

에이전트기반 적응형 광역정전방지 기술

□ 이승재 / 명지대 차세대전력기술연구센터 소장

서론

지난 10여 년 동안 북미를 비롯하여 유럽, 아시아에서도 크고 작은 정전사태가 발생하였으며, 2003년 8월에 발생한 미국 동북부지역 광역정전으로 인해 미국은 약 50억~100억[US\$] 정도의 정전비용이 발생한 것으로 추산되었고, 캐나다 또한 GDP 0.7% 감소와 선적 감소로 약 23억캐나다\$와 약 1,900만 시간의 노동 가용시간 손실을 가져왔다. 미국 동북부지역 광역정전을 비롯하여 최근 세계 여러 나라에서 발생한 광역정전의 원인을 분석한 결과 다음과 같은 세 가지 원인을 들 수 있다.

- 1) 계통상황 파악 미흡
 - 상정고장 해석 미적용으로 예상치 못한 곳의 고장 발생 후 안전도 확보 실패
 - 상태감시 및 운용 시스템의 이상상황 대처 절차 부족 및 후비기능 부적절
- 2) 연계계통 신뢰도 기구의 상황진단 지원 부적절
 - 일부 송전선로의 실시간 데이터 확보 불가
 - EMS 차단기 동작정보 위치, 중요성 확인수단 부족
- 3) 전력회사 및 신뢰도기구의 계통검토 미흡
 - 장기 계통계획 검토 부족, 다중고장 및 가혹한 계통 조건에 대한 평가 미 고려
 - 충분한 전압분석 미 시행 및 실 계통에 반영되지 않은 전압 운영기준 사용

즉, 광역정전 원인은 전력회사 간, 그리고 계통연계 지역 간의 계통 운용 및 고장발생으로 인한 선로의 차단, 발전기의 탈락, 인근 선로의 과부하 및 융통전력의 증가 등 정보전달이 확실하게 이루어 지지 않아서 일어난다고 볼 수 있다. 이런 정보전달 체계의 불확실성을 해결하기 위해서는 두 가지 방법을 들 수 있다. 첫째는 분산 인공지능 기술인 멀티 에이전트 시스템의 도입이며, 둘째는 통신 시스템의 개방성 및 상호 운용성을 높일 수 있는 IEC61850 기반 변전소자동화 시스템의 도입이다. 이러한 두 가지 방안이 구조개편과 전력 시장의 경쟁적인 환경이 도입되고 있는 전력계통의 운용 시스템에 적용된다면 정보전달 체계의 신뢰성을 보장해 줄 수 있다. 본론에 들어가서는 멀티 에이전트 시스템과 IEC61850 기반 변전소 자동화 시스템 그리고 Zone-3 거리계전기 동작에 의한 광역정전 확대를 막기 위한 멀티에이전트 시스템을 응용한 거리계전기 자율 협조시스템 개념에 대하여 소개한다.

본론

에이전트 기술 (Agent Technology)

에이전트의 역사를 그림 1에 보이는 인공지능기술의 발달사에서 살펴보면 초기 인공지능 시대에 Carl Hewitt가 발표한 "Concurrent Actor" (1977)로 거슬러

