



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

(45) 공고일자 2010년04월09일  
(11) 등록번호 10-0952247  
(24) 등록일자 2010년04월02일

- (51) Int. Cl.  
H05H 7/18 (2006.01) H05H 7/14 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2008-7004283
- (22) 출원일자 2005년10월31일  
심사청구일자 2008년02월22일
- (85) 번역문제출일자 2008년02월22일
- (65) 공개번호 10-2008-0027963
- (43) 공개일자 2008년03월28일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2005/019990
- (87) 국제공개번호 WO 2007/034573  
국제공개일자 2007년03월29일
- (30) 우선권주장  
JP-P-2005-00277426 2005년09월26일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌  
JP평성11273898 A  
JP평성07263196 A  
US5179350 A  
US6066927 A

- (73) 특허권자  
독립행정법인 방사선 의학 종합연구소  
일본국 시바켄 시바시 이나게쿠 아나가와 4-9-1
- (72) 발명자  
이와타 요시유키  
일본국 시바켄 시바시 이나게쿠 아나가와 4-9-1  
독립행정법인방사선 의학 종합연구소 내  
야마다 사토루  
일본국 시바켄 시바시 이나게쿠 아나가와 4-9-1  
독립행정법인방사선 의학 종합연구소 내
- (74) 대리인  
특허법인태평양

전체 청구항 수 : 총 11 항

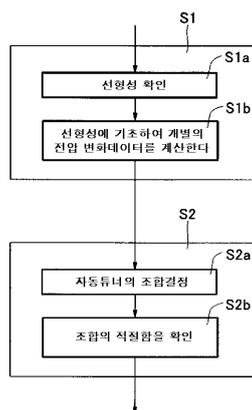
심사관 : 김기완

**(54) H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기 및 그 설계 방법**

**(57) 요약**

적어도 하나의 튜너에 대하여, 튜너 삽입량에 대한 전압 변화의 선형성을 확인하고, 전압 변화의 선형성에 기초하여 모든 튜너에 대해, 개개의 삽입량에 대한 개별의 전압 변화 데이터를 비례 계산에 의해 구하고, 개별의 전압 변화 데이터를 이용하여 자동 튜너와 삽입량의 조합을 결정하고, 조합이 적정한지의 여부를 직접 3차원 전자장 계산에 의해 확인한다. 조합의 결정은 선택한 튜너의 개별 전압 변화 데이터를 결합하고 이들 튜너에 의한 전압 변화를 서로 상쇄하여 전체의 전압 분포가 실질적으로 변화하지 않도록 하는 것에 의해 행한다.

대표도 - 도16



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

공진기 내부에 발생하는 TE과(H 모드)를 이용한 H 모드·드리프트 튜브(drift-tube) 선형 가속기의 설계 방법에 있어서,

공진기의 축 방향에 배치된 복수의 튜너 중에서 적어도 2개의 튜너를 선택하고, 이들 튜너의 공진기 축방향의 위치와 그 공진기 내부로의 삽입량의 조합을 이용하여, 공진기내의 전압 분포를 변경하지 않고 주파수만을 변경하도록 자동 튜너를 선정하는 것을 특징으로 하는 선형 가속기의 설계 방법.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서,

상기 자동 튜너의 선정은,

튜너 삽입량과 전압 변화 사이의 일정한 관계에 기초하여, 상기 복수의 튜너에 대해 개개의 삽입량에 대한 개별의 전압 변화 데이터를 계산 내지 측정하고,

상기 개별의 전압 변화 데이터를 이용하여 자동 튜너와 삽입량의 조합을 결정하는 단계를 포함하는 것으로 하는 선형 가속기의 설계 방법.

**청구항 3**

청구항 2에 있어서,

상기 튜너 삽입량과 전압 변화 사이의 일정한 관계를 확인하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 선형 가속기의 설계 방법.

**청구항 4**

청구항 2 또는 청구항 3에 있어서,

상기 결정한 조합이 적정한지의 여부를 확인하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 선형 가속기의 설계 방법.

**청구항 5**

청구항 2 또는 청구항 3에 있어서,

상기 일정한 관계가 튜너 삽입량과 전압 변화의 선형 관계이고, 상기 선형 관계에 기초하여, 복수의 튜너에 대하여 비례 계산에 의해 개개의 삽입량에 대한 개별의 전압 변화 데이터를 계산하는 것을 특징으로 하는 선형 가속기의 설계 방법.

**청구항 6**

청구항 2 또는 청구항 3에 있어서,

상기 자동 튜너와 삽입량의 조합을 결정하는 단계는 상기 선택한 튜너의 개별 전압 변화 데이터를 합산하고, 이들 튜너에 의한 전압 변화를 서로 상쇄하여 전체의 전압 분포가 실질적으로 변화하지 않는 것과 같은 조합에 의해 결정하는 것을 특징으로 하는 선형 가속기의 설계 방법.

**청구항 7**

공진기 내부에 발생하는 TE과(H 모드)를 이용한 H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기로서, 공진기의 축 방향에 배치된 복수의 튜너 중 일부를 자동 튜너로서 이용하는 선형 가속기에 있어서,

상기 자동 튜너가 상기 복수의 튜너 중으로부터 선택된 적어도 2개의 튜너로 이루어지고, 또한 상기 적어도 2개의 튜너가 이 튜너의 공진기 축 방향의 위치와 그 공진기 내부로의 삽입량의 조합을 이용하여, 공진기내의 전압 분포를 변경하지 않고 주파수만을 변경하도록 선정된 것인 것을 특징으로 하는 선형 가속기.

**청구항 8**

청구항 7에 있어서,

상기 선정된 적어도 2개의 자동 튜너 상호의 삽입량 비율을 변경하지 않고 삽입량을 조절하는 삽입량 조절 수단을 구비하는 것을 특징으로 하는 선형 가속기.

**청구항 9**

청구항 8에 있어서,

상기 삽입량 조절 수단이 상기 적어도 2개의 자동 튜너 상호의 삽입량 비율을 기억하는 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 선형 가속기.

**청구항 10**

공진기 내부에 발생하는 TE과(H 모드)를 이용한 H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기의 설계 방법에 있어서 자동 튜너의 선정 방법으로서,

공진기의 축 방향에 배치된 복수의 튜너 중에서 적어도 2개의 튜너를 선택하고, 이들 튜너의 공진기 축 방향의 위치와 그 공진기 내부로의 삽입량의 조합을 이용하여, 공진기내의 전압 분포를 변경하지 않고 주파수만을 변경하도록 자동 튜너를 선정하는 것을 특징으로 하는 자동 튜너의 선정 방법.

**청구항 11**

공진기 내부에 발생하는 TE과(H 모드)를 이용한 H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기에 이용되는 자동 튜너로서, 공진기의 축 방향에 배치된 복수의 튜너 중에서 적어도 2개의 튜너를 선택하고, 이들 튜너의 공진기 축 방향의 위치와 그 공진기 내부로의 삽입량의 조합을 이용하여, 공진기내의 전압 분포를 변경하지 않고 주파수만을 변경하도록 선정된 자동 튜너의 조절 방법에 있어서,

상기 선정된 자동 튜너 상호의 삽입량 비율을 변경하지 않고 삽입량을 조절하는 것을 특징으로 하는 자동 튜너의 조절 방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 공진기 내부에 발생하는 TE과(H 모드)를 이용한 H 모드·드리프트 튜브(drift-tube) 선형 가속기 및 그 설계 방법에 관한 것이고, 특히 선형 가속기의 설계 방법에 있어서 자동 튜너(tuner)의 선정 방법 및, 그 선정 방법에 의해 선정된 자동 튜너의 조절 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 빔 축에 대해 수직으로 전류가 흐르는 TE과(H 모드)를 이용하여 전하 입자를 가속하는 드리프트 튜브 선형 가속기를 H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기라 부른다. H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기에서는 공동(空洞) 공진기내에, 그 빔 축에 따라 다수의 드리프트 튜브가 배열되어 있고, 각각 인접하는 드리프트 튜브 사이의 갭에 소정의 전압이 발생하고 있고, 입자가 드리프트 튜브내를 통과할 때마다 그 전압에 의해 차례로 가속되도록 되어 있다.

[0003] H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기 중, Interdigital H-mode(IH)형 공진기를 이용한 선형 가속기를 IH형 선형 가속기라 부른다. 대표적인 IH형 공진기는 원통형의 공진기 내부에 상하(대향 방향에) 2매의 릿지(ridge)라고 불리는 판이 장착되어 있는 구조를 가진다(릿지는 없어도 됨). 이들 릿지에는 스템(stem)을 통하여 복수개의 드리프트 튜브가 상하 번갈아 장착되어 축 방향으로 배열되어 있다. 입자는 이들의 드리프트 튜브내를 통과하여 축 방향으로 진행한다.

[0004] 선형 가속기에서는 공진기의 공동 전체의 공진 주파수나 전압 분포를 조정 하기위해 튜너가 마련되어 있다. 전압 분포 및 공진 주파수의 거친(粗) 조정은 공진기의 탱크 측벽에 마련된 복수개의 고정 튜너를 이용하여 행해진다. 이들 고정 튜너는 조정 후 용접(容接)되어 고정된다. 또한, 미세 조정은 수동 튜너가 이용되며 최종적인 공동의 전압이 결정된다.

[0005] 선형 가속기의 운전중에는 탱크(tank)의 열팽창 등에 의해 공진 주파수가 변화하는 경우가 있다. 자동 튜너는 이와 같은 온도 변화에 의한 공진 주파수의 변동을 운전중에 보정하는데 유효하다. 온도 변화 등에 의한 탱크측의 공진 주파수의 미소한 편차는 고주파 증폭기 출력의 진행과 성분과 탱크내에서 픽업한 모니터 신호의 위상차를 측정하는 것으로 구해진다. 측정된 위상차는 자동 주파수 조정 회로(AFC)에 의해 계산되고, 다시 미소한 공진 주파수의 편차를 보정하도록 자동 튜너가 구동된다.

