

# 유연한 전산 방법에 의한 풍력터빈 소음의 평가- 비교연구

한국과학기술정보연구원  
전문연구위원 문덕홍  
(mdh1808@reseat.re.kr)

## 1. 서언

- 풍력에너지에 의한 전력의 생산은 전통적인 화석, 석탄 혹은 핵연료에 대한 대체에너지로 상당한 관심을 갖고 있다. 풍력에너지는 전 세계적 사용을 저해하는 여러 가지 결점들을 갖고 있다. 건물, 도로 등이 잔뜩 들어선 지역에 소규모 풍력터빈의 도입은 낮은 풍속, 높은 난류와 소음과 같은 많은 쟁점 때문에 제한된다.
- 소음 배출은 주어진 환경 속에서 소규모 풍력터빈의 도입에 주된 기술적 장벽 중의 하나임을 증명하였다. 풍력터빈은 두 개의 주된 소음 구성 요소 즉, 기계적인 그리고 공기역학적인 소음을 갖는다.
- 풍력터빈으로부터 발생된 소음은 수치적분 또는 CFD방법에 의하여 예측된다. 이 연구에서 풍속에 관련한 풍력터빈의 소음 레벨이 해석된다. 풍력터빈 소음 레벨을 해석하는 데에 CFD의 사용은 매우 도전이 되고, 시간이 소모되므로 유연한 전산기법이 바람직하다.
- 반경방향의 기본 함수를 갖는 SVR(Support Vector Regression)과 다항식의 기본 함수를 갖는 SVR이 풍력터빈 소음 레벨을 결정하는데 사용된다. 이 조사의 중요 목표는 소리 주파수와 바람 입력 속도에 관한 풍력터빈 소음 레벨 옥타브밴드의 추정을 위하여 SVR을 설정하는 것이다. 유연한 전산방법 뒤에 기본 개념은 입력/출력 데이터쌍과 이 데이터로부터 제안모델을 학습하는 것이다. CFD 시뮬레이션이 SVR모델에 대해서 연습과 체크 데이터를 추출하기 위하여 수행된다.

## 2. 재료와 방법

### ○ 소음 평가

- 풍력터빈들은 여러 루트로부터 기계적인 그리고 공기역학적인 소리를 발생시킨다. 기술이 진보함에 따라 풍력터빈들은 더욱 조용해졌지만, 풍력터빈들로부터의 소리는 여전히 중요한 입지기준이다.
- 풍력터빈에 의하여 생긴 소리는 기술이 증진함에 따라 감소하였다. 블레이드 날개들이 더욱 효율적이 되므로 풍력에너지의 많은 부분이 회전에너지로 변환되고 음향에너지로는 적게 변환된다. 진동감쇠와 개선된 기계적인 설계는 기계적인 소음원으로부터 소음을 현저하게 감소시킨다.

### ○ 소리와 소음

- 소리들은 크기와 주파수로 특성화된다. 크고 낮은 주파수의 소리, 부드럽고 높은 주파수의 소리 그리고 일정 주파수 범위를 포함하는 큰 소리들이 있을 수 있다. 인간의 귀는 소리 레벨과 넓은 주파수 범위를 탐지할 수 있지만 이외로 어떤 주파수에서 매우 민감하다.
- 옥타브는 어떤 주파수의 소리와 두 배의 주파수의 소리사이에 주파수 범위이다. 즉, 일정한 주파수 범위를 정의하기 위하여 사용되는 개념이다. 인간이 듣는 주파수의 범위는 아주 넓고 일반적으로 20~ 20,000Hz(10옥타브)의 범위이다. 결국 일상에서 경험하는 소리들은 보통 단일주파수가 아니라 여러 음원과 주파수가 혼합되어 이루어진다.

### ○ 소리 파워, 압력 및 강도

- 소리 크기의 여러 측정량들을 구별하는 것은 매우 중요하다. 소리 파워 레벨과 소리 압력 레벨. 소리 파워 레벨은 소리 압력파의 단위면적당 파워이다. 이것은 소리원의 특성이고, 소리원에 의하여 주어진 전체 음향 파워를 준다. 소리 압력은 주어진 관찰자 위치에서 소리의 특성이고, 거기에서 단일 마이크로폰으로 측정될 수 있다.

- 소리 강도  $I$ 는 단위 면적당 소리 파워로 정의된다. 그래서  $watts/m^2$ 으로 측정될 수 있지만, 더욱 보편적으로는 1,000Hz에서 듣기의 한계치 ( $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ )인 기준 강도에 대한 측정 강도의 비의 대수 값에 10을 곱한 비교 강도 즉 데시벨(dB) 단위로 나타낸다.

