



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년09월01일
(11) 등록번호 10-2150741
(24) 등록일자 2020년08월26일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 17/108 (2006.01) G21D 3/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G21C 17/108 (2013.01)
G21D 3/001 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7015693
- (22) 출원일자(국제) 2013년10월22일
심사청구일자 2018년08월02일
- (85) 번역문제출일자 2015년06월12일
- (65) 공개번호 10-2015-0085023
- (43) 공개일자 2015년07월22일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2013/066066
- (87) 국제공개번호 WO 2014/120294
국제공개일자 2014년08월07일
- (30) 우선권주장
61/725,591 2012년11월13일 미국(US)
13/771,115 2013년02월20일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP11264887 A
Computers and Chemical Engineering 27 (2003)
293/311
Commercial Nuclear Fuel Division

- (73) 특허권자
웨스팅하우스 일렉트릭 컴퍼니 엘엘씨
미국 펜실베이니아 16066 크랜베리 다운쉽, 웨스팅
하우스 드라이브 1000, 스위트 141
- (72) 발명자
크리에그 데이비드 제이
미국 펜실베이니아주 15239 피츠버그 바 하버 드라
이브 716
보이드 윌리엄 에이
미국 펜실베이니아주 15106 카네기 파인 트리스 드
라이브 416
바흐만 니콜라스 에이
미국 펜실베이니아주 15203 피츠버그 사라 스트리트
#1 2512
- (74) 대리인
제일특허법인(유)

전체 청구항 수 : 총 8 항

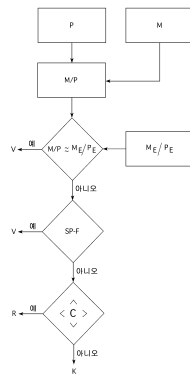
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 원자로 용기 내 검출기 출력 신호를 검증하는 방법

(57) 요약

코어 모니터링 시스템을 향상시키기 위해, 원자로의 고정된 인코어 검출기 및/또는 코어 출구 열전대를 위한 신호 검증을 수행하는 방법. 방법은 측정된 센서 신호 대 기대된 신호의 비를 향상시키는 것에 응답하여, 측정된 신호와 기대된 신호의 조합을 사용한다. 비는 다른 검출기의 기하학적 구조/위치를 고려하여, 남아있는 검출기들의 거동에 기반하여 각 검출기를 위한 기대된 비를 결정하는 것에 의해 평가된다. 또한, 충분한 검출기가 코어의 전력 분배를 충분히 특징짓도록 일렬로 남아있다면, 방법은 코어 전력 분배 결정으로부터 무효한 검출기를 자동적으로 제거한다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류
Y02E 30/30 (2020.08)

명세서

청구범위

청구항 1

원자로 코어(14)에 대해 동일한 축방향 높이에서 반경 방향으로 이격된 복수의 검출기 요소(88)를 구비하는 복수의 원자로 내 검출기(86)에 대한 원자로 계측 출력 신호를 검증하는 방법으로서, 각각의 상기 검출기 요소는 상기 검출기 요소가 위치되는 반경 방향 및 축방향 위치에서 측정된 원자로 작동 파라미터를 나타내는 출력 신호를 구비하는, 상기 원자로 계측 출력 신호의 검증 방법에 있어서,

상기 원자로의 현재 작동 상태에 기초하여 실질적으로 동일한 축방향 높이에서의 3개 이상의 상기 검출기 요소(88)의 예상된 출력의 예측 계산(P)을 실행하는 단계와,

동일한 축방향 높이에서의 상기 3개 이상의 검출기 요소(88)에 의해 각각 생성된 실제 신호(M) 대 대응하는 예상된 출력(P)의 비(M/P)를 취하는 단계와,

다수의 불리한 발전소 작동 조건에 대해, 생성된 실제 신호 대 대응하는 예상된 출력(P)의 비(M/P)의 기대 범위를 생성하는 단계와,

실질적으로 동일한 축방향 높이에서의 임의의 상기 3개 이상의 검출기 요소(88)에 의해 생성된 실제 신호 대 대응하는 예상된 출력(P)의 비(M/P)가 상기 비의 기대 범위 외에 있는지 여부를 결정하는 단계와,

상기 비의 기대 범위 내에 있는 실질적으로 동일한 축방향 높이에서의 상기 검출기 요소(88)의 비(M/P)를 스플라인 피팅하는 단계와,

상기 비의 기대 범위 외의 비(M/P)를 갖는 임의의 검출기 요소(88)가 대응하는 반경 방향 위치에서의 스플라인 피팅 비와 유사한 비를 갖는지 여부를 확인하는 단계와,

원자로 코어(14)의 계산 고려사항으로부터 상기 스플라인 피팅 비와 유사하지 않은 상기 비의 기대 범위 외의 비(M/P)를 갖는 임의의 검출기 요소(88)를 제거하는 단계를 포함하는

원자로 계측 출력 신호의 검증 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 비(M/P)의 기대 범위를 생성하는 단계는 오프라인 몬테 카를로 분석에 의해 결정되는

원자로 계측 출력 신호의 검증 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 다수의 불리한 작동 조건은 낙하된 봉, 오정렬된 봉(28) 및 제어 बैं크, 및 전력 레벨 불일치 중 하나 이상을 포함하는

원자로 계측 출력 신호의 검증 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 다수의 불리한 작동 조건은 랜덤한 검출기 소모 및 센서 신호 잡음을 고려하는

원자로 계측 출력 신호의 검증 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

총 측정된 신호(M)와 총 예측된 신호(P)의 차이를 고려하여 상기 비의 기대 범위를 정규화하는 단계를 포함하는 원자로 계측 출력 신호의 검증 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

