

**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 특허공보(B1)**

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>  
G21C 17/00

(45) 공고일자 1993년06월23일  
(11) 공고번호 93-005580

(21) 출원번호	특1985-0005407	(65) 공개번호	특1986-0001443
(22) 출원일자	1985년07월27일	(43) 공개일자	1986년02월26일
(30) 우선권주장	635,373 1984년07월27일 미국(US)		
(71) 출원인	웨스팅하우스 일렉트릭 코오포레이션 더블류. 에이. 코우트 미합중국 펜실베이니아주 15222, 피츠버어그시, 게이트웨이센타, 웨스팅 하우스빌딩		

(72) 발명자  
앨버트 조셉 임핀크. 쥬니어  
미합중국 펜실 베이니아주, 멜론트, 빌-에어 로우드 18  
(74) 대리인  
숀은진

**심사관 : 이병일 (책자공보 제3310호)**

**(54) 가압수형 원자로에서 크세논 제어 방법**

**요약**

내용 없음.

**대표도**

**도1**

**영세서**

[발명의 명칭]

가압수형 원자로에서 크세논 제어 방법

[도면의 간단한 설명]

제1도는 본 발명을 실시하는 가압수형 원자력 발전소의 개략도.

제2도 내지 7도는 본 발명의 기술에 따라 발생된 여러가지 시각 디스플레이를 예시하는 다이아그램.

제8도는 시각 디스플레이상의 오버레이로 사용될 수 있는 본 발명에 따른 자동 크세논 모우드 제어 시스템용 제어 목표선가 활성 제어 지역을 예시하는 다이아그램.

\* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명

1 : 노심	3 : 원자로 용기
5 : 제어봉	7 : 봉구동 장치
11 : 노심의 검출기	15 : 중성자속 신호
57 : 궤적	

[발명의 상세한 설명]

본 발명은 크세논 분포와 그 분포의 경향을 예시하는 디스플레이를 발생시켜 간접적으로 축방향 출력 분포를 조절하는 자동화된 크세논 형태 제어 시스템에 사용하도록 가압수형 원자로의 노심내에서 크세논의 정상 축방향 분포와 그 변화율을 결정하기 위한 방법과 장치에 관한 것이다.

원자력 발전소의 노심에는 분열성 물질이 배열되어 있으며, 상기 물질에 중성자를 충돌하여 생성되는 분열반응은 연쇄 반응을 유지하는데 충분한 추가된 중성자를 발생시킨다. 상기 반응 공정은 열을 발생시켜 노심을 통해 순환하는 냉각재에 의해 추출되며 전력을 생산하기 위해 증기를 발생시키는데 이용된다.

원자로의 출력 레벨은 분열 반응을 일으킬 수 있는 중성자의 수를 조절함에 의해 제어된다.

가압수형 원자로(PWR)에서 중성자 밀도는 노심속으로 삽입되는 중자 흡수봉에 의해 그리고 원자로 냉각재로 작용하는 물에 용해된 중성자 흡수 물질의 변량에 의해 제어된다. 반응도는 또한 중성자를

분열 반응과 양립할 수 있는 에너지 수준으로 감속하기 위한 감속재로 작용하는 냉각재의 온도에 영향을 받는다.

원자로 노심에서 분열 반응의 부산물은 크세논 - 135이며, 크세논 - 135는 중성자를 흡수하는 매우 큰 단면적을 가지고 있기 때문에 원자로에 큰 부담을 주게 된다. 크세논 - 135는 분열에 의해 직접 소량이 생성될 수도 있지만 직접 또는 간접적으로 분열 생성물인 요오드 - 35이 베타 붕괴를 통하여 주로 만들어진다.

요오드의 반감기가 6.7시간이기 때문에 원자로 내에서 크세논 레벨이 증강되면 출력 증가를 지연시킬 수 있다. 크세논 - 135는 9.2시간의 반감기로 다른 무해원소로 붕괴되기 때문에 운전중 대부분의 크세논은 중성자 흡수에 의해 무해 동위 원소인 크세논 - 136으로 변환되고 정상 상태하에 크세논 - 135의 평형 레벨이 이루어진다.

출력 및 중성자속이 감소될 때 크세논 레벨은 상당히 증가하여 몇시간 동안 상승된 레벨로 남아 있게 된다. 이러한 상태는 그러한 감소후에 출력을 회복하는 원자로 능력을 제한하게 되며 또한 노심의 출력 분포에 역효과를 가져온다.

원자로의 운전은 어떤 주어진 시간에 존재하는 크세논의 전체 양에 의존할 뿐만 아니라 크세논의 공간 분포에도 의존한다. 크세논은 분열 과정의 결과로 생성되기 때문에 크세논의 국지적인 농도는 노심을 통한 공기출력 분포에 따른다. 원자로는 출력 감소후에 원 출력으로 회복되어야 하기 때문에 국지적인 크세논 농도는 필요한 하중의 뒷을 발생하기 위해 국지적인 중성자속 밀도 및 노심의 각 국지적인 지역의 능력에 영향을 준다.

크세논 - 135의 공간 분포가 적절히 취급되지 않으면, 부분적인 노심에 과열점이 만들어지며 연료셀 클래딩에 손상을 주게 되어 방사선 누출에 대한 제1장벽에 파손을 야기한다.

제어봉은 수직으로 노심에 삽입 및 철수되기 때문에 이들은 출력 및 크세논의 축방향 분포에 직접 영향을 줄 수 있어서 상기 축방향 분포를 제어하는데 사용된다. 그들은 대칭적인 그룹으로 작동하기 때문에 방사상 출력분포의 어떤 효과는 규정된 제한치내에 있어야 한다.

부적절한 제어봉의 이동은 수용할 수 없는 축방향 출력의 왜곡을 야기하기 때문에 제한치 내에서 크세논의 축방향 분포를 자동으로 유지하기 위한 시스템을 가지고 있거나 수동 제어하에 상기와 같은 일을 하는 운전자에게 안내를 제공하는 것이 바람직하다.

원자로에서 축방향 출력 분포는 전체 출력에 의해 나누어진 노심의 정부 및 저부 절반 출력 사이의 차이로서 계산된 지표인 축방향 옵셋(offset)에 관해 측정되어 진다. 축방향 옵셋은 노심을 따라 축방향으로 분포된 중성자속 측정기를 이용하여 측정된다. 전형적으로 노심의 측정기는 이러한 목적을 위해 사용되지만 몇몇 설비들은 노심내 기구를 사용하여 출력을 측정한다. 축방향 출력 분포의 점상 표시를 발생하기 위해 측정기 사이에 내삽하는 것은 잘 알려져 있다. 각 원자로는 연료 사이클중 주기적으로 변경되는 목표 축방향 옵셋을 가지고 있다.