[0006] H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기에서는 복수의 튜너가 이용되어 있고, 그 일부를 자동 튜너로서 이용하여 나머지를 수동 및 고정 튜너로서 이용하고 있다. 이들 튜너는 모두 후술하는 바와 같이 공진기 탱크의 외면에 축 방향으로 배치되고, 공진기 탱크의 측벽으로부터 선단부(先端部)를 공동내에 삽입하고, 공진기의 회로 정수를 변화시키는 것에 의해 공진 주파수 또는 전압 분포를 변경시키는 것이다. 공진기의 인덕턴스를 변화시키도록 구성된 것이 유도 튜너 즉 L 튜너이고, 공진기의 용량을 변화시키도록 구성된 것이 용량 튜너, 즉 C 튜너이다.

[0007] 자동 튜너로서는 전압 분포를 변경하지 않고 주파수만을 변경하는 기능이 요구된다. 그렇지만, 하나의 튜너의 위치를 변경하면, 공진기 전체의 전압 분포가 변경되는 경우가 있다. 이는 특히 IH형 선형 가속기에 있어서 현저하다는 것을 알 수 있다. 그 때문에 위치가 다른 복수의 튜너를 이용하여 전압 변화를 상쇄하여 전압 분포를 변경하지 않도록 할 필요가 있다. 공진기의 전압 분포는 공진기 전체의 구조에 의존하기 때문에, 전압 분포를 정확히 구하기 위해서는 3차원 전자장(電磁場) 계산을 행할 필요가 있다. 그렇지만, 튜너 삽입량과 전압 변화의 관계를 구하기 위해, 모든 튜너에 대해 삽입량을 세밀하게 변경하여 3차원 전자장 계산을 행하는 것은 많은 시간을 필요로 한다. 자동 튜너로서 적절한 튜너의 조합을 조사하기 위해, 이와 같은 3차원 계산을 반복하는 것은 현실적이지 않다.

[0008] 비특허 문헌1 : 일본 야마다 사토시(山田聰), 외 3명, 「중입자선 암 치료 장치 건설 종합 보고서」, 1995년 5월, 방사선 의학 종합 연구소

**발명의 상세한 설명**

[0009] 본 발명의 목적은 많은 시간을 필요로 하지 않고 자동 튜너로서 적절한 튜너의 조합을 조사하기 위한 방법을 제공하는 것이고, 또 그와 같은 방법에 의해 선정된 자동 튜너를 이용하여 선형 가속기를 설계하는 것 및 그와 같이 설계된 선형 가속기를 제공하는 것 및 선정된 자동 튜너의 조절 방법을 제공하는 것이다.

[0010] 본 발명의 한 특징에 의하면, 공진기 내부에 발생하는 TE과(H 모드)를 이용한 H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기의 설계 방법에 있어서, 공진기의 축 방향으로 배치된 복수의 튜너 중에서 적어도 2개의 튜너를 선택하고, 그들 튜너의 공진기 방향의 위치와 그 공진기 내부로의 삽입량의 조합을 이용하여, 공진기내의 전압 분포를 변경하지 않고 주파수만을 변경하도록 자동 튜너를 선정하는 것을 특징으로 하는 선형 가속기의 설계 방법이 제공된다.

[0011] 상기 자동 튜너의 선정은 튜너 삽입량과 전압 변화 사이의 일정한 관계에 기초하여 상기 복수의 튜너에 대해 개개의 삽입량에 대한 개별의 전압 변화 데이터를 계산 내지 측정하고, 상기 개별의 전압 변화 데이터를 이용하여 자동 튜너와 삽입량의 조합을 결정한다고 하는 단계를 포함하는 것이 바람직하다.

[0012] 상기 자동 튜너의 선정은 상기 튜너 삽입량과 전압 변화 사이의 일정한 관계를 확인하는 단계를 추가로 포함하는 것이 바람직하다.

[0013] 상기 자동 튜너의 선정은 상기 결정된 조합이 적정한지의 여부를 확인하는 단계를 추가로 포함하는 것이 바람직하다.

[0014] 본 발명의 다른 특징에 의하면, 튜너 삽입량과 전압 변화 사이의 일정한 관계가 튜너 삽입량과 전압 변화의 선형 관계가고, 상기 선형 관계에 기초하여 복수의 튜너에 대해, 비례 계산에 의하여 개개의 삽입량에 대한 개별의 전압 변화 데이터를 계산하도록 구성된다.

[0015] 본 발명의 또다른 특징에 의하면, 상기 자동 튜너와 삽입량의 조합을 결정하는 단계는 상기 선택한 튜너의 개별 전압 변화 데이터를 합산하고, 이들 튜너에 의한 전압 변화가 서로 상쇄되어 전체의 전압 분포가 실질적으로 변화하지 않는 것과 같은 조합에 의해 결정하도록 구성된다.

[0016] 본 발명의 또다른 특징에 의하면, 공진기 내부에 발생하는 TE과(H 모드)를 이용한 H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기로서, 공진기의 축 방향으로 배치된 복수의 튜너 중 일부를 자동 튜너로서 이용하는 선형 가속기에 있어서, 상기 자동 튜너가 상기 복수의 튜너 중에서 선택된 적어도 2개의 튜너로 이루어지고, 또한 상기 적어도 2개

의 튜너가 이 튜너의 공진기 축 방향의 위치와 그 공진기 내부로의 삽입량의 조합을 이용하여, 공진기내의 전압 분포를 변경하지 않고 주파수만을 변경하도록 선정된 것을 특징으로 하는 선형 가속기가 제공된다.

- [0017] 상기 선형 가속기는 상기 선정된 적어도 2개의 자동 튜너 상호의 삽입량 비율을 변경하지 않고 삽입량을 조절하는 삽입량 조절 수단을 구비하는 것이 바람직하다.
- [0018] 상기 삽입량 조절 수단은 상기 적어도 2개의 자동 튜너 상호의 삽입량 비율을 보존하는 수단을 포함하는 것이 바람직하다.
- [0019] 본 발명의 또다른 특징에 의하면, 공진기 내부에 발생하는 TE파(H 모드)를 이용한 H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기의 설계 방법에 있어서 자동 튜너의 선정 방법으로서, 공진기의 축 방향으로 배치된 복수의 튜너 중에서 적어도 2개의 튜너를 선택하고, 그들 튜너의 공진기 축 방향의 위치와 그 공진기 내부로의 삽입량의 조합을 이용하여, 공진기내의 전압 분포를 변경하지 않고 주파수만을 변경하도록 자동 튜너를 선정하는 것을 특징으로 하는 자동 튜너의 선정 방법이 제공된다.
- [0020] 본 발명의 또다른 특징에 의하면, 공진기 내부에 발생하는 TE파(H 모드)를 이용한 H 모드·드리프트 튜브 선형 가속기에 이용되는 자동 튜너로서, 공진기의 축 방향에 배치된 복수의 튜너 중에서 적어도 2개의 튜너를 선택하고, 이들 튜너의 공진기 축방향의 위치와 그 공진기 내부로의 삽입량의 조합을 이용하여, 공진기내의 전압 분포를 변경하지 않고 주파수만을 변경하도록 선정된 자동 튜너의 조절 방법에 있어서, 상기 선정된 자동 튜너 상호의 삽입량 비율을 변경하지 않고 삽입량을 조절하는 것을 특징으로 하는 자동 튜너의 조절 방법이 제공된다.

**실시예**

- [0059] 본 발명의 일 실시예에 있어서, IH 모드·드리프트 튜브 선형 가속기(IH-DTL)의 공진기의 최종 구조로서 16대의 튜너를 마련하고, 그 중의 몇 대를 자동 튜너로서 이용한다. 도 1은 IH 모드·드리프트 튜브 선형 가속기의 개념도이다. 이 선형 가속기는 진공 공동의 탱크(1)로 형성되는 공진기를 갖고, 탱크(1)의 외면에는 16대의 튜너(튜너 T1 ~ T16)가 입사단(2)으로부터 출사단(3)에 걸쳐서 축 방향으로 좌우 번갈아 배치되어 있다. 그리고, 탱크(1)의 내부에는 복수개의 드리프트 튜브(4)가 축 방향으로 배열되어 있다.
- [0060] 도 2, 도 3 및 도 5는 선형 가속기를 축 방향으로 직교하는 방향에 따른 개략 종단면도로 나타낸 것이다. 도 2 및 도 3에 나타낸 바와 같이 각 드리프트 튜브(4)는 릿지(5)를 통하여 탱크(1)의 상하의 내벽에 장착되어 있다. 그리고, 각 튜너 T는 탱크(1)의 측벽에 장착되어 있다. 튜너 T는 모두, 그 선단부(6)가 탱크(1)의 측벽을 통하여 공동내에 삽입되도록 되어 있다. 즉, 도 1의 튜너 T1 ~ T16는 동일한 구조를 갖는 튜너 T로 구성되고, 그 공진기에 있어서 축 방향 위치가 다른 것이다.
- [0061] 도 2는 선단부(6)를 삽입하고 있지 않은 상태, 즉 튜너 T를 가장 당긴 상태를 나타내고 있다. 또, 도 3은 선단부(6)를 공동내에 삽입한 상태를 나타내고 있다. 이 선단부(6)를 공동내에 삽입한 길이를, 도 4에 나타내는 바와 같이 삽입 길이 d로 한다. 도 4는 튜너의 선단부(6)가 탱크(1)의 측벽을 통하여 공동내로 삽입되어 있는 상태를 상세히 나타낸 것으로, 공진기와 튜너와의 결합부분을 공진기의 축 방향에 따른 횡단면도로 나타낸 것이다. 도 1에 나타낸 바와 같이 탱크(1)의 내경은 입사단(2)으로부터 출사단(3)에 걸쳐서 커지도록 만들어져 있다. 따라서, 도 4에 나타내는 바와 같이 튜너의 삽입 길이 d도, 입사측(도면의 하측)과 출사측(도면의 상측)에서 엄밀하게는 다르나, 본 발명의 실시예에서는 출사측의 길이를 삽입 길이 d로서 통일하여 이용한다.
- [0062] 또한, 본 발명에서는 튜너로서 이용하는 것은 유도성 튜너이거나 용량성 튜너이어도 된다. 도 2 ~ 도 4에 나타내는 튜너 T는 유도성 튜너(L 튜너)이고, 도 5에 나타내는 튜너 Tc는 용량성 튜너(C 튜너)이다. 용량성 튜너 Tc는 선단부(6)에 다시 로드(7)가 장착되고, 그 로드(7)의 선단에 도전판(8)이 장착되어 있다. 도전판(8)은 드리프트 튜브(4)를 덮도록 하여 상하의 릿지(5)의 일부까지 뺀어 있다. 용량성 튜너 Tc의 삽입량을 변경하는 것에 의해, 드리프트 튜브(4) 및 상하의 릿지(5)의 일부와 도전판(8) 사이의 간격이 변화하여 그 용량이 변화하고, 공진기내의 전압 분포 또는 공진 주파수를 조정할 수 있도록 되어 있다.
- [0063] 도 1에 나타내는 16대의 튜너 중, 일부를 자동 튜너로서 이용하고, 나머지를 수동 튜너로서 이용한다. 이 때, 자동 튜너로서 몇 대 필요한지, 또 어떤 튜너의 조합이 가장 적절한지를 조사한다. 이 검토는 이하의 순서로 행한다.
- [0064] (1) 튜너의 삽입량에 대한 전압 변화의 선형성을 확인한다.
- [0065] (2) 전압 변화의 선형성에 기초하여, 모든 튜너에 대해 개개의 삽입량에 대한 전압 변화 데이터를 계산한다.

