

강풍 시 전력망 연계기준을 만족하는 해상풍력발전단지 강제종료 방법

논 문
60-7-2

Supervised Shutdown of an Off-shore Wind Farm to meet the Grid Code in a Storm-driven Situation

유 약* · 김 연 희** · 정 태 영** · 강 용 철†
(Yue You · Yeon-Hee Kim · Tai-Ying Zheng · Yong-Cheol Kang)

Abstract - A wind turbine (WT) should be shut down as fast as possible to minimize its own damage in a storm-driven situation. Shutdown of a large wind farm requires a power grid to have a ramp-up capability large enough to balance between generation and consumption of electrical energy. This paper proposes a supervised shutdown algorithm of a wind farm to meet a required ramp-down rate in a grid code in the case of a storm-driven situation. The information on the speed and the direction of wind is measured at a wind mast (WM) installed around a wind farm. If the wind speed exceeds a cut-out speed, the number of WTs to be shut down simultaneously is decided to meet a required ramp-down rate of a grid-code. Arrival times to each WT from the WM are calculated and sorted in the order of time. Then a sequence of groups is generated. The shutdown start/end times of each group are decided to avoid superposition between adjacent two groups. The performance of the proposed shutdown algorithm is verified under various storm scenarios. Results indicate that the proposed algorithm can not only protect the wind farm in the case of a storm-driven situation but also meet the required ramp-down rate. In addition, the algorithm can produce more energy than that of a conventional shutdown algorithm.

Key Words : Shutdown, Grid code, Storm-driven situation, Ramp-down rate

1. 서 론

화석연료를 대체할 에너지원인 신재생에너지원 중 풍력에너지의 발전단가는 화력발전단가의 수준에 이르러, 풍력은 화력발전을 대체할 가장 경쟁력있는 수단으로 주목받고 있다[1]. 이런 연유로 최근 세계적으로 풍력발전용량이 급증하고 있고, 전세계 풍력의 설치용량이 150 GW에 이른다[2]. 또한, 풍력에너지의 불규칙성이 전력망에 주는 영향을 줄이고 발전단가를 감소하기 위해 세계 각국은 대규모 풍력발전단지, 특히 해상풍력발전단지 건설에 집중하고 있으며, 우리나라도 2019년까지 서해안에 2.5 GW 해상풍력발전단지 건설을 추진하고 있다[3].

풍력발전기는 바람의 속도가 기동 풍속(cut-in speed) 이상인 경우에 운전하지만, 일정속도(예: 25 m/s) 이상의 강풍이 불 경우에는 발전기 보호를 위해 발전기를 강제종료(shutdown)시켜야 한다. 발전기를 강제종료하기 위해서는 피치 제어와 제동기를 동시에 사용하며, 이런 경우에는 풍력발전기의 마모를 증가시켜 수명이 단축된다.

한편, 풍력발전단지의 경우에 강풍 시 단지 내의 모든 풍력발전기를 강제종료하게 되면, 풍력단지의 전체 출력이 급

격하게 감소하므로, 공급되고 있는 전기에너지가 갑자기 부족하여 전력망의 주파수가 감소하게 된다. 만약 전력망에 연계되어 있는 타 발전기가 풍력단지의 감발율을 보충할 수 있는 충분한 크기의 증발율을 갖고 있는 경우에는 주파수를 유지하는데 문제가 없지만, 단지의 감발율이 전력망 발전기의 증발율을 초과하는 경우에는 주파수가 감소하여 품질이 저하된다. 이런 경우를 대비하여 세계 각국에서는 풍력단지의 감발율을 포함하는 전력망 연계기준(grid-code)[4]을 규정하고 있으며, 우리나라도 2010년 6월에 20 MW이상의 풍력단지 감발율을 포함한 전력망 연계기준을 공고하였다[5]. 전력망 발전기의 감발율에는 한계가 있으므로, 풍력단지는 전력망 연계기준에 명시되어 있는 감발율을 만족할 수 있도록 감발해야 하며, 강풍 시에도 예외는 아니다.

강풍 시 풍력발전기를 강제종료하는 기존의 방식은, 앞서 기술한 바와 같이, 개별 풍력발전기의 바로 앞단에 설치된 풍황 측정장치에서 측정된 바람이 강풍일 경우 강제종료하는 방법이다. 이 방법은 제동기를 사용하여야 하므로 발전기의 마모를 증가시킨다. 뿐만 아니라, 이 경우에는 강제종료하는데 소요되는 시간이 매우 짧으므로 개별 풍력발전기의 감발율 자체가 크며, 결과적으로 단지 전체의 감발율은 더욱 커지게 되므로 전력망에 주는 영향이 매우 크다.

