

산업별 전력수요의 기온효과 분석

김인무* · 이용주** · 이성로*** · 김대용****

요약 : 본 논문은 실시간으로 측정되는 자동원격검침(AMR) 전력수요량을 사용하여 산업별 전력수요의 기온효과에 대한 특성과 패턴을 분석하였다. AMR 전력사용량의 시계열적 특징으로부터 장기 추세효과와 중기 기온효과 그리고 단기 특수일 효과로 구성되는 공적분 모형을 구축하고, 기온효과를 연속적인 기온반응함수를 통하여 분석하기 위하여 기온반응함수를 푸리에 플렉서블 폼(Fourier Flexible Form; FFF) 비선형 함수로 추정하였다. 추정 결과 도출된 기온반응함수와 기온효과를 통하여 기온효과가 뚜렷하게 나타나는 서비스업군과 기온효과가 미약하게 나타나는 제조업군으로 구분하였다. 그리고 기온효과가 뚜렷하게 나타나는 서비스업군을 기온반응함수의 추정치에 근거하여 여름피크 산업과 겨울피크 산업으로 구분하였다. 이러한 실증분석 결과는 산업별, 계절별 전력수요관리정책 수립에 정책적 기초를 제공한다. 또한 실시간으로 측정되는 AMR 전력수요량 분석이라는 점에서 시차의 발생없이 신속하게 전력수요관리에 반영될 수 있다는 의미가 있다.

주제어 : 산업별 전력수요, 전력수요관리, 기온반응함수, 기온효과, 정준공적분회귀모형

JEL 분류 : Q49, C50

접수일(2016년 2월 15일), 수정일(2016년 5월 9일), 게재확정일(2016년 6월 15일)

* 성균관대학교 경제학부 교수(e-mail: inmookim@skku.edu)

** 영남대학교 경제금융학부 조교수, 교신저자(e-mail: yongjulee@ynu.ac.kr)

*** 한국가스공사 경영연구소 선임연구원(e-mail: sungro@kogas.or.kr)

**** 한국개발연구원(KDI) 국제개발협력센터 자문협력팀 팀장(e-mail: dykim@kdi.re.kr)

Temperature Effects on the Industrial Electricity Usage

In-Moo Kim* · Yong-Ju Lee** · Sungro Lee*** and Daeyong Kim****

ABSTRACT : This paper, using AMR (Automatic Meter Reading) electricity data accurately measured in real time, analyses the characteristics and patterns of temperature effect on the industrial electricity usage. For this goal, the paper constructs and estimates a model which captures the properties of AMR time series including long-term trends, mid-term temperature effects, and short-term special day effects. Based on the estimated temperature response function and the temperature effect, we categorize the whole industry into two groups: one group with sharp temperature effect and the other with weak temperature effect. Furthermore, the industry group with sharp temperature effect is classified into a summer peak industry group and a winter peak industry group, based on the estimates of the temperature response function. These empirical results carry practical policy implications on the real time electricity demand management.

Keywords : Industrial electricity usage, Electricity demand management, Temperature response function, Temperature effect, Canonical cointegrating regression

Received: February 15, 2016. Revised: May 9, 2016. Accepted: June 15, 2016.

* Professor, Sungkyunkwan University(e-mail: inmookim@skku.edu)

** Professor, Yeungnam University, Corresponding author(e-mail: yongjulee@ynu.ac.kr)

*** Senior Research Fellow, Korea Gas Corporation(e-mail: sungro@kogas.or.kr)

**** Team Leader, Korea Development Institute(e-mail: dykim@kdi.re.kr)

I. 서론

우리나라의 전력소비는 경제발전 및 생활수준 향상 등 여러요인으로 인해 높은 수준의 증가율을 보여 왔으며, 발전설비 확충 속도 또한 수요를 따라가지 못하기 때문에 전력 위기의 요인이 상존해 있다고 볼 수 있다.

이러한 상황에서 2011년 9월 15일 발생한 초유의 정전사태는 두 가지 중요한 시사점을 던져준다. 첫째, 전력수요관리의 중요성이다. 사건 전후 최대전력 발생일 기준 전력 공급 현황을 살펴보면, 최대전력수요를 초과하는 공급예비력을 갖추고 있었음에도 불구하고 정전사태가 발생했음을 보여준다. 더군다나 9월 15일은 그 해의 최대전력 수요 일도 아니었다. 어떠한 충격도 감당할 만큼 충분히 높은 수준의 공급예비력을 갖추는 것이 재정적, 물리적으로 불가능한 상황이라면, 비상사태 발생 시 또는 이를 예방하기 위해서 체계적인 전력수요관리체계가 완비되어 있어야 함을 인식시켜 주는 중요 사건이었다. 둘째, 전력수요관리의 요체가 이상기온 발생에 대한 체계적 대응 및 관리라는 점을 일깨워 주었다. 9월 15일 정전사태에 대해 여러 관점에서 바라볼 수 있고, 여러가지 원인을 찾을 수 있겠지만 가장 직접적인 원인이 이상기온이었음은 부인하기 어렵다. 따라서 전력수요관리는 이상기온을 효과적으로 대응하는 것에 일차적 목표를 두어야 한다는 시사점을 얻을 수 있다.

본 논문은, 우리나라 전력소비의 현실과 이상에서 소개된 정전사태를 교훈으로 삼아, 실시간으로 측정되는 자동원격검침(Automatic Meter Reading, AMR) 전력수요량 자료를 사용하여 전력수요에 대한 산업별 기온효과의 특성을 분석하고 이에 대한 정책적 함의를 시사하고자 한다. 특히 본 논문에서는 각 산업별로 별도의 기온반응함수를 추정하여 이를 통하여 산업별 특성을 분석하고 이에 기초하여 전력수요관리에의 정책적 시사점을 제공한다는 데 의의가 있다.

문헌에서는 에너지 수요량 중에서 기온의 변화에 따른 수요량의 크기를 에너지 수요의 기온효과(temperature effect)라고 부른다. 그리고 많은 연구들이 이러한 기온효과를 에너지 수요모형에 효과적으로 반영하는 방향으로 진행되어 왔다. 초기의 연구들에서는 기온효과를 평균기온, 최고기온, 최저기온 등 특정기온에 대한 불연속적인 변화로 반영하는 특징을 보여 주었다. 주로 에너지 사용량은 냉난방 수요에 의한 것이라고 보고,

일 평균기온이 기준 온도보다 낮아서 난방이 필요한 난방도일, 높아서 냉방이 필요한 냉방도일을 기온효과 변수로 사용한 회귀방정식을 에너지 수요모형으로 활용하였다 (Gupta, 1985; Al-Zayer and Al-Ibrahim, 1996; Fan and Hyndman, 2011). 이러한 모형들은 임의로 가정한 기준 온도를 중심으로 특정기온의 불연속적 변화를 반영한 선형모형이라는 한계가 있었다(김인무 외, 2011).

이러한 단점을 극복하기 위하여 난방수요와 냉방수요를 구분하는 기준온도를 모형 내에서 내생적으로 추정하며 비선형적인 기온반응함수로 파악하는 모형들이 연구되어 왔다. 기온반응함수는 에너지 수요가 각 온도에 반응하는 민감도 혹은 에너지 수요에 대한 가중치를 나타내는 함수로 정의된다. 이러한 기온반응치를 기온 대에 대한 함수로 나타낸 기온반응함수는 U자 모양을 보이는데, 이는 냉방부하가 크게 발생하는 높은 온도에서 큰 값을 갖고, 기온이 내려감에 따라 낮아지다가, 난방수요가 발생하는 낮은 기온에서는 다시 올라가기 때문이다. 따라서 기온에 대한 에너지 수요의 반응을 그래프로 나타내면 에너지 수요를 수직축으로 하고 기온을 수평축으로 할 때 비대칭적인 U자 모양의 기온반응함수가 된다.

그러나 기온반응함수에 특정한 형태를 가정하는 것은 바람직하지 않다. 비선형 형태의 기온반응함수를 추정한 기존 연구 중 Engle et al. (1986)은 미국 가정용 전력수요의 기온효과를 실증분석한 결과 미국 가정용 전력수요에 대한 기온반응함수는 18.3C를 기준으로 비대칭적인 V자 형태를 나타낸다고 보고하였다. 따라서, 기온반응함수에 관한 대부분의 연구는 기온반응함수의 특정한 형태를 가정하지 않고 일반적인 비선형 함수인 푸리에 플렉서블 폼(Fourier Flexible Form; FFF) 비선형함수를 기온반응함수로 사용하여 왔다. 한국의 도시가스 수요를 추정한 Kim and Na (2002), 미국 전력수요의 기온반응함수를 추정한 Liu et al. (2006), 그리고 멕시코의 용도별 전력수요에 대한 기온반응함수를 추정한 Martinez-Chombo (2003) 등이 그 예이다. 한편 Moral-Carcedo and Vicens-Otero (2005)는 스페인 전력수요의 기온반응함수를 추정함에 있어 로지스틱 스무딩 전환 모형(logistic smoothing transition model)을 이용해 U자형태의 비대칭적 기온반응함수를 추정했다. 그리고, 김인무 외 (2011)는 기온반응함수를 에너지 상대가격과의 교차모형으로 확장하여 한국 도시가스 수요의 3차원 기온가격 교차반응함수를 추정하였다.

본 논문은 이들 연구의 연장선에서 비선형적 기온반응함수를 한국의 각 산업별로 추정하는 다음 각 산업의 기온반응함수가 어떠한 특징을 가지는지를 분석하게 된다. 상기 언급한 연구들은 주로 가정용, 상업용, 산업용의 주용도별 전력수요에 대한 분석했다. 산업용 세부수요에 대한 분석은 상대적으로 많지 않았다. 전력수요뿐만 아니라 에너지 수요 전 분야에서도 세부적인 산업용 수요에 대한 분석은 많이 진행되지 않았다. Bernstein and Madlener (2015)는 독일 산업용 전력수요의 8개 세부업종의 가격탄력성을 추정하였고 Agnolucci (2009)는 전력수요가 아닌 전체 에너지의 세부수요를 살펴봤다. 본 연구는 제조업과 서비스업의 33개 세부 업종 전력수요의 기온 및 추세적인 특성에 대한 분석을 제시함으로써 국내 전력사용량의 업종별 특성을 도출하였다.

산업별 특성 분석에 앞서 산업용 총 전력사용량, 제조업 및 서비스업 전력사용량에 대한 기온영향도 분석을 실시한다. 각 산업별 기온반응함수를 추정하여 비교해 본 결과 한국의 산업별 전력수요에 대한 기온반응 크기가 매우 다르다는 것을 알 수 있었다. 특히 제조업과 서비스업의 기온반응함수의 형태가 대조적인 것을 알 수 있다. 서비스업의 기온반응함수는 전형적인 U자 형태의 기온반응함수를 보여주는 반면, 대부분의 제조업은 평평한 수평선에 가까운 기온반응함수를 보여 주었다. 이러한 분석 결과는 산업별 전력수요의 특성과 계절적 패턴이 극명하게 달리 나타나기 때문에 이를 적절히 반영하는 전력수요관리 정책이 필요하다는 점을 시사한다고 할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 본 논문에서 사용한 실시간 AMR 전력수요량을 표준산업 분류에 따라 재분류한 후 나타나는 AMR 전력수요량의 시계열 특성을 분석한다. 제Ⅲ장에서는 AMR 전력수요량의 시계열 특성에 따라 기온반응함수가 포함된 산업별 AMR 전력수요량 모형을 제시한다. 제Ⅳ장에서 실증분석 결과 추정된 기온반응함수를 기초로 산업별 AMR 전력수요량에 나타난 기온효과의 특성을 분석한다. 제Ⅴ장에서는 실증분석결과를 요약하고 이에 근거하여 전력수요관리에서의 정책적 시사점을 제시한다.

