

노심보호/감시계통 운전성 시험 방법론의 개선

김준성, 인왕기, 윤태영, 임종선

한국원자력연구소

요 약

영광 3,4호기 노심보호연산기(CPC)와 노심감시계통(COLSS)의 운전성 시험은 실시간(on-line)으로 측정된 노심보호연산기 및 노심감시계통의 결과들(DNBR, LPD, DNBR 출력제한치, LHR 출력제한치)을 노심보호연산기 및 노심 감시계통 각각의 시뮬레이터 시스템(CEDIPS/CPC FORTRAN, COLSS FORTRAN)의 계산 결과와 비교하여 그 타당성을 검증하는 것이다. 그러나 기존의 노심보호연산기 및 노심감시계통의 운전성 시험자료 취득 방법은 관측(CPC)과 상세 보고서(COLSS)에 의한 것으로 정확한 자료 취득에 어려움이 있고 많은 시간이 소요되며 또한 자료 취득시 실수유발 가능성이 높다. 따라서 본 연구에서는 발전소 전산계통(Plant Computer System)으로부터 발전소 운전 상황을 순간적으로 기록한 자료(Snapshot)를 취하여 노심보호연산기 및 노심감시계통 운전성 시험에 필요한 자료를 자동으로 얻는 방법을 고안하였다. 또한 발전소 Snapshot으로부터 필요한 자료를 자동으로 얻어내기 위하여 컴퓨터 프로그램(CODAP)도 개발하였다. 본 연구에서 고안된 방법은 영광 3호기 1주기 CPC/COLSS 운전성 시험에서 검증이 되어 영광 4호기 1주기에 적용하였고, 이후의 후속기에도 적용할 예정이다.

1. 서 론

노심보호연산기(CPC)와 노심감시계통(COLSS)의 운전성 시험[1]은 노심 출력상승 시험 중 20%, 50%, 80%와 100% 출력에서 수행된다. 기존의 시험절차[1]에 의하면 노심보호연산기(이하 CPC)[2]의 운전성 시험은 관측된 CPC 입력신호들의 최저치와 최고치를 이용하여 CPC 시뮬레이터 시스템의 계산을 수행한다. 실시간으로 관측된 CPC의 DNBR과 선 출력밀도(LPD) 변화가 CPC 시뮬레이터 시스템으로 계산된 DNBR과 LPD의 허용변화 범위에내인지를 확인한다. 그러나 CPC의 자료취득 방법은 동 시간대의 시험자료 관측이 불가능하고, 입력신호 소음(Noise)으로 인해 그 변화가 심하여 정확한 관측이 어렵다. 이러한 문제점 때문에 영광 3호기 1주기 CPC 운전성 시험의 일부가 재 실시되기도 하였다. 또한 4개의 CPC 채널에 대해 각각의 시험자료를 취득해야 하므로 자료 취득시간 및 시험인력도 많이 소요된다. 노심감시계통(이하 COLSS)[3]의

운전성 시험은 정상운전 조건에서 상세 보고서(Detail Report)로부터 취한 약 250개의 COLSS 입력신호들을 이용하여 COLSS 시뮬레이터 계산을 통하여 얻은 DNBR 출력제한치(DNBRPOL) 및 LHR 출력제한치(LHRPOL)를 실시간 계산으로부터 얻은 DNBR 출력제한치 및 LHR 출력제한치와 비교한다. COLSS 시뮬레이터의 입력자료는 COLSS 상세 보고서로부터 수작업에 의해 생성되므로 시간이 많이 소요되고 자료생성 과정에서 잘못된 자료의 입력 가능성이 높은 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 CPC 작동 모듈에서 자료를 관측하거나 COLSS 상세 보고서로부터 자료를 취득하는 대신 발전소 전산계통(Plant Computer System)을 이용하여 필요한 자료를 자동으로 얻는 방법을 고안하였다. 즉, 발전소 전산계통을 이용하여 특정 시간에서의 발전소 주요 측정자료를 기록한 자료(Snapshot)를 취하면 CPC/COLSS 운전성 시험에 필요한 자료를 자동으로 얻을 수 있다. 발전소 Snapshot으로부터 필요한 자료를 자동으로 얻어내기 위하여 컴퓨터 프로그램(CODAP : CPC/COLSS Operability Data Acquisition Program)도 개발하였다. 본 연구에서 고안된 방법을 검증하기 위하여 영광 3호기 1주기 CPC/COLSS 운전성 시험에 적용해 보았다.

