

Multi-Agent System 기반의 주파수 변화율을 고려한 저주파수 계전 알고리즘 설계

이유진 여상민 김철환
성균관대학교

Design of UFR Algorithm using the Deviation of Frequency based on Multi-Agent System

Y.J. Lee S.M. Yeo C.H. Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 본 논문은 Multi-agent 이론을 적용하여 저주파수 계전 알고리즘을 설계하는 방법을 제안하였다. 먼저 저주파수 계전에 필요한 사항을 알아보았다. 그 다음으로 현재 계통에 적용된 부하차단을 알아보고 이를 개선할 수 있는 Multi-agent 이론을 적용한 저주파수 계전 방법을 선택하여 그 방법의 적용 가능성을 제시하였다.

1. 서 론

발전량과 부하량의 관계는 주파수로 감지할 수 있다. 발전량이 부하량보다 작게 되면 저주파수 현상이 발생하고 이는 심각한 고장 및 발전기의 수명 단축과 계통 손실을 야기할 수 있다. 따라서, 저주파수 현상이 일어났을 때 발전기 보호 및 계통 보호를 위하여 신속한 저주파수 계전을 통하여 주파수 회복을 하는 것이 필수적이다. 과거 주파수 회복을 위해 여러 가지 부하차단에 관한 연구가 진행되었으며 이를 통한 신속하고 적절한 부하차단은 빠른 주파수 회복을 가져왔다.

본 논문에서는 3상고장에 의해 저주파수 현상이 일어났을 때를 가정하고 주파수의 변화를 통해 적절한 부하 차단량을 적용하는 Multi-agent 이론을 적용한 선택적이고 적응적인 저주파수 계전 방법을 제안하였다.

2. 주파수 계전

2.1 발전량과 주파수의 관계[1]

전력계통에서 주파수의 변동은 발전기의 발전량과 부하측에 연결되어 있는 부하량의 불평형에 의해서 발생한다. 불평형이 일어나는 주 원인은 정확하지 않은 부하예측으로 인해 발전량이 부하량보다 작거나, 예상치 못한 변수로 인해 발전량이 부하량보다 컸을 때 발생한다. 이 때 고장 및 발전량과 부하량의 관계를 판단하는 파라미터 중 주파수가 있다. 발전량이 부하량과 균형을 이루면 주파수는 현재 계통 주파수인 60Hz를 유지한다. 반면 부하량이 많은 과부하 상태에서는 발전량 부족에 의하여 계통 주파수가 저하하게 되는데 일정 값 이하로 주파수가 내려가게 되면 발전기의 손상 및 심각한 계통 상의 손실 및 정전 사태가 일어날 수 있다.

2.2 현 계통에 적용된 저주파수 계전

발전량이 부하량보다 작아서 계통 주파수가 일정 값 이하로 내려가게 되면 저주파수 계전을 통해 주파수를 계통 주파수로 회복시키는 방법을 사용한다. 이 때 내려간 주파수를 회복시키기 위해서는 발전량을 일시적으로 늘이거나 과부하를 차단하는 방법이 있는데 계통의 안정도를 유지하며 경제적인 방법으로써 부하차단을 선택한다. 적절하고 신속한 부하차단은 계통주파수를 빠르게 회복할 수 있다. 국내 계통 부하차단 단계는 다음 표 1과 같다[2]. 현재 우리나라에서 선택하고 있는 주파수 차단 정책은 총 6단계로 이루어져 있으며 각 단계 마다 차단 동작 시간 및 차단 부하량이 정해져 있다.