오늘날의 통상적인 방법은 축방향 옵셋을 실제 일정하게 유지하도록 원자로를 운전하는 것이다. 하중 추종인 반면 원자로를 그러한 방법으로 운전하는 예가 미합중국 특허 제4,057,463호에 서술되어 있다.

이러한 시도에서 제어봉 위치는 축방향 출력 분포를 조절하기 위해 사용되는 반면 반응도는 다른 봉 및/또는 원자로 냉각재에 용해된 용해성 독물에 의해 제어된다.

미합중국 특허 제4,222,822호에 서술된 상기 방법의 수정된 예는 노심을 통해 작은 출력 변화를 균일하게 수행함에 의해 축방향 출력 분포상에 아무런 효과를 갖지 못하는 노심 냉각재 온도를 제어 감소함에 의해 하중의 급속한 변화를 도모한다.

원자로의 운전에서 그러한 제어 계획에 의해 부과된 관련 구속 사항을 제거하기 위해 일정한 축방향 옵셋을 유지하는데 필요한 요구사항을 완화시키는 것에 관심이 있다.

그러나 아직까지 크세논의 공간 분포가 운전자의 판단을 제외하고는 그러한 상황하에 매우 보수적인 필요가 있는 원자로의 기술적이 제한치에 접근하게 될 방향으로 기울지 않도록 그러한 운전을 위해 명료하게 규정된 규범이 없었다. 그러한 전략을 수행함에 있어 중요한 난점은 크세논 분포의 과도 현상을 취급하는 것이다.

상기 과도현상은 크세논의 평형 상태에 도달되기 전에 일정한 출력 레벨에서 일어나는 크세논 공간 분포에의 과도 현상과 출력 레벨의 변화에 의해 야기되는 전체 크세논 분포의 변화를 포함한다. 하중 변화의 형태가 24시간 사이클상에 수행되는 하중 추종중에 결코 크세논은 평형 상태에 도달되지 않으므로 크세논 과도 현상이 계속 존재하게 된다.

축방향 출력 분포를 제어하는 운전자에게 유용한 정보를 제공하기 위해 델타 요오드 항이 델타 플렉스 항에 대해 위상 평면 다이아그램 상에 플롯되는 것이 앞서 제안되었지만 이러한 개념의 실제 응용은 개발되지 못하고 있다.

본 발명의 주 목적은 원자로에서 크세논의 예상 제어에 의해 원자로를 제어하기 위한 방법을 제공하는 것이다.

본 발명은 원자로 출력 레벨을 조절하는 제어봉을 갖는 가압수형 원자로의 노심에서 크세논 - 135 공간 과도 현상을 제어하는 방법에 있으며, 여기서 다수의 축방향으로 간격진 위치에서 원자로심내의 중성자속은 실시온 - 라인 베이스로 측정되며, 크세논 - 135의 현 축방향 분포( $X(z, t)$ )를 나타내는 신호와 크세논 - 135의 현축방향 분포 변화율( $(dX(z, t)/dt)$ )을 나타내는 신호는 각각 점상의 중성자속 측정치로부터 얻을 수 있으며, 제어 신호는 크세논 과도 현상을 감소하기 위해 크세논 - 135 분포 신호와 상기 크세논 분포 신호의 변화율로부터 발생되며, 크세논 - 135 공간 과도 현상을 정상화

하기 위해 제어봉의 위치를 제어하는데 사용되는 것을 특징으로 한다.

부수 도면을 참고로한 양호 한 실시예의 하기 설명으로부터 본 발명을 완전히 이해할 수 있을 것이다.

제1도는 본 발명의 기술에 따라 운전되는 가압수형원자로(PWR)의 발전소를 블록선도로 예시하고 있다. PWR은 봉 구동장치(7)에 의해 노심(1)내에 위치되어 제어봉 구동 제어기(9)의 제어를 받는 제어봉(5)과 함께 원자로 용기(3)에 함유된 분열성 물질을 갖는 노심을 포함하고 있다.

다중 노심의 검출기(11)는 일반적으로 모양이 원통형인 노심(1)의 종축을 따라 예를들어 4레벨에서 노심(1)에서 이탈되는 중성자속(13)을 측정한다. 노심의 검출기 시스템이 당분야에 가장 널리 알려져 있기 때문에 도시되었지만 노심내 중성자 검출기를 이용할 수 있는 경우 이를 사용할 수도 있다.

다중 검출기(11)에 의해 발생된 중성자속 신호(15)는 제어봉 위치 신호와 함께 신호 처리기(19)에 인가되며, 상기 신호 처리기는 원 신호에 적절한 스케일링, 보상, 서어지 제어, 격리 및 버퍼링을 가한다.

처리된 신호는 원자로 제어 시스템(23)에 의해 발생된 보상 및 정상화된 온도 및 출력 신호(21)와 함께 축방향 출력 분포 합성기(25)에 인가되며, 상기 합성기는 미합중국 특히 제4,079,236호에서와 같은 공지된 기술을 사용하여 노심내의 방사상 평균을 낸 축방향 출력 분포의 정상 모형을 발생하게 된다.

상기 기술은 내삽에 의해 다수의 축방향으로 변위된 레벨에서 출력 밀도 신호를 발생하게 된다. 일반적으로 말해서 최소한 약 18레벨에서 출력 밀도가 계산되어야 하며, 약 24레벨이 제공되면 합당한 정도이고 약 40레벨은 양호한 것이다. 이보다 더 세부적인 내삽은 비례적으로 더 좋은 결과를 제공해 주지 못한다.

점상 축방향 출력 분포로부터 점상 요오드 및 크세논 농도가 요오드 및 크세논 농도 계산기(23)에서 계산되며, 상기 계산을 열 중성자로의 노심내에 있는 어떤 지점에서 요오드 - 135 및 크세논 - 135의 일시적인 거동을 설명하는 아래의 잘 알려진 미분 방정식에 기초를 두고 있다.

$$\frac{dI(z, t)}{dt} = \phi(z, t) \sum_f(z) y_f - \lambda I(z, t) \quad (1)$$

$$\text{그리고 } \frac{dX(z, t)}{dt} = \phi(z, t) \sum_f(z) y_f + \lambda I(z, t) - \phi(z, t) \sigma_a^x(z) \times (z, t) - \lambda_x X(z, t) \quad (2)$$

여기서,  $I(z, t)$ =노심내의 레벨 Z에서 cm당 요오드 - 135 원자의 현재수를 나타내는 밀도  $X(z, t)$ =레벨 Z에서 cm당 크세논 - 135원자의 현재수를 나타내는 밀도,  $\phi(z, t)$ =레벨 Z에서 현 중성자속 밀도,  $\sum_f(z, t)$ =레벨 Z에서의 거시적 분열 단면적,  $y_f$ =요오드 - 135 분열 수율,  $y_x$ =크세논 - 135 분열 수율,  $\lambda_y$ =요오드 - 135의 붕괴상수,  $\lambda_x$ =크세논 - 135의 붕괴상수,  $\sigma_a^x(z)$ =레벨 Z에서 크세논 - 135의 미시적 흡수 단면적.