- [0066] (3) 계산한 개별의 전압 변화 데이터를 이용하여 자동 튜너와 삽입량의 조합을 결정한다.
- [0067] (4) 결정한 자동 튜너와 삽입량의 조합이 적절한지의 여부를 직접 3차원 전자장 계산에 의해 확인한다.
- [0068] 튜너 삽입량과 전압 변화의 관계를 구하는데, 모든 튜너에 대하여 삽입량을 세밀하게 변경하여 3차원 전자장 계산을 행하는 것은 많은 시간을 필요로 한다. 튜너 삽입량에 대한 전압 변화가 선형이면, 어떤 삽입량에 대해서 전압 변화로부터 개개의 삽입량에 대한 전압 변화를 비례 계산에 의해 용이하게 구할 수 있다. 그 때문에, 이 실시예에 의하면 먼저 튜너 삽입량에 대한 전압 변화가 선형인지 여부의 확인을 행한다. 확인을 행한 다음, 모든 튜너에 대해 어떤 삽입량에 대한 전압 변화를 계산한다. 이것에 의해 개개의 튜너에 대해, 그 삽입량과 전압 변화의 관계를 구할 수 있다. 자동 튜너로서는 전압 분포를 변경하지 않고 주파수만을 변경하는 기능이 요구되므로, 축 방향 위치가 다른 복수의 튜너를 이용하여 상호의 전압 변화를 상쇄하여 전체의 전압 분포를 변경하지 않도록 할 필요가 있다. 그 때문에, 이 실시예에 의하면, 개개의 튜너를 삽입한 때의 전압 변화를 가감산하여, 복수의 튜너를 동시에 삽입한 때의 전압 변화를 예상한다. 즉, 개개의 튜너와 삽입량의 조합에 의해 자동 튜너를 결정한다. 최종적으로, 복수의 튜너를 동시에 삽입한 모델에 관하여 3차원 전자장 계산을 직접 행하고, 결정한 자동 튜너가 적절한지 여부의 확인을 행한다.
- [0069] 상기 실시예에 의하면, 본원 발명에 있어서 튜너 삽입량과 전압 변화와의 일정한 관계를 선형 관계로 한정하고 있으나, 본 발명에 의하면 그 관계를 이용하여 3차원 전자장 계산에 의한 데이터의 수집을 생략할 수 있는 것이면, 다른 일정한 관계도 이용할 수 있다. 또, 상기 실시예에 의하면, 순서 (1) 및 (4)에 있어서, 선형성의 확인 및 자동 튜너와 삽입량의 조합이 적절한지 여부의 확인을 행하고 있으나, 본 발명에 의하면 이 확인 수순을 생략해도 된다. 또한, 상기 실시예에서는 16대의 튜너의 모두에 대해, 튜너 삽입량과 전압 변화의 선형 관계를 이용하여 데이터의 수집을 행하고 있으나, 본 발명에 의하면 공진기의 모든 튜너가 아니고, 자동 튜너의 선택의 대상으로 해야 할 일부의 복수의 튜너만에 대하여 데이터를 수집해도 된다.
- [0070] 선형성의 확인
- [0071] 하나의 튜너에 대하여, 튜너를 삽입해 갔을 때에, 그 삽입량과 전압 변화의 관계가 선형인지의 여부를 확인한다. 구체적으로, 튜너의 삽입량을 변경하여 각각에 관해 3차원 전자장 계산을 행하여 전압 변화의 상태를 플롯(plot)한다. 본 발명에 의하면, 이 선형성의 확인의 계산을 적어도 하나의 튜너에 대해 행하나, 이 실시예에서는 이 계산을 튜너 T1에 관하여 행하였다. 튜너를 가장 당긴 상태(도 2 참조)로부터 10mm 삽입한 위치(삽입 길이 d=10mm의 위치)를 기준 위치로 하고, 그 기준 위치에 있어서 전압을 기준 전압 V로 하고, 그 기준 위치로부터 튜너를 출납해 갔을 때의 전압 변화  $\Delta V$ 를 기준 전압 V에 대한 백분율로서 플롯한 것이 도 6이다. 여기서, 상기 기준 위치로부터의 삽입량을 X로 하면, 이 실시예에서는  $d=10+X$ 의 관계에 있다. 이 기준 위치는 데이터의 수집을 위해 설정한 것이고, 본 발명에 의하면 이 기준 위치를 임의로 설정하여 데이터를 수집해도 된다. 따라서, 본 발명에 있어서 삽입량이란 일반적으로 이 삽입량 X를 말한다. 삽입량 X는 정부(正負)의 값을 갖고, 정인 경우는 튜너의 선단부를 기준 위치로부터 공동내에 삽입하는 경우를 나타내고, 부인 경우는 튜너의 선단부를 공동밖으로 이동하는 방향으로 기준 위치로부터 뺀 경우를 나타낸다.
- [0072] 도 6에 있어서, 횡축은 입사단으로부터 오름순으로 부여한 갭 번호로서, 세로축은  $\Delta V/V(\%)$ 이다. 또한, 도 6에 있어서 곡선 S0, S20, S30, S40은 각각, 삽입 길이 d=0mm, 20mm, 30mm, 40mm(삽입량 X=-10mm, 10mm, 20mm, 30mm)인 경우의 전압 변화를 나타낸다. 보다 상세하게 조사하기 위해, 대표적인 갭에 대하여 튜너의 삽입량과 전압 변화의 상태를 도 7에 플롯하였다. 도 7에 있어서, 횡축은 튜너 T1의 삽입 길이 d이고, 곡선 G1, G20, G40, G60, G72는 각각 갭 번호 1, 20, 40, 60, 72에 있어서 전압 변화를 나타낸다. 도 7로부터 알 수 있는 바와 같이 이들의 곡선은 거의 직선을 나타내고 있고, 선형성은 충분히 양호한 것을 확인할 수 있다.
- [0073] 모든 튜너에 대한 삽입량과 전압 변화의 관계
- [0074] 상술한 바와 같이 튜너 삽입량에 대한 전압 변화의 선형성은 양호하다. 따라서, 어떤 튜너 삽입량에 대해서만 전압 변화를 계산하면, 그 이외의 삽입량에 대한 전압 변화는 비례 계산에 의해 구할 수 있다. 그래서, 16대의 모든 튜너에 관하여 삽입량 X=10mm(삽입 길이 d=20mm)의 위치에서의 전압 변화를 구하였다. 그 결과를 도 8(튜너 T1 ~ T8) 및 도 9(튜너 T9 ~ T16)에 나타낸다.
- [0075] 도 8 및 도 9에 있어서, 곡선 t1 ~ t16은 각각 튜너 T1 ~ T16의 전압 변화를 나타내는 것이다. 모델 공진기일 때와 동일하게, 전압 변화는 튜너가 다룰 때마다 즉 튜너의 축 방향 위치가 다를 때마다 각각 폭넓은 피크를 만들지만, 그 효과는 공진기 전체에 걸친다. 따라서 자동 튜너는 복수의 튜너를 이용하여 서로의 전압 변화를 서로 상쇄하도록 해야 된다.

[0076] 자동 튜너의 결정과 직접 3차원 전자장 계산에 의한 확인

[0077] (1) 2 튜너의 조합

[0078] 최초에 2대의 튜너를 조합하는 것으로, 공진기 전체에 걸쳐 전압 변화를 상쇄하도록 한다. 어떤 조합이 양호한지, 프로그램에 의한 서치를 행하였다. 즉, 도 8 및 도 9에 나타내는 각 튜너의 전압 변화 곡선으로부터, 비례 계산에 의해, 후술하는 스테핑 모터 등으로 제어 가능한 정밀도로, 개개의 삽입량에 있어서 각 튜너의 전압 변화를 구하고, 그 개별의 전압 변화를 합산하는 것에 의해 가장 전압 변화가 작은 조합을 구하였다. 이 결과, 가장 전압 변화가 작아지는 튜너와 삽입량의 조합은 튜너 T4와 튜너 T12 였다. 이 때의 2 튜너의 삽입량 비율은 T4:T12=6.67:10.00 이다.

