

정전비용을 고려한 신재생에너지원의 최적 연계 용량 및 연계 위치 결정에 관한 연구

Determining Optimal Installed Capacity and the Interconnected Bus of Renewable Energy Sources Considering the Cost of Energy Not Supplied

김 성 열* · 이 성 훈** · 김 진 오†
(Sung-Yul Kim · Sung-Hun Lee · Jin-O Kim)

Abstract - Due to environmental regulation and technical improvements, renewable energy sources (RES) are increasingly penetrated and operated in power systems. Clean energy technologies have become cost-competitive with conventional power systems, and in the near future, the generation cost of RES is expected to approach grid parity. In this situation, it should be considered an extraordinarily important issue to be maximized resulting in utilization of RES as well as to develop technologies for efficiency improvement of RES. Therefore, in this paper, the method for determining an optimal installed capacity and interconnected location of RES is proposed in order to minimize the cost of energy not supplied, which can contribute to improve distribution reliability.

Key Words : Renewable energy source, Optimal capacity, Optimal location, Restoration matrix

1. 서 론

국제적 환경 규제 및 신재생에너지의무할당제(RPS)와 같은 에너지 정책 변화에 따라 신재생에너지를 이용한 발전 형태에 대한 수요가 급증하고 있다. 또한, 신재생에너지 관련 기술의 급속한 발전으로 Grid Parity가 조기에 달성될 것으로 전망되면서, 향후 신재생에너지의 계통 유입은 더욱 가속화될 것으로 예상된다 [1]. 그러나, 최근 화두가 되고 있는 풍력과 태양광을 이용한 발전 설비는 그 설치 위치 및 날씨 효과에 따라 간헐적인 출력 특성을 가지므로, 기존의 제어 가능한 발전 설비와는 다른 방식으로 설비 용량 및 연계 위치를 결정해야 한다.

분산전원의 최적 계통 연계에 관한 기존 연구는 크게 전력 손실 관점과 신뢰도 관점으로 나누어진다 [2-5]. 특히, 신뢰도 관점에서 분산전원의 최적 용량 및 위치 결정을 할 경우, 계통 운영비용에 배전계통 신뢰도 평가 항목 중에 하나인 정전비용을 포함하여 최소화하는 방안도 연구되었다 [6, 7]. 그러나, 저장장치가 없는 신재생에너지원을 통해 전력을 생산할 경우, 근본적으로 출력 제어가 불가능하기 때문에 운영비용에 초점을 맞추는 것은 큰 의미를 찾기 어렵다. 따라서, 신재생에너지의 계통 연계 시에는 추가적으로 정전비용 최소화를 위한 용량 및 연계 위치를 설정함으로써, 배전계통 신뢰도 향상에 기여할 수 있는 방안을 찾는 것이 중요하다.

본 논문에서는 실시간으로 변하는 신재생에너지의 출력량과 수용가의 부하량을 기준으로, 계통고장이 발생한 시점에서 정전비용을 누적하여 연간 정전비용을 산출하는 기법을 제안한다. 또한, 적용 가능한 모든 신재생에너지 연계 방안 중에서 정전비용 최소화를 위한 최적의 방안을 도출하기 위해, Restoration 행렬과 Restoration 가용성을 제안한다.

2. 신재생에너지원별 출력 특성

신재생에너지는 출력 제어 가능 여부뿐만 아니라, 유효전력과 무효전력의 생산 및 소비 관계 등을 기준으로도 구분 가능하다.

먼저, 유효전력만을 생산하는 신재생에너지 설비로는 연료 전지, 저장 장치 및 태양광 발전(Photovoltaic generation: PV)을 들 수 있다. 이 중, 시간 t 에서 태양광 발전 설비의 출력 특성은 다음 식으로 표현 가능하다 [8].

$$P_{g,s}^{RES}(t) = \begin{cases} \frac{\eta_g}{W_g} \cdot G_s^2(t) \cdot P_g^{RES,size} & 0 < G_s(t) < W_g \\ \eta_g \cdot G_s(t) \cdot P_g^{RES,size} & W_g \leq G_s(t) \end{cases} \quad (1)$$

여기서, $P_g^{RES,size}$ 는 신재생에너지 g 가 계통에 설치된 설비 용량을 의미한다. $G_s(t)$ 는 설비 위치 s 에서 t 시간에 측정된 일사량(W/m^2)을 나타내며, η_g 와 W_g 는 일사량에 따른 태양광 발전 효율에 관한 계수이다.

