

전력정보를 이용한 Governor 제어기의 속응성 및 안정도 향상을 위한 알고리즘 제안

최상규*, 이화춘*, 이울재**, 송성근***, 남해곤*, 박성준*
 전남대학교*, (주)신옥테크**, 전자부품연구원***

Algorithm of governor controller for improving the response and stability using power information

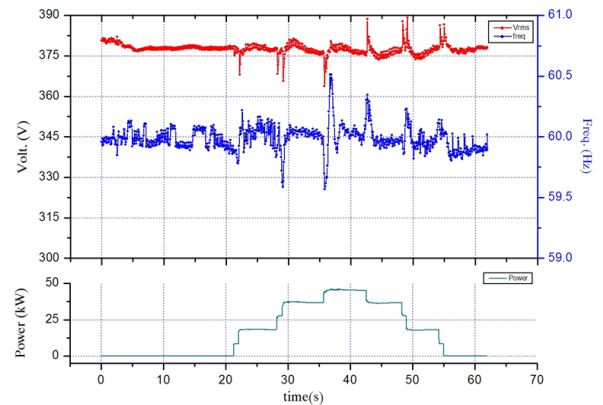
Sang-Gyu Choi*, Hwa-Chun Lee*, Yul-Jae Lee**, Sung-Guen Song***, Hae-Kon Nam*, Sung-Jun Park*
 Chonnam National University*, Sinok Tech**, KETI***

Abstract - 하이브리드 발전시스템에서 전압과 주파수 제어는 서로 다른 분산전원의 동기화 및 전력제어에 있어서 매우 중요하다. 본 논문에서는 디젤 발전 시스템에서 연료 분사량을 제어하여 주파수를 담당하는 Governor 제어기에 대한 제어 알고리즘을 개발하여 적용함으로써, 연료 분사량을 최적화하여 일정한 속도제어를 하고자 한다. 이는 기본 제어기 알고리즘에 전력에 대한 전류 지령치를 첨가함으로써 제어기의 속응성 및 안정도를 개선할 수 있다. 또한 기존 디젤발전기의 부하에 따른 전압 및 주파수 특성을 분석하고, 시뮬레이션 함으로서 본 알고리즘을 검증하였다.

기존의 디젤발전기의 전압, 주파수 특성을 분석하기 위하여 Tabula 계측장비를 사용하여 측정하였다. 그림 2는 부하가변 시 발전기 출력전압과 주파수를 나타내고 있으며, 20kW 부하간발 시, 주파수 및 전압 변동폭은 0.75%, 3.3%이며, 40kW→10kW 추가 부하투입 시, 1.6%, 4.5%로 나타났다. 이는 개별적인 디젤발전기 특성은 우수하지만, 하이브리드 시스템에서 분산전원과의 동기 및 부하분담 측면에서는 속응성 및 안정도가 보다 더 향상된 제어기 설계가 요구된다.

1. 서 론

국내외적으로 점차 강화되는 배기규제는 디젤엔진 및 디젤 연료분사장치 분야에 새로운 도전적인 환경으로 다가오고 있다.^[1] 이러한 환경변화에 대응하기 위해서는 디젤 연료분사장치의 한 차원 높은 기술이 요구되고 있으며, 디젤 연료 분사장치의 기술개발 방향은 고압화 전자화에 초점이 맞춰지고 있는 추세이다.^[2] 디젤발전 시스템은 거버너 액추에이터와 여자의기 전류제어를 통해 시스템의 주파수와 전압을 제어한다. 부하의 변동에 따라 두 개의 제어기는 독립적인 제어를 하지만 주파수와 전압은 상호 밀접한 관계가 있다.^[3] 일반적으로 풍력-디젤 발전의 병렬운전 시, 풍력발전 연계형 인버터는 모션 측의 주파수와 전압에 의존하며, 연계기준에 부적합할 경우 빈번한 출력을 반복한다. 이에 따라 하이브리드 시스템에서 디젤발전기의 주파수와 전압제어기는 부하변동과 분산전원의 전력량에 따라 Robust한 제어기 설계가 필요하며, 또한 연계형 인버터의 고립운전 방지 알고리즘의 밴드 폭을 넓게 설정하여야 한다. 본 논문에서는 부하변동에 따른 기존의 50kW 디젤발전기의 전압 및 주파수 특성을 분석하고, 제어기의 속응성과 안정도 향상을 위한 알고리즘을 제안한다. 이는 디젤발전기의 유효전력에 따른 액추에이터의 전류 지령치를 Look-up 테이블화 하여 제어기 전류 지령치에 피드포워드 향으로 삽입하여 구현할 수 있다.

