



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0124285
(43) 공개일자 2018년11월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B61B 13/10 (2006.01) *B60L 13/04* (2006.01)
B61B 13/08 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
B61B 13/10 (2013.01)
B60L 13/04 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2017-0058532
 (22) 출원일자 2017년05월11일
 심사청구일자 없음

(71) 출원인
조희덕
 서울특별시 중랑구 봉화산로27다길 5, 반석주택
 403호 (중화동)
 (72) 발명자
조희덕
 서울특별시 중랑구 봉화산로27다길 5, 반석주택
 403호 (중화동)
 (74) 대리인
이범호

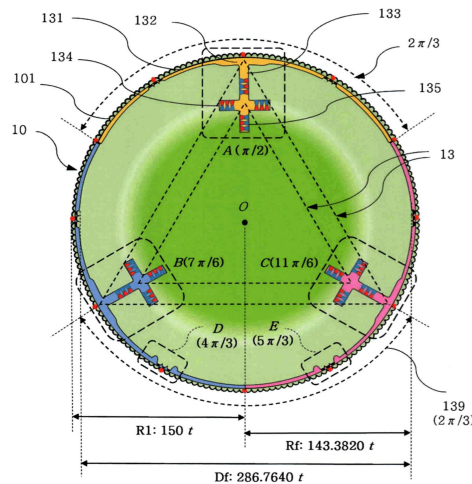
전체 청구항 수 : 총 40 항

(54) 발명의 명칭 **튜브형 삼상궤도 진공 자기부상 이동 시스템**

(57) 요약

본 발명은 종래 단상궤도와 이륜바퀴의 기존 철도기술에서 연원하는 단상궤도 자기부상 열차와 진공튜브 열차기술의 문제점을 해소할 수 있는 방안으로, 진공튜브 형상을 7개 혹은 19개의 양정현과 주름관을 정육각형 각 변에 연결시킨 육방격자형 다중튜브 구조물로서 각 튜브내 정삼각형 꼭짓점에 삼상(3 phase) 자기부상 궤도(track) 방식의 진공 자기부상 이동체 시스템을 제공하며, 또한 상기 자기부상 이동체 시스템에 있어서 튜브셔틀, 교차로, 플랫폼의 구조, 해상 구간의 시공공법, 시스템 운영방법 등을 제공한다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

B61B 13/08 (2013.01)

B60L 2200/26 (2013.01)

B60Y 2200/30 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

내부를 진공 또는 아진공으로 유지하고 외부와 격리하는 진공튜브인 주행튜브(10);

상기 주행 튜브 내에 설치되는 삼상궤도(13);

상기 주행 튜브의 내부에 주행가능하게 배치되며 내부 객실을 가지는 자기부상이동체인 튜브 셔틀(20);
을 포함하고,

상기 주행튜브(10)의 외벽은 상기 주행튜브(10)의 길이 방향에 수직인 단면으로 보아 양정현과 형상의 주름을 가지는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 주행튜브(10)가 7개 모여 하나의 선로튜브(11)를 구성하고, 상기 선로튜브 (11)내에서 상기 주행튜브(10)들은 서로 외접하고 상층 중층 하층의 3개 층으로 이루어지며, 상층에 2개, 중층에 3개, 하층에 2개의 기본주행튜브(10)가 배치되는 2-3-2 구조를 가지는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 주행튜브(10)가 19개 모여, 하나의 선로튜브(11)를 구성하고, 상기 선로튜브 (11)내에서 상기 주행튜브(10)들은 서로 외접하며 5개 층으로 적층되고, 최상층부터 최하층으로 가면서 각 층에 3개, 4개, 5개, 4개, 3개의 주행튜브(10)들이 배치되는 3-4-5-4-3 구조를 가지는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 4

제1항 내지 제3항의 어느 한 항에 있어서,

상기 주행튜브 내부에 안치되는 자기편은, 튜브 내심 $\pi/3$ 길이와 곡률의 플랜지와 \perp 형 WF보 형상으로, 상기 주행튜브에 내접하는 정삼각형의 꼭짓점의 위치에서 주행튜브 내벽의 음정현과 주름에 플랜지를 썸기로 고정되는 삼상궤도(3 phase track)를 구비하되, 상기 정삼각형의 꼭짓점은 주행튜브의 반지름이 r 일 때 극좌표 표시로 $(r, \pi/2), (r, 7\pi/6), (r, 11\pi/6)$ 의 세 점으로 나타내어지는 위치를 가지는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 5

제2항 내지 제4항의 어느 한 항에 있어서, 편평판 외피로 내접면을 감싸 외형을 형성하되, 상기 선로튜브(11)의 외피는 양정현과 주름관의 바깥층(face)을 구성하며, 가로방향 양정현과 주름관인 헬리컬튜브와 편평판을 채움관으로, 선로튜브(11) 외피와 주행튜브 사이 빈 공간에 연속적으로 설치하며, 주행튜브(10)와 채움관 사이에 경량 플라스틱 또는 포말재를 충전하여, 주행튜브와 채움관 및 포말재가 중간층(core)인 필러로 작용함으로써, 선로튜브의 전단력 분산과 굽힘 모멘트를 강화시키며, 바깥층(face)을 주름이나 좌굴로부터 안정화시키는 지지층 역할로, 다중샌드위치보(multiple sandwich beam, MSB)의 기능을 발휘하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 6

제2항 내지 제5항의 어느 한 항에 있어서,

선로튜브의 양 끝단에 길이 200t의 볼트 체결부를 구비하고,

길이 400t의 열수축관 너트 체결부로 다른 선로튜브를 체결하며,

너트 체결부 양단에 기밀과 수밀유지용 이중 오링을 추가한 후,

너트 체결부 외부를 500t 길이 보호함체로 보강하되,
 함체에는 7개 스프링을 1개로 병렬 결속시킨 묶음형 튜브댐퍼를 구비하되,
 스프링 배치는 댐퍼 원점 $O(0, 0)$ 의 중앙 스프링을 중심으로,
 주변에 스프링 6개를 정육각형의 육방격자형으로 배치하되,
 각기 스프링은 오른손과 왼손의 2반대 방향 턴(turn)의 위상(phase) 반전과, 재료, 합금 비율, 감는 수를 다르게 하여 7개 고유진동수 ω 를 갖게 하며,
 스프링의 위상 기하적 배열로 $7! \times 2! = 10,080$ 개 진동패턴을 갖게 함으로써,
 스프링에 저장되는 탄성위치 에너지(elastic potential energy)를,
 소멸간섭과 감쇠진동(damped oscillations)으로 공진을 억제하고,
 선로튜브의 하중 혹은 부력을 지지하며,
 육상구간 혹은 터널내벽은 $\pi/2, 3\pi/4, \pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4, 3\pi/2$ 의 6개소와 접촉하고, 해상구간 수중교각은 $\pi, 5\pi/4, 7\pi/4, 2\pi$ 의 4개소와 접촉하며,
 튜브평형추와 튜브앵커는 1개 혹은 2개소를 접촉하여,
 지진과 등 외부충격과 이동체 운행에 따른 진동·섭동 등의 과도에너지를 대지로 환류(feedback)시키는 불요 에너지와 접지(接地) 기능을 구비하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 7

제2항 내지 제6항의 어느 한 항에 있어서,
 주행튜브에 내접하는 정삼각형의 꼭짓점을 주행튜브의 반지름이 r 일 때 극좌표 표시로 $(r, \pi/2), (r, 7\pi/6), (r, 11\pi/6)$ 의 세 점으로 표시할 때,
 상기 정삼각형의 꼭짓점에 안치되는 궤도는,
 상기 각 꼭짓점 ABC간 $2\pi/3$ 라디안(120도) 위상간격을 갖는 삼상궤도로,
 WF보의 상하부 플랜지(flange)와 상하부 웨브(web) 프레임의 구조물로,
 하부 플랜지는 주행튜브 음정현과 주름의 내벽을 형성하여,
 하부 웨브와 상부 플랜지 및 상부 웨브를 지지하고,
 선로튜브 외피와 양정현과 주름관의 바깥층(face)을 형성하여,
 선로튜브가 합성보(composite beam)인 샌드위치보의 기능을 갖게 하며,
 하부 웨브는 z 축 자기 균형편의 프레임으로,
 상부 플랜지는 xy 축 자기 부상편의 프레임으로,
 상부 돌출웨브는 z 축 자기 견인편의 프레임이 되며,
 웨브와 플랜지의 방향이 주행튜브 중심으로 향하게 하여,
 전자기력의 벡터합력을 튜브서들의 원점 $O(0, 0, 0)$ 에 위치시키는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 8

제1항 내지 제7항의 어느 한 항에 있어서,
 주행튜브 내벽 음정현과 주름과 접하는 자기편 하부 플랜지는,
 직선구간 플랜지는 z 축상 100t(1m)의 단위길이를 갖고,
 곡선구간 플랜지는 z 축상 100t(1m) ± 0.015 라디안 곡률길이로,

주행튜브 내경 원주의 $2\pi/3$ 길이 원호와 곡률 ρ 을 갖게 되고,
주행튜브의 반지름이 r 일 때 극좌표 표시로 $(r, \pi/6), (r, 3\pi/2), (r, 5\pi/6)$ 에 플랜지간 집합부를 갖고 있으며,
주행튜브 내부 음정현과 주름에 접하여 내벽을 형성하고,
주행튜브 내벽 정육각형 꼭짓점
 $(r, \pi/3), (r, 2\pi), (r, 5\pi/3), (r, 4\pi/3), (r, \pi), (r, 2\pi/3)$ 에,
오목형(凹) 홈 지지부를 $\pi/3(1.0472)$ 라디안의 등간격으로 확보하여,
3개 플랜지를 조립하면 튜브내벽 음정현과 마루와 밀결합되며,
플랜지 연장부인 정삼각형 꼭짓점의 자기 부상과 균형 및 견인편은,
 z 축상 프레임 길이는 $33.3333t(1/3m)$ 로,
프레임간의 간격은 $66.6666t(2/3m)$ 로 하여,
불연속 선(dashed line)형상 궤도로 구성되며,
100m 단위 표준 주행튜브당 300개 집합 자기편 프레임으로 구성되는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 9

제1항 내지 제8항의 어느 한 항에 있어서,
꼭짓점 A 기준 플랜지 연장선 정삼각형 꼭짓점의 삼상궤도는,
수직 y 축의 $\pi/2$ 웨브는 자기 균형편으로,
수평 x 축의 $\pi, 2\pi$ 양 플랜지는 자기 부상편으로,
수직 y 축의 $3\pi/2$ 돌출웨브는 자기 견인편으로,
단면폭인 두께 t 가 $8t$ 일 때 각 프레임은,
자기 균형편은 $W:8t * H:20t * D:33.3333t$,
자기 부상편의 한 단면은 $W:15t * H:8t * D:33.3333t$,
자기 견인편은 $W:8t * H:15t * D:3.3333t$ 의 형상치수를 갖고,
프레임에 영구자석을 매립하는 벌집형 매립공 혹은 수납홈은,
 z 축 방향 $7 \cdot 8 \cdot 7$ 개 매립공이 배열되는 다중 육방격자형으로,
외경 $\phi 3t$ (중심 $\phi 2.6t$) * 중선 높이 $4t$ 의 2중 원추형 매립공을 구비하고,
원추형 링형 영구자석 2개를 극성을 다르게 양면 매립하여,
자동 체결하는 삼상궤도 자기편의 제작방법을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 10

제1항 내지 제9항의 어느 한 항에 있어서,
정삼각형 꼭짓점(A: $\pi/2, B: 7\pi/6, C: 11\pi/6$) 삼상궤도의 자기편 극성(NS)은,
NS극이 교호 배치되는 자기 견인편을 제외한 부상편과 균형편의 극성을,
부상편-균형편-부상편 차례로 영구자석 자기편의 극성(NS) 배치를,
A자기편은 시계방향(↻) 자속인 <좌NS-NS-NS우>로,
B자기편은 반시계 방향(↺) 자속인인 <우NS-NS-NS좌>로,

C자기편은 시계방향(↻) 자속인 <좌NS-NS-NS우>로 배열하여,
삼상케도 각기(各其) 자기편의 자속흐름이 폐회로를 형성케 하여,
케도 영구자석의 자기장 에너지 보존으로 경년열화를 최소화하며,
A자기편 자속은 전향력 혹은 코리올리 힘의 방향과 역상으로,
B, C자기편 자속은 케도평형과 중력 반대방향 자기장 벡터 \vec{B} 로,
튜브서틀 자기 부상계의 안정화를 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 11

제1항 내지 제10항의 어느 한 항에 있어서,
주행튜브 내측 정삼각형 꼭짓점 $\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$ 의 삼상케도는,
선로튜브 외피두께 1t 기준 300t 주행튜브에서,
튜브내경지름(D) 286.7640t와 내경반지름(R) 143.3820t 기준으로,
케도간 간격인 케간b는 $b = \sqrt{D^2 - R^2}$ 에 따라 248.3449t로 하며,
자기부상편의 플랜지D(5 $\pi/3$), E(4 $\pi/3$)에 구비되는 보조케도는,
DE 현의 길이는 튜브내경 반지름(R) 값과 같고,
각기 3개 음정현과(∪∪∪) 형상의 골과 마루에 더하여,
좌우로 돌출되는 턱 혹은 가이드(∩)를 추가하여,
리플 5개의 볼록오목형홈(∩∪∪∩)으로 26.1795t의 단면폭과,
 $\pi/3$ 라디안의 원호케간 혹은 143.3820t의 폭을 갖고,
튜브서틀의 출발·도착이나 비상시 보조바퀴의 '활주주행' 케도로 하며,
주행튜브 삼상케도ABC를 제거한 상기 보조케도만의 보조 단상케도DE는,
터미널, 계류장 등의 스위칭 선로로 구성하여,
바퀴굴림 모드로 튜브서틀의 분리, 결합, 케도 이동 등의,
서틀 입환(入換, shunting)작업과 계류 등을 처리하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 12

제2항에 있어서,
기본형 7튜브(7 tube)의 기하적 공간 배치는,
xy축 원점 O(0,0) 원점 튜브(0번 튜브)는 유지보수 선로로,
시계우현 $\pi/3$ (1번튜브) 2π (2번튜브) $5\pi/3$ (3번튜브)는 우측선로로,
시계좌현 $4\pi/3$ (4번튜브) π (5번튜브) $2\pi/3$ (6번튜브)는 좌측선로로,
배치하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 13

제2항에 있어서,
상기 19튜브의 기하적 공간 배치는,

8번(1시), 9번(2시), 10번(3시), 11번(4시), 12번(5시) 튜브는 우측선로로,
 14번(7시), 15번(8시), 16번(9시), 17번(10시), 18번(11시) 튜브는 좌측선로로,
 7번(12시), 13번(6시)은 가변 선로용으로 배치하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 14

제2항 또는 제3항에 있어서,
 선로튜브 외피를 양정현과 주름관과 편평관으로 다시 보강하여,
 내압력과 전단응력 τ 을 향상시키는 1차 강화튜브(1st consolidated tube)는,
 선로튜브 외피에 추가하는 양정현과 주름관은 360개 리플을 갖고,
 7선로튜브의 외경 원주면 길이는 $2,833.7165t(\pi \times 902t)$ 일 때,
 1리플의 폭은 $7.8714t(\pi D/360)$, 리플높이는 3.9357t가 되며,
 양정현과 주름관 두께 1t와 선로외피 두께 각 1t를 감안하여,
 외경지름(D)은 913.8714t의 형상 치수로 연근해 구간용 선로튜브로,
 1차 강화튜브를 양정현과 주름관과 편평관으로 보강한 2차 강화튜브는,
 1차 강화튜브 외경 원주면 길이는 2,871.0116t일 때,
 1리플의 폭은 $7.9750t(\pi D/360)$, 리플 높이는 3.9875t가 되고,
 주름관 두께t와 튜브외피 각 1t를 감안한,
 외경지름(D)은 925.8464t로 심해구간 선로튜브로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 15

제2항 또는 제3항에 있어서
 상기 선로튜브를 타 튜브로 분기 혹은 합류하는 교차점 선로 구성방식은,
 상하 직각 교차(+)하는 xy축 본선의 4방향 접속을 기본으로,
 각 사분면에 단위반지름 1R의 도넛형 회전튜브 4개를 구비하며,
 각기 원점이 I(1, 1), II(-1, 1), III(-1, -1), IV(1, -1)에 위치하고,
 본선과 회전튜브가 (1, 0), (0, 1), (-1, 0), (0, -1)에 접점을 갖는,
 4방향 (루프) 회전 교차로를 형성하며,
 각 접점은 1 본선 선로튜브와 2 회전튜브를 묶어 일체화한,
 교차형스위치(Cross over Switch, XoS)를 구비한 스위칭튜브로,
 선로튜브와 회전튜브를 접속하여,
 분기와 합류 트래픽을 동일스위치의 교차기동으로 처리하며,
 본선(x축)과 타선(y축)의 스위칭을 I 사분면 회전튜브를 대표로 하면,
 x→y축 우회전은 x(1, 0) 교차형스위치에서 분기한 후,
 I 사분면 회전튜브를 $\pi/4$ 원호 주행하여,
 y(0, 1) 교차형스위치에서 y축 선로튜브로 합류하는 우회 직접접속으로,
 x→y축 좌회전은 교차점(0, 0) 통과 후 x(-1, 0) 교차형스위치 분기 후,
 $3\pi/2$ 원호 주행 후 y(0, 1) 교차형스위치에서,

x축 선로튜브로 합류하는 P회전(P turn) 접속으로 대표되는,
4방향 트래픽을 2단 교차스위칭으로 완성시키는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서,
상기 xy축 선로튜브와 회전튜브 접점 부분인 '스위칭튜브'의 물리적 형상은,
선로튜브와 회전튜브가 하나로 결합된 묶음형 튜브형상으로,
도넛형 회전튜브의 중간층 외측의 5번튜브(π)를 제거하여,
회전축 0번 튜브가 선로축 우측 2번 혹은 좌측 5번 튜브와 연결토록 하며,
상층은 회전축 6·1 번, 선로축 6·1 번, 회전축 6·1 번 튜브케도를,
중층은 회전축 0·2번, 선로축 5·0·2번, 회전축 0·2번 튜브케도를,
하층은 회전축 4·3번, 선로축 4·3번, 회전축 4·3번 튜브케도로,
6·7·6 개의 3층 케도로 수평면에서 교차형스위치(XoS) 회로를 구성하고,
교차형스위치(XoS)가 설치되는 xy축 스위칭튜브 구간은,
튜브간 격벽인 주행튜브 외피를 제거하고,
상하층의 주행튜브를 이격시켜 튜브간 영킴을 제거하여,
삼상케도 굴절편의 이동공간과 액추에이터 설치공간을 확보하되,
급행인 중층 튜브 0번(0,0), 2번(2π), 5번튜브(π)를 기준으로,
상층인 6번튜브($2\pi/3$), 1번튜브($\pi/3$)는 위쪽으로,
하층인 4번튜브($4\pi/3$), 3번튜브($5\pi/3$)는 아래쪽으로,
주행튜브 반지름 1R 기준으로,

각기 상하로 $R(\sqrt{3}-1)+t_F(t_F: \text{프레임 두께})$ 의 간격을 이격시키며,
굴절편 구동 액추에이터(actuator)와 삼상케도를 지지하는 프레임은,
주행튜브와 회전튜브의 상층튜브, 중층튜브, 하층튜브를,
3개의 묶음형 프레임(bundle frame)으로 결속한 후,
선로튜브에 프레임을 고정하는 타원형 통짜형상으로,
교차형스위치(XoS)가 구비되는 접점구간의 스위칭튜브를 구현하되,
지지 프레임 외곽을 양정현과 주름판과 편평판으로 보강하며,
선로튜브 외피두께 1t 기준의 타원형 스위칭튜브 형상치수는,
장축지름a 2,119.0435t와 단축지름b 1,319.0435t로,

이심률 $E = \sqrt{1-b^2/a^2}$ 은 0.7826을 갖고 있으며,

상기 튜브를 한 겹 더 주름판과 편평판으로 보강한 1차 강화 스위칭튜브는,
장축지름a 2,138.0435t와 단축지름b 1,338.2073t로,

이심률 $E = \sqrt{1-b^2/a^2}$ 은 0.7799를 갖고 있으며,

1차 강화 스위칭 튜브를 한 겹 더 보강한 2차 강화 스위칭튜브는,

장축지름a 2,157.4149t와 단축지름b 1,357.5787t로,

이심률 $E = \sqrt{1 - b^2/a^2}$ 은 0.7771을 갖는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 17

제15항 또는 제16항에 있어서,
 교차형(交叉型)스위치(Cross over Switch, XoS)는,
 선로튜브와 회전튜브간 혹은 회전튜브와 회전튜브간 접점의,
 연결하는 튜브간 삼상궤도 굴절편으로,
 튜브 내측 정삼각형 꼭짓점 $ABC(\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6)$ 삼상궤도에서,
 궤도간 교차(cross) 접속용 이동궤도를 구비하되,
 100m 단위 주행튜브 2~3개의 삼상궤도를 각기 좌우로 교차 굴절시키고,
 굴절되지 않는 연결궤도의 상층궤도인 $A(\pi/2)$ 궤도와,
 $BC(7\pi/6, 11\pi/6)$ 궤도를 좌우로 동시에 굴절시켜,
 연결궤도로 교차 진입하는 셔틀의 스위칭 공간을 마련하며,
 평행하는 수평연접 삼상궤도간 트래픽을 교차(cross)로 교환(≡ \times \times ≡)하여,
 좌우회전이나 궤도변경 트래픽을 동일 스위치에서 처리함으로써,
 교차로와 분기 및 합류점의 삼상궤도간 트래픽을 교환하고 분배하며,
 상기 이동궤도인 굴절편은 튜브외피 두께 1t와 300t 주행튜브 기준으로,
 궤도간 간격인 궤간b는 $b = \sqrt{D^2 - R^2}$ 에 따라 248.3449t로,
 100m길이 표준 주행튜브의 궤도 접힘폭은 좌우로 150t로,
 주행튜브 2개의 궤도 접힘폭이 300t로 좌우방향으로 거동하여,
 굴절편으로 스위칭을 완성하는 분기와 합류 겸용 교차형스위치(XoS)와,
 궤도 굴절편은 액추에이터(actuator)를 삼상궤도에 취부하여 작동하며,
 중앙과 권역 관제소의 인공지능(AI)으로 통제하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 18

제15항 내지 제17항의 어느 한 항에 있어서,
 상기 '스위칭튜브'와 xy축 본선 선로튜브의 접속에 있어,
 중층부 회전축 0·2번, 선로축 5·0·2번, 회전축 0·2번 튜브를 중심으로,
 상층부 회전축 6·1번, 선로축 6·1번, 회전축 6·1번 튜브와,
 하층부 회전축 4·3번, 선로축 4·3번, 회전축 4·3번 튜브 사이의,
 경사각($\tan \theta$)인 0.015(0.8594°)라디안 구배를 순차적으로 상향 혹은 하향시키는,
 y축 초점 타원형 선로튜브로 구성되는 경사튜브(ramp tube)를 구비하여,
 선로튜브(T_L)와 스위칭튜브(T_S) 및 경사튜브(T_R)를 접속하되,
 선로(T_L)·경사(T_R)·스위칭(T_S)·경사(T_R)·선로(T_L) 튜브 순차로,

100m 단위튜브를 (T_L) · 3(T_R) · 2(T_S) · 3(T_R) · (T_L) 개로 배치하여,
경사각 구배를 포화 곡선형으로 하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 19

제15항 내지 제18항의 어느 한 항에 있어서,
상기 xy축 주행튜브와 접점의 좌 · 우회전 트래픽을 처리하는 회전튜브는,
시계방향 회전의 동심원을 갖는 도넛형 튜브로 구비하며,
외측 5번튜브(π)와 중심측 0번튜브(0, 0)의 용도를 대체 변경하여,
5번튜브(π)는 유지보수, 0번 튜브(0, 0)는 급행용으로 하며,
교차형스위치가 설치되는 xy축 접점구간의 외측 5번튜브(π)는 제거되며,
도넛형 튜브외측 $2\pi/3$ (6번) 0 (0번) $4\pi/3$ (4번)는 분기 · 합류용으로,
도넛형 튜브내측 $\pi/3$ (1번) 2π (2번) $5\pi/3$ (3번)는 보조 순환용으로,
시계방향의 단방향 회전으로 본선 분기와 타선 합류를 처리하되,
외측 주행튜브는 주 회전으로 우회전과 좌회전 트래픽을 처리하고,
내측 주행튜브는 보조회전으로 xy축 본선직진 트래픽 대기와,
회전튜브 내부노드의 입 · 출향 트래픽을 처리하며,
튜브외피 두께 1t 기준 300t 회전튜브의 형상치수는,
0.015 라디안의 곡률반지름 ρ (radius of curvature)을 갖고,
6.6666km 회전반경(R) 혹은 13,3333km 회전직경(D)으로,
41,887.9m(41.8879km)의 회전원주($2\pi R$) 길이를 갖는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 20

제19항에 있어서,
시계방향(↻) 좌우회전 트래픽을 처리하는 I II III IV 사분면 1차 회전튜브는,
xy축 주행튜브와 4개소의 접점을 갖고 좌 · 우회전 트래픽을 처리하며,
각각의 사분면 회전튜브 내부 $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ 에
교차형 스위치(XoS)와 4개 도넛형 2차 회전튜브가 구비되어,
xy축 선로튜브 교차점에 총 16개 2차 회전튜브가 설치되며,
튜브외피 두께 1t와 300t 주행튜브 기준 2차 회전튜브의 형상치수는,
2.7614km 회전 반경(R) 혹은 5.5228km 회전 직경(D)과,
17.3505km 회전 원주($2\pi R$) 길이를 갖게 되며,
상기 2차 회전튜브내 $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ 에 교차형스위치 구비로,
회전튜브 내외부에 여객 · 화물 터미널이나,
정비 · 격납기지 등을 복수 개 배치하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 21

제20항에 있어서,
상기 xy축 4개 회전튜브 내측에 설치되는 원점 회전튜브는,

xy축 원점(0, 0)에 중심점을 갖고 각 사분면 회전튜브와 접점을 이루며,
 외접하는 회전튜브 단위반지름 1R의 $R(\sqrt{2}-1)$ 크기로 구비하되,
 각기 접점 $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ 에 교차형스위치(XoS)를 구비하고,
 반시계방향 회전의 중심원을 갖는 도넛형 튜브로 구비되며,
 외측선로는 회전튜브의 좌회전 트래픽을 인도받아 π 원주 회전 후,
 교차형스위치를 통해 회전튜브로 트래픽을 출항시키고,
 내측선로는 보조궤도로 좌회전 대기 트래픽을 순환하는,
 반시계방향 회전의 좌회전 전용궤도로 활용하며,
 예비용 혹은 소규모 트래픽 교차점의 회전튜브로 활용하되,
 소규모 트래픽 구간 교차점의 회전튜브로 활용할 경우,
 xy축 본선과 접하지 않는 회전튜브 외곽 $3/4$ 원호 회전튜브인,
 $2\pi/2-\pi, 2\pi-3\pi/2, \pi/2-2\pi, \pi-\pi/2$ 구간 회전튜브는 제거하되,
 각 사분면 회전튜브 접속부를 100m 이상 구비하여,
 트래픽 증가시 회전튜브 외주 $3/4$ 원호 구간증설에 대비하며,
 본선과 접하는 I, II, III, IV 사분면 1차 회전튜브 원호의 $1/4$ 인,
 $2\pi-\pi/2, \pi/2-\pi, \pi-3\pi/2, 3\pi/2-2\pi$ 구간 1차 회전튜브 원호와,
 xy축 원점 회전튜브 접점에 교차형스위치(XoS)를 설치하여,
 타선 방향 우회전과 좌회전 트래픽을 처리하게 함으로써,
 xy축 각 사분면을 회전하는 1차 회전튜브 없이 4방향 교차로를 구성하며,
 본선에서 지선이 분기하는 T형 3방향 교차로로 활용할 경우,
 본선측 한 방향을 제거하여 3방향 선로를 구성하며,
 원점 회전튜브와 3방향 접속의 1차 회전튜브 원호 부분만으로,
 우회전과 좌회전 트래픽을 처리하되 4방향 확장에 대비하여,
 교차형스위치 사전설치와 튜브 접속부를 100m 이상 구비하며,
 튜브외피 두께 1t 기준 원점 회전튜브의 형상치수는,
 1차 회전튜브 반지름(R)인 6.6666km의 $R(\sqrt{2}-1)$ 인,
 2.7614km의 반지름(R)을 갖는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 22

제21항에 있어서,
 I, II, III, IV 사분면 4개의 1차 회전튜브 외곽에 내접하는,
 대원(大圓)의 회전튜브를 구비하고,
 xy축 $\pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$ 에 교차형스위치(XoS)와 접속로를 구비하고,
 대원과 접점에 접선튜브를 갖는 또 다른 xy축 선로튜브 건설로,
 격자형 혹은 그리드망을 구축하거나,
 대원 회전튜브 $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ 방향으로 $\pi/4$ 위상 이동하는,

x'y'축 선로 튜브와 접속로를 추가하여 8단자형 허브를 구축하며,
 대원 회전튜브 $\pi/8, 3\pi/8, 5\pi/8, 7\pi/8, 9\pi/8, 11\pi/8, 13\pi/8, 15\pi/8$ 에,
 대원 회전튜브와 선로튜브간 교차형스위치를 구비하며,
 대원 회전튜브의 회전 방향은 반시계방향으로 하여,
 xy축과 x'y'축의 8 방향 튜브간 트래픽을 처리하고,
 튜브외피 두께 1t와 300t 주행튜브 기준 대원 회전튜브의 형상치수는,
 16.0947km 회전 반경(R) 혹은 32.1895km 회전 직경(D)과,
 101.1263km 회전 원주($2\pi R$) 길이를 갖게 하여,
 사통팔달(四通八達) 노선망의 허브 혹은 노드기능을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 23

제15항에 있어서,
 수직 교차형(交叉型)스위치(vertical Cross over Switch, vXoS)는,
 선로튜브와 회전튜브 혹은 터미널 플랫폼튜브 등에서,
 상하로 연결하는 튜브간 삼상궤도 굴절편으로,
 튜브 내측 정삼각형 꼭짓점 $ABC(\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6)$ 삼상궤도에서,
 궤도간 교차(cross) 접속용 이동궤도를 구비하되,
 100m 단위 주행튜브 2개의 삼상궤도를 각기 상하로 교차 굴절시키고,
 굴절되지 않는 상하층 연결궤도의 상층궤도인 $A(\pi/2)$ 궤도와,
 $BC(7\pi/6, 11\pi/6)$ 궤도를 상하로 동시에 굴절시켜,
 상하층 궤도로 교차 진입하는 셔틀의 스위칭 공간을 마련하며,
 상하층 연결 궤도간 트래픽을 교차(cross)로 교환(\rightleftharpoons)하여,
 상하층간 궤도변경 트래픽을 동일 스위치에서 처리함으로써,
 선로튜브와 터미널 플랫폼튜브의 궤도간 트래픽을 교환하고 분배하며,
 상기 이동궤도인 수직 굴절편은 튜브외피 두께 1t와 300t 주행튜브 기준으로,
 100m 길이 표준 주행튜브의 궤도 접힘폭은 상하로 150t로,
 주행튜브 2개의 궤도 접힘폭이 300t로 상하방향으로 거동하여,
 2 굴절편으로 상하층 삼상궤도간 스위칭을 완성하는,
 수직방향 분기와 합류 겸용의 수직 교차형스위치(vXoS)와,
 궤도 굴절편은 액추에이터(actuator)를 삼상궤도에 취부하여 작동하며,
 권역과 중앙관제소의 인공지능(AI)으로 통제하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 24

제1항에 있어서,
 상기 자기부상 이동체인 튜브셔틀은,
 주행튜브 정삼각형 꼭짓점의 자기편 철(凸)에 대응되는,
 이동체 내접 꼭짓점 $ABC(A:\pi/2, B:7\pi/6, C:11\pi/6)$ 에,

셔틀의 축방향 포물면 홈과 매립형 전자기편 요(凹)를,
 $2\pi/3$ 라디안(120도) 위상 간격으로 원주면에 배열하며,
 삼상궤도(3 phase track) ABC 각 상의 자기 부상력과 균형력 및 견인력은,
 xyz축 상하 좌우 전후로 구속되어 안정평형 상태를 유지하며,
 3차원 공간인 원통 좌표계의 가상원점0과 중심축에 집중되는,
 무게와 모멘트 중심점 및 복원력으로 단조화 운동이 억제되며,
 단상궤도의 $\sqrt{3}$ 배 부상력, 견인력, 내진동 특성을 갖게 하며,
 튜브셔틀의 구동방식은,
 선형스테핑모터(LSM) 방식으로,
 1 스위칭 주파수당 주행튜브 궤도 단위길이인 1m를 구동하고,
 출발·정지와 가속·등속·감속을 스위칭 주파수로 제어하되,
 관제소 인공지능(AI)으로 자율주행 방식 제어체계를 구비하며,
 튜브셔틀의 본체인 실린더형 몸체 구조물은,
 음정현과 주름판을 코어로 편평판으로 안팎의 바깥층을 형성하며,
 정삼각형 내접 꼭짓점ABC에 포물면 관통홈의 형상을 갖는,
 전자기편 뱅크 혹은 트레인을 구비하여,
 전자기 날개(W), 전자기편(M), 전자기 방사판(R)을,
 $W \cdot M \cdot R \cdot M \cdot R \cdot \dots \cdot R \cdot M \cdot R \cdot M \cdot W$ 순으로 직렬 배열하여,
 주행튜브의 삼상궤도를 안정평형 상태로 주행하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 25

