

풍력발전 예보시스템 KIER Forecaster의 개발

김현구*, 이영섭, 장문석, 경남호

Development of the Wind Power Forecasting System, KIER Forecaster

Hyun-Goo Kim, Yung-Seop Lee, Mun-Seok Jang, Nam-Ho Kyong

Abstract In this paper, the first forecasting system of wind power generation, KIER Forecaster is presented. KIER Forecaster has been constructed based on statistical models and was trained with wind speed data observed at Gosan Weather Station nearby Walryong Site. Due to short period of measurements at Walryong Site for training the model, Gosan wind data were substituted and transplanted to Walryong Site by using Measure-Correlate-Predict(MCP) technique. The results of One to Three-hour advanced forecasting models are consistent with the measurement at Walryong site. In particular, the multiple regression model by classification of wind speed pattern, which has been developed in this work, shows the best performance comparing with neural network and auto-regressive models.

Key words Wind Power Generation(풍력발전), Forecasting System(예보시스템), Wind Speed Pattern(풍속패턴), Multiple Regression(다중회귀), Measure-Correlate-Predict(MCP: 측정-상관-예측)

* 한국에너지기술연구원 풍력발전연구단

□ E-mail : hyungoo@kier.re.kr

□ Tel : (042)860-3376

□ Fax : (042)860-3543

1. 서론

풍력(wind power)은 바람의 자연적인 특성으로 인하여 지속적으로 발전이 이루어지지 못하고 일정 풍속 이상으로 바람이 불어올 때만 발전이 가능한 간헐적(intermittent) 동력원이다. 이러한 풍력의 발전특성으로 인하여 기존의 발전방식과는 운영측면에 있어서 전력계통에 상이한 영향을 미치며 실제로 추가적인 운영비용이 발생한다(Parsons et al., 2004). 전력시장에서 풍력발전 분담비율(wind penetration rate)이 일정 수준 이상으로 증가하게 되면 전력계통의 변동을 유발하는 부하요인이 되기 때문에 안정적인 전력계통의 운영과 풍력발전의 지속적인 보급을 위하여 풍력발전예보는 매우 중요한 핵심기

술인 것이다.

현재 우리나라「대체에너지이용 발전전력의 기준가격 지침」에 의하면 신재생에너지는 고정단가로 판매되도록 규정되어 있으나 전력수급 측면에서 보면 전력의 생산시점에 따라 전력공급의 효용가치는 큰 폭으로 차이가 있으며 실제로 이는 전력의 판매단가에도 그대로 반영된다. 따라서 장기적인 측면에서 볼 때 향후 풍력발전의 공급비중이 증가하게 되면 전력계통에 계획된 형태로 공급되도록 재설계되어 운영함이 바람직 하며, 이를 위해서는 전력공급 시점과 같이 전력수급 조건에 따라 차등화된 보상체계 도입 등의 제도적 보완과 더불어 풍력발전량을 사전에 예측할 수 있는 예보시스템 개발 등의 기술적 문제가 선결되어야 할 것으로 판단된다.

풍력발전예보에 대한 풍력발전 선도국들의 동향을 살펴보면, 유럽연합(EU)은 Wind Force 12라는 목표 하에 풍력발전 기술개발과 더불어 보급이 가속화 되면서 풍력발전 예보시스템의 필요성과 중요성이 급격하게 대두되어 2002년부터 2006년까지 4개년간 유럽연합 7개국 22개 기관이 공동으로 차세대 풍력발전 예보시스템 개발을 위한 ANEMOS 과제를 수행하게 되었다(Kariniotakis et al, 2004). 이에 ANEMOS에 대한 면밀한 고찰과 사례분석을 통하여 국내의 개발환경 및 풍황조건에 적합한 풍력발전 예보시스템 개발방향을 선택함으로써 단기간 내에 유럽연합과 동등수준 이상의 예보시스템을 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

현재 국내 풍력발전 활성화와 더불어 단지규모의 대형화 추세를 고려할 때 풍력발전 예보시스템의 개발은 시급한 과제라고 사료된다. 예를 들어 제주도에는 행원단지(제주도청; 9.795MW), 한경단지(남부발전; 6MW) 그리고 한국에너지기술연구원의 월령실증기지(0.1MW) 및 월정 신재생에너지기지(1.5MW)로부터 생산되는 전력이 제주도 소비전력의 1.6%를 담당하고 있으며, 난산단지(유니스; 14.7MW)와 월정해상단지(한국에너지기술연구원; 4MW) 등 다수의 단지개발이 추진되고 있어 풍력발전 분담비율은 지속적으로 증가할 것이다.