참고문헌 [6]에서는 풍력발전기에 무리를 주지 않도록 해상풍력발전단지에서 중앙제어하는 강제종료 방식을 제안하였다. 이 방식은 개별 풍력발전기 바로 앞단이 아닌, 단지의 외부에 설치된 풍황 측정장치에서 측정된 정보를 이용하여 강제종료한다. 강풍이라고 판단되면, 강풍이 측정장치로부터

* 준 회 원 : 전북대 대학원 전기공학과 석사과정
** 정 회 원 : 전북대 대학원 전기공학과 박사과정
† 교신저자, 정회원 : 전북대 대학원 전기공학과 교수
E-mail : yckang@jbnu.ac.kr
접수일자 : 2011년 4월 13일
최종완료 : 2011년 6월 16일

가장 가까운 발전기까지 도착하는 시간을 계산하여, 이를 발전기의 강제종료 소요 시간으로 정한다. 가장 가까운 발전기의 경우에는 강풍이 측정되자마자 강제종료를 시작하고, 다른 발전기의 경우에는 강풍이 측정장치에서 해당 발전기까지 도달하는 시간에서 강제종료 소요 시간을 뺀 시간 후에 강제종료를 시작한다. 이 방식은 강풍이 측정되자마자 강제종료를 시작하므로 발전기에 무리를 주지 않고, 기존 방식에 비해 최대감발율이 작아 전력망에 주는 영향이 적은 장점이 있다. 하지만, 강제종료하는 발전기 수를 제어하지 않으므로, 동시에 강제종료하는 발전기의 수가 적은 순간에는 단지의 감발율이 작으나, 동시에 강제종료하는 발전기의 수가 많은 순간에는 감발율이 커져 전력망 연계기준을 초과할 수 있다. 또한, 강풍이 발전기에 도착하기 오래 전에 강제종료를 시작하므로 손실되는 에너지가 기존 방식에 비해 30% 정도 더 많다.

본 논문에서는 강풍 시 발전기에 무리를 주지 않는 동시에 단지의 감발율이 전력망 연계기준을 초과하지 않는 해상 풍력단지의 강제종료 방법을 제안한다. 풍력단지 외부에 설치된 측정장치에서 강풍이라고 판단되면, 동시에 강제종료하는 풍력발전기 수(N_{WT})를 결정한다. 측정된 풍황 정보를 이용하여 강풍이 각 풍력발전기에 도달하는 시간($T_{i,j}$)을 계산한다. $T_{i,j}$ 을 빠른 순서대로 정렬한 후에, 전체 풍력발전기 수를 N_{WT} 로 나누어 그룹화한다. 각 그룹의 $T_{i,j}$ 중 최소값을 해당 그룹의 강제종료 완료 시간으로 정하고, 풍력발전기의 감발율로부터 강제종료 소요 시간을 계산하여 각 그룹의 강제종료 완료 시간에서 강제종료 소요 시간을 뺀 시간을 그룹의 강제종료 시작 시간으로 정한다. 만약, 어떤 그룹의 강제종료 완료 시간이 다음 그룹의 강제종료 시작 시간보다 늦을 경우에는, 겹치는 시간만큼 앞 그룹의 강제종료 시작 시간을 앞당겨 강제종료를 실시한다. 풍속과 풍향을 변화시켜 제안한 강제종료 방법의 성능을 확인하였다.

2. 강풍 시 전력망 연계기준을 만족하는 해상풍력단지 강제종료 방법

본 논문에서 제안한 강풍 시 풍력발전기에 무리를 주지 않으면서 전력망 연계 기준의 감발율을 만족하는 강제종료 방법의 핵심 아이디어는, 풍력단지의 감발율이 연계기준을 초과하지 않도록 소수의 풍력발전기를 동시에 같은 감발율로 강제종료하는 것이다.

그림 1은 제안한 방법을 설명하기 위해 사용된 해상풍력발전단지의 구성도이다. 풍력발전기가 정사각형 형태로 배열되었고, 단지 주변의 4지점에 풍황 측정장치가 설치되었다고 가정하였다. 그림 1에서 d 는 인접한 풍력발전기 사이의 거리이고, d_m 는 풍력발전단지 내 가장 바깥쪽에 위치한 풍력발전기와 풍황 측정장치를 연결한 외곽선 사이의 최소 거리이다. a 는 측정장치를 연결한 외곽선과 바람 전면이 이루는 각 중 예각 크기이며, v 는 바람 전면의 이동 속도이다. 강풍이 측정장치에서 단지까지 오는 동안 속도가 감소될 수 있으나, 해상풍력단지의 경우에는 속도의 감소량이 미미하므로 본 논문에서는 v 를 상수라고 가정하였다. 또한, 실제의 경우에는 강풍이 풍력발전기를 통과한 후에는 속도가 감소하고 후류가 발생되나, 본 논문에서는 편의상 이를 무시하

여, 속도가 일정하다고 가정하고 기술하였다. 이러한 가정들은 실제 시스템에 적용할 경우에는 이를 고려하여 설계해야 한다.

