(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년01월23일
(11) 등록번호 10-2628429
(24) 등록일자 2024년01월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 3/334 (2006.01) *G06N 20/00* (2019.01)
G06N 3/08 (2023.01)
(52) CPC특허분류
G21C 3/334 (2013.01)
G06N 20/00 (2021.08)
(21) 출원번호 10-2022-0031149
(22) 출원일자 2022년03월14일
심사청구일자 2022년03월14일
(65) 공개번호 10-2023-0134177
(43) 공개일자 2023년09월21일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020090068459 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
박문규
서울특별시 노원구 노해로 508, 605동 604호(상계동, 상계주공6단지아파트)
심가희
대전광역시 동구 용운로 80, 314동 1504호(용운동, 용방마을아파트)
(74) 대리인
수안특허법인, 민영준

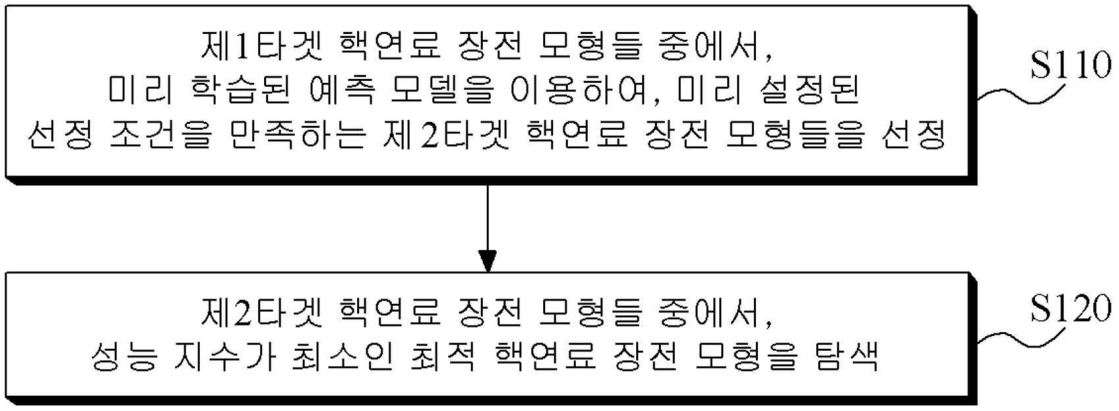
전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 윤연숙

(54) 발명의 명칭 **핵연료 장전 모형 탐색 방법 및 장치**

(57) 요 약

원자로 노심에 배치되는 핵연료의 장전 모형을 탐색하는 방법 및 장치가 개시된다. 개시된 핵연료 장전 모형 탐색 방법은, 제1타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 미리 학습된 예측 모델을 이용하여, 미리 설정된 선정 조건을 만족하는 제2타겟 핵연료 장전 모형들을 선정하는 단계; 및 상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 성능 지수가 최소인 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하는 단계를 포함하며, 상기 선정 조건은 노심 주기 길이가 제1임계값 이상이고, 출력 첨두 계수가 제2임계값 보다 작은 조건이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06N 3/08 (2023.01)
Y02E 30/30 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415174302
과제번호	20206510100040
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	원전안전부품경쟁력강화기술개발
연구과제명	고성능 노내핵계측기 신호측정계통 국산화 및 즉발응답계측 기반기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	유저스(주)
연구기간	2020.05.01 ~ 2023.04.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

제1타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 미리 학습된 예측 모델을 이용하여, 미리 설정된 선정 조건을 만족하는 제2타겟 핵연료 장전 모형들을 선정하는 단계; 및

상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 성능 지수가 최소인 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하는 단계를 포함하며,

상기 선정 조건은

노심 주기 길이가 제1임계값 이상이고, 출력 첨두 계수가 제2임계값 보다 작은 조건이며,

상기 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하는 단계는

노심 설계 코드를 이용하여, 상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 노심 주기 길이 및 출력 첨두 계수를 계산하는 단계; 및

상기 계산된 노심 주기 길이 및 상기 계산된 출력 첨두 계수와, 상기 제1 및 제2임계값을 이용하여, 상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 성능 지수를 계산하는 단계

를 포함하는 핵연료 장전 모형 탐색 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 예측 모델은

훈련용 핵연료 장전 모형에 포함된 핵연료 정보에 대한 이진 코드와, 상기 훈련용 핵연료 장전 모형에 대한 상기 선정 조건의 만족 여부를 나타내는 레이블을 통해 학습된 모델인

핵연료 장전 모형 탐색 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들을 선정하는 단계는

상기 제1타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 상기 선정 조건을 만족하지 않는 핵연료 장전 모형의 성능 지수에 대해 패널티값을 부여하는

핵연료 장전 모형 탐색 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 성능 지수를 계산하는 단계는

상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 상기 계산된 출력 첨두 계수가 상기 제2임계값 이하인 핵연료 장전 모형의 성능 지수를 계산하는

핵연료 장전 모형 탐색 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 성능 지수를 계산하는 단계는

하기 수학식을 이용하여, 상기 성능 지수를 계산하는

핵연료 장전 모형 탐색 방법.

