

낙도 전력공급을 위한 복합발전시스템의 운전제어 알고리즘

김응상*, 김슬기*, 이창성**
한국전기연구원*, (주)우리들**

Operation Algorithm of Hybrid Power System for Power Supply in a Remote Island

E.S Kim*, S.K Kim*, C.S Lee**
KERI*, Wooridle Co.**

Abstract - In this paper, a control algorithm of a stand-alone type photovoltaic/wind/diesel hybrid power system for operation in a remote island, is proposed in detail. Power controllers are used to combine two different power outputs of photovoltaic and wind-power generations into DC output, which is converted into AC power to meet load while charging the storage battery for later use. In the event that the whole power load cannot be met by photovoltaic and wind power only, power stored in the battery cell is supplied and if even this power run out, diesel generator will be applied. Certain portion of diesel power is used to cover the load and the other to charge the battery.

1. 서 론

우리나라의 유인도서는 약 510여 개로서 이중 한국전력의 상용 계통 선으로 전기를 공급받는 도서는 약 230여 개이며 잔여 280여 개의 도서는 한전의 상용전원이 공급되지 않고 있어, 디젤발전기로서 자체 제한 송전을 하거나 일부 도서는 전혀 전기를 공급받지 못하고 있는 실정이다. 특히, 미 전화 상태로 남아 있는 280여 개의 도서중 유인 도서는 87개 도서이며, 대략 1,000가구 정도가 거주하고 있다. 이러한 미 전화 도서지역의 전원 개발을 위해 보급되어온 디젤발전기의 경우, 유류 수송, 유지관리 및 보수, 소음, 시스템 수명 등의 많은 문제점을 내포하고 있다. 또한 최근 추진되고 있는 해저 케이블에 의한 계통선 송전 설비의 시설 및 철탑 설치의 경우에도 막대한 투자 및 기술상의 문제점등이 예상되고 있다. 이에 비하여 무한정, 무공해의 자연에너지를 이용한 태양광발전시스템과 풍력발전시스템에 대한 기상 조건의 상호 보완효과를 적절히 이용함으로써 청정지역에 청정에너지를 적용할 수 있으며, 낙도 주민의 생활 향상과 에너지원의 다양화에 기여할 수 있다. 하지만 이와 같은 시스템은 전원 특성상 상시 전력공급을 위해서는 전력저장용 축전지가 필수적이다.

이와 같은 전력저장용 축전지는 선진국에서는 물론이거니와 국내에서도 수년 전부터 기술 개발을 추진하여 일부 실용화되고 있는 실정이므로 실제 적용 시 큰 문제는 없을 것으로 판단된다. 또한 축전지에 저장된 전력으로도 충분하지 못할 경우를 고려하여 비상용발전기를 병용하는 시스템이 주류를 이루고 있다.

따라서 본 논문에서는 상기와 같이 낙도 전력공급을 위한 태양광발전, 풍력발전, 디젤발전 및 전력저장용 축전지를 조합시킨 복합발전시스템을 구축하여 실 운전 시 효율적인 운전 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안된 알고리즘은 국내는 물론이거니와 해외의 수많은 낙도에 설치되어 운전 시 유용한 역할을 할 것이며, 추후 본 논문에서 제안된 알고리즘을 시뮬레이션이나 실제 시스템에 적용하여 그 효율성을 제시하고자 한다.

2. 복합발전시스템의 구성

본 연구에서 제안하는 복합발전 시스템의 구성설비는 표 1에서와 같이 태양 빛을 받아 태양전지어레이에서 직류전력을 발생하는 태양전지, 바람이 부는 경우 바람의 힘에 의해 풍차를 돌려 전력을 발생하는 풍력발전기, 자연 에너지를 이용한 발전 전력이 부하에 비하여 부족할 경우에 디젤발전기를 가동하여 출력하고, 디젤발전기에서 발전된 교류 전력을 직류 전력으로 변환하여 출력하는 전력 조절기, 전력조절기에서 출력되는 직류 전력을 저장하는 저장장치, 자연 에너지를 이용한 발전 전력으로 부하에 대한 전력 공급량을 충족시키는 지의 여부에 따라 디젤 발전기에 의한 추가 전력 공급을 제어하는 인버터 및 절체 모드 등으로 구분된다.

