



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0093468
(43) 공개일자 2024년06월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 15/247 (2006.01) G21C 19/04 (2006.01)
H02K 44/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 15/247 (2013.01)
G21C 19/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7010850
(22) 출원일자(국제) 2022년09월26일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년03월30일
(86) 국제출원번호 PCT/US2022/044668
(87) 국제공개번호 WO 2023/196007
국제공개일자 2023년10월12일
(30) 우선권주장
17/490,052 2021년09월30일 미국(US)

(71) 출원인
지이-히타치 뉴클리어 에너지 어메리카스 엘엘씨
미국 노스 캐롤라이나주 28401 월밍턴 캐슬 헤인
로드 3901
(72) 발명자
뢰벤, 에릭 폴
미국, 노스 캐롤라이나 28401, 월밍턴 캐슬 헤인
로드 3901
머레이, 윌리엄 로이스돈
미국, 노스 캐롤라이나 28401, 월밍턴 캐슬 헤인
로드 3901
(74) 대리인
특허법인가산

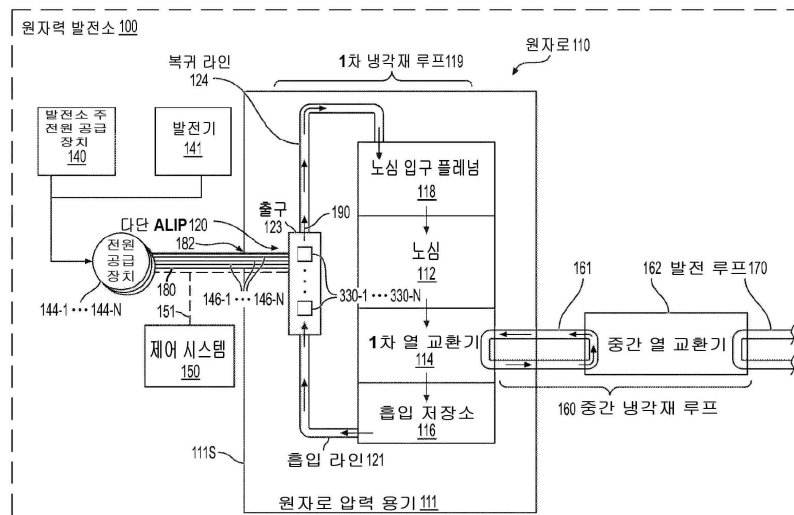
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 원자로용 다단 환형 선형 유도 펌프

(57) 요약

액체 금속 냉각 원자로는 원자로 노심을 갖는 원자로 압력 용기 내에 원자로 노심을 통해 액체 금속 냉각재를 순환시키도록 구성된 다단 환형 선형 유도 펌프(ALIP)를 포함한다. 다단 ALIP는 다단 ALIP의 개별 각 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하는 복수의 유도 코일 세트를 포함한다. 복수의 유도 코일 세트는 별도의 각 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성되어, 다상 ALIP의 스테이지는 복수의 다상 전원 공급 장치의 독립적 제어를 기초로 원자로 노심을 통한 액체 금속 냉각재의 흐름을 조정 가능하게 제어하도록 서로 독립적으로 제어되도록 구성된다.

대표도



(52) CPC특허분류

H02K 44/06 (2013.01)

Y02E 30/30 (2020.08)

명세서

청구범위

청구항 1

액체 금속 순환을 통해 냉각되도록 구성된 원자로로서:

원자로 압력 용기;

상기 원자로 압력 용기 내의 원자로 노심; 및

상기 원자로 압력 용기 내에 제공되고, 상기 원자로 노심을 포함하는 1차 냉각재 유동 경로를 통해 액체 금속 냉각재를 순환시키도록 구성되는 다단 환형 선형 유도 펌프(ALIP)

를 포함하고, 상기 다단 ALIP는,

종방향으로 연장되는 종축을 가지고 적어도 부분적으로 상기 다단 ALIP의 내부를 정의하는 펌프 케이싱,

상기 종축과 동축으로 연장되는 동심 환형 벽들로서 상기 종축과 동축으로 연장되는 유동 환형 공간을 함께 정의하는 동심 환형 벽들, 및

상기 다단 ALIP의 내부에 제공되고 상기 종축을 각각 둘러싸는 복수의 유도 코일

을 포함하며,

상기 복수의 유도 코일은 각각 상기 종축과 동축인 중심축을 가지며, 상기 복수의 유도 코일은 종방향으로 서로 이격되며, 상기 복수의 유도 코일은 상기 다단 ALIP의 복수의 스테이지의 개별적인 각 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하는 복수의 유도 코일 세트를 포함하며, 상기 복수의 유도 코일 세트는 복수의 다상 전원 공급 장치의 개별적인 각 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결됨으로써 상기 복수의 다상 전원 공급 장치의 독립적인 제어를 기초로 상기 1차 냉각재 유동 경로를 통한 액체 금속 냉각재의 유동을 조정 가능하게 제어하도록 상기 복수의 스테이지가 서로 독립적으로 제어되는 방식으로 구성되는, 원자로.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 유도 코일 세트는 제1 유도 코일 세트 및 제2 유도 코일 세트를 포함하며, 상기 제1 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지들 중의 제1 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며, 상기 제2 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지 중의 제2 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며,

상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는 상기 제1 유도 코일 세트 중의 적어도 하나의 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제2 유도 코일 세트 중의 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되도록 상기 종방향으로 적어도 부분적으로 서로 인터레이스되는(interlaced), 원자로.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 복수의 유도 코일 세트는 제1 유도 코일 세트 및 제2 유도 코일 세트를 포함하며, 상기 제1 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지들 중의 제1 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며, 상기 제2 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지 중의 제2 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며,

상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는,

상기 제1 유도 코일 세트 중의 상기 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제2 유도 코일 세트 중의 상기 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되지 않고,

상기 제2 유도 코일 세트 중의 상기 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제1 유도 코일 세트 중의 상기 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되지 않도록,

상기 종방향으로 서로 이격되는, 원자로.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 복수의 유도 코일 세트는 제1 유도 코일 세트 및 제2 유도 코일 세트를 포함하며, 상기 제1 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지들 중의 제1 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며, 상기 제2 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지 중의 제2 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며,

상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는 상이한 고유 특성을 가지며, 상기 상이한 고유 특성은,

유도 코일 재료 조성,

동일한 유도 코일 세트 중의 인접한 유도 코일의 대향 표면 사이의 종방향 간격,

종방향의 유도 코일 두께,

종방향에 수직으로 연장되는 반경방향의 유도 코일 환형 두께,

유도 코일 내부 반경, 또는

유도 코일 외부 반경

중 적어도 하나를 포함하는, 원자로.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 복수의 유도 코일 세트 중의 주어진 유도 코일 세트의 적어도 2개의 유도 코일은 상이한 고유 특성을 가지며, 상기 상이한 고유 특성은,

유도 코일 재료 조성,

동일한 유도 코일 세트 중의 인접한 유도 코일의 대향 표면 사이의 종방향 간격,

종방향의 유도 코일 두께,

종방향에 수직으로 연장되는 반경방향의 유도 코일 환형 두께,

유도 코일 내부 반경, 또는

유도 코일 외부 반경

중 적어도 하나를 포함하는, 원자로.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 다단 ALIP는 상기 종축에 동축으로 연장되고 상기 동심 환형 벽들로 둘러싸인 중앙 코어를 더 포함하며,

상기 복수의 스테이지들은,

상기 중앙 코어의 재료 조성, 또는

상기 종방향에 수직인 반경 방향의 상기 중앙 코어의 직경

중 적어도 하나의 종방향 변화에 의해 추가로 적어도 부분적으로 정의되는, 원자로.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 복수의 스테이지들은,

상기 동심 환형 벽들 중의 내부 환형 벽의 외경,

상기 동심 환형 벽들 중의 외부 환형 벽의 내경,
 상기 동심 환형 벽들 중의 적어도 하나의 환형 벽의 두께, 또는
 상기 유동 환형 공간의 형상
 중 적어도 하나의 종방향 변화에 의해 추가로 적어도 부분적으로 정의되는, 원자로.

청구항 8

제1항에 있어서,
 각각의 개별 다상 전원 공급 장치는 복수의 다상 전원 케이블 중의 개별 다상 전원 케이블을 통해 다상 전력을 공급하도록 구성되며,
 상기 복수의 유도 코일 세트는 상기 복수의 다상 전원 케이블 중의 별도의 각 다상 전원 케이블에 전기적으로 연결되며,
 상기 복수의 다상 전원 케이블은 단일 전원 공급 전도체 케이블 내에 적어도 부분적으로 봉지되며,
 상기 단일 전원 공급 전도체 케이블은 상기 복수의 유도 코일 세트가 상기 원자로 압력 용기의 외벽의 단일 개구를 통해 적어도 상기 다단 ALIP의 케이싱과 상기 원자로 압력 용기의 적어도 외부 사이에서 연장됨으로써 상기 복수의 유도 코일 세트가 상기 원자로 압력 용기의 상기 외벽의 상기 단일 개구를 통해 별도의 각 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 결합되는, 원자로.

청구항 9

제1항에 있어서,
 상기 복수의 다상 전원 공급 장치를 독립적으로 제어하여 상기 다단 ALIP의 상기 복수의 스테이지 중의 각 스테이지에 대한 다상 전력 공급을 독립적으로 제어함으로써 상기 1차 냉각재 유동 경로를 통한 상기 액체 금속 냉각재의 유동을 조정 가능하게 제어하도록 구성되는 제어 시스템을
 을 더 포함하는, 원자로.

청구항 10

액체 금속을 순환시키도록 구성되는 다단 환형 선형 유도 펌프(ALIP)로서:
 종방향으로 연장되는 종축을 가지고 상기 다단 ALIP의 내부를 적어도 부분적으로 정의하는 펌프 케이싱;
 상기 종축과 동축으로 연장되는 동심 환형 벽들로서 상기 종축과 동축으로 연장되는 유동 환형 공간을 함께 정의하는 동심 환형 벽들; 및
 상기 다단 ALIP의 내부에 제공되는 복수의 유도 코일
 을 포함하며,
 각각의 상기 유도 코일은 상기 종축을 둘러싸며, 상기 복수의 유도 코일은 각각 상기 종축과 동축인 중심축을 가지며, 상기 복수의 유도 코일은 종방향으로 서로 이격되며, 상기 복수의 유도 코일은 복수의 유도 코일 세트를 포함하며, 상기 복수의 유도 코일 세트는 상기 다단 ALIP의 복수의 스테이지의 개별적인 각 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며, 상기 복수의 유도 코일 세트는 복수의 다상 전원 공급 장치의 개별적인 각 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성됨으로써 상기 복수의 다상 전원 공급 장치의 독립적인 제어를 기초로 유동 환형 공간을 통한 액체 금속의 유동을 조정 가능하게 제어하도록 상기 복수의 스테이지가 서로 독립적으로 제어되는 방식으로 구성되는, 다단 환형 선형 유도 펌프(ALIP).

청구항 11

제10항에 있어서,
 상기 복수의 유도 코일 세트는 제1 유도 코일 세트 및 제2 유도 코일 세트를 포함하며, 상기 제1 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지들 중의 제1 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며, 상기 제2 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지 중의 제2 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며,

상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는 상기 제1 유도 코일 세트 중의 적어도 하나의 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제2 유도 코일 세트 중의 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되도록 상기 종방향으로 적어도 부분적으로 서로 인터레이스되는(interlaced), 다만 ALIP.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 복수의 유도 코일 세트는 제1 유도 코일 세트 및 제2 유도 코일 세트를 포함하며, 상기 제1 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지들 중의 제1 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며, 상기 제2 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지 중의 제2 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며,

상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는,

상기 제1 유도 코일 세트 중의 상기 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제2 유도 코일 세트 중의 상기 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되지 않고,

상기 제2 유도 코일 세트 중의 상기 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제1 유도 코일 세트 중의 상기 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되지 않도록,

상기 종방향으로 서로 이격되는, 다만 ALIP.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 복수의 유도 코일 세트는 제1 유도 코일 세트 및 제2 유도 코일 세트를 포함하며, 상기 제1 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지들 중의 제1 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며, 상기 제2 유도 코일 세트는 상기 복수의 스테이지 중의 제2 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하며,

상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는 상이한 고유 특성을 가지며, 상기 상이한 고유 특성은,

유도 코일 재료 조성,

동일한 유도 코일 세트 중의 인접한 유도 코일의 대향 표면 사이의 종방향 간격,

종방향의 유도 코일 두께,

종방향에 수직으로 연장되는 반경방향의 유도 코일 환형 두께,

유도 코일 내부 반경, 또는

유도 코일 외부 반경

중 적어도 하나를 포함하는, 다만 ALIP.

청구항 14

제10항에 있어서,

상기 복수의 유도 코일 세트 중의 주어진 유도 코일 세트의 적어도 2개의 유도 코일은 상이한 고유 특성을 가지며, 상기 상이한 고유 특성은,

유도 코일 재료 조성,

동일한 유도 코일 세트 중의 인접한 유도 코일의 대향 표면 사이의 종방향 간격,

종방향의 유도 코일 두께,

종방향에 수직으로 연장되는 반경방향의 유도 코일 환형 두께,

유도 코일 내부 반경, 또는

유도 코일 외부 반경

중 적어도 하나를 포함하는, 다만 ALIP.

청구항 15

제10항에 있어서,

상기 다단 ALIP는 상기 종축에 동축으로 연장되고 상기 동심 환형 벽들로 둘러싸인 중앙 코어를 더 포함하며,

상기 복수의 스테이지들은,

상기 중앙 코어의 재료 조성, 또는

상기 종방향에 수직인 반경 방향의 상기 중앙 코어의 직경

중 적어도 하나의 종방향 변화에 의해 추가로 적어도 부분적으로 정의되는, 다단 ALIP.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 복수의 스테이지들은,

상기 동심 환형 벽들 중의 내부 환형 벽의 외경,

상기 동심 환형 벽들 중의 외부 환형 벽의 내경, 또는

상기 동심 환형 벽들 중의 적어도 하나의 환형 벽의 상이한 두께

중 적어도 하나의 종방향 변화에 의해 추가로 적어도 부분적으로 정의되는, 다단 ALIP.

청구항 17

제10항의 다단 ALIP를 동작시키는 방법으로서:

상기 유동 환형 공간을 통한 액체 금속의 흐름을 발생시키도록 상기 복수의 다상 전원 공급 장치 중의 제1 다상 전원 공급 장치를 통해 상기 복수의 스테이지 중 제1 스테이지에 제1 다상 전력을 공급하는 단계; 및

상기 유동 환형 공간을 통한 상기 액체 금속의 흐름을 조정 가능하게 제어하도록 상기 복수의 다상 전원 공급 장치 중의 제2 다상 전원 공급 장치를 통해 상기 복수의 스테이지 중 제2 스테이지에 대한 별도의 제2 다상 전력 공급을 독립적으로 제어하는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 독립적 제어 단계는 상기 제1 스테이지에 대한 상기 제1 다상 전력 공급을 유지하면서 상기 제2 스테이지에 대한 상기 별도의 제2 다상 전력 공급을 억제하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 19

제17항에 있어서,

상기 독립적인 제어 단계는,

상기 제1 스테이지에 공급되는 상기 제1 다상 전력의 주파수와 독립적으로 상기 제2 스테이지에 공급되는 상기 제2 다상 전력의 주파수, 또는

상기 제1 스테이지에 공급되는 상기 제1 다상 전력의 전류와 독립적으로 상기 제2 스테이지에 공급되는 상기 제2 다상 전력의 전류

중 적어도 하나를 독립적으로 조정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 20

원자로에서 액체 금속 냉각재 흐름 제어를 개선하는 원자로 구성 방법으로서:

상기 원자로의 원자로 압력 내 1차 냉각재 루프에 다단 ALIP를 설치하되, 상기 다단 ALIP는 별도의 각 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성된 별도의 각 유도 코일 세트에 의해 적어도 부분적으로 정의되는 복수의 스테이지를 포함하는 단계;

상기 다단 ALIP의 상기 복수의 스테이지를 별도의 각 다상 전원 케이블을 통해 별도의 각 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결하는 단계; 및

상기 다단 ALIP를 전자기 펌프 제어 시스템에 통신 가능하게 결합하되, 상기 전자기 펌프 제어 시스템은 명령어 프로그램을 저장하는 메모리 및 별도의 각 다상 전원 공급 장치에 의해 공급되는 다상 전력을 독립적으로 제어하는 것을 기초로 상기 복수의 스테이지 중의 각 스테이지를 독립적으로 제어하도록 상기 명령어 프로그램을 실행하도록 구성된 프로세서를 포함하는 단계

를 포함하는, 원자로 구성 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시 내용은 일반적으로 원자로, 특히 액체 금속 냉각 원자로의 원자로 노심을 통한 액체 금속 냉각재 순환을 제어하는 것에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 원자력 발전소에 포함된 원자로는 노심을 통해 순환되는 일종 이상의 냉각재로의 열 전달을 통해 냉각되도록 구성될 수 있다. 원자로 노심의 열을 제거하기 위해 다양한 냉각재가 활용될 수 있다. 냉각재는 물, 액체 금속, 용융 염, 기체 물질, 이들의 일부 조합 등을 포함하는 일종 이상의 다양한 물질을 포함할 수 있다.

[0003] 일부 원자력 발전소에서, 본 명세서에서 1차 냉각재로도 지칭되는, 원자로 노심의 열을 제거하는 냉각재는 열 교환기를 통해 순환되어 본 명세서에서 2차 냉각재로도 지칭되는 다른 냉각재로 열을 전달한다. 일부 경우, 2차 냉각재는 원자력 발전소에 포함된 터빈 장치를 통한 순환을 통해 발전기를 구동하는 것을 포함하는 작업을 수행하는 데 사용된다. 일부 원자력 발전소에서, 냉각재는 담수화, 수소 생산 등을 포함하는 하나 이상의 산업 공정을 지원하기 위해 공정 열을 제공하는 데 사용될 수 있다.

[0004] 일부 경우, 원자로는 액체 금속 순환에 의해 냉각되도록 구성된다. 이러한 원자로는 본 명세서에서 액체 금속 냉각 원자로로 호환적으로 지칭되며, 일종 이상의 액체 금속 물질이 1차 냉각재로서 순환되는 1차 냉각재 루프를 포함할 수 있다. 1차 냉각재 루프를 통해 순환되는 이러한 일종 이상의 액체 금속 물질은 원자로의 원자로 노심을 통해 적어도 부분적으로 순환될 수 있으며, 본 명세서에서는 액체 금속 냉각재로 지칭된다.

[0005] 일부 경우, 원자로를 통해 순환될 수 있는 액체 금속 냉각재는 전도성 액체 금속 물질을 포함한다. 전도성 액체 금속 물질을 통해 냉각되도록 구성된 액체 금속 냉각 원자로의 원자로를 통해 전도성 액체 금속 냉각재를 순환하도록 구성된 하나 이상의 전자기 펌프(EMP)를 포함할 수 있다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0006] 일부 예시적인 실시예에 따르면, 액체 금속 순환을 통해 냉각되도록 구성된 원자로의 원자로 압력 용기, 해당 원자로 압력 용기 내의 원자로 노심, 및 상기 원자로 압력 용기 내의 다단 환형 선형 유도 펌프(ALIP)를 포함할 수 있다. 다단 ALIP는 상기 원자로 노심을 포함하는 1차 냉각재 유동 경로를 통해 액체 금속 냉각재를 순환시키도록 구성될 수 있다. 다단 ALIP는 종방향으로 연장되는 종축을 가지고 다단 ALIP의 내부를 적어도 부분적으로 정의하는 펌프 케이싱, 상기 종축과 동축으로 연장되는 동심 환형 벽들로서 상기 종축과 동축으로 연장되는 유동 환형 공간을 함께 정의하는 동심 환형 벽들, 및 상기 다단 ALIP의 내부에 제공되고 상기 종축을 각각 둘러싸는 복수의 유도 코일을 포함할 수 있다. 상기 복수의 유도 코일은 각각 상기 종축과 동축인 중심축을 가질 수 있다. 상기 복수의 유도 코일은 종방향으로 서로 이격될 수 있다. 상기 복수의 유도 코일은 상기 다단 ALIP의 복수의 스테이지의 개별적인 각 스테이지를 적어도 부분적으로 정의하는 복수의 유도 코일 세트를 포함할 수 있다. 상기 복수의 유도 코일 세트는 복수의 다상 전원 공급 장치의 개별적인 각 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결됨으로써 상기 복수의 다상 전원 공급 장치의 독립적인 제어를 기초로 1차 냉각재 유동 경로를

통한 액체 금속 냉각재의 유동을 조정 가능하게 제어하도록 상기 복수의 스테이지가 서로 독립적으로 제어되는 방식으로 구성될 수 있다.

- [0007] 상기 복수의 유도 코일 세트는 제1 유도 코일 세트 및 제2 유도 코일 세트를 포함할 수 있다. 상기 제1 유도 코일 세트는 적어도 부분적으로 복수의 스테이지들 중의 제1 스테이지를 정의할 수 있다. 제2 유도 코일 세트는 복수의 스테이지 중의 제2 스테이지를 적어도 부분적으로 정의할 수 있다.
- [0008] 상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는 상기 제1 유도 코일 세트 중의 적어도 하나의 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제2 유도 코일 세트 중의 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되도록 상기 종방향으로 적어도 부분적으로 서로 인터레이스될 수 있다(interlaced).
- [0009] 상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는 상기 제1 유도 코일 세트 중의 상기 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제2 유도 코일 세트 중의 상기 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되지 않고, 상기 제2 유도 코일 세트 중의 상기 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제1 유도 코일 세트 중의 상기 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되지 않도록, 상기 종방향으로 서로 이격될 수 있다.
- [0010] 상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는 상이한 고유 특성을 가질 수 있다. 상기 상이한 고유 특성은 유도 코일 재료 조성, 동일한 유도 코일 세트 중의 인접한 유도 코일의 대향 표면 사이의 종방향 간격, 종방향의 유도 코일 두께, 종방향에 수직으로 연장되는 반경 방향의 유도 코일 환형 두께, 유도 코일 내부 반경, 또는 유도 코일 외부 반경 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 복수의 유도 코일 세트 중의 주어진 유도 코일 세트의 적어도 2개의 유도 코일은 상이한 고유 특성을 가질 수 있다. 상기 상이한 고유 특성은 유도 코일 재료 조성, 동일한 유도 코일 세트 중의 인접한 유도 코일의 대향 표면 사이의 종방향 간격, 종방향의 유도 코일 두께, 종방향에 수직으로 연장되는 반경 방향의 유도 코일 환형 두께, 유도 코일 내부 반경, 또는 유도 코일 외부 반경 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0012] 상기 다단 ALIP는 상기 종축에 동축으로 연장되고 상기 동심 환형 벽들로 둘러싸인 중앙 코어를 더 포함할 수 있다. 상기 복수의 스테이지들은 상기 중앙 코어의 재료 조성 또는 상기 종방향에 수직인 반경 방향의 상기 중앙 코어의 직경 중 적어도 하나의 종방향 변화에 의해 추가로 적어도 부분적으로 정의될 수 있다.
- [0013] 상기 복수의 스테이지들은 상기 동심 환형 벽들 중의 내부 환형 벽의 외경, 상기 동심 환형 벽들 중의 외부 환형 벽의 내경, 상기 동심 환형 벽들 중의 적어도 하나의 환형 벽의 두께, 또는 상기 유동 환형 공간의 형상 중 적어도 하나의 종방향 변화에 의해 추가로 적어도 부분적으로 정의될 수 있다.
- [0014] 각각의 개별 다상 전원 공급 장치는 복수의 다상 전원 케이블 중의 개별 다상 전원 케이블을 통해 다상 전력을 공급하도록 구성될 수 있다. 상기 복수의 유도 코일 세트는 상기 복수의 다상 전원 케이블 중의 별도의 각 다상 전원 케이블에 전기적으로 연결될 수 있다. 상기 복수의 다상 전원 케이블은 단일 전원 공급 전도체 케이블 내에 적어도 부분적으로 봉지될 수 있다. 상기 단일 전원 공급 전도체 케이블은 상기 복수의 유도 코일 세트가 상기 원자로 압력 용기의 외벽의 단일 개구를 통해 적어도 상기 다단 ALIP의 케이싱과 상기 원자로 압력 용기의 적어도 외부 사이에서 연장됨으로써 상기 복수의 유도 코일 세트가 상기 원자로 압력 용기의 상기 외벽의 상기 단일 개구를 통해 별도의 각 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 결합될 수 있다.
- [0015] 상기 원자로는 제어 시스템 - 해당 제어 시스템은 상기 복수의 다상 전원 공급 장치를 독립적으로 제어하여 상기 다단 ALIP의 상기 복수의 스테이지 중의 각 스테이지에 대한 다상 전력 공급을 독립적으로 제어함으로써 상기 1차 냉각재 유동 경로를 통한 상기 액체 금속 냉각재의 유동을 조정 가능하게 제어함 - 을 더 포함할 수 있다.
- [0016] 일부 예시적인 실시예에 따르면, 액체 금속을 순환시키도록 구성되는 다단 환형 선형 유도 펌프(ALIP)는 종방향으로 연장되는 종축을 가지고 다단 ALIP의 내부를 적어도 부분적으로 정의하는 펌프 케이싱, 상기 종축과 동축으로 연장되는 동심 환형 벽들로서 상기 종축과 동축으로 연장되는 유동 환형 공간을 함께 정의하는 동심 환형 벽들, 및 상기 다단 ALIP의 내부에 제공되는 복수의 유도 코일을 포함할 수 있다. 각각의 유도 코일은 상기 종축을 둘러싼다. 상기 복수의 유도 코일은 각각 상기 종축과 동축인 중심축을 가질 수 있다. 상기 복수의 유도 코일은 종방향으로 서로 이격될 수 있다. 상기 복수의 유도 코일은 복수의 유도 코일 세트를 포함할 수 있다. 상기 복수의 유도 코일 세트는 상기 다단 ALIP의 복수의 스테이지의 개별적인 각 스테이지를 적어도 부분적으로 정의할 수 있다. 상기 복수의 유도 코일 세트는 복수의 다상 전원 공급 장치의 개별적인 각 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성됨으로써 상기 복수의 다상 전원 공급 장치의 독립적인 제어를 기초로 유동 환형 공간을 통한 액체 금속의 유동을 조정 가능하게 제어하도록 상기 복수의 스테이지가 서로 독립적으로 제어되

는 방식으로 구성될 수 있다.