<표 1> 국내계통 부하차단 단계 및 차단량 예시

단계	Tap[Hz]	차단동작시간[s]	부하차단량[%]
1	58.8	0.1	6%
2	58.6	0.1	7%
3	58.4	0.1	7%
4	58.2	0.1	6%

2.3 선택적 부하차단 방법

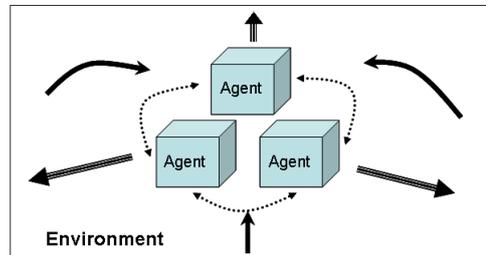
현재 계통에 적용되어 있는 부하차단 방법은 주파수가 일정 값 이하로 내려가게 되면 일정 시간이 흐른 후 일정량을 차단하게 된다[3]. 그러나 이 방법은 고장 이후 변화된 계통이 고려되지 않은 값으로 저주파

수 발생 시 계통의 변화를 고려하지 않은 부하 차단량이 된다. 따라서 적절한 부하차단량에 비해 많은 값을 차단하게 되거나 적은 값을 차단할 가능성을 만들어 계통의 불안정을 초래할 수도 있다. 따라서 적절한 부하차단을 위해서는 계통의 변화량을 파악하고 적절한 부하 차단량을 계산할 필요성이 있다. 이를 위해 주파수의 변화와 외란의 크기를 짐작하게 하는 주파수의 변화량을 이용하여 Multi-agent 이론을 적용한 부하차단 방법에 응용할 것이다.

3. Multi-Agent System(MAS) 기반의 저주파수 계전 알고리즘

3.1 Multi-Agent 이론[3]

에이전트는 컴퓨터 시스템으로 설계된 목적을 충족하기 위해 에이전트가 속해 있는 환경에서 자동적이며 적응적인 행동을 취할 수 있는 시스템이다. 자동적의 의미는 에이전트가 속해 있는 환경 내에서 에이전트 스스로 판단하고 결론을 도출하는 것을 뜻하며 적응적의 의미는 에이전트가 환경의 변화를 인지하여 변화에 반응하고 응답하는 것을 의미한다. 각 에이전트는 그룹을 이룰 수 있으며 그룹 에이전트는 서로 통신을 통해 정보를 주고 받고 그룹 내의 에이전트 또한 그룹 내에서 통신 및 정보교환을 할 수 있다. 에이전트가 환경을 인지하는 것은 센서를 통해서이며 들어온 환경 정보는 에이전트의 판단 및 계산과정을 거쳐 출력이 되고 이는 다른 에이전트에게는 새로운 입력이 된다. 다음 그림 1은 에이전트와 환경을 나타낸다.



◀····▶ Communication between agent and agent
 → Sensor input
 ⇨ Action output

<그림 1> 에이전트와 환경

3.2 저주파수 계전 알고리즘

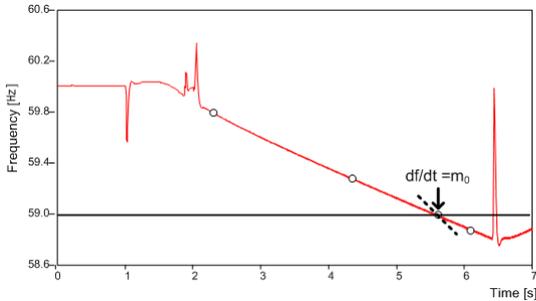
고장이 발생하여 저주파수기 발생하면 주파수 회복을 위한 첫 번째 단계로 부하차단을 실시한다. 부하차단이 일어나야만 하는 주파수는 계통 내의 여러 사항을 고려하여야 하지만 발전기의 손상을 최소화할 주파수 기준인 59Hz를 선택한다[1]. 주파수가 감소하여 59Hz 이하가 되면 기존의 방법은 0.1초 지연 후 총 부하량의 6%를 차단한다. 그러나, 여기서 적용할 방법은 신속한 주파수 회복을 위해 59Hz이 될 때 주파수 변화량을 측정하고 이 값이 어떤 임계값을 넘어섰을 때, 부하차단을 시작하도록 하는 것이다. 시간 지연 없이 이루어진 부하차단은 신속한 주파수 회복을 보인다[2]. 주파수 변화량은 다음 식 (1)으로 표현할 수 있다.

$$m_0 = \frac{d\Delta w}{dt} \Big|_{t=0} = \frac{60 P_{step}}{2H} \text{ [Hz/s]} \quad (1)$$

