



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년10월27일
(11) 등록번호 10-1454279
(24) 등록일자 2014년10월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B65G 54/02 (2006.01) B60L 13/04 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0025527
(22) 출원일자 2013년03월11일
심사청구일자 2013년03월11일
(65) 공개번호 10-2014-0111420
(43) 공개일자 2014년09월19일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020100054218 A*
KR1020110049936 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국전기연구원
경상남도 창원시 성산구 불모산로10번길 12 (성주동)
(72) 발명자
이기창
경상남도 창원시 성산구 대암로 253 프리빌리지아
파트 111동 104호
문석환
부산광역시 부산진구 가야대로668번가길 9 영진아
파트 1동 510호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
한라특허법인

전체 청구항 수 : 총 5 항

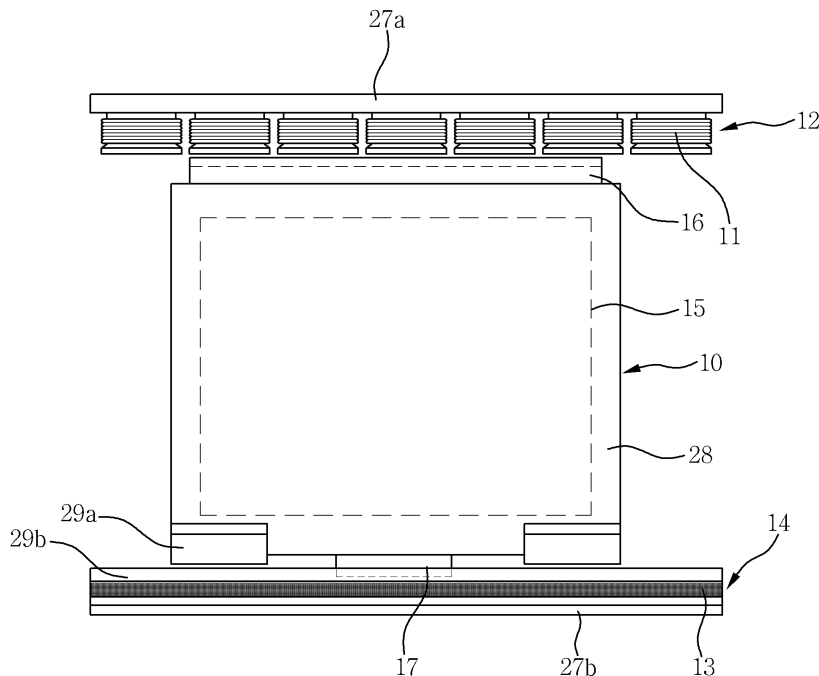
심사관 : 백진욱

(54) 발명의 명칭 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법

(57) 요약

본 발명은 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법에 관한 것으로서, 자기부상 이송 시스템의 부상 전자석을 보다 효율적으로 구동시킬 수 있는 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법을 제공하는데 주된 목적이 있는 것이다. 상기한 목적을 달성하기 위해, 이송체의 이송 동안 위치센서에 의해 이송체 이송방향 위치인 X축 절대

(뒷면에 계속)
대표도 - 도1



위치(x)가 실시간 검출되는 단계; 상기 X축 절대 위치(x) 정보로부터 이송체의 부상을 위해 자기부상력 발생이 요구되는 부상 전자석들로 이루어지는 섹션을 결정하는 단계; 결정된 섹션 내 각 부상 전자석들이 자기부상력을 발생시키도록 상기 섹션 내 각 부상 전자석에 전류를 인가하여 부상 전자석들을 구동시키는 단계; 및 상기 단계를 실시간으로 반복하되, 이송체의 이송 동안 검출된 상기 X축 절대 위치(x)에 따른 다음 순번의 섹션에서 이송체 부상을 위한 자기부상력을 발생시키도록 부상 전자석들을 구동하여 순차적인 섹션 전환이 이루어지도록 하는 단계;를 포함하고, 상기 섹션은 연속 배치된 미리 정해진 개수의 부상 전자석들로 구성되도록 설정된 것을 특징으로 하는 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법을 제공한다.

(72) 발명자

박병진

경상남도 창원시 성산구 창원천로 292 대동그린파크아파트 102동 304호

정시욱

경상남도 창원시 진해구 해원로 45 우림필유아파트 111-201

강도현

경상남도 창원시 성산구 대암로 253 프리빌리지아파트 108동 2002호

구대현

부산광역시 연제구 거제천로 233 월드메르디앙아파트 104동 1203호

김중무

경상남도 창원시 성산구 삼정자로 79 유니온빌리지아파트 112동 905호

김지원

부산광역시 부산진구 백양산로53번길 62 주공아파트3단지 310동 1602호

정연호

경상남도 창원시 성산구 삼정자로 79 유니온빌리지아파트 116동 1102호

특허청구의 범위

청구항 1

자기부상력을 발생시키는 부상 전자석들이 이송체 상부에 이송체의 이송경로를 따라 일정 간격으로 설치되어 구성되는 자기부상 모듈이 구비됨과 더불어 상기 이송체에 부상 전자석들과 상호 작용하는 부상 코어가 설치된 무빙 코어 방식 및 흡인식 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법에 있어서,

이송체의 이송 동안 위치센서에 의해 이송체 이송방향 위치인 X축 절대 위치(x)가 실시간 검출되는 단계;

상기 X축 절대 위치(x) 정보로부터 이송체의 부상을 위해 자기부상력 발생이 요구되는 부상 전자석들로 이루어지는 섹션을 결정하는 단계;

결정된 섹션 내 각 부상 전자석들이 자기부상력을 발생시키도록 상기 섹션 내 각 부상 전자석에 전류를 인가하여 부상 전자석들을 구동시키는 단계; 및

상기 단계를 실시간으로 반복하되, 이송체의 이송 동안 검출된 상기 X축 절대 위치(x)에 따른 다음 순번의 섹션에서 이송체 부상을 위한 자기부상력을 발생시키도록 부상 전자석들을 구동하여 순차적인 섹션 전환이 이루어지도록 하는 단계;

를 포함하고, 상기 섹션은 연속 배치된 미리 정해진 개수의 부상 전자석들로 구성되도록 설정되고,

상기 이송체 코어의 길이가 (N+1)P보다는 크고 (N+2)P보다는 작은 조건이 되도록(P는 부상 전자석 간의 피치임) 하나의 섹션을 구성하는 부상 전자석의 개수가 (N+1)개로 설정되어, 이송체를 항상 (N+1)개의 부상 전자석이 발생시키는 자기부상력만으로 부상 및 지지시키는 것을 특징으로 하는 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 섹션 전환은 실시간 검출되는 이송체의 X축 절대 위치(x)에 따라 섹션을 결정한 뒤 이송방향을 기준으로 이전 순번의 섹션 내 최후방에 위치한 부상 전자석 하나를 위치 x에 따라 연속적으로 오프(꺼짐) 구동시키는 동시에 상기 이전 순번 섹션의 최전방 전자석 바로 앞쪽에 위치한 부상 전자석을 위치 x에 따라 연속적으로 온(켜짐) 구동시킴으로써 다음 순번의 섹션으로 전환되는 것임을 특징으로 하는 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

청구항 1에 있어서,

한 섹션을 구성하는 부상 전자석 중 이송방향을 기준으로 최전방에 위치한 전자석과 최후방에 위치한 전자석을 제외한 나머지 (N-1)개의 각 전자석이 이송체 총 정적(Static) 무게(Mg)의 1/N씩을 분담하도록 각 전자석의 자기부상력을 제어하고,

상기 최전방의 전자석이 이송체 총 정적 무게(Mg) 중 $\frac{1}{N} \left\{ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\Delta x}{P} \right) \right\} \times Mg$ 를 분담하도록, 그리고 상기

최후방의 전자석이 이송체 총 정적 무게(Mg) 중 $\frac{1}{N} \left\{ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Delta x}{P} \right) \right\} \times Mg$ 를 분담하도록 각 전자석의 자기부상력을 제어하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이송 시스템의 제어 방법.(Δx = 이송체의 X축 절대 위치로부터

구해지는 값으로, 각 섹션의 중심위치로부터 이송체 무게중심(CM)까지의 X축 방향 거리임, $\frac{\Delta x}{P}$ 는 배치에 따라

$$\frac{\Delta x}{P} \leq 1 \text{ 이 되거나, } -0.5 \leq \frac{\Delta x}{P} \leq 0.5 \text{ 가 됨}$$

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 한 섹션을 구성하는 각 전자석의 자기부상력(F)을 제어함에 있어서,

이송체의 이송경로를 따라 일정 간격으로 설치된 각 갭 센서에 의해 검출되는 이송체와의 수직 거리(S), 갭 센서 간의 이격 거리(Ps), 각 섹션의 중심위치로부터 이송체 무게중심까지의 X축 방향 거리(Δx) 정보를 이용하여 이송체 무게중심에서의 수직 거리(y)와 이송체의 기울어짐 각도(θ)를 산출하고,

이어 상기 각 섹션의 중심위치로부터 이송체 무게중심까지의 X축 방향 거리(Δx), 이송체 무게중심에서의 수직 거리(y), 이송체의 기울어짐 각도(θ), 및 부상 전자석 간의 피치 정보(P)를 이용하여 각 부상 전자석에서의 이송체 부상 코어까지의 수직 거리(δ)를 산출한 다음,

상기 산출된 각 부상 전자석에서의 이송체 부상 코어까지의 수직 거리 정보(δ)를 이용하여 각 부상 전자석에서 상기한 이송체 총 정적(Static) 무게(Mg)의 분담을 위한 자기부상력이 발생하도록 각 부상 전자석에 인가되는 전류(i)를 제어하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이송 시스템의 제어 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 섹션을 결정하는 단계는,

상기 각 섹션의 번호를 K라 하고, 상기 부상 전자석 간의 피치를 P라 하며, 이송체의 무게중심(CM)의 X축 절대 위치를 x라 할 때,

$$\begin{aligned} -\frac{P}{2} < x \leq \frac{P}{2} & \text{ 이면 } K=0 \\ \frac{P}{2} < x \leq \frac{3P}{2} & \text{ 이면 } K=1 \\ \frac{3P}{2} < x \leq \frac{5P}{2} & \text{ 이면 } K=2 \\ & \vdots \\ k - \frac{P}{2} < x < k + \frac{P}{2} & \text{ 이면 } K=k (k \text{는 정수, } k \geq 0) \end{aligned}$$

의 방법으로 X축 절대 위치(x)에 따라 이송체가 위치하는 각 섹션의 번호를 결정함으로써 이루어지는 것을 특징으로 하는 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법.

