

원전 사고처리 지원시스템(ECAS) 개발

최영환[†] · 김영미^{*} · 고한옥^{**}

Development of Event Corrective Action Supporting System (ECAS) in Nuclear Power Plant

Young Hwan Choi[†], Yopng Mi Kim^{*} and Han Ok Ko^{**}

ABSTRACT

In this study, Event Corrective Action Supporting System (ECAS) is developed for the accident evaluation in nuclear power plant. The ECAS system can be used in supporting regulator and/or operator under event situation in nuclear power plants. The ECAS system consists of 5 modules including failure location module, failure analysis module, failure integrity evaluation module, system vulnerability evaluation module, and reporting and operating experience feedback module. The ECAS system will be used as sub module of Knowledge-Based Event Evaluation Network (K-EvENT) which is developing for the against the accident in nuclear power plants.

Key Words : Event(사고), Corrective Action(사고처리), Nuclear Power Plant(원전)

1. 서 론

원전 사고 발생 시에는 이에 대처하기 위해 사고유형 및 추이분석, 사고영향평가, 기기취약성 평가, 원전 사고처리 등이 요구된다. 최근 IT 기술의 발달에 따라 원전 사고 처리에 대한 실시간 지원이 가능해지고 있으며, 이를 활용한 사고처리 지원 시스템 개발이 요구되고 있다. 현재 정부 지원으로 원전 사고발생시 사고대응을 위한 지식기반 원전사고 시스템(Knowledge-based Events Evaluation Network, K-EvENT)이 개발 중이다^{1,2)}. K-EvENT 시스템은 원전 사고시 사고유형 및 추이를 분석하고 사고영향평가, 기기취약성 평가, 등의 사고대응책을 지원하기 위한 것으로 '국가 운전경험 반영체계'와 연계를 통해 능동적이고 실시간적인 사고

대응을 지원하는 시스템이다³⁾.

원전 사고처리를 위해서는 사고진단, 손상위치 확인, 손상평가, 손상부위 건전성 평가, 계통취약성 평가, 보고 및 운전조치 등이 요구된다.

본 연구에서는 K-EvENT 시스템의 서브 모듈로서 원전 사고조치 지원시스템(Event Corrective Action supporting System, ECAS)을 웹기반으로 개발하였다.

2. ECAS 시스템의 기본 개념

ECAS 시스템은 사고 발생시 사고 처리를 지원하기 위한 시스템으로 개발되었다. Fig. 1은 ECAS 시스템의 기본 개념을 보여주는 그림이다. ECAS 시스템은 다음 5단계의 step으로 구성된다.

Step 1 : 손상위치 확인

Step 2 : 손상 분석

Step 3 : 손상부위 건전성 평가

Step 4 : 계통 취약성 평가

Step 5 : 보고/운전조치 및 국가운전경험반영체계

[†] 책임저자, 회원, 한국원자력안전기술원 공학연구소

E-mail : young@kins.re.kr

TEL : (042) 868-0167 FAX : (042)861-0945

* 한국원자력안전기술원 공학연구소

** 한국원자력안전기술원 공학연구소

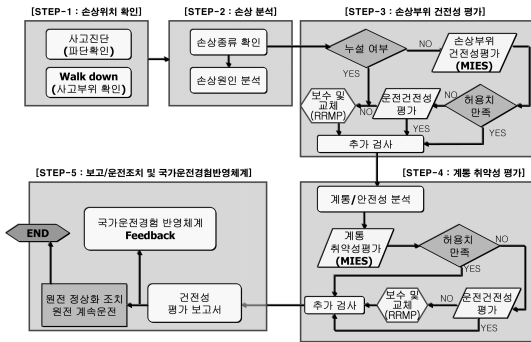


Fig. 1 Basic Concept of ECAS (Event Corrective Action Supporting System)

ECAS 시스템은 기본적으로 web 기반으로 구축되어 있다. 각 Step은 web 상에서 일관 흐름으로 연결되며, 한 Step이 종료된 후, 다른 Step으로 이동하게 된다. 각 단계별 확인 및 평가를 위해 별도의 web page로 이동하는 경우도 있으며, 확인 및 평가 후에는 다시 원래 web page로 복귀하여 사고 조치 지원을 계속하게 된다.

3. ECAS 시스템의 모듈 개발

3.1 손상 위치 확인 (Step 1)

사고 발생시 손상 위치의 확인은 사고 대응을 위해서는 가장 우선적으로 조치되어야 한다. 손상 위치 확인은 다음 세 가지 방법으로 수행된다.