의심스러운 검출기(88)가 원자로 코어(14)의 계산 고려사항으로부터 제거되기 전에, 상기 의심스러운 검출기의 소정 영역 내에 사용자-지정된 개수의 검증된 검출기가 존재해야만 하는

원자로 계측 출력 신호의 검증 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 사용자-지정된 개수의 검출기(88)는 신호가 검증된 검출기여야 하는

원자로 계측 출력 신호의 검증 방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

의심스러운 검출기(88)가 원자로 코어(14)의 계산 고려사항으로부터 제거되기 전에, 신호가 검증되거나, 다른 방식으로 작동중인 것으로 알려진, 동일한 축방향 높이에서의 상기 복수의 검출기 요소의 사전 결정된 부분이 존재해야만 하는

원자로 계측 출력 신호의 검증 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] (관련 출원에 대한 교차 참조)

[0002] 본 특허출원은 2013년 2월 20일자로 출원된 미국 특허 제 13/771,115 호의 이점을 주장하고, 2012년 11월 13일자로 출원된 미국 가특허출원 제 61/725,591 호에 대한 우선권을 주장한다.

[0003] 본 발명은 일반적으로, 원자로 용기 내 검출기를 검증하는 방법에 관한 것이며, 특히 고정된 인코어(incore) 플럭스 검출기 및 코어 출구 열전대(core exit thermocouple)의 출력 신호를 검증하는 이러한 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] 가압수형 원자로로는 업라이트(upright) 원자로 용기 내에 장착된 다수의 기다란 연료 조립체를 구비한다. 가압된 냉각제는 연료 조립체를 통해 순환되어, 연료 조립체 내에 포함된 핵분열 가능 물질에서의 핵반응에 의해 발생된 열을 흡수한다. 원자로 용기 외측에 장착된 엑스-코어(ex-core) 검출기 시스템은 연료 조립체에 의해 발생된 평균 전력의 측정을 제공한다. 그러나, 작동 제한이 초과되지 않는다는 것을 확신하도록 코어를 통한 전력의 분배에 유의하는 것이 중요하다. 전력 분배는 예를 들어, 연료 조립체 내로의 제어봉의 삽입의 정도와 같은 다수의 팩터에 영향을 미친다.

[0005] 시스템은 가압수형 원자로에서의 전력 분배를 결정하도록 발전되었다. 펜실베이니아주 크랜베리 타운십의 웨스팅하우스 일렉트릭 컴퍼니 엘엘씨로부터 인가되기 위해 이용 가능한 BEACON™ 코어 모니터링 시스템으로 알려진 하나의 시스템은, 원자로 코어 내에서의 온라인 3차원 전력 분배를 발생시키기 위한 하나 이상의 엔지니어링 워크 스테이션에서 동시에 실행되는 하나의 세트의 결합되고, 아직 독립된 컴퓨터 소프트웨어 프로그램을 채용한다. BEACON™ 시스템은 지속적으로 측정된 3차원 전력 분배를 산출하도록 3차원적 분석을 포함하는 인코어 플럭스 맵(incore flux map)을 사용한다. 펜실베이니아주 크랜베리 타운십의 웨스팅하우스 일렉트릭 컴퍼니 엘엘씨

로부터 인가 가능한 BEACON™ 시스템에 의해 수행된 기능은 온라인 운전정지 마진 평가, 추정된 임계 조건 계산 및 부하 기동 시뮬레이션과 같은 예측적인 기능을 포함하는 코어 분석과 코어 모니터링을 포함한다.

[0006] 많은 원자력 발전소 내의 플럭스 맵은 전체가 아닌 일부 연료 조립체의 계측 심블을 통해 가동 검출기를 실행함으로써 생성된다. 다른 발전소에 있어서, 고정된 인코어 검출기는 계측 심블 내에 위치 설정되고, 코어의 전체에 걸쳐서 반경 방향으로 분배된 위치에 나타나는 점진적으로 이격된 축방향 플럭스를 제공한다. 고정된 인코어 검출기는 코어 3차원 전력 분배를 배치하는데 사용되는 신호 출력을 지속적으로 제공한다. 또한, 개별 연료 조립체 내에 생성된 전력은 냉각재가 조립체를 통해 흐를 때 냉각재의 엔탈피의 변화에 의해 결정될 수 있다. 엔탈피는 연료 조립체에 걸친 온도 상승, 냉각재의 압력 및 냉각재의 특정 특성의 함수이다. 냉각재 압력은 상당히 일정한 상태에 있지만, 어떤 상황에서도, 측정된 양이고, 냉각재의 특성이 알려진다. 온도의 상승은 냉각재가 원자로 코어로 다시 순환될 때 냉각재의 온도를 측정하는 입구 온도 센서에 의해 측정된다. 연료 조립체에 대한 평균 입구 냉각재 온도는 정확하게 측정될 수 있다. 전체가 아닌 일부 연료 조립체가 출구 열전대와 끼워맞춤된다. 계측된 조립체에서의 엔탈피 변화는 연료 조립체에 걸친 온도 상승을 측정함으로써 계산될 수 있다. 그 다음에, 연료 조립체의 냉각재 유량이 정확하게 알려진다면, 조립체 내에서 생성된 전력이 정확하게 획득된다. 가압수형 원자로 내의 연료 조립체는 비등수형 원자로와 같이 밀폐 채널을 구비하지 않고, 냉각재가 이웃하는 조립체 사이에서 직교류로 흐르는 것을 방지한다.

[0007] 직교류 유동의 효과는 측정된 조립체 전력과 열전대에 의해 측정된 엔탈피 증가로부터 결정된 전력의 비로 규정되는 혼합 팩터에 의해 특징지어진다. 이러한 혼합 팩터는 코어 및 원자로 전력 레벨 내의 열전대 위치에 따라 달라진다. 이러한 측정된 혼합 팩터는 전력 분배의 3차원 분석적 결절 모델(nodal model)을 업데이트하는데 사용된다. 전력 분배의 불확실성은 각 열전대로부터 혼합 팩터의 표준 편차를 발생시킴으로써 평가된다. 이러한 불확실성은 BEACON™ 시스템에 의해 정된 전력 결과에 적용된다.