명세서

기술 분야

- [0001] 본 발명은 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 부품이나 반제품, 제품을 후속 공정으로 이송시켜주는 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 일반적으로 LCD(Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Display Panel), OLED(Organic Light Emitting Diodes) 등을 포함하는 기관, 반도체용 웨이퍼(Wafer) 등과 같은 피이송물을 포함하여 기관이나 웨이퍼를 수용하여 지지하는 트레이나 카세트 또는 캐리어 등과 같은 이송체를 이송하는 이송 시스템으로는, 파티클 발생 문제, 마찰, 마모에 따른 부품의 손상 문제, 그리고 소음 유발 문제를 해소할 수 있으면서 피이송물을 고속으로 이송시킬 수 있는 자기부상 이송 시스템(Magnetically levitated transportation system)을 주로 적용하고 있다.
- [0003] 자기부상 이송 시스템은 피이송물이 적재된 이송체를 자기력으로 부상(浮上)시켜 운행시키는 시스템으로서, 이송체와 레일 간의 기계적인 접촉이나 마찰이 없기 때문에 에너지 손실이 없고, 무소음, 저진동, 초정정 이송 시스템을 구현할 수 있다.
- [0004] 자기부상 이송 시스템의 경우 자기부상력과 안내력, 추진력 등이 요구되는데, 보통 부상 전자석으로부터 자기부상력 및 안내력을 제공받고, 선형유도전동기 또는 선형동기전동기 등으로부터 추진력을 제공받는다.
- [0005] 예를 들면, 자기부상력은 전자석의 권선에 흐르는 전류를 제어하면서 부상 전자석과 이송체 간에 그 수직방향(부상력과 동일한 방향)의 흡인력을 조절하여 부상 전자석과 이송체가 서로 일정 간격으로 유지되도록 하는 방식으로 얻을 수 있고, 안내력은 부상 전자석과 이송체 간의 수평방향(부상력과 추진력에 수직인 방향)으로 발생되어 이송체가 궤도를 이탈하지 않게 해준다.
- [0006] 이와 같은 자기부상 이송 시스템은 초정정 환경이 요구되는 반도체나 디스플레이 등과 같은 부품의 제조라인 등 각종 공장 자동화 라인에서 부품 혹은 반제품, 제품을 이송시키는 시스템으로 널리 활용되고 있다.
- [0007] 종래의 자기부상 이송 시스템은 LCD나 LED 등과 같은 디스플레이 제품이 적재되는 이송체 측에 부상 전자석(전자석 코어 및 구동 권선을 포함함)이 구비되는 형태로 이루어져 있어서, 전류 등의 인가에 따른 열 발생이 이송체의 전자석 코어 및 구동 권선 등에 영향을 끼치게 되고, 이와 더불어 이때 발생한 열이 디스플레이 제품 쪽으로 전달되어 열에 민감한 디스플레이 제품에 손상을 입히는 문제점이 있다.
- [0008] 일 예로서, 디스플레이 제품에 대한 증착 공정의 경우 진공 톱과 같은 매우 청정한 환경에서 진행되는 공정이므로, 디스플레이 제품에 열이 전달되지 않도록 해야 하며, 만일 디스플레이 제품에 열이 전달되면 증착 공정을 위한 조건들이 달라져 제품의 불량률을 초래하게 되는 문제점이 있다.
- [0009] 또한, 종래의 디스플레이 제조설비용 자기부상 이송 시스템에서는 각 부상 전자석의 권선(전자석 코일)에 흐르는 전류를 제어하고 자기부상력(흡인력)을 제어하기 위하여 각 부상 전자석 모두에 대해 개별적인 드라이버가 필요하고, 이에 부상 전자석의 개수만큼 드라이버가 필요하다는 문제점이 있다.
- [0010] 이에 자기부상 이송 시스템의 부상 전자석을 보다 효율적으로 구동시킬 수 있는 방법이 필요하게 되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 따라서, 본 발명은 이와 같은 점을 감안하여 안출한 것으로서, 자기부상 모듈의 부상전자석 권선과 선형추진의 고정자 권선을 고정된 레일 측에 배치하고, 이송체(트레이)에는 자기부상 모듈의 부상 전자석과 상호 작용하는 부상 코어와 선형 추진 모듈의 권선과 상호 작용하는 영구자석을 배치하여 운영하는 새로운 형태의 자기부상 이송 방식을 구현함으로써, 트레이에 있는 디스플레이 제품 측이 열에 의한 영향을 받지 않도록 할 수 있는 등 제품 보호는 물론 이송의 효율성을 향상시킬 수 있는 자기부상 이송 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0012] 또한, 본 발명의 다른 목적은 자기부상 이송 시스템의 부상 전자석을 보다 효율적으로 구동시킬 수 있는 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기한 목적을 달성하기 위해, 본 발명은, 자기부상력을 발생시키는 부상 전자석들이 이송체 상부에 이송체의 이송경로를 따라 일정 간격으로 설치되어 구성되는 자기부상 모듈이 구비됨과 더불어 상기 이송체에 부상 전자석들과 상호 작용하는 부상 코어가 설치된 무빙 코어 방식 및 흡인식 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법에 있어서, 이송체의 이송 동안 위치센서에 의해 이송체 이송방향 위치인 X축 절대 위치(x)가 실시간 검출되는 단계; 상기 X축 절대 위치(x) 정보로부터 이송체의 부상을 위해 자기부상력 발생이 요구되는 부상 전자석들로 이루어지는 섹션을 결정하는 단계; 결정된 섹션 내 각 부상 전자석들이 자기부상력을 발생시키도록 상기 섹션 내 각 부상 전자석에 전류를 인가하여 부상 전자석들을 구동시키는 단계; 및 상기 단계를 실시간으로 반복하되, 이송체의 이송 동안 검출된 상기 X축 절대 위치(x)에 따른 다음 순번의 섹션에서 이송체 부상을 위한 자기부상력을 발생시키도록 부상 전자석들을 구동하여 순차적인 섹션 전환이 이루어지도록 하는 단계;를 포함하고, 상기 섹션은 연속 배치된 미리 정해진 개수의 부상 전자석들로 구성되도록 설정된 것을 특징으로 하는 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법을 제공한다.
- [0014] 여기서, 상기 섹션 전환은 실시간 검출되는 이송체의 X축 절대 위치(x)에 따라 섹션을 결정한 뒤 이송방향을 기준으로 이전 순번의 섹션 내 최후방에 위치한 부상 전자석 하나를 위치 x에 따라 연속적으로 오프(꺼짐) 구동시키는 동시에 상기 이전 순번 섹션의 최전방 전자석 바로 앞쪽에 위치한 부상 전자석을 위치 x에 따라 연속적으로 온(켜짐) 구동시킴으로써 다음 순번의 섹션으로 전환되는 것임을 특징으로 한다.
- [0015] 또한, 상기 이송체 코어의 길이가 (N+1)P보다는 크고 (N+2)P보다는 작은 조건이 되도록(P는 부상 전자석 간의 피치임) 하나의 섹션을 구성하는 부상 전자석의 개수가 (N+1)개로 설정되어, 이송체를 항상 (N+1)개의 부상 전자석이 발생시키는 자기부상력 만으로 부상 및 지지시키는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한, 한 섹션을 구성하는 부상 전자석 중 이송방향을 기준으로 최전방에 위치한 전자석과 최후방에 위치한 전자석을 제외한 나머지 (N-1)개의 각 전자석이 이송체 총 정적(Static) 무게(Mg)의 1/N씩을 분담하도록 각 전자석의 자기부상력을 제어하고,
- [0017] 상기 최전방의 전자석이 이송체 총 정적 무게(Mg)의 $\frac{1}{N} \left\{ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\Delta x}{P} \right) \right\}$ 배를 분담하도록, 그리고 상기 최후방의 전자석이 이송체 총 정적 무게(Mg)의 $\frac{1}{N} \left\{ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Delta x}{P} \right) \right\}$ 배를 분담하도록 각 전자석의 자기부상력을 제어하는 것을 특징으로 한다(Δx = 이송체의 X축 절대 위치로부터 구해지는 값으로, 각 섹션의 중심위치로부터 이송체 무게중심까지의 X축 방향 거리임).
- [0018] 또한, 상기 한 섹션을 구성하는 각 전자석의 자기부상력(F)을 제어함에 있어서, 이송체의 이송경로를 따라 일정 간격으로 설치된 각 갭 센서에 의해 검출되는 이송체 부상 코어와의 수직 거리(S), 갭 센서 간의 이격 거리(Ps), 각 섹션의 중심위치로부터 이송체 무게중심까지의 X축 방향 거리(Δx) 정보를 이용하여 이송체 무게중심에서의 수직 거리(y)와 이송체의 기울어짐 각도(θ)를 산출하고, 이어 상기 각 섹션의 중심위치로부터 이송체 무게중심까지의 X축 방향 거리(Δx), 이송체 무게중심에서의 수직 거리(y), 이송체의 기울어짐 각도(θ), 및 부상 전자석 간의 피치 정보(P)를 이용하여 각 부상 전자석에서의 이송체 부상 코어까지의 수직 거리(δ)를 산출한 다음, 상기 산출된 각 부상 전자석에서의 이송체 부상 코어까지의 수직 거리 정보(δ)를 이용하여 각 부상 전자석에서 상기한 이송체 총 정적 무게(Mg)의 분담을 위한 자기부상력이 발생하도록 각 부상 전자석에 인가되는 전류(i)를 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 또한, 상기 섹션을 결정하는 단계는, 상기 각 섹션의 번호를 K라 하고, 상기 부상 전자석 간의 피치를 P라 할 때,

$$-\frac{P}{2} < x \leq \frac{P}{2} \quad \text{이면 } K=0$$

$$\frac{P}{2} < x \leq \frac{3P}{2} \quad \text{이면 } K=1$$

$$\frac{3P}{2} < x \leq \frac{5P}{2} \quad \text{이면 } K=2$$

⋮

$$k - \frac{P}{2} < x < k + \frac{P}{2} \quad \text{이면 } K=k (k \text{는 정수}, k \geq 0)$$

[0020]

[0021]

의 방법으로 X축 절대 위치(x)에 따라 이송체가 위치하는 각 색선의 번호를 결정함으로써 이루어지는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0022]

이에 따라, 본 발명에 따른 자기부상 이송 시스템 및 그 부상 제어 방법에 의하면 다음과 같은 장점이 있게 된다.

[0023]

첫째, 상부의 자기부상 모듈과 하부의 선형 추진 모듈 사이에 트레이(이송체)를 배치하여 디스플레이 제품을 이송하는 수직형 이송 방식의 인라인 타입 OLED 제조설비 등에 구축되는 자동화 이송라인의 구조를 간단하게 구성할 수 있는 등 설비 규모의 축소 및 공장 레이아웃 측면에서 유리한 점이 있고, 공정 및 이송의 효율성을 향상시킬 수 있다.

[0024]

둘째, 디스플레이 제품이 탑재되는 트레이 측에 부상 코어와 영구자석을 배치한 형태이므로, 열에 의한 영향으로부터 제품을 보호할 수 있는 등 제품 불량률을 낮출 수 있다.

[0025]

셋째, 위치 검출용 비접촉 선형 엔코더 등을 적용하여 트레이의 위치를 정밀하게 측정 및 제어할 수 있는 장점이 있다.

