

HMA(Hierarchical Multi Agent)방법을 이용한 배전계통 운영 시스템

*김동현 *곽정원 **이상성 ***이승근 *윤용태
*서울대학교 전기컴퓨터공학부, **기초전력연구원, ***전주대학교

HMA(Hierarchical Multi Agent) for Operation of Distribution Power System

*D. H. Kim *J. W. Kwak **S. S. Lee ***S. K. Lee *Y. T. Yoon
*Seoul National Univ., **PSRD and RERI of KESRI, ***JeonJu Univ.

Abstract - 배전 계통은 기본적으로 방사상 구조를 가지고 있지만 향후 분산 전원의 출현 등으로 계통 운영의 복잡성이 증대될 것이다. 따라서 계통의 재구성이나 복구와 관련된 운영 전반에 관한 판단의 정확성과 신속성을 요구하게 된다. 본 논문에서는 HMA(Hierarchical Multi Agent) 방법을 이용하여 배전 계통의 운영에 활용해 보았다. HMA 방법은 서로 다른 행동 특성을 가진 Agent들이 자신의 역할을 수행하면서 전체적인 최적해를 찾을 수 있고 적은 정보를 이용하기 때문에 사고에 대처하는 속도가 빨라질 것으로 예상된다. 본 논문에서는 배전 계통에 맞는 HMA 모델과 각 Agent들의 행동 원칙을 제안하고 활용 방안을 제시하였다.

1. 서 론

배전 계통은 대부분 단순히 방사상 구조를 가지고 있으며, 변전소를 통하여 전력을 수전하는 역할만 수행하였지만 분산전원(열병합 등 여러 규모의 발전설비)의 출현으로 배전 계통의 구성 및 운영은 더욱 복잡한 형태가 될 것이다. 이러한 복잡성의 증가는 현재의 계통 운영 시스템에 비해 다양한 운영 환경을 제공할 수 있지만 더 많은 제어 및 통신 정보를 필요로 하게 된다. 이러한 환경의 변화는 중앙 집중식 제어 방식에서는 속도와 효율성 측면에서 한계가 있다.

이러한 한계를 극복하는 방안으로 본 논문에서는 여러 Agent들이 계층 구조를 이루고 있는 HMA방법을 제안한다. 이 방법을 통해 계통은 중앙의 제어를 통하지 않고 계통 내의 Agent들이 지능을 가지고 상호 정보교환을 통해 운영된다. 여기서 Agent는 현장에 있으면서 환경 변화에 따라 주어진 역할을 수행하는 것을 말하며 Multi Agent 시스템은 이러한 Agent들이 서로 각자의 역할을 수행하며 전체적으로 최적의 환경을 만들어가는 시스템을 말한다. 그리고 각 Agent들이 계층 구조로 이루어져 있을 때 그 시스템을 Hierarchical Multi Agent 시스템이라 한다.[1]

계통을 운영할 때 목적함수를 어떻게 설정하는가에 따라 Agent들의 기능이 달라질 수 있다. 본 논문에서는 배전 계통의 부하 손실을 최소화하는 운영 시스템에 초점을 맞추어 진행하였다. 목적함수의 수학적 모델은 아래와 같다. 이 때, L_i 는 버스 i 의 부하를 말하며, S 는 계통 전체를 말한다.[2]

$$\max \sum_{i \in S} L_i \quad (1)$$

그리고, 일반적인 제약 조건은 아래와 같다.

- 1) 계통 운영에 사용할 수 있는 전력의 양은 제한되어 있다.
- 2) 전력의 수요와 공급이 균형을 이루어야 한다.
- 3) 선로의 한계치를 만족해야 한다.