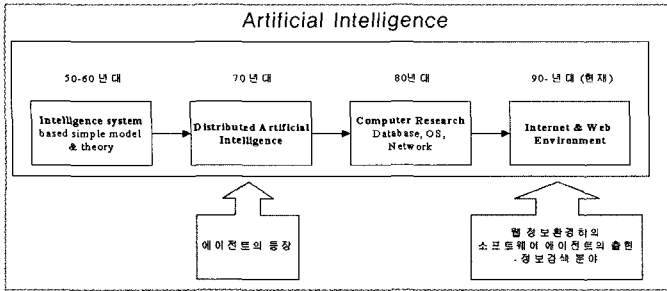


그림 1 인공지능 기술의 발전 과정

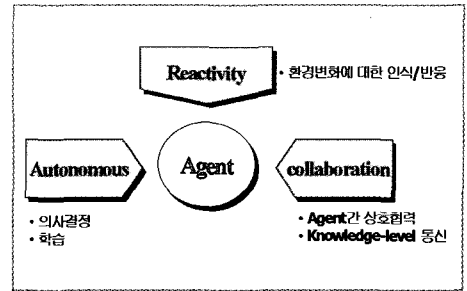


그림 2 에이전트의 특징

올라간다고 볼 수 있다. 이 모델에서 Hewitt는 Actor라고 이름 붙여진 자기유지, 상호협동, 협동수행을 하는 개체의 개념을 제안하였다. 이 개체는 유사한 다른 개체의 메시지에 대하여 응답이 가능토록 되어있었다.

이후 에이전트(Agent)란 이름으로 등장한 후 이는 사용자를 대신하여 주어진 임무를 자율적으로 수행 (act on behalf of other)할 수 있도록 만들어진 S/W개체를 뜻하게 되었다. 보다 구체적으로 기술하면, 특정 환경 내에 위치하여 에이전트의 설계된 목적을 만족시키기 위하여 자율적으로 유연하게 행동할 능력이 있는 컴퓨터 S/W라 말할 수 있다. 90년대 들어 WEB 환경에서 많은 응용이 이루어졌으며 최근에는 많은 산업분야에의 응용연구가 시도되고 있다. 전력계통분야에서 에이전트 기술 응용이 시도된 분야로서 고장진단, 전압안정도, 광역보호 및 제어, 계통 복구, EMS, 전력시장 등을 들 수 있다.

에이전트의 응용에 있어서 에이전트라는 단어 그 자체로 쓰이기보다는 특정한 형식의 에이전트를 지칭하기 위한 단어와 함께 붙여서 사용되는 것이 일반적이며 다음과 같은 특성을 지니고 있다.

- Autonomy : 스스로 판단하여 행동하는 자율성
- Intelligence : 새로운 지식을 스스로 터득하는 지능
- Mobility : 작업 수행의 효율을 높이고 부하를 줄이는 이동성
- Collaboration(Social Ability) : 다른 에이전트와 메시지를 교환하는 사교성
- Reactivity : 환경변화에 대응하는 반응성
- Veracity ; 틀린 정보를 주고받지 않는 정확성

이중 가장 핵심적인 특징은 주변 환경변화를 스스로 인식하여 스스로의 지능적인 의사결정능력을 갖을 뿐 아니라 다른 에이전트와의 협조를 통하여 보다 높은 차원의 문제해결 능력을 갖는다는 점이다.

- Multi-Agent : 분산 환경에 있어서 상호협력을 통해 작업을 수행하는 프로그램체로서 독립적인 응용 프로그램의 집합으로는 해결할 수 없는 복잡한 문제를 해결
- Mobile-Agent : 사용자 대신 스스로 네트워크에서 자유롭게 떠돌아다니며 임무를 수행할 수 있는 프로그래밍 개체
- Assistant-Agent : 사용자의 작업을 돕는 프로그램 개체
- Intelligent-Agent : 학습 능력이나 추론 능력, 계획 능력과 같이 지능적인 특성을 갖는 에이전트

개별 소프트웨어 에이전트는 에이전트들 다수가 global 목표달성을 위해 서로 협력하는 MAS(Multi-Agent System)로 진화하였다. MAS는 DAI(Distributed Artificial Intelligence), DPS(Distributed Problem

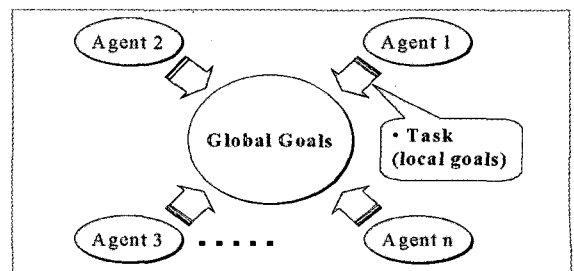


그림 3 Multi-Agent System (MAS)

Solving), 그리고 PAI(Parallel Artificial Intelligence)등 크게 3가지 분야를 통하여 형성된 개념이라 할 수 있다. 따라서 MAS는 분산연산 방식을 통하여 DAI의 장점이라고 할 수 있는 모듈화, 병렬 특성으로 인한 속도 그리고 이중화로 인한 신뢰도 등의 장점을 기대할 수 있으며 AI기능으로 말미암아 지식레벨에서의 운영, 용이한 유지관리, 재할용성, 플랫폼 비 의존성 등의 특징을 지니고 있다.