1단계: 풍속이 일정속도(25 m/s) 이상 여부 판단

풍력단지 외부에 설치된 측정장치에서 측정된 풍속(v)이 일정속도 이상인지를 판단하는 단계이다.

2단계: 동시에 강제종료할 풍력발전기의 수(N_{WT}) 결정

풍력발전기의 감발율(R_{WT})은 제동기를 사용하지 않으면서 피치제어만으로 강제종료할 수 있는 감발율로 정의한다. 풍력단지의 감발율은 동시에 강제종료하는 풍력발전기 수(N_{WT})와 R_{WT} 의 곱이 되고, 이 값이 전력망 연계기준에서 요구하는 감발율(R_{GC})을 넘지 않아야 하며, 이에 대한 관계식은 식 (1)과 같다.

$$N_{WT} \times R_{WT} \leq R_{GC} \tag{1}$$

3단계: 강풍이 풍력발전기에 도달 시간($T_{i,j}$) 계산

풍황 측정장치에서 측정된 풍향(a)을 이용하여 바람의 전면과 각 풍력발전기 사이의 거리($s_{i,j}$)를 구하고, $s_{i,j}$ 를 v 로 나누어 강풍이 풍력발전기에 도달하는 시간($T_{i,j}$)을 식 (2)를 이용하여 계산한다.

$$T_{i,j} = \frac{s_{i,j}}{v} \tag{2}$$

식 (2)의 $s_{i,j}$ 를 계산하기 위한 도형을 그림 2에 나타내었다. 먼저, 바람의 전면이 처음 도달하는 풍력발전기와 바람 전면과의 거리를 식 (3)과 같이 계산한다.

$$s_{1,1} = d_m \times (1 + \tan \alpha) \times \cos \alpha \tag{3}$$

첫 번째 열에 있는 풍력발전기들과 바람 전면 사이 거리는 식 (3)의 결과로부터 식 (4)와 같이 구한다.

$$s_{1,j} = s_{1,1} + (j-1)d \times \sin \alpha, \quad j = 2, \dots, n \tag{4}$$

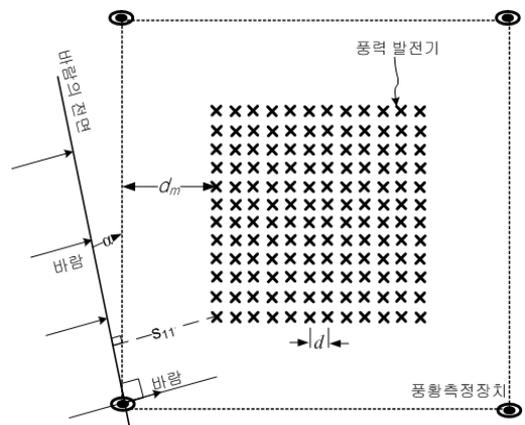


그림 1 풍력발전단지 구성도
Fig. 1 Design of the wind farm

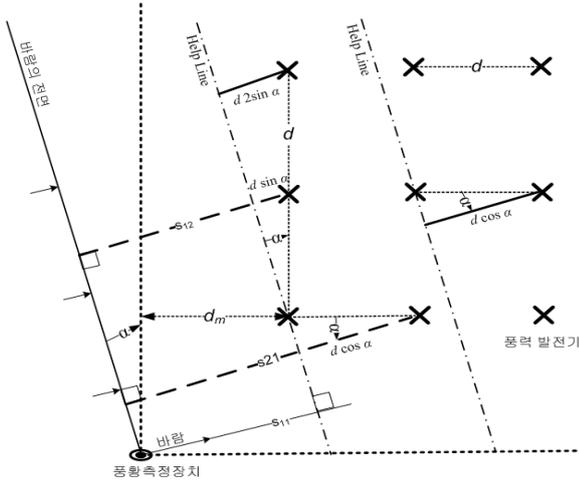


그림 2 바람의 전면에서 풍력발전기까지의 거리 계산
 Fig. 2 Distance calculation between the wind front and a wind turbine

두 번째 열부터는 바로 앞 열의 같은 행에 있는 풍력발전기의 결과로부터, 식 (5)와 같이 계산한다.

$$s_{i,j} = s_{(i-1),j} + d \times \cos \alpha, i = 2, \dots, n, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

4단계: $T_{i,j}$ 를 빠른 시간 순으로 정렬 후 그룹화

3단계에서 계산된 $T_{i,j}$ 를 빠른 순서대로 정렬하고, 2단계에서 구한 N_{WT} 대의 풍력발전기를 한 그룹으로 하여 그룹화한다. 한 그룹 내의 N_{WT} 대의 풍력발전기를 동시에 강제종료하면 그룹의 감발율(단지 전체의 감발율)은 전력망 연계기준의 감발율을 넘지 않는다.