[0026]

넷째, 전자석 구동 드라이버가 전체 전자석의 개수만큼 필요하지 않고, 이송체의 이동 동안 자기부상력을 발생시켜 이송체의 부상(이송체 흡인)에 관여하는 한 개 색선의 전자석 개수((N+1)개) 만큼만 전자석 구동 드라이버가 필요하므로 시스템의 보다 효율적인 구동 및 제어가 가능하다는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0027]

도 1은 본 발명의 제어 방법이 적용되는 수직형 자기부상 이송 시스템을 나타내는 정면도

도 2는 본 발명의 제어 방법이 적용되는 수직형 자기부상 이송 시스템을 나타내는 측면도

도 3과 도 4, 도 5는 본 발명에 따른 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법을 설명하기 위한 도면(N = 3 일 때의 설명)로서,

도 3은 색선의 중심위치와 전자석의 중심위치가 일치되게 배치했을 때의 자기부상 제어 방법을 설명하기 위한 도면

도 4는 색선의 중심위치와 전자석의 중심위치가 $\frac{P}{2}$ 만큼 어긋나게 배치했을 때의 자기부상 제어 방법을 설명하기 위한 도면

도 5은 색선절환에 따른 자기부상 전자석의 제어 전류 스위칭을 도시한 도면

도 6은 본 발명에서 이송체가 이동하는 동안 이송체 위치(x)에 따라 결정되는 색선 번호를 나타내는 도면

도 7은 본 발명에서 이송체가 이동하는 동안의 x 값과 각 섹션 내 이송체 위치에서의 Δx 값 변화를 나타내는 도면

도 8은 본 발명에서 각 파라미터 산출 과정을 설명하기 위한 도면

도 9는 본 발명의 부상 제어 과정을 수행하는 부상 제어 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0029] 도 1은 본 발명의 제어 방법이 적용되는 자기부상 이송 시스템을 나타내는 정면도이고, 도 2는 본 발명의 제어 방법이 적용되는 자기부상 이송 시스템을 나타내는 측면도이다.
- [0030] 도 1과 도 2에 도시한 바와 같이, 본 발명의 제어 방법이 적용되는 자기부상 이송 시스템은 다수 개의 부상 전자석 배열을 포함하는 자기부상 모듈과 추진용 LSM(Linear Synchronous Motor) 권선을 포함하는 선형 추진 모듈을 이용하여 피이송물(예를 들면, 디스플레이 부품이나 제품, 공정이 필요한 반제품 등)이 고정되어 있는 이송체(트레이)를 공정 간에 이송시켜주는 방식으로 이루어진다.
- [0031] 이를 위하여, 이송체(10)의 부상을 위한 수단으로 자기부상 모듈(12)이 마련되고, 상기 자기부상 모듈(12)은 이송체의 이송방향(진행방향)을 따라가면서 일정한 간격으로 배치되는 다수 개의 부상 전자석(11)을 포함한다.
- [0032] 각 부상 전자석(11)은 공정으로 이어지는 이송체 이송라인을 따라 설치된 상부의 프레임(27a)에 고정되어 설치되고, 고정자 코어(전자석 코어)에 코일을 감은 형태로 구성된다.
- [0033] 이렇게 다수 개의 부상 전자석(11)을 일정한 간격으로 배치함으로써, 이송체(10)의 장거리(Long stroke) 이송이 가능하며, 이때 적어도 3개 이상의 부상 전자석(11)이 이송체(10)가 있는 구간에 위치되면서 이송체(10)를 부상 지지하게 된다.
- [0034] 이러한 자기부상 모듈(12)은 이송체(10)의 추진 동안 실시간 부상 섹션 전환 작동으로 이송체(10)를 부상시키게 된다.
- [0035] 본 발명에서 주요 특징인 섹션 전환에 대해 좀더 상세히 설명하면, 이송체(10)는 이송 동안 현 위치에서 자기부상 모듈(12)을 구성하는 전체 부상 전자석(11) 중 정해진 개수의 부상 전자석 일부에 의해서만 부상된다.
- [0036] 이에 이송체(10)를 현 위치에서 부상시키는(자기부상력을 발생시켜야 하는) 특정 개수의 연속 배치된 부상 전자석(11)들을 하나의 섹션으로 정의할 때, 즉 자기부상 모듈(12)을 구성하는 전체 부상 전자석(11) 중에 이송체(10)의 이동 동안 이송체의 현 위치에 따라 실제 자기부상력을 발생시켜 이송체(10)를 부상시켜야 하는(이송체를 실제 흡인하는, 즉 이송체의 부상에 실제 관여하는) 이웃한 정해진 개수의 부상 전자석(11) 군(群)(배열)을 하나의 섹션으로 정의할 때, 이송체(10)는 현 위치에서 그것이 위치한 특정 섹션의 부상 전자석(11)들이 발생시킨 자기부상력에 의해 부상된다.
- [0037] 따라서, 이송체(10)를 부상시키는 특정 섹션에서 이송체를 부상시키기 위한 자기부상력은 그 섹션 내에 속한 부상 전자석(11)들이 분담하여 발생시키게 된다.
- [0038] 이때, 이송체(10)가 정해진 경로를 따라 이송될 때 자기부상력을 발생시키는 섹션이 이전의 섹션에서 다음의 섹션으로 바뀌는 것을 섹션 전환이라 할 수 있으며, 본 발명은 하나의 섹션을 이루는 부상 전자석(11) 개수만큼의 구동 드라이버(도 5에서 도면부호 46임)만을 이용하여 최적의 방법으로 섹션 전환을 제어하고 이를 통해 시스템을 보다 효율적으로 운용할 수 있는 방법을 제공하고자 하는 것이다.
- [0039] 이와 같이 본 발명에서 이송체(10)의 이동은 전체 부상 전자석(11) 중에서 이송체의 현 위치(후술하는 바와 같이 이송체의 X축 절대 위치임)에 따라 결정된 특정 섹션의 부상 전자석(11)들이 구동되면서, 즉 선택된 한 섹션의 부상 전자석(11)에 전원이 인가되면서 이송체(10)를 부상시키고, 실시간으로 섹션 전환(다음 순번 섹션의 부상 전자석들에 전원이 인가되어 자기부상력을 발생시킴)이 이루어지는 방식으로 이송체(10)를 변화된 이송 위치에서 부상시키게 된다.
- [0040] 여기서, 이전의 섹션과 바로 다음 순번의 섹션은 1개의 부상 전자석(11)을 제외한 나머지 부상 전자석들을 공유하며, 예컨대 하나의 섹션이 4개의 부상 전자석(11)으로 설정되었을 때, 전자석 배열 순서에 따라 이전의 섹션이 이송체(10)의 자기부상에 관여하는(자기부상력을 발생시키는) 1, 2, 3, 4번의 부상 전자석 4개로 이루어진다면, 다음의 섹션은 2, 3, 4, 5번의 부상 전자석 4개가 되고, 그 다음의 섹션은 3, 4, 5, 6번의 부상 전자석 4개

가 된다.

- [0041] 이와 같은 방식으로 이송체(10)의 이송 동안 이송체(10)를 자기부상시키는 섹션의 순차적이고 연속적인 전환이 이루어지며, 이송체(10)의 진행방향(이송방향)을 따라 일렬로 배치되어 있는 부상 전자석(11)들을 이송체 진행 방향에 맞춰 순차적으로 ON/OFF 시켜줌으로써, 선형 추진 모듈(14)에 의해 추진되는 이송체(10)의 진행과 보조를 같이하면서 이송체(10)를 부상시켜줄 수 있게 된다.
- [0042] 이와 같이 자기부상 모듈(12)의 경우 일정한 간격으로 배치되는 형태의 멀티 부상 전자석을 적용함으로써, 여러 개의 부상 전자석(11) 중에서 이송체(10)가 지나가는 구간에 위치되는 한 섹션의 부상 전자석(11)에만 전류를 인가하여 구동시키는 방식, 즉 이송체(10)가 위치되어 있는 구간에 있는 부상 전자석(11)은 ON, 그 이외의 구간에 있는 부상 전자석은 OFF 시켜주는 실시간 부상 섹션 전환 방식으로 이송체(10)를 부상시키게 되고, 결국 이송체 이송에 소요되는 전력 에너지를 대폭 절감할 수 있는 이점이 있다.
- [0043] 또한, 고정자에 해당하는 자기부상 모듈(12) 측에 부상 전자석(11)을 배치함과 더불어 이동자에 해당하는 이송체(10)에는 부상 전자석(11)에 대응하는, 즉 부상 전자석(11)과 상호 작용하는 부상 코어(이동자 코어)(16)를 배치한 형태를 이용한 흡인식 무빙 코어(Moving Core) 자기부상 방식을 적용함으로써, 기존의 무빙 마그네트 방식보다 발생 흡인력을 6 ~ 10배 이상 크게 확보할 수 있게 되고, 결국 고중량(100kg ~ 1ton) 이송체(예를 들면, 디스플레이 제조설비에서 기판이나 패널 등의 부품, 반제품이 고정된 트레이 등)를 부상시킬 수 있으면서도 μm 이하의 정밀 부상 제어가 가능하게 된다.
- [0044] 또한, 부상 전자석의 구동용 코일이 고정자에 배치되기 때문에 냉각장치를 쉽게 설치할 수 있으며, 이에 냉각장치를 진공챔버의 바깥에 배치할 수 있는 이점도 있게 된다.
- [0045] 즉, 진공챔버에서는 열이 대류에 의해서는 절대 전달될 수 없고, 전도에 의해서만 열이 전달될 수 있기 때문에, 냉각장치를 진공챔버의 바깥쪽에 배치할 수 있다는 것은 큰 이점을 제공한다.
- [0046] 그리고, 이송체(10)의 추진을 위한 수단으로 추진용 LSM 권선(13)을 포함하는 선형 추진 모듈(14)이 마련된다.
- [0047] 상기 선형 추진 모듈(14)은 이송체(10)의 직선 이송을 위한 추진력을 발생시키는 수단으로서, 자기부상 모듈(12)에 있는 부상 전자석 배열의 하부에서 이와 나란하게 배치되는 구조로 설치되며, 프레임(27b)에 설치되는 추진용 LSM 권선(13)을 포함한다.
- [0048] 이에 따라, 선형 추진 모듈(14)의 추진용 LSM 권선(13)에 전류를 인가함에 따라 이송체(10)의 추진력을 발생시킬 수 있게 된다.
- [0049] 또한, 실질적으로 디스플레이 제품을 이송시켜주는 수단의 일 예로서, 디스플레이 제품을 고정시켜 주는 정전척(15)을 구비한 이송체(10)가 마련된다.
- [0050] 상기 이송체(10)는 사각의 프레임으로 이루어진 이송체 본체(28)를 포함하며, 상기 이송체 본체(28)의 내측 영역에는 디스플레이 제품을 고정시킬 수 있는 정전척(15)이 설치된다.
- [0051] 그리고, 상기 이송체 본체(28)의 상단부에는 자기부상 모듈(12)의 부상 전자석(11)에 대응할 수 있는 부상 코어(16)가 설치되고, 이때 부상 코어(16)는 일렬로 배열되어 있는 부상 전자석(11)과 나란한 형태를 이룰 수 있게 된다.
- [0052] 또한, 상기 이송체 본체(28)의 하단부에는 선형 추진 모듈(14)의 추진용 LSM 권선(13)에 대응할 수 있는 추진용 영구자석(17)이 설치되고, 이때의 추진용 영구자석(17) 역시 일직선상의 추진용 LSM 권선(13)과 나란하게 위치될 수 있게 된다.
- [0053] 이러한 이송체(10)는 상측에 배치된 자기부상 모듈(12)과 하측에 배치된 선형 추진 모듈(14) 사이에서 이송체 본체(28)의 좌우 폭 방향을 자기부상 모듈(12) 및 선형 추진 모듈(14)과 나란히 하면서 수직 자세로 위치된다.
- [0054] 이렇게 위치되는 이송체(10)의 상단 부상 코어(16)는 자기부상 모듈(12)에 있는 부상 전자석(11)의 바로 밑에서 이와 근접되게 위치되고, 이송체(10)의 하단 추진용 영구자석(17)도 선형 추진 모듈(14)에 있는 추진용 LSM 권선(13)의 바로 위에서 이와 근접되게 위치된다.
- [0055] 이에 따라, 상기 이송체(10)는 자기부상 모듈(12)에 의해 부상한 상태에서 선형 추진 모듈(14)에 의한 추진력을 받아 이송체 이송라인을 따라 이송될 수 있게 된다.
- [0056] 즉, 상기 이송체(10)는 진공영역(30)으로 구성되어 있는 공간 내에서 선형 추진 모듈(14)의 추진 작동에 의한

추진력을 받음과 더불어 자기부상 모듈(12)의 각 부상 전자석(11)에 대한 실시간 부상 섹션 절환 작동에 의한 부상력을 받으면서 이송될 수 있게 된다.