II. 자료

1. AMR 전력수요량

본 논문에서 사용한 자료는 자동원격검침 시스템으로 측정된 업종별 실시간 AMR 전력수요량이다. 검침원에 의해 측정되는 전력수요량은 실제 사용량 보다 약 한달 정도의 시간차가 있어서 실시간으로 변하는 전력수요량을 즉각적으로 보여주지는 못한다. 이에 반해 AMR 전력수요량은 실시간으로 변하는 전력수요량을 시간단위로 측정하여 제공한다.

AMR 전력사용량은 농업, 광업, 제조업, 서비스업에 대한 79개 세부업종의 시간별 전력사용량 자료로 구성되어 있다. 본 연구는 여기서 주택용, 가로등, 기타를 제외한 76개 업종별 자료를 33개 업종으로 재분류하였는데, 우선 한국표준산업분류에 따라 대분류 21 항목으로 분류한 후, 제조업을 다시 한국은행 분류기준에 의거 화학제품, 1차금속, 전기및전자, 운송장비 등 13개 업종으로 세분화하였다. 구체적인 업종 분류 내용은 부록에 제시되어 있다. 자료기간은 2010년 1월 1일에서 2015년 12월 31일까지를 사용하였다.

원격 검침에 의하여 측정되는 AMR 전력수요량은 2014년¹⁾을 기준으로 한국 전체 전력사용량의 73.9%를 차지한다. 2009년에는 전체 전력수요량의 64.8%였으며 이후 전체 전력사용량에서 차지하는 비중이 지속적으로 증가하고 있다. AMR 전력사용량을 업종별로 살펴보면, 제조업의 경우 전체 전력사용량의 94.1%를 차지하고, 서비스업, 광업, 농업은 각각 53.1%, 72.5%, 41.3%를 차지한다. 원격검침의 확대로 AMR 전력사용량의 포함 범위가 늘어날 것으로 예상된다.

AMR 전력사용량의 업종별 구성비를 살펴보면 2015년 기준으로 제조업이 71.3%를 점유하고, 서비스업은 약 21.6%, 기타 업종이 7.1%를 점유하는 것으로 나타났다. 세부 업종별로 살펴보면 화학제품이 13.6%로 가장 많고, 1차 금속 13.0%, 전기및전자 11.0%, 운송장비 7.0%, 부동산및임대업 6.3%, 기계및장비 5.9%, 비금속광물과 석탄및석유 업종이 각각 3.5%를 점유하고 있다.

1) AMR 자료는 2015년까지 존재하나 전력거래소에서 제공하는 용도별 전력판매량 자료가 2014년까지만 존재하기에 비교년도를 2014년으로 설정하였다.

2. AMR 전력수요량의 시계열적 특성

현대 계량경제학에서 시계열 자료의 특성을 분석하는 출발점은 일반적으로 자료의 안정성(stationarity) 여부를 검정하는 것에서 시작한다. 자료의 안정성을 단위근 검정을 통한 단위근의 존재 여부로 파악하고 가설 검정의 결과에 따라 시계열 모형을 구축하게 된다.

단위근이 존재한다는 검정 결과를 얻게 되면 Beveridge and Nelson (1981)이 제시한 분해 모형에 따라 시계열 자료를 다음과 같이 모형화 한다. 시계열 자료에 단위근이 존재하면 반드시 확률적 추세(stochastic trend)가 포함되어 있다는 것을 의미하기 때문에 시계열 자료 X_t 는 다음과 같이 분해할 수 있다.

$$X_t = DT_t + ST_t + C_t$$

여기서 DT_t 는 확정적 추세를 나타내며 ST_t 는 확률적 추세를 나타낸다. 한편 C_t 는 주기성을 갖는 항목을 의미한다. 시계열 자료 X_t 의 장기적인 정보는 확정적 추세와 확률적 추세로 나타내어지며, 단기적인 주기성과 오차에 관한 정보는 C_t 로 표현된다.

본 논문에서는 33개 산업별 일간 AMR 전력수요량에 대한 단위근 검정을 시행하여 안정성 여부를 검정하였다. 단위근 검정 방법으로는 검정력이 높고 널리 사용되는 ADF 방법을 사용하였다. ADF 검정 방정식에 포함되는 확정적 추세 변수로는 상수항과 1차 시간추세를 순차적으로 포함시킨 모형을 사용하였다. 한편 ADF 검정 방정식에 포함되는 오차항의 독립성을 위하여 포함시키는 종속변수의 시차항의 최대 개수인 p_{max} 는 Schwert (1989)가 제시한 $p_{max} = 12[(n/100)^{0.5}]$ 기준으로 설정하였고, 여기서 n 은 자료수를 나타낸다. 시차항의 갯수 p 는 Ng and Perron(1995)에 따라 사전적인 최대 order를 정해놓고 시차항의 유의성 검정 결과로 선택하였다.

<표 1>은 2010년 1월 1일에서 2015년 12월 31일의 산업별 일간 AMR 전력사용량에 대한 단위근 검정 결과를 보여준다. <표 1>에 나타난 p-value는 단위근이 존재한다는 것을 귀무가설로 두었을 때 귀무가설 하에서의 t-value 분포인 Dickey-Fuller t분포에 의해 계산된 p-값을 나타낸다. 일반적인 통계적 유의수준 0.05보다 계산된 p-값이 크면 귀무

가설을 기각할 수 없어서 단위근이 존재한다는 추론을 하게 된다. 상수항만을 포함하는 경우와 상수항과 1차 추세항을 포함한 경우 모두 p-값이 0.05보다 작은 경우는 목재종이 인쇄복제업이 유일한 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 목재종이인쇄복제업을 제외한 모든 업종에서 단위근이 존재한다는 추론을 하게 된다. 다른 업종에 대해서는 단위근이 존재한다는 귀무가설은 기각할 수 없었다. 구체적인 산업별 검정결과는 부록에 나타내었다.

〈표 1〉 단위근 검정 (ADF *t*-test)

회귀모형	<i>t</i> -value	<i>p</i> -value	<i>t</i> -value	<i>p</i> -value
	산업용 총판매량		제조업	
상수항	-3.492	0.009	-3.741	0.004
상수항, 1차추세	-2.917	0.157	-2.713	0.232
	서비스업		화학제품	
상수항	9.401	1.000	-2.939	0.042
상수항, 1차추세	9.436	1.000	-2.175	0.503
	부동산임대업		목재종이인쇄복제	
상수항	9.708	1.000	-5.204	0.000
상수항, 1차추세	9.705	1.000	-5.194	0.000

단위근 검정의 결과에 따라 일간 AMR 전력수요량을 다음과 같이 모형화하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다.

$$X_t = \text{장기적 추세} + \text{주기성 항목}$$

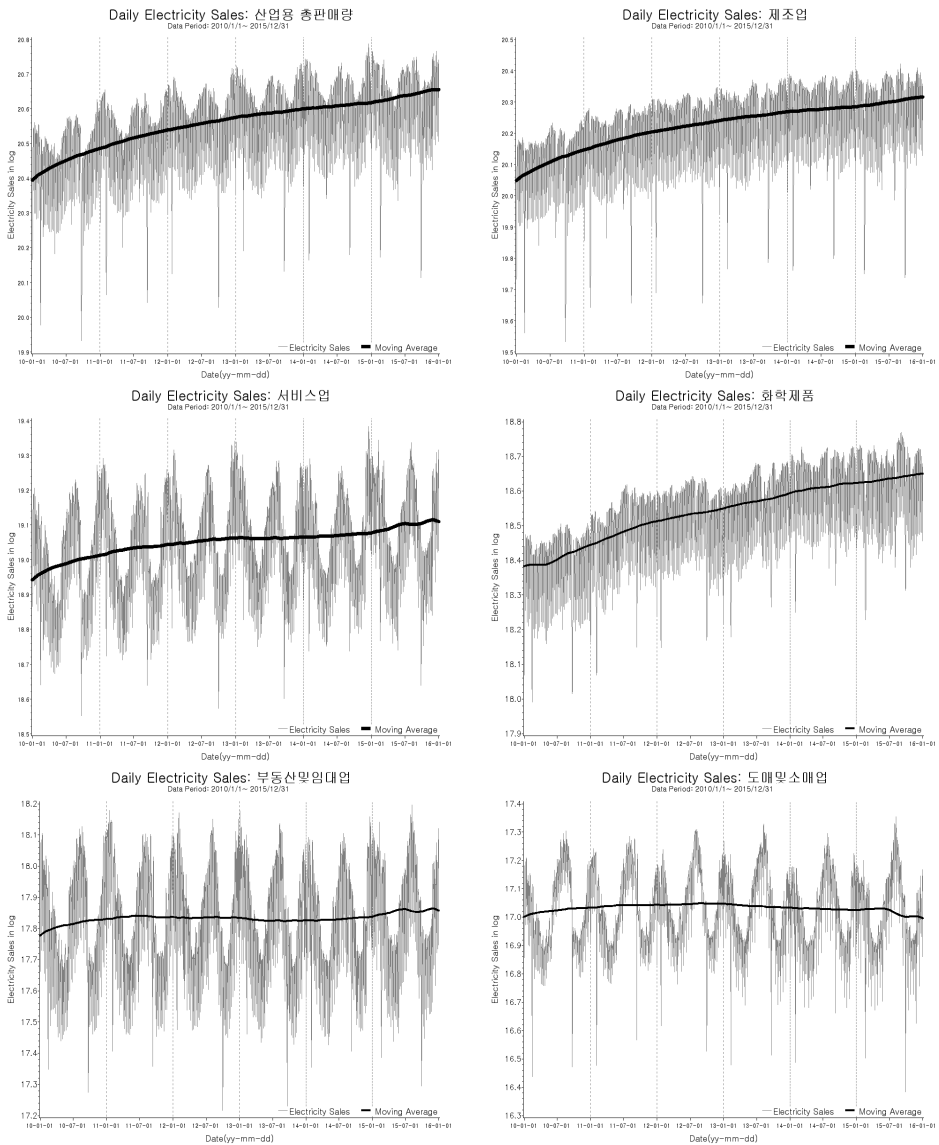
여기서 장기적 추세항은 확률적 추세를 갖는 항목으로 구성할 수 있고 주기성 항목은 계절적인 주기성을 갖는 중기적인 항목과 주간별 혹은 요일별 주기성을 나타내는 단기적인 항목으로 구성할 수 있다.

일간 AMR 전력사용량이 보여주는 장기, 중기 및 단기의 시계열적 특징을 살펴보기로 하자. <그림 1>은 산업 전체, 제조업, 서비스업, 그리고 제조업의 대표적인 산업인 화

산업별 전력수요의 기온효과 분석

학제품업과 서비스업의 대표적인 산업인 부동산 및 임대업, 도매 및 소매업의 AMR 전력수요량을 로그 값으로 나타낸 것이다. 그림에서 요동치는 가는 실선은 각 산업의 일별 AMR 전력수요량을 나타낸다.