멀티 에이전트 시스템의 도입

T&D World지(99년 10월)에 기고된 Columbia의 변전소 자동화 시스템 도입사례는 시스템 표준화와 개방성의 중요성을 부각시키는 좋은 예이다. 이 시스템 도입 시 프로젝트별로 지나치게 기능 구현에만 중점을 둔 결과, 다수의 비표준 시스템을 보유하게 되었다. 즉, 변전소별로 상이한 제작/공급자에 의하여 상이한 시스템이 공급되어, 결과적으로, 14개 변전소에 6개의 제작/공급자가 참여하여 10종류의 서로 다른 시스템이 운영되는 결과를 초래하였다. 이는 도입과정에서는 프로젝트별 기술사양 결정 및 기본설계 기간/비용 과다 지출, 시스템의 설치비용 증가를 초래하였고, 운영 중에는 유지·보수비용 증가, 부품의 호환성 결여로 인한 life-cycle 비용 증가, 상이한 시스템으로 인한 인력 양성 문제 및 이중투자 등의 부작용을 낳았다. 에이전트 및 멀티에이전트 시스템은 표준화, 개방화에 있어 많은 강점을 가지고 있으므로 변전소자동화용 IED 개발에 있어 Columbia의 실패를 해결할 수 있는 하나의

좋은 해답을 제시할 수 있다.

앞서 에이전트 기술의 중요성으로 내세운 자율성과 개방성을 자동화시스템 개발에 적용시켜보자. 앞에서 열거한 다수의 에이전트로 구성된 스테이션레벨의 사용자 인터페이스 시스템에서 계통운영자가 계통의 상태정보를 요청 시, Local HMI 에이전트는 상태추정 에이전트에게 정보를 요청하고 상태추정 에이전트는 상태추정에 필요한 데이터를 데이터 오류처리 에이전트에 요청하고 데이터 취득 에이전트는 측정 에이전트로부터 계통 데이터를 전달받게 된다. 물론 각 에이전트는 이러한 필요에 앞서 미리 수시로 필요작업을 할 수도 있고 요청을 인지하여 작업을 할 수도 있는 자율성을 갖는다. 만일 이 시스템에 독립적으로 개발된 Bad Data Detection 기능을 가진 에이전트를 추가한다고 가정해 보자. 기존 개념의 SAS에서는 우선 주 프로그램에서 새로 추가되는 모듈을 호출하는 루틴이 추가되어야 하고, 기타 이 모듈에 입력을 주는 모듈, 이 모듈의 출력을 이용하는 모듈이 각각 제 기능을 수행할 수 있도록 대대적인 변경이 필요할 것이다. 그러나 에이전트 기반 시스템에서는 주위의 각 에이전트는 변화된 환경, 즉 새로운 에이전트가 추가되었음을 인식하여 각자가 서로 어떻게 협력하여야 하는 가를 파악하여 작업을 수행하게 된다. 따라서 새로운 환경 하에서는 상태추정 에이전트는 데이터 오류검출 에이전트로부터 정보를 받으며 데이터오류검출 에이전트는 데이터 취득 에이전트로부터 데이터를 취득하게 된다. 이러한 일련의 과정이 모두 자율적으로 이루어짐은 물론이다. 이러한 에이전트 기반 시스템의 경우 자동화시스템 구축에 있어서 변화하는 미래기술발전에 대비한 시스템의 확장성과 유연성을 확보 할 수 큰 장점을 갖는다.