[0008] 따라서, BEACON™ 코어 모니터링 시스템은 원자로 코어의 3차원 측정된 전력 분배의 지속적인 모니터링을 제공하고, 다양한 안전 기준들, 예를 들면, 침투 선형 열소비율, 원자핵 고온 채널 팩터, 핵비등 이탈율(Departure from Nucleate Boiling Ratio; DNBR) 등에 대한 사용 가능한 마진의 정확한 평가를 허용한다. 모니터링 기능을 수행하기 위해서, BEACON™ 시스템은 측정 정보의 소스로서 자가 전력의 중성자 인코어 검출기 및/또는 코어 출구 열전대의 정밀도 및 신뢰성에 의존한다. 이러한 계측 장치 중 하나가 실패하거나 무효 신호를 제공하는 경우에, BEACON™ 시스템 내에서 자동적으로 검출하는 방법은 현재 존재하지 않는다. 그러나, 무효 검출 신호는 기술적 사양 감시의 부적합, 발전소에 불필요한 작동 제한, 및 문제의 원인을 진단하는 큰 시간 소모로 이어질 수 있는 부정확한 작동 마진을 발생시킬 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 따라서, 본 발명의 목적은 검출기 출력이 유효한지 결정하도록, 각 검출기로부터의 데이터에 일련의 평가를 자동적으로 통과하는 방법을 제공하는 것이다.

[0010] 본 발명의 추가의 목적은 출력이 무효한 것으로 확인될 때, 코어 검출기로부터 개별적인 검출기 출력을 자동적으로 제거하는 것이다.

[0011] 게다가, 본 발명의 목적은 허용 가능한 수의 남아있는 검출기 유효 출력이 무효한 검출기 출력을 안전하게 무시하도록 이용 가능한 것으로 확인될 때까지, 검출기 출력은 코어 계산에서의 고려사항으로부터 제거되지 않는다는 것을 보장하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 이러한 및 다른 목적은 원자로 코어에 대한 대략 동일한 축방향 높이에서 반경 방향으로 이격된 복수의 검출기 요소를 구비하는 복수의 원자로 내 검출기를 위한 원자로 계측 출력 신호를 검증하는 방법에 의해 달성되고, 이러한 방법에서, 각각의 검출기 요소는 이 검출기 요소가 위치되는 반경 방향 및 축방향 위치에서 측정된 원자로 작동 파라미터를 나타내는 출력 신호를 구비한다. 방법은, 원자로의 현재 작동 상태에 기초한 실질적으로 동일한 축방향 높이에서 3개 이상의 검출기 요소의 예상된 출력을 생성하도록 예측 계산을 실행하는 단계를 포함한다. 그 다음에, 방법은 대략 동일한 축방향 높이에서 3개 이상의 검출기 요소에 의해 각각 생성된 실제 신호 대 대응하는 예상된 출력의 비를 취한다. 그 다음에, 방법은 다수의 불리한 발전소 작동 조건에 대해, 생성된 실제 신호 대 대응하는 예상된 출력의 비의 기대 범위를 생성한다. 실질적으로 동일한 축방향 높이에서 임의의

3개 이상의 검출기 요소에 의해 생성된 실제 신호의 비가 비의 범위 외에 있다면, 결정이 이루어진다. 3개 이상의 검출기 요소 중 임의의 것에 의해 생성된 실제 신호의 비가 비의 범위 외에 있다면, 방법은 그 다음에 비의 범위 내에 있는 실질적으로 동일한 축방향 높이에서 검출기 요소의 비를 스플라인 피팅(spline-fit)하고, 범위 외의 비를 갖는 임의의 검출기 요소가 대응하는 반경 방향 위치에서의 스플라인 피팅과 유사한 비를 갖는지 확인한다. 비의 범위 외에 있는 비가 대응하는 위치에서의 스플라인 피팅 비와 유사하지 않다면, 방법은 원자로 코어 검출기로부터의 스플라인 피팅 비와 유사하지 않은 범위 외의 비를 갖는 임의의 검출기 요소를 제거한다.

[0013] 바람직하게, 비의 기대 범위를 생성하는 단계는 오프라인 몬테 카를로 분석(offline Monte Carlo analysis)에 의해 결정되고, 다수의 불리한 작동 조건은 낙하된 붕 및 전력 레벨 불일치 중 하나 이상을 포함한다. 다수의 불리한 작동 조건은 랜덤한 검출기 소모 및 센서 신호 잡음을 고려한다.

[0014] 일 실시예에 있어서, 발명은 총 측정된 신호와 총 예측된 신호의 차이를 고려하는 비의 범위를 정규화하는 단계를 포함한다. 바람직하게, 의심스러운 검출기가 원자로 코어 계산으로부터 제거되기 전에, 의심스러운 검출기의 소정 영역 내에 사용자 지정된 수의 검증된 검출기가 존재해야만 한다. 게다가, 다른 실시예에 있어서, 의심스러운 검출기가 원자로 코어 계산으로부터 제거되기 전에, 신호가 검증되거나, 그렇지 않으면 작동중인 것으로 알려진 대략 동일한 축방향 높이에서 복수의 검출기 요소의 사전 결정된 부분이 존재해야만 한다.