제24항에 있어서,
 정삼각형 내접 꼭짓점ABC의 매립형 전자기편 요(凹)의 기능별 배치는,
 단위개소 요(凹)의 배치는 꼭짓점 A($\pi/2$)의 전자기편을 기준으로,
 $\pi, 2\pi$ 방향 2개 요(凹)는 자기 부상편으로 영구자석을,
 $\pi/2$ 방향 1개 요(凹)는 자기 균형편으로 영구자석을,
 $3\pi/2$ 방향 1개 요(凹)는 전자기 견인편으로 전자석을 배치하며,
 주행튜브 방향 2개 $\pi, 2\pi$ 자기 부상편과 $\pi/2$ 자기 균형편의 영구자석은,
 링형 영구자석의 끝단을 45도 각도로 절단 가공한 후,
 90도 각도로 직렬 연결하여 자기 폐회로를 구성하고,
 튜브셔틀 원점방향 각기 2개 $\pi, 2\pi$ 자기 부상편의 후단은,
 강자성체인 적층 규소강판(4% 규소)요크로 접속하여,
 누설자속 ϕ (leakage flux)이 발생하지 않도록 하며,
 전체 튜브셔틀의 12m 단위 자기부상편과 자기균형편 배열구조는,
 1m 단위 등간격으로 1번~12번 각 36개 전자기 집합편을 배치하되,
 셔틀 축방향 7·8·7개 배열되는 다중 육방격자형 벌집형 매립공에,

각 집합편당 22개 소형 영구자석을 분산 장착하며,
 2번과 11번 각 자기편은 능동제어 전자석편으로 대체하되,
 자기 부상편과 자기 균형편을,
 집합형 전자석편 혹은 초전도자석편으로 구비하여,
 영구자석의 자기 부상력과 균형력을 보정하고 증강하며,
 튜브셔틀의 $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ 변위를 센서로 측정하여,
 셔틀의 중력자중과 승객·화물 등에 의한 부하변동과,
 x 축 롤(roll, ϕ), y 축 피치(pitch, θ), z 축 요(yaw, ψ) 운동과,
 주행속도와 궤도상황에 따른 커브구간 틸팅(tilting) 위상각 θ_t 보상 등을,
 자속선의 정밀제어로 구속하여 동적특성을 개선하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 26

제24항 또는 제25항에 있어서,
 1m 단위 1번~12번 전자기편 편간의 단위미터 위치 11개소에,
 $3\pi/2$ 좌우 요(凹)는 전자기 견인편과 변환코일부를 배치하되,
 튜브셔틀 내장 배터리 전원으로 여자되는 전자기견인편을,
 좌우 2개 7·8·7개 배열되는 다중 육방격자형 벌집형 매립공에,
 각 집합편당 22개 소형 전자석을 분산 장착하고,
 후단을 강자성체인 적층 규소강판(4% 규소)요크로 접속하여,
 누설자속 ϕ (leakage flux)이 발생하지 않도록 하며,
 상기 전자기견인편 전후에 각기 3·4·3개 변환코일부를 함께 배열하여,
 튜브셔틀의 감속모드 전환시 회생제동 발전·배터리 충전기능으로,
 관성부하(inertia load)의 병진운동 에너지($E_t = 1/2mv^2$)를,
 전기에너지($E=NBA\omega t$)로 회수하여 제동력을 확보함으로써,
 선형스테핑모터(LSM)의 초고속 주파수 거동시 탈조와 공진을 예방하며,
 상기 변환코일부는 병렬 무선충전 회로 2차코일로 겸용하여,
 여객·화물포트나 셔틀·정비기지 등 셔틀정차 장소의,
 3상 교류전력 충전 포스트의 1차 변환코일(transformer coil)로 부터,
 무선급전으로 셔틀의 내장 배터리를 충전하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 27

제24항 내지 제26항의 어느 한 항에 있어서,
 셔틀 선두와 꼬리 부분에 X자 유선형 전자기 날개(wing)를 구비하되,
 주행튜브의 + 형 자기편과 $\pi/4$ 위상각(θ)을 갖고,
 궤도와 동일자극의 플럭스 포일(flux foil) 날개 표면으로,
 셔틀 거동시 주행튜브 궤도의 자기편 자속(flux)을,
 각 사분면 45도 각도로 쪼개어 분할하는 자속 분리기(splitter)로 역할하고,

1~11번 전자기편과 변환코일편의 편간위치에 전자기 방사판을 연속 배치하되,
 냉간압연강판 혹은 전자강판((magnet steel plates)을 취부하여,
 튜브셔틀 이동시 분리된 삼상케도 자속을 공극내로 반사 압축하여,
 주행튜브 자기편과 셔틀 전자기편의 자속선 흐름을 공극으로 유도하며,
 자속밀도 $B(\text{Wb}/\text{m}^2)$ 와 자속에너지밀도 (J/m^3) 를 증가시키는,
 자속분리압축기(flux splitter&compressor)기능을 갖게 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 28

제24항 내지 제27항 중 어느 한 항에 있어서,
 튜브셔틀의 표준전장은 15m 길이로 주행튜브 내벽과 5t의 공극을 갖고,
 12m 삼상 전자기편을 갖는 반지름(R) 138.3820t의 실린더형 몸체와,
 반지름(R) 138.3820t의 반구의 해치부를 몸체 양단에 구비하며,
 양단 해치부에 비상구(emergency exit)와 전자기 도킹부를 배치하여,
 비상구로 응급·재난시 구난셔틀로 탑승객의 피난통로를 확보하고,
 도킹부 전자기 시건장치로 군집주행시 타 셔틀과 접촉·해체를 수행하며,
 몸체는 원주면에 180개 주름을 갖는 음정현과 주름판을 코어로 구비하며,
 편평판으로 주름판 내외를 보강한 3중판으로 튜브셔틀의 몸체를 형성하되,
 음정현과 주름판 마루와 외측 편평판 사이 빈공간에는 세심관을 구비하여,
 호흡용 산소와 냉각용 헬륨, 질소 등을 다수 관에 충전하고,
 표준 원통형 리튬이온 배터리를 축방향으로 길게 적재하여,
 별도 배터리 설치공간 없이 대량 배터리를 넓게 분산 배치함으로써,
 과우치형 전지의 고집적화로 발생하는 발열과 폭발문제를 해소하고,
 하중을 이동체 원주표면으로 확산하여 무게중심을 분산하며,
 실린더형 몸체와 해치부로 구성되는 셔틀의 원주면 배치에 있어,
 $\pi/2 \leftrightarrow 11\pi/6$ 과 $\pi/2 \leftrightarrow 7\pi/6$ 양 측면에는 셔틀 출입문을,
 $7\pi/6 \leftrightarrow 11\pi/6$ 에는 보조바퀴와 제어회로 등 기계장치를,
 $\pi/2$ 케도편 양측은 공조와 초전도 전자석 구동용 냉각설비를,
 구비하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 29

제1항에 있어서,
 상기 자기부상 이동체인 튜브셔틀은,
 원주면 하단 III, IV 사분면에 볼록형(凸) 보조바퀴를 구비하되,
 III 사분면은 $4\pi/3$, IV 사분면은 $5\pi/3$ 에 위치시키고,
 바퀴간 윤거(輪距, tread)는 $\pi/3(R)$ 의 원호길이를 갖게 하여,
 마찰 주행하는 '활주주행 모드'와 '격납잠김 모드'를 제공하며,
 튜브셔틀의 출발이나 도착 및 서행주행과 정지 등 과도상태 운행시에,

바퀴내림 모드로 전환하여 '활주주행 모드' 기능을 제공하되,
 내장 배터리 전력으로 보조궤도에 접지하고 마찰력 구동으로,
 선형스테핑모터(LSM)의 과도상태 거동부하를 분산하여,
 튜브셔틀의 정격등속 운행과 정상상태 친이를 보조하고,
 튜브셔틀의 정지 상태에는 '격납잠금 모드'의 브레이크 기능을 제공하며,
 보조바퀴 크기는 $2\pi R=2m$ 의 원주율을 갖는 반지름 $0.3183m(R=1/\pi)$ 로,
 보조바퀴 π 라디안 회전이 보조궤도 1m 주행 거리와,
 2π 라디안 회전이 보조궤도 2m 주행거리를 확보하며,
 보조바퀴 폭은 보조궤도인 2개 리플 턱과 3개 오목형(凹) 홈(〰〰〰)에,
 3개 트레드와 2개 어깨의 볼록형(〰〰〰) 형상의 접지면을 갖는,
 26.1975t 폭의 바퀴를 튜브셔틀 좌우에 2개씩 4개를 구비하며,
 바퀴 구동형식은 활인모터와 스텝핑모터를 결합하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 30

제29항에 있어서,
 상기 자기부상 이동체인 튜브셔틀은,
 주행튜브측 1m 단위 삼상궤도의 자기편 스테이터(stator)와,
 튜브셔틀의 12m 단위 전자기편인 로터(rotor)간 동기방식으로,
 선형스테핑모터(LSM) 스위칭 작동으로 거동하며,
 중앙·권역 관제소 인공지능(AI) 운영체제의 제어를 통하여,
 전체 셔틀의 다이어그램과 교차형스위치(XoS) 기동 설정과,
 튜브셔틀 전자기 견인편의 인가 스텝핑 주파수 제어와,
 출발·가속·등속·감속과 회생발전·정지 상태를 조절하며,
 출발·가속·감속과 회생발전·정지 등 과도상태 거동시에는,
 보조바퀴에 의한 '활주주행 모드'의 거동을 병행하여,
 선형스테핑모터의 과도상태 거동 부하를 분산하며,
 이동체 거동으로 생성되는 코킹토크와 진동에너지를,
 주행튜브와 대지로 환류(feedback)하여 감쇠시키는,
 불요 에너지파 접지(接地) 기능을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 31

제29항 또는 제30항에 있어서,
 상기 자기부상 이동체인 튜브셔틀은,
 표준 15m 단위 튜브셔틀의 단독주행을 기본으로 하되,
 셔틀해치의 전자기 도킹부 가동으로 n*셔틀 다연장 주행을 하며,
 목적지가 다른 셔틀의 다방면 군집주행은,
 본선 직진, 타선 우현, 타선 좌현방향 순으로 다연장 편성하고,

접속로 교차형스위치(XoS) 도달전 헤치의 도킹부 접속을 해제하여,

직진은 정속, 우회전은 $\text{정속}/\sqrt{2}$, 좌회전은 $\text{정속}/\sqrt{3}$ 이상 감속하여, 회전구간의 원심력 저감과 스위칭에 따른 적정 안전거리를 확보하며,

군집서들을 목적지별로 분리한 후 직진, 우현, 좌현 순의 스위칭으로,

목적지별로 튜브서들의 트래픽을 분배하며,

xy축 본선 트래픽의 동일방향 서들은 주행중 근접토록 감속·가속한 후,

도킹부를 가동하여 n*서들 다연장 편성과 접속주행으로,

선로튜브와 터미널 등의 운영효율 제고를 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 32

제15항에 있어서,

진공튜브와 자기부상 삼상궤도 및 교차점의 선로구성에 있어서,

상기 구조물은 해상구간과 육상구간에 걸쳐 시설하며,

선로튜브의 해저구간 강화튜브 혹은 선로 시스템은,

튜브부력과 균형점을 유지하는 무게의 부력 평형추 공법과,

해저 테트라포드(tetrapod)와 케이블로 접속하는 튜브앵커 공법과,

해저에 교각을 건설하여 튜브를 고정하는 수중교각 공법을,

해저의 지형조건, 단층대, 수심, 해류 등의 환경요소를 감안하여,

튜브와 바닷물의 부피($V=2\pi r^2 h$) 대 밀도 $\rho(kg/m^3)$ 가 균형점을 이루어,

알짜 힘이 영(0)이 되는 평형상태 $V_{\text{바닷물}}/V_{\text{튜브}} = \rho_{\text{튜브}}/\rho_{\text{바닷물}}$ 를 유지하는,

부력 평형추와 튜브앵커 및 수중교각공법을 조합하여 시공함으로써,

유체인 바닷물속 중력과 반대방향으로 가속하는 부력(buoyant force)을 상쇄하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 33

제32항에 있어서,

해저에 교각을 건설하여 강화튜브를 고정하는 수중교각 공법은,

해저지반을 굴착하여 설치되는 Y(U+I)형 구조물의 형태로

강화튜브 혹은 선로 시스템을 지지하며,

수중교각과 강화튜브 접속부인 합체의 $\pi, 5\pi/4, 7\pi/4, 2\pi$ 4 개소를,

7개 코일을 1개로 결속시킨 묶음형 튜브댐퍼로 접속하여,

강화튜브 하중과 튜브부피($V=2\pi r^2 h$)에 의한 부력을 상쇄하며,

스프링에 저장되는 탄성위치 에너지(elastic potential energy)를,

유체인 바닷물의 저지력(retarding force)과,

위상(phase)반전 코일의 소멸간섭과 감쇠진동 등으로,

스프링의 진자운동을 감쇠시켜 공진현상을 억제하고,

지진과 등 외부충격과 이동체 운행에 따른 진동 등의 파동에너지를,

대지로 환류시키는 불요 에너지와 접지(接地) 기능을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 34

제32항에 있어서,
 해저 테트라포드(tetrapod)를 케이블로 고정하는 튜브앵커 공법은,
 연근해나 대륙붕 등 천해구간의 경우,
 콘크리트 이형블록인 네발 구조물의 테트라포드(tetrapod)를,
 해저지형 조건에 따라 50·100m 단위로 1~4개 투하하고,
 고장력 케이블과 튜브댐퍼를 통하여 강화튜브를 접속하며,
 높은 수압과 수중교각 설치가 어려운 해구나 해령과 같은 대심해 구간은,
 선로튜브 외피를 보강한 2~3차 강화튜브를 채택하고,
 테트라포드(tetrapod)를 좌우 2개소에 투하하여,
 고장력 케이블과 튜브댐퍼로 접속하는 2앵커 공법으로,
 수중교각 없이 대심해 구간을 중단 혹은 횡단하며,
 유체인 바닷물속 중력과 반대방향으로 가속하는 부력을 상쇄하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 35

제34항에 있어서,
 상기 튜브부력과 균형점을 유지하는 무게의 부력 평형추 공법은,
 재료밀도 ρ (kg/m^3)가 높은 콘크리트(2.30×10^3)나 철(7.86×10^3)로,
 구형($4\pi r^3/3$)의 부력 평형추를 튜브댐퍼와 접속하여,
 강화튜브 100m당 1 개소 또는 복수 개를 튜브하단에 연결하여,
 유체인 바닷물이 튜브에 작용하는 알짜힘(net force)인 부력을 상쇄하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 36

제32항에 있어서,
 상기 해상구간 강화튜브의 시공과 건설은,
 위성항법시스템과 음향송수신기의 위치측정 데이터로,
 자세제어를 스러스터 자동제어로 수행하는 특수 시공선박 선박으로,
 해저지반 천공과 수중교각 건설, 테트라포드 투하와 튜브앵커 시공 및,
 강화튜브 접속과 부력 평형추 연결 등을 일괄하여 시공하되,
 2선박이 순차적으로 전진하는 교차전진 혹은 순차교대 공법으로,
 2척의 선박은 건설현장 100m 2개소 동시시공을 담당하며,
 1튜브 접속 완료 후 100m 전진하여 앞 방향 튜브시공을 전개하고,
 100m 단위로 튜브접속 시공과 건설을 일괄하여 완성시키며,
 건설공사 완료 이후 선로유지 보수용 선박으로 활용하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 37

제32항에 있어서,
 선로튜브와 자기부상 삼상궤도 및 교차형스위치(XoS)를 포함하여,
 육상구간의 시설은 지장 장애물이 적거나 개활지는 교각건설로,
 제반 장애요인으로 구조물을 육상 지하구간에 시설하는 경우는,
 지하 100m 이상의 대심도 터널을 굴착하여 건설한 후,
 선로튜브를 반입하여 터널내벽과 튜브댐퍼로 접속하되,
 각 접속점은 100m 단위의 선로튜브 연결부에 구비하고,
 터널내벽의 접속점 $\pi/2, 3\pi/4, \pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4, 3\pi/2$ 6개소에,
 7개 코일을 1개로 결속시킨 묶음형 튜브댐퍼(tube damper)로 접속하여,
 중력에 의한 선로튜브 하중을 분산하여 지지하고,
 스프링에 저장되는 탄성위치에너지를,
 위상(phase)반전 코일의 소멸간섭과 감쇠진동으로,
 스프링의 진자운동을 감쇠시켜 공진현상을 억제하고,
 지진과 등 외부충격과 이동체 운행에 따른 진동·섭동 등의 파동에너지를,
 대지로 환류시키는 불요 에너지파 접지(接地) 기능을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 38

제15항에 있어서,
 양정현과 주름관 진공튜브와 1m 단위 자기편 프레임 포함하며,
 상기 프레임은 1/3m 궤도와 2/3m 궤도간 이격 간극을 갖고 있으며,
 선로튜브간 접속부에 포물면 결합부를 설치하고,
 내부 공간에 주행튜브 내경지름(D_t) 크기의 진공차단벽과,
 양 주행튜브 플랜지 경계면에 기밀유지용 이중오링(double O ring)과,
 구동 액추에이터, 진공 감지센서, 좌우 2개의 진공펌프를 구비하며,
 교차형스위치(XoS)가 구비되는 여객·화물 터미널과 접속로 등의 장소에,
 xy축 원점(0, 0)의 중앙 원점튜브를 제외한 1~6번 주행튜브를,
 진공 혹은 아진공 상태를 유지하는 진공차단벽과 진공펌프를 구동하며,
 여객·화물 터미널과 셔틀·정비 기지 등 셔틀 정차장소인 플랫폼에는,
 주행튜브와 플랫폼 경계점에 인입진공차단벽과,
 20m 단위로 복수개의 구역진공차단벽을 설치하여,
 셔틀 연장길이를 가변적으로 수용하는 진공챔버를 형성하며,
 튜브셔틀이 상시 진공상태인 주행튜브로 진입하는 절차는,
 개방된 인입진공차단벽을 통과하여 진공챔버로 이동한 후,
 구역진공차단벽 앞에 일시 정지하여 인입진공차단벽을 폐색하여,
 진공펌프로 주행튜브와 셔틀사이의 공기를 완전 방출시킨 후,
 이물의 구역진공차단벽을 개방하여 튜브셔틀을 출발시키는 수순으로,

튜브셔틀이 주행튜브에서 대기(大氣)상태의 플랫폼에 도착하는 절차는,
 플랫폼의 인입진공차단벽 앞에 일시 정지한 후,
 고물의 구역진공차단벽을 폐색하여 주행튜브와 격리시키며,
 진공챔버를 대기(大氣)로 채운 후 인입진공차단벽을 개방하여,
 플랫폼으로 이동한 후 승객·화물의 하차·하역 수순으로,
 주행튜브의 상시 진공상태를 유지하며,
 상기 진공격벽과 진공펌프 등의 구동전원은,
 육상구간은 보조튜브를 통해 외부 전력선을 인입하며,
 해상구간은 보조튜브를 통해 육지 외부 전력선을 인입하거나,
 수중교각이나 튜브앵커에 해상풍력 혹은 파력발전을 시설하고,
 배터리로 충전하여 구동하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템을 건설하는 방법.

청구항 39

제38항에 있어서,
 튜브셔틀 플랫폼의 경계점에 인입진공차단벽과 구역진공차단벽을 포함하여,
 셔틀내부의 바닥 높이와 플랫폼의 상면이 같은 복수개의 승강장 양측면에,
 충전포스트가 구비된 A($\pi/2$)궤도와 DE($4\pi/3, 5\pi/3$) 보조궤도로 구성되는,
 플랫폼 삼상궤도를 1 주행튜브당 5개 이상 수평면에 구비하여,
 다중심식플랫폼으로 형성되는 승강장에서 승객과 물류를 처리하며,
 구역진공차단벽 후단은 교차형스위치로 분기와 합류선로를 구성하여,
 본선 주행튜브로 트래픽을 인도하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

청구항 40

제15항에 있어서,
 교차형스위치(XoS)와 자기부상 이동체인 튜브셔틀을 포함하며,
 상기 시스템 운영체제(operating system)는
 여객·화물 터미널, 정비·격납기지 등 육상시설과,
 선로튜브와 삼상궤도 및 교차형스위치(XoS)등 선로시설과,
 단독 혹은 다방면 군집 편성하는 튜브셔틀 이동체를 포괄하며,
 수치제어(NC)와 인공지능(AI) 프로그램을 기반으로,
 튜브셔틀의 출발·도착 등 편성편 다이어그램 관리와,
 교차형스위치(XoS) 구동을 위한 액추에이터 기동 관리와,
 튜브내부를 진공·아진공으로 유지하는 진공격벽과 펌프가동과,
 튜브셔틀 인가 스텝핑 주파수와 해치의 도킹부 개폐제어와,
 지진의 선행파인 종파(P파) 인지시 튜브셔틀 비상정지 등을,
 중앙관제소의 집중화면 일괄관제 혹은 권역별 분산관제 체계와,
 중앙과 권역의 협업관제로 튜브셔틀의 자율주행을 제어하는 것을 특징으로 하는 진공 자기부상 튜브 및 튜브셔

를 시스템의 운영체제를 구비하는 것을 특징으로 하는 자기부상 이동 시스템.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 속이 빈 주름관(corrugated tube)을 연결하여 다중으로 결합한 진공 선로튜브와 튜브셔틀(tube shuttle)로 대표되는 진공 자기부상 이동체 시스템에 관한 것이다.
- [0002] 보다 구체적으로 본 발명은 양정현과 주름관의 주행튜브를 7개 혹은 19개를 연결한 다중 선로튜브를 안출하여 최소직경으로 체적대비 인장·비틀림·굽힘·압축 등 전단응력 증대와 튜브제작 재료비 절감 및 대규모 트래픽을 처리하는 다중튜브 구조물과 함께, 주행튜브 정삼각형 꼭짓점의 삼상궤도(3 phase track) 방식 자기부상 궤도와 실린더형 진공 자기부상 이동체인 튜브셔틀 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 현재 자기부상 열차 시스템은 수건의 실용화가 진행되고 있으며 시속 500km 수준의 주행속도를 달성하고 있으나 궤도 상태나 공기저항 등의 문제로 인하여 보다 초고속의 실현은 기술적으로 매우 어렵다.
- [0004] 그 대안으로 궤도를 튜브 혹은 진공선로로 구축하여 음속을 돌파하려는 연구와 시도가 진행되고 있으나 여러 기술적 난제와 과도한 투자비 등으로 아이디어 수준이거나 초보적인 시험실 수준에 머물고 있다.
- [0005] 종래 자기부상 열차와 음속돌파를 위한 진공튜브 자기부상 열차는 기존철도 시스템을 개선하여 바퀴의 마찰저항을 없애기 위해 이륜궤도와 단상 자기부상 기술을 적용함으로써, 음속돌파나 아음속과 같은 초고속 주행시 열차 운행의 안정성이 떨어지고 자기부상과 열차운행 제어에 많은 어려움이 발생되고 있다.
- [0006] 상기 단상궤도와 이륜바퀴에서 나타나는 정현과 형태의 사행동(蛇行動, snake motion, hunting)은 철도차량의 공진현상 중 하나로, 주로 직선부를 고속으로 주행할 경우 차체나 대차, 차축 등이 연직축 둘레방향 회전진동(yawing)을 일으키는 현상으로, 궤도나 대차·차체에 손상을 주며 정도가 심한 경우 탈선사고의 주된 원인이 되므로 고속화에서는 특히 이 현상에 대한 대책이 중요하다.
- [0007] 일반적으로 이륜바퀴와 단상궤도는 고대의 수레 혹은 마차에서 연원한 기술적 사상으로 오랜 세월 기술개선으로 열차주행 속도를 꾸준히 증대하여 왔으나, 중력극복을 위한 경제적인 자기부상 기술의 적용이 어렵고 초고속 주행에 따른 공기저항의 극복이 지난하며 진동과 섭동 등의 다양한 문제점을 해결하지 못하여, 음속돌파와 같은 초고속 주행 시스템 적용은 근원적인 문제점을 내포하고 있어 초고속 주행 이동체 시스템은 새로운 기술방식이 필요하다.
- [0008] 현재 실용화 혹은 개발 중인 자기부상열차는 일반 전자석을 사용한 상전도 흡인식의 시속 110km급 한국 도시형 자기부상 열차와 독일 기술인 상하이 트랜스라피드(Transrapid)가 실용노선에서 영업운전을 하고 있으며, 일본은 철도회사인 JR 도카이(東海)에서 초전도 반발식의 주오신칸센(中央新幹線)의 시험선을 개통하여 주행시험에서 최고속도 603km를 기록하였고 설계 최고 속도 시속 505 km로 도쿄-나고야 노선을 2027년에 개업하고 도쿄-오사카 노선을 2045년 전 개업을 목표로 진행되고 있으나 모두 기존 철도기술의 연장선상에서 진행되고 있다.
- [0009] 한편, 미국 엘론 머스크가 제안한 신개념 고속철도인 하이퍼루프(The Hyperloop)는 1920년대 제안된 '레일건' 아이디어에서 제안된 프로젝트로 시속 1,280 km(마하 1.06)의 속도를 목표로 아진공 상태의 지름 3.3m 튜브와 28인승 캡슐 1량으로 구현할 계획으로, 하이퍼루프 프랜스포테이션 테크놀로지(HTT)와 하이퍼루프원(Hyperloop one) 등이 개발을 진행 중에 있으나 상용화는 불투명한 상태이며 동유럽 슬로바키아도 수도인 브라타슬라바-코시체 400km 구간에 하이퍼루프 도입을 검토하고 있다.
- [0010] 하이퍼루프(Hyperloop)의 부상방식은 아진공 상태의 희박한 공기를 압축기와 팬으로 분사하는 공기 베어링(air bearings) 방식 또는 전자기장을 이용하는 자기부상 방식으로 영구자석의 자화방향을 다르게 배열하는 할박배열(Halbach arrays) 기술의 수동 자기부상 시스템인 인덕트랙(Inductrack)방식을 검토하고 있다.
- [0011] 구체적으로, 할박배열 기술은 1극에 여러 편의 자석을 모으고 각각의 자석편이 모두 각기 90도 다른 방향으로 자화하는 형상을 갖는 것으로 초기상태에서 다소 높은 토크 특성을 갖고 있으나, 영구자석 자속(flux)의 정확한 방향과 배열의 제조공정이 매우 어렵고 동일 출력을 얻기 위해 평행자(parallel magnetization) 영구자석 대비 두 배 이상의 체적이 필요하며 동손과 역기전력 과형인 고조파 왜율(歪率)이 증가하여 토크가 현저히 감소하는 감자(demagnetization) 특성 등이 열악한 구조적 문제를 내포하고 있다.

[0012] 할박배열 기술에 기초한 인덕트랙(Inductrack)방식은 열차 본체 하단에 자석을 배치하고 터널 안 트랙에 전력이 공급되는 와이어루프를 설치하여 부상력과 추력을 얻는 방법으로 공지되고 있으나, 아직도 레일건 적용이나 화학연료 연소로 추력을 얻는 로켓발사 부분에 대한 실용성도 검증되지 않고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0013] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 10-1130807. 튜브철도시스템의 진공분할 관리 시스템 및 진공 차단막 장치 (2009. 12. 17 출원)
- (특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 10-1034345. 반발부상 및 안내식 튜브 운송장치 (2008. 12. 31 출원)
- (특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 10-1015170. 튜브식 자기부상열차 (2008. 12. 30 출원)
- (특허문헌 0004) US Patent 5,722,326. Magnetic levitation system for moving objects (1994. 8.1 출원)
- (특허문헌 0005) US Patent 6,664,880. Inductrack magnet configuration (2001. 6. 29 출원)
- (특허문헌 0006) US Patent 6,758,146. Laminated track design for Inductrack maglev systems (2002. 11. 27 출원)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명의 목적은 종래 단상궤도와 이륜바퀴의 기존 철도기술에서 연원하는 단상궤도 자기부상 열차와 진공튜브 열차기술의 문제점을 해소할 수 있는 방안으로, 진공튜브 형상을 7개 혹은 19개의 양정현과 주름관을 정육각형 각 변에 연결시킨 육방격자형 다중튜브 구조물과, 각 튜브내 정삼각형 꼭짓점에 삼상(3 phase) 자기부상 궤도(track)가 안치되는 것을 특징으로 하는 진공 자기부상 이동체 시스템을 제공하는데 있다.

[0015] 이는 튜브셔틀의 음속돌파와 아음속과 같은 초고속 운행의 안정성 확보와 진동과 섭동을 극소화하는 기술적 진보성을 갖게 되며, 양정현과 주름관의 7 혹은 19 중 다중튜브 솔루션 등으로 본 발명의 실시예인 심해구간의 높은 수압극복과 선로 비용의 최소화를 달성할 수 있어 막대한 투자비와 공사비가 필요한 자기부상 이동체 시스템의 경제성을 높일 수 있게 된다.

과제의 해결 수단

[0016] 본 발명은 우선 자기부상 이동체 선로로 쓰이는 튜브(주름관)의 물리적 형상과 디자인을 재료역학 이론에 준거하여 최적의 진공 자기부상 튜브 형상(태양)과 제조방법을 제공한다.

[0017] 본 발명의 음속돌파를 위한 진공 자기부상 이동체의 선로 구조물로 속이 빈 주름관(corrugated tube)을 7개 혹은 19개를 수평으로 정육각형 각 변에 연결시키는 다중튜브 디자인과 제작공법을 안출하여 튜브단면의 체적대비 집적도 향상과 인장, 비틀림, 굽힘, 압축 등 전단응력 증대 및 튜브제조의 간편성을 도모한다.

[0018] 본 발명에서는 재료역학적인 비틀림이나 굽힘 및 인장강도 등을 더욱 향상시키기 위해 삼각함수 파형인 정현파(sinusoidal, ~)를 양의 영역으로 정류 혹은 전환(컨버트)한 양정현파(陽正弦波, positive sinusoidal, ~) 형상 주름관을 채택하면 동일체적 대비 편평관(扁平管, flat tube, ◎)보다 월등한 인장, 비틀림, 굽힘, 압축 강도 특성을 갖게 한다.

[0019] 상기 양정현파 형상 주름튜브는 시루떡 형상 샌드위치보(sandwich beam)의 구조물로 전단응력 τ 을 크게 향상시키고, 자연재해인 지진발생시 P파(primary wave)와 S파(secondary wave) 및 표면파 등의 충격을 견디는 내진강도(耐震強度)를 갖게 되며, 체적대비 집적도 향상과 인장, 비틀림, 굽힘, 압축 등 전단응력의 증대 및 압출 성형 등 튜브제조의 간편성을 도모할 수 있게 된다.

[0020] 양정현파 형상 주름튜브는 진공 자기부상 이동체인 튜브셔틀의 음속돌파에 수반되는 진동이나 섭동 등의 불요파 에너지를 튜브와 대지로 환류(feedback) 시키는 한편 높은 수준의 내진강도와 면진(免震)이나 제진(制震)을 위

한 5태양의 지진파흡수 시스템을 적용하여 빈발하고 있는 지진이나 쓰나미와 같은 자연재해로부터 선로튜브를 보호하고 튜브셔틀 운영의 안정성을 확보하여야 한다.