〈그림 1〉 주요 산업 전력판매량 추이

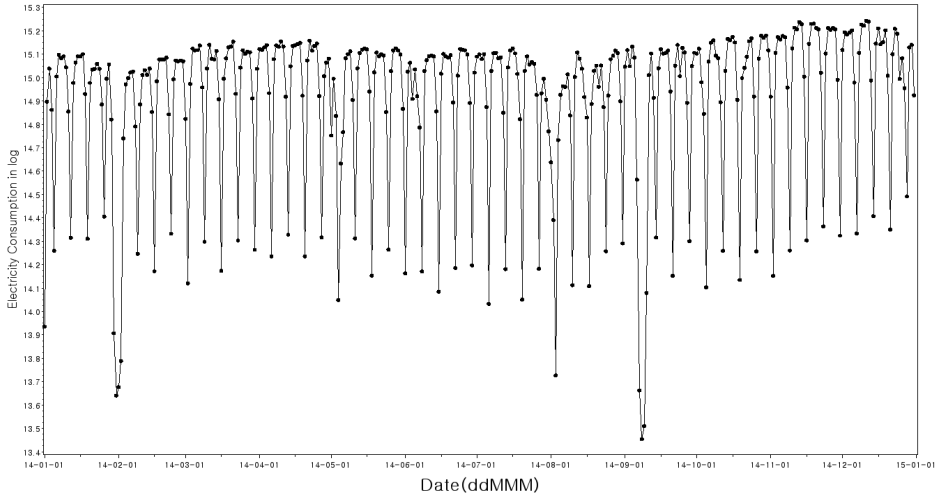


장기적인 추세를 나타내기 위해 본 논문에서는 AMR 전력수요량이 일별 자료임을 감안하여 365일 이동평균(moving average, MA) 을 장기적 추세 변수로 사용하였다. <그림 1>의 평활한 검정색 두꺼운 선이 365일 MA 항에 의한 장기적 추세선을 보여준다. 제조업군의 AMR 전력수요량은 완만히 증가하는 장기적 추세를 보여주는 반면, 서비스업군은 다소 평탄한 추세를 보임을 알 수 있다. AMR 전력수요량의 장기적 추세를 365일 MA항목으로 나타내면 장기적 추세에 관한 임의적인 가정 없이 장기적 추세를 효율적으로 나타낼 수 있다는 장점을 가진다.

AMR 전력수요량이 가지는 장기적인 추세를 제외하고 중단기 항목의 주기성에 대하여 살펴보자. <그림 1>에서 AMR 전력수요량의 중기적인 주기성을 파악하기 위하여 시간을 나타내는 수평축에 대하여 년 단위를 쉽게 파악하기 위하여 세로 참조선을 나타냈다. 세로 참조선 가운데를 하나의 윈도우로 보고 윈도우 내의 패턴이 계속 반복하게 되면 연간 단위로 주기성을 갖게 된다는 것을 의미한다. <그림 1>에 나타난 연간 주기성을 살펴보면 화학제품업의 AMR 전력수요량에서는 동하절기 변화가 크지 않고 주기성이 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다. 이에 반해 부동산 및 임대업, 도매 및 소매업의 AMR 전력수요량에서는 동하절기에 전력사용량이 증가하는 뚜렷한 계절적 패턴이 나타난다는 것을 알 수 있다. 이 같은 계절변동의 차이는 다른 업종에서도 유사하게 나타난다. 전반적으로 제조업은 전반적으로 기온변화에 따른 전력사용량 변동이 크지 않은 반면, 서비스업의 경우 계절성이 상대적으로 큰 편으로 냉·난방수요가 발생하는 동절기와 하절기에 전력사용량이 증가하는 패턴을 보인다.

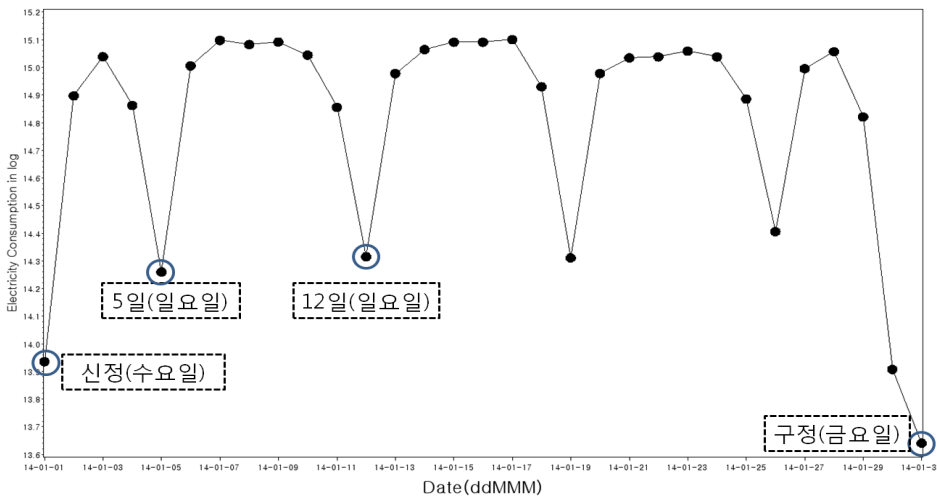
AMR 전력수요량에 나타나는 단기 정보인 요일별 특징을 살펴보자. 일별 특징을 구체적으로 살펴보기 위해 <그림 2>는 2014년 광업 AMR 전력수요량을 일별로 나타내었다. <그림 2>의 각 점은 AMR 전력수요량을 나타내는데 이 점을 연결한 그래프에서 같은 형태의 패턴이 계속적으로 반복된다는 것을 알 수 있다. 특히 같은 형태의 패턴이 일주간 단위로 반복된다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 주말의 전력수요량이 주중에 비하여 감소하기 때문에 나타나는 것이다. 또한 2월과 9월에 전력사용량이 크게 감소한다는 것을 볼 수 있는데, 이는 설날과 추석의 영향으로 나타난 것이다. <그림 2>에 나타난 그래프의 패턴은 주말과 공휴일에 따라서 전력수요량이 달라진다는 것을 보여주고 있다.

<그림 2> 2014년 일별 광업 AMR 전력사용량



요일별 AMR 전력수요량 패턴을 보다 명확히 살펴보기 위해 <그림 3>에 광업 전력사용량을 2014년 1월에 국한하여 나타냈다. <그림 3>의 그래프를 보면 일요일에 전력수요량이 감소하는 것을 명확히 볼 수 있으며, 토요일에는 일요일보다 감소량이 작은 것을 알 수 있다. 또한 월요일은 휴일은 아니지만 대체로 화요일에서 금요일 전력사용량 보다

<그림 3> 2014년 1월 광업 AMR 전력사용량 추이



는 작은 것을 볼 수 있다. 1월 1일은 일요일보다 전력수요량의 감소효과 큰 것으로 보이고, 설날은 이보다 더 크게 감소하는 모습을 보인다. <그림 3>에서 법정공휴일로 1월 1일만을 살펴보았지만, 다른 국가공휴일도 유사한 패턴을 보일 것을 짐작할 수 있다.

이상을 요약하면 AMR 전력수요량의 단기적인 변화는 요일은 물론 공휴일에 따라서도 주기성을 가지고 나타난다는 것을 알 수 있다. 전반적으로 나타는 패턴을 살펴보면, 설날과 추석명절에 전력수요량 감소가 가장 크고, 다음으로 법정공휴일, 일요일, 토요일, 월요일의 순서로 전력사용량 감소가 발생한다. 또한 최근 여가문화의 확대로 법정공휴일은 아니지만 샌드위치 데이 같은 경우에는 사업장별로 휴무로 지정하는 경우가 많기 때문에 전력수요량의 감소가 나타난다.

III. 모형

앞서 살펴본 AMR 전력사용량의 시계열적 특성을 고려하여 AMR 전력수요량 분석모형을 장기, 중기, 단기의 정보를 대표하는 세 개의 변수를 포함하는 다음과 같은 회귀방정식으로 설정하였다.

$$\log(AMR_t) = \alpha + \beta \log(MA_t) + \gamma TE_t + \sum \delta_i SD_{it} + \varepsilon_t \quad (1)$$

여기서 AMR 는 일별 AMR 전력수요량, MA 는 장기적인 추세를 반영하는 AMR 전력사용량의 이동평균, TE 는 중기적인 계절적 주기성을 나타내는 기온효과, SD_i 는 단기의 변동을 반영하는 특수일을 나타내는 더미변수이고, ε_t 는 오차항으로 일반적으로 $iid(0, \sigma^2)$ 을 따르는 백색오차임을 가정한다.

AMR 전력수요량은 단위근 검정 결과 단위근을 가지는 불안정한 시계열로서 확률적 추세를 포함하고 있다. 따라서 AMR 전력수요량의 이동평균인 MA 변수도 불안정적인 시계열 특징을 가지며 동일한 확률적 추세를 가지게 되어 AMR 전력수요량 분석모형(1)은 불안정적 시계열 변수 간의 선형적 관계에서 공통의 확률적 추세를 갖는 공적분 모형이 됨을 알 수 있다.

공적분 모형으로 구축된 AMR 전력수요량의 회귀모형 (1)에서 세 개의 설명변수가 사용되었는데 이중에서 MA 변수와 특수일을 나타내는 더미변수는 비교적 쉽게 구하여 모형에 포함시킬 수 있다. 장기 추세를 나타내는 MA 변수는 365일 이동평균 값을 사용한다. 단기 특성을 파악하기 위한 특수일로는 - 월요일, 토요일, 일요일, 1월1일, 삼일절, 노동절, 어린이 날, 현충일, 광복절, 개천절, 성탄절, 연말일, 석가탄신일, 명절 전전날, 명절 전날, 명절, 명절 다음날, 명절 다음다음날, 명절 3일 후, 선거일, 이틀연속 휴일, 샌드위치 데이, 하계휴가- 총 23개의 특수일로 구분하여 23개의 더미변수를 사용한다. 한편 장기와 단기의 특성과 달리 중기의 계절적인 주기성의 특징을 가지는 기온효과 TE_t 변수는 비선형 기온반응함수를 포함하는 함수 형태로 구성이 된다.

기온효과 TE_t 변수는 전력수요의 계절적 주기성을 반영하는 항목으로, 기온 변화에 따른 전력사용량의 증감을 연속적으로 파악하기 위하여 기온분포함수 $f_t(s)$ 와 기온반응함수 $g(s)$ 의 기온 s 에 대한 적분의 형태로 다음과 같이 정의된다.

$$TE_t = \int f_t(s)g(s)ds \quad (2)$$

여기서 s 는 기온을 $[0, 1]$ 구간의 실수로 나타내기 위하여, 기온의 범위를 섭씨 -20도에서 40도까지 가정하여 $s = \frac{\text{기온} + 20}{60}$ 를 통하여 구한 값이다.

기온효과(2)에서 기온분포함수 $f_t(s)$ 는 각 기온의 발생빈도를 상대빈도로 나타낸 것으로 개념적으로 확률밀도함수와 동일하며 다음과 같이 비모수 추정법인 커널밀도함수를 통하여 추정한다.

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - s_i}{h}\right)$$

다양한 커널함수가 사용 가능하나 본 연구에서는 대표적이고 기온분포의 특징을 잘 반영하는 다음과 같은 정규커널함수를 사용한다.

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right)$$

한편 h 는 커널밀도함수의 평활화를 결정하는 모수로 일반적으로 사용되는 관계식인 $h = 1.06\hat{\sigma}n^{-1/5}$ 로 설정하였다.