- (1) 원전 운전 상태에서 사고 진단
- (2) 방사선감시 경보로 위치 확인
- (3) 운전원의 순시(walkdown)

먼저 원전 운전 상태에서 사고를 진단하는 것은 주로 LOCA(Loss of Coolant Accident), SGTR (Steam Generator Tube Rupture), ESDE(Excess Steam Demand Event) 등 대형 사고가 발생했을 경우이다. 가압기 수위 및 압력의 변동, RCS 재냉각도 및 증기발생기 압력, 격납건물 압력 변동 등을 확인하여 사고 진단을 수행한다. Fig. 2는 표준 원전에 적용되는 사고 진단 절차이다.⁴⁾ 사고 진단을 통해 5개 범주의 사고 유형을 평가함으로써 사고 위치를 결정할 수 있다.

다음 방법은 방사선감시 경보로 사고 위치를 확인하는 방법이다. 원전에는 지역 방사선감시와 계

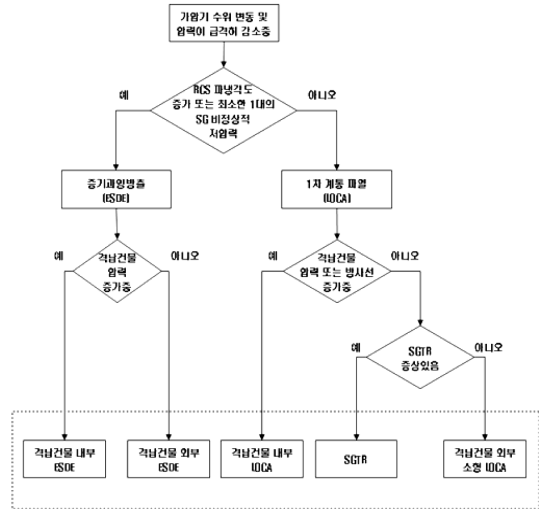


Fig. 2 Event Diagnosis Procedure [##]

통 방사선감시 설비가 되어 있으며, 설정치 초과시 경보를 발생한다.⁵⁾ 따라서 사고시 방사선 경보가 발생하면, 사고의 위치나 흐름을 판단하는 데 도움을 준다.

위의 두 가지 방법은 사고 위치를 대략적으로 판단하는데 도움을 주는 방법이며, 실제 사고 위치는 운전원은 순시(Walkdown)에 의해 확인된다. 운전원 순시를 위해서 발전소 배치도(GAD), P&ID, ISO Drawing, ISI Drawing, VRP Plant 등의 위치 자료가 요구되며, ECAS 시스템에서는 표준원전에 대한 상기 자료를 web 상에서 제공해 주고 있다.

3.2 손상 분석 (Step 2)

손상이 확인되면 손상 원인을 분석해야 한다. 손상 분석은 (1) 방사선 방호, (2) 파단면 검사, (3) 가동중검사 기록 확인, (4) 운전경험 사례 조사, (5) 근본원인 분석(Root Cause Analysis) 등의 절차를 통해 수행된다.

손상 분석이 수행된 후에는 사건보고서(Event Report)를 작성한다. 사건보고서는 Table 1에 기술된 바와 같이 Event, Plant, Failure, Component, Corrective Action, Reference, Event Input에 대한 총 24가지의 데이터를 입력한다.

3.3 손상부위 건전성 평가 (Step 3)

손상 부위의 건전성 평가는 크게 사고로 인해

Table 1 Event Report

Event	Event ID	연도-일련번호
	Event Date/Time	년-월-일, AM/PM 시-분
	Event Narrative	사건 개요 기술
Plant	Plant Name	고리1~4, 영광1~6, 울진1~6, 월성1~4
	Plant Operating State	Normal Operation, O/H, Heat-up, Cool-down
	Impact on Plant	Reactor Trip, Manual Shutdown, Power Reduction, Normal Operation
Failure	Failure Narrative	손상 상세 기술
	Failure Detection	MCR Alarm, Walkdown, Inspection, Testing
	Failure System	손상 계통
	Failure Component	Vessel,Piping/Tubing,Pump,Valve,HxTube,Penetration>
	Failure Location	손상 위치 기술
Component	Component Class	<Class 1, 2, 3, Non-Class> (총 4개)
	Component Material	재질 기술
	Component Dimension	기기에 대한 형상 및 크기 상세 기술
	Component Design	운전온도/운전압력, 설계온도/설계압력
	Failure Dimension	결함/감육/파단에 대한 형상 및 크기 상세 기술
Corrective Action	Leak Rate (gpm)	누설율
	Root Cause	근본 원인 입력
	Corrective Action	<Repair, Replacement, No CA, Plugging, Sleeveing>
Reference	CA Narrative	조치사항 상세 기술
	Reference #1	참고문헌-1
	Reference #2	참고문헌-2
Event Input	Reference #3	참고문헌-3
	Event Input	사건 입력일, 입력자