유효전력을 생산함과 동시에 무효전력을 소비하는 형태의 신재생에너지로는 대표적으로 풍력 발전(Wind Turbine: WT)을 들 수 있으며, 시간 t 에서 풍력 발전 설비의 출력 특성은 다음 식으로 표현 가능하다 [9].

* 정 회 원 : Georgia Institute of Technology 박사후과정

** 정 회 원 : 한양대학교 전기공학과 박사과정

† 교신저자, 시니어회원 : 한양대학교 전기공학과 교수

E-mail : jokim@hanyang.ac.kr

접수일자 : 2012년 4월 23일

최종완료 : 2012년 9월 14일

$$\widehat{P}_{g,s}^{RES_{nr}}(t) = \begin{cases} 0 & 0 < V_s(t) < V_{ci} \\ \{a_g + b_g \cdot V_s(t) + c_g \cdot V_s^2(t)\} \cdot P_g^{RES,size} & V_{ci} < V_s(t) < V_r \\ P_g^{RES,size} & V_r < V_s(t) < V_{co} \\ 0 & V_{co} < V_s(t) \end{cases} \quad (2)$$

여기서, V_{ci} , V_r , V_{co} 는 각각 풍력 발전이 가능하게 되는 cut-in 풍속, 정격 출력을 가능하게 하는 정격 풍속, 안정상의 이유로 발전을 멈춰야 하는 cut-out 풍속을 나타낸다. $V_s(t)$ 는 설비 위치 s 에서 t 시간에 측정된 풍속을 나타내며, a_g , b_g , c_g 는 풍속에 따른 풍속 발전 효율에 관한 계수이다.

실제 신재생에너지의 출력이 측정된 모든 시간 t 에서의 출력량을 기준으로, t_m 시간에서의 신재생에너지 출력 확률 (pu)은 선형분할방법(linear rounding)을 적용하여 다음과 같이 정의할 수 있다 [10].

$$Pr_{g,k}^{RES}(t_m) = \frac{\sum_{\forall t} (t_{m+1} - t) \cdot \widehat{P}_{g,s}^{RES}(t)}{N_d \cdot P_{g,k}^{RES,size}} \quad (3)$$

$$Pr_{g,k}^{RES}(t_{m+1}) = \frac{\sum_{\forall t} (t - t_m) \cdot \widehat{P}_{g,s}^{RES}(t)}{N_d \cdot P_{g,k}^{RES,size}} \quad (4)$$

(단, $t_m \leq t \leq t_{m+1}$)

이 때, N_d 는 출력량이 측정된 전체 일수를 나타내며, t_m 은 하루 중 1~24시를 나타낸다.

위의 식을 통해, 신재생에너지 g 가 모선 k 에 $P_{g,k}^{RES,size}$ 만큼 연계될 때 하루 중 t_m 시간에서의 출력 예측량은 다음과 같다.

$$P_{g,k}^{RES}(t_m) = Pr_{g,k}^{RES}(t_m) \cdot P_{g,k}^{RES,size} \quad (5)$$

3. 신재생에너지를 통한 전력 공급

정상계통 상태에서, 신재생에너지가 수용가 인근에 설치될 경우, 선로 손실이 감소하는 효과를 기대할 수 있다. 또한, 계통고장 상태에서 분산전원의 독립운전을 가정할 때, 신재생에너지는 일부 수용가에 전력 공급을 가능하게 함으로써 공급지장용량을 감소시킬 수 있다. 따라서, 이로 인한 배전 신뢰도의 향상을 기대할 수 있다.