- [0017] 상기 복수의 유도 코일 세트는 제1 유도 코일 세트 및 제2 유도 코일 세트를 포함할 수 있다. 상기 제1 유도 코일 세트는 복수의 스테이지들 중의 제1 스테이지를 적어도 부분적으로 정의할 수 있다. 제2 유도 코일 세트는 복수의 스테이지 중의 제2 스테이지를 적어도 부분적으로 정의할 수 있다.
- [0018] 상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는 상기 제1 유도 코일 세트 중의 적어도 하나의 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제2 유도 코일 세트 중의 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되도록 상기 종방향으로 적어도 부분적으로 서로 인터레이스될 수 있다(interlaced).
- [0019] 상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는 상기 제1 유도 코일 세트 중의 상기 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제2 유도 코일 세트 중의 상기 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되지 않고, 상기 제2 유도 코일 세트 중의 상기 유도 코일이 상기 종방향으로 상기 제1 유도 코일 세트 중의 상기 적어도 2개의 유도 코일 사이에 위치되지 않도록, 상기 종방향으로 서로 이격될 수 있다.
- [0020] 상기 제1 및 제2 유도 코일 세트는 상이한 고유 특성을 가질 수 있다. 상기 상이한 고유 특성은 유도 코일 재료 조성, 동일한 유도 코일 세트 중의 인접한 유도 코일의 대향 표면 사이의 종방향 간격, 종방향의 유도 코일 두께, 종방향에 수직으로 연장되는 반경 방향의 유도 코일 환형 두께, 유도 코일 내부 반경, 또는 유도 코일 외부 반경 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0021] 상기 복수의 유도 코일 세트 중의 주어진 유도 코일 세트의 적어도 2개의 유도 코일은 상이한 고유 특성을 가질 수 있다. 상기 상이한 고유 특성은 유도 코일 재료 조성, 동일한 유도 코일 세트 중의 인접한 유도 코일의 대향 표면 사이의 종방향 간격, 종방향의 유도 코일 두께, 종방향에 수직으로 연장되는 반경 방향의 유도 코일 환형 두께, 유도 코일 내부 반경, 또는 유도 코일 외부 반경 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0022] 상기 다단 ALIP는 상기 종축에 동축으로 연장되고 상기 동심 환형 벽들로 둘러싸인 중앙 코어를 더 포함할 수 있다. 상기 복수의 스테이지들은 상기 중앙 코어의 재료 조성 또는 상기 종방향에 수직인 반경 방향의 상기 중앙 코어의 직경 중 적어도 하나의 종방향 변화에 의해 추가로 적어도 부분적으로 정의될 수 있다.
- [0023] 상기 복수의 스테이지들은 상기 동심 환형 벽들 중의 내부 환형 벽의 외경, 상기 동심 환형 벽들 중의 외부 환형 벽의 내경, 또는 상기 동심 환형 벽들 중의 적어도 하나의 환형 벽의 두께 중 적어도 하나의 종방향 변화에 의해 적어도 부분적으로 정의될 수 있다.
- [0024] 일부 예시적인 실시예에 따르면, 다단 ALIP를 동작시키는 방법은 유동 환형 공간을 통한 액체 금속의 흐름을 발생시키도록 복수의 다상 전원 공급 장치 중의 제1 다상 전원 공급 장치를 통해 상기 복수의 스테이지 중 제1 스테이지에 제1 다상 전력을 공급하는 단계, 및 상기 유동 환형 공간을 통한 상기 액체 금속의 흐름을 조정 가능하게 제어하도록 상기 복수의 다상 전원 공급 장치 중의 제2 다상 전원 공급 장치를 통해 상기 복수의 스테이지 중 제2 스테이지에 대한 별도의 제2 다상 전력 공급을 독립적으로 제어하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0025] 상기 독립적 제어 단계는 상기 제1 스테이지에 대한 상기 제1 다상 전력 공급을 유지하면서 상기 제2 스테이지에 대한 상기 별도의 제2 다상 전력 공급을 억제하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0026] 상기 독립적인 제어 단계는 상기 제1 스테이지에 공급되는 상기 제1 다상 전력의 주파수와 독립적으로 상기 제2 스테이지에 공급되는 상기 제2 다상 전력의 주파수 또는 상기 제1 스테이지에 공급되는 상기 제1 다상 전력의 전류와 독립적으로 상기 제2 스테이지에 공급되는 상기 제2 다상 전력의 전류 중 적어도 하나를 독립적으로 조정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0027] 일부 예시적인 실시예에 따르면, 원자로에서 액체 금속 냉각재 흐름 제어를 개선하는 원자로 구성 방법은 상기 원자로의 원자로 압력 내 1차 냉각재 루프에 다단 ALIP를 설치하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 다단 ALIP는 별도의 각 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성된 별도의 각 유도 코일 세트에 의해 적어도 부분적으로 정의되는 복수의 스테이지를 포함할 수 있다. 방법은 상기 다단 ALIP의 상기 복수의 스테이지를 별도의 각 다상 전원 케이블을 통해 별도의 각 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결하는 단계를 더 포함할 수 있다. 방법은 또한 상기 다단 ALIP를 전자기 펌프 제어 시스템에 통신 가능하게 결합하는 단계 - 상기 전자기 펌프 제어 시스템은 명령어 프로그램을 저장하는 메모리 및 별도의 각 다상 전원 공급 장치에 의해 공급되는 다상 전력을 독립적으로 제어하는 것을 기초로 상기 복수의 스테이지 중의 각 스테이지를 독립적으로 제어하도록 상기 명령어 프로그램을 실행하도록 구성된 프로세서를 포함함 - 를 더 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 본 명세서의 비제한적인 실시예들의 다양한 특징과 장점은 첨부 도면과 함께 상세한 설명의 검토시 더 분명해질 수 있다. 첨부 도면은 단지 예시적인 목적으로 제공될 뿐이며, 청구범위를 제한하는 것으로 해석되어서는 안된다. 첨부 도면은 명시적으로 언급되지 않는 한 비율에 맞게 작성된 것으로 간주해서는 안된다. 명확성을 위해, 도면의 다양한 치수는 과장되었을 수 있다.
- 도 1은 일부 예시적인 실시예에 따른 액체 금속 냉각 원자료를 포함하는 원자력 발전소의 개략도이다.
- 도 2는 일부 예시적인 실시예에 따른 액체 금속 냉각 원자로의 사시도이다.
- 도 3a는 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 환형 선형 유도 펌프(ALIP)의 평면측 단면도이다.
- 도 3b는 일부 예시적인 실시예에 따른 도 3a의 IIIB-IIIB' 단면도 라인을 따른 다단 ALIP의 정면측 평면 단면도이다.
- 도 3c/도 3d는 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP의 배선도의 개략도이다.
- 도 4는 일부 예시적인 실시예에 따른 ALIP의 유도 코일에 공급되는 전력에 기초한 ALIP의 성능을 나타내는 그래프이다.
- 도 5는 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP의 평면측 단면도이다.
- 도 6은 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP의 평면측 단면도이다.
- 도 7은 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP의 평면측 단면도이다.
- 도 8은 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP의 동작 방법을 예시하는 흐름도이다.
- 도 9는 일부 예시적인 실시예에 따른 원자로 내의 액체 금속 냉각재 흐름 제어를 개선하기 위한 원자로 구성 방법을 예시하는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이제 예시적인 실시예를 상세히 참조할 것이며, 실시예 중 일부는 도면 전체에 걸쳐 유사 참조 표시가 유사 요소를 지칭하는 첨부 도면에 도시되어 있다.
- [0030] 어떤 요소 또는 층이 다른 요소 또는 층에 대해 "위에", "연결", "결합" 또는 "덮고" 있는 것으로 언급되는 경우, 해당 요소 또는 층은 다른 요소 또는 층에 직접적으로 위에, 연결, 결합 또는 덮고 있을 수 있거나, 또는 중간 요소 또는 층이 존재할 수 있다는 것을 이해해야 한다. 반대로, 어떤 요소가 다른 요소 또는 층에 대해 '바로 위에', '직접 연결' 또는 '직접 결합'되어 있는 것으로 언급되는 경우, 중간 요소 또는 층은 존재하지 않는다. 유사 번호는 명세서 전체에서 유사 요소를 나타낸다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "및/또는"이라는 용어는 하나 이상의 관련 나열된 항목의 임의의 조합 및 모든 조합을 포함한다.
- [0031] 본 명세서에서 제1, 제2, 제3 등의 용어가 다양한 요소, 구성요소, 영역, 층 및/또는 섹션을 설명하기 위해 사용될 수 있지만, 이러한 요소, 구성요소, 영역, 층 및/또는 섹션은 이러한 용어에 의해 제한되어서는 안된다는 것을 이해해야 한다. 이러한 용어는 하나의 요소, 구성요소, 영역, 층 또는 섹션을 다른 영역, 층 또는 섹션과 구별하는 데에만 사용된다. 따라서, 이하에서 논의되는 제1 요소, 구성요소, 영역, 층 또는 섹션은 예시적인 실시예들의 교시에서 벗어나지 않고 제2 요소, 구성요소, 영역, 층 또는 섹션으로 지칭될 수 있다.
- [0032] 본 명세서에서 공간적으로 상대적인 용어들(예를 들어, "밑", "아래", "하부", "위", "상부" 등)은 도면에 도시된 바와 같이 하나의 요소 또는 특징부와 다른 요소 또는 특징부의 관계를 기술하는 설명을 용이하게 하기 위해 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 묘사된 방향 외에도 사용 또는 작동 중인 장치의 상이한 배향을 포괄하기 위한 것임을 이해해야 한다. 예를 들어, 도면에서 장치가 전도되면, 다른 요소 또는 특징부의 "아래" 또는 "밑"으로 설명된 요소는 다른 요소 또는 특징부의 "위"로 배향된다. 따라서 "아래"라는 용어는 위와 아래의 방향을 모두 포함할 수 있다. 장치는 달리 배향될 수 있으며(90도 회전 또는 다른 배향), 본 명세서에 사용된 공간적으로 상대적인 기술자도 그에 따라 해석된다.
- [0033] 본 명세서에서 사용되는 용어는 다양한 실시예들을 설명하기 위한 목적으로만 사용되며, 예시적인 실시예들을 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 단수 형태는 문맥에서 달리 명시되지 않는 한

복수 형태를 포함하는 것으로 의도된다. 본 명세서에서 사용될 때, "포함한다", "포함하는", "구성하다" 및/또는 "구성하는" 등의 용어는 언급된 특징부, 정수, 단계, 연산, 요소 및/또는 구성요소의 존재를 특정하지만, 하나 이상의 다른 특징부, 정수, 단계, 연산, 요소, 구성요소 및/또는 이들의 그룹의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다는 것을 더 이해할 것이다.

[0034] 예시적인 실시예들은 예시적인 실시예들의 이상화된 실시예들(및 중간 구조들)을 개략적으로 예시한 단면도들을 참조로 여기에 설명된다. 따라서, 예를 들어 제조 기술 및/또는 공차 등으로 인해 도면의 형상에서 변형이 예상될 수 있다. 따라서, 예시적인 실시예들은 여기에 예시된 영역의 형상에 한정되는 것으로 해석되어서는 안되며, 예를 들어 제조로 인해 발생하는 형상의 편차를 포함해야 한다. 예를 들어, 직사각형으로 예시된 주입 영역은 일반적으로 주입 영역에서 비주입 영역으로의 이원적 변화보다는 그 가장자리에 라운드형 또는 만곡형 특징부 및/또는 주입 농도의 기울기를 가질 것이다. 마찬가지로, 주입에 의해 형성된 매립 영역은 해당 매립 영역과 주입이 이루어지는 표면 사이의 영역에 일부 주입이 이루어질 수 있다. 따라서, 도면에 도시된 영역들은 본질적으로 개략적인 것이며, 그 형상은 장치의 영역의 실제 형상을 설명하기 위한 것이 아니며, 예시적인 실시예들의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다.

[0035] 예시적인 실시예들은 아래에서 보다 상세하게 논의되는 유닛 및/또는 장치들과 함께 구현될 수 있는 동작 및 연산의 기호적 표현(예를 들어, 순서도, 흐름도, 데이터 흐름도, 구조도, 블록도 등의 형태)을 참조로 설명될 수 있다. 특정 방식으로 논의되었지만 특정 블록에 지정된 함수 또는 연산은 순서도, 흐름도 등에 지정된 흐름과 다르게 수행될 수 있다. 예를 들어, 2개의 연속된 블록에서 연속적으로 수행되는 것으로 예시된 함수 또는 연산은 실제로는 동시에 수행될 수 있거나, 경우에 따라서는 역순으로 수행될 수 있다.

[0036] 달리 정의되지 않는 한, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학 용어 포함)는 예시적인 실시예들이 속하는 분야의 통상의 기술자가 일반적으로 이해하는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의된 용어들을 포함하는 용어들은 관련 분야의 측면에서의 그 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 여기에서 명시적으로 그렇게 정의되지 않는 한 이상화되거나 지나치게 형식적인 의미로 해석되어서는 안된다는 것을 더 이해할 것이다.

[0037] 하나 이상의 예시적인 실시예들에 따른 유닛, 시스템 및/또는 장치는 하드웨어, 소프트웨어 및/또는 이들의 조합의 하나 이상의 인스턴스를 사용하여 구현될 수 있다. 예를 들어, 하드웨어 장치는, 한정되는 것은 아니지만, 프로세서, 중앙 처리 장치(CPU), 컨트롤러, 산술 로직 유닛(ALU), 디지털 신호 프로세서, 마이크로 컴퓨터, 필드 프로그래머블 게이트 어레이(FPGA), 시스템-온-칩(SoC), 프로그래머블 로직 유닛, 마이크로 프로세서 또는 정의된 방식으로 명령어에 응답하고 명령어를 실행할 수 있는 임의의 다른 장치와 같은 처리 회로를 사용하여 구현될 수 있다.

[0038] 소프트웨어는 하드웨어 장치가 원하는 대로 작동하도록 독립적으로 또는 집합적으로 지시하거나 구성하기 위한 컴퓨터 프로그램, 프로그램 코드, 명령어, 또는 이들의 일부 조합을 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로그램 및/또는 프로그램 코드는 상기 언급한 하드웨어 장치 중 하나 이상의 장치와 같은 하나 이상의 하드웨어 장치에 의해 구현될 수 있는, 프로그램 또는 컴퓨터 판독 가능한 명령어, 소프트웨어 컴포넌트, 소프트웨어 모듈, 데이터 파일, 데이터 구조, 및/또는 그 유사물을 포함할 수 있다. 프로그램 코드의 예로는 컴파일러에 의해 생성되는 머신 코드 및 인터프리터를 사용하여 실행되는 상위 레벨 프로그램 코드가 모두 포함된다.

[0039] 예를 들어, 하드웨어 장치가 컴퓨터 처리 장치(예컨대, 프로세서, 중앙 처리 장치(CPU), 컨트롤러, 산술 로직 유닛(ALU), 디지털 신호 프로세서, 마이크로 컴퓨터, 마이크로 프로세서 등)인 경우, 컴퓨터 처리 장치는 프로그램 코드에 따라 산술, 로직 및 입/출력 연산을 수행하는 것에 의해 프로그램 코드를 수행하도록 구성될 수 있다. 일단 프로그램 코드가 컴퓨터 처리 장치에 로딩되면, 컴퓨터 처리 장치는 프로그램 코드를 수행하도록 프로그래밍되어 컴퓨터 처리 장치가 특수 목적 컴퓨터 처리 장치로 변환될 수 있다. 보다 구체적인 예에서, 프로그램 코드가 프로세서에 로딩될 때, 프로세서는 프로그램 코드 및 이에 대응하는 연산을 수행하도록 프로그래밍됨으로써 프로세서가 특수 목적 프로세서로 변환될 수 있다.

[0040] 소프트웨어 및/또는 데이터는 하드웨어 장치에 명령어 또는 데이터를 제공하거나, 하드웨어 장치에 의해 해석될 수 있는 임의의 유형의 머신, 구성요소, 물리적 또는 가상 장비, 또는 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 영구적으로 또는 일시적으로 구현될 수 있다. 소프트웨어는 또한 네트워크에 연결된 컴퓨터 시스템을 통해 배포되어 분산된 방식으로 저장 및 실행될 수 있다. 특히, 예를 들어, 소프트웨어 및 데이터는 본 명세서에서 논의되는 실감형 또는 비영구적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체를 포함하는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 의해 저장될 수 있다.

- [0041] 하나 이상의 예시적인 실시예들에 따르면, 컴퓨터 처리 장치는 설명의 명확성을 높이기 위해 다양한 연산 및/또는 기능을 수행하는 다양한 기능 유닛들을 포함하는 것으로 설명될 수 있다. 그러나, 컴퓨터 처리 장치는 이러한 기능 유닛에 제한되도록 의도된 것은 아니다. 예를 들어, 하나 이상의 예시적인 실시예들에서, 기능 유닛의 다양한 동작 및/또는 기능은 다른 기능 유닛에 의해 수행될 수 있다. 또한, 컴퓨터 처리 장치는 컴퓨터 처리 유닛의 연산 및/또는 기능을 이러한 다양한 기능 유닛으로 세분하지 않고 다양한 기능 유닛의 연산 및/또는 기능을 수행할 수 있다.
- [0042] 하나 이상의 예시적인 실시예들에 따른 유닛 및/또는 장치는 또한 하나 이상의 저장 장치를 포함할 수 있다. 하나 이상의 저장 장치는 랜덤 액세스 메모리(RAM), 읽기 전용 메모리(ROM), 영구적 대용량 저장 장치(예컨대, 디스크 드라이브), 반도체 기반(예컨대, 낸드 플래시) 장치 및/또는 데이터를 저장 및 기록할 수 있는 기타 유사한 데이터 저장 메커니즘과 같은 실감형 또는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체일 수 있다. 하나 이상의 저장 장치는 하나 이상의 운영 체제를 위하거나 및/또는 본 명세서에 설명된 예시적인 실시예들을 구현하기 위한 컴퓨터 프로그램, 프로그램 코드, 명령어, 또는 이들의 일부 조합을 저장하도록 구성될 수 있다. 컴퓨터 프로그램, 프로그램 코드, 명령어, 또는 이들의 일부 조합은 또한 별도의 컴퓨터 판독 가능 저장 매체로부터 하나 이상의 저장 장치 및/또는 하나 이상의 컴퓨터 처리 장치로 드라이브 메커니즘을 사용하여 로딩될 수 있다. 이러한 별도의 컴퓨터 판독 가능 저장 매체는 범용 직렬 버스(USB) 플래시 드라이브, 메모리 스틱, 블루레이/DVD/CD-ROM 드라이브, 메모리 카드 및/또는 기타 유사한 컴퓨터 판독 가능 저장 매체를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로그램, 프로그램 코드, 명령어, 또는 이들의 일부 조합은 로컬 컴퓨터 판독 가능 저장 매체가 아닌 네트워크 인터페이스를 통해 원격 데이터 저장 장치로부터 하나 이상의 저장 장치 및/또는 하나 이상의 컴퓨터 처리 장치에 로딩될 수 있다. 또한, 컴퓨터 프로그램, 프로그램 코드, 명령어 또는 이들의 일부 조합은 네트워크를 통해 컴퓨터 프로그램, 프로그램 코드, 명령어 또는 이들의 일부 조합을 전송 및/또는 배포하도록 구성된 원격 컴퓨팅 시스템으로부터 하나 이상의 저장 장치 및/또는 하나 이상의 프로세서로 로딩될 수 있다. 원격 컴퓨팅 시스템은 유선 인터페이스, 무선 인터페이스, 및/또는 다른 유사한 매체를 통해 컴퓨터 프로그램, 프로그램 코드, 명령어, 또는 이들의 일부 조합을 전송 및/또는 배포할 수 있다.
- [0043] 하나 이상의 하드웨어 장치, 하나 이상의 저장 장치, 및/또는 컴퓨터 프로그램, 프로그램 코드, 명령어, 또는 이들의 일부 조합은 예시적인 실시예들의 목적을 위해 특별히 설계 및 구성될 수 있거나, 또는 예시적인 실시예들의 목적을 위해 변경 및/또는 변형되는 공지된 장치일 수 있다.
- [0044] 컴퓨터 처리 장치와 같은 하드웨어 장치는 운영 체제(OS) 및 OS 상에서 실행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 실행할 수 있다. 컴퓨터 처리 장치는 또한 소프트웨어의 실행에 대응하여 데이터를 액세스, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수 있다. 단순화를 위해, 하나 이상의 예시적인 실시예는 하나의 컴퓨터 처리 장치로 예시될 수 있으나, 당업자는 하드웨어 장치가 다수의 처리 요소 및 다수의 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 이해할 것이다. 예를 들어, 하드웨어 장치는 복수의 프로세서들 또는 프로세서와 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서와 같은 다른 처리 구성도 가능하다.
- [0045] 특정 실시예 및 도면을 참조로 설명되었지만, 예시적인 실시예들의 변형, 추가 및 대체가 당업자에 의해 설명에 따라 다양하게 이루어질 수 있다. 예를 들어, 설명된 기술들은 설명된 방법들과 다른 순서로 수행될 수 있고, 및/또는 설명된 시스템, 아키텍처, 장치, 회로 등과 같은 구성요소들이 상기 설명된 방법들과 다르게 연결되거나 결합될 수 있거나, 또는 다른 구성요소 또는 균등물에 의해 적절하게 결과가 달성될 수 있다.
- [0046] 본 발명의 개념은 원자로의 적어도 일부를 통해 액체 금속 냉각재 흐름의 향상된 제어를 제공하도록 구성된 전자기 펌프(EMP), 전자기 펌프 중 하나 이상을 포함하는 액체 금속 냉각 원자로, 및 전자기 펌프 및/또는 원자로를 구성 및/또는 운영하는 방법에 관한 것이다.
- [0047] 본 발명의 일부 예시적인 실시예에 따른 전자기 펌프는 환형 선형 유도 펌프(ALIP)를 포함한다. 환형 선형 유도 펌프(ALIP)는 액체 금속 냉각재에 전자기력을 가하여 액체 금속 냉각재가 펌프의 길이(예를 들어, 종축과 평행하게)를 통해 흐르도록 하는 것을 통해 액체 금속을 펌핑하도록 구성되는 전자기 펌프일 수 있다. 이것은 펌프의 길이를 따라 연장되는(예를 들어, 펌프의 종축과 동축으로 연장되는) 유도 환형 공간을 둘러싸는 ALIP의 유도 코일에 지정된 교류 주파수 및 위상 각도로 교류 전류를 가하는 것을 통해 수행될 수 있다.
- [0048] 일부 예시적인 실시예들에서, ALIP는 2개 이상의 "스테이지"를 포함하는 다단 ALIP이고, 2개 이상의 스테이지를 포함하는 것에 기초하여, 펌프를 통해, 따라서 펌프를 포함하는 원자로를 통해 액체 금속 냉각재의 흐름의 제어를 향상된 유연성으로 가능하게 하도록 구성된다. 전자기 펌프의 성능(예, 효율 및/또는 압력 출력)은 부품 형상, 유도 코일에 적용되는 전력의 주파수 및/또는 진폭, 재료 선택, 입구 유동 조건을 포함하는 다양한 요인에

따라 달라진다. 다만 ALIP는 액체 금속 냉각 시스템의 액체 금속 냉각재 흐름을 보다 경제적으로(예, 원자로의 냉각 요구 사항 등에 따라 보다 효율적이고 최적화되게) 가능하게 하도록 이러한 파라미터의 일부 또는 전부를 각각 독립적으로 변경할 수 있는 2개 이상의 스테이지를 포함한다. 따라서, 다만 ALIP는 동일한 동작 엔벨로프 내의 증가된 범위(예를 들어, 단일 스테이지 ALIP에 비해 다만 ALIP에 의해 달성될 수 있는 개선된 개별 유량의 범위)의 동작 상태 및 기능을 제공한다.

[0049] 본 명세서에 설명된 바와 같이, 다만 ALIP의 주어진 "스테이지"는 별도의, 특정 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성된 다만 ALIP 내의 복수의 유도 코일 중 구별되는 유도 코일 세트를 지칭하고 및/또는 적어도 부분적으로 그러한 구별되는 유도 코일 세트에 정의될 수 있다. 따라서, 다만 ALIP 내의 복수의 스테이지는 복수의 다상 전원 공급 장치의 별도의 각각의 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성되는 별도의 각각의 유도 코일 세트를 지칭하거나 적어도 부분적으로 그러한 별도의 각각의 다상 전원 공급 장치로 정의되는 것으로 이해될 것이며, 따라서 복수의 스테이지는 복수의 다상 전원 공급 장치의 독립 제어에 기초하여 서로 독립적으로 제어되도록 구성되어 1차 냉각재 유동 경로를 통한 액체 금속 냉각재의 흐름을 조정 가능하게 제어할 수 있도록 구성된다.