- [0021] 또한 궤도가 배치되는 주행튜브 형상은 7 튜브는 x축 가로방향 2·3·2 구조로 하고 19 튜브는 x축 가로방향 3·4·5·4·3 구조로 수평면에 정육각형 한 변이 배치되는 구조물로 연결튜브간 분기나 합류 선로구성시 수평방향의 스위칭회로 공간을 확보할 수 있는 구조를 채택함으로써 노선확장이나 노선간 상호접속시 스위칭 선로(회로) 구성이 용이해지는 이점이 있다.
- [0022] 이와 함께 7 혹은 19튜브 내부 정삼각형 꼭짓점 $\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$ 에 안치되는 자기편의 프레임은 WF보(wide-flange beam)에 상응하는 구조물로 튜브내부에 형성되는 음정현과형 내벽에 WF보의 플랜지(flange)가 취부되고 웨브(web)와 또 다른 플랜지가 자기편의 프레임이 되는 구조를 갖는다. (상기 $\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$ 와 같이 라디안 값으로 위치를 나타낼 때, 엄밀하게는 튜브의 길이 방향에 수직인 단면에서의 점의 위치를 극좌표를 사용하여 나타낼 때 튜브의 반지름을 r이라고 할 때, $(r, \pi/2), (r, 7\pi/6), (r, 11\pi/6)$ 과 같이 극좌표 표시로 나타내어지는 튜브에 내접하는 정삼각형의 꼭짓점을 간단하게 라디안 값만 사용하여 나타내는 방법으로 이하에서 동일한 표기법을 사용하여 간단하게 표시하기로 한다.)
- [0023] 이때, 주행튜브 내심의 $2\pi/3$ 길이를 갖는 3개 WF보의 플랜지를 $2\pi/3$ 위상(120도) 간격으로 배열하고 쐐기(wedge)로 주행튜브 내부에 취부하는 방법으로 조립하면 주행튜브를 한 겹 더 보강하는 샌드위치보의 효과로, 자기부상 이동체 운행에 따른 동역학적 응력을 선로튜브 전체면으로 분산시켜 인장·비틀림·굽힘·압축강도 향상으로 반복적인 하중을 받아 지속적으로 강도가 저하되어 발생하는 피로파괴(fatigue failure)를 예방할 수 있게 된다.
- [0024] 바람직하게는 연속궤도보다 불연속(dashed) 궤도로 z축상에 구성함으로써 자재비 절감과 주행튜브의 진공상태 유지에 필요한 격벽 설치공간을 확보하고, 튜브셔틀의 수치제어(numerical control: NC)와 인공지능(AI) 프로그램 등 디지털 방식 이동체 운행의 요소기술로 기능함이 필요하다.
- [0025] 또한 주행튜브에 오목형(凹) 홈으로 구성되는 보조궤도(auxiliary track)를 마련하여 튜브셔틀의 볼록형(凸) 보조바퀴(auxiliary wheel)를 수납하는 기능으로 튜브 셔틀의 중력에 의한 마찰력으로 비상시와 저속운행 구간 및 정차와 같은 바퀴 내림 모드의 주행용 궤도로 활용할 수 있어야 한다.
- [0026] 상기의 목표를 거양하는 제1태양의 대강은 양정현파(陽正弦波) 주름의 골과 마루가 세로방향(z축)인 속이 빈 주름관(corrugated tube)을 7개 혹은 19개를 정육각형 각 변에 수평으로 연결시켜 집적한 후 연결된 튜브외피 부분을 속이 빈 편평관으로 둘러싸는 기본형 튜브와, 이를 양정현파 주름관으로 다시 보강하는 강화 튜브의 형상을 안출하여 다중샌드위치보(multiple sandwich beam, MSB)의 기능을 발휘하는 구조물로 동일체적 대비 편평관(flat tube)보다 월등한 인장·비틀림·굽힘·압축강도를 시현하는데 있다.
- [0027] 본 발명은 또한 양정현파(陽正弦波, $\bigcirc\bigcirc\bigcirc$) 주름관 내부를 초음속 혹은 아음속으로 주파하는 자기부상 이동체인 튜브셔틀(tube shuttle) 시스템에 관한 것으로 이동체 외부형상은 실린더형으로 구성하여 진공 혹은 아진공 및 해저구간의 높은 압력을 극복하는 내압성을 갖게 된다.
- [0028] 또한, 양정현파 주름관 주행튜브의 자기편 철(凸)에 대응하여 튜브셔틀 본체에 매립형 전자기편 요(凹)를 구비하며 원형의 양정현파 주행튜브와 실린더형 음정현파 주름관(negative sinusoidal plates)을 갖는 튜브셔틀의 조합으로 전체 시스템의 체적을 최소화 혹은 생력화(省力化) 할 수 있는 수단을 포함한다.
- [0029] 상기 튜브셔틀은 단독 혹은 군집형 운행이 가능하도록 설계되며 셔틀 본체에 매립형 전자기편 요(凹)를 정삼각형 꼭짓점 $\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$ 에 안치함으로써 중력위치 에너지(gravitational potential energy)와 탄성위치 에너지(elastic potential energy)를 튜브셔틀의 기하학적 중심점인 3차원 xyz축상의 가상원점 $O(0, 0, 0)$ 으로 이동시켜 계(system)의 안정평형(stable equilibrium)상태에서 튜브셔틀의 초음속 혹은 아음속의 초고속 운행이 담보되어야 한다.
- [0030] 또한, 자기부상 이동체인 튜브셔틀은 선형스텝모터(linear stepping motor, LSM) 구동방식을 채택함으로써 스위칭 주파수 제어에 준거한 셔틀운행의 디지털화 혹은 인공지능(AI)에 의한 자율주행(autonomous driving)이 가능토록하고, 바람직하게는 표준 이동체로 구성하여 진공튜브의 1m 단위 디지털 불연속 자기부상 궤도와 동기를 유지하며 스위칭 모드로 운행하는 시스템이 보다 효율적이다.
- [0031] 한편, 비행기와 같이 튜브셔틀 하단에 보조바퀴(auxiliary wheel)를 구비하여 비상시나 출발·도착이나 여객·화물포트나 정비기지 등의 저속운행 구간이나 정차 시 바퀴내림 모드로 전환하여 제1 태양의 보조궤도에 마찰력

으로 구동하는 '활주주행모드' 기능과 전자기 견인편에 의한 선형스테핑모터(LSM) 구동을 병행하는 이중 주행모드 운용으로 부하 균등화(load balancing)를 도모하고 코깅토크를 저감시킬 필요가 있다.

- [0032] 상기 목표를 거양하는 제2 태양의 대강은 실린더 형상의 선형스테핑모터(linear stepping motor, LSM)방식 자기 부상 이동체인 튜브셔틀은 양정현과 주름관 주행튜브와 튜브셔틀의 정삼각형 꼭짓점($\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$)에 자기 편 철(凸)과 전자기편 요(凹)가 위치하는 xyz축 원통 좌표계(cylindrical coordinate system)의 삼상궤도(3 phase track) 자기부상 기술방식이다.
- [0033] 삼상궤도 자기부상 방식은 이동체의 무게 중심(center of gravity)과 모멘트 중심(center of moment)을 원통 실린더 형상인 튜브셔틀의 가상원점 $O(0, 0, 0)$ 으로 이동시켜 안정평형(stable equilibrium) 상태 주행이 가능하므로, 기존 단상궤도 자기부상 기술의 중립평형(neutral equilibrium)과 열차 주행시의 불안정 평형(unstable equilibrium) 문제를 해소하여 진동이나 섭동을 최소화할 수 있게 된다.
- [0034] 본 발명의 또 다른 측면은 양정현과 주름관으로 구성되는 선로튜브를 적용하여 타 선로·튜브포트·화물포트 등 실제 산업상 적용시 필요한 튜브 네트워크 토폴로지(tube network topology)에 관하여 제1태양의 기본형 튜브를 응용하여 교차점(switching or routing node)의 선로튜브 설계와 노드설계 방법론을 안출한다.
- [0035] 본 발명의 튜브셔틀 운행은 일 대 일 지점간 연결과 여객·화물 포트, 정비와 대기에 필요한 차량기지 및 다른 노선간 연결을 통한 다지점간 운행이 요구되므로 노선간 혹은 스위칭 노드간 접속과 연동을 위한 표준화가 필요하며 미래 확장성을 고려한 표준 접속로 모델이 요구된다.
- [0036] 상기 표준 접속로 모델은 고속도로 인터체인지와 일반도로 로터리 형상의 설계개념을 궤도 트래픽에 적합하게 개선하여 도넛형 회전튜브와 교차형(交叉型)스위칭(Cross over Switch, XoS)가 안치되는 스위칭튜브를 조합한 표준 접속로 모델을 안출하여 7중 혹은 19중 튜브의 상호분기와 접속을 무정차, 무대기로 설계하여 초고속 운행에 필요한 기능이 발현되도록 한다.
- [0037] 본 발명의 기본적 실시예인 천해와 심해와 같은 해저지형이나 육상구간의 대심도 터널은 100년 이상의 트래픽 수요와 장기간 공기 및 미래 신교통 체계에 대한 비전이 요구되므로 접속·분기 구간은 기본적으로 4 방향 접속로를 구축하여 격자형(matrix, grid) 간선망의 백년대계를 위한 로드맵이 요구 된다.
- [0038] 본 발명은 또 튜브선로와 포트·역사와 같은 터미널 운영의 효율성 증대를 위해 일 태양의 양정현과 주름관 주행튜브의 집합체인 선로튜브를 이 태양의 튜브셔틀이 삼 태양의 본선·지선·튜브포트·화물포트 등으로 단독 혹은 군집셔틀로 편성하여 운행하는 방식이다.
- [0039] 군집형태의 혼성 편성방식의 튜브셔틀 운행은 선형스테핑모터(LSM)에 인가하는 펄스개수를 함수로 제어하는 수치제어(numerical control; NC)에 기초한 디지털 관제가 필요하며, 표준화된 궤도와 튜브셔틀 길이 및 노선의 스위칭 방식에 대한 정교한 알고리즘이 필요하다.
- [0040] 바람직하게는, 자기부상 이동체인 튜브셔틀은 15m 단위길이를 갖는 표준 이동체로 구성하고 주행튜브측 1m 단위 삼상궤도인 디지털 불연속 자기부상 궤도와 동기를 유지하는 스위칭 모드로 인공지능(AI)에 의한 자율주행(autonomous driving) 시스템이 바람직하다.
- [0041] 본 발명은 또 상기 발명의 실시 양태들을 실용화할 때 튜브선로 시공방법으로 해상구간은 튜브부력을 고려한 튜브평형추 공법과 수중 튜브교각 및 튜브앵커 시스템과 함께 육상구간의 대심도 터널건설과 튜브포트 건설에 관한 것이다.
- [0042] 비교적 수심이 얇은 연근해나 천해구간은 튜브 평형추와 수중 튜브교각 및 튜브앵커를 조합하며, 수심이 깊은 심해구간은 튜브앵커와 튜브 평형추를 혼용하여 경제성을 확보하는 시공법과 육상구간은 지하 100m 이상 대심도 터널을 건설하여 지장 장애물 없이 튜브선로를 시공하고 건설하는 방법을 안출한다.
- [0043] 한편, 육상이나 해저 단층대 등에서 발생하는 지진파(P파, S파)의 충격을 흡수하거나 억제할 수 있는 지진파 흡수 시스템을 적용하여 빈발하고 있는 지진이나 쓰나미 등 자연재해로부터 선로튜브를 보호하고 튜브셔틀 운영의 안정성을 확보하여야 한다.
- [0044] 본 발명의 각 태양과 관련하여 위에서 설명한 특징이 본 발명의 각기 다른 태양에 동일하게 적용될 수 있다.

발명의 효과

- [0045] 본 발명은 종래 2궤도 단상방식의 자기부상 열차나 진공 자기부상 열차기술의 문제점을 해소할 수 있는 방안으

로서, 진공 혹은 아진공의 양정현과 주름관을 다중으로 연결한 주행튜브와 튜브 내벽 정삼각형 꼭짓점에 안치하는 삼상궤도를 초음속 혹은 아음속으로 주행하는 실린더 형상 선형스테핑모터(LSM)방식 튜브셔틀을, 중앙관제소의 인공지능(AI) 프로그램으로 자율주행을 제어하는 진공 자기부상 이동체 시스템을 제공한다.

[0046] 삼상궤도(3 phase track) 튜브선로와 이동체 시스템은 기존 2궤도 단상부상방식보다 $\sqrt{3}$ 배의 부상력과 견인력 및 내진동 특성을 갖게 되고 $1/\sqrt{3}$ 의 부상력과 견인력만으로 2 궤도 방식과 동일한 특성을 가지게 되며, 자기부상 이동체의 무게 중심(center of gravity)과 모멘트 중심(center of moment)의 벡터합력과 복원력을 xyz축의 가상원점 0(0, 0, 0)에 구속시켜 안정평형(stable equilibrium) 상태의 초고속 주행을 가능케 한다.

[0047] 또한, 양정현과(陽正弦波) 주름관의 7튜브(7 tube) 혹은 19중 튜브(19 tube)는 동일체적에서 최대 주행공간을 확보할 수 있으며, 주행튜브의 정삼각형 꼭짓점에 안치되는 자기편은 튜브 내심 원호 길이를 갖는 3개 WF보 형상의 부재로 보강하여 다중샌드위치보(MSB)의 구조물로 동일체적 대비 편평관보다 월등한 인장, 비틀림, 굽힘, 압축 강도를 시현할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

- [0048] 도 1은 주행튜브 단면도이다.
 도 2는 도 1의 주행튜브의 집합체인 7선로튜브의 단면도이다.
 도 3은 19선로튜브의 단면도이다.
 도 4는 도 2의 보조채움관 확대 단면도이다.
 도 5는 주행튜브 삼상궤도 단면도이다.
 도 6은 도 5에서 삼상궤도 A부분의 확대도이다.
 도 7은 도 5에서 삼상궤도 A부분의 상세 사시도이다.
 도 8은 디지털 불연속 궤도를 보여 준다.
 도 9는 영구자석 자동체결의 형상을 보여 준다.
 도 10은 자기편 프레임 형상과 영구자석 배치도이다.
 도 11은 자기폐회로 구성도이다.
 도 12는 보조궤도와 보조바퀴 단면도이다.
 도 13은 보조 단상궤도 단면도이다.
 도 14는 삼상궤도 프레임 결합 단면도이다.
 도 15는 충전포스트 사시도이다.
 도 16은 강화튜브 단면도이다.
 도 17은 선로튜브간 접속부를 보여 준다.
 도 18은 튜브댐퍼의 형상을 보여 준다.
 도 19a는 튜브셔틀의 사시도이다.
 도 19b는 튜브셔틀의 여객 측면도이다.
 도 19c는 튜브셔틀 화물 측면도이다.
 도 20은 튜브셔틀의 단면도이다.
 도 21은 전자기뱅크의 단면도이다.
 도 22는 전자기뱅크의 배열도이다.
 도 23은 전자기날개의 형상을 보여 준다.

- 도 24는 반구형 해치부를 보여 준다.
- 도 25는 스위칭튜브 단면도이다.
- 도 26은 강화 스위칭튜브의 단면도이다.
- 도 27은 경사튜브의 형상을 보여 준다.
- 도 28은 1차 회전튜브의 구성도이다.
- 도 29는 2차 회전튜브의 구성도이다.
- 도 30은 대원 회전튜브의 구성도이다.
- 도 31은 원점회전튜브의 구성도이다.
- 도 32a는 교차형스위치(XoS)의 배치도와 동작도이다.
- 도 32b는 교차형스위치(XoS)의 동작모식도이다.
- 도 32c는 3단 교차형스위치(XoS)의 배치도와 동작도이다.
- 도 32d는 3단 교차형스위치(XoS)의 단면도와 확대도이다.
- 도 32e는 3단 교차형스위치(XoS)의 동작모식도이다.
- 도 33은 수직교차형 스위치(vXoS)의 동작모식도이다.
- 도 34a는 튜브선로의 진공격벽 시스템 형상도이다.
- 도 34b는 인입구역 진공격벽과 진공챔버 형상도이다.
- 도 35는 튜브평형추의 형상을 보여 준다.
- 도 36은 튜브앵커의 형상을 보여 준다.
- 도 37은 수중 교각의 형상을 보여 준다.
- 도 38은 자세제어 튜브 시공선박 모식도이다.
- 도 39a는 튜브셔틀 플랫폼 단면도이다.
- 도 39b는 튜브셔틀 플랫폼 수평면 형상을 보여준다.
- 도 39c는 튜브셔틀 역사 형상을 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0049] 이하, 첨부 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 더욱 상세히 설명한다.
- [0050] 도 1은 기본 주행튜브(10)의 단면도인데, 상기 주행 튜브는 바깥쪽 측면이 단면도를 기준으로 양정현파 형상의 주름(102)을 가지도록 하는 양정현파 주름관의 형태를 가지고 있다. 이는 재료역학적인 비틀림이나 굽힘강도의 향상과 주름(wrinkling)이나 측방향 변위(lateral displacement)인 좌굴(buckling)의 예방을 위해 삼각함수 파형인 정현파(sinusoidal, \sim)를 양의 영역으로 정류 혹은 전환(컨버트)한 양정현파(陽正弦波, positive sinusoidal, \frown) 주름관(corrugated tube)(101)으로 채택하여 내부공간을 최대화하고, 동일 체적 대비 편평관(扁平管, flat tube)보다 월등한 인장, 비틀림, 굽힘, 및 압축강도를 시현하기 위한 것이다.
- [0051] 도 2는 상기 도 1의 기본 주행튜브(10)의 집합체인 선로튜브(11)의 단면도이다. 도 2에서 상기 기본 주행튜브(10)가 7개 모여 하나의 선로튜브(11)를 구성하고 있음을 볼 수 있다. 상기 선로튜브(11)내에서 상기 기본 주행튜브(10)들은 서로 외접하며, 3개층으로 이루어지는데, 상층에 2개, 중층에 3개, 하층에 2개의 기본주행튜브(10)가 배치되는 구조, 즉 2-3-2 구조를 가진다. 이것을 '7선로튜브' 라고 부르기로 한다.
- [0052] 도 3 역시 상기 도 1의 기본 주행튜브(10)의 집합체인 선로튜브(11)의 단면도인데, 상기 기본 주행튜브(10)가 19개 모인 집합체이다. 상기 기본 주행튜브(10)들은 선로튜브(11) 내에서 서로 외접하며, 5개의 층으로 적층되는데, 최상층부터 최하층으로 가면서 각 층에 3개, 4개, 5개, 4개, 3개의 기본 주행튜브(10)들이 배치되는

구조, 즉 3-4-5-4-3 구조를 가진다. 이것을 '19선로튜브' 라고 부르기로 한다.

- [0053] 상기 7선로튜브 또는 19선로튜브에서 속이 빈 주름관을 7개 혹은 19개를 2-3-2 구조 또는 3-4-5-4-3 구조로 연결하여 적층시킨 후 상기 주행튜브(10) 외곽을 속이 빈 편평관을 사용하여 선로튜브 외피(15)로 다시 둘러싸는 구조를 형성하게 되며, 수압 등의 압축력에 의해 재료의 모든 부분에 압축응력은 발생되나, 인장 응력(tensile stress)이 발생하지 않는 원통형 주행튜브(10)의 집합체인 선로튜브(11)를 완성한다.
- [0054] 이때 개별 주행튜브(10) 내부에 WF보(wide flange beam)형상 자기편(14) 프레임(130)의 플랜지(131)로 주행튜브(10) 안쪽 내부 음정현파(陰正弦波, negative sinusoidal) 내벽을 보강함으로써 선로튜브 외피(15)와 바깥층(face)을 형성하게 되며, 구조적으로 다중샌드위치보(multiple sandwich beam, MSB)기능의 구조물로 동일체적 대비 편평관보다 월등한 인장, 비틀림, 굽힘, 및 압축 강도를 시현하고자 하는 것이다.
- [0055] 상기 다중 주행튜브(10)들을 상호간 결합할 때 마름모꼴 쉼기인 마름쇠(♣)로 간단히 결합하거나 물결모양 양정현파 톱니로 맞물림면(咬合平面, bite plane)으로 자동체결(self-locking) 효과를 거둘 수 있어 튜브간 결합을 위한 볼트나 용접 등의 부가 장치나 공정을 제거함으로써 튜브 제조공정이 간소화되고 진공 자기부상 이동체 시스템 선로의 제조비용과 구조의 복잡성이 크게 감소된다.
- [0056] 상기 다중샌드위치보(MSB)의 기능을 갖는 양정현파 주름관(101) 형태의 주행튜브(10)의 집합체인 선로튜브(11)는 경량, 고강도(high-strength) 및 고강성(high-rigidity)의 특성을 갖고 있으며, 진공 자기부상 이동체인 튜브셔틀(20)의 초고속 주행에 따른 진동이나 섭동으로 생성되는 불요파 에너지와 지진발생시 P파와 S파의 파동 에너지를 견디는 내진강도를 가지는 구조와 형상으로 안정적인 시스템 운영이 가능하게 된다.
- [0057] 도4는 보조채움관(12) 단면도로, 주행튜브(10)와 선로튜브 외피(15) 사이의 공간(12A, 12B)과 각 주행튜브(10) 간 빈 공간(12C)에는 각 튜브간 전단응력의 분산과 굽힘 강도 향상을 위해 보조채움관(12)을 삽입할 수 있다. 상기 보조채움관(12)은 선로튜브 외피(15)의 두께를 1t라 할 때, 외경 반지름 5t 이상 고강도 재질의 PVC 보조채움관(12)을 삽입하되, 헬리컬튜브 양정현파 주름관(120)과 PVC 편평관(121)을 삽입하여 재료와 형상이 각기 다른 혼성(hybrid)튜브로 선로튜브(11)를 제조하여 합성보(composite beam)인 샌드위치보의 특성을 더욱 강화시키는 것이 바람직하다.
- [0058] 도 5는 주행튜브 삼상케도(13)의 단면도이다. 도6은 상기 도의 A부분 확대도이며, 도 7은 상기 삼상케도(13) 즉 상기 A 부분의 상세 사시도이다. 도 5내지 도 7을 참조하여 설명하면, 케도의 위치는 주행튜브(10)에 내접하며 밑변이 수평선과 평행인 정삼각형의 꼭짓점, 즉 주행튜브(10)의 단면의 중심을 원점으로 하고 상기 삼각형은 반지름을 r이라고 할 때 이 극좌표로 $(r, \pi/2)$, $(r, 7\pi/6)$, $(r, 11\pi/6)$ 지점의 3개 지점에 안치되는 기술 방식을 채택할 수 있다. 이러한 표기법은 앞에서 설명한 바 있지만 이하에서 계속하여 주행튜브 내의 케도 위치 등 상대적 위치를 나타낼 때 상기 극좌표 표시에서 r을 생략하고 각도를 라디안으로 표기하기로 한다. 예를 들어 $(r, \pi/2)$, $(r, 7\pi/6)$, $(r, 11\pi/6)$ 의 3개 지점은 $(\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6)$ 와 같이 나타낼 수 있는 것이다.
- [0059] 상기 삼상케도(13)의 형상은 WF보(wide-flange beam)의 플랜지(flange)와 웨브(web)를 영구자석 집합편인 자기편(14) 프레임에 상응하는 구조물로 채택하면, 전단응력이 웨브(133,135) 중립축과 수직면에서만 일어나고 측면 좌굴에 대한 큰 안정성을 보이는 WF보의 특성을 자기부상 이동체 시스템에 활용할 수 있다.
- [0060] 도8은 불연속(dashed) 형상 디지털 케도의 형상을 보여주는데, 튜브셔틀(20)의 주행튜브(10)내 주행에 대해 1m 단위 거리를 거동하는 수치제어(numerical control, NC)에 필요한 치(齒)의 역할과 함께 초음속 혹은 아음속 주행에 필수적인 진공튜브 상태 유지를 위한 진공 격벽(37)을 빈 공간에 설치하는 한편, 장거리 및 초장거리 선로 튜브(11) 건설에 수반되는 자재비 절감이 가능하게 된다.
- [0061] 도 9는 영구자석 자동체결 형상을 보여주고 있으며, 도 10은 자기편 프레임 형상과 영구자석 배치를 보여 주며, 도 11은 자기편 영구자석 배열도이다.
- [0062] 이때 자기편 프레임(130)인 웨브(133, 135)와 플랜지(132, 134)의 연결부는 응력이 위험하게 커지는 응력집중을 방지하기 위해 필릿(fillet, 둥근 모)(138)을 구비하여 돌출웨브(135)와 두 개 자기부상편(144) 플랜지(134)의 전단흐름 합력이 아랫방향 웨브(133)로 전달된 후 하부 플랜지(131, 132)를 통하여 주행튜브(10)와 보조채움관(12) 및 선로튜브(11)로 환류 되도록 한다.
- [0063] 또한 매립공(137)에 수납하는 영구자석 자기편(14)은 산화철을 주성분으로 하는 세라믹 제품으로 고온과 장기간 사용에도 산화분해가 발생되지 않아 화학적으로 매우 안정적이고, Nd계 희토류 영구자석에 대비하여 월등한 가격 경쟁력을 갖는 페라이트(Hard Ferrite) 계열의 영구자석을 채택하여 장거리 혹은 초장거리 선로튜브(11) 구

축의 경제성을 확보하게 한다.

- [0064] 본 발명의 삼상케도(13) 자기편(14)의 영구자석은 도넛(doughnut) 혹은 솔레노이드 형상의 링형 영구자석(140)을 채택하면, 기하구조에 따라 원통 대칭성에 의해서 솔레노이드 내부의 자기장의 세기는 일정하게 되며, 자연스럽게 솔레노이드 외부와 내부의 대칭성이 깨어져 솔레노이드 내부쪽으로 더 높은 자속밀도와 자속에너지 밀도를 얻을 수 있고 영구자석 재료의 절감이 가능하게 된다.
- [0065] 상기 자기편(140)의 하부 플랜지(131, 132)는 주행튜브(10)를 한 겹 더 보강하여 내벽층(face)을 형성함으로써 다중샌드위치보(MSB)의 기능을 증배하는 효과가 발생하며, 전체 튜브의 하중과 자기부상 이동체 운행에 따른 전단응력을 주행튜브(10) 전체면에 고르게 분산 환류하여 인장, 비틀림, 굽힘, 압축강도를 한층 더 강화함으로써, 극한하중 또는 허용하중 보다 낮은 응력상태에 반복적으로 노출되어 발생하는 파단현상인 피로파괴(fatigue failure)를 예방할 수 있게 된다.
- [0066] 도 12는 보조케도와 보조바퀴의 단면도로서, 오목형(凹)홈 형상의 보조케도(auxiliary track)(16)를 보여주고 있으며, 또한 튜브셔틀(20)에 구비되는 볼록(凸)형 보조바퀴(auxiliary wheel)(26)의 케도로 튜브셔틀의 '활주주행' 모드를 지원한다. 이는 튜브셔틀(20) 자체 중력에 의한 마찰력으로 출발 및 도착이나 비상 시 혹은 여객, 화물포트, 정비기지 등 저속운행 구간에서, 튜브셔틀(20) 전자기건인편(245)에 의한 선형 스텝핑 모터의 견인력과 보조바퀴(26)의 '활주주행' 으로 생성되는 견인력의 이중주행모드운행으로 가속력을 추가하여 관성력(inertial force)을 증대하고 코깅토크 극복과 부하 균등화(load balance) 및 정차 혹은 격납 시 브레이크 모드 등으로 활용할 수 있게 한다.
- [0067] 상기 보조케도(auxiliary track)(16)는 별도 케도를 부설하는 것이 아니라 주행튜브(10) 내부 정삼각형 꼭짓점에 안치되는 WF보(wide-flange beam)형 프레임(130)의 하부 플랜지(flange)(131)에 오목(凹)형 홈의 보조케도(16)를 구비한 후 1m 단위로 연속하여 취부하고 췌기(168)로 조립함으로써 완결되어 진다.
- [0068] 바람직한 보조케도(16) 형상을 도 12와 도 13을 참조하면, 주행튜브(10) 내벽 플랜지(131)에 3개 음정현과 오목(凹)형 홈(〰)의 굴(161)과 마루(162)에 더하여 좌우로 돌출되는 턱 혹은 가이드(163)로 볼록(凸)형 홈(〵)을 추가 형성되는 볼록오목형(凸凹) 홈(〵〰〵〵)을 플랜지(131)에 배치하여 나타나는 $\pi/3$ 원호 길이의 2 케도(2 track)를 보조케도(16)의 케간(139)으로 삼는다.
- [0069] 도14는 삼상케도(13) 프레임의 결합 단면도로, $B(7\pi/6)$ 케도 좌측 π 와 $C(11\pi/6)$ 케도 우측 2π 및 $A(\pi/2)$ 케도 좌측 $2\pi/3$ 와 우측 $\pi/3$ 에 3개 굴(161)과 2개 마루(162)를 구비하면 정육각형 꼭짓점($\pi/3, 2\pi/3, \pi, 4\pi/3, 5\pi/3, 2\pi$) 6개소에 총 18개의 지지 요철부(161, 162)를 확보할 수 있어 양정현과 주행튜브(10)와 WF보 형상 삼상케도(13) 프레임을 등간격으로 밀결합하여 미끄럼을 방지할 수 있다.
- [0070] 도15는 충전포트 사시도로, 여객 또는 화물 포트나 셔틀, 정비 기지 등 셔틀 정차장소 주행튜브 삼상케도(13)의 1m 단위 프레임의 자기건인편(145) 프레임인 돌출웹(135)를 세로방향으로 늘린 확장형 충전 포트(136)에 변환코일부(146)와 셔틀 감지센서 등을 부가하여 튜브셔틀(20) 진입시 3상 교류전력 급전(147)과 자동 무선충전(inductive charging) 모드로 운영하여 에너지 절감과 셔틀 가동률을 향상시킬 수 있다.
- [0071] 도16은 강화튜브 단면도로, 지진이 빈발하는 단층대와 대심해 구간 및 타 선로와 접속이 요구되는 교차형스위치(XoS)(32)가 구비되는 스위칭튜브(31)와 같은 특수구간은 상기 기본형 선로튜브(11) 형상과 기술적 제원을 일부 변경하여 보강한 강화튜브(18)를 안출하여 최적의 튜브 선로건설 솔루션이 필요하다.
- [0072] 상기 강화튜브(18)는 케도간 교차형스위치(XoS)(32)를 구비하여 튜브 혹은 선로간 트래픽을 교환하는 표준 분기 선로의 스위칭튜브(31)와 높은 수압의 해구나 해령과 같은 대심해 구간과, 어선조업 해역과 선박통행이 빈번한 주요항로 통과구간 등은 높은 수압극복과 선박통행 등에 의한 튜브보호와 전단응력 및 굽힘 응력(bending stress) 증대를 위해 선로튜브 외피(15)에 양정현과 주름관(101)과 편평관 외피(15)로 한 겹 더 보강하는 강화튜브(consolidated tube)(18)를 채택한다.
- [0073] 도17은 100m 단위 표준 선로튜브(11) 혹은 강화튜브(18)의 튜브접속부(17)를 예시하며, 열수축형 너트방식을 채용하여 주행튜브(10) 진공유지를 위한 기밀성과 수중에서의 수밀성을 확보하되, 구체적으로 튜브 양단 외피(15)부분에 각각 2m 볼트 체결부(171)를 형성하고, 4m 열수축형 너트(172)의 지름을 볼트 체결부(171)보다 약간 크게 하여 회전시켜 체결한 후 전열기 등으로 가열하여 압착·밀봉하고, 너트 양단에는 추가적 기밀성과 수밀성 확보를 위한 2중오링(173)을 추가한 후 고강도 재질의 5m 보호함체(174)를 덧대어 조립한다. 이때, 선로튜브(11) 혹은 강화튜브(18) 접속부인 보호함체(174)에는 수중교각(53)이나 튜브앵커(52) 혹은 튜브 평형추(51) 연

결공법으로 선로튜브(11) 혹은 강화튜브(18)의 부력(buoyant force)을 상쇄시키는 한편, 튜브(11, 18, 182)의 하중을 지지하고 지진파(P파, S파, 표면파 등)에 의한 진동 에너지를 흡수하여 대지로 환류시키는 튜브댐퍼(tube damper)(19)를 구비한다.

[0074] 도18은 면진(免震), 제진(制震) 대책인 상기 튜브댐퍼(19)를 예시하며, 스프링의 고유진동수(natural frequency)를 상이하게 하고 각기 반대방향 턴(turn)으로 위상(phase)을 반전시켜 소멸간섭과 감쇠진동(damped oscillations)의 효과가 나타나는 스프링을 묶음형으로 배치한 스프링 뭉치인 튜브댐퍼(19)를 튜브(11, 18, 30, 31, 36) 접속부(17) 보호합체(174)에 취부하여 강제가진인 지진이나 자기부상 이동체의 운행에 수반되는 진동을 감쇠시킨다.

[0075] 도 19는 튜브 셔틀(20)의 사시도이며, 도 19b는 상기 튜브 셔틀(20)의 측면도이며, 도 20은 상기 튜브 셔틀(20)의 단면도이다. 상기 튜브셔틀은 양정현과 주름관의 주행튜브(10) 내부를 초음속 혹은 아음속으로 주파하는 자기부상 이동체로, 외부형상은 원통 실린더형으로 구성되고 삼상궤도(13)인 주행튜브(10) 자기편(14) 철(凸)에 대응하는 정삼각형 꼭짓점ABC 3개소에 매립형 전자기편(24) 요(凹)를 배치하여 주행튜브(10)와 이동체 체적을 최소화 혹은 생력화(省力化)하는 수단을 포함한다. 이동체인 상기 튜브셔틀(20) 본체 재료는 철 대비 40% 경량화가 가능한 알루미늄 혹은 마그네슘 합금강의 고강도 프레임으로 정삼각형 꼭짓점ABC 3개소에 재료역학적으로 완전 응력보(fully stressed beam)인 포물면(230)의 관통 홈을 갖는 전자기편 뱅크(23)를 구성하고, 알루미늄 혹은 탄소섬유복합재(CFRP) 등의 초경량 소재의 코어(250)와 내외 편평판(25)으로 실린더형 물체를 구성하면, 구조와 재료 역학적인 특성이 원형단면을 갖는 폐구조물(closed structure)인 압력용기(pressure vessel)로 비행기 또는 압축공기 탱크와 동일한 특성을 갖게 된다.

[0076] 상기 튜브셔틀(20)의 기본형상은 정삼각형 삼상궤도(13)와 원형 주행튜브(10) 및 원통형 튜브셔틀(20)로 삼각형의 기하학적 특성에 따라 2궤도 단상방식에 비해 50%의 재료가 활용되나 역학적 특성인 부상력과 견인력 및 내진동 특성이 $\sqrt{3}$ 배 증강되며 각 궤도에 있어 $1/\sqrt{3}$ 의 부상력과 견인력만으로 2궤도 단상부상과 동일한 특성을 가지게 되므로 소용량 영구자석을 활용하는 삼상궤도(3 phase track) 이동체 시스템을 구현할 수 있다.

