(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0019983
(43) 공개일자 2025년02월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21D 3/06 (2006.01) *G06Q 10/06* (2012.01)
(52) CPC특허분류
G21D 3/06 (2013.01)
G06Q 10/06311 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0101269
(22) 출원일자 2023년08월02일
심사청구일자 2023년08월02일

(71) 출원인
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 조선대길 126(서석동, 산학협력단)
(72) 발명자
김종현
광주광역시 북구 일곡택지로99번길 16-13 (일곡동)
나만균
광주광역시 서구 치평로 35, 204동 502호 (치평동, 금호쌍용아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
한상수

전체 청구항 수 : 총 11 항

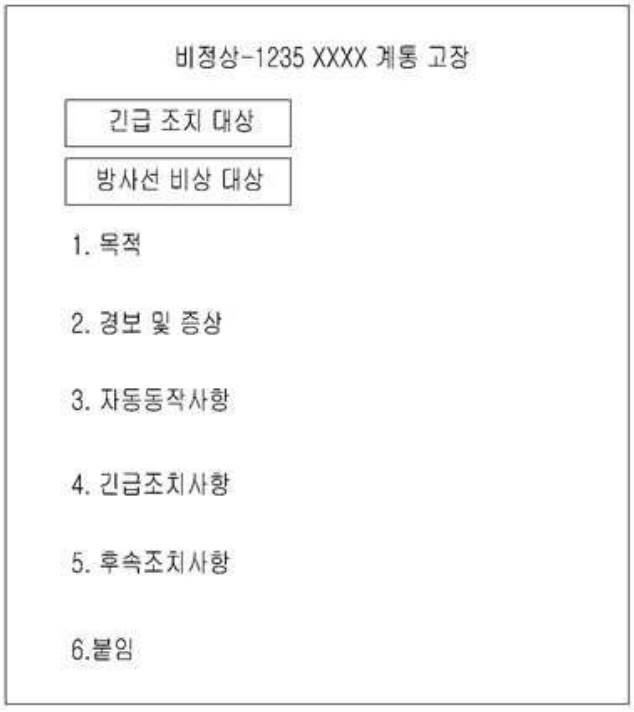
(54) 발명의 명칭 **원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템 및 방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시 예는 내외부의 비정상 상황이 발생될 시, 원자로의 정지 없이 상황을 완화 시키기 위하여 비정상 절차서에 대응되는 비정상 상황 및 비정상 절차에서 대응되지 않는 비정상 상황 각각에 따른 적절한 완화 조치를 수행하는 시스템 및 방법을 제공한다. 본 발명의 실시 예에 따른 원자력 발전소의 비정상 상황 완화 지원

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



시스템 및 방법은 원자력발전소로부터 센서신호를 전달받고, 알람 절차 데이터에 따라 실시간 알람을 수행하는 알람부; 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대응되는 정보를 포함하는 비정상 데이터를 저장하고, 상기 원자력발전소로부터 상기 센서신호를 전달받아 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는지 여부를 판단하는 판단유닛; 상기 판단유닛으로부터 판단정보를 전달받고, 상기 비정상 데이터에 포함된 비정상 상황에 대응되는 제어신호로써 상기 원자력발전소로 전달되는 절차수행신호를 생성하는 기본수행유닛; 및 상기 판단유닛으로부터 판단정보를 전달받고, 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 상태 정보를 전달받으며, 상기 원자력발전소의 상태 정보를 이용한 추론 프로세스를 수행하여 상기 원자력발전소로 전달되는 제어신호인 조치수행신호를 생성하는 추론수행유닛;를 포함한다.

(52) CPC특허분류
G06Q 10/0633 (2023.01)
G06Q 10/0635 (2023.01)

(72) 발명자
이대일
광주광역시 동구 동명로 82번길 7, 207호 (동명동, 골든시티빌)
박지훈
광주광역시 서구 풍금로28번길 19 (풍암동)
최윤희
경기도 부천시 길주로 63, 1909호 (상동, 스타팰리스2)
오상원
광주광역시 동구 백서로 176번길 2-1, 506호 (서석동)
김효진
전라남도 담양군 태왕1길 40-3

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711154415
과제번호	2018M2B2B1065651
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	원자력연구기반확충사업
연구과제명	인공지능기술을 활용한 플랜트 상태 진단, 예측 및비정상상태 안전조치 최적화 기술개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	조선대학교
연구기간	2018.07.18 ~ 2023.06.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

원자력발전소로부터 센서신호를 전달받고, 알람 절차 데이터에 따라 실시간 알람을 제공하고, 상기 알람에 대응되는 알람 절차서를 제공하는 알람부;

상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대응되는 정보를 포함하는 비정상 데이터를 저장하고, 상기 원자력발전소로부터 상기 센서신호를 전달받아 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는지 여부를 판단하는 판단유닛;

상기 판단유닛으로부터 판단정보를 전달받고, 상기 비정상 데이터에 포함된 비정상 상황에 대응되는 제어신호로써 상기 원자력발전소로 전달되는 절차수행신호를 생성하는 기본수행유닛; 및

상기 판단유닛으로부터 판단정보를 전달받고, 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 상태 정보를 전달받으며, 상기 원자력발전소의 상태 정보를 이용한 추론 프로세스를 수행하여 상기 원자력발전소로 전달되는 제어신호인 조치수행신호를 생성하는 추론수행유닛;을 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 기본수행유닛은,

상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는 것으로 판단한 판단정보를 전달받는 경우, 상기 비정상 데이터에 포함된 비정상 상황에 대응되는 제어신호인 절차수행신호를 생성하는 기본진단부;

상기 절차수행신호에 따라 상기 원자력발전소를 제어하는 기본수행부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 추론수행유닛은,

상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되지 않는 것으로 판단한 판단정보를 전달받는 경우, 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 상태 정보를 전달받고, 상태 정보를 이용한 추론 프로세스를 수행하여 조치수행신호를 생성하는 추론진단부; 및

상기 조치수행신호에 따라 상기 원자력발전소를 제어하는 추론수행부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 원자력발전소의 정지를 감시하고, 장기적으로 예측하여 정지에 대한 정보를 제공하는 원자로정지예측유닛을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템.

청구항 5

청구항 2에 있어서,

상기 기본진단부는, EBM 모델을 이용하여 비정상 상황에 대응되는 비정상 데이터를 제안하는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 기본수행유닛에서 도출된 절차수행신호 및 상기 추론수행유닛에서 도출된 조치수행신호에 대한 근거를 제공하는 근거제공부;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 근거제공부는 EBM 모델을 이용하여 상기 기본수행유닛 및 상기 추론수행유닛에서 제안된 진단 결과에 대한 근거를 제공하는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템.

청구항 8

청구항 4에 있어서,

상기 원자로정지예측유닛은,

BiLSTM, CVAE 및 Seq2Seq 네트워크를 이용하여 시간 단계(n)에 따른 원자로 정지 확률을 도출하는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 원자로정지예측유닛은, 시간 단계(n)에 따른 예측 값에 따른 상기 원자력발전소의 정지 확률분포 $(P(Y|X,z,A,S))$ 를 하기의 식으로 형성되는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템.

$$Y = P(Y|X,z,A,S) = \prod_{j=1}^{N} P(y_j|y_{<j},x,z,a_j,s_j)$$

(여기서, Y 는 원자로 정지 확률분포, X는 입력 데이터, z는 잠재 공간, S는 디코더 숨겨진 상태, A는 변동 컨텍스트 벡터)

청구항 10

청구항 1 내지 청구항 9 중 선택되는 어느 한 항에 따른 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템을 이용한 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 방법은,

(a) 상기 원자력발전소에서 센서신호가 상기 알람부에 전달되어, 알람 절차 데이터에 따라 상기 알람부가 알람을 실시간으로 발생시키는 단계;

(b) 상기 판단유닛이 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대응되는 정보를 포함하는 비정상 데이터를 저장하고, 상기 원자력발전소의 상기 센서신호를 전달받아 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는지 여부를 판단하는 단계;

(c) 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는 것으로 판단된 판단정보를 전달받을 시, 상기 기본수행유닛이 비정상 상황에 대응되는 비정상 데이터에 따른 상기 절차수행신호를 생성하고 상기 절차수행신호를 따라 비정상 상황을 완화를 수행하는 단계;

(d) 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되지 않는 것으로 판단된 판단정보를 전달받을 시, 상기 추론수행유닛이 추론 프로세스를 수행하여 조치수행신호를 생성하고 상기 조치수행신호에 따라 비정상 시스템 또는 구성 요소에 대한 완화 조치를 수행하는 단계; 및

(e) 상기 근거제공부가 상기 기본수행유닛 및 상기 추론수행유닛에서 제안된 절차수행신호 및 조치수행신호의 추론 프로세스를 제공하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 방법.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

(f) 상기 원자로정지예측유닛이 상기 원자력발전소의 정지 여부 및 상기 원자력발전소의 정지를 예측하고 정지에 대한 정보를 제공하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 원자력 발전소의 비정상 운전 지원을 위한 운전지원 시스템 및 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 내외부의 비정상 상황이 발생될 시, 원자로의 정지 없이 상황을 완화 시키기 위하여 비정상 절차서에 대응되는 비정상 상황 및 비정상 절차에서 대응되지 않는 비정상 상황 각각에 따른 적절한 완화 조치를 수행하는 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 원자력 발전소는 다양한 원인(인적 실수, 기계 결함, 전기 결함, 계측 결함, 외부 영향 등)으로 인하여 정상 상태를 이탈하게 될 수 있다. 이때, 원자력 발전소에서 비정상이란 원자로 정지가 일어나지 않은 상태의 운전 상태를 의미하며, 만일 원자력발전소에서 비정상 상황이 발생한다면 운전원은 원자로 정지 없이 현재 상황을 완화시키거나 수동 정지를 수행하여 현재 상황에 대한 완화 조치를 수행해야한다.

[0004] 대한민국 등록특허 제 10-2246822호(발명의 명칭: 원자력 발전소 비상 운전 가이드 방법)에는 (a) 원자로가 비상 사고시 정지되었는지 확인하는 반응도 제어 단계; (b) 노심에서 생성되는 열이 제거되는지 확인하는 노심 냉각 단계; (c) 2차 계통의 정상 여부를 확인하는 RCS 열제거 단계 단계; (d) 원자로 냉각재의 과냉각으로 인한 열충격 여부를 확인하는 RCS 건전성 확인 단계; (e) 원자로 격납 용기내 냉각재 유출 여부를 확인하는 격납용기 건전성 확인 단계 및 (f) 1차측 재고량을 확인하는 RCS 재고량 확인 단계를 포함하며, 상기 (a) 단계 내지 상기 (f) 단계는 동시에 수행되어 이상을 운전원(operator)에게 표시하고, 상기 (a) 단계는, 출력 영역, 중간 영역, 선원 영역의 중성자속 감속 여부에 관한 변수를 수집하는 단계와, 수집된 상기 변수의 값이 비정상 범위에 있는지 여부를 파악하는 단계와, 상기 변수의 값이 변수가 비정상 범위에 있는 경우에 운전원(operator)에게 해당 안전 기능의 색상 정보를 표시하는 단계 및 상기 운전원이 제어 콘솔을 통하여 색상 정보가 표시된 안전 기능에 진입하면, 비정상 범위에 있는 변수 혹은 계통을 표시하고, 수동 원자로 트립 직무와 연관된 정보를 제공하는

단계가 개시되어 있다.

[0005] 그러나, 원자력발전소의 비정상 상황은 100가지 이상이 있으며, 절차서에 기재되지 않은 비정상 상황 또한 발생될 수 있다. 이로 인해 많은 변수를 모니터링하고 발전소의 상태를 진단하여 현재 상황에 적절한 완화 조치를 수행하는 것은 운전원에게 어려운 작업 중 하나로 알려져 있다. 이에 따라 비정상 상황에서 운전원의 운전을 지원하여 상황에 따른 혼란을 줄이고 운전원의 직무를 줄여 작업 부하를 낮출 수 있는 운전지원 시스템이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제 10-2246822호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은, 모든 비정상 상황에서 운전원의 운전을 지원하여 상황에 따른 혼란을 감소시키는 것이다.

[0009] 또한, 본 발명의 목적은, 모든 비정상 상황에서 운전원의 운전을 지원하여 운전원의 직무를 줄여 작업 부하를 낮추는 것이다.

[0010] 또한, 본 발명의 목적은, 운전원의 인적오류로 인한 원자력 발전소의 정지를 사전에 방지하는 것이다.

