

한반도 바람지도 구축에 관한 연구

(I. 원격탐사자료에 의한 종관 바람지도 구축)

김현구*, 최재우, 이화운, 정우식

Study on Establishment of a Wind Map of the Korean Peninsula

(I. Establishment of a Synoptic Wind Map Using Remote-Sensing Data)

Hyungoo Kim, Jaeou Choi, Hwawoon Lee, Woosik Jung

Abstract

To understand general status of the national wind environment and to distinguish potential areas to be developed as a large-scale wind farm, a synoptic wind map of the Korean Peninsula is established by processing remote sensing data of the satellite, NASA QuikSCAT which is deployed for the SeaWinds Project since 1999. According to the validation results obtained by comparing with the measurement data of marine buoys of KMA(Korea Meteorological Administration), the cross-correlation factor is greatly improved up to 0.87 by blending the sea-surface data of QuikSCAT with NCEP/NCAR CDAS data. It is found from the established synoptic wind map that the wind speed in winter is prominent temporally and the South Sea shows high energy density up to the wind class 6 spatially. The reason is deduced that the northwest winds through the Yellow Sea and the northeast winds through the East Sea derived by the low-pressure developed in Japan are accelerated passing through the Korea Channel and formed high wind energy region in the South Sea; the same trends are confirmed by the statistical analysis of meteorological observation data of KMA.

Key words

wind map(바람지도), wind resource(풍력자원), remote-sensing(원격탐사)

* 포항산업과학연구원 환경에너지센터

■ San 32, Hyoja-dong, Nam-Gu, Pohang, Kyungbuk, Korea

■ E-mail : hyungoo@rist.re.kr ■ Tel : (054)279-6615 ■ Fax : (054)279-6239

1. 서론

신·재생에너지 중 풍력발전은 기술성숙도가 가장 높으며 가장 낮은 발전단가(60~90원/kWh)로 화력발전(석유: 67원/kWh)과 필적할만한 경제성을 가진다(김현구, 최재우, 2002). 유럽, 미국 등 많은 나라에서는 이미 풍력에너지의 개발·보급이 활성화 단계에 있으며, 유럽은 2020년까지 전체 발전량의 12%를 풍력발전으로 보급한다는 목표를 발표한 바 있다

(EWEA, 2002). 이에 산업자원부에서는 「제2차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획」을 확정하고, 풍력발전 사업단을 구성하여 기술개발 및 보급을 활성화 함으로써 2020년에는 국가 전체 발전량의 9.4%를 신·재생에너지로 보급한다는 목표를 설정하였다.

국내에서는 2002년 5월 대체에너지 이용 발전전력의 기준 가격 지침 등의 본격적인 지원정책이 시행됨에 따라 지역에너지 수급과 지방경제 활성화를 목적으로 지방자치단체에 의해

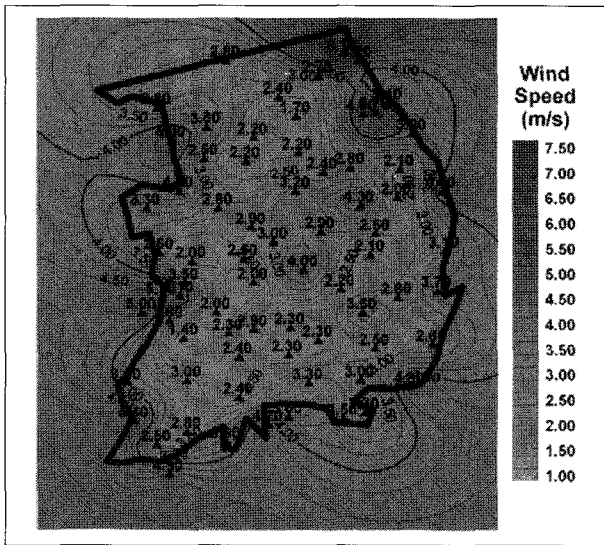


Fig. 3 Korean wind map proposed by KIER

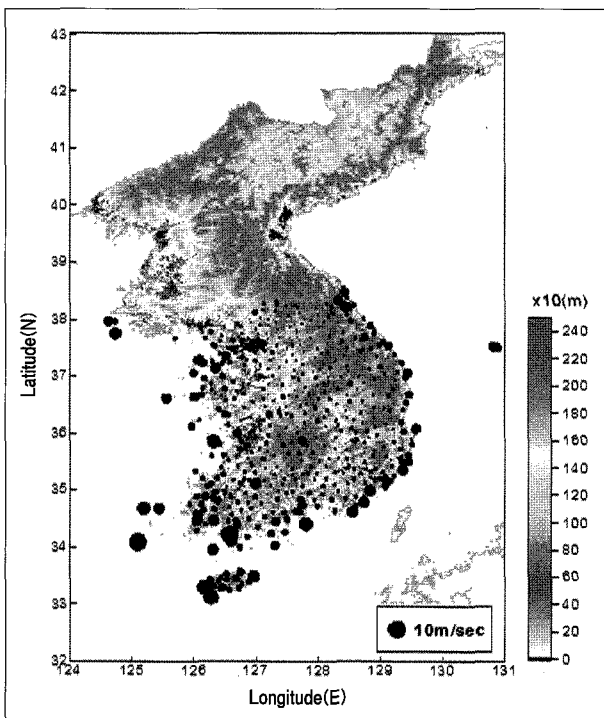
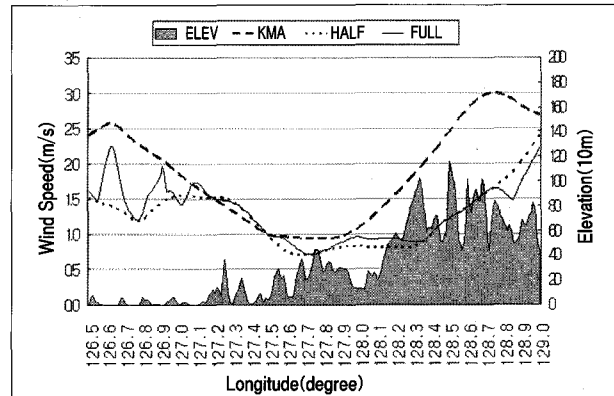


