

풍력-태양광-조류 복합 발전시스템의 최적용량 및 축전용량 설계

Optimal Sizing of Hybrid Wind-PV-Tide Generation System

*박근현¹, #임종환², 박의장³, 김병기¹, 강철웅²

*K. H. Park¹, #J. H. Lim², E.J.Park³, B.K.Kim¹, C.U.Kang²

¹제주대학교 대학원 메카트로닉스공학과, ²제주대학교 메카트로닉스공학과, ³제주대학교 풍력대학원협동과정

Key words : Hybrid Wind-PV-Tide Generation System, Optimal Sizing

1. 서론

하이브리드 발전시스템은 개별적 시스템 운영보다 신재생에너지의 활용 면에서 매우 효과적이다. 그러나 각 단위발전시스템의 용량이나 축전용량 등이 경험적으로나 직관적으로 설계되고 있어 최적의 효율을 달성하지 못하고 있다. 본 연구에서는 주어진 에너지 자원량 데이터를 기반으로 하이브리드 발전시스템의 각 단위 발전시스템 및 축전시스템의 최적용량을 설계하는 방법 및 실측 데이터를 이용한 최적설계결과를 제시한다.

2. 최적용량 설계

2.1 각 단위 발전 시스템 모델링

풍력 발전기의 출력 모델은 다음과 같다.

$$P_w = \frac{1}{2}(\rho Av) \cdot v^3 = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (1)$$

여기서 ρ 는 공기밀도, A는 로터 회전면적, v는 풍속을 나타낸다. 태양광발전 장치의 출력은 다음과 같다.

$$P_{PV} = \eta_g N A_m G_t \quad (2)$$

여기서, η_g 는 태양광 패널의 순시효율, N_{PV} 는 모듈 수, A_m 단위 PV 모듈의 면적, G_t 경사면에 입사되는 복사에너지를 나타낸다. 조류 발전기의 출력은 그 원리상 풍력발전기의 출력모델과 동일하다. 다만 공기밀도 대신 해수밀도 $\rho = 1052.2kg/m^3$ 을 사용한다.

2.2 축전시스템 용량설계

축전시스템은 총 발전량이 부하요구량보다 큰 경우에 충전 상태로서 다음과 같다.

$$C(t) = C(t-1)(1-\sigma) + E_G(t) - \frac{E_L(t)}{\eta_{inv}} \eta_{bat} \quad (3)$$

여기서 $C(t)$, $E_G(t)$, $E_L(t)$ 는 각각 시간 t에서 배터리 충전량, 총 발전량, 요구되는 부하전력을 나타내며, σ 는 자가방전율, 그리고 η_{bat} 와 η_{inv} 는 각각 배터리 충전효율 및 인버터 효율을 나타낸다. 반면에 총 발전량이 부하요구량보다 작은 경우는 방전 상태로서 다음과 같다.

$$C(t) = C(t-1)(1-\sigma) - \frac{E_L(t)}{\eta_{inv}} - E_G(t) \quad (4)$$

2.3 최적용량 설계모델

전력생산량이 부하요구량보다 작은 경우에는 축전시스템에서 부족한 전력을 공급 받아야 한다. 그러나 축전시스템은 최소 충전량 C_{min} 에 도달하면 더 이상 방전할 수 없으므로 추가로 부족한 전력은 외부로부터 공급받아야 한다. 이 외부에서 공급받아야 하는 전력량을 전력부족량 P_{LPS} 로 정의하면 다음과 같다.

$$P_{LPS}(t) = P_{load}(t)\Delta t - (P_G(t)\Delta t + C(t-1) - C_{min})\eta_{inv} \quad (5)$$

여기서 $P_G(t)$, $P_{load}(t)$ 는 총 발전 전력 및 부하요구 전력을 나타낸다. 우변의 첫째항은 Δt 동안 총 부하요구 전력량, 두 번째 항은 생산된 전력량과 방전 전력량으로서 부하로 소비된 전력량이다.