[0079] 상술한 2대의 튜너 T4 및 T12와 삽입량과의 조합을 이용했을 때의 전압 변화를 계산하였다. 도 10은 튜너 T4의 삽입량이 X=6.67mm(삽입 길이 d=16.67mm), T12의 삽입량이 X=10.00mm(삽입 길이 d=20.00mm)인 경우의 전압 변화의 상태를 나타내는 그래프이다. 도 10에 있어서, 곡선 A1은 튜너 T4 및 T12의 개별 전압 변화를 합산하는 것에 의해 구하는 전압 변화를 나타내고 있다.

[0080] 그 결과, 도 10에서 나타내는 바와 같이  $\Delta V/V$ 의 값의 폭은 공진기 전체로 1.2% 이고, 바꾸어 말하면, 최대 전압 변화는 전체 폭에서 1.2% 였다.

[0081] 다음에, 상술한 2대의 튜너 T4 및 T12를 동시에 삽입한 모델을 작성하고, 직접 3차원 전자장 계산 코드에 의해 계산하였다. 도 10에 있어서, 곡선 B1은 그 결과를 나타낸다. 도 10으로부터, 개별 튜너의 합산에 의한 전압 변화와 직접 3차원 전자장 계산에 의한 전압 변화는 대부분 일치하는 것을 알 수 있다.

[0082] 직접 3차원 전자장 계산으로 얻어진 공진 주파수, Q, 션트(shunt) 저항 및 소요 전력 등의 공진기의 특성을 나타내는 파라미터를 표 1에 나타낸다. 표 1에 나타내는 바와 같이 공진 주파수의 변화는 81KHz(0.081MHz)였다. 그 외의 파라미터에는 실질적인 변화는 없다. 따라서, 이 자동 튜너의 조합에 의해, 전압 분포 및 공진기의 특성에 영향을 주지 않고 공진 주파수만 조정할 수 있는 것을 알 수 있다. 또한, 표 1에 있어서, 원래의 모델은 튜너를 삽입하고 있지 않은 모델, 즉 튜너가 기준 위치에 있는 모델을 나타내고 있다.

[0083] 표 1

파라미터	원래의 모델	튜너 삽입 후의 모델	차
공진 주파수(MHz)	200.103	200.184	0.081
Q	16054	16022	-32.000
션트 저항(M $\Omega$ /m)	111.64	111.37	-0.269
소요 전력(KW)	365.00	365.90	0.899

[0085] (2) 3 튜너의 조합

[0086] 다음에 3대의 튜너를 조합하여 전압 변화를 상쇄하도록 한다. 2 튜너의 조합의 경우와 동일하게, 프로그램에 의한 서치를 행하였다. 그 결과, 가장 전압 변화가 작아지는 튜너의 위치와 삽입량의 조합은 튜너 T3, T9, T16을 5.40:7.60:10.00 의 비율로 삽입한 경우이다.

[0087] 도 11은 상술한 3대의 튜너 T3, T9 및 T16을 각각 X=5.40mm(삽입 길이 d=15.40mm), X=7.60mm(삽입 길이 d=17.60mm), X=10.00mm(삽입 길이 d=20.00mm) 삽입량 했을 때의 전압 변화의 상태를 나타내는 그래프이다. 도 11에 있어서, 곡선 A2는 튜너 T3, T9 및 T16의 개별 전압 변화를 합산하는 것에 의해 구한 전압 변화를 나타내고 있다. 그 결과, 최대 전압 변화의 전체 폭은 0.81% 였다. 이는 도 10에 나타내는 2 튜너의 조합보다도 3할 정도 작다.

[0088] 다음에, 상술한 3대의 튜너 T3, T9 및 T16과 삽입량의 조합을 이용한 모델의 전압 변화를, 직접 3차원 전자장 계산 코드를 이용하여 계산하였다. 도 11에 있어서, 곡선 B2는 그 결과를 나타낸다. 곡선 B2는 20 겹 부근에서 날카로운 피크를 나타내고 있으나, 이는 계산 정밀도(계산 메쉬(mesh)의 취급 방법)의 문제로 추측된다. 도 11로부터, 개별 튜너의 합산에 의한 전압 변화와 직접 3차원 전자장 계산에 의한 전압 변화는 대부분 일치하는 것을 알 수 있다.

[0089] 직접 3차원 전자장 계산에서 얻어진 공진 주파수, Q, 션트 저항 및 소요 전력 등의 공진기의 특성을 나타내는 파라미터를 표 2에 나타낸다. 표 2에 나타내는 바와 같이 공진 주파수의 변화는 95KHz(0.095MHz)였다. 그 외의 파라미터에는 실질적인 변화는 없다. 즉, 이 자동 튜너의 조합에 의해, 전압 분포 및 공진기의 특성에 영향을

주지않고 공진 주파수만 조정할 수 있음을 나타내고 있다. 또한, 표 2에 있어서, 원래의 모델은 튜너를 삽입하고 있지 않은 모델, 즉 튜너가 기준 위치에 있는 모델을 나타내고 있다.

[0090] 표 2

파라미터	원래의 모델	튜너 삽입 후의 모델	차
공진 주파수(MHz)	200.103	200.198	0.095
Q	16054	16054	-0.000
선평 저항(MΩ/m)	111.64	111.59	-0.045
소요 전력(KW)	365.00	365.27	0.271

[0092] 다음에, 도 11의 모델에 있어서, 튜너를 기준 위치로부터 같은 양만큼 빼서 주파수를 내려 본다. 즉, 튜너 T3의 삽입량 X=-5.40mm(삽입 길이 d= 4.60mm), 튜너 T9의 삽입량 X=-7.60mm(삽입장 d=2.40mm), 튜너 T16의 삽입량 X=-10.00mm(삽입 길이 d=0.00mm)으로 한다. 도 12에 있어서, 곡선 A3은 그 때의 전압 변화를 나타내고, 곡선 B3은 직접 3차원 전자장 계산 코드로 계산한 전압 변화를 나타낸다.

[0093] 이 때의 직접 3차원 전자장 계산으로 얻어진 공진 주파수, Q, 선평 저항 및 소요 전력 등의 공진기의 특성을 나타내는 파라미터를 표 3에 나타낸다. 표 3에 나타내는 바와 같이 공진 주파수의 변화는 -75KHz(-0.075MHz)였다. 그 외의 파라미터에는 실질적인 변화는 없다. 표 3으로부터 알 수 있는 바와 같이, 같은 튜너의 조합이라도 뺀 경우는 삽입한 경우에 비해 주파수의 변화량이 작다. 이것은 튜너를 뺀 경우는 다른 튜너가 음(陰)으로 되어 있는 효과등의 영향이 추측된다. 또한, 표 3에 있어서, 원래의 모델은 튜너를 삽입하고 있지 않은 모델, 즉 튜너가 기준 위치에 있는 모델을 나타내고 있다.

[0094] 표 3

파라미터	원래의 모델	튜너 삽입 후의 모델	차
공진 주파수(MHz)	200.103	200.028	-0.075
Q	16054	16085	31.000
선평 저항(MΩ/m)	111.64	111.89	0.256
소요 전력(KW)	365.00	364.10	-0.898

[0096] 다음에 도 11, 도 12와는 별도의 3대의 튜너를 이용한 경우에 대해 검토한다. 튜너 T3, T9 및 T16을 자동 튜너로서 이용하는 경우는 도 1에 나타내는 바와 같이 대칭성이 나쁘므로 대칭성을 고려하여 튜너 T4, T9 및 T16을 이용한 경우에 대하여 계산을 행하였다. 프로그램에 의한 서치를 행한 결과, 튜너 T4, T9, T16의 삽입비가 5.85:4.54:10.00의 경우가 공진기 전체에 걸치는 전압 변화가 가장 적다. 도 13은 이와 같은 튜너 T4, T9 및 T16을 각각의 X=5.85mm(삽입 길이 d=15.85mm), X=4.54mm(삽입 길이 d=14.54mm), X=10.00mm(삽입 길이 d=20.00mm) 삽입했을 때의 전압 변화의 상태를 나타내는 그래프이다.

[0097] 도 13에 있어서, 곡선 A4는 튜너 T4, T9 및 T16의 개별 전압 변화를 합산하는 것에 의해 구한 전압 변화를 나타낸다. 그 결과, 최대 전압 변화의 전체 폭은 0.97%였다. 또, 도 13에 있어서, 곡선 B4는 직접 3차원 전자장 계산 코드로 계산한 전압 변화를 나타낸다. 도 13으로부터, 개별 튜너의 합산에 의한 전압 변화와 직접 3차원 전자장 계산에 의한 전압 변화는 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

[0098] 이 때의 직접 3차원 전자장 계산으로 얻어진 공진 주파수, Q, 선평 저항 및 소요 전력 등의 공진기의 특성을 나타내는 파라미터를 표 4에 나타낸다. 표 4에 나타내는 바와 같이 공진 주파수의 변화는 79KHz(0.079MHz)였다. 그 외의 파라미터에는 실질적인 변화는 없다. 즉, 이 자동 튜너의 조합에 의해, 전압 분포 및 공진기의 특성에 영향을 주지 않고 공진 주파수만 조정할 수 있음을 나타내고 있다. 또한, 표 4에 있어서, 원래의 모델은 튜너를 삽입하고 있지 않은 모델, 즉 튜너가 기준 위치에 있는 모델을 나타내고 있다.

[0099] 표 4

파라미터	원래의 모델	튜너 삽입 후의 모델	차
공진 주파수(MHz)	200.103	200.182	0.079
Q	16054	16033	-21.000
선평 저항(MΩ/m)	111.64	111.40	-0.239
소요 전력(KW)	365.00	365.67	0.664

[0101] 또, 튜너 T2, T9 및 T16의 조합에 대해서도 계산을 행하였으나, 전압 변화가 최대 +0.8% , -0.6% 이고, 따라서, 최대 전압 변화의 전체 폭이 1.4% 로 되어, 상기한 조합에 비해 크다.