Fig. 4 Mean wind speed at the observation sites

복잡한 산지지형에서는 관측지점의 국지기상 대표성을 확보하기 어려울 뿐 아니라 74개소의 측정지점은 충분한 공간해상도를 제공하지 못하므로 이 결과는 바람지도로서의 신뢰도를 보장받기 어렵다.

본 연구에서는 우선 한반도 육·해상에 산재한 기상청 산하 기상관측소 76개소, 무인관측소 433개소, 해수부 산하 등대관



(a) Wind speed profiles along 37°30'N.

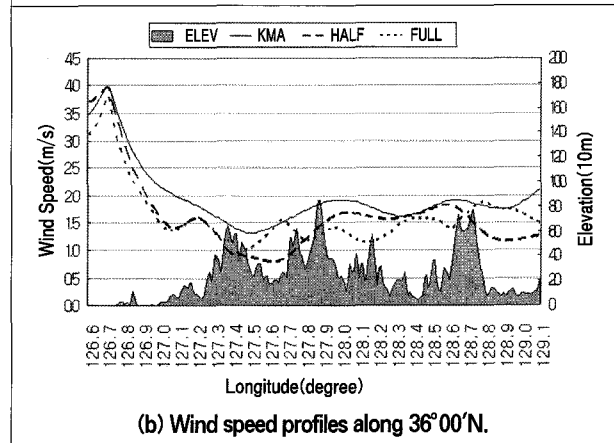


Fig. 5 Wind speed profiles along latitude lines

측소 27개소, 해상부이(marine buoy) 5기 등 540여 측정지점의 5년간(1999~2003) 기상자료를 수집하여 기상관측자료 데이터베이스를 구축하였다. Fig. 4는 본 자료의 통계분석에 의해 작성된 풍속분포도로 평균풍속에 크기가 비례하도록 원으로 표시하였다. Fig. 5는 본 자료에 2차원 공간보간법을 적용하여 등고선을 작성한 후 동서방향 절단면에서의 풍속변화를 도시한 것으로, 541개소 기상자료를 모두 사용하더라도 중규모적 지형효과가 반영되지 못함을 단적으로 보여주고 있어 현실적으로 공간보간 등고선법은 우리나라에는 적용이 불가능함을 확인할 수 있다.

참고로 Fig. 5는 각각 기상청 관할 기상관측소급 측정소 76개소의 기상자료만을 이용하여 선형보간에 의해 풍속의 공간분포도를 작성한 후 각각 북위 37°30'와 북위 36°00'의 위도선을 따라 절개한 단면분포(긴 점선)와 무인관측소 200개소의 기상자료를 추가로 사용한 경우(짧은 점선), 전체 541개소의 기상자료를 적용한 경우(실선)의 단면분포를 비교한 그래프이다.

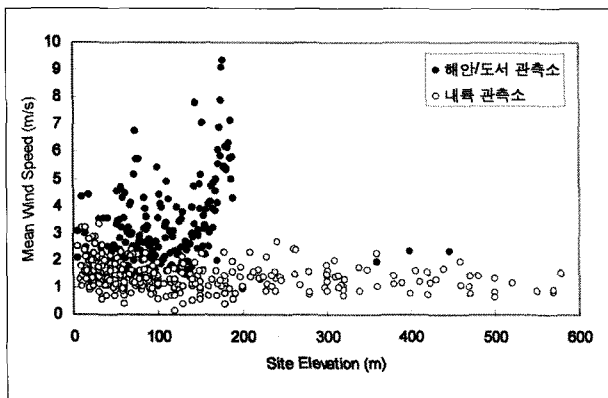


Fig. 6 Correlation between site elevation and wind speed

76개소 자료 만에 의한 단면분포는 나머지 경우와 완전히 다른 분포경향을 보이고 있으며 모든 경우에 국지지형에 의한 풍속 변화 특성을 반영하지 못하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 경향의 중요한 이유 중 하나는 대부분의 기상관측소의 설치위치가 지역표고 대표성이 없기 때문인데, 기상학적으로는 관측소의 해발고도와 평균풍속은 양의 상관관계가 비교적 명확히 나타나기 마련이지만(Hughes et al., 2002) 우리나라의 경우는 Fig. 6에서 보듯이 일부 해안, 도서지역의 관측지점을 제외하고는 상관성이 나타나고 있지 못하다. 이는 기상관측소가 주로 계곡과 같은 저지대에 형성되는 주거지 인근에 설치되었기 때문으로 풀이된다.