고려되는 기간 T 동안 전력부족률 R_{LPS} 는 그 기간 동안 총 전력부족량과 필요한 총 부하요구량과의 비로서 다음과 같이 정의된다.

$$R_{LPS} = \frac{\sum_{t=1}^T P_{LPS}(t)}{\sum_{t=1}^T P_{load}(t)} \quad (6)$$

풍력발전 단가를 T_w , 조류 발전단가를 T_t , 태양광 발전 단가를 T_{pv} , 그리고 배터리의 단위 Wh당 비용을 T_{bat} 라 하면 발전 총비용 T_{cost} 로 표현되는 경제성 모델은 다음과 같이 표현된다.

$$T_{tot} = T_w E_w + T_t E_t + T_{pv} E_{pv} + T_{bat} C \quad (7)$$

여기서, E_w , E_t , E_{pv} 는 각각 풍력, 조류, 태양광 발전 용량, C 는 배터리 용량이다. 최적용량 설계 조건을 만족하는 다양한 복합발전 용량 조합 중 위 식을 최소화하는 조합이 최종적인 복합발전 최적 용량이 된다.

3. 결과

Fig.1과 2는 3일간의 실측 데이터이며, 설계 조건은 표1과 같다. 부하는 20 Wh로서 24시간 필요한 것으로 설정하였고 풍력은 판매되는 시스템 중 가장 소형인 3W급으로 고정하였다. 그리고 전력 부족률(R_{LPS})은 0으로 하였다. 이상의 결과 중 경제성 모델을 최소화하는 발전용량 조합은 표2와 같다. Fig.3은 PV 발전용량이 30W (1개의 PV 판넬) 일 때의 최적설계결과를, Fig.4는 PV 발전용량이 60W일 때의 결과를 나타낸다.

4. 결론

본 연구에서는 신재생에너지 하이브리드 발전시스템의 최적 발전용량과 축전용량을 최적화 하는 방법을 연구하였다. 이를 위해 전력부족률 기반 용량설계 모델 및 발전단가 기반 경제성 모델을 제시하고 실제로 용량설계를 수행함으로써 그 유용성을 입증하였다.

참고문헌

- [1] W.D. Sellogg, G. Venkataramanan, and V. Gerez, "Generation Unit Sizing and Cost Analysis for Stand-alone Wind, PV, and Hybrid Wind/PV System", IEEE transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No.1, 1998.
- [2] Eftichios Koutroulis, Dionissia Kolokotsa, Antonis Potirakis and Kostas Kalaitzakis, "Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind generator systems using genetic algorithms", Solar Energy, Volume 80, Issue 9, pp. 1027-1088, 2006.
- [3] Bogdan S. Borowy, Ziyad M. Salameh, "Optimum

Photovoltaic Array Size for a Hybrid Wind/PV System", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 9, No. 3, 1994.

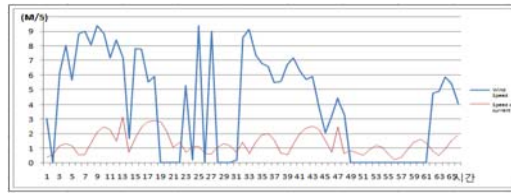


Fig.1 Wind and Current data

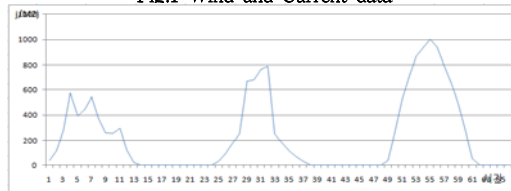


Fig.2 Irradiance data

Table 1. Design Conditions

type	Unit Size	Total Size	cost(won/ Wh)
wind	3 W	3 W	105
PV	30 W	to be designed	640
tide	5 W	//	201
battery	5 Wh	//	320
load	-	20 Wh	-

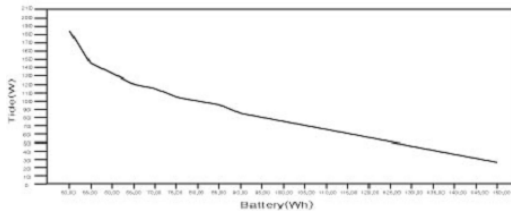


Fig.3 Design results(PV:30W)

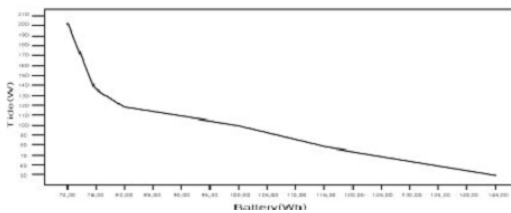


Fig.4 Design results(PV:60W)
Table2. Results of Optimal Sizing

Type	Size	remark
wind	3W	1 set
PV	30W	1 panel
tide	180W	blade radius : 0.107m
battery	80 Wh	12V-6.7Ah