5단계: 그룹의 강제종료 시작/완료 시간 결정

그룹 내의 풍력발전기는 동시에 강제종료를 시작하고 완료한다. 그룹의 강제종료 완료 시간($T_{GN,end}$)은, 강풍이 어떤 그룹에 도달하기 전에 강제종료를 완료하기 위해서, 그룹 내의 $T_{i,j}$ 중 최소값으로 결정한다. 각 그룹의 강제종료 시작 시간($T_{GN,start}$)은 식 (6)을 이용하여 각 그룹의 $T_{GN,end}$ 에서 강제종료 소요 시간(t_{down})을 빼서 구한다.

$$T_{GN,start} = T_{GN,end} - t_{down} \quad (6)$$

여기서, t_{down} 은 풍력발전기의 정격 용량을 R_{WT} 로 나눈 값이다.

6단계: 그룹간 강제종료 시간 중첩 시 강제종료 시간 조정

5단계에서 결정된 그룹별 강제종료 시작/완료 시간이, 이웃 그룹끼리 겹치는 경우에는, 동시에 강제종료되는 풍력발전기의 수가 많아지므로 풍력단지의 감발율이 R_{GC} 를 넘게 된다. 이러한 경우에는 중첩이 발생한 k 번째 그룹의 강제종료 완료 시간($T_{Gk,end}$)과 $k+1$ 번째 그룹의 강제종료 시작 시간($T_{G(k+1),start}$) 사이에 겹치는 시간만큼 k 번째 그룹의 강제종료 시작 시간을 앞당겨 시작한다. 그룹 강제종료 시간 조정은 역순으로 시행하되, 중첩이 생기는 그룹에서만 시행한다.

3. 사례 연구

사례 연구를 위해 사용된 풍력발전단지는, 정격 용량이 3.6 MW인 풍력발전기 144대로 구성된 518.4 MW의 단지이다. 발전기 배열을 12×12 로 구성하였으며, d_m 은 11.4 km이고, d 는 0.75 km이다. 이는 참고문헌 [6]에서 사용한 풍력단지 구성과 같다.

풍력단지가 만족해야 하는 감발율 R_{GC} 는 북유럽, 덴마크, 독일의 경우는 0.86 MW/s이었고, 영국은 0.83 MW/s이었는데, 본 논문에서는 이중에서 가장 작은 0.83 MW/s을 적용하였다. 이 규정을 만족하기 위해서는 풍력발전기 한 대만을 약 4초 동안 감발시켜야하는 수치이다.

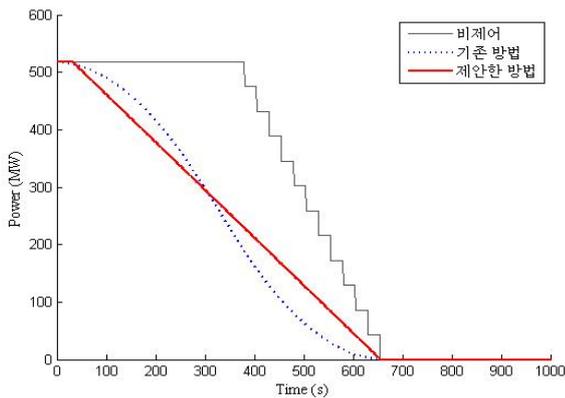
본 논문에서는 제동기를 사용하지 않고 강제종료할 수 있는 풍력발전기의 최대 감발율 R_{WT} 은 0.36 MW/s로 가정하였다. 그 이유는 풍력발전기의 피치각이 1초에 10도 제어 가능하므로 강제종료 소요 시간을 10초로 가정하였기 때문이다[7]. 식 (1)을 사용하여 N_{WT} 를 3으로 정하였고, R_{WT} 는 0.276 MW/s로 하였다. 따라서 본 논문에 적용된 풍력발전기 강제종료 소요 시간 t_{down} 은 13초가 된다.

제안한 방법과 참고문헌 [6]의 기존 방법의 성능을 비교하기 위해 풍속과 풍향을 달리하여 사례연구를 하였다. 그림 4—7(a)는 강제 종료 시 풍력발전단지 출력을 나타내고, 그림 4—7(b)는 풍력발전단지의 감발율을 나타내었다. 그림에서 실선은 비제어의 결과, 점선은 기존 방법의 결과, 굵은 실선은 제안한 방법의 결과이다. 성능 비교를 위해 강제종료완료까지 풍력단지가 생산한 에너지, 풍력단지의 감발율이 R_{GC} 를 초과하는 시간, 그리고 풍력발전단지의 최대감발율과 부족한 전력을 나타내었다.

