

# 기상관측자료를 이용한 제주도 풍력단지의 풍력발전량 예측에 관한 연구

논문

58-12-8

## A Study on Estimation of Wind Power Generation using Weather Data in Jeju Island

류 구 현\* · 김 기 수\* · 김 재 철\*\* · 송 경 빈†

(Goo-Hyun Ryu · Ki-Su Kim · Jae-Chul Kim · Kyung-Bin Song)

**Abstract** - Due to high oil price and global warming of the earth, investments for renewable energy have been increased a lot continuously. Specially, wind power has been received a great attention in the world. In order to construct a new wind farm, forecasting of wind power generation is essential for a feasibility test. This paper investigates wind velocity measurement data of Gosan weather station which located in Hankyung of Jeju island. This paper presents results of estimation of wind power generation using digital weather forecast provided from Korea meteorological administration, and the accuracy of the wind power forecasting by comparison between forecasted data and actual wind power data.

**Key Words** : Wind Power Generation, Wind Farm, Forecasting of Wind Power Generation

### 1. 서 론

최근 세계적인 경제위기와 함께 환경오염문제로 인한 탄소가스 배출 의무 감축량 시대로 접어들면서 전 세계적으로 신재생 에너지에 대한 관심과 투자가 급증하고 있다. 신재생 에너지원 중에서도 풍력발전은 태양광 발전과 함께 가장 활발히 연구되고 있는 분야로서, 특히 유럽의 독일과 덴마크는 이 분야에서 가장 앞선 기술을 자랑하며 많은 나라에 상용화를 이룩하였다. 이러한 추세에 부응하여 우리나라도 정부의 신재생 에너지 발전차액보전 제도와 2012년도부터 시행될 예정인 신재생에너지 의무할당제(RPS, Renewable Portfolio Standards)등으로 인하여 풍력발전에 대한 관심과 투자가 급증하고 있다.

우리나라에서도 풍력발전에 대한 관심이 급증하고 있으며, 우리나라의 지리적 특성상 풍력발전이 가능한 지역은 제주도, 대관령, 영덕 등의 일부 지역으로 국한되어 있다. 그 중에서도 특히 제주도는 풍속자원이 우리나라에서 가장 풍부하여 많은 발전사업자들이 제주지역에서의 발전 사업을 원하고 있다. 풍력발전사업은 그 초기 투자비용이 상당히 커서 풍력발전단지를 건설한 후 그 효율이 기대에 미치지 못한다면 투자에 대한 손실이 상당히 커지게 될 것이다. 따라서 풍력발전단지를 설계하기 전 그 지역의 풍력발전량을 예측하여 본다면 신규풍력발전단지 설계 시 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

본 논문은 제주 지역의 4개 기상관측소 중 하나인 고산기상대에서 측정된 과거 일별 평균 풍속자료를 수집하여, 고산기상대 인근에 위치한 한경풍력단지의 과거 일별 평균 풍력발전량을 풍력발전기의 종류 및 설비용량에 따라 한경풍력 1단계와 2단계로 나누어 비교 및 분석하였다. 또한 분석된 상관관계를 이용하여, 고산기상대에서 분석된 예보 및 측정 풍속 자료를 사용하여 높이보정을 한 후 한경풍력단지의 풍력발전량을 예측하였으며, 오차율을 이용하여 실제 풍력발전량과 비교하여 분석하였다.

### 2. 풍력발전량 분석

#### 2.1 풍력발전의 성능

풍력발전은 전적으로 바람에 의존함으로써, 발전전력의 양과 시스템의 효율성이 절대적으로 풍력자원의 특성에 지배된다. 따라서 풍력발전의 성능은 풍속과의 상관관계에 의하여 알 수 있다. 풍속과 출력의 관계식은 다음과 같다.

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

$\rho$  : 공기밀도 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$V$  : 풍속 [ $\text{m}/\text{sec}$ ]

$A$  : 날개가 회전한 면적 [ $\text{m}^2$ ]

풍력발전량은 풍속의 세제곱에 비례하고 바람의 방향에 관계된다[1].