[0011] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 구성은, 원자력발전소로부터 센서신호를 전달받고, 알람 절차 데이터에 따라 실시간 알람을 제공하고, 상기 알람에 대응되는 알람 절차서를 제공하는 알람부; 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대응되는 정보를 포함하는 비정상 데이터를 저장하고, 상기 원자력발전소로부터 상기 센서신호를 전달받아 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는지 여부를 판단하는 판단유닛; 상기 판단유닛으로부터 판단정보를 전달받고, 상기 비정상 데이터에 포함된 비정상 상황에 대응되는 제어신호로써 상기 원자력발전소로 전달되는 절차수행신호를 생성하는 기본수행유닛; 및 상기 판단유닛으로부터 판단정보를 전달받고, 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 상태 정보를 전달받으며, 상기 원자력발전소의 상태 정보를 이용한 추론 프로세스를 수행하여 상기 원자력발전소로 전달되는 제어신호인 조치수행신호를 생성하는 추론수행유닛;을 포함하고, 비정상 데이터에 대응되는 비정상 상황 및 비정상 데이터에 대응되지 않는 비정상 상황 전체를 완화하는 것을 특징으로 한다.

[0014] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 기본수행유닛은, 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는 것으로 판단한 판단정보를 전달받는 경우, 상기 비정상 데이터에 포함된 비정상 상황에 대응되는 제어신호인 절차수행신호를 생성하는 기본진단부; 상기 절차수행신호에 따라 상기 원자력발전소를 제어하는 기본수행부;를 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 추론수행유닛은, 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되지 않는 것으로 판단한 판단정보를 전달받는 경우, 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 상태 정보를 전달받고, 상태 정보를 이용한 추론 프로세스를 수행하여 조치수행신호를 생성하는 추론진단부; 상기 조치수행신호에 따라 상기 원자력발전소를 제어하는 추론수행부;가 포함될 수 있다.

[0016] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 원자력발전소의 정지를 감시하고, 장기적으로 예측하여 정지에 대한 정보를 제공하는 원자로정지예측유닛을 더 포함될 수 있다.

[0017] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 기본진단부는, EBM 모델을 이용하여 비정상 상황에 대응되는 비정상 데이터를 제안될 수 있다.

[0018] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 기본수행유닛에서 도출된 절차수행신호 및 상기 추론수행유닛에서 도출된 조치수행신호에 대한 근거를 제공하는 근거제공부;를 더 포함될 수 있다.

[0019] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 근거제공부는 EBM 모델을 이용하여 상기 기본수행유닛 및 상기 추론수행유닛에서 제안된 진단 결과에 대한 근거를 제공될 수 있다.

[0020] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 원자로정지예측유닛은, BiLSTM, CVAE 및 Seq2Seq 네트워크를 이용하여 시간 단계(n)에 따른 원자로 정지 확률을 도출될 수 있다.

[0021] 본 발명의 실시 예에 있어서, 상기 원자로정지예측유닛은, 시간 단계(n)에 따른 예측 값에 따른 상기 원자력발전소의 정지 확률분포$(P(Y|X,z,A,S))$를 하기의 식으로 형성되는 것을 특징으로 하는 원자력 발전소의 비정상 상황 완화 지원 시스템. $Y = P(Y|X,z,A,S) = \prod_{j=1}^{N} P(y_j|y_{<j},x,z,a_j,s_j)$(여기서, Y 는 원자로 정지 확률분포, X는 입력 데이터, z는 잠재 공간, S는 디코더 숨겨진 상태, A는 변동 컨텍스트 벡터)

[0022] 본 발명의 실시 예에 있어서, 원자력 발전소의 비정상 상황 완화 지원 방법은, (a) 상기 원자력발전소에서 센서 신호가 상기 알람부에 전달되어, 알람 절차 데이터에 따라 상기 알람부가 알람을 실시간으로 발생시키는 단계; (b) 상기 판단유닛이 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대응되는 정보를 포함하는 비정상 데이터를 저장하고, 상기 원자력발전소의 상기 센서신호를 전달받아 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는지 여부를 판단하는 단계; (c) 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는 것으로 판단된 판단정보를 전달받을 시, 상기 기본수행유닛이 비정상 상황에 대응되는 비정상 데이터에 따른 상기 절차수행신호를 생성하고 상기 절차수행신호를 따라 비정상 상황을 완화를 수행하는 단계; (d) 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되지 않는 것으로 판단된 판단정보를 전달받을 시, 상기 추론수행유닛이 추론 프로세스를 수행하여 조치수행신호를 생성하고 상기 조치수행신호에 따라 비정상 시스템 또는 구성 요소에 대한 완화 조치를 수행하는 단계; 및 (e) 상기 근거제공부가 상기 기본수행유닛 및 상기 추론수행유닛에서 제안된 절차수행신호 및 조치수행신호의 추론 프로세스를 제공하는 단계가 포함될 수 있다.

[0023] 본 발명의 실시 예에 있어서, (f) 상기 원자로정지예측유닛이 상기 원자력발전소의 정지 여부 및 상기 원자력발전소의 정지를 예측하고 정지에 대한 정보를 제공하는 단계;를 더 포함될 수 있다.

발명의 효과

[0025] 상기와 같은 구성에 따른 본 발명의 효과는, 모든 비정상 상황에서 운전원의 운전을 지원하여 상황에 따른 혼란을 감소시키는 것이다.

[0026] 또한, 본 발명의 효과는, 모든 비정상 상황에서 운전원의 운전을 지원하여 운전원의 직무를 줄여 작업 부하를 낮추는 것이다.

[0027] 또한, 본 발명의 효과는, 운전원의 인적오류로 인한 원자력 발전소의 정지를 사전에 방지하는 것이다.

[0028] 본 발명의 효과는 상기한 효과로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 상세한 설명 또는 특허청구범위에 기재된 발명의 구성으로부터 추론 가능한 모든 효과를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 종래 국내 비정상 절차서(AOP) 예시를 나타낸 이미지이다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 AIDAA의 개략도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 원자력 발전소에서의 진단 작업에 대한 정보 처리 순서도 모델을 나타낸

도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 알람 감시 및 알람 절차서를 나타낸 이미지이다.

도 5은 본 발명의 일 실시 예에 따른 비정상 데이터 진단 기능을 나타낸 이미지이다.

도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 AIDAA의 진단 전략을 나타낸 순서도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 비정상 데이터 수행 기능을 요약한 이미지이다.

도 8는 본 발명의 일 실시 예에 따른 비정상 시스템 진단 기능을 요약한 이미지이다.

도 9은 본 발명의 일 실시 예에 따른 기능복구 기반 지원 기능을 요약한 이미지이다.

도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 원자로 정지 예측 기능을 나타낸 이미지이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 설명하기로 한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 따라서 여기에서 설명하는 실시 예로 한정되는 것은 아니다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0032] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결(접속, 접촉, 결합)"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 부재를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다.

[0033] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0034] 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 발명에 대하여 상세히 설명하기로 한다.

[0036] 원자력 발전소(미도시)는 핵분열로 발생한 열을 냉각하는 1차 계통과, 1차 계통에서 열을 제공받아 증기터빈을 구동하는 2차계통을 포함할 수 있다. 여기서 1차계통은 원자력 에너지를 생산하는 원자로, 원자로의 냉각수가 끓지 않도록 약 160기압의 고압상태를 유지시켜주는 가압기, 1차 계통의 물을 순환시키는 역할을 수행하는 원자로 냉각재펌프를 포함하고, 2차계통은 고온·고압의 물을 열교환 방식을 통해 증기를 생산하는 증기발생기, 증기 에너지를 이용하여 전기를 생산하는 발전기, 생성된 증기를 물로 되돌리는 복수기를 포함할 수 있다.

[0037] 원자력 발전소는 원자력 발전소를 구성하는 복수개의 장치에 복수개의 센서(온도센서, 압력센서, 수위센서 등)를 구비할 수 있으며, 원자력 발전소에 형성된 센서로부터 측정된 정보인 센서신호를 알람부에 전달할 수 있다.

[0038] 이때, 원자로는 여러 이유로 긴급 정지될 수 있는데, 일 예로 가압기에 설치된 압력센서에서 측정된 압력이 설정 압력을 초과하여 가압기의 압력이 고압력이 될 시, 증기발생기에 구비된 수위센서에서 측정된 수위가 설정 수위 미만으로 측정될 시 등의 사유 등이 비정상 상황으로 형성될 수 있다.

[0040] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 종래 국내 비정상 절차서(AOP) 예시를 나타낸 이미지이고, 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 AIDAA의 개략도이다.

[0041] 도 1 내지 도 2에서 보는 바와 같이, AIDAA(Advisory, Intelligent Decision Aid for Abnormal operations) 시스템은 원자력발전소로부터 센서신호를 전달받고, 알람 절차 데이터에 따라 실시간 알람을 수행하는 알람부(10), 원자력발전소의 비정상 상황에 대응되는 정보를 포함하는 비정상 데이터를 저장하고, 상기 원자력발전소로부터 센서신호를 전달받아 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는지 여부를 판단하는 판단유닛, 판단유닛으로부터 판단정보를 전달받고, 상기 비정상 데이터에 포함된 비정상 상

황에 대응되는 제어신호로써 상기 원자력발전소로 전달되는 절차수행신호를 생성하는 기본수행유닛 및 상기 판단유닛으로부터 판단정보를 전달받고, 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 상태 정보를 전달받으며, 상기 원자력발전소의 상태 정보를 이용한 추론 프로세스를 수행하여 상기 원자력발전소로 전달되는 제어신호인 조치수행신호를 생성하는 추론수행유닛을 포함할 수 있다.

[0042] 또한, 원자력 발전소의 비정상 상황 완화 지원시스템(AIDAA)은 원자력발전소의 정지를 감시하고, 장기적으로 예측하여 정지에 대한 정보를 제공하는 원자로정지예측유닛 및 상기 기본수행유닛에서 도출된 절차수행신호 및 상기 추론수행유닛에서 도출된 조치수행신호에 대한 근거를 제공하는 근거제공부를 더 포함할 수 있다.

[0043] 기본수행유닛은, 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는 것으로 판단한 판단정보를 전달받는 경우, 상기 비정상 데이터에 포함된 비정상 상황에 대응되는 제어신호인 절차수행신호를 생성하는 기본진단부(30) 및 상기 절차수행신호에 따라 상기 원자력발전소를 제어하는 기본수행부(40)을 포함할 수 있다.

[0044] 추론수행유닛은, 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되지 않는 것으로 판단한 판단정보를 전달받는 경우, 상기 판단유닛으로부터 상기 원자력발전소의 상태 정보를 전달받고, 상태 정보를 이용한 추론 프로세스를 수행하여 조치수행신호를 생성하는 추론진단부(50) 및 상기 조치수행신호에 따라 상기 원자력발전소를 제어하는 추론수행부(60)을 포함할 수 있다.

[0045] 원자로정지예측유닛은 원자로의 정지 여부를 감시하는 정지감시부(80) 원자로의 정지를 예측하고 정지에 대한 정보를 제공하는 정지예측부(90)를 더 포함할 수 있다.

[0047] AIDAA는, 비정상 운전에서의 운전원 직무 분석, 비정상 상황에서의 진단 전략, Human Factors Engineering(HFE) 설계 지침을 분석하여 정의될 수 있다.

[0048] 도 1에서 보는 바와 같이 종래의 비정상 절차서는 목적, 경보 및 해당 비정상 상황에서 예상되는 증상, 자동으로 동작하는 시스템(또는 구성요소), 즉각 조치가 필요한 긴급 조치사항, 후속 조치사항 등으로 구성될 수 있다.

[0049] 이러한 구조를 통해 비정상 운전 시 요구되는 기능들을 이용하여 AIDAA를 도출하였으며, AIDAA는 실시간으로 현재 발전소 상태를 감시하며, 이를 기반으로 경보와 증상을 확인하고, 자동으로 동작하는 자동 동작 사항을 감시하며, 긴급조치 및 후속 조치를 할 수 있도록 지원할 수 있다.

[0051] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 알람 감시 및 알람 절차서를 나타낸 이미지이다. 도 4에서 보는 바와 같이 알람부(10)의 인터페이스는 알람 정보를 제공하는 제1박스, 알람 절차서를 제공하는 제2박스로 구성될 수 있으며, 제1박스에서는 실시간으로 알람부(10)에서 발생되는 실시간 알람 정보를 제공할 수 있으며, 제2박스에서는 해당 알람에 따른 알람 절차서를 제공하여 알람의 원인, 자동 동작 사항, 결과 및 긴급 조치 등을 가시적으로 나타낼 수 있다.