제(1) 식에서 등호 우측에 있는 제1항은 분열에 의한 요오드 - 135의 생성율이며, 제2항은 요오드 - 135의 붕괴율이다.

제(2) 식에서 제1항은 분열에 의한 크세논 - 135의 생성율을 나타내며, 제2항은 요오드 - 135의 붕괴에 의한 크세논 - 135의 생성율이며, 제3항은 중tjd자 흡수에 의해 크세논 - 135가 크세논 - 136으로 전환되는 전환율이며, 마지막 항은 크세논 - 135의 붕괴율이다.

본 발명에 편리하게 사용되도록 다음과 같이 변환한다.

$$q(z, t) = M \phi(z, t) \sum_f(z) \quad (3)$$

여기서  $q(z, t)$ =레벨 Z에서 현재 노심의 평균 축방향 선형 출력 밀도(Kw/ft) M=상수.

제(3) 식을 요오드에 대한 식으로 치환하면 다음을 얻을 수 있다.

$$\frac{dI(z, t)}{dt} = q(z, t) \frac{y_I}{M} - \lambda I(z, t) \quad (4) \text{ 및}$$

$$\frac{1}{\lambda I} \cdot \left( M \frac{y_I}{y_I} \right) \frac{dI(z, t)}{dt} = q(a, t) - \left( M \frac{y_I}{y_I} \right) I(z, t) \quad (5)$$

이제 다음과 같이 놓자

$$\widehat{I}(z, t) = \frac{M y_I}{y_I} I(z, t) \quad (6)$$

여기서,  $\widehat{I}(z, t)$ =레벨 Z에서 현재 스케일의 요오드 농도 그러면

$$\frac{1}{\lambda I} \cdot \frac{dI(z, t)}{dt} = a(z, t) - \widehat{I}(z, t) \quad (7)$$

따라서 평형 상태에서 노심의 어떤 점에서도 스케일된 요오드 농도  $\widehat{I}(z)$ 는 그 점에서의 선형 출력 밀도  $q(z)$ 로 동일한 크기를 갖게 된다.

동일한 선형 출력 밀도 치환과 유사한 조작으로 다음을 규정할 수 있다.

$$\widehat{X}(z, t) = \left( \frac{M \lambda_x}{y_I} \right) \times (z, t) \quad (8)$$

그리하여 제(2) 식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{1}{\lambda_X} \cdot \widehat{\frac{dX(z,t)}{dt}} = q(z,t) \left[ \frac{yI}{yI} \right] + \widehat{I}(z,t) - \left\{ q(z,t) \left[ \frac{\sigma^*(z)}{\lambda_X M_{J'}(z)} \right] + 1 \right\} \widehat{X}(z,t) \quad (9)$$

마지막으로  $\frac{\sigma^*(z)}{\lambda_X M_{J'}(z)}$  는 단일 변수으로 치환되어 다음식을 얻게된다.

$$\frac{1}{\lambda_X} \cdot \widehat{\frac{dX(z,t)}{dt}} = q(z,t) \left[ \frac{yx}{yI} \right] + \widehat{I}(z,t) - (1 + q(z,t)N(z)) \widehat{X}(z,t) \quad (10)$$

여기서,  $yx/yI$ 는 요오드 - 135 수율에 대한 크세논 - 135 수율의 비율이다.

상기 비율은 항상 작으며, 어떤 주어진 시간에 노심내의 연료비에 약간 종속된다.

변수 N은 최대 출력에서 크세논의 불고율에 대한 연소율의 비율을 나타낸다. N의 값은 원칙적으로 계산될 수 있지만 통상 과도 현상을 관찰하기 위해 계산된 크세논 과도 현상에 사용되는 경험적인 상수로서 N을 취급하는 것이 좀더 편리하다. 변수 N은 연소에 의해 야기되는 노심 위치상에  $\sum_f$  가 종속되는 관계로 노심 고도에 약간 종속된다.

그러나 경험적으로 N의 공간 종속을 무시하여도 계산된 크세논 축방향 분포에 거의 에러가 없다는 것을 알게 되었다. 축방향 출력 디스플레이의 최신 사이클이 요오드 - 135 및 크세논 - 135의 반감기에 비해 짧기 때문에(분당 한번정도) 요오드 및 크세논 방정식 (7) 및 (10) 적분은 다음과 같아 된다.

$$\widehat{I}(z,t+\Delta t) = \widehat{I}(z,t) + \frac{\widehat{dX(z,t)}}{dt} \Delta t \quad (11) \text{ 및}$$

$$\widehat{X}(z,t+\Delta t) = \widehat{X}(z,t) + \frac{\widehat{dX(z,t)}}{dt} \Delta t \quad (12)$$

다중 노심의 검출기를 사용한 운전상의 경험으로 노심 출력 레벨이 어떤 최소치(통상 측정된 출력의 25% 정도) 이하에 있을 때 블록(25)에서 합성된 축방향 출력 분포에 심각한 분율 에러가 발생한다는 것을 알게 되었다.

선형밀도(상기에 q로 나타냄)에서 절대 에러의 값은 적게 되겠지만 크세논 농도의 축방향 분포 값의 최신치는 심각한 에러를 축적하지 않고 진행한다고 생각된다.

원자로가 0 출력에 있거나 가동 정지되었을 때 모든 노심 고도에서 q(z)의 값은 간단히 0이 된다는 것을 알 수 있다.

합성기(25)에서 발생된 축방향 출력의 점상 분포 그리고 요오드 및 크세논 농도의 점상 분포와 계산기(27)에서 발생된 상기 농도의 변화율은 블록(29)에서 지시된 바와같이 다수의 유용한 운전자 디스플레이를 발생시키기 위해 사용된다.

종래 기술에 의해 이용할 수 있게 만들어진 점상 축방향 출력 분포를 디스플레이 하는 것은 이미 제안되어 있다. 그러한 디스플레이는 축방향 출력 분포를 위한 “LOCA”(냉각재 손실 사고) 제한치를 포함하고 있어서 운전자가 제한치와 비교함에 의해 현 상태를 추정할 수 있도록 제안되어 있다.

본 발명은 몇개의 유용한 추가 디스플레이를 만들어 낸다. 예를들어 제2도에 도시된 바와같이 실선(31)으로 도시된 크세논 - 135의 현 노심 평균 축방향 분포(상대단위)는 점선(33)으로 도시된 바와같이 모든 봉이 철수된 최대 출력의 평형 크세논 - 135 분포(동일단위)를 기준으로 디스플레이 되어 있다.

제어봉 중 D뱅크의 위치(35)도 또한 디스플레이 될 수 있다. 기준 분포와 현 크세논 분포를 비교함에 의해 운전자는 예를들어 다음과 같은 것을 쉽게 결정할 수 있다.