[0077] 구체적으로 도21의 정삼각형 꼭짓점 A자기편($\pi/2$)을 기준으로 살펴보면 $\pi, 2\pi$ 방향의 양 자기 부상편(244)은 xy축의 수평과 수직방향 자기 부상력을 튜브셔틀(20) 원주와 길이(z축) 방향으로 안과 밖에서 구속하고, $\pi/2$ 방향의 자기균형편(243)과 $3\pi/2$ 방향의 전자기견인편(245)은 튜브셔틀(20) 진행방향(z축)으로 좌우측에서 구속하는 기하학적 형상을 갖게 되어 자기 부상력과 견인력의 자기장 벡터 \vec{B} 를 원점으로 평행이동하면 무게(gravity)중심과 모멘트(moment)의 중심점이 xyz축 3차원 방향 원점(0, 0, 0)에 집중되어 구속됨을 알 수 있다.

[0078] 상기 전자기편(24)은 도 21의 전자기편뱅크(23) 단면도에서 예시하는바와 같이 튜브셔틀(20) 본체 정삼각형 꼭짓점ABC($\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$) 3개소에 재료역학적으로 완전 응력보인 포물면(230)의 관통된 홈을 갖는 전자기편 뱅크(23) 혹은 트레인을 구성하여 튜브셔틀의 전단응력을 최대화하고, 반사 망원경이나 파라볼라 안테나와 같이 초점부분에 매립형 전자기편(24)요(凹)를 배치한 후 적층 구조관관 요크부(231)를 포물면에 취부하여 주행튜브 자기편(14)과 셔틀 전자기편(24)에서 발생하는 전자기파를 포물면에서 반사시켜 차폐하는 구조로 셔틀 내부로 유입되는 전자파를 최소화시킨다.

[0079] 튜브셔틀 매립형 전자기편(24)요(凹) 배치형상을 정삼각형 꼭짓점 A를 기준으로 도22를 참조하여 살펴보면, 자기부상편(244)과 자기균형편(243)은 1m 단위 등간격으로 1번~12번에 영구자석 집합편(240)을 전자기뱅크(23)요(凹)에 배치하되 2번과 11번 자기편은 능동제어전자기편(27)으로 대체되고, 1번~12번 전자기편 편간(片間) 공간의 단위미터 위치 11개소에는 전자기견인편(245)과 회생제동 혹은 전력회생 브레이크 기능과 고속무선 충전기능의 변환코일부(28)가 안치되며, 셔틀 선두와 꼬리부분에는 유선형의 전자기 날개(wing)(22)와 1~12번 전자기편의 빈 공간에 전자기 방사판(29)을 구비한다.

[0080] 도 23은 전자기 날개의 형상을 보여 주며, 도 24는 반구형 해치부를 보여준다. 도23, 24의 전자기날개(22)는 셔틀 선두와 꼬리부분의 반지름(R_s) 138.3820t의 반구(半球)형 해치부(hatch)(21)와 전자기편의 0.3333m 빈 공간에 주행튜브(10)의 \perp 형 자기편(14)과 $\pi/4$ 위상각(θ)을 갖는 X자 유선형 전자기 날개(wing)(22)로 자속 분리기(flux splitter)로 역할을 하게 된다. 상기 전자기날개(22)의 자속분리와 압축기능은 내연기관이나 로켓엔진의 터보차저(turbocharger)와 유사한 기능으로 유선형 날개표면을 자화하거나 얇은 냉간압연강판(cold-rolled steel plates) 혹은 전자강판(magnet steel plates)을 취부하면 튜브셔틀(20) 거동시 주행튜브 자기편(14)의

자속(flux)을 각 사분면 45도 각도로 쪼개어 분할(split)하고 유선형 날개의 플럭스포일(flux foil)(220)과 전자기 방사판(29)의 표피효과에 의해 서틀의 주행 속도에 비례하여 자속흐름이 압축된다.

- [0081] 도 25는 교차형스위치(XoS)(32)가 안치되는 스위칭튜브(31)의 단면도로, 1개 선로튜브(11)와 2개 회전튜브(30)가 하나로 결합되는 3중 튜브의 묶음형 튜브(bundled tube) 형상을 갖게 되며, 동심원 회전튜브(30)의 0번 튜브 위치에 각 회전튜브(30)의 좌측 2번 튜브 혹은 우측 5번 튜브를 배치하여 상층부에 6개, 중층부에 7개, 하층부에 6개 주행튜브(10)가 구비되는 6·7·6 구조를 갖게 된다.
- [0082] 도 26은 강화 스위칭튜브 단면도로, 상기 스위칭튜브(31) 외피(312)에 양정현과 주름관(311)과 편평관 외피(312)를 한 겹 더 보강하는 1차 강화 스위칭튜브(1st consolidated tube)(181)를 나타낸다.
- [0083] 도 27은 경사튜브의 형상을 보여 준다. 경사튜브(36) 구현방안은 선로튜브(11)의 상층하층 주행튜브(10)간 접점의 마름쇠꼴 췌기의 높이를 순차적으로 상향 또는 하향시키고 그 이격공간을 제1실시예의 보조채움관(12)과 폼(foam)재(129)로 충전한 후 y축에 초점이 있는 타원형의 경사튜브로 구현할 수 있다.
- [0084] 도 28에 예시하는 표준 접속로 모델은 고속도로 인터체인지와 일반도로 로터리 시설물의 설계개념을 궤도 트래픽에 적합한 방식으로 개선하여 4개 회전튜브(30)와 본선 선로튜브(11) 접점부분에 궤도 굴절편인 교차형(交叉型) 스위치(32)를 구비한 스위칭튜브(31)로 구성되는 표준 접속로 모델을 안출하여 7중 튜브 혹은 19중 선로튜브(11)의 상호분기와 접속을 무정차, 무대기로 설계하여 초고속 운행에 필요한 기능을 지원한다.
- [0085] 도 29는 2차 회전튜브 형상도이며, 도 30은 대원 회전튜브 형상도이고, 도 31은 원점 회전튜브 형상도이다. 교차(cross)점의 4개 회전튜브(30)는 도넛(doughnut)형으로 본선 접점의 교차형스위치(XoS)(32)가 안치된 스위칭튜브(31)와 함께 시설하여 분기(outbound)와 합류(inbound)의 2단계 스위칭으로 각기 직각방향의 우회전 트래픽을 처리하고, 좌회전 트래픽은 xy축 교차점 통과 후 스위칭튜브(31)의 본선분기(outbound)와 타선 스위칭튜브 합류(inbound) 교차형스위치(XoS)(32)를 경유하는 P형 회전(P turn)의 2단계 스위칭으로 좌회전을 완성한다.
- [0086] 도 32a, 도 32b, 도32c 는 교차형스위치(XoS)(32)의 배치도와 동작도이다. 도 32d는 3단 교차형스위치(XoS)의 단면도와 확대도이며, 도 32e는 3단 교차형 스위치의 동작 모식도이다.
- [0087] 2 세그먼트형 굴절편인 교차형스위치(XoS)(32)의 작동원리를 도 32를 참조하여 살펴보면 연결하는 타 궤도와 스위칭 회로구성을 출향(出向)측 굴절편(324)에서 1/2 좌우(↖↗)로, 입향(入向)측 굴절편(325)에서 1/2 좌우(↘↙)로 굴절시켜 스위칭회로를 구성하며, 이때 굴절되지 않는 연결궤도 내측궤도(326)도 좌우로 동시에 굴절(↖↗, ↘↙)시켜 스위칭 공간을 마련하며, 스위칭 굴절편(324, 325, 326)의 작동은 액추에이터(actuator)(320)를 삼상궤도(13)에 취부하여 중앙과 권역 관제소의 인공지능(AI) 프로그램으로 통제한다. 표준 접속로 모델의 핵심 요소기술인 교차형스위치(XoS)의 궤도 굴절편(324, 325, 326)은 100m 단위 주행튜브(10)를 3개 연결한 300m 표준 단위길이를 갖고 수평으로 연결하는 선로튜브(11)와 회전튜브(30)를 결합한 일체형의 묶음형 스위칭튜브(31)를 구비하여 분기(outbound)와 합류(inbound) 트래픽을 상호교차 방식으로 1개 교차형스위치(XoS)(31)에서 통합하여 처리할 수 있는 개선점을 갖게 된다.
- [0088] 도 33은 수직교차형 스위치(vXoS)의 형상도이다. 수직 교차형스위치(vXoS)(34)의 작동을 도 33과 수평방향으로 기동하는 스위칭튜브(31)의 교차형스위치(XoS)(32)를 참조하여 살펴보면, 수직 굴절편(344, 345, 346)이 상하로 기동하여 상하로 연결한 궤도간 트래픽을 상호교환하게 되며, 100m 단위 주행튜브(10)를 2개 연결한 200m 표준 단위길이의 수직 스위칭튜브(33) 형상이 바람직하다.
- [0089] 이상의 각종 튜브별 특성과 기능의 상이함은 경제성과 장래 확장성을 고려한 최적 솔루션을 안출하기 위한 것으로써, 실제 산업상 이용에 있어 다소간의 변경은 있을 수 있으나 본 발명의 튜브셔틀(20)은 기본선로이자 장거리 수송로인 선로튜브(line tube)(11)를 주행함에 있어, 타원형 경사튜브(ramp tube)(36)를 경유하여 교차형스위치(XoS, vXoS)(32,34)가 구비된 스위칭튜브(switching tube)(31)에 진입하고, 스위칭튜브 통과 후 다시 역순으로 경사튜브(36)를 통하여 선로튜브(11)를 주행하는 선로 시스템이 필요하다.
- [0090] 이러한 교차형스위치(XoS)(32)와 1차 회전튜브(30)와 2차 회전튜브(302) 및 원점회전튜브(300)를 조합한 표준 접속로 모델은 국제간 노선과 연계하여 대도시내 접속과 기존 저심도 지하철 등과 연계하여 대도시내 교통수요를 흡수하는 격자형 매트로 망으로 자연스럽게 확장할 수 있어 전통적인 교통망을 통신망 특히 인터넷망과 유사하게 확장할 수 있는 솔루션으로 활용할 수 있다.
- [0091] 도 34, 도34b는 진공격벽의 형상도이다. 장거리 구간인 선로튜브(11) 진공상태 유지를 위해 튜브간 접속부(17)

에 진공격벽시스템(37)과 진공펌프(370)를 구비하여 선로튜브(11) 교차점이나 서틀 정차장소인 플랫폼 등에 복수 개를 설치하면 구간별 폐색기능 부여로 진공펌프(370) 가동의 효율을 높이고, 선로튜브(11) 파손과 같은 긴급사태 대책(contingency plan)이나 튜브 유지보수 필요시 구간별 폐색과 개방으로 선로튜브(11) 운영효율을 증진한다.

[0092] 선로튜브(11)의 진공격벽시스템(37)과 진공펌프(370)는 튜브간 접속부(17)에 완전응력보인 포물면결합부(371)를 설치하고 내부 공간에 주행튜브(10) 내경지름인 288.7640t의 진공차단벽(372)과 구동 액추에이터(373), 진공 감지센서(374), 좌우 2개의 진공펌프(370)와 주행튜브(10) 플랜지(131) 경계면에 기밀유지용 이중오링(double O ring) (375)을 구비하여 주행튜브(10)의 진공상태를 유지한다.

[0093] 이때, 진공차단벽(372) 구동 액추에이터(373)와 진공펌프(370) 등의 구동전원은 육상구간은 보조채움관(12)을 통해 외부 전력선을 인입하며, 해상구간은 보조채움관을 통해 육지 외부 전력선을 인입하거나 수중교각(53)이나 튜브앵커(52) 등에 해상풍력 혹은 파력발전 시설을 부가한 후 배터리(376)에 충전하여 구동할 수 있도록 튜브망 구축시 설계에 반영함이 바람직하다.

[0094] 본 발명을 실제로 구현하기 위해서는 해상과 육상구간의 튜브건설이 필요하고 해상구간은 강화튜브(18) 구조물의 부력을 고려한 수중교각과 튜브앵커 및 튜브평형추 등 해양구조물과 육상구간은 대심도 터널건설이 요구된다. 본 발명의 7선로 혹은 19선로튜브를 육상이 아닌 해저구간에 시공할 경우 튜브 주변의 유체인 바닷물이 작용하는 알짜 힘인 부력(buoyant force)이 튜브의 아랫면을 위쪽 방향으로 미는 힘이 발생하므로, '어떤 물체에 작용하는 부력은 그 물체에 의해 밀려난 유체의 무게와 같다' 는 아르키메데스의 원리(Archimedes's principle)를 기본요소로 고려하여야 한다.

[0095] 도 35는 튜브 평형추의 형상도이다. 도 36은 튜브 앵커의 형상도이며, 도 37은 수중 교각의 형상도이다.

[0096] 적절한 평형추는 철이나 콘크리트를 활용하여 $V_{바닷물}/V_{튜브} = \rho_{튜브}/\rho_{바닷물}$ 비례조건에서 튜브길이 100m 단위당 밀도 $\rho(kg/m^3)$ 와 부피가 평형조건을 만족하는, 구형 평형추(51)로 실시예1의 튜브댐퍼(19)와 선로튜브(11)를 보강한 강화튜브(18) 접속부인 보호함체(174) 혹은 연결부(511)에 연결하는 부력(buoyant force)평형추(51) 공법은, 연근해는 물론 해구나 해령과 같은 대심해 구간에 적용하여 수중에 떠있는 평형상태의 튜브건설이 가능함으로써 공사비 절감과 공기단축에 기여할 수 있다.

[0097] 한편 대륙붕과 연근해와 같은 천해구간은 50·100m 단위로 콘크리트 이형 블록인 뿔이 4개 달린 구조물인 테트라포드(tetrapod)(520)를 해저지형 조건에 따라 1~4개 투하하고 강화튜브(18)간 튜브접속부인 보호함체(174)를 튜브댐퍼(19)와 고장력 케이블(523)이나 체인으로 접속하여 부력을 극복하는 튜브앵커(52) 공법을 적용하여 공사비 절감과 공기단축을 도모할 수 있다.

[0098] 구체적으로, 수중교각(53) 공법은 Y형(U+I)의 구조물로 시공하여 튜브댐퍼(tube damper)(19)로 강화튜브(18)와 접속하여 해저화산이나 단층면과 섭입대 등에서 발생하는 지진파(P,S 파)에너지에 의한 진동을 흡수하는 구조물로 대륙붕과 같은 연근해 구간은 100·200·300m 단위로 설치하며 심해구간은 필요시 해저지형의 용기 구간에 설치할 수 있다.

[0099] 도 38은 해상구간 시공선박의 모식도로, 위성항법시스템(GPS)(508)과 해저의 음향송수신기인 트랜스폰더(509) 등에 의한 위치측정 데이터로 선박에 장착된 360도 회전하는 스러스터(505) 자동제어 기능의 자세제어 튜브 시공선박(500)과 수중 건설작업을 수행하는 작업용 로봇팔 혹은 매니퓰레이터(manipulator)(502)를 구비한 잠수정(501)을 건조하여, 데릭(derrick)기증기(504)로 드릴파이프(503)를 해저암반을 천공하여 수중교각(53)을 건설하고, 테트라포드 투하에 의한 튜브앵커(52) 시공과 튜브평형추(51) 연결 및 튜브간 접속 등을 일괄하여 시공하는 공법을 도입한다.

[0100] 상기 시공선박(500)과 작업 잠수정(501)은 각기 2척의 선박이 건설현장 100m 길이 강화튜브(18) 2개를 동시에 시공하여 후미 1튜브 접속 완료 후, 100m 전진하여 앞방향 강화튜브(18) 접속을 위한 수중교각(53) 건설, 튜브앵커(52) 시공과 튜브평형추(51) 연결 등의 시공과 건설을 일괄 완성하는 교차전진 혹은 순차교대 공법으로 공사기간을 단축하며, 공사 완료 이후 선로유지 보수용 선박으로 활용하는 것이 바람직하다.

실시예 1

[0101] 본 발명의 진공 자기부상 이동체용 다중튜브는 재료역학적으로 축하중을 받는 구조용 부재인 보(beam)로 기능하며, 보가 압력을 못 이겨 부러지는 힘인 전단력(shear force)과 굽힘 모멘트(bending moment), 응력(stress),

변형률(strain) 및 처짐(deflection) 등을 구하여 이상화된 모델을 구하여야 한다.

[0102] 기본 주행튜브(10) 강체의 재료역학적 효과는 원형의 속이 빈관(hollow tube)의 단위 면적당 힘의 단위인 응력(stress: σ) $\sigma = P/A$ 혹은 $P=\sigma A$ 와 단위 길이당 신장량 또는 변형률(strain: ϵ) $\epsilon = \delta/L$ 을 구함으로 얻을 수 있다.

[0103] (여기서 P : 응력의 합력, A : 튜브의 단면적, δ : 튜브의 신장량, L : 튜브의 길이)

[0104] 재료역학 이론과 실험 등의 널리 알려진 결과는 보(beam)를 설계할 때 기능, 길모양, 사용재료, 생산비 등을 고려하여야 하고 보의 강도(strength) 측면에서 핵심 요소인 굽힘 강도는 단면의 형상이 가장 중요하며 재료가 중립축으로부터 실제적으로 가장 멀리 떨어져 있는 형상이 필요하다.

[0105] 보(beam)인 주행튜브 하중 P 에 의해 튜브 단면에 평행(\vec{z})하게 작용하는 힘인 전단응력(shear stress, τ)을 구하는 전단공식(shear formula)은,

[0106] ㉔ 직사각형 보(■)의 전단공식

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \text{ (여기서 } \tau: \text{ 전단응력, } V: \text{ 전단력, } Q: \text{ 1차모멘트, } I: \text{ 관성모멘트, } b: \text{ 폭)}$$

[0107]

[0108] ㉕ 원형단면 보(●)의 전단공식

$$\tau_{\max} = \frac{VQ}{Ib} = \frac{V(2r^3/3)}{(\pi r^4/4)(2r)} = \frac{4V}{3\pi r^2} = \frac{4V}{3A} \text{ (여기서 } A = \pi r^2: \text{ 단면적)}$$

[0109]

[0110] ㉖ 속이 빈 원형단면 보(○)의 전단공식

$$\tau_{\max} = \frac{VQ}{Ib} = \frac{4V}{3A} \left(\frac{r_2^2 + r_2 r_1 + r_1^2}{r_2^2 + r_1^2} \right) \text{ (여기서 } A = \pi(r_2^2 - r_1^2): \text{ 단면적)}$$

[0111]

[0112] 에 준거하여 튜브형상 설계시 높은 전단응력 τ 을 얻기 위해 도출할 수 있는 주요 설계요소를 정리하면, 튜브(관)의 두께(t)를 주름(wrinkling)과 좌굴(buckling)이 발생하지 않는 범위 내에서 얇게 하고 보(beam)의 재료가 중립축 원점 O 에서 가장 멀리 떨어진 곳에 위치하게 하여 굽힘응력을 최대로 하는 형상을 안출하여 튜브 설계와 디자인에 반영하여야 한다.

[0113] 샌드위치 보(sandwich beam)는 상기 전단공식과 재료특성에 따라 한 가지 이상 재료로 제작하여 재료절감과 무게를 줄이고자 개발된 합성보(composite beam)로 경량의 무게와 고강도(high-strength) 및 고강성(high-rigidity)을 필요로 하는 항공 및 우주산업 등에 널리 이용되고 있으며, 주변의 스키, 벽 패널, 종이판지 상자 등과 같이 실생활에 널리 쓰이고 있다.

[0114] 본 발명의 튜브는 자신을 제외한 양의 약수의 합으로 표현 $[2^{n-1} \cdot (2^n - 1)]$ 할 수 있는 양의 정수인 최소 완전수(perfect number)인 '6' 과 n 차원 유클리드 공간에서 서로 겹치지 않는 단위원의 개수를 정의하는 입맞춤 수(혹은 구면 접촉수, kissing number) $k(n)$ 인 '6' 개의 튜브를 원점 $O(0, 0)$ 의 중앙튜브(110)에 수평으로 연결시킨 육방격자형 7튜브(7 Tube)를 기본형으로 하며, 여기에 더하여 7튜브에 수평으로 각기 연결하는 12개의 튜브를 더한 19튜브를 확장형으로 한다.

[0115] 바람직한 실시예에서, 재료역학적인 비틀림이나 굽힘강도의 향상과 주름(wrinkling)이나 측방향 변위(lateral displacement)인 좌굴(buckling)의 예방을 위해 삼각함수 파형인 정현파(sinusoidal, \sim)를 양의 영역으로 정류 혹은 전환(컨버트)한 양정현파(陽正弦波, positive sinusoidal, \frown) 주름관(corrugated tube)(101)으로 채택하여 내부공간의 최대화와 동일 체적 대비 편평관(扁平管, flat tube)보다 월등한 인장, 비틀림, 굽힘, 압축강도를 시현하는데 있다.

[0116] 본 발명의 기본 실시예는 해저구간과 대심도 지하터널에 선로튜브(11)를 시설하고 주행튜브(10) 내부를 진공 혹은 아진공 상태로 유지하는 조건으로 튜브원주 바깥면의 높은 수압과 응력이 튜브 원점 O 으로 집중되고, 극관성

모멘트가 편평관보다 π 배 증배되는 양정현과 주름관(101)의 주행튜브(10)가 재료역학적으로 타당하며 수압과 대기압 및 응력의 작용방향을 고려하면 음정현과보다 양정현과형의 튜브구조가 보다 합리적인 형상이 된다.

[0117] 이때 양정현과 주름관(101)의 마루(102)와 골(103)이 세로방향(z축)인 속이 빈 주름관을 7개 혹은 19개를 정육각형 각 변에 수평으로 2·3·2 혹은 3·4·5·4·3개를 연결하여 적층시킨 후 주행튜브(10) 외곽을 속이 빈 편평관인 선로튜브 외피(15)로 다시 둘러싸는 구조로, 수압 등의 압축력에 의해 재료의 모든 부분에 압축응력은 발생되나, 인장응력(tensile stress)이 발생하지 않는 원통형 주행튜브(10)의 집합체인 선로튜브(11)를 완성한다.

[0118] 이때 개별 주행튜브(10) 내부에 WF보 형상 자기편(14) 프레임(130)의 플랜지(131)로 주행튜브(10) 음정현과(陰正弦波, negative sinusoidal) 내벽을 보강함으로써 선로튜브 외피(15)와 바깥층(face)을 형성하게 되며, 구조적으로 다중샌드위치보(multiple sandwich beam, MSB)기능의 구조물로 동일체적 대비 편평관보다 월등한 인장·비틀림·굽힘·압축 강도를 시현하는데 있다.

[0119] 이는, 다중 주행튜브(10) 상호간 결합 시 마름모꼴 썬기인 마름쇠(◆)로 간단히 결합하거나 물결모양 양정현과 틈니로 맞물림면(咬合平面, bite plane)을 확보하여 자동체결(self-locking) 효과를 거둘 수 있어 튜브간 결합을 위한 볼트나 용접 등의 부가장치나 공정을 제거함으로써 부품제조 공정이 간소화되고 진공 자기부상 이동체 시스템 선로의 제조비용과 구조의 복잡성이 크게 감소된다.

[0120] 상기, 양정현과 주름관(101) 주행튜브(10)의 집합체인 선로튜브(11)는 다중샌드위치보(MSB)의 기능으로 경량 무게와 고강도(high-strength) 및 고강성(high-rigidity)의 특성을 갖고 있으며, 진공 자기부상 이동체인 튜브셔틀(20)의 음속돌파나 아음속 초고속 주행에 따른 진동이나 섭동으로 생성되는 불요파 에너지와 지진발생시 P파와 S파의 파동 에너지를 건디는 내진강도를 갖는 구조와 형상으로 안정적인 시스템 운영이 가능하게 된다.

[0121] 제1 실시예에서, 양정현과(陽正弦波) 주름관이 수평 방사형으로 7개 연결한 기본 주행튜브(10)는, 1t의 기본무게로 180개 주름(ripple)을 원주면(2π)에 갖는 형상으로 튜브 진행방향(z축) 표준길이는 100m로 강철 혹은 크롬의 스테인리스 합금이나 알루미늄 합금 등의 비철금속류, 탄소섬유와 플라스틱수지(plastic resin)의 탄소섬유 복합재(carbon fiber reinforced plastics, CFRP)의 적층성형이나 사출의 방법으로 제작한다.

[0122] 도1은 양정현과 주름관(101) 주행튜브(10)의 단면도를 예시하고 있다. 외경 지름(D_2) 300t 혹은 외경반지름(R_2)150t에 원주면 주름 수가 180개일 때 원주면 둘레는 $942.4777t(2\pi R_2 \text{ 혹은 } \pi D_2)$ 가 되고 1 리플폭(104)은 $5.2359t(942.4777t/180)$, 리플높이(105)는 $2.6179t(5.2359t/2)$, 양정현과 주름관 내경 지름(D_1)은 $294.7640t$ 가 되나 이때 주름관 두께 1t를 감안한 $292.7640t(294.7640t-2t)$ 를 실제 양정현과 주름관(101) 내경지름(D_1)으로 확정하여야 산업 적용상 오차를 제거할 수 있다.

[0123] 도2와 도3을 참조하면, 외경지름 300t 양정현과 주름관(101)인 주행튜브(10)를 7개 혹은 19개를 정육각형 각 변에 수평으로 연결시킨 후 주행튜브(10) 외곽을 속이 빈 1t 두께 편평관 외피(15)로 다시 둘러싸는 본 발명의 기본 선로튜브(11)는 7튜브(7 tube)의 외경 지름(D_2) $902t(300t*3+2t)$ 와 외경 반지름(R_2) 451t, 19튜브(19 tube)의 외경지름(D_2) $1,502t(300t*5+2t)$ 외경 반지름(R_2) 751t로 주어지게 된다.

[0124] 기본 선로튜브(11)를 주름이 없는 편평관(15)과 양정현과 주름관(101) 형상 구조물로 설계할 경우의 재료역학적 효과를 분석해 보면, 두께가 t이고 중선에 대한 반지름이 r인 두께가 얇은 원형관의 전단응력(shear stress, τ)은

$$\tau = \frac{T}{2\pi r^2 t} \text{ (여기서, } T: \text{작용 토크, } r: \text{반지름, } t: \text{두께)}$$

[0125] 로 주어지므로 원형튜브를 설계할 때 튜브벽의 주름살이나 좌굴이 일어나지 않는 범위 내에서 두께를 얇게 하면 응력과 비틀림 각이 더 커지고 무게는 감소하여 상대적으로 효율적이다.

[0127] 이와 함께, 길이방향 축에 대하여 회전을 일으키는 모멘트(토크 T)는 비틀림(Torsion)힘으로 나타나며, 속이 꽉 찬(solid) 원형축과 속이 빈(hollow) 원형관인 편평관에 대한 알려진 수식과 계산 결과는 아래와 같다.

[0128] ㉠ 속이 꽉 찬(solid) 원형축(반지름/반경: R, 지름/직경: D)

[0129] - 극관성 모멘트:
$$I_P = \frac{\pi R^4}{2} = \frac{\pi D^4}{32}$$

[0130] - 토크(비틀림 공식):
$$T = \frac{\tau_{\max}}{r} I_P$$

[0131] - 최대 전단응력:
$$\tau_{\max} = \frac{TR}{I_P} = \frac{16T}{\pi D^3}$$

[0132] ㉔ 속이 빈(hollow) 편평관(내경 반경: R_1 , 외경 반경: R_2 , 관 두께: t)

[0133] - 극관성 모멘트:
$$I_P = \frac{\pi}{2}(R_2^4 - R_1^4) = \frac{\pi}{32}(D_2^4 - D_1^4) = \frac{\pi R t}{2}(4R^2 + t^2) = \frac{\pi D t}{4}(D^2 + t^2)$$

[0134] 여기서, $R = (R_1 + R_2)/2$, $D = (D_1 + D_2)/2$, $t = R_2 - R_1$

[0135] $t \ll R$ 인 경우는 t^2 항을 무시하면,
$$I_P \approx 2\pi R^3 t = \frac{\pi D^3 t}{4}$$

[0136] - 토크(비틀림 공식):
$$T = \frac{\tau_{\max}}{R} I_P$$
 로 주어지고,

[0137] 예시로 내경 반경(R_1) $149t$, 외경 반경(R_2) $150t$, 관 두께 $1t$ 인 본 발명의 선로튜브(11) 외피(15)에 상기식을 대입하여 계산하면,

[0138] ㉕ 짝 찬(solid) 보의 경우;
$$I_P = \frac{\pi R^4}{2} = 0.5\pi R^4$$

[0139] ㉔ 속이 빈(hollow) 보의 경우;
$$I_P = \frac{\pi R^4}{2} - \frac{\pi(149/150R)^4}{2} = 0.0132\pi R^4$$

[0140] ㉕ 전단응력의 비율
$$\beta = \frac{\tau_{\text{hollow}}}{\tau_{\text{solid}}} = \frac{0.5\pi R^4}{0.0132\pi R^4} = 37.8787$$

[0141] ㉕ 무게의 비율
$$\beta = \frac{A_{\text{hollow}}}{A_{\text{solid}}} = \frac{0.0132\pi R^2}{\pi R^2} = 0.0132$$

[0142] 여기서 보의 무게는 단면적에 비례하므로

[0143]
$$A_{\text{solid}} = \pi R^2, A_{\text{hollow}} = \pi R^2 - \pi(149/150R)^2 = 0.01328\pi R^2$$

[0144] 두께 축 혹은 튜브가 같은 토크를 받을 때 속이 빈 관(hollow)이 속이 짝 찬(solid) 원형축에 비하여 응력은 37배 더 크나 무게는 1.3%에 불과한 것을 알 수 있고, 튜브의 상대적 효율인 강도 대 무게 비(strength-to-weight ratio)도 98.67% 더 큰 결과를 가져옴을 알 수 있다.

[0145] 상기 계산결과는 속이 빈 관의 재료역학적 특성이 두께를 얇게 하면 응력과 비틀림 각이 더 커지고 무게는 감소하여 상대적으로 효율적이라는 점을 증명하며, 양정현과 주름관(101)의 재료와 구조 역학적 효율성은 비틀림이나 굽힘강도 향상과 함께 주름과 축방향 변위(lateral displacement)인 좌굴을 억제하는 변수인 극관성 모멘트 ($I_P \cong 2\pi R^3 t = \pi D^3 t/4$)가 속이 빈 관보다 근사적으로 $\pi(3.14159\dots)$ 배 증배되어 전단응력 증대효과를 기대

할 수 있다.