[0052] 알람부(10)는 실시간 알람 감시 및 알람 절차서 제공하며, 알람부(10)가 원자력 발전소 상태를 실시간으로 감시하여 발생한 알람을 판단유닛(20)에게 전달하고, 판단유닛(20)의 판단에 따라 기본수행유닛 또는 추론수행유닛이 수행되어 발생된 비정상 상황에 관련된 비정상 데이터에 따른 신호를 생성할 수 있다. 또한 알람부(10)는 디스플레이와 연결될 수 있으며, 알람부(10)에서 형성된 알람을 디스플레이에 가시적으로 표시하여 기본진단부(30) 및 추론진단부(50)에서 형성된 절차수행신호 및 조치수행신호를 알람부(10)가 전달받아 디스플레이에 비정상 상황 및 수행신호를 가시적으로 제공할 수 있다. 이로 인해, 운전원이 비정상 상황을 빠르게 파악할 수 있으며, 가시적으로 알람을 제공하여 운전원의 비정상 상황에 따른 혼란을 감소시킬 수 있다.

[0053] 알람부(10)는 규칙 기반 시스템(Rule-based system)으로 구축될 수 있으며, 규칙 기반 시스템을 구축하기 위해 사전에 원자력 발전소의 비정상 상황에 따른 알람 절차 데이터를 데이터베이스화하여 데이터부에 저장하여 비정상 상황에 따른 알람 절차 데이터에 따라 알람부(10)가 알람을 생성할 수 있다. 이로 인해 도 4에서 보는 바와 같이 알람부(10) 구현화면에서 알람명, 설정치, 현재 값, 발생 시간 등이 표시될 수 있으며, 발생된 알람을 더블클릭 시 알람 절차서가 팝업 화면으로 형성될 수 있다.

[0055] 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 AIDAA의 진단 전략을 나타낸 순서도이다.

[0056] 도 6에서 보는 바와 같이 판단부(20)는 먼저 현재 상황에 관해 적합한 비정상 데이터가 있는지 없는지에 대해 판별하기 위해 LSTM-AE를 사용할 수 있다. 이때 비정상 상황에 적합한 비정상 데이터가 존재할 시, EBM을 이용하여 비정상 상황을 진단하고 절차수행신호를 생성하며, Rule-based system을 이용하여 절차수행신호의 판단 기준을 제공하고, 진단 증거를 EBM를 이용하여 제공할 수 있다. 비정상 상황에 적합한 비정상 데이터가 존재하지 않을 시, EBM을 이용하여 비정상 시스템을 진단하고 조치수행신호를 생성하며, Rule-based system을 이용하여 조치수행신호의 판단 기준을 제공하고, 진단 증거를 EBM를 이용하여 제공할 수 있다.

[0057] 현재 비정상 상황에 대응되는 비정상 데이터가 존재할 시 Symptomatic search를 사용하여 기본진단부(30)가 현재 비정상 상황에 알맞은 비정상 데이터를 제안하며, 현재 비정상 상황에 대응되는 비정상 데이터가 존재하지 않을 시 추론진단부(50)가 topographic search를 사용하여 비정상 시스템을 제안할 수 있다.

[0058] 이로 인해, 운전원이 현재 상황에 적합한 비정상 데이터의 경보의 증상을 매칭하는 작업을 지원하여 비정상 상황을 완화할 수 있고, 현재 상황에 적합한 비정상 데이터가 없는 경우, 고장이 발생된 비정상 시스템 및 기기를 제안하여 비정상 상황을 완화할 수 있다.

[0059] 이때, 판단부(20)는 원자력발전소의 비정상 상황에 대응되는 정보를 포함하는 비정상 데이터를 포함할 수 있으며, 판단부(20)는 인공지능 기법 중 하나인 LSTM-AE 을 적용하여 형성될 수 있다.

[0060] LSTM은 순환신경망(recurrent neural network, RNN)계열의 방법론 중 하나로 일반적인 인공 신경망 방법론들과 달리 과거의 데이터를 사용한다는 특징이 있으며 주로 시계열 데이터를 처리하는데 사용될 수 있다. AE는 인공신경망 모델 중 하나로 입력값과 동일한 출력값을 재구성하는 방법으로 형성될 수 있다.

[0061] LSTM-AE는 GRU와 AE가 합쳐진 방식으로 시계열 특성 활용가능하며, 비정상 상황 발생 시, 현재 비정상 상황에 대해 적합한 비정상 데이터가 있는지 없는지를 판별하는데 사용될 수 있다. LSTM-AE는 원자력발전소로부터 센서신호(예, 계측기로부터 전달되는 신호, 온도센서, 압력센서, 수위센서 등 복수개의 센서에서 전달되는 신호)를 입력으로 받아 판단부에 저장된 기저장된 비정상 데이터와 비교하여 현재 비정상 상황에 적합한 비정상 데이터가 있는지 없는지를 출력할 수 있다.

[0062] 즉, 원자력 발전소로부터 전달받은 센서신호와 판단유닛(20)에 기저장된 비정상 데이터의 상황을 매칭하여 실시간으로 센서신호와 비정상 데이터를 매칭하여 현재 비정상 상황에서의 제어 정보가 있는 경우 적합한 비정상 데이터가 있는것이라 판단할 수 있다.

[0063] 예를 들어, 가압기에 설치된 압력센서에서 측정된 압력이 설정 압력을 초과할 시, 판단유닛(20)이 기저장된 비정상 절차서 데이터와 가압기의 고압력 상황을 매칭하여 가압기의 압력을 제어하는 제어 정보를 도출할 시 적합한 비정상 데이터가 있다 판단할 수 있으며, 만약 가압기에 설치된 압력센서에서 측정된 압력이 설정 압력을 초과함과 동시에 가압기에 설치된 진동센서에서 측정된 진동이 설정 진동을 초과할 시, 기저장된 비정상 절차서 데이터와 가압기 고압력과 고진동 상황에 관한 매칭상황에 따른 제어 정보가 없을 경우 비정상 데이터가 없다 판단할 수 있다.

[0065] 이후, 현재 상황에 적합한 비정상 데이터가 있는 경우, 기본수행유닛의 기본진단부(30)가 EBM을 사용하여 현재 상황에 적합한 비정상 데이터에 따른 절차수행신호를 생성할 수 있다. EBM은 트리 기반 학습 알고리즘을 사용하는 gradient boosting framework로 결정 트리와 같은 형식을 따르고 있으며, 빠른 학습 속도와 높은 효율성, 대규모 데이터 처리에 용이 하다는 장점을 가지고 있어 주로 분류하는데 사용될 수 있다. 이로 인해 현재 비정상 상황에 적절한 절차수행신호를 운전원에게 제공하여 인적오류로 인한 원자력 발전소의 정지를 사전에 방지하고, 운전원의 직무를 줄여 작업 부하를 낮출 수 있다.

[0066] 이때, 다른 실시예로 기본진단부(30)가 절차수행신호를 운전원에게 제안한 후 운전원이 수동 제어를 통하여 절차수행신호를 수행할 수 있다.

[0067] 여기서, EBM은 LSTM-AE와 마찬가지로 현재 발전소 상태 값(예, 계측기로부터 전달되는 신호, 기기 상태, 원자로 정지 여부 등)을 입력으로 받아 사전에 데이터베이스화된 비정상 데이터의 경보 및 증상들과 매칭을 수행하며 현재 상황에 적합한 비정상 데이터에 대응되는 절차수행신호를 생성할 수 있다.

[0069] 도 5은 본 발명의 일 실시 예에 따른 기본진단부 진단 기능을 나타낸 이미지이고, 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 기본수행부의 수행 기능을 요약한 이미지이고, 도 8는 본 발명의 일 실시 예에 따른 추론진단부의 기능을 요약한 이미지이다.

[0070] 기본진단부(30)는, 발전소 상태를 평가하고, 현재 상황에 가장 적절한 비정상 데이터를 진단할 수 있다. 도 5에서 보는 바와 같이, 기본진단부(30)의 인터페이스는 비정상 상황에서의 비정상 절차서 명을 제안하는 제1박스, 제안된 비정상 절차서의 추론 프로세스를 제공하는 제2박스, 추론 프로세스의 근거를 제공하는 제3박스를 나타낼 수 있다. 여기서 비정상 절차서는 판단유닛(20)에 의하여 데이터화되어 비정상 데이터로 저장될 수 있다.

[0071] 기본진단부(30)는 Symptomatic search 방식을 이용하여 현재 상황에 적합한 비정상 상황에 따른 비정상 데이터 목록과 제안된 절차수행신호를 가시적으로 보여줄 수 있다.

[0072] 기본수행부(40)는 기본진단부(30)에서 생성된 절차수행신호에 따라 원자력발전소의 요소들을 제어하여 비정상 상황을 완화할 수 있으며, 도 7에서 보는 바와 같이, 비정상 절차서(AOP)를 기반으로 인터페이스를 형성하여 제안된 절차수행신호의 목적, 경보 및 증상, 작동 동작 사항, 긴급 조치 사항 및 후속 조치 사항을 나타낼 수 있다. 이로 인해 적합한 절차수행신호를 수행하는 것을 가시적을 나타낼 수 있다.

[0073] 추론진단부(50)는 판단유닛(20)으로부터 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 비정상 데이터에 포함되지 않는 것으로 판단한 판단정보를 전달받는 경우, 비정상이 발생된 시스템 후보를 진단하여 조치수행신호를 생성할 수 있다. 조치수행신호는 추론프로세스를 통해 추론될 수 있다.

[0074] 추론진단부(50)는 비정상 시스템 또는 기능 요소를 추론프로세스를 통해 제안하고 이러한 비정상 시스템 및 기능 요소를 완화하는 조치수행신호를 생성할 수 있으며, 도 8과 같이, 추론진단부(50)의 인터페이스는 비정상 시스템 또는 구성 요소를 제안하는 제1박스, 진단 근거를 제공하는 제2박스를 포함할 수 있다. 제1박스는 관련 경보개수 및 AI로 계산한 비정상 시스템의 정확도를 나타낸 퍼센트를 가시적으로 화면으로 나타낼 수 있다.

[0075] 이로 인해 현재 비정상 상황과 대응되는 비정상 데이터가 없을 시에도 추론 프로세스를 통하여 원자력 발전소의 비정상 시스템을 추론하여 모든 비정상 상황에 대한 대처가 가능하여 모든 비정상 상황에서 원자력의 가동 중지를 방지할 수 있다.

[0076] 추론진단부(50)는 EBM 방식을 이용할 수 있으며, 비정상 데이터가 없는 경우 Topographic search 전략을 사용하여 비정상이 발생된 시스템을 제안하고 조치수행신호를 생성할 수 있다.

[0077] 도 9은 본 발명의 일 실시 예에 따른 추론수행 지원 기능을 요약한 이미지이며, 추론수행부(60)는 추론진단부(50)에서 제안된 비정상 시스템을 조치수행신호에 따라 원자력 발전소를 제어하여 비정상 시스템을 정상상태로 복구할 수 있다. 도 9에서 보는 바와 같이, 추론수행부(60)의 인터페이스는 비정상 시스템 관련 경보를 제공하는 제1박스, 완화 조치를 제공하는 제2박스, mimic 및 이상 기기를 가시적으로 제공하는 제3박스를 표시할 수 있다.

[0078] 조치수행신호에 따라 원자력 발전소를 제어하여 복구하는 기능은 기반 지원 기능에 강화학습 알고리즘의 한 종류인 soft actor critic(SAC)와 long short-term memory(LSTM)을 결합한 방법론을 사용할 수 있다.

[0079] SAC는 강화학습 방법론 중 하나로 목표와 보상을 설정하여, 강화학습 알고리즘은 여러 시행착오를 겪으며 최대 보상을 가지고 목표에 도달하도록 학습될 수 있다. 주로 자율주행 자동차 주행에 사용되는 방법 중 하나이며, LSTM은 입력게이트 망각게이트 출력게이트 과거 정보의 입력을 조절할 수 있는 셀 상태 구조로 구성되어 장단기 기억 구현할 수 있으며, 뉴런대신 메모리셀을 사용하여 빠른 훈련과 여러 시간 단계에 걸쳐 순차적으로 단기 메모리를 저장해야 하는 작업에 대한 효율적인 학습 1000개의 이산 시간 단계에 걸쳐 최소한의 시간 지연을 연결하는 방법 활용하여 학습하여, 이전 메모리 값을 변경해야 하는지 여부를 판단한 후 다음 메모리셀의 현재 상태와 입력값을 기반으로 현재 메모리에 저장할 값을 계산하여 긴 시퀀스 저장하는데 효과적일 수 있다.