\* 준 회원 : 숭실대 전기공학과 석사과정

\*\* 펠로우회원 : 숭실대 전기공학과 교수 · 공박

† 교신저자, 정회원 : 숭실대 전기공학과 부교수 · 공박

E-mail : kbsong@ssu.ac.kr

접수일자 : 2009년 8월 3일

최종완료 : 2009년 11월 11일

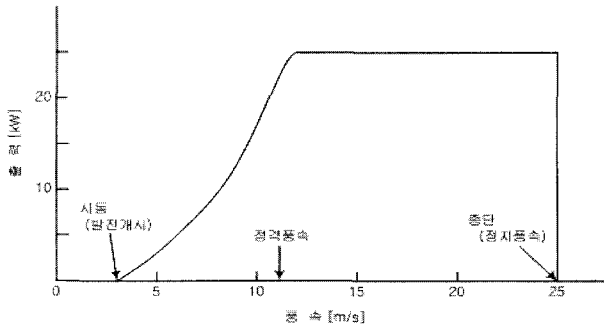


그림 1 풍속과 출력의 관계[2]

Fig. 1 The relationship between wind velocity and generation output

풍력발전의 정격출력은 설계상의 최대연속 출력을 나타내고 정격출력이 얻어지는 풍속을 정격풍속이라 한다. 정격출력은 일반적으로 풍속의 출현 확률분포로부터 연간 풍력에너지를 가장 많이 뽑아낼 수 있는 풍속으로 설정되어 통상 12-14m/s 정도이다. 또한 풍차가 발전을 개시할 때의 풍속을 '시동풍속', 풍속이 너무 높을 때 풍차의 안전을 확보하기 위하여 발전을 정지하는 풍속을 '중단풍속'이라하며, 시동풍속은 3-5m/s, 중단풍속은 25m/s 정도로 설정되어 있다[2].

2.2 풍속의 높이 보정

기상청에서의 측정 및 예보자료는 지상 10m의 자료이기 때문에 터빈허브에서의 풍속은 실제 풍속측정 높이와 터빈허브의 설치 높이가 상이하므로, 이에 대한 보정이 필요하며 다음 식으로 계산된다[3][8].

$$V_h = V_m \left( \frac{H_h}{H_m} \right)^a \tag{2}$$

- $V_h$  : 측정위치에서의 풍속
- $H_h$  : 터빈 허브의 높이
- $H_m$  : 측정위치의 높이
- $a$  : Wind shear exponent

Wind shear exponent는 0.1-0.4의 값으로 지형에 연관되며, 다음과 같다.

표 1 지점별 Shear Exponent[4]

Table 1 Shear Exponent on the location

구분	영덕	행원	한경	태백
Shear Exponent	0.150	0.140	0.214	0.100

2.3 한경풍력의 풍속과 풍력발전량 분석

○ 한경풍력 1단계

제주도 고산지역의 풍속은 계절별로 그 패턴을 분류할 수 있으며, 실제 제주지역의 풍력발전기 이용률은 겨울, 가을,

봄, 여름 순으로 계절에 따라 큰 차이를 보이고 있다[5][7].

따라서 한경 풍력단지의 발전량을 계절별로 나누어 풍속과 비교하여 그 특성을 살펴보았다. 먼저 한경풍력 1단계인 총 설비용량 6MW의 발전량에 대하여 살펴보기 위하여 2004년 3월부터 2007년 2월까지 과거 3년간의 자료를 추출하여 분석하였다. 아래 그림에는 풍속에 따른 발전량의 분포와 함께 풍력발전기의 정격출력곡선과 발전량 분포에 따른 추세를 함께 표시하였다.

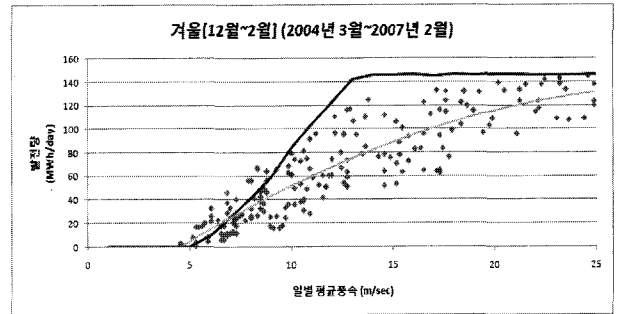


그림 2 겨울 한경풍력 1단계에서 풍속에 따른 발전량

Fig. 2 Wind power output for the wind speed on Hankyung wind power phase I in the winter