- [0057] 한편, 본 발명에서는 이송체(10)가 궤도를 이탈하지 않고 이송라인을 따라 정확하게 이송될 수 있도록 해주는 이송체 가이드 수단을 제공한다.
- [0058] 이렇게 이송체(10)의 궤도 이탈을 방지하기 위한 수단으로 자계 패스 형성용 블록(29a, 29b)이 마련되고, 각각의 자계 패스 형성용 블록(29a, 29b)은 이송체 본체(29)의 하단 측과 선형 추진 모듈(14)에 있는 추진용 LSM 권선(13) 측에서 서로 마주보는 상태로 설치된다.
- [0059] 예를 들면, 상기 선형 추진 모듈(14)의 추진용 LSM 권선(13)이 설치되어 있는 프레임(27b)에는 대략 "ㄷ"자 모양의 자계 패스 형성용 블록(29b)이 이송체(10)의 이송경로를 따라 설치되고, 이송체(10)의 이송체 본체(28)에도 자석을 가지면서 대략 "ㄷ"자 모양의 자계 패스 형성용 블록(29a)이 설치되며, 이렇게 설치되어 있는 자계 패스 형성용 블록(29a, 29b)의 서로 마주보며 근접 위치되는 선단부에 다수의 요철부(19a, 19b)가 형성된다.
- [0060] 이때의 자계 패스 형성용 블록(29a, 29b)은 서로 마주보는 요철부(19a, 19b)를 이용하여 이송체(10)의 전후방향 궤도 이탈을 효과적으로 막아줄 수 있게 된다.
- [0061] 여기서, 상기 이송체(10) 측에 구비되는 자계 패스 형성용 블록(29a)은 이송체 본체(28)의 좌우 폭 방향(두께 방향) 양편에 각각 하나씩 설치하여 이송체(10)를 안정적으로 잡아줄 수 있도록 하는 것이 바람직하다.
- [0062] 이에 따라, 상기 이송체 측 자계 패스 형성용 블록(29a)과 이에 대응하여 아래쪽에서 마주보면서 근접해 있는 선형 추진 모듈 측 자계 패스 형성용 블록(29b)이 발휘하는 인력 및 척력에 의해 이송체(10)가 정확한 궤도선 상에 위치될 수 있게 되고, 결국 이송체에 매달려 있는 디스플레이 제품 혹은 반제품의 정확한 직선 이송이 가능하게 된다.
- [0063] 물론, 부상 전자석 및 부상 코어를 이용하는 흡인식 자기부상 이송 시스템의 경우, 서로 어긋나게 되면 센터로 얼라인되려는 안내력이 생기기 때문에 이송체가 궤도의 센터 라인을 유지하면서 정확하게 이송될 수 있으며, 여기에 자계 패스 형성용 블록(29a, 29b)을 추가로 적용함으로써 보다 정밀한 가이드 제어가 가능해지게 된다.
- [0064] 여기서, 도 2에서 볼 수 있듯이 위, 아래 요철부(19a, 19b)가 일치되면 얼라인 포스는 "0"이 되고, 요철부(19a, 19b)가 어긋나면 얼라인 포스가 커지면서 이송체가 센터 쪽으로 얼라인될 수 있게 된다.
- [0065] 그리고, 상기 자계 패스 형성용 블록(29a, 29b)에 요철을 많이 두어서 얼라인 포스 발생을 증대시킬 수 있으며, 요철이 1개일 경우보다 요철을 많이 두면 얼라인 포스가 증대될 수 있게 된다.
- [0066] 한편, 상기와 같이 구성되는 자기부상 이송 시스템의 이송체 부상 제어 과정은, 이송체의 이송 동안 위치센서에 의해 이송체 이송방향 위치인 X축 절대 위치가 실시간 검출되는 단계; 상기 X축 절대 위치에 따라 이송체의 현 위치에서 이송체 부상을 위해 자기부상력 발생이 요구되는 부상 전자석들로 이루어지는 섹션을 결정하는 단계; 결정된 섹션 내의 각 부상 전자석들이 자기부상력을 발생시키도록 상기 섹션 내 부상 전자석에 전류를 인가하여 부상 전자석들을 구동시키는 단계; 및 상기 단계를 실시간으로 반복하되, 이송체의 이송 동안 검출된 상기 X축 절대 위치에 따른 다음 순번의 섹션에서 이송체 부상을 위한 자기부상력을 발생시키도록 부상 전자석들을 구동하여 순차적인 섹션 절환이 이루어지도록 하는 단계;로 진행되고, 여기서 섹션은 연속 배치된 미리 정해진 개수의 부상 전자석들로 구성되도록 설정된다.
- [0067] 이러한 부상 제어 방법에 대해 도면을 참조하여 설명하면, 도 3과 도 4, 도 5는 본 발명에 따른 자기부상 이송 시스템의 부상 제어 방법을 설명하기 위한 도면으로, 부상 제어에 관계되는 구성부들, 즉 부상 전자석(11)과 갭 센서(31), 이송체(10)를 간략하게 도시한 도면이다.
- [0068] 도 3과 도 4에서 이송체(10)에 대해서는 실제의 형상 대비 상하 높이를 크게 축소하여 개략적으로 나타내었으며, 도 5는 이송체(10)와 더불어 전자석 구동 드라이버(46)와 섹션 절환 스위치(47), 비접촉 위치센서(18)를 추가로 도시하였다.
- [0069] 도 3 및 도 4에서 3개의 이송체(10)를 도면상 상하 각 위치에 도시하였으나, 이는 섹션 절환에 대해 설명하기 위해 도시한 것일 뿐, 실제 하나의 이송체(10)가 도 5에 나타난 바와 같이 부상 전자석들의 흡인력(자기부상력)에 의해 부상하여 수평으로(도면상 좌측에서 우측방향으로) 이동하게 됨을 밝혀둔다(수평방향 = X축 방향 = 이송체 이송방향 = 진행방향, 이하 X축은 이송체 이송방향 및 진행방향 축임).
- [0070] 또한, 도면상 이송체(10)를 좌우가 기울어진 상태로 도시하였으나, 이는 각도 θ 를 표기하기 위한 것일 뿐, 실

제 이송체는 각도 θ 가 0이 되도록 자세 제어되며, 본 발명의 부상 제어에 의해 도면과 달리 좌우 기울어짐 없이 이송됨을 밝혀둔다.

- [0071] 또한, 이송체(10)를 부상시키는 섹션에 대해 설명하기 위하여 이송체의 이송방향(진행방향)을 따라 각 섹션의 순번(K)을 표시하였다.
- [0072] 도 3은 이송체의 이송구간에 따라 구분되는 각 섹션이 3개(= N+1, 여기서 N = 2)씩의 부상 전자석(11)들로 구성된 예를 나타낸 것이고, 도 4는 각 섹션이 4개(= N+1, 여기서 N = 3)의 부상 전자석들로 구성된 예를 나타낸 것이다(N은 섹션에서의 흡인력을 발생시키는 부상 전자석의 최소 개수임)
- [0073] 도 3 및 도 4에서 가장 상측에 도시한 이송체(10)는 섹션 K(여기서, K는 $K \geq 0$ 인 정수로서 섹션 번호임)의 위치를, 중간에 도시한 이송체는 섹션 K의 위치에서 섹션 K+1의 위치로 전환될 때의 위치를, 그리고 가장 하측의 이송체는 섹션 K+1로 완전히 전환된 위치를 나타내고 있다.
- [0074] 물론, 이송체(10)가 섹션 K에서 섹션 K+1로 이송하는 것은 상술한 선형 추진 모듈에 의해 이송체가 추진됨에 따른 것이며, 도면에는 섹션 K, 섹션 K+1의 상태만을 도시하였으나, 실제 이송체는 그 이전의 섹션으로부터 섹션 K, 섹션 K+1, 섹션 K+2, 섹션 K+3, 섹션 K+4 등의 위치로 순차 이동하게 된다(섹션 전환이 이루어짐).
- [0075] 도 3과 도 4에서 이송체(10)가 이송되는 방향(진행방향)은 도면의 좌측에서 우측으로의 방향이다.
- [0076] 또한, 각 부상 전자석(11)의 경우에도 이송체(10)의 이송방향을 따라 M1 ~ M8과 같이 순번을 표시하였으며, 각 섹션에서 도 3의 예는 하나의 섹션 구간에 3개의 부상 전자석이 포함되므로, 섹션 K 위치의 이송체(10)(도면에서 가장 상측의 이송체)는 M1, M2, M3의 부상 전자석에 의해 부상되며, M1, M2, M3의 각 부상 전자석이 이송체(10)를 부상시키기 위한 총 자기부상력을 분담하여 발생시키게 된다.
- [0077] 또한, 섹션 K+1의 이송체(10)(도면에서 가장 하측의 이송체)는 M2, M3, M4의 부상 전자석이 총 자기부상력을 분담하여 발생시킨다.
- [0078] 이때, 섹션 K에서 섹션 K+1로의 섹션 전환은 M1의 부상 전자석에 인가되는 전류를 차단함과 더불어 M4의 부상 전자석에 새로이 전류를 인가하는 과정을 포함하며, 부상 전자석(11)에 선택적으로 전류를 인가하고 차단하는 방법으로는, 각 부상 전자석으로 전류가 인가되는 경로 상에 외부의 제어신호에 따라 온/오프 스위칭되는 섹션 전환 스위치(도 5 및 도 9에서 도면부호 47임)(이는 릴레이 스위치가 될 수 있음)를 설치하는 것으로 구현 가능하다.
- [0079] 즉, 위의 섹션 K \rightarrow K+1의 전환은 M1의 전자석 구동을 제어하기 위한 섹션 전환 스위치(47)를 턴 오프, M4의 전자석 구동을 제어하기 위한 섹션 전환 스위치(47)를 턴 온함으로써 이루어지는 것이며, 나머지 섹션 전환도 부상 전자석을 순차적으로 온/오프시키는 동일한 방식이 적용된다(구동 섹션의 전자석들을 제외한 나머지 전자석들은 오프됨).
- [0080] 또한, 도 4의 예는 하나의 섹션 구간에 4개의 부상 전자석(11)이 포함되므로, 섹션 K 위치의 이송체(도면에서 상측의 이송체)는 M1, M2, M3, M4의 부상 전자석이, 섹션 K+1 위치의 이송체(도면에서 하측의 이송체)는 M2, M3, M4, M5의 부상 전자석이 총 자기부상력을 분담하여 발생시킨다.
- [0081] 이때, 섹션 K에서 섹션 K+1로의 섹션 전환은 M1의 부상 전자석에 인가되는 전류를 차단함과 더불어 M5의 부상 전자석에 새로이 전류를 인가하는 과정을 포함하며, 전술한 바와 같이 해당 전자석의 섹션 전환 스위치(47)를 온/오프 제어하게 된다.
- [0082] 이와 같이 본 발명에서는 이송체(10)의 위치에 따라 정해지는 특정 섹션의 전자석(11)들이 발생시키는 자기부상력에 의해 이송체(10)가 부상 및 지지되도록 하고, 이송체(10)가 이동하는 동안 이전의 섹션에서 다음의 섹션, 그리고 그 다음의 섹션에서 이송체를 순차적으로 부상 및 지지하게 되는 자기부상 모듈(12)의 섹션 전환이 이루어지며, 이러한 자기부상 모듈(12)의 섹션 전환은 상기와 같이 부상 전자석(11)의 온/오프를 섹션 전환 스위치(47)를 통해 순차적으로 제어하는 방식으로 이루어진다.
- [0083] 본 발명에서와 같이 이송체(10)의 이송 동안 자기부상력을 발생시키는 섹션을 순차적으로 전환해주는 제어 방식을 이용하게 되면, 이송체의 부상을 위해 이동체가 위치하는 한 섹션 내의 부상 전자석(11)만을 구동시키면 되므로 한번에 동작하는 부상 전자석의 개수만큼, 즉 한 섹션에 속하는 부상 전자석(11)의 개수만큼의 드라이버(46)만을 구비하면 된다.
- [0084] 종래의 경우 고정자 전자석 개수만큼의 드라이버가 필요하였으나, 본 발명에서는 한번에 동작하는 부상 전자석

의 개수만큼만 전류제어기의 드라이버가 있으면 되므로 드라이버의 개수를 줄일 수 있는 이점이 있게 되고, 이로 인해 제어의 용이함, 비용 절감 등이 가능해진다.