[0102] 다음에, 본 발명의 일 실시예에 의해 선정된 자동 튜너에 의한 온도 보정 범위에 대해 설명한다. 공진기의 공진 주파수는 일반적으로  $f_0=200\text{MHz}$  이다. 공진기는 철제이기 때문에, 철의 선 팽창계수  $\alpha=1.18 \times 10^{-5}$  을 이용하면, 온도  $t=1$ 도 당의 공진 주파수의 변화  $\Delta f$ 는 이하와 같이 구해진다.

[0103] 
$$\Delta f = \alpha \cdot t f_0$$

[0104] 
$$= 1.18 \times 10^{-5} \times 1 \times 200 \text{ [MHz]}$$

[0105] 
$$= 2.36 \text{ [KHz]}$$

[0106] 튜너 T3의 삽입량  $X=5.40\text{mm}$ (삽입 길이  $d=15.40\text{mm}$ ), 튜너 T9의 삽입량  $X=7.60\text{mm}$ (삽입 길이  $d=17.60\text{mm}$ ), 튜너 T16의 삽입량  $X=10.00\text{mm}$ (삽입 길이  $d=20.00\text{mm}$ )의 경우를 예로 들면, 공진 주파수의 증가는 약 95KHz 였다. 따라서, 이 튜너의 삽입량에 있어서 온도 보정 범위는

[0107] 
$$\Delta C = 95\text{[KHz]} / 2.36\text{[KHz]} = 40\text{[도]}$$

[0108] 이다.

[0109] 또, 반대로 기준 위치에 대해 튜너를 뺀 경우(튜너 T3의 삽입량  $X=-5.40\text{mm}$ (삽입 길이  $d=4.60\text{mm}$ ), 튜너 T9의 삽입량  $X=-7.60\text{mm}$ (삽입 길이  $d=2.40\text{mm}$ ), 튜너 T16의 삽입량  $X=-10.00\text{mm}$ (삽입 길이  $d=0.00\text{mm}$ )의 경우)에서 공진 주파수는 75KHz만큼 저하하였다. 따라서, 온도 보정 범위는

[0110] 
$$\Delta C = 75\text{[KHz]} / 2.36\text{[KHz]} = 32\text{[도]}$$

[0111] 이다. 이상으로부터 상기 삽입량에 한정하여 생각해 보면, 온도 보정 범위는 -32도에서 +40도로 된다. 실용상, 충분한 보정 범위가 확보되어 있다고 할 수 있다.

[0112] 따라서, 1도 당의 튜너 삽입량은 최소로  $5.4 \text{ [mm]} / 40\text{[도]} = 0.14\text{[mm/도]}$  이다. 온도 0.1도의 제어를 행한다고 하면, 튜너 삽입시의 이동 스텝은  $0.014\text{[mm/step]} = 14\text{[}\mu\text{m/step]}$  으로 된다. 이것은 스테핑 모터로 충분히 제어할 수 있는 범위이다.

[0113] 이상 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예에 의하면, 유도성 튜너의 삽입량에 대한 전압 변화의 선형성은 충분히 양호하다는 것을 알 수 있었다. 또, 각 튜너의 전압 변화를 구하면, 그 합산으로부터 몇개의 튜너를 조합했을 때의 전압 변화도 예상할 수 있다. 또, 각 튜너 상호의 삽입량 비율을 변경하지 않고 삽입량을 증감한 경우의 전압 변화도 예상할 수 있다. 또한, 복수의 튜너를 삽입한 모델을 작성하고, 그 모델을 직접 3차원 전자장 코드에 의해 계산하여 얻어진 전압 변화를 구하였으나, 그 결과는 조합에 의해 예상된 전압 변화와 양호하게 일치한다.

[0114] 본 발명의 실시예에 의하면, 자동 튜너로서는 2 튜너의 조합에 대해 한가지 방법, 3 튜너의 조합에 대해 3가지 방법, 합계 4가지 방법의 조합에 대해서 계산을 행하였다. 어느 경우도 전압 변화는  $\pm 0.8\%$  이내로 억제할 수 있다. 그 중에서도 가장 전압 변화가 적은 것은 튜너 T3, T9 및 T16의 조합으로, 전압 변화는 전체 폭에서 0.8% 범위로 억제된다. 또 이 튜너 삽입시의 이동량에서도 온도 보정 범위는 -32도부터 +40도로 충분하다. 따라서, 상기 실시예에서는 자동 튜너로서 이 조합이 가장 바람직하다.

[0115] 다음에, 본 발명의 일 실시예에 의해 선정된 자동 튜너를 이용하여, 공진기의 공진 주파수를 보정하는 방법에 대해 간단히 설명한다. 도 14는 공진기의 공진 주파수를 보정하기 위한 기구를 설명하기 위한 간단한 블록도이다. 도 14에 있어서, 공진기(11)에는 화살표로 나타내는 바와 같이 이온 빔이 입사되고, 고주파 증폭기(12)를 통하여 공급되는 고주파 전력에 의해 공진기내에서 가속되어 화살표로 나타내는 바와 같이 출사된다. 공진기(11)에는 본 발명에 의해 선정된 자동 튜너 A, B의 2개의 자동 튜너(13, 14)가 마련되어 있다. 이들의 자동 튜너는 각각 스테핑 모터(도시하지 않음)로 구동되도록 되어 있고, 이들 스테핑 모터에는 각각 모터 드라이버 A, B의 2개의 모터 드라이버(15, 16)를 통하여 구동 신호가 보내진다.

[0116] 도 14에 나타내는 바와 같이 공진기의 공진 주파수의 미묘한 편차를 검출하여 보정하기 위한 자동 주파수 조정

회로(AFC)(17)가 마련되어 있고, AFC(17)에는 고주파 증폭기(12)의 진행파 S1과 공진기(11)의 가속 공동의 픽업 모니터 신호 S2를 비교하여 양 신호의 위상차를 출력하는 위상 비교기(18)와, 그 위상차를 홀드하는 샘플 홀드 회로(19)가 마련되어 있다. AFC(17)에는 외부에 있는 동기 신호 발생기(20)로부터 발생된 동기 신호가 입력되고, 샘플 홀드 회로(19)는 이 동기 신호를 받았을 때에 상기 검출한 위상차의 값을 홀드한다.

[0117] 상기 AFC(17)에 있어서 검출된 위상차는 시퀀서(21)에 부여되고, 이 시퀀서 (21)가 그 위상차에 따라 자동 튜너 A, B의 삽입량을 조절하여 모터 드라이버 A, B에 제어 신호를 보낸다. 이 조절은 본 발명에 의하면, 상기 자동 튜너 A, B의 선정시에 얻어진 자동 튜너 상호의 삽입량 비율을 변경하지 않고 행해진다. 즉, 상술한 2 튜너의 조합에 의한 선정 방법의 실시예에 있어서, 자동 튜너 A, B가 각각 튜너 T4, T12라고 가정하면, 튜너 A 대 튜너 B의 삽입량 비율, 즉 6.67:10.00 을 변경하지 않고 조절을 행한다. 예를 들어, 튜너 A의 삽입량을 2배로 한 경우에는 튜너 B의 삽입량도 2배로 하는 것과 같은 조절을 행한다. 그 결과, 삽입량과 전압 변화가 선형 관계를 가지므로, 최대 전압 변화도 전체 폭에서 2배, 즉 2.4% 로 된다고 예측할 수 있다. 따라서, 이와 같은 조절을 행하는 것에 의해, 공진기내의 전압 분포를 허용범위로 유지하면서 공진 주파수를 보정할 수 있다.

[0118] 상기 튜너 A의 삽입량과 튜너 B의 삽입량 비율을 기억하기 위해, 시퀀서 (21)에는 비율 기억기(22)가 마련되어 있다. 시퀀서(21)는 모터 드라이버 A, B에, 비율 기억기(22)에 기억된 삽입량 비율을 변경하지 않고 상기 검출한 위상차에 따른 펄스를 보내도록 제어 지령을 낸다. 모터 드라이버 A, B는 이 제어지령을 받아서, 스테핑 모터를 통하여 튜너 A, B를 각각 구동한다.

[0119] 도 14의 실시예에서는 삽입량 조절 수단으로서 시퀀서를 이용하고 있으나, 시퀀서 대신에 퍼스널 컴퓨터를 이용해도 된다. 또, 도 14의 실시예에서는 AFC는 시퀀서나 모터 드라이버와는 별도의 장치로서 예시되어 있으나, 시퀀서나 모터 드라이버를 AFC중에 포함해도 된다. 또한, 도 14의 실시예에서는 2개의 자동 튜너를 이용하고 있으나, 본 발명에 의하면 3 또는 그 이상의 자동 튜너를 이용해도 된다. 예를 들어, 상술한 가장 바람직한 튜너 T3, T9 및 T16의 조합에 의한 선정 방법의 실시예에 대해서는 튜너 T3 대 튜너 T9 대 튜너 T16의 삽입량 비율은 5.40:7.60:10.00 이고, 이의 삽입량 비율을 변경하지 않고 삽입량의 조절이 행해진다.