(1) 비평형 크세논으로 인한 현 축방향 출력 분포에서 왜곡된 방향과 (질량분석적인) 양.

(2) 비평형 크세논이 전체 노심 반응도 균형이 미치는 영향의 정도.

제3도에 예시된 제2디스플레이는 점선(39)으로 도시된 0 변화율 좌표를 기준으로 노심의 고도에 따라 실선(37)으로 도시된 크세논 - 135 농도의 변화율(상대단위)을 나타내고 있다.

다시 제어봉의 D뱅크 위치(41)가 디스플레이 상에 나타날 수 있게 되었다.

상기 크세논 - 135 농도 변화율의 디스플레이는 작동자로 하여금 예를들어 다음과 같은 것을 결정할 수 있게 해준다.

(1) 현 출력 레벨과 제어봉 모양이 거의 변화하지 않을 경우 조금후에 어떻게 축방향 크세논 분포와 (추정에 의한)축방향 출력 분포를 변화할 것인가.

(2) 현재의 크세논 공간 과도 현상을 억압하여 안정화 시키기 위해 어떤 효과적인 제어 작용을 수행해야 하는가(즉, 노심의 정부 및 저부에서 크세논 - 135 농도의 변화율을 절대적으로 감소시키는가?)

(3) 크세논 - 135의 과도 현상으로 인하여 얼마나 신속하게 노심 반응도 균형을 변화 시키는가, 그리고 추정에 의해 제어봉 위치 및/또는 용해성 봉소 농도 또는 최신 가압수형 원자로(APWR)의 경우 예를들어 그레이 봉과 같은 다른 제어 기구를 변화시키게 되는 등 앞으로 어떤 보상이 필요할 것인가.

본 발명에 의해 수행이 가능하며 제4도에 예시된 제3디스플레이는 과거의 어떤 특정수의 분(예를들

어 과거의 약 5 - 30분 범위)에 존재한 점선(45)으로 도시된 상응값과 노심내의 연속적인 고도에서 노심 평균 축방향 출력분포의 현재 값 사이의 차(단위 Kw/ft)를 확장된 스케일로 실선(43)으로 도시하고 있다.

제어봉의 D뱅크의 현재 위치(47)와 과거의 특정 시간에서의 그들 위치(49)가 또한 디스플레이 된다.

필요시 제3도에 대시선(50)으로 예시된 LOCA 제한치와 같은 제한치가 운전자에게 선택된 변수의 현재치와 제한치 사이의 마아진을 시각적으로 지시하도록 디스플레이상에 제공될 수도 있다.

제2도 및 3도에 도시된 것과 비교해 볼 때 디스플레이에는 노심의 연속 고도에서 현재 및 기준치의 요오드 - 135 농도의 변화율과 요오드 - 135 축방향 분포를 쉽게 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

제2도 내지 4도의 디스플레이가 운전자에게 유용한 정보를 제공하지만 제1도의 요오드 및 크세논 농도 계산기(27)에서 발생된 신호도 크세논 분포의 경향을 예시하는 좀더 의미있는 디스플레이를 발생시키는데 이용할 수 있어서 언제 제어 조치가 취해 졌는가, 어떤 조치가 취해 졌는가, 그리고 제어 조치의 응답은 무엇인가에 대한 명확한 지시를 제공하게 된다.

따라서 제1도에 도시된 바와같이, 점상의 현 크세논 - 135 농도 신호  $X(z, t)$ 와 그에 관련된 신호의 변화율  $dX(z, t)/dt$ 는 경향 계산기(51)에 인가되어 두개의 새로운 형태의 양을 나타내는 신호를 발생하게 된다.

$$\Delta_x(t) = \frac{\sum(X(z, t) - X(z, e)) - \sum(X(z, t) - X(z, e))}{\sum X(z, e)} \quad (13)$$

전체노심  
 $\sum X(z, e)$

$$\Delta_x(t) = \frac{\text{그리고 } \frac{\sum dX(z, t)}{dt} - \frac{\sum dX(z, e)}{dt}}{\sum X(z, e)} \quad (14)$$

전체노심  
 $\sum X(z, e)$

여기서  $X(z, t)$  및  $dX/dt$ 는 점상의 현재(과도현상)치이며,  $X(z, e)$ 는 최대출력, 바이트(bite) 제한치에서 D뱅크등의 조건하에서 평형 크세논 - 135 농도의 점상의 규정치이다.

좀더 일반적인 형태로 이를 양을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta_x(t) = \frac{\sum(X(z, t) - X(z, e))W(z)}{\sum X(z, e)} \quad (15)$$

전체노심  
 $\sum X(z, e)$

$$\Delta_x(t) = \frac{\sum \left[ \frac{dX(z, t)}{dt} \right] W(z)}{\sum X(z, e)} \quad (16)$$

전체노심  
 $\sum X(z, e)$

여기서  $W(z)$ 의 항은 점상 하중 인자이며 다음과 같이 규정된다.  $W(z) = -1.0$  노심의 저부 절반에 있는 모든 위치에서,  $W(z) = +1.0$  노심의 정부 절반에 있는 모든 위치에서, 이와같이 좀더 일반적으로 표현된 것은 앞서 주어진 좀더 세부적인 형태와 동일하다는 것을 알 수 있다.

관심을 가지게 될 하중 인자의 또 다른 형태는 코사인 형태이다.

$$W(z) = \cos\left(\frac{\pi z}{Z}\right) \quad (17)$$

여기서  $Z$ 는 노심의 전체 높이다.

그러나 여기서 설명을 위해  $W(z)$ 에 대한 간단한 1차 계단 함수가 사용될 것이다.

$\Delta_x(t)$  변수를 다음과 같은 형태의 보상된 경향 변수로 변환시키는 것이 바람직하다.

$$T_x(t) = C \{ \Delta_x(t) + \mu [T_{avg.}(t) - T_{avg.}] \} \quad (18)$$

여기서  $C$  및  $\mu$ 는 고도의 정밀성이 필요없는 경험적인 상수이다.  $C$ 를 증배하는 것은 스케일링 인자의 역할을 하여 후술될 위상면 플롯이 대략 원형을 갖도록 해준다.  $\mu$ 인자는 축방향 출력 모양상의 냉각재 온도 변화의 효과에 기인하는 플롯내의 사소한 불규칙성을 평탄하게 해준다.

현재의 평균 온도 및 프로그램된 온도는 제어 시스템(23)으로부터 티이드(53)를 걸쳐 얻어진다.

상기 두가지 형태의 변수에 대한 중요성은 다음과 같다.