[0050] 스테이지는, 특정 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성된 특정 유도 코일 세트를 포함하고 및/또는 적어도 부분적으로 그러한 특정 유도 코일 세트에 정의될 뿐만 아니라, 다만 ALIP의 적어도 특정 부분 내의 다만 ALIP의 구성요소들의 구조적 형상의 특정 구성을 포함하고 및/또는 적어도 부분적으로 그러한 특정 구성으로 정의될 수 있다. 이러한 구성요소의 구조적 형상은 특정 구성요소의 두께, 길이, 폭 등등, 특정 구성요소 세트 중의 인접 구성요소 사이의 이격 거리(예, 펌프의 길이에 따른 인접 유도 코일 사이의 간격), 다만 ALIP 내의 하나 이상의 구조물에 의해 정의되는 채널 형상(예, 유동 채널을 정의하는 구조물의 형상 및/또는 구조에 의해 정의되는 평탄한 환형 공간 또는 나선형 환형 공간인 유동 채널) 및 그 유사 특징을 포함할 수 있다. 따라서, 다만 ALIP의 복수의 스테이지는 별도의 각각의 구조적 형상의 구성요소를 갖는 다만 ALIP의 복수의 별도의 섹션, 영역 등을 포함하고 및/또는 적어도 부분적으로 그러한 섹션, 영역 등으로 정의될 수 있다. 예를 들어, 다만 ALIP의 개별 스테이지에 있는 별도의 유도 코일 세트는 종방향으로 상이한 두께, 펌프의 반경 방향으로 상이한 길이 또는 두께, 동일한 스테이지 내의 종방향으로 인접한 유도 코일 사이의 종방향의 상이한 이격 거리 등을 가질 수 있다. 다른 예에서, 다만 ALIP는 다만 ALIP의 환형 유동 채널을 적어도 부분적으로 정의하는 환형 벽을 가질 수 있으며, 여기서 환형 벽은 다만 ALIP의 별도의 각 스테이지와 관련된 펌프의 개별 영역들에 있는(예를 들어, 별도의 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성된 별도의 각 유도 코일 세트에 의해 적어도 부분적으로 정의되는 개별 영역들에 위치될 수 있음) 유동 환형 공간의 상이한 형상(예를 들어, 평탄한 환형 공간 또는 나선형 환형 공간)을 정의하기 위해 상이한 내경, 상이한 외경, 상이한 두께 또는 상이한 형태를 갖는 개별 부분들을 가진다. 다른 예에서, 다만 ALIP는 중앙 코어를 가질 수 있는데, 여기서 중앙 코어는 반경 방향으로 상이한 두께를 갖는 개별 부분들을 가지며, 이러한 개별 부분들은 다만 ALIP의 별도의 각 스테이지와 연관되는 것으로 이해될 수 있다(예컨대, 별도의 다상 전원 공급장치에 전기적으로 연결되도록 구성된 별도의 각 유도 코일 세트에 의해 적어도 부분적으로 정의되는 별도의 영역들에 위치될 수 있다).

[0051] 스테이지는, 특정 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성된 특정 유도 코일 세트를 포함하고 및/또는 적어도 부분적으로 그러한 특정 유도 코일 세트에 정의되는 것 외에도, 다만 ALIP의 적어도 특정 부분 내의 다만 ALIP의 하나 이상의 구성요소의 고유한 재료 조성 및/또는 고유한 특성을 포함하고 및/또는 적어도 부분적으로 그러한 고유한 재료 조성 및/또는 고유한 특성으로 정의될 수 있다. 예를 들어, 다만 ALIP의 개별 스테이지의 개별 유도 코일 세트는 상이한 재료 조성을 가질 수 있다. 다른 예에서, 다만 ALIP는 중앙 코어를 가질 수 있는데, 여기서 중앙 코어는 상이한 재료 조성을 갖는 개별 섹션들을 가지며, 이러한 개별 부분은 다만 ALIP의 별도의 각 스테이지와 연관되는 것으로 이해될 수 있다(예를 들어, 별도의 다상 전원 공급장치에 전기적으로 연결되도록 구성된 별도의 각 유도 코일 세트에 의해 적어도 부분적으로 정의되는 개별 영역들에 위치될 수 있다).

[0052] 예시적인 실시예들 중 임의의 실시예에 따른 다만 ALIP는, 다만 ALIP의 유도 코일들의 위상을 변화시키고, 다만 ALIP의 유도 코일 형상 및 유도 코일의 간격을 변경하고, 다만 ALIP의 개별 단계 사이 및/또는 개별 단계 내에서 각 구성요소에 사용되는 재료를 변경하고, 환형 벽의 두께를 변경하고, 및/또는 다만 ALIP의 길이를 따라 상기 중 어느 하나를 변경하는 것을 포함하여, 다만 ALIP 내의 액체 금속 냉각재의 압력 상승 및/또는 흐름을 제어 및/또는 조정할 수 있는 추가적인 설계 변수를 제공할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 또한, 다만 ALIP는 유도 코일의 개별 스테이지들에 대한 다상 전력의 공급의 파라미터(예를 들어, 주파수 및/또는 전력 진폭)를 독립적으로 제어(예를 들어, 개시 또는 억제) 및/또는 조정하는 것을 기초로 개별 스테이지(유도 코일의 개별 세

트 포함)의 동작을 독립적으로 제어 및/또는 조정하는 것에 따라 제어 변수를 제공하도록 구성될 수 있다.

- [0053] 상이한 스테이지가 서로 독립적으로 제어, 구성, 조정, 개시(예컨대, 작동 온) 및/또는 억제(예컨대, 차단)되는 다단 ALIP에서, 단일 펌프에 복수의 그러한 스테이지를 포함하면, 액체 금속 냉각재의 압력 상승 및/또는 흐름을 제어하기 위해 변화될 수 있는 상기 나열된 모든 파라미터가 다단 ALIP 내의 스테이지의 수(예를 들어, 수량)에 곱해질 수 있고, 단일 다단 ALIP 내의 스테이지들 간의 상호 작용(또는 상호 작용의 부족)에 의존하거나 의존하지 않을 수 있으므로 설계 공간이 상당히 확장될 수 있다는 것을 이해할 것이다.
- [0054] 다단 ALIP는 추가적인 설계 및 제어 변수를 제공함으로써 액체 금속 냉각재 흐름을 제어 및/또는 조정하는 것과 관련하여 다단 ALIP에 의해 제공되는 향상된 동작 유연성을 가능하게 할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 예를 들어, 서로 다른 작동 모드에서 작동하도록 개별 스테이지를 독립적으로 제어(예, 작동 온 또는 오프)하는 것에 기초하여 다단 ALIP는 상이한 스테이지의 ALIP의 길이를 통해 유입 유량을 점진적으로 증가하도록 구성되는 것에 따라 낮은 유량에서 액체 금속 냉각재 유동을 더 잘 제어하도록 구성될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 다단 ALIP는 슬립을 감소시켜 펌프 효율을 증가시키고 및/또는 더 높은 펌프 압력 및 효율을 갖도록 상기 언급된 변수들 중 임의의 것을 조정하도록 구성될 수 있다.
- [0055] 다단 ALIP는 다단 ALIP에 의해 유도된 액체 금속 냉각재의 매우 높거나 매우 낮은 유량의 유량 및/또는 압력 상승 제어와 관련하여 더 큰 제어 감도를 제공하도록 구성되도록 개별 스테이지들 및/또는 단일 스테이지 내에서 다양한 유도 코일 형상(예를 들어, 치수)을 갖도록 구성될 수 있다.
- [0056] 다단 ALIP는 각각의 스테이지에 대응하는 펌프의 개별 섹션들에서 액체 금속 냉각재의 흐름에 적합하다고 간주되는, 적용된 다상 전력의 자체 주파수, 전류 및/또는 전압을 가질 수 있는 독립적으로 제어 가능한 스테이지를 갖도록 구성될 수 있다. 이러한 제어는, 원하는 경우, 상이한 펌프 스테이지들을 독립적으로 작동 온 또는 작동 오프하는 것을 포함할 수 있다.
- [0057] 예를 들어, 복수의 스테이지를 갖는 다단 ALIP는, 복수의 스테이지가 다단 ALIP의 종방향을 따라 적어도 부분적으로 순차적으로 배열되는 경우, 펌프의 종방향을 따라 흐르는 액체 금속 냉각재가 펌프 입구로부터의 순차적 배열에서 제1 스테이지에 의해 유도된 대로 이미 이동할 수 있으므로, 보다 최적화된 형상(예를 들어, 치수)을 갖는 제2 및 후속 스테이지를 갖도록 구성될 수 있다. 결국, 다단 ALIP는 입구로부터의 순차적 배열에서 후속 스테이지들이 다단 ALIP 및/또는 다단 ALIP가 포함된 원자로의 시스템 유지 보수 작동 모드 중에 액체 금속 냉각재의 낮은 유량에 사용되도록 구성될 수 있다.
- [0058] 예를 들어, 도 4는 매우 낮은 유량(예컨대, 시동 또는 정지 중)에서의 인가 압력이 펌프에 공급되는 전력의 최저 가용 작동 주파수에 의해 제한될 수 있음을 나타낸다. ALIP에서 독립적으로 제어되도록 설계 및/또는 구성되는 여러 스테이지를 허용하면, 저유량 조건에서 보다 정밀한 펌프 제어를 제공하도록 다단 ALIP를 구성할 수 있다. 저유량 조건은 유지보수 조건 및/또는 시스템 대기 가열 조건에서 사용될 수 있다. 또한, 예컨대 도 4에 도시된 바와 같이 단일 스테이지 펌프에 공급되는 다상 전력의 주파수를 변경하면 주어진 유입 유량에서 적용 압력이 뚜렷하게 증가할 수 있다. 다단 ALIP는 하나 이상의 스테이지에 공급되는 다상 전력의 주파수가 변경될 때 적용 압력의 더 작은 점프를 허용하도록 구성될 수 있으며, 이로써 다단 ALIP 및/또는 다단 ALIP를 포함하는 원자로의 작동 성능 및/또는 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0059] 다단 ALIP는 원자로와 관련된 시동 및 정지 절차(예를 들어, 원자로 시동 및/또는 정지) 중에 중요할 수 있는 낮은 유량에서 액체 금속 냉각재 흐름의 향상된 제어를 제공할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 또한, 다단 ALIP는 펌프 압력이 변경될 때 일반적인 작동 유연성이 증가될 수 있다.
- [0060] 각 펌프 스테이지가 독립 제어(예컨대, 개별 스테이지들에 대한 독립 제어된 전력 공급) 및/또는 독립적으로 구성된 설계 변수(예컨대, 부품 형상 및/또는 구성)에 기초하여 보다 효과적으로 작동하도록 구성될 수 있기 때문에, 다단 ALIP는 액체 금속 냉각재의 유사한 최대 유량을 유도하도록 구성된 단일 스테이지 ALIP보다 적은 전력을 소비하도록 구성될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 원자로의 다단 ALIP는 비슷한 크기의 단일 스테이지 ALIP보다 더 높은 압력을 생성하도록 구성될 수 있으므로 더 높은 노심 전력 밀도를 지원하고 원자로와 관련된 자본 비용을 절감할 수 있다. 다단 ALIP는 단일 스테이지 ALIP에 비해 유지보수 또는 보온 시스템 기능을 위한 추가 작동 모드(예, 저유량 옵션)를 제공하도록 구성될 수 있다. 원자로 내의 다단 ALIP는 개선된 작동 유연성 및/또는 성능에 기초하여 원자로의 시동과 관련된 원자로 시동 시간을 감소시킬 수 있도록 구성될 수 있다.
- [0061] 도 1은 일부 예시적인 실시예에 따른 액체 금속 냉각 원자로를 포함하는 원자력 발전소의 개략도이다.
- [0062] 원자력 발전소(100)는 액체 금속 냉각 원자로(이하, 단순히 "원자로"로 지칭됨)(110), 1차 냉각재 루프(119),

중간 냉각재 루프(160), "N"개의 다상 전원 공급 장치들(144-1 내지 144-N)의 세트(N은 1 이상의 양의 정수) 및 EMP 제어 시스템(150)을 포함한다. 1차 냉각재 루프(119)는 다상 전원을 공급하도록 구성된 별도의 각각의 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)(이하, 전력 전도체, 전력 와이어 등으로도 지칭됨)을 통해 N개의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)의 별도의 각각의 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결된 "N"개의 스테이지(330-1 내지 330-N)를 갖는 적어도 하나의 다상 ALIP(120)를 포함한다.

[0063] 원자로(110)는 원자로 압력 용기(111)를 포함한다. 원자로 압력 용기(111)는 원자로 노심(112) 및 적어도 부분적으로 외벽(111S)에 의해 정의된 부피 공간 내의 복수의 구성요소를 포함한다. 복수의 구성요소는 1차 냉각재 루프(119)를 포함한다. 1차 냉각재 루프(119)는 원자로 노심(112) 내의 핵 반응의 결과로 노심(112)에서 생성된 열을 제거하도록 구성될 수 있다. 도 1에 도시된 1차 냉각재 루프(119)는 원자로 노심(112)의 적어도 일부를 통해 액체 금속 냉각재(190)를 순환시켜 원자로 노심(112) 내의 핵 반응의 결과로서 원자로 노심(112)에서 생성되는 열을 원자로 노심(112)으로부터 제거하도록 구성된다. 이러한 열 제거는 본 명세서에서는 노심 열 제거로도 지칭될 수 있다.

[0064] 도시된 바와 같이, 1차 냉각재 루프(119)는 1차 열교환기(114)를 포함한다. 1차 열교환기(114)는 원자로 노심(112)을 빠져나가는 액체 금속 냉각재(190)로부터 다른 냉각재로 열을 전달하도록 구성된다. 다른 냉각재는 중간 냉각재 루프(160)를 통해 순환한다. 일부 예시적인 실시예에서, 다른 냉각재는 액체 금속 냉각재를 포함할 수 있다. 1차 및 중간 냉각재 루프를 통해 순환하는 액체 금속 냉각재는 일반적인 액체 금속 물질 또는 다른 액체 금속 물질일 수 있다.

[0065] 1차 냉각재 루프(119)는 흡입 저장소(116)를 포함한다. 흡입 저장소(116)는 액체 금속 냉각재(190)가 노심 생성 열을 중간 냉각재 루프(160)로 전달하는 데 이어 1차 열 교환기(114)를 떠나는 액체 금속 냉각재(190)를 수용하도록 구성된다.

[0066] 1차 냉각재 루프(119)는 다단 ALIP(120)를 포함한다. 도 1에 도시된 바와 같이, 적어도 하나의 다단 ALIP(120)는 액체 금속 냉각재(190)가 원자로(110)를 순환하도록 작동하도록 구성된다. 도 1에는 원자로(110) 내에 하나의 다단 ALIP(120)만 도시되어 있고 도 1에 대한 다음 설명은 단수형의 "다단 ALIP(120)"를 지칭하지만, 복수의 다단 ALIP(120)가 원자로(110) 내에 포함될 수 있고, 복수의 다단 ALIP(120) 중 적어도 일부는 원자로를 통해 액체 금속 냉각재를 순환시키기 위해 서로 병렬 또는 직렬로 동작하도록 구성될 수 있으며, 각각의 다단 ALIP(120)는 원자로 내의 다른 다단 ALIP(120)와 동일하거나 상이한 조합의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 전기적으로 연결될 수 있음을 이해할 것이다.

[0067] 다단 ALIP(120)는 흡입 오리피스 또는 입구(122)에서, 흡입 라인(121)을 통해 흡입 저장소(115)에 결합된다. 다단 ALIP(120)는 배출 오리피스 또는 출구(123)에서, 하나 이상의 복귀 라인(124)을 통해 노심 입구 플레넘(118)에 결합된다. 다단 ALIP(120)는 액체 금속 냉각재(109)의 적어도 일부 또는 전부를 노심 입구 플레넘(118)으로 보내도록 구성되며, 적어도 하나의 다단 ALIP(120)의 하류의 압력 수두의 적어도 일부 또는 전부를 생성하도록 더 구성된다. 압력 수두는 도시된 바와 같이 액체 금속 냉각재를 노심(112)을 통해 순환시키는 구동력을 제공할 수 있다.

[0068] 도시된 바와 같이, 원자력 발전소(100)는 "N"개의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)를 포함하며, 여기서 "N"은 1 이상의 양의 정수이다. 각 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)는 다상 전력(예컨대, 3상 교류 전력)을 공급하도록 구성된 임의의 전원 공급 장치 또는 전력원일 수 있다. 각 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)는 AC 전원 공급 장치일 수 있다. 예를 들어, 각 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)는 60 Hz에서 AC("교류") 전력을 수신하고(예를 들어, 발전소 주 전원 공급 장치(140 및/또는 발전기(141)로부터), 수신된 AC 전력을 DC("직류")로 변환한 다음, 다단계 ALIP(120)의 스테이지에 공급될 다상 전기 전력의 소정("특정") 전류 및 주파수에서 DC로부터 AC로 변환하도록 구성되는 가변 속도 드라이브라고도 불리는 조정 가능한 속도 드라이브일 수 있다.

[0069] 추가로 도시된 바와 같이, 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)는 원자력 발전소(100)의 주 전원 공급 장치(140) 또는 발전기(141) 중 하나 이상에 전기적으로 결합된다. 일부 예시적인 실시예에서, 원자력 발전소(100)는 주 전원 공급 장치(140) 또는 하나 이상의 발전기(141) 중 하나 이상으로부터 하나 이상의 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 선택적으로 전력을 공급하도록 구성된 하나 이상의 스위치 기어 장치(도 1에 도시되지 않음)를 포함한다. 발전기(141)는 연소 엔진, 연료 전지 장치, 배터리, 무정전 전원 공급 장치(UPS), 이들의 일부 조합 등 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 발전소 주 전원 공급 장치(140)는 발전 루프(170)를 통해 순환하는 공정 유체를 기초로 생성된 전력을 공급하도록 구성된 전원 공급 장치를 포함할 수 있다.

- [0070] 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP(120)가 별도의 각각의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 전기적으로 연결되도록 구성된 별도의 각각의 유도 코일 세트(330-1 내지 330-N)를 포함하는 경우, N개의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)는 별도의 각각의 다상 전력 케이블(146-1 내지 146-N)("다중 와이어 전력선"으로도 지칭됨)을 통해 다단 ALIP(120)의 별도의 스테이지(330-1 내지 330-N)에 대응하는 별도의 각각의 유도 코일 세트에 전기적으로 연결될 수 있다. 각각의 개별 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)은 별도의 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)을 통해 다상 전력을 공급하도록 구성될 수 있다. 각각의 개별 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)은 다단 ALIP(120)로 연장될 수 있고, 다단 ALIP(120)의 개별 스테이지(330-1 내지 330-N)에 대응하고 및/또는 적어도 부분적으로 이를 정의하는 별도의 유도 코일 세트에 개별적으로 전기적으로 결합될 수 있다. 따라서, 다단 ALIP(120)의 개별 스테이지(330-1 내지 330-N)를 적어도 부분적으로 정의하는 복수의 유도 코일 세트는 복수의 다상 전원 케이블의 개별적인 각 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)에 전기적으로 연결될 수 있다.
- [0071] 도 1에 도시된 바와 같이, 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)은 다단 ALIP(120)(예, 다단 ALIP(120)의 적어도 펌프 케이싱)로부터 원자로 압력 용기(111)의 외벽(111S)의 단일 개구 또는 "관통구"(182)를 통해 원자로 압력 용기(111)의 적어도 외부로 연장되는 단일 전원 공급 전도체(180)("전원 공급 전도체 케이블", "도관" 또는 "연장 케이블"로도 지칭됨)에 집합적으로 위치됨으로써(예를 들어, 적어도 부분적으로 또는 완전히 감싸거나, 적어도 부분적으로 또는 완전히 둘러싸는 등), 다단 ALIP(120)의 별도의 각 스테이지(330-1 내지 330-N)의 복수의 유도 코일 세트가 원자로 압력 용기(111)의 외벽(111S) 내의 단일 개구(182)를 통해 별도의 각 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 전기적으로 결합될 수 있다. 결국, 원자로 압력 용기(111) 내의 다단 ALIP와 원자로 압력 용기(111) 외부의 복수의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N) 사이의 전기적 연결은 원자로 압력 용기(111) 측벽을 통한 단일 관통구(182)를 통해 이루어질 수 있으므로, 단일 다단 ALIP(120) 대신에 다수의 개별 단일 스테이지 ALIP가 흡입 라인(121)과 복귀 라인(124) 사이에 결합되는 원자력 발전소에 비해 원자로(110)의 복잡성을 줄이고 원자로(110)의 격납 성능을 개선할 수 있다. 또한, 흡입 라인(121)과 복귀 라인(124) 사이에 직렬로 결합된 복수의 개별 ALIP 대신에 다단 ALIP(120)가 사용되는 예시적인 실시예에서, 전원 공급 전도체(180)는 복수의 단일 스테이지 ALIP를 적어도 부분적으로 하나 이상의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 전기적으로 연결하는 데 사용되는 하나 이상의 전도체보다 총 길이가 짧은 원자로 압력 용기(111)의 적어도 외부에 단일 다단 ALIP(120)를 결합하는 전원 공급 전도체로 인한 원자력 발전소(100) 내의 전기적 손실의 감소를 가능케 한다.
- [0072] 도 1은 개구(182)를 통해 연장되고 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)로 더 연장되는 전원 공급 전도체(180)를 도시하고 있지만, 전원 공급 전도체(180)는 개구(182)와 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N) 중 임의의 다상 전원 공급 장치 사이의 원자로 압력 용기(111)의 외부의 임의의 지점에서 종결되고, 개별 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)이 전원 공급 전도체(180)의 종단으로부터 분기되어 전원 공급 전도체의 종단으로부터 독립적으로 계속 연장되어 각각의 별도의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)로 이어질 수 있다는 것을 이해할 것이다.
- [0073] 원자력 발전소(100)는 중간 냉각재 루프(160)를 포함한다. 중간 냉각재 루프(160)는 1차 열 교환기(114)와 중간 열 교환기(162) 사이의 라인(161)을 통해 순환하는 냉각재의 흐름을 포함한다. 중간 냉각재 루프(160)는 1차 냉각재 루프(119)를 통해 순환하는 액체 금속 냉각재(190)로부터 노심 제거된 열을 중간 열 교환기(162)에서 열 전달을 통해 발전 루프(170)를 통해 순환하는 공정 유체로 전달할 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 중간 냉각재 루프를 통해 순환하는 냉각재는 액체 금속 냉각재를 포함한다. 중간 냉각재 루프를 통해 순환하는 액체 금속 냉각재는 1차 냉각재 루프(119)를 통해 순환하는 액체 금속 냉각재(190)와 비교하여 조성이 유사하거나 상이할 수 있다.
- [0074] 원자력 발전소(100)는 열 교환기(162)를 통해 중간 냉각재 루프(160)로부터 열을 수송하고 터빈 구동을 포함하는 작업을 수행하는 공정 유체를 순환시키도록 구성된 발전 루프(170)를 포함한다. 터빈은 전기 발전기를 작동시킬 수 있다. 공정 유체는 하나 이상의 다양한 단계의 물을 포함할 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 발전 루프(170)는 중간 열 교환기(162)가 적어도 부분적으로 위치되는 증기 발생 장치를 포함하고, 열 교환기(162)는 중간 냉각재 루프(160)를 순환하는 냉각재로부터 증기 발생기 내에 위치된 물로 열을 전달하여 물을 기화시키고 증기를 생성하도록 구성된다. 생성된 증기는 전기 발전기에 연결된 터빈을 구동하여 전력을 발생시키는 등의 작업을 수행하는 데 사용될 수 있다.
- [0075] 일부 예시적인 실시예에서, 원자로(110)는 원자로(110) 내의 액체 금속 냉각재(190)의 흐름, 원자로(110)의 성능 및/또는 원자로(110)의 운전 효율을 조정 가능하게 제어하기 위해 주어진 다단 ALIP(120) 내의 개별 스테이지들(예

를 들어, 개별 유도 코일 세트)을 독립적으로 및/또는 조정 가능하게 제어하는 것을 포함하는 다단 ALIP(120) 동작을 모니터링 및/또는 제어하도록 구성된 하나 이상의 제어 시스템을 포함한다. 도 1에 도시된 바와 같이, 원자로(110)는 EMP 제어 시스템(150)을 포함할 수 있다. EMP 제어 시스템(150)은 하나 이상의 통신 라인, 전력 전송 라인 등을 통해 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N) 중 하나 이상에 통신 가능하게 결합될 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, EMP 제어 시스템(150)은 하나 이상의 통신 라인, 전력 전송 라인 등을 통해 하나 이상의 센서 장치(예를 들어, 센서(192)는, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120)를 통해 액체 금속 냉각재(190)의 유량을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 벤츄리 유량계와 같은 하나 이상의 유량계, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120) 내의 하나 이상의 위치에서 액체 금속 냉각재(190)의 압력을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 압력 센서 등일 수 있다) 및/또는 예컨대 다단 ALIP(120)를 포함하는 원자로 압력 용기(111) 내의 장치에 통신 가능하게 결합될 수 있지만, 예시적인 실시예들은 이에 한정되지 않는다.

[0076] EMP 제어 시스템(150)은, 일부 예시적인 실시예에서, 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N), 다단 ALIP(120) 등등 중의 하나 이상과 관련된 센서 데이터를 생성하도록 구성되는 하나 이상의 센서 장치(예를 들어, 센서(192)는, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120)를 통해 액체 금속 냉각재(190)의 유량을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 벤츄리 유량계와 같은 하나 이상의 유량계, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120) 내의 하나 이상의 위치에서 액체 금속 냉각재(190)의 압력을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 압력 센서 등일 수 있다)에 결합될 수 있다.