3. 한반도 종관 바람지도

한반도 바람지도의 작성에 반드시 고려되어야 할 사항은 해상 풍력자원이 포함된 바람지도이어야 한다는 것이다. 세계적인 풍력발전의 추세는 육상 풍력자원의 개발이 포화상태에 이룸에 따라 해상단지를 개발하는 방향으로 진행되고 있으며(Breeze, 2004), 특히 우리나라는 산지지형의 제약으로 대규모 육상 풍력단지의 조성은 쉽지 않은 반면 해상 풍력자원의 잠재력이 더 클 것으로 예상된다. 해상 풍력단지는 육상 풍력단지에 비하여 설비단가 및 개발비용이 높지만 지형적 방해요인이 없기 때문에 우수한 풍력자원을 활용할 수 있으며 대규모 단지 조성이 가능하다는 등의 장점이 있다.

국내 기상관측자료는 기상관측소, 등대관측소, 공항관제탑, 해상부이 등으로부터 확보할 수 있지만 이들은 주변 지형지물에 의해 결정적인 영향을 받는 지표층의 1차원 지점 측정자료

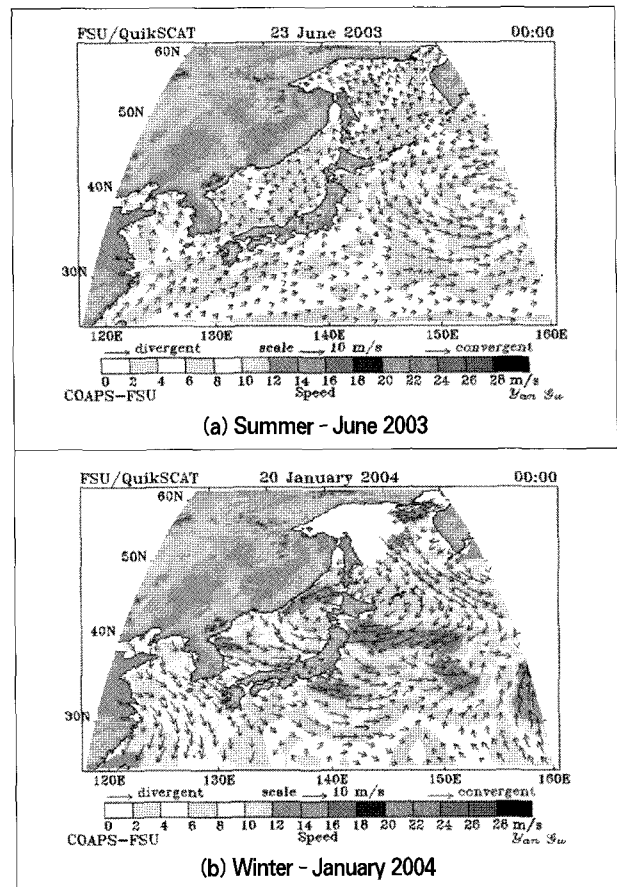


Fig. 7 Wind vectors around Korean Peninsula

이므로 내륙에서는 앞 장에서 검토한 바와 같이 지형요인과 공간해상도의 심각한 제약이 따르게 된다. 또한 해상에서도 소수의 해상부이만으로 전해상을 총괄할 수 없기 때문에 본 연구에서는 최근 해상 바람지도 작성법으로 활용되기 시작한(Hasager et al., 2003) 인공위성 원격탐사자료를 활용하여 한반도 바람지도를 구축하였다.

원격탐사란 시료를 직접 채취하지 않고 위성, 항공기 등에 탑재된 센서에 의해 수신된 신호를 분석하여 조사대상의 성질을 감지하는 기술로 최근 들어 해양환경 관측에 폭넓게 활용되고 있다(유신재와 정종철, 1999). 해상 바람지도 작성에 적용 가능한 원격탐사방법은 산란측정법(scatterometry)으로 인공위성으로부터 해수면으로 극초단파를 발사하고 회수되는 신호 강도로부터 해파(sea wave)의 진행방향과 전파속도를 산출하고 이를 다시 풍향과 풍속으로 변환하는 기술을 적용한다. 본 연구에서는 미국 NASA에서 1999년 하반기부터 SeaWinds 프로젝트에 배치한 QSCAT(US NASA JPL) 인공위성의 원격