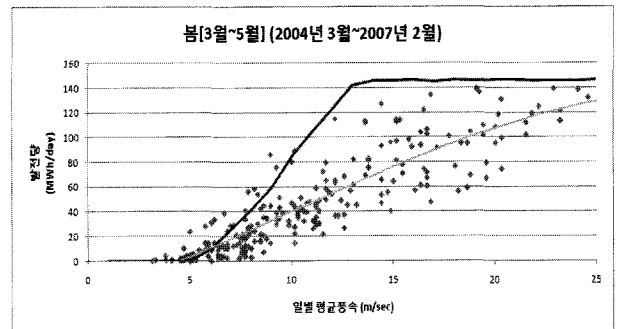


그림 3 봄 한경풍력 1단계에서 풍속에 따른 발전량

Fig. 3 Wind power output for the wind speed on Hankyung wind power phase I in the spring

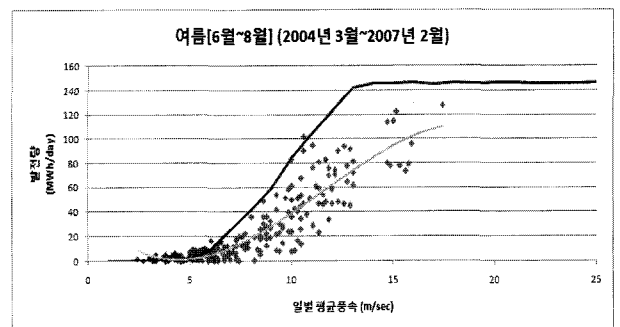


그림 4 여름 한경풍력 1단계에서 풍속에 따른 발전량

Fig. 4 Wind power output for the wind speed on Hankyung wind power phase I in the summer

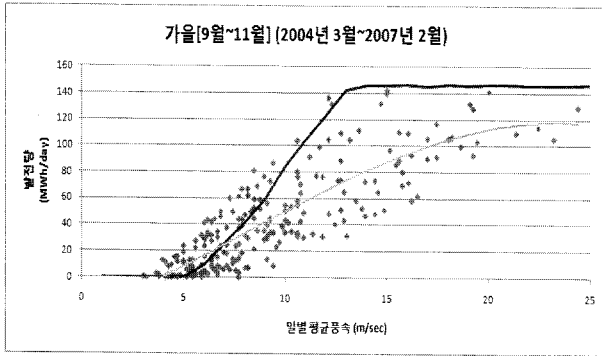


그림 5 가을 한경풍력 1단계에서 풍속에 따른 발전량  
Fig. 5 Wind power output for the wind speed on Hankyung wind power phase I in the fall

계절별 풍속과 풍력발전량을 살펴보면, 겨울철과 가을철에는 풍력발전기의 정격출력곡선에 근접하는 강한 풍속에 의한 높은 발전량이 많으며, 여름의 경우 대체적으로 특성곡선보다 작은 약한 풍속에 의한 낮은 발전량이 많이 분포함을 볼 수 있다.

○ 한경풍력 2단계

2007년 12월에 3MW 풍력발전기 5기의 추가로 한경풍력 단지의 2단계 준공을 마쳤다. 하지만 2단계 준공이후 발전기 운전기간이 1단계만큼 길지 않아서 2008년 3월부터 2009년 2월까지의 1년간에 대하여 풍속과 발전량을 분석할 수 있었다. 하지만 한경풍력 1단계에 건설된 풍력발전기 (1.5MW × 4기)와 2단계에 건설된 풍력발전기의 종류가 달라서 각각의 허브 높이 또한 다르다. 따라서 한경풍력 1단계에 해당하는 6MW의 풍력발전기에 의한 발전량과 한경풍력 2단계에 해당하는 15MW의 풍력발전기에 의한 발전량을 분리하였다.

