

원자로 검사로봇의 신뢰도 분석

Reliability Assessment of the Robotic System for Ultrasonic Inspection of Reactor Vessels

°엄홍섭*, 이재철**, 김재희***

*한국원자력연구소 종합안전평가팀 (Tel: 042-868-2088; Fax: 042-862-7269; E-mail: ehs@kaeri.re.kr)
**한국원자력연구소 종합안전평가팀 (Tel: 042-868-8236; Fax: 042-862-7269; E-mail: jcleec2@kaeri.re.kr)
***한국원자력연구소 종합안전평가팀 (Tel: 042-868-2085; Fax: 042-862-7269; E-mail: jaehkim@kaeri.re.kr)

Abstract: The robot systems used in nuclear power plants need to be both reliable and safe. As a part of the "Validation of nuclear safety-grade equipment" project, we established reliability analysis program and performed a number of analysis using conventional reliability analysis techniques. This paper describes the procedures, techniques, and results of the analysis utilized in our project. In addition, the paper includes current status of reliability analysis techniques and the summary of foreign case studies

Keywords: robot, reliability, safety, analysis

1. 서론

원자력발전소에서 사용되는 로봇은 원자력발전소의 높은 안전요구사항에 따라 고 신뢰도를 요구한다. 로봇의 신뢰도에 영향을 미치는 요인들을 보면 하드웨어 부분, 소프트웨어 부분, 하드웨어와 소프트웨어의 상호작용, 센서나 외부 장비와의 통신, 외부 환경과의 상호작용 등과 같이 타 시스템에 비해 매우 복잡하다. 따라서 적절한 신뢰도 분석을 위해서는 체계적인 절차와 분석방법이 요구된다. 본 논문에서는 현재 각 산업분야에서 널리 사용되는 신뢰도 분석 기법들과 외국의 로봇 시스템 신뢰도 분석 케이스 그리고 원자력연구소에서 원전 안전등급 기기 성능개선 기술개발 과제의 한 부분으로 개발중인 원자로 검사로봇의 신뢰도 분석을 위해 사용된 분석 절차와 기법 그리고 분석 결과를 시스템의 설계 및 제작에 피드백한 내용 및 관련 기술현황에 대해 기술하였다. 2장에서는 개발 중인 원자로 검사 장비의 개요를, 3장에서는 일반 신뢰도 분석 기법들과 외국의 분석 사례를 및 로봇 시스템의 신뢰도 분석 시 요구되는 특이 사항들, 4장에서는 개발중인 검사로봇 장비의 신뢰도 분석과 그 결과를 설계 및 제작에 반영한 내용 그리고 향후 계획을 기술하였고 5장에서는 결론을 기술하였다.

2. 시스템 개요

당 연구소에서 개발 중인 원자로 검사 장비[6]는 주 제어 컴퓨터 시스템(Main Control System: MCS)과 수중 이동로봇 시스템(Reactor Inspection Robot: RIROB) 그리고 로봇의 이동경로를 지시하는 레이저 위치 지시 시스템(Laser Pointer: LASPO)으로 구성되어 있다. 이들 중 로봇 시스템에 해당되는 시스템은 RIROB과 LASPO이다. 원자로 검사 장비를 구성하는 각 서브 시스템의 특징과 주요 기능은 다음과 같다.

2.1 주 제어 시스템(MCS)

검사 계획의 수립과 장비의 제어에 필요한 각종 데이터의 생성 그리고 전체 검사장비의 원격 통합제어가 주 기능이다. 산업용 퍼스널컴퓨터와 윈도우즈 운영체제가 기반으로 되어있으며 사용자 인터페이스 프로그램을 비롯해 검사 작업을 수행

하기 위해 개발된 응용 프로그램이 여기에서 운영되고 있다. 이 서브 시스템은 수중이동 로봇과 레이저 위치 지시기 그리고 원자로 검사에 사용되는 초음파 신호처리 시스템과 시리얼 통신 방식으로 연결되어 있으며 세부 기능은 다음과 같다.

- 검사계획 자료의 작성
- 검사장비 서브 시스템의 캘리브레이션
- 초음파 신호 수집 시스템과의 통신
- 검사 경로 계산
- RIROB, LASPO와 같은 타 서브시스템 제어
- 검사 상태 표시
- 검사 시 비상 상태 처리

2.2 RIROB

원자로 내부의 벽을 따라 수중에서 이동하는 로봇 시스템으로 초음파신호 수집 모듈이 부착되어 있는 4 자유도의 소형 매니퓰레이터를 장착하고 있다. 무게는 약 50Kg이며 수중에서는 RIROB 본체에 장착된 Float로 인해 무게가 소멸되도록 설계 제작되었다. 레이저 위치 지시기인 LASPO의 제어에 따라 원자로 내부 벽을 자석바퀴를 사용하여 이동하며 경사계와 수압계 센서를 비롯한 각종 센서와 소프트웨어를 사용하여 자세 제어가 가능하다. 그리고 로봇 전단에 카메라와 램프를 부착하고 있어 검사 중 검사자가 육안으로 검사진행 상황을 감시할 수 있게 되어있다. 주요 기능은 다음과 같다.

- 검사용 초음파신호 수집 모듈 제어
- 현 검사위치의 상태를 검사자에게 영상 전송

2.3 LASPO

RIROB의 이동 경로를 지시하는 시스템으로 원자로의 상단 플랜지를 가로지르는 I형 앵글 중앙에 장착된다. 이 레이저 위치 지시기는 다이오드 레이저가 부착된 팬-틸트(pan-tilt) 형태의 장치로서 0.002 degree/step 이하의 해상도를 가지는 스테핑 모터에 의해 정밀하게 제어된다. 주요 기능은 RIROB의 위치 제어이다.