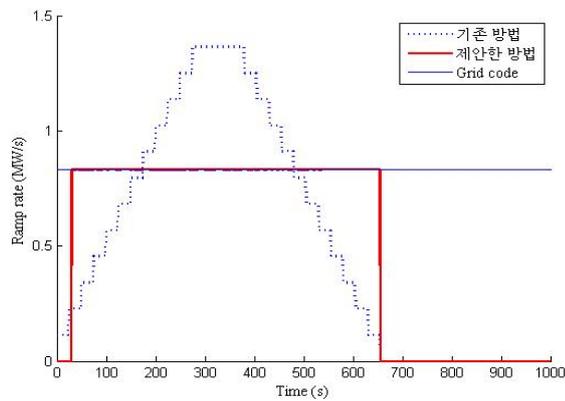
3.1 사례 1: 풍속 30 m/s, 입사각 0°

그림 3은 사례 1의 결과를 나타냈다. 이 경우에는 입사각이 0도이므로, 강풍이 측정장치에서 풍력발전단지 끝까지 도달한 시간은 655초가 된다. 그림 3(a)에 나타난 바와 같이, 비제어의 경우 강풍이 측정장치에 도달하고 380초 이후에 강제종료가 시작되므로, 종료할 때까지의 에너지 생산량은 74.38 MWh로 기존 방법에 비해 58% 많으나, 풍력단지의 출력이 25초 마다 43.2 MW만큼씩 계단형태로 감소한다. 기존 방법은 강풍을 측정하자마자 강제종료를 시작하므로 47.09 MWh의 에너지가 생산되고, 풍력단지의 출력이 곡선형태로 감소한다. 강제종료를 시작한 바로 직후에는 감발율이 적으나, 275초부터 105초간 감발율이 최대가 된다. 제안한 방법은 강풍이 측정되고 30초 후에 강제종료를 시작하며, 기존 방법과 에너지 생산량은 비슷하지만, 출력이 직선형태로 감소하여 연계기준 감발율(0.83 MW/s)을 항상 만족한다.

그림 3(b)에서는 기존 방법과 제안한 방법의 감발율을 나타내었다. 비제어의 경우에는 출력이 계단형태로 감소하는 순간에는 감발율이 매우 크므로 나타나지 않았다. 기존 방법의 경우에는 R_{GC} 를 초과하는 시간은 305초이고, 풍력단지의 최대감발율은 1.36 MW/s이다. 하지만, 제안한 방법의 경우에는 R_{GC} 를 초과하는 시간은 없다. 표 1은 사례 1의 결과를 나타내었으며, 기존 방법은 R_{GC} 를 만족하지 못하므로 106.09 MW의 전력이 부족하지만, 제안한 방법의 경우에는 항상 감발율을 만족하므로 부족한 전력이 없다.



(a) 풍력발전단지 출력



(b) 풍력발전단지 감발율

그림 3 사례 1의 결과
Fig. 3 Results for case 1

표 1 사례 1의 결과

Table 1 Results for case 1

구분	비제어	기존 방법	제안한 방법
에너지 생산량 (MWh)	74.38	47.09	49.28
초과시간 (s)	-	305	0
최대 감발율 (MW/s)	-	1.36	0.83
전력망부족전력 (MW)	-	106.09	0