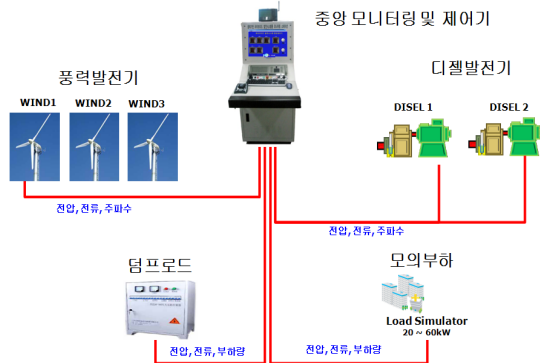


〈그림 2〉 부하 가변 시 디젤발전기 출력전압 및 주파수

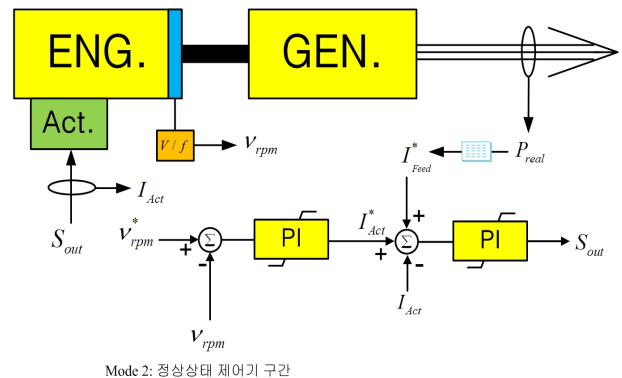
그림 3은 제안된 정상상태 모드에서의 제어 알고리즘이며, 기본적으로 엔진은 2가지의 모드로 기동된다. 전류 지령치를 소프트 스타팅 하는 모드와 시정수가 늦은 엔진의 안정화를 유지하기 위한 테드존 모드가 존재하며, 그 다음 제안된 정상상태 모드가 적용된다. 본 알고리즘의 기본 구조는 엔진속도의 오차분에 해당하는 제어기 값이 액추에이터의 전류 지령치로, 다음 실제 전류와의 오차에 해당하는 제어기 값이 액추에이터의 PWM 신호로 인가된다. 이는 발전기의 속도제어를 위한 즉 주파수 안정화를 위한 액추에이터에 인가되는 전류로서 연료의 분사량을 조절하게 된다. 본 논문에서는 추가로 발전기에서 유효전력량에 의한 액추에이터 전류 지령치를 Look-up 테이블화 하여 피드포워드 향으로 구성함으로써 부하 급변 시 제어기의 속응성과 안정도를 향상할 수 있다.

2. 디젤발전기 출력특성 및 제안된 알고리즘

소형 풍력발전 시스템과 디젤발전 시스템을 연계한 하이브리드 발전 시스템은 주전원으로 디젤발전기를 사용하고, 불규칙한 전력을 생산하는 풍력발전기를 보조적으로 연계함으로써 디젤발전기의 사용을 최적화하여, 이를 통해 유효비를 절감하는 발전시스템이다. 그림 1은 전체 시스템의 구성을 나타내고 있으며, 현재 디젤발전기(50kW 2set), 덤프로드 PMSG(10kW 3set), 부하로 구성되어 있다.