[0120] 도 15는 본 발명의 일 실시예에 의한 자동 튜너 선정 방법 및 그 자동 튜너를 이용하여 공진 주파수를 보정하는 방법을 나타내는 플로우차트이다. 이 실시예에 의하면, 먼저, 단계 S1에 있어서, 각 튜너의 특성을 취득한다. 이것은 상술한 바와 같이 튜너의 삽입량에 대한 전압 변화의 선형성을 확인하고, 그 전압 변화의 선형성에 기초하여 모든 튜너에 대해, 개개의 삽입량에 대한 전압 변화 데이터를 비례 계산에 의해 구하는 것에 의해 행한다. 다음에, 단계 S2에 있어서, 이 취득한 각 튜너의 데이터로부터 자동 튜너 A, B를 결정한다. 이것은 상술한 바와 같이 프로그램에 의한 서치에 의해 적절한 튜너의 조합과 삽입량을 결정하고 그 결정한 결과를 직접 3차원 전자장 계산에 의해 확인하는 것에 의해 행한다. 다음에 단계 S3에 있어서, 비율을 기억한다. 이것은 확인된 각 튜너의 삽입량을 시퀀서의 비율 기억기에 기억하는 것이다. 단계 S1 및 S2에 대해서는 도 16을 참조하여 다시 상세하게 설명한다.

[0121] 이와 같이 자동 튜너를 선정한 후에, 단계 S4에 있어서, 선형 가속기의 운전을 개시한다. 이 운전 상태에 있어서, 고주파 증폭기(12)를 통하여 고주파전력을 공진기(11)로 공급하고, 공진기(11)내를 공진 상태로 유지한다. 단계 S5 및 단계 S6에 있어서, 고주파 증폭기 출력 위상 및 공진기 내부 위상을 모니터하고, 공진기의 온도 변화 등에 의해 공진 주파수가 변화한 경우에는 단계 S7에 있어서, 그 검출한 위상을 비교하여 위상차를 출력한다. 단계 S8에 있어서, 이 위상차가 허용내인지 또는 허용외인지를 판단한다. 허용외이면, 단계 S9에 진행하고, 공진 주파수의 보정을 행한다. 이 보정은 시퀀스(21)가 그 위상차에 따라 자동 튜너 A, B의 삽입량을 조절하고, 모터 드라이버 A, B에 제어 신호를 보냄으로써 행해진다. 이 조절은 상기 단계 S3에서 기억된 튜너 A 대 튜너 B의 삽입량 비율을 변경하지 않고 행해진다.

[0122] 이 제어 신호를 받아서, 단계 S10 및, S11에 있어서, 각각 모터 드라이버 A 및 B를 제어한다. 이들의 모터 드라이버의 제어에 의해 단계 S12 및 S13에 있어서, 자동 튜너 A 및 B가 작동한다. 자동 튜너 A 및 B가 작동하는 것에 의해 공진 주파수의 보정이 완료하면 단계 S14에 진행하고, 선형 가속기의 운전이 정지 했는지 여부를 판단한다. 단계 S8에 있어서, 허용내라고 판단한 경우도 이 단계 S14에 진행한다. 단계 S14에 있어서, 운전 중이라고 판단하면, 운전개시 후의 단계로 되돌아와 상기 단계가 반복된다. 단계 S14에 있어서, 운전이 정지했다고 판단하면, 이 공정을 종료한다.

[0123] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 자동 튜너 선정 방법은 도 15의 단계 S1 및 단계 S2에 의해서 구성된다. 도 16은 이 단계의 S1 및 단계 S2의 순서를 더욱 상세하게 나타내는 플로우차트이다. 도 16에 나타내는 바와 같이 단계 S1은 단계 S1a와 단계 S1b를 포함한다. 먼저, 단계 S1a에 있어서, 튜너의 삽입량에 대한 전압 변화의 선형성

을 확인한다. 구체적으로, 하나의 튜너에 대해 튜너의 삽입량을 변경하고, 각각에 관하여 3차원 전자장 계산을 행하여 전압 변화의 상태를 플롯하는 것에 의해 그래프를 작성한다. 이 그래프에 의해 튜너의 삽입량에 대한 전압 변화의 선형성을 확인한다. 다음에, 단계 S1b에 있어서, 그 전압 변화의 선형성에 기초하여 모든 튜너에 대해, 개개의 삽입량에 대한 전압 변화 데이터를 비례 계산에 의해 구한다. 구체적으로, 모든 튜너에 대해 어떤 삽입량, 예를 들어 삽입량 10mm에 대한 전압 변화를 3차원 전자장 계산에 의해 구한다. 다음에, 이 계산 결과로부터, 모든 튜너에 대해 다른 개개의 삽입량에 대한 전압 변화 데이터를 비례 계산에 의해 구한다. 이것에 의해 각 튜너의 특성 즉 개개의 삽입량에 대한 전압 변화 데이터를 취득하는 단계를 종료한다.

[0124] 도 16에 나타내는 바와 같이 단계 S2는 단계 S2a와 단계 S2b를 포함한다. 먼저, 단계 S2a에 있어서, 상기 취득한 각 튜너의 데이터로부터 자동 튜너 A, B를 결정한다. 이는 상술한 바와 같이 프로그램에 의한 서치에 의해 적절한 튜너의 조합과 삽입량을 결정하는 것에 의해 행해진다. 구체적으로, 이것은 튜너의 개별 전압 변화 데이터를 합산하고, 이들 튜너에 의한 전압 변화가 서로 상쇄되어 전체의 전압 분포가 실질적으로 변화하지 않는 것과 같은 튜너와 삽입량의 조합을 프로그램에 의한 서치에 의해서 발견하는 것에 의해 행해진다. 다음에, 단계 S2b에 있어서, 그 결정된 조합이 적정한지의 여부를 직접 3차원 전자장 계산에 의해 확인한다. 이 확인에 의해, 그 튜너를 자동 튜너 A, B로서 선정한다. 이것에 의해, 자동 튜너와 삽입량의 적절한 조합이 결정된다.

**산업상 이용 가능성**

[0125] 본 발명에 의하면, 공진기의 축 방향으로 배치된 복수의 튜너 중에서 적어도 2개의 튜너를 선택하고, 이들 튜너의 공진기 축 방향의 위치와 그 공진기 내부로의 삽입량의 조합을 이용하여, 자동 튜너로서 적절한 조합을 비교적 용이하게 발견할 수 있다. 특히, 복수의 튜너에 의한 전압 변화가 서로 상쇄되어 전체의 전압 분포가 실질적으로 변화하지 않는 것과 같은 튜너의 조합을 비교적 용이하게 선정할 수 있다. 또, 어떤 튜너의 조합이 가장 적절한가를 조사하는 방법으로서, 튜너 삽입량과 전압 변화 사이의 일정한 관계에 기초하여 복수의 튜너에 대해 개개의 삽입량에 대한 개별의 전압 변화 데이터를 계산하고 있으므로, 무한한 튜너의 조합에 대하여 많은 시간을 요하는 3차원 전자장 계산을 필요로 하지 않는다. 또, 본 발명에 의하면 선정된 자동 튜너 상호의 삽입량 비율을 변경하지 않고 삽입량을 조절하므로, 그 조절에 의한 전압 변화를 예상할 수 있는 동시에 그 전압 변화를 허용범위에 유지하면서 공진 주파수를 보정할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

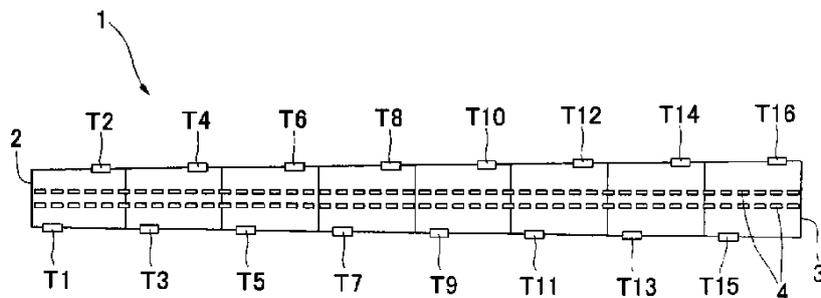
- [0021] 도 1은 IH 모드·드리프트 튜브 선형 가속기의 개념도이다.
- [0022] 도 2는 공진기와 유도성 튜너의 개략 중단면도로서, 튜너를 삽입하고 있지 않은 상태를 나타내는 도면이다.
- [0023] 도 3은 공진기와 유도성 튜너의 개략 중단면도로서, 튜너를 삽입하고 있는 상태를 나타내는 도면이다.
- [0024] 도 4는 도 3의 일부에 있어서, 유도성 튜너의 삽입 상태를 상세하게 나타내는 개략 중단면도이다.
- [0025] 도 5는 공진기와 용량성 튜너의 개략 중단면도로서, 튜너를 삽입하고 있는 상태를 나타내는 도면이다.
- [0026] 도 6은 튜너의 삽입량과 전압 변화의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0027] 도 7은 대표적인 꺾에 관하여 튜너의 삽입량과 전압 변화의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0028] 도 8은 튜너 T1 ~ T8에 관하여, 삽입 길이 d=20mm의 위치에 있어서 전압 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0029] 도 9는 튜너 T9 ~ T16에 관하여, 삽입 길이 d=20mm의 위치에 있어서 전압 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0030] 도 10은 자동 튜너로서 튜너 T4 및 T12를 이용한 경우 전압 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0031] 도 11은 자동 튜너로서 튜너 T3, T9 및 T16을 이용한 경우 전압 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0032] 도 12는 자동 튜너로서 튜너 T3, T9 및 T16을 이용한 경우 전압 변화를 나타내는 그래프로서, 기준 위치(삽입 길이 d=10mm의 위치)에 관해서도 11의 삽입량과 대칭적으로, 동일량만 뺀 경우의 전압 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0033] 도 13은 자동 튜너로서 튜너 T4, T9 및 T16을 이용한 경우의 전압 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0034] 도 14는 공진기의 공진 주파수를 보정하기 위한 기구를 설명하기 위한 간단한 블록도이다.
- [0035] 도 15는 본 발명의 일 실시예에 의한 자동 튜너 선정 방법 및 그 자동 튜너를 이용하여 공진 주파수를 보정하는

방법을 나타내는 플로우차트이다.