[0077] EMP 제어 시스템(150)은, 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N), 하나 이상의 센서 장치(예를 들어, 센서(192)는, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120)를 통해 액체 금속 냉각재(190)의 유량을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 벤츄리 유량계와 같은 하나 이상의 유량계, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120) 내의 하나 이상의 위치에서 액체 금속 냉각재(190)의 압력을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 압력 센서 등일 수 있다), 다단 ALIP(120) 등등 중의 하나 이상과 관련된 모니터링 정보를 기초로 다단 ALIP(120)의 동작을 모니터링할 수 있다. 예를 들어, EMP 제어 시스템(150)은 하나 이상의 센서 장치(예를 들어, 센서(192)는, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120)를 통해 액체 금속 냉각재(190)의 유량을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 벤츄리 유량계와 같은 하나 이상의 유량계, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120) 내의 하나 이상의 위치에서 액체 금속 냉각재(190)의 압력을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 압력 센서 등일 수 있다)에 의해 생성되는 센서 데이터를 수신할 수 있으며, 여기서 센서 데이터는 주어진 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)로부터 주어진 다단 ALIP(120)로의 전력의 흐름을 나타내는 정보를 포함할 수 있다. 다른 예에서, EMP 제어 시스템(150)은 하나 이상의 센서 장치(예를 들어, 센서(192)는, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120)를 통해 액체 금속 냉각재(190)의 유량을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 벤츄리 유량계와 같은 하나 이상의 유량계, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120) 내의 하나 이상의 위치에서 액체 금속 냉각재(190)의 압력을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 압력 센서 등일 수 있다)에 의해 생성되는 센서 데이터를 수신할 수 있으며, 여기서 센서 데이터는 주어진 다단 ALIP(120)의 하나 이상의 스테이지에 의해 생성되는 자기장의 세기를 나타내는 정보를 포함할 수 있다.

[0078] EMP 제어 시스템(150)은 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N) 중 하나 이상에 의한 다상 전력의 공급을 독립적으로 제어 및/또는 조정하는 것에 기초하여 다상 ALIP(120)의 동작을 제어하여 예컨대 다상 ALIP(120)를 통한 액체 금속 냉각재의 유량을 제어하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 다단 ALIP(120)가 별도의 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)을 통해 각각 독립적으로 별도의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 전기적으로 연결되는 별도의 각각의 유도 코일 세트를 가지고 및/또는 해당 유도 코일 세트에 의해 적어도 부분적으로 정의되는 다수의 스테이지를 포함하는 경우, EMP 제어 시스템(150)은 다단 ALIP(120)의 별도의 스테이지(330-1 내지 330-N)를 독립적으로 제어하도록 별도의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 의해 공급되는 다상 전력을 독립적으로 제어 및/또는 조정할 수 있다. 각 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)의 이러한 독립적인 제어는 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)가 각각의 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)을 통해 전기적으로 연결된 스테이지들(330-1 내지 330-N)에 다상 전력의 공급을 개시하도록 함으로써 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)가 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 의해 공급되는 전력의 주파수 및/또는 전류를 조정하게 하고, 및/또는 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)가 각각의 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)을 통해 전기적으로 연결된 스테이지(들)에 다상 전력의 공급을 억제하도록 하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 제어는 EMP 제어 시스템(150)에 의해 수행될 수 있다.

0)이 메모리에 저장된 코드를 실행하는 것에 따라 EMP 제어 시스템(150)이 제어 신호를 생성하고 제어 신호를 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)로 전송하는 것에 따라 구현될 수 있다.

[0079] 일부 예시적인 실시예에서, EMP 제어 시스템(150)은 하나 이상의 컴퓨터 시스템을 포함한다. 컴퓨터 시스템은 회로의 하나 이상의 인스턴스를 포함할 수 있다. 회로의 하나 이상의 인스턴스는 하나 이상의 메모리 인스턴스에 결합된 하나 이상의 프로세서 장치("프로세서")를 포함할 수 있다. 하나 이상의 프로세서는 하나 이상의 중앙 프로세서 장치(CPU)를 포함할 수 있다. 하나 이상의 프로세서는 EMP 제어 시스템을 구현하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 메모리 인스턴스(예를 들어, 하나 이상의 메모리)는 명령어 프로그램(예를 들어, 반도체 기반의 드라이브)을 저장하는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함할 수 있고, 하나 이상의 프로세서는 임의의 예시적인 실시예에 따른 방법 중 임의의 방법의 하나 이상의 동작을 수행하기 위해 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장된 명령어 프로그램을 실행하도록 구성된 처리 회로를 포함할 수 있다.

[0080] 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP(120)는 1차 냉각재 루프(119)에서 액체 금속 냉각재 유량에 대한 향상된 유연성 및 제어를 제공하는데, 이는 EMP 제어 시스템(150)이 개별 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 의해 개별 스테이지들(330-1 내지 330-N)에 대응하고 및/또는 해당 개별 스테이지들을 적어도 부분적으로 정의하는 개별 유도 코일 세트들에 독립적으로 공급되는 다상 전력을 독립적으로 제어하는 것에 따라 다단 ALIP(120)의 개별 스테이지들을 독립적으로 제어함으로써 유량에 대해 보다 유연한 제어를 적용할 수 있기 때문이다. 또한, 본 명세서에서 설명된 바와 같이, 개별 스테이지들은 다단 ALIP(120)의 다양한 구성요소들의 다양한 상이한 형상 및/또는 고유한 특성들과 연관될 수 있고, 따라서 상이한 스테이지들을 제어하는 것은 액체 금속 냉각재(190)의 흐름에 상이한 효과를 가질 수 있으며, 따라서 상이한 스테이지들은 액체 금속 냉각재(190) 흐름에 상이한 효과를 유도하도록 제어될 수 있다. 다단 ALIP(120)의 개별 스테이지들에 독립적으로 공급되는 다상 전력의 다양한 구성(예를 들어, 파라미터)은, 다단 ALIP(120)에 의해 유도될 수 있는 액체 금속 냉각재(190)의 별도의 개별 유량의 증가된 범위(예를 들어, 증가된 양)를 포함하여, EMP 제어 시스템(150)에 의해 달성될 수 있는 다단 ALIP(120)의 작동 상태의 범위를 증가시킬 수 있다. 결국, 1차 냉각재 루프(119), 따라서 원자로(110) 및 원자력 발전소(100) 전체의 작동 성능 및/또는 효율은 다단 ALIP(120)에 의해 활성화되는 액체 금속 냉각재(190) 흐름에 대한 개선된 제어를 기초로 향상될 수 있다.

[0081] 일부 예시적인 실시예에서, 중간 냉각재 루프(160)는 1차 냉각재 루프(119)에 포함되는 것으로 예시된 하나 이상의 다단 ALIP(120)를 포함한다. 중간 냉각재 루프(160)에 포함된 다단 ALIP(120)는 1차 냉각재 루프(119)에 포함된 다단 ALIP(120)와 유사하게 작동하도록 구성될 수 있다. 중간 루프에 포함된 하나 이상의 다단 ALIP(120)의 세트는 원자로 압력 용기(111)의 내부 또는 외부에 위치될 수 있다.

[0082] 본 명세서에서 언급된 바와 같이, 액체 금속 냉각재는 나트륨, 수은, 납, 비스무트 또는 주석 중 일종 이상을 포함하는 일종 이상의 다양한 액체 금속 물질을 포함할 수 있다. 일종 이상의 액체 금속 물질은 전도성 금속 물질일 수 있으며, 다단 ALIP(120)는 액체 금속 냉각재를 순환하도록 구성된다.

[0083] 도 2는 일부 예시적인 실시예에 따른 액체 금속 냉각 원자로의 사시도이다. 도 2에 도시된 원자로(110)는, 도 1에 도시된 원자로(110)를 포함하여, 본 명세서에 포함되는 원자로의 임의의 실시예에 포함될 수 있다.

[0084] 도 2에 도시된 바와 같이, 원자로(110)는 원자로 압력 용기(111)를 포함할 수 있고, 원자로 압력 용기(111) 내에 복수의 다단 ALIP(120) 세트를 더 포함할 수 있지만, 일부 예시적인 실시예에서는 원자로 압력 용기(111) 내에 단 하나의 다단 ALIP(120)만 포함될 수 있음을 이해할 것이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 원자로(110)가 복수의 ALIP(120)를 포함하는 경우, ALIP(120)는 별도의 평행 복귀 라인(124)에 병렬로 결합될 수 있고, 각각의 다단 ALIP(120)가 1차 냉각재 루프(119)를 통해 액체 금속 냉각재(190)의 개별 부분들의 병렬 흐름을 유도하도록 1차 냉각재 루프(119)에서 병렬로 동작하도록 구성될 수 있다.

[0085] 도 2에 도시된 각각의 다단 ALIP(120)는 서로 구조적으로 동일하거나 상이할 수 있다. 예를 들어, 다단 ALIP(120)는 동일한 스테이지, 구성요소 구조, 및/또는 구성요소 고유 속성의 구성을 가질 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP는 상이한 스테이지, 구성요소 구조, 및/또는 구성요소 고유 속성의 구성을 가질 수 있다.

[0086] 도 3a는 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP(120)의 평면측 단면도이다. 도 3b는 일부 예시적인 실시예에 따른 도 3a에 도시된 IIIB-IIIB' 단면도 라인을 따른 다단 ALIP(120)의 정면측 평면 단면도이다. 도 3c/도 3d는 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP의 배선도의 개략도이다.

[0087] 도 3a-3b에 도시된 다단 ALIP(120)는 도 1 및/또는 도 2에 도시된 하나 이상의 다단 ALIP(120)를 포함하여, 본

명세서에 포함된 다단 ALIP(120) 중 임의의 다단 ALIP에 포함될 수 있다. 도 3c/도 3d에 도시된 배선도는 적어도 도 3a-3b에 도시된 다단 ALIP(120)를 포함하는, 임의의 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP(120)에 대한 배선도일 수 있다.

[0088] 도 3a-3b(또한 도 5-6)에 도시된 다단 ALIP(120)는 2단 ALIP(예를 들어, N개의 스테이지(330-1 내지 330-N)(여기서 N=2)를 갖는 다단 ALIP(120))로 도시되지만, 예시적인 실시예는 이에 한정되지 않으며, 임의의 2단 다단 ALIP(120) 및 그 임의의 스테이지에 관한 본 명세서의 설명은 3단 이상의 다단 ALIP(330-1 내지 330-N, 여기서 $N > 2$) 및 그 임의의 스테이지에 적용될 수 있다.

[0089] 도 3a-3b를 참조하면, 다단 ALIP(120)는 중심 종축을 가지며 종방향으로 연장되는 펌프 케이싱(302)(외부 케이싱, 케이싱 구조물 등으로도 지칭됨)을 포함할 수 있다. 도 3a-3b에 도시된 바와 같이, 펌프 케이싱(302)은 다단 ALIP(120)의 내부 공간을 부분적으로 또는 완전히 정의할 수 있다(예컨대, 적어도 부분적으로 정의할 수 있다). 더 도시된 바와 같이, 펌프 케이싱(302)의 중심 종축은 다단 ALIP(120)의 종축(306)과 평행축일 수 있고 및/또는 동축일 수 있다(예를 들어, 동일할 수 있고 및/또는 적어도 부분적으로 정의할 수 있다),

[0090] 펌프 케이싱(302)은 다단 ALIP(120)의 양측 종방향 단부에서 개방될 수 있지만, 일부 예시적인 실시예에서 펌프 케이싱(302)은 단독으로 또는 펌프 케이싱(302)이 결합되는 하나 이상의 구조물과 함께, 다단 ALIP(120)의 입구(122) 및 출구(123)를 정의하는 펌프 케이싱(302) 내 개구를 제외하고 내부 공간의 양측 종방향 단부를 부분적으로 또는 완전히 밀봉할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 예를 들어, 도 3a에 도시된 바와 같이, 다단 ALIP(120)는 유동 환형 공간(312)의 입구 측 종방향 단부에 대한 하나 이상의 개구를 제외하고 다단 ALIP(120)의 입구측 종방향 단부를 구조적으로 둘러싸는 입구측 구조물(302-1)을 포함할 수 있으며, 여기서 하나 이상의 개구(예를 들어, 하나 이상의 아치형 및/또는 환형 개구)는 유동 환형 공간(312)으로 및 그에 따라 다단 ALIP(120)로의 입구(122)를 적어도 부분적으로 정의한다. 다른 예에서, 도 3a에 도시된 바와 같이, 다단 ALIP(120)는 다단 ALIP(120)의 출구측 종방향 단부에 대한 하나 이상의 개구를 제외하고 다단 ALIP(120)의 출구측 종방향 단부를 구조적으로 둘러싸는 출구측 구조물(302-2)을 더 포함할 수 있으며, 여기서 하나 이상의 개구(예를 들어, 하나 이상의 아치형 및/또는 환형 개구)는 유동 환형 공간(312)으로 및 그에 따라 다단 ALIP(120)로의 출구(123)를 적어도 부분적으로 정의한다. 펌프 케이싱(302), 입구측 구조물(302-1) 및/또는 출구측 구조물(302-2)은 일종 이상의 금속 재료, 예를 들어 스테인리스 강(예를 들어, 304 스테인리스 강), 탄소강 등을 포함할 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 펌프 케이싱(302), 입구측 구조물(302-1) 및/또는 출구측 구조물(302-2)은 함께 결합된 별도의 재료 조각들일 수도 있거나, 하나의 단일 재료 조각의 개별 부분들일 수 있다.

[0091] 도 3a-3b에 도시된 바와 같이, 다단 ALIP(120)는, 종축(306)과 동축으로 연장되고 다단 ALIP(120)의 길이(예를 들어, 도 3a에 도시된 전체 길이)를 따라 종축(306)과 동축으로 연장되는 유동 환형 공간(312)을 함께 정의하는 동심 환형 벽들(310)을 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 동심 환형 벽들(310)은 외부 환형 벽(310-1) 및 내부 환형 벽(310-2)을 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 내부 환형 벽(310-2)의 외부 표면 및 외부 환형 벽(310-1)의 내부 표면은 이들 표면 사이의 환형 공간, 또는 "환형부"로서 유동 환형 공간(312)을 함께 정의한다. 도 3a-3b에 도시된 바와 같이, 동심 환형 벽들(310)은 각각 원통형 튜브일 수 있지만, 예시적인 실시예들은 이에 한정되지 않는다. 외부 환형 벽(310-1) 및 내부 환형 벽(310-2)은 각각 금속 재료, 예를 들어 스테인리스 강(예를 들어, 304 스테인리스 강), 탄소강 등을 포함할 수 있다.

[0092] 도 3a-3b를 계속 참조하면, 다단 ALIP(120)는 다단 ALIP(120)의 내부 공간 내에 복수의 유도 코일(320)을 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 각 유도 코일(320)은 종축(306)을 둘러싸고 종축(306)과 동축인 중심축을 갖는다. 도 3a에 도시된 바와 같이, 유도 코일(320)은 종방향(390)으로 서로 이격되어 있다(예를 들어, 서로 직접 접촉하지 않도록 분리되어 있다). 일부 예시적인 실시예에서, 유도 코일(320)은 다단 ALIP(120)의 고정자의 "슬레노이드"로 지칭될 수 있다. 유도 코일들(320)은 각각 구리, 은 등을 포함하는 일종 이상의 도전 재료(예컨대, 일종 이상의 도전 재료의 권선)를 포함할 수 있다.

[0093] 도 3a-3b에 추가로 도시된 바와 같이, 다단 ALIP(120)는, 외부 환형 벽(310-1)에 대하여 종축(306)에서 반경 방향으로 원위측에 위치되는 외부 코어(322-1) 및 내부 환형 벽(310-2)에 대하여 종축(306)에서 반경 방향으로 근위측에 위치되는 중앙 코어(322-2)를 포함하는 고정자 코어(322)를 포함할 수 있다. 고정자 코어(322)는 일종 이상의 자성 재료, 예를 들어 자성 철을 포함한다. 외부 코어(322-1)와 중앙 코어(322-2)는 동일한 재료 조성 또는 상이한 재료 조성을 가질 수 있다. 예를 들어, 외부 코어(322-1) 및 중앙 코어(322-2)는 각각 철(예를 들어, 자성 철)을 포함할 수 있지만, 예시적인 실시예들은 이에 한정되지 않는다. 예를 들어, 외부 코어(322-1) 또는 중앙 코어(322-2) 중 적어도 하나는 일부 예시적인 실시예들에서 적어도 부분적으로 스테인리스 강을 포함

할 수 있다.

- [0094] 도 3a-3b에 도시된 바와 같이, 외부 코어(322-1)는 복수의 블록 구조물, 예를 들어 도 3b에 도시된 바와 같이 8개의 블록 구조물(326-1 내지 326-8)을 포함할 수 있다(외부 코어(322-1)의 블록 구조물의 수는 8개로 제한되지 않으며 임의의 수량일 수 있다). 외부 코어(322-1)의 블록 구조물들은 각각 다단 ALIP(120)의 길이를 따라 종축(306)에 평행 축방향으로 연장되고 종축(306)을 중심으로 적어도 부분적으로 방위각으로 이격된 선형 빔 또는 로드형(rod-shaped) 구조물(예를 들어, 도 3a 및 도 3c/도 3d에 도시된 선형 빔 또는 로드형 블록 구조물(326-1 내지 326-8))일 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 외부 코어(322-1)는 하나 이상의 아치형 구조물 또는 외부 환형 벽(310-1)의 외면의 외주 일부 또는 전부 둘레로 연장되는 단일 원통형 구조물을 포함할 수 있다. 그러나, 다수의 이격된 블록 구조물(예컨대, 326-1 내지 326-8)을 포함하는 외부 코어(322-1)는 단일체 원통형 구조물인 외부 코어(322-1)와 관련하여 다단 ALIP(120)에서 중량 절감을 제공할 수 있다.
- [0095] 도 3a 및 도 3c/도 3d에 도시된 바와 같이, 일부 예시적인 실시예들에서, 중앙 코어(322-2)는 종축(306)을 중심으로 연장되고, 종축(306)과 동축으로 종방향으로 더 연장되는 단일 원통형 구조물을 포함할 수 있다.
- [0096] 도시된 바와 같이, 외부 코어(322-1)의 각 블록 구조물(예컨대, 326-1 내지 326-8)는 적어도 종방향(390) 및 종축(306)으로부터 멀어지는 반경방향으로 별도의 유도 코일(320)을 수용 및 둘러싸도록 구성된 종방향으로 이격된 치형 구조물(324)을 포함할 수 있다.
- [0097] 적어도 도 3a 및 도 3c/도 3d에 도시된 바와 같이, 일부 예시적인 실시예에서, 중앙 코어(322-2)는 종축(306)과 동축으로 연장되는 중앙 공간(328)(예를 들어, 중앙 보이드)(예를 들어, 다단 ALIP(120)의 반경방향 중심에 위치)을 정의하는 하나 이상의 내부 원통형 측벽 표면을 갖는 중공 원통형 구조물일 수 있다. 중앙 공간(328)은 다단 ALIP(120)를 위한 케이블 배선을 수용(예를 들어, 내장)하거나, 다단 ALIP(120)에 냉각을 제공하기 위해 열교환 유체(예를 들어, 헬륨과 같은 냉각 가스)를 통과시키도록 하는 등의 방식으로 구성될 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 중앙 코어(322-2)는 내부 환형 벽(310-2)의 내경에 의해 정의된 공간의 일부 또는 전부를 점유하는 중실형 원통형 구조물일 수 있으며, 따라서 중앙 공간(328)은 다단 ALIP(120)에 부재할 수 있다.
- [0098] 도 3a 및 도 3c/도 3d에 도시된 바와 같이, 펌프 케이싱(302)의 내부 표면 및 유도 코일(320) 및/또는 외부 코어(322-1)의 외부 표면(예컨대, 펌프 케이싱(302) 및 유도 코일(320) 및 외부 코어(322-1)의 대향 표면)은 집합적으로 적어도 부분적으로 외부 코어(322-1) 및 유도 코일(320)의 주위로(예를 들어, 반경방향으로 멀어지게) 그리고 펌프 케이싱(302)의 내부 표면과 유도 코일(320) 및/또는 외부 코어(322-1)의 외부 표면 사이에서 연장되는 외부 환형 공간(304)(예를 들어, 외부 보이드)을 정의할 수 있다. 외부 환형 공간(304)은 다단 ALIP(120)의 냉각을 제공하도록 다단 ALIP(120)를 통해 열교환 유체(예컨대, 헬륨 가스, 공기 등과 같은 냉각재 유체)를 유도하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 도 3a에 도시된 바와 같이, 다단 ALIP(120)는 펌프 케이싱(302)을 통해 다단 ALIP(120)의 종방향 일단부에 근접한 외부 환형 공간(304)으로 이어지는 냉각재 유체 입구(382)를 포함할 수 있고, 다단 ALIP(120)는 펌프 케이싱(302)을 통해 다단 ALIP(120)의 반대측 종방향 단부에 근접한 외부 환형 공간(304)으로 이어지는 냉각재 유체 출구(384)를 더 포함할 수 있다. 냉각재 유체 입구(382) 및 냉각재 유체 출구(384)는 원자로 발전소(100)의 냉각재 루프(미도시)에 결합될 수 있다. 냉각재 루프는 냉각재 유체(예컨대, 헬륨 가스)를 냉각재 유체 입구(382)를 통해 외부 환형 공간(304)으로, 냉각재 유체 입구(382)로부터 외부 환형 공간(304)을 통해 냉각재 유체 출구(384)로 그리고 냉각재 유체 출구(384)를 통해 다단 ALIP(120) 외부로 순환시키도록 구성될 수 있다. 냉각재 유체는, 냉각재 유체 출구(384)를 통해 다단 ALIP(120)를 빠져나갈 때, 냉각재 유체 입구(382)와 냉각재 유체 출구(384) 사이의 외부 환형 공간(304)을 통해 흐르는 동안 다단 ALIP(120)로부터 냉각재 유체에 흡수된 열을 제거하기 위해 열교환을 통해 순환될 수 있고, 냉각재 유체는 열교환된 상태에서 다시 냉각재 유체 입구(382)로(예를 들어, 펌프를 통해) 순환될 수 있다. 냉각재 루프는 원자로 압력 용기(111) 외부로 적어도 부분적으로 연장될 수 있다(예를 들어, 전술한 열 교환기는 원자로 압력 용기(111) 외부에 위치될 수 있고, 냉각재 루프는 원자로 압력 용기(111) 내의 다단 ALIP(120)와 외벽(111S)을 통한 하나 이상의 관통구를 통해 압력 용기 외부에 있는 열 교환기 사이에서 냉각재 유체를 순환시킬 수 있다).
- [0099] 여전히 도 3a-3b를 참조하면, 내부 환형 벽(310-2), 중앙 코어(322-2) 및 다단 ALIP(120)에서 내부 환형 벽(310-2)으로부터 반경방향 내측에 위치한 임의의 구조물은 유동 환형 공간(312) 내의 동심 환형 벽들(310) 사이에서 반경방향 외측으로 연장되는 하나 이상의 지지 리브(388)("기둥"이라고도 함)를 통해 외부 환형 벽(310-1), 외부 코어(322-1), 유도 코일(320), 펌프 케이싱(302) 및 다단 ALIP(120)에서 내부 환형 벽(310-2)으로부터 반경방향 외측에 위치한 임의의 구조물에 구조적으로 연결되어 외부 및 내부 환형 벽(310-1 및 310-2)을 구조적으로 서로 연결함으로써 다단 ALIP(120)의 중앙/코어 부분을 다단 ALIP(120)의 외부 부분에 구조적으로 결

합시키고, 따라서 중앙/코어 부분(예, 내부 환형 벽(310-2), 중앙 코어(322-2) 등)을 외부 부분(예, 외부 환형 벽(310-1), 외부 코어(322-1), 유도 코일(320), 펌프 케이싱(302) 등)과 관련하여 구조적으로 안정화하고 지지할 수 있다.

[0100] 일부 예시적인 실시예에서, 지지 리브(388)는 펌프 케이싱(302)과 관련하여 적어도 외부 코어(322-1)를 구조적으로 안정화 및 지지하기 위해 외부 코어(322-1)와 펌프 케이싱(302) 사이의 외부 환형 공간(304)을 통해 더 연장될 수 있다.

[0101] 일부 예시적인 실시예에서, 지지 리브(388)는 다단 ALIP(120)에서 생략될 수 있다. 펌프 케이싱(302)은 종축(306)을 갖는 펌프 케이싱(302)의 원통형 부분에 결합되는 입구측 구조물(302-1) 및 출구측 구조물(302-2)를 포함할 수 있으며, 여기서 입구측 구조물(302-1) 및 출구측 구조물(302-2)은 구조적으로 다단 ALIP(120)의 외부 부분(예를 들어, 외부 환형 벽(310-1), 외부 코어(322-1) 및/또는 유도 코일(320)) 및 다단 ALIP(120)의 중앙/코어 부분(예를 들어, 내부 환형 벽(310-2) 및/또는 중앙 코어(322-2)) 중 일측 또는 양측 모두에 구조적으로 연결될 수 있고, 따라서 입구측 구조물(302-1) 및 출구측 구조물(302-2)은 다단 ALIP(120)의 외부 부분 및 중앙/코어 부분을 서로에 대해 구조적으로 결합, 안정화 및 지지할 수 있다.

[0102] 도 3a-3b를 계속 참조하면, 다단 ALIP(120)는 다단 ALIP(120)의 길이(예를 들어, 종방향(390))를 통해 흐르는 액체 금속 냉각재(109)에 전자기력을 가하는 것에 따라 유동 환형 공간(312)을 통해 액체 금속 냉각재(190)를 펌핑(예를 들어, 유동 유도)하도록 구성될 수 있다. 이것은 유도 코일(320)에 다상 전력을 특정 주파수 및 위상 각도로 인가(예컨대, 공급)하는 것에 의해 수행될 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에 설명된 다상 전력은 교류 전력, 예를 들어 3상 교류 전력을 포함할 수 있으며, 이 다상 전력은 유동 환형 공간(312)을 둘러싸는 유도 코일(320)에 특정 주파수 및 위상 각도로 인가될 수 있다.