- [0085] 섹션 전환(스위칭)은 이송체(10)의 위치, 보다 명확히는 이송체의 무게중심의 X축(진행방향 축) 절대 위치(x)를 입력받아 그로부터 섹션을 결정된 후 결정된 섹션 내 부상 전자석을 구동시키는 방식으로 이루어지며, 이에 대해서는 뒤에서 상세히 설명하기로 한다.
- [0086] 그리고, 도 3 내지 도 5에서 CM은 이송체(10)의 무게중심을 나타내며, x는 이송체의 현 이송방향 위치, 보다 명확히는 이송체의 무게중심(CM)의 이송 위치(X축 절대 위치)를, Δx 는 각 섹션의 중심위치로부터 이송체의 무게중심(CM)까지의 X축 방향 거리를 나타낸다.
- [0087] 여기서, 이송체(10)가 정해진 기점에서 출발한 뒤 각 섹션들을 순차적으로 통과하여 이동한다고 할 때, x는 기점으로부터 이송체가 이동한 총 이동거리가 되고, Δx 는 구동되는 현 섹션 내에서 그 중심위치를 기준으로 하는 이송체 무게중심(CM)의 X축 방향 위치가 된다.
- [0088] 이송체(10)의 X축 절대 위치(x)는 비접촉 위치센서(18)로 측정될 수 있으며, 비접촉 위치센서로는 이송체(10)의 이송경로를 따라 설치되는 리니어 엔코더나 바코드 포지셔닝 센서, 또는 레이저 인터페로미터 등을 적용할 수 있다.
- [0089] 자기부상 모듈(12)의 실시간 섹션 전환 및 선형 추진 모듈의 추진 구동을 위해서는 이송체(10)의 현재 위치(x)를 검출해야 하며, 이송체의 위치를 검출하기 위한 수단으로 상기한 비접촉 위치센서(18)가 이용된다.
- [0090] 그리고, 각 섹션의 중심위치는 도 3 및 도 4에서 수직의 점선으로 나타낸 바와 같이 각 섹션에서 부상 전자석(11)들이 설치된 X축 방향 구간의 정 중심위치를 의미한다.
- [0091] 도 3의 경우 한 섹션에 3개의 전자석(11)이 포함되므로 각 섹션마다 중간에 위치한 전자석(11)의 X축 방향 중심(예, 섹션 K인 경우 M2의 중심)이 섹션의 중심이 되며, 도 4의 경우 한 섹션에 4개의 전자석(11)이 포함되므로 각 섹션마다 안쪽 중앙에 위치한 2개 전자석의 중앙 위치(예, 섹션 K인 경우 M2와 M3 사이의 중앙 위치)가 섹션의 중심이 된다.
- [0092] 물론, 도 3과 도 4의 경우 각각 한 섹션당 3개와 4개의 전자석이 포함되는 예이나, 각 섹션당 전자석 개수(N+1)는 3개 이상으로 다양하게 변경될 수 있으며, 섹션이 홀수의 전자석을 포함하는 경우에는 도 3에서와 같이 가장 중간에 위치한 전자석의 X축 방향 중심이 섹션의 중심이 되고, 섹션이 짝수의 전자석을 포함하는 경우에는 도 4에서와 같이 가장 안쪽 중앙에 위치한 2개 전자석의 중앙 위치가 섹션의 중심이 된다.
- [0093] 또한, 도 3 및 도 4에서 P는 부상 전자석 간 피치(부상 전자석이 배치된 간격), 즉 이웃한 두 부상 전자석의 중심 간 이격 거리를 나타내는데, 부상 전자석들은 동일한 이격 간격(P)으로 일정하게 배치된다.
- [0094] 도 3 및 도 4를 참조하면 각 부상 전자석(11) 간의 피치가 P가 됨을 볼 수 있다.
- [0095] 또한, 도 3 및 도 4에서 θ 는 이송체의 기울어진 각도를 나타내고, Mg는 이송체의 총 정적(Static) 무게(Mg)를 나타낸다.
- [0096] 이와 같은 자기부상 이송 시스템에서는 이송체(10)의 이송방향 전후 길이(도면상에서의 좌우방향으로의 길이 임)는 도 3의 예(N = 2)인 경우 3P보다 크고, 도 4의 예(N = 3)인 경우 이송체의 길이가 4P보다 커야 한다.
- [0097] 이를 일반화하여 나타내면, 본 발명에서, (N+1)개(여기서, N은 $N \geq 2$ 인 정수임)의 전자석을 한 섹션으로 규정하였을 때, 이송체(10)의 길이는 (N+1)P보다는 크고 (N+2)P보다는 작아야 하며, 이때 이송체(10)의 이송 동안 섹션 전환이 이루어지면서 항상 한 섹션만의 전자석(11), 즉 항상 (N+1)개의 전자석(11)만으로 이송체(10)를 부상 및 지지시키게 된다.
- [0098] 여기서, 이송체(10)의 길이는 이송체의 실효 길이(액티브(active) 영역의 길이), 즉 부상 전자석(11)과 상호 작용하도록 이동체에 배치된 코어(16)의 실효 길이를 의미한다.
- [0099] 본 발명에서의 섹션 전환은 이송체(10)를 부상시켜 지지하는 전자석(11)들 전체가 다음 순번의 전자석들로 모두 한꺼번에 교체됨을 의미하는 것이 아니며, 전술한 바와 같이 섹션 전환시 이송체를 지지하는 특정 섹션의 전자석들 중 하나의 전자석(이송방향을 기준으로 가장 후방의 전자석)이 빠지면서 다음 순번의 전자석 하나가 새로이 추가로 이송체를 지지하는 형태로 다음 섹션으로의 전환이 이루어지고, 이에 이송체의 이송 동안 항상 하나의 섹션만으로, 그리고 항상 동일한 개수의 전자석만으로 이송체가 부상 및 지지됨을 이해해야 할 것이다.

- [0100] 이송체(10)가 이전 섹션에서 다음 섹션의 위치로 이동할 때, 이송방향을 기준으로 이전 섹션의 최후방에 위치한 전자석 하나가 오프됨과 동시에, 다음 섹션에서 이전 섹션의 최전방 전자석 바로 앞쪽의 전자석 하나가 추가로 온(ON) 되면서 이송체의 무게를 새로이 분담하게 되는 것이다.
- [0101] 또한, 상술한 자기부상 이송 시스템에서는 이송체(10)가 선형 추진 모듈에 의해 추진되는 동안 이송체를 부상시켜 지지할 섹션이 이송체의 위치 정보(X축 절대 위치, 즉 x 값)로부터 실시간으로 결정되어야 하고, 또한 섹션이 결정되고 나면 이송체(10)가 기울어짐 없이 부상될 수 있도록 결정된 섹션 내에서 전체 전자석들이 이송체의 총 무게를 적절히 분담하여 지지할 수 있게 각 전자석(11)에 인가되는 전류(i)를 제어하게 된다.
- [0102] 여기서, 섹션을 결정하는 방법에 대해 설명하면, 도 3과 도 4에 나타난 바와 같이, 각 섹션의 중심위치로부터 이송체의 무게중심(CM)까지의 X축 방향 거리(Δx)는 이송체(10)가 이송하는 동안 항상 $-P/2$ 와 $P/2$ 사이의 값이 된다.
- [0103] 즉, 이송체(10)가 정해진 기점으로부터 출발하여 이동될 때, x (이송체의 무게중심의 X축 방향 절대 위치, 이송체의 총 이동거리)는 증가하면서, 각 섹션 내에 위치하고 있는 이송체(10)의 Δx 는 아래 식(1)과 같이 섹션 중심위치($\Delta x = 0$)를 기준으로 $-P/2$ 와 $P/2$ 사이의 값으로 반복되는 것이다.
- [0104]
$$-P/2 < \Delta x < P/2 \quad (1)$$
- [0105] 이때, 이송체(10)가 다음 섹션으로 전환될 때의 위치(도 3 및 도 4의 상하 중간에 도시한 이송체의 위치)에 있을 때에는 $\Delta x = P/2$ 가 된다.
- [0106] 요컨대, 이송체(10)가 이송하는 동안, 한 섹션 내에 있는 이송체의 Δx 는 상기 식(1)의 범위 내에서 변화하게 되고, 섹션 전환 시점에서는 Δx 가 $P/2$ 가 되며, 또한 다음 섹션 내에서 이동될 때 이송체의 Δx 는 다시 상기 식(1)의 범위 내에서 변화하게 된다(도 7 참조).
- [0107] 또한, 기점부터 섹션 번호 K 가 $K \geq 0$ 인 정수로 정의되었을 때(기점 부근의 최초 섹션 번호는 $K = 0$ 임), 이송체(10)의 이송 동안 비접촉 위치센서(18)에 의해 측정되는 위치 x 값을 이용하여 아래 식(2)와 같이 결정될 수 있다.
- $$\begin{aligned} -\frac{P}{2} < x \leq \frac{P}{2} & \quad \text{이면} & K=0 \\ \frac{P}{2} < x \leq \frac{3P}{2} & \quad \text{이면} & K=1 \\ \frac{3P}{2} < x \leq \frac{5P}{2} & \quad \text{이면} & K=2 \\ & \vdots & \\ k - \frac{P}{2} < x < k + \frac{P}{2} & \quad \text{이면} & K=k (k \text{는 정수}, k \geq 0) \end{aligned}$$
- [0108]
$$(2)$$
- [0109] 도 6은 이송체가 이동하는 동안 이송체 위치(x)에 따라 결정되는 섹션 번호(K)를 나타내는 도면이고, 도 7은 이송체가 이동하는 동안의 x 값과 각 섹션 내 이송체 위치에서의 Δx 값 변화를 나타내는 도면이다.
- [0110] 도 6을 참조하면 이송체가 이동하는 동안 이송체의 위치(x)에 따라 섹션 번호가 1씩 증가함을 볼 수 있고, 도 7을 참조하면 각 섹션마다 Δx 가 $-P/2$ 에서 $P/2$ 의 범위 내로 변화함을 볼 수 있다.
- [0111] 이와 같이 위치센서, 즉 리니어 엔코더나 바코드 포지셔닝 센서, 레이저 인터페로미터 등과 같은 비접촉 위치센서(18)의 신호로부터 구해지는 이송체의 위치 정보(x)를 이용하면, 이송체(10)를 부상시키기 위한 섹션을 결정할 수 있게 된다.
- [0112] 섹션이 결정되면 섹션을 전환하는 과정에서 섹션 전환 스위치(47)를 이용하여 부상 전자석(11)을 적절히 온/오프시켜야 하는데, 이에 대해서는 전술한 바와 같다.
- [0113] 상술한 섹션 결정 및 전환 과정은 부상 제어 장치의 섹션 결정부(도 9에서 도면부호 41임)가 위치센서(18)의 신호를 입력받아 수행하며, 섹션 결정부는 섹션이 결정되고 나면, 섹션 전환이 이루어지도록, 즉 구동 섹션의 부

상 전자석에만 전류가 인가되도록, 섹션 절환 스위치(47)를 온/오프 제어하기 위한 제어신호를 출력하고, 이에 섹션 절환 스위치가 온/오프되면서 부상 전자석(11)의 온/오프가 이루어진다.