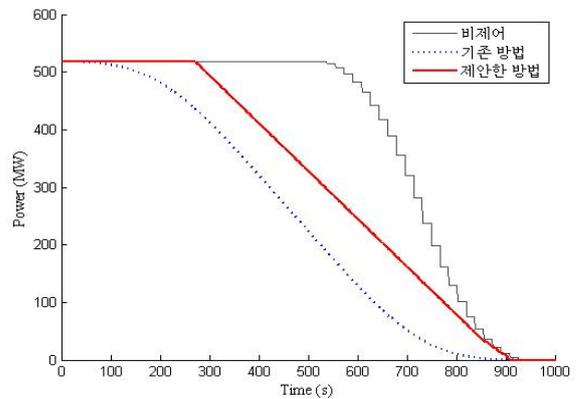
3.2 사례 2: 풍속 30 m/s, 입사각 45°

그림 4는 사례 2의 결과를 나타낸다. 사례 2는 입사각이 45도이므로 강풍이 측정장치에서 풍력단지 끝까지 도달한 시간은 926초가 되어, 사례 1에 비해서 더 길다. 그림 4(a)에서 나타난 바와 같이, 비제어의 경우 강풍이 측정장치에 도달하고 538초 후에 강제종료를 시작하므로, 105.31 MWh의 에너지가 생산되고, 기존 방법에 비해 58% 더 많이 생산된다. 사례 2의 경우에도 출력이 계단형태로 감소하나, 사례 1에 비해 감소하는 계단 폭이 다르며, 이는 입사각이 45도이므로, 바람의 전면이 동시에 만나는 풍력발전기의 수가 다르기 때문에 나타나는 현상이다. 즉, 계단 폭은 동시에 강제종료하는 풍력발전기의 수에 비례한다. 기존 방법은 강풍이 측정되자마자 강제종료를 수행하며, 사례 1의 경우와 같이 출력이 곡선 형태로 감소되나, 강제종료하는 전체 시간이 길어지므로 사례 1에 비해 최대감발율이 적다. 제안한 방법은

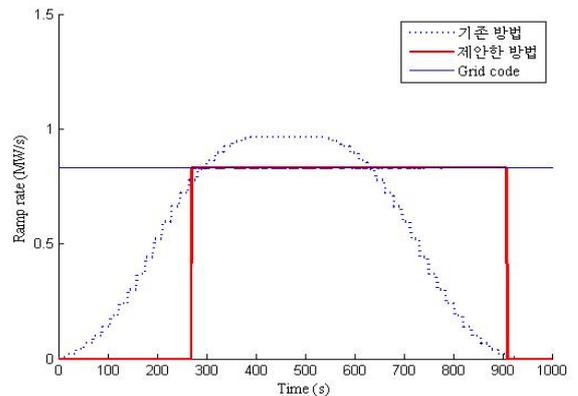
강풍이 측정되고 270초 후에 강제종료를 시작하며, 출력이 직선 형태로 감소하여 연계기준의 감발율을 항상 만족하고 생산된 에너지는 83.87 MWh로 기존 방법보다 26 % 더 많다.

그림 4(b)에 나타난 바와 같이, 기존 방법의 경우에는 R_{GC} 을 초과하는 시간은 326초이고, 풍력발전단지의 최대감발율은 0.96 MW/s이다. 하지만, 제안한 방법의 경우에는 R_{GC} 을 초과하는 시간은 없다. 표 2는 사례 2의 결과를 나타내었으며, 기존 방법은 R_{GC} 을 만족하지 못하는 구간이 존재하므로 35.5 MW의 전력이 부족하지만, 제안한 방법의 경우에는 부족한 전력이 없다.

기존 방법은 입사각이 45도의 경우가 0도의 경우에 비해 더 오랜 시간동안 강제종료를 행하므로, 최대 감발율과 부족한 전력이 0도의 경우에 비해 적다. 또한, 기존 방법은 생산된 에너지가 45도의 경우가 0도의 경우보다 증가하지만, 제안한 방법은 기존 방법보다 더욱 많아짐을 알 수 있다.



(a) 풍력발전단지 출력



(b) 풍력발전단지 감발율

그림 4 사례 2의 결과
Fig. 4 Results for case 2

표 2 사례 2의 결과

Table 2 Results for case 2

구분	비제어	기존 방법	제안한 방법
에너지 생산량 (MWh)	105.31	66.62	83.87
초과시간 (s)	-	326	0
최대 감발율 (MW/s)	-	0.96	0.83
전력망부족전력 (MW)	-	35.5	0

3.3 사례 3: 풍속 25 m/s, 입사각 0°

그림 5는 사례 3의 결과를 나타낸다. 이 경우 입사각이 0도로 사례 1과 같으나 풍속이 달라 강풍이 측정장치에서 풍력단지 끝까지 도달한 시간은 786초가 된다. 그림 5(a)에 나타난 바와 같이, 비제어의 경우 강풍이 측정장치에 도달한 455초 이후에 강제종료가 시작되므로, 에너지 생산량은 89.28 MWh로 기존 방법에 비해 58% 많으나, 사례 1과 같이 단지의 출력이 30초 마다 43.2 MW만큼씩 계단형태로 감소한다. 기존 방법은 강풍이 측정되자마자 강제종료를 시작하므로 가장 적은 에너지가 생산되고, 풍력단지의 출력이 곡선 형태로 감소한다. 강제종료를 시작한 직후에는 감발율이 적으나, 330초부터 125초간 감발율이 최대가 된다. 제안한 방법은 강풍이 측정되고 161초 후에 강제종료를 시작하여, 기존 방법보다 21% 더 많은 68.14 MWh의 에너지가 생산되고, 출력은 직선 형태로 감소하여 연계기준의 감발율을 항상 만족한다.