[수학식]

$$\begin{cases} w_1(CL_{calc} - CL_{limit})^2 + w_2 PF_{calc}, & PF_{calc} \le PF_{limit} \\ penalty, & PF_{calc} > PF_{limit} \end{cases}$$

여기서, w_1, w_2는 가중치, CL_{calc}는 상기 계산된 노심 주기 길이, PF_{calc}는 상기 계산된 출력 첨두 계수, CL_{limit}는 상기 제1임계값, PF_{limit}는 상기 제2임계값, penalty는 상기 계산된 출력 첨두 계수가 상기 제2임계값보다 큰 핵연료 장전 모형에 부여되는 패널티값을 나타냄.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 성능 지수를 계산하는 단계는

상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 상기 노심 주기 길이 및 출력 첨두 계수의 계산 시간이 제3임계값 이하인, 핵연료 장전 모형의 성능 지수를 계산하는

핵연료 장전 모형 탐색 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 성능 지수를 계산하는 단계는

상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 상기 계산 시간이 상기 제3임계값보다 큰, 핵연료 장전 모형의 성능 지수에 대해 패널티값을 부여하는

핵연료 장전 모형 탐색 방법.

청구항 9

메모리; 및

상기 메모리와 전기적으로 연결되는 적어도 하나의 프로세서를 포함하며,

상기 프로세서는,

제1타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 미리 학습된 예측 모델을 이용하여,노심 주기 길이가 제1임계값 이상이고, 출력 첨두 계수가 제2임계값 보다 작은 조건인, 선정 조건을 만족하는 제2타겟 핵연료 장전 모형들을 선정하고, 상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 성능 지수가 최소인 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하며,

노심 설계 코드를 이용하여, 상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 노심 주기 길이 및 출력 첨두 계수를 계산하고, 상기 계산된 노심 주기 길이 및 상기 계산된 출력 첨두 계수와, 상기 제1 및 제2임계값을 이용하여, 상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 성능 지수를 계산하는

핵연료 장전 모형 탐색 장치.

청구항 10

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 원자로 노심에 배치되는 핵연료의 장전 모형을 탐색하는 방법 및 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 기계 학습을 이용하여, 핵연료 장전 모형을 탐색하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 노심 핵연료 관리(In-core fuel management)는 원자로 운영에 가장 중요한 고려 사항이며, 핵연료 장전량 및 특성 파악, 핵연료 장전 모형(fuel loading pattern) 탐색, 노심 출력 분포(core power distribution) 등을 관리하는 것을 의미한다. 이것은 에너지 요건(energy requirement)을 만족하면서, 핵연료 주기 비용(nuclear fuel cycle cost)을 최소화하는 것을 목적으로 한다.

[0004] 핵연료 장전 모형이란, 원자로 노심에 배치되는 핵연료의 배치 위치를 나타내는 모형으로서, 핵연료 장전 모형의 설계 문제는, 핵연료의 농축도, 연소도, 반응도, 운전 주기 길이 등을 핵연료 집합체(fuel assembly)의 위치에 따라 결정해야 하는, 복잡한 조합 최적화 문제(combinatorial optimization problem)이다.

[0005] 최적의 핵연료 장전 모형은, 노심 주기 길이(core cycle length)와 출력 첨두 계수(power peaking factor)가 최적화된 모형으로서, 모든 경우의 수를 고려하여 최적의 핵연료 장전 모형을 탐색하는 문제는, NP(Non-deterministic Polynomial time)-hard 문제로서, 막대한 계산 시간을 필요로 한다.

[0006] 이러한 이유로 최적의 장전모형을 찾기 위한 방법 개발에 많은 노력이 투입되고 있으며, 개발된 방법 중 모의 냉각법(simulated annealing)은 핵연료 장전 모형 탐색을 위해, 가장 효과적으로 사용되는 방법 중 하나이다. 모의 냉각법은 다른 최적화 기법과 비교해서 극소(local minima) 문제에 빠질 확률이 낮고, 전역 최소값(global minimum)에 도달할 수 있는 강력한 장점이 있다.