- [0146] 한편, 주요 간선노선이나 메갈로폴리스 등의 거대도시를 연결하는 대 트래픽 구간의 경우 상기 기본 7 선로튜브(11) 외곽에 12개 주행튜브(10)를 추가한 19 선로튜브(11) 구조의 대용량 튜브를 채택하면 튜브 반지름(R)의 40% 할증으로 수송용량은 세배(300%: 6 →18) 증대되는 바람직한 결과를 얻게 된다.
- [0147] 이때, 다중튜브 집적형상은 수평면에 정육각형 한 변이 배치되는 구조물로 7선로튜브(11)는 xy 축 상 원점 O 에 위치하는 중앙 원점 O 튜브(110)는 유지·보수용 튜브로, 원점 O 튜브와 연결하는 6개 주변 주행튜브(10) 중심점은 시계방향 좌표 값이 $\pi/3$ (1번튜브)(111), 2π (2번튜브)(112), $5\pi/3$ (3번튜브)(113), $4\pi/3$ (4번튜브)(114), π (5번튜브)(115), $2\pi/3$ (6번튜브)(116)에 위치하는 x 축 가로방향 수평면의 $2 \cdot 3 \cdot 2$ 튜브 구조를 갖는다.
- [0148] 도4는 보조채움관(12) 단면도로, 주행튜브(10)와 선로튜브(11) 외피(15) 사이공간(12A, 12B)과 각 주행튜브(10)간 빈 공간(12C)에는 각 튜브간 전단응력 τ 의 전체 단면분산과 굽힘강도 향상을 위해 선로튜브(11) 외피(15) 두께 $1t$ 기준으로 외경 반지름 $5t$ 이상 고강도 재질의 PVC 보조채움관(12)을 삽입하되, 헬리컬튜브 양정현과 주름관(120)과 PVC 편평관(121)을 삽입하여 재료와 형상이 각기 다른 혼성(hybrid)튜브로 선로튜브(11)를 제조하여 합성보(composite beam)인 다중샌드위치보(MSB)의 특성을 더욱 강화시킨다.
- [0149] 선로튜브(11) 외피(15)와 접하는 A부분은 가로방향 양정현과 주름관인 헬리컬튜브(120)를 세로방향 양정현과 주름관(101)인 주행튜브(10)와 선로튜브(11) 외피(15) 사이 공간인 $\pi/6$ (2시), $11\pi/6$ (4시), $3\pi/2$ (6시), $7\pi/6$ (8시), $5\pi/6$ (10시), $\pi/2$ (12시)에 6개 위치시키고, 나머지 공간은 편평관(121)으로 채워 주름의 결을 상호 직각방향으로 교차하여 비틀림과 굽힘강도 향상과 주름(wrinkling)과 축방향 변위인 좌굴(buckling)을 예방한다.
- [0150] 상기 A부분 헬리컬튜브 채움관(120, 12A1)과 양 주행튜브(10)와 내접하는 B부분 채움관은 편평관(121)을 삽입하여 주행튜브(10)의 세로방향 양정현과 주름관(101)과 A부분 헬리컬튜브 채움관(120)의 가로방향 주름을 직교하여 응력을 분산시키고 강도향상과 국부적인 주름과 좌굴을 예방한다.
- [0151] 중앙의 원점튜브(110)와 연결하는 6개 주행튜브(10) 사이 C공간의 가운데 채움관은 가로방향 양정현과 주름관(12C1)을 삽입하고, 나머지는 편평관(121)으로 채워 세로방향 양정현과 주름관(101)인 주행튜브(10)와 주름 결을 직교하여 비틀림과 굽힘강도를 향상시키고 주름과 축방향 변위인 좌굴을 예방한다.
- [0152] 보조채움관(12)의 형상치수 산출은 2개원이 접하고 외접원이 있을 때 3개원의 접촉원(osculating circles, or "kissing" circles) 혹은 소디원(Soddy circle)의 크기를 구하는 데카르트 방정식(Descartes' equation)을 활용하여, 내접원의 반지름을 a , b , 외접원 c , 세원과 접하는 4번째 원인 접촉원(kissing circle)의 반지름 x 를 구하면 채움관(12)의 반지름을 구할 수 있다.
- [0153] 선로튜브 외피(15)(외접원 c)와 접촉하는 내접원(a , b)인 주행튜브(10)의 바깥 부분(A)의 접촉원은 $(1/a+1/b+1/c+1/x)^2 = 2(1/a^2+1/b^2+1/c^2+1/x^2)$ 의 데카르트 방정식이 성립하며 다음 2차 방정식의 해가 주어지고,
- [0154] $x_{\text{채움관A}} = abc / (ac + bc - ab + 2\sqrt{abc(c-a-b)})$
- [0155] 선로튜브(11) 외피(15)(외접원 c)와 접촉하지 않는 안쪽부분(B,C)인 주행튜브(10)와 1차 채움관(120) 사이 및 원점 중앙튜브(110)와 주변 6개 주행튜브(10) 사이 접촉원에 해당하는 채움관은 $(1/a+1/b+1/c+1/x)^2 = 2(1/a^2+1/b^2+1/c^2+1/x^2)$ 의 데카르트 방정식에서 다음의 2차 방정식의 해가 주어지며,
- [0156] $x_{\text{채움관BC}} = abc / (ab + bc + ca + 2\sqrt{abc(a+b+c)})$
- [0157] 상기 2차 방정식을 적용하여 ABC 부분 채움관(12)의 반지름(R) $5t$ 혹은 지름(D) $10t$ 이상의 형상 치수와 형상 등을 도4를 참조하여 정리하면 아래 표와 같다.

구 분	단위원(1R) 계수	300t 기준 형상치수	100m튜브 당 개수	채움관 형상	부가적 용도	
A 부분	A1	0.354438	53.1567	6	가로방향 헬리컬튜브	급전/통신
	A2	0.167334	25.1001	12	편평관	급전/통신
	A3	0.095565	14.3347	12	편평관	체결장치
	A4	0.062782	9.4173	12	편평관	체결장치
	A5	0.061405	9.2107	12	편평관	체결장치
	A6	0.050180	7.5270	12	편평관	체결장치
	A7	0.042662	6.3993	12	편평관	체결장치
B 부분	B1	0.100240	15.0360	6	편평관	급전/통신
	B2	0.047324	7.0986	6	편평관	체결장치
	B3	0.037601	5.6401	12	편평관	체결장치
C 부분	C1	0.154701	23.20515	6	가로방향 헬리컬튜브	급전/통신
	C2	0.062782	9.4173	18	편평관	체결장치
	C3	0.034023	5.1034	18	편평관	체결장치
합 계			$R=150t$	144		

[0158]

[0159]

상기와 같이 단면형상과 재료특성이 상이한 1개 선로튜브(11) 외피(15), 7개 양정현과 주름관(101)의 주행튜브(10), 가로주름관인 헬리컬튜브(120)와 편평관(121) 144개 도합 152개 튜브가 다중관(152 tube in 1 tube)을 형성하고, 그 외 나머지 빈 공간(129)은 경량 플라스틱이나 포말(泡沫, foam)재를 충전하여 중간층인 코어(core)로, 전단응력을 분산하고 바깥층(face)을 주름과 좌굴로부터 안정화시키는 지지층 역할로 전체 선로튜브(11)가 다중샌드위치보(MSB)로 기능하게 된다.

[0160]

상기 다중샌드위치보(MSB)는 xyz축 3차원 방향의 결 혹은 짜임새로 결합된 치밀한 구조와 함께 전체 선로튜브(11)의 전단력(shear force) P 과 굽힘 모멘트(bending moment) M 를 더욱 강화하여 P 과, S 과 등 지진과의 충격을 견디는 내진강도 향상으로 선로튜브(11)를 보호하고 튜브셔틀(20)운행의 안정성을 증진한다.

[0161]

부가적으로 상기 A1, A2, B1, C1의 보조채움관 30개는 본 발명의 스위칭튜브(31)내 교차형스위치(XoS)(32)를 기동하는 액추에이터(320)와 진공격벽(隔壁)(37)과 진공펌프(370) 가동을 위한 급전 및 시스템 제어를 위한 통신 선로로 활용하고, 부가적으로 관로(管路, pipe or tube line)가 필요한 전력, 행낭(行囊, pouch) 등 장거리 수송역무의 기반시설로 활용이 가능하게 된다.

[0162]

또한, 형상치수 15t 이하의 A3~A7, B2~B3, C2~C3의 채움관 114개는 압수돌출형 봉을 부가한 체결장치(fastener)를 추가하여 끼워 맞추기 조립으로 선로튜브(11)를 접속하는 튜브 시공방법은 접속부(17) 시공의 정밀도 개선과 자동체결 효과 및 튜브내부 지지부 확보로 외부 지지부인 선로튜브(11)와 강화튜브(18)의 보호합체(174)와 안과 밖에서 평형을 이루게 함으로써 전단력 P 과 굽힘 모멘트 M 를 선로튜브(11) 전체단면으로 고르게 분산시키는 기능을 발휘한다.

[0163]

한편, 19선로튜브(19 line tube)는 7선로튜브(11)에 수평으로 연결하여 12개의 주행튜브(10)를 추가하며 추가되는 개별 주행튜브(10) 중심점 O 는 시계방향으로 $\pi/3$ (1시), $\pi/6$ (2시), 2π (3시), $11\pi/6$ (4시), $5\pi/3$ (5시), $3\pi/2$ (6시), $4\pi/3$ (7시), $7\pi/6$ (8시), π (9시), $5\pi/6$ (10시), $2\pi/3$ (11시), $\pi/2$ (12시)에 위치시키는 x축 가로방향 $3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3$ 구조로 보조채움관(12) 배치는 상기 7선로튜브(10)의 예를 준용한다.

[0164]

상기 연결 주행튜브(10)간 분기나 합류선로 구성시 수평궤도간 영킴 없이 스위칭 공간을 확보할 수 있는 기본 선로튜브(11) 구조는 신규노선과 접속로 개설과 여객·화물·정비 기지 등 다지점 연계운행 및 스위칭 노드와

노드간 연결 등 튜브망(tube network) 구축과 표준 접속로 모델 개발에 필수적인 요소기술이다.

- [0165] 상기 제1 실시예의 x축 방향 2·3·2 구조의 기본 7선로튜브는 원점(중앙)튜브인 0번 튜브(110)는 비상·유지 보수용으로, 시계방향 우현 1번 튜브(111)($\pi/3$), 2번 튜브(112)(2π), 3번 튜브(113)($5\pi/3$)는 우측 주행선로로, 시계방향 좌현 4번 튜브(114)($4\pi/3$), 5번 튜브(115)(π), 6번 튜브(116) ($2\pi/3$)는 좌측 주행선로로 배치 하되 상층 6·1번 튜브는 보통노선으로, 중층 5·2번 튜브는 급행노선으로, 하층 4·3번 튜브는 화물겸 보통노 선으로 할당하는 것을 기본형 모델로 활용한다.
- [0166] 한편, x축 방향 3·4·5·4·3 구조의 확장형 19선로튜브는 비상·유지보수용 튜브를 제외하고 18개 주행튜브 (10)가 확보되므로 7선로튜브(11)에 상응하는 내측튜브는 주요 간선을 연결하는 계속 혹은 국제노선으로 할당하 고, 외측튜브는 인접 도시간이나 지점을 연결하는 보통노선으로 활용하며 이때 상하단 $\pi/2$ (12시)와 $3\pi/2$ (6 시)점의 중간튜브는 트래픽에 따라 좌우측 회선에 할당하는 '가변선로' 로 활용하여 노선 확장의 통일성 있는 노선건설 지침으로 활용한다.
- [0167] 도 5와 6 및 7은 주행튜브(10) 정삼각형 꼭짓점($\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$)에 안치되는 삼상궤도(3 phase track) 기술 방식을 예시하고 있다. 삼상궤도(13)의 형상은 WF보(wide-flange beam)의 플랜지(flange)와 웨브(web)를 영구 자석 집합편인 자기편(14) 프레임에 상응하는 구조물로 채택하면, 전단응력 τ 이 웨브(133,135) 중립축과 수직면 에서만 일어나고 측면 좌굴에 대한 큰 안정성을 보이는 WF보의 특성을 자기부상 이동체 시스템에 활용할 수 있 다.
- [0168] 상기 WF보형 자기편 프레임(130)은 단면이 \perp 형상으로 수평면 좌표 값으로 볼 때 $\pi, 2\pi$ 의 두 플랜지(134)는 튜브셔틀(20)의 xy축 수직방향 중력을 '상하 좌우' 로 튜브 원점에 구속하는 자기 부상편(144)으로, 주행튜브 (10) 플랜지(131, 132)와 연결되는 $\pi/2$ 의 웨브(web)(133)는 주행방향인 z축 방향 '좌우 전후' 의 평형을 구속 하는 자기 균형편(143)으로 자기 부상편(144)과 함께 xyz축 3차원 방향의 자기부상을 실현하며, $3\pi/2$ 의 돌출웨 브(135)는 튜브셔틀의 진행방향인 z축으로 튜브셔틀(20)을 구동시키는 자기 견인편(145)으로 기능을 갖는다.
- [0169] 정삼각형 꼭짓점에 위치하는 자기편(14) 프레임(130)이 취부된 후 주행튜브(10) 내경의 최종(*final*) 형상치수는 양정현과골(103)에 내접하는 자기편 플랜지(132)의 두께를 $3t$ 단위로 할 때, 양정현과 주름관 내경 지름(D_2)에 서 자기편 플랜지(131) 두께 $3t$ 를 뺀 $286.7640t$ ($292.7640t-6t$)의 내경 지름(D_f)과 $143.3820t$ 의 내경 반지름 (R_f) 값을 근간으로 산출된다.
- [0170] 상기 주행튜브(10) 정삼각형 꼭짓점 $ABC(\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6)$ 에 안치되는 삼상궤도(13) 방식은 주행튜브 내벽에 내접하는 세변의 길이와 내각(60°)이 모두 같고, 외접원인 주행튜브(10) 반지름은 $R = a \times \sqrt{3}/3$ (a :정삼각형 한 변 길이)로 외심, 내심, 무게중심, 수심이 모두 주행튜브(10) 가상원점 $O(0, 0)$ 에 위치하는 안정적 기하학 적 특성을 갖고 있다.
- [0171] $a^2 + b^2 = c^2$ 의 피타고라스 정리에 따라 삼상궤도(13) 폭인 궤간은 주행튜브(10)에 내접하는 정삼각형 한 변의 길이 로 꼭짓점 두 점을 잇는 선분인 현의 길이와 같으며, 단위반지름을 1로 대입 계산하면 $1^2 + b^2 = 2^2$ 혹은 $1 : \sqrt{3} : 2$ 비율과 $b = \sqrt{3} \times a$ 계산식에서 구해지는 현의 길이 b 가 튜브셔틀(20)의 궤간(139)으로 주어지게 된다.
- [0172] 따라서, 꼭짓점간 현의 길이 b 는 $b = \sqrt{3} \times R_f$ 혹은 $b = \sqrt{D_f^2 - R_f^2}$ 에 튜브 내경 지름(D_f)과 반지름(R_f)을 대입하여 산출되는 $248.3449t$ 의 궤간(139)으로 주행튜브(10)에 내접하는 정삼각형 꼭짓점 $\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$ 에 자기부상 궤도를 안치하여 기하학적으로 무게중심, 외심, 내심, 수심, 방심이 외접원인 주행튜브(10)의 가상원점 $O(0, 0)$ 에 위치하는 안정적 삼상궤도(13) 방식을 채택한다.
- [0173] 도6의 주행튜브(10) 양정현과 골(103)에 내접하여 취부되는 WF보형 플랜지(131, 132)는 z축의 1m 표준 단위길이 (depth)와 $\pi D_f/3$ 인 $300.2985t[(\pi \times 286.7640t)/3]$ 의 xy축 길이방향 폭(width)과 두께 $3t$ (132), $2t$ (131)를 갖 고, 반지름이 $143.3820t$ 인 곡률 ρ 0.006974 의 $2\pi/3(120^\circ)$ 원호(arc) 길이 궤간(139)의 구조물로 양정현과 주 름관(101)의 내벽을 형성하여 샌드위치 보(sandwich beam)의 한 단면이 된다.
- [0174] 도7은 삼상궤도(13) $A(\pi/2)$ 의 상세 사시도로, 주행튜브(10) 내부 1m 단위 플랜지(131, 132)에 연결되는 $1/3m$

단위 길이(length) 혹은 깊이(depth)의 \perp 형상 프레임(130)에 자기 부상편(144)과 자기 균형편(143) 및 자기 견인편(145)의 자기편(14)이 불연속적으로 z축 방향으로 배열되는 디지털 궤도로 단면폭(cross section width) 혹은 두께는 $8t$ 의 형상치수로 자기편 프레임(130)을 형성한다.

[0175] 또한 자기편 프레임(130)의 x축 플랜지(134)의 폭(width)과 y축 웨브(133,135) 높이(high)는 $15t$ 를 적용하며, 윗면에서 본 전체 자기편 프레임(130) 폭(width)은 $8t$ 의 단면폭을 더한 $38t(2*15t+8t)$ 로 주어지며, 자기 균형편(143)의 프레임(133)인 웨브(web)는 자기부상 이동체인 튜브셔틀(20)과 주행튜브(10)간 셔틀공극(206) $5t$ 를 추가하여 $20t(15t+5t)$ 사의 형상치수를 확보한다.

[0176] 도8은 불연속(dashed)형상 디지털 궤도의 형상도로, 튜브셔틀(20)의 주행튜브(10)내 주행을 1m 단위거리를 거동하는 수치제어(numerical control, NC)에 필요한 치(齒)의 역할과 함께 초음속 혹은 아음속 주행에 필수적인 진공튜브 상태 유지를 위한 진공 격벽(37)을 2/3m 빈 공간에 설치하는 한편, 장거리 및 초장거리 선로튜브(11) 건설에 수반되는 자재비 절감이 가능하게 된다.

[0177] 상기 삼상궤도(13) 자기편(14)의 형상치수를 정리하면 주행튜브(10) 내벽 플랜지(131, 132)에 수직으로 직교하는 자기 균형편(143) 프레임인 $\pi/2$ 의 웨브(web)(133)는 $W:8t*H:20t*D:33.3333t$, π , 2π xy축 자기부상편(144) 프레임인 플랜지(134)의 한 단면은 $W:15t*H:8t*D:33.3333t$, z축 주행방향 자기 견인편(145) 프레임인 $3\pi/2$ 돌출웨브(135)는 $W:8t*H:15t*D:33.3333t$ 의 표준 형상치수를 갖는 디지털 궤도를 채택한다.

[0178] 상기 자기편(14)의 프레임(130)인 \perp 형 단면 혹은 WF보는 같은 높이와 단면 계수를 갖는 직사각형 보에 비교하면, 전단 응력 τ 이 웨브 중립축과 수직면 $\tau_{max} = V/8(bh^2 - bh_1^2 + th_1^2)$ 에서만 발생하고 평균 전단응력은 $\tau_{aver} = V/th_1$ (여기서 V : 전단력, t : 웨브 두께, h_1 : 플랜지간 내부거리)로 주어지는 구조적 특징으로 측면 좌굴의 큰 안정성 확보와 재료의 절감이 가능하게 된다.

[0179] 이때 자기편 프레임(130)인 웨브(133, 135)와 플랜지(132, 134)의 연결부는 응력이 위험하게 커지는 응력집중(stress concentration)을 방지하기 위해 필릿(fillet, 둥근 모)(138)을 구비하여 돌출웨브(135)와 두 개 자기 부상편(144) 플랜지(134)의 전단흐름 합력이 아랫방향인 웨브(133)로 전달된 후 하부 플랜지(131, 132)를 통하여 주행튜브(10)와 보조채움관(12) 및 선로튜브(11)로 환류 되도록 한다.

[0180] 또한 매립공(137)에 수납하는 영구자석 자기편(14)은 산화철을 주성분으로 하는 세라믹 제품으로 고온과 장기간 사용에도 산화분해가 발생되지 않아 화학적으로 매우 안정적이고, Nd계 희토류 영구자석에 대비하여 월등한 가격 경쟁력을 갖는 페라이트(Hard Ferrite) 계열의 영구자석을 채택하여 장거리 혹은 초장거리 선로튜브(11) 구축의 경제성을 확보하게 한다.

[0181] 본 발명의 삼상궤도(13) 자기편(14)의 영구자석은 도넛 혹은 솔레노이드 형상의 링형 영구자석(140)을 채택하면, 기하구조에 따라 원통 대칭성에 의해서 솔레노이드 내부의 자기장의 세기는 일정하게 되며, 자연스럽게 솔레노이드 외부와 내부의 대칭성이 깨어져 솔레노이드 내부쪽으로 더 높은 자속밀도(B (Tb/m²))와 자속에너지 밀도(J/m^3)를 얻을 수 있고 영구자석 재료의 절감이 가능하게 된다.

[0182] 긴 솔레노이드 밖의 자기장은 솔레노이드의 길이가 길어질수록 0에 수렴하고 자기회로의 투자도(permeance)가 커지게 되므로 원통길이 방향으로 충분히 긴 본 발명의 링형 영구자석 내부는 균일한 강한 자기장이 형성되고 링 외부는 매우 약한 자기장이 형성되어 원통의 축방향에 평행한 큰 자기장 B 성분을 용이하게 얻을 수 있게 된다.

[0183] 바람직하게는 모터의 코깅토크 저감대책의 수단으로 스테이터(stator) 기능을 갖는 주행튜브(10) 삼상궤도(13) 자기편(14)은 코깅토크가 큰 1개 직사각형(\square) 대형 영구자석 대신, z축 세로 방향으로 7·8·7개 매립공이 $W:9.9282t*H:8t*D:31t$ 크기로 배열되는 다중 육방격자(\hexagon)형 매립공(137)에 소형 링형 영구자석 22개를 배열하는 집합편(140)으로 구성하며, z축 진행방향 모서리 또는 구석을 비스듬히 깎는 챔퍼링(chamfering, 모떼기)된 형상으로 코깅토크를 저감한다.

[0184] 이는 영구자석을 초장거리의 삼상궤도(13)와 다수의 튜브셔틀(20)에 적용하는 본 발명의 산업상 이용에 있어 수많은 영구자석이 소요되어 재질과 형상이 확률적으로 동일하지 않고 착자기 결합요소로 제조 공정상 착자 불균일로 발생하는 코깅토크의 원인이 되는 고조파 성분들을 억제하는 저감대책이 필요하게 된다.

- [0185] 이에 더하여 벌집구조의 집합형 자기편 프레임(130)은 구조 역학적으로 인장 하중이 작용하는 자기편(140) 프레임인 WF보의 축 선상에 단 하나의 큰 매립공보다 22개 소형 매립공(137)이 응력집중에 대한 저항성을 증대시켜 응력집중 현상이 작게 나타나고 이동체 운행에 따라 하중보다 낮은 응력이라도 지속적으로 반복 노출되어 발생하는 파단현상인 피로파괴를 예방할 수 있게 된다.
- [0186] 따라서 삼상궤도(13)는 2개 소형 링형 영구자석(바깥층 외경 $\phi: 3t$, 단면 중심선층 외경 $\phi: 2.6t$, 내경 $\phi: 0.5t$, 높이: $4t$)을 원추형(圓錐形, conical)으로 제작하여 NS극을 달리 착자한 후 $8t$ 두께 혹은 단면폭을 갖는 플랜지(134)와 웨브(133) 및 돌출웨브(135) 양면에 매립하면 원추형 매립공(137)에 2개 영구자석(140)이 서로 다른 극성으로 자동체결(鎖)되어 궤도제작과 시공의 생산성을 높일 수 있다.
- [0187] 상기 육방격자형 벌집형상 집합형 자기편(140) 1개는 자기 부상편(144) 44쌍, 자기 균형편(143) 22쌍, 자기 견인편(145) 22쌍 도합 88쌍의 영구자석을 매립하며, 1m 단위 삼상궤도(13)는 264쌍(88*3 궤도) 혹은 528개 소형 영구자석편이 배열되기 때문에 '평균 μ 과 표준편차 σ 가 주어질 때 치우침이 없음' 을 나타내는 개념인 엔트로피 ($\Delta S \geq 0$)를 최대화하는 분포인 정규분포 $N(\mu, \sigma^2)$ 형 자력선 분포를 얻을 수 있어, 회전자(rotor)인 튜브셔틀(20)이 구동할 때 자계의 불균형으로 발생하는 토크의 최대치와 최소치의 차이값으로 정의되는 코깅토크를 저감할 수 있다.
- [0188] 이와 같은 벌집형 구조의 집합형 자기편(140) 형상과 2개 원추형 자석(14)의 매립에 의한 자동체결 방식은, 자기편 조립방법을 단순화하고 특성이 불균일하게 나타날 확률이 높은 1개 대형 영구자석의 자력선 분포특성을 다수 소형 영구자석으로 정규분포화 함으로써, 로터와 스테이터의 자속밀도(Wb/m^2)와 자속에너지밀도(J/m^3)를 평균화하여 코깅토크 저감과 x축 롤(roll, θ), y축 피치(pitch, θ), z축요(yaw, ψ) 운동을 억제하여 안정적인 자기 부상력과 견인력을 유지시킬 수 있다.
- [0189] 도11은 주행튜브 정삼각형 꼭짓점 ($A: \pi/2, B: 7\pi/6, C: 11\pi/6$)의 삼상궤도(13) 집합형 자기편(140) 영구자석의 극성(NS)의 배치도로, NS극이 교호 배열되는 자기 견인편(145)을 제외한, 양쪽 자기 부상편(144)과 자기 균형편(143) 극성을 '부상-균형-부상' 편 순으로 A자기편은 시계방향(\odot) 자속(148)인 <좌NS-NS-NS우>의 순서로 배열하고, B자기편은 반시계방향(\ominus) 자속(149)인 <우NS-NS-NS좌>로 배열하며, C자기편은 시계방향(\odot) 자속(148)인 <좌NS-NS-NS우>로 배열한다.
- [0190] 상기 A자기편은 지구와 같은 회전 좌표계의 전향력 혹은 코리올리 힘(Coriolis force)의 방향과 역상으로 배열하며, BC 자기편은 거울상(mirror image)의 좌우대칭 구조로 삼상궤도(13) 기저부 평행과 중력 반대방향 자기장 벡터 \vec{B} 를 갖는 시계방향(148) 혹은 반시계방향(149) 자기 폐회로 구성으로, 튜브셔틀(20) 전자기편(24)에 쇠교하는 자속량을 증대하여 자속밀도($B(Wb/m^2)$)와 자속에너지 밀도(J/m^3)를 높이는 디자인으로 삼상궤도(13) 영구자석(14)의 소형화와 튜브셔틀(20) 자기 부상계의 안정화에 기여하게 된다.
- [0191] 이와 더불어, 자기 견인편(145)의 극성(NS)이 동일할 경우 100% 자기 폐회로가 형성되고 극성이 상이할 경우 75% 자기 폐회로가 구성되어 평균 87.5% 자기 폐회로 구성비로, 초장거리 선로튜브(11)에 소요되는 다량 영구자석(14)의 자기장 에너지를 보존하여 시간경과에 따라 나타나는 경년열화(經年劣化)를 최소화함으로써 시스템의 설계수명을 담보하거나 연장할 수 있게 한다.
- [0192] 상기 자기편(140)의 하부 플랜지(131, 132)는 주행튜브(10)를 한 겹 더 보강하여 내벽층(face)을 형성함으로써 다중센드위치보(MSB)의 기능을 증배하는 효과가 발생하며, 전체 튜브의 하중과 자기부상 이동체 운행에 따른 전단응력 τ 을 주행튜브(10) 전체면에 고르게 분산 환류(feedback)하여 인장, 비틀림, 굽힘, 압축강도를 한층 더 강화함으로써, 극한하중 또는 허용하중 보다 낮은 응력상태에 반복적으로 노출되어 발생하는 파단현상인 피로파괴를 예방할 수 있게 된다.
- [0193] 도12는 주행튜브(10)에 취부하는 정삼각형 꼭짓점 $ABC(\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6)$ 자기편(140) III, IV사분면 하부 플랜지(131) $4\pi/3$ 와 $5\pi/3$ 에 오목형(凹)홈 형상 보조궤도(auxiliary track)(16)를 예시하며, 튜브셔틀(20)에 구비되는 볼록(凸)형 보조바퀴(auxiliary wheel)(26) 궤도로 튜브셔틀의 '활주주행' 모드를 지원한다.
- [0194] 이는 튜브셔틀(20) 자체 하중에 의한 마찰력으로 출발·도착이나 비상시 혹은 여객·화물포트나 정비기지 등 저속운행 구간에서, 튜브셔틀(20) 전자기편(245)에 의한 선형 스테핑 모터의 견인력과 보조바퀴(26)의 '활주주행' 으로 생성되는 견인력의 이중주행모드 운행으로 가속력을 추가하여 관성력(inertial force)을 증대하고

코킹토크 극복과 부하 균등화(load balance) 및 정차 혹은 격납시 브레이크 모드 등으로 활용할 수 있게 한다.

- [0195] 상기 보조궤도(auxiliary track)(16)는 별도 궤도를 부설하는 것이 아니라 주행튜브(10) 내부 정삼각형 꼭짓점 ($\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$)에 안치되는 WF보(wide-flange beam)형 프레임(130)의 III, IV사분면 하부 플랜지(flange)(131)에 오목(凹)형 홈의 보조궤도(16)를 구비한 후 1m 단위로 연속하여 취부하고 췌기(168)로 조립함으로써 완결되어 진다.
- [0196] 바람직한 보조궤도(16) 형상을 도12를 참조하여 살펴보면, 주행튜브(10) 내벽 III사분면 $4\pi/3$ 점과 IV 사분면 $5\pi/3$ 점 플랜지(131)에 3개 음정현과 오목(凹)형 홈()의 골(161)과 마루(162)에 더하여 좌우로 돌출되는 턱 혹은 가이드(163)로 볼록(凸)형 홈()을 추가하여 형성되는 볼록오목형(凸凹) 홈()을 플랜지(131)에 배치하여 나타나는 $\pi/3$ 원호 길이의 2 궤도(2 track)를 보조궤도(16)의 궤간(139)으로 삼는다.
- [0197] 이는 주행튜브(10) 반지름 R_0 와 같은 궤간으로 튜브셔틀(20)에 구비되는 볼록형() 타이어 접지면(261, 262)을 갖는 보조바퀴(aux. wheel)(26)를 셔틀전원으로 구동할 때 셔틀의 중심인 원점O에 무게중심을 위치시켜 활주주행 모드와 주정차 모드 운영의 안정평형(stable equilibrium) 상태를 유지할 수 있다.
- [0198] 보조궤도(16)의 형상치수를 살펴보면, 볼록오목형(凸凹) 홈()은 5개 리플로 구성되고 300t 주행튜브(10)의 1 리플은 5.2359t 폭과 2.6179t 높이가 주어지므로 3개 골(161)과 2개 마루(162) 및 2개 턱(163)으로 전체 폭은 26.1795t가 되며 튜브셔틀(20)의 바퀴내림으로 활주주행에 필요한 마찰력을 제공한다.
- [0199] 도14는 삼상궤도(13) 프레임의 결합 단면도로, B($7\pi/6$) 궤도 좌측 π 와 C($11\pi/6$) 궤도 우측 2π 및 A($\pi/2$) 궤도 좌측 $2\pi/3$ 와 우측 $\pi/3$ 에 3개 골(161)과 2개 마루(162)를 구비하면 정육각형 꼭짓점($\pi/3, 2\pi/3, \pi, 4\pi/3, 5\pi/3, 2\pi$) 6개소에 총 18개의 지지 요철부(161, 162)를 확보할 수 있어 양정현과 주행튜브(10)와 WF보 형상 삼상궤도(13) 프레임을 등간격으로 밀결합하여 미끄럼을 방지할 수 있다.
- [0200] 이와 함께 120도 등간격 $\pi/6, 5\pi/6, 3\pi/2$ 에 위치하는 자기편 플랜지(131) 경계면 접합부(169)를 요철(凹凸)이나 췌기(wedge)(168)로 결합함으로써 주행튜브(10)를 한 겹 더 보강하는 샌드위치보의 효과가 발현되므로, 자기부상 이동체의 운행에 따른 동역학적 수직응력과 전단응력을 주행튜브(10)와 선로튜브(11) 전체면으로 분산시키고 인장·비틀림·굽힘·압축강도를 한층 더 강화함으로써 물체가 반복적인 하중을 받아 지속적으로 강도가 저하하여 구조적으로 파괴되는 피로파괴를 예방할 수 있게 된다.
- [0201] 주행튜브(10)에 취부되는 삼상궤도(13) 하부 플랜지(131)의 보조궤도(16)와 요철부(161, 162, 163)의 형상치수를 튜브외피 두께 1t 기준으로 살펴보면, 최종튜브 내경은 지름(D_t) 286.7640t 혹은 반지름(R_t) 143.3820t로 주어지므로 z축 방향 1m 표준 단위길이(depth)와 xy축 둘레 방향 $\pi D_t/3$ 인 300.2985t($\pi \times 286.7640t/3$) 폭(width)과 2~3t 두께를 갖는 곡률반경 143.3820t의 $2\pi/3(120^\circ)$ 원호(arc)형상 구조물로 알루미늄이나 고강도 엔지니어링 플라스틱으로 사출함이 바람직하다.
- [0202] 한편, 셔틀·정비 기지 등의 계류장소의 경우 삼상궤도(13)를 제거하고 보조궤도(16)를 활용한 단상궤도를 시설하고 바퀴구동 모드로 입환(入換, shunting)작업을 수행하게 하면 터미널 등의 시설비를 절감하고, 중앙과 권역 관제소와는 분리된 계류장소별 관제 시스템으로 터미널 운영의 효율성을 증진하는 보조 단상궤도 시스템은 제3 실시예에 상술한다.
- [0203] 도15는 충전포트 사시도로, 여객·화물 포트나 셔틀·정비 기지 등 셔틀 정차 장소 주행튜브 삼상궤도(13)의 1m 단위 프레임의 자기견인편(145) 프레임인 돌출웹(135)를 세로방향으로 늘린 확장형 충전 포트(136)에 변환코일(transformer coil)부(146)와 셔틀 감지센서 등을 부가하여 튜브셔틀(20) 진입시 3상 교류전력급전(147)과 자동 무선충전(inductive charging) 모드로 운영하여 에너지 절감과 셔틀 가동물을 향상시킨다.
- [0204] 변환코일부(146)는 무선 자기유도 혹은 자기공명 방식 충전기능을 갖게 하고 삼상궤도(13) 돌출웹(135) 전후 1/6m 공간에 폭 $W:8t$ *깊이 $D:16.6666t$, 높이 $H:15t$ 크기의 충전 포트(136)를 구비하고 튜브셔틀(20) 2차 변환코일부(28) 대향위치에 폭 $W:9.9282t$ *높이 $H:8t$ *깊이 $D:15t$ 의 3·4·3개 매립공(137) 크기인 1차 변환코일부(146)를 각기 10개씩 설치하여 튜브셔틀(20)에 3상 교류전력을 급전(147)한다.
- [0205] 도16은 강화튜브 단면도로, 지진이 빈발하는 단층대와 대심해 구간 및 타 선로와 접속이 요구되는 교차형스위치(XoS)(32)가 구비되는 스위칭튜브(31)와 같은 특수구간은 상기 기본형 선로튜브(11) 형상과 기술적 제원을 일부

변경하여 보강한 강화튜브(18)를 안출하여 최적의 튜브 선로건설 솔루션이 필요하다.