기온반응함수 $g(s)$ 는 기온에 따른 전력수요량을 함수 형태로 나타낸 것이다. 기온에 따른 전력수요량의 변화는 기온에 따라 달리 나타난다. 예를 들어 같은 기온 1도의 변화라 하더라도 섭씨 17도에서 18도에서의 변화와 섭씨 -10도와 -11도의 변화 또는 섭씨 30도와 31도의 변화에 따른 전력수요량의 변화가 다르게 나타나기 때문에 기온 변화에 따른 전력수요량 변화를 나타내는 기온반응함수는 비선형함수가 된다.

기온반응함수를 일반적인 비선형함수로 가정하면 Gallant(1981)가 제시한 기온 s 에 대한 다항식과 삼각함수 항으로 구성되는 푸리에 플렉서블 폼(Fourier Flexible Form; FFF) 비선형 함수로 표현할 수 있다. 본 연구에서는 김인무 외 (2011)에서 사용한 다음과 같은 FFF 함수 형태의 기온반응함수 추정식을 사용하였다.

$$g(s) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i s^i + \sum_{i=1}^q [\alpha_{p+2i-1} \cos(2\pi s^i) + \alpha_{p+2i} \sin(2\pi s^i)] \quad (3)$$

기온반응함수 (3)을 AMR 전력수요량 모형 (1)에 포함하여 추정하기 위하여 기온반응함수 (3)에서 사용된 다항식과 삼각함수 항의 일반화 정도를 나타내는 모수 p 와 q 를 사전적으로 결정하여야 한다. 본 논문에서는 김인무 외 (2011)의 기존 연구를 바탕으로 모수를 $p=2$ $q=1$ 로 선정하여 다음과 같은 기온반응함수를 추정한다.

$$g(s) = \alpha_0 + \alpha_1 s + \alpha_2 s^2 + \alpha_3 \cos(2\pi s) + \alpha_4 \sin(2\pi s) \quad (4)$$

기온반응함수 (4)를 AMR 전력수요량 모형 (1)에 포함하면 다음과 같은 추정모형을 구하게 된다.

$$\log(AMR_t) = \beta \log(MA_t) + x_t' \alpha + \sum \delta_i SD_{it} + \varepsilon_t \quad (5)$$

여기서 변수 x_t 와 계수 벡터 α 는 다음과 같이 정의된다.

$$x_t = \left[1, \int_s f_t(s) s ds, \int_s f_t(s) s^2 ds, \int_s f_t(s) \cos(2\pi s) ds, \int_s f_t(s) \sin(2\pi s) ds \right]'$$

$$\alpha = [\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4]'$$

AMR 전력수요량 추정모형 (5)는 기본적으로 공적분 모형이기 때문에 OLS 추정방법은 비효율적이라는 사실이 널리 알려져 있다(Maddala and Kim, 1998). 공적분 추정방법으로는 Johansen 추정방법 등 다양한 공적분 추정방법이 있으나 본 논문에서는 점근적으로 효율적이면서도 비선형 계수함수의 경우에도 일관적인 추정량을 제공하는 Park(1992)이 제시한 정준공적분회귀(Canonical Cointegrating Regression, CCR) 모형을 응용한 추정방법을 사용하였다.

IV. 실증분석 결과

2010년1월 1일에서 2015년 12월 31일까지의 표본기간 동안 AMR 전력수요량 자료를 사용하여 AMR 전력수요량 추정모형 (5)를 CCR 방법으로 33개의 산업에 대하여 추정하였다. 이동평균 추정기간의 양 끝단에서 불안정하게 추정되는 것을 고려하기 위해 이동평균치는 2009년 1월 1일에서 2016년 3월까지 자료를 이용하고, 전력수요량 추정 시에는 2009년과 2016년 자료를 제외한 나머지 자료만을 사용하였다. 여기에 많은 산업에서 자료가 불안정하였기에 2009년을 모형추정에서 제외하였다. 추정결과는 이동평균 MA, 기온효과 TE, 상수항 및 특수일 더미변수 23개에 대한 총 26개 회귀계수와 함께 기온반응함수 계수가 33개 산업에 대해서 추정되었다.²⁾

본 논문에서 분석하고자 하는 AMR 전력수요량에 포함된 산업별 기온효과의 특징은

2) AMR 전력수요량 추정 모형의 전체 추정결과는 지면 관계상 수록하지 못했으나 원하는 독자에게 제공될 수 있다.

기온반응함수와 기온효과를 중심으로 분석하게 된다. 주요 산업에 대한 기온반응함수 (4)의 추정결과가 <표 2>에 제시되어 있다. 나머지 세부업종에 대한 추정결과는 부록에 제시하였다.

<표 2> 주요 산업 기온반응함수 추정결과

업종 변수	산업용 총수요량		제조업		서비스업	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	1.66	3.00	0.97	1.95	-0.22	-0.20
α_1	0.48	2.33	2.77	4.06	3.02	3.90
α_2	-0.38	-1.70	-2.75	-4.23	-2.24	-2.96
α_3	0.11	6.30	0.22	4.91	0.37	7.04
α_4	0.07	6.22	0.02	1.35	0.29	18.02
업종 변수	화학제품		부동산및임대업		도매및소매업	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	-0.70	-1.20	-3.75	-1.31	11.44	4.88
α_1	2.67	3.03	4.42	5.17	4.74	7.68
α_2	-2.67	-3.11	-3.51	-4.21	-4.00	-6.65
α_3	0.21	3.49	0.53	9.13	0.54	12.88
α_4	0.00	-0.02	0.33	18.24	0.21	16.49

추정결과에서 α_0 는 기온반응함수의 상수항에 대한 33개 산업별 추정치를 보여주고 있다. 기온변수 s 의 일차항에 대한 추정계수 값이 α_1 으로 이차항에 대한 추정계수 값이 α_2 로 나타나 있다. 한편 삼각함수 중 cosine 항목에 대한 추정계수 값이 α_3 로 sine 항목에 대한 추정계수 값이 α_4 로 주어져 있다. 각 산업별로 추정된 기온반응함수의 추정계수 값들이 각 산업의 기온반응함수가 어떠한 형태를 갖는지를 결정한다.³⁾

한편 본 논문에서 사용하는 기온분포는 한국의 표준 기온분포이다. 그러나 실제 기상

3) 기온반응함수의 추정기간에 따른 추정치의 강건성을 살펴보기 위해 본 논문에서 고려한 기간이외에 2010~2014년과 2011~2015년의 자료를 이용하여 추정한 결과 상기 결과에 큰 차이를 보이지 않았다. 지면의 제약으로 구체적인 추정결과를 수록하지 못했으나 저자에게 요청시 제공될 수 있다.

자료에는 각 지역별 기온분포에 관한 정보만 존재하고 한국 전체의 표준 기온분포에 관한 자료는 존재하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 지역별 기상정보에 의한 지역 기온분포를 지역별 전력수요량으로 가중평균한 표준 기온분포를 구하여 사용한다.

구체적으로 지역별 기온분포는 기상청에서 제공하는 5대 지역 시간별 기온자료를 이용하여 일단위로 AMR 전력사용량과 시점을 맞추어서 정규커널함수를 이용하여 추정하였다. 지역별 가중치는 기본적으로 전력거래소의 전력통계시스템(EPSS)에서 제공하는 업종별 전력사용량의 지역별 판매량을 기준으로 산출하였다.

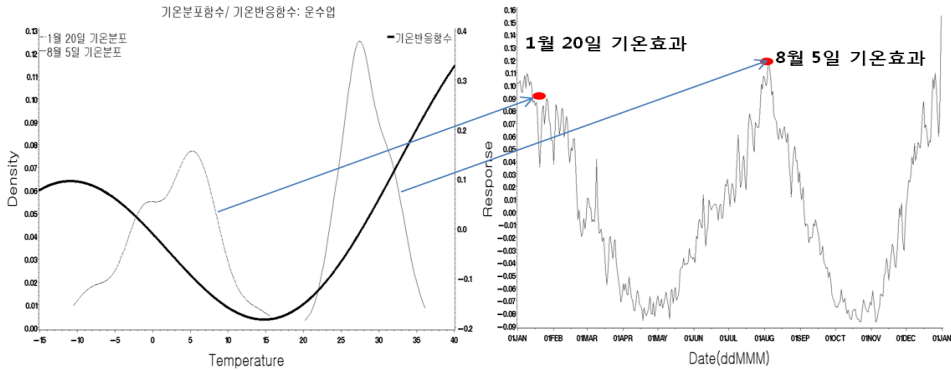
표준 기온분포를 구하는 과정을 운수업을 예로서 살펴보면, 다음과 같이 기상정보로 추정된 5대 지역의 기온분포를 해당지역 전력사용량 비중으로 가중평균하여 계산한다.

$$\begin{aligned}
 (\text{운수업}) \text{ 전국 기온분포} &= \text{서울지역 기온분포} \times 53.2\% + \\
 &\quad \text{부산지역 기온분포} \times 14.3\% + \\
 &\quad \text{대구지역 기온분포} \times 10.1\% + \\
 &\quad \text{대전지역 기온분포} \times 11.4\% + \\
 &\quad \text{광주지역 기온분포} \times 11.0\%.
 \end{aligned}$$

산업별 표준 기온분포 추정에 사용한 지역별 가중치는 부록에 제시되어 있으며 2015년 가중치는 자료의 부재로 2014년 지역별 가중치를 동일하게 적용하였다.

이상의 추정결과를 가지고 기온분포와 기온반응함수의 적분으로 구성된 기온효과를 구한다. 기온효과를 구하는 적분과정을 도식화를 통하여 살펴보자. <그림 4>는 기온효과를 구하는 과정을 운수업의 경우를 예로 도식화한 것이다. <그림 4>의 좌측 그림에서 수평축은 기온을 나타내고 수직축은 두 개의 값을 별도로 나타낸다. 좌측의 수직축은 기온 변화에 대한 전력수요량을 나타내는 기온반응함수 값이며 우측의 수직축은 기온에 따른 연간 상대빈도를 나타낸다. <그림 4>의 좌측 그림에서 U자 형태를 보이는 그래프가 운수업의 기온반응함수이다. 운수업의 기온반응함수는 <표 2>의 기온반응함수 추정 결과를 가지고 그린 그래프이다.

〈그림 4〉 기온효과 생성과정



한편〈그림 4〉의 좌측 그림에서 종 모양에 가까운 두 개의 그래프 중 좌측의 그래프는 운수업의 1월 20일(점선)의 표준 기온분포이며 우측의 그래프는 8월 5일(실선)의 표준 기온분포이다. 운수업의 1월 20일의 표준 기온분포는 섭씨 6도 정도를 중심으로 1월 20일의 기온이 분포되어 있으며, 8월 5일의 표준 기온분포를 보면 섭씨 27도를 중심으로 분포되어 있다는 것을 알 수 있다.

〈그림 4〉의 좌측 그림에 나타난 기온반응함수와 기온분포를 적분하여 구한 것이 〈그림 4〉의 우측 그림에 있는 기온효과 그래프이다. 〈그림 4〉의 우측 그림에서 수평축은 시간을 나타내고 수직축은 기온효과 크기를 나타낸다. 운수업의 경우 〈그림 4〉의 좌측 그림에서 나타난 U자 형태의 기온반응함수에 일별 표준 기온분포를 곱하여 적분한 결과가 〈그림 4〉의 우측 그림에 나타난 W자 형태의 기온효과 그래프이다. 수평축을 1월 1일부터 12월 31일까지의 일별 시간으로 나타내었을 때 전체적으로 여름과 겨울에 기온 효과에 의한 전력수요량이 많고 봄과 가을에 적어서 운수업의 기온효과 그래프는 W자 형태를 갖게 된다.