표 1 복합발전시스템의 구성 설비

| 항 목 | 기 능 |
|-----------|--------------------------------|
| 태양광발전용 전지 | 태양광에 의한 발전용 |
| 풍력발전장치 | 풍력에 의한 발전용 |
| 디젤발전기 | 비상용발전기 |
| 전력저장용 축전지 | 전력저장용 2차전지 |
| 출력안정화장치 | 태양광 풍력의 변동출력을 안정화하는 장치 |
| 충전기 | 디젤발전기의 교류 출력을 직류로 변환하여 축전지에 저장 |
| 인버터 | 직류전력을 교류로 변환하여 부하에 공급 |
| 감시장치 | 전체시스템의 감시 및 제어용 |

또한 전체적인 조정 및 운영을 할 수 있도록 하는 기능이 인버터 내부의 제어장치에 들어있으며, 자체에서의 단락 등 고장발생이나 외부에서 지락이나 단락 등의 고장에 의해 고장전류가 태양광발전시스템이나 풍력발전시스템으로 들어오는 것을 차단하기 위한 보호기능이 보호장치에 들어있다.

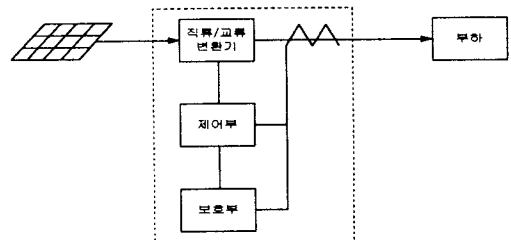


그림 1 태양광발전시스템 구성도
Fig. 1 Photovoltaic generation system

그리고, 복합발전 시스템의 효율적인 운영을 위해서는 중앙감시와 제어를 동시에 수행할 수 있는 통합운전시스템이 필수적이다. 특히 각 발전시스템의 전압, 전류, 전력, 주파수 등의 측정변수를 모니터링 하여 보안감시 및 시스템을 원격으로 제어하며, 측정데이터를 데이터베이스로 구축하여 시간대별, 요일별, 계절별 부하용량의 추이를 파악하여 발전용량 산정에 기준이 데이터를 얻는데 사용될 수 있다. 이를 위해서는 원거리 통신모듈이 필요하며 모델을 사용한 PSTN 방식, 시리얼 RS422 통신방식 또는 RF를 이용한 무선 통신모듈이 적용 가능하다.

그림 1은 태양광발전시스템만의 구성도로 태양전지어레이의 출력이 직류이기 때문에 단일 컨버터가 사용된다. 교류발전기의 출력을 입력으로 받아들이는 경우와 달리 태양전지는 역률 제어와 다른 개념이지만 최대의 출력전력을 얻어내기 위해서 MPPT(Maximum Power Point Tracking)를 반드시 해야한다. 이와 같이 MPPT를 수행하기 위해서는 입력단 전압제어(태양전지 출력단)를 수행하고 동시에 평균전류제어를 수행하게 된다. 이에 따라 직류링크에 연결되게 되는 최종 출력단에서는 태양광 발전시스템은 전류원으로 작용한다.

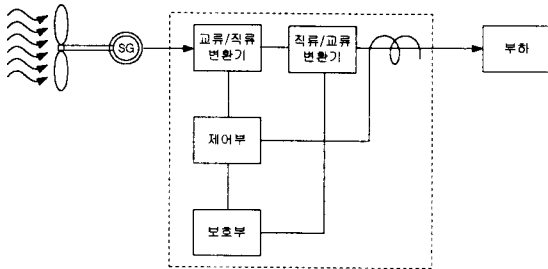


그림 2 풍력발전시스템 구성도

Fig. 2 Wind power generation system

그림 2는 기존의 풍력발전시스템을 나타내는 도면으로 풍력발전시스템 중에는 발전기에서 발생된 교류전력을 직접 부하로 공급하는 시스템과 발전기에서 발생된 교류전력을 직류로 바꾼 후 안정화시킨 다음 다시 교류로 변환하여 부하로 공급하는 두 가지의 형태가 있는데 전자인 경우는 시스템의 구조가 간단한 반면에 바람이 불었다 불지 않았다 하는 경우에 출력변동에 의한 출력의 주파수 전압 등 악영향을 크게 미칠 수가 있으나 후자의 경우 시스템 구성이 복잡해지는 반면에 상기와 같은 입력의 변동에 약간 유동적으로 대처할 수 있는 장점을 가지고 있다.

