

Class 1E용 여자시스템 현장 적용

신만수*, 이주현*, 류호선*, 김정명**, 이병구***
 한전전력연구원*, 한국수력원자력 고리원자력본부**, 맥스파워(주)**

Application of excitation system for nuclear emergency diesel generator

Man-su Shin*, Joo-hyun Lee*, Ho-seon Ryu*
 KEPSCO KEPRI*

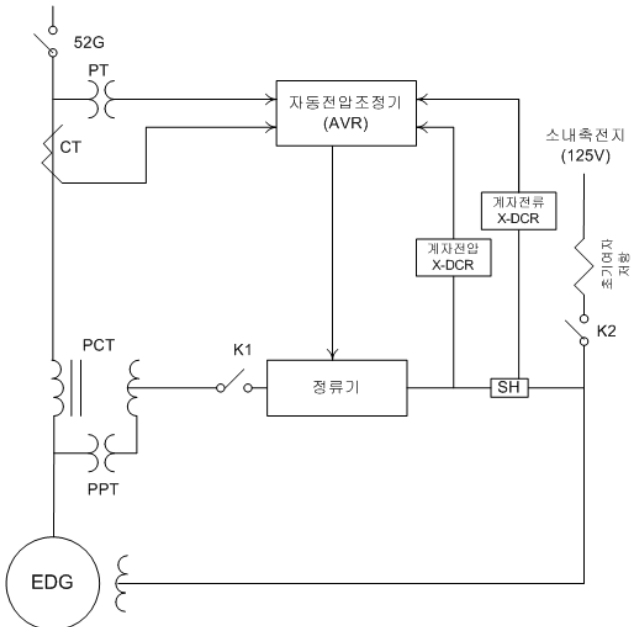
Abstract - The excitation system for nuclear emergency diesel generator has been developed and is commercially operating now. The characteristics are triple modular redundant controllers, double redundant rectifiers and digital system, comparing the existing(and removed) system.

1. 서 론

원전에 설치되는 기기는 원자력법 등에 의해서 방사능 안전의 중요성에 따라 안전등급과 비안전등급으로 나눌 수 있다. 원전 비상전원공급 디젤발전기 여자시스템은 '안전등급 설비에 구동전원이나 동력을 공급하는 기능'에 해당되어 안전등급에 해당된다.

기존 여자시스템은 그림 1과 같이 구성되어 있는데 그것을 개조하면서 그림 2와 같이 부분을 개선하였다. 즉, 기존의 여자시스템이 단일 채널의 제어기와 정류기로 구성된 반면에 개체될 여자시스템은 세 개의 채널, 즉 3중화 제어기와 두 개 채널, 즉 이중화 정류기로 구성하였다.

본 연구가 약 4년 가까이 소요되었는데 그렇게 장시간이 소요된 것은 기기검증시험과 소프트웨어 확인 및 검증활동, 신뢰성 분석 및 품질보증 활동, 규제기관의 인허가 소요 기간 등이 반영되었기 때문이었다. 또한 현장에 공기조화설비가 설치되지 않기 때문에 기기검증시험에서 수행하는 온도시험과 별개로 정격부하, 하절기 예상 최고온도 40[°C]에서 100 시간 온도시험을 별 이상없이 통과하였다.



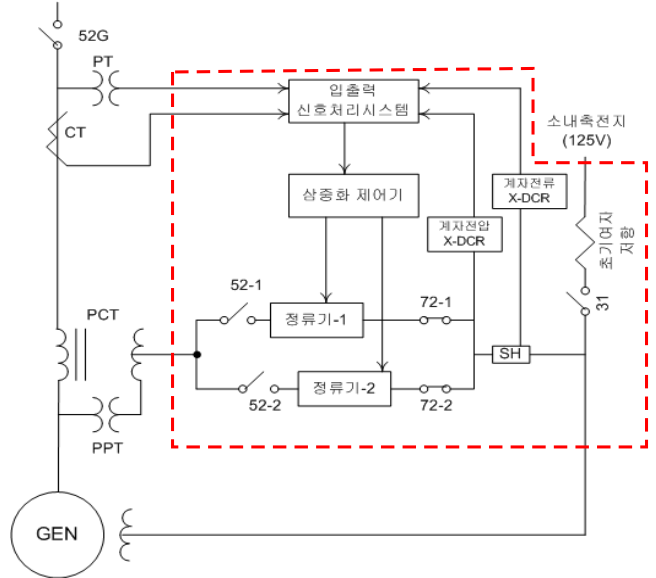
〈그림 3〉 여자시스템 구성도(기본)

2. 본 론

2.1 현장 적용 개요

별도의 여자시스템을 제작하여 기기검증시험을 수행하였고 그 과정에서 보완된 결과를 해당 원전 비상디젤발전기 여자시스템 제작에 반영하였다. 그리고 아날로그 여자시스템에서 디지털 여자시스템으로 개조되면서

새롭게 소프트웨어 확인 및 검증도 수행하였다.