- [0206] 상기 강화튜브(18)는 궤도간 교차형스위치(XoS)(32)를 구비하여 튜브 혹은 선로간 트래픽을 교환하는 표준 분기 선로의 스위칭튜브(31)와 높은 수압의 해구나 해령과 같은 대심해 구간뿐만 아니라, 어선조업 해역과 선박통행이 빈번한 주요항로 통과구간 등은 높은 수압극복과 선박닷 등에 의한 튜브보호와 전단응력 τ 및 굽힘 응력 (bending stress) 증대를 위해 기본 선로튜브(11) 외피(15)에 양정현과 주름관(101)과 편평관의 외피(15)로 한 겹 더 보강하는 강화튜브(consolidated tube)(18)를 채택한다.
- [0207] 이 경우 튜브외피(15)에 추가하는 양정현과 주름관(101)은 360개 리플을 갖게 함이 바람직하고 7 선로튜브(11) 외경원주 길이(πD_1)는 $2,833.7165t(\pi \times 902t)$ 이므로 1리플의 폭은 $7.8714t(\pi D_1/360)$, 리플 높이는 $3.9357t$ 가 되고 주름관 두께 $1t$ 와 외피 각 $1t$ 를 감안한 강화튜브(18)의 외경지름(D_c)은 $913.8714t$ 로 주어지는 1차 강화튜브(181)가 안출되며, 연근해 해저구간 선로로 적용한다.
- [0208] 이에 더하여 상기 1차 강화튜브(181)의 외피(15)를 또다시 양정현과 주름관(101)과 편평관 외피(15)로 보강하는 2차 강화튜브(2nd consolidated tube)(182)의 제원과 형상치수는, 1차 강화튜브(18)의 외경 원주면 길이(πD_c)는 $2,867.0117t(\pi \times 913.8714t)$ 이므로 1리플의 폭은 $7.9750t(\pi D_c/360)$, 리플 높이는 $3.9875t$ 가 되고 주름관 두께 t 와 튜브외피(15) 각 $1t$ 를 감안한 2차 강화튜브 외경지름(D_{c2})은 $925.8464t$ 로 주어지며 해구나 해령과 같은 대심해 구간의 선로 강화튜브(182)로 적용함이 타당하다.
- [0209] 더 높은 내압력이 시현되는 3차 강화튜브(3rd consolidated tube)나 확장형 튜브인 19선로튜브(line tube)의 경우 상기와 같은 계산 절차를 준용하면 형상치수를 용이하게 획득할 수 있으므로 본 문에서는 생략한다.
- [0210] 한편으로, 궤도간 교차형스위치(XoS)(32)를 구비하여 튜브 혹은 선로간 트래픽을 교환하는 표준 분기선로와 같이 기본 선로튜브(11) 내부의 형상이 일부 변경되어야 하는 특수구간의 스위칭튜브(31)는 제3 실시예에 기술한다.
- [0211] 도17은 100m 단위 표준 선로 혹은 강화튜브(11, 18)의 튜브접속부(17)를 예시하며, 열수축형 너트방식을 채용하여 주행튜브(10) 진공유지를 위한 기밀성과 수중에서의 수밀성을 확보하되, 구체적으로 튜브 양단 외피(15)부분에 각각 2m 볼트 체결부(171)를 형성하고, 4m 열수축형 너트(172)의 지름(ϕ)을 볼트 체결부(171)보다 약간 크게 하여 회전시켜 체결한 후 전열기 등으로 가열하여 압착·밀봉하고, 이 때 너트 양단에는 추가적 기밀성과 수밀성 확보를 위한 2중오링(173)을 추가한 후 고강도 재질의 5m 보호함체(174)를 덧대어 조립한다.
- [0212] 이때, 선로튜브(11) 혹은 강화튜브(18) 접속부인 보호함체(174)에는 수중교각(53)이나 튜브앵커(52) 혹은 튜브평형추(51) 연결공법으로 선로튜브(11) 혹은 강화튜브(18)의 부력(buoyant force)을 상쇄시키는 한편, 튜브(11, 18, 182)의 하중을 지지하고 지진파(P파, S파, 표면파 등)에 의한 진동 에너지를 흡수하여 대지로 환류시키는 튜브댐퍼(tube damper)(19)를 구비한다.
- [0213] 지하의 단층이 어긋나 그 충격이 전해지는 지진파의 경우 지반이 파동의 진행방향으로 매질을 압축 팽창시키는 종파(소밀파)인 P파(Primary wave)는 지각에서 평균 전파속도가 6.5km/sec로 최초로 지상에 도달해 초기미동을 일으키므로 지진계로 P파의 도달을 감지하여 분석하여 S파 도달시각이나 진도를 예측하게 된다.
- [0214] 둘째 파동(Secondary wave)인 S파는 속도가 P파보다 느린 초속 약 3.5km인 횡파로 진행방향에 수직으로 매질 입자를 진동하여 큰 피해를 일으키며, 지형에 따라 지표를 따라서 진행하는 파동인 표면파(L-wave)인 레일리파와 러브파는 S파 이후 지연 전파되어 속도가 느리나 진폭이 커서 큰 지진피해를 발생시키므로 선로튜브와 지지 구조물의 적절한 내진(耐震, seismic resistance), 면진(免震, seismic isolation), 제진(制震, vibration control) 대책이 필수적으로 요구된다.
- [0215] 본 발명의 양정현과 주름관(101)은 재료역학적으로 비틀림이나 굽힘강도 향상과 주름(wrinkling) 및 측방향 변위(lateral displacement)인 좌굴(buckling)을 예방하고 편평관 대비 극관성 모멘트 $I_P \cong 2\pi R^3t = \pi D^3t/4$ 를 $\pi(3.14159\dots)$ 배 증배시켜 전단응력을 강화하여 내진강도를 향상시킬 수 있다.
- [0216] 도18은 면진(免震), 제진(制震) 대책인 튜브댐퍼를 예시하며, 스프링의 고유 진동수(natural frequency) ω_n 를 상이하게 하고 각기 반대방향 턴(turn)으로 위상(phase)을 반전시켜 소멸간섭과 감쇠진동(damped oscillations)의 효과가 나타나는 스프링을 묶음형으로 배치한 스프링 뭉치인 튜브댐퍼(19)를 튜브(11, 18, 30, 31, 36) 접속부(17) 보호함체(174)에 취부하여 강제가진인 지진이나 자기부상 이동체의 운행에 수반되는 진동을 감쇠시킨

다.

- [0217] 구체적으로 선로튜브(11) 형상과 같이 원점(0, 0)의 중앙 스프링(190)을 중심으로 6개 주변 스프링(191~196)을 배치하는 육방격자형의 7개 스프링을 병렬로 연결한 스프링 장치로 튜브댐퍼(19)를 구성하되, 7개 스프링은 재료와 합금비율 및 감은(turn) 수를 달리하여 각기 다른 고유진동수 $\omega_n = \sqrt{k/m}$ (k : 강성계수, m : 질량)를 갖게 한다.
- [0218] 튜브댐퍼(19)를 구성하는 스프링의 강성 k 은 재료의 전단탄성계수 G , 두께 d , 반경 R 과 감은 수 n 의 함수로 $k=Gd^4/64nR^3$ 로 주어지고, 강성(stiffness)과 고유진동수 ω_n 가 상이한 스프링을 직렬 연결하면 $k=k_1k_2 \dots k_n/k_1+k_2 \dots +k_n$ 로 강성을 감소시키고, 병렬로 연결하면 $k=k_1+k_2 \dots +k_n$ 로 강성을 증가시키므로 소형 스프링을 육방격자형으로 배열하는 본 발명의 튜브댐퍼(19)는 강성계수가 합산되는 병렬접속을 채택한다.
- [0219] 또한 각기 다른 고유진동수 ω_n 특성과 스프링의 턴(turn)방향을 왼손&오른손 2 방향 감기로 위상 θ 을 180도 반전시킨 7개 스프링을 육방격자형의 위상기하적인 배열로 조합하여 $7! \cdot 2! = 10,080$ 개 진동패턴을 갖는 묶음형 튜브댐퍼(19)를 제작하여 육상의 대심도 터널 내벽, 해저의 수중교각(53)과 튜브앵커(52) 및 튜브평형추(51)에 취부한다.
- [0220] 상기 튜브댐퍼(19)는 공진현상을 억제하는 한편, 지진과의 파동 에너지를 스프링의 탄성위치 에너지 $U_s = 1/2kx^2$ (k : 용수철 상수, x : 평형상태의 물체변위)로 변환하여 지진과 등 외부충격과 이동체 운행에 따른 진동·섭동 등의 파동 에너지를 감소시키고 대지로 환류시키는 불요 에너지와 접지(接地) 기능의 완충기·쇼크 업소버(shock absorber)·댐퍼(damper) 기능을 갖게 된다.

실시예 2

- [0221] 제2 실시예에서는 제1 실시예의 양정현과 주름관의 주행튜브(10) 내부를 초음속 혹은 아음속으로 주파하는 자기 부상 이동체 시스템인 튜브셔틀(tube shuttle)(20) 시스템에 관한 것이다.
- [0222] 도19, 20과 같이 외부형상은 원통 실린더형으로 구성되고 1차원 x축 (-1, 0)과 (1, 0)에 궤도가 위치하는 하이퍼루프, 신칸센, 트랜스래피드 등 기존 2궤도 단상방식과 다른 삼상궤도(13)방식으로 주행튜브(10) 자기편(14) 철(凸)에 대응하는 정삼각형 꼭짓점ABC 3개소에 매립형 전자기편(24) 요(凹)를 배치하여 주행튜브(10)와 이동체 체적을 최소화 혹은 생력화(省力化)하는 수단을 포함하게 된다.
- [0223] 상기 튜브셔틀(20)의 기본형상은 정삼각형 삼상궤도(13)와 원형 주행튜브(10) 및 원통형 튜브셔틀(20)로 삼각형의 기하학적 특성에 따라 2궤도 단상방식에 비해 50%의 재료가 할증되나 역학적 특성인 부상력과 견인력 및 내진동 특성이 $\sqrt{3}$ 배 증강되며 각 궤도에 있어 $1/\sqrt{3}$ 의 부상력과 견인력만으로 2궤도 단상부상과 동일한 특성을 가지게 되므로 소용량 영구자석을 활용하는 삼상궤도(3 phase track) 이동체 시스템을 구현할 수 있다.
- [0224] 이러한 삼상궤도(13)의 특성은 교류전력 시스템에서 상전압 V_p 과 선전압 V_L 및 선전류 I 의 관계식 $P=3V_pI = \sqrt{3} V_L I$ 와 각 상간 기전력 합이 0이 되는 특성을 갖고 있어 고전압, 저전류로 전기 에너지를 3상 회로망으로 송전하여 전력손실 최소화와 부하 불균형을 없애는 대용량 송배전 전력 시스템의 활용예에서 이론적 배경의 유사성을 찾을 수 있다.

[0225] 물리학적 측면을 고찰하면 모든 물체에 작용하는 힘이 평형위치의 변위에 비례할 때 특별한 주기운동이 나타나고, 평형위치가 교란되면 진동이 발생하며 물체에 작용하는 힘 F_s 는 훅의 법칙(Hooke's law)에 따라

[0226] $F_s = -kx$ (여기서 x : 평형 상태 $x=0$, k : 힘상수)

[0227] 로 정의되고 항상 평형상태($x = 0$)를 향하는 복원력(restoring force) 발생한다.

[0228] 또한, 모든 물질은 계의 평형위치(equilibrium position)가 있고 평형위치가 교란되면 진동이 발생하고 훅의 법칙 $F_s = -kx$ 와 뉴턴 제2법칙을 적용하여 살펴보면 $-kx = ma_x$, $a_x = -k/m \cdot x$ 식에서 물체 가속도 a 는 평형위치로부터 물체의 변위 x 에 비례하고 변위 x 와 반대방향의 단조화운동(simple harmonic)을 하게 되며 튜브셔틀 등

자기부상 시스템의 거동도 다름이 없다.

- [0229] 삼상궤도(13) 자기부상 방식은 무게중심, 외심, 내심, 수심이 원통 실린더 형상인 튜브셔틀(20)의 중심축인 가상원점 $O(0, 0, 0)$ 에 모두 위치하는 안정적인 정삼각형의 기하학적 특성을 이동체에 적용하여, 자기 부상력과 견인력의 벡터합력 및 복원력을 튜브셔틀(20) 중심축으로 이동시켜 안정평형(stable equilibrium) 상태의 주행을 가능케 함으로써 초음속 혹은 아음속 초고속 주행시 이동체의 진동과 섭동(攝動)을 극소화하여 안정성을 향상시킨다.
- [0230] 본 삼상궤도(13) 방식의 튜브셔틀(20) 자기부상은 초음속 주행과 자세제어에 유리한 영구자석의 반발력(repulsive force)을 이용한 부상방식을 채택하며, 자기 부상편(144)과 자기 균형편(143) 및 자기 견인편(145)이 xyz축에 $2\pi/3$ 라디안(120도) 위상으로 배치되는 정삼각형의 특성으로 상하 좌우 전후 3차원 방향으로 자기력을 중심축에 구속하는 기하학적 특성을 보유하게 된다.
- [0231] 상기 삼상궤도(13) 방식의 자기부상 이동체 시스템은 부하변동에 강인하고 부상 위치의 변위변화가 작으며 복원력이 원점 $O(0, 0, 0)$ 으로 작용되어 계(界, system)의 댐핑(damping) 증대로 능동형 자세제어 없이도 안정된 부상 특성을 갖게 되며, 기존 2궤도 단상(single phase)방식의 불안정평형(unstable equilibrium)과 사행동(蛇行動, snake motion)을 방지하는 한편 $\sqrt{3}$ 배의 자기 부상력과 견인력을 시현하는 개선점을 갖게 된다.
- [0232] 구체적으로 도21의 정삼각형 꼭짓점 A자기편($\pi/2$)을 기준으로 살펴보면 $\pi, 2\pi$ 방향의 양 자기 부상편(244)은 xy축의 수평과 수직방향 자기 부상력을 튜브셔틀(20) 원주와 길이(z축) 방향으로 안과 밖에서 구속하고, $\pi/2$ 방향의 자기균형편(243)과 $3\pi/2$ 방향의 전자기견인편(245)은 튜브셔틀(20) 진행방향(z축)으로 좌우측에서 구속하는 기하학적 형상을 갖게 되어 자기 부상력과 견인력의 자기장(磁氣場) 벡터 \vec{B} 를 원점으로 평행이동하면 무게(gravity)중심과 모멘트(moment)의 중심점이 xyz축 3차원 방향 원점 $O(0, 0, 0)$ 에 집중되어 구속됨을 알 수 있다.
- [0233] 상기 전자기편(24)은 도 21의 전자기편뱅크(23) 단면도에서 예시하는바와 같이 튜브셔틀(20) 본체 정삼각형 꼭짓점ABC($\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$) 3개소에 재료역학적으로 완전 응력보(fully stressed beam)인 포물면(230)의 관통된 홈을 갖는 전자기편 뱅크(23) 혹은 트레인을 구성하여 튜브셔틀의 전단응력을 최대화하고, 반사 망원경이나 파라볼라 안테나와 같이 초점부분에 매립형 전자기편(24)요(凹)를 배치한 후 적층 구조강판 요크부(231)를 포물면에 취부하여 주행튜브 자기편(14)과 셔틀 전자기편(24)에서 발생하는 전자기파를 포물면에서 반사시켜 차폐하는 구조로 셔틀 내부로 유입되는 전자파를 최소화시킨다.
- [0234] 튜브셔틀 매립형 전자기편(24)요(凹) 배치형상을 정삼각형 꼭짓점A($\pi/2$) 기준으로 도22를 참조하여 살펴보면, 자기부상편(244)과 자기균형편(243)은 1m 단위 등간격으로 1번~12번에 영구자석 집합편(240)을 전자기뱅크(23)요(凹)에 배치하되 2번과 11번 자기편은 능동제어전자기편(27)으로 대체되고, 1번~12번 전자기편 편간(片間) 공간의 단위미터 위치 11개소에는 전자기견인편(245)과 회생제동 혹은 전력회생 브레이크 기능과 고속무선 충전기능의 변환코일부(28)가 안치되며, 셔틀 선두와 꼬리부분에는 유선형의 전자기 날개(wing)(22)와 1~12번 전자기편의 빈 공간에 전자기 방사판(29)을 구비한다.
- [0235] 도23, 24의 전자기날개(22)는 셔틀 선두와 꼬리부분의 반지름(R_s) 138.3820t의 반구(半球)형 해치부(hatch)(21)와 전자기편의 0.3333m 빈공간에 주행튜브(10)의 \perp 형 자기편(14)과 $\pi/4$ 위상각(θ)을 갖는 X자 유선형 전자기 날개(wing)(22)로 자속 분리기(flux splitter)로 역할을 하게 된다.
- [0236] 또한, 1~12번 자기부상편(244)과 자기균형편(243) 사이간격 0.6666m와 전자기견인편(245)과 변환코일부(28) 사이간격 0.3333m에는 전자기 방사판(29)을 연속적으로 배치하여 자속을 전자기편 공극(209)내로 반사시키는 자속 압축기(flux compressor) 기능으로 주행튜브(10) 삼상궤도(13) 자기편(143, 144, 145)의 자속을 분리하고 압축하여 자기 부상력과 견인력을 증폭시킨다.
- [0237] 전자기날개(22)의 자속분리와 압축기능은 내연기관이나 로켓엔진의 터보차저(turbocharger)와 유사한 기능으로 유선형 날개표면을 자화하거나 얇은 냉간압연강판(cold-rolled steel plates) 혹은 전자강판(magnet steel plates)을 취부하면 튜브셔틀(20) 거동시 주행튜브 자기편(14)의 자속(flux)을 각 사분면 45도 각도로 쪼개어 분할(split)하고 유선형 날개의 플럭스포일(flux foil)(220)과 전자기 방사판(29)의 표피효과에 의해 셔틀의 주행 속도에 비례하여 자속흐름이 압축된다.
- [0238] 자속분리기(flux splitter)와 자속압축기(flux compressor) 기능은 스테이터 측인 주행튜브(10) 자기편(14)의

자속밀도(Wb/m^2)와 자속에너지 밀도(J/m^3)가 낮더라도 안정적인 자기 부상력과 견인력을 유지할 수 있게 하며, 상기 효과는 전류나 전자기파가 도체매질의 표면을 따라 전파하는 성질인 전자기 표피효과(skin effect)로 전자기장의 크기가 지수함수적($e^{-z/a}$, z :도체깊이, a : 감쇠상수)으로 감소하고 전자기파가 평균적으로 침투하는 깊이인 침투깊이 δ (skin depth)는 매질표피에서 $1/e$ (37%)인 것을 고려하면 명백하다.

[0239] 또한, 튜브셔틀(20)을 견인 구동하는 전자기견인편(245)과 회생제동 기능의 변환코일부(28)는 1번~12번 전자기편(24) 편간(片間) 공간인 단위미터 위치 11개소에 구비하되, 전자기견인편(245)은 $7 \cdot 8 \cdot 7$ 개 매립공(140)의 집합편 크기인 폭 $W:9.9282t$ *높이 $H:8t$ *깊이 $D:31t$ 크기의 전자석으로 구비하여 선형스테핑모터(LSM)로 구동하게 된다.

[0240] 변환코일부(28)는 전자기견인편(245) 전후 양편에 $3 \cdot 4 \cdot 3$ 개 매립공(140) 크기인 폭 $W:9.9282t$ *높이 $H:8t$ *깊이 $D:15t$ 의 코일편을 전자기편 뱅크(23)요(凹)에 안치하여 병렬 회생제동 발전과 고속 무선충전 회로를 구성함으로써, 회생 제동력을 확보하고 여객·화물 포트나 셔틀기지 등에서 정차시 고속 무선충전 기능을 제공한다.

[0241] 상기 변환코일부(28)는 튜브셔틀(20)의 감속모드시 회생제동 발전·충전기능으로 관성부하(inertia load)에 의한 병진운동 에너지($E_k = 1/2mv^2$)를 전기에너지($E_e = NBI\omega \sin t$)로 회수하여 배터리(208)에 충전하여 제동력을 확보함으로써, 초고속 스위칭 주파수로 거동하는 선형스테핑모터(LSM)의 탈조와 공진을 예방하고 셔틀과 주행튜브에 가해지는 진동을 저감시키는 한편, 충방전 능력이 우수한 슈퍼커패시터와 배터리를 조합한 고속 무선충전 기능으로 연비를 향상시킨다.

[0242] 따라서, 고속 무선충전 기능은 여객·화물 포트나 셔틀·정비 기지 등 셔틀 정차장소 주행튜브 삼상궤도(13)의 1m 단위 자기견인편(145) 프레임인 돌출웹(135)를 세로방향으로 늘린 충전 포스트(136)에 1차 변환코일부(146)와 셔틀 감지센서 등을 부가하여 셔틀 진입시 3상 교류전력 급전(147)과 자동충전 모드로 운영함으로써 에너지 절감과 셔틀 가동률을 향상시킨다.

[0243] 이에 더하여, 2번과 11번 전자기편(24) 위치에 안치하는 능동제어전자기편(27)은 튜브셔틀의 중력자중과 승객·화물 등에 의한 부하변동과 코깅토크 등으로 발생하는 x축 롤(roll, ϕ), y축 피치(pitch, θ), z축 요(yaw, ψ) 운동에 따른 진동을 자력선속의 세기로 미세 제어하여 자기 부상력과 균형력을 보장하고 증강하여 튜브셔틀(20)의 동적특성을 더욱 개선한다.

[0244] 또한, 무게중심이 궤도상단에 위치하여 곡선구간에서 차륜부상(車輪浮上)과 탈선이 발생하는 단상궤도와는 다르게 정삼각형 꼭짓점ABC에 $2\pi/3$ 라디안(120도) 위상간격으로 궤도를 배치하는 삼상궤도(13)는, 튜브셔틀(20)의 무게와 모멘트 중심을 궤도 중심점인 원점O(0, 0, 0)에 구속하여 안정평형의 주행이 가능하나, 승차감 개선을 위해 능동제어전자기편(27)으로 셔틀의 틸팅 위상각 θ_t (tilting phase angle)을 보상하는 틸팅(tilting) 제어방법을 추가한다.

[0245] 상기 틸팅(tilting) 제어는 셔틀이 곡선 선로튜브(11)와 회전튜브 주행시 구심력 $F_c = mgs \sin \theta$ 으로 원심력 $F_c = ma_c = mr \omega^2 = mv^2/r$ 을 상쇄하는 캔트(cant, 突角) 혹은 틸트(tilt) 확보를 위해, 곡률 $\kappa = 1/\rho = d\theta/ds$ (ρ :곡률반지름, θ :회전각, s :변위)식에서 산출되는 틸팅위상 $d\theta_t = ds/\rho$ 라디안을 능동제어전자기편(27)으로 전자기편 공극(209) 범위(10mm)내에서 반시계방향(+) 혹은 시계방향(-)으로 보상하면 단상궤도에서 캔트를 주는 것과 동일한 효과가 나타나게 된다.

[0246] 상기 능동제어전자기편(27)은 목적상 부상편(244) 24개(4편*3상*2개소)와 균형편(243) 12개(2편*3상*2개소)의 집합형 전자석편 혹은 초전도자석편으로 구성하되, 초정밀 제어를 위해 총 36(24개+12개)개 전자석편이 각기 독립적으로 자속선세기를 조절하는 병렬 제어회로를 구성하여, $2\pi/3$ 라디안(120도) 위상간격으로 튜브셔틀의 $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ 변위를 원점O(0, 0, 0)에 복원(restoration)시켜 안정 평형(stable equilibrium) 상태의 삼상궤도(13) 주행을 가능하게 한다.

[0247] 특히 능동제어전자기편(27)의 제어방법은 튜브셔틀(20)의 $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ 변위를 중앙처리장치(central processing unit, CPU)와 움직임과 기울어짐을 인식하는 가속도 센서(모션센서) 및 중앙·권역 관제소의 정보와 통제로, 적재중량·주행속도·궤도상황과 곡선 선로튜브(11)와 회전튜브(30)의 커브구간 틸팅(tilting) 위상각 보상 등을 자속선의 정밀제어로 구속하여, 일반자동차의 전자제어식 현가장치(Electronic Control Suspension System, ECS)와 같은 기능으로 진동이나 충격을 흡수하여 안전성과 승차감을 향상시킨다.

- [0248] 이상의 전자기편(24) 취부구조는 주행튜브(10)측 자기편(14)과 같이 모터의 코깅토크 저감대책으로 튜브셔틀(20) z축 세로방향으로 7·8·7개 배열되는 다중 육방격자(⊙)형 벌집구조로 챔퍼링된 매립공(137)을 1m 단위로 구비하며, 각 개소당 22개 소형 영구자석 집합편(240)을 분산하여 장착하되 디지털 스위칭 작동소자인 전자기편인편(245)과 능동제어전자기편(27)은 튜브셔틀(20) 내장 배터리(208)로 여자(勵磁)되는 소형 전자석 혹은 초전도 전자석을 분산하여 장착한다.
- [0249] 도24는 반구형 해치부(21)의 단면도로, 12m 길이 전자기편(24)을 포함한 몸체(25) 양단에 반지름(R_S) 138.3820t의 반구(半球)형 해치부(hatch)(21)에 비상구(emergency exit)(212)를 마련하여 응급·재난시 구난셔틀로 탑승객의 피난통로를 확보하고, 전자기 시건장치기 구비된 도킹부(211)로 군집주행시 타 셔틀과 접촉·해체를 수행할 수 있도록 한다.
- [0250] 셔틀의 형상치수를 선로튜브(11) 외피(15) 두께인 1t 기준으로 정리하면, 주행튜브(10)와 5t의 셔틀공극(206)을 갖고 반지름(R_S) 138.3820t 외경과 12m 길이 전자기편(24)을 포함한 실린더형 몸체(25)와 양단에 반지름(R_S) 138.3820t의 반구형 해치부(21)와 길이 11.6180t의 전자기 시건장치인 도킹부(211)가 구비되는 길이 15m를 표준형 튜브셔틀(20)의 전장으로, 전자기편(24)의 길이를 15m로 늘린 확장형 튜브셔틀(20)은 18m를 전장으로 채택하여 승객과 화물 수요증가에 대비한다.
- [0251] 이동체인 튜브셔틀(20) 본체의 재료는 철 대비 40% 경량화가 가능한 알루미늄 혹은 마그네슘 합금강의 고강도 프레임으로 정삼각형 꼭짓점ABC 3개소에 재료역학적으로 완전 응력보(fully stressed beam)인 포물면(230)의 관통 홈을 갖는 전자기편 뱅크(23)를 구성하고, 알루미늄 혹은 탄소섬유 복합재(CFRP) 등의 초경량 소재의 코어(250)와 내외 편평판(25)으로 실린더형 몸체를 구성하면, 구조와 재료역학적인 특성이 원형단면을 갖는 폐구조물(closed structure)인 압력용기(pressure vessel)로 비행기 또는 압축공기 탱크와 동일한 특성을 갖게 된다.
- [0252] 원형탱크 압력용기는 원주응력 $\sigma_1=pr/t$ (p :내압, r :반지름, t :벽두께)과 축방향응력 $\sigma_2=pr/2t$ 이 작용되므로 원주응력(circumferential stress)이 축방향 응력(axial stress)의 두 배가 되며, 셔틀의 내압이 주행튜브의 진공의 압을 초과하는 운용여건에 따라 음정현과 주름판(250) 코어와 내외 편평판이 바깥층(face)(25)을 이루는 3중 재료 몸체로 원주응력 σ_1 을 갖게 하고, 양단은 내압을 견디는 이상적 형태인 반구(half sphere)형 해치부(21)로 축방향 응력 σ_2 특성을 갖게 한다.
- [0253] 도20은 튜브셔틀의 단면도로, 음정현과 주름판(250) 코어와 내외 편평판(25)은 0.5t 두께 알루미늄이나 탄소섬유 복합재(CFRP)의 샌드위치판으로 몸체를 형성하되, 코어인 음정현과 주름판(250)의 형상치수는 튜브셔틀(20) 외경 반지름(R_T)이 138.3820t 일때 원주면 둘레 $869.4797t(2\pi R_T)$ 와 원주면 주름수 180개의 경우 1 리플폭은 $4.8304t(869.4797t/180)$, 리플높이는 $2.4152t(4.8304t/2)$ 가 된다.
- [0254] 코어인 음정현과 주름판의 마루와 바깥층(face) 혹은 외벽인 편평판(25) 사이 반원형(⊖) 내부공간(251)에 표준($D:18mm*H:65mm$ 혹은 $D:21mm*H:70mm$) 원통형 리튬이온 배터리(208)를 배열하고, 호흡용 산소와 초전도 전자석 채택시 액체헬륨 혹은 질소 등을 초소형 실린더형 압력용기(207)에 충전하여 세로방향으로 길게 적재하면, 별도 설치공간 없이 대량 배터리와 기체를 튜브셔틀 몸체 원주면에 폭넓게 분산하여 배치할 수 있어, 별도 적재공간이 소요되는 파워치형 전지와 가스용기의 고집적화로 발생하는 발열과 폭발문제를 해소하고 하중을 이동체 원주표면으로 확산하여 무게중심이 분산되는 부수적 효과를 거양할 수 있다.
- [0255] 또한 이동체 원주면 $7\pi/6 \Leftrightarrow 11\pi/6$ 에는 보조바퀴(26)와 제어회로(205) 등의 기계장치를 배치하고 $\pi/2 \Leftrightarrow 11\pi/6$ 과 $\pi/2 \Leftrightarrow 7\pi/6$ 양 측면에는 셔틀 출입문(202)을 배치하며, $\pi/2$ কে도편 양 측면에는 공조설비(203)와 초전도 전자석 구동을 위한 냉각시스템(204)을 구비하며, 상기 자기 부상편(244)과 자기균형편(243)은 Nd계 희토류 영구자석으로, 전자기편인편(245)은 전자석을 구비하여 배터리(208)로부터 여자 전류를 공급받아 전자기력을 생성한다.
- [0256] 모든 형태의 발전기나 전동기(motor)는 회전자(rotor)와 고정자(stator) 및 공극으로 구성되는 자기회로에서 톨력턴스(L)가 최소인 방향으로 유지하려는 특성과 회전자가 구동할 때 자계의 불균형에 의해 발생하는 토크의 최대치와 최소치의 차이값으로 정의되는 맥동토크이자 가진력(excitation force)인 코깅토크(cogging torque)는 진동과 소음의 원인이 되므로 저감대책이 반드시 필요하다.
- [0257] 본 발명의 자기부상 이동체인 튜브셔틀(20)은 상기 제1 실시예의 자연계 벌집구조의 집합형 집합편(140) 형상을 로터(rotor) 기능인 이동체에도 그대로 적용하여 소형 링형 영구자석과 전자석을 집합편으로 분산 장착함으로써

정규분포(正規分布)형 자력선 분포 특성을 갖게 하여 자속 에너지 증대와 진동과 소음의 원인이 되는 코깅토크 억제 대책으로 활용한다.