3.1 Restoration 행렬

Restoration 행렬은 $R_k^{Mat}(i,f)$ 로 표시되며, i 와 f 는 각각 행과 열을 나타낸다. 이 때, k , i , f 는 각각 신재생에너지 연계 모선, 수용가, 계통고장을 의미한다. 즉, 모선 k 에 신재생에너지가 연계된 계통에서 계통고장 f 가 발생했을 때, 모선 i 에 연계된 수용가 신재생에너지를 통해 전력 공급이 가능한지 여부를 나타낸다. $R_k^{Mat}(i,f)$ 의 값이 '0'일 때는 신재생에너지 연계와 상관없이 상위 계통을 통해 전력 공급이 가능한 상태를 나타내며, '-1'인 경우는 전력 공급이 계통 구조상 근본적으로 불가능한 상태를 의미한다. 이 외에 자연

수 값은 신재생에너지를 통한 공급 우선순위를 나타낸다.

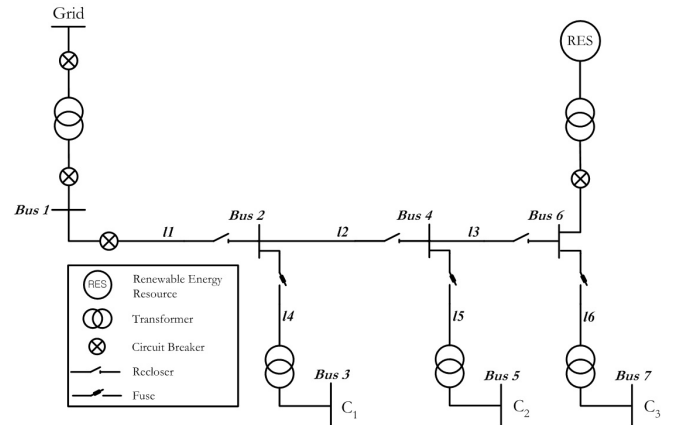


그림 1 간단한 예제 계통

Fig. 1 Simple case system

위의 간단한 예제 계통에서 신재생에너지(RES)는 모선 6(Bus 6)에 연계되어 있으며, 수용가($C_1 \sim C_3$)는 모선 3(Bus 3), 5(Bus 5), 7(Bus 7)에 각각 연계되어 있다. 이 때, 6개 선로고장에 대한 Restoration 행렬은 다음과 같다.

$$R_6^{Mat}(i,f) = \begin{bmatrix} 3 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

위의 Restoration 행렬의 의미를 살펴보면, 선로 1(I1)에 고장이 발생할 경우, 신재생에너지는 C_3 에 전력을 우선적으로 공급하며, C_2 , C_1 순으로 잉여전력을 순차적으로 공급한다는 의미를 담고 있다. 또한, 선로 3(I3)에 고장이 발생할 경우, C_1 은 고장과 상관없이 주변압기측(Grid)을 통해 전력 공급이 가능하며, C_2 는 선로 3의 고장이 모두 수리될 때까지 계통 구조상 전력 공급이 불가능하다는 것을 알 수 있다.

3.2 Restoration 가용성

Restoration 행렬을 통해, 신재생에너지 연계 위치 및 계통고장에 따른 각 수용가의 전력 공급 가능 여부 및 우선순위를 정의하였다. 그러나 전력 공급 가능 여부는 발전량과 부하량에 의해 결정되므로, Restoration 행렬에서 전력 공급 우선순위가 상위에 있다하더라도 계통고장 시 절대적으로 전력 공급이 가능한 상태를 의미하는 것은 아니다. 따라서 본 절에서는 시간 t_m 에서 신재생에너지의 발전량과 수용가의 부하량에 따라, 계통고장 상태에서 실제로 신재생에너지를 통해 전력 공급이 가능한지 여부를 Restoration 가용성을 통해 나타낸다.

단수의 신재생에너지가 계통에 연계되었을 경우, Restoration 가용성은 다음 식과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{if } R_k^{Mat}(i,f) &= 0 \\ R_{i,f,g,k}^A(t_m) &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

else if $R_k^{Mat}(i, f) = -1$
 $R_{i,f,g,k}^A(t_m) = 0$ (8)

else
 $R_{i,f,g,k}^A(t_m) = U(P_{g,k}^{RES}(t_m) - \sum_{i' \in I_{t_m}^f} P_{i'}^C(t_m))$ (9)
 (단, $I_{i,f,k}^f = \{i' | 1 \leq R_k^{Mat}(i', f) \leq R_k^{Mat}(i, f)\}$)

이를 다수의 신재생에너지 계통 연계 상태로 확장할 경우, Restoration 가용성은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$R_{i,f,G,K}^A(t_m) = Max(R_{i,f,g,k}^A(t_m)) \quad \forall g \in G$ (10)
 (단, $I_{i,f,k}^f = \{i' | 1 \leq R_k^{Mat}(i', f) \leq R_k^{Mat}(i, f)\}$)

이 때, G 와 K 는 각각 연계된 신재생에너지들의 집합과 그 연계 위치의 집합을 의미한다.

