을 고려한 제주지역 전력 수요 예측”, 대한전기학회 학술대회 논문집, pp. 250-252
- 배영수. 2015. “공적분 기법을 이용한 중장기 에너지 수요함수 추정 및 전망”, 에너지경제연구, 제 14 권 제 2호, pp. 21-50
- 산업통상자원부. 2017. 「제8차 전력수급기본계획(2017-2031)」.
- 제주연구원. 2019. 「제주 GRDP 중장기 전망」.
- Chang, H. and Y. Hsing, “The demand for residential electricity: new evidence on time-varying elasticities,” *Applied Economics*, Vol. 23, No. 7, 1991, pp. 1251~1256.
- Chang, Y., Kim, C. S., Miller, J. I., Park, S. and Park, J. Y., “Time-varying long-run income and output elasticities of electricity demand with an application to Korea”, *Energy Economics*, Vol. 46, 2014, pp. 334-347.
- Chang, Y., Choi, Y., Kim, C. S., Miller, J. I. and Park, J. Y., “Disentangling temporal patterns in elasticities: A functional coefficient panel analysis of electricity demand”, *Energy Economics*, Vol. 60, 2016, pp. 232-243.
- Galli, R., “The relationship between energy intensity and income levels: forecasting long term energy demand in Asian emerging countries,” *The Energy Journal*, Vol. 19, No. 4, 1998, pp. 85~106.
- Haas, R. and L. Schipper, “Residential energy demand in OECD-countries and the role of irreversible efficiency improvements,” *Energy Economics*, Vol. 20, No. 4, 1998, pp. 421~442.
- Li, Q. and Racine, J. S. *Nonparametric Econometrics: theory and practice*, 2007, Princeton University Press.

- Nguyen-Van, P., “Energy consumption and income: A semiparametric panel data analysis,” *Energy Economics*, Vol. 32, No. 3, 2010, pp. 557~563.
- Phillips, P.C.B. and J.Y. Park (1998). “Nonstationary density estimation and kernel autoregression,” *Cowles Foundation Discussion Paper #1181*.
- Richmond, A. K. and R. K. Kaufmann, “Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions?,” *Ecological Economics*, Vol. 56, No. 2, 2006, pp. 176~189.
- Robinson P.M. 1988. Root-N-consistent semiparametric regression. *Econometrica* 56: 931-954.

◎ 참 고 사 이 트 ◎

한국전력통계: 행정구역별 용도별 전력판매량

http://home.kepco.co.kr/kepco/KO/ntcob/list.do?boardCd=BRD_000099&menuCd=FN05030103,
접속일자:2019/7.1

통계청: 행정구역 (시도)별/경제활동별 지역내 총생산

http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1C61&conn_path=I3, 접속일자: 2019.7.1.

ABSTRACT

Forecasting Long-term Power Sales in Jeju Using
Functional Coefficient Model

Yongok Choi*

Recently, the decoupling trend in power sales between the nationwide and Jeju was deepened due to the increase in the population and tourists in Jeju and the industrial structure of Jeju different from the main land. In this study, we propose a new model to forecast the long-term power sales in jeju. We model the long-run equilibrium relationship between the power sales in Jeju by usage and nationwide electricity sales to vary according to the relative value-added ratios by sector, value-added in Jeju over that in Korea. According to the new forecasting model, the electricity sales in Jeju will keep increasing by 2.5% per year by 2031 when we adopt the GRDP projection from Jeju Research Institute and the nationwide electricity sales forecasts from the 8th Basic Plan of Long-Term Electricity Supply and Demand. In addition, using the structural VAR model, we quantitatively analyse the 0.3% increase in Jeju's population in 2018 would result in increase of Jeju electricity sales by 0.36% - 0.72% from 2025 to 2031.

Key Words : Long-term Forecasting Power Sales in Jeju, Functional
Coefficient Model, Structural VAR Model

* Assistant Professor, School of Economics, Chung-Ang University.
choiyongok@cau.ac.kr