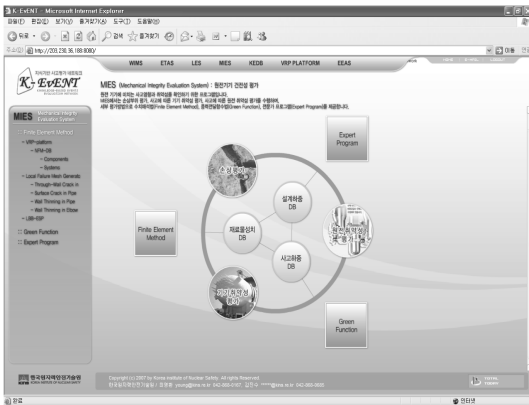


Fig. 3 MIES Module in K-EVENT System

관통 결함이 나타나고 이로 인해 누설이 발생하는 경우와 결함이 관통되지 않아 누설이 나타나지 않는 경우로 나눌 수 있다. 누설이 나타날 경우, 코드 요건을 무조건 만족시키지 못하기 때문에 반드시 보수 또는 교체를 하여야 한다.⁶⁾

누설이 없는 경우에는 결함에 대한 건전성 평가

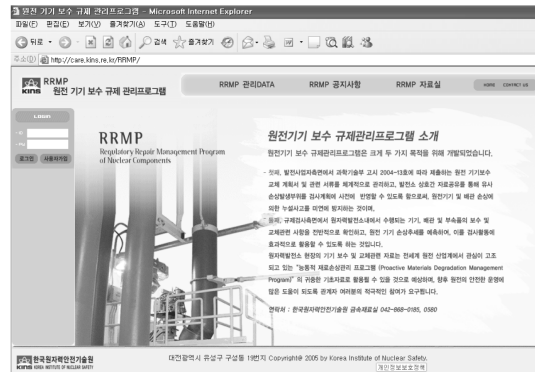


Fig. 4 Web page of RRMP System

를 수행하여야 하며, 이 건전성 평가는 K-EVENT 시스템의 MIES 모듈 및 RRMP 시스템을 통해 수행된다.^{1,2)} Fig. 3은 MIES 모듈을 보여주는 그림으로, MIES 모듈에서는 기기건전성을 전문가시스템, FEM 방법, Green Function 방법 등으로 평가한다. Fig. 4는 RRMP(Regulatory Repair Management Program) 시스템의 초기 화면이다.

건전성 평가 결과, 허용치를 만족하는 경우에는 동일 기기 및 동일 계통에 대한 추가 검사를 수행하여야 한다.⁶⁾ 허용치를 만족하지 못하는 경우에는 운전 건전성 평가를 수행하며, 이때는 물성치나 운전하중을 설계시 사용한 데이터 대신 사용할 수 있다. 다만, 운전 건전성 평가 수행에 대해서는 규제기관의 승인을 별도로 받아야 한다.

운전 건전성 평가에서도 허용치를 만족시키지 못할 경우에는 코드 요건에 따라 보수 또는 교체를 수행하여야 한다.

3.4 계통 취약성 평가 (Step 4)

손상 부위에 대한 건전성 평가 또는 붓/교체가 완료된 다음에는 계통 취약성 평가를 수행한다. 계통 취약성 평가는 계통내 손상을 가정하지 않고 건전성을 평가하는 것으로, 사고로 인해 발생한 하중을 사용하여 평가한다.

계통 취약성 평가를 통해 사고로 인해 취약해진 부분을 확인할 수 있으며, 취약의 정도가 코드 허용치를 만족하는 지를 평가함으로써 계통의 계속 사용 여부를 결정하게 된다. 코드 허용치를 만족하지 않는 경우에는 운전 건전성 평가를 수행하거나 보수/교체를 수행한다.