[0080] SAC-LSTM은 정상 범주를 벗어난 비정상 시스템과 기기를 다시 정상 범주로 돌리기 위한 운전원이 수행해야할 완화 조치를 제안하도록 학습될 수 있다.

[0081] 이로 인해, SAC와 LSTM을 결합한 방법론을 이용하여 비정상 상황이 발생될 시, 정상 범주를 벗어난 비정상 시스템과 기기를 조치수행신호에 따라 완화 조치하여 정상 범주로 형성할 수 있다.

[0082] 따라서, 본원발명의 경우 AIDAA 하나의 시스템으로 비정상 데이터가 있는 경우 비정상 데이터가 없는 경우를 포함한 모든 비정상 상황에 대한 비정상 상황 완화가 가능하며, 운전원의 직무를 줄여 작업 부하를 낮추고, 운전

원의 인적오류로 인한 원자력 발전소의 정지를 사전에 방지할 수 있다.

[0084] 근거제공부(70)는 기본진단부(30)에서 생성된 절차수행신호 및 추론진단부(50)에서 생성된 조치수행신호의 근거를 제공하는 기능을 수행할 수 있으며, 근거제공부(70)는 설명 가능한 인공지능 방법론(XAI) 중 하나인 EBM을 적용할 수 있다.

[0085] EBM은 트리 기반 학습 알고리즘을 사용하는 gradient boosting framework이다. 이는 결정 트리와 같은 형식을 따르고 있으며, 빠른 학습 속도와 높은 효율성, 대규모 데이터 처리에 용이 하다는 장점을 가지고 있어 주로 분류하는데 사용된다. EBM은 학습 여부 진단 기능과 마찬가지로 현재 발전소 상태 값(예, 계측기로부터 전달되는 신호, 기기 상태, 원자로 정지 여부 등)을 입력으로 받아 사전에 데이터베이스화된 비정상 절차서의 경보 및 증상들과 매칭을 수행하며 현재 상황에 적합한 비정상 절차서를 찾고 이를 운전원에게 제공할 수 있다.

[0086] 정지감시부(80)는, 원자로 정지 감시 기능은 실시간으로 원자력발전소 정지 여부를 감시하고 이에 대한 정보를 제공하는 기능을 수행할 수 있으며, 규칙 기반 시스템(Rule-based system)을 적용할 수 있다. AIDAA는 실시간으로 원자로 정지를 감시하고 원자로가 정지될 시 이 사항을 알람부에 전달하여 알람부가 알람을 발생할 수 있다.

[0087] 정지예측부(90)는, 인공지능 기법을 활용하여 원자력발전소 정지에 대한 장기 정지 예측을 수행할 수 있으며, 높은예측 정확도를 제공할 수 있다. 이때 장기 정지 예측은 적어도 1시간 이상의 원자력발전소 정지에 대한 장기 예측을 의미할 수 있다.

[0088] 정지예측부(90)는 원자로 정지와 관련된 주요 변수들의 거동을 예측하여 장/단축으로 제공하며, 주요 변수들의 예측값과 설정치 간의 차이를 이용하여 원자로 정지까지 남은 시간을 계산하여 제공하는 기능을 수행할 수 있으며, 정지예측부(90)는 Bidirection LSTM(BiLSTM)과 Attention Mechanism(AM)을 적용하여 구축될 수 있다.

[0089] 이로 인해, 원자력 발전소에서 원자로 압력과 온도를 정지 냉각 진입 조건으로 낮추는 단계와 같은 몇 시간이 걸리는 비정상 상황에 따른 수행신호가 발생할 시 장기 예측을 하여 원자력 발전소의 비정상 상황에 따른 수행신호의 수행을 장기적으로 예측할 수 있다.

[0090] 도 10에서 보는 바와 같이 정지예측부(90)의 인터페이스는 원자로 정지와 관련된 주요 변수들의 장단기 거동을 예측할 수 있으며, 원자로 정지까지 남은 시간을 가시적으로 보여줄 수 있다.

[0091] BiLSTM은 인공신경망 방법론 중 하나로 초기 입력값과 후속 입력값 두가지의 입력을 사용하여 앞으로의 값을 예측하는 방법이고, AM은 입력된 정보를 기반으로 이 중 중요한 정보에 가중치를 더 입력하여 중요한 정보와 상대적으로 중요하지 않은 정보를 구분할 수 있도록 도와주는 방법론 중 하나로 형성될 수 있다. 이로인해 정지예측부(90)가 AIDAA에서는 이들을 기반으로 주요 변수를 추출하여 원자력 발전소의 정지를 더욱 정확하게 예측하는데 사용할 수 있으며, 불확실성 추정을 통하여 장기 예측 알고리즘을 개발하여 장기적으로 원자력 발전소의 정지를 예측할 수 있다.

[0092] BiLSTM은 입력 데이터에 인코더와 디코더 역할을 하는 두 개의 LSTM 네트워크를 사용할 수 있다. 종래의 LSTM의 장기 종속성은 시간순으로 정렬된 입력 데이터에서 순방향 종속만을 고려하여 학습하는 반면 역순으로 정렬된 데이터에서 학습하는 역방향 종속성은 고려하지 않게 형성되는데, BiLSTM은 이러한 LSTM을 입력 데이터에 2개 형성하여 정방향 의존성과 역방향 의존성을 모두 관리할 수 있다.

[0093] BiLSTM은 초기 입력과 후속 입력을 인그레이팅하여 예측 정확도를 향상시킬 수 있어 초기 입력뿐만 아니라 일부 회귀 문제의 후속 입력에도 영향을 받는 예측 결과의 정확도를 향상시킬 수 있다. BiLSTM의 최종 출력은 순방향 및 역방향 계산의 결과에 의해 결정될 수 있으며, BiLSTM의 출력은 하기의 식과 같이 표현될 수 있다. 하기의 식은 요소별 합계를 사용하여 정방향 및 역방향 출력을 결합할 수 있다. 이때, t = 1에서 T까지 정방향 숨겨진 상태를 의미하고, t = T에서 1까지 역방향 숨겨진 상태를 의미할 수 있다.

[0094] $$h_t^{BiLSTM} = [\overrightarrow{h_t} \oplus \overleftarrow{h_t}]$$

[0095] 여기서, $\overrightarrow{h_t}$는 순방향의 숨겨진 상태를 나타내며, $\overrightarrow{h_t}$는 역방향 숨겨진 상태를 나타낼 수 있다.

[0096] Seq2Seq는 고도로 구조화된 입력과 출력 사이의 내부 규칙성을 묘사하는 것을 목표로 하는 MIMO프레임워크의 일종으로, 기계 번역에 적용되어 입력 시퀀스의 연속적인 공간적 시간적 표현을 포착할 수 있다.

[0097] Seq2Seq는 인코더와 디코더 역할을 하는 복수개의 LSTM 블록으로 형성될 수 있으며, 인코더는 길이 T의 입력 시퀀스 x_1, ˜ ˜ x_r를 처리하고 마지막 숨겨진 상태 h_T를 통해 과거 입력 시퀀스의 요약을 생성할 수 있다. T 재귀 업데이트 후 인코더는 전체 입력 시퀀스를 고정 길이 벡터로 요약할 수 있다.

[0098] 이후, 인코더는 시퀀스 생성을 위한 입력으로 사용되도록 h_T를 디코더에 전달할 수 있으며, 디코더는 길이 N의 출력 시퀀스 y_1, ˜ ˜ y_r을 재귀적으로 생성할 수 있다.

[0099] 즉, 인코더 및 디코더 LSTM의 목표는 조건부 확률 $P(y_1,\cdots,y_N|x_1,\cdots,x_N)$ 을 추정하는 것으로, 하기의 식과 같이 인코더와 디코더는 먼저 인코더 LSTM의 마지막 숨겨진 상태를 사용하여 입력 시퀀스의 고정 차원 표현을 얻어 이 조건부 확률을 계산할 수 있다.

[0100] $$P(y_1,\cdots,y_N|x_1,\cdots,x_N)=\prod_{n=1}^{N}P(y_n|y_1,\cdots,y_{n-1},context)$$

[0101] 종래의 Seq2Seq의 경우, 소스 데이터에서 필요한 모든 정보를 고정 길이 벡터로 압축해야하며, 이때 정보 손실이 불가피하다. 이로 인해 본원 발명은 Seq2Seq에 AM 딥 러닝을 적용하여 네트워크는 신경망이 입력에 적응적으로 집중하여 다른 기능의 간섭을 완화할 수 있다.

[0102] AM은 단일 고정 길이 컨텍스트(context) 벡터를 사용하는 대신 각 출력에 대하여 고유한 컨텍스트 벡터를 생성할 수 있다. AM은 인코더 숨김 상태 $H=[h_1,h_2\cdots,h_T]$를 AM의 입력으로 가중치 a_j를 출력하며, 가중치a_j는 하기의 식으로 계산될 수 있는 각각의 컨텍스트 벡터 c_j에 의해 사용자가 지정할 수 있다.

[0103] $$c_j=\sum_{i=1}^{T}a_j h_i$$

[0104] 여기서, c_j는 각각의 컨텍스트 벡터, a_j는 가중치, h_i는 인코더 숨김 상태를 의미할 수 있다. a_j는 하기의 식으로 출력될 수 있다.

[0105] $$a_j=\frac{\exp(e_{ij})}{\sum_{k=1}^{T}\exp(e_{jk})}$$

[0106] 여기서 T는 입력 시퀀스의 길이를 나타내며, e_{ij}는 정렬 점수를 타나내며 e_{ij}는 하기의 식과 같이 나타날 수 있다.

[0107] $$e_{ij}=\ FC(s_j,h_i)$$

[0108] 여기서, s_j는 디코더 LSTM에서의 j^{th}의 시간 단계의 숨겨진 상태를 나타내고, FC는 인코더에서 각 시간 스텝 상태의 정렬 점수를 생성하는데 사용되는 연결된 계층을 나타낼 수 있다.

[0109] CVAE는 변형 자동 인코더를 확장한 것으로 변형 추론 기법을 사용하는 베이지만 신경망 (Bayesian neural network, BNN)으로 형성될 수 있다. BNN은 네트워크 가중치의 사전갑에 대한 불확실성을 포함하여 사후 예측 분포를 통해 함수 평균에 대한 불확실성 정보를 제공할 수 있다.

[0110] VAE는 근사 후분포 $q_\emptyset(Z|x)$와 확률적 생성 모델 $P_\emptyset(x|Z)$을 모두 학습할 수 있으며, VAE는 추론 네트워크 $q_\emptyset(Z|x)$와 생성 네트워크 $P_\emptyset(x|Z)$로 구성될 수 있으며, CVAE는 VAE를 조건부 작업으로 확장한 것으로 모델의 각 구성 요소는 x에 따라 조건화 될 수 있다. 모델 분포를 $P(y|x,Z)$로 표시하고 표준 가우시안 선행과 요인 $P(y|x,Z)$를 가진 잠재 변수 z를 도입할 수 있다. 이때 CVAE의 변동 하한은 하기의 전제식1과 같이 형성될 수 있다.

[0111] $$L_{CAVE}(\theta,\emptyset:X,y)=\ -D_{KL}\left(q_\emptyset(Z|x,y)\parallel P_\emptyset(Z|X)\right)+\mathbb{E}_{q\emptyset(z|X)}[\log P_\theta(y|z,x)]$$

[0112] 여기서, $P_\emptyset(z|x)$는 CVAE의 종래모델이며, $q_\emptyset(Z|x,y)$는 CVAE의 후방 근사치이고, $P_\theta(y|z,x)$는 z의 안내를 받는

디코더이다.

[0114] 정지예측부(90)는 전처리, 장기 예측, 불확실성 추정, 후처리 단계를 포함하는 예측 알고리즘으로 형성될 수 있다.

[0115] 전처리 기능은 원자력 발전소의 0과 1사이의 매개변수를 처리하여 적합한 네트워크 입력으로 렌더링할 수 있다. 이때 원자력 발전소 매개변수의 파라미터는 다양한 범위의 값 또는 상태를 구비할 수 있다. 이때, 하기의 식을 적용하여 국부적인 최소값이 발생되는 것을 방지하고 학습 속도를 높이기 위하여 최소-최대 정규화를 적용할 수 있다.

[0116] $$X_{input} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

[0117] 여기서, X는 원자력 발전소의 매개변수 파라미터의 현재 값이며, X_{min}는 학습 데이터의 최소값, X_{max}는 학습데이터의 최대값을 의미할 수 있다.