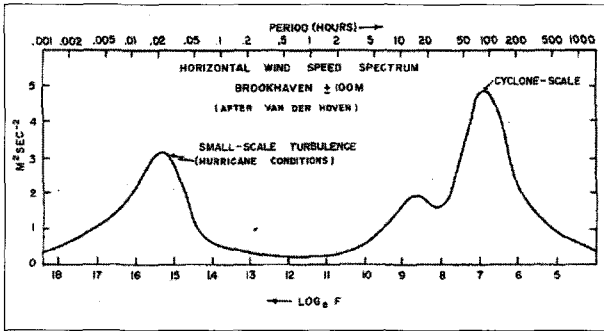


Fig. 8 The Van der Hoven spectrum

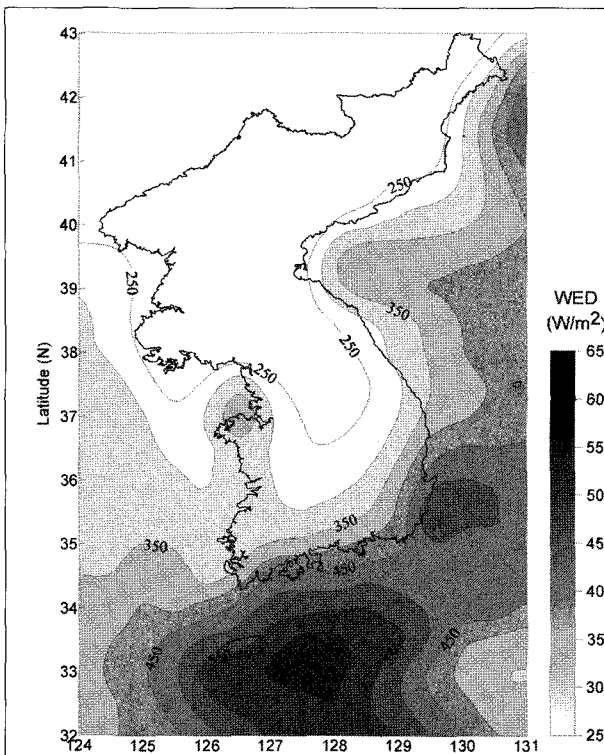
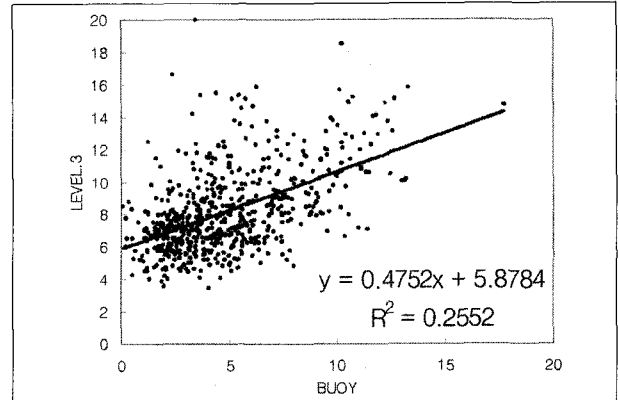


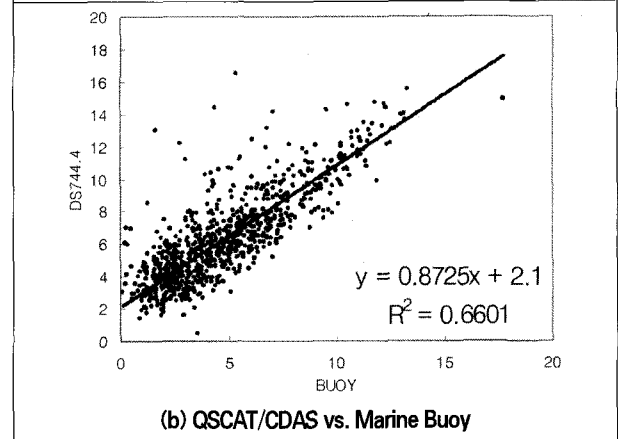
Fig. 9 Synoptic wind map of the Korean Peninsula.

탐사자료를 이용하였다. Fig. 7은 QSCAT 원격탐사자료를 재가공하여 작성된 그림으로 하계와 동계 한반도 주위 해상 바람장의 특성을 보여주고 있다.

한편 QSCAT은 회귀주기가 4일로 측정자료의 시간간격이 넓으며 강우시 빗방울의 산란에 의한 오차가 내포되어 있는 관계로 본 연구에서는 QSCAT 원격탐사자료와 미국 NCAR/NCEP CDAS(US NWS) 재분석 기상자료를 혼합(blending)시킴으로써 강수에 의한 오차를 제거하고 시간해상도를 6시간 간격으로 단축시킴으로써 Van der Hoven 스펙트럼(Fig. 8) 중 종관(synoptic) 및 일간(diurnal) 스펙트럼이 풍력자원 산출 시



(a) QSCAT vs. Marine Buoy



(b) QSCAT/CDAS vs. Marine Buoy

Fig. 10 Correlations between satellite and buoy data

포함되도록 하였으며 바람지도 작성영역을 육상으로까지 확대하였다. 두 자료의 혼합은 기본적으로 3차 베타-스플라인(cubic beta-splines) 결합보간법(joint interpolation)을 사용하되 적절한 로우패스(low-pass) 및 하이패스(high-pass) 필터로 이상값을 제외시켰다(Milliff et al., 1999).

Fig. 9는 QSCAT과 CDAS의 혼합자료를 이용하여 작성한 한반도 종관 바람지도로 한반도 육·해상 전역의 에너지밀도(wind energy density) 공간분포를 잘 보여주고 있다. 일반적으로 풍력자원은 최소한 5년간의 풍황자료로 평가되어야 하며, 본 바람지도는 원격탐사자료의 가용기간인 1999년 하반기부터 2003년말까지 약 4년반의 자료를 가공하여 작성되었다. 참고로 바람지도 작성 시 육상에서는 종관자료만을 적용하였기 때문에 지표면 높이에서의 지형적인 풍속변화 특성은 고려되지 않은 결과이다.