그림 5(b)에 나타난 바와 같이, 기존 방법은 R_{GC} 을 초과하는 시간은 306초이고, 풍력단지의 최대감발율은 1.14 MW/s이다. 하지만, 제안한 방법의 경우에는 R_{GC} 을 초과하는 시간은 없다. 표 3은 사례 3의 결과를 나타내었으며, 기존 방법은 59.79 MW의 전력이 부족하지만, 제안한 방법의 경우에는 부족한 전력이 없다.

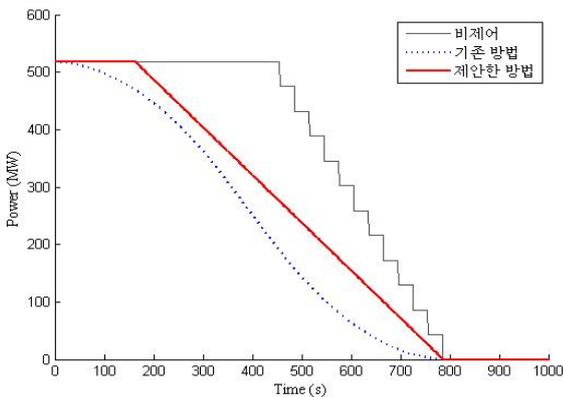
표 3 사례 3의 결과

Table 3 Results for case 3

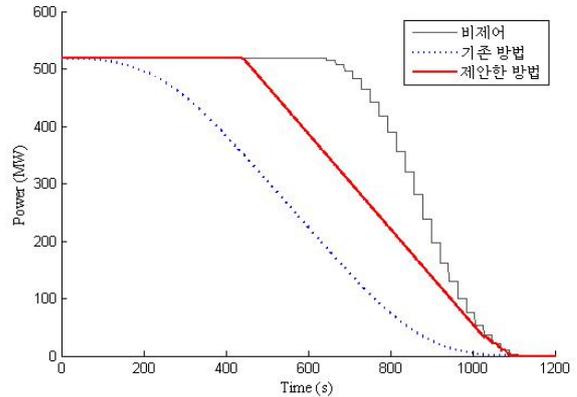
구분	비제어	기존 방법	제안한 방법
에너지 생산량 (MWh)	89.28	56.52	68.14
초과시간 (s)	-	306	0
최대 감발율 (MW/s)	-	1.14	0.83
전력망부족전력 (MW)	-	59.79	0

3.4 사례 4: 풍속 25 m/s, 입사각 45°

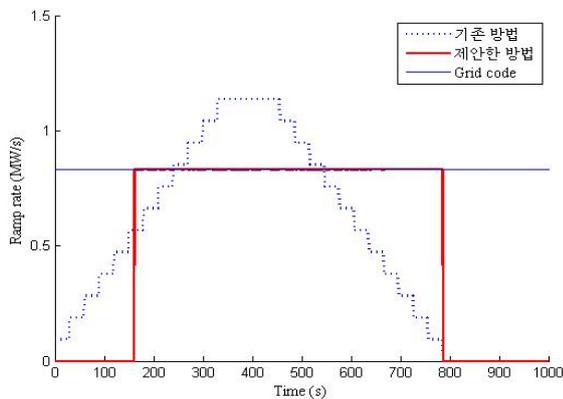
그림 6은 사례 4의 결과를 나타낸다. 사례 4는 강풍이 측정장치에서 풍력단지 끝까지 도달한 시간은 1,111초가 된다. 그림 6(a)에서 나타난 바와 같이, 비제어의 경우 출력이 계단형태로 감소하나, 계단 폭이 다르다. 그 이유는 사례 2와 같다. 기존 방법은 출력이 곡선 형태로 감소되고, 강풍 측정 직후에 강제종료를 수행하며, 강제종료하는 시간이 길어지므로 사례 3에 비해 최대감발율이 적다. 제안한 방법은 강풍이 측정된 후 441초 후에 강제종료를 수행하고, 출력이 직선 형태로 감소한다. 기존 방법과 제안한 방법 모두 연계기준의 감발율을 만족하나, 생산한 에너지는 제안한 방법이 기존 방법보다 35% 더 많다. 그림 6(b)에 나타난 바와 같이 기존 방법과 제안한 방법 모두 R_{GC} 을 초과하지 않았고, 표 4에 나타난 바와 같이 두 방법 모두 부족한 전력이 없다.