[0118] 장기 예측 기능은, BiLSTM, CVAE 및 AM 네트워크를 통해 안전에 중요한 파라미터의 장기 추세를 예측할 수 있으며, Seq2Seq 네트워크 기반으로 전처리 함수에서 정규화된 플랜트 파라미터를 입력으로 받아 플랜트 파라미터의 N 단계 추세를 출력할 수 있다. 여기서 Seq2Seq는 인코더의 길이 입력 시퀀스 $x_1, \cdots x_r$을 처리하고 마지막 숨겨진 상태 h_T를 통해 과거 입력 시퀀스의 요약을 생성할 수 있다.

[0119] 인코더에서 숨겨진 상태인 h_t 두개를 두개의 선형 변환 레이어에 입력으로 사용하여 평균 p를 측정하고 잠재 공간 z의 표준편차(SD)를 사용하여 후방 $p(z|x,y)$를 근사화 한 후 무작위로 샘플링된 z의 후방 $p(z|x,y)$가 디코더의 LSTM에 공급되어 디코더가 숨겨진 상태의 플랜트 파라미터의 130 단계인 $S=[s_1, \cdots, s_{130}]$를 산출할 수 있으며, 이때 디코더 숨겨진 상태는 s_j는 시간 j로 정의될 수 있다. 디코더 시간 단계 j에 따라 주의 계층의 인코더의 숨겨진 상태 H와 디코더의 숨겨진 상태 s_j에 공급되어 컨테스트 백터 c_j를 계산할 수 있으며, 가변 컨텍스트 벡터를 고려하기 위하여 c_j는 무작위로 처리하여 a_j로 표시될 수 있다. 시간 단계 j에서 하한값 $L_j(\theta, \emptyset: X, y_j)$을 고려하여 전제식1을 변형하여 하기의 식을 형성할 수 있다.

[0120] $$L_j(\theta, \emptyset: X, y_j) = -D_{KL}\left(q_\emptyset(z|X) \parallel P_\emptyset(z|X)\right) - D_{KL}\left(q_\emptyset(a_j|X) \parallel P_\emptyset(z|X)\right) + \mathbb{E}_{q\emptyset(z|X), q_\emptyset(a_j|X)}[\log P_\theta(y_j|z, a_j)]$$

[0121] 여기서, $L_j(\theta, \emptyset: X, y_j)$는 변형 하한 경계, $-D_{KL}\left(q_\emptyset(z|X) \parallel P_\emptyset(z|X)\right)$는 변동분포 $q_\emptyset(z|X)$와 사전분포 $P_\emptyset(z|X)$ 사이 Kullback-Leubler 발산, $\mathbb{E}_{q\emptyset(z|X), q_\emptyset(a_j|X)}[\log P_\theta(y_j|z, a_j)]$는 변동 분포 $q\emptyset(z|X), q_\emptyset(a_j|X)$ 가능성 $P_\theta(y_j|z, a_j)$을 통한 y의 생성을 나타낼 수 있다.

[0122] 상기한 식은 장기 예측 네트워크는 예측된 다변수 값 $Y = [y_1, \cdots, y_n] \in \mathbb{R}^{n \times D'}$(여기서 n은 예측된 시간 단계의 수이고 D_0은 예측된 매개변수의 수) 이때, 입력 데이터 X, 잠재 공간 z, 디코더 숨겨진 상태 S 및 변동 컨텍스트 벡터 $A = [a_1, \cdots, a_n]$가 y<j인 주어진 각 시간 단계에서 각 시간 단계에 따른 원자로 정지 확률의 예측 값이 예측되었고, 네트워크는 하기의 식에 따라 예측된 값에 대한 원자로 정지 확률분포$(P(Y|X, z, A, S))$를 생성할 수 있다.

[0123] $$Y = P(Y|X, z, A, S) = \prod_{j=1}^{N} P(y_j|y_{<j}, x, z, a_j, s_j)$$

[0124] (여기서, Y 는 원자로 정지 확률분포, X는 입력 데이터, z는 잠재 공간, S는 디코더 숨겨진 상태, A는 변동 컨텍스트 벡터)

[0125] 불확실성 추정은 CVAE에 BNN을 적용하여 구성될 수 있으며, BNN은 동일한 입력 데이터가 네트워크에 입력될 시, 네트워크가 다른 출력을 생성하여 여러 경로를 수행하여 예측 불확실성을 정량화 할 수 있으며, 동일한 입력 데이터를 사용하기 위하여 장기 예측 네트워크에서 J단계의 예측 결과를 누적하고 평균과 SD를 하기의 방정식을 이용하여 계산할 수 있다.

[0126] $$\mu_Y = \frac{1}{100}\sum_{j=1}^{J} Y^{(l)}$$

[0127] $$\sigma_Y = \frac{\sum_{l=1}^{100}(Y^{(l)} - \mu_Y)^2}{J}$$

[0128] 여기서, $Y^{(l)} = P(Y|X,z,A,S)$ 는 l 시간 까지의 장기 예측 결과이며, 기간예측함수의 신뢰 구간 설정을 위하여 상한값 Upper_Y는 μ_Y에 $1.96\sigma_Y$를 더하여 나타낼 수 있으며, 하한값 Lower_Y는 μ_Y에 $1.96\sigma_Y$를 빼서 나타낼 수 있다. 이로 인해 함수는 95% 신뢰 구간의 불확실성을 제공할 수 있다.

[0129] 후처리 기능은 정규화된 예측 결과를 적절한 단위와 범위로 변환한 후 그래픽으로 표시할 수 있으며, 첫번째 단계는 평균 예측 값과 상한값 및 하한값값을 표시한 후, 각 파라미터와 관련된 적절한 단위와 범위로 변환될 수 있으며, 정규화식은 하기와 같이 형성될 수 있다.

[0130] $$\hat{Y} = Y_{min} + Y * (Y_{max} - Y_{min})$$

[0131] 여기서, $\hat{Y}$는 비정규화된 값을 의미하며, Y는 예측값을 의미하고, Y_{max}는 상한값, Y_{min}는 하한값을 의미할 수 있다. 후처리 기능은 비정규화된 평균값을 사용하여 그래프를 그려 영역을 신뢰 구간의 상한값과 하한값 사이의 값으로 설정하여 나타낼 수 있다.

[0133] AIDAA시스템은 각 운전원 별로 마련된 운전원 디스플레이, 시스템의 운전을 제어하는 제어부를 더 포함할 수 있다.

[0134] 디스플레이는 알람부(10)에서 형성된 알람을 전달받아 운전원에게 가시적으로 보여줄 수 있으며, 디스플레이에서 원자력 발전소의 복수개 요소의 현재 값, 비정상 데이터 및 비정상 시스템을 가시적으로 형성하여 운전원의 혼란을 감소시킬 수 있다.

[0136] 도 3에서 보는 바와 같이, 원자력 발전소의 비정상 상황 완화 지원 방법은, (a) 상기 원자력발전소에서 센서신호가 알람부(10)에 전달되어, 알람 절차 데이터에 따라 알람부(10)가 알람을 실시간으로 발생시키는 단계, (b) 판단유닛(20)이 원자력발전소의 비정상 상황에 대응되는 정보를 포함하는 비정상 데이터를 저장하고, 원자력발전소의 센서신호를 전달받아 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 비정상 데이터에 포함되는지 여부를 판단하는 단계, (c) 판단유닛(20)으로부터 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 비정상 데이터에 포함되는 것으로 판단된 판단정보를 전달받을 시, 상기 기본수행유닛이 비정상 상황에 대응되는 비정상 데이터에 따른 상기 절차수행신호를 생성하고 상기 절차수행신호를 따라 비정상 상황을 완화를 수행하는 단계, (d) 판단유닛(20)으로부터 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되지 않는 것으로 판단된 판단정보를 전달받을 시, 상기 추론수행유닛이 추론 프로세스를 수행하여 조치수행신호를 생성하고 상기 조치수행신호에 따라 비정상 시스템 또는 구성 요소에 대한 완화 조치를 수행하는 단계 및 (e) 근거제공부(70)가 기본수행유닛 및 추론수행유닛에서 제안된 절차수행신호 및 조치수행신호의 추론 프로세스를 제공하는 단계를 포함할 수 있다.

[0137] (a)단계는 원자력발전소에서 센서신호가 상기 알람부에 전달되어, 알람 절차 데이터에 따라 상기 알람부가 알람을 실시간으로 발생시키는 단계로 (a1) 원자력 발전소에 활성화가 감지(S10)되는 단계, (a2) 조치 필요성이 대두될 시 비정상 상황으로 인식되어 경고가 발생되어 플랜트가 비정상 상황을 인식(S11)하는 단계, (a3) 알람부(10)가 알람 절차 데이터에 따라 비정상 상황에 대응되는 알람을 발생시키는 단계가 수행될 수 있다. 알람부(10)는 플랜트가 비정상 상황을 인식한 후, 플랜트의 상황 인식에 따라 알람절차 데이터에 따라 알람부(10)에서 알람(S12)을 발생할 수 있다.

[0138] 이때, 알람부(10)는, 원자력 발전소에서 감지된 활성화에 따른 비정상 상황의 단계를 나누어 알람 절차 데이터를 형성할 수 있고, 해당 알람 절차 데이터에 대응되는 알람을 발생시킬 수 있다. 이때, 제안된 알람이 비정상 데이터와 대응되는 알람일 시 긴급 조치를 식별하여 일반알람이 발생될 시, (S12)단계로부터 적절한 비정상 데이터(AOP)를 선택하는 단계(S16)으로 이동될 수 있다.

[0139] (a)단계가 수행된 후 (b)단계인 판단유닛(20)이 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대응되는 정보를 포함하는 비정상 데이터를 저장하고, 상기 원자력발전소의 상기 센서신호를 전달받아 상기 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되는지 여부를 판단하는 단계가 수행될 수 있다.

[0140] (b)단계는 제안된 절차서에 긴급 조치 여부가 포함될 시, (S12)단계로부터 긴급성을 확인하는 단계(S13)로 이동될 수 있으며, 긴급 조치를 식별하여 해당하는 긴급 비정상 상황을 식별할 수 있으며, 단시간 내 원자로 정지를 유발할 수 있는 상황에 따른 긴급 조치가 있는 경우, 적절한 비정상 데이터(AOP)를 선택하는 단계(S16)으로 이동될 수 있으며, 기본진단부(30)가 발생된 비정상 상황에 적절한 비정상 데이터(AOP)를 제안하는 단계(S17)가 수행될 수 있다. 즉, 판단유닛(20)이 원자력발전소의 비정상 상황에 대응되는 정보를 포함하는 비정상 데이터와 원자력 발전소로부터 전달받은 센서신호를 비교하여 비정상 상황에 대한 데이터가 비정상 데이터에 포함되는지 판단할 수 있다.

[0141] (b)단계가 수행된 후 (c)단계인 기본수행유닛이 비정상 상황에 대응되는 제어신호인 절차수행신호를 생성하고, 절차수행신호에 따라 비정상 상황을 완화하는 단계가 수행될 수 있다.

[0142] (c)단계는, (c1) 기본진단부(30)가 발생된 비정상 상황에 대응되는 제어신호인 절차수행신호를 생성하는 단계 (c2) 기본수행부(40)가 절차수행신호에 따라 원자력 발전소를 제어하여 원자력 발전소의 비정상 상황을 완화하는 단계를 포함할 수 있다.

[0143] (c1)단계에서, 판단유닛(20)에서 판된된 판단정보에 현재 비정상 상황에 대응되는 비정상 데이터가 존재할 시 Symptomatic search를 사용하여 기본진단부(30)가 현재 비정상 상황에 알맞은 절차수행신호를 생성할 수 있다. 이로 인해 기본진단부(30)가 발생된 비정상 상황에 적절한 절차수행신호를 제안하는 단계(S17)가 수행될 수 있다.

[0144] 자세하게 비정상 상황이 발생될 시, 비정상 상황에 대응되는 비정상 데이터가 존재하는 경우, Symptomatic search방법을 이용하여 시스템에서의 고장의 증상을 식별하고, 식별된 증상을 기반으로 문제의 원인을 진단할 수 있다. Symptomatic search는 종래의 고장 증상을 데이터베이스화하여 판단유닛(20)에 저장된 비정상 데이터와 발생된 비정상 상황을 비교하여 발생된 비정상 상황에 적합한 절차수행신호를 생성할 수 있다.

[0145] (c2)단계에서, 기본수행부(40)가 기본진단부(30)에서 제안된 절차수행신호에 따라 원자력 발전소를 제어(S18)하여 비정상 상황을 완화할 수 있다.