4. 신재생에너지원의 최적 연계 용량 및 연계 위치

본 논문에서는 신재생에너지의 최적 연계 용량 및 연계 위치를 설정하기 위해, 공급지장용량(ENS)을 기준으로 한 연간 정전비용의 최소화를 그 목적함수로 설정하였다.

목적함수:
 $Min(C_{G,K}^{ENS}) \quad \forall g \in G$ (11)

제약조건:
 $0 < P_{g,k}^{RES,size} \leq P_k^{RES,max} \quad \forall bus k$ (12)

$\sum_g P_{g,k}^{RES,size} \leq P_k^{RES,max}$ (13)

여기서, $P_k^{RES,max}$ 는 모선 k 에 연계 가능한 최대 허용 용량을 의미하며, $P_k^{RES,max}$ 는 계통에 연계 가능한 분산전원의 최대 허용 용량을 나타낸다.

본 논문의 목적함수에서, 연간 정전비용($C_{G,K}^{ENS}$)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$C_{G,K}^{ENS} = \sum_{i \in G} \sum_{f \in F} \sum_m C_i^{CI}(t_m, r_f) \cdot \lambda_{i,f,G,K}(t_m) \cdot r_f$ (14)

t_m 시간에서 고장 f 에 따른 수용가 i 의 고장율은 $\lambda_{i,f,G,K}(t_m)$, 그 때의 수리시간은 r_f 로 나타낸다. 또한, $C_i^{CI}(t_m, r_f)$ 는 수리시간에 따른 수용가 i 에서의 단위 정전비용(₩/kWh)을 의미한다.

앞서 언급한 t_m 시간에서 고장 f 에 따른 수용가 i 의 고장율은 신재생에너지의 연계 위치 및 t_m 시간에서의 발전량에 영향을 받기 때문에 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$\lambda_{i,f,G,K}(t_m) = (1 - R_{i,f,G,K}^A(t_m)) \cdot \lambda_f / N_m$ (15)

여기서, λ_f 는 고장 f 의 고장율을 의미하며, N_m 은 하루를 분할한 총 개수를 의미한다.(본 논문에서는 N_m 을 24로 정의

한다.)

각 수용가는 다양한 형태의 수용가로 이루어져있다. 따라서, 본 논문에서는 각 수용가의 단위 정전비용을 수용가종별(ct) 정전시간에 따른 단위 정전비용($C_{ct}^{CI}(r_f)$)을 이용하여 다음과 같이 정의한다.

$C_i^{CI}(t_m, r_f) = \sum_{ct} C_{ct}^{CI}(r_f) \cdot P_{i,ct}^{C,max} \cdot P_{ct}^{C,Pattern}(t_m)$ (16)

여기서, $P_{i,ct}^{C,max}$ 는 수용가 i 에 속한 수용가종 ct 에서의 일일 최대 부하량을 의미하며, $P_{ct}^{C,Pattern}(t_m)$ 는 t_m 시간에서 수용가종 ct 의 일반적인 부하 패턴을 나타낸다.

5. 사례 연구

사례연구 계통은 이천-장흥간 154/22.9kV 배전계통을 기준으로 다음 그림과 같이 모의하였다.