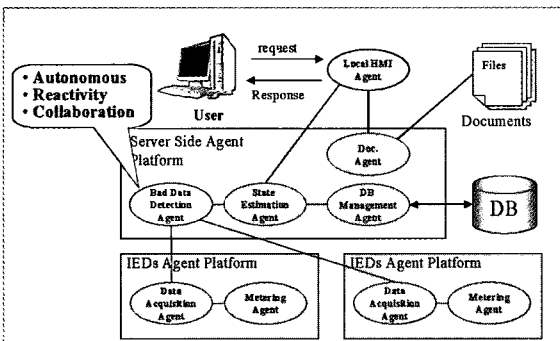


그림 4 에이전트 기반 시스템의 확장성

IEC61850 기반 변전소 자동화 시스템의 도입

기존의 프로토콜들은 데이터, 서비스, 통신이 모두 뒤섞여 있었다. 따라서 프로토콜이 각 제조업체의 기술에 종속적일 수밖에 없었고, 변전소 디바이스간의 상호 호환성 및 기능 확장 등에 많은 제약이 주었다. 향후의 변전소자동화에 있어 단일 업체가 변전소에 필요한 전체 설비를 모두 제공하는 것은 불가능한 일이

며, 통신 기술이 변화될 때마다 새로운 통신 프로토콜을 채용하거나 변전소 자동화 시스템을 교체하는 것도 바람직한 일이 아니다. 이를 해결하기 위해서 IEC61850에서는 변전소 자동화 방법을 데이터, 서비스, 통신 프로토콜 세 부분으로 나누어 정의하고 있다. 그림 2는 변전소 내의 기능에 따른 통신 인터페이스의 분류이다. IEC61850에서는 변전소 내에서 사용되는 통신을 총 10가지로 분류하여 변전소 외부와의 통신 인터페이스인 IF2, 10, 7을 제외한 변전소 내의 7가지 통신 인터페이스를 제공한다. IF9는 스테이션 레벨 내, IF1,6은 스테이션과 베이레벨 간 보호/제어, IF3는 베이레벨 내, IF8은 베이레벨 간, IF4, 5는 프로세스와 베이 간 VT/CT 순시 및 제어를 나타낸다. 이러한 다양한 인터페이스에는 다양한 전송 방법이 필요할 것이다. 예를 들면 고장 기록과 같이 많은 용량의 데이터를 전송하는 경우에는 파일 전송의 형식으로 전송되어야 하고, 트립 신호와 같이 고속 처리가 필요한 데이터는 가능한 빠른 시간에 전송될 수 있는 방식을 사용해야 할 것이다. 이러한 서비스들은 통신 프로토콜과의 맵핑을 통해서 이루어진다.

또한 IEC61850은 변전소 내의 모든 기능들과 데이터 모델들을 포함하고 있으며, 그 기능과 데이터에 대한 명칭을 표준화 하였다. 이런 표준화된 데이터를 사용함으로써 향후 기능 추가 및 변경 시 통신 프로토콜 수정에 사용되는 유지보수 비용이 감소하게 된다. 그림 6은 실제 변전소 내에서 사용되는 다양한 타입의 데이