본 바람지도는 한반도를 포함한 인근 해상의 풍력자원 공간분포와 풍환경 특성에 대한 중요한 정보를 제공하고 있지만 풍

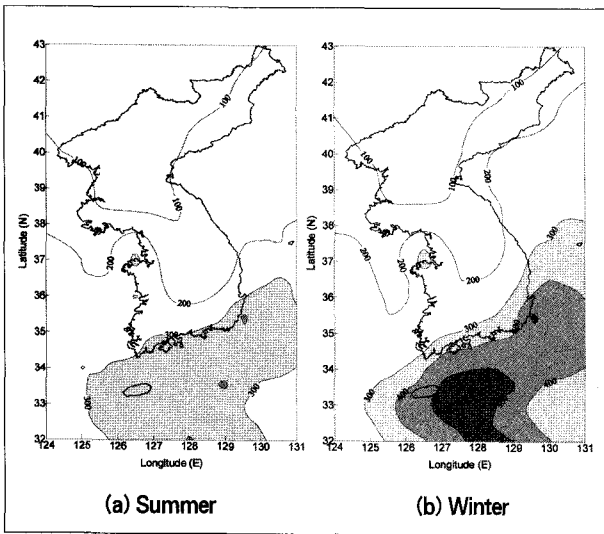


Fig. 11 Seasonal distributions of wind energy density

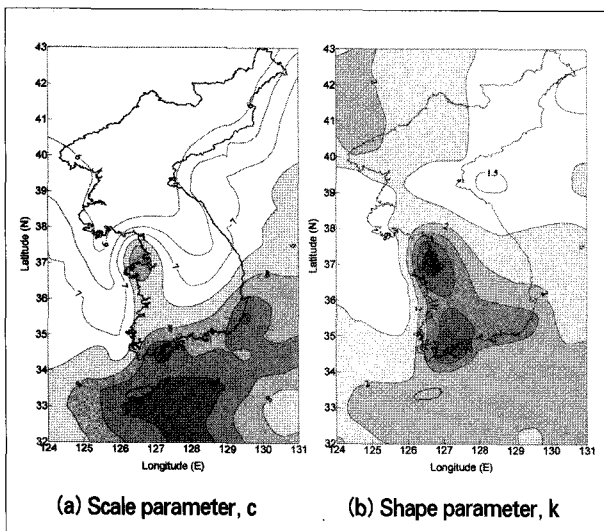


Fig. 12 Spatial distribution of Weibull parameters

력발전 후보지를 선정하거나 풍력단지 배치설계에 사용될만한 공간해상도를 제공하지 못하는 관계로 중관 바람지도라고 명명하였다.

작성된 바람지도의 신뢰도를 검증하기 위하여 해상부이에서 관측된 직접적인 측정값과의 상관분석을 수행하였다. Fig. 10을 보면 (a) QSCAT 만을 이용한 경우에 해상부이 실측자료와의 상관성은 전술한 강우산란 오차요인 등으로 인해 상관계수 (correlation factor)가 0.5 이하로 낮은 반면 (b) QSCAT과 CDAS를 혼합시킨 자료는 상관계수가 0.87로 대폭 향상되어 바람지도로서의 신뢰성이 확보됨을 검증할 수 있었다. 참고로

Fig. 10은 전라남도 칠발도 해상부이(34° 48' N, 125° 47' E)에서 관측된 기상자료와의 회귀분석 그래프를 제시한 것이며 해상 상관분석 결과 중 일례로 기타 지역에서도 이와 유사한 결과를 얻었다.

우리나라 풍력자원의 계절적인 변동특성을 파악하기 위하여 Fig. 11에 (a) 하계와 (b) 동계 에너지밀도의 바람지도를 제시하였는데, 동계에는 북서계절풍의 영향으로 하계와 비교하여 풍력자원이 월등히 풍부함이 확인된다. 참고로 바람지도 작성을 위한 해석기간인 1999-2003년의 하계 중 한반도에 영향을 미친 태풍사례일은 총 18회였으며 태풍기간 중 강풍 영향을 포함시키더라도 하계의 풍력자원은 다른 계절에 비해 가장 낮은 수준임을 확인할 수 있다. 일반적으로 풍력발전기는 구조안전상의 이유로 허브높이에서 풍속 25m/s 이상의 강풍시에는 작동을 중단한다.

풍속 u 의 통계분포를 등급계수(scale parameter) c 와 형상계수(shape parameter) k , 두 개의 인자만으로 표현되는 와이블(Weibull) 확률분포로 나타내면,

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

풍력자원의 평가척도인 에너지밀도[W/m²]는 다음과 같이 와이블 확률분포의 적분식으로 표현된다.

$$P(u) = \frac{1}{2} \rho \int_0^\infty u^3 f(u) du = \frac{1}{2} \rho c \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (2)$$

Fig. 12는 풍속의 평균값에 관계하는 (a) 등급계수와 풍속 편차에 관계하는 (b) 형상계수의 공간분포도이며, 서해상에서 작은 k 값을 보이고 있는데 이는 풍속분포의 산포가 크기 때문에 풍력발전에는 부적합한 지역임을 시사하고 있다.

4. 한반도 풍환경 분석

본 연구에서 구축한 한반도 중관(synoptic) 바람지도에 의하면(Fig. 9) 풍력자원이 월등한 영역은 제주도를 포함한 남해상이며 남해안 부근도 높은 에너지밀도를 보이고 있어 대규모 해상단지의 개발가능성을 검토할 필요가 있다. 그런데 중관 바람지도를 해석함에 있어서 유의할 점은 첫 번째로 바람지도의 공간해상도가 풍력발전 후보지를 선정할 만큼 정밀하지 못하다