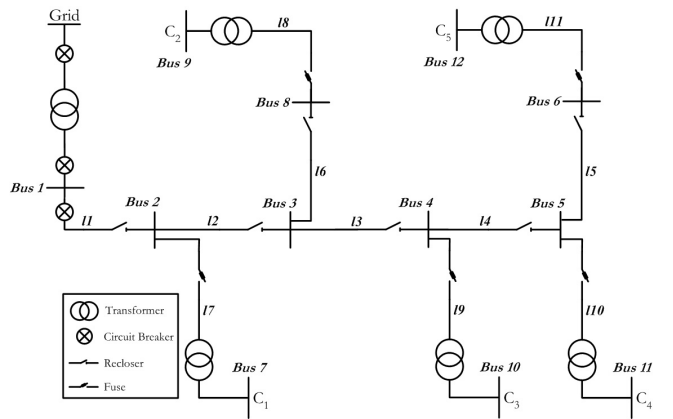


그림 2 사례연구 계통
 Fig. 2 The case system

또한, 신재생에너지 계통 연계 용량은 배전계통 연계 규정에 따라 다음과 같이 정하였다.

표 1 모선별 신재생에너지 최대 연계 허용 용량
 Table 1 Maximum installable capacity of renewable energy sources in each bus

모선	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$P_k^{RES,max}$ [MW]	20	3	3	3	3	3	0.1	3	0.1	0.1	0.1	0.1

이 때, 배전계통 내 분산전원의 최대 허용 용량은 20MW를 초과할 수 없다고 가정하였다.

신재생에너지가 계통에 연계되기 이전의 상태를 기준으로, Case 1에서는 1기의 신재생에너지를 한 모선에 연계하는 것에 대해 모의하였으며, Case 2에서는 2기의 신재생에너지를 연계하는 것에 대해 모의하였다. 연계할 신재생에너지원으로는 태양광 발전과 풍력 발전을 상정하였으며, 각각

의 시간별 발전 출력량은 2010년 한 해 동안 인천지역 일사량 데이터 및 목덕도 인근 풍력 데이터를 기준으로 모의하였다.

본 논문에서는 배전계통 신뢰도 평가를 위한 항목으로 연간 정전비용을 고려하며, 신재생에너지 계통 연계가 배전계통 신뢰도에 미치는 영향을 분석하기 위해 독립운전이 가능하다고 가정하였다. 수용가별 연간 정전비용 계산을 위한 계통 신뢰도 데이터는 다음과 같다.

표 2 계통 신뢰도 데이터

Table 2 Reliability parameters for the case system

선로	길이 [km]	고장율 [f/yr]	수리시간 [hour]
l1	0.35	0.035	4
l2	6.2	0.62	4
l3	4.1	0.41	4
l4	2.8	0.28	4
l5	4.8	0.48	4
l6	2.2	0.22	4
l7	0.5	0.10	1
l8	1.0	0.20	1
l9	0.8	0.16	1
l10	0.4	0.08	1
l11	0.3	0.06	1

수용가종(ct)은 공공, 상업, 산업, 주택으로 구분하였으며, 각각의 정전시간(r_f)에 따른 단위 정전비용($C_a^{C_i}(r_f)$)은 다음 표와 같다 [11-14].

표 3 수용가종별 단위 정전비용

Table 3 Customer interruption costs

정전시간 [hour]	단위 정전비용 [천원/kWh]			
	공공	상업	산업	주택
1	210.7	17.2	63.4	6.3
4	456.0	74.9	86.8	24.6

모선에 연계된 수용가종별 침투 부하량은 다음 표 4와 같이 가정하였다. 이 때, 그림 3과 같은 각 수용가별 전력 부하 패턴을 적용하여, 각 수용가별 일일 전력 부하량을 산정한다 [15].

표 4 수용가별 부하량

Table 4 Customer load connected to the case system

수용가	유효전력 [kW]			
	공공	상업	산업	주택
C ₁	132	428	327	732
C ₂	378	643	1867	864
C ₃	54	357	413	529
C ₄	534	1242	3791	775
C ₅	223	980	492	419

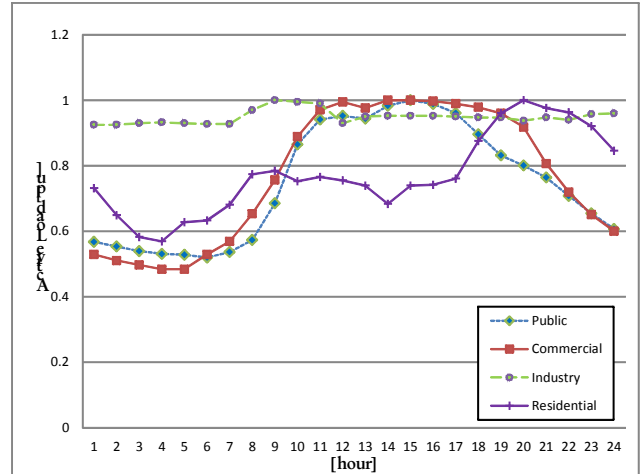


그림 3 수용가별 전력 부하 패턴

Fig. 3 Customers load pattern

계통 구조, 수용가 부하량 및 계통 신뢰도 데이터를 이용하여, 신재생에너지가 계통에 연계되기 이전에 수용가별 연간 정전비용 결과는 다음과 같다.