[0114] 한편, 본 발명의 자기부상 이송 시스템은 자기부상력(이송체에 대해 흡인력으로 작용함)을 발생시키는 부상 전자석(11)을 포함한 자기부상 모듈(12)이 고정요소(고정자)에 설치됨과 더불어 이송체(이동자)(10)에는 부상 전자석(11)에 대응하는 부상 코어(16)가 설치되는 무빙 코어 방식이다.

[0115] 또한, 한 섹션의 부상 전자석(11)들만이 구동되는 상태에서 이송체(10)가 부상되어 이송체의 현 이송 위치에 따라 섹션의 절환이 이루어지는 방식이다.

[0116] 따라서, 상술한 바와 같이 이송체(10)의 이송 동안 구동되어야 할 섹션들이 결정되어야 함은 물론, 이와 동시에 구동되는 섹션 내 각 부상 전자석(11)이 부담해야 하는 자기부상력(F)(이송체의 총 무게에 대한 분담 지지력이 됨)이 실시간으로 연산되어야 하고, 또한 연산된 지지력을 발생시키도록 부상 전자석(11)에 인가되는 전류(i)를 실시간으로 제어해야 한다.

[0117] 여기서, 한 섹션 내에서 각 부상 전자석(11)이 발생시켜야 하는 자기부상력(F)에 대해 설명하면 다음과 같다.

[0118] 본 발명에서는, 이송체(10)를 지지하도록 구동하여 자기부상력을 발생시키고 있는 한 섹션의 전자석 (N+1)개 중에서, 이송방향을 기준으로 최전방의 전자석과 최후방의 전자석을 제외한 나머지 (N-1)개의 전자석(이송체의 무게중심으로부터 가까운 전자석들임)들은 각각 이송체 총 정적 무게(Mg)의 1/N씩($F = (1/N)Mg$, 여기서 F는 각 전자석이 발생시키는 자기부상력임)을 분담하여 지지하게 된다.

[0119] 이와 동시에 한 섹션 내에서 최전방의 전자석과 최후방의 전자석, 즉 이송체(10)의 무게중심(CM)으로부터 가장 먼 나머지 전자석 2개가 합하여 이송체 총 정적 무게(Mg)의 1/N을 분담하여 지지하게 된다.

[0120] 이때, 최전방의 전자석은 이송체 총 정적 무게(Mg)의 $\frac{1}{N} \left\{ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\Delta x}{P} \right) \right\}$ 배를 분담하고, 최후방의 전자석은 이송체 총 정적 무게(Mg)의 $\frac{1}{N} \left\{ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Delta x}{P} \right) \right\}$ 배를 분담하도록 설정된다(여기서, $\frac{\Delta x}{P}$ 는 배치에 따라 $0 \leq \frac{\Delta x}{P} \leq 1$ 이 되거나, $-0.5 \leq \frac{\Delta x}{P} \leq 0.5$ 가 됨)

[0121] 이를 다르게 표현하면, 최전방의 전자석은 이송체 총 정적 무게(Mg) 중 $\frac{1}{N} \left\{ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\Delta x}{P} \right) \right\} \times Mg$ 을 분담하

고, 최후방의 전자석은 이송체 총 정적 무게(Mg) 중 $\frac{1}{N} \left\{ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Delta x}{P} \right) \right\} \times Mg$ 을 분담하도록 하는 것이다.

[0122] 예컨대, 도 3의 예와 같이 이송체(10)를 지지하기 위해 동시에 동작하는 한 섹션의 전자석(11)이 3개인 경우(예, M1,M2,M3)에서, 3개의 전자석이 항상 이송체를 지지하는 힘을 살펴보면, 이송체의 무게중심(CM)에 가까운 1개의 전자석(M2)이 (1/2)Mg의 힘(= F)를 부담하고, 이송체의 무게중심(CM)으로부터 먼 2개의 전자석

(M1,M3)이 $\frac{1}{2} Mg \left\{ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\Delta x}{P} \right) \right\}$, $\frac{1}{2} Mg \left\{ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Delta x}{P} \right) \right\}$ 의 힘(= F)을 분담하게 된다.

[0123] 이때, 이송체(11)가 어느 순간 $\Delta x = P$ 의 위치에 위치해 있다면, 이송체의 무게중심(CM)에 가까운 상기 1개의 전자석(M2)이 이송체 총 정적 무게(Mg)의 1/2(즉, $F = (1/2)Mg$ 임)을 부담하고, 상기 먼 2개의 전자석(M1,M3)이 각각 1/4(즉, $F = (1/4)Mg$ 임)씩, 서로 합하여 나머지 총 1/2을 부담하게 된다.

[0124] 마찬가지로, 도 4의 예와 같이 이송체(10)를 지지하기 위해 동시에 동작하는 한 섹션의 전자석(11)이 4개인 경우(예, M1,M2,M3,M4)에서, 4개의 전자석이 항상 이송체를 지지하는 힘을 살펴보면, 이송체의 무게중심(CM)에서 가까운 2개의 전자석(M2,M3)이 이송체 총 정적 무게(Mg)의 1/3을 부담하고, 이송체의 무게중심(CM)으로부터 먼

2개의 전자석(M1,M4)이 $\frac{1}{3}Mg\left\{\frac{1}{2}\left(1+\frac{\Delta x}{P}\right)\right\}$, $\frac{1}{3}Mg\left\{\frac{1}{2}\left(1-\frac{\Delta x}{P}\right)\right\}$ 의 힘(= F)을 분담하게 된다.

[0125] 이때, 이송체(10)가 어느 순간 $\Delta x = P$ 의 위치에 위치해 있다면, 이송체의 무게중심(CM)에 가까운 상기 2개의 전자석(M2,M3)이 각각 이송체 총 정적 무게(Mg)의 1/3(즉, $F = (1/3)Mg$ 임)씩을 부담하고, 상기 먼 2개의 전자석(M1,M3)이 각각 1/6(즉, $F = (1/6)Mg$ 임)씩, 서로 합하여 나머지 총 1/3을 부담하게 된다.

[0126] 구동되는 한 섹션의 각 전자석(11)들이 부담해야 하는 지지력이 상기와 같이 규정되었을 때, 이송체(10)의 총 정적 무게(Mg)와 전자석 간 피치(P)는 이미 결정되어 있는 값이다.

[0127] 또한, 각 섹션의 중심위치는 이미 정해져 있는 값이므로 Δx 는 위치센서(18)에 의해 검출되는 이송체(10)의 X축 방향 절대 위치 정보, 즉 x로부터 실시간으로 구해질 수 있다.

[0128] 따라서, 각 전자석(11)이 부담해야 하는 지지력, 즉 각 전자석이 발생시켜야 하는 자기부상력은 상기한 무게 분담 방식에 의해 결정될 수 있고, 또한 각 전자석(11)이 상기 무게 분담 방식에 의해 결정된 자기부상력(F)을 발생시키도록 각 전자석에 인가되는 전류(i)가 제어되어야 한다.

[0129] 또한 상기 각 전자석(11)이 발생시키는 자기부상력은 하기 식(3)과 같다.

$$F = \frac{1}{4}n^2\mu_0 A \frac{i^2}{\delta^2} \quad (3)$$

[0131] 여기서, F는 각 전자석이 발생시키는 자기부상력, n은 전자석의 코일 턴(turn) 수, μ_0 는 진공의 투자율($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \approx 1.257 \mu\text{H/m}$), A는 전자석 코어의 유효 단면적을 각각 나타내고, δ 는 각 전자석(11)으로부터 이송체 부상 코어(16)까지의 수직 거리를 나타낸다.

[0132] 또한, i는 자기부상력(F)을 발생시키기 위해 코일에 인가되는 전류를 나타낸다.

[0133] 식(3)에서 자기부상력은 상기한 무게 분담 방식에 의해 결정된 지지력이어야 하므로, 각 전자석(11)이 발생할 자기부상력은, 최전방의 전자석 및 최후방의 전자석을 제외한 나머지 (N-1)개의 전자석들의 경우 $F = (1/N)Mg$ 이

고, 최전방 전자석의 경우 $F = Mg \times \frac{1}{N}\left\{\frac{1}{2}\left(1+\frac{\delta x}{P}\right)\right\}$, 최후방 전자석의 경우 $F = Mg \times \frac{1}{N}\left\{\frac{1}{2}\left(1-\frac{\delta x}{P}\right)\right\}$ 이다.

[0134] 결국, 구동되는 섹션 내에서 상기한 무게 분담 방식에 기초하여 이송체(10)를 기울어짐 없이 부상시키기 위해 각 전자석(11)의 코일에 인가되어야 하는 전류(i)는 위의 수식들로부터 구해질 수 있다.

[0135] 본 발명에서 상기한 무게 분담 방식에 기초하여 섹션 내 각 부상 전자석(11)의 자기부상력(분담되는 지지력)을 결정한 뒤 각 부상 전자석의 자기부상력을 발생시키기 위한 전류 명령(i^*)을 생성하여 출력하는 과정은 부상 제어 장치의 부상 위치 제어기(도 8에서 도면부호 44임)가 수행하고, 부상 제어 장치의 전류 제어기(45) 내 각 전자석 구동 드라이버(46)는 해당 부상 전자석의 코일에 전류 명령(i^*)에 상응하는 전류(i)가 인가될 수 있도록 전류 제어를 수행한다.

[0136] 다만, 변수가 되는 Δx 는 위치센서(18)에 의해 실시간 검출되는 이송체(10)의 X축 방향 위치 정보인 x로부터 계산될 수 있고, 또 다른 변수인 각 전자석(11)에서의 δ 는 위치센서(18)의 검출값과 갭 센서(31)의 검출값으로부터 계산될 수 있다.

[0137] 상기 갭 센서(31)는 각 센서 위치에서 이송체 부상 코어와의 수직 거리(S)를 검출하게 되는데, 도 3 및 도 4에 나타낸 바와 같이 자기부상 모듈의 부상 전자석(11)과 마찬가지로 이송체의 이송방향(진행방향)을 따라가면서 일정한 간격으로 배치된다.

[0138] 이하, 도 8을 참조하여 각 전자석에서의 δ 가 구해지는 과정에 대해 설명하기로 하며, 명확한 설명을 위해 동시에 구동되는 섹션의 부상 전자석 개수가 4개($N+1 = 4$)인 도 4의 예를 들기로 한다.