[0146] (c)단계가 수행된 후 (d)단계인 추론수행유닛이 판단유닛(20)으로부터 원자력발전소의 비정상 상황에 대한 데이터가 상기 비정상 데이터에 포함되지 않는 것으로 판단한 판단정보를 전달받는 경우, 결함이 발생한 비정상 시스템 또는 구성 요소를 제안하여 해당 비정상 상황에 대응되는 제어신호인 조치수행신호를 생성하여, 조치수행신호에 따라 비정상 시스템 또는 구성 요소에 대한 완화 조치를 제안하는 단계가 수행될 수 있다.

[0147] (d)단계는 (d1) 추론진단부(50)가 원자력발전소의 상태 정보를 전달받고, 상태 정보를 이용한 추론 프로세스를 수행하여 비정상 시스템 또는 구성요소를 제안하는 이에 따른 조치신호인 조치수행신호를 생성하는 단계, (d2) 추론수행부(60)가 제안된 조치수행신호에 따라 원자력 발전소를 제어하여 비정상 상황 대한 완화 조치를 제안하는 단계를 포함할 수 있다.

[0148] (c1)단계에서 만약 판단유닛(20)이 비정상 상황에 대한 데이터가 비정상 데이터에 포함되지 않는 것으로 판단할 시 (c2) 내지 (c3) 단계인(S17)을 수행하지 않고(S19)단계로 이동되어 (d)단계를 수행할 수 있다.

[0149] 이후 (d1)단계에서 추론진단부(50)가 조치수행신호를 제안(S19)할 수 있다. 자세하게 현재 발생된 비정상 상황이 기저장된 비정상 데이터(AOP)와 대응되지 않을 경우, 추론진단부(50) Topographic search방법을 이용하여 고장이 발생된 시스템을 찾을 수 있으며, 정상 범위를 벗어난 시스템을 찾고 범위를 좁혀 정상 범위를 벗어난 기기를 찾아 이에 따른 완화 조치 신호인 조치수행신호를 생성할 수 있다.

[0150] (d2)단계에서 추론수행부(60)가 조치수행신호에 따라 원자력 발전소를 제어(S30)하여 비정상 상황을 완화하여 원자력 발전소가 정상상태로 복구될 수 있다.

[0151] (d)단계가 수행된 후 (e)단계인 근거제공부(70)가 기본수행유닛에서 생성된 절차수행신호 및 추론수행유닛에서 제안된 조치수행신호의 근거를 추론하여 제공하는 단계가 수행될 수 있다.

[0152] (e)단계는 이후 근거제공부(70)가 해당 비정상 상황의 원인을 찾는 단계(S13)를 수행할 수 있다. 근거제공부(70)는 설명 가능한 인공지능 방법론 중 하나인 EBM을 적용하여 인공신경망 및 기계학습모델의 결과에 관해 어떤 변수가 어떤 요인이 가장 큰 기여를 했는지를 수치로 제안하는 방법론으로 어떤 결과에 대해 주요 기여 변수를 추출하여 결과에 대한 근거를 제공할 수 있다.

[0153] (e)단계가 수행된 후 (f)단계인 상기 원자로정지예측유닛이 상기 원자력발전소의 정지 여부 및 상기 원자력발전소의 정지를 예측하고 정지에 대한 정보를 제공하는 단계가 수행될 수 있다. (f)단계는 (f1) 정지감시부(80)가 원자로 정지 감시 기능은 실시간으로 원자력발전소 정지 여부를 감시하고 이에 대한 정보를 운전원에게 제공하는 단계 (f2) 원자로의 정지를 예측하고 정지에 대한 정보를 제공하는 단계가 수행될 수 있다.

[0154] (f2 내지 5)단계는, 정지예측부(90)는 인공지능 기법을 활용하여 장기 정지 예측을 수행할 수 있으며, 원자로 정지와 관련된 주요 변수들의 거동을 예측하여 장/단축으로 제공하며, 주요 변수들의 예측값과 설정치 간의 차이를 이용하여 원자로 정지까지 남은 시간을 계산하여 제공하는 기능을 수행할 수 있으며, 정지예측부(90)는 Bidirection LSTM과 Attention Mechanism을 적용하여 구축될 수 있다.

[0155] (f2)단계는 원자력 발전소의 매개변수를 적합한 네트워크 입력으로 렌더링하는 전처리 단계 (f3) 원자력 정지의 확률을 장기로 예측하는 장기 예측 단계 (f4) 예측된 원자력 발전소 정지 확률의 신뢰성을 추정하는 불확실성 추정 단계 (f5) 예측된 원자력 발전소 정지 확률이 결과를 적절한 단위와 범위로 변환하여 그래픽으로 표시하는 후처리 단계를 포함할 수 있다.

[0156] (f2)단계는 전처리 단계로, 원자력 발전소의 0과 1사이의 매개변수를 처리하여 적합한 네트워크 입력으로 렌더링할 수 있다. 이때 국부적인 최소값이 발생되는 것을 방지하고 학습 속도를 높이기 위하여 최소-최대 정규화를 적용할 수 있다.

[0157] (f3)단계는 장기예측 단계로, BiLSTM, CVAE 및 AM 네트워크를 통해 안전에 중요한 파라미터의 장기 추세를 예측할 수 있으며, Seq2Seq 네트워크 기반으로 전처리 함수에서 정규화된 플랜트 파라미터를 입력으로 받아 플랜트 파라미터의 130 단계 추세를 출력하여 예측된 값에 대한 모델 분포$(P(Y|X,z,A,S))$를 생성하여, $L_j(\theta,\emptyset:\mathbf{X},y_j)$는 변형 하한 경계를 산출하여 예측된 값에 대한 모델 분포$(P(Y|X,z,A,S))$를 생성할 수 있다.

[0158] (f4)단계는 불확실성 추정 단계로, CVAE에 BNN을 적용하여 구성될 수 있으며, BNN은 동일한 입력 데이터가 네트워크에 입력될 시, 네트워크가 다른 출력을 생성하여 여러 경로를 수행하여 예측 불확실성을 정량화 할 수 있다.

[0159] (f5)단계는 후처리 단계로, 정규화된 예측 결과를 적절한 단위와 범위로 변환한 후 그래픽으로 표시할 수 있다.

[0161] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시 예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

[0162] 본 발명의 범위는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0164] 10 : 알람부