Table 1 Regional statistics of mean wind speed

평균풍속 (m/s)	해안선 구분			
	서해	남해	동해	제주도
해안관측소	2.3	2.7	3.1	-
도서관측소	3.3	3.8	-	4.1

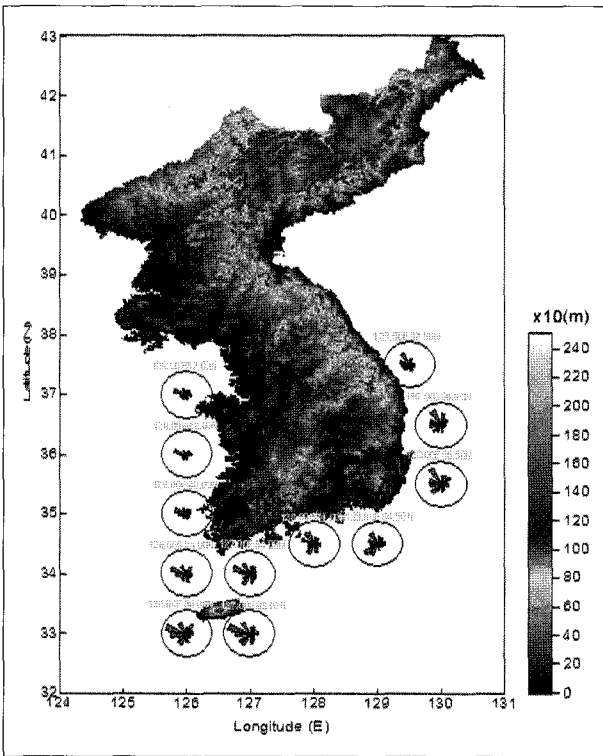


Fig. 13 Rose diagrams of offshore energy density

는 것이며 두 번째로는 국지지형이 배제된 바람지도라는 것이다. 따라서 종관 바람지도에서 남해안선 일대의 풍황이 우수할 것으로 예측되었더라도 실제에서는 복잡한 리아스식 해안지형의 차폐영향으로 풍속 감속이 크게 발생할 수도 있는 것이다. 따라서 이를 판별하기 위해서는 필연적으로 상세(detail) 바람지도가 요구되며 이때 종관 바람지도를 상세 바람지도를 작성하기 위한 입력조건으로 활용할 수 있기 때문에 연구단계상 우선 종관 바람지도를 작성하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

일반적으로는 겨울철에 북서계절풍의 영향으로 한반도 해상 중 서해상의 바람이 가장 강할 것이라고 생각하지만 종관 바람지도를 보면 이와는 다른 양상으로 분석된다. 이러한 풍환경 특성은 원격탐사자료로 작성된 바람지도에서만 아니라 직접적인 기상관측자료의 통계분석에서도 확인된다. Table 1은 각 방위별로 해안관측소와 도서관측소를 구분하여 통계적인 평균

풍속을 산출한 결과로 서해안관측소의 평균풍속은 2.3m/s인 반면 남해안과 동해안관측소의 평균풍속은 각각 2.7m/s, 3.1m/s로 서해안의 바람이 생각처럼 강하지 않다는 것을 확인할 수 있다. 해안관측소 뿐만 아니라 도서관측소의 경우에도 서해도서의 평균풍속 3.3m/s 보다 남해도서가 3.8m/s로 15% 정도 높은 풍속을 보이고 있다.

한반도 전 해상에서 에너지밀도의 바람장미를 도시한 Fig. 13을 보면 전반적인 해상의 주풍향은 북서풍 계열이지만 동해안에서는 태백산맥의 차폐효과로 인해 북북서풍이 해안선을 타고 흐르는 양상이 보이며 남동해안은 채널효과에 의해 대한해협을 통하여 강한 바람이 유도되는 경향도 확인된다.

한반도 서해안보다 남해안의 풍력에너지가 높게 나타나는 풍환경이 형성되는 이유를 설명하면, 겨울철 풍계의 빈도는 북서풍계열의 우세하지만 실제적으로는 고기압의 이동에 의해 유도되는 북동풍계열의 바람이 대한해협을 통과하는 경우에 강한 바람이 나타날 수 있는 지형적 조건이 형성되기 때문으로 생각된다. 또한 여름철의 경우에도 이와 유사한 현상이 발생되는데, 즉, 여름철에 일본열도를 중심으로 형성되는 강한 열적 저기압(thermal low pressure)의 형성에 의해 대한해협으로 불어 들어오는 동풍계열의 바람이 협곡효과에 의해 강한 풍하측 바람을 형성하게 되는 것이다. 이러한 계절별 추가적인 조건은 연평균풍속의 강화에 많은 영향을 미치게 되며, 이러한 종관적 배치구조로 인해 남해상에서 가장 강한 풍계가 형성됨을 본 연구를 통하여 확인할 수 있었다.

5. 결론 및 제언

현재 우리나라는 지형적, 지리적, 기상학적 복잡성에 기인하여 본격적으로 풍력발전사업이 시작되었음에도 불구하고 한반도 전체의 풍력자원 분포현황을 파악할 수 있는 바람지도가 준비되지 못한 관계로 풍력사업의 진행에 있어서 시행착오 요인이 되고 있는 것이 사실이다. 이에 본 연구에서는 원격탐사 자료를 이용하여 한반도 종관 바람지도를 구축하였다. 풍력발전 선진국인 덴마크(EMD, 2001), 미국(Elliot et al., 1986), 영국 등은 국가 전역의 종관 바람지도와 각 지역별 상세 바람지도를 구축하여 풍력사업에 적극 활용하고 있으며 독일은 지방자치단체별로 해당지역의 상세 바람지도를 구축하여 풍력사업 이외에도 도시환경을 고려한 건축물 인허가 등의 각 분야에서 활

용하고 있음을 고려할 때 국내에서도 본 연구를 시작으로 향후 구축될 상세 바람지도는 풍력사업 이외에도 풍하중 산정, 대기 환경 분석, 산불감시 등 각종 분야에서 효용가치는 매우 높은 자료로 활용되리라 기대된다. 궁극적으로는 풍력사업의 효율적 진행을 위해서는 풍력자원의 공간분포 및 지역별 지리정보와 더불어 기상자료, 전력연계, 환경정보 등 풍력사업에 필요한 각종 정보를 통합한 데이터베이스를 구축하여 풍력자원정보시스템이 지원되어야 할 것으로 사료된다.