[0103] 도 3a에 도시된 배선도에 도시된 바와 같이, 전기적으로 연결된 특정 다상 전원으로부터의 고정 위상의 다상 전력이 각 유도 코일(320)에 인가될 수 있다. 도 3a에 도시된 바와 같이, 유도 코일들(320)의 세트(320-1)가 다상 전원 케이블(146-1)을 통해 다상 전원 공급 장치(144-1)에 전기적으로 연결되고, 다상 전원 공급 장치(144-1)가 3상 교류 전력인 다상 전력을 공급하는 경우, 세트(320-1) 내의 주어진 유도 코일의 위상은 동일한 세트(320-1)에 포함된(예를 들어, 동일한 다상 전원 공급 장치(144-1)에 전기적으로 연결된) (종방향(390)에 반대되는 방향의) 이전 종방향 인접 유도 코일의 위상에 60도 또는 120도를 더한 위상이 됨으로써 주어진 세트(320-1)에 있는 유도 코일(320)의 종방향(390)의 시퀀스를 허용하여 360도의 AC 사이클을 완성할 수 있다. 이 360도 AC 사이클을 완성하는 코일의 집합을 극(τ) 또는 "슬롯"이라고 한다. 극의 길이를 극 피치(τ_p)라고 한다.

[0104] 유도 코일(320)에 대한 다상 전력의 공급은 예를 들어, 펌프의 길이를 따라(예를 들어, 종방향(390)으로) 유동 환형 공간(312) 내의 액체 금속 냉각재(190)의 특정 압력 상승을 야기하기 위해 상기 공급된 다상 전력의 주파수, 전력 진폭(예를 들어, 전류 및/또는 전압) 및/또는 위상 각을 제어하는 것을 통해 제어될 수 있다. 각 유도 코일(320)의 전기적 위상은 특정 전도체(146)의 별도 와이어에 대한 연결에 기초하여 고정되고, 내부 구성요소가 펌프 케이싱(302) 내에 고정되어 있는 상태에서, 압력 상승은 전기적으로 연결된 다상 전원 공급 장치로부터 유도 코일(320)로 공급되는 다상 전력의 주파수, 전력 진폭(예, 전류 및/또는 전압) 및/또는 위상 각을 제어 및/또는 조정하는 것을 통해 제어될 수 있다.

[0105] 펌프 성능 곡선은 원하는 압력 상승을 제공하기 위해 입구(122)를 통해 펌프로 유입되는 액체 금속 냉각재의 주어진 유입 질량 유량에서 어떤 설정(예를 들어, 다상 전력 주파수, 전력 진폭(예를 들어, 전류 및/또는 전압), 위상 각도 등)이 사용되어야 하는지를 설명하기 위해 이러한 값(및 때로는 이러한 값의 비율)을 특정한다. 이러한 펌프 성능 곡선은 엔지니어링 분석 소프트웨어를 사용하여 분석적으로 또는 테스트 펌프의 측정을 통해 실험적으로 결정될 수 있다.

[0106] 예를 들어, 도 4는 일부 예시적인 실시예에 따른 ALIP의 유도 코일에 공급되는 전력에 기초한 ALIP의 성능을 나타내는 그래프로서, 체적 유량이 주어지면, 주어진 유도 코일(320) 세트에 공급되는 다상 전력(예를 들어, 3상 교류 전력)의 인가 전류, 전압 및/또는 주파수가 다단 ALIP(120) 내의 액체 금속 냉각재(190)의 원하는 압력 상승을 제공하도록 조정될 수 있음을 예시하고 있다. 이것은 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 의해 공급되는 전력의 전류 및 주파수 변화가 동일한 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 전기적으로 연결되는 모든 유도 코일(320)에 적용되기 때문이다. 따라서, ALIP의 유량 동작 범위 및 감도는 유도 코일(320)이 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)을 통해 전기적으로 연결되는 다상 전원 공급 장치(들)에 의해 정해진다.

[0107] 여전히 도 3a-3b를 참조하면, 유도 코일(320)은 복수의 "N"개의 세트(320-1 내지 320-N)의 유도 코일(320)을 포

함할 수 있으며, "N"은 임의의 양의 정수이다. 도 3a-3c에 도시된 바와 같이, N은 2 일 수 있지만, 예시적인 실시예은 이에 한정되지 않는다. 추가로 도시된 바와 같이, 유도 코일(320)의 각각의 개별 세트(320-1, 320-2)는 다단 ALIP(120)의 별도의 각 스테이지(예를 들어, 제1 스테이지(330-1) 및 제2 스테이지(330-2))에 포함되며, 해당 스테이지를 적어도 부분적으로 정의할 수 있다.

[0108] 예를 들어, 도 3a에 도시된 바와 같이, 유도 코일(320)의 세트(320-1, 320-2)는 복수의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)의 별도의 각각의(예를 들어, 상이한) 다상 전원 공급 장치(144-1, 144-2)에 전기적으로 연결되도록 구성될 수 있으며, 따라서 다단 ALIP(120)의 별도의 제1 스테이지 및 제2 스테이지(330-1, 330-2)를 적어도 부분적으로 정의할 수 있다. 유도 코일(320)의 개별 세트(320-1, 320-2)에 의해 적어도 부분적으로 정의되는 개별 스테이지(330-1, 330-2)는 유동 환형 공간(312)을 통과하고 따라서 다단 ALIP(120)가 결합되는 1차 냉각재 루프(119)를 통한 액체 금속 냉각재(190)의 흐름을 조정 가능하게 제어하기 위해 각각의 다상 전원 케이블(146-1, 146-2)을 통해 그에 전기적으로 연결된 개별적이고 독립적인 다상 전원 공급 장치(144-1, 144-2)의 독립 제어 및/또는 조정을 통해 서로 독립적으로 제어되도록 구성될 수 있다.

[0109] 예를 들어, 도 3a에 도시된 바와 같이, 다단 ALIP(120)의 제1 스테이지(330-1)를 적어도 부분적으로 정의하는 세트(320-1)는 제1 다상 전원 케이블(146-1)(예를 들어, 제1 다상 전원 공급 장치(144-1)로부터 3상 교류 전력의 위상(A, B, C)을 전달하는 3상 전도체)을 통해 제1 다상 전원 공급 장치(144-1)에 전기적으로 연결되며, 따라서 제1 다상 전원 공급 장치(144-1)에 의해 공급되는 전력을 독립적으로 제어하는 것을 통해 독립적으로 제어될 수 있다(예를 들어, 스테이지(330-1)에 포함되지 않는 다른 코일(320)과 독립적으로 제어됨),

[0110] 또한, 세트(320-2)는 적어도 부분적으로 다단 ALIP(120)의 제2 스테이지(330-2)를 정의하고, 제2 다상 전원 케이블(146-2)(예를 들어, 제2 다상 전원 공급 장치(144-2)로부터 3상 교류 전력의 위상(A', B', C')을 전달하는 별도의 3상 전도체)을 통해 별도의(예를 들어, 다른) 제2 다상 전원 공급 장치(144-2)에 전기적으로 연결되는 유도 코일(320)을 포함한다. 도시된 바와 같이, 세트(320-2) 내의 주어진 유도 코일의 위상은 동일한 세트(320-2)에 포함된(예를 들어, 동일한 다상 전원 공급 장치(144-2)에 전기적으로 연결된) (종방향(390)에 반대되는 방향의) 이전 종방향 인접 유도 코일의 위상에 60도 또는 120도를 더한 위상이 됨으로써 주어진 세트(320-1)에 있는 유도 코일(320)의 종방향(390)의 시퀀스를 허용하여 360도의 AC 사이클을 완성할 수 있다. 이 360도 AC 사이클을 완성하는 코일의 집합을 극(τ') 또는 "슬롯"이라고 한다. 극의 길이를 극 피치(τ_p')라고 한다.

[0111] 개별 스테이지(330-1 및 330-2)에 포함된 유도 코일(320)의 세트(320-1 및 320-2)는 서로 다른 다상 전원 공급 장치(144-1 및 144-2)에 전기적으로 연결되므로, 각 세트, 또는 적어도 부분적으로 그에 의해 정의된 스테이지에 공급되는 전력은 다른 세트, 또는 스테이지에 공급되는 전력과 독립적으로 제어 및/또는 조정될 수 있다. 따라서, 개별 스테이지들(330-1, 330-2)은 각 스테이지에 공급되는 전력의 독립적인 제어 및/또는 조정을 통해, 종방향(390)으로 다단 ALIP(120)의 길이를 따른 압력 상승에 대한 제어의 유연성 및/또는 세분성을 개선하여 다단 ALIP(120)에 의해 유도되는 액체 금속 냉각재(190)의 유량에 대한 제어를 개선하도록 독립적으로 제어될 수 있다. 이러한 개선된 제어는 다단 ALIP(120)의 작동 효율 및/또는 전반적인 성능을 향상시킬 수 있다.

[0112] 도 3a-3b를 계속 참조하면, 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP(120)는 유도 코일(320-1, 320-2)의 개별 세트들에 의해 최종적으로 부분적으로 정의되는 적어도 2개의 스테이지(330-1, 330-2)를 포함하며, 여기서 유도 코일의 개별 세트(320-1, 320-2), 따라서 스테이지(330-1, 330-2)는 종방향(390)으로 적어도 부분적으로 서로 인터레이스된다. 예를 들어, 도시된 바와 같이, 개별 스테이지(330-1, 330-2)의 유도 코일(320)은 제1 스테이지(330-1)의 제1 세트(320-1)의 코일(제1 다상 전원 공급 장치(144-1)에 전기적으로 연결된)과 제2 스테이지(330-2)의 제2 세트(320-2)의 코일(제2 다상 전원 공급 장치(144-2)에 전기적으로 연결된) 사이에서 종방향(390)으로 교대로 배치될 수 있다. 결국, 그리고 도 3a에 도시된 바와 같이, 하나의 유도 코일 세트(예컨대, 제1 세트(320-1)) 중의 적어도 하나의 유도 코일(320)은 종방향(390)으로 다른 유도 코일 세트(예컨대, 제2 세트(320-2))의 적어도 2개의 유도 코일(320) 사이에 위치될 수 있다.

[0113] 유도 코일 세트(320-1, 320-2)에 의해 적어도 부분적으로 정의된 스테이지(330-1, 330-2)의 인터레이스된 배열은 다단 ALIP(120)의 전체 길이를 따라 종방향(390)의 압력 상승의 제어를 향상시킬 수 있다.

[0114] 이제 도 3c/도 3d 및 도 4를 참조하면, 다상 전력(예컨대, 3상 교류 전력)이 각 유도 코일(320)에 대한 위상 및 전류 방향이 고정되거나 미리 결정된 다단 ALIP(120)의 하나 이상의 스테이지(330-1, 330-2)에 가해질 수 있으며, 따라서 하나 이상의 유도 코일(320) 세트에 다상 전력이 인가되면 유도 코일(320)에 의해 유동 환형 공간(312)에 위치한 액체 금속 냉각재(190)의 연속 흐름을 입구(122)로부터 출구(123)까지의 종방향(390)으로 유도하는 이동 전자기파를 발생시킨다. 유도 코일(320)의 하나 이상의 세트(320-1, 320-2), 따라서 별도의 하나 이

상의 스테이지(330-1, 330-2)에 적용되는 다상 전력은 유도 코일의 하나 이상의 세트(320-1, 320-2)에 전기적으로 연결되는 각각의 하나 이상의 다상 전원 공급 장치(144-1, 144-2)를 제어함으로써 EMP 제어 시스템(150)에 의해 설정(예를 들어, 제어 및/또는 조정)될 수 있는 특정 주파수 및/또는 전력 진폭(예를 들어, 전류 및/또는 전압)을 가질 수 있다. 따라서, 하나 이상의 다상 전원 공급 장치(144-1, 144-2)에 의해 공급되는 다상 전력의 주파수 및/또는 전력 진폭(예를 들어, 전압 및/또는 전류)은 제어 및/또는 조정(예를 들어, 개시, 조정 및/또는 억제)될 수 있다. 다만 ALIP(120)의 하나 이상의 유도 코일(320) 세트(따라서 하나 이상의 스테이지)에 적용되는 다상 전력의 주파수 및/또는 전력 진폭의 이러한 제어 및/또는 조정은 예를 들어 도 4의 차트에 도시된 바와 같이, 액체 금속 냉각재(190)를 펌핑(예를 들어, 유동 유도)하는 다단 ALIP의 성능을 변화시킨다.

[0115] 여전히 도 3a-3c를 참조하면, 다단 ALIP(120)는 다단 ALIP(120) 내의 종방향(390)을 따른 유동 환형 공간(312) 내의 액체 금속 냉각재(190)의 압력 상승을 제어 가능하게 조정하기 위한 추가적인 유연성을 가능하게 할 수 있는데, 이는 다단 ALIP 내의 유도 코일(320)의 개별 스테이지들에 대한 다상 전력의 각각의 공급이 서로 독립적으로 제어 및/또는 조정될 수 있도록 하여 다단 ALIP(120)의 성능을 조정 가능하게 제어하는 향상된 능력을 제공하도록 상이한 유도 코일(320)이 (예를 들어, EMP 제어 시스템(150)에 의해) 독립적으로 제어 가능한 개별적인 각 다상 전원 공급 장치(144-1, 144-2)에 독립적으로 전기적으로 연결되는 유도 코일들의 상이한 세트(320-1, 320-2)를 가지는 한편 및/또는 해당 세트에 의해 적어도 부분적으로 정의되는 다른 스테이지(330-1, 330-2)로 분리되는 것에 의할 수 있다. 예를 들어, 하나의 스테이지(330-1)가 개시될 수 있고(예를 들어, 작동 온), 다른 스테이지(330-2)가 상기 하나의 스테이지(330-1)와 독립적으로 조정되거나 억제될 수 있다(예를 들어, 작동 오프).

[0116] 도 3a-3c에 도시된 바와 같이, 개별 스테이지(330-1, 330-2)의 유도 코일(320)은 종방향(390)으로 적어도 부분적으로 인터레이스될 수 있고, 유도 코일(320)의 위상은 변화될 수 있다.

[0117] 도 3a 및 도 3c/도 3d에 도시된 바와 같이, 다단 ALIP(120)는 인터레이스된 스테이지들(330-1, 330-2)을 갖는 2단 ALIP일 수 있으며, 이들 스테이지들은 별도의 각각의 유도 코일 세트(320-1, 320-2)를 가지는 한편 및/또는 해당 유도 코일 세트에 의해 적어도 부분적으로 정의되고, 여기서, 다상 전원 케이블(146-1)을 통해 다상 전원 공급 장치(144-1)로부터 A 위상의 전력을 수신하도록 구성된 세트(320-1)의 유도 코일(320)은 다상 전원 케이블(146-2)을 통해 다상 전원 공급 장치(144-2)로부터 A' 위상의 전력을 수신하도록 구성된 세트(320-2)의 유도 코일(320)과 인터레이스되고, 그리고 각각의 다상 전원 공급 장치(144-1, 144-2)로부터 각각의 B, B' 위상 및 C, C' 위상의 전력을 수신하도록 구성된 세트(320-1 및 320-2)의 유도 코일(320)은 이와 유사하게 구성된다.

[0118] 이러한 구성에서, 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP(120)는 다상 전원 공급 장치(144-1, 144-2)로부터 공급되는 다상 전력이 동일한 주파수 및 전력 진폭을 갖는 동작 모드로 동작될 수 있으며, 이에 따라 유도 코일(320)의 세트(320-1, 320-2) 및 그에 따라 스테이지(330-1, 330-2)는 단일 3상 전원을 받는 단일 스테이지 ALIP와 유사하게 동작한다. 다만 ALIP(120)는 유도 코일(320)의 세트(320-2)에 공급되는 다상 전력이 조정되거나 억제될 수 있는(예를 들어, EMP 제어 시스템(150)이 다상 전원 공급 장치(144-2)에 대해 다상 전원 케이블(146-2)을 통해 유도 코일(320)의 세트(320-2)에 대한 전력 공급을 조정하거나 억제하도록 제어하는 것을 통해) 다른 동작 모드로 동작될 수 있다. 이러한 동작 모드에서, 유도 코일의 세트(320-1)에 공급되는 전력의 위상은 세트(320-1)의 극(τ)의 길이를 늘리도록 조정될 수 있으며, 이는 세트(320-1)에 가해지는 전력의 주파수 또는 전력 진폭(예를 들어, 전압 및/또는 전류)을 변경하지 않고 수행될 수 있다. 결국, 세트(320-1)의 활성 코일에 공급되는 주파수 또는 전력 진폭을 변경하지 않고, 위상을 늘려 극을 길게 하는 것을 통해 유동 환형 공간(312)을 통한 액체 금속 냉각재(190)의 유량이 감소되도록 할 수 있다. 따라서, 이러한 동작 모드는 다단 ALIP(120)의 저유량 동작 모드일 수 있다.

[0119] 도 3a-3b는 단일 고정자를 갖는 다단 ALIP(120)를 예시하지만, 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP는 복수의 고정자(예를 들어, 이중 고정자 ALIP)를 포함할 수 있음이 이해될 것이다. 다만 ALIP(120)의 다양한 스테이지(예를 들어, 별도의 각각의 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성된 다수의 유도 코일 세트)에 관한 본원의 설명은 다중 고정자 다단 ALIP(120)의 각 고정자에 독립적으로 적용될 수 있다. 예를 들어, 내부 고정자 및 외부 고정자를 갖는 다단 ALIP(120)는 외부 고정자에 복수의 코일 스테이지를 가질 수 있고, 내부 고정자에 동일하거나 다른 수량의 코일 스테이지(단일 코일 스테이지 또는 복수의 코일 스테이지 포함)를 가질 수 있지만, 예시적인 실시예들은 이에 한정되지 않는다.

[0120] 도 5는 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP의 평면측 단면도이다. 도 5의 다단 ALIP의 배선도는 도 3c/도 3d에 도시된 배선도와 동일할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 도 3a-3c에 도시된 다단 ALIP(120)의 일부 요소

들(예를 들어, 냉각재 유체 입구(382), 냉각재 유체 출구(384), 입구측 구조물(302-1), 출구측 구조물(302-2), 지지 리브(388) 등)은 도 5에 도시되지 않았지만, 도 5에 도시된 다단 ALIP(120)는 도 3a-3c에 도시된 동일한 구조물(예를 들어, 냉각재 유체 입구(382), 냉각재 유체 출구(384), 입구측 구조물(302-1), 출구측 구조물(302-2), 지지 리브(388), 입구(122), 출구(123) 등)의 일부 또는 전부를 포함하거나 이들을 포함하지 않을 수 있음을 이해할 것이다.

[0121] 개괄적으로 도 5를 참조하면, 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP(120)는 다단 ALIP(120)의 개별 스테이지들 내의 유도 코일(320)의 위치, 간격, 형상 및/또는 고유 특성의 구성 및/또는 변화를 통해 액체 금속 냉각재(190)의 흐름의 조정 가능한 제어를 향상시키도록 구성될 수 있다. 유도 코일의 위치, 간격, 형상, 및/또는 고유 특성의 이러한 구성 및/또는 변화는 개별 스테이지들(330-1, 330-2)의 유도 코일의 개별 세트들(320-1, 320-2)을 조정 가능하고 독립적으로 제어하는 것을 통해 액체 금속 냉각재(190)의 유량의 제어의 유연성을 향상시킬 수 있다.

[0122] 도 5를 참조하면, 일부 예시적인 실시예에서, 개별적인 각각의 유도 코일(320)의 세트(320-1, 320-2)를 갖는 다단 ALIP(120)의 상이한 스테이지(330-1, 330-2)는 각각의 유도 코일(320)의 세트(320-1, 320-2)의 종방향 경계에 의해 정의되는 종방향의 경계(예, 종방향 경계)를 가질 수 있다. 따라서, 도 5에 도시된 바와 같이, 각각의 개별 스테이지(예를 들어, 330-1, 330-2)는 별도의 유도 코일의 세트(예를 들어, 320-1, 320-2)에 의해 적어도 부분적으로 정의되는 것 이외에도, 별도의 스테이지의 각각의 세트의 유도 코일(320)에 의해 적어도 종방향(390)으로 적어도 부분적으로 정의되는 다단 ALIP(120)의 별도의 각 섹션(610-1, 610-2)을 포함하는 것으로 이해될 수 있으며, 다단 ALIP(120) 내의 상기 종방향 경계 사이에 위치된 구성요소(예, 펌프 케이싱(302), 고정자 코어(322), 동심 환상 벽(310) 등)의 일부 또는 전부 또는 구성요소의 여러 부분을 포함할 수 있다. 개별 스테이지가 스테이지의 각 유도 코일 세트의 종방향 경계에 의해 정의된 바와 같이, 다단 ALIP(120)의 이러한 개별 섹션에 포함된 다단 ALIP의 임의의 구성요소(예컨대, 중앙 코어(332-2), 동심 환형 벽(310) 등)의 임의의 부분을 포함하는 것으로 더 이해될 수 있다.

[0123] 도 5를 참조하면, 일부 예시적인 실시예에서, 각각의 개별적인 유도 코일(320)의 세트(320-1, 320-2)에 의해 적어도 부분적으로 정의되는 다단 ALIP(120)의 상이한 스테이지(330-1, 330-2)는 종방향(390)으로 서로 이격될 수 있고, 이에 따라 제1 스테이지(330-1)의 어떤 유도 코일(320)(예를 들어, 유도 코일 세트(320-1)의 유도 코일)도 종방향(390)으로 제2 스테이지(330-2)의 적어도 2개의 유도 코일(예컨대, 유도 코일 세트(320-2)의 유도 코일) 사이에 위치되지 않으며, 제2 스테이지(330-2)의 어떤 유도 코일(320)(예를 들어, 유도 코일 세트(320-1)의 유도 코일)도 종방향(390)으로 제1 스테이지(330-1)의 적어도 2개의 유도 코일(예컨대, 유도 코일 세트(320-1)의 유도 코일) 사이에 위치되지 않는다. 도시된 바와 같이, 유도 코일의 세트(320-1, 320-2)를 갖는 스테이지(330-1, 330-2)는 다단 ALIP(120) 내에서 종방향(390)으로 종방향 이격 거리(502)만큼 서로 이격될 수 있다. 종방향 이격 거리(502)는 예를 들어, 종방향(390)을 따라 다른 위치에서 유동 환형 공간(312)를 통한 액체 금속 냉각재(190)의 유량을 조정 가능하게 제어하기 위해 다단 ALIP(120)의 개별 스테이지(330-1, 330-2)를 구성하도록 설정(미리 결정)될 수 있다.

[0124] 도 5에 도시된 바와 같이, 다단 ALIP(120) 내의 개별 스테이지들(330-1, 330-2) 사이의 종방향(390)의 종방향 이격 거리(502)는 종방향(390)으로 자기장(504-1, 504-2) 사이에 간격이 존재하도록 개별 스테이지들(330-1, 330-2)에 의해 생성되는 자기장(504-1, 504-2)의 자기 재접속(간섭)을 감소, 제한 또는 방지할 수 있다. 결국, 인접한 스테이지들 사이의 종방향(390)의 종방향 이격 거리(502)를 갖는 다중 스테이지 ALIP(120)는 동일한 장치에서 직렬 배열된 다수의 독립적인 ALIP로 동작하도록 구성될 수 있으며, 여기서 각각의 개별 스테이지들은 별도의 독립적인 ALIP로 동작할 수 있다.

[0125] 여전히 도 5를 참조하면, 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP(120) 내의 개별 스테이지(330-1, 330-2)의 유도 코일(320)은 상이한 기하학적 특성(예를 들어, 상이한 형상 또는 치수)을 가질 수 있으며, 따라서 유도 코일(320)의 개별 스테이지(330-1, 330-2)를 독립적으로 제어하는 것은 액체 금속 냉각재(190)의 유량을 다르게 제어할 수 있으며, 따라서 다단 ALIP(120)에 의해 액체 금속 냉각재(190)의 유량이 향상된 유연성을 가지고 제어될 수 있다.

[0126] 예를 들어, 도 5에 도시된 바와 같이, 별도의 각각의 유도 코일(320)의 세트(320-1, 320-2)를 갖는(예를 들어, 해당 세트에 의해 적어도 부분적으로 정의되는) 별도의 스테이지(330-1, 330-2)를 갖는 다단 ALIP(120)에서, 별도의 세트(320-1, 320-2)의 유도 코일(320)은 동일한 유도 코일(320) 세트 중의 인접한 유도 코일의 대향 표면들 사이에 종방향(390)의 별도의 각각의(예를 들어, 다른) 종방향 간격(320-1-LS, 320-2-LS)을 가질 수 있다.