터로부터 변전소 내의 기능을 표현하고 전달하기 위한 가장 작은 단위인 LN(Logical Node)들로 모델링 하는 과정이다. LN들을 통하여 상호기간의 통신이 가능하며, 현재 약 90개의 LN들이 표준으로 정의하였다. LN의 예로 OCR에 관련된 데이터와 기능은 PTOC로 명명하였고, 차단기에 필요한 데이터와 기능을 명명한 XCBR 등이 있다. 이런 LN들을 그룹화 하면 실제의 PD(Physical Device)들을 가상의 LD(Logical Device)로 나타낼 수 있다. 그룹화 모델링을 거친 LD들은 여러 제조업체들에 의해 만들어진 디바이스들과 상호작용 할 수 있는 정보와 데이터를 갖게 된다. 그림 3에서와 같이 IEC 61850에서는 이러한 모델링 과정을 거친 표준화된 데이터 교환을 위한 모델로 ACSI(Abstract Communication Service Interface)를 제공한다. ACSI 모델은 SCSM(Specific Communication Service Mapping) 과정을 거쳐 실제 이더넷 기반의 네트워크를 통하여 정보를 교환하게 된다. 변전소 내의 디바이스들을 통합하기 위해서는 어떤 장치가 데이터를 제공하는지, 어떤 장치가 데이터를 필요로 하는지, 이 데이터가 무엇인지, 데이터 전송을 위해 어떤 서비스가 필요한지 등의 정보를 파악해야한다. 이런 정보는 각 디바이스의 제조업자로부터 제공되어야 하는데, IEC61850에서는 다른 디바이스 간의 설명과 관계를 나타내는 XML 기반의 SCL(Substation Configuration Language) 변전소 구성 언어를 사용하여 변전소 구조를 엔지니어링 할 수 있다. 이런 SCL은 제조업자간의 엔지니어링 도구들 사이에서 상호 교환되어 통합 작업을 용이하게 할 것이다.

현재 IEC 61850의 표준화와 검증을 위해서 세계 20여개의 제조업체와 전력회사가 참여하고 있다. ABB, Siemens, ALSTOM, Omoicron 등의 전력기기 및 시험기기 제작사에서는 IEC 61850 규격에 맞춘 시제품을 개발해 가능성을 검증하는 단계에 이르렀다. 일부 전력회사는 IEC61850 규격에 따르는 변전소 자동화 시스템을 시험 적용하고, 현재 성능 검증 단계에 있다. 현재까지의 기술력 및 경험 등을 바탕으로 전 세계적으로 단일화된 변전소 자동화 규격인 IEC61850 제정이 곧 완료될 것이다. IEC 61850은 상이한 제조업체들의

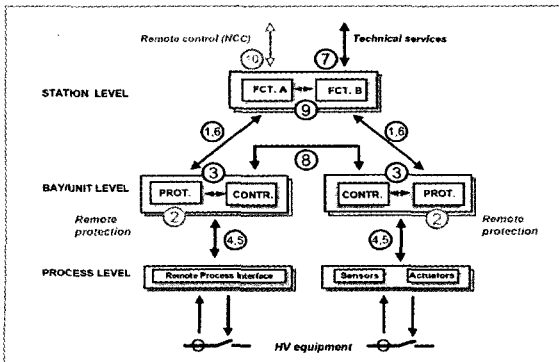


그림 5 변전소자동화 인터페이스의 종류

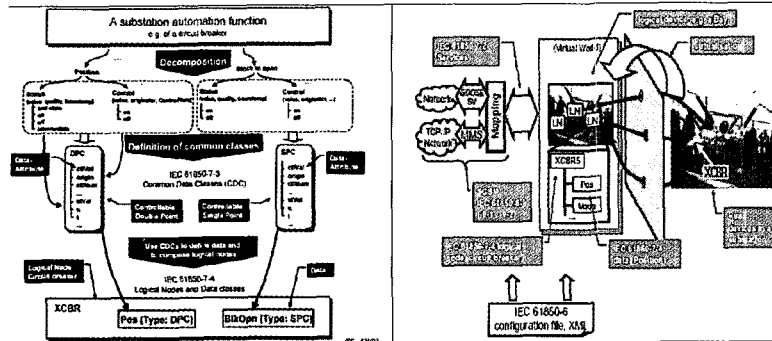


그림 6 Logical Node의 모델링과 시스템 모델링 과정

IED들 간의 상호작용의 가능성을 확보했으며, 전 세계 어디에서나 수용될 수 있는 유일한 국제 표준의 규격이다. IEC61850의 출현으로 변전소 자동화 시스템은 엔지니어링, 유지보수, 신뢰성 증대 및 전력 시스템 상호간의 정보교환의 융통성을 확보할 수 있는 등의 많은 이점을 가질 수 있을 것이다.