$\Delta_x(t)$ 는 평형 상태의 최대 출력, 즉 봉 철수 제한치의 축방향 분포와 비교할 때 크세논 - 135 농도의 현 축방향 분포에 존재하는 “비틀림”의 정도이며, 크세논 축방향 분포에서 “비틀림”은 최대 출력 즉, 봉철수 제한치의 상황에서 얻어진 평형 상태의 축방향 출력분포와 비교할 때 축방향 출력분포에서 반대부호를 갖는 비틀림의 비례 정도를 산출하게 된다.

$T_x(t)$ 는 크세논 축방향 분포에서 “비틀림”은 요오드의 불교와 직접 분열에 의한 크세논의 생성율과 크세논 불교 및 중성자 흡수에 의한 파손율이 국지적으로 변화함에 따라 변화되는 비율을 측정한 것이며,  $T_x(t)$ 의 현재치를 알고 있으면 조금후에  $\Delta_x(t)$ 의 값을 주입할 수 있으며 또한 조금후에 이를 축방향 출력 분포에 존재하는 비틀림의 정도를 평가할 수 있게 된다.

개념을 알기 위해 제5도의 도시된 형태로 만들어진 PWR 노심에서의 크세논 축방향 분포에 대한 현재 및 미래의 상태(참고로 또한 미래의 축방향 출력분포)를 그래프로 나타낸 것을 고려해 보자.

제5도는 현재의  $[\Delta_x(t), T_x(t)]$  지점(55)과 지나간 12 ~ 24시간 동안의 그러한 지점의 궤적(57)을 나타내고 있다.

크세논 상태에 대한 상기 위상 평면 표시는 다음과 같은 성질을 가지고 있다.

(1)  $[\Delta_x(t), T_x(t)]$ 점의 궤적은 자유롭게 주행하는 축방향 크세논 진동이 일어났을 때 시계 방향(노심의 안정 특성에 따라 수렴 또는 발산)으로 맴도는 것으로 나타날 것이다. 일정한 크기의 진동은 원을 추적하게 된다.

(2) 제어봉을 삽입하면 현재의  $[\Delta_x(t), T_x(t)]$ 점은 디스플레이 상에서 아래로 이동한다(크세논 비틀림은 자유롭게 주행하는 진동하에 일어나는 것보다 좀 더 노심의 정부 절반을 향해 경사지도록 앞으로 변경될 것이다). 반대로 제어봉을 철수시키면 현재의 지점은 디스플레이 상에서 위로 이동하게 된다(비틀림은 정부 절반을 향해 덜 경사지게 될 것이다). 제어봉이 이동하기 전후의 시간에 전형적인 크세논 비틀림의 행위가 일어날 때 제어봉 이들의 전체적이 효과는 제6도에서 봄 삽입으로 그리고 제7도에서 봄 철수로 궤적(57)에 의해 도시된 바와 같이 나타날 것이다.

(3) 최대 출력 및 봄 근처 바이트 제한 상황에서 출력 정점 문제가 발생되는 영역은 제5도의 디스플레이에서 빛금친 지역으로 나타난다. 영역의 경계는 분석적으로 혹은 경험적으로 결정될 수 있다(제4도에 디스플레이된 플롯의  $\Delta_x(t)$  성분과 LOCA 제한치(50)의 상호관계에 의해).

(4) 하중 변화는 비교적 좁은 수직 루우프로 나타나는 경향이 있다. 그러한 하중 변화의 예는 제5도에서 루우프(59)로 도시되어 있다.

위상 평면 표시는 다음과 같은 정보를 내포하고 있다.

(1) 투영되었을 때 현재의 나선형 궤적은 출력 정점 문제가 아무런 제어 조치를 취하지 않을 경우 최대 출력의 발전소에서 근시간 내에 당면할 것인가.

(2) 가장 적합한 제어 조치가 현재 취해질 수 있는가. 현재의 지점이 정부 절반에 있고 제어봉이 삽입 제한치에 있을 경우 또는 현재의 지점이 저부 절반 지점에 있고 제어봉이 철수 제한치에 있을 경우 단지 제어봉 이동을 포함하는 어떠한 유용한 제어 조치도 취해질 수 없다.

(3) 미래의 발전소 조정을 예기할 수 있는 크세논 비틀림을 제한하거나 잠재적인 출력 정점의 격렬함을 제한하기 위해 제어봉 이동은 얼마나 효과적으로 완료되었는가 하는 것과, 계속될 경우 또 다른 효과적인 제어봉 이동은 어떤 것일까? 경험적으로는 현재의 지점이 수평축을 가로지르게 하는 봄 이동은 거의 이득이 없다는 것을 알게 되었다.

(4) 잠재적인 출력 정점을 제한하기 위해 앞으로 언제 제어봉을 이동하는 것이 가장 효과적인가  $T_x(t)$ 가  $\Delta_x(t)$ 에 비해 적을 때 제어봉을 이동하는 것은  $T_x(t)$ 가  $\Delta_x(t)$  보다 클 때 이동하는 것보다 훨씬 효과가 적다.

다시 말해 봉소 농도의 변화는 가장 생산적으로 수행될 수 있을 때를 나타낸다.

$\Delta_x(t)$  대  $T_x(t)$ 의 위상 평면 플롯이 예를 들어 운전자 제어 패널의 근처에서 그래프 디스플레이(67)의 형태로 나타날 경우 작업원은 유용한 정보를 쉽게 흡수하여 이용할 수 있다는 것은 명백하다. 물리적으로 운전자의 디스플레이(29, 67)는 통상 일반적인 하드 웨어를 이용한다.

자동 축방향 출력 분포 제어 시스템에서  $\Delta_x(t)$ 와  $T_x(t)$  변수를 사용하는 것은 매우 관심 있는 것이다.

크세논 형태의 제어 전략을 미리 규정하는 것이 가능하며, 크세논 분포 “비틀림”에 기인하는 축방향 출력 분포의 왜곡 정도를 제한하기 위해 크세논 - 135 농도의 축방향 분포를 효과적으로 제어하기 위한 상호 관계와  $\Delta_x(t)$ 와  $T_x(t)$  변수의 사용에 기초를 둔 제어 시스템을 개발하는 것이 가능하다.

제어 시스템은 전형적인 PWR 노심과 그에 관련된 제어 시스템의 디지털 시뮬레이션의 성분으로서 디지털 형태로 수행된다. 그의 성능은 상용 최신 가압수형 원자로(APWR) 노심 설계와 운전중인 종래의 PWR에서 입증되어 왔다.

크세논 형태 제어 시스템의 본질은 다음과 같이 구성되어 있다.

- (1) 초기,  $[\Delta_x(t), T_x(t)]$  영역에서 한 세트의 제어 목표선과 활성 제어 지역을 설정함.
- (2) 그후, (a) 상기 언급한 연산을 사용하여 노심의 검출기의 응답치로부터 유추된  $\Delta_x(t)$ 와  $T_x(t)$ 의 현재 값을 짧은 시간 간격에 계산함. (b) 이미 설정된 제어 목표선과 활성 제어지역에 관해  $[\Delta_x, T_x]$  영역에서 현재의  $[\Delta_x(t), T_x(t)]$  위치를 식별함. (c) 제어 목표선에 관해 현재의  $[\Delta_x(t), T_x(t)]$  위치로 지시된 바에 따라 적절할 때 그리고 물리적으로 가능할 때 제어봉 이동을 시작함.