2. CPC 및 COLSS 운전성 시험

2.1 CPC 운전성 시험

CPC 운전성 시험은 발전소 운전조건을 정상상태로 유지시킨 후 주제어실 내의 4개의 CPC 작동모듈에서 12개의 주요 입력신호와 2개의 CPC 계산결과(DNBR 및 LPD) 변화를 최소 1분 이상 관측하여 최소치와 최고치를 기록한다. 이렇게 관측된 CPC 운전성 시험 입력자료들을 이용하여 CPC 시뮬레이터 시스템(CEDIPS/CPC FORTRAN)을 실행시킨다. CEDIPS[4](CE Digital Protection Simulator)는 CPC 운전성 시험을 지원하기 위한 전산 코드로서 두개의 주요 서브루틴(Phase 1, Phase 2)으로 구성되어 있다. CEDIPS Phase 1은 관측된 CPC 입력 신호들의 최저치와 최고치로부터 각각의 조합을 고려하여 CPC FORTRAN 입력파일을 생산한다. CPC FORTRAN[5]은 CPC 시뮬레이터로서 CEDIPS Phase 1에서 생산된 입력자료 파일을 사용하여 DNBR 및 LPD를 계산한다. 이렇게 계산된 각각의 운전조건에서의 DNBR 및 LPD 값들로부터 다시 CEDIPS Phase 2에 의해 최저치와 최고치를 얻어낸다. CPC 작동모듈에서 관측된 DNBR 및 LPD 변화 범위(최저치, 최고치)는 CPC 시뮬레이터 시스템의 DNBR 및 LPD 범위 이내에 들어야 한다. 그러나 위와 같은 기존의 CPC 운전성 시험자료 취득 방법은 주요 CPC 입력자료를 동 시간대에 관측할 수 없으며 그 변화가 심하여 정확한 관측이 어렵다. 또한 4개의 CPC 채널에서 자료관측이 각각 이루어져야 하므로 자료 취득시간도 많이 소요되는 단점이 있다 (4명이 각 1시간씩). 이와 같은 기존 CPC 운전성 시험자료 취득방법의 단점을 보완하기 위해 자료취득의 자동화 방법을 고안하였다. 개선된 CPC 운전성 시험자료 취득방법은 발전소 운전상황을 순간적으로 기록한 자료(Snapshot)를 이용하여 CPC 입력신호 및 계산결과를 동시에 취득하는 것이다. Snapshot은 CPC 운전성 시험에 필요한 자료를 모두 포함하고 있는 아스키자료파일로서 운전원의 요구시에 생성된다. 정상운전 상태에서 일정시간 동안 약 30초 간격으로 생성된 Snapshot들을 개인용 컴퓨터로 전송한 뒤 본 연구에서 개발한 프로그램인 CODAP을 사용하여 CPC 입력신호 및 실시간 계산결과의 최저치와 최고치를 추출해 낸다. 이하의 시험절차는 기존의 절차와 동일하다.