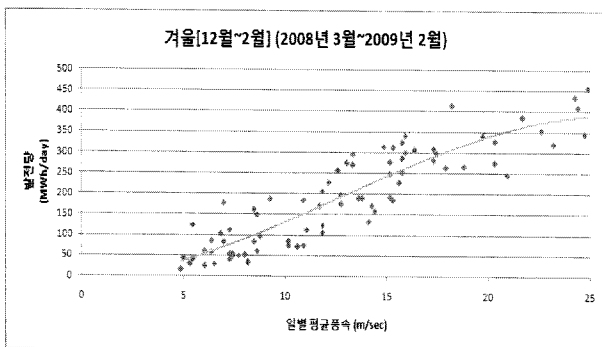


그림 6 겨울의 한경풍력 2단계에서 풍속에 따른 발전량  
Fig. 6 Wind power output for the wind speed on Hankyung wind power phase II in the winter

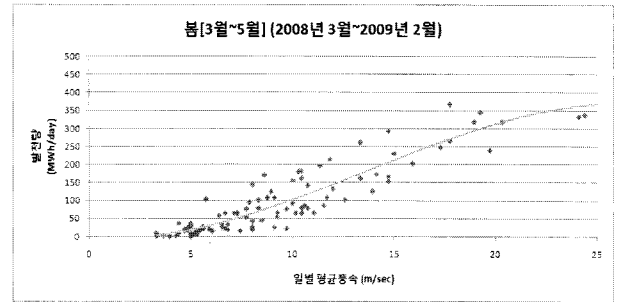


그림 7 봄의 한경풍력 2단계에서 풍속에 따른 발전량  
Fig. 7 Wind power output for the wind speed on Hankyung wind power phase II in the spring

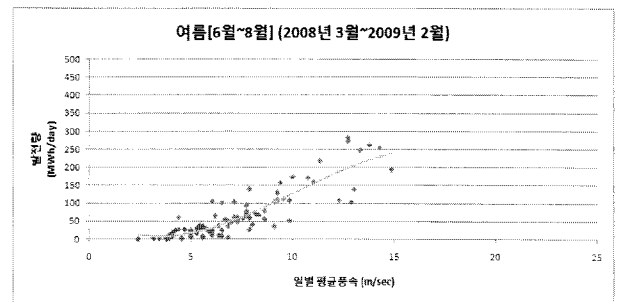


그림 8 여름의 한경풍력 1단계에서 풍속에 따른 발전량  
Fig. 8 Wind power output for the wind speed on Hankyung wind power phase II in the summer

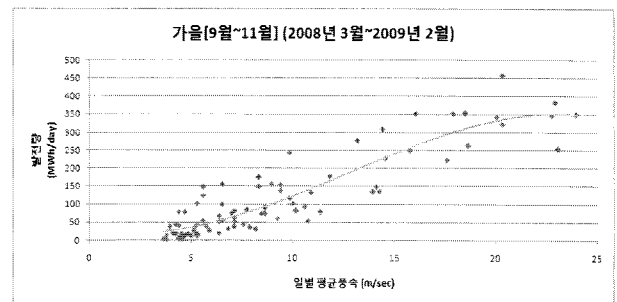


그림 9 가을의 한경풍력 1단계에서 풍속에 따른 발전량  
Fig. 9 Wind power output for the wind speed on Hankyung wind power phase II in the fall

한경풍력 2단계의 계절별 풍속과 풍력발전량을 살펴보면, 겨울철과 가을철에는 강한 풍속에 의한 높은 발전량이 많으며, 여름의 경우 대체적으로 약한 풍속에 의한 낮은 발전량이 많이 분포하여 한경풍력 1단계와 유사한 경향으로 나타나는 것을 알 수 있다.

3. 풍력발전량 예측 및 분석

풍력발전량의 예측결과를 좀 더 쉽게 분석하기 위하여 먼저 오차율에 대해 정의한다. 오차율이란 오차가 생겼을 때, 그 오차 절대값에 대한 비율이다. 측정값의 정밀도를 알 때 유용하다[6].

$$\text{오차율}[\%] = \frac{|a - A|}{a} \times 100 \quad (3)$$

a : 예측값  
A : 실제값

본 논문의 분석 자료는 2009년 2월까지의 자료를 사용하였으므로, 예보 및 측정 풍속자료는 2009년 3월부터의 현재까지의 자료를 사용하였다. 따라서 계절별로 나누어진 구간을 살펴보았을 때 3월부터 5월까지의 자료를 확보 하였으므로 봄철에 대한 풍력발전량의 예측을 수행하였다.

