

전력수요 변동률을 이용한 연휴에 대한 단기 전력수요예측

(Short-Term Electric Load Forecasting for the Consecutive Holidays Using the Power Demand Variation Rate)

김시연* · 임종훈 · 박정도 · 송경빈**

(Si-Yeon Kim · Jong-Hun Lim · Jeong-Do Park · Kyung-Bin Song)

Abstract

Fuzzy linear regression method has been used for short-term load forecasting of the special day in the previous researches. However, considerable load forecasting errors would be occurring if a special day is located on Saturday or Monday. In this paper, a new load forecasting method for the consecutive holidays is proposed with the consideration of the power demand variation rate. In the proposed method, an exponential smoothing model reflecting temperature is used to short-term load forecasting for Sunday during the consecutive holidays and then the loads of the special day during the consecutive holidays is calculated using the hourly power demand variation rate between the previous similar consecutive holidays. The proposed method is tested with 10 cases of the consecutive holidays from 2009 to 2012. Test results show that the average accuracy of the proposed method is improved about 2.96% by comparison with the fuzzy linear regression method.

Key Words : Load Forecasting, Load Pattern, Special Day, Power Demand Variation Rate

1. 서 론

단기 전력수요예측의 정확도 향상은 안정적인 전력

계통 운영을 통한 공급 신뢰도 향상이나 발전설비의 경제적인 운영에서 그 중요성이 매우 크다. 전력수요는 예측 대상이 되는 날짜의 계절, 요일 및 연휴 여부에 따라 고유한 특성을 나타내므로 모든 날짜의 예측에 적합한 유일한 접근법은 존재하지 않는다. 단일 특수일에 대해 신경회로망 이론 및 퍼지 규칙을 이용한 연구[1-2]로 비정형 특성을 갖는 특수일에 대한 예측 오차가 개선되었지만, 연휴의 경우 평상일과 달리 과거 데이터 부족 및 불확실성이 상대적으로 높아 단기 전력수요예측 오차율이 높은 특성을 나타낸다. 이들 연휴는 토요일과 일요일인 경우와 일요일과 월요일인 경우이며 연휴 특성을 고려한 단기 전력수요예측 알

* 주저자 : 송실대학교 전기공학과 석사과정
** 교신저자 : 송실대학교 전기공학부 부교수
* Main author : Master's course of Department of Electrical Engineering at Soongsil University
** Corresponding author : Associate Professor of Department of Electrical Engineering at Soongsil University
Tel : 02-820-0648, Fax : 02-817-7961
E-mail : kbsong@ssu.ac.kr
접수일자 : 2013년 1월 30일
1차심사 : 2013년 2월 2일
심사완료 : 2013년 4월 2일

고리증이 필요하다. 연휴가 토요일 또는 월요일을 포함하는 경우 전일이나 익일에 해당하는 일요일을 지수평활화법[4]이나 퍼지선형회귀분석법[2-3] 중에서 한 가지를 선택하여 예측한다. 예측한 값에 동일 요일의 연휴 특성을 갖는 24시간의 전력수요 변동률을 구해 예측 년의 토요일과 월요일 연휴에 바로 적용하여 24시간 전력수요를 예측한다. 2009년부터 2012년까지의 4개년에 대한 연휴가 토요일 또는 월요일을 포함하는 경우, 연휴에 대한 전력수요예측 사례연구를 통하여 오차를 개선을 입증하였다.