#### ○ 풍력터빈으로부터 소리

- 풍력터빈운전에 의해서 생기는 순음, 광대역 음, 낮은 주파수의 음 및 충격음의 네 가지 형태의 소리가 있다. 순음은 이산주파수에서 소리로 정의된다. 맞물린 기어들, 로터블레이드 표면과 내부 작용하는 비공기역학적 불안정성, 구멍들에 대한 불안정 유동, 흠, 뭉툭한 꼬리 끝과 같은 구성 요소들이 원인이 된다.
- 광대역 소리는 100Hz 이상의 주파수를 갖는 음압의 연속적인 분포가 특징이다. 그것은 대기의 난류와 터빈블레이드의 내부 작용이 가끔 원인이 된다. 그리고 휘파람 소리로 묘사된다.
- 낮은 주파수(20~100Hz) 소리는 터빈블레이드가 타워 주위의 유동 때문에 국부적인 유동결함을 만날 때에 원인이 된다. 충격음은 짧은 음향 임펄스에 의하여 시간에 따라 진폭이 변하는 쿵쿵거리는 소리에 의하여 서술된다.
- 공기역학적 광대역 소리는 전형적으로 풍력터빈 음향 생성의 가장 큰 구성 성분이다. 그것은 블레이드 주위의 공기유동으로부터 생긴다. 공기역학적 소리는 일반적으로 로터의 속력과 함께 증가한다.

#### ○ SVR 적용

- SVM(Support Vector Machines)의 근본 작동원리는 비선형 맵핑을 통한 어떤 공간상에 데이터 맵핑을 수행하는 것이고, 특성 공간속에 선형알고리즘을 수행하는 것이다.
- SVM의 유연한 성질은 고차원 특성공간에 데이터를 함축적으로 차트

- 화한 커널함수에 의한 것으로 본다. 좀 더 고차원 특성 공간에서 선형 해는 저차원의 입력 공간인 원래 공간에서 비선형해에 상당한다.
- 회귀문제에 대한 그들의 전략에 비선형 커널을 사용하는 것과 연속적으로 *SVM*를 적용하는 일부의 이용할 수 있는 방법들이 있다. 하나의 커널함수는 반경방향 기초 함수이다. 반경방향 기초 함수의 주요 이득은 종래의 *SVM* 방법보다 컴퓨터 계산에는 더욱 효율적이다. 왜냐하면, 반경방향 기초 함수 연습은 일련의 선형방정식의 해만을 그리고 전산적으로는 표준 *SVM*으로 만들어진 4차 프로그래밍 문제의 요구를 필요로 하기 때문이다.
  - 그러므로 매개변수  $\sigma$ 를 갖는 반경방향 기초 함수가 이 연구에 적용된다. 반경방향 기초 커널함수가 정의된다. 그리고 다항식의 커널함수가 사용된다.
  - 실험에 의하면, 두 개의 입력데이터세트 그리고 세 개의 입력데이터세트인 두 개의 데이터 세트들이 만들어진다. 두 개의 입력데이터세트에 대해서 입력매개변수(소리 주파수와 풍속)가 학습기법에 입력으로 사용하려고 수집된다. 세 개의 입력데이터 세트에 대하여 입력매개변수(소리 주파수, 10m 높이에서 풍속, 80m 높이에서 풍속)가 학습기법에 입력으로 사용하려고 수집된다.

### 3. 결과 및 토론

- 풍력에너지에 의한 전력의 생산은 전통적인 화석, 석탄 혹은 핵연료에 대한 대체에너지로 상당한 관심을 갖고 있다. 풍력에너지는 전 세계적 사용을 저해하는 여러 가지 결점들을 갖고 있다. 건물, 도로 등이 잔뜩 들어선 지역에 소규모 풍력터빈의 도입은 낮은 풍속, 높은 난류와 소음과 같은 많은 쟁점 때문에 제한된다. 추정된 풍력터빈 소음은 두 개의 데이터세트, 즉, 두 개의 입력과 세 개의 입력에 대하여 산포도 형태로 나타나고 있다. 이러한 결과로부터 반경방향 기초 함수를 갖는 SVR이 풍력터빈 소음 레벨을 예측하는 데에 잘 사용되었다.
- 이 연구에서 풍력터빈 소음 레벨 예측을 위하여 단일 반경방향 기초 SVR과 다항식 기초 SVR모델을 비교하였다. 얻어진 결과는 반경방향

SVR모델이 풍력터빈 소음 레벨을 평가하는 데 최상의 능력을 갖는다는 것을 나타낸다.