이러한 배경 하에 본 연구에서는 한국형 풍력발전 예보시스템인 KIER Forecaster를 개발하여 이를 제주도 월령단지에 시범 적용하여 예보 정확도 및 현장 적용성을 검토함으로써 향후 차세대 풍력발전 예보시스템 개발을 위한 제반 기반을 구축하고자 한다.

2. 풍력발전 예보시스템

풍력발전 예보시스템이란 풍력발전단지에서 풍력에 의해 생산되는 전력량을 사전에 예측하는 시스템으로, 그림 1의 개념도와 같이 기상청에서 제공되는 수치기상예보(NWP; Numerical Weather Prediction) 또는 국지적인 기상요소의 예보정보를 입수하는 단계, 풍력발전단지로부터 실시간으로 전송되는 기상요소 관측값과 발전상황 정보로부터 입력자료를 생산하는 단계, 그리고 예보모형에 의하여 풍력발전단지의 풍속과 풍력발전기별 발전전력의 예보정보를 제공하는 과정으로 구성된다.

풍력발전 예보시스템의 핵심은 풍력발전기가 설치된 위치

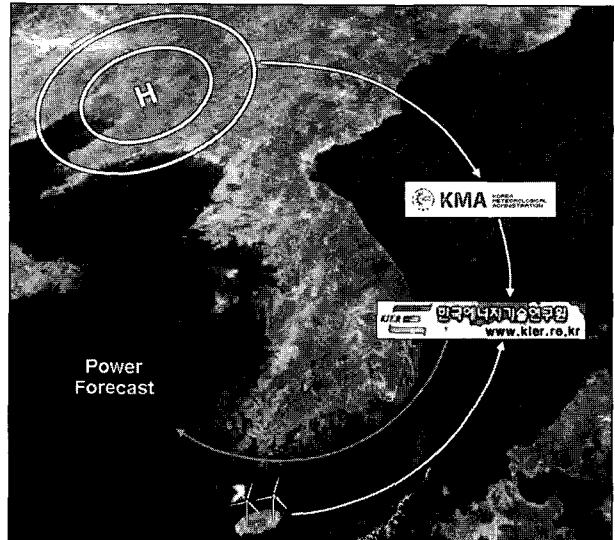


Fig. 1 풍력발전예보의 개념도

허브높이에서의 풍속을 정확하게 예측하는 것이다. 일반적으로 풍속 예보모형은 장기예보와 단기예보로 구분되는데 기상학적으로 종관규모(synoptic scale)의 기상변화가 일어나는 6~8시간 이후의 장기예보에는 수치기상모델 또는 자료동화(data assimilation) 모형이 필수적으로 요구되지만 국지적인 기상변화의 지속성(persistence)을 가정할 수 있는 단기예보에는 신경망회로(neural network) 등의 통계모형이 주로 사용된다(Giebel et al., 2003).

본 연구에서는 한국형 풍력발전 예보시스템인 KIER Forecaster를 개발함에 있어 ANEMOS 사례분석과 더불어 기상예보 및 기상통계 전문가의 기술자문을 거쳐 다음과 같은 운영체계를 확립하였다. 즉, 장기예보는 기상청의 지역별 풍속에 보를 참고하며, 단기예보는 신경망회로(이영섭 등, 2006), 다중선형회귀 및 자기회귀(손건태, 1998) 등 다수의 통계모형을 복합적으로 사용하도록 구성하였다. 한국형 풍력발전 예보시스템에 대한 자세한 고찰은 김현구 등(2006b)을 참고하기 바란다.

또한 우리나라 풍력발전단지의 경우 가동경력이 짧은 관계로 통계모형의 구축에 필요한 충분한 기간의 기상관측자료를 확보하기 위하여 인근 기상관측소의 장기간 기상관측자료를 측정-상관-예측(MCP; Measure-Correlate-Predict)을 이용하여 풍력발전단지 대표지점에서의 기상자료로 변환하는 방법을 채택하였다(김현구, 2005).