20 : 판단유닛

30 : 기본진단부

40 : 기본수행부

50 : 추론진단부

60 : 추론수행부

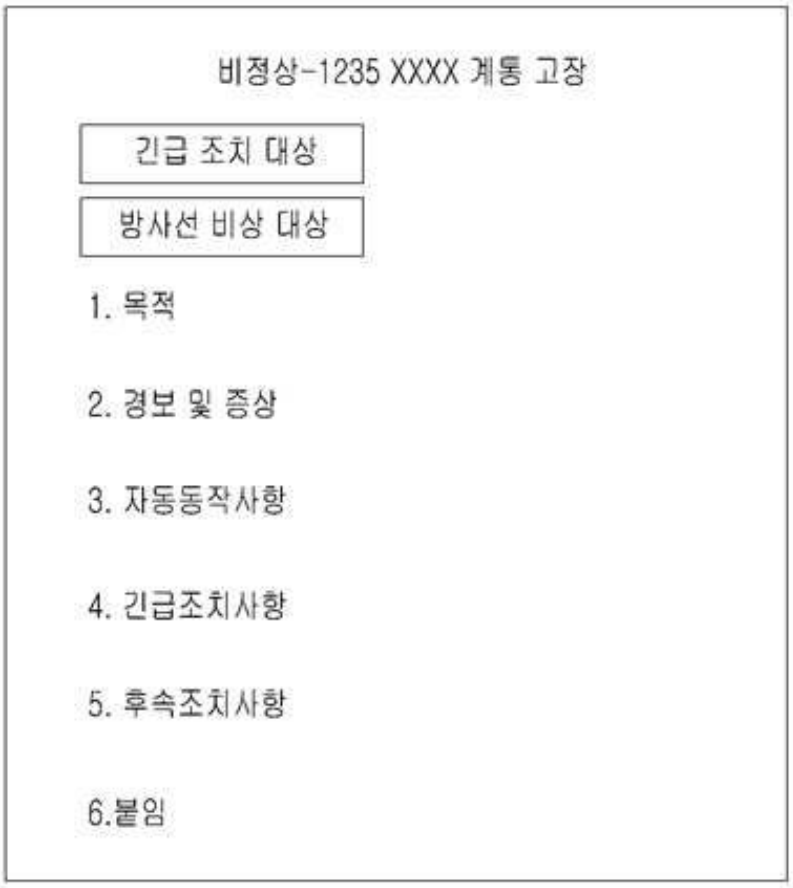
70 : 근거제공부

80 : 정지감시부

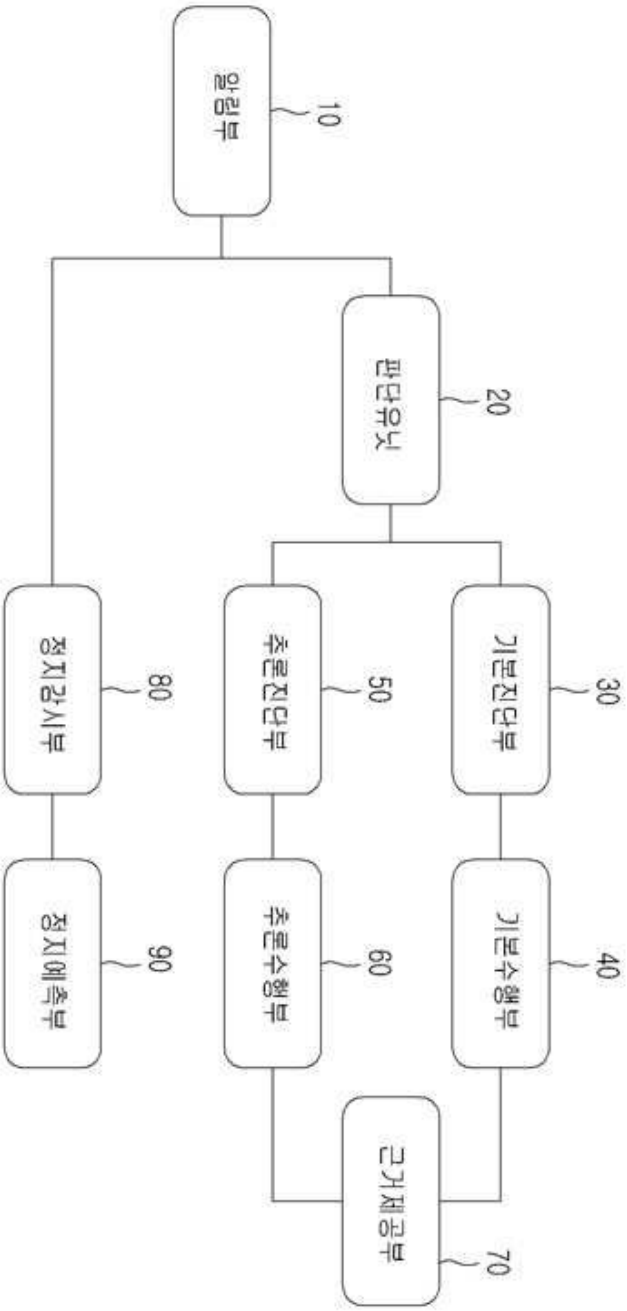
90 : 정지예측부

도면

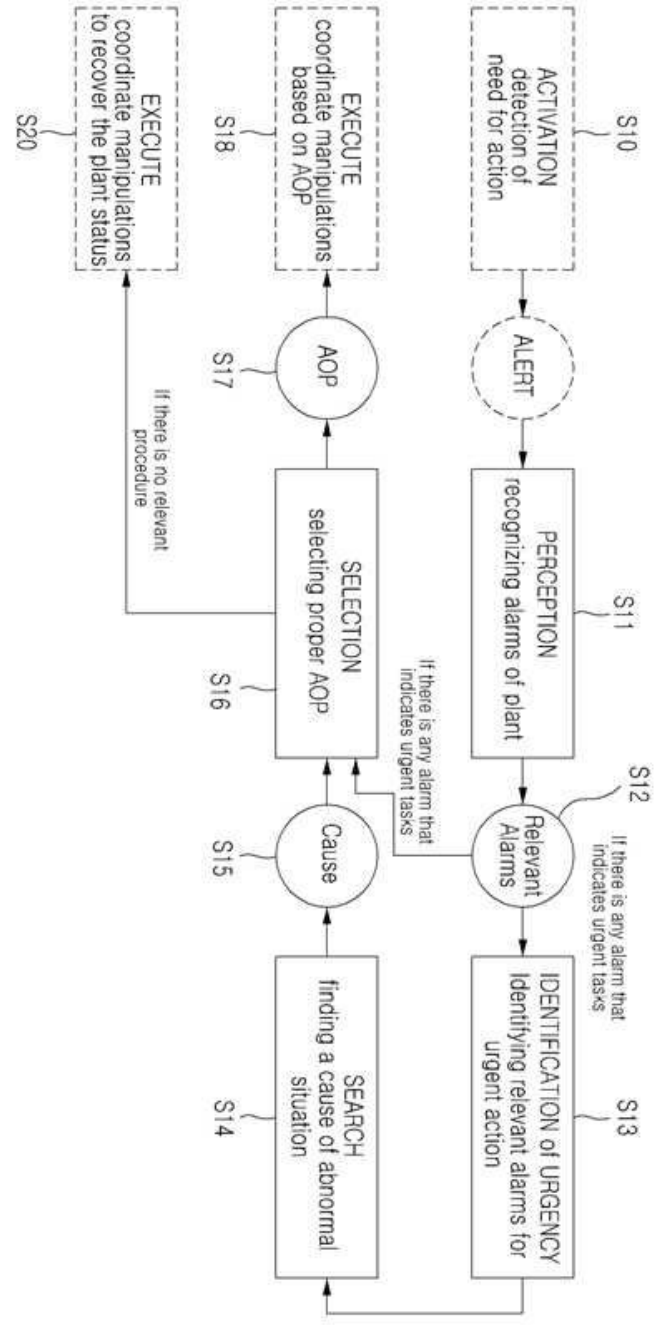
도면1



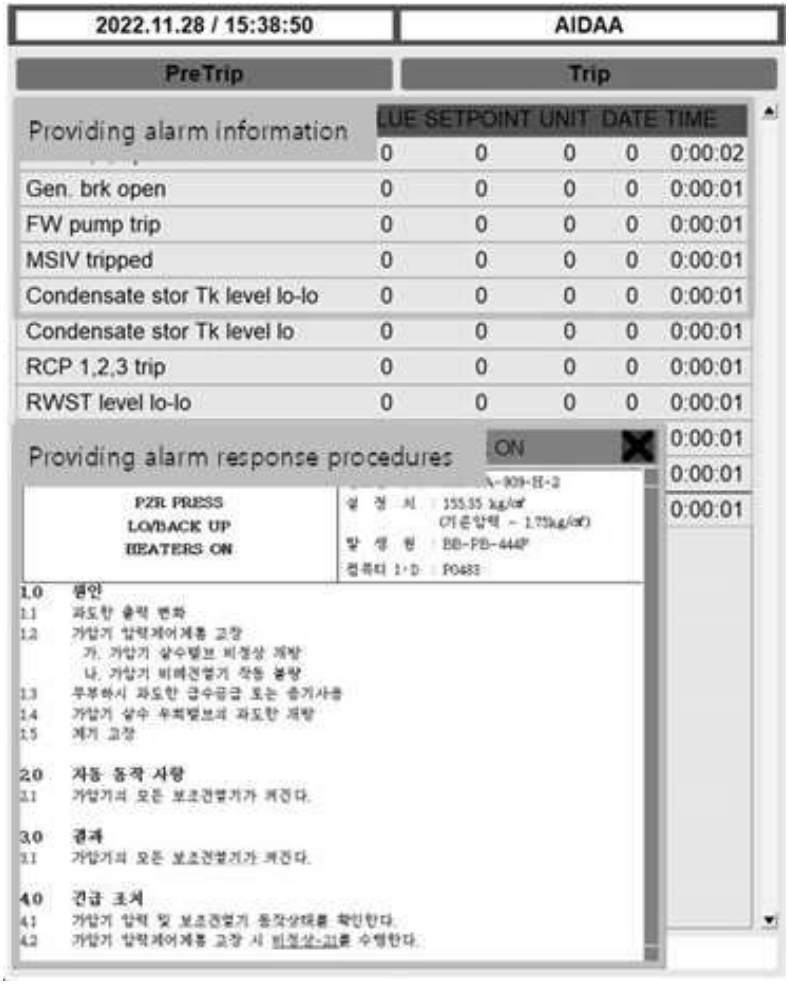
도면2


입력부
10
판단유닛
20
정지감시부
80
추론진단부
50
기본진단부
30
정지예측부
90
추론수행부
60
기본수행부
40
근거제공부
70

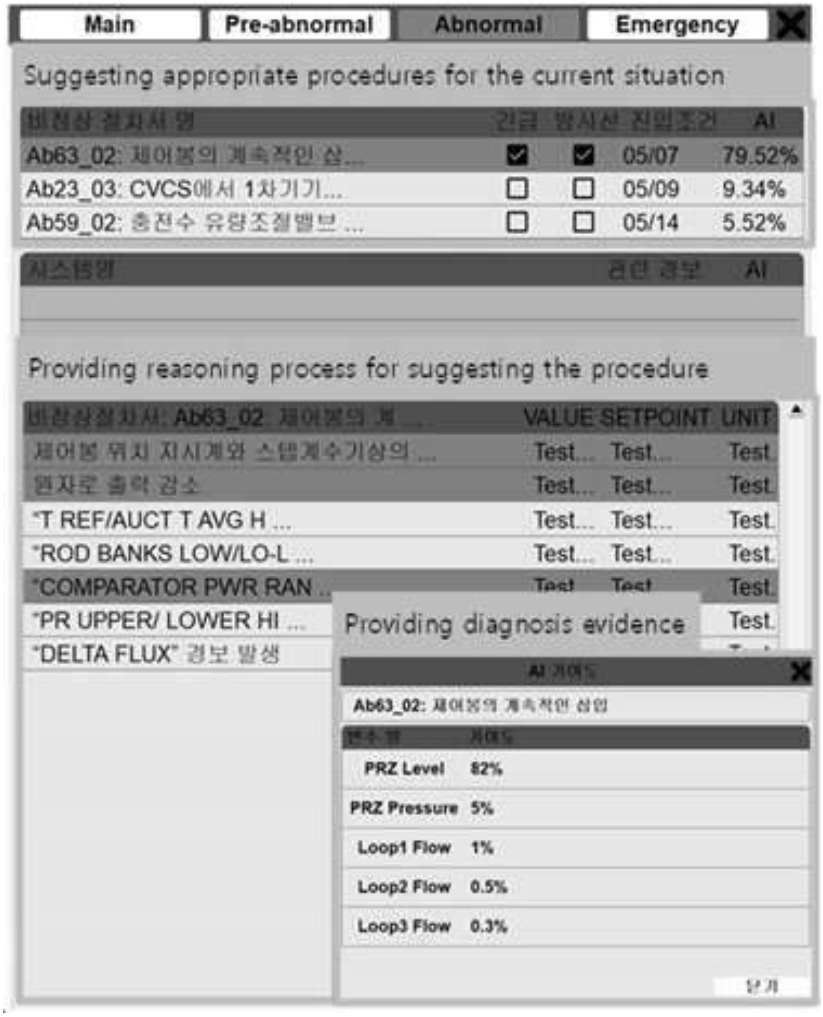
도면3


ACTIVATION
detection of
need for action
S10
ALERT
PERCEPTION
recognizing alarms of plant
S11
Relevant
Alarms
S12
If there is any alarm that
indicates urgent tasks
IDENTIFICATION of URGENCY
Identifying relevant alarms for
urgent action
S13
SEARCH
finding a cause of abnormal
situation
S14
Cause
S15
SELECTION
selecting proper AOP
S16
AOP
S17
EXECUTE
coordinate manipulations
based on AOP
S18
EXECUTE
coordinate manipulations
to recover the plant status
S20
If there is no relevant
procedure
If there is any alarm that
indicates urgent tasks

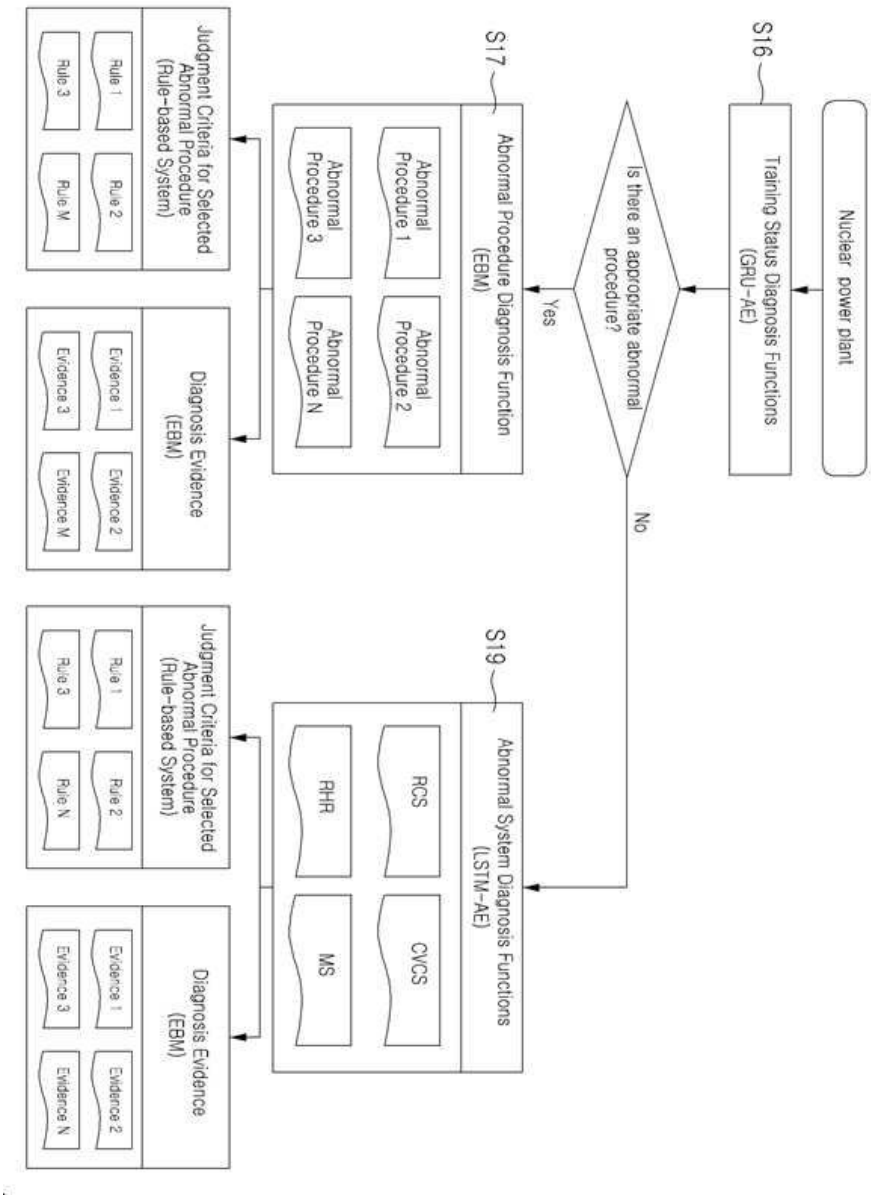
도면4


2022.11.28 / 15:38:50
AIDAA
PreTrip
Trip
Providing alarm information
LUE SETPOINT UNIT DATE TIME
0 0 0 0 0:00:02
Gen. brk open 0 0 0 0 0:00:01
FW pump trip 0 0 0 0 0:00:01
MSIV tripped 0 0 0 0 0:00:01
Condensate stor Tk level lo-lo 0 0 0 0 0:00:01
Condensate stor Tk level lo 0 0 0 0 0:00:01
RCP 1,2,3 trip 0 0 0 0 0:00:01
RWST level lo-lo 0 0 0 0 0:00:01
Providing alarm response procedures
ON
0:00:01
0:00:01
0:00:01
PZR PRESS
LO/BACK UP
HEATERS ON
1.0 원인
1.1 과도한 출력 변화
1.2 가압기 압력제어계통 고장
가. 가압기 살수밸브 비정상 개방
나. 가압기 비례전열기 작동 불량
1.3 부부하시 과도한 급수유량 또는 증기사용
1.4 가압기 살수 우회밸브의 과도한 개방
1.5 계기 고장
2.0 자동 동작 사항
2.1 가압기의 모든 보조전열기가 켜진다.
3.0 결과
3.1 가압기의 모든 보조전열기가 켜진다.
4.0 긴급 조치
4.1 가압기 압력 및 보조전열기 동작상태를 확인한다.
4.2 가압기 압력제어계통 고장 시 비정상-2를 수행한다.