제안된 제어 시스템은 제1도에 도시된 바와같이  $\Delta_x(t)$  및  $T_x(t)$  신호를 2차원 비교기(63)에 인가한다. 최후의 신호는 제어 신호 발생기(65)에서 사용되어 크세논 형태 제어봉 삽입/철수 요구치 신호(67)를 제어봉 구동 제어기(9)에 공급하게 된다.

제어기(9)는 상기 신호와 함께 다른 제어 기능을 위한 봉 삽입/철수 요구치를 나타내는 제어 시스템(23)으로부터의 유사한 신호(69)를 사용하여 제어봉 구동장치(7)용 제어봉 이동 제어 신호(71)를 발생하게 된다.

APWR과 전형적인 4 - 루우프 PWR에 적당한  $[\Delta_x, T_x]$  영역에서의 통상적인 제어 목표선과 활성 제어 지역 배열은 제8도에 스케치되어 있다. 크세논 형태 제어를 위한  $[\Delta_x, T_x]$  영역에서의 상기 목표선과 제어 영역 배열을 사용하는 것은 아주 간단하다.

현재의  $[\Delta_x(t), T_x(t)]$ 점이 빛금친 지역내에 있을 경우 아무런 활성 제어가 필요없다. 또한 현재의 점이 빛금치지 않는 (활성제어)지역에 있을 경우 상기 점은 적절히 상하 이동을 하여 빛금친 지역과 빛금치지 않는 지역의 교차점을 형성하는 제어선으로 가까이 이동하여야 한다.

만약 제어봉 뱅크가 초기에 적절히 위치되었다면 제어 뱅크의 삽입(예를들어 봉소 희석에 의함)은 현재의  $[\Delta_x(t), T_x(t)]$ 점을 하향 이동하게 될 것이며, 제어 뱅크의 철수(봉소 첨가에 의함)는 현재의 점을 상향 이동하게 될 것이다.

최근의  $[\Delta_x(t), T_x(t)]$ 점의 궤적을 추적하고 그들의 지시된 미래의 통로에 주입하여 다음 제어 조치의 방향과 때를 제한치 내에서 예상하며 적절한 조치가 시스템에 취해진다.

사용하게 될 경우 원자로 냉각재내의 봉소 농도를 제어하는 시스템의 재배열은 그러한 예상 조치의 전형적인 예이다.

제8도에서 4개의 변수( $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ )는  $[\Delta_x, T_x]$  영역에서 제어 목표선과 활성 제어 지역의 위치를 규정하는데 충분함을 알 수 있다.

제어 목표선과 지역을 규정하는데 결합된 논리는 다음 사항을 고려하게 된다.

(1) 크세논 축방향 분포 비틀림으로 인해 일어나는 축방향 출력 분포 문제가 최소화 되었거나 완전히 제거되었을 경우 심하게 비틀려진 크세논 분포를 만들게 될 잠재성이 제한되어야 한다.

(2) 현재의  $[\Delta_x(t), T_x(t)]$  점이  $[\Delta_x, T_x]$  영역에서 원점(0, 0) 근처에 놓여 있을 경우 현재의 크세논 비틀림은 작아지고( $\Delta_x(t) \approx 0$ ), 가까운 장래에 심각한 비틀림을 발생할 잠재성이 존재하지 않아서( $T_x(t) \approx 0$ ), 활성 제어가 불필요하다.

(3) 현재의  $[\Delta_x(t), T_x(t)]$  점이 상부 좌측 혹은 하부 우측 사분면의 빛금친 지역에 존재할 경우 크세논 비틀림은 자연적으로 감소하며( $\Delta_x(t)$  및  $T_x(t)$ 는 반대 부호임) 아무런 활성 제어도 필요없다.

(4) 현재의 점이 상부 좌측 또는 하부 우측 사분면의 빛금치지 않은 지역에 존재할 경우, 크세논 비틀림은 현재 크지 않지만 가까운 장래에 반대 방향으로 아주 큰 정도의 비틀림이 발생할 잠재성이 존재하여, 앞으로의 크세논 축방향 불균형의 성장을 제한하기 위해 상기 잠재성을 감소하도록(즉,  $T_x(t)$ 의 절대치를 감소하도록) 제어봉 이동에 의한 활성 제어가 시작되어야 한다.

(5) 현재의 점이 상부 우측 또는 하부 좌측 사분면의 빛금치지 않은 지역에 존재할 경우 크세논 비틀림은 가까운 장래에 좀더 심각하게 될 것이기 때문에( $\Delta_x(t)$  및  $T_x(t)$ 는 동일 부호를 가짐) 제어봉 이동에 의해 크세논 비틀림의 성장을 최종량을 제한하도록 활성 제어가 시작되어야 한다.

(6) 현재의 점이 상부 우측 또는 하부 좌측 사분면의  $\Delta_x$ 축 근처에 있는 비교적 좁은 빛금친 밴드에 존재할 경우, 크세논 비틀림의 정도는 바로 후에 그의 제한치 근처에 있게 된다. 과도한 제어 즉,  $t_x(t)$  값의 부호를 변화시키는 제어는 통상 요오드 - 크세논 플렉스 관계를 불안정하게 하기 때문에 활성 제어는 효과적이 못되며 오히려 역효과를 나타내어 시작되지 않아야 한다.

(7) 마지막으로, 최대 출력 및 봉 철수 제한치의 상황에서 평형 축방향 출력 분포가 노심의 정부 또는 저부를 향해 우선적인 전환을 나타낼 경우, 목표선과 제어 지역 배열의 중심을 변환 방향으로, 즉 원점에서 조금 횡방향으로 보상하여 주면 다음 장진과 같은 발전소 조정중에 최대 출력 운전의 주기 동안 출력 정점을 억제하는 가연성 독물로서 크세논 - 135를 사용하는 효과를 가질 수 있다.

주어진 응용예에 사용되는 변수 ( $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ )의 실제치의 선택은 완전히 경험적으로 수행되어 지며, 반면 공정을 용이하게 하는 분석적인 기술도 존재하게 된다. 그러나 APWR과 종래의 PWR 응용을 위해 규정된 변수의 값은 매우 유사한 경향이 있다. 이를 변수 세트의 실험적인 값이 제8도에 도시되어 있다.