2. 연휴에 대한 전력수요예측 알고리즘

선행된 연구에서 연휴가 토요일 또는 월요일을 포함한 전력수요예측오차는 10%를 상회하는 경우가 발생하며 보통 5% 정도의 예측오차를 갖는다. 연휴의 토요일과 월요일 부하는 화, 수, 목, 금요일의 동일 연휴 부하보다 전반적으로 낮다. 또한 미래 예측 시 과거 데이터에 의존하게 되는데 연휴가 토요일 또는 월요일을 포함하는 경우에 과거 연휴가 동일하게 토요일과 월요일인 경우의 데이터를 이용해야 한다[2]. 예를 들어 2011년 월요일 광복절의 예측을 위하여 과거 데이터를 검색하면 월요일인 광복절 2005년과 1994년, 1988년이 이용된다. 입력 자료로 10년 이상 또는 20년 이상 된 자료를 사용하므로 예측의 정확도를 훼손할 수 있다. 따라서 이런 문제를 해결할만한 새로운 알고리즘이 필요하다. 연휴에 토요일 또는 월요일이 포함된 경우 예측 알고리즘은 전일이나 익일에 해당하는 일요일을 미리 예측하고 예측한 값에 시간대별 상대계수를 사용하여 보정하는 방식이다. 일요일을 예측하는 방법에는 두 가지 방식이 사용된다. 첫 번째 방식은 지수평활화법을 기반으로 예측 일 기준 최근 과거 3개의 동일 요일의 전력수요 데이터를 사용한다. 3개의 과거 동일 요일의 전력수요 데이터를 각각 정규화하여 시간별로 지수평활화법을 활용하고 기온을 보정하여 예측 일 24시간 패턴을 이용한 예측 일 24시간 전력수요를 예측한다. 두 번째는 일요일을 퍼지선형회귀분석법[2-3] 기반으로 예측하고 시간대별 상대계수를 사용하여 보정하는 방식이다. 일반적으로 널리

사용되는 삼각 퍼지넘버가 그림 1에 제시되었다. 퍼지넘버 \tilde{A} 에서 a 는 중심이고 α 와 β 는 스프레드이다. 선형회귀분석은 일반적인 1차 선형식으로 표현되고 몇 개의 상관관계가 있는 표본들로 계수를 추정하여 하나의 선형식을 만들고 임의의 입력되는 변수에 따른 값을 예측할 수 있는 방법이다[5].

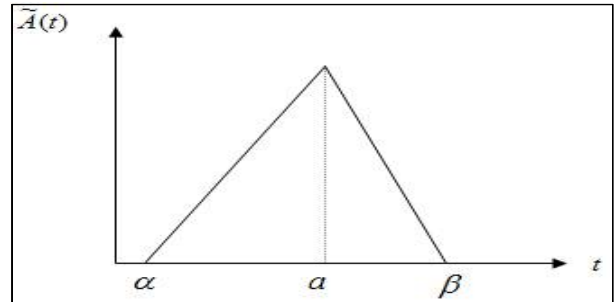


그림 1. 퍼지넘버 그래프
Fig. 1. The graph of a fuzzy numbers

$$Y_i = A_0 \oplus (A_1 \otimes X_i) \tag{1}$$

여기서 Y_i 는 (y_i, e_i) 이며 예측하려는 날의 최대 전력수요, X_i 는 (x_i, γ_i) 이며 예측하려는 날 이전의 평일의 최대 전력수요, $A_0 : (\alpha_0, \alpha_0), A_1 : (\alpha_1, \alpha_1)$ 는 퍼지넘버로서 회귀분석모델의 계수로 중심 α_i 이고 스프레드는 α_i 이다. 입출력 변수 및 계수 모두 퍼지수임, \oplus, \otimes 는 퍼지 덧셈, 곱셈 연산자이다.

직전 평일과 일요일의 관계가 각각 X_i 와 Y_i 의 값이 된다. 표 1에서 퍼지 입력 데이터가 X_i 와 Y_i 로 표현되어 있는데 여기서 i 는 과거 일요일과 그 직전 평일 4일의 데이터가 몇 개년이 쓰이는지에 대한 표현이다[6].

표 1. 퍼지 데이터 입력
Table 1. Fuzzy input data

	$X_i(x_i, \gamma_i)$	$Y_i(y_i, e_i)$
1	(x_1, γ_1)	(y_1, e_1)
2	(x_2, γ_2)	(y_2, e_2)
·	·	·
i	(x_i, γ_i)	(y_i, e_i)