본 연구에서 개발한 KIER Forecaster의 풍속 예보모형 중 핵심부분은 풍속패턴 분류에 의한 다중회귀(multiple

regression)의 적용으로, 풍속예보 시 시계열 풍속의 변곡시점에서 오차가 크게 발생한다는 점에 착안하여(김현구 등, 2006a) 이러한 변곡특성을 고려하기 위해 풍속패턴을 차수에 따라 분류하고 각각의 분류에 대하여 다중선형회귀를 적용하는 새로운 방법을 개발하였다. 예를 들어 그림 2와 같이 분류차수 2차인 t , $t-1$ 경우의 풍속패턴은 3가지, 분류차수 3차인 t , $t-1$, $t-2$ 경우의 풍속패턴은 9가지가 존재한다. 참고로 분류차수는 1시간평균 풍속자료의 시간차수에 해당하며, 그림 2 (2)의 첫 번째 풍속패턴은 $V(t-2) \langle V(t-1) \rangle V(t)$ 인 경우에 해당한다.

KIER Forecaster의 풍속예보 알고리즘을 살펴보면(그림 3), 풍력발전단지의 대표위치에서 관측된 장기간 기상자료 데이터베이스를 구축하는 단계(Q100)와; 상기 기상관측자료 데이터베이스를 예보모형 구축용도 데이터베이스와 검증용도 데이터베이스로 분할하는 단계(Q200)와; 상기 예보모형 구축용으로 분할된 예보모형 구축용도 데이터베이스의 시계열 기상자료로부터 각각의 시간단계에 따른 풍속패턴을 분류하는 단계(Q300)와; 상기 시간단계에 따라 풍속패턴별로 분류된 자료는 각각의 패턴별로 다중회귀분석에 의한 모형계수를 산출하는 단계(Q400)와; 결정된 풍속패턴별 모형계수를 적용한 예측모형을 모형검증용 기상자료를 이용하여 검증함으로써 현 단계에서의 불확도(uncertainty)를 구하는 단계(Q500)와; 현 단계의 불확도와 전 단계의 불확도를 비교하여 최적 차수를 결정하거나 상기 과정의 반복을 결정하는 단계(Q600);로 구분된다. 이때 전 단계의 불확도에 비해 현 단계의 불확도가 상승하는