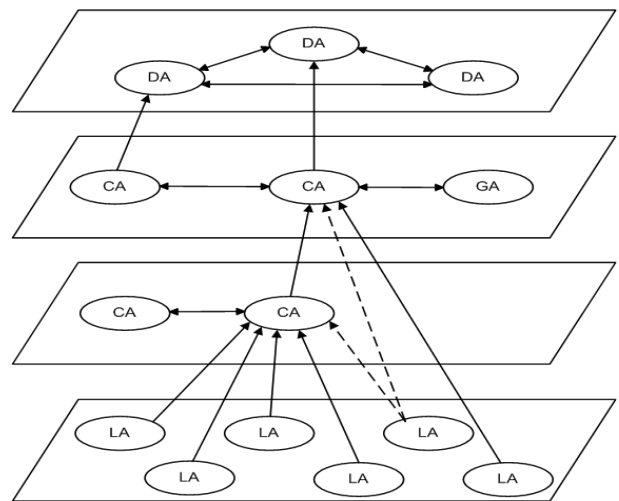
2. 본 론

2.1 배전 계통의 특성을 고려한 HMA 모델

배전 계통은 일반적으로 방사상 구조를 가지고 있다. 방사상 구조에서 나타날 수 있는 역할 모델을 계층별로 구성한 것을 <그림 1>에 나타냈다. 그리고 각 Agent의 위치 및 역할은 아래와 같다.

- 1) DA(Decision Agent): 변전소 단위에 있는 Agent를 말하며 다른 계통에서 도움 요청이 왔을 경우 가장 계통을 가지고 송전 및 배전 조류 계산을 각각 수행하여 복구가 필요한 계통의 DA에 승인 여부를 전달하고 자신의 영역에 복구가 필요할 경우는 승인된 가능 선로 중에서 하나를 결정하는 역할을 수행한다.
- 2) GA(Generator Agent): 분산 전원에 있는 Agent를 말하며 도움 요청이 왔을 경우 판단하여 승인 여부를 DA에 전달한다.
- 3) LA(Load Agent): Main feeder의 부하에 있는 Agent로 주변의 부하를 담당하며 고장시 시스템을 동작시키며 정보를 전달하는 역할을 한다.

4) CA(Connection Agent): 다른 계통과 연결 가능한 선로가 있는 LA로 LA와 같은 역할을 수행하며 다른 계통에도 정보를 전달하는 역할을 한다.



<그림 1> 배전 계통의 특성을 고려한 HMA 모델

2.2 Agent의 행동 원칙

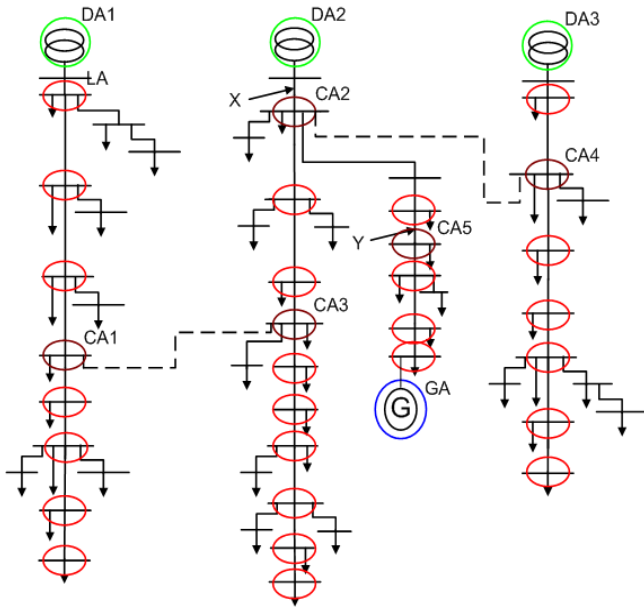
부하 손실을 최소화 하기 위해 각 Agent는 주변의 환경 변화에 맞춰 자신에게 주어진 역할을 수행하며 전체적인 최적해를 찾게 된다. 이 때, 일정한 행동 원칙을 가지게 되며 아래와 같다.