2.2 COLSS 운전성 시험

기존의 COLSS 운전성 시험은 COLSS 상세 보고서에 기록된 약 250개의 COLSS 입력신호들로부터 수작업을 통하여 COLSS 시뮬레이터(COLSS FORTRAN) 입력자료를 생산한다. COLSS FORTRAN[6]은 COLSS 시뮬레이터로써 수작업을 통하여 만들어진 입력자료를 사용하여 DNBR 출력제한치와 LHR 출력제한치를 계산한다. 상세 보고서에서 얻어진 DNBR 출력제한치 및 LHR 출력제한치는 COLSS 시뮬레이터의 DNBR 출력제한치 및 LHR 출력제한치와 허용오차(0.2%) 이내에서 일치하여야 한다. 그러나 기존의 COLSS 운전성 시험자료 취득 방법은 상세 보고서로부터 시험자료들을 수작업을 통하여 COLSS FORTRAN 입력자료로 만드는데 많은 시간이 소요되며 (1명이 1시간), 많은 입력자료를 수작업으로 생산하는 과정에서 오류가 발생할 소지가 크다. 이와 같은 기존 COLSS 운전성 시험자료 취득 방법의 단점을 보완하기 위해 자료취득의 자동화 방법을 개발하였다. 개선된 COLSS 운전성 시험자료 취득방법은 개선된 CPC 운전성 시험방법에서와 같이 발전소 운전상황을 순간적으로 기록한 자료(Snapshot)를 이용하는 것으로써 개선된 CPC/COLSS 운전성 시험절차에 따르면 CPC와 COLSS의 운전성 시험자료를 동시에 취할 수 있다. 개선된 절차는 Snapshot을 이용하여 COLSS 입력신호를 COLSS FORTRAN 입력자료로 자동적으로 만드는 것이다. Snapshot은 CPC 운전성 시험에 필요한 자료와 함께 COLSS 운전성 시험에 필요한 자료를 모두 포함하고 있다. 정상운전 상태에서 취한 Snapshot을 개인용 컴퓨터로 전송한 뒤 본 연구에서 개발한 프로그램인 CODAP을 사용하여 COLSS 시뮬레이터 입력자료를 생산한다.

3. 시험결과 및 고찰

본 연구에서 고안한 CPC 및 COLSS 운전성 시험자료 취득방법을 검증하기 위해 영광 3호기 1주기 시운전 시험시 20%, 50%, 80%, 100% 출력에서 기존의 시험자료 취득방법과 함께 Snapshot 자료를 취득하였다. 그림 1 - 2는 20%, 50%, 80% 출력에서 개선된 시험절차에 따른 4개의 CPC 채널의 DNBR과 LPD 시험결과이고, 그림 3은 100% 출력에서의 시험결과를 기존 방법과 비교하여 나타낸 것이다. 그림 1 - 3의 결과에서 알 수 있듯이 모든 노심 출력에서 CPC 실시간으로 계산된 DNBR과 LPD의 변화는 CPC 시뮬레이터 시스템으로 계산된 DNBR과 LPD의 변화 허용 범위 내에 있으므로 CPC 운전성 검증요건이 만족되었다. 특히 그림 3은 100% 출력에서의 두 가지 시험자료 취득방법에 따른 CPC 4개의 채널(A, B, C, D)에서 DNBR과 LPD 시험결과를 나타낸다. DNBR과 LPD의 시험결과는 모두 CPC 운전성 시험허용 요건을 만족하고 있으며 개선된 시험절차에 의한 DNBR과 LPD의 변화허용 범위가 더 넓게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것은 개선된 운전성 시험자료 취득방법을 사용하면 필요한 시험자료의 동시 취득과 함께 보다 정확한 자료취득이 가능하기 때문이다. 그림 4는 노심 출력 20%, 50%, 80%, 100% 각각에서 개선된 시험절차에 의한 COLSS 운전성 시험결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 출력구간에서 Snapshot 자료로부터 얻어진 실시간으로 계산된 DNBRPOL과 LHRPOL은 COLSS 시뮬레이터로 계산된 DNBRPOL과 LHRPOL의 허용오차인 0.2% 범위 이내에서 일치한다. 따라서 본 연구에서 고안한 개선된 시험자료 취득방법을 영광 3호기 1주기 CPC/COLSS 운전성 시험에 시험적으로 적용해 본 결과 시험 허용요건이 만족되는 것을 확인 할 수 있다. 또한 기존의 시험자료 취득방법에 비해 보다 정확한 시험 자료의 취득이 가능하고 시험 시간도 단축시킬 수