기온을 고려한 지수평활 알고리즘은 예측에 사용할 기온요소로 최고온도, 최저온도가 있으며 과거 3년간 최대·최소 전력수요와의 상관관계를 바탕으로 선정한다. 이때 기간별로 상관관계가 높은 온도요소가 다르기 때문에 1년을 더운 기간(5월~9월), 추운기간(1월~4월, 10월~12월)으로 나누어 분석한다. 상관계수 도출을 위하여 피어슨 상관계수를 이용하며, 최고·최저온도 중에서 각 기간의 최대·최소 전력요소와의 상관관계가 큰 온도가 전력수요예측을 위한 온도요소로 선정된다. 온도는 5대광역시(서울, 대전, 대구, 광주, 부산)의 지역별 가중치를 사용한다. 최대·최소 전력수요를 온도민감도를 이용하여 예측한 후, 예측 일을 기준으로 최근 과거 3개의 평일 전력수요 데이터를 이용하여 24시간 전력수요 패턴을 예측한다. 24시간 전력수요 패턴을 예측하는 방법은 3개의 과거 평일 데이터를 각각 최대·최소 전력수요를 기준으로 정규화한 후 시간대별로 지수평활화법을 사용하여 예측일 24시간 패턴을 예측한다.

예측하는 토요일이 휴일인 경우 익일이 일요일이므로 이를 연휴가 발생된다. 2012년 어린이날(토)의 전력수요예측 과정을 그림 2와 그림 3에 나타내었다. 2012년 어린이날(토) 전력수요예측을 위해 예측 년 과거 가장 최근의 동일요일 2007년 어린이날(토)과 그 다음날 일요일의 전력수요 변동률을 구하여 예측 년에 반영한다. 과거 동일요일 토요일과 일요일의 전력수요 변동률 식은 다음과 같다.

$$\Delta V_t = \frac{MW_t^{(Sat)'} - MW_t^{(Sun)'}}{MW_t^{(Sun)'}} , \text{ for } t=1,2,\dots,24 \quad (2)$$

여기서 ΔV_t 는 예측 년 전 과거년도 동일요일 토요일과 일요일의 t시각 전력수요 변동률, $MW_t^{(Sat)'}$ 는 예측 년 전 과거년도 동일요일 토요일의 t시각 실적 전력수요, $MW_t^{(Sun)'}$ 는 예측 년 전 과거년도 동일요일 토요일의 다음날인 일요일의 t시각 실적 전력수요이다.

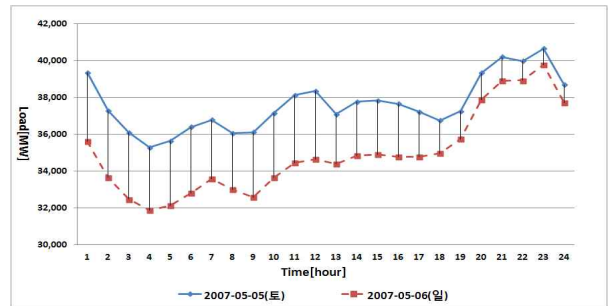


그림 2. 2007년 어린이날(토요일)과 익일 일요일 전력 수요

Fig. 2. Electric load patterns on Children's Day(Saturday) and the day after one's Children's Day(Sunday) in 2007

예측 년도 연휴 중 토요일의 24시간 전력수요를 예측하기 위한 최종 수식은 아래와 같다.

$$Y_t = (\Delta V_t \times MW_t^{(Sun)}) + MW_t^{(Sun)} , \text{ for } t=1,2,\dots,24 \quad (3)$$

여기서 Y_t 는 예측 년도 연휴 중 토요일의 t시각 예측 전력수요, ΔV_t 는 예측 년도 연휴 중 과거년도 동일요일 토요일과 일요일의 t시각에 전력수요 변동률, $MW_t^{(Sun)}$ 는 예측 년도 연휴 중 토요일의 다음날로 선행하여 예측된 일요일의 t시각 전력수요 예측 값이다.

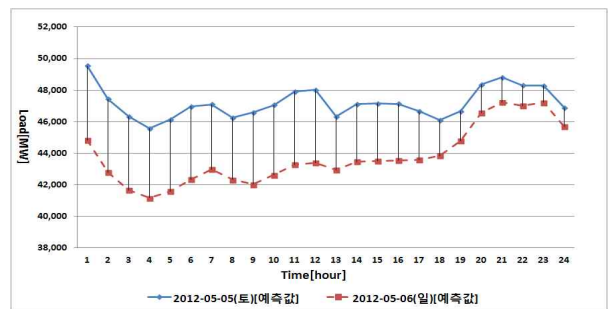


그림 3. 2012년 어린이날(토요일) 전력수요예측
Fig. 3. The forecasting of the electric Load pattern on Children's Day(Saturday) in 2012