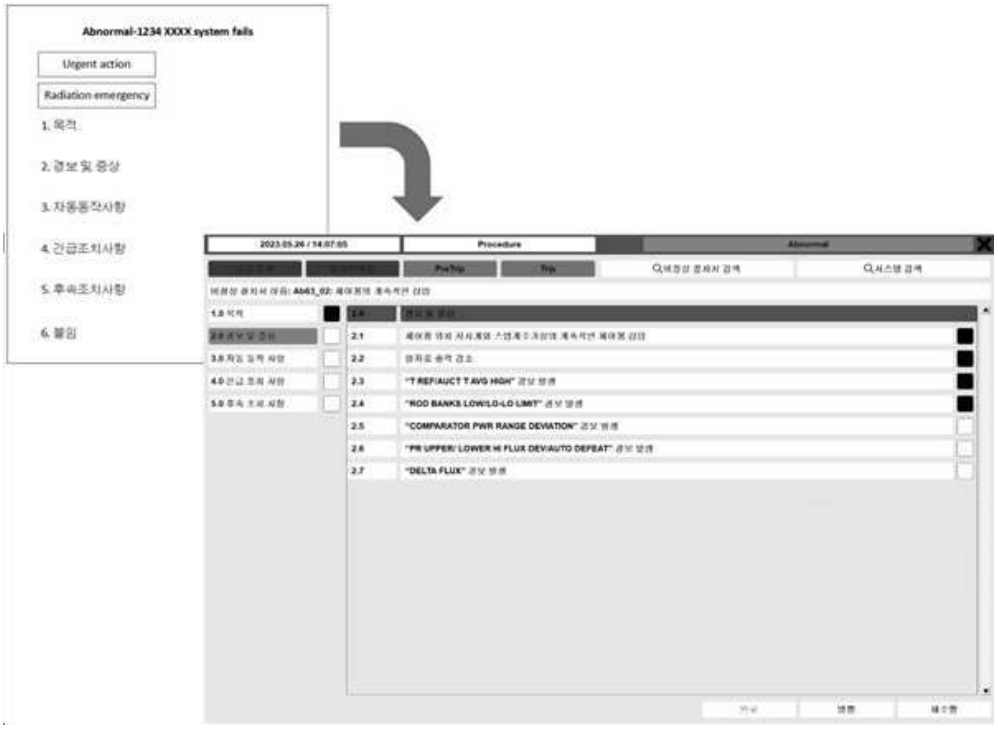
도면5


Main
Pre-abnormal
Abnormal
Emergency
Suggesting appropriate procedures for the current situation
Ab63_02: 제어봉의 계속적인 삽...
05/07
79.52%
Ab23_03: CVCS에서 1차기기...
05/09
9.34%
Ab59_02: 충전수 유량조절밸브 ...
05/14
5.52%
AI
Providing reasoning process for suggesting the procedure
VALUE SETPOINT UNIT
Test...
Test
"T REF/AUCT T AVG H ...
"ROD BANKS LOW/LO-L ...
"COMPARATOR PWR RAN ...
"PR UPPER/ LOWER HI ...
"DELTA FLUX" 경보 발생
Providing diagnosis evidence
Ab63_02: 제어봉의 계속적인 삽입
PRZ Level 82%
PRZ Pressure 5%
Loop1 Flow 1%
Loop2 Flow 0.5%
Loop3 Flow 0.3%

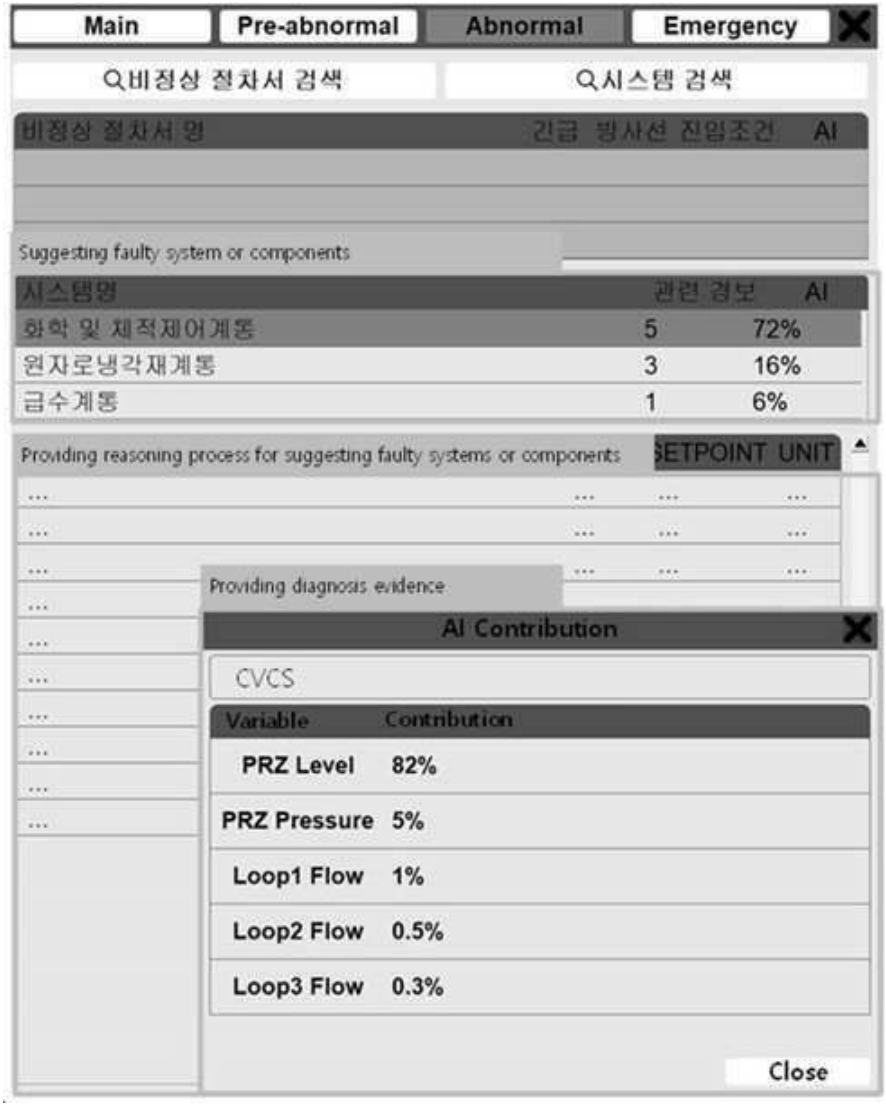
도면6


Nuclear power plant
Training Status Diagnosis Functions (GRU-AE)
S16
Is there an appropriate abnormal procedure?
Yes
No
S17
Abnormal Procedure Diagnosis Function (EBM)
Abnormal Procedure 1
Abnormal Procedure 2
Abnormal Procedure 3
Abnormal Procedure N
Judgment Criteria for Selected Abnormal Procedure (Rule-based System)
Rule 1
Rule 2
Rule 3
Rule M
Diagnosis Evidence (EBM)
Evidence 1
Evidence 2
Evidence 3
Evidence M
S19
Abnormal System Diagnosis Functions (LSTM-AE)
RCS
CVCS
RHR
MS
Judgment Criteria for Selected Abnormal Procedure (Rule-based System)
Rule 1
Rule 2
Rule 3
Rule N
Diagnosis Evidence (EBM)
Evidence 1
Evidence 2
Evidence 3
Evidence N

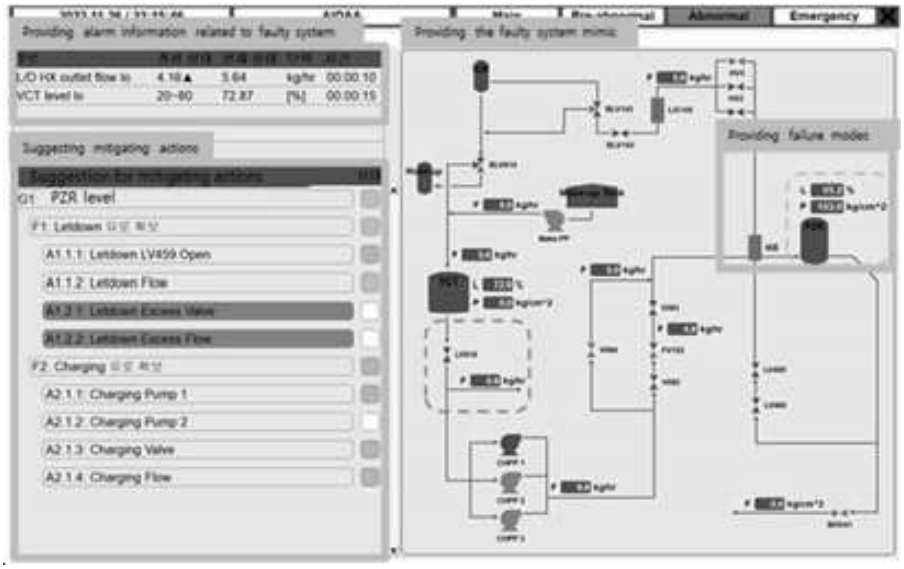
도면7


Abnormal-1234 XXXX system fails
Urgent action
Radiation emergency
1. 목적
2. 경보 및 증상
3. 자동동작사항
4. 긴급조치사항
5. 후속조치사항
6. 불임
Procedure
Abnormal
PreTrip
Trip
2.1
2.2
2.3
"T REF/AUCT T AVG HIGH"
2.4
"ROD BANKS LOW/LO-LO LIMIT"
2.5
"COMPARATOR PWR RANGE DEVIATION"
2.6
"PR UPPER/ LOWER HI FLUX DEV/AUTO DEFEAT"
2.7
"DELTA FLUX"

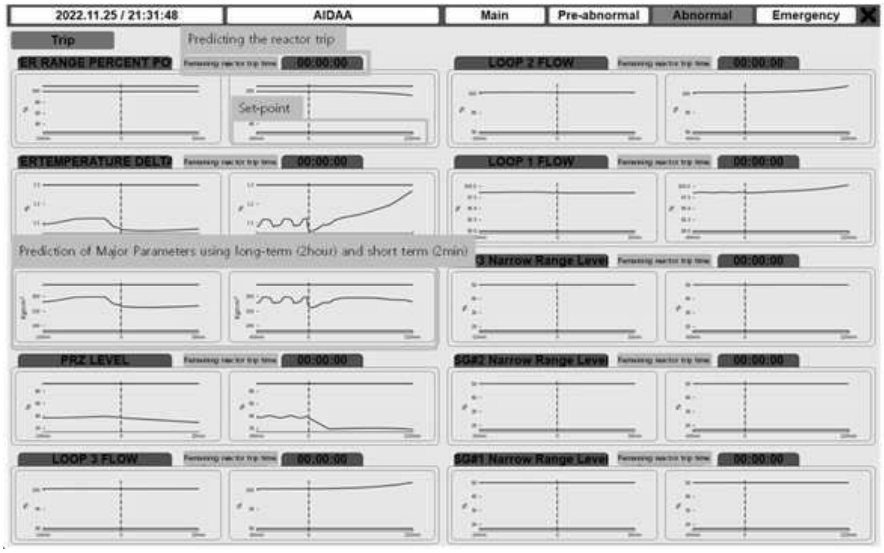
도면8


Main
Pre-abnormal
Abnormal
Emergency
비정상 절차서 검색
시스템 검색
비정상 절차서 명
긴급 핑사션 진입조건
AI
Suggesting faulty system or components
시스템명
관련 경보
AI
화학 및 체적제어계통
5
72%
원자로냉각재계통
3
16%
급수계통
1
6%
Providing reasoning process for suggesting faulty systems or components
SETPOINT
UNIT
Providing diagnosis evidence
AI Contribution
CVCS
Variable
Contribution
PRZ Level
82%
PRZ Pressure
5%
Loop1 Flow
1%
Loop2 Flow
0.5%
Loop3 Flow
0.3%
Close

도면9


Providing alarm information related to faulty system
Providing the faulty system mimic
Abnormal
Emergency
Suggesting mitigating actions
Providing failure modes
PZR level

도면10


2022.11.25 / 21:31:48
AIDAA
Main
Pre-abnormal
Abnormal
Emergency
Trip
Predicting the reactor trip
ER RANGE PERCENT PO
00:00:00
Set-point
LOOP 2 FLOW
ERTEMPERATURE DELT
LOOP 1 FLOW
Prediction of Major Parameters using long-term (2hour) and short term (2min)
G Narrow Range Leve
PRZ LEVEL
SG#2 Narrow Range Leve
LOOP 3 FLOW
SG#1 Narrow Range Leve