다른 예에서, 별도의 세트(320-1, 320-2)의 유도 코일(320)은(따라서 적어도 부분적으로 별도의 스테이지(330-1, 330-2)를 정의함) 종방향(390)으로 각각 별도의(예를 들어, 상이한) 종방향의 유도 코일 두께(320-1-LT, 320-2-LT)를 가질 수 있다. 다른 예에서, 개별 세트(320-1, 320-N)의 유도 코일(320)(따라서 적어도 부분적으로 개별 스테이지(330-1, 330-2)를 정의함)은 종방향(390)에 수직으로 연장되는 반경방향으로 별도의 각각의(예를 들어, 상이한) 반경방향 코일 두께(320-1-RT, 320-2-RT)(본 명세서에서는 환형 두께로도 호환적으로 지칭됨)를 가질 수 있다. 다른 예에서, 개별 세트(320-1, 320-2)의 유도 코일(320)은(따라서 적어도 부분적으로 개별 스테이지(330-1, 330-2)를 정의함) 종방향(390)에 수직으로 연장되는 반경방향으로 별도의 각각의(예를 들어, 상이한) 유도 코일 내부 반경(320-1-IR, 320-2-IR)을 가질 수 있다. 다른 예에서, 개별 세트(320-1, 320-N)의 유도 코일(320)(따라서 적어도 부분적으로 개별 스테이지(330-1, 330-2)를 정의함)은 종방향(390)에 수직으로 연장되는 반경방향으로 별도의 각각의(예를 들어, 상이한) 유도 코일 외부 반경(320-1-OR, 320-2-OR)을 가질 수 있다. 다른 예에서, 개별 세트(320-1, 320-N)의 유도 코일(320)은 별도의 각각의(예를 들어, 상이한) 유도 코일 재료 조성(예를 들어, 구리, 은 등)을 가질 수 있다.

[0127] 도 5에 도시된 바와 같이, 다단 ALIP의 개별 스테이지(330-1, 330-2)는 상이한 유도 코일 재료 조성, 동일한 유도 코일 세트 중의 인접한 유도 코일의 대향 표면들 사이의 종방향의 상이한 간격, 상이한 종방향의 유도 코일 두께, 종방향에 수직으로 연장되는 반경방향의 상이한 유도 코일 환형 두께, 상이한 유도 코일 내부 반경 및/또는 상이한 유도 코일 외부 반경을 포함하는 상이한 고유 특성 중 적어도 하나 또는 전부를 갖는 개별적인 각 유도 코일(320)의 세트(320-1, 320-2)를 포함하고 및/또는 해당 유도 코일 세트에 의해 적어도 부분적으로 정의될 수 있다.

[0128] 도 5에 도시된 바와 같이, 다단 ALIP(120)의 개별 스테이지들의 코일 형상 및 종방향 간격은 다단 ALIP(120)의 다른 섹션들(예를 들어, 다른 스테이지의 다른 종방향 섹션들(610-1, 610-2)에 다양한 다른 특정 유동 방식을 수용하도록 다단 ALIP(120)를 구성하도록 변화될 수 있으며, 여기서 각각의 개별 종방향 섹션들(610-1, 610-2)은 적어도 부분적으로 해당 섹션을 정의하는(예를 들어, 각각의 유도 코일 세트에 공급되는 다상 전력의 독립적인 제어 및/또는 조정을 통해) 각각의 유도 코일(320)의 세트(320-1, 320-2)의 독립적인 제어를 통해 독립적으로 제어될 수 있다. 각 섹션의 독립적인 제어(예를 들어, 각 스테이지의 유도 코일(320)의 독립적인 제어)는 다단 ALIP(120)로 하여금 정상 상태가 아닌 유동 조건 하에서 더 큰 작동 유연성을 제공하도록 할 수 있다.

[0129] 도 6은 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP의 평면측 단면도이다. 도 6의 다단 ALIP의 배선도는 도 3c/도 3d에 도시된 배선도와 동일할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 도 3a-3c에 도시된 다단 ALIP(120)의 일부 요소들(예를 들어, 냉각재 유체 입구(382), 냉각재 유체 출구(384), 입구측 구조물(302-1), 출구측 구조물(302-2), 지지 리브(388), 전원 공급 전도체(180) 등)는 도 6에 도시되지 않았지만, 도 6에 도시된 다단 ALIP(120)는 도 3a-3c에 도시된 동일한 구조물(예를 들어, 냉각재 유체 입구(382), 냉각재 유체 출구(384), 입구측 구조물(302-1), 출구측 구조물(302-2), 지지 리브(388), 입구(122), 출구(123), 전원 공급 전도체(180) 등)의 일부 또는 전부를 포함하거나 해당 구조물을 포함하지 않을 수 있음을 이해할 것이다.

[0130] 개괄적으로 도 6을 참조하면, 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP(120)의 개별 스테이지들은 중앙 코어(322-2)의 재료 조성 또는 종방향(390)에 수직인 방향의 중앙 코어(322-2)의 직경 중 적어도 하나의 종방향의 변화의 변화에 의해 적어도 부분적으로 정의될 수 있다.

[0131] 도 6에 도시된 바와 같이, 예를 들어, 다단 ALIP(120)가 2개의 스테이지(330-1, 330-2)를 포함하는 예시적인 실시예에서, 중앙 코어(322-2)는 별도의 스테이지(330-1, 330-2)에 포함되는 다수의 별도의 종방향으로 이격된 중앙 코어 섹션(622-1 내지 622-2)을 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 별도의 중앙 코어 섹션들(622-1, 622-2)은 상이한 반경, 따라서 상이한 직경(628-1, 628-2)을 가질 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 별도의 중앙 코어 섹션들(622-1, 622-2)은 동일하거나 다른 재료 조성, 동일하거나 다른 직경(628-1, 628-2), 동일하거나 다른 외경, 별도의 코어 섹션들(622-1, 622-2)이 각각의 중앙 공간(328)을 정의하는 예시적인 실시예에서 동일하거나 다른 내경, 별도의 코어 섹션들(622-1, 622-2)의 동일하거나 다른 반경방향 또는 환형 두께, 이들의 임의의 조합 등을 가질 수 있다. 예를 들어, 중앙 코어 섹션(622-1)은 자성 철을 포함할 수 있고, 중앙 코어 섹션(622-2)은 스테인리스 강을 포함할 수 있다.

[0132] 도 6에 도시된 바와 같이, 그리고 적어도 도 3a 및 도 3c/도 3d에 도시된 예시적인 실시예와는 달리, 중앙 코어(322-2)는 하나 이상의 중실 원통형 구조물(예를 들어, 별도의 중앙 코어 섹션(622-1 및 622-2)은 각각 중실 원통형 구조물일 수 있음)를 포함할 수 있어서 도 6에 도시된 바와 같이 다단 ALIP(120)에 중앙 공간(328)이 부재할 수 있다. 그러나, 예시적인 실시예들은 이에 한정되지 않으며, 일부 예시적인 실시예들에서 중앙 코어 섹션

(622-1 및 622-2) 중 하나 또는 모두는 스테이지(330-1 및 330-2)의 하나 이상의 섹션(610-1 및 610-2)의 반경 방향 중심에 중앙 공간(328)을 정의하는 중공 원통형 구조물일 수 있다. 중앙 코어 섹션들(622-1 및 622-2)이 모두 스테이지(330-1 및 330-2)의 양쪽 섹션들(610-1 및 610-2)의 반경방향 중심에 각각의 중앙 공간(328)을 정의하는 경우, 개별 중앙 코어 섹션들(622-1 및 622-2)에 의해 정의되는 중앙 공간(328)은 동일하거나 다른 직경을 가질 수 있다.

[0133] 여전히 도 6을 참조하면, 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP(120)의 별도의 스테이지들(330-1, 330-2)은 동심 환형 벽들(310) 중의 내부 환형 벽(310-2)의 외경(632) 및/또는 내경, 동심 환형 벽들(310) 중의 외부 환형 벽(310-1)의 내경(634) 및/또는 외경, 동심 환형 벽들(310) 중의 적어도 하나의 환형 벽의 반경방향 두께(636, 638), 또는 유동 환형 공간(312)의 형상 중 적어도 하나의 종방향(390)의 변화에 의해 적어도 부분적으로 정의될 수 있다.

[0134] 도 6에 도시된 바와 같이, 동심 환형 벽들(310) 및 동심 환형 벽들(310)에 의해 정의되는 유동 환형 공간(312)은 다단 ALIP(120)의 개별 스테이지들(330-1, 330-2)을 적어도 부분적으로 정의하는 다단 ALIP(120)의 2개 이상의 개별 종방향 섹션(610-1 내지 610-2)을 적어도 부분적으로 정의하는 것으로 이해될 수 있다. 별도의 종방향 섹션들(610-1, 610-2)은 다단 ALIP(120)의 별도의 각 스테이지들(330-1, 330-2) 내에 부분적으로 또는 완전히 포함될 수 있지만, 예시적인 실시예들은 이에 한정되지 않는다.

[0135] 도 6을 계속 참조하면, 별도의 섹션들(610-1, 610-2)(본 명세서에서는 다단 ALIP(120)의 종방향 섹션이라고도 함)은 본 명세서에 설명된 바와 같이 중앙 코어(322-2)의 변형에 부가하여 또는 이와 별도로 동심 환형 벽들(310)의 다른 구조적 형상을 특징으로 할 수 있다. 결국, 일부 예시적인 실시예에서, 유동 환형 공간(312)은 다단 ALIP(120)의 개별 섹션(610-1, 610-2)에서 상이한 특성을 가질 수 있고, 다단 ALIP(120)의 개별 단계(330-1, 330-2)에서 상이한 유동 형상을 특징으로 할 수 있다.

[0136] 일부 예시적인 실시예에서, 개별 섹션들(610-1, 610-2)은 외부 환형 벽(310-1)의 동일하거나 상이한 내경(634-1, 634-2) 및/또는 내부 환형 벽(310-2)의 동일하거나 상이한 외경(632-1, 632-2)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 6에 도시된 바와 같이, 섹션(610-1, 610-2)에서 외부 환형 벽(310-1)은 2개의 섹션(610-1, 610-2) 모두에서 내경(634)이 거의 동일하지만(예, $634-1 = 634-2$), 내부 환형 벽(310-2)은 섹션(610-1)의 외경(632)이 섹션(610-2)의 외경보다 작다(예, $632-1 < 632-2$). 결국, 유동 환형 공간(312)의 환형 또는 반경방향 두께(640)는 제1 섹션(610-1)의 두께(640-1)가 제2 섹션(610-2)의 두께(640-2)보다 더 크다. 결국, 제1 섹션(610-1)의 단면 유동 영역은 제2 섹션(610-2)의 단면 유동 영역보다 더 클 수 있다.

[0137] 도 6에 더 도시된 바와 같이, 외부 및 내부 환형 벽(310-1, 310-2)은 제1 섹션(610-1)에서 평탄한 대향 원통형 측벽을 가질 수 있으며, 이에 따라 동심 환형 벽들(310)은 평탄한 환형 공간인 제1 섹션(610-1)의 유동 환형 공간(312)(예, 유동 환형 섹션(312-1))의 유동 환형 형상을 정의할 수 있다. 또한, 도 6에 도시된 바와 같이, 외부 환형 벽(310-1)은 제2 섹션(610-1)에서 외부 환형 벽(310-1)의 내부 표면에 나선형 또는 헬리컬 패턴을 형성하는 하나 이상의 헬리컬 돌출부(602) 또는 홈을 포함함으로써 동심 환형 벽들(310)이 헬리컬 환형 공간인 제2 섹션(610-2)에서 유동 환형 공간(312)의 유동 환형 형상(예, 유동 환형 섹션(312-2)의 유동 환형 형상)을 정의한다. 도 6은 제2 섹션(610-2)에서 유동 환형 공간(312)의 헬리컬 환형 공간 유동 형상에 기여하는 구조적 특징부를 갖는 외부 환형 벽(310-1)만을 도시하고 있지만, 내부 환형 벽(310-2)은 그러한 구조적 특징부를 추가적으로 또는 대안적으로 포함할 수 있음을 이해할 것이다.

[0138] 여전히 도 6을 참조하면, 종방향으로 인접한 섹션(610-1, 610-2) 사이의 전이 영역(604)은 제1 섹션(610-1)의 특징부와 제2 섹션(610-2)의 특징부 사이에서 종방향(390)으로 전이되는 구조적 특징부를 가질 수 있다. 예를 들어, 도 6에서, 전이 영역(604)은 중앙 코어(322-2)의 직경 및 재료 조성의 변화 외에도, 외경(632-1)과 외경(632-2) 사이의 내부 환형 벽(310-2)의 외경(632)의 변화, 따라서 유동 환형 공간(312)의 반경방향 두께(640)의 변화를 포함한다. 종방향(390)으로 전이 영역(604)의 종방향 경계는 스테이지의 종방향 경계(예를 들어, 전이 영역(604)의 출구-근접 종방향 경계에 도시된 바와 같은) 및/또는 동심 환형 벽(310), 중앙 코어(322-2) 및/또는 유동 환형 공간(312)의 구조적 특성 중 하나의 변화가 시작되는 종방향 경계(예를 들어, 전이 영역(604)의 입구-근접 종방향 경계에 도시된 바와 같은)에 의해 정의될 수 있다. 도 6에 더 도시된 바와 같이, 전이 영역(604)은 제1 또는 제2 섹션(610-1, 610-2) 중 하나에, 따라서 스테이지(330-1, 330-2) 중 하나에 포함되는 것으로 이해될 수 있다.

[0139] 개괄적으로 여전히 도 6을 참조하면, 유도 코일(320-1)의 세트(320-1)를 포함하고, 자성 철 중앙 코어 섹션(622-1)과 평탄한 환형 유동 형상을 갖는 유동 환형 공간 섹션(312-1)을 정의하는 동심 환형 벽들(310)을 갖는

제1 섹션(610-1)을 더 포함하는 제1 스테이지(330-1)에서, 다단 ALIP(120)는 제1 스테이지(330-1)를 통해 흐르는 액체 금속 냉각재(190)의 유량이 입구(122)로부터 종방향(390)으로 증가하도록 단일 스테이지 ALIP와 유사하게 동작 및 거동하도록 구성될 수 있다. 유도 코일의 세트(320-2)를 포함하고, 스테인리스 강 중앙 코어 섹션(622-2)과 헬리컬 환형 공간 유동 형상을 갖는 유동 환형 공간 섹션(312-2)을 정의하는 동심 환형 벽들(310)을 더 포함하는 제2 스테이지(330-2)에서, 제2 섹션(610-2)은 유동 환형 공간 반경방향 두께(640)가 더 작은 두께(640-2)로 감소되어 액체 금속 냉각재(190)를 제2 스테이지(330-2)의 유도 코일(320)에 더 가까이 유도하는 출구(123)에서 액체 금속 냉각재(190)의 소용돌이를 유도하도록 구성되는 코르크 스크류(corkscrew) 나선형 형상(예를 들어, 헬리컬 유동 형상)을 따르도록 구성될 수 있다.

[0140] 또한, 도 6에 도시된 바와 같이, 제2 스테이지(330-2)에 포함되는 유도 코일(320)의 세트(320-2)는 제1 스테이지(330-1)의 코일(320)보다 종방향 두께(320-2-LT)가 증가하고 종방향 간격(320-2-LS)이 감소함으로써 제2 스테이지(330-2)의 코일(320)은 보다 강한 자기장을 유지하도록 구성된다. 또한, 스테인리스 강 중앙 코어 섹션(622-2)은 자성 철 중앙 코어 섹션(622-1)보다 더 약한 투자율을 가질 수 있는 데, 이는 제2 스테이지의 자기장이 출구(123) 측이 아닌 소용돌이 방향으로 펴평되도록 더 잘 형성될 수 있기 때문이다. 냉각을 고려하여 출구(123)에서 소용돌이가 바람직할 수 있으며, 개방-풀(open-pool)의 액체 금속 원자로의 와류 형성 및 캐비테이션을 피하기 위해 입구(122)에서는 소용돌이가 바람직하지 않을 수 있다. 도 6에 도시된 다단 ALIP(120)에서, 별도의 독립적으로 제어 가능한 스테이지(330-1, 330-2)에 부분적으로 또는 전체적으로 별도의 섹션(610-1, 610-2)을 포함함으로써, 다단 ALIP(120)는 다단 ALIP(120)의 각각의 개별 스테이지(330-1, 330-2)에서 액체 금속 냉각재(190) 펌핑 및 액체 금속 냉각재(190)의 소용돌이를 최적화할 수 있도록 구성될 수 있다.

[0141] 도 7은 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP의 평면측 단면도이다. 도 7의 다단 ALIP의 각 스테이지의 배선도는 도 3c/도 3d에 도시된 임의의 스테이지에 대한 배선도와 동일할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 도 3a-3c에 도시된 다단 ALIP(120)의 일부 요소들(예를 들어, 냉각재 유체 입구(382), 냉각재 유체 출구(384), 입구측 구조물(302-1), 출구측 구조물(302-2), 지지 리브(388), 전원 공급 전도체(180) 등)는 도 7에 도시되지 않았지만, 도 7에 도시된 다단 ALIP(120)는 도 3a-3c에 도시된 동일한 구조물(예를 들어, 냉각재 유체 입구(382), 냉각재 유체 출구(384), 입구측 구조물(302-1), 출구측 구조물(302-2), 지지 리브(388), 입구(122), 출구(123), 전원 공급 전도체(180) 등)의 일부 또는 전부를 포함하거나 해당 구조물을 포함하지 않을 수 있음을 이해할 것이다.

[0142] 도 7에 도시된 다단 ALIP(120)는 3단 ALIP(예컨대, N개의 스테이지(330-1 내지 330-N(N=3)))를 갖는 다단 ALIP(120))로 도시되어 있으나, 예시적인 실시예들은 이에 한정되지 않으며, 3단 다단 ALIP(120) 및 그 임의의 스테이지에 관한 본원의 설명은 2개 이상의 스테이지(예컨대, 330-1 내지 330-N(N≥2))를 갖는 임의의 다단 ALIP(120) 및 그 임의의 스테이지에 적용될 수 있다.

[0143] 개괄적으로 도 7을 참조하면, 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP(120)의 주어진 스테이지 내의 유도 코일(320)의 하나 이상의 형상 특성 및/또는 고유한 특성은 주어진 스테이지의 적어도 2개의 유도 코일(320) 사이에서 다단 ALIP(120)의 종방향(390)을 따라 달라질 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 스테이지와 관련된 형상 특성은 고유 특성으로 호환적으로 지칭될 수 있다. 이러한 다양한 고유 특성은 주어진 스테이지의 적어도 2개의 유도 코일(320)(예를 들어, 동일한 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성된 적어도 2개의 유도 코일) 사이의 변화를 포함할 수 있고, 유도 코일(320)의 재료 조성, 동일한 유도 코일 세트 중의 인접한 유도 코일(320)의 대향 표면들 사이의 종방향(390) 간격, 종방향의 유도 코일 두께, 종방향(390)에 수직으로 연장되는 반경방향의 유도 코일 환형 두께, 유도 코일 내부 반경, 또는 유도 코일 외부 반경 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이러한 변화는 수학적 함수에 근사 또는 부합하거나 그렇지 않을 수 있다.

[0144] 예를 들어, 다단 ALIP(120)가 3개의 스테이지(330-1, 330-2, 330-3)를 포함하는 것으로 예시된 도 7에 도시된 바와 같이, 다단 ALIP(120)의 제3 스테이지(330-3)는 일정한 반경방향 두께(320-3-RT), 종방향 두께(320-3-LT) 및 그 사이의 간격(320-3-LS)을 갖는 제3 유도 코일(320)의 세트(320-3)를 포함한다.

[0145] 다른 예에서, 다단 ALIP(120)의 제1 스테이지(330-1)는 일정한 종방향 두께(320-1-LT) 및 그 사이의 간격(320-1-LS)을 가지지만, 종방향(390)으로 종방향 인접 유도 코일들(320) 사이에서 변화하는 가변 반경방향 두께(320-1-RT)를 가지는 제1 유도 코일(320)의 세트(320-1)를 포함한다. 도시된 바와 같이, 반경방향 두께(320-1-RT)의 종방향(390)의 변화는 포물선의 형상에 따라 입구(122)로부터 주어진 유도 코일(320)의 종방향(390)의 거리의 함수로서 세트(320-1)의 주어진 유도 코일(320)의 반경방향 두께를 변화시키는 수학적 함수, 예를 들어 포물선 함수(702)를 근사화할 수 있다.

- [0146] 다른 예에서, 다단 ALIP(120)의 제2 스테이지(330-2)는 각각의 반경방향 두께(320-2-RT), 종방향 간격(320-2-LS) 및/또는 종방향 두께(320-2-LT)를 갖는 제2 유도 코일(320)의 세트(320-2)를 포함한다. 유도 코일(320)의 이러한 두께 및 간격의 변화는 기준점(예컨대, 입구(122))으로부터 종방향(390)의 거리에 기초하여 수학적 함수를 근사화될 수 있거나, 임의적 및/또는 무작위적일 수 있다.
- [0147] 또한, 일부 예시적인 실시예에서, 유도 코일(320)의 재료 조성은 주어진 스테이지(예를 들어, 동일한 다상 전원 공급 장치에 전기적으로 연결되도록 구성됨) 내의 유도 코일들(320) 사이에서 다를 수 있다.
- [0148] 여전히 도 7을 참조하면, 일부 예시적인 실시예에서, 중앙 코어(322-2)의 직경(628) 및/또는 하나 이상의 동심 환형 벽(310)의 외경/내경은 직경이 기준점(예를 들어, 입구(122))으로부터의 종방향(390) 거리의 함수로서 변화하는 수학적 함수에 의해 종방향(390)을 따라 연속적으로 변화할 수 있다. 도 7에 도시된 바와 같이, 중앙 코어(322-2)의 직경(628) 및 내부 환형 벽(310-2)의 외경(632)은 입구(122)로부터의 종방향(390)의 거리의 수학적 함수에 따라 달라질 수 있고, 외부 환형 벽(310-1)의 내경(634)은 종방향(390)으로 고정되거나 일정하여, 유동 환형 공간(312)의 반경방향 두께(640) 및 그에 따른 유동 단면적이 입구(122)로부터 종방향(390)의 거리의 수학적 함수에 따라 종방향(390)으로 변한다.
- [0149] 도 7에 도시된 바와 같이, 그리고 적어도 도 3a 및 도 3c/도 3d에 도시된 예시적인 실시예를 포함하는 일부 예시적인 실시예들과는 달리, 중앙 코어(322-2)는 하나 이상의 중실 원통형 구조물을 포함할 수 있어서, 도 7에 도시된 바와 같이 중앙 공간(328)에는 다단 ALIP(120)이 부재할 수 있다. 그러나, 예시적인 실시예들은 이에 제한되지 않으며, 일부 예시적인 실시예에서 중앙 코어(322-2)는 다단 ALIP(120)의 반경방향 중심에서 중앙 공간(328)을 정의하는 중공 원통형 구조물일 수 있다. 중앙 공간(328)은 입구(122)와 출구(123) 사이의 종방향(390)의 중앙 코어(322-2)의 전체 길이를 통해 연장될 수 있고, 중앙 공간(328)은 종방향(390)으로 다단 ALIP(120)의 길이를 따라 고정 또는 가변 직경을 가질 수 있다. 중앙 공간(328)은 중앙 코어(322-2)가 종방향(390)으로 다단 ALIP(120)의 길이를 따라 가변하는 직경(628)을 갖는 예시적인 실시예들에서도 종방향(390)으로 다단 ALIP(120)의 길이를 따라 고정된 직경을 가질 수 있다.
- [0150] 도 7에 도시된 바와 같이, 다단 ALIP(120)은 인접한 스테이지(330-1, 330-2, 및 330-3) 사이(예를 들어, 인접한 세트(320-1, 320-2, 및 320-3) 사이)에 종방향 이격 거리(502)를 가질 수 있다. 개별 인접한 스테이지 쌍들 사이의 종방향 이격 거리(502)(예컨대, 세트(320-1 및 320-2)에 의해 정의되는 스테이지(330-1 및 330-2) 사이의 이격 거리, 세트(320-2 및 320-3)에 의해 정의되는 스테이지(330-2 및 330-3) 사이의 이격 거리 등)는 종방향(390)으로 동일한 크기를 갖거나 종방향(390)으로 다른 크기를 가질 수 있다(예컨대, 세트(320-1 및 320-2)는 종방향(390)으로 세트(320-2 및 320-3) 사이의 종방향 이격 거리(502)보다 종방향(390)으로 서로 가깝거나 더 멀리 떨어져 있을 수 있다).
- [0151] 도 8은 일부 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP를 동작시키는 방법을 나타낸 흐름도이다. 도 8에 도시된 방법은 임의의 예시적인 실시예에 따른 임의의 다단 ALIP(120)와 관련하여 구현될 수 있다. 도 8에 도시된 방법은 도 1에 도시된 EMP 제어 시스템(150)과 같은 EMP 제어 시스템(150)에 의해 그리고 도 1에 도시된 바와 같이 하나 이상의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)와 관련하여 적어도 부분적으로 구현될 수 있다.
- [0152] 도 8에 도시된 바와 같이, 방법은, S802-1 내지 S802-N에서, 다단 ALIP(120)의 N개 스테이지(여기서 N은 임의의 양의 정수) 각각에 대해 별도의 각각의(예를 들어, 상이한) 다상 전원 공급 장치(예를 들어, 144-1 내지 144-N)로부터 다단 ALIP(120)의 N개 스테이지 각각에 공급되는 다상 전력의 공급을 독립적으로 제어 및/또는 조정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0153] 예를 들어, 스테이지의 수(N)가 2 이상인 경우, 방법은, S802-1에서, 액체 금속 냉각재(190)가 유동 환형 공간(312)을 통해 흐르도록 복수의 다상 전원 공급 장치 중의 제1 다상 전원 공급 장치(144-1)를 통해 다상 ALIP(120)의 복수의 스테이지(330-1) 중의 제1 스테이지(330-1)에 제1 다상 전력을 공급하는 단계와, S802-2에서, 유동 환형 공간(312)을 통한 액체 금속 냉각재(190)의 흐름을 조정 가능하게 제어하도록 복수의 다상 전원 공급 장치 중의 제2 다상 전원 공급 장치(144-2)를 통해 복수의 스테이지 중의 제2 스테이지(330-2)에 대한 제2 다상 전력의 별도 공급을 독립적으로 제어하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0154] 이제, S802-N에서 다단 ALIP(120)의 N번째 스테이지를 독립적으로 제어하는 단일 동작에 대해 설명될 것이지만, 동작(S802-N)과 관련하여 설명된 동작(S804-N 내지 S818-N)에 대한 설명도 동작(S802-1 내지 S802-N) 중 임의의 동작에 동일하게 적용될 수 있음을 이해할 것이다(예를 들어, S804-N의 설명은 S804-1에 적용될 수 있고, S806-N의 설명은 S806-1에 적용될 수 있고, S808-N의 설명은 S808-1에 적용될 수 있고, S810-N의 설

명은 S810-1에 적용될 수 있고, S812-N의 설명은 S812-1에 적용될 수 있고, S814-N의 설명은 S814-1에 적용될 수 있고, S816-N의 설명은 S816-1에 적용될 수 있고, 및/또는 S818-N의 설명은 S818-1에 적용될 수 있다).