PWR에서 크세논 형태 제어에 대한 상기 접근 방법 사용의 상기 설명에서와 같이, 적절한 제어 시스템의 디지털 모델과 함께 통상 운전되는 종래의 PWR 노심의 수치적인 1차원 2그룹 확산 이론 모델이 사용되어 SPINR과 MINB 전략과 함께 종래의 일정한 축방향 보충 제어(CAOC)하에 그리고 광역 CAOC 형태내에 제안된 크세논 형태 제어 시도하에 두 가지 상이한 연소 단계에서 전형적인 적재 추종 운전을 따라 가게 된다.

SPINR과 MINB전략은 일정한 축방향 보상제어의 방법이다. SPINR은 하중의 증가를 수용하는 발전소 능력을 강조하는 스피닝 보존을 최소화한다. MINB는 봉소와 또는 희석의 결과로 원자로 냉각재시스템으로부터 배출된 냉각재를 재순환시키는데 필요한 시스템의 책임을 감소시켜주는 봉소 농도 변화

를 최소로 한다.

노심속으로 제어봉의 깊은 삽입을 피해야 할 경우 크세논 형태 제어 전략은 가장 효과적이다.

종래의 CAOC 전략의 시뮬레이션에서 제어봉 제어 시스템은 제어 뱅크 D상에 제어 뱅크 C를 43.9% 중첩되도록 그리고 최대 출력일 때 22%에서 절반 출력일 때 78%까지 변화하는 D 뱅크 삽입 제한치로 만들어졌다. 크세논 형태 제어 시뮬레이션에서, 중첩은 75%이며, 삽입 제한치는 22%에서 47%까지 변화된다.

모든 시뮬레이션에서, 제어는 완전히 자동으로 수행된다. 몇몇 시뮬레이션에서 얻어진 결과는 연료 사이클의 중반에 대해 표 1에 그리고 사이클의 후반에 대해 표 2에 나타나 있다.

이들 표에서 “용량순실”은 3일간의 주기에 걸쳐 에너지 생산 계획(12 - 3 - 6 - 3, 100% - 50% - 100% 사이퀀스)에 부합되도록 각 시뮬레이션의 조건하에 원자로의 능력을 측정하는 것이다.

“용량순실”은 효과적인 최대 출력시간(EFPH)에 대해 측정된다.

“가능 출력으로의 평균 복귀성”은 신속한 비율로 감소된 출력 레벨에서 최대 출력으로 복귀하는 장치의 능력에 관한 것이다.

이 경우 그 값은 감소된 출력 운전중의 모든 시간에 걸쳐 분당 5%의 비율로 출력을 증가함에 의해 얻어질 수 있는 출력 레벨의 3일간의 주기에 걸친 평균이다.

“최소 마아진”은 방사상 출력 정점에 대해 보정된 축방향 출력 형상과 100% 출력으로 운전되는 동안 모든 노심 고도 사이의 LOCA 제한치 사이에 일어나는 최소 간극이다.

“최대 Fz”는 100% 출력으로 운전되는 모든 주기동안 일어나는 축방향 출력 정점 인자의 최대치이다.

“봉스텝”은 하중 추종의 3일 주기 동안 뱅크 - D봉 구동 기구에 의해 만들어지는 스텝의 축적된 수이다.

마지막으로 “배출수”는 하중 추종 조작중에 희석 및 냉산화 작업의 결과로 RCS(원자로 냉각재 시스템)에서 제거되어 결국 재처리 되어지는 3일 주기내의 물의 전체 체적이다.

종래의 일정한 축방향 보상 제어 시도에 비해 상술한 바와 같은 완전히 자동화된 크세논 형태 제어는 다음과 같은 효과가 있다.

- (1) 용량순실 - MINB와는 같고(둘 모두 0) SPINR 보다 양호.
- (2) 가능 출력으로의 평균 신속 복귀성 - SPINR과는 거의 같고 MINB 보다 양호.
- (3) 축방향 출력 정점(최소 마아진 및 최대 Fz에 대해 측정됨) - SPINR 및 MINB 보다 낮음.
- (4) 봉스텝 - SPINR 및 MINB에 필요한 것보다 현저히 적음.
- (5) 배출수 - SPINR 및 MINB보다 적음.

(특히 사이클의 후반기에)

[표 1]

연료 사이클 중반에서 하중 추종 시뮬레이션의 결과

	기준치 (평형상태)	CAOC (SPINR)	CAOC (NINB)	광역 GAOG X e 형태 제어
용량순실		0.025EFPH	0 EFPH	0 EFPH
가능 출력으로의 평균 신속 복귀성		90%	84%	90%
최소 마아진, @100%	0.228	0.022	0.046	0.090
최대 Fz@100%	1.24	1.35	1.36	1.30
봉스텝		713스텝	882스텝	484스텝
배출수		14,802갈론	12,887갈론	10,009갈론

[표 2]

## 연료 사이클 후반에서 봉 추종 시뮬레이션의 결과

	<u>기준치 (평형상태)</u>	<u>CAOC (SPINR)</u>	<u>CAOC (NINB)</u>	<u>광역 GAOG X e 형태제어</u>
용량손실		0.003EFPH	0 EFPH	0 EFPH
가능 출력으로의 평균 신속 복귀성		97%	95%	95%
최소 마아진, @100%	0.432	0.110	0.105	0.231
최대 F, @100%	1.19	1.39	1.39	1.31
봉 스텝		979스텝	958스텝	633스텝
배출수		42,889갈론	39,621갈론	24,077갈론

### (57) 청구의 범위

#### 청구항 1

원자로 출력 레벨을 조절하는 제어봉(5)을 갖는 가압수형 원자로의 노심(1)내에서 크세논 - 135 공간과도 현상을 제어하는 방법에 있어서, 다수의 축방향으로 간격진 위치에서 원자로심내의 중성자속은 실시 온라인 베이스로 측정되며, 크세논 - 135의 현 축방향 분포( $X(z, t)$ )를 나타내는 신호와, 크세논 - 135의 현 축방향 분포 변화율( $dX(z, t)/dt$ )을 나타내는 신호는 각각 점상의 중성자속 측정치(15)로부터 얻을 수 있으며, 제어 신호는 크세논 과도 현상을 감소하기 위해 크세논 - 135 분포 신호와 상기 크세논 - 135 공간 과도 현상을 정상화하기 위해 제어봉의 위치를 제어하는데 사용되는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 비틀림 신호는 최대 출력으로 평형 상태에 있는 점상 크세논 분포의 하중 합산치로 정상화된 최대 출력으로 펼행 상태에 있는 점상 크세논 분포를 나타내는 신호와 현재의 크세논 분포 신호 사이의 점상 차이를 갖는 원자로심의 정부 절반 및 저부 절반에 대한 하중 합산치 사이의 차이로 생성되며, 비틀림 신호의 변화율은 최대 출력으로 평형 상태에 있는 점상 크세논 분포의 하중 합산치로 정상화된 크세논 - 135 신호의 점상 축방향 분포 변화율을 갖는 노심의 정부 절반 및 저부 절반에 대한 하중 합산치 사이의 차이로 생성되며, 상기 제어 신호는 비틀림과 비틀림 신호 변화율의 2차원 비교에 의해 생성되는 것을 특징으로 하는 크세논 제어 방법.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 각각의 점상 크세논 - 135 분포 신호의 발생은 크세논 - 135 과도 현상의 주기보다 짧은 시간 간격으로 관련 크세논 - 135 분포 신호의 최후치에 상기 간격으로 관련 크세논 - 135 분포 신호의 최후치에 상기 시간 간격중 관련 크세논 - 135 신호 변화율의 평균치와 시간 간격을 곱한 것을 합산하므로 얻어지며, 크세논 - 135 분포 신호의 점상 변화율을 플렉스 측정치로부터 점상 스케일된 요오드 및 출력 밀도를 계산하고, 현재의 출력 밀도 신호와 스케일된 요오드 신호의 합에서, 현재의 크세논 분포 신호 및 출력 밀도 신호를 곱한 값과 현재의 크세논 분포 신호를 합한 것을 감산하므로 얻을 수 있는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