〈그림 4〉를 통하여 알 수 있는 것은 U자 형태의 기온반응함수가 W자 형태의 기온효과 그래프로 나타난다는 사실이다. 만약 기온반응함수가 U자 형태를 가지지 않게 되면 기온효과 그래프도 W자 형태를 갖지 않는다. 따라서 이하에서는 U자형 기온반응함수로 인하여 W자 형태의 기온효과 그래프를 갖는 산업별 특성을 UW 특성이라고 하자. 이와 대조적으로 수평선 형태의 평평한 기온반응함수를 가져서 수평선 형태의 기온효과

를 보여주는 산업별 특성을 FF 특성이라고 하자.

산업별로 기온반응함수와 기온효과의 그래프가 어떠한 형태를 갖는지 비교하여 보면 제조업과 서비스 산업 간의 차이가 극명하게 나타난다. 서비스 산업에 속하는 업종은 UW 특성을 가지는 반면 제조업은 FF 특성을 갖는다. 제조업과 서비스업의 전체적 특성은 <그림 5>에서 확인할 수 있다.

<그림 6>는 서비스 산업의 대표 업종인 도매 및 소매업, 숙박 및 음식점업, 그리고 운수업의 기온반응함수와 기온효과 그래프를 보여주고 있다. 서비스업의 대표적인 3개의 업종 모두 뚜렷한 UW 특성을 보여주고 있다는 것을 알 수 있다.⁴⁾ 서비스업에서는 냉난방용 전력수요량이 크기 때문에 UW 특성을 갖는 것으로 보인다.

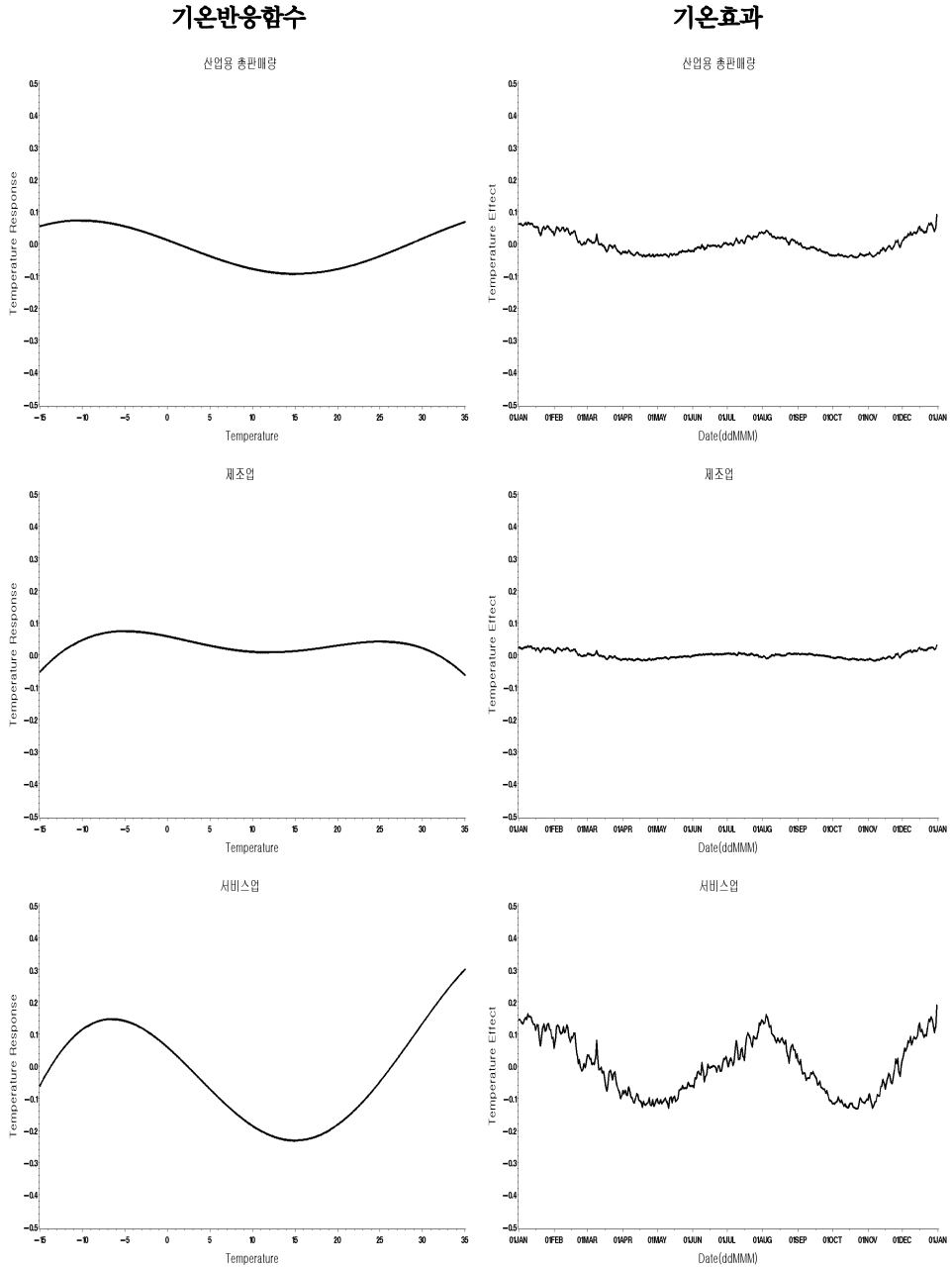
한편 <그림 7>은 제조업의 대표적인 업종인 화학제품, 1차금속, 그리고 전기 및 전자기기 업종의 기온반응함수와 기온효과의 그래프를 보여주고 있다. 제조업의 대표적인 3개의 업종 모두 뚜렷한 FF 특성을 보여주고 있다는 것을 알 수 있다. 제조업에서는 전력이 생산과정에서 공장설비 등 자본재를 가동하기 위한 요소로 활용되어 기온변화에 대한 전력사용량의 변화가 크지 않은 것으로 보인다.

산업별로 대조적으로 나타나는 기온효과에 따른 전력수요량의 차이는 기온반응함수의 형태에 의하여 결정된다. 각 산업별로 추정된 기온반응함수는 각 기온 대에 전력수요량이 얼마나 나타나는가에 대한 가중치를 제공하기 때문에 기온 대에 나타나는 기온반응함수의 최대치와 최소치를 구하여 그 차이인 범위를 계산하여 비교하여 보면 어떠한 특성을 갖게 되는지를 일목요연하게 알 수 있다. 기온반응함수의 최대치와 최소치의 차이인 범위의 값이 크면 UW 특성을 가지고 반대로 범위의 값이 작으면 FF 특성을 가지게 된다.

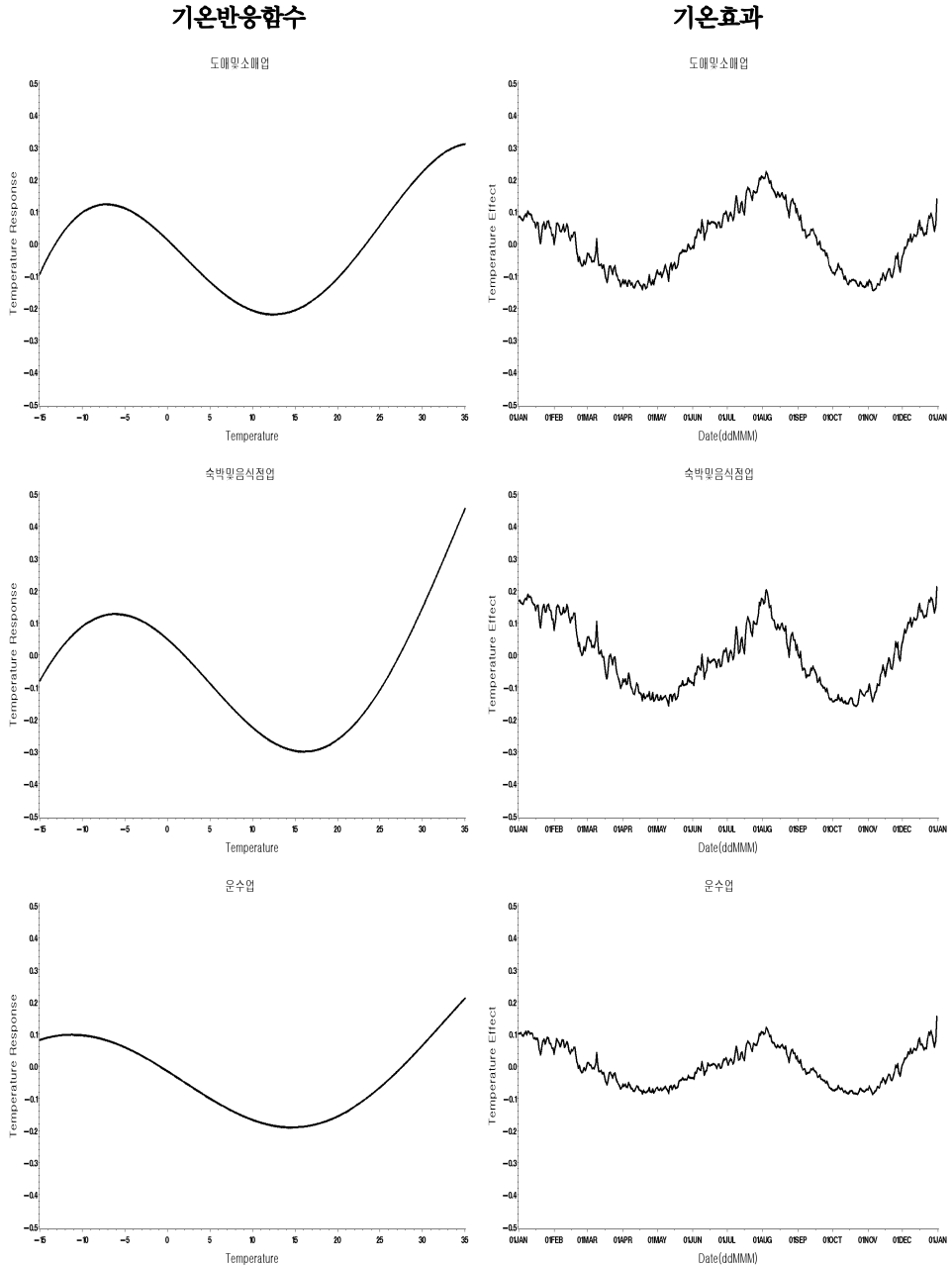
<표 3>은 각 산업별로 추정된 기온반응함수가 섭씨 -15도에서부터 35도까지의 기온대에서 갖는 기온반응함수의 최대치와 최소치 그리고 최대치와 최소치의 차이인 범위를 보여주고 있다. 산업별 범위의 값을 비교하기 쉽게 범위의 값이 큰 순서대로 산업을 나열하였다. 범위의 값이 큰 <표 3>의 상단부는 서비스 산업에 속하는 업종으로 구성되어 있고, 제조업은 작은 범위 값을 가져서 <표 3>의 하단부에 위치하고 있음을 알 수 있다.

4) 기온반응함수에 나타난 왼쪽 극저온부와 오른쪽 극고온부의 결과는 소위 end-point problem에 의해 나타난 것으로 기온반응함수는 표본 끝 부분을 제외한 온도 구간에 대해서 뚜렷한 U자 형태를 갖는다.