[0155] S804-N에서, 동작(S802-N)은 다단 ALIP(120)의 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)로부터 다단 ALIP(120)의 N-번째 스테이지로의 다상 전력의 공급을 개시할지(예를 들어, 작동 온) 여부를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 만일 그렇다면, S806-N에서, 제어 신호가 생성되어 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)로 전송되어 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)가 N-번째 스테이지에 대한 다상 전력의 공급을 개시하도록 할 수 있다. 제어 신호는 EMP 제어 시스템(150)에 의해 생성 및 전송될 수 있다. 제어 신호는 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)가 특정(예를 들어, 미리 결정된) 주파수, 전력 진폭(예를 들어, 전압 및/또는 전류), 위상 등을 갖는 다상 전력의 공급을 개시하도록 할 수 있다.

[0156] S808-N에서, 동작(S802-N)은 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)에 의해 다단 ALIP(120)의 N-번째 스테이지에 공급되는 다상 전력 공급의 주파수를 조정할지 여부를 결정하는 단계를 포함한다. 만일 그렇다면, S810-N에서, 제어 신호가 생성되어 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)로 전송되어 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)가 N-번째 스테이지에 공급되고 있는 다상 전력의 공급 주파수를 조정하도록 할 수 있다. 제어 신호는 EMP 제어 시스템(150)에 의해 생성 및 전송될 수 있다. 제어 신호는 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)가 다상 전력의 공급 주파수를 새로운 특정 주파수로 조정하도록 할 수 있다.

[0157] S812-N에서, 동작(S802-N)은 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)에 의해 다단 ALIP(120)의 N-번째 스테이지에 공급되는 다상 전력 공급의 전력 진폭(예컨대, 전압 및/또는 전류)을 조정할지 여부를 결정하는 단계를 포함한다. 만일 그렇다면, S814-N에서, 제어 신호가 생성되어 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)로 전송되어 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)가 N-번째 스테이지에 공급되고 있는 다상 전력 공급의 전력 진폭(예를 들어, 전압 및/또는 전류)을 조정하도록 할 수 있다. 제어 신호는 EMP 제어 시스템(150)에 의해 생성 및 전송될 수 있다. 제어 신호는 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)가 다상 전력 공급의 전력 진폭(예를 들어, 전압 및/또는 전류)을 새로운 특정 전력 진폭(예를 들어, 전압 및/또는 전류)으로 조정하도록 할 수 있다.

[0158] S816-N에서, 동작(S802-N)은 N-번째 다상 전력 공급 장치(144-N)로부터 다단 ALIP(120)의 N-번째 스테이지로의 다상 전력의 공급을 억제(예를 들어, 작동 오프)할지 여부를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 만일 그렇다면, S818-N에서, 제어 신호가 생성되어 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)로 전송되어 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)가 N-번째 스테이지로의 다상 전력의 공급을 억제하도록 할 수 있다. 제어 신호는 EMP 제어 시스템(150)에 의해 생성 및 전송될 수 있다. 제어 신호는 N-번째 다상 전원 공급 장치(144-N)가 다단 ALIP(120)의 N-번째 스테이지에 대한 다상 전력의 공급을 억제하도록 할 수 있다.

[0159] 도 8에 도시된 방법의 동작 중 임의의 동작은 임의의 순서로 수행될 수 있고, S802-1 내지 S802-n 중 임의로 수행되는 동작은 동시에 수행되는 것을 포함하여 서로에 대해 임의의 순서로 수행될 수 있음을 이해할 것이다. 예를 들어, 방법은 제1 스테이지에 대한 제1 다상 전력의 공급을 유지하면서(예를 들어, S816-1 = 아니오), S818-N에서 제2 스테이지에 대한 제2 다상 전력의 공급을 억제하는 단계를 포함할 수 있다. 다른 예에서, 방법은 제1 스테이지에 공급되는 제1 다상 전력의 주파수와 독립적으로, S810-N에서 제2 스테이지에 공급되는 제2 다상 전력의 주파수, 또는 제1 스테이지에 공급되는 제1 다상 전력의 전류와 독립적으로, S814-N에서 제2 스테이지에 공급되는 제2 다상 전력의 전류 중 적어도 하나를 조정하는 단계를 포함할 수 있다. 다른 예에서, 방법은 제1 및 제2 다상 전력 공급(예컨대, S802-1 또는 S802-N 중 어느 하나)을 서로 독립적으로 동시에 조정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0160] 일부 예시적인 실시예에서, 동작들(S802-1 내지 S802-N) 중 임의의 동작의 동작들(S804 내지 S818)은 서로 독립적으로 수행될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP의 스테이지 중 하나를 제어하는 동작(예를 들어, S804-N 내지 S818-N 중 하나)은 다단 ALIP의 스테이지 중 다른 하나에 수행되는 동작(예를 들어, S804-1 내지 S818-1 중 하나)을 기초로 수행될 수 있다. 예를 들어, 일부 예시적인 실시예에서, 동일한 다단 ALIP의 제1 스테이지를 "작동 오프"하기 위해(예를 들어, 다단 ALIP를 저유량 모드로 전환하기 위해) 제1 스테이지로의 전력 공급을 억제하기 위한 S816-1에서의 결정에 대응하여 N-번째 스테이지에 공급되는 전력의 주파수를 조정하기 위한 결정이 S808-N 및 S810-N에서 이루어질 수 있다.

[0161] 일부 예시적인 실시예에서, 도 8에 도시된 결정 및/또는 동작 각각은 사용자 인터페이스(예를 들어, 키보드, 버튼, 터치스크린, 마우스 등) 및/또는 통신 인터페이스(예를 들어, 무선 네트워크 통신 수신기)를 통한 입력 명령의 수신에 응답하여 및/또는 하나 이상의 센서 장치(예를 들어, 센서(192)는, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120)를 통해 액체 금속 냉각재(190)의 유량을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구

성될 수 있는 하나 이상의 벤츄리 유량계와 같은 하나 이상의 유량계, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120) 내의 하나 이상의 위치에서 액체 금속 냉각재(190)의 압력을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 압력 센서 등일 수 있다)로부터 수신되는 센서 데이터를 처리하는 것에 응답하여 수행될 수 있다.

[0162] 일부 예시적인 실시예에서, 다단 ALIP(120)의 스테이지에 공급되는 다상 전력의 주파수 및/또는 전력 진폭의 조정 단계는 특정 주파수 및/또는 전력 진폭을 결정하고, 다상 전력 공급 장치가 특정 주파수 및/또는 전력 진폭을 갖는 다상 전력을 스테이지에 공급하게 하도록 다상 전력 공급 장치를 제어하는 단계를 포함할 수 있다. 특정 주파수 및/또는 전력 진폭을 결정하는 단계는 스테이지에 공급될 다상 전력의 특정 주파수 및/또는 전력 진폭을 지정하는 입력 명령을 수신하는 것에 응답하여 및/또는 하나 이상의 센서 장치(예를 들어, 센서(192)는, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120)를 통해 액체 금속 냉각재(190)의 유량을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 벤츄리 유량계와 같은 하나 이상의 유량계, 흡입 라인(121), 복귀 라인(124) 및/또는 다단 ALIP(120) 내의 하나 이상의 위치에서 액체 금속 냉각재(190)의 압력을 나타내는 센서 데이터를 생성하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 압력 센서 등일 수 있다)로부터 수신되는 센서 데이터를 처리하는 것에 응답하여 수행될 수 있다.

[0163] 입력 명령 및/또는 센서 데이터는 적어도 다단 ALIP(120)를 통한 액체 금속 냉각재의 원하는 또는 목표 유량 및/또는 압력 상승 분포, 적어도 다단 ALIP(120) 및/또는 1차 냉각재 루프(119)를 통한 액체 금속 냉각재의 실제 유량 및/또는 압력 상승 분포 등을 결정하기 위해 처리될 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 실제 유량 및/또는 압력 상승 분포가 센서 데이터를 처리하는 것을 기초로 결정되는 경우, 목표 유량 및/또는 압력 상승 분포는 실제 유량 및/또는 압력 상승 분포를 메모리 및/또는 데이터베이스에 저장될 수 있는 원하는, 임계 또는 목표 유량 및/또는 압력 상승 분포와 비교하는 것을 기초로 결정될 수 있다. 비교 단계는 실제 유량 및/또는 압력 상승 분포가 하나 이상의 임계 유량 및/또는 압력 상승 분포를 초과한다는 결정을 기초로 새로운 목표 유량 및/또는 압력 상승 분포를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0164] 특정 주파수 및/또는 전력 진폭을 결정하는 단계는 예를 들어, 입력 명령 및/또는 수신된 센서 데이터의 처리에 응답하여(예를 들어, 적어도 다단 ALIP(120) 및/또는 1차 냉각재 루프(119)를 통한 액체 금속 냉각재의 원하는, 목표 및/또는 실제 유량 및/또는 압력 상승 분포 등을 결정하는 것에 응답하여), 연관된 액체 금속 냉각재(190) 유량 및/또는 압력 상승 분포를 구현하도록, 다단 ALIP 내의 실제, 목표 및/또는 원하는 액체 금속 냉각재(190) 유량 및/또는 압력 상승 분포와 다단 ALIP의 스테이지 중 하나 이상 또는 모두에 공급될 다상 전력의 특정 파라미터(예를 들어, 주파수 및/또는 전력 진폭, 개시 상태 또는 억제 상태 등)를 연관시키는 경험적으로 생성된 룩업 테이블에 액세스하는 단계를 포함할 수 있다. 일부 예시적인 실시예에서, 룩업 테이블은 원하는 및/또는 목표 액체 금속 유량 및/또는 압력 상승 분포를 구현하도록 하나 이상의 특정 다상 전원 공급 장치에 의해 다단 ALIP의 스테이지 중 대응하는 하나 이상 또는 전부로 공급될 다상 전력의 특정 파라미터(예, 주파수 및/또는 전력 진폭, 개시 상태 또는 억제 상태 등)를 식별하기 위해 다단 ALIP(120)에서 원하는, 목표 및/또는 실제 액체 금속 냉각재(190) 유량 및/또는 압력 상승 분포의 입력을 수신하는 것에 응답하여 액세스될 수 있다. 원하는 및/또는 목표 액체 금속 유량 및/또는 압력 상승 분포를 구현하는 동작(S802-1 내지 S802-N) 중 임의의 동작 중의 동작(S804 내지 S818)은 하나 이상의 특정 다상 전원 공급 장치로 제어 신호를 전송하여 하나 이상의 특정 다상 전원 공급 장치로 하여금 원하는 및/또는 목표 액체 금속 유량 및/또는 압력 상승 분포를 구현하도록 하나 이상의 특정 다상 전원 공급 장치에 의해 다단 ALIP의 스테이지 중 대응하는 하나 이상 또는 전부로 공급될 다상 전력의 특정 파라미터(예, 주파수 및/또는 전력 진폭, 개시 상태 또는 억제 상태 등)에 따라 상기 다단 ALIP의 스테이지 중 대응하는 하나 이상 또는 전부로 공급되는 다상 전력을 조정하도록 하는 단계를 포함할 수 있다.

[0165] 도 9는 일부 예시적인 실시예에 따라 원자로 내에서의 액체 금속 냉각재 유량 제어를 개선하기 위한 원자로 구성 방법을 설명하는 흐름도이다. 구성은 도 1에 도시된 원자로(110)를 포함하여, 본원에 포함되는 원자로의 임의의 예시적인 실시예와 관련하여 구현될 수 있다.

[0166] S902에서, 구성(900)은 원자로 압력 용기(111) 내의 1차 냉각재 루프(119)에 다단 ALIP(120)를 설치하는 단계를 포함할 수 있다. 다단 ALIP(120)는 임의의 예시적인 실시예에 따른 다단 ALIP(120) 중 임의의 것일 수 있다. 설치하는 인간 작업자에 의해 구현될 수 있다. 이러한 설치하는 다단 ALIP(120)의 입구(122)를 1차 냉각재 루프(119)의 흡입 라인(121)에 연결하고, 다단 ALIP(120)의 출구(123)를 1차 냉각재 루프(119)의 복귀 라인(124)에 연결하는 것을 포함할 수 있다. 설치하는 다단 ALIP(120)의 펌프 케이싱(302)을 원자로(110)의 구조적 지지 부재에 연결하여 다단 ALIP(120)를 원자로 압력 용기(111), 노심 입구 플레넘(118), 원자로 노심(112), 1차 열교환

기(114), 흡입 저장소(116) 또는 이들의 임의의 조합에 구조적으로 연결하는 것을 포함할 수 있다.

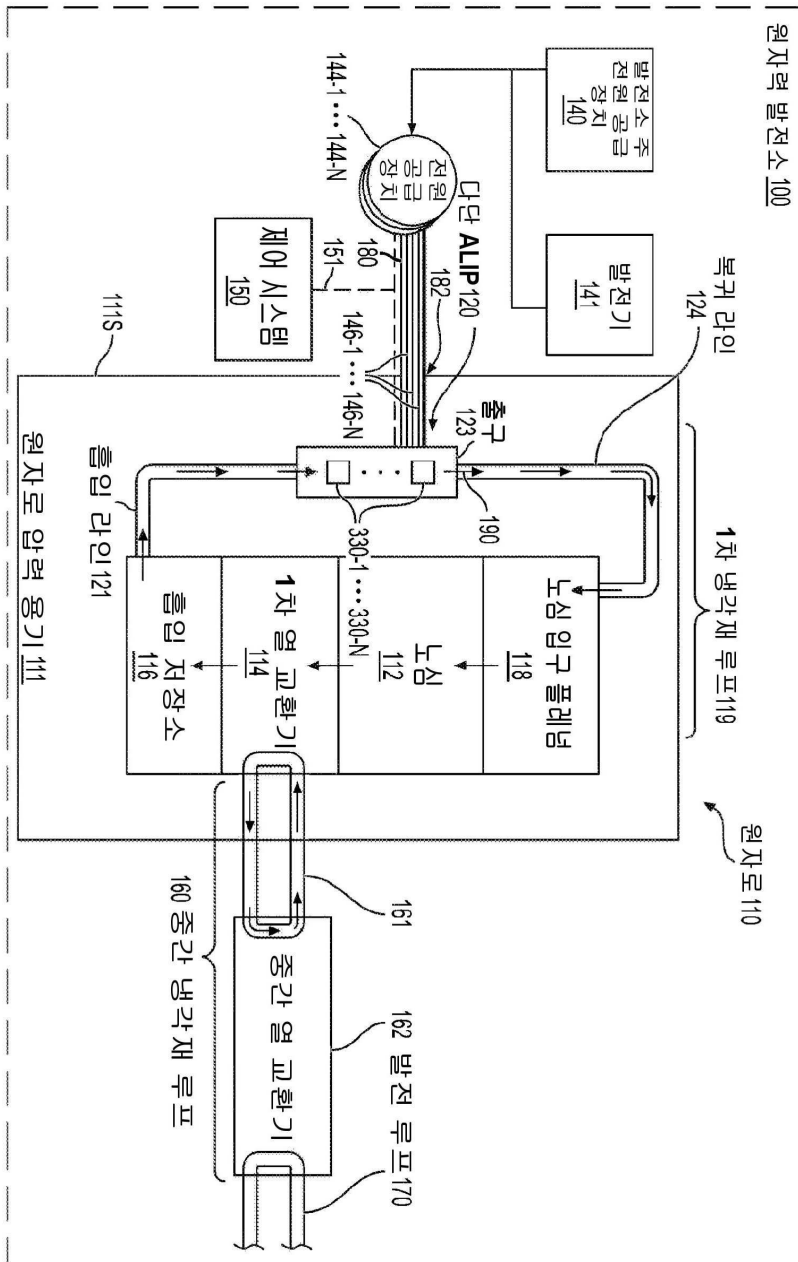
[0167] S904에서, 구성(900)은 다단 ALIP(120)를 다단 ALIP(120)의 N개 스테이지에 대응하는 복수의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 전기적으로 결합하여 다단 ALIP(120)의 N개 스테이지를 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)의 별도의 각각의 전원 공급 장치에 전기적으로 연결하는 것을 포함할 수 있다. 결합은 인간 작업자에 의해 구현될 수 있다. S904에서의 전기적 결합은 다단 ALIP(120)의 유도 코일(320)의 세트(320-1 내지 320-N)를 별도의 각각의 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)에 전기적으로 연결하는 것을 포함할 수 있고, 여기서 별도의 각각의 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)은 단일 전원 공급 전도체(180) 또는 연장 코드를 통해 다단 ALIP(120)에서 적어도 원자로 압력 용기(111)의 외부로 원자로 압력 용기(111)의 외벽(111S)을 관통하는 단일 관통부(182)를 통해 연장된다. 각각의 다상 전원 케이블(146-1 내지 146-N)은 별도의 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)를 다단 ALIP(120)의 개별 스테이지에 연결하도록 구성될 수 있다.

[0168] S906에서, 구성(900)은 다단 ALIP(120)를 하나 이상의 EMP 제어 시스템에 결합(예를 들어, 전기적 결합 및/또는 통신적 결합)하는 것을 포함할 수 있다. 결합은 인간 작업자에 의해 구현될 수 있다. 결합은 하나 이상의 통신 라인을 통해 다단 ALIP(120)를 EMP 제어 시스템(150)의 하나 이상의 부분에 통신 가능하게 결합하여 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)를 EMP 제어 시스템(150)에 전기적으로 결합함으로써 EMP 제어 시스템(150)을 하나 이상의 통신 라인, 전력 라인 등을 통해 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)를 통해 다단 ALIP(120)에 간접적으로 통신 가능하게 결합하는 것을 포함할 수 있다. EMP 제어 시스템(150)은 명령어 프로그램을 저장하는 메모리(예컨대, 반도체 기반의 드라이브 또는 SSD), 및 개별적인 각 다상 전원 공급 장치(144-1 내지 144-N)에 의해 공급되는 다상 전력을 독립적으로 제어하는 것을 기초로 복수의 스테이지 중의 각 스테이지를 독립적으로 제어하도록 명령어들의 프로그램을 실행하도록 구성된 프로세서(예컨대, 중앙 프로세서 유닛 또는 CPU)를 포함할 수 있다.

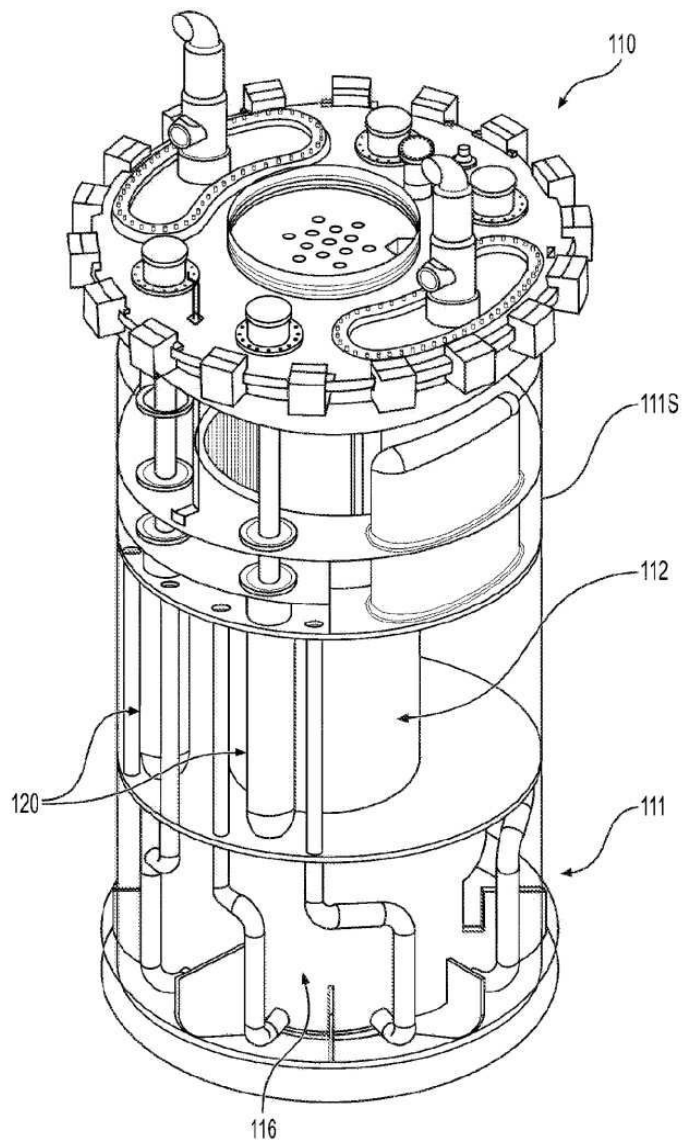
[0169] 본 명세서에 다수의 예시적인 실시예들이 개시되었지만, 다른 변형례가 가능할 수 있다는 것을 이해해야 한다. 이러한 변형례는 본 개시 내용 내용의 취지 및 범위에서 벗어나는 것으로 간주해서는 안되며, 당업자에게 자명할 수 있는 모든 변형례는 이어지는 청구범위의 범위 내에 포함되도록 의도된 것이다. 또한, 본 명세서에 프로세스가 개시되었지만, 설명된 프로세스의 요소들은 요소들의 다른 선택, 이들의 일부 조합 등을 이용하여 상이한 순서로 구현될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 예를 들어, 개시된 프로세스의 일부 예시적인 실시예는 예시되고 설명된 프로세스보다 적은 수의 요소를 사용하여 구현될 수 있고, 개시된 프로세스의 일부 예시적인 실시예는 예시되고 설명된 프로세스보다 더 많은 요소를 사용하여 구현될 수 있다.