[0015] 본 발명의 추가적인 이해는 첨부된 도면과 함께 읽을 때, 바람직한 실시예의 이하의 설명으로부터 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 이하에 설명되는 실시예가 적용될 수 있는 원자로 시스템의 단순 개략도,
- 도 2는 이하에 설명되는 실시예가 적용될 수 있는 원자로 용기와 내부 구성요소의 부분 단면도,
- 도 3은 명확성을 위해, 부분이 박리된 상태로, 수직 단축된 형태로 도시된 연료 조립체의 부분 단면도,
- 도 4a는 도 3에 도시된 연료 조립체의 중앙 기구 심블 내에 끼워맞춤될 수 있는 인코어 기구 심블 조립체의 평면도,
- 도 4b는 도 4a의 인코어 기구 심블 조립체의 전향 시스의 내부의 개략도,
- 도 4c는 도 4a의 인코어 기구 심블 조립체의 후방 단부에서의 전기 커넥터의 단면도,
- 도 5는 본 발명의 일 실시예의 단계의 논리 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 압력 하에서 물로 냉각되는 원자로 발전 시스템의 1차측은 유효 에너지의 생성을 위해 2차 회로와 열교환 관계에 있고, 이 2차 회로로부터 분리되는 폐쇄 회로를 포함한다. 1차측은 핵분열성 물질을 포함하는 복수의 연료 조립체를 지지하는 코어 내부 구조물을 밀폐하는 원자로 용기와, 열교환 증기 발생기 내의 1차 회로와, 가압기의 내부 용적과, 가압수를 순환시키기 위한 펌프 및 파이프를 포함하며, 파이프는 각각의 증기 발생기와 펌프를 독립적으로 원자로 용기에 연결한다. 증기 발생기와, 펌프와, 용기에 연결되는 파이프의 시스템을 포함하는 1차측의 각각의 부분은 1차측의 루프를 형성한다.

[0018] 도시를 위해, 도 1은 원자로 코어(14)를 밀폐하는 클로저 헤드(12)를 구비하는 대체로 원통형 원자로 압력 용기(10)를 포함하는 단순 원자로 1차 시스템을 도시한다. 물 또는 붕산수와 같은 액체 원자로 냉각제는 펌프(16)에 의해서 코어(14)를 통해 원자로 용기(10) 내로 펌핑되고, 이러한 코어(14)에서, 열에너지가 흡수되며, 열이 이용 회로(도시되지 않음)로 전달되는, 증기 구동 터빈 발생기와 같은 전형적으로 증기 발생기로 지칭된 열교환기(18)로 열에너지가 방출된다. 그 다음에, 원자로 냉각제는 펌프(16)로 복귀되어 1차 루프를 완료한다. 전형적으로, 복수의 상술된 루프는 원자로 냉각제 파이핑(20)에 의해 단일 원자로 용기(10)에 연결된다.

[0019] 예시적인 원자로 디자인은 도 2에 보다 상세하게 도시된다. 코어(14)에 더하여, 복수의 평행하고 수직으로 동일 길이로 연장되는 연료 조립체(22)로 구성되고, 이 설명을 위해, 다른 용기 내부 구조물은 하부 내장품(24)과 상부 내장품(26)으로 분할될 수 있다. 종래의 디자인에 있어서, 하부 내장품의 기능은 유동을 용기 내로 지향시킬 뿐만 아니라, 코어 구성요소 및 계측 장치를 지지, 정렬 및 안내하는 것이다. 상부 내장품은 연료 조립체(22)(단순화를 위해, 이들 중 2개만이 도 2에 도시됨)를 위한 2차 제한 장치를 제한 또는 제공하고, 제어봉(2

8)과 같은 구성요소와 계측 장치를 지지 및 안내한다. 도 2에 도시된 예시적인 원자로에 있어서, 냉각제는 하나 이상의 입구 노즐(30)을 통해 원자로 용기에 들어가고, 원자로 용기와 코어 배럴(32) 사이의 환형체를 통해 아래로 흐르고, 하부 플리넘(34)에서 180° 회전되며, 연료 조립체가 안착되는 하부 지지 플레이트(37) 및 하부 코어 플레이트(36)에서 상향으로, 그리고 연료 조립체(22)를 통해 및 연료 조립체(22)에 대해 통과된다. 일부 디자인에 있어서, 하부 지지 플레이트(37)와 하부 코어 플레이트(36)는 단일 구조물로 대체되고, 하부 코어 지지 플레이트는 37와 같은 동일한 높이를 구비한다. 코어 및 주변 영역(38)을 통해 흐르는 냉각제는 대략 초당 20 피트의 속도로, 대략 분당 400,000 갤런으로 전형적으로 크다. 결과적인 압력 강하 및 마찰력은 연료 조립체가 상승하도록 하는 경향이 있고, 원형의 상부 코어 플레이트(40)를 포함하는 상부 내장품에 의해 이동이 제한된다. 코어(14)를 빠져나오는 냉각제는 상부 코어 플레이트(40)의 하측을 따라, 그리고 복수의 천공(42)을 통해 상향으로 흐른다. 그 다음에, 냉각제는 하나 이상의 출구 노즐(44)에 상향으로 그리고 반경 방향으로 흐른다.

[0020] 상부 내장품(26)은 용기 또는 용기 헤드로부터 지지될 수 있고, 상부 지지 조립체(46)를 포함한다. 부하는 주로 복수의 지지 칼럼(48)에 의해 상부 지지 조립체(46)와 상부 코어 플레이트(40) 사이에서 전달된다. 지지 칼럼은 상부 코어 플레이트(40) 내에서 선택된 연료 조립체(22)와 천공(42) 상에 정렬된다.