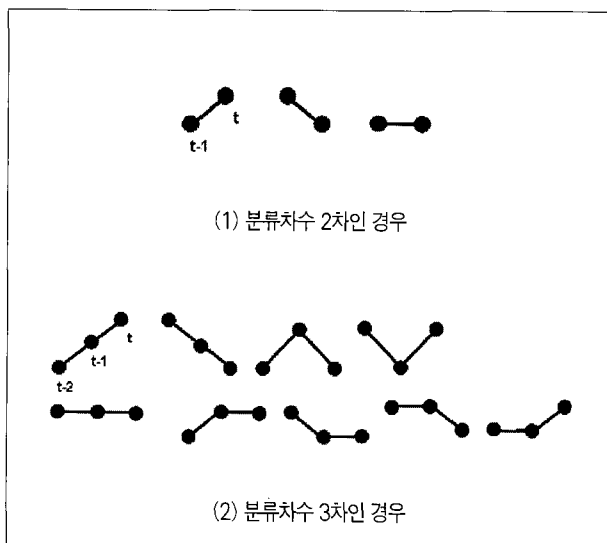


Fig. 2 분류차수에 따른 풍속패턴

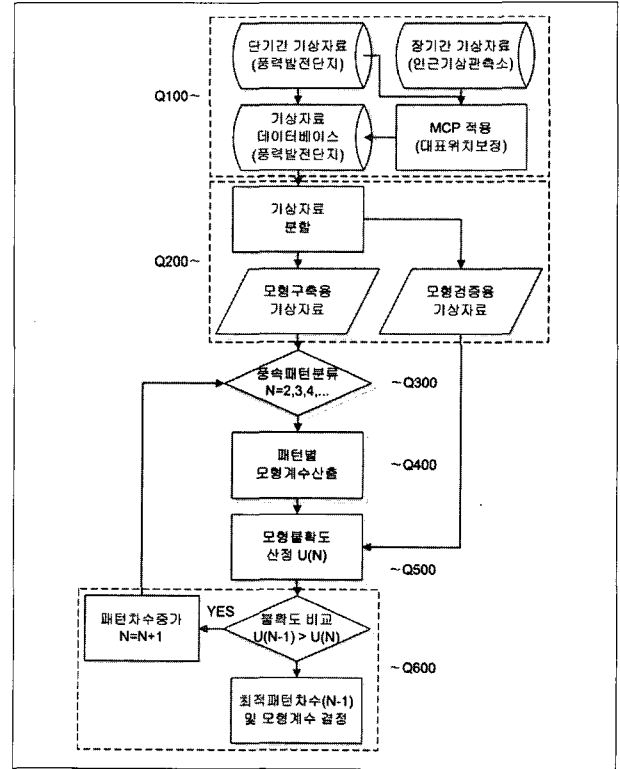


Fig. 3 풍속예보 알고리즘

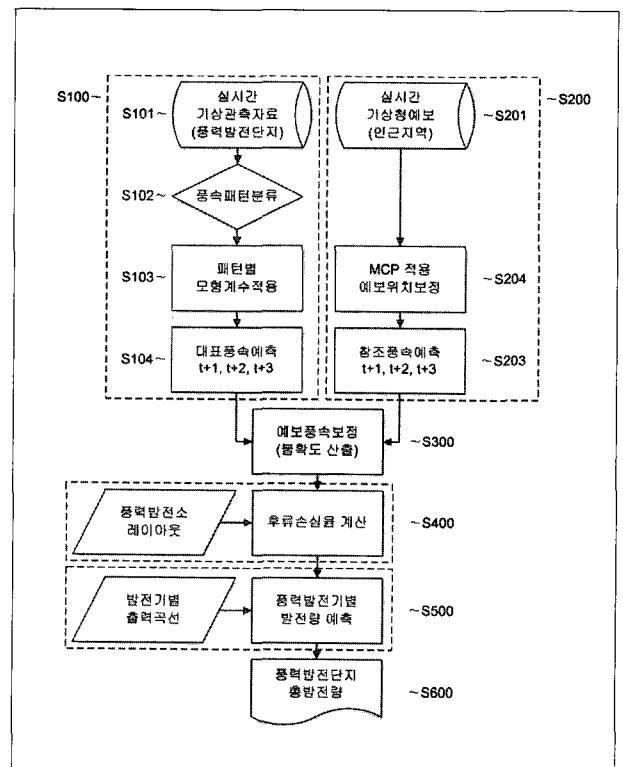


Fig. 4 풍력발전예보 처리흐름도

경우, 전 단계의 차수를 최적차수로 결정하며, 반대로 현 단계의 불확도 보다 전 단계의 불확도가 크기 때문에 차수의 상승에 의한 불확도의 감소가 기대되는 경우에는 차수를 증가시켜 상기 과정을 반복하지만 경험적으로 2차 또는 3차를 추천할 수 있다.

KIER Forecaster의 예보시스템 운영체계를 도시한 처리흐름도를 살펴보면(그림 4), 풍속패턴 분류에 의한 풍력발전단계의 실시간 대표풍속 예측단계(S100)와; 상기 대표풍속 예측단계에 대응하여 측정-상관-예측에 의한 인근지역의 실시간 참조풍속 예측단계(S200)와; 상기 대표풍속 예측단계와 참조풍속 예측단계에 따라 예보풍속을 보정하는 단계(S300)와; 이후 풍력발전기의 배치를 고려한 후류(wake) 손실율을 계산하는 단계(S400)와; 이후 풍력발전기별 허브 높이에서의 풍속과 풍력발전기별 출력곡선(power curve) 및 운전특성을 결정하는 제어로직(control logic)에 따라 풍력발전기별 발전량을 예측하는 단계(S500)와; 이후 풍력발전단계의 총발전량을 예보하는 단계(S600)로 구성되어 있다.

3. 제주도 월령단지 적용사례

본 연구를 통해 개발된 풍력발전 예보시스템 KIER Forecaster를 제주도 월령단지에 적용하여 예측정확도를 평가하였다. 월령단지는 한국에너지기술연구원에서 풍력발전기 성능평가 및 실증연구를 위하여 제주도 북제주군 한림읍 월령리의 해안평지에 조성된 단지로, 현재 100kW급 풍력발전기 1기와 기상관측탑이 설치되어있다(그림 5).