- [0258] 정리하면 상기 로터(rotor)인 서틀의 전자기편(24)요(凹)는 대향하는 주행튜브(10) 자기편(14) 철(凸)과 전자기편 공극(air gap)(209) 1t를 두고 상하 혹은 좌우 2개 링형 영구자석 집합편(240)으로 자기회로를 구성하되, 정삼각형 꼭짓점 A자기편($\pi/2$)을 기준으로 $3\pi/2$ 방향 돌출웨브(135) 대향위치의 요(凹)는 좌우 2편의 전자석 집합편을 구비하여 전자기편인편(245)의 기능을 담당하게 한다.
- [0259] 한편 영구자석 자화 방향을 다르게 배열하는 할박배열(Halbach arrays) 기술을 채용한 수동 자기부상 시스템인 인덕트랙(Inductrack)방식이 하이퍼루프(The Hyperloop)에서 검토되고 있으나, 영구자석 자속(flux)의 정확한 방향 및 배열이 지난한 실용성 문제와, 동일 출력을 얻기 위해 평행 착자형 영구자석 대비 두 배 이상의 체적이 필요하고 동손증가와 역기전력 파형의 고조파 성분이 크게 증가하여 토크가 크게 감소하는 문제와 경년열화(經年劣化)에 의한 감자(demagnetization)특성이 열악한 구조적 문제를 내포하고 있다.
- [0260] 따라서 본 발명은 튜브서틀(20) 전자기편(24)의 구조를 평행착자(parallel magnetization)된 2개 영구자석 직결 체결하거나 전자석 후단에 요크(yoke)부(231, 232)를 접속하여 직렬 연결함으로써 1개 전자기편으로 자기회로를 구성하여 누설자속을 최소화하고 유효자속을 증대하여 전자기장 벡터 \vec{B} 선속을 강화한다.
- [0261] 튜브서틀 전자기편(24)의 직렬연결 방법을 정삼각형 꼭짓점 A자기편($\pi/2$)을 기준으로 살펴보면, $\pi, 2\pi$ 방향 양 자기부상편(244)과 $\pi/2$ 방향의 자기균형편(243)은 링형 영구자석의 끝단을 45도 각도로 절단 가공하여 N-S 혹은 S-N극으로 극성을 다르게 프레임(24)에 매립하는 자동체결 방법으로 조립하면, 직각이등변 삼각형 한 꼭짓점 혹은 모가 잘린 사각형의 집합편으로 되어 챔퍼링된 직렬 영구자석 집합편(240)으로 완성된다.
- [0262] 또 구조적으로 열린 전자기 회로가 되는 튜브서틀 원점방향 $\pi, 2\pi$ 양 자기부상편(244)과 $3\pi/2$ 방향 전자기편인편(245)은 포물면 원호의 형상에 따라 사다리꼴의 사각형으로 모가 잘린 챔퍼링된 영구자석편 및 전자석편을 구비한 후, 후단부를 강자성체인 적층 구조강판 요크(232)로 접속하여 누설자속 ϕ (leakage flux)이 발생하지 않도록 한다.
- [0263] 상기 $3\pi/2$ 전자기편인편(245)은 튜브서틀에 내장된 리튬이온 배터리(208) 등 고용량 배터리 전원에서 여자전류를 공급받아 변조한 스위칭 펄스를 인가하여 NS극을 교호 스위칭 함으로써 스테이터인 주행튜브(10) 돌출웨브(135)의 영구자석인 자기 편인편(145)과 선형스테핑모터(LSM) 방식의 구동력을 발생시킨다.
- [0264] 따라서, 상기 자기부상 이동체인 튜브서틀(20)은 주행튜브(10)측 1m 단위 플렌지(131)와 1/3m 단위 + 형 자기편 프레임(130)으로 구성되는 대시선(dash line) 형상(- - -) 불연속 디지털 삼상궤도(3 phase track)의 자기편(140) 철(凸)과 동기를 유지하며 스위칭 주파수에 따라 전진 또는 후진하는 선형스테핑모터(LSM)방식의 구동 형태를 특징으로 한다.
- [0265] 선형스테핑모터 구동방식은 제어펄스 신호에 따라 특정각도 만큼 회전하는 동기전동기로 1초당 입력펄스 수(펄스 레이트)에 비례하는 속도제어로 기동, 정지, 정-역회전, 변속이 용이하며 주행거리의 오차가 누적되지 않고 정지시 매우 큰 정지토크(detent torque)를 갖는 등 본 발명의 1m 단위 불연속 디지털 궤도 특성과 잘 부합되고 디지털 제어회로와 조합이 용이하므로 수치제어(numerical control, NC) 통합관제와 인공지능(AI) 제어시스템 구축이 비교적 용이하게 된다.
- [0266] 한편, 비행기와 같이 튜브서틀(20)의 출발·도착과 서행·정차 혹은 비상시에 튜브서틀 실린더 III, IV사분면에 보조바퀴(auxiliary wheel)(26)를 장착하여 바퀴 내림 모드로 전환하면, 제1 태양 보조궤도(auxiliary track)(16)에 마찰력으로 구동하는 '활주주행 모드' 기능을 구비함으로써 튜브서틀의 출발·도착·화물적재·정비·격납·충전기능을 보조하게 한다.
- [0267] 도12는 보조궤도(16)와 '활주 주행모드'의 보조바퀴(26)를 예시하며, 보조바퀴는 튜브서틀 원주면 III사분면은 $4\pi/3$, IV 사분면은 $5\pi/3$ 에 위치시키고 바퀴간 윤거(輪距, tread)는 $\pi/3$ 의 원호길이를 갖게 함으로써 튜브서틀(20)을 정육각형에 내접시킬 경우 환산되는 현의 길이와 같으며 본 발명의 바퀴간 윤거 형상치수는 튜브서틀(20)의 반지름(R_s)인 138.3820t로 주어진다.
- [0268] 상기 보조바퀴(26)와 활주주행 모드의 필요성은 물리학적으로 '물체의 가속도 a는 질량m에 반비례하고 물체에 작용한 힘F에 비례한다'는 뉴턴의 제2법칙(Newton's second law)

$$\vec{a} \propto \frac{\sum \vec{F}}{m}, \quad \sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \text{과}$$

[0269]

벡터 표현인 세 개의 성분식으로 나타낸

[0270]

$$\sum F_x = ma_x, \quad \sum F_y = ma_y, \quad \sum F_z = ma_z \quad \text{을}$$

[0271]

관련지어 고찰하면 튜브셔틀(20)의 바퀴내림에 의한 활주주행 모드는 xy축의 추가 부상력과 z축의 추가 견인력을 제공하여 튜브셔틀의 가속도 \vec{a} 와 힘 \vec{F} 을 증대시켜 과도상태(transient state)의 불안정평형(unstable equilibrium) 시간을 단축하는 이론적 기반이 된다.

[0272]

위의 이론은 '관성기준틀(inertial frame of reference)에서 볼 때, 외력이 없으면 정지해 있는 물체는 정지상태를 유지하고, 등속직선 운동하는 물체는 계속해서 그 운동 상태를 유지한다'는 뉴턴의 제1법칙에 따라 튜브셔틀(20)의 활주주행 모드와 전자기견인편(245)의 이중 주행모드 운행으로 정상상태 응답(steady state response)과 안정평형(stable equilibrium) 상태인 정격 등속운동 상태 도달 소요시간을 단축하는 요소기술로 활용할 수 있게 된다.



[0273]

튜브셔틀(20)의 활주주행 모드는 출발과 도착 및 서행주행 등 과도상태(transient state)운행에 한하여 적용하며, 셔틀 외피(25)와 음정현과 주름판(250) 코어 사이에 내장된 리튬이온 배터리(208)에서 보조바퀴(26) 구동동력을 공급받아 선형스테핑모터에 인가되는 펄스 주파수와 동기되는 바퀴굴림 모드로 구동한다.

[0274]

보조바퀴(26) 구동방식은 구동축(266)과 베어링(267)을 구비한 스테핑모터인 로터(268)와 스테이터(269)를 휠인 모터(wheel in motor)(260)에 내장하며, 15m 표준길이 튜브셔틀 좌우에 2개씩 4개 보조바퀴(26)를 장착하여 부하 균등화(load balancing) 및 과도상태(transient state) 운행시 전자기견인편(245)의 거동을 보조하는 이중주행 모드로 운용한다.

[0275]

보조바퀴(26)의 단면형상과 치수는 제1실시예의 보조궤도(16)인 5개 리플 턱과 오목형(凹) 홈() 폭인 26.1795t (5.2359t*5)로 하고 3개 철(凸)의 트레드(tread)(161)와 2개 어깨(shoulder)부(163)를 접지면으로 하는 볼록형()의 형상(261, 262)을 취하며, 크기는 $2\pi R = 2m$ 의 원주율을 갖는 반지름 0.318309m($R=1/\pi$) 크기의 바퀴(26)를 채택한다.

[0276]

따라서 보조바퀴(26) 1/2 회전(π) 당 주행거리($L=2\pi R$)를 주행튜브(10)측 플랜지(131) 길이인 1m와 동일한 활주주행 거리를 갖게 하되 휠인모터(260)의 스테핑모터(268, 269) 인가 펄스는 전자기견인편(245) 인가 펄스를 정수배(整數倍)로 체배(遞倍)하는 마이크로 스텝 운전으로 부드러운 출발(soft start)과 정지로 승객과 셔틀에 가해지는 충격을 완화한다.

[0277]

고출력 선형스테핑모터(LSM)는 필연적으로 수반되는 구동초기 과도한 코깅토크(cogging torque)의 저감대책이 필요하고 셔틀의 출발·정지와 가속·감속과 같은 과도상태는 자기부상 궤도와 이동체 운행의 불안정성 문제를 야기하게 되므로 보조궤도(16)와 보조바퀴(26)를 활용한 이중주행 모드는 삼상궤도(13)에 의한 원점 복원력을 기계적 평형과 균형으로 보조하는 유효적절한 해법이다.

[0278]

이상의 튜브셔틀(20) 보조바퀴(26)는 비행기가 이륙에 필요한 양력을 얻기 위해 활주로를 주행하는 것과 같이 튜브셔틀(10)의 활주주행은 안정평형에 이르는 관성력(慣性力, inertial force)획득과 선형스테핑모터(LSM)의 로터(rotor)인 전자기견인편(245)의 코깅토크 저감과 진동 및 섭동 등의 과동에너지를 선로튜브(11)와 튜브댐퍼(19)를 통해 대지로 환류시키는 불요 에너지파 접지 통로(channel)의 기능을 갖게 된다.

[0279]

상기 실린더 형상 자기부상 튜브셔틀(20)은 출발·가속·등속운동·감속과 회생제동·정지와 같은 셔틀운행의 전 과정을 표준 스테핑 각도(길이)인 1m 단위 거리를 주행하는 펄스개수로 조절하는 단일요소 함수 알고리즘과 수치제어(numerical control, NC)에 의한 통합관제를 실시하여 셔틀운행의 인공지능(AI) 시스템 운행시 직관성과 프로그램의 용이성을 갖게 한다.

[0280]

바람직하게는 튜브셔틀(20)은 12m 단위 길이의 전자기편(24)을 갖는 15m 표준 이동체로 구성하여 진공 주행튜브(10)측 1m 단위 표준궤도와 동기를 맞추며, 인가되는 스위칭 펄스 개수만으로 단위구간 운행을 완성하는 직관적인 수치제어 체계와 중앙과 권역별 관제소의 인공지능(AI) 프로그램으로 목적하는 노선으로 스위칭되는 자율주행(autonomous driving) 시스템으로 구현함이 바람직하다.

[0281]

[0282] 요약 정리하면, 본 발명의 실린더형 선형스테핑모터(LSM)방식의 자기부상 이동체인 튜브셔틀(20)은 양정현과 주름관 주행튜브(10)에 내접하는 정삼각형 꼭짓점 $ABC(\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6)$ 의 자기편(140)철(凸)과 이에 대향하는 튜브셔틀(20)의 매립형 자기편(240)요(凹)가 정삼각형으로 정렬되는 삼상궤도(13) 방식이다.

[0283] 이는, 삼상궤도(13) 방식의 자기편(140, 240) 요철(凸凹)간 균등한 척력의 작용으로 3차원 원통좌표계의 가상원점 O 와 중심축으로 반발력을 구속함으로써, 튜브셔틀의 무게중심과 모멘트중심의 벡터합력과 복원력이 z 중심축에 구속되고, 단상 부상방식보다 궤도 재료비는 50% 할증되나, $\sqrt{3}$ 배의 부상력과 견인력 및 내진동 특성을 갖게 되므로 $1/\sqrt{3}$ 의 부상력과 견인력만으로 2궤도 단상부상과 동일한 특성을 가지게 된다.

[0284] 기존 2궤도 단상(single phase) 자기부상 기술은 1차원 x 축 $(-1, 0), (1, 0)$ 에 궤도가 위치하고 사각형 이동체 구조로 정지시 중립평형(neutral equilibrium)과 운행시 불안정평형(unstable equilibrium)상태의 기하학적 특성으로 무게중심(center of gravity)과 모멘트중심(center of moment)이 이동체 원점 O 에 집중되지 않아 초고속 운행시 이론궤도와 바퀴에서 나타나는 사행동(蛇行動, snake motion)과 유사한 진동이나 섭동이 나타나는 문제점을 내포하고 있다.

실시예 3

[0285] 제3 실시예에서는 제1태양의 양정현과 주름관의 선로튜브(11)를 지선으로 접속하는 분기와 교차선로나 승객 승하차와 화물을 적재하는 튜브포트(역)·셔틀기지 등 다지점 운행 네트워크를 지원하는 교차점(switching or routing node)의 스위칭튜브·회전튜브와 궤도 굴절편 및 표준 접속로 모델의 형상(topology)과 진공격벽의 구성방법 등을 제시한다.

[0286] 본 발명의 기본 실시예는 천해와 심해와 같은 해저지형의 선로튜브(11) 건설과 육상의 대심도 터널굴착과 튜브 시공은 많은 투자비가 소요되는 프로젝트로 100년 이상의 트래픽 수요와 장기간 공기 및 미래 신교통 비전으로 백년대계의 장기비전이 필요하므로 접속·분기구간 등의 튜브망 건설은 기본적으로 4 방향 접속로를 구축함으로써 격자형(matrix, grid) 간선망 구축의 기반을 구축한다.

[0287] 기본 7선로튜브(7 line tube)(11)는 상층 2, 중층 3, 하층 2개의 주행튜브(runway tube)(10)가 수평면에 연결하는 육방격자형 구조물로 상층부는 보통노선, 중층부 3개 튜브는 중앙의 1개 유지보수용 튜브와 2개 급행노선, 하층부 2개 튜브는 화물 겸 보통 노선으로 설계됨이 바람직하며 우측과 좌측선로로 구분하여 우측주행을 기본으로 한다.

[0288] 도 28에 예시하는 표준 접속로 모델은 고속도로 인터체인지와 일반도로 로터리 시설물의 설계개념을 궤도 트래픽에 적합한 방식으로 개선하여 4개 회전튜브(30)와 본선 선로튜브(11) 접점 부분에 궤도 굴절편인 교차형(交叉型) 스위치(Cross over Switch, XoS)(32)를 구비한 스위칭튜브(31)로 구성되는 표준 접속로 모델을 안출하여 7중 혹은 19중 선로튜브(11)의 상호분기와 접속을 무정차, 무대기로 설계하여 초고속 운행에 필요한 기능을 지원한다.

[0289] 자세하게 4개 회전튜브(30)는 xy 축 좌표평면에서 살펴보면 원의 방정식 $(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$ 에서 I사분면 $(1, 1)$, II사분면 $(-1, 1)$, III사분면 $(-1, -1)$, IV사분면 $(1, -1)$ 에 각기 원점을 갖는 단위반지름 1R의 도넛형 튜브로 x 축 $(1, -1)$ 과 y 축 $(1, -1)$ 에 교점을 갖는 회전 교차로이며, 각각의 회전튜브(30)는 우회전과 P 좌회전 트래픽 및 xy 축 본선진입을 위한 순환대기 트래픽을 처리하게 된다.

[0290] xy 축 본선 선로튜브(11)와 4개 회전튜브(30)의 접점에 설치되는 스위칭튜브(31)의 교차형스위치(XoS)(32)는 타선향 분기 스위칭 릴레이(outbound SW relay)와 타선에서 본선향 합류 스위칭 릴레이(inbound SW relay) 겸용 스위칭설비로 가능하며, xy 축의 I사분면은 $2\pi, \pi/2$, II사분면은 $\pi/2, \pi$, III사분면은 $\pi, 3\pi/2$, IV 사분면은 $3\pi/2, 2\pi$ 점에 교차형스위치(XoS)(32)가 안치된다.

[0291] 이때, 교차형스위치(XoS)(32)가 안치되는 선로튜브(11)와 회전튜브(30) 접점 구간은 상기 스위칭 회로 작동시 수평 연결하는 궤도간은 문제가 없으나, 수직방향 상중하로 배치된 상층(1·6번)-중층(2·0·5번)-하층(3·4번) 주행튜브(10)간 엉킴 현상이 발생되므로 y 축 방향 상하튜브를 적절하게 이격하고 궤도 굴절편인 교차형스위치(XoS)(32)를 구동하는 액추에이터(320)가 구비되는 별도 사양의 "스위칭튜브(31)"가 필요하다.

[0292] 도25는 교차형스위치(XoS)(32)가 안치되는 접점구간 스위칭튜브(31)의 단면도로, 1개 선로튜브(11)와 2개 회전튜브(30)가 하나로 결합되는 3중 튜브의 묶음형 튜브(bundled tube) 형상을 갖게 되며, 동심원 회전튜브(30)의

0번 튜브 위치에 각 회전튜브(30)의 좌측 2번 튜브 혹은 우측 5번 튜브를 배치하여 상층부에 6개, 중층부에 7개, 하층부에 6개 주행튜브(10)가 구비되는 6·7·6 구조를 갖는다.

- [0293] 따라서 스위칭튜브(31) 배치는 상층에는 회전축 6·1번과 선로축 6·1번과 회전축 6·1번 튜브케도를, 중층에는 회전축 5·2번과 선로축 5·0·2번과 회전축 5·2번 튜브케도를, 하층에는 회전축 4·3번과 선로축 4·3번과 회전축 4·3번 튜브케도를 배치하여, 케도간 수평면에서 나란히 교차형스위치(XoS)(32) 회로를 구성하게 된다.
- [0294] 또한, 스위칭튜브(31)는 튜브간 격벽인 주행튜브(10) 양정현과 주름관(101)과 편평관외피(15)를 제거하고 y축 방향 상하층의 주행튜브(10) 상호간을 이격시켜 상하층 튜브간 엉킴 현상을 제거하는 한편, 교차형스위치(XoS)(32) 구동 액추에이터(320)와 케도지지 프레임(321)을 일체화한 4개의 묶음형 프레임(bundle frame)(323a, 323b, 323c, 323d)으로 결속한 후 2~3중 타원형 양정현과 주름관(311)과 편평관(312)으로 둘러싸는 강화튜브로 스위칭튜브(31)를 구성한다.
- [0295] 이를 위해 0번튜브(0, 0)와 급행노선인 중층 2번, 5번튜브를 기준으로 상층인 1번튜브, 6번튜브는 위쪽으로, 하층인 3번튜브, 4번튜브는 아래쪽 방향으로, 주행튜브(10)의 단위반지름 $1R$ 을 기준으로 할 때 각기 상하로 $R(\sqrt{3}-1)$ 의 간격을 이격시키면 각 튜브의 원점이 정삼각형 꼭짓점 ABC 에 위치하는 연결된 상하층 튜브간 엉킴을 제거할 수 있다.
- [0296] 이는 $1R$ 의 단위원 3개를 연결하여 각 원점을 정삼각형의 꼭짓점 ABC 으로 할 때 각 변의 길이는 $2R$ 이 되고 직각 이등변 삼각형의 밑변이 $1R$ 일 때 높이는 피타고라스 정리 $a^2+b^2=c^2$ 에 따라 $1:\sqrt{3}:2$ 비율에서 $\sqrt{3}R$ 로 주어지므로 상층과 중층 및 하층 주행튜브(10)간 최소 $R(\sqrt{3}-1)$ 의 이격간격이 필요하게 된다.
- [0297] 이에 더하여 교차형스위치(XoS)(32) 구동 액추에이터(320)와 삼상케도(13)지지 구조물인 프레임 두께 t_F 간격을 더한 $R(\sqrt{3}-1)+t_F$ (t_F : 프레임 두께) 이격시키면 주행튜브(10)간 엉킴을 해소하여 수평 연결 케도간 교차형스위치(XoS)(32)로 튜브 서틀(20)의 상호분기와 접속을 처리할 수 있게 된다.
- [0298] 재료역학적으로, 재료의 양을 최소화하고 가벼운 보를 구현하기 위해서는 모든 단면에서 최대허용 굽힘응력(bending or flexure stress)을 갖는 완전 응력보(fully stressed beam)나 일정강도의 보(beam of constant strength)이며, 보(beam)의 높이 h_x 가 x 의 제곱근 $h_x = h_b \sqrt{x/L}$ (h_b :보의고정단의높이, L :보의길이)에 따라 변하는 포물선 형상을 갖게 된다.
- [0299] 상기 4개 묶음형 프레임(323a, 323b, 323c, 323d)을 두 점의 원점을 갖는 타원형으로 결속하고 실시예1의 강화 튜브와 같이 타원형 양정현과 주름관(311)과 타원의 편평관(312)으로 감싸는 통짜구조의 스위칭튜브(31)는 대기압과 중력이 작용하는 육상구간 교차점의 스위칭튜브(31)로 적용한다.
- [0300] 반면 유체인 바닷물의 높은 수압과 부력(buoyant force)이 작용하는 해저구간의 스위칭튜브는 육상구간 스위칭 튜브(31)의 외피(312)를 타원형 양정현과 주름관(311)과 편평관(312)으로 다시 감싸는 2~3중 강화 스위칭튜브를 채택하여 전단응력 τ 과 굽힘응력 σ_x 을 증대하여 심해의 높은 수압과 부력을 극복한다.
- [0301] 교차형스위치(XoS)(32)가 위치하는 스위칭튜브(31)의 형상치수를 $300t$ 의 주행튜브(10)와 선로튜브(11) 외피두께 $1t$ 를 기준으로 살펴보면, 우선 상하층 케도간 엉킴현상 해소를 위한 최소 이격거리는 $R_2(\sqrt{3}-1)$ 에서 $150(\sqrt{3}-1)t=109.8076t$ 로 주어지고 상하층 굴절편 구동 액추에이터(320)와 삼상케도(13)지지 구조물인 프레임 두께 t_F 로 $40t(20t+20t)$ 일 때, $R(\sqrt{3}-1)+t_F$ 에서 산출되는 100m단위 표준 스위칭튜브(31) 케도의 최적 이격간극은 $150t(109.8076t+40t)$ 값을 중층부 상하 이격간극으로 삼으며 0.015 라디안인 0.8594° 기울기의 경사각($\tan \theta$)을 갖게 된다.
- [0302] 또한, 상층부 튜브 윗면(A)과 하층부 튜브 아랫면(B)의 굴절편 구동 액추에이터(320)와 삼상케도(13)지지 구조물인 프레임의 두께 $20t$ 와 액추에이터(320) 구동을 위한 배터리와 제어부 및 통신부 등의 부가장비를 전이중 시스템(A/B)으로 구비하는 기계실(machine room)(319)용으로 각기 $140t$ 를 할당하여 스위칭튜브(31)의 프레임을 구성한다.

- [0303] 상기 형상치수를 종합하면, 수직축상 3개 주행궤도 층을 포함한 스위칭튜브(31) 프레임의 높이는 1300t가 되고 중층부 7주행튜브(10)의 폭은 2100t(300t*7)이므로, 폭과 높이의 비율이 대략 1.615로 황금비 ϕ 인 1.618에 근접하게 되며 이 황금비율 직사각형에 내접하는 타원형 스위칭튜브(31)로 구현하면 완전 응력보인 포물선 구조를 좌우로 겹친 안정적인 기하학적 형상을 갖게 된다.
- [0304] 상기 원형의 선로튜브(11)와 y축에 초점이 있는 타원형 경사튜브(36) 및 x축에 초점이 있는 타원형 스위칭튜브(31)의 형상은 기하학적으로 모두 2차 곡선으로 xy 좌표의 수식은 $ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0$ (a,b,c,d,e,f는상수)으로 포물선(parabola)은 $y = ax^2 + bx + c$, 원(circle)은 $x^2 + y^2 = r^2$, 타원(ellipse)은 $x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$ 과 이심률(離心率, eccentricity) $E = \sqrt{1 - b^2/a^2}$ 로 주어진다.
- [0305] 한편 타원의 원주길이는 $\pi[1.5(a+b) - \sqrt{ab}]$ ($a/3 \leq b \leq a$ 일 때, a: 장축 반지름, b: 단축 반지름)로 선로튜브(11)의 플랜지 역할을 하는 스위칭튜브(31) 프레임(323)의 원주길이는 $5,415.6797t \approx \pi[1.5(1,050 + 650) - \sqrt{1,050 \times 650}]t$ 가 되며, 타원의 원주면 주름 개수를 360개로 할 때 1리플 폭은 15.0435t (5,415.6797t/360), 리플 높이는 7.5217t(15.0435t/2)가 된다.
- [0306] 따라서 주름관 두께 1t와 편평관 두께 1t를 감안한 스위칭튜브(31)의 장축지름a은 2,119.0435t [2,100+(2*7.5217)+(1+1+1)]t, 단축지름b은 1,319.0435t [1,300+(2*7.5217)+(1+1+1)]t, 스위칭튜브의 원주면 길이는 $5,474.6430t \approx \pi[1.5(1,059.5217 + 659.5217) - \sqrt{1,059.5217 \times 659.5217}]t$ 와 이심률 $E = \sqrt{1 - b^2/a^2}$ 은 0.7826으로 주어지며 대기압과 중력이 작용하는 육상구간의 스위칭튜브(31)로 활용함이 바람직하다.
- [0307] 도 26은 강화 스위칭튜브 단면도로, 상기 스위칭튜브(31) 외피(312)에 양정현과 주름관(311)과 편평관 외피(312)를 한 겹 더 보강하는 1차 강화 스위칭튜브(181)를 상기 타원형 스위칭튜브(31)계산식에 적용하면, 장축지름a은 2,138.0435t, 단축지름b은 1,338.2073t 원주길이 5,533.7332t와 이심률 $E = \sqrt{1 - b^2/a^2}$ 은 0.7799로 연근해 구간의 스위칭튜브로 적합하다.
- [0308] 1차 강화 스위칭튜브(31C1)를 양정현과 주름관과 편평관을 한 겹 더 보강하는 2차 강화 스위칭튜브(31C2)는 장축지름a은 2,157.4149t, 단축지름b은 1,357.5787t로 주어지고 원주길이는 5,593.7610t와 이심률 $E = \sqrt{1 - b^2/a^2}$ 은 0.7771로 높은 수압이 작용하는 대심해용 스위칭튜브로 적용함이 바람직하다.
- [0309] 이에 더하여, 선로튜브(11)와 스위칭튜브(31)의 급행 노선인 5·0·2번 튜브는 수평면을 유지하나 상층부 6·1번 튜브와 하층부 4·3번 튜브는 150t의 높이 차이가 발생되므로 이를 극복하기 위한 수단을 마련하여 상하층 주행튜브(10)를 주행하는 튜브셔틀(20)의 주행품질을 향상시키는 대책이 요구된다.
- [0310] 이를 위해 선로튜브(11)와 스위칭튜브(31) 중간에 완만한 상향·하향 기울기를 갖는 경사튜브(ramp tube)(36)를 구비함으로써 스위칭튜브(31) 점점 부분의 튜브 꺾임을 해소하여 직진 트래픽의 정속주행 유지와 셔틀주행의 요동을 저감시키는 한편 선로와 이동체에 가해지는 충격과 응력을 저하시켜 극한하중 또는 허용하중 보다 낮은 응력상태에 반복적으로 노출되어 발생하는 과단되는 피로파괴를 예방하는 수단을 마련한다.
- [0311] 경사튜브(36) 구현방안은 선로튜브(11)의 상중하층 주행튜브(10)간 점점의 마름쇠꼴 췌기의 높이를 순차적으로 상향 또는 하향시키고 그 이격공간을 제1실시예의 보조채움관(12)과 폼(foam)재(129)로 충진한 후 y축에 초점이 있는 타원형의 경사튜브로 구현하면 요구되는 전단응력 τ 과 굽힘응력 σ_x (bending stress)을 증대할 수 있다.
- [0312] 선로튜브(T_L)·경사튜브(T_R)·스위칭튜브(T_S)·경사튜브(T_R)·선로튜브(T_L) 순차로 접속되는 교차점의 튜브구성은 스위칭튜브(31)의 형상치수에서 산출된 기울기경사각($\tan \theta$)인 0.015(0.8594°)라디안의 구배를 100m 표준 단위 길이 튜브를 (T_L)·3(T_R)·3(T_S)·3(T_R)·(T_L) 개로 배치하면 기울기(句配, grade, gradient)가 완만한 포화곡선형으로 할 수 있기 때문에 xy축 교차점의 표준 접속로 모델에 적용함이 더욱 바람직하다.
- [0313] 한편 교차점의 4개 회전튜브(30)는 도넛(doughnut)형으로 본선 점점의 3단 교차형스위치(XoS)(32)가 안치된 스

위칭튜브(31)와 함께 시설하여 분기(outbound)와 합류(inbound)의 2단계 스위칭으로 각기 직각방향의 우회전 트래픽을 처리하고, 좌회전 트래픽은 xy축 교차점 통과 후 스위칭튜브(31)의 본선분기(outbound)와 타선 스위칭튜브 합류(inbound) 교차형스위치(XoS)(32)를 경유하는 P형 회전(P turn)의 2단계 스위칭으로 좌회전을 완성하게 된다.

[0314] 또한, 4개 회전튜브(30)는 시계방향 회전(⤵)으로 트래픽을 처리하며, I사분면 $\pi/2, 2\pi$, II사분면 $\pi/2, \pi$, III사분면 $\pi, 3\pi/2$, IV사분면 $3\pi/2, 2\pi$ 에 교차형스위치(XoS)(32)를 구비한 스위칭튜브(31)로 회전튜브(30)의 외선(#4,5,6번 튜브)과 내선(#1,2,3번 튜브)을 상호 스위칭하면 회전대기 용량의 두 배 증대와 필요시 4방향 직선선로를 접속하여 4통8달 스위칭노드 구축의 기반시설로 활용한다.

[0315] 상세한 트래픽 처리 과정을 도28을 참고로 살펴보면, 본선 y축 스위칭튜브(31Y)와 IV사분면 회전튜브(30)의 접점인 $3\pi/2$ 교차형스위치(XoS)(32)에서 우현방향 타선 진출은 일반도로의 우회전 개념과 유사하게 본선 주행튜브(10)의 삼상궤도(13)를 1/2 우현 이동하고 회전튜브(30)의 삼상궤도(13)를 1/2 좌현이동하여 스위칭회로를 구성하는 교차형스위치(XoS)(32)를 통하여 우회전과 좌회전 트래픽을 본선 스위칭튜브(11Y)에서 분리한다.

[0316] 상기 Y본선 스위칭튜브(11Y)에서 분리된 우회전 트래픽은 회전튜브(30)를 $\pi/2$ 의 원호길이를 우현으로 주행하여 타선인 x축 스위칭튜브(31X) 2π 교차형스위치(XoS)(32)를 경유하여 타선인 y축 스위칭튜브(11Y)와 합류(inbound)되어 우회전 스위칭을 완성한다.

[0317] 한편, 본선 y축 스위칭튜브(31Y)에서 타선좌현 x축 방향(31X)의 좌회전 트래픽은 xy 교차점(O) 통과 후 y축 스위칭튜브(31Y) $\pi/2$ 교차형스위치(XoS)(32)에서 본선 분기(outbound)후 $3\pi/2$ 원호길이를 주행 후 x축 스위칭 튜브(31X) 2π 교차형스위치(XoS)(32)를 경유하여 x축 스위칭튜브(31X)와 합류(inbound)하는 P 회전(P turn)의 수순으로 좌회전 스위칭을 완성한다.

[0318] 본 발명의 타선 접속용 이동궤도로 궤도 굴절편인 교차형스위치(XoS)(32)는 2 세그먼트형 굴절편으로 좌우 절반씩 이동하여 분기·합류선로를 완성하게 되고, 단상궤도인 기존 철도나 자기부상 방식에서 다른 레일로 유도하는 장치인 분기기(turnout or switch) 혹은 전철기(轉轍器)와 대비할 때 굴절편의 접힘 각도를 절반(1/2)으로 줄이고 궤도가 분기되는 텅레일(tongue rail)과 크로싱(crossing)부 및 호륜궤도(guard rail)를 제거할 수 있어 고속주행을 유지하면서 분기·합류 트래픽을 처리할 수 있다.

[0319] 2 세그먼트형 굴절편인 교차형스위치(XoS)(32)의 작동원리를 도 32를 참조하여 살펴보면 연결하는 타 궤도와 스위칭 회로구성을 출향(出向)측 굴절편(324)에서 1/2 좌우(↖↗)로, 입향(入向)측 굴절편(325)에서 1/2 좌우(↘↙)로 굴절시켜 스위칭회로를 구성하며, 이때 굴절되지 않는 연결궤도 내측궤도(326)도 좌우로 동시에 굴절(↖↗, ↘↙)시켜 스위칭 공간을 마련하며, 스위칭 굴절편(324, 325, 326)의 작동은 액추에이터(320)를 삼상궤도(13)에 취부하여 중앙과 권역관제소의 인공지능(AI) 프로그램으로 통제한다.

[0320] 표준 접속로 모델의 핵심 요소기술인 교차형스위치(XoS)의 궤도 굴절편(324, 325, 326)은 100m 단위 주행튜브(10)를 3개 연결한 300m 표준 단위길이를 갖고 수평으로 연결하는 선로튜브(11)와 회전튜브(30)를 결합한 일체형의 묶음형 스위칭튜브(31)를 구비하여 분기와 합류 트래픽을 상호교차 방식으로 1개 교차형스위치(XoS)(31)에서 통합하여 처리할 수 있는 개선점을 갖게 된다.

[0321] 표준 접속로 모델의 핵심 요소기술인 교차형스위치(XoS)의 궤도 굴절편(324, 325, 326)은, 100m 단위 주행튜브(10)를 2~3개 연결한 200~300m 표준 단위길이 선로튜브(11)와 회전튜브(30)가 결합된 일체형의 묶음형 스위칭튜브(31)를 구비하여, 분기(outbound)와 합류(inbound) 트래픽을 상호교차 방식으로 통합하여 처리하는 교차형스위치(XoS)(32)를 특징으로 한다.

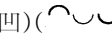
[0322] 상기 궤도 굴절편(324, 325, 326)의 중심점을 기준으로 1 세그먼트(100m)의 궤도접힘 이격 폭은 궤도 좌우에 똑같이 150t의 굴절간격을 두게 되므로 튜브길이100m당 150t(1.5m)의 굴절 폭을 갖는 스위칭 동작을 하게 된다.

[0323] 따라서 본 발명의 교차형스위치(XoS)(31) 궤도 굴절편(324, 325, 326)은 스위칭튜브(31)의 100m 표준 주행튜브(10)를 3개 연결한 300m 단위 3 세그먼트 방식과 회전튜브 혹은 단위튜브의 2세그먼트 방식으로, 굴절편의 굴절 폭은 300t로 연결하는 주행튜브간 분기와 합류 스위칭회로를 구성하며, 100m당 1.5m (150t) 굴절폭은 π 라디안 = 180° 혹은 $D=180(R/\pi)$ 에서 $150/10,000=0.015$ 라디안 혹은 0.8594° 각도(degree)거리를 굴절 폭으로 갖게 된다.