표 5 신재생에너지 연계 이전: 수용가별 연간 정전비용

Table 5 Yearly customer interruption costs in the case system without renewable energy sources

수용가별 연간 정전비용 [천원]					
C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	합계
294457.5	1764908.5	526505.9	4777704.0	1485186.9	8848762.8

신재생에너지 계통 연계 이후의 수용가별 정전비용은 그림 2의 사례연구 계통 구조에 따라 Restoration 행렬을 정의한 후, Matlab 7.04를 이용하여 평가하였다. 이 때, 신재생에너지 계통 연계 단위 용량은 1kW로 설정하였다.

다음 표의 결과는 Case 1(1기의 신재생에너지 계통 연계)에서의 수용가별 연간 정전비용을 나타낸다.

표 6 Case 1: 수용가별 연간 정전비용

Table 6 Case 1: Yearly customer interruption costs

설치	k	용량 [kW]	수용가별 연간 정전비용 [천원]					합계
			C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	
태양광	2	2952	289181.6	1764908.5	526505.9	4777704	1485186.9	8843486.9
	4	2526	294457.5	1764908.5	386187.7	4777704	1485186.9	8708444.6
	6	2974	294457.5	1764908.5	526505.9	4777704	1186459	8550034.9
풍력	2	2853	293448.7	1764908.5	526505.9	4777704	1485186.9	8847754.0
	4	2824	294457.5	1764908.5	436945.1	4777704	1485186.9	8759202.0

태양광 발전이 모선 2, 4, 6을 제외한 나머지 모선에 연계될 경우, 수용가별 연간 정전비용은 태양광 발전의 연계 용량과 상관없이 신재생에너지 계통 연계 이전의 수용가별 연간 정전비용(표 5)과 동일하였다. 이는 t_m 시간에 계통 고장이 발생할 경우, 태양광 발전의 독립운전이 가능하다 할지라

도, 실제 t_m 시간의 태양광 발전량은 공급해야할 인근 부하량 보다 작았다는 것을 의미한다. 즉, 공급지장용량 감소에 기여하지 못했다는 결과를 도출할 수 있다. 반면, 태양광 발전이 모선 2, 4, 6에 연계될 경우, 수용가별 연간 정전비용이 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 이 때, 각 연계 모선별 태양광 발전의 최적 연계 용량은 각각 2952kW(모선 2), 2526kW(모선 4), 2974kW(모선 6)이며, 이 중 모선 6에 연계하는 것이 연간 정전비용측면에서 최적임을 확인할 수 있다. 즉, 태양광 발전 설비를 최적 연계 용량 이상으로 계통에 연계하는 것은 정전비용 측면에서 더 이상의 개선효과를 기대할 수 없다는 의미이다.

풍력 발전 연계의 경우도, 위의 분석과 유사하다. 이 경우에는 모선 4에 2824kW를 연계하는 것이 연간 정전비용측면에서 최적의 구성임을 확인할 수 있다. 이 때, 연간 정전비용은 신재생에너지 계통 연계 이전 대비 89,560,800원 만큼 개선되었다.

태양광 발전과 풍력 발전을 모두 계통에 연계할 경우 (Case 2), 수용가별 연간 정전비용의 개선이 극대화되는 신재생에너지의 연계 용량 및 연계 모선의 최적 구성안은 다음 표와 같다.