월령단지 내 30m 높이의 기상관측탑으로부터 확보된 관측 자료는 낙뢰에 의한 결측기간을 제외하면 1년 미만의 단기간(9개월)으로 통계모형을 구축하기에 불충분하며, 따라서 인근 고

산 기상관측소의 장기간(6년) 풍속자료를 측정-상관-예측에 의해 월령단지 위치로 변환하여 사용하였다. 참고로 월령단지는 고산 기상관측소와 동일한 풍계지역에 위치하고 있어(김현구 등, 2006c) 두 지점간 풍속의 상관계수는 0.82로 높지만 추가적으로 측정-상관-예측에 의해 보정함으로써 상관계수를 0.92까지 향상시킬 수 있었다. 변환된 풍속자료의 70%는 모형 구축(training) 용도로 30%는 모형평가(test) 용도로 구분하여 사용하였다.

본 연구에서는 새로 개발된 패턴분류에 의한 다중회귀 예보 모형의 평가를 위하여 단기예보 통계모형으로 가장 많이 사용되는 신경망회로와 시계열 분석기법인 자기회귀(auto-regression) 예보모형으로 동일한 해석을 수행하였다.

신경망회로는 시계열 분석과 같은 복잡한 영역에서의 결과가 타 통계기법 보다 예측력이 우수하다는 장점이 있다. 그러나 강력한 예측력에도 불구하고 신경망 모형의 가장 큰 문제점으로 지목되는 것이 바로 모형의 해석력이다. 신경망은 엄청난 양의 계산을 수반하고 있는 연결의 강도로 표현되기 때문에 모형을 이해하고, 예측결과에 대한 이유를 파악하기 어렵다. 또한 복잡한 학습과정을 거치기 때문에 모형을 구축하는데 상당한 시간이 소요된다는 단점이 있다. 특히 입력변수의 수가 너무 많으면 망을 형성하는데 더욱 오랜 시간이 걸리며 예측력도 감소한다. 반면 다중회귀는 신경망회로에 비하여 모형구축이 매우 간편하고 빠르다는 장점이 있다.

예측모형간의 공정한 비교를 위하여 패턴분류 다중회귀의 분류차수를 2차로 결정하였으며 그에 따라 신경망회로의 독립변수도 $V(t)$, $V(t-1)$ 로 정하였고 자기상관 차수도 2차로 통일하였다. 그리고 예보결과인 종속변수는 $V(t+1)$ 으로 1시간 이후의 풍속에 대하여 모형을 구축하였다. 참고로 자기회귀의 경우 베이저안 정보 판단기준(SBC)에 의해 산출한 최적 차수는 2차였으므로(Schwarz, 1978) 자기회귀 자체의 예측정확도는 2차에서(AR(2)) 가장 정확할 것으로 예상된다.

표 1은 이들의 풍속예측에 대한 불확도 분석결과로, 모든 경우에 BIAS는 매우 낮게 나타났으며 상관계수(CORR)도 0.95로 매우 우수하게 나타났으나 RMSE(Root Mean Square Error)와 IOA(Index of Agreement)는 신경망회로와 자기회귀가 동일한 수준임에 비하여 패턴분류에 의한 다중회귀가 더 우수한 성능을 보이고 있다. 참고로 CORR와 IOA는 1에 가까울수록 BIAS와 RMSE는 0에 가까울수록 접합이 정확함을 의미한다.

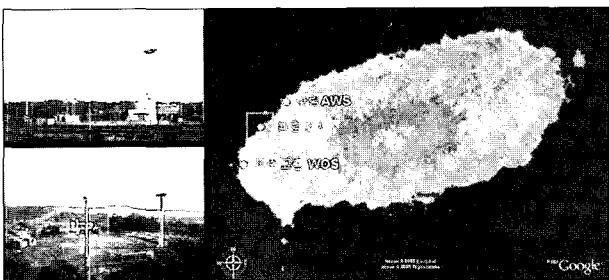


Fig. 5 제주도 월령기지 위치 및 전경

Table 1. 통계모형에 따른 풍속예보 불확도

	신경망	회로자기회귀	다중회귀
BIAS	-4.0x10 ⁻³	3.0x10 ⁻⁴	5.0x10 ⁻⁵
CORR	0.95	0.95	0.95
RMSE	1.60	1.60	0.43
IOA	0.97	0.97	0.99

참고로 정량분석 항목의 계산식은 다음과 같으며, 식에서 P_t는 예측풍속, O_t는 관측풍속, O_{mean}은 관측풍속의 평균이다.