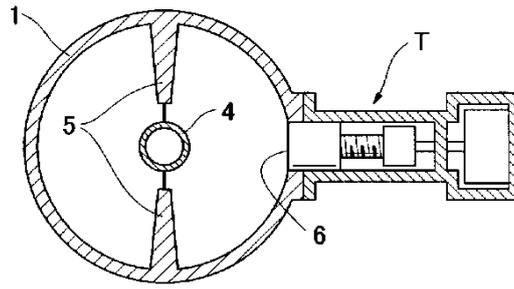
- [0036] 도 16은 본 발명의 일 실시예에 의한 자동 튜너 선정 방법을 나타내는 플로우차트이다.
- [0037] <부호의 설명>
- [0038] 1 탱크
- [0039] 2 입사단
- [0040] 3 출사단
- [0041] 4 드리프트 튜브
- [0042] 5 랫지
- [0043] 6 선단부
- [0044] 7 로드
- [0045] 8 도전관
- [0046] 11 공진기
- [0047] 12 고주파 증폭기
- [0048] 13 자동 튜너A
- [0049] 14 자동 튜너B
- [0050] 15 모터 드라이버 A
- [0051] 16 모터 드라이버 B
- [0052] 17 자동 주파수 제어 장치(AFC)
- [0053] 18 위상 비교기
- [0054] 19 샘플 홀드(sample hold) 회로
- [0055] 20 동기 신호 발생기
- [0056] 21 시퀀서(sequencer)
- [0057] 22 비울 기억기
- [0058] T1 ~ T16 튜너