예측하는 월요일이 휴일인 경우, 전일이 일요일이므로 이를 연휴가 발생된다. 2012년 석가탄신일(월)의 전력수요예측하는 과정을 그림 4와 그림 5에 나타내

전력수요 변동률을 이용한 연휴에 대한 단기 전력수요예측

었다. 2012년 석가탄신일(월) 전력수요예측을 위해 예측 년 과거 가장 최근의 동요일인 2008년 석가탄신일(월)과 전일 일요일의 전력수요 변동률을 구하여 예측 년에 반영한다. 과거 동요일 월요일과 일요일의 전력수요 변동률 식은 아래와 같다.

$$\Delta V_t = \frac{MW_t^{(Mon)'} - MW_t^{(Sun)'}}{MW_t^{(Sun)'}} , \text{ for } t=1,2,\dots,24 \quad (4)$$

여기서 ΔV_t 는 예측 년 전 과거년도 동요일 월요일과 일요일의 t시간 전력수요 변동률, $MW_t^{(Mon)'}$ 는 예측 년 전 과거년도 동요일 월요일의 t시간 실적 전력수요, $MW_t^{(Sun)'}$ 는 예측 년 전 과거년도 동요일 월요일의 전날인 일요일의 t시간 실적 전력수요이다.

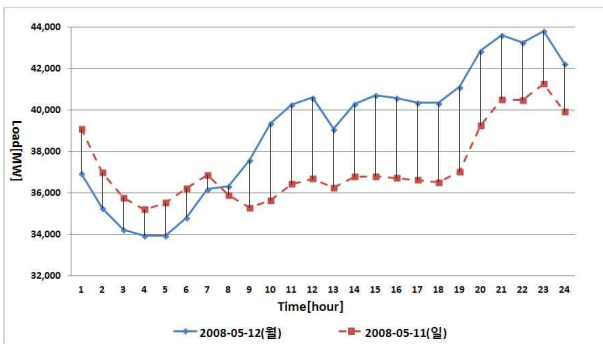


그림 4. 2008년 석가탄신일(월요일)과 전일 일요일 전력수요
Fig. 4. Electric load patterns on Buddha's birthday(Monday) and the day before one's Buddha's birthday(Sunday) in 2008

예측 년도 연휴 중 월요일의 24시간 전력수요를 예측하기 위한 최종 수식은 아래와 같다.

$$Y_t = (\Delta V_t \times MW_t^{(Sun)}) + MW_t^{(Sun)} , \text{ for } t=1,2,\dots,24 \quad (5)$$

여기서 Y_t 는 예측 년도 연휴 중 월요일의 t시간 예측 전력수요, ΔV_t 는 예측 년도 연휴 중 과거년도 동요일 월요일과 일요일의 t시간에 전력수요 변동률, $MW_t^{(Sun)}$ 는 예측 년도 연휴 중 월요일의 전날인 예측된 일요일의 t시간 전력수요예측 값이다.

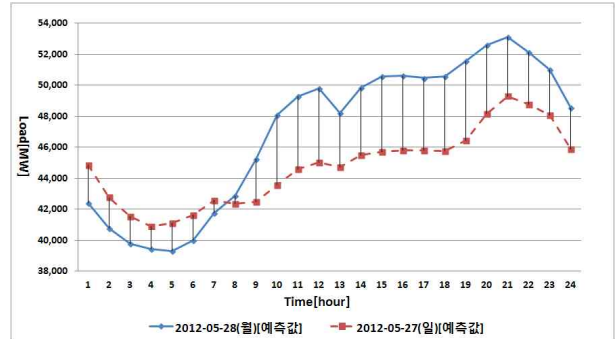


그림 5. 2012년 석가탄신일(월요일) 전력수요예측
Fig. 5. The forecasting of the electric Load pattern on Buddha's birthday(Monday) in 2012

3. 연휴에 대한 전력수요예측 사례연구

2012년 5월 28일(월) 석가탄신일을 예측하기 위한 기존 퍼지선행회귀분석의 24시간 패턴 룰 구성은 과거 3개년의 석가탄신일의 패턴을 이용하기 때문에 연휴 특성을 반영하지 않는다고 할 수 있을 것이다. 그림 6은 기존 퍼지 룰 구성과 전력수요 변동률을 반영한 수요예측 알고리즘에 따른 24시간 일일 패턴을 정규화하여 실제 수요의 정규화 패턴과 비교한 것이다. 일중 최소수요가 발생하는 시점을 포함하는 00시부터 13시까지, 특수일의 일중 최대 수요가 발생하는 시점을 포함하는 18시부터 24시까지의 수요패턴은 제안 알고리즘을 이용한 패턴이 실제 패턴과 유사함을 보이고 있다.