마지막으로 지역에너지사업의 일환으로 수행된 풍환경 분석 연구의 일례(김현구 외, 2003)를 제시함으로써 한반도 상황에 적합한 상세 바람지도의 구축방법에 대한 제언을 대신하고자 한다.

Fig. 14는 포항지역의 풍환경 평가를 위한 등지기법에 의한 수치기상모의 해석영역을 나타낸 개념도로 광역으로부터 국지 영역으로 해석범위를 축소하되 해석정밀도를 높여가는 해석방식을 적용하였다. 본 계산은 종관풍일과 해륙풍일에 대해서 별도로 수치모의를 수행한 후(정우식 외, 2003) 각각의 풍계일 출현빈도로 가중평균하는 방법을 채택하였으며 Fig. 15는 수치모의로 산출된 포항지역의 지면풍속 분포를 보여주는 상세 바람지도이다. 바람지도에서 호랑이 꼬리로 상징화되는 북동방향으로 돌출된 호미곶에 주목할 필요가 있는데, 호미곶의 중심을 따라 해발고도 200m 이상의 능선이 북동방향으로 형성되어 있으나 이들 능선보다 오히려 호미곶 선단에서 고평속 영역이 형성되고 있어 이 영역에 풍력발전기를 설치하는 것이 산등성을 따라 설치하는 것 보다 유리하리라는 결론을 도출할 수 있다. 이러한 현상의 원인을 수치모의 결과로부터 분석한 바에 의하면 호미곶 선단이 포항지역 해륙풍에 의한 풍향변화의 변곡점에 위치하고 있어 고평속이 유도되는 것으로 밝혀졌으며 실제로 선단지역과 산능선에 설치한 풍향기의 실측결과로 이 사실을 검증하였다.

포항지역의 사례가 의미하는 바는 우리나라는 지형학적, 기상학적 특수성으로 인하여 복잡한 국지풍계 체계를 정확하게 이해하지 못할 경우 풍력자원의 효율적인 이용에 한계가 있으므로 이를 극복하기 위해서는 중규모 기상모델과 국지규모 전산유동해석법을 병행하여 상세 바람지도를 구축하는 것이 바람직하다는 것이다. 참고로 본 사례에서는 대표적인 풍계일을 산출하여 가중평균하는 약식방법을 적용하였으나 실제적인 상세 바람지도의 구축을 위해서는 5년 이상의 장기간으로부터 무작위적으로 365일의 사례일을 추출하여 통계적으로 평균적인

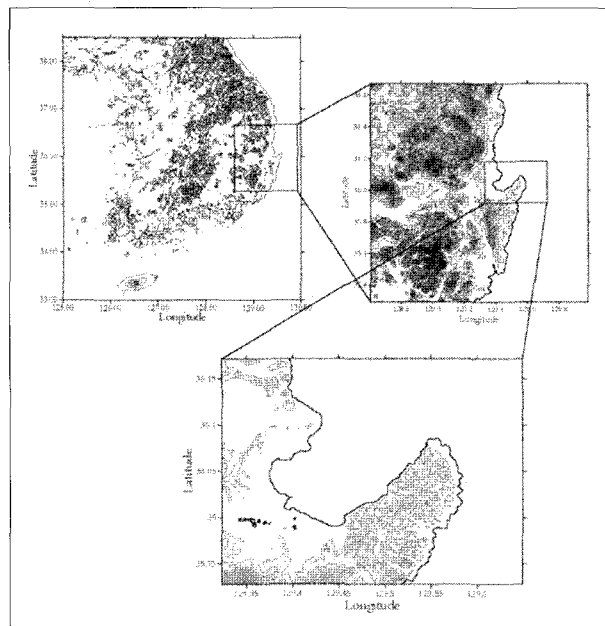


Fig. 14 Schematic diagram of nesting technique

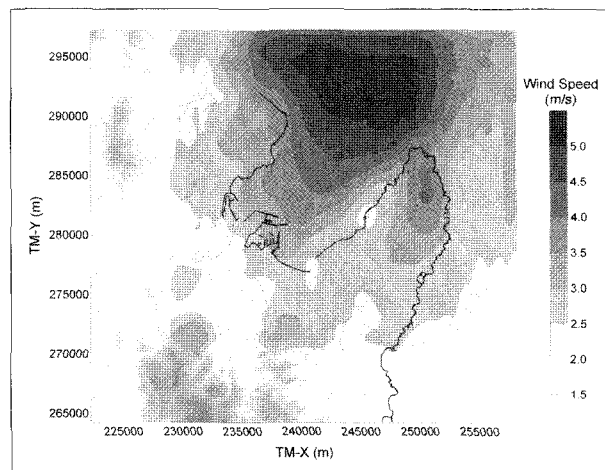


Fig. 15 Detail wind map of the Pohang region

1년의 사례기간을 생성한 후 각각의 사례일에 대하여 개별적인 등지영역에 의한 시간별 수치모의를 수행하는 방법을 추천할 수 있다.