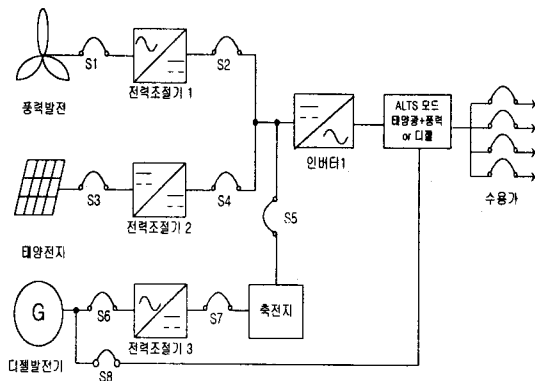


그림 3 복합발전시스템의 구성도

Fig. 3 Configuration diagram of hybrid power system

본 논문에서는 상기의 후자에 해당되는 시스템으로 바람의 힘에 의해 브레이드를 돌리게 되면 발전기와 브레이드가 연결되어 교류 전력이 발생되며, 이때의 교류전력을 일정 직류전력으로 변환하고 일정 직류전력을 다시 교류로 변환하여 부하에 직접 공급하는 시스템이다.

이상과 같은 구성설비에 의한 복합발전시스템은 그림 3과 같이 구성되며, 태양광발전과 풍력발전은 각각 기본적인 출력이 직류와 교류이므로 복합시키기 위해서는 풍력발전의 교류출력을 직류로 변환시킨 후 하나의 직류링크에서 안정적으로 연결할 필요가 있다.

3. 복합발전시스템의 운전알고리즘

3.1 복합발전 시스템의 운전형태

각 발전시스템의 교류출력은 전력변환장치를 통해 직류출력으로 변환되어 공통 직류링크로 전달된다. 이때 직류전압원 형태의 접속방법을 적용할 경우 공통 직류단 병렬운전을 위해 각 발전기에서 출력된 직류를 정확히 일치 시켜야한다. 이러한 공통 전압원 병렬운전 방식은 출력의 변동이 심할수록 운전 효율이 감소하는 단점을 가지고 있다. 복합발전 시스템이 있어서 MPPT 운전을 수행하는 태양광발전과 풍속에 따른 가변출력특성을 갖는 풍력발전 시스템은 출력전압의 변동이 심하므로 별도의 직류/직류 컨버터가 사용하더라도 병렬운전에 대한 별도의 알고리즘이 필요하다. 또한 잉여에너지의 저장소인 배터리의 충방전 제어는 정전류제어를 수행하므로 제어구조의 일관성이 없다. 이러한 전압원 공통 직류시스템의 단점을 보완하고자 본 논문에서는 각 발전시스템의 직류 출력을 전류원으로 제어하여 복합발전 시스템을 구성하고자 한다. 부하에는 교류 전압원 형태로 전력을 전달해야 하므로 직류를 교류로 변환하는 전압형 인버터의 구성을 보여주고 있다. 그러므로 복합발전 시스템은 공통 직류를 기준으로 전류원으로 연계하여 전력을 전달하는 전류원 발전시스템 부분과 전압원으로 부하에 전력을 인가하는 전압원 발전시스템으로 나뉘며 서로 다른 형태의 발전 시스템간의 전력 평형 운전이 복합발전의 핵심 기술이라 할 수 있다.

이와 같이 발전시스템의 연계를 전류원으로 제어하기 때문에 부하와의 전력 불균형이 발생하면 공통 직류의 전압에 변동을 가져온다. 그러므로 인버터 부하전력과 발전전력의 균형을 유지하여 안정된 공통 직류 전압을 출력하기 위해서는 부하가 요구하는 전력량에 따라 발전용량을 신속하게 제어해야 하는데 부하변동의 응답성에 비해 발전전력제어의 응답이 느리므로 실제 전력균형에 있어서 전력제어 응답성이 우수한 배터리 시스템이 전력 불균형 과도 상태를 완충해주는 제어를 수행하게 된다. 특히 배터리 시스템은 2상한 운전을 하므로 방전시에는 전류원, 충전시에는 부하로써의 역할을 동시에 수행할 수 있다. 그러나 인버터 시스템의 정지와 같은 비상시에는 입력전력을 모두 배터리 뱅크에 충전할 수 없으므로 직류 링크의 전압상승을 막기 위해 전압의 상한 값을 설정하여 전력의 불균형으로 인한 전압의 급속한 상승이 발생할 때 공통 직류 링크에 직접적으로 직류 부하를 접속하여 전압상승을 막는 완충 작용 기능을 첨가하기도 한다. 복합발전 시스템은 전류분담 설정 값에 따라 각 발전기의 출력전류를 제어하므로 교류 병렬운전 방식에서 필요한 위상과 전압 크기를 제어하는 전력 편차 보상제어기와 직류 전압원 공통방식에서 사용하는 출력전압제어기를 따로 설계할 필요가 없고 모든 시스템이 동일한 출력전류 분담제어를 통해 부하용량의 변화와 발전용량의 변화에 대해 일관된 제어구조를 가질 수 있는 장점이 있다.