〈그림 4〉 여자시스템 구성도(개체)

기존 여자시스템 큐비클의 내부 부품을 제거하고 그곳에 정류기 두 대를 설치하였고 그 옆에 새롭게 제어기 큐비클을 새롭게 설치하였다. 기존 인터페이스를 그대로 활용하였고 경보 신호를 새롭게 추가하였다. 제어기 큐비클은 외부 전문기관의 내진해석에 따라 기존 큐비클과 3cm 정도를 이격하여 설치하였다.

해당 원전의 한 호기에는 두 계열의 비상디젤발전기가 운용되며 거기에는 각각 여자시스템이 한대씩 설치되어 있다. 한 계열을 기준으로 살펴 보면, 현장 공사는 다음과 같은 순서이다. 각 소요 공정은 15일이었다.

신설 제어기 큐비클 하부 기초 보강작업을 실시 → 기존 케이블 철거 → 정류기 내부 판넬 철거 → 정류기 내부 판넬 설치 → 신설 제어기 설치 → 전선관 설치 및 케이블 포설 → 케이블 라인 점검 및 입출력 시험 → 시뮬레이터 시험(EDG 미기동) → 무부하 시험(시스템 튜닝) → 부하 시험(성능시험) → 준공

2.2 성능 시험(현장)

비상디젤발전기와 연계하여 튜닝하기 전에 전력연구원에서 개발한 동기발전기 시뮬레이터와 연계하여 여자시스템을 사전 검증한 결과 시운전 비용을 대폭 절감할 수 있었다. 타 호기 사례에서 보면 하루에서 수 일씩 걸리는 것을 2-3시간으로 단축하여 시운전 비용 절감과 공정관리에 지장을 주지 않았다.

성능시험 항목은 급기동모드에서 자동모드 전압확립시험, 완기동모드에서 자동모드 전압확립시험, 부족전압시험과 부하시퀀스시험, 단일 최대부하 차단시험, 24시간 연속 부하시험과 전부하 차단시험 등이 있으며 전부하 차단시험을 제외하고 모든 항목을 만족스럽게 실시하였다. 전부하 차단시험은 동기발전기 시뮬레이터 등으로 사전에 모의가 불가능한 관계로 시행착오를 겪었다. 그 중에서 가장 엄격한 시험항목인 급기동모드에서 전압확립시험 파형을 그림 5와 같이 나타내었다. 기동 요건이 기동 신호 발생 후 10초 이내에 규정된 전압과 주파수 이내로 확립하는 것인데 그림 5에서 보면 약 7초 정도에 요건을 만족하였다.

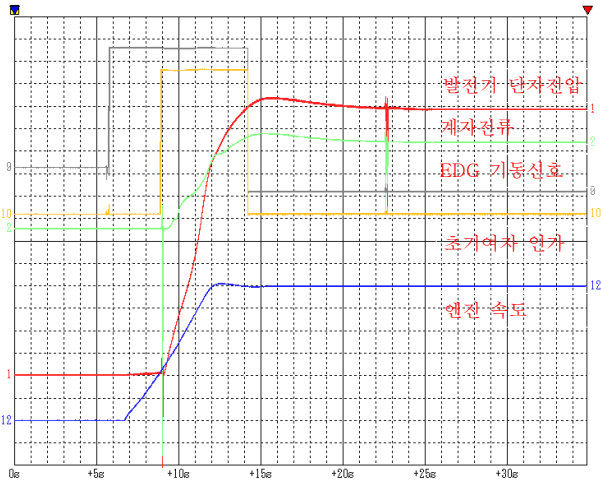


그림 5. EDG 급기동 파형

2.3 현장 적용시 애로사항

현장 적용시 새로운 제어기 큐비클을 설치 방법, 초기여차저항 문제, 전부하 탈락시험시 규정전압(정격전압의 115%)을 초과문제 등이 있었는데, 새로운 제어기 큐비클은 설치 문제는 외부 전문기관의 내진해석을 받아서 기존 큐비클과 3cm 정도의 이격거리를 둬으로써 해결하였으며, 초기여차저항문제는 0.5[Ω]을 2[Ω]으로 변경하여 오버슈트 문제를 해결하였다. 전(全) 부하 탈락시험시 규정전압 초과문제는 시지연요소인 트랜스듀서를 제거하여 해결하였다. 또한 기동방법도 아날로그 시스템에서 디지털 시스템으로 바뀌면서 그림 6에서 그림 7로 바뀌게 되었다. 그것을 다시 시간 순서로 신호 흐름을 나타낸 것이 그림 8과 같다.