Acknowledgement

본 연구는 포항산업과학연구원 자율과제 및 포스코 신사업 개발실의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. 김건훈, 이동현, 주영철, 유승덕, 허종철, 변수환, 2003, "국내 풍력자원 측정 및 결과 분석," 한국풍력기술 및 정책 워크샵, 한국풍력기술연구회, pp. 72-80.
2. 김용상, 박옥란, 황승언, 2002, "기상연구소의 국자규모 기상분석 및 예측시스템(KLAPS)의 실시간 운영," 한국기상학회지, Vol. 38, No. 1, pp. 1-10.
3. 김현구, 최재우, 2002, "풍력에너지 이용 및 개발현황," RIST 연구논문, Vol. 16, No. 4, pp. 479-485.
4. 김현구, 최재우, 손정봉, 정우식, 이화운, 2003, "풍력발전 단지조성을 위한 바람환경 분석," 한국대기환경학회지, Vol. 19, No. 6, pp. 745-756.
5. 유신재, 정종철, 1999, "해양환경관측을 위한 원격탐사의 활용과 그 전망," 한국원격탐사학회지, Vol. 15, No. 3, pp. 277-288.
6. 정우식, 이화운, 김현구, 2003, "포항지역의 겨울철 남서계열 탁월풍 현상에 관한 분석 및 수치모의," 한국지구과학회지, Vol. 24, No. 6, pp. 533-548.
7. Bower, M. C., Bailey, B., Zack J. W., Schwartz, M. N., 2001, "Application and Validations of the MesoMap Wind Mapping System in Different Climatic Regimes," Proc. Amer. Wind Energy Assoc., Windpower 2001.
8. Breeze, P., 2004, The Future of Global Offshore Wind Power: The Technology, Economics and Impact of Wind Power Generation, Reuters Business Insight.
9. Hughes, T. W., Shafer, M., Simonsen, T., Traurig, J., Mirsky, N., Earls, E. G., 2002, "Using Environmental Data to Attract Development: The Oklahoma Wind Power Assessment Initiative," Proc. Ann. Conf. of American Meteorological Society.
10. Elliott, D. L., Holladay, C. G., Barchet, W. R., Foote, H. P. & Sandusky, W. F., 1986, Wind Energy Resource Atlas of the United States, Pacific Northwest Laboratory, U. S. Department of Energy.
11. EMD(Energi-og Miljødata), 2001, The Danish Wind Resource Map with Data Export to GIS-Format, <http://www.emd.dk/>.
12. European Wind Energy Association, 2002, Wind Force 12.
13. Hasager, C. B., Rathmann, O., Nielsen, M., Barthelmie, R., Pryor, S., Hojstrup, J., Badger, J., Norgaard, P. & Lundsager, P., 2003, "Wind Energy Calculated from SAR and Scatterometer Satellite Data," Risoe National Laboratory, ESA Workshop & Renewable Energy, Italy.
14. Jackson, P.S. and J.C.R. Hunt, 1975, "Turbulent Wind Flow Over a Low Hill," Quart. J. Roy. Met. Soc., Vol. 101, pp. 929-955.
15. Kalnay, E. et al., 1996, "The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project," Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 77, pp. 437-471.
16. Milliff, R. F., Large, W.G., Morzel, J., Danabasoglu, G. & Chin, T.M., 1999, "Ocean General Circulation Model Sensitivity to Forcing Scatterometer Winds," J. of Geophysical Research, Oceans, Vol. 105, No. C5, pp. 11337-11358.
17. Troen, I. and Petersen, E. L., 1989, European Wind Atlas, Risoe National Laboratory, Denmark.
18. US NASA Jet Propulsion Laboratory, "SeaWinds on QuikSCAT Products," <http://podaac.jpl.nasa.gov/>.
19. US National Weather Service, NCEP/NCAR Reanalysis Project (CDAS).

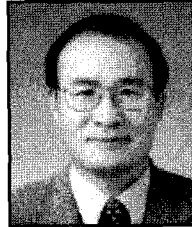
김현구



1989년 인하대학교 항공공학과 공학사
 1991년 포항공과대학교 기계공학과 공학석사
 1997년 포항공과대학교 기계공학과 공학박사

현재 포항산업과학연구원 (책임연구원)
 (E-mail : hyungoo@rist.re.kr)

최재우



1969년 영남대학교 기계공학과 공학사
 1982년 독일 아켄공과대학교 공학석사
 1986년 독일 아켄공과대학교 공학박사

현재 포항산업과학연구원 (Research Fellow)
 (E-mail : jochoi@rist.re.kr)

이화운



1978년 부산대학교 지구과학교육과 이학사
 1985년 일본 오사카대학 환경공학과 공학석사
 1988년 일본 오사카대학 환경공학과 공학박사

현재 부산대학교 대기과학과 (교수)
 (E-mail : hwlee@pusan.ac.kr)

정우식



1993년 부산대학교 대기과학과 이학사
 1997년 부산대학교 대기과학과 이학석사
 2001년 부산대학교 대기과학과 이학박사

현재 부산대학교 환경문제연구소 (전임연구원)
 (E-mail : wsjung1@pusan.ac.kr)