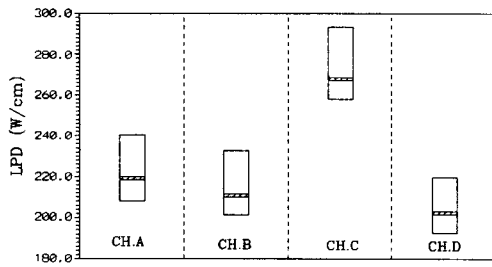
있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

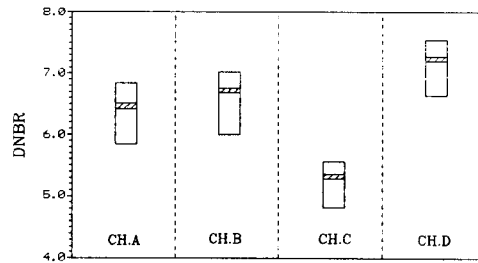
발전소 운전상황을 순간적으로 기록한 자료(Snapshot)를 이용한 노심보호연산기(CPC)와 노심감시계통(COLSS)의 운전성 시험자료 취득방법을 영광 3호기 1주기에 시험적으로 적용해 보았다. 기존의 시험자료 취득방법에 의한 시험결과와 마찬가지로 CPC와 COLSS의 운전성 시험결과는 각각의 허용요건을 만족시켰다. 그러나 기존의 시험자료 취득방법에 비해 Snapshot 자료를 이용한 CPC/COLSS 운전성 시험 방법론은 CPC/COLSS 운전성 시험 허용요건의 여유도를 증가 시켰다. 또한 Snapshot 자료를 이용한 방법을 적용하면 좀더 정확한 시험자료의 취득이 가능하며 시험시간도 크게 단축시킬 수 있다. 더불어 시험자료 취득에 대한 운전원의 부담을 줄여 시험중 실수를 방지할 수 있는 잇점이 있다. 본 연구에서 고안된 방법은 영광 3호기 1주기 CPC/COLSS 운전성 시험에서 검증이 되어 영광 4호기 1주기에 적용하였고, 이후의 후속기에도 적용할 예정이다.

참고문헌

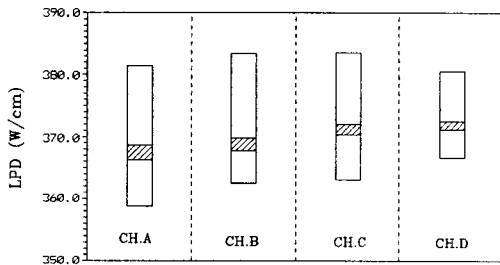
1. Combustion Engineering Inc., "CPC/COLSS Operability Test Procedure for Yonggwang Nuclear Power Plant, Unit 3," 10587-SE-TP570-07, Revision 01, March 17, 1994.
2. Combustion Engineering Inc., "Functional Design Requirements for a Core Protection Calculator," CE-NPSD-335-P, Revision 02-P, April, 1988.
3. Combustion Engineering Inc., "Functional Design Requirements for a Core Operating Limit Supervisory System (COLSS)," CE-NPSD-423-P, Revision 01-P, December, 1988.
4. Combustion Engineering Inc., "Yonggwang Nuclear Power Station-Units No. 3&4 CEDIPS User's Manual," CE-NPSD-773-P.
5. Combustion Engineering Inc., "CPCFORTRAN User's Manual," CE-NPSD-439-P.
6. Combustion Engineering Inc., "COLSS FORTRAN User's Manual," CE-NPSD-436-P, December 1987.