여기서 m_0 는 관찰된 기울기로 정의된다. 이 기울기는 연속적으로 관찰하며 이 값의 임계값은 계통의 특성에 따라 달라질 수 있다[1]. 측정된 기울기는 H(발전기의 관성 계수)를 안다면 다음 식 (2)를 통하여 P_{step} (외란의 크기 영향)을 계산할 수 있다[1].

$$P_{step} = \frac{2Hm_0}{60} [\text{per unit}] \quad (2)$$

따라서 고장 시점의 주파수 변화량을 통해 외란의 크기 영향 계산이 이루어지면 고장에 의한 영향의 크기를 알 수 있으므로 좀 더 정확한 부하 차단량이 결정될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 저주파수 계전 시점에서의 기술을 측정하여 적용적 저주파수 계전 알고리즘을 설계하였다. 본 논문에서는 이 알고리즘을 계전방법으로 적용할 것이다. 다음 그림 2는 주파수의 변화 그래프이다.



<그림 2> 주파수 변화율

3.3 MAS 기반의 저주파수 계전 설계

에이전트의 기능인 감시, 연산, 동작은 각각 하나의 에이전트가 수행하는 기능이며, 2개 또는 3개의 기능이 모여 하나의 완전한 에이전트가 구성된다. 완전한 에이전트가 1개 이상이 모여 이룬 집단을 MAG (Multi-Agent Group) 이라 하며, 이들은 서로 감시를 통해 얻은 정보를 가지고 알고리즘을 수행하는 역할을 한다. 본 논문에서는 BUS1과 BUS2는 MAG으로 묶여져 4회선 모선간의 데이터와 정보를 교환하며 발전기 MAG도 발전기간 데이터 및 정보교환을 한다. 계전기 MAG 역시 계전기 간의 정보 교환 및 판단을 위한 통신 그룹을 형성하게 되며 각 MAG 사이의 정보 교환 및 상황 감시가 가능하다. 에이전트는 CB나 계전기와 같은 IED에 탑재되며, 계전기 에이전트와 같이 연산을 수행하며 동작하도록 하는 에이전트, 버스 에이전트와 같이 감시와 동작만 하는 에이전트들이 있다. 본 논문에서 구성한 에이전트의 종류 및 기능은 다음 표 2와 같다.

<표 2> 에이전트의 종류와 기능

종류	감시	연산	동작
발전기 Agent	V, Freq, θ , trip, capacity	X	O
버스 Agent	V, I, fault	O (Distance)	O
계전기 Agent	V, I, Freq, df/dt	O (Load shedding)	O

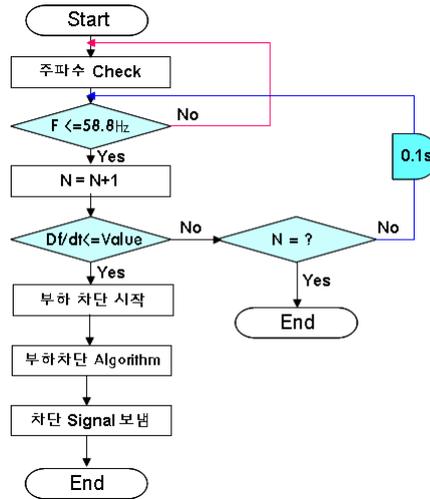
발전기 Agent는 발전기 내에 위치하면서 발전기의 출력을 통해 상차각(θ), 주파수(f), 출력 전압을 감시하고 발전기의 접속 여부, 발전용량을 실시간으로 감시하게 된다. 연산 알고리즘은 없으며 상황에 따라 필요하면 trip 요청에 따라 trip 동작을 할 수 있다. 버스 Agent는 모선과 선로의 접속점에 위치하며 에이전트 내의 고장 거리 알고리즘을 통해 사고가 났을 경우 사고여부를 사고 지점에서 제일 가까운 계전기 Agent에게 알려주고 사고 지점을 추정하는 기능을 갖는다. 감시로 얻은 정보에 대한 요청이 있으면 알려줄 수 있고 필요하다면 CB의 동작을 통해 고장 제거를 할 수 있다. 가장 핵심인 계전기 Agent는 고장 여부를 버스 Agent를 통해 알게 되면 다음 그림 3과 같은 흐름을 시작한다.