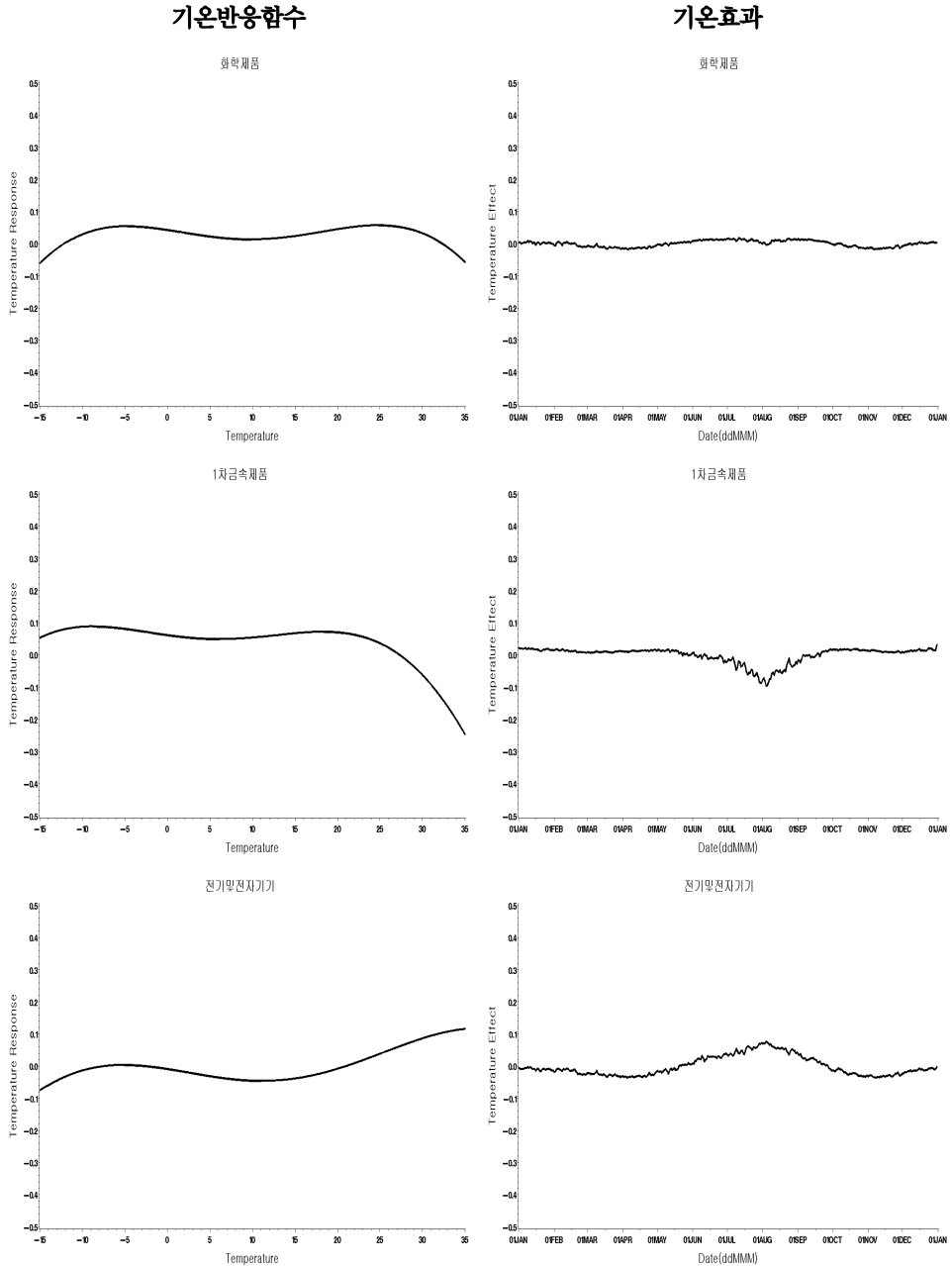
〈그림 5〉 산업용 총판매량, 제조업, 서비스업 기온반응함수/기온효과 추정결과



〈그림 6〉 서비스업 대표업종 기온반응함수/기온효과 추정결과



〈그림 7〉 제조업 대표업종 기온반응함수/기온효과 추정결과



〈표 3〉 기온반응함수의 최대치, 최소치 및 범위

업종	최대값	최소값	범위
보건및사회복지서비스업	0.499	-0.326	0.825
예술,스포츠및여가관련서비스업	0.469	-0.287	0.756
숙박및음식점업	0.454	-0.300	0.754
공공행정	0.369	-0.329	0.698
부동산업및임대업	0.363	-0.281	0.644
교육서비스업	0.338	-0.300	0.638
협회및단체,수리및기타개인서비스업	0.232	-0.333	0.566
농업	0.191	-0.360	0.550
사업시설관리및사업지원서비스업	0.295	-0.238	0.532
도매및소매업	0.310	-0.220	0.530
전문,과학및기술서비스업	0.286	-0.205	0.491
건설업	0.200	-0.268	0.468
금융및보험업	0.262	-0.185	0.447
금속제품	0.216	-0.212	0.428
운수업	0.211	-0.190	0.402
운송장비	0.220	-0.170	0.390
출판,영상,방송통신및정보서비스업	0.239	-0.112	0.352
1차금속	0.089	-0.247	0.335
정밀기기	0.101	-0.192	0.293
광업	0.109	-0.174	0.283
목재종이인쇄	0.106	-0.147	0.253
석탄및석유제품	0.079	-0.139	0.218
기타제조업	0.135	-0.070	0.205
음식담배	0.117	-0.087	0.204
비금속광물	0.096	-0.105	0.201
전기및전자기기	0.116	-0.076	0.192
기계및장비	0.116	-0.065	0.181
전기가스증기수도사업	0.094	-0.081	0.175
화학제품	0.058	-0.061	0.119
하수,폐기물처리,원료재생및환경복원업	0.052	-0.057	0.109
섬유및가죽제품	0.052	-0.049	0.101

이러한 사실을 통하여 서비스 산업은 UW 특성을 가져서 기온효과로 인하여 발생하는 전력수요량이 계절별로 매우 큰 차이를 보인다는 사실을 확인할 수 있다. 한편 제조업은 FF 특성을 가져서 기온효과로 인하여 발생하는 전력수요량이 계절별 차이가 거의 나타나지 않는다는 사실을 확인할 수 있다.

서비스 산업의 경우 UW 특성이 뚜렷하게 나타나는데, 서비스 산업 중에서도 특히 어떠한 업종에서 계절적 차이가 크게 나타나는지 기온반응함수의 값을 통하여 유추할 수 있다. 각 기온대에 나타나는 기온반응함수 값의 상대적 크기를 비교하여 보면 어떠한 산업이 어떤 기온대에 가장 큰 전력수요량을 보이는지를 판단할 수 있다.

<표 4>와 <표 5>은 서비스 산업에 속하는 업종들의 기온반응함수 값의 상대적 순위를 기온대별로 정리한 표이다. 표의 맨 좌측 열은 섭씨 35도에서 -15까지의 기온대의 일부를 나타낸다. 각 산업별로 표시된 숫자는 섭씨 35도에서 -15까지의 기온에서 계산된 기온반응함수 값의 상대적 순위를 나타낸다. <표 4>에서 서비스업 열에서 1의 값은 35도에서 나타났는데 이는 서비스업의 경우 영상 35도의 기온에서 기온반응함수 값이 가장 크게 나타났다는 것을 의미한다. 그 다음으로 큰 기온반응함수의 값이 2로 나타난 34도에서였다. 이러한 기온반응 순위를 통하여 서비스업 전체의 경우 30도 이상의 더운 날씨에 기온반응이 매우 크게 나타나며 한편 영하 5도에서 8도 사이의 추운날씨에도 기온반응이 큰 것으로 나타나 서비스업의 경우 냉난방에 대한 전력수요가 높다는 것을 유추할 수 있다.

이러한 방법으로 1위에서 50위까지의 숫자가 <표 4>와 <표 5>에 나타나 있다. 표의 크기를 줄이기 위하여 전력수요에 대한 기온반응이 낮게 나타나는 중간 기온대는 생략하였다.

<표 4>를 보면 농림어업, 교육서비스업, 건설업은 기온이 낮은 동절기에 전력수요량이 높아지는 특성을 보여주고 있다. 기온이 낮은 동절기에 난방에 필요한 전력수요가 높아지는 농림어업, 교육서비스업, 건설업을 겨울피크 산업으로 분류한다. 한편 출판영상방송통신, 도매및소매업, 금융보험업은 기온이 높은 하절기에 전력수요량이 높아지는 특성을 보여주고 있다. 기온이 높은 하절기에 냉방에 필요한 전력수요가 높아지는 출판영상방송통신, 도매및소매업, 금융보험업을 여름피크 산업으로 분류한다.

한편 <표 5>에 나타난 서비스 산업의 업종은 기온이 낮은 동절기와 기온이 높은 하절

산업별 전력수요의 기온효과 분석

기에 모두 전력수요가 높은 것으로 나타났다. <표 5>에 나타난 서비스 업종은 여름/겨울 피크 산업으로 분류하였다.

<표 4> 겨울피크 산업과 여름피크산업

기온	서비스업	농업	교육서비스업	건설업	출판, 영상, 방송통신	도매 및 소매업	금융 및 보험업
-15	31	11	34	18	40	35	34
-14	27	13	29	15	35	29	29
-13	23	14	24	13	31	26	26
-12	19	12	20	11	27	22	22
-11	17	9	17	8	24	19	19
-10	14	8	12	6	20	16	15
-9	12	6	10	4	18	13	13
-8	9	5	8	2	16	11	11
-7	6	3	6	3	14	10	8
-6	7	1	4	5	15	12	9
-5	8	2	2	7	17	14	12
-4	11	4	1	9	19	15	14
-3	13	7	3	12	22	18	16
-2	15	10	5	14	23	20	18
-1	18	15	7	17	25	23	21
0	20	16	9	19	28	25	23
26	26	45	37	35	10	17	20
27	24	43	35	33	9	9	17
28	21	41	32	30	8	8	10
29	16	38	30	28	7	7	7
30	10	36	27	26	6	6	6
31	5	33	25	23	5	5	5
32	4	31	22	20	4	4	4
33	3	28	19	16	3	3	3
34	2	24	16	10	2	2	2
35	1	21	14	1	1	1	1

〈표 5〉 여름/겨울피크 산업

기온	전문, 과학 및 기술서 비스업	예술, 스포 츠 및 여가 관련서비 스업	숙박 및 음식점업	부동산업 및 임대업	보건 및 사 회복지서 비스업	사업시설 관리 및 사 업 지원서 비스업	공공행정	운수업
-15	32	31	30	32	29	32	24	13
-14	28	27	27	27	26	27	22	11
-13	24	24	23	23	23	23	18	8
-12	20	22	20	20	20	20	16	6
-11	18	18	18	16	18	16	13	5
-10	15	16	16	14	15	13	11	7
-9	13	13	12	11	12	11	9	10
-8	9	11	10	9	10	9	7	12
-7	8	9	8	7	8	7	4	14
-6	10	8	7	8	7	8	6	15
-5	12	10	9	10	9	10	8	17
-4	14	12	11	12	11	12	10	18
-3	16	14	13	15	13	15	12	20
-2	19	17	14	17	16	17	14	21
26	21	25	29	25	30	25	33	27
27	17	20	25	21	25	21	30	25
28	11	15	21	18	21	18	28	22
29	7	7	15	13	14	14	25	19
30	6	6	6	6	6	6	20	16
31	5	5	5	5	5	5	15	9
32	4	4	4	4	4	4	5	4
33	3	3	3	3	3	3	3	3
34	2	2	2	2	2	2	2	2
35	1	1	1	1	1	1	1	1

〈표 6〉은 이상의 분류 방법을 통한 산업별 기온효과의 특성을 표로 나타낸 것이다. 서비스 산업이 여름피크 산업, 겨울피크 산업, 그리고 여름/겨울피크 산업으로 구분되어 있다. 제조업의 경우에는 FF 특성을 보여 기온효과 미약한 것으로 분류되어 있다.