[0007] 그러나 모의 냉각법 역시 수만개에서 수백만 개에 달하는 핵연료 장전 모형을 대상으로, 최적의 핵연료 장전 모형을 탐색해야하므로, 여전히 많은 탐색 시간이 소요되는 문제가 있다.

[0008] 관련 선행문헌으로 특허 문헌인 대한민국 등록특허 제10-2233823호, 제10-2123236호가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 연산 시간을 줄여 보다 빠른 속도로 최적의 핵연료 장전 모형을 탐색할 수 있는 방법 및 장치를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제1타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 미리 학습된 예측 모델을 이용하여, 미리 설정된 선정 조건을 만족하는 제2타겟 핵연료 장전 모형들을 선정하는 단계; 및 상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 성능 지수가 최소인 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하는 단계를 포함하

며, 상기 선정 조건은 노심 주기 길이가 제1임계값 이상이고, 출력 첨두 계수가 제2임계값 보다 작은 조건인, 핵연료 장전 모형 탐색 방법이 제공된다.

[0013] 또한 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 메모리; 및 상기 메모리와 전기적으로 연결되는 적어도 하나의 프로세서를 포함하며, 상기 프로세서는, 제1타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 미리 학습된 예측 모델을 이용하여, 미리 설정된 선정 조건을 만족하는 제2타겟 핵연료 장전 모형들을 선정하고, 상기 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 성능 지수가 최소인 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하며, 상기 선정 조건은 노심 주기 길이가 제1임계값 이상이고, 출력 첨두 계수가 제2임계값 보다 작은 조건인, 핵연료 장전 모형 탐색 장치가 제공된다.

발명의 효과

[0015] 본 발명의 일실시예에 따르면, 복수의 핵연료 장전 모형들 중에서 일부 핵연료 장전 모형을 필터링한 후 최적의 핵연료 장전 모형을 탐색함으로써, 핵연료 장전 모형 탐색에 소요되는 연산 시간이 줄어들며, 보다 빠른 속도로 핵연료 장전 모형을 탐색할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 핵연료 장전 모형 탐색 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 핵연료 장전 모형의 일예를 도시하는 도면이다.

도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 핵연료 장전 모형 탐색 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 핵연료 장전 모형 탐색 결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.

[0020] 본 발명은, 기계 학습을 이용하여 최적의 핵연료 장전 모형을 탐색하는 방법을 제안한다.

[0021] 핵연료 장전 모형은 전술된 바와 같이, 원자로 노심에서의 핵연료의 배치 위치를 나타내는 모형으로서, 핵연료 장전 모형에 따라, 노심의 안전성, 노심의 출력 등이 달라지기 때문에, 복수의 핵연료 장전 모형들 중에서 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하는 과정이 필요하다.

[0022] 그리고 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하는 과정은, 노심 주기 길이와 출력 첨두 계수가 주어진 조건을 만족하면서, 핵연료 장전 모형의 성능을 나타내는 성능 지수(performance index)가 가장 작은 핵연료 장전 모형을 탐색하는 과정에 대응된다. 노심 주기 길이는 핵연료가 장전된 노심이 핵연료의 교체없이 정규 출력을 생산하는 기간을 의미하며, 출력 첨두 계수는 노심에서의 출력 중 최고 출력을 나타내는 파라미터이다.

[0023] 전술된 바와 같이, 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하기 위해 상당한 시간이 소요되며, 본 발명의 일실시예는 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하기 위해 소요되는 시간을 줄이기 위해 기계 학습을 이용한다. 본 발명의 일실시예는 기계 학습 모델을 이용하여, 복수의 핵연료 장전 모형들 중에서 미리 설정된 조건을 만족하는 핵연료 장전 모형들을 필터링한다. 그리고 필터링된 핵연료 장전 모형들 중에서, 최적 핵연료 장전 모형을 탐색한다.

[0024] 필터링 과정을 통해, 최적 핵연료 장전 모형에 해당할 가능성이 낮은 핵연료 장전 모형들이 제거되기 때문에, 제거된 핵연료 장전 모형들의 개수에 비례하여 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하는데 소요되는 시간이 줄어들 수 있다.

[0025] 본 발명의 일실시예에 따른 핵연료 장전 모형 탐색 방법은 모의 냉각법에 기반한 탐색 방법으로서, 메모리 및 메모리와 전기적으로 연결되는 적어도 하나의 프로세서를 포함하는 컴퓨팅 장치에서 수행될 수 있으며, 구체적으로 컴퓨팅 장치의 프로세서에서 핵연료 장전 모형 탐색 방법이 수행될 수 있다.

[0026] 이하에서, 본 발명에 따른 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0028] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 핵연료 장전 모형 탐색 방법을 설명하기 위한 도면이며, 도 2는 핵연료 장전

모형의 일예를 도시하는 도면이다.