2008년 3월부터 5월까지의 봄철 한경풍력 2단계 21MW에 대한 일별평균풍속발전량에서, 한경풍력 1단계 6MW (1.5MW×4기)에 대한 봄철 추세선 식에 2008년 3월부터 5월까지의 일별평균풍속을 대입하여 나온 각각의 일별평균풍속발전량의 차를 구하여 한경풍력 2단계의 15MW (3MW×5기)에 해당하는 일별평균풍속에 대한 일별평균풍속발전량을 구하여 그림 10에 나타내어 그 추세선을 구하였다.

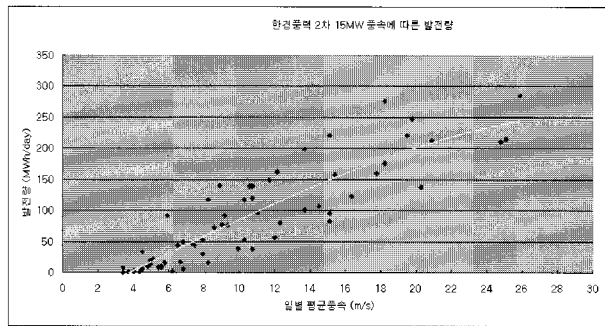


그림 10 봄의 한경풍력 2단계 15MW의 풍력발전량  
Fig. 10 Wind power output about 15MW plants on Hankyung wind power phase II in the spring

그림 3에서의 봄철 한경풍력 1단계 6MW(1.5MW×4기)의 추세선 식과 그림 10의 봄철 한경풍력 2단계중 15MW (3MW×5기)에 해당하는 풍력발전량의 추세선식을 합하여 전체 한경풍력 2단계 21MW (1.5MW×4기 + 3MW×5기)에 대한 풍력발전량을 예측해 볼 수 있다. 단, 한경풍력 1단계에 쓰인 1.5MW풍력발전기와 2단계에 추가된 3MW의 풍력발전기 높이가 다르기 때문에 각각의 높이 보정을 한 풍속을 대입하여 계산하여야 한다[5][10]. 또한, 풍력발전량의 추세선 식에 3차식을 사용한 이유는 다수의 다항식 및 방정식의 추세선 식으로 풍력발전량을 예측해본 결과 3차식이 가장 낮은 오차를 나타냈기 때문이다.

$$y = (-0.005 V_1^3 + 0.165 V_1^2 + 5.069 V_1 - 22.151) + (-0.006 V_2^3 + 0.092 V_2^2 + 13.39 V_2 - 51.38) \quad (4)$$

V<sub>1</sub> : 보정한 풍속(한경풍력 1단계)  
V<sub>2</sub> : 보정한 풍속(한경풍력 2단계)

2009년 3월부터 5가지(봄철)의 풍력발전량을 기상청에서 제공하는 풍속에보 자료와 실제 풍속 자료를 사용하여 분석하여보았다. 먼저 예보자료에 의한 풍력발전량을 계산하여 보았을 때 실제 발전량과 37.45%의 오차율을 보였으며, 실제풍속을 사용하였을 경우 23.46%의 오차율을 보여 약 14%의 오차율이 줄어든 것을 볼 수 있다. 이것은 기상청의 예보자료에 의한 풍속과 실제풍속이 18.07%의 오차율을 보이는데 기인한다.

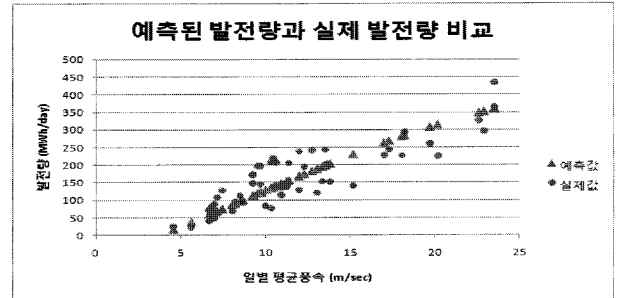


그림 11 예측된 발전량과 실제 발전량 비교  
Fig. 11 The comparison between the forecasted generation output and the real generation output

예보풍속의 오차가 없어 실제풍속과 같다면 평균오차율을 23.46%까지 줄일 수 있으며, 오차율의 최소값은 0.32%, 최대값은 58.14%를 가졌다.