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (O_t - P_t)$$

$$CORR = \frac{N \left(\sum_{t=1}^N O_t \cdot P_t \right) - \left(\sum_{t=1}^N O_t \right) \left(\sum_{t=1}^N P_t \right)}{\sqrt{\left[N \left(\sum_{t=1}^N O_t^2 \right) - \left(\sum_{t=1}^N O_t \right)^2 \right] \left[N \left(\sum_{t=1}^N P_t^2 \right) - \left(\sum_{t=1}^N P_t \right)^2 \right]}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (O_t - P_t)^2}$$

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (O_t - P_t)^2}{\sum_{t=1}^N (|O_{mean} - P_t| - |O_{mean} - O_t|)^2}$$

통계학적으로 BIAS는 예보풍속의 오차에 직접적으로 반영되는 1차 모멘트(moment)로 체계적(systematic) 오차이고 RMSE는 오차의 변동을 나타내는 2차 모멘트로 체계적 오차와 무작위(random) 오차가 복합되어 있다.

표 1에서 보면, 다중회귀 예보모형의 RMSE는 타 예보모형의 1/3 수준으로, 이는 예보모형의 안정도가 더 우수함을 의미한다. 풍력발전 예보결과를 이용하여 전력계통을 계획하고 운영하는 운영자의 입장에서 예보값의 정확도와 함께 안정도가 요구되므로 이러한 측면에서 검토한다면 세 가지 예보모형 중 패턴분류 다중회귀 예보모형이 가장 우수한 것으로 결론 내릴 수 있다.

표 2는 패턴분석 다중회귀에 의한 1, 2, 3시간 선행예보 결과를 비교한 것으로 예보시점까지의 시간간격이 커질수록 예보 성능이 저하됨은 당연한 결과이다. 특히 예보시점이 길어질수록 BIAS 오차가 크게 증가하며 상관계수의 감소는 시계열 풍속의 자기상관(autocorrelation) 계수의 감소와 동일한 경향을 나타낸다. 그러나 RMSE의 증가는 BIAS 즉, 체계적 오차의 증가에 의한 요인이 크기 때문에 무작위 오차는 예보시점에 따라 크게 증가하지 않는 것으로 판단된다.

Table 2. 예보시점별 풍속예보 불확도

	1시간 선행	2시간 선행	3시간 선행
BIAS	5.0x10 ⁻⁵	0.091	0.208
CORR	0.95 (0.96)*	0.91 (0.91)	0.88 (0.87)
RMSE	0.43	0.61	0.79
IOA	0.99	0.99	0.99

* 자기상관계수

그림 6은 월령단지 100kW 풍력발전기의 실제 발전량과 KIER Forecaster의 예보값을 비교한 시계열 그래프로 다소간의 오차가 있으나 비교적 정확하게 발전량 변화추이를 추종하고 있음을 보여주고 있다.

풍력발전량 예보의 오차요인으로는 예보모델 자체의 오차요인과 더불어 현 단계에서는 고려하지 못한 풍력발전기의 제어 로직에 의한 손실을 들 수 있다. 즉, 기동(cut-in)을 판단하는 로직에 의한 손실, 요(yaw) 작동방식에 따른 손실 등은 제어 로직에 의해 발생하는 오차이며, 기동 시 기계적 지연손실, 송전 손실 등 여러 손실요인에 의해 실제 발전량은 예측 발전량보다 적은 것이 일반적이다. 본 연구에서는 풍력발전기 성능평가를 통하여 보정된 성능곡선(calibrated power curve)을 사용하였으나, 주기적인 성능평가를 통하여 성능곡선을 보정하지 않은 경우에는 그로 인한 오차도 포함된다. 참고로 월령단지 100kW 풍력발전기는 가동경력 10년이 넘어진 관계로 보정한 성능곡선에 의하면 출고 시의 정격출력에 비하여 70% 수준으로 저하된 상태이다. 성능보정의 차선책으로는 예보시스템 내에 풍속과 발전출력과의 상관관계를 분석하여 성능곡선을 보정하는 방법을 사용할 수도 있다.