[0029] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 컴퓨팅 장치는 제1타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 미리 학습된 예측 모델을 이용하여, 미리 설정된 선정 조건을 만족하는 제2타겟 핵연료 장전 모형들을 선정(S110)한다. 여기서, 선정 조건은 노심 주기 길이가 제1임계값 이상이고, 출력 첨두 계수가 제2임계값 보다 작은 조건이다. 제1 및 제2임계값은 노심에서 요구되는 안정성, 출력 등에 따라 결정될 수 있다.

[0030] 즉, 예측 모델은 제1타겟 핵연료 장전 모형들의 노심 주기 길이가 제1임계값 이상이고, 출력 첨두 계수가 제2임계값보다 작은지 여부를 예측하며, 제2타겟 핵연료 장전 모형들은 노심 주기 길이가 제1임계값 이상이고, 출력 첨두 계수가 제2임계값 보다 작은 핵연료 장전 모형에 대응된다.

[0031] 예측 모델의 학습에 이용되는 훈련 데이터는 훈련용 핵연료 장전 모형에 포함된 핵연료 정보와, 훈련용 핵연료 장전 모형에 대한 선정 조건의 만족 여부를 나타내는 레이블을 포함할 수 있다. 훈련용 핵연료 장전 모형에는 핵연료의 배치 위치 뿐만 아니라, 핵연료의 농축도 등과 같은 핵연료 정보가 포함된다. 훈련용 핵연료 장전 모형은 일실시예로서, 한국표준형원전(OPR 1000)에서 이용되는 핵연료 장전 모형일 수 있다.

[0032] 예측 모델의 학습을 위해, 핵연료 정보는 ASCII 코드와 같은 이진 코드로 변환될 수 있으며, 예측 모델은 이러한 이진 코드와 훈련용 핵연료 장전 모형에 대한 레이블을 통해 학습될 수 있다. 그리고 컴퓨팅 장치는 제1타겟 핵연료 장전 모형들을 이진 코드로 변환하여 예측 모델에 입력할 수 있다.

[0033] 제2타겟 핵연료 장전 모형들이 선정되면, 본 발명의 일실시예에 따른 컴퓨팅 장치는 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 성능 지수가 최소인 최적 핵연료 장전 모형을 탐색(S120)한다.

[0034] 컴퓨팅 장치는 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 노심 주기 길이 및 출력 첨두 계수를 이용하여, 성능 지수를 계산할 수 있으며, 컴퓨팅 장치는 ASTRA와 같은 노심 설계 코드를 이용하여, 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 노심 주기 길이 및 출력 첨두 계수를 계산할 수 있다.

[0035] 그리고 컴퓨팅 장치는 계산된 노심 주기 길이 및 계산된 출력 첨두 계수와, 제1 및 제2임계값을 이용하여, 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 성능 지수를 계산한다. 이 때 컴퓨팅 장치는 노심에서 요구되는 출력 첨두 계수의 제한치를 만족시키기 위해, 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 계산된 출력 첨두 계수가 제2임계값 이하인 핵연료 장전 모형의 성능 지수를 계산할 수 있다.

[0036] 컴퓨팅 장치는 이와 같이 계산된 성능 지수를 확인하여, 2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 최소의 성능 지수에 대응되는 최적 핵연료 장전 모형을 탐색할 수 있다.

[0038] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 핵연료 장전 모형 탐색 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0039] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 컴퓨팅 장치는 핵연료 배치 규칙에 따라서, 제1타겟 핵연료 장전 모형들을 랜덤하게 생성(S310)한다. 즉, 핵연료의 배치 위치, 농축도 등에 대응되는 값을 랜덤하게 생성함으로써, 복수의 제1타겟 핵연료 장전 모형들을 생성할 수 있다.

[0040] 그리고 컴퓨팅 장치는 미리 학습된 예측 모델을 이용하여, 제1타겟 핵연료 장전 모형들이 미리 설정된 선정 조건을 만족하는지 여부를 판단(S320)한다. 예측 모델은 [수학식 1]과 같이 예측 결과를 출력할 수 있으며, 노심 주기 길이(CL) 및 출력 첨두 계수(PF)의 예측 결과가 모두 1인 핵연료 장전 모형은, 미리 설정된 선정 조건을 만족하는 핵연료 장전 모형으로서, 제2타겟 핵연료 장전 모형으로 선정된다.

수학식 1

$$CL = \begin{cases} 1, & CL \geq CL_{limit} \\ 0, & CL < CL_{limit} \end{cases}$$

$$PF = \begin{cases} 1, & PF < PF_{limit} \\ 0, & PF \geq PF_{limit} \end{cases}$$

[0041]

[0042] 여기서, CL_{limit} 은 제1임계값, PF_{limit} 은 제2임계값을 나타낸다.