〈그림 1〉 하이브리드 발전 시스템 구성도



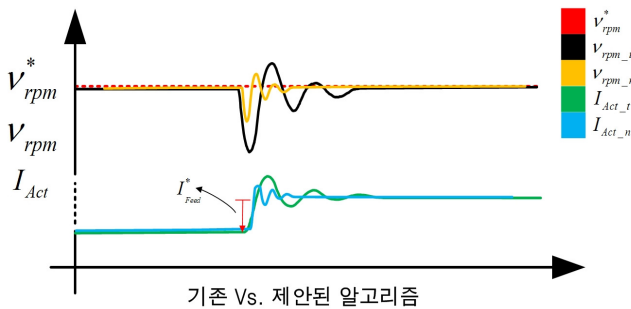
〈그림 3〉 제안된 정상상태 모드에서의 제어 알고리즘

표 1은 실측된 전력에 따른 액추에이터 입력 전류를 나타내고 있으며, 실질적으로 5kW 단위로 구분하여 전류를 계측하여 적용하였다.

〈표 1〉 실측된 전력에 따른 액추에이터 입력 전류

	기동시	무부하	10kW	30kW
액추에이터 입력 전류(A)	4.5A	1.8A	2A	2.5A

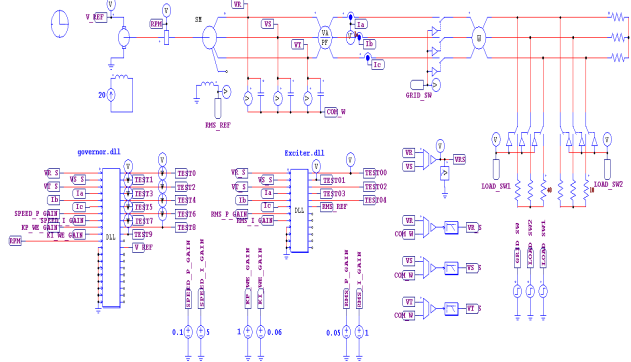
그림 4는 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘을 비교 분석하였다. 기존의 알고리즘은 엔진속도가 속도 지령치로 접근하기 위해서 제어기 오차분에 해당하는 값이 전류 지령치로 들어가며, 제어기 이득에 따라 오버슈트와 언더슈트가 반복되어 정상상태로 안정된다. 이에 반해 제안된 알고리즘은 전력정보가 의한 전류지령치가 오차량을 줄여주어 제어기의 수렴속도 및 안정도를 향상시킨다. 본 알고리즘은 PSIM을 통해서 검증하였다.



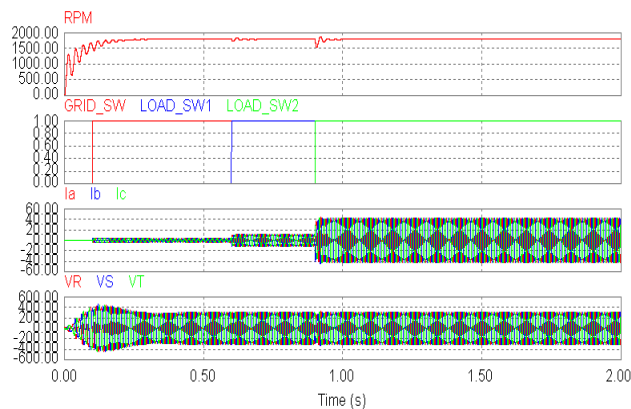
〈그림 4〉 기존과 제안된 알고리즘 비교

3. 시뮬레이션

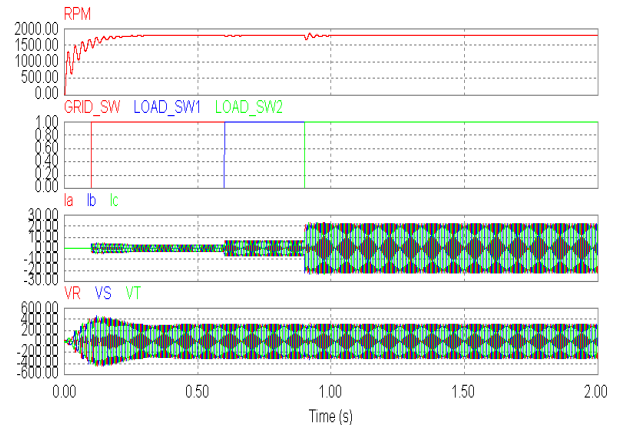
그림 5는 전력정보를 이용한 제어기의 속응성 및 안정도 향상의 타당성을 검증하기 위해 PSIM을 이용한 시뮬레이션 회로도로서 시뮬레이션의 제어부는 Visual-C를 이용한 dll파일을 사용 하였다.