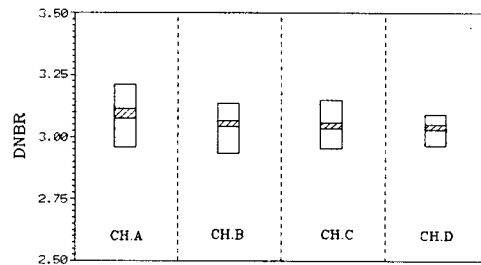
(a) 20% Power



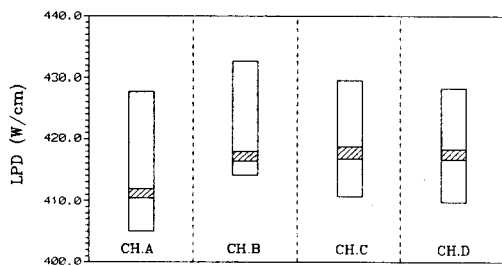
(a) 20% Power



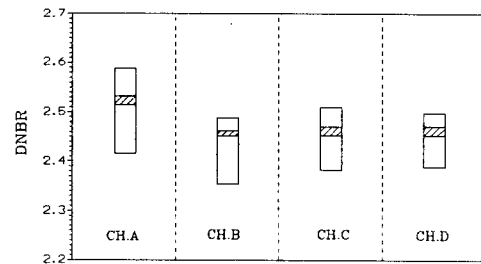
(b) 50% Power



(b) 50% Power



(c) 80% Power



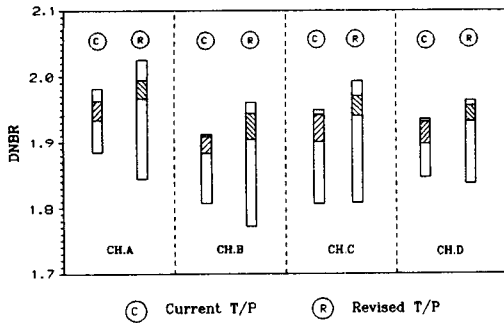
(c) 80% Power

▨ Measured value

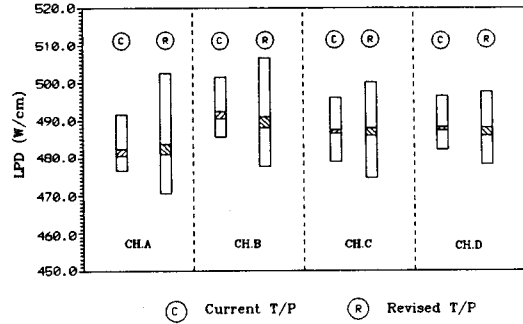
□ Calculated value
(Acceptable Range)

그림 1 영광 3호기 1주기 개선된 CPC 운전성 시험 LPD 결과

그림 2 영광 3호기 1주기 개선된 CPC 운전성 시험 DNBR 결과



(a)



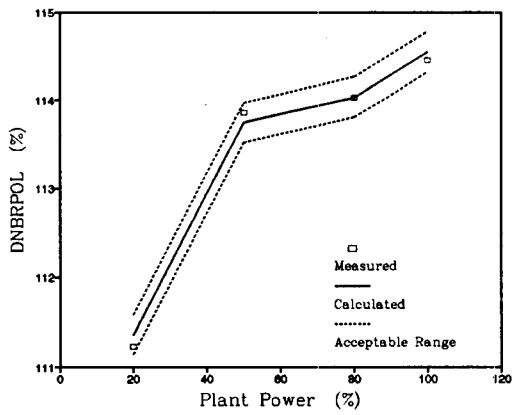
(b)

Measured value

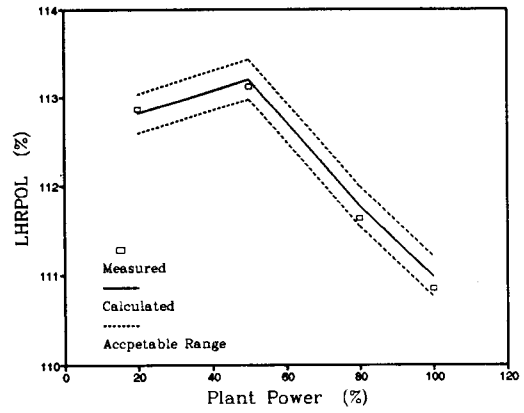
Calculated value
(Acceptable Range)

그림 3 영광 3호기 1주기 CPC 운전성 시험결과 (100% 출력)

(a) DNBR (b) LPD



(a)



(b)

그림 4 영광 3호기 1주기 개선된 COLSS 운전성 시험 결과

(a) DNBRPOL (b) LHRPOL