MAS 기반의 거리계전기 적응보호 시스템

WSCC에서 최근 10년 동안 발생한 전력계통의 동요를 분석한 결과 보호계전기의 응답이 동요현상의 75% 이상 포함되어 있었으며, 거리계전기의 Zone3 동작이 가장 큰 문제점으로 분석되었다. 거리계전기 동작에 의해 전력계통의 동요현상이 확대되는 것을 방지하기 위하여 세계 유수 전력회사 및 연구기관에서 거리계전기 Zone3의 응답 및 적응방안이 연구되고 있으며, 그 중 하나인 MAS 기반의 거리계전기 적응보호 시스템개념에 관하여 간략하게 소개하고자 한다. 본 개념은 현재 연구단계로서 아직 실현된 기술은 아님을 밝혀둔다.

거리계전기의 Zone3 동작 측면에서 북미 대정정의 진행과정을 살펴보면 가까운 지역의 3개 345kV 송전선로에 동시사고가 발생하여 3개의 선로가 탈락됨에 따라 3개의 송전선로에 흐르던 전력조류가 인근 선로로 흘러 선로의 과부하가 발생하고 거리계전기의 Zone3가 동작하여 선로가 차단되는 일련의 현상이 반복됨으로 정전범위가 확대되었

다. 이와 같은 거리계전기 Zone3의 응답을 방지하기 위한 예로 그림 7과 같은 MAS 기반의 적응보호 시스템을 들 수 있다. 각 변전소의 보호 제어 및 운용을 담당하는 IPIU(Intelligent Power Information Unit) 에이전트, IPIU간 협조를 담당하는 APP 에이전트, 그리고 광역의 정보를 취득하여 APP와 IPIU의 보

호범위 레벨로 계통을 축약하고, 인근 계통에 고장 및 동요현상이 발생했을 경우 거리계전기가 동작할 수 있는 가능성을 나타내는 SF(Sensitivity Factor) 지수를 계산하고, 고장 발생지점과 근접한 계통을 코디네이션할 수 있도록 필요한 정보를 APP 에이전트에게 전송하는 DS(Defense System) 에이전트로 구성된다.

MAS 기반의 적응보호 시스템을 이용한 거리계전기의 적응보호 방안으로는 그림 8에서와 같이 BUS01과 BUS03을 연결하는 선로와 BUS01과 BUS03을 연결하는 선로에서 고장이 발생했다고 가정하면 두 선로로 흐르던 전력 조류가 인접한 다른 선로로 흐르게 됨으로 전력 조류가 증가하여 거리계전기의 Zone3 동작 가능성이 발생한다. 이러한 경우 보호계전기가 동작한 변전소의 IPIU 에이전트는 APP 에이전트에게 동작 정보 및 해당 선로의 CB 상태 정보를 전송하게 되고 APP