[0021] 중성자 독봉(neutron poison rod)의 구동 샤프트(50)와 스파이더 조립체(52)를 전형적으로 포함하는 직선 이동 가능한 제어봉(28)은 제어봉 가이드 튜브(54)에 의해 상부 내장품(26)을 통해, 그리고 정렬된 연료 조립체(22) 내로 안내된다. 가이드 튜브는 상부 지지 조립체(46)와 상부 코어 플레이트(40)의 상부에 고정적으로 결합된다. 지지 칼럼(48) 구성체는 제어봉 삽입 능력에 악영향을 미칠 수 있는 사고 조건 하에서, 가이드 튜브 변형을 방해하는 것을 돕는다.

[0022] 도 3은 참조 번호 22로 일반적으로 지시되는 연료 조립체의 수직으로 단축된 형태로 나타난 정면도이다. 연료 조립체(22)는 가압수형 원자로에 사용된 유형이고, 하단부에 하부 노즐(58)을 포함하는 구조적 뼈대를 구비한다. 하부 노즐(58)은 원자로의 코어 구역 내의 하부 코어 플레이트(36) 상에서 연료 조립체(22)를 지지한다. 하부 노즐(58)에 더하여, 연료 조립체(22)의 구조적 뼈대는 상단부에서 상부 노즐(62)과, 상부 내장품 내의 가이드 튜브(54)와 정렬되는 다수의 가이드 튜브 또는 심블(84)을 포함한다. 가이드 튜브 또는 심블(84)은 하부 노즐(58)과 상부 노즐(62) 사이에서 종방향으로 연장되고, 대향 단부에서 이들 노즐에 견고하게 부착된다. 연료 조립체(22)는 가이드 심블(84)을 따라 축방향으로 이격 및 장착된 복수의 횡단 그리드(transverse grid)(64)와, 이 그리드(64)에 의해 횡방향으로 이격되고 지지된 조직적인 어레이의 기다란 연료봉(66)을 더 포함한다. 또한, 도 3에 도시된 바와 같은 조립체(22)는 중앙에 위치된 계측 튜브(68)를 구비하고, 이 계측 튜브(68)는 하부 노즐(58)과 상부 노즐(62) 사이에 연장되고, 이들에 의해 포획된다. 이러한 부품의 구성에 의해서, 연료 조립체(22)는 부품의 조립체를 손상시키는 일 없이, 편리하게 다룰 수 있는 일체 유닛을 형성한다.

[0023] 상기 언급된 바와 같이, 조립체(22)에서의 어레이 내의 연료봉(66)은 연료 조립체 길이를 따라 이격된 그리드(64)에 의해 서로 이격된 관계로 유지된다. 각 연료봉(66)은 복수의 핵연료 소결체(70)를 포함하고, 상단부 및 하단부 플러그(72 및 74)에 의해 연료봉의 대향 단부에서 폐쇄된다. 소결체(70)는 상단부 플러그(72)와 소결체 스택의 상부 사이에 배치된 플리넘 스프링(76)에 의해 스택 내에 유지된다. 핵분열성 물질로 구성된 연료 소결체(70)는 원자로의 반응력을 발생시키는 것을 책임진다. 소결체를 지지하는 클래딩(cladding)은 핵분열 부산물이 냉각제로 유입되고, 또한 원자로 시스템을 오염시키는 것을 방지하는 장벽으로서 기능한다.

[0024] 핵분열 공정을 제어하기 위해서, 다수의 제어봉(78)은 연료 조립체(22) 내의 사전 결정된 위치에 위치한 가이드 심블(84) 내에서 상호적으로 가동한다. 특히, 상부 노즐(62) 위에 위치설정된 로드 클러스터 제어 기구(80)는 복수의 제어봉(78)을 지지한다. 제어 기구는 도 2에 대해 이전에 언급된 스파이더를 형성하는 복수의 반경 방향으로 연장되는 플루크(fluke) 또는 아암(52)을 갖는 암나사산이 형성된 원통형 허브 부재(82)를 구비한다. 잘 알려진 방식으로 제어봉 허브(82)에 결합되는 제어봉 가이드 샤프트(50)의 동력 하에서, 제어봉 기구(80)가 가이드 심블(84) 내에서 수직적으로 제어봉을 이동시키고, 이에 의해 연료 조립체(22)에서의 핵분열 공정을 제어하도록 작동 가능하기 위해, 각 아암(52)이 제어봉(78)에 상호 연결된다.

[0025] 이전에 언급된 바와 같이, 일부 원자력 발전소는 연료 조립체(22) 내의 계측 심블(68) 내에 고정된 인코어 중성자 검출기를 채용한다. 이러한 유형의 센서는 다수의 축방향 높이에서 코어 내의 방사능을 측정하는 능력을 갖는다. 이러한 센서는 원자로 코어 내측의 전력의 반경 방향 및 축방향 분배를 측정하는데 사용된다. 이 전력 분배 측정 정보는 원자로가 핵설계 전력 분배 범위 내에서 작동하는지 여부를 결정하는데 사용된다. 이러한 측

정 기능을 수행하는데 사용된 전형적인 인코어 센서는 이 센서 주위에서 발생하는 핵분열의 양에 비례하는 전류를 생성한다. 이러한 유형의 센서는 전류를 생성하는 전력의 외부원을 필요로 하지 않고, 보통, 자가 전력 검출기로 불린다. 자가 전력의 방사선 검출기의 하나의 유형이 1998년 4월 28일에 발행되고, 본 발명의 양수인에게 양도된 미국 특허 제 5,745,538 호에 설명된다. 로듐, 바나듐, 코발트, 백금, 또는 다른 유사한 특성의 물질과 같은 중성자 수감 물질은 방출 요소를 위해 채용되고, 중성자 조사에 응답하여 전자를 방출한다. 전형적으로, 자가 전력 검출기는 인코어 계측 심블 조립체 내에 그룹화된다. 대표적인 인코어 계측 심블 조립체(86)가 도 4a, 도 4b 및 도 4c에 도시된다. 중성자 수감 방출 요소에 의해 발생된 신호 레벨은 낮다; 그러나, 중성자 수감 방출 요소는 복잡하고 고가의 신호 처리 장치 없이 충분한 신호를 제공한다. 또한, 인코어 계측 심블 조립체는 연료 조립체 내에 존재하는 냉각재 온도를 측정하기 위한 열전대(90)를 포함할 수도 있다.