3.2 복합발전시스템의 운전 알고리즘

복합발전 시스템의 최대 장점은 단일 유형의 발전 시스템이 갖는 단점을 보완하고자 서로 다른 에너지원으로 발전시스템을 구성하여 상호보완의 기능을 가지고 일정 출력의 전력을 부하에 전달할 수 있다는데 있다. 특히 디젤발전 시스템은 경제성을 고려하여 과부하 시 가동하여 출력전력을 보상하는 방식을 가지므로 화석연료의 저소비성을 유도하고 환경친화성을 높일 수 있다는 특징을 갖는다. 복합발전 시스템의 운전알고리즘은 각 발전기의 발전용량과 부하용량의 변화에 따라 결정된다. 그러나 태양광 발전시스템은 기본적으로 MPPT 제어를 수행하므로 항상 최대 전력점에서 운전되므로 발전용량을 가변할 수 없으며, 풍력발전 시스템의 경우 발전기의 여자제어와 블레이드의 피치 각 제어를 통해 발전용량을 조절할 수 있으나 제어 시정수가 느리다는 단점이 있다. 그러므로 대부분의 전력평균제어는 제어의 속응성을 가지는 배터리 시스템의 충방전용 2상한 컨버터로 조절하며 디젤발전기의 운전시간 또한 배터리 시스템의 충전상태에 따라 결정된다.

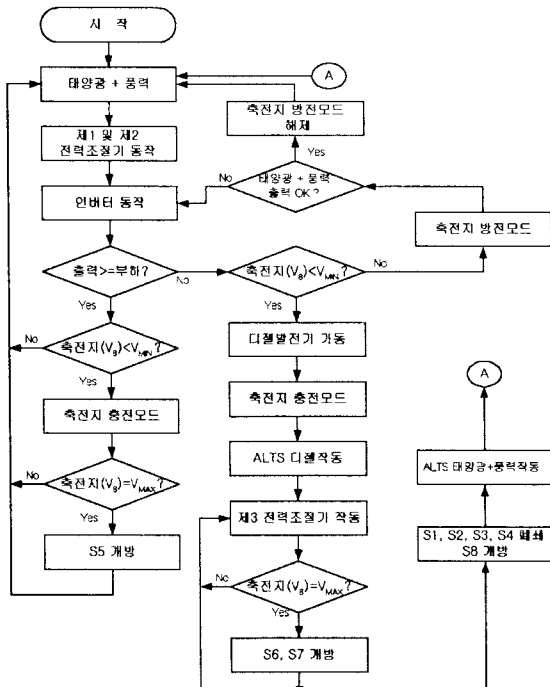


그림 4 복합발전시스템 제어도
Fig. 4 Control flow chart of hybrid system

이상과 같은 복합발전시스템의 운전알고리즘은 그림 4와 같이 나타낼 수 있고, 여기서 인버터는 운영 알고리즘을 갖춘 마이크로 프로세서를 내장하고 있다. 또한 인버터는 제 1 및 제 2 전력 조절기에서 공급된 직류 전력 및 충전지에 축전된 전력치를 검출하고, 그 검출된 직류 전력치를 기초로 태양광과 풍력 및 충전지에 의한 전력만으로도 부하에 전력공급이 가능한 경우인지 아니면 태양광과 풍력 및 충전지에 의한 전력만으로는 부족하여 디젤 발전기에 의한 전력이 추가로 필요한 경우인지를 판단한다. 이와 같은 판단에 따라 자동 절체 스위치의 절체 모드를 결정하게 된다.