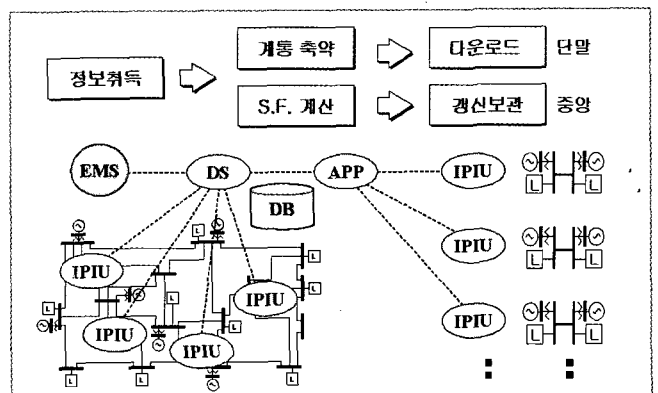


그림 7 MAS 기반의 거리계전기 적응보호 시스템

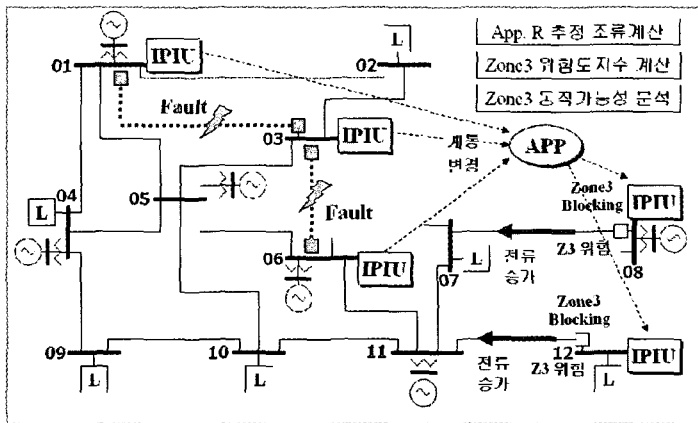


그림 8 Coordinator Agent를 이용한 거리계전기의 적응보호방안

에이전트는 선로가 차단된 축약 계통에서 조류계산을 수행하여 APP 에이전트가 담당하는 계통의 각 거리계전기의 Zone3 동작가능성 및 S.F.를 계산하여 해당 IPIU에게 거리계전기의 동작을 저지하도록 하는 신호를 전달한다. 동작 저지신호를 받은 IPIU는 현재 선로에 흐르는 조류를 확인하고, 송전선로의 열적 한계곡선을 이용하여 송전을 지속할 수 있는 시간을 계산하여 그 상태가 지속되면 해당 선로를 개방하도록 한다.

거리계전기 Zone3 동작에 의해 정전범위가 확대되는 것을 방지하기 위한 방안으로 MAS 기반의 거리계전기 적응보호 시스템을 예로 들었다. 위와 같이 각 계층별 에이전트를 구축함으로써 전력계통에서 발생하는 다양한 상황에 응동하는 보호계전기의 동작 안정도(Security)를 높일 수 있으며, 다양한 적응보호 방안을 적용하면 조류 증가에 의한 거리계전기 Zone3의 동작을 지연시키고 고장을 복구할 수 있는 시간을 확보하여 광역정전을 예방할 수 있는 시스템을 구축할 수 있다.

결론

최근 전 세계적으로 발생한 대규모 정전사태는 계통 상황 파악 연계 계통의 상황진단이 적절하게 이루어지지 않아 발생되었으며, 이러한 사태는 전력회사 간 그리고 계통연계지역 간의 정보전달 체계의 문제로 기인

한 것이다. 따라서 전력계통 운용에 필요한 광역의 정보전달 시스템의 융통성과 신뢰성이 보장된다면 크고 작은 정전 사태를 미연에 방지할 수 있으며, 본문에서 제시한 멀티 에이전트를 이용한 보호협조시스템 구성과 통신구조의 개방성과 상호 운용성을 확보할 수 있는 IEC61850 기반 변전소 자동화 시스템의 도입은 이러한 문제점을 해결해 줄 수 있을 것이다. 급격히 발전하는 다양한 인공지능 및 개방형 통신 프로토콜의 전력시스템에의 접목은 앞으로 계통운용에 있어서 정전을 최소화할 수 있는 것은 물론이며, 고효율과 고신뢰를 실현할 수 있을 것이다. 이에 대한 많은 관심과 연구가 요구된다.

[참고문헌]

- [1] Kevin Warwick, Artificial Intelligence Techniques in Power Systems, The Institution of Electrical Engineers 1997
- [2] Jacques Ferber, Multi-Agent Systems, Addison-Wesley 1999
- [3] IEC61850-7-x Communication Networks and Systems in Substations - Part 7: Basic communication structure for substation and feeder equipment (<http://www.iec.ch>)
- [4] Zhaoxia Xie, "An information architecture for future power systems and its reliability analysis", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 17, No. 3, Aug. 2002, pp.857-863
- [5] Xingbin Yu, "A practical approach for integrated power system vulnerability analysis with protection failures", IEEE Transactions on Power Systems Vol. 19, No. 4, Nov. 2004 pp.1811-1820