[0043] 컴퓨팅 장치는 제1타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 선정 조건을 만족하지 않는 핵연료 장전 모형의 성능 지수에 대해 패널티값을 부여(S330)한다. 전술된 바와 같이, 본 발명의 일실시예는 성능 지수가 최소인 최적 핵연료 장전 모형을 탐색하므로, 성능 지수에 대해 패널티값이 부여된 핵연료 장전 모형은, 제2타겟 핵연료 장전 모형에 포함되지 않는다.

[0044] 컴퓨팅 장치는 제1타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 선정 조건을 만족하는 제2타겟 핵연료 장전 모형들에 대한 노심 주기 길이 및 출력 첨두 계수를 계산(S340)한다. 이 때, 컴퓨팅 장치는 노심 주기 길이 및 출력 첨두 계수의 계산 시간이 제3임계값 이하인지 여부를 판단(S350)하고, 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 노심 주기 길이 및 출력 첨두 계수의 계산 시간이 제3임계값 이하인 핵연료 장전 모형의 성능 지수를 계산(S360)한다. 그리고 성능 지수가 최소인 최적 핵연료 장전 모형을 탐색한다.

[0045] 컴퓨팅 장치는 계산된 노심 주기 길이 및 출력 첨두 계수를 이용하여, [수학식 2]와 같이, 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 성능 지수를 계산한다.

수학식 2

[0046]
$$performance\ \ index = \begin{cases} w_1(CL_{calc} - CL_{limit})^2 + w_2 PF_{calc}, & PF_{calc} \le PF_{limit} \\ penalty, & PF_{calc} > PF_{limit} \end{cases}$$

[0047] 여기서, w_1 , w_2 는 가중치, CL_{calc} 는 계산된 노심 주기 길이, PF_{calc} 는 계산된 출력 첨두 계수, penalty는 계산된 출력 첨두 계수가 제2임계값보다 큰 핵연료 장전 모형에 부여되는 패널티값을 나타낸다.

[0048] 컴퓨팅 장치는 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 계산된 출력 첨두 계수가 제2임계값 이하인 핵연료 장전 모형의 성능 지수를 계산하고, 계산된 출력 첨두 계수가 제2임계값보다 큰 핵연료 장전 모형의 성능 지수에 대해서는 패널티값을 부여한다. 그리고 컴퓨팅 장치는 제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서, 노심 주기 길이 및 출력 첨두 계수의 계산 시간이 제3임계값보다 큰 핵연료 장전 모형에 대해서도 패널티값을 부여(S370)한다. 패널티값이 부여된 핵연료 장전 모형에 대해서는, 성능 지수가 계산되지 않는다.

[0050] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 핵연료 장전 모형 탐색 결과를 설명하기 위한 도면이다.

[0051] 도 4는, 한국표준형원전(OPR 1000)의 핵연료 장전 모형을 통해 학습된 예측 모델을 통해 선정된 제2타겟 핵연료 장전 모형들의 노심 주기 길이 및 출력 첨두 계수의 계산 결과를 나타내는 산점도이다. 도 4에서 X축은 노심 주기 길이, Y축은 출력 첨두 계수를 나타낸다. 도 4에서, 초록색 실선은 노심에서 요구되는 노심 주기 길이의 하한치(18)를 나타내며, 초록색 점선은 제1임계값(18.12)을 나타낸다. 그리고 적색 실선은 노심에서 요구되는 출력 첨두 계수의 설계 제한치(1.6)를 나타내며, 적색 점선은 제2임계값(1.7)을 나타낸다. 도 4의 탐색 과정에서는 16500개의 제1타겟 핵연료 장전 모형들 중에서 2897개(17.55%)의 핵연료 장전 모형들이 제2타겟 핵연료 장전 모형들로 선정되었으며, 나머지 13603개(82.44%)의 핵연료 장전 모형들이 필터링되었다.

[0052] 도 4에서, 검은색 박스(400)는 노심 주기 길이의 하한치와, 출력 첨두 계수의 설계 제한치를 만족하는 5개의 제2타겟 핵연료 장전 모형을 나타내며, 5개의 제2타겟 핵연료 장전 모형의 노심 주기 길이, 출력 첨두 계수 및 성능 지수는 [표 1]과 같다.