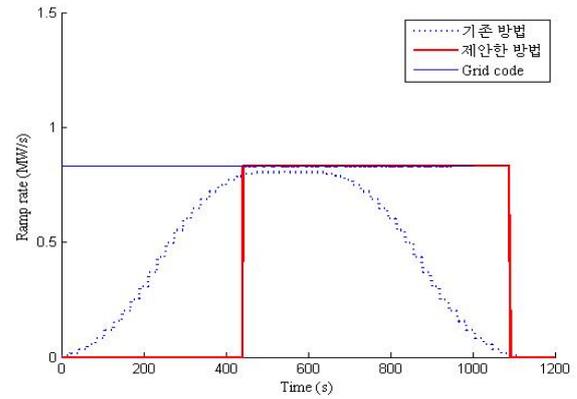
(a) 풍력발전단지 출력



(a) 풍력발전단지 출력



(b) 풍력발전단지 감발율



(b) 풍력발전단지 감발율

그림 5 사례 3의 결과

Fig. 5 Results for case 3

그림 6 사례 4의 결과

Fig. 6 Results for case 4

표 4 사례 4의 결과

Table 4 Results for case 4

구분	비제어	기존 방법	제안한 방법
에너지 생산량 (MWh)	125.55	79.92	107.94
초과시간 (s)	-	0	0
최대 감발율 (MW/s)	-	0.8	0.83
전력망부족전력 (MW)	-	0	0

4. 결 론

본 논문에서는 강풍 시 전력망 연계기준의 감발율을 만족하는 동시에 발전기에 무리를 주지 않는 해상풍력단지 강제종료 방법을 제안하였다. 강풍이라고 판단되면, 감발율을 맞추기 위해 동시에 강제종료하는 풍력발전기 수를 결정한다. 측정된 풍향과 풍속을 이용하여 강풍이 각 풍력발전기에 도달하는 시간을 계산한다. 도달 시간을 빠른 시간 순서대로 정렬하여 풍력발전기를 그룹화 한 후, 그룹의 강제종료 완료 시간과 강제종료 시작 시간을 정한다. 이웃 그룹 간 강제종료 시간에 중첩 발생 시, 중첩된 시간만큼 앞 그룹의 강제종료 시간을 조정한다.

풍속과 풍향을 변경하며 사례 연구를 실시하여 제안한 방법의 성능을 검증한 결과, 기존 방법은 한 경우를 제외하고는 감발율을 만족하지 못하지만, 제안한 방법은 강풍 시 연계기준의 감발율을 항상 만족하며, 생산하는 에너지는 기존 방법보다 수십 퍼센트 이상 더 많음을 알 수 있었다.

제안한 방법은 강풍 시 발전기에 무리를 주지 않고 연계기준에 맞추어 단지의 출력을 감소할 수 있으므로, 전력망의 풍력에너지 수용한계를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

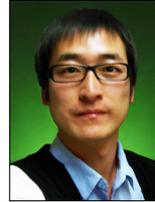
감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0029426)

참 고 문 헌

- [1] Renewable at scale, Deutsche Band 2008 Alternative Energy Conference, 2008.
- [2] Global Wind Energy Outlook 2010, GWEC, October 2010.
- [3] “서남해안에 대규모 해상풍력단지 건설 추진”, 지식경제부 보도자료, 2010.11.3.
- [4] New generation technologies and GB grid codes, Sinclair Knight Merz, 2001.12.
- [5] “송전·배전용 전기설비 이용규정-별표 6 신재생발전기 계통연계기준”, 한국전력공사, 2010.6.28.
- [6] Ch. Eping, J. Stenzel, “Control of Offshore Wind Farms for a Reliable Power System Management”, IREP Symposium, Bulk Power System Dynamics and Control - VI, Cortina d’Ampezzo, Italy, August 22-27, 2004.
- [7] Thomas Ackermam, Wind Power in Power System, 1st Edition, England, John Wiley & Sons, Ltd, 2005.

저 자 소 개



유 약 (遊 躍)

1987년 8월 15일생. 2009년 중국 중남민족대학교 전자정보공학부 졸업. 2009년~현재 전북대학교 대학원 전기공학과 석사과정. 전북대학교 풍력에너지 전력망적응기술연구센터 연구원

Tel : 063-270-2391

Fax : 063-270-2394

E-mail : youyue@jbnu.ac.kr



김 연 희 (金 烟 熙)

1979년 4월 10일생. 2006년 전북대학교 전자정보공학부 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 전북대학교 풍력에너지 전력망적응기술연구센터 연구원

Tel : 063-270-2391

Fax : 063-270-2394

E-mail : love35021@jbnu.ac.kr



정 태 영 (鄭 太 英)

1982년 4월 17일생. 2004년 중국 절강대학교 전기공학과 졸업. 2006년 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 전북대학교 풍력에너지전력망적응기술연구센터 연구원

Tel : 063-270-2391

Fax : 063-270-2394

E-mail : huanxiong417@hotmail.com



강 용 철 (姜 龍 澈)

1964년 8월 2일생. 1991년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재, 전북대학교 전기공학과 교수. 전북대학교 풍력에너지 전력망적응기술연구센터 소장. 스마트그리드연구센터 연구원

Tel : 063-270-2391

Fax : 063-270-2394

E-mail : yckang@jbnu.ac.kr