[0026] 원자로 코어에서의 각 인코어 계측 심블 조립체 내의 자가 전력 검출기 요소 및 열전대로부터의 전기적 신호 출력은 전기 커넥터(92)에서 수집되고, 최종 처리 및 측정된 코어 전력 분배를 생성하는데 사용되기 위해 원자로로부터 충분히 먼 위치로 보내진다. 또한, 열전대는 지지 칼럼(48)의 저단부에 위치되어, 선택된 위치에서 나타나는 냉각재 코어 출구 온도를 제공한다.

[0027] 이전에 언급된 바와 같이, 도 1에 ब्ल록 형태로 상징적으로 도시되고, 도면 부호 94로 지시된 BEACON™ 코어 모니터링 시스템은 원자로 코어의 3차원 측정된 전력의 지속적인 모니터링을 제공하고, 다양한 안전 기준들, 예를 들면, 첨두 선형 열소비율, 원자핵 고온 채널 팩터, DNBR 등에 대한 사용 가능한 마진의 정확한 평가를 허용한다. 모니터링 기능을 수행하기 위해서, BEACON™ 시스템은 측정 정보의 소스로서 지지 칼럼(48)의 저단부에 위치한 자가 전력의 중성자 검출기(86) 또는 코어 출구 열전대(96)의 정밀도 및 신뢰성에 의존한다. 이러한 계측 장치 중 하나가 실패하거나 무효 신호를 제공하는 경우에, BEACON™ 시스템 내에서 자동적으로 검출하는 방법은 현재 존재하지 않는다. 무효 검출 신호는 기술적 사양 감시의 부적합, 발전소에 불필요한 작동 제한, 및 문제의 원인을 진단하는 큰 시간 소모로 이어질 수 있는 부정확한 작동 마진을 발생시킬 수 있고, 이 모든 것들은 작동의 경비를 추가할 수 있다. 이하에 청구된 방법은 각 검출기로부터의 데이터 상의 일련의 평가를 통해 자동적으로 배열되어, 검출기 데이터가 무효한지를 결정한다. 이는 먼저, 검출기 데이터를 측정된 값과 비교하기 위해 기대된 또는 예측된 값을 계산함으로써, 데이터가 어떻게 주변 검출기로부터 이탈하는지 확인한다. 데이터가 이러한 확인을 실패하면, 방법은 검출기가 실제로 나쁜지, 또는 측정된 예측된 전력 형상으로부터 실제 편차가 있는지를 결정한다. 또한, 측정된 예측된 전력 형상으로부터 실제 편차가 있다면, 주변 검출기는 일부 섭동(perturbation)을 확인할 것이다. 이 방법은 이러한 가능한 거동을 고려하여, 동일한 축방향 높이에서 주변 검출기로부터의 데이터를 갖는 추가적인 비교 평가를 수행함으로써, 편차가 실존하는지 또는 실패된 검출기로부터의 나쁜 데이터로 인한 것인지를 확인한다. 검출기 데이터는 이러한 확인을 실패하는 경우에 나쁨으로 표시된다.

[0028] 이하에 청구된 방법은 방출 물질로서 바나듐 또는 로듐을 사용하는 자가 전력의 고정된 인코어 검출기와 같은 이러한 검출기를 지지하는데 적용 가능하고, 또한 코어 출구 열전대와 같은 다른 고정된 인코어 검출기에 직접 적용 가능하다. 게다가, 이하에 청구된 방법은 가동 인코어 검출기 시스템에도 채용될 수도 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 본 발명의 일 실시예가 도 5에 도시된 논리 흐름도에 요약된다. 코어 모니터링 시스템은 먼저, 원자로의 현재 상태, 예를 들면 전력 레벨, 제어봉 위치, 입구 온도 등에 기초한 예측 계산(P)을 실행한다. 이 계산은 코어 내의 각 자가 전력의 고정된 인코어 중성자 검출기 요소를 위한 예측된 전류, 또는 코어 출구 열전대를 위한 온도를 계산하는데 사용된다. 신호의 각 평면(자가 전력의 고정된 인코어 중성자 검출기의 일 레벨 또는 출구 열전대의 모든 레벨)은 개별적으로 고려된다. 평면에서의 각 검출기를 위해, 검출기에 의해 실제적으로 측정된 신호(M) 대 소프트웨어에 의해 예측된 신호(P)의 비(M/P 비)가 BEACON™ 시스템과 같은 코드에 의해 컴퓨팅된다. 이러한 비는, 랜덤한 검출기 소모 및 잡음과 결합된 불리한 발전소 작동 조건의 범위, 예를 들면 낙하된 봉, 오정렬된 봉 및 제어 뱅크(control bank), 전력 레벨 불일치 등에 기초한 신호를 컴퓨팅하는 오프라인 몬테 카를로 분석에 의해 결정된 신호의 기대 범위(M_E/P_E)와 비교된다. 또한, 기대 범위(M_E/P_E)는 코어 내에서의 총 측정된 신호와 총 예측된 신호의 차이를 고려하도록 정규화된다.