〈그림 5〉 시뮬레이션 회로도

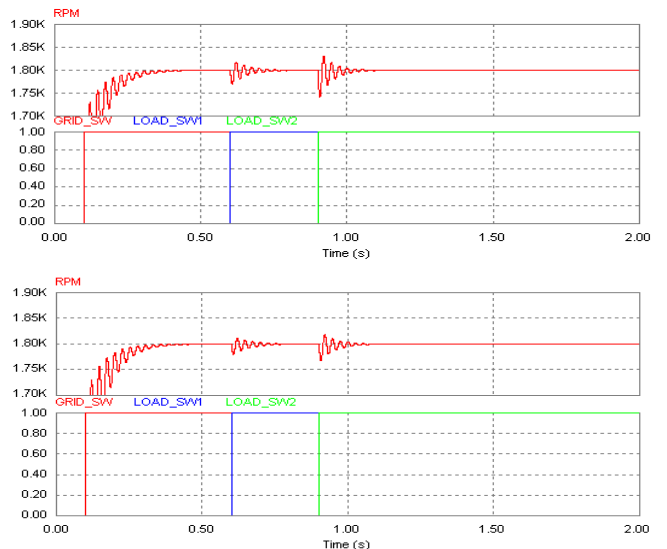


〈그림 6〉 기존 알고리즘 시뮬레이션 파형



〈그림 7〉 제안된 알고리즘 시뮬레이션 파형

그림 6과 7은 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 파형을 비교 하여 나타낸 것이다. 위 시뮬레이션의 총 시간은 2[s]이며 부하의 투입은 가상적으로 GRID SW, LOAD SW1, LOAD SW2로 나타냈으며 투입시간은 0.1[s] 0.6[s] 0.9[s]이다. 이로부터 부하 투입시 전류 및 전압의 변화를 확인할 수 있었으며, 또한 부하의 변동에 따른 속도변화에도 액추에이터에 흐르는 전류제어를 통해 주파수 안정화를 이루어 어느 정도 시간이 지난 뒤에 안정화가 되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 8은 기존 Governor 제어기와 본 논문에서 제안한 전력정보를 이용한 Governor 제어기의 부하 투입시 속도의 변화를 비교한 파형이다. 이를 통해 제안된 알고리즘 즉, 전력정보에 의해 전류지령치가 오차량을 줄여 주어 제어기의 수렴속도 및 안정도를 향상시킴을 확인할 수 있다.



〈그림 8〉 기존과 제안된 속도비교 시뮬레이션

4. 결 론

하이브리드 발전 시스템에서 디젤 발전기의 속도 제어는 중요한 의미를 지닌다. 본 논문에서는 기존 알고리즘에 전력정보를 이용한 즉 발전기의 유효전력량에 의한 액추에이터 전류 지령치를 Look-up 테이블화 하여 피드포워드 항으로 구성함으로써 부하 급변 시 제어기의 속응성과 안정도가 향상됨을 확인할 수 있었고, 발전기의 운전영역에서 안정된 속도제어가 이루어지는 가를 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 최승호 외, “AGC와 Governor의 주파수 제어특성” 대한전기학회, pp.60~63, 2004
 [2] 한도영, “소형디젤엔진용 고압전자제어 연료분사장치 기술개발에 관한 연구(2차년도 중간보고서)”
 [3] D.J.McGowan, D.J.Morrow, and Brendan Fox, “Integrated Governor Control for Diesel-Generating Set”, IEEE Trans. On Energy Conversion, vol.21, pp.476-483, jun.2006