도면

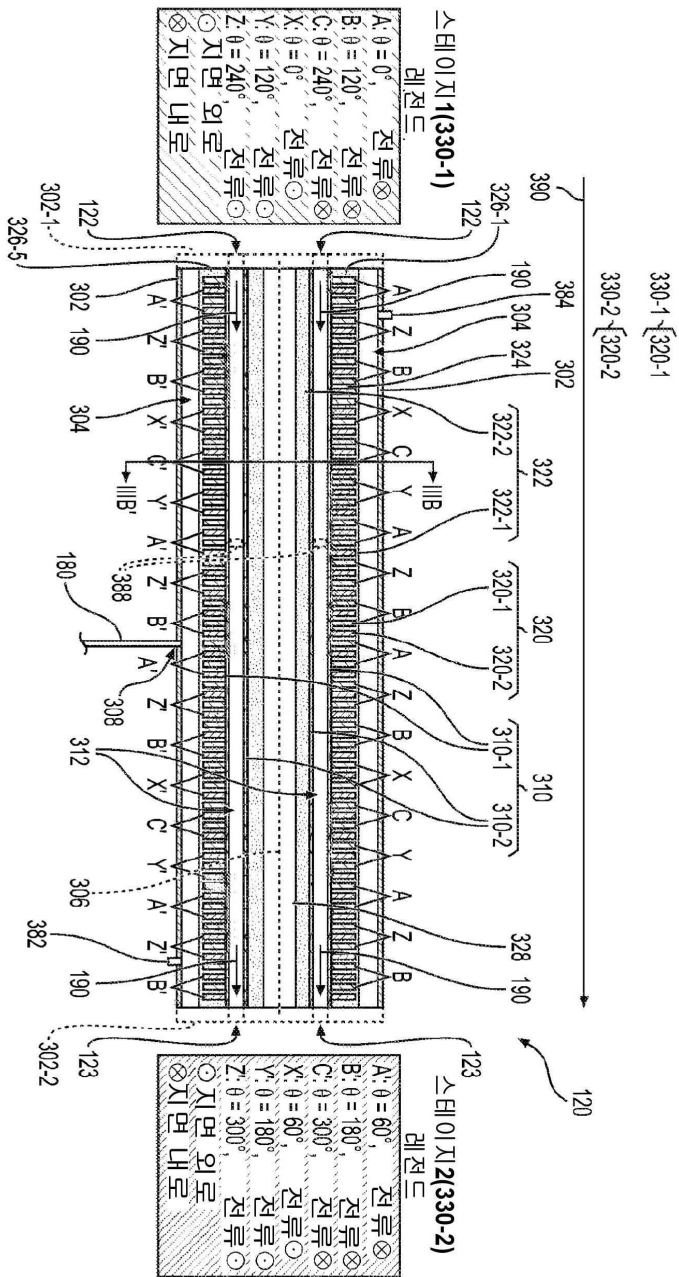
도면1



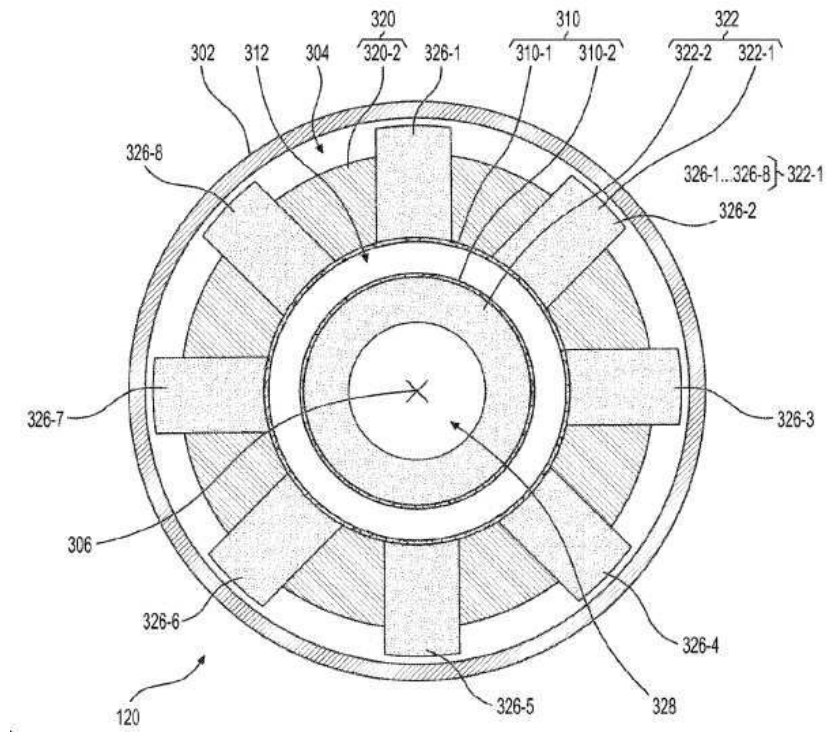
도면2



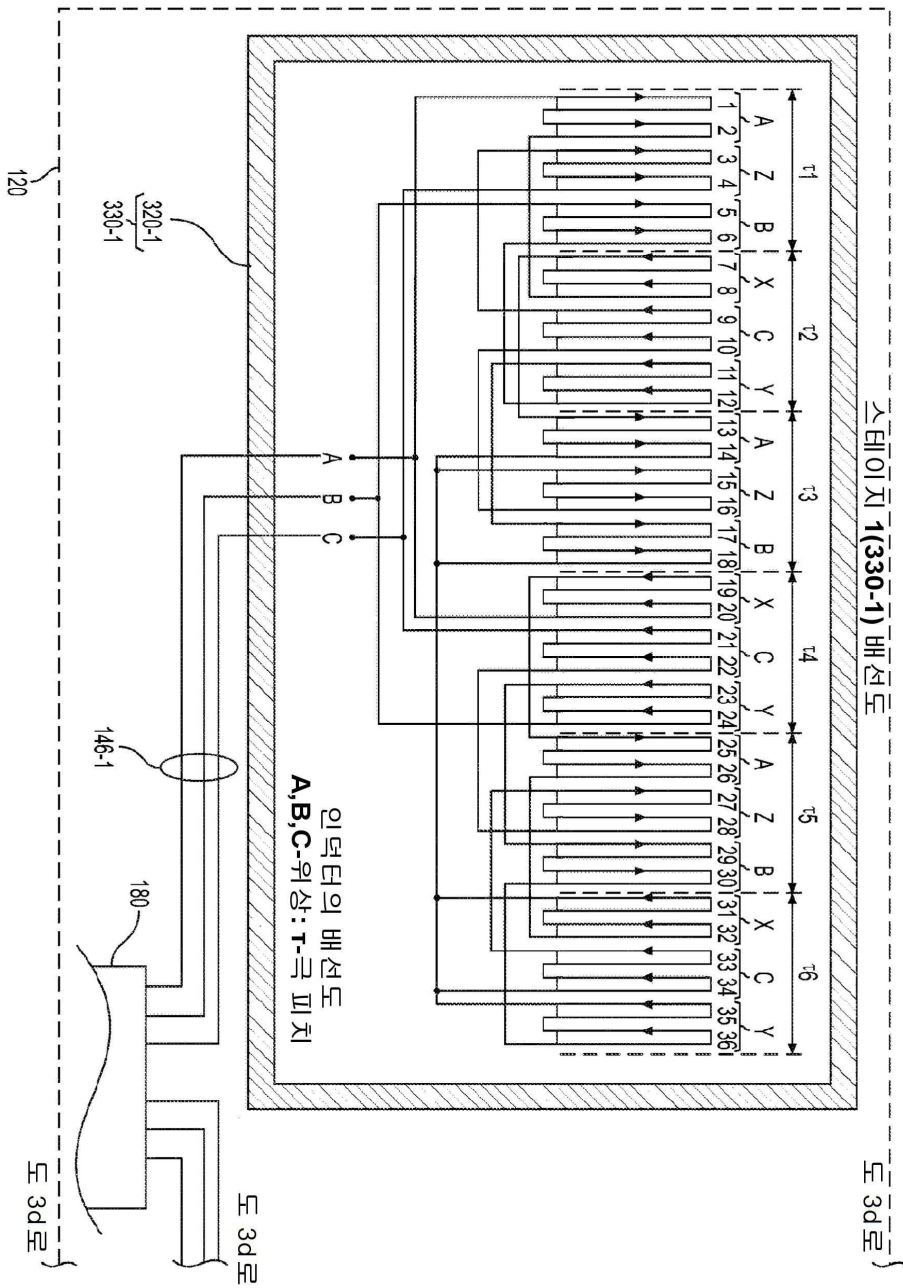
도면3a



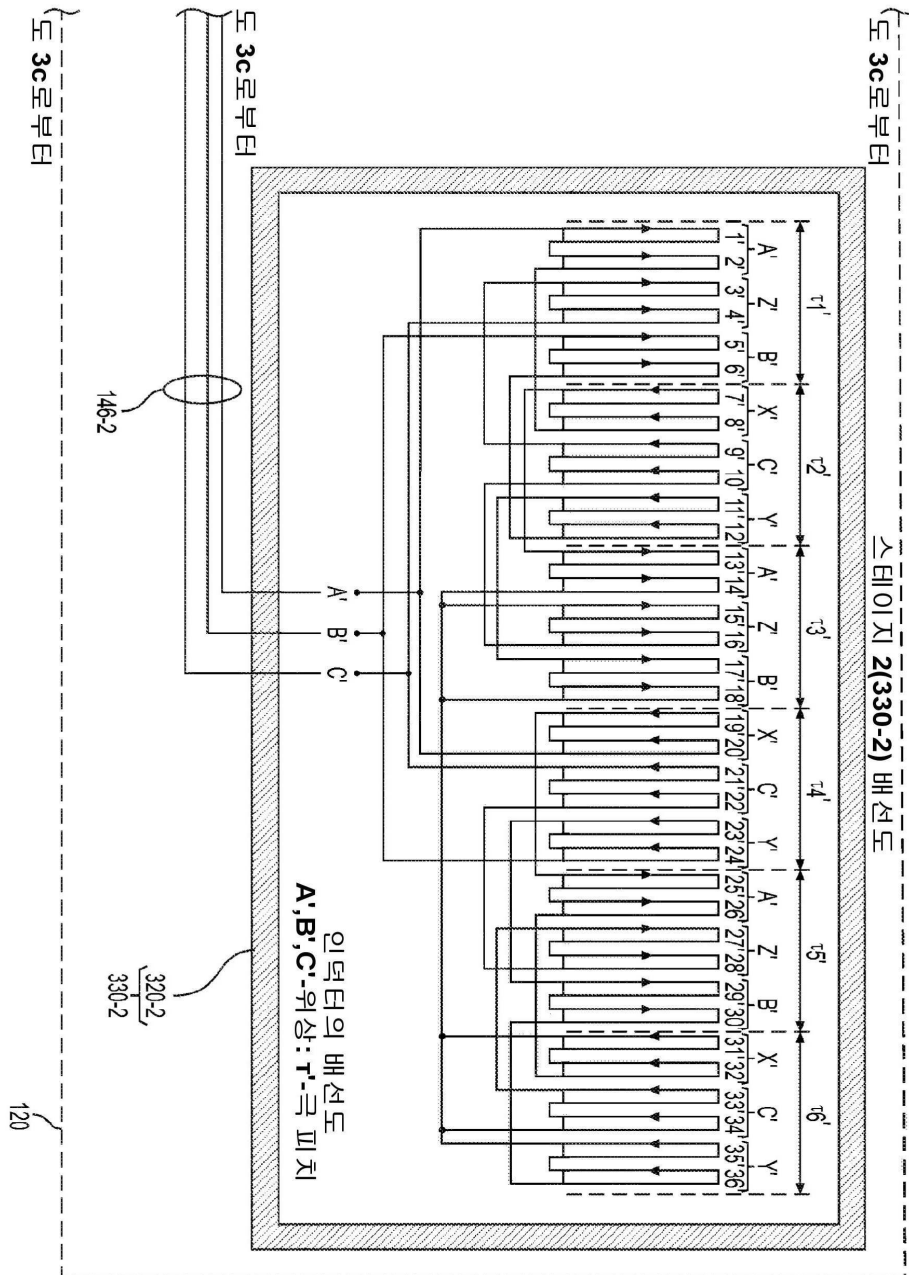
도면3b



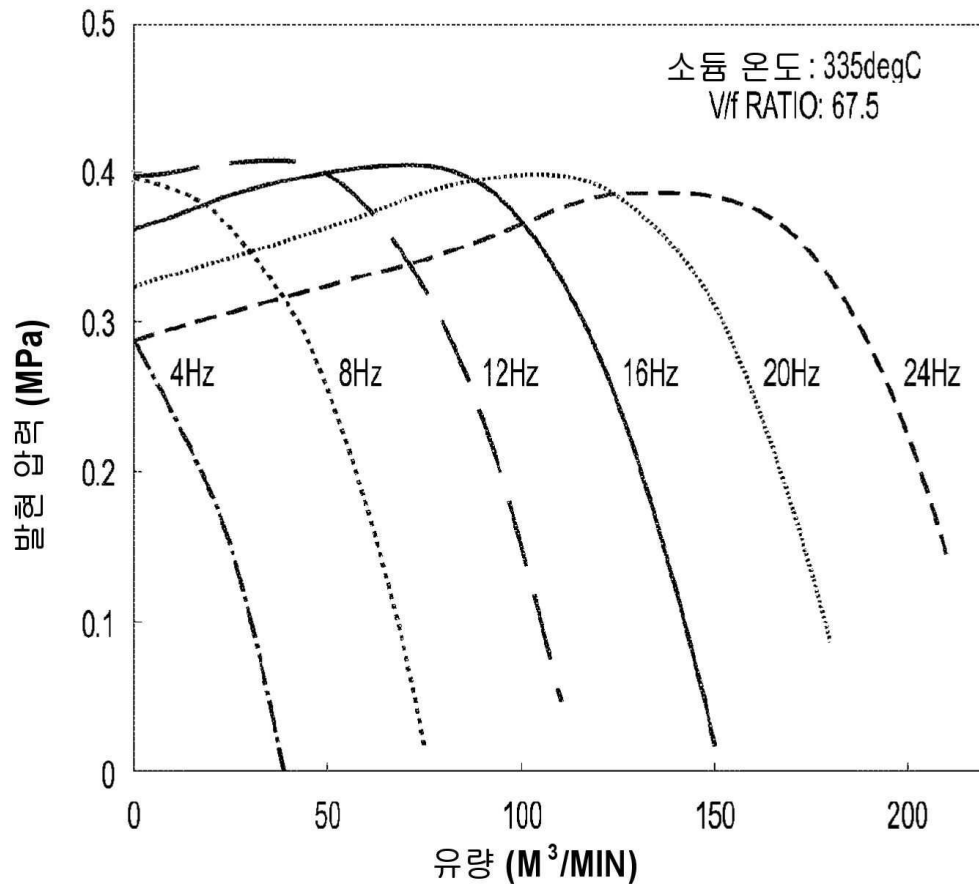
도면3c



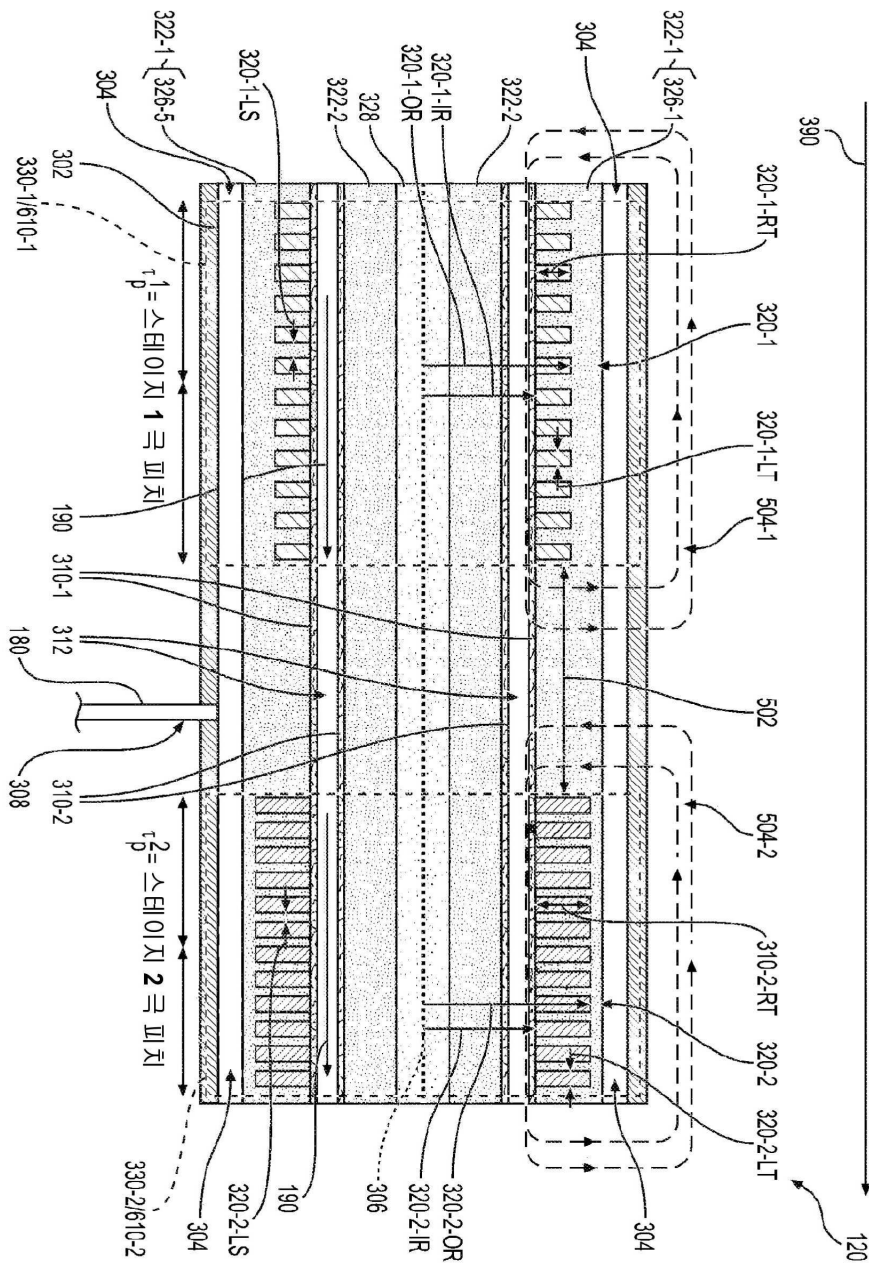
도면3d



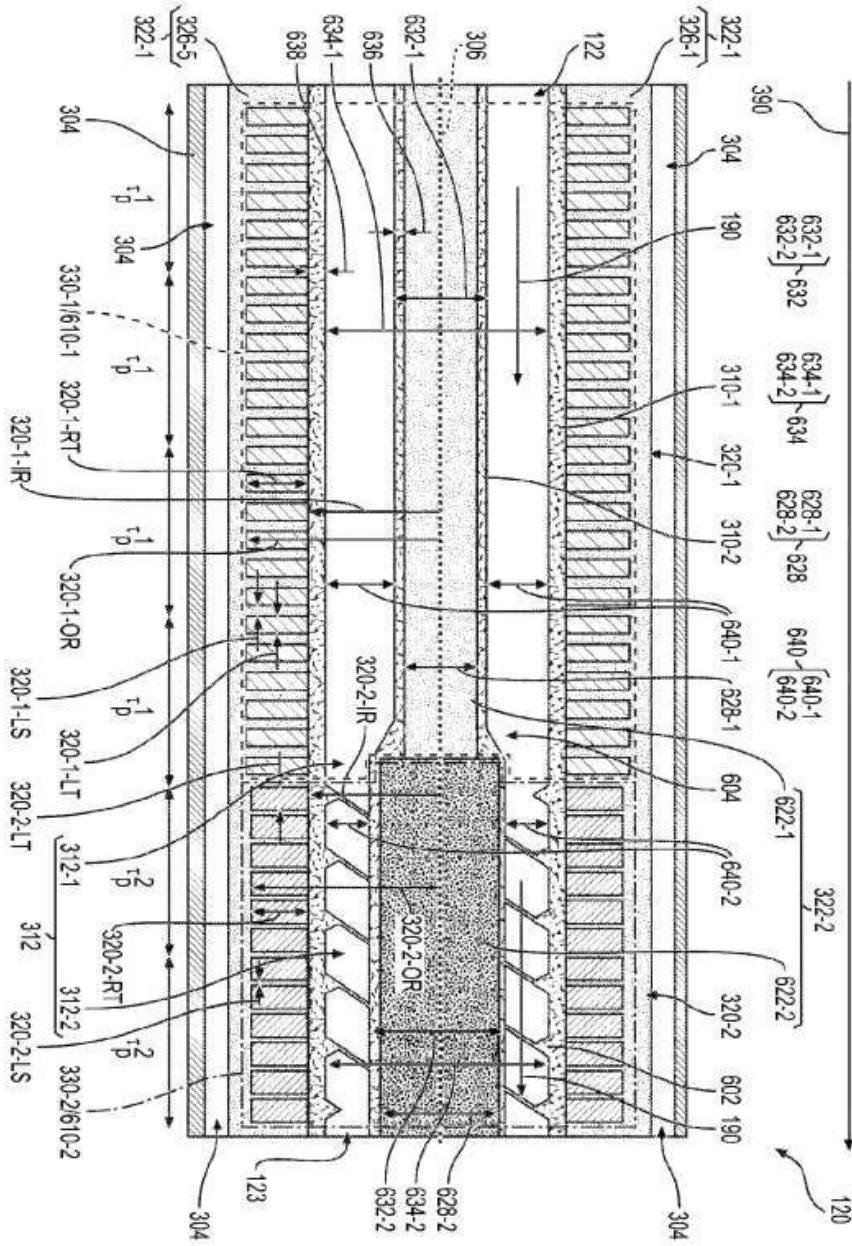
도면4



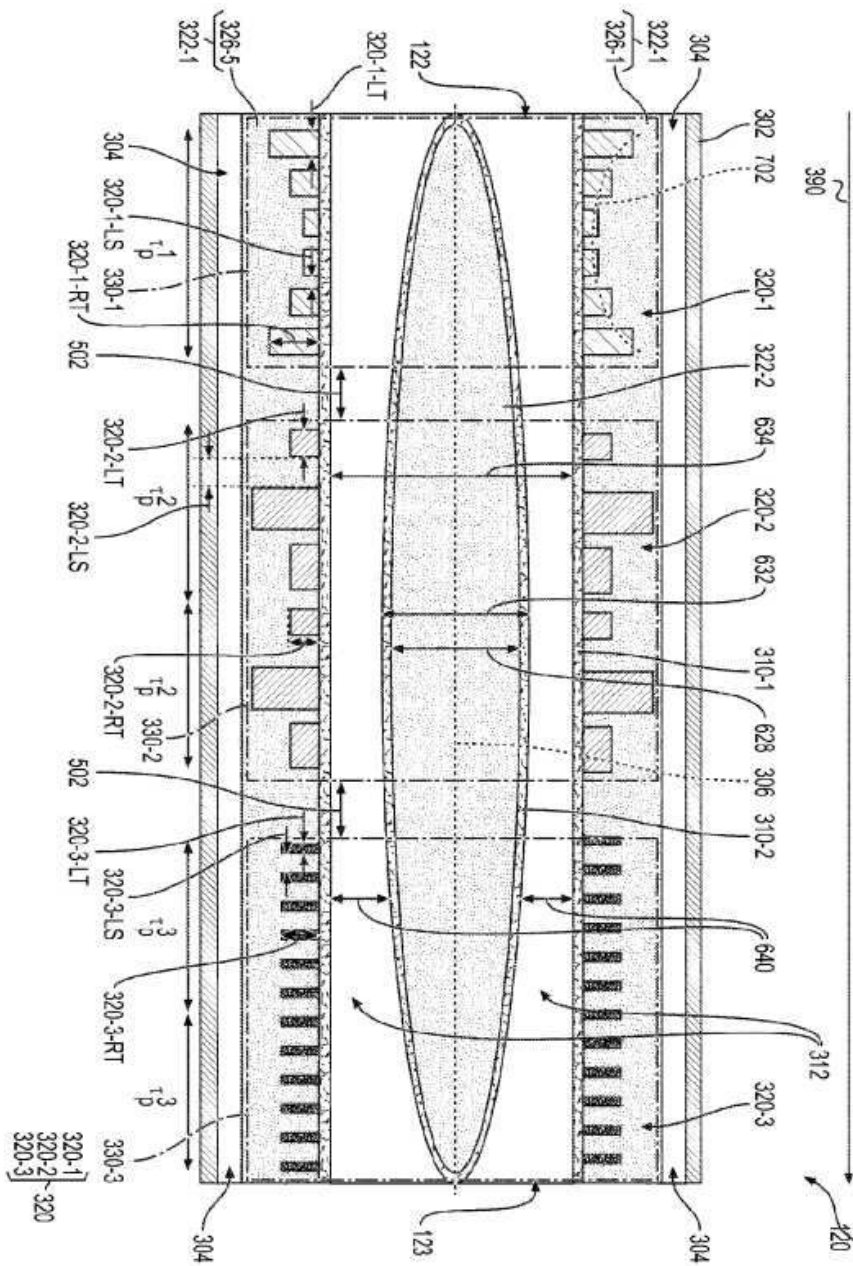
도면5



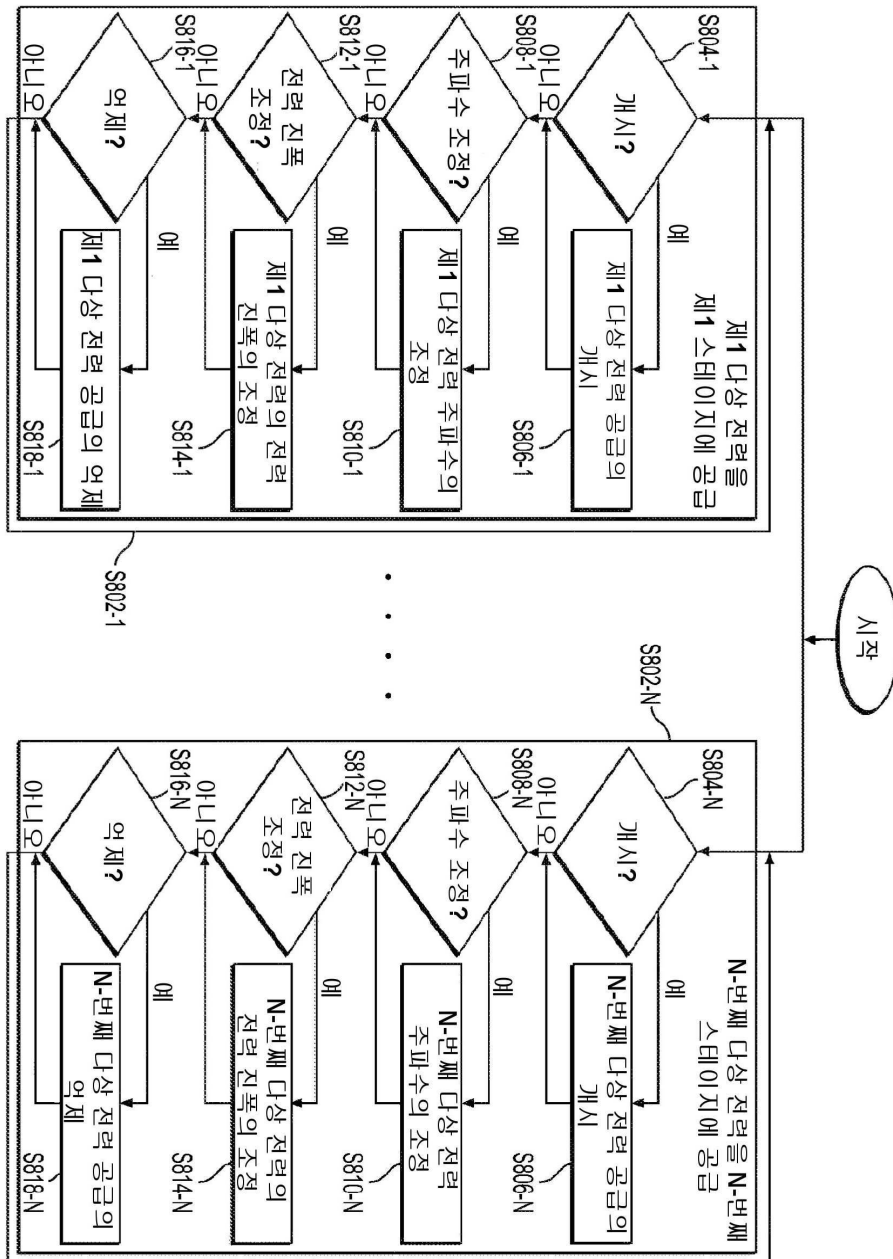
도면6



도면7



도면8



도면9