**도면**

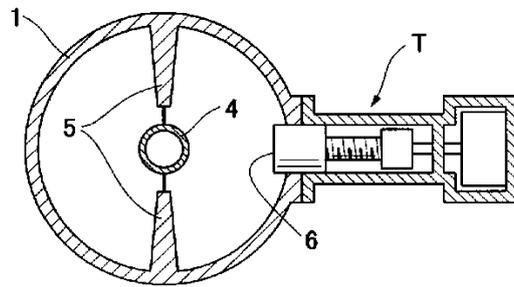
**도면1**



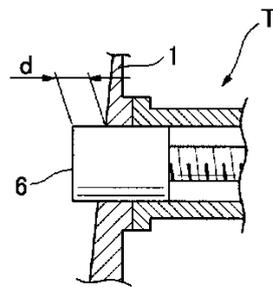
도면2



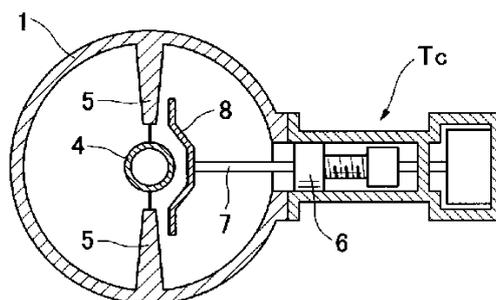
도면3



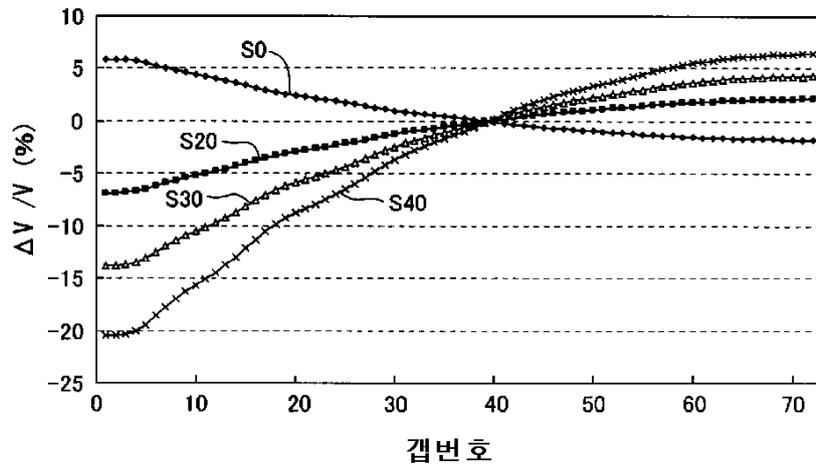
도면4



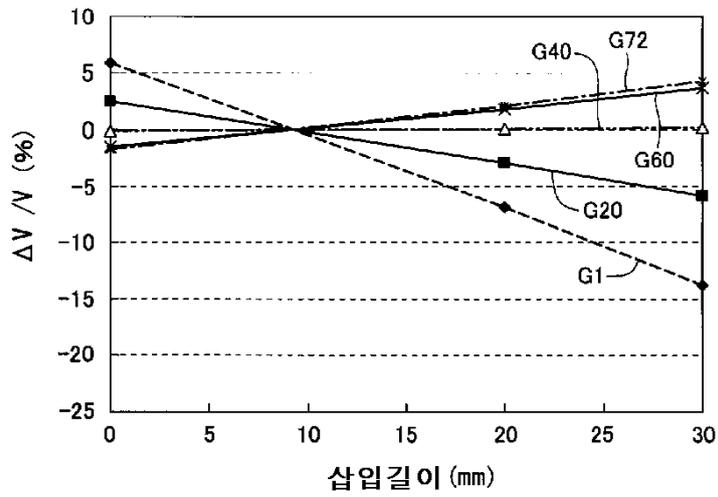
도면5



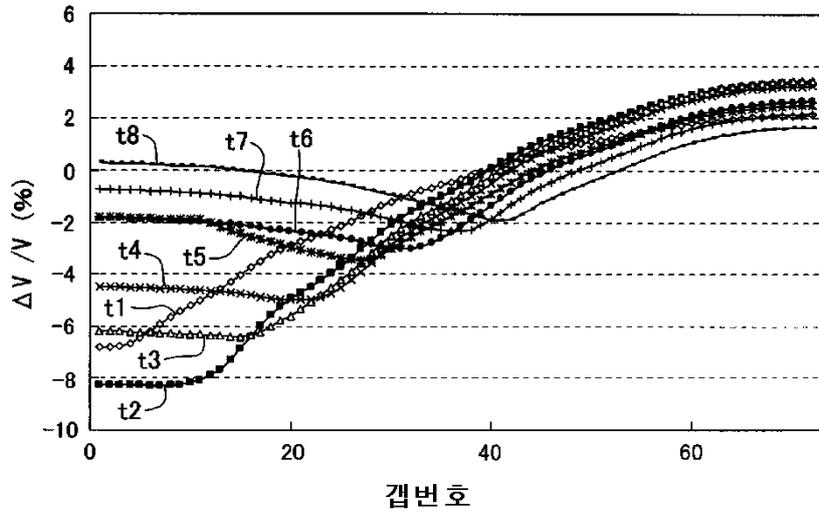
도면6



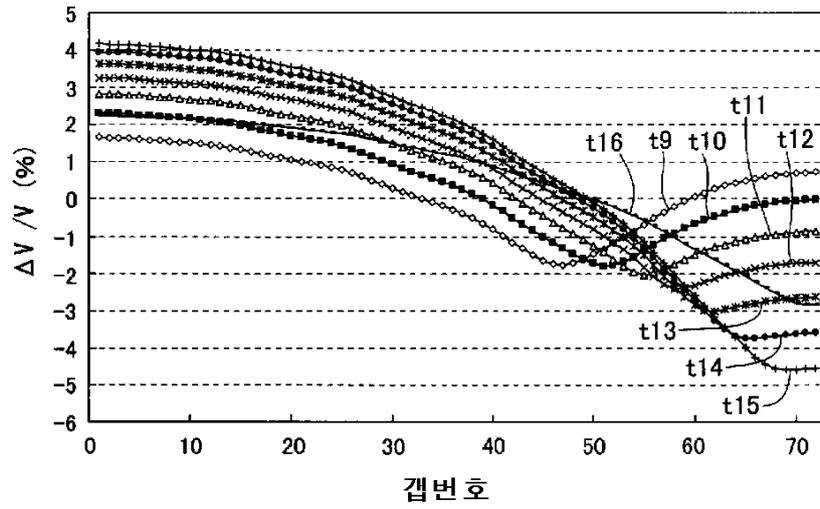
도면7



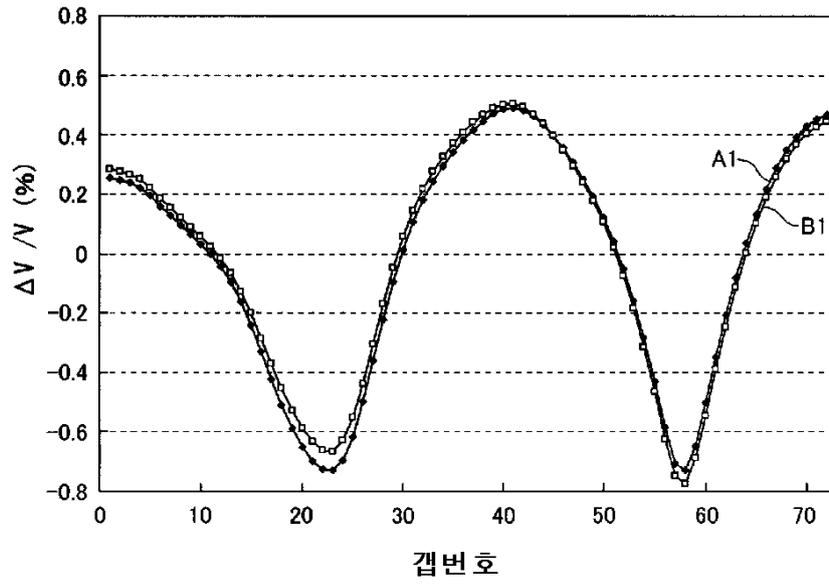
도면8



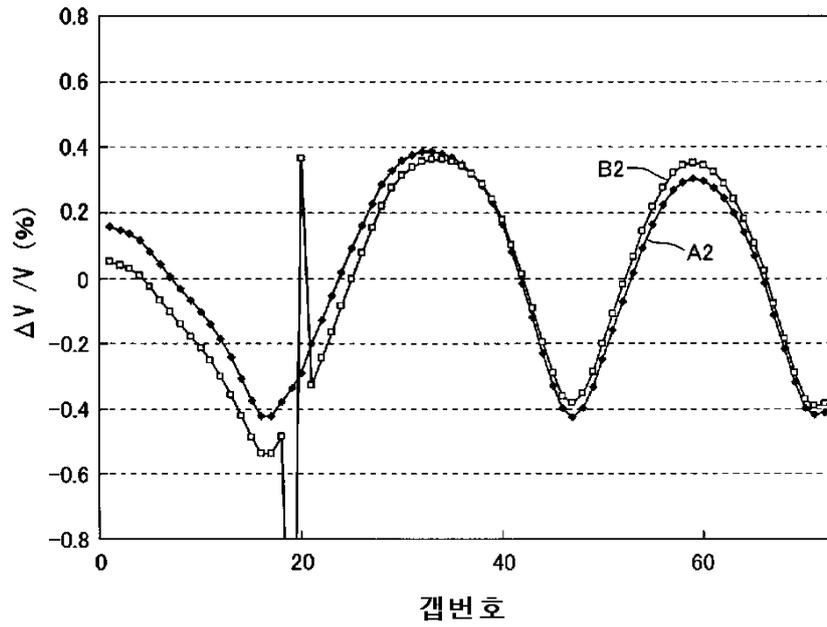
도면9



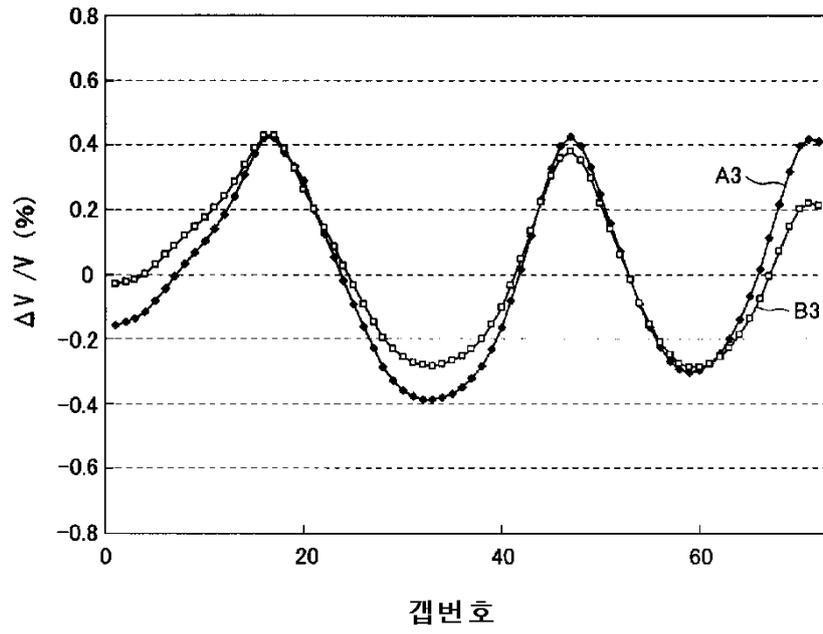
도면10



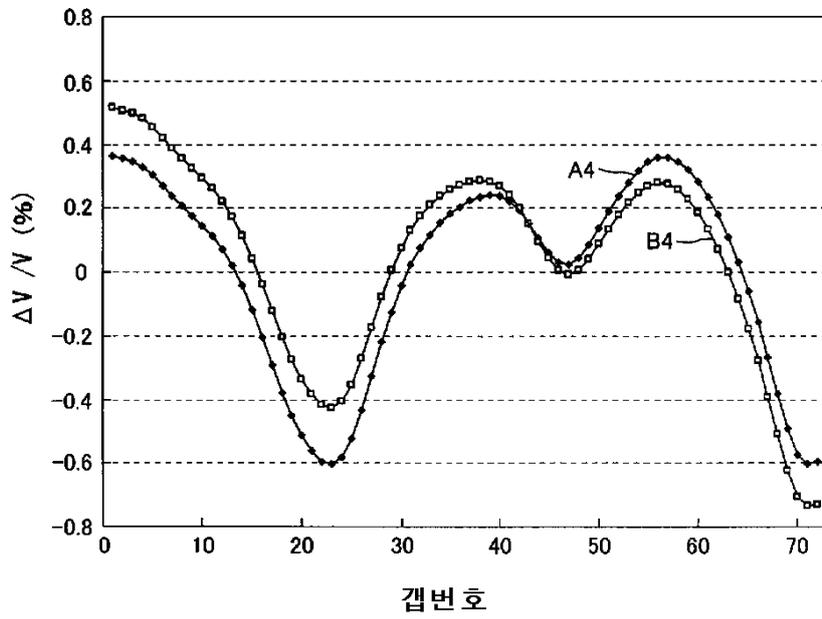
도면11



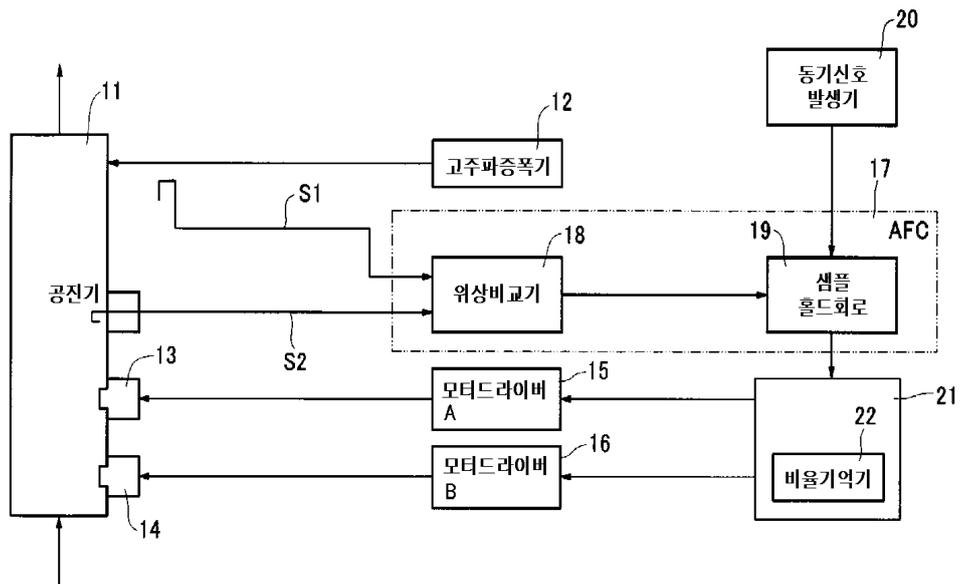
도면12



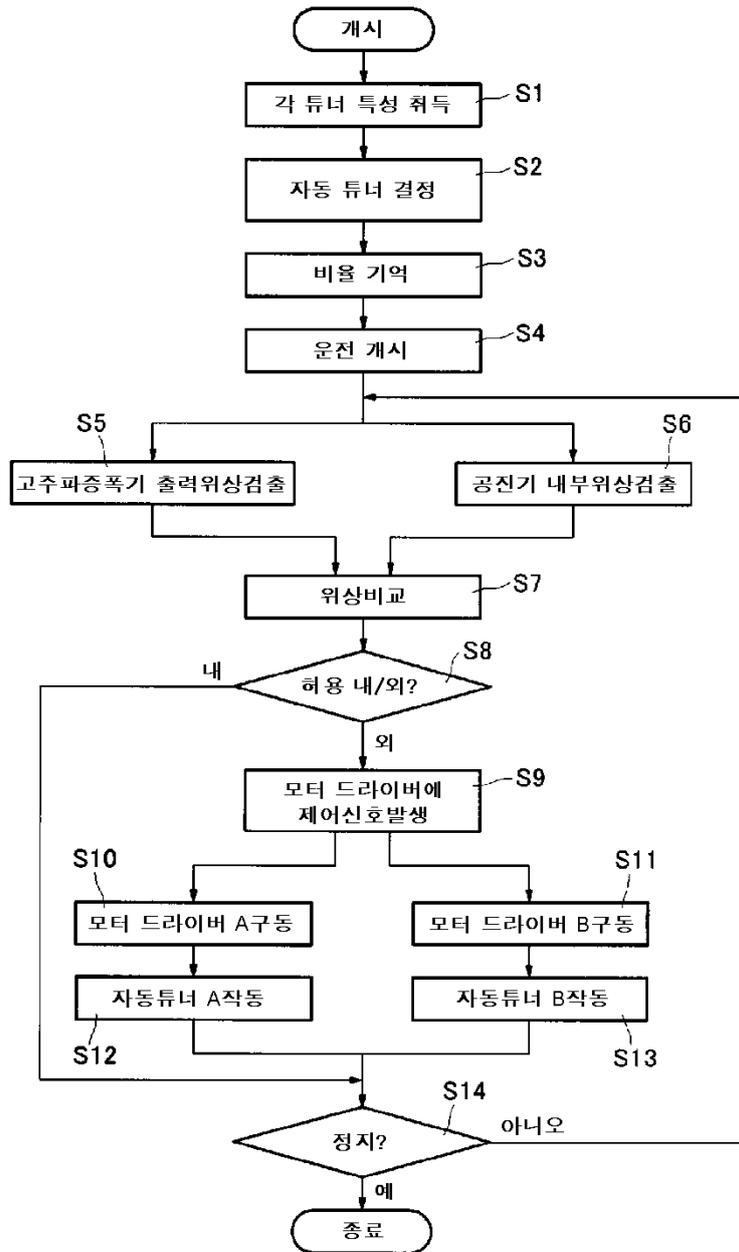
도면13



도면14



도면15



도면16