[0030] 측정된 예측된 전력 형상으로부터 실제 편차가 있는지 결정하기 위해서, 동일 레벨에서의 모든 다른 유효한 검출기의 M/P 비는 스플라인-핏(spline-fit; SP-F)되고, 의심스러운 검출기의 위치에서 M/P 비를 추정하는데 사용된다. 스플라인 피팅으로부터의 M/P 비와 추정된 M/P 비가 몬테 카를로 분석에 기초한 기대 범위 내에서 유사하다면, 검출기는 참의 편차를 측정된 것으로 결론지어진다. 그렇지 않다면, 검출기는 실패된 것으로 고려되고, 코어 모니터링 계산으로부터 제거하는 것으로 고려된다.

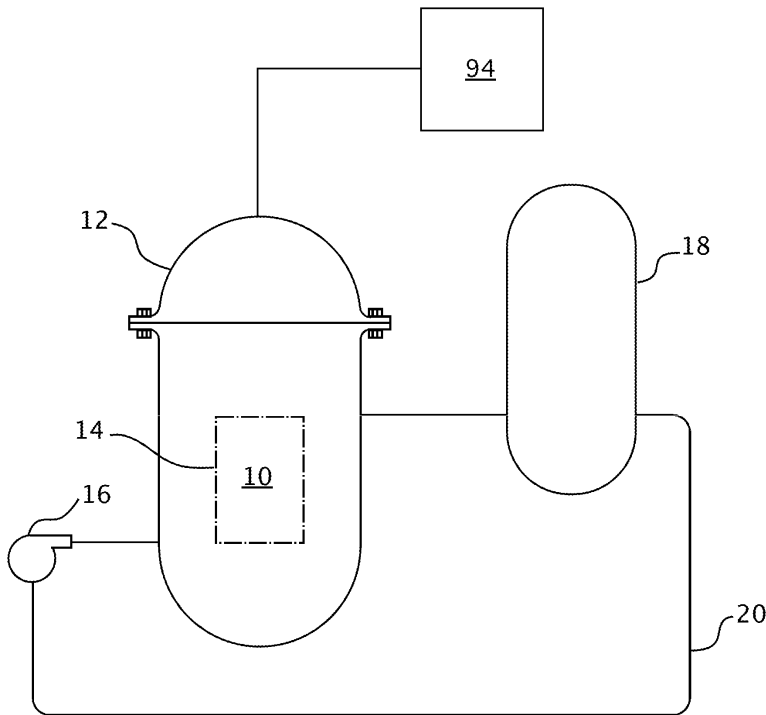
[0031] 일 실시예에 있어서, 이 방법은 우연히 검출기가 나뻐므로 표시되는 것에 대한 검출을 포함한다. 먼저, 의심스러운 검출기를 제거하기 위해 이 검출기의 소정 영역 내에서 사용자-지정된 개수의 검증된 검출기가 존재해야만 한다. 두 번째로, 검출기를 제거하기 위해 유효하게 작동하는 동일한 축방향 레벨에서의 완전히 신뢰되는 검출기의 특성의 사전 선택된 부분이 존재해야만 한다. 검출기를 유지(K) 또는 제거(R)하기 위한 이러한 확인(C)은 전력 분배에서 실제 섭동을 확인하기 위해 의심스러운 검출기에 근접한 매우 소수의 검출기가 존재할 가능성을 방지하기 위한 것이다.

[0032] 따라서, 이하에 청구된 방법은 BEACON™ 시스템에 의해 제공된 코어 모니터링 출력과 같은 코어 모니터링 출력의 신뢰성을 향상시키기 위해, 검출기 신호를 검증하기 위한 편리한 수단을 제공한다. 또한, 방법은 검출기 출력이 검증될 수 없다면, 코어 계산으로부터 검출기 출력을 자동적으로 제거하기 위한 편리한 수단을 제공한다.

[0033] 본 발명의 구체적인 실시예가 상세히 기술되었지만, 본 개시내용의 전체 교시에 비추어 이러한 상세사항에 대한 다양한 변경 및 대안이 이루어질 수 있음을 당업자는 인식할 것이다. 따라서, 개시된 특정 실시예는, 단지 예시적인 것이며, 첨부된 특허청구범위의 최대 범위 및 그것의 임의의 그리고 모든 등가물로 주어지는 본 발명의 범위에 대한 제한이 아닌 것으로 의도된다.