#### 4. 결론

- 풍력터빈은 신재생과 지속적인 에너지에 도움을 준다. 소음배출은 풍력터빈 산업과 주로 도시지역들에 건립된 소규모 풍력터빈에 대해서 특히 주요 관심사 중의 하나이다. 이 관심사는 문제로 바뀌어 가고 있다. 사람의 건강에 있어 특히 중간 그리고 긴 기간 동안 소음 노출에 대한 풍력터빈 소음의 영향은 여러 연구의 대상이 되어왔다. 소음 레벨은 측정될 수 있지만, 다른 환경적인 관심과 비슷하게 풍력터빈의 소음 영향의 공공 인지는 부분적으로는 주관적인 결정이다.
- 풍력터빈으로부터 생긴 소음은 수치적분 또는 CFD방법에 의하여 예측되었다. 이 연구에서 유연한 전산방법론인 SVR에 의하여 풍속과 소리 주파수에 관련하여 풍력터빈의 소음 레벨이 해석되었다. 두 개의 풍력터빈 소음 레벨 데이터 세트가 조사되었다. 처음의 데이터 세트는 소리 주파수와 풍속의 두 개의 입력이다. 두 번째 데이터 세트는 소리 주파수, 10m 높이에서 풍속, 80m 높이에서 풍속의 3개의 입력이다.
- 이 논문은 이들 두 데이터세 트에 대하여 풍력터빈 소음 레벨 예측에 대한 SVR기법을 나타낸다. 반경방향 그리고 다항식의 기본 함수인 SVR방법의 성능은 반경방향 기초 함수를 갖는 예측시스템에 흥미로운 증진을 보였다.
- 반경방향 커널함수를 갖는 SVR 예측은 RMSE와  $R^2$ 의 향으로 다항식 커널함수를 갖는 SVR보다 우수하다. 게다가 풍력터빈 소음 레벨의 좀 더 나은 예측은 3개의 입력데이터에 대해서 기록되었다.

출처 : Obrad Anicic, DaliborPetković, SlavicaCvetkovic, "Evaluation of wind turbine noise by soft computing methodologies: A comparative study", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 2016, pp.1122~1128

### ◁ 전문가 제언 ▷

- 풍력터빈으로부터 생긴 운전소리는 산업적 근간으로 분류되는 대부분의 대규모의 발전소 보다 레벨이나 성질에 있어서 꽤 다르다. 현재의 풍력 터빈들은 가끔 상응하는 주위의 소리의 특성을 갖는 시골의 외진 지역에 위치해 있다.
- 풍력터빈 블레이드들로부터 발생된 공기역학적 소음은 넓게 이산주파수(순음) 소음과 광대역 소음으로 분류된다. 순음 소음은 일반적으로 낮은 주파수이고, 회전블레이드의 운동에 의하여 생기는 유동에 있어서의 난류 때문이다. 광대역 소음은 좀 더 높은 주파수이고 블레이드와 더불어 여러 가지 형태의 난류 유동의 내부 작용 때문이다.
- 반경방향 기초 함수 결과를 갖는 SVR과 다항식 기초 함수를 갖는 SVR을 비교하면 반경방향 기초 함수를 갖는 SVR이 예측 정확성의 면에서 다항식 모델을 능가한다는 것을 나타낸다.
- 2011년 3월 11일 일본 후쿠시마 원전의 방사능 누출사고와 최근 경주 지진으로 원전의 내진설계가 도마 위에 오르고 있어, 신규 원전 건설에 대한 부정적인 여론이 증가하고 있다. 원전에 대한 대체 전력으로 화력 발전은 미세먼지와 온실가스의 증가의 원인으로 알려지고 있어, 태양광 에너지 및 풍력터빈 발전의 중요성이 더욱 증가되고 있다.
- 따라서 풍력터빈은 건물, 도로, 주거용 편의시설 등이 잔뜩 들어선 기존의 도시지역 또는 농촌의 주거지역에도 원전 또는 화력발전의 대체 전력으로서 설치가 예상되는데, 이런 풍력터빈의 설치와 운전에 가장 걸림돌은 공기역학적 소음 문제이다. 본문과 같은 소음 레벨 예측에 관한 연구 결과가 매우 유용하게 쓰일 것이다. 그리고 풍력터빈 소음에 관련한 비슷한 연구를 더욱 진행할 필요가 있고, 이는 도시와 농촌의 주거 밀집지역에 설치할 소규모 풍력터빈 산업의 발전에 상당한 기여를 할 것으로 생각한다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.