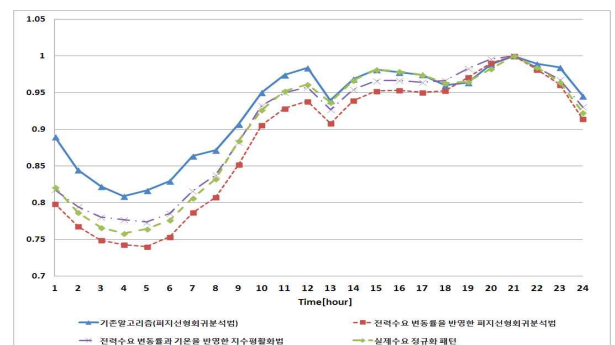


그림 6. 2012년 석가탄신일 정규화 패턴 비교
Fig. 6. Normalized load pattern of 2012 Buddha's birthday

또한 사례연구기간 중 가장 최근에 해당하는 2012년 5월 28일 월요일(석가탄신일)의 경우 퍼지선형회귀분석법과 전력수요 변동률을 반영한 퍼지선형회귀분석법, 전력수요 변동률과 기온을 반영한 지수평활화법을 이용한 수요예측 결과를 그림 7과 표 2에 나타내었다.

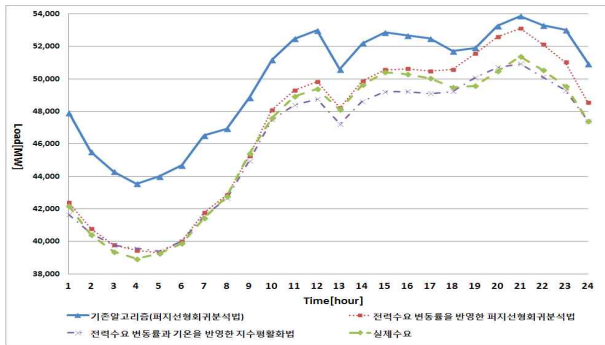


그림 7. 2012년 석가탄신일 수요예측 결과 비교
Fig. 7. Comparison data of load forecasting result for 2012 Buddha's day

표 2. 2012년 석가탄신일 수요예측 결과 비교
Table 2. Comparison data of load forecasting result for 2012 Buddha's birthday

예측기법	최대 부하오차	최소 부하오차	최대 오차	평균 오차
퍼지선형회귀 분석법	4.86%	11.89%	13.59%	7.94%
전력수요 변동률을 반영한 퍼지 선형회귀분석법	3.39%	0.95%	4.21%	1.38%
전력수요 변동률과 기온을 반영한 지수평활화법	0.84%	1.19%	2.35%	0.97%

제안한 알고리즘의 보편적인 정확성을 검증하기 위해서 2009년부터 2012년까지 2일 동안 연휴인 10가지 사례를 조사하였다. 월요일을 포함한 연휴인 2010년 삼일절, 2011년 개천일, 광복절, 현충일, 2012년 석가탄신일과 토요일을 포함한 연휴인 2009년 광복절, 석가탄신일, 현충일, 2010년 성탄절, 2012년 어린이날에 대하여 전력수요예측을 수행하고 기존의 특수일에 대한 전력수요예측 알고리즘을 이용한 퍼지선형회귀분

석 방법을 전력수요예측 결과와 비교하여 그림 8에 나타내었다.