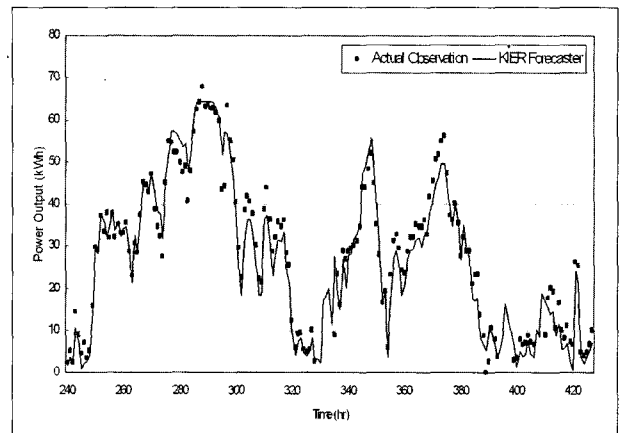


Fig. 6 KIER Forecaster 풍력발전량 예보결과

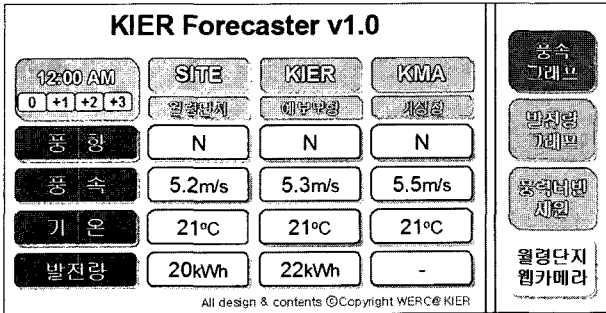


Fig. 7 KIER Forecaster의 모니터링 화면

그림 7은 KIER Forecaster의 작동화면으로, 월령단지에 설치된 기상관측탑의 실시간 관측자료와 함께 KIER Forecaster의 예보풍속과 예보발전량 그리고 기상청의 예보풍속을 3시간까지 선행하여 제공할 수 있도록 구성되어 있다. 향후에는 인터넷 웹페이지 상에서 예보정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 서비스로 업그레이드할 예정이며 현재에도 월령단지와 월정 신재생에너지기지의 기상관측자료 및 풍력발전기 가동상황, 그리고 단지상황을 보여주는 웹카메라 서비스는 인터넷을 통하여 실시간으로 제공되고 있다.

4. 결론

본 연구를 통하여 패턴분류에 의한 다중회귀 통계모형을 근간으로 하는 풍력발전 예보시스템 KIER Forecaster를 개발하고 이를 제주도 월령단지에 시범 적용하였다. 이때 풍력발전단지의 단기간 기상자료를 보완하기 위하여 인근 기상관측소의 장기간 기상자료를 측정-상관-예측법에 의해 변환하여 사용하였으며, 예보모형간의 상호비교에 의한 검증결과, 새로 개발된 패턴분류에 의한 다중회귀가 신경망회로 및 자기회귀 예보모형에 비하여 우수한 예측성과 안정도를 보임을 확인하였다.

향후 기상청 기상예보를 반영한 장기예보와 일별, 월별 예보모형으로 보완, 발전시켜 나갈 예정이며 특히 예보정확도의 향상과 더불어 안정성 확보 및 신뢰구간의 정량화를 통하여 풍력발전 예보모형의 상업적인 활용이 가능하도록 지속적으로 개발해나갈 예정이다.

본 연구에서는 단일 풍력발전기가 설치된 월령단지를 대상으로 하였기 때문에 풍력발전단지 내 풍속분포 및 풍력발전기간 후류손실 등의 영향이 배제되었으나 실제 풍력발전단지에

서는 이러한 영향이 반드시 고려가 되어야 한다. 영덕 풍력발전단지 운영사례에 대한 연구(변효인 등, 2006)에 의하면 단지 내에서도 위치에 따라 허브높이 풍속이 큰 폭으로 차이가 나며 심지어 종관풍과 국지풍이 겹쳐서 나타나는 기상일에는 단지 내 일부 풍력발전기의 요 각도가 상반된 채 운전되는 경우가 발생할 정도로 복잡지형에 의한 영향이 크게 나타남을 보고하고 있다. 따라서 풍력발전 예보시스템의 구축에 있어서 복잡지형 효과를 제대로 고려하는 풍력발전단지 내 유동해석 모델의 선정 또는 자체개발이 필수적으로 요구됨을 지적하고자 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 연구비 지원으로 수행되었으며(과제명: 해상풍력 실증연구단지 조성, 과제코드: 2005-N-WD11-P-01-0-000) 풍력발전 예보시스템인 KIER Forecaster는 특허출원 되었습니다(출원번호 10-2006-53716).