표 7 Case 2: 수용가별 연간 정전비용 [\$]

Table 7 Case 2: Yearly customer interruption costs [\$]

태양광		풍력		수용가별 연간 정전비용 [천원]					
k	용량 [kW]	k	용량 [kW]	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	합계
2	2952	4	2824	289181.6	1764908.5	436945.1	4777704	1485186.9	8753926.1
4	2526	2	2853	293448.7	1764908.5	386187.7	4777704	1485186.9	8707435.8
6	2974	4	2824	294457.5	1764908.5	436945.1	4777704	1186459.0	8460474.1

위의 표에서 신재생에너지 구성안을 제외한 나머지 경우는, 단일 태양광 발전을 모선 6에 2974kW 연계하는 방안과 단일 풍력 발전을 모선 4에 2824kW 연계하는 방안 대비 수용가별 연간 정전비용의 개선 효과를 기대할 수 없는 것으로 분석되었다. 따라서, 앞서 살펴본 각 Case별 결과를 통해 신재생에너지 계통 연계 시, 연간 정전비용의 개선 효과가 큰 순으로 정렬하면 다음 표와 같으며, 이를 그림으로 도식하면 그림 4와 같다.

표 8 신재생에너지 계통 연계 우선순위

Table 8 Priority of renewable energy source allocation

우선 순위	태양광		풍력		개선된 연간 정전비용 [천원]
	k	용량 [kW]	k	용량 [kW]	
1	6	2974	4	2824	388288.7
2	6	2974			298727.9
3	4	2526	2	2853	141326.9
4	4	2526			140318.2
5	2	2952	4	2824	94836.7
6			4	2824	89560.8
7	2	2952			5275.9
8			2	2853	1008.8

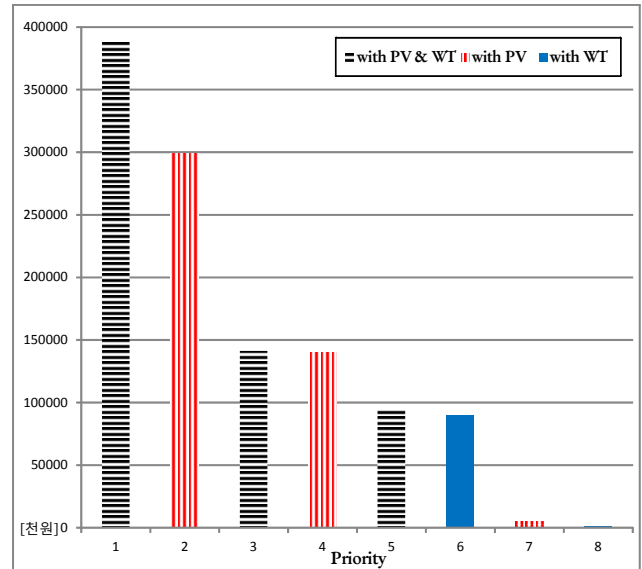


그림 4 신재생에너지 연계 우선순위에 따른 연간 정전비용 [\$]

Fig. 4 Yearly customer interruption costs due to priority of renewable energy source allocation

최종적으로, 본 논문에서 제안한 신재생에너지 최적 구성 기법을 적용할 경우, 태양광 발전을 모선 6에 2974kW 연계하고 풍력 발전을 모선 4에 2824kW 연계하는 것이 최적임을 확인할 수 있다. 이 때, 본 안을 통해 신재생에너지 연계 이전 계통과 비교하여 수용가별 정전비용을 연간 388,288,700원 만큼 개선할 수 있는 것으로 분석되었다.

6. 결 론

본 논문에서는 간헐적 출력 특성을 갖는 신재생에너지의 계통 연계 시, 배전계통 신뢰도 측면에서 최적의 연계 용량 및 위치를 선정하는 기법을 제안하였다. 이 때, Restoration 행렬과 Restoration 가용성을 새롭게 제안하여, 수용가별 정전비용 산출에 적용하였다. 또한, 본 논문에서 제안된 Restoration 관련 기법은 ENS, SAIFI, SAIDI와 같은 다양한 배전계통 신뢰도 산출에도 확대 적용 가능한 장점을 지니고 있다.

향후 추가적으로, 신뢰도 비용과 선로 손실 비용을 고려한 신재생에너지의 최적 구성 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 사료되어, 현재 이에 대한 연구를 진행 중에 있다.