즉, 인버터는 자연 에너지(풍력, 태양광)를 이용한 발전 전력을 부하에게 공급하다가 그 자연 에너지를 이용한 발전 전력이 부하에서 필요로 하는 공급량을 충족시키지 못하면 자동 절체 스위치부를 제어하여 제 2절체 모드로 한 후 디젤 발전기에 의한 전력을 추가적으로 부하에게로 공급시킨다. 한편, 인버터는 자연 에너지(풍력, 태양광)를 이용한 발전 전력이 부하보다 크면 그 초과분의 전력을 축전지에 저장하고 나머지 전력을 부하에 공급시키며, 자연 에너지를 이용한 발전 전력이 부하보다 작으면 디젤 발전기를 가동시키는 것이 아니라 축전지에 저장된 전력을 부하에 공급시킬 수도 있다. 이때, 축전지는 완전방전을 하게 되면 수명이 급격하게 저하되므로 적당한 최소 전압레벨(V_{MIN})을 설정하여 그 최소 전압레벨(V_{MIN})과 최대 전압레벨(V_{MAX})을 유지할 수 있도록 충방전(전력저장 및 공급)을 적절하게 조절한다. 여기서, 적절한 전압레벨이란 부하에 공급해 줄 전압이 얼마인가에 따라 약간씩 차이가 난다. 축전지의 최소 전압레벨(V_{MIN})과 최대 전압레벨(V_{MAX})은 충방전 심도를 어느 정도로 할 것인가에 따라 결정된다. 최소 전압레벨(V_{MIN})과 최대 전압레벨(V_{MAX})이 설정된 축전지는 충전 시 저장되는 전력이 최대 전압레벨(V_{MAX})까지 되면 더 이상 충전하지 않고 바로 통과시킨다.

또한, 인버터는 자연 에너지(풍력, 태양광)를 이용한 발전 전력이 부하보다 작을 경우 축전지의 전압레벨(V_b)을 체크하여 일정 전압레벨(V_{MIN}) 이하이면 축전지에서 전력을 공급하지 않고 디젤 발전기를 이용한 전력을 추가적으로 공급시킨다. 여기서, 디젤 발전기를 가동시키는 경우 디젤 발전기를 이용한 전력의 일부를 부하에게 공급하면서 나머지는 축전지에 저장시킨다.

4. 결 론

본 논문에서는 낙도 전력공급을 위한 태양광발전, 풍력발전, 디젤발전 및 전력저장용 축전지를 조합시킨 복합발전시스템을 구축하여 실 운전 시 효율적인 운전 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 국내는 물론이거니와 해외의 수많은 낙도에 설치되어 있고 또한 추진중인 복합발전시스템의 운전 시 효율적으로 운전 및 관리에 유용할 것으로 기대된다. 추후 본 논문에서 제안된 알고리즘을 낙도에 복합발전시스템 설치 시 실제 시스템에 적용하여 그 효율성을 입증하고자 하며, 더욱 고려되어야 할 점은 풍력/태양광/디젤 등 복합발전시스템과 부하와의 전력 평형 운전을 수행하기 위해서는 도서지역의 인구 등 부하에 따른 적정 용량 산정 문제와 설치위치의 햇빛 조건이나 바람 등 사전 자원 조사에 의한 태양광과 풍력의 적절한 용량 산정과 운전 출력조정을 통한 효율적인 운전 검토가 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

(참 고 문 헌)

- [1] S. J. Philips et al. "Solar/Wind/Diesel Hybrid Energy Systems For Remote Areas", IEEE, pp.2029~2034, 1989
- [2] Dr. Mike Meinhardt and Gunter Cramer. "Past, Present and Future of grid connected Photovoltaic and Hybrid-Power-Systems". IEEE, pp.1283~1288, 2000
- [3] Bogdan S.Borowy and Ziyad M. Salameh. "Optimum Photovoltaic Array Size for a Hybrid Wind/PV System", IEEE, vol.9, pp.482~488, september 1994
- [4] 정용호, 설승기 외, "태양광 발전용 직류/교류 변환장치의 개발동향", 전기학회, v.39, n.10, pp.37-46, 1990.
- [5] Ho-Gyun Ahn, Ji-Yoon Yoo. "A Study on parallel Operation Between Inverter System and Utility Line". KIEE Trans, pp. 369-378, 1992.
- [6] W.D.Kellogg, M.H.Nehrir, G. Venkataramanan, and V.Gerez. "Generation Unit Sizing and Cost Analysis for Stand-Alone Wind, Photovoltaic, and Hybrid Wind/PV System". IEEE, vol.13, pp.70~75, march 1998