References

- (1) Giebel, G., Landberg, L., Kariniotakis, G., Brownsword, R., 2003, "State-of-the-Art Methods and Software Tools for Short-Term Prediction of Wind Energy Production", EWEC 2004, Madrid, Spain.
- (2) Kariniotakis, G., et al., 2004, "The ANEMOS Project: Next Generation Forecasting of Wind Power", Proceeding of DEWEC 2004, Germany.
- (3) Parsons, B., Milligan, M., Zavaldil, B., Brooks, D., Kirby, B., Dragoon, K., Caldwell, J., 2004, "Grid Impacts of Wind Power: A Summary of Recent Studies in the United States", Wind Energy, Vol.7, No.2, pp.87-108.
- (4) Schwarz, D.A. and Essenwanger, O.M., 1978, "Estimating the Dimension of a Model", Ann. Statistics, Vol.6, pp. 461-464.
- (5) 김현구, 2004, "포항지역 풍속전단 형태분석과 측정-상관-예측법의 응용", 한국신재생에너지학회지, Vol.1, No.2, pp.26-33.
- (6) 김현구, 경남호, 장문석, 이영섭, 2006a, "패턴분류에 의한

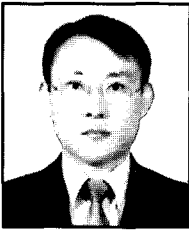
풍속 예보모형 개발에 관한 연구”, 한국대기환경학회 춘계학술대회, 수원대학교.

- (7) 김현구, 이영섭, 장문석, 경남호, 2006b, “월령단지 풍력발전 예보모형 개발에 관한 연구”, 한국태양에너지학회지, Vol.26, No.2.
- (8) 김현구, 장문석, 경남호, 2006c, “기상통계분석에 의한 제주도 풍력자원 데이터베이스 구축”, 한국신재생에너지학회 춘계학술대회, 제주신라호텔, pp.296-297.
- (9) 변효인, 조주석, 류지윤, 김두훈, 2006, “풍력발전단지 조성

및 운영 사례 연구”, 한국신재생에너지학회 춘계학술대회, 제주신라호텔, pp.292-295.

- (10) 손건태, 1998, “기상 및 환경자료 분석을 위한 통계적 기법”, 한국기상학회지, Vol.34, No.3, pp.497-504.
- (11) 이영섭, 김현구, 장문석, 경남호, 2006, “신경망 기법을 이용한 풍속 예보모형에 관한 연구”, 한국풍력에너지학회 춘계학술대회, 한국해양대학교.

김현구



1989년 인하대학교 항공공학과 공학사
 1991년 포항공과대학교 기계공학과 공학석사
 1997년 포항공과대학교 기계공학과 공학박사
 1998년 미국 IHHR 대기물리부 연구원
 2000년 포항산업과학연구원 책임연구원

현재 한국에너지기술연구원 풍력발전연구단
 (E-mail : hyungoo@kier.re.kr)

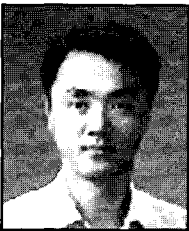
이영섭



1987년 연세대학교 응용통계학과 경제학사
 1991년 미국 아이오와 주립대 통계학석사
 1999년 미국 뉴저지 주립대(릿거스) 통계학박사
 2000년 미국 NCR Co, Senior Software Engineer

현재 동국대학교 통계학과 교수
 (E-mail ; yung@dongguk.edu)

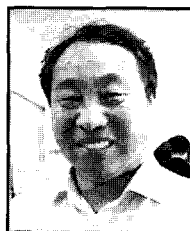
장문석



1984년 한양대학교 기계공학과 공학사
 1987년 한양대학교 기계공학과 공학석사
 1994년 한양대학교 기계공학과 공학박사

현재 한국에너지기술연구원 풍력발전연구단장
 (E-mail ; msjang@kier.re.kr)

경남호



1978년 서울대학교 기계공학과 공학사
 1980년 한국과학기술원 기계공학과 공학석사
 1987년 한국과학기술원 기계공학과 공학박사
 1985년 한국에너지기술연구원 책임연구원

현재 산업자원부 풍력발전사업단장
 (E-mail ; nhkyong@kier.re.kr)