감사의 글

본연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원 (과제번호 : 10 기술혁신 C-01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] 김성열, 이성훈, 김진오, "Grid Parity를 고려한 DC 전원 공급율에 따른 신재생에너지 계통 연계의 경제성 평가", 대한전기학회, 전기학회논문지, 제61권, 제1호, pp.16-21, 2012.1

[2] 이수형; 박정욱; "전력손실을 고려한 분산전원의 최적 위치 및 용량 선정", 대한전기학회, 전기학회논문지, 제57권, 제4호, pp.551-559, 2008.4

[3] L. F. Ochoa; G. P. Harrison; "Minimizing Energy Losses: Optimal Accommodation and Smart Operation of Renewable Distributed Generation", IEEE trans. on Power Systems, Vol.26, Issue 1, pp.198-205, Feb. 2011

[4] 문종필; "신뢰도를 고려한 태양광시스템의 배전계통 연계 알고리즘에 관한 연구", 대한전기학회, 전기학회논문지 P, 제60P권, 제4호, pp.241-245, 2011.12

[5] F. X. Li; "Distributed processing of reliability index assessment and reliability-based network reconfiguration in power distribution systems", IEEE trans. on Power Systems, Vol.20, Issue 1, pp.230-238, Feb. 2005

[6] 박정훈; 신동석; 김진오; 김규호; 조종만; "분산전원 설치에 따른 신뢰도 평가와 최적용량과 위치결정", 대한전기학회 2003년 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, pp.151-153, 2003.11

[7] 배인수; 박정훈; 김진오; 김규호; "배전계통 운영비용의 최소화에 의한 분산전원의 최적 용량과 위치결정", 대한전기학회, 전기학회논문지 A, 제53A권, 제9호, pp. 481-486, 2004.9

[8] M. K. C. Marwali; Haili Ma; S. M. Shahidehpour; K. H. Abdul-Rahman; "Short Term Generation Scheduling in Photovoltaic-Utility Grid with Battery Storage", IEEE trans. on Power Systems, Vol.13, No.3, pp.1057-1062, August 1998

[9] Roy Billinton; Guang Bai; "Generating Capacity Adequacy Associated with Wind Energy", IEEE trans. on Energy Conversion, Vol.19, No.3, pp.641-646, Sept. 2004

[10] 박정제, 오량, 최재석, 차준민, "태양광발전원을 고려한 전력계통의 확률론적인 신뢰도평가에 관한 연구", 대한전기학회, 전기학회논문지, 제58권, 제3호, pp.486-495, 2009.3

[11] 최상봉, 남기영, 김대경, 정성환, 류희석, 이재덕, "주택용 수용가 정전비용 평가", 대한전기학회, 2003 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, pp. 196-198, 2003.11

[12] 최상봉, 남기영, 김대경, 정성환, 류희석, 이재덕, "국내 공공용 수용가의 정전비용 조사 및 평가", 대한전기학회, 대한전기학회 제36회 하계학술대회 논문집 A, pp. 350-352, 2005.7

[13] 황원일, 송경빈, 남봉우, "수용가 정전비용 예측을 위한 모델 수립", 대한전기학회, 2006 대한전기학회 전력

기술부문회 추계학술대회 논문집, pp.174-176, 2006.11

[14] 최상봉, "산업용 수용가 종별 정전비용 평가 및 분석", 대한전기학회, 전기의세계, 제56권, 제12호, pp. 64-72, 2007.12

[15] "공급지장비용을 고려한 전력수급모형 개발", 한국전기연구원, 2006.1

저 자 소 개



김 성 열 (金成烈)

2007년 2월 한양대학교 전자전기컴퓨터 공학부 졸업. 2012년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 Georgia Institute of Technology 전기공학과 박사후과정중



이 성 훈 (李晟薰)

1978년 2월 25일생. 2004년 2월 인천대학교 전기공학과 졸업. 2007년 2월 한양대학교 대학원 전기공학과 석사 졸업. 2011년 2월 동 대학원 전기공학과 박사과정수료. 현재 한국수자원공사 K-water 연구원 근무중



김 진 오 (金鎭吾)

1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동대학원 전기공학과 석사 졸업. 1991년 12월 Texas A&M 대학교 전기공학과 박사 졸업. 현재 한양대학교 전기제어생체공학부 교수