표 1

[0053]

Cycle length	Peaking factor	Performance index
18.0625	1.5792	16.6447
18.0616	1.5834	16.8830
18.0533	1.5964	19.2027
18.0432	1.5895	22.1906
18.0419	1.5829	22.6924

[0054] [표 1]과 같이, 본 발명의 일실시예에 따르면, 노심 주기 길이가 가장 길고, 출력 첨두 계수가 가장 작으면서, 성능 지수가 가장 작은 최적 핵연료 장전 모형이 탐색됨을 알 수 있다.

[0055] 한편, [표 2]는 1000개의 제1타겟 핵연료 장전 모형들에 대한 탐색 시간을 나타내는 표로서, “Filtering”은 본 발명의 일실시예에 따른 탐색 시간, “No Filtering”은 본 발명의 일실시예를 적용하지 않은 탐색 시간을 나타낸다. 본 발명의 일실시예에 따르면, 탐색 시간이 20% 정도로 감소함을 알 수 있다.

표 2

[0056]

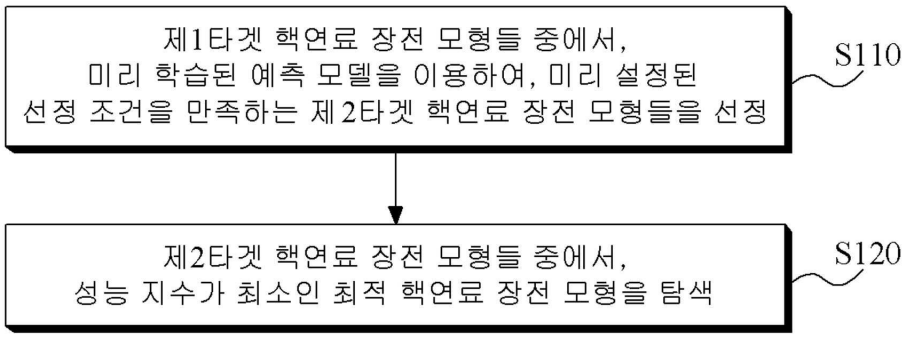
	Filtering	No Filtering
Time	56,936sec (15.81h)	301,307sec (83.70h)

[0058] 앞서 설명한 기술적 내용들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예들을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 하드웨어 장치는 실시예들의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

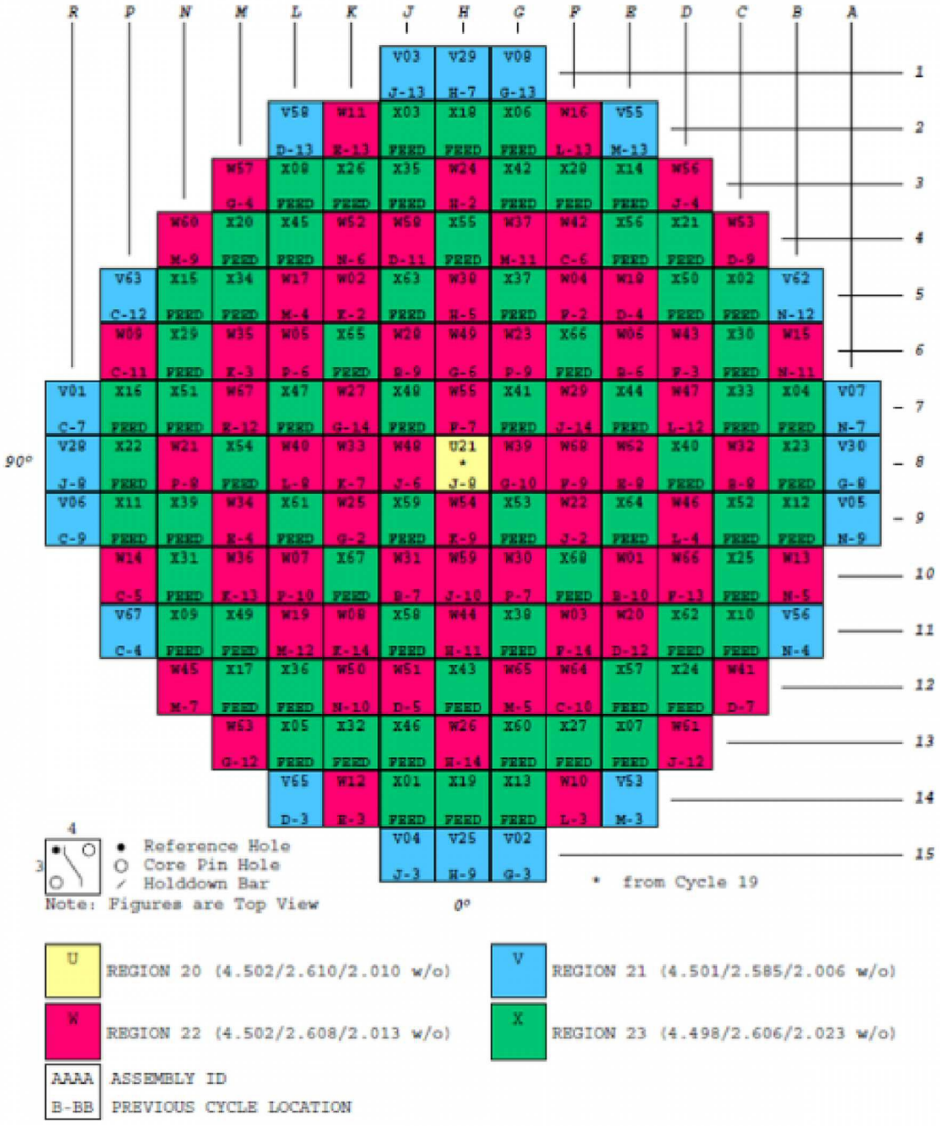
[0060] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면