편의성과 안전성 두 가지 측면 중에서 안전성 측면을 우선적으로 고려하는 것이 무엇보다도 힘들었다고 하겠다. 그리고 주발전기 여자시스템의 설계 개념을 상당부분 그대로 채용하다 보니 지나치게 과설계된 측면도 있다고 할 수 있을 것이다. 즉 주발전기 여자시스템에서는 온라인 유지정비 기능이 중요하지만 비상디젤발전기 여자시스템의 경우는 그 개념은 필요치 않다고 할 수 있으며, 그림 4의 정류기 출력측 개폐기들(즉, 72-1, 72-2)은 필요치 않다고 할 수 있다. 후속 호기에도 보다 향상된 것으로 기대된다.

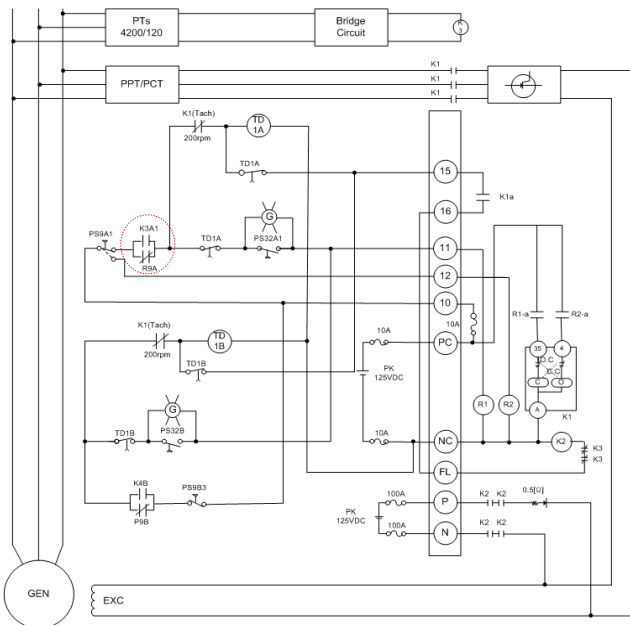


그림 6. EDG 기동/정지 회로도(기존)

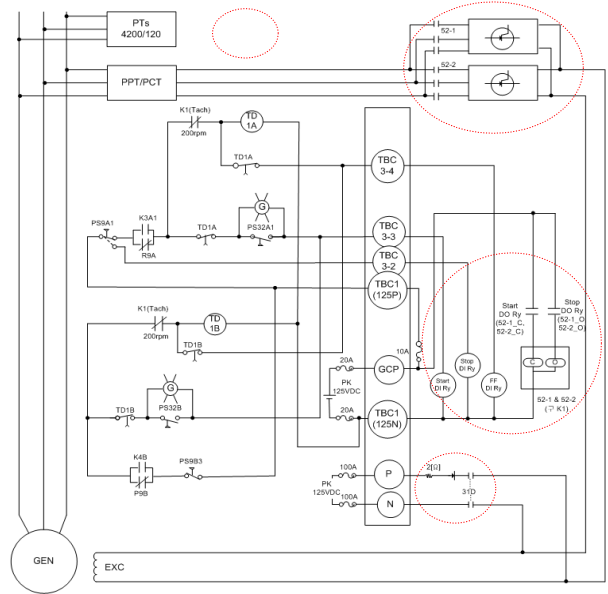


그림 7. EDG 기동/정지 회로도(개체)

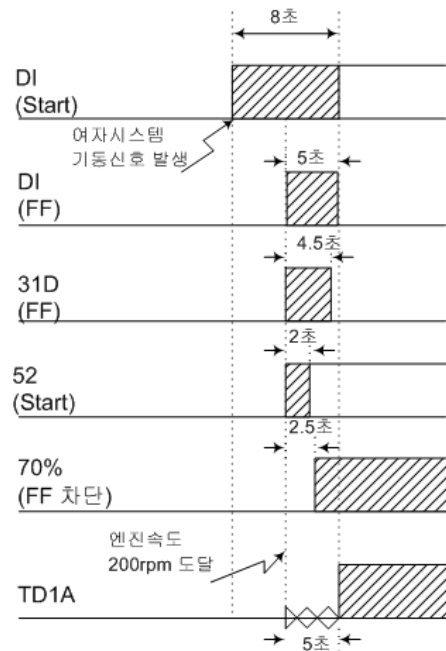


그림 8. EDG 급기동 Timing chart (개체)

3. 결 론

전(全) 부하 탈락시험시 규정전압을 초과하는 사례가 발생하여 시지연 요소를 제거하는 등의 개선작업을 하였다. 디지털 시스템이 원전 Class 1E 등급의 현장에 적용된 경우는 이번 사례가 국내 최후이다. 물론 시스템이 개발된 경우는 있지만 이처럼 현장에 적용되어 상업운전 중에 있는 사례는 처음이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 신만수 외 4, “Class 1E용 여자시스템 개발”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, p1953-1954, 2008
- [2] 신만수 외 4, “고리 4호기 비상디젤발전기 여자시스템 시운전보고서”, 2009
- [3] 한국수력원자력(주) 고리원자력본부, 고리 3-4호기 비상디젤발전기 여자시스템 도면, 2004