<표 6>에 나타난 기온효과 크기와 계절별 피크에 따른 산업 분류는 전력수요관리 정책에 정책적 시사점을 제시하고 있다. 전력수요량이 최대로 나타나는 하절기와 동절기에 각각 어떠한 산업에 대하여 전력수요관리 지침을 전달하고 이에 따른 인센티브 정책을 실시하는 것이 바람직한가에 대한 시사점을 보여주고 있다. 특히 산업별 특성을 실시간으로 파악할 수 있는 AMR 전력수요량을 통하여 보다 신속한 전력수요관리정책의 시행이 가능할 것이라는 것을 알 수 있다.

<표 6> 업종별 기온효과 특성 구분

구분	기온효과 뚜렷	기온효과 미약
여름 피크	출판영상방송통신정보서비스업, 도매및소매업, 금융및보험업	광업, 음식료및담배, 섬유및가죽제품, 목재종이인쇄복제, 석탄및석유제품, 화학제품, 비금속광물제품, 1차금속제조업, 금속제품, 전기및전자기기, 정밀기기, 기계및장비, 온송장비, 기타제조업, 전기가스증기수도사업, 하수폐기물처리원료재생활환경복원업
겨울 피크	농림어업, 교육서비스업, 건설업	
여름/ 겨울 피크	전문과학및기술서비스업, 예술스포츠및여가관련서비스업, 숙박및음식점업, 부동산및임대업, 보건업및사회복지서비스업, 시설관리및사업지원서비스업, 공공행정및국방, 운수업,	

V. 결론

본 논문은 실시간으로 측정되는 AMR 전력수요량을 이용하여 산업별 전력수요의 기온효과에 대한 특성과 패턴을 분석하였다. 이를 위해, AMR 수요량의 시계열적 특징으로부터 장기 추세효과와 중기 기온효과 그리고 단기 특수일 효과로 구성되는 공적분 모형을 구축하고, 기온효과를 연속적인 기온반응함수를 통하여 분석하기 위하여 기온반응함수를 FFF 함수로 추정하였다.

추정 결과 도출된 기온반응함수와 기온효과를 통하여, 서비스 산업의 AMR 전력수요량은 기온효과가 뚜렷하게 나타나는 UW 특성을 가지는 것을 알 수 있었다. 반면 제조업

의 경우 기온효과가 미약한 FF 특성을 가지는 것으로 분석되었다. UW 특성이 나타나는 서비스 산업의 경우, 기온반응함수로 구해지는 기온별 전력수요량 가중치의 상대적 순위를 통하여 여름피크 산업과 겨울피크 산업으로 세분하였다. 이러한 분석을 통해, 이상기온 발생 시 전력수요가 급증할 가능성이 높은 산업군과 그렇지 않은 산업군을 구분할 수 있었고, 이는 계절별 전력수요관리 정책 수립에 중요한 함의를 제공한다.

본 연구가 분석한 산업전력수요의 특성에 관한 결과가 시사하는 전력수요관리에 대한 정책적 함의는 크게 세 가지이다. 첫째, 기온변화에 따른 전력수요 변화가 산업별로 차이가 있음을 보임으로써 전력수요관리정책 시행시 산업별 특성을 고려해야 한다는 정책적 근거를 제공하였다. 둘째, 여름피크 산업과 겨울피크 산업이 다르게 나타나기 때문에 산업별 전력수요관리정책에 있어서 계절별 고려 또한 산업별 고려와 동시에 이루어져야 한다는 점을 보여 주었다. 기온효과가 뚜렷하여 이상기온 발생 시 전력수요가 급증할 가능성이 높은 산업군과 그렇지 않은 산업군의 구분이 가능하기 때문에, 이상기온으로 인한 전력수요관리 필요시 이러한 특성과 전력사용량 비중 등을 고려하여 산업의 우선순위를 정하고 수요관리에 임하는 것이 본원적인 경제활동을 최소한으로 제약하는 방법임을 알 수 있었다. 셋째, 검침원이 행하는 수동검침을 통한 전력수요량 자료 분석을 통한 결과는 정책적 시차를 가지는데 반해 실시간으로 측정되는 AMR 전력수요량의 분석을 통한 결과는 정책적 시차가 발생하지 않기 때문에, 본 논문의 분석방법론은 전력수요관리정책의 신속성 향상에 기여할 수 있다. AMR을 통한 원격검침의 확대와 이에 대한 분석은 정책 시차를 줄이는 데 기여할 것이다.

본 논문을 끝내며, 과학적인 전력수요관리정책 수립을 위해 전력수요의 특성이 다양한 관점에서 더욱 더 분석되어야 한다는 점을 강조하고자 한다. 전력수요는 여러 가지 다양한 요인이 복합적으로 작용하고 있다. 본 논문의 경우 기온효과에 따른 중기적 전력수요와 그 특성이 산업별로 분석되었지만, 그 외의 단기적 요인, 장기적 요인들에 따른 전력수요의 특성이 더 분석될 필요가 있다.

[References]

- 김인무·김창식·박성근, “에너지 상대가격 변화에 따른 에너지 수요 예측”, 「경제학연구」, 제59집 제4호, 한국경제학회, 2011.
- Agnolucci, P., “The Energy Demand in the British and German Industrial Sectors: Heterogeneity and Common Factors,” *Energy Economics*, Vol. 31, No. 1, 2009, pp. 175~187.
- Al-Zayer, J. and A. A. Al-Ibrahim, “Modeling the Impact of Temperature on Electricity Consumption in the Eastern Province of Saudi Arabia,” *Journal of Forecasting*, Vol. 15, 1996, pp. 97~106.
- Bernstein, R. and R. Madlener, “Short- and Long-run Electricity Demand Elasticities at the Subsectoral Level: A Cointegration Analysis for German Manufacturing Industries,” *Energy Economics*, Vol. 48, 2015, pp. 178~187.
- Beveridge, S. and C. R. Nelson, “A New Approach to Decomposition of Economic Time Series Into Permanent and Transitory Components with Particular Attention to Measurement of the Business Cycle,” *Journal of Monetary economics*, Vol. 7, No. 2, 1981, pp. 151~174.
- Chang, Y., C. S. Kim, J. I. Miller, J. Y. Park, and S. Park, “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, H. and Y. Hsing, “The Demand for Residential Electricity: New Evidence on Timevarying Elasticities,” *Applied economics*, Vol. 23, 1991, pp. 1251~1256.
- Chang, Y. and E. Martinez-Chombo, “Electricity Demand Analysis Using Cointegration and Error-correction Models with Time Varying Parameters: The Mexican Case,” Working Paper, Rice University, Department of Economics, 2003.
- Engle, R. F., C. W. Granger, J. Rice, and A. Weiss, “Semiparametric Estimates of the Relation Between Weather and Electricity Sale,” *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 81, 1986, pp. 310~320.
- Fan, S. and R. J. Hyndman, “The Price Elasticity of Electricity Demand in South Australia,” *Energy Policy*, Vol. 39, 2011, pp. 3709~3719.
- Gallant, A. R., “On the Bias in Flexible Functional Forms and an Essentially Unbiased

- Form: The Fourier Flexible Form,” *Journal of Econometrics*, Vol. 15, 1981, pp. 211~245.
- Gupta, P. C., “Adaptive short-term forecasting of hourly loads using weather information. In *Comparative Models for Electrical Load Forecasting*,” Bunn DW, Farmer ED (eds). Wiley: New York, 1985. pp. 43~56.
- Kim, Y. and I. G. Na, “Temperature Effect on Natural Gas Demand in Korea,” *Korean Association of Applied Economics*, Vol. 4, 2002, pp. 51~78.
- Liu, J. M., R. Chen, L. -M. Liu, and J. L. Harris, “A Semi-parametric Time Series Approach in Modeling Hourly Electricity Load,” *Journal of Forecasting*, Vol. 25, 2006, pp. 537~559.
- Maddala, G. S. and I. -M. Kim, “Unit Roots, Cointegration, and Structural Change,” *Cambridge University Press*, 1998.
- Moral-Carcedo, J. and J. Vicens-Otero, “Modeling the Non-linear Response of Spanish Electricity Demand to Temperature Variations,” *Energy Economics*, Vol. 27, 2005, pp. 477~494.
- Ng, S., and P. Perron, “Unit Root Tests in ARMA Models with Data-dependent Methods for the Selection of the Truncation Lag,” *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 90, 1995, No. 429, pp. 268~281.
- Park, J. Y., “Canonical Cointegrating Regressions,” *Econometrica*, Vol. 60, 1992, pp. 119~143.
- Schwert, G. W., “Tests for Unit Roots: A Monte Carlo Investigation,” *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 7, 1989, pp. 147~159.

[부록]

〈A 1〉 AMR 전력사용량 자료 분류-1

AMR 전력사용량 자료 분류	모형 분류
농업 임업 어업	A. 농림어업
석탄, 원유 및 천연가스 광업 금속 광업 비금속광물 광업;연료용 제외 광업 지원 서비스업	B. 광업
식료품 제조업 음료 제조업 담배 제조업	C-1 음식담배
섬유제품 제조업; 의복제외 의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업 가죽, 가방 및 신발 제조업	C-2 섬유및가죽제품
목재 및 나무제품 제조업;가구제외 펄프, 종이 및 종이제품 제조업 인쇄 및 기록매체 복제업	C-3 목재종이인쇄복제
코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	C-4 석탄및석유제품
화학물질 및 화학제품 제조업;의약품 제외 의료용 물질 및 의약품 제조업 고무제품 및 플라스틱제품 제조업	C-5 화학제품
비금속 광물제품 제조업	C-6 비금속광물제품
1차 금속 제조업	C-7 1차 금속 제조업
금속가공제품 제조업;기계 및 가구 제외	C-8 금속제품
전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	C-9 전자및전자기기
의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	C-10 정밀기기
전기장비 제조업 기타 기계 및 장비 제조업	C-11 기계 및 장비
자동차 및 트레일러 제조업 기타 운송장비 제조업	C-12 운송장비
가구 제조업 기타 제품 제조업	C-13 기타제조업

〈A 1〉 AMR 전력사용량 자료 분류-2

AMR 전력사용량 자료 분류	모형 분류
전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업 수도사업	D. 전기가스 증기 수도사업
하수, 폐수 및 분뇨 처리업 폐기물 수집운반, 처리 및 원료 재생업 환경정화 및 복원업	E. 하수폐기물처리원료 재생 환경 복원업
종합건설업 전문직별공사업	F. 건설업
자동차 및 부품판매업 도매 및 상품중개업 소매업; 자동차제외	G. 도매 및 소매업
육상운송 및 파이프라인 운송업 수상운송업 항공운송업 창고 및 운송관련 서비스업	H. 운수업
숙박업 음식점 및 주점업	I. 숙박 및 음식점업
출판업 영상·오디오 기록물 제작 및 배급업 방송업 통신업 컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업 정보서비스업	J. 출판 영상방송통신 정보서비스업
금융업 보험 및 연금업 금융 및 보험관련 서비스업	K. 금융 및 보험업
부동산업 임대업; 부동산제외	L. 부동산 및 임대업