- [0139] 또한, 도 8에 나타낸 바와 같이, 갭 센서의 이격 거리(갭 센서가 배치된 간격)를 P_s 라 하고, 전자석 간의 이격 거리를 P 라 하며, 이송체(10)의 부상을 위해 한 섹션을 이루는 전자석 M_1, M_2, M_3, M_4 이 함께 구동됨과 더불어 3개의 갭 센서(31)에서 이송체 부상 코어와의 수직 거리가 검출됨을 가정하기로 한다(실제 2개의 갭 센서 정보만을 이용할 수 있음).
- [0140] 또한, 각 갭 센서(31)에 의해 검출되는 수직 거리(S)는 각각 S_1, S_2, S_3, S_4 로 표기하였고, 이송체 무게중심(CM)에서의 수직 거리는 y 로 표기하였다.
- [0141] 먼저, S_1 과 S_2 는 각각 하기 식(4)와 식(5)로 정의된다.
- [0142]
$$S_1 = y + (\Delta x + P_s) \times \tan \theta \approx y + (\Delta x + P_s) \times \theta \quad (4)$$
- [0143]
$$S_2 = y + \Delta x \times \tan \theta \approx y + \Delta x \times \theta \quad (5)$$
- [0144] 결국, 식(4)와 식(5)로부터 y 와 θ 는 하기 식(6)과 식(7)로부터 구해질 수 있다.
- [0145]
$$y = S_1 - (\Delta x + P_s) \times \tan \theta = S_2 - \Delta x \times \tan \theta \quad (6)$$
- [0146]
$$\theta = \tan^{-1}((S_1 - S_2) / P_s) \quad (7)$$
- [0147] 이와 같이 적어도 두 개의 갭 센서 검출 정보(S_1, S_2)와 위치센서 검출 정보(위치센서의 검출값으로부터 구해지는 Δx)로부터 이송체 무게중심(CM)에서의 수직 거리(y)와 이송체의 기울어짐 각도(θ)를 구할 수 있는바, 이 y 와 $\theta, \Delta x$ 를 이용하여 하기 식(8) 내지 식(11)로부터 각 전자석(11)에서 이송체 부상 코어(16)까지의 수직 거리(δ)가 구해질 수 있다.
- [0148] 각 전자석에서의 δ 를 구분하여 전자석 M_1 에서 δ_1, M_2 에서 δ_2, M_3 에서 δ_3, M_4 에서 δ_4 라 하면,
- [0149]
$$\delta_1 = y + (P + \Delta x) \tan \theta \quad (8)$$
- [0150]
$$\delta_2 = y + \Delta x \tan \theta \quad (9)$$
- [0151]
$$\delta_3 = y - (P - \Delta x) \tan \theta \quad (10)$$
- [0152]
$$\delta_4 = y - (2P - \Delta x) \tan \theta \quad (11)$$
- [0153] 상기와 같이 각 전자석에서 이송체 부상 코어까지의 수직 거리($\delta = \delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$)가 구해지면, 전술한 바와 같이 무게 분담 방식에 기초하여 각 전자석의 코일에 인가되어야 하는 전류(i)를 계산할 수 있다.
- [0154] 위의 과정에서 y 와 θ 는 갭 센서(31)의 검출 정보와 위치센서(18)의 검출 정보(x 에서 구해지는 Δx 를 이용함)를 이용하여 부상 제어 장치 내 위치 및 각도 산출부(도 9에서 도면부호 42임)가 계산하고, δ 는 y 와 θ , 그리고 위치센서(18)의 검출 정보(x 에서 구해지는 Δx 를 이용함)를 이용하여 부상 제어 장치의 거리 산출부(도 9에서 도면부호 43임)가 계산하여 구하게 된다.
- [0155] 결국, 이송체(10)의 이송 동안 각 전자석(11)의 코일에 인가되는 전류(i)를 제어함으로써 각 전자석에서 필요한 자기부상력을 발생시킬 수 있게 되고, 이송체가 전자석들에 의해 기울어짐 없이 부상될 수 있게 된다.
- [0156] 한편, 도 9는 상술한 본 발명의 부상 제어 과정을 수행하는 부상 제어 장치의 구성을 나타내는 블록도로서, 이에 대해 설명하면 다음과 같다.
- [0157] 도시된 바와 같이, 이송체(10)의 이송 동안 이송체의 X 축 절대 위치(x)를 검출하는 위치센서(18)와; 이송체(10)의 이송경로를 따라 일정 간격으로 설치되어 이송체까지의 Y 축 수직 거리(S)를 검출하는 갭 센서(31)와; 상기 위치센서(18)의 검출 정보로부터 이송체 부상을 위해 구동시킬 부상 전자석(11)들을 포함하는 섹션을 결정하고 (K 결정) 결정된 섹션 내 부상 전자석들(11)에 전류(i)를 인가하기 위한 제어신호를 출력하는 섹션 결정부(41)와; 상기 위치센서(18)와 갭 센서(31)의 검출 정보를 이용하여 이송체 무게중심에서의 Y 축 수직 거리(y)와 이송체의 기울어짐 각도(θ)를 산출하는 위치 및 각도 산출부(42)와; 상기 이송체 무게중심에서의 Y 축 수직 거리(y)와 이송체의 기울어짐 각도(θ), 위치센서의 검출 정보로부터 구해지는 이송체의 위치 정보(Δx)를 이용하여 섹션 내 각 부상 전자석(11)에서 이송체(10)까지의 Y 축 수직 거리(δ)를 산출하는 거리 산출부(43)와; 상기 각 부상 전자석(11)에서 이송체까지의 Y 축 수직 거리(δ), 위치센서의 검출 정보(Δx)로부터 정해진 무게 분담 방식에 따라 요구되는 섹션 내 각 부상 전자석(11)의 자기부상력(F)을 결정하고 자기부상력을 발생시키기 위한 전류 명령(i^*)을 출력하는 부상 위치 제어기(44)와; 상기 부상 위치 제어기(44)가 출력하는 전류 명령(i^*)에 따라

- 18 : 비접촉 위치센서

41 : 섹션 검출부

43 : 거리 산출부

45 : 전류 제어기

47 : 섹션 절환 스위치
- 31 : 갭 센서

42 : 위치 및 각도 산출부

44 : 부상 위치 제어기

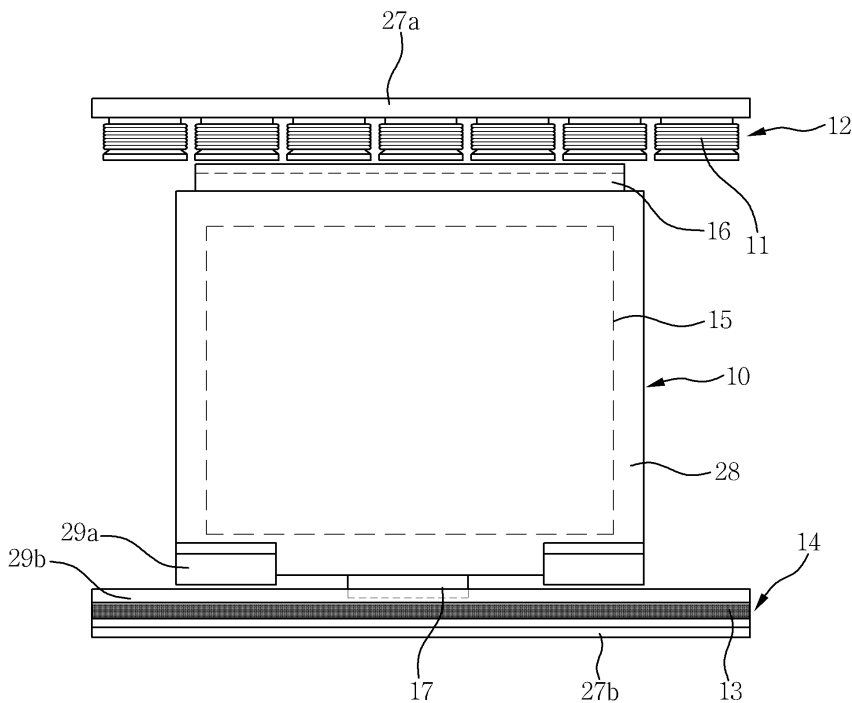
46 : 전자석 구동 드라이버
- N : 현재 섹션에서의 흡인력을 발생시키는 부상 전자석의 최소 개수