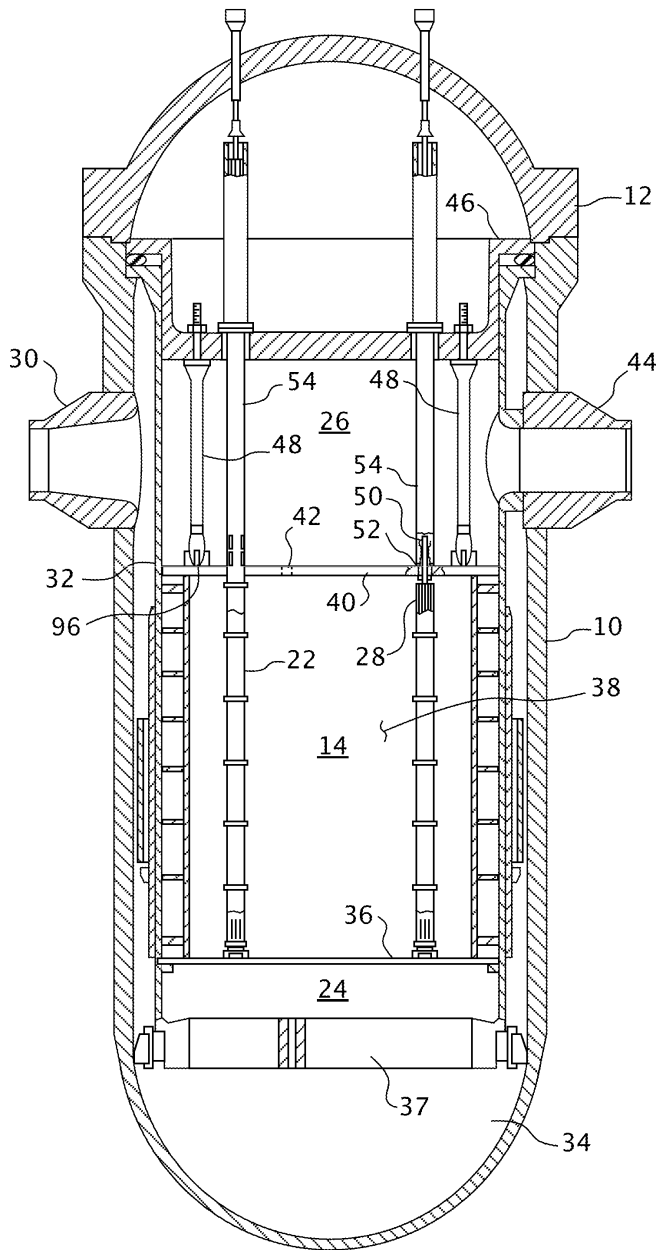
도면

도면1



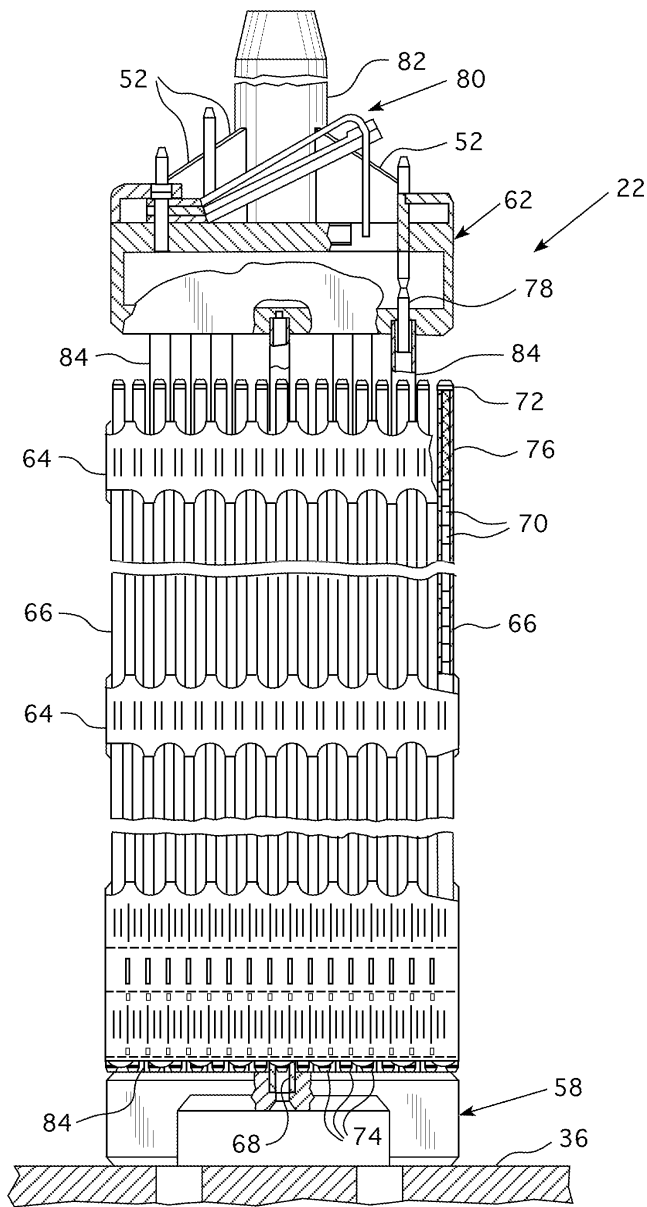
(종래기술)

도면2



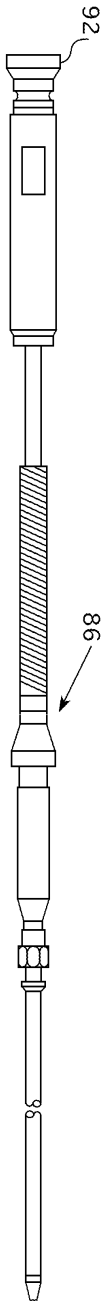
(종래기술)

도면3

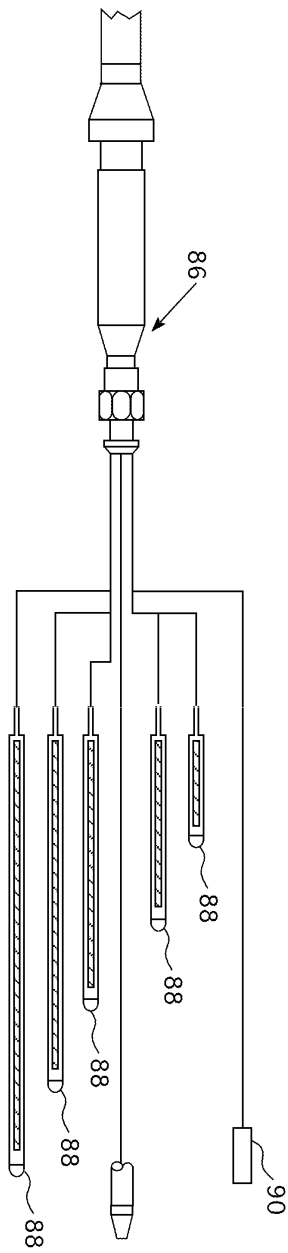


(종래기술)

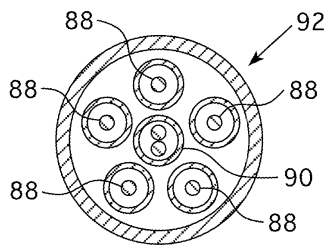
도면4a



도면4b



도면4c



도면5