#### 청구항 4

제2항에 있어서, 제어봉 위치의 변화를 수행하는 제어 신호의 생성은 비틀림 신호의 선택된 비교치와 비틀림 신호 변화율의 선택치에 대해서는 금지되는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

#### 청구항 5

제4항에 있어서, 비틀림 신호의 선택된 비교치와 비틀림 신호 변화율의 선택치는 비틀림 신호의 변화율로 하여금 극성을 변경하게 하는 봉 위치의 변화에 대한 값을 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

#### 청구항 6

제4항에 있어서, 비틀림 신호의 선택된 비교치와 비틀림 신호 변화율의 선택치는 비틀림 신호 변화율의 값이 선택된 인자에 의해 비틀림 신호의 값을 초과할 때를 제외하고 비틀림 신호와 그 변화율의 극성이 반대인 값을 포함하는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

#### 청구항 7

제4항에 있어서, 비틀림 신호의 선택된 비교치와 그 변화율의 선택치는 현재의 임계치 아래에 있는 비틀림 신호와 그 변화율의 값을 포함하는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

#### 청구항 8

제2항에 있어서, 비틀림 신호의 그 변화율은 신호 비교치의 시각적인 위상 평면 다이아그램을 발생하기 위해 2차원 디스플레이 장치에 인가되는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 가압수형 원자로의 노심에서 크세논 - 135 공간 과도 현상의 시각적인 표시가 발생되며, 비틀림 신호는 2차원 시각 디스플레이 장치의 한 축에 인가되며, 비틀림 신호의 변화율은 노심에서 크세논 - 135 분포의 추이를 시각적으로 디스플레이 하기 위해 시각 디스플레이 장치의 수직축에 인가되는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 비틀림 신호 크기의 제한치를 나타내는 신호가 발생되어 현재의 비틀림 신호의 값과 제한치를 시각적으로 비교하기 위해 시각 디스플레이 장치에 인가되는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 제어봉은 변위된 비틀림 신호의 값을 감소하게 되도록 시각 디스플레이에 반응하여 수동으로 위치되는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

청구항 12

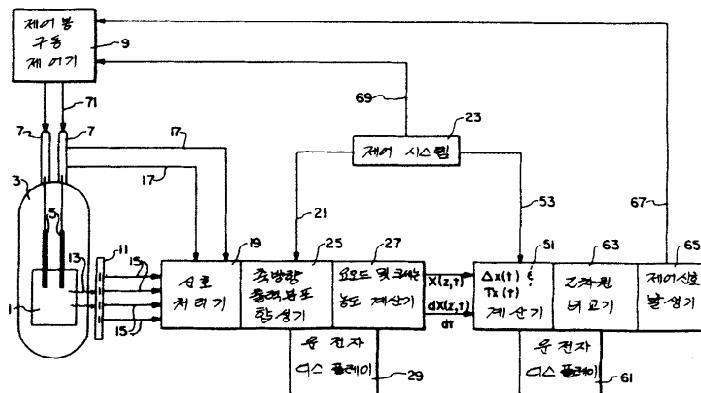
제11항에 있어서, 비틀림 신호와 그의 변화율은 시각 디스플레이 장치에 인가되어, 일정한 크기의 크세논 - 135 진동에 대한 인가된 신호의 연속적인 값으로 생성되는 궤적이 디스플레이 상에 원으로 나타나게 하며, 비틀림 신호는 시각 디스플레이 장치의 수평축으로 인가되고 변화율의 신호는 수직 축에 인가되며, 이들 각각은 극성을 가지고 있어서 제어봉의 삽입은 크세논 - 135 분포의 변화를 야기하여 궤적을 아래로 향하게 하며, 철수는 궤적을 위로 향하게 하는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

청구항 13

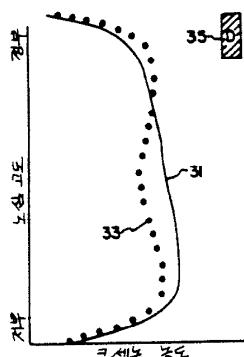
제12항에 있어서, 비틀림 신호와 그의 변화율에 의해 발생된 궤적을 중첩하도록 시각 디스플레이 상에는 신호가 발생되어 비틀림과 비틀림 신호의 변화율이 시작으로 지시되며, 이에 따라 제어봉의 위치가 조정되는 것을 특징으로 하는 크세논 제어방법.

도연

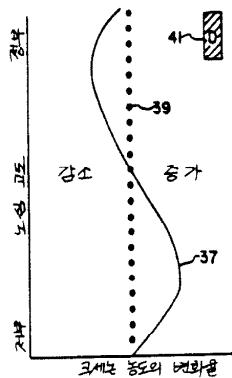
도면 1



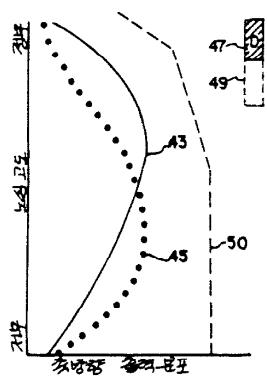
도면2



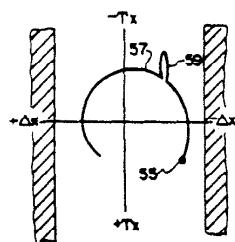
도면3



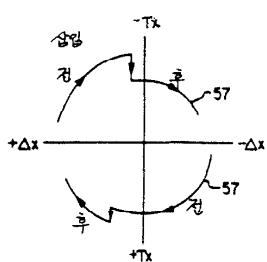
도면4



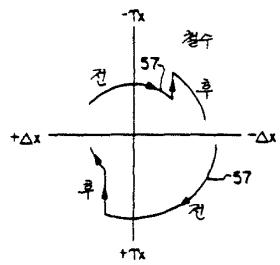
도면5



도면6



도면7



도면8