P : 부상 전자석이 배치된 간격

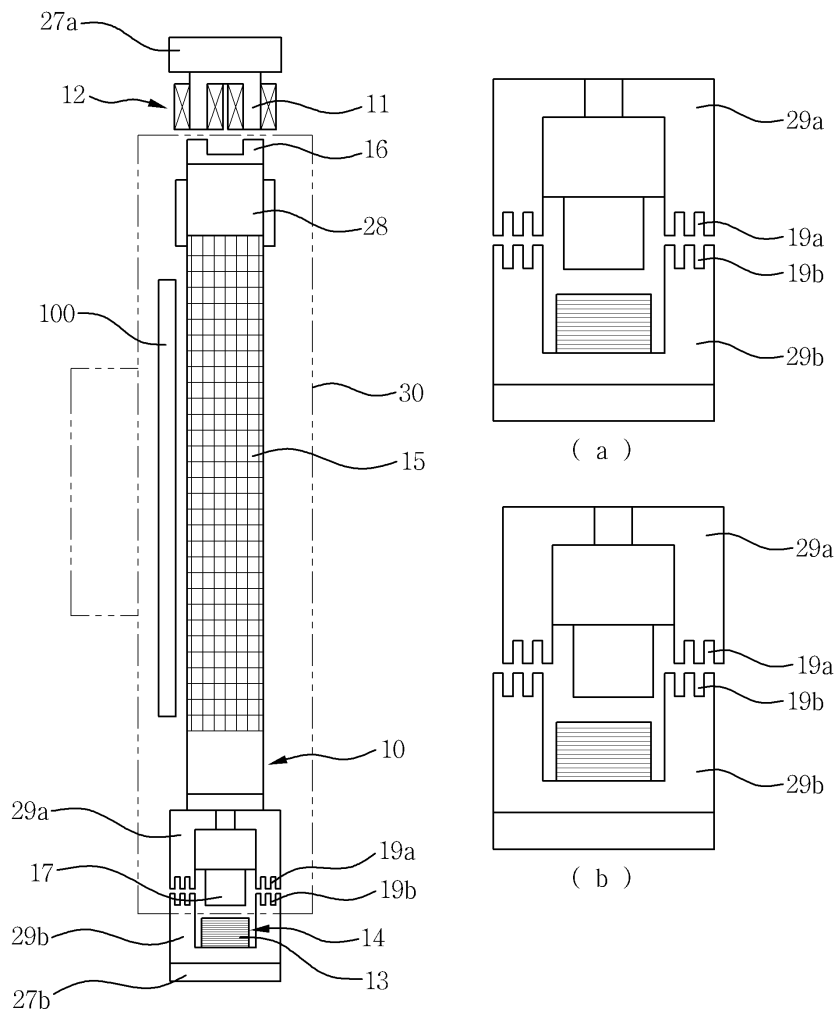
Ps : 갭 센서가 배치된 간격

도면

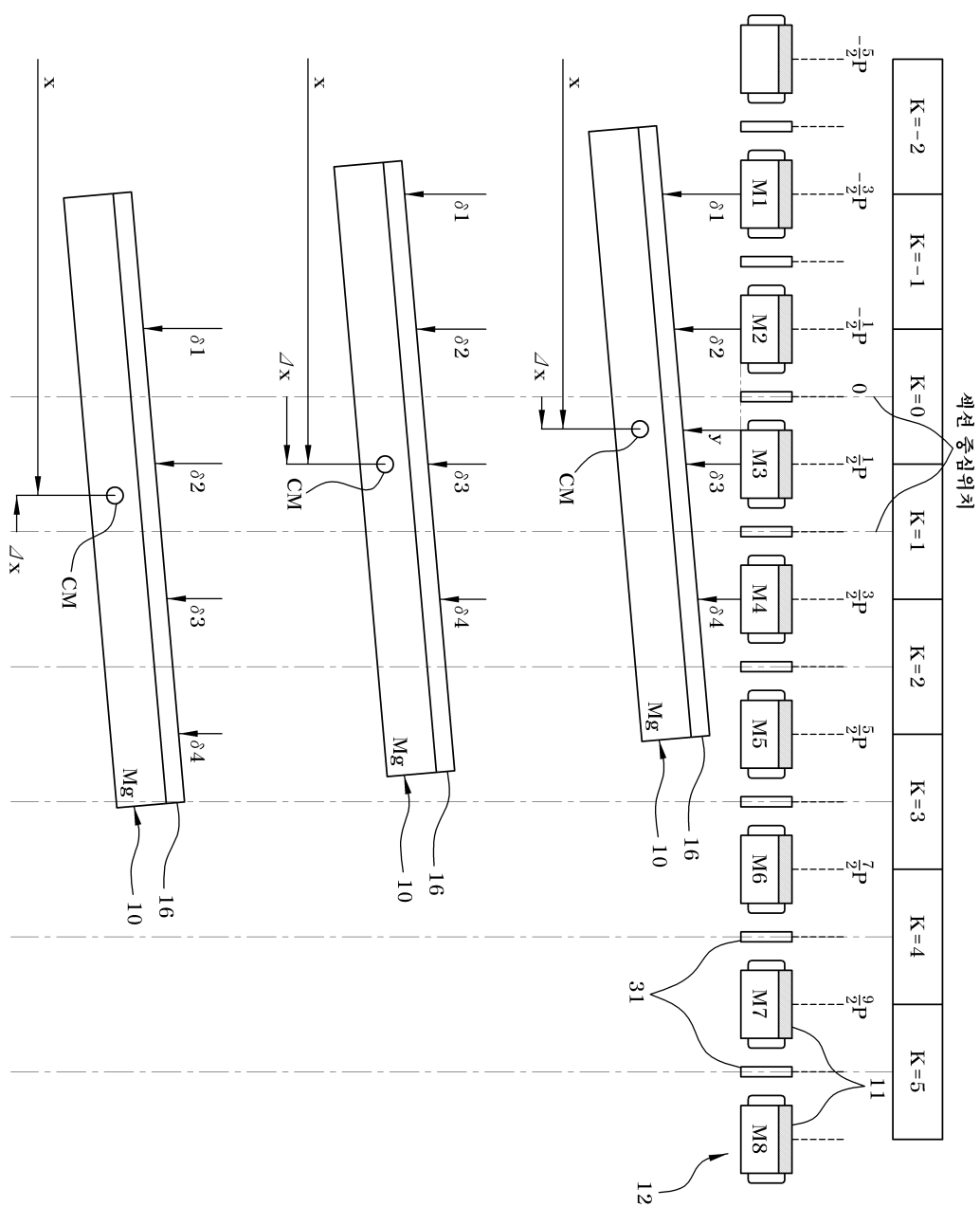
도면1



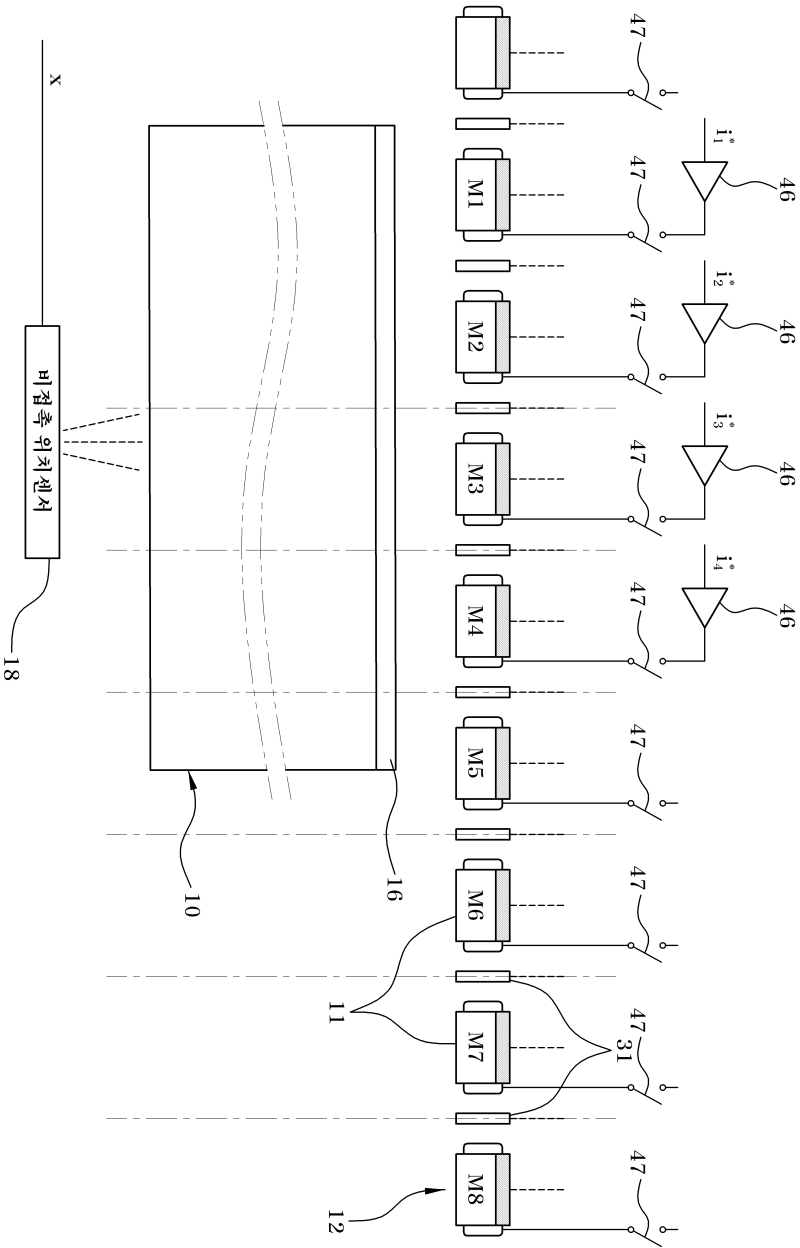
도면2



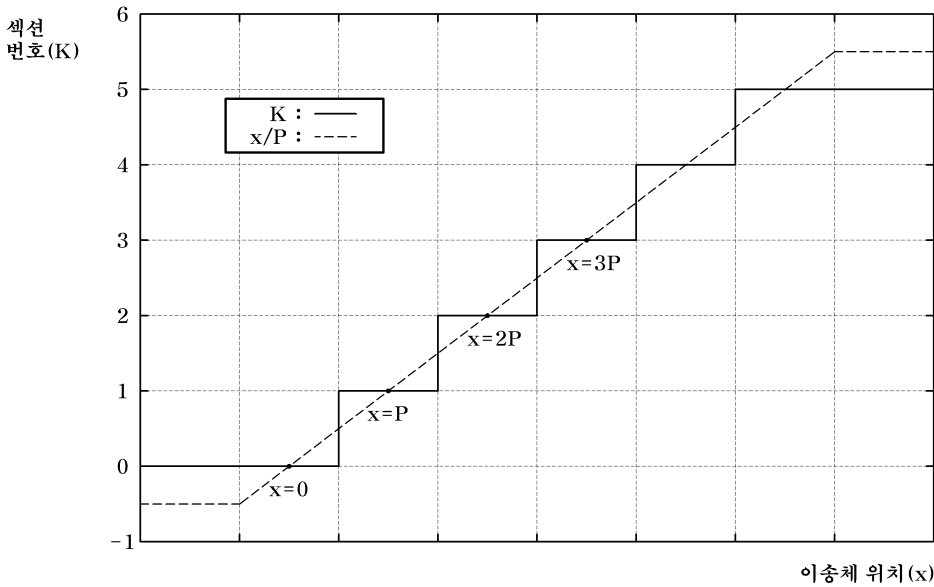
도면4



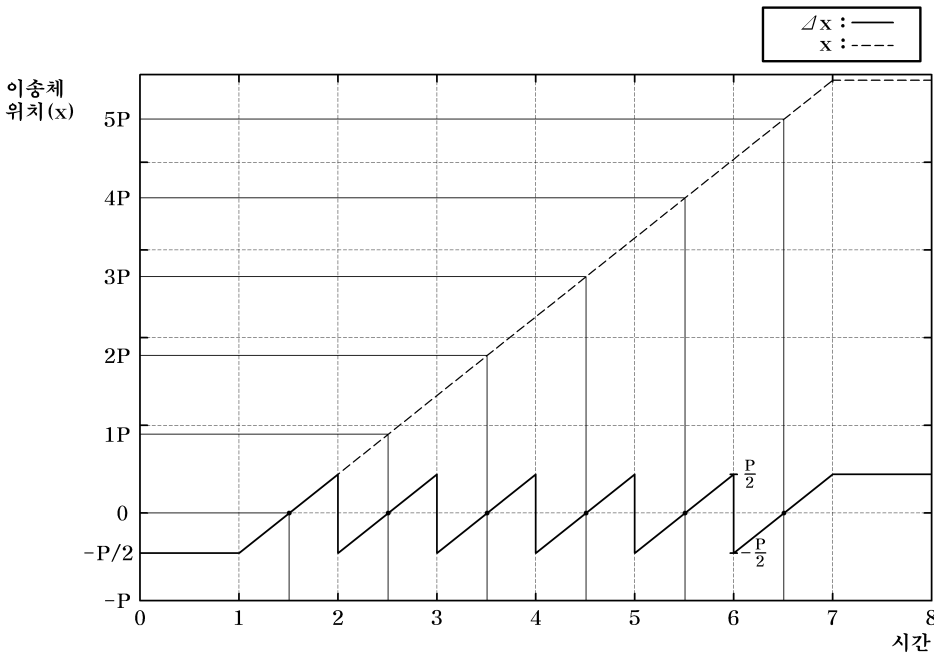
도면5



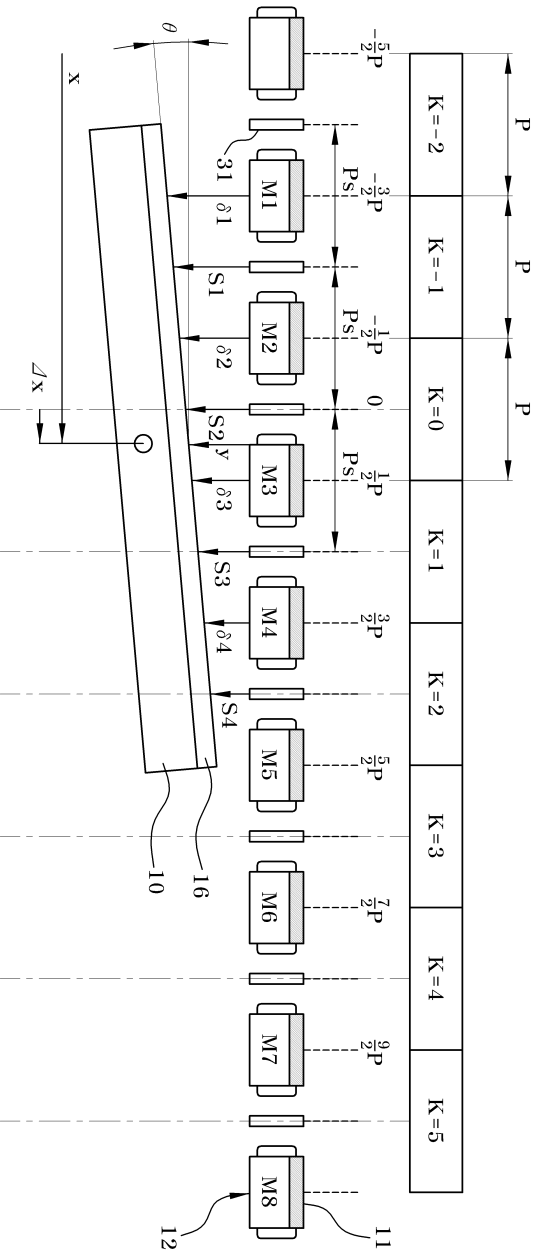
도면6



도면7



도면8



도면9