#### 4. 결 론

풍력발전단지의 지속적인 증가와 함께 계통에 연계되는 풍력발전량이 점차 증가함으로서 풍력발전이 계통에 미치는 영향이 점차 증대되어 풍력발전이 순동예비력과 전력수급계획에 미치는 영향이 커지고 있다. 따라서 보다 정확한 풍력발전량의 예측을 통해 안정적인 순동예비력 확보와 전력수급계획을 수립할 수 있다.

본 논문은 제주 한경풍력단지의 일별 평균 풍속 발전량과 인근에 위치한 고산 기상대에서 측정된 일별 평균풍속을 통하여 그 상관관계를 분석하였으며, 분석 자료를 이용하여 풍력발전량을 예측하여 실제 풍력발전량과 비교하였으며, 최대 평균 오차율을 23.46%까지 줄일 수 있었다.

본 논문에서는 한경풍력 2단계에 의한 풍력발전량 자료가 부족하여 그 정확성이 다소 부족하였으며, 예보 풍속의 자료 수집기간이 2009년 3월부터 현재까지의 다소 짧은 기간으로 봄철에 대한 풍력발전량 예측 수행만이 가능하였다. 향후 한경풍력 2단계 풍력발전량 자료를 늘려 그 정확성을 더하여 풍력발전량 예측에 대한 평균 오차율을 줄이고, 예보 풍속자료의 수집기간을 늘려 봄철 이외의 다른 계절에 대한 풍력발전량 예측을 수행한다면 좀 더 완성도를 높일 수 있을 것이며, 본 논문의 결과를 바탕으로 신규 풍력발전단지건설시 풍력발전량 예측에 유의할 것으로 사료된다.

**감사의 글**

본 연구는 지식경제부의 에너지자원 인력양성사업  
을 통한 지원으로 수행되었음.

**참 고 문 헌**

- [1] Gilbert M. Masters, "Renewable and Efficient Electric Power Systems", Wiley Interscience, 2004
- [2] 고경남, 허종철, "풍력공학입문", 문운당, 2007
- [3] 김수덕, 하정우, 박종배, "풍력발전의 침두부하시의 발전가능량에 대한 확률분석", 한국응용경제학회, 응용경제 제9권, 제3호, 2007년 12월
- [4] 하정우, "국내 풍력발전의 경제성 분석", 아주대학교 공학석사 학위논문, 2005년 12월
- [5] 류구현, 송경빈, 김재철, "기상관측자료를 이용한 한경 풍력단지의 풍력발전특성 분석", 대한전기학회 전력계통연구회 2009 춘계학술대회 논문집, pp85-87, 2009년 5월
- [6] 네이버 백과사전, <http://100.naver.com/>
- [7] 한국전력거래소, "신재생에너지 전원접속에 따른 계통연향 분석 및 운영방안 연구", 2006년 10월
- [8] 제주지방기상청, <http://jeju.kma.go.kr/>
- [9] 전력거래소 제주지사, <http://www.kpxj.or.kr/>
- [10] Vestas, <http://www.vestas.com/>



**김재철 (金載哲)**

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1998년~현재 숭실대 전기공학과 교수

Tel : 02) 817-7966

E-mail : jckim@ssu.ac.kr



**송경빈 (宋敬彬)**

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스 A&M전기공학과 졸업(공학박). 1996년 한전전력연구원 선임연구원. 1998년 대구효성가톨릭대학교 전임강사. 2000년 계명대학교 전임강사. 2009년 현재 숭실대학교 전기공학부 전임강사, 조교수, 부교수

Tel : 02) 826-0648

E-mail : kbsong@ssu.ac.kr

**저 자 소 개**



**류구현 (柳求鉉)**

1979년 11월 12일생. 2006년 위덕대 전기공학과 졸업. 2009년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년~현재 삼창기업(주) 제어기술연구소 연구원

Tel : 042) 868-2272

E-mail : rgh1807@samchang.com



**김기수 (金奇洙)**

1981년 4월 1일생. 2007년 위덕대 전기공학과 졸업. 2009년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사)

Tel : 02) 826-6648

E-mail : kgs4763@yahoo.co.kr