버스 Agent를 통해 고장 여부 신호가 계전기 Agent로 빠르게 전달되면 계전기 agent는 주파수 추정에 필요한 정보를 버스 Agent와 발전기 Agent에게 요청하게 되고 요청을 수행하여 알려준 정보를 토대로 주파수 계산 및 추정을 시작한다. 고장이 발생한 후 에이전트 간 통신의 흐름은 다음 그림4와 같다.

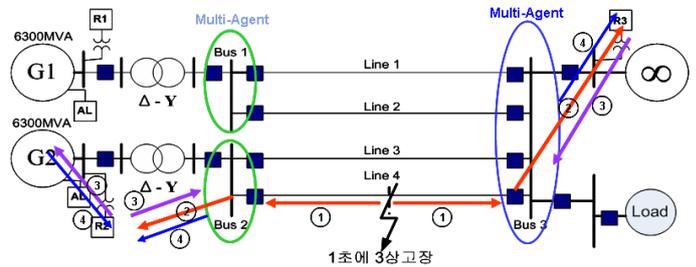
- ① 고장이 발생하여 BUS Agent로 고장 신호 전달
- ② BUS Agent는 가까운 계전기 Agent에게 고장 신호 전달
- ③ 고장 신호를 받은 계전기 Agent는 발전기 Agent와 버스 Agent에게 알고리즘 계산을 위한 정보 요청
- ④ 요청받은 정보를 계전기 Agent에게 알람

구성된 계통은 345kV 계통이며 23kV 전압과 6300MVA 용량의 울진 N/P 계통을 적용하였다. 발전기 G1과 G2는 동기발전기이며 BUS1과 BUS2에서 BUS3를 향하여 조류가 흐르고 있다. R1, R2, R3는 주파수 계전기를 나타내며 각 모선과 선로는 CB로 연결되고 Load는 비교적 큰

부하로 사고가 일어나 저주파수가 일어날 시 부하차단이 이루어지는 부하단으로 하여 모델링 하였다.



<그림 3> 계전기 Agent의 흐름도



<그림 4> 고장 후 에이전트 간 통신 관계

4. 결 론

본 논문은 Multi-Agent 이론을 적용하여 주파수 변화율을 이용한 저주파수 계전 설계 방법을 제시하였다. MAG는 통신을 통해 정보를 신속하게 전달하며 Agent 간의 의사 결정 과정 및 판단 과정을 통해 사고가 신속히 제거되고 적절한 부하차단이 가능하도록 한다. 과거 주파수 계전이 정해진 값으로만 수행되었다면 Multi-Agent 이론을 적용한 주파수 계전은 사고를 통해 변화한 환경을 에이전트가 인지하고 변화한 정보를 가지고 적응적 결과를 도출함으로써 정확하고 유연한 계전 효과가 나올 것으로 기대된다. 향후 에이전트를 설계하고 에이전트 간 통신을 통해 정보 교환 및 적응적 판단 과정을 보이기 위한 시뮬레이션을 할 것이며 이 과정을 위해 IEEE Standard인 FIPA (Foundation for Intelligent Physicals Agents) 규정을 만족하면서 에이전트 플랫폼을 제공하는 JADE(Java Agent DEvelopment platform)을 이용하고 핵심적인 계전기 Agent 내에는 지능적 부하 차단 알고리즘 및 버스 Agent에서의 고장 거리 계산 알고리즘을 적용할 것이다. Agent 간의 통신이 이루어지고 지능적이고 적응적 특성이 적용된 모델은 계통 사고 시 계통 변화를 감지하고 사고를 신속히 해결하여 빠르고 정확하게 계통의 안정도를 높이는 결과를 나타낼 것이다.

5. 감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

[참 고 문 헌]

- [1] P. M. Anderson, "Power System Protection", 1998.
- [2] 한국전력거래소, "전력계통 안정도를 고려한 계통보호 대책 연구", 2003. 12.
- [3] Micheal Wooldridge, "An Introduction to MultiAgent Systems", 2002.