- 1) LA의 행동 원칙
 - a. 자신의 영역의 고장을 체크하고 고장시 시스템을 동작시킨다.
 - b. 자신의 고장 정보를 전달할 CA를 분별하여 정보를 전달한다.
- 2) CA의 행동 원칙
 - a. 자신의 영역의 고장을 체크하고 다른 계통의 도움 요청 정보를 체크하여 시스템을 동작시킨다.
 - b. 들어온 정보를 모아서 상위 CA로 전달한다.(최상위 CA에서는 DA로 정보 전달)
 - c. 자신의 영역도 고장일 경우 동등한 위치의 다른 계통의 CA나 연결된 GA에 도움 요청 정보 전달한다.
- 3) GA의 행동 원칙
 - a. CA에서 도움 요청이 왔을 경우 승낙 여부를 DA로 전달한다.
- 4) DA의 행동 원칙
 - 자신의 계통에서 고장 발생시
 - a. 다른 여러 DA에서 온 승낙 여부 및 복구량 정보를 보고 여러 가능 선로 중에서 하나를 선택한다.
 - 다른 계통에서 고장 발생시
 - a. 요청이 들어온 양을 가지고 송전단의 조류 계산을 통해 가능한지 평가한다.
 - b. 다른 계통의 필요량을 포함한 배전 계통의 조류 계산을 수행하여 가능한지 평가한다.
 - c. 문제가 없을 경우 복구량과 승낙 여부를 고장난 DA로 전달한다.

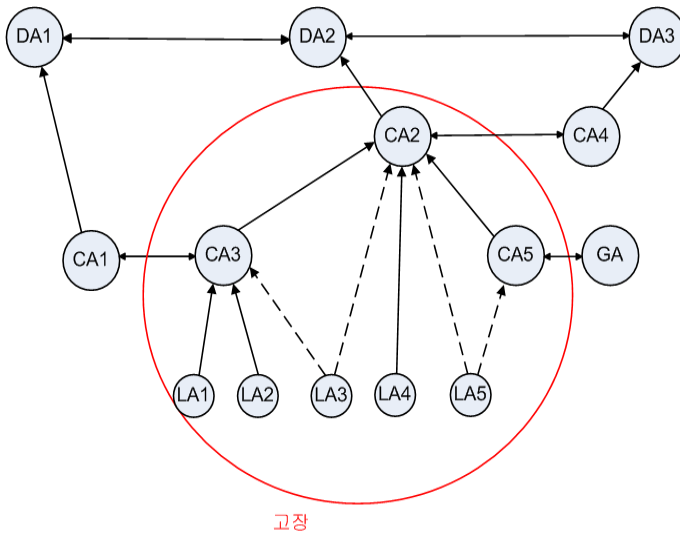
2.3 HMA 방법을 통한 운영 동작 예시

본 논문에서는 배전 계통의 실제 모델을 바탕으로 이를 간략화하여 사용해 보았다. <그림 2>는 배전 계통의 실제 모델이고 이를 간략화한 모델은 <그림 3>에 나타내었다. 이 때 <그림 2>의 X위치에서 고장이

발생하였을 경우를 가정하여 Agent들의 동작을 살펴보았다. 동일하게 고장 영역을 <그림 3>에 표시하였다. 그리고 Y는 분산 전원 이용시 역조류를 방지하기 위해 설치된 차단기를 말하며 이곳에 CA가 위치한다.



<그림 2> 배전 계통도



<그림 3> 축약된 배전 계통도

<그림 3>에서와 같이 고장이 발생하였을 경우 손실 최소화를 위한 각 Agent들의 동작은 아래와 같다.

- 1) LA1~5에서 고장을 감지하고 시스템을 동작시키며 자신의 고장 정보를 정해진 곳으로 전달한다. 이 때, LA3과 LA5같이 2개의 CA와 연결된 LA는 정보의 중복을 피하기 위해 CA의 상태 정보를 받아서 복구가 필요한 CA 중에서 최상위 CA로 자신의 필요량 정보를 전달한다. 이 때, 정보의 전달은 전력 계통의 통신망 중에서 LAN 및 CDMA 통신을 이용한다.
- 2) CA2,3,5에서도 LA와 동일하게 고장을 감지하게 되고 자신의 하위에 있는 LA에서 정보를 받아서 취합하게 된다. 고장난 영역의 Agent가 전달하게 되는 정보를 아래 <표 1>에 정리해 보았다.