3.5 보고/운전조치 및 국가운전경험반영체계 (Step 5)

사고에 대한 건전성 및 취약성 평가가 완료되면, 이에 대한 보고서를 작성하며, 이를 근거로 원전 계속 운전 등 원전 정상화 조치를 취하게 된다.

사고 경험은 국가 운전경험 반영체계에 반영하여 동일한 유형의 사고가 반복하여 발생하지 않도록 조치한다.³⁾

4. Web 기반 ECAS 시스템 개발

본 연구에서는 web 기반의 ECAS 시스템을 개발하였다. ECAS 시스템의 관련 문서와 데이터, 평가 모듈을 web 상에서 처리할 수 있도록 구현하였다. Fig. 4는 web 기반의 ECAS 시스템 초기 화면이다. Step 1(손상 위치 확인)과 Step 2(손상 평가)는 별도의 web page로 이동하게 된다.

Step 1(손상 위치 확인)에서 사용되는 위치 자

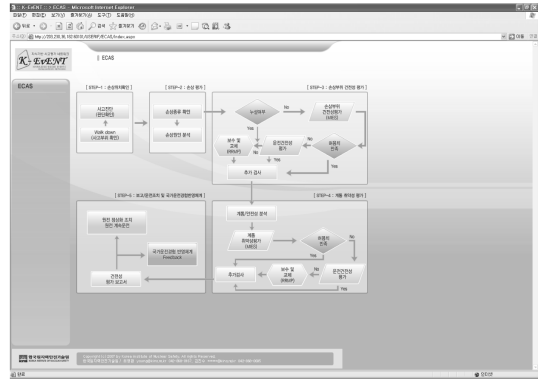


Fig. 5 Web based ECAS System

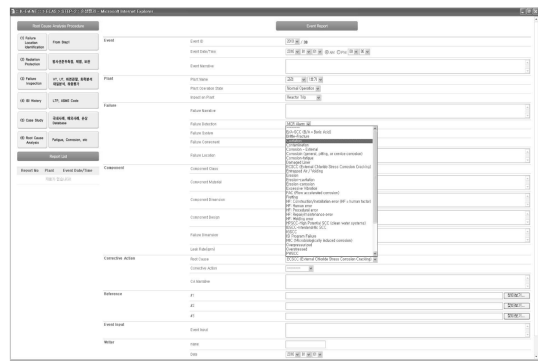


Fig. 6 Web page of Failure Evaluation

료로는 발전소 배치도(GAD) 54장, P&ID 328장, ISI Drawing 187장이 수록되어 있다.

Step 2(손상 평가)의 web page는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 손상 평가 절차와 Event Report를 입력하도록 구성되어 있다.

Step 3와 4의 건전성 평가에서는 K-Event의 MIES 시스템과 RRMP 시스템으로 연계되어 평가를 수행한다.

5. 결론

현재 정부 지원으로 원전 사고발생시 사고대응을 위한 지식기반 원전사고 시스템(Knowledge-based Events Evaluation Network, K-Event)이 개발 중이다. K-Event시스템은 원전 사고시 사고유형 및 추이를 분석하고 사고영향평가, 기기취약성 평가, 등의 사고대응책을 지원하기 위한 것으로 ‘국가 운전경험 반영 체계’와 연계를 통해 능동적이고 실시

간적인 사고 대응을 지원하는 시스템이다. 본 연구에서는 사고진단, 손상위치 확인, 손상평가, 손상부위 건전성 평가, 계통취약성 평가, 보고 및 운전조치 등을 평가하고 처리할 수 있는 원전 사고조치 지원시스템(Event Corrective Action supporting System, ECAS)을 웹기반으로 개발하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 원자력 혁신분야 연구개발 지원으로 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 최영환 등, 2008, 지식기반 사고평가시스템 (K-Event) 기본개념개발 및 K-Event 시스템 구축(I), 한국압력기기공학회 논문집, No.4-1, pp. 54-59
2. 최영환 등, 2008, 지식기반 사고평가시스템 (K-Event) 구축(II), 한국압력기기공학회 논문집, No.4-1, pp. 60-65
3. IAEA, 2006, IAEA Safety Guide NS-G-2.11, "A System for the Feedback of Experience from Events in Nuclear Installations"
4. 울진 3발전소, 2003, 사고진단, 비상운전절차서 우선-02
5. 울진 3발전소, 2003, 소내 방사선 감시계통 운전, 방사-13
6. ASME, 2008, In-Service Inspection of Nuclear Power Plant, ASME B&PV Code Sec. XI