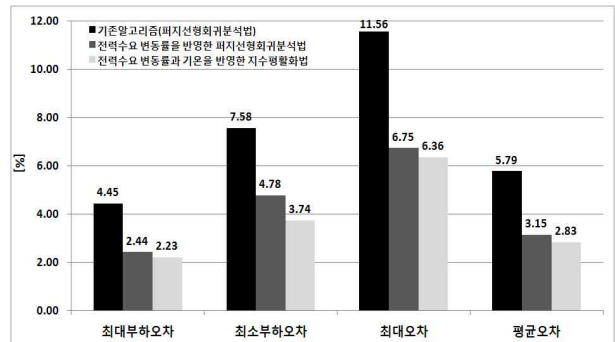


그림 8. 2009년부터 2012년까지 연휴중 특수일의 전력수요예측 결과 오차 비교
Fig. 8. Error of load forecasting for the special days on the consecutive holidays in 2009~2012

퍼지선형회귀분석법과 전력수요 변동률과 기온을 반영한 지수평활화법을 이용하여 2009년부터 2012년까지 2일 동안 연휴인 10가지 사례에 대한 수요예측 결과를 보면 최대부하오차 및 최대오차는 평균적으로 각각 약 2.22% 및 5.20%가 개선되었고 평균오차는 2.96% 개선되었음을 알 수 있다. 최대부하 및 최소부하오차는 각각 24시간 중 최대부하 및 최소부하 시점의 오차를 나타낸다. 또한 최대오차는 24시간 중에 최대인 오차를, 평균오차는 24시간 각 오차의 평균값을 나타낸다. 최종적으로 예측된 최대·최소 전력수요에 맞게 24시간 패턴을 복원하여 예측 일 24시간 전력수요예측이 완료된다. 월요일과 토요일이 연휴인 경우의 전력수요예측 시 기온을 고려한 지수평활 알고리즘을 사용한 결과가 우수함을 알 수 있다. 이는 상대적으로 기온을 반영 하지 않은 퍼지선형회귀분석법보다 기온 보정을 더욱 잘 반영 할 수 있었기 때문이라 판단된다.

4. 결 론

본 논문은 전력수요 변동률을 반영하여 연휴에 대한 전력수요예측의 정확도를 개선하는 방법을 제안하였

다. 제안한 수요예측기법은 최대부하오차, 최소부하오차, 최대오차 및 24시간 평균오차를 크게 개선하여 제안한 알고리즘의 우수성을 입증하였다. 향후 기온을 반영한 퍼지선형회귀분석법 알고리즘 개발로 전력수요예측 오차율이 더욱 개선될 것으로 예상된다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20114010203110)입니다.

References

- [1] Kwang-Ho Kim, Hyung-Sun Youn, Yong-Cheol Kang, "Short-Term Load Forecasting for Special Days in Anomalous Load Conditions Using Neural Networks and Fuzzy Inference Method", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, No. 2, pp.559-565, 2000. 05.
- [2] Kyung-Bin Song, Bon-Suk Ku, Young-Sik Baek, "An Improved Algorithm of the Daily Peak Load Forecasting for the Holidays", Trans. KIEE. Vol. 51A, No. 3, pp.109-117, 2002. 03.
- [3] Dug Hun Hong, Sungho Lee and Hae Young Do, "Fuzzy linear regression data using shape preserving operations", Fuzzy Sets and Systems, 2001. 09.
- [4] Kyung-Bin Song, Oh-Sung Kwon, Jeong-Do Park, "Optimal Coefficient Selection of Exponential Smoothing Model in Short Term Load Forecasting on Weekdays", Trans. KIEE. Vol. 62, No. 2, pp.149-154, 2013. 02.
- [5] Bon-Suk Ku, Young-Sik Baek, Kyung-Bin Song, "An Improved Algorithm of the Daily Peak Load Forecasting for Korean Thanksgiving Day and the Lunar New Year's Day", Trans. KIEE. Vol. 51D, No. 10, pp.453-459, 2002. 10.
- [6] Kyung-Bin Song, Seong-Kwan Ha, "An Algorithm of Short-Term Load Forecasting", Trans. KIEE. Vol. 53A, No. 10, pp.529-535, 2004. 10.

◇ 저자소개 ◇



김시연 (金是燃)

1985년 6월 30일생. 2012년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 전기공학과 석사과정.



임종훈 (林鐘勳)

1985년 4월 22일생. 2012년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 전기공학과 석사과정.



박정도 (朴正道)

1969년 10월 6일생. 1992년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(박사). 현재 위덕대학교 에너지전기공학부 부교수.



송경빈 (宋敬彬)

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스 A&M 전기공학과 졸업(박사). 2002년~현재 숭실대학교 전기공학부 부교수.