<표 1> 운영 정보(1)

Agent	고장 발생	도움 요청	필요량
LA1	1		13
LA2	1		7

LA3	1		21
LA4	1		8
LA5	1		15
CA2	1	0	$11(CA2)+21(LA3)+8(LA4)+15(LA5)+32(CA3)+17(CA5) = 104$
CA3	1	0	$12(CA3)+13(LA1)+7(LA2) = 32$
CA5	1	0	17

여기서 고장 발생 계수는 고장 발생 여부를 표시해 주는 것으로 그 영역에서 고장 발생시(1), 정상 상태시(0)로 구분된다. 손실 최소화를 확인하기 위해서 이 계수를 부하량과 곱한 값(L_i)을 사용한다. 그리고 도움 요청 계수는 CA에서만 이용되는데 다른 계통에서 도움 요청이 왔을 경우(1), 자신의 계통이 고장시(0)이 되어 DA에서 자신의 영역의 상태를 확인할 때 이용된다. 필요량은 자신의 영역과 하위 영역에서 필요한 부하의 양을 나타내며 괄호 안은 하위 영역을 표시한다.

3) 자신의 영역에서 고장이 발생한 CA2,3,5에서는 연결된 다른 계통의 CA와 GA로 도움을 요청하게 된다. 이 때 도움 요청을 받은 CA1,4, GA에 취합된 정보는 아래 <표 2>와 같다.

<표 2> 운영 정보(2)

Agent	고장 발생	도움 요청	필요량
CA1	0	1	$32(CA3)$
CA4	0	1	$104(CA2)$
GA	1		$17(CA5)$

- 4) 결국 각 정보들이 CA를 거쳐 계통의 DA로 전달되게 되면 도움 요청을 받은 DA에서는 우선 송전단에서 조류 계산을 수행하여 자신의 영역에서 사용하고 있는 양과 도움 요청을 받은 양을 공급해 줄 수 있는지 판단하고 가능하면 계통간 선로와 필요량 정보를 가지고 분산형 배전 조류 계산을 수행하여 복구 가능 여부를 판단하고 승인 여부를 고장난 계통의 DA에 전달한다.[3] 마찬가지로 GA에서는 자신의 여유량과 필요량을 비교하여 승인 여부를 고장난 계통의 DA에 전달한다.
- 5) 고장난 계통의 DA에서는 승인된 여러 가능 선로 중에서 부하 손실을 최소화 하는 하나 또는 그 이상의 선로를 선택하는 역할을 하며 부가적인 기준(추가 선로 최소화, 개폐기 동작 최소화 등)을 사용한다.
- 6) 복구 선로가 결정되게 되면 계통의 안전을 위해서 선로를 따라 개폐기의 차단/연결을 반복하면서 부하를 하나씩 복구한다.

3. 결 론

본 논문에서는 배전 계통의 구조에 맞게 HMA 방법을 제안하고 각 Agent의 특성 및 행동 원칙을 통해 최적해를 찾아가는 과정을 축약된 배전 계통에 적용해 보았다. 이러한 시스템은 모든 정보를 취합하여 중앙에서 제어 명령을 내리는 체제가 아니라 계층 구조로 된 분산형 제어 시스템으로, 각 영역에서 환경 변화에 맞게 자신의 역할을 수행하므로 전달되는 정보의 양을 줄여 속도를 향상 시키는데 도움을 줄 것이라 예상된다. 본 논문에서 사용된 모델은 기본적인 모델로 아직 여러 한계를 가지고 있고 이를 실제 계통에 적용하려면 추가적인 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] Hiyama, T.; Ohta, T., "Hierarchical stabilization control with upper level multi-agent based controller and lower level local controller", Intelligent Systems Application to Power Systems, 2005. Proceedings of the 13th International Conference on, 6-10 Nov. 2005 Page(s):6 pp.
- [2] Nagata, T.; Tao, Y.; Fujita, H., "An autonomous agent for power system restoration", Power Engineering Society General Meeting, 2004. IEEE, 6-10 June 2004, Page(s):1069 - 1074 Vol.1
- [3] 김동현, 노디르 노베코프, 이호철, 윤용태, 이상성, 이승근, "독립사업 부제를 대비한 분산형 배전용 조류계산 알고리즘", 대한전기학회 전력기술위원회 추계학술대회, Page(s):33 - 35, 2006

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제이며 관계 기관에 감사드립니다.