산업별 전력수요의 기온효과 분석

〈A 1〉 AMR 전력사용량 자료 분류-3

AMR 전력사용량 자료 분류	모형 분류
연구개발업 전문서비스업 건축기술, 엔지니어링 및 기타 과학기술 서비스업 기타 전문, 과학 및 기술 서비스업	M. 전문과학 및 기술서비스업
사업시설 관리 및 조경 서비스업 사업지원 서비스업	N. 시설관리 및 사업지원 서비스업
공공행정, 국방 및 사회보장 행정	O. 공공행정, 국방 및 사회보장행정
교육 서비스업	P. 교육 서비스업
보건업 사회복지 서비스업	Q. 보건업 및 사회복지 서비스업
창작, 예술 및 여가관련 서비스업 스포츠 및 오락관련 서비스업	R. 예술 스포츠 및 여가관련 서비스업
협회 및 단체 수리업 기타 개인 서비스업	S. 협회 및 단체 개인서비스업
가구내 고용활동 달리 분류되지 않은 자가소비를 위한 가구의 재화 및 서비스 생산활동	T. 가구내 고용활동 이하 미분류
국제 및 외국기관	U. 국제 및 외국기관
주택용 가로등 기타	모형 제외

〈A 2〉 산업별 전력사용량 지역별 비중

업종	서울 ¹⁾	대전 ²⁾	대구 ³⁾	광주 ⁴⁾	부산 ⁵⁾
농림어업	20.5%	17.2%	11.1%	36.8%	14.5%
광업	43.6%	26.1%	13.9%	8.9%	7.5%
음식료및담배	34.3%	22.3%	7.0%	20.4%	15.9%
섬유및가죽제품	23.1%	7.4%	43.1%	10.4%	15.9%
목재종이인쇄복제	36.2%	23.9%	7.7%	17.9%	14.3%
석탄및석유제품	14.9%	18.9%	6.0%	31.2%	29.0%
화학제품	43.6%	29.4%	11.3%	9.6%	6.1%
비금속광물제품	43.6%	29.4%	11.3%	9.6%	6.1%
1차금속제품	11.2%	22.7%	27.8%	17.1%	21.1%
금속제품	34.9%	13.1%	16.1%	4.4%	31.6%
전기및전자기기	55.5%	8.8%	8.9%	6.8%	20.0%
정밀기기	43.1%	35.9%	13.4%	3.2%	4.4%
기계및장비	69.8%	17.7%	5.0%	2.8%	4.8%
운송장비	18.5%	14.6%	16.2%	9.8%	41.0%
기타제조업	75.8%	12.0%	3.6%	1.4%	7.2%
서비스업*	52.9%	11.4%	10.1%	11.2%	14.4%
제조업	27.9%	21.6%	15.2%	15.1%	20.2%
산업용 총 판매량	39.5%	16.6%	12.8%	13.6%	17.7%

1) 서울지역: 서울, 경기, 인천, 강원도

2) 대전지역: 대전, 충남, 충북

3) 대구지역: 대구, 경북

4) 광주지역: 광주, 전북, 전남

5) 부산지역: 부산, 울산, 경남

* 전기가스수도증기사업, 건설업과 모든 서비스업은 자료 한계로 인해 동일한 가중치 적용
출처: 전력거래소 전력통계시스템(EPSS)

산업별 전력수요의 기온효과 분석

〈A 3〉 단위근 검정 (ADF *t*-test)

회귀모형	<i>t</i> -value	<i>p</i> -value	<i>t</i> -value	<i>p</i> -value
	산업용총판매량		제조업	
상수항	- 3.492	0.009	- 3.741	0.004
상수항, 1차추세	- 2.917	0.157	- 2.713	0.232
	서비스업		농림어업	
상수항	9.401	1.000	9.217	1.000
상수항, 1차추세	9.436	1.000	9.324	1.000
	광업		음식담배	
상수항	- 2.674	0.079	- 3.520	0.008
상수항, 1차추세	8.223	1.000	- 3.278	0.070
	섬유및가죽제품		목재종이인쇄복제	
상수항	- 2.075	0.255	- 5.204	0.000
상수항, 1차추세	- 5.232	0.000	- 5.194	0.000
	석탄및석유제품		화학제품	
상수항	- 2.648	0.084	- 2.939	0.042
상수항, 1차추세	- 2.325	0.420	- 2.175	0.503
	비금속광물제품		1차금속	
상수항	- 1.973	0.298	- 2.262	0.184
상수항, 1차추세	- 1.973	0.616	- 2.404	0.377
	금속제품		전자및전자기기	
상수항	- 3.070	0.030	- 2.269	0.182
상수항, 1차추세	- 2.794	0.200	- 2.159	0.512
	정밀기기		기계및장비	
상수항	- 2.260	0.185	- 3.431	0.010
상수항, 1차추세	2.265	1.000	- 2.895	0.164
	운송장비업		기타제조업	
상수항	- 3.050	0.031	- 2.876	0.049
상수항, 1차추세	- 2.450	0.353	- 2.417	0.370

〈A 3〉 단위근 검정 (ADF *t*-test)-계속

회귀모형	<i>t</i> -value	<i>p</i> -value	<i>t</i> -value	<i>p</i> -value
		전기가스증기수도사업		하수폐기물처리
상수항	5.515	1.000	-2.699	0.075
상수항, 1차추세	6.140	1.000	-2.455	0.351
	건설업		도매및소매업	
상수항	-2.137	0.230	1.998	1.000
상수항, 1차추세	8.849	1.000	1.997	1.000
	운수업		숙박 및 음식점업	
상수항	9.818	1.000	1.965	1.000
상수항, 1차추세	9.903	1.000	1.964	1.000
	출판영상방송통신정보		금융 및 보험업	
상수항	9.965	1.000	2.778	1.000
상수항, 1차추세	10.106	1.000	2.802	1.000
	부동산임대업		전문과학기술서비스	
상수항	9.708	1.000	9.371	1.000
상수항, 1차추세	9.705	1.000	9.508	1.000
	시설관리 및 사업지원		공공행정국방	
상수항	9.322	1.000	2.922	1.000
상수항, 1차추세	9.665	1.000	3.079	1.000
	교육서비스업		보건업 및 사회복지	
상수항	7.358	1.000	2.797	1.000
상수항, 1차추세	7.354	1.000	2.926	1.000
	예술스포츠여가		협회 및 단체 개인서비스업	
상수항	8.387	1.000	9.565	1.000
상수항, 1차추세	8.444	1.000	9.580	1.000
	가구내고용활동		국제 및 외국기관	
상수항	-2.527	0.110	2.979	1.000
상수항, 1차추세	-2.537	0.310	2.982	1.000

산업별 전력수요의 기온효과 분석

〈A 4〉 기온반응함수 추정결과

업종 변수	산업용 총판매량		제조업		서비스업	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	1.66	3.00	0.97	1.95	-0.22	-0.20
α_1	0.48	2.33	2.77	4.06	3.02	3.90
α_2	-0.38	-1.70	-2.75	-4.23	-2.24	-2.96
α_3	0.11	6.30	0.22	4.91	0.37	7.04
α_4	0.07	6.22	0.02	1.35	0.29	18.02
업종 변수	농림어업		광업		음식료 및 담배	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	1.56	1.45	0.18	0.45	-0.17	-0.24
α_1	-3.45	-0.84	3.00	2.57	3.29	3.97
α_2	3.76	0.97	-3.10	-2.73	-3.10	-3.89
α_3	-0.24	-0.90	0.17	2.19	0.30	5.50
α_4	0.35	3.97	0.01	0.29	0.01	0.86
업종 변수	섬유 및 가죽제품		목재종이 인쇄복제		석탄 및 석유제품	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	-2.57	-2.82	2.74	0.69	1.14	0.66
α_1	1.58	2.13	2.33	2.82	2.54	0.68
α_2	-1.61	-2.30	-2.54	-3.19	-2.21	-0.63
α_3	0.13	2.78	0.20	3.54	0.19	0.79
α_4	0.01	0.59	0.00	-0.20	0.07	0.90
업종 변수	화학제품		비금속광물제품		1차금속제품	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	-0.70	-1.20	0.89	0.20	2.40	1.99
α_1	2.67	3.03	-0.09	-0.04	2.33	0.74
α_2	-2.67	-3.11	0.13	0.06	-2.80	-0.94
α_3	0.21	3.49	-0.10	-0.62	0.18	0.89
α_4	0.00	-0.02	-0.03	-0.54	-0.10	-1.41
업종 변수	금속제품		전기 및 전자기기		정밀기기	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	2.74	3.01	2.03	3.22	4.50	3.60
α_1	4.84	3.74	1.33	1.15	3.26	1.25
α_2	-4.99	-4.01	-1.03	-0.91	-3.53	-1.39
α_3	0.39	4.52	0.13	1.66	0.25	1.42
α_4	0.08	2.82	0.06	2.38	-0.04	-0.77

(A 4) 기온반응함수 추정결과-계속

업종 변수	기계및장비		운송장비		기타제조업	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	0.89	0.67	0.79	0.80	-0.35	-0.38
α_1	2.94	1.17	7.16	4.11	2.81	3.33
α_2	-2.76	-1.12	-7.03	-4.28	-2.76	-3.29
α_3	0.28	1.61	0.54	4.87	0.28	4.73
α_4	0.10	1.92	0.10	2.77	0.09	4.73
업종 변수	전기가스증기수도		하수폐기물처리		건설업	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	0.92	0.92	-0.46	-0.99	-0.12	-0.36
α_1	-0.47	-0.25	1.52	1.44	0.14	0.11
α_2	0.63	0.35	-1.40	-1.36	0.32	0.26
α_3	0.01	0.06	0.11	1.52	0.14	1.59
α_4	0.07	1.92	0.05	2.34	0.29	10.80
업종 변수	도매및소매업		운수업		숙박/음식점	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	11.44	4.88	-0.54	-0.46	1.95	0.52
α_1	4.74	7.68	0.17	0.10	1.51	1.22
α_2	-4.00	-6.65	0.16	0.10	-0.39	-0.32
α_3	0.54	12.88	0.15	1.39	0.26	3.05
α_4	0.21	16.49	0.14	4.30	0.40	15.34
업종 변수	출판영상방송통신		금융보험		부동산 및 임대업	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	-1.07	-1.58	1.71	1.61	-3.75	-1.31
α_1	1.58	1.16	3.69	5.99	4.42	5.17
α_2	-1.07	-0.80	-3.03	-5.04	-3.51	-4.21
α_3	0.20	2.15	0.42	10.00	0.53	9.13
α_4	0.10	3.67	0.21	16.22	0.33	18.24
업종 변수	전문과학 및 기술서비스업		시설관리 및 사업지원서비스업		공공행정, 국방	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	-1.43	-2.12	-1.55	-4.60	-0.72	-1.18
α_1	3.60	3.41	4.22	3.46	0.80	0.59
α_2	-2.91	-2.83	-3.46	-2.91	0.10	0.08
α_3	0.43	5.96	0.49	5.93	0.21	2.30
α_4	0.22	9.91	0.28	10.84	0.40	14.28
업종 변수	교육서비스업		보건업 및 사회복지서비스업		예술스포츠 및 여가	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
α_0	5.14	1.85	0.15	0.19	-2.68	-1.90
α_1	4.24	1.69	0.97	0.76	1.82	1.47
α_2	-3.21	-1.31	0.23	0.18	-0.71	-0.59
α_3	0.38	2.22	0.22	2.57	0.29	3.45
α_4	0.53	10.14	0.42	16.00	0.36	14.03