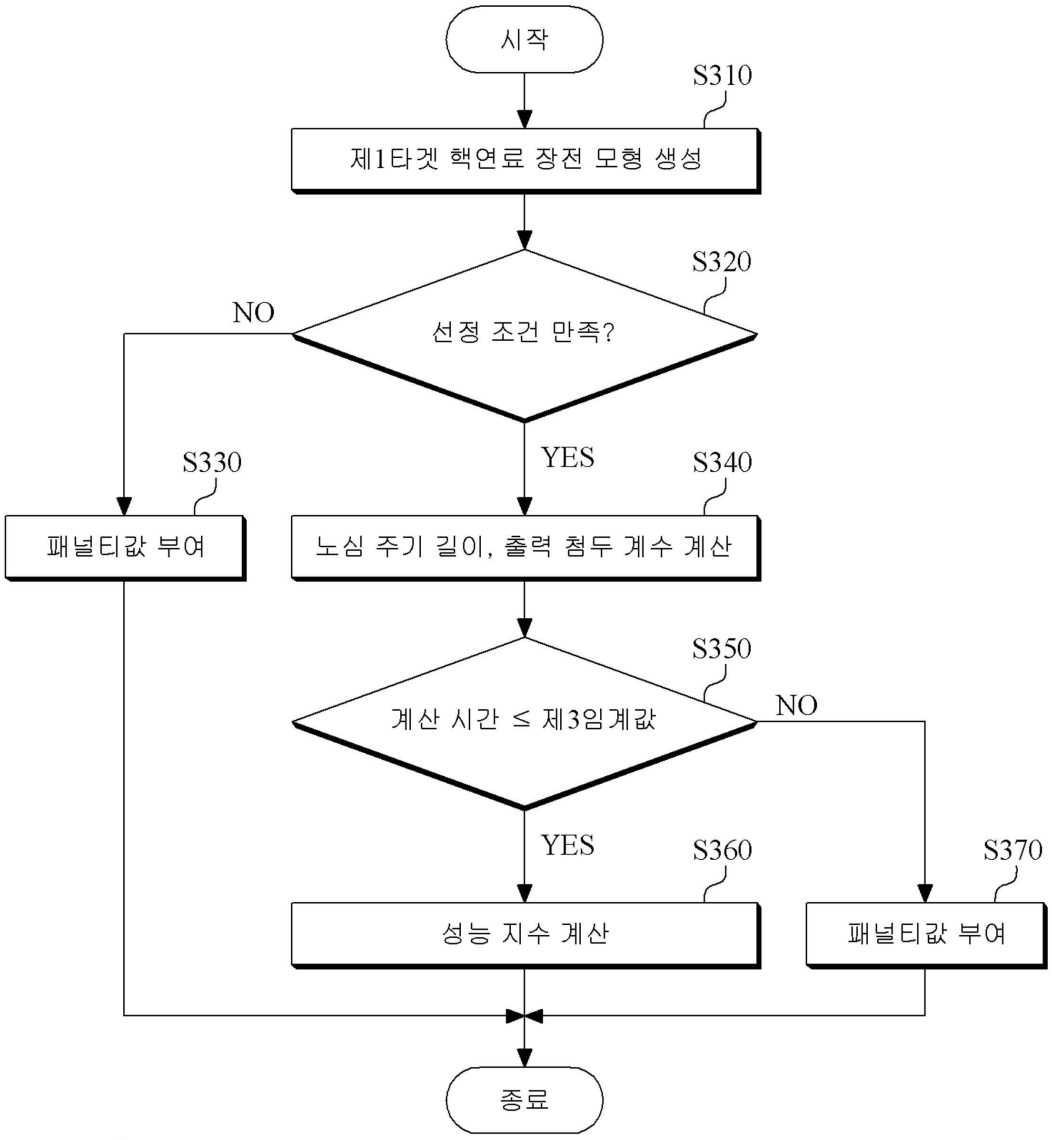
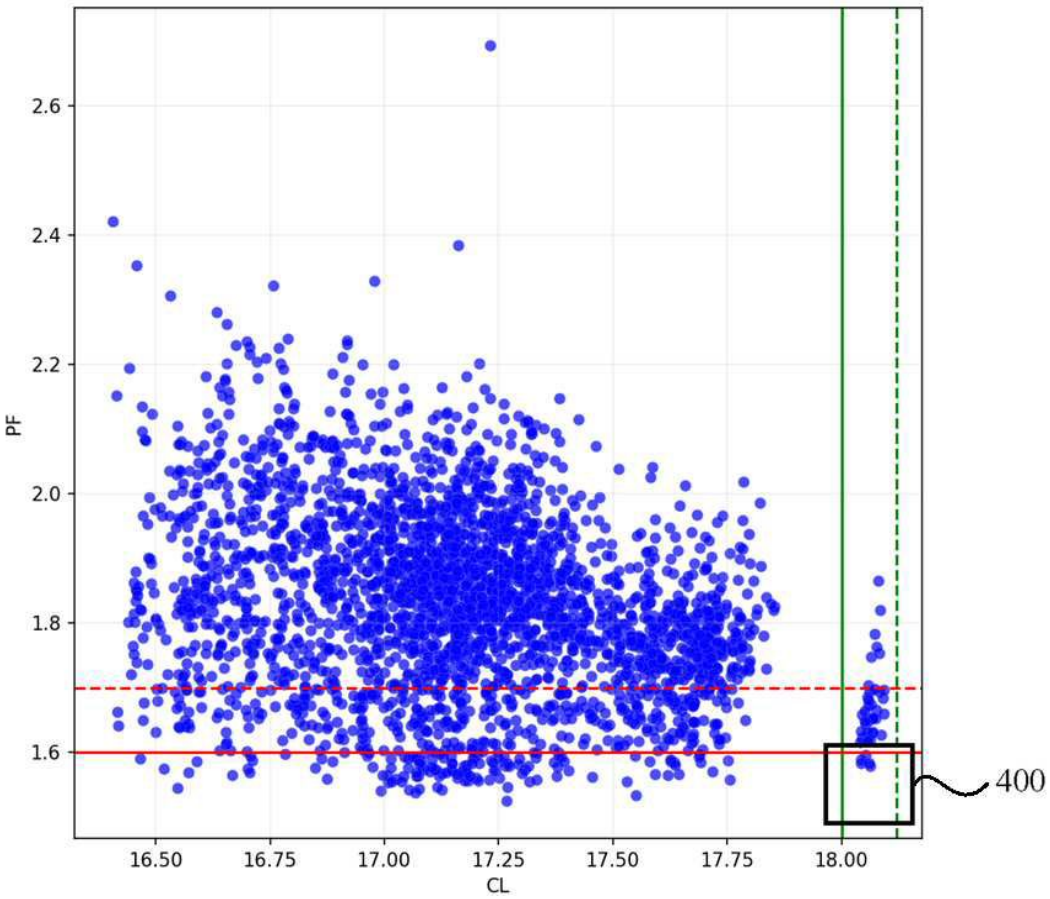
도면1


제1타겟 핵연료 장전 모형들 중에서,
미리 학습된 예측 모델을 이용하여, 미리 설정된
선정 조건을 만족하는 제2타겟 핵연료 장전 모형들을 선정
S110
제2타겟 핵연료 장전 모형들 중에서,
성능 지수가 최소인 최적 핵연료 장전 모형을 탐색
S120

도면2


R P N M L K J H G F E D C B A
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
90°
0°
Reference Hole
Core Pin Hole
Holddown Bar
Note: Figures are Top View
* from Cycle 19
REGION 20 (4.502/2.610/2.010 w/o)
REGION 21 (4.501/2.585/2.006 w/o)
REGION 22 (4.502/2.608/2.013 w/o)
REGION 23 (4.498/2.606/2.023 w/o)
AAAA ASSEMBLY ID
B-BB PREVIOUS CYCLE LOCATION

도면3


시작
S310
제1타겟 핵연료 장전 모형 생성
S320
선정 조건 만족?
NO
YES
S330
패널티값 부여
S340
노심 주기 길이, 출력 첨두 계수 계산
S350
계산 시간 ≤ 제3임계값
NO
YES
S360
성능 지수 계산
S370
패널티값 부여
종료

도면4