[0324] 상기 표준 접속로 구축 핵심요소인 삼상궤도(13) 스위칭튜브(31)의 교차형스위치(XoS)(32)는 주행튜브(10) 정삼

각형 꼭짓점 $ABC(\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6)$ 에 궤도가 위치하므로 1 주행튜브(10)당 3개의 굴절편이 필요하게 되며, 주행튜브(10) 궤도와 2개 연결하는 회전튜브(30) 궤도간 분기·합류용으로 1개소 당 27개(3 궤도*9 튜브)의 굴절편을 갖게 된다.

- [0325] 상기 트래픽 처리 알고리즘은 4 단자형 모델로 튜브 교차점 4 방향 모두 동일하게 적용되며 튜브 교차점에서의 좌우회전과 회차 트래픽 처리를 무정차·무대기로 처리함으로써 운행선로 확대, 승객 승하차나 화물을 적재하는 튜브포트(역)와 화물기지, 정비와 운행대기에 필요한 셔틀기지 등 다지점간 운행 네트워크를 지원하는 솔루션으로 활용할 수 있다.
- [0326] 100m 교차형스위치(XoS)(31)굴절폭인 150t를 원주(2π)로 환산하면 418.8790($2\pi/0.015$)의 값으로 표준 주행튜브(10) 100m에 적용할 경우 6,666.6666m 회전반경(R)과 41,887.9m(41.8km)의 회전원주(2π)를 갖는 곡률 ρ 0.00015($\rho=1/R$)의 도넛형 회전튜브(30)를 1차 회전튜브(#1 루프)로 xy축 본선의 각 사분면에 배치하는 도 28의 방법을 표준 접속로 모델로 채택한다.
- [0327] 한편 도29는 1차 회전튜브(#1루프)(30)내 또다시 4개의 2차회전튜브(#2루프)(302)를 설치하는 개념도로, 1차 회전튜브(30)와 접점인 $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ 에 교차형스위치(XoS)(32)를 구비하여 2차회전튜브(302) 내부에 여객·화물 터미널과 정비·격납기지 등을 건설하면 1개 xy축 교차점마다 총 16개의 거점노드를 구축할 수 있게 된다.
- [0328] 이 경우 16개 2차 회전튜브(#2 루프)(302)는 1차 회전튜브(30) 반지름의 $R(\sqrt{2}-1)$ 크기로 회전반경(R) 2.7614km 혹은 지름(D) 5.5228km와 회전원주($2\pi R$)는 17.3505km를 갖는 곡률 ρ 0.000362의 도넛형 2차 회전튜브(302)를 1차 회전튜브(30)내에 배치하는 다중루프(loop in loop) 형상을 채택한다.
- [0329] 상기 16개 2차 순환 회전튜브(302)에 구축하는 여객·화물 터미널과 정비·격납 기지 등의 노드(node)는 링크(link)인 순환회선의 회전튜브(30)가 시계방향 회전(↻)의 단방향 트래픽을 처리하는 링형(ring, loop)이기 때문에 네트워크 토폴로지(topology) 혹은 위상기하적 그래프를 검토하여야 한다.
- [0330] 바람직한 외형적인 연결방식은 통신망 분야의 FDDI(fiber distributed data interface)와 같이 반시계방향 회전의 '이중링' 을 구비함으로써 단방향 회전의 문제점을 해소하고 트래픽 처리용량을 증대할 수 있게 된다.
- [0331] 상기 루프인루프(loop in loop)의 이중링 표준 접속로 구성은 4개 1차 회전튜브(#1 루프)(30) 외곽을 내접하는 반시계방향(↻)으로 순환하는 대원(大圓) 회전튜브(35)를 도 30과 같이 구축하고, xy축 $\pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$ 에 교차형스위치(XoS)(32)와 접속로를 구비한 스위칭튜브(31)를 구비하면 시계방향(↻)과 반시계방향(↻) 회전의 이중링 방식 회전튜브로 트래픽 처리용량을 증대할 수 있다.
- [0332] 이에 더하여 대원 회전튜브(35) $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ 방향으로 xy축에서 $\pi/4$ 위상 이동하는 x 'y' 축 선로 튜브(T_1)와 교차형스위치(XoS)와 접속로가 구비되는 스위칭튜브(T_3)·경사튜브(T_4)로 구성되는 8단자형 허브(350)는 사통팔달(四通八達)의 노선망으로, '메갈로폴리스' 로 확장되고 있는 거대도시의 여객, 화물, 정비 등의 터미널 구축과 위성도시를 연결하는 메트로망과의 접속 등에 필요한 기반시설로 활용이 가능하게 된다.
- [0333] 큰 원안에 4개 소형원이 연결하는 구조의 상기 대원 회전튜브(35) 반지름(R)은 1차 회전튜브(30) 반지름(r)의 $R=r+r\sqrt{2}=r(1+\sqrt{2})$ 로 주어지므로 16.0947km 회전반경(R) 혹은 32.1895km 회전직경(D)과 101.1263km 회전원주($2\pi R$) 길이를 갖게 되어, 4개 6.6666km 1차 회전튜브(30)와 16개 2.7624km 2차회전튜브(302)를 수용할 수 있는 거대 도시 외곽을 순환하는 기간망으로 역할이 기대된다.
- [0334] 이상의 회전반경(R) 6.6666km 1차 회전튜브(#1 루프)(30)내 다시 4개 2차 회전튜브(#2 루프)(302)가 설치되는 표준 접속로는 장기적인 모델로 경제성을 고려한 선로 튜브망 형상이나 소규모 트래픽 구간의 교차점 및 선로교환 트래픽 처리용량 증대를 위해 1차 순환 회전튜브(30) 내부에 위치하는 보조용 회전튜브인 원점회전튜브(#0 루프)(300)를 구비한다.
- [0335] 상기 표준 접속로 모델은 xy축 교차점인 원점 $O(0, 0)$ 주변공간이 비어 있는 상태로 4개 1차 회전튜브(30)의 외접면과 접점을 갖는 xy축 원점회전튜브(#0 루프)(300)를 설치하고 $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ 점에 교차형 스위치(XoS)(32)가 안치되는 스위칭튜브(31)를 구비하면 좌회전 트래픽 주행경로의 대폭절감과 스위칭 알고리즘의 이중화 및 트래픽 교환용량의 증대가 가능하다.

- [0336] 구체적으로 도 31을 참조하면, 1차 회전튜브(30) 단위반지름을 1R의 경우 원점 회전튜브(#0루프)(300)의 반경은 $a^2+b^2=c^2$ 에 따라 $1^2+1^2=2^2$ 에서 $R(\sqrt{2}-1)$ 로 주어지며, 반지름(R_0) 2.7614km의 소형 회전튜브(300)와 $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ 에 1차 회전튜브 원호(305)에 3단 교차형스위치(XoS)(32)를 구비한 스위칭튜브(31)를 설치하여 소규모 트래픽 구간의 교차점 혹은 1차 회전튜브(30) 내부에 위치하는 2차 회전튜브(302)에 적용한다.
- [0337] 트래픽 처리는 xy축 본선의 교차형스위치(XoS)에서 분기된 좌우회전 트래픽은 상기 $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ 3단 교차형스위치(XoS)(32)에서 우회전 트래픽은 1차 회전튜브 원호를 직진하여 타선의 3단 교차형스위치(XoS)(32)에서 합류하며, 좌회전 트래픽은 원점회전튜브(#0 루프)(300)로 분기하여 π 길이 원호를 주행 후 도달하는 3단 교차형스위치(XoS)(32)에서 1차 회전튜브(30)의 원호튜브(305)로 스위칭하여 타선 본선의 3단 교차형스위치(32)에서 좌회전 스위칭을 완성한다.
- [0338] 이때, xy축 본선간 우회전 트래픽 우선처리 원칙에 따라 좌회전 트래픽은 외측튜브를 선회하거나 xy축 방향 $\pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$ 에 구비된 원점 회전튜브(#0 루프)(300) 전용 2단 교차형스위치(XoS)(329)에서 내측튜브로 진입하여 트래픽을 분산한 후 다시 외측튜브로 출향하여 목적하는 좌회전 스위칭을 수행하는 알고리즘으로 스위칭 처리용량을 증대시킨다.
- [0339] 따라서 원점 회전튜브(#0 루프)(300)의 회전방향은 반시계(↺)방향이 되며 각기 본선 접점 부분에 교차형스위치(XoS)(32)를 구비한 타원형 스위칭튜브(31)로 선로망을 구성하면, xy축 본선과 직접 접촉하지 않는 회전튜브(30)의 외접 원호튜브(306)를 제거하고 내접 원호튜브(305)만으로도 4방향의 좌우회전 트래픽을 처리할 수 있는 경제성을 시현할 수 있게 된다.
- [0340] 한편 상기 모델은 †자형 3단자 구성시 원점회전튜브(#0 루프)(300)와 3방향의 $\pi/4$ 길이 원호의 내접 원호튜브(305)만으로 교환망 구성이 가능하므로 터미널 시설이 불필요한 해저 분기점이나, 본선에서 지선을 분기하여 노선을 확장하는 3방향 교차로가 필요한 지역의 표준접속 모델로 활용할 수 있다.
- [0341] 이에 더하여 원점회전튜브(300) 모델은 최소 투자비로 초도망을 구축하되 xy축의 교차형스위치(32)가 안치되는 스위칭튜브(31) 부분을 100~200m 정도 연장하여 봉쇄구(309)를 설치하는 공법을 적용하면, 향후 트래픽 증가시 반지름 6.6666km의 1차 회전튜브(30)의 외접 원호튜브(306)를 단계적으로 확장할 수 있는 융통성을 확보할 수 있다.
- [0342] 이와 함께 여객·화물 터미널이나 정비·격납 기지 등 매시 네트워크(mesh network, 그물망) 형태의 선로구성이 필요하거나 긴급사태 대책(contingency plan)으로 스위칭튜브(31)의 기능을 더욱 강화할 솔루션으로 수직방향 주행궤도 혹은 주행튜브간 스위칭 요소기술이 요구될 수 있다.
- [0343] 수직 교차형스위치(vXoS)(34)의 작동을 도 33과 수평방향으로 기동하는 스위칭튜브(31)의 교차형스위치(XoS)(32)를 참조하여 살펴보면, 수직 굴절편(344, 345, 346)이 상하로 기동하여 상하로 연결한 궤도간 트래픽을 상호교환하게 되며, 100m 단위 주행튜브(10)를 2개 연결한 200m 표준 단위길이를 갖는 수직 스위칭튜브(33) 형상이 바람직하다.
- [0344] 2 세그먼트형 수직 굴절편(344, 345, 346)의 작동원리는 출향(出向)측 굴절편(344)을 1/2 상하(↗)로 1/2인 150t를 굴절시키고 입향(入向)측 굴절편(345)도 1/2 상하(↘)로 1/2인 150t를 굴절시켜 2개 튜브에서 상하 300t의 굴절폭을 기동하여 상하 튜브간 스위칭회로를 구성하며, 이때 굴절되지 않는 상하층 연결하는 삼상궤도(13)의 굴절편(346) 역시 동시에 굴절(↖, ↗)시켜 스위칭 공간을 마련하며 굴절편의 작동은 액추에이터(320)를 삼상궤도(13)에 취부하여 권역관제소와 중앙관제소의 인공지능(AI) 프로그램으로 통제한다.
- [0345] 튜브셔틀(20)의 분리, 결합, 궤도 이동 등의 입환(入換, shunting)작업이 필요한 터미널이나 셔틀기지 등 계류장소의 운영효율을 높이는 방안으로 상기 수직 스위칭튜브와 함께 주행튜브(10)의 삼상궤도(13)를 제거하고 2궤도인 보조궤도(16)를 활용한 보조단상궤도(38)를 계류장에 시설하고, 보조바퀴(26) 구동으로 입환 작업을 처리하면 터미널 등의 궤도 시설비를 절감하고, 중앙과 권역관제소와는 분리된 계류장소별 관제 시스템으로 터미널 운영의 효율성을 더욱 증진할 수 있다.
- [0346] 도13은 보조단상궤도(38)를 예시하며, 주행튜브(10) 하부 플랜지(131) D($4\pi/3$)와 E($5\pi/3$)의 볼록오목형(凸凹)()홈을 별도 궤도프레임(380)에 설치하는 $\pi/3$ 원호의 2 궤도를 보조단상궤도(38)의 궤간(139)으로 삼으며 터미널, 계류장 등의 스위칭 선로는 교차형스위치(XoS)(32)와 수직교차형스위치(vXoS)(34)의 작동원

리를 준용하여 삼상궤도(13)ABC에서 A궤도는 제거하고 B궤도는 $4\pi/3$ 에, C궤도는 $5\pi/3$ 에 치환하면 2굴절편 방식 수평·수직 스위칭을 완성할 수 있다.

- [0347] 상기 교차형스위치(XoS)(32)와 수직교차형스위치(vXoS)(34) 및 보조단상궤도(38)는 수평과 수직으로 연결하는 선로튜브(11)간 트래픽의 상호교환과 궤도배치를 고집적화하며 입환 작업을 용이하게 하는 동시에, 대규모 토지 공간이 필요한 여객·화물 터미널이나 정비·격납기지 등의 서비스 노드(node) 건설시 플랫폼을 여러 층 수직방향으로 집적할 수 있는 솔루션으로 편의성과 함께 지상·지하 토지이용 공간의 효율화로 터미널 건설의 경제성을 제고한다.
- [0348] 상기 1,2차 회전튜브(30, 302)와 원점회전튜브(300) 및 교차형스위치(XoS)(32)를 구비한 스위칭튜브(31)를 활용한 4 단자형(Φ) 표준 접속로 모델은 8 단자형 확장의 용장성(冗長性, 리던던시, redundancy)을 갖는 장기진화(long term evolution, LTE)구조의 표준 접속로 모델이다.
- [0349] 이상의 각종 튜브별 특성과 기능의 상이함은 경제성과 장래 확장성을 고려한 최적 솔루션을 안출하기 위한 것으로써, 실제 산업상 이용에 있어 다소간의 변경은 있을 수 있으나 본 발명의 튜브셔틀(20)은 기본선로이자 장거리 수송로인 선로튜브(line tube)(11)를 주행함에 있어, 타원형 경사튜브(ramp tube)(36)를 경유하여 교차형스위치(XoS, vXoS)(32,34)가 구비된 스위칭튜브(31)에 진입하고, 스위칭튜브 통과 후 다시 역순으로 경사튜브(36)를 통하여 선로튜브(11)를 주행하는 선로 시스템이 필요하다.
- [0350] 이러한 교차형스위치(XoS)(32)와 1차 회전튜브(30)와 2차 회전튜브(302) 및 원점회전튜브(300)를 조합한 표준 접속로 모델은 국제간 노선과 연계하여 대도시내 접속과 기존 저심도 지하철 등과 연계하여 대도시내 교통수요를 흡수하는 격자형 메트로 망으로 자연스럽게 확장할 수 있어 전통적인 교통망을 통신망 특히 인터넷망과 유사하게 확장할 수 있는 솔루션으로 활용할 수 있다.
- [0351] 이와 더불어, 상기의 각종 튜브로 구성되는 선로망의 삼상궤도(13)를 튜브셔틀이 초음속 혹은 아음속 속도로 주행하기 위해서는 공기 저항을 제거하여 진공튜브 상태를 유지하는 유효적절한 솔루션이 요구된다.
- [0352] 본 발명의 주행튜브(10)는 양정현과 주름관(101)과 1m 단위 자기편 프레임(130)에 1/3m 궤도와 2/3m 궤도간 이격 간극을 갖고 있으므로, 예방정비와 유지보수운동을 위한 원점(0, 0) 중앙튜브(110)를 제외한 1~6번 주행튜브(111~116)의 2/3m 궤도간 이격간극에 개폐형 진공격벽시스템을 설치할 수 있는 공간을 확보할 수 있다.
- [0353] 도 34에서 예시하는 바와 같이, 선로튜브(11) 진공상태 유지를 위해 튜브간 접속부(17)에 진공격벽시스템(37)과 진공펌프(370)를 구비하여 선로튜브(11) 노선에 복수 개를 설치하면 구간별 폐색(閉塞)기능 부여로 진공펌프(370) 가동의 효율을 높이고, 선로튜브(11) 파손과 같은 긴급사태 대책이나 튜브 유지보수 필요시 구간별 폐색과 개방으로 선로튜브(11) 운영효율을 증진한다.
- [0354] 선로튜브(11)의 진공격벽시스템(37)과 진공펌프(370)는 튜브간 접속부(17)에 완전응력보인 포물면결합부(371)를 설치하고 내부 공간에 주행튜브(10) 양정현과골(103)의 내경지름(D_1)인 292.7640t의 진공차단벽(372)과 구동 액추에이터(373), 진공 감지센서(374), 좌우 2개의 진공펌프(370)와 주행튜브(10) 플랜지(131) 경계면에 기밀유지용 이중오링(double O ring) (375)을 구비하여 주행튜브(10)의 진공상태를 유지하게 한다.
- [0355] 이때, 진공차단벽(372) 구동 액추에이터(373)와 진공펌프(370) 등의 구동전원은 육상구간에서는 보조채움관(12)을 통해 외부 전력선을 인입하며, 해상구간은 보조채움관(12)을 통해 육지 외부 전력선을 인입하거나 수중교각이나 튜브앵커 등에 해상풍력 혹은 파력발전 시설을 부가한 후 배터리(376)에 충전하여 구동할 수 있도록 튜브망 구축시 설계에 반영함이 바람직하다.
- [0356] 육상구간은 선로튜브(11)노선에 10~20km 마다 진공격벽시스템(37)을 구비하며, 여객·화물포트나 셔틀·정비기지 등 튜브셔틀(20)이 정차하는 플랫폼(39)과 주행튜브(10) 경계면에 인입진공차단벽(150)을 구비하며, 20m 단위로 주행튜브(10) 단면을 차단하는 복수개의 구역진공차단벽(151~15X)으로 형성되는 진공챔버(vacuum chamber)(158)로 주행튜브(10)의 상시 진공상태를 유지한다.
- [0357] 튜브셔틀(20)이 대기(大氣, atmosphere)상태인 플랫폼(39)에서 상시 진공상태인 주행튜브(10)로 진입하는 바람직한 절차는, 개방된 인입진공차단벽(150)을 통과하여 진공챔버(158) 구간으로 이동(151a, 152a, 153a)하고, 고물(선미)의 인입진공차단벽(150)을 폐색하여 진공펌프(370)로 주행튜브(10)와 셔틀(20)사이의 공기를 완전 방출시킨 후, 튜브셔틀 이물(선두)의 구역진공차단벽(151~157)을 개방하여 튜브셔틀(20)을 출발시키는 수순으로 주행튜브(10)의 상시 진공상태를 유지한다.

- [0358] 반면, 튜브셔틀(20) 도착시에는 인입진공차단벽(150) 앞에 일시 정지한 후 고물쪽 구역진공차단벽(151~157)을 폐색하여 주행튜브(10)와 격리시키며, 진공챔버(158)를 대기로 채운 후 이물(선두)쪽 인입진공차단벽(150)을 개방하여 플랫폼(39)으로 이동시켜 승객·화물의 하차·하역을 진행하는 수순으로 주행튜브(10)의 진공상태를 상시 유지한다.
- [0359] 튜브셔틀(20)의 출발이나 도착 트래픽 처리시 구역진공차단벽(151~157)은 셔틀의 단독주행(151a)이나 군집주행(152a, 153a)별 구역진공차단벽(151~157) 개폐 수를 조절하여 주행튜브(10)의 진공챔버(158) 구간을 적의 조정함으로써, 대기(大氣) 토출량과 유입량을 최소화하여 튜브셔틀(20) 운행 소요시간을 단축하고 주행튜브(10)의 상시 진공상태 유지에 소요되는 에너지 절감을 도모한다.
- [0360] 승객·화물의 승하차·하역을 진행하는 역사(포트)의 플랫폼(39)은 승객 또는 물류처리 효율 증대를 위해 튜브셔틀(20)의 바닥 높이(395)가 승강장의 상면(392)과 같아 계단 없이 승하차를 할 수 있는 고상홈 방식과 플랫폼 삼상궤도(393)가 양 옆에 배치되고 그 사이에 승강장이 섬처럼 떠있는 형상의 다중섬식승강장(multiple island platform, MIP)(396#0~396#4) 방식을 표준모델로 채택하여 지하공간의 무거운 지반하중 극복과 승객과 물류처리 효율을 증진한다.
- [0361] 상기 튜브셔틀 표준 플랫폼(39)은 도 39a와 같이 충전포스트(136)가 구비된 $A(\pi/2)$ 궤도(13)와 D, E 보조궤도($4\pi/3, 5\pi/3$)(16)로 구성되는 플랫폼 삼상궤도(393)를 근간으로 튜브셔틀(20) 좌우측의 출입문(202)이 개방되면 셔틀 바닥 높이(395)와 플랫폼 상면(392)이 같아지고, 복수 개의 플랫폼 삼상궤도(393)가 수평과 수직면에 정렬되는 다중 궤도시스템과 다중섬식승강장(MIP)(396)으로 집적화하여 토지 이용의 효율성을 증대한다.
- [0362] 이때, 튜브셔틀 플랫폼(39) 전후 주행튜브(10) 혹은 2차 회전튜브(302)에 인입진공차단벽(150)과 복수개의 구역진공차단벽(151~157)을 구비하여 상시 진공상태인 주행튜브(10)와 대기(大氣)상태인 플랫폼(39)을 격리하며, 튜브셔틀(20)의 편성 수량에 따라 구역진공차단벽(151~157)의 개수를 적의 조절하여 진공챔버(158) 구역을 형성함으로써 진공공간 진입과 대기공간 진입절차를 최적화한다.
- [0363] 구역진공차단벽(151~157) 후단 선로는 도39b와 같이 교차형스위치(XoS)(32)를 구비한 스위칭튜브(31)로 분기와 합류선로를 구성하고 수직면 연결구간은 수직 교차형스위치(vXoS)(34)를 구비한 수직 스위칭튜브(33)로 트래픽을 분선 주행튜브(10)로 인도하며, 튜브포트(역사)의 구조물은 도39c와 같이 3개 층 이상의 서비스 공간과 5개 층 이상의 다중섬식플랫폼(396#A ~ 396#E) 및 각층 플랫폼당 5개(393#1 ~ 393#5)이상의 플랫폼 삼상궤도(393)로 승객과 물류를 처리한다.

실시예 4

- [0364] 제4 실시예에서는 다중셔틀 편성의 형태와 방법으로 일 태양의 양정현과 주름관 주행튜브로 구성되는 선로튜브(11)와 삼 태양의 스위칭튜브(31)와 경사튜브(36) 및 표준 접속로 모델 등을 분선과 지선 및 튜브포트와 화물포트 등에 적용하는 선로 시스템에서 이 태양의 선형스테핑모터(LSM) 구동방식의 자기부상 이동체인 튜브셔틀(20)을 단독 혹은 군집셔틀로 편성한 후 운행하는 실시예이다.
- [0365] 스텝핑 모터(steping motor) 구동방식은 펄스신호의 주파수에 비례한 회전 속도 발생하며 모터의 총 회전각은 입력 펄스수의 총수에 비례하고, 모터속도는 1 초당 입력펄스 수(펄스 레이트)에 비례하여 광범위한 속도제어와 기동, 정지, 정-역회전, 변속이 용이하며, 응답특성 우수하고 정지시 매우 큰 유지토크(정지토크)의 브레이크 기능으로 본 발명의 1m 단위 불연속 디지털 선형 삼상궤도(13) 특성과 부합되고 디지털 제어회로와 조합이 용이하므로 중앙과 권역관제소의 제어 시스템 구축에 유리하다.
- [0366] 본 발명 실시예1의 삼상궤도(13)는 스테이터(stator)로 고정자 기능을 담당하고 자기부상 이동체인 튜브셔틀(20) 전자기편(24)은 로터(rotor)로 회전자 기능을 갖고 있으며, 주행튜브(10) 삼상궤도(13)와 튜브셔틀(20) 상호간 동기방식 제어와 스위칭주파수 인가 등을 정밀하게 수행하는 고정도(高精度) 수치제어(numerical control, NC)가 필요하므로 이동체인 튜브셔틀의 표준화가 필요하다.
- [0367] 바람직하게는 튜브셔틀(20)의 전장을 12m 자기 부상편을 구비한 15m 단위길이를 갖는 표준 이동체로 구성하고 주행튜브(10)에 1m 단위로 설치되는 불연속 디지털(dashed line track) 자기부상 삼상궤도(13)와 동기를 유지하며 출발·가속·등속주행·감속과 회생제동·정지모드의 선형스테핑모터(LSM) 구동방식을 인공지능(AI)으로 제어함이 바람직하다.
- [0368] 출발·도착 포트간 혹은 차량·화물 기지나 분기선로 등 선로튜브(11) 전구간의 거리를 1m 단위 스텝 각을 거동하는 인가펄스 개수로 환산하는 단일(unique)함수와 프로토콜에 준거한 수치제어(NC)로 튜브셔틀 운행 프로그램

의 단순 명료화를 통해 도입초기는 물론 격자형망 형성시에도 시스템 운영체제(operating system, OS)의 오류 가능성을 최소화한다.

[0369] 서로 다른 행선지를 다방면 편성하는 군집서틀 운행방식은 선로나 포트(역사)의 운영효율을 증대하므로 서틀단위로 본선 직진, 타선 우회, 타선 좌회방향의 순서로 다방면 n*서틀편 다연장 편성으로 매시 정각·10·5분·3분 단위 등으로 동시에 출발시킨 후 교차형스위치(XoS)(32)가 구비된 스위칭튜브(31) 도달 전 해치부(21)의 전자기 접속부(211)를 해제하여 목적지별로 분리하되, 직진서틀은 정속을 유지하고 우회전 서틀은 정속의 $1/\sqrt{2}$, 좌회전 서틀은 $1/\sqrt{3}$ 이상 감속하여 회전구간의 원심력을 줄이고 스위칭에 따른 적정 안전거리를 확보하게 한다.

[0370] 분리된 본선 직진 서틀군은 그대로 교차형스위치(XoS)(32)를 직진 통과하고, 타선 우회방향 서틀군은 교차형스위치(XoS)에서 분기(outbound)된 후 타선의 교차형스위치(XoS)에서 주행튜브(10)에 합류(inbound)하며, 타선 좌회방향 서틀군은 xy축 교차점 통과 후 본선 교차형스위치(XoS)와 타선 교차형스위치(XoS)를 경유하는 P회전으로 주행튜브(10)에 합류(inbound)하는 수순으로 처리하여 군집서틀의 트래픽을 각 목적지 방향별로 분배한다.

[0371] 특히, 장거리 대량 트래픽 노선의 경우 스위칭노드와 노드간 동일 행선지 트래픽 서틀군을 운행 중인 상태에서 전후 서틀을 묶어 본선 방향·지선 우회전 방향·지선 좌회전 방향 트래픽을 상호 결합하는 군집 트래픽 처리기법은 한 포트(역사)에서 다방면 목적지 서틀의 동시간대 운행이 가능하고 역사와 주행튜브 운영의 효율을 대폭 증대할 수 있다.

실시예 5

[0372] 제5 실시예에서는 제1 태양에서 제4 태양을 실제 산업에 이용할 수 있도록 하는 선로튜브(11)와 강화튜브(18) 및 스위칭튜브(31) 등으로 선로 시스템을 구축하는 시공과 건설방법 등에 관한 실시예를 열거한다.

[0373] 본 발명을 실제로 구현하기 위해서는 해상과 육상구간의 튜브건설이 필요하고 해상구간은 강화튜브(18) 구조물의 부력을 고려한 수중교각과 튜브앵커 및 튜브평형추 등 해양구조물과 육상구간은 대심도 터널건설이 요구된다.

[0374] 본 발명의 7선로 혹은 19선로튜브를 육상이 아닌 해저구간에 시공할 경우 튜브 주변의 유체인 바닷물이 작용하는 알짜힘인 부력(buoyant force)이 튜브의 아랫면을 위쪽 방향으로 미는 힘이 발생하므로, '어떤 물체에 작용하는 부력은 그 물체에 의해 밀려난 유체의 무게와 같다'는 아르키메데스의 원리(Archimedes's principle)를 기본요소로 고려하여야 한다.

[0375] $B = \rho_{fluid} Vg$ (B:부력, ρ :유체의밀도, V:밀어낸유체의부피, g:중력가속도)의 원리에서 부력B은 물체 즉 튜브에 의해 밀려난 유체인 바닷물($\rho_{fluid}V$)의 질량M으로 부력은 $B=Mg$ 가 되어 튜브에 의해 밀려난 바닷물의 무게와 같게 된다.

[0376] 표준상태(0℃, 대기압)에서 계의 질량밀도 $\rho(kg/m^3)$ 는 바닷물 1.03×10^3 , 알루미늄 2.70×10^3 , 철 7.86×10^3 , 콘크리트 2.30×10^3 으로 튜브의 기본재료인 알루미늄, 철장재가 바닷물보다 밀도는 높으나 튜브의 부피($V=2\pi r^2 h$)로 인해 튜브 아래 방향의 중력이 부력보다 작게 되어 위로 가속하게 된다.

[0377] 바람직하게는, $V_{바닷물}/V_{튜브} = \rho_{튜브}/\rho_{바닷물}$ 로 알짜힘이 영(0)이 되는 평형 상태가 되어 바닷물 속에 잠겨 떠있는 상태를 유지하기 위해서는 튜브 재료의 부피를 키워야하나 관성 모멘트 저하와 압축, 전단응력의 손실 및 재료 낭비를 초래하므로 높은 밀도를 갖는 저렴한 물질의 구조물을 튜브에 부가하는 평형추 공법이나 튜브 앵커 공법이 보다 현실적으로 적절하다.

[0378] 적절한 평형추는 철이나 콘크리트를 활용하여 $V_{바닷물}/V_{튜브} = \rho_{튜브}/\rho_{바닷물}$ 비례 조건에서 튜브길이 100m 단위당 밀도 $\rho(kg/m^3)$ 와 부피가 평형조건을 만족하는, 구형 평형추(51)로 실시예1의 튜브댐퍼(19)와 선로튜브(11)를 보강한 강화튜브(18) 접속부인 보호함체(174) 혹은 연결부(511)에 연결하는 부력(buoyant force)평형추(51) 공법은, 연근해는 물론 해구나 해령과 같은 대심해 구간에 적용하여 수중에 떠있는 평형상태의 튜브건설로 공사비 절감과 공기단축에 기여할 수 있다.

[0379] 구(球)는 완전한 대칭성을 갖는 도형으로, 심해와 같이 모든 방향에서 균등하게 작용하는 수압(519)을 견디는

강도가 아주 높은 이상적인 형태이고, 같은 부피로 비교할 때 겉넓이($4\pi r^2$)가 가장 작은 입체도형으로 표면(겉넓이)을 줄이려는 표면장력이 작용하는 수중에서의 운용여건을 고려할 때 같은 양의 재료로 가장 큰 부피 ($4\pi r^3/3$)의 튜브평형추(51) 구조물 제작이 가능한 장점을 갖고 있다.

- [0380] 한편 대륙붕과 연근해와 같은 천해구간은 50·100m 단위로 콘크리트 이형 블록인 뿔이 4개 달린 구조물인 테트라포드(520)를 해저지형 조건에 따라 1~4개 투하하고 강화튜브(18)간 튜브접속부인 보호함체(174)를 튜브댐퍼(19)와 고장력 케이블(523)이나 체인으로 접속하여 부력을 극복하는 튜브앵커(52) 공법을 적용하여 공사비 절감과 공기단축을 도모한다.
- [0381] 이때, 보호함체(174) 하단부 1개소를 튜브댐퍼(19)와 테트라포드(520)에 연결하는 1 튜브앵커(521) 공법은 수심이 얕은 연근해와 직선 선로튜브(11) 구간 등에 적용하며, 튜브 양측면 2개소를 연결하는 2 튜브앵커(522) 공법은 심해구간 강화튜브(18)나 곡선 선로튜브(11) 구간 등에 취사선택하여 적용한다.
- [0382] 해상구간은 지구자전에 의한 코리올리 효과와 태양 복사열에 의한 대류 등 복잡한 환경여건에 따라 지역과 계절별로 주기적인 해류가 존재하며, 태풍과 쓰나미에 의한 바닷물의 유동과 지진발생에 대응하고 선박이나 잠수함 등 인위적 위협 요소 및 튜브셔틀의 운행에 따는 동역학적인 응력 등을 극복하기 위한 수단으로 튜브위치를 고정하는 수중교각이 필요하다.
- [0383] 구체적으로, 수중교각(53) 공법은 Y형(U+I)의 구조물로 시공하여 U구조물내 $\pi, 5\pi/4, 7\pi/4, 2\pi$ 4개소에 실시예 1의 튜브댐퍼(19)로 강화튜브(18)와 접속하여 해저 화산이나 단층면과 섭입대 등에서 발생하는 지진파(P, S파) 에너지에 의한 진동을 흡수하는 해저 구조물로 대륙붕과 같은 연근해 구간은 100·200·300m 단위로 설치하며 심해구간은 필요시 해저지형의 용기구간에 설치한다.
- [0384] 비교적 수심이 얕은 연근해나 천해구간은 1차 강화튜브(181)를 적용하여 해저 단층대에서 발생하는 지진파(P파, S파)의 진동 에너지를 견디는 내진강도를 높이는 한편, 먼진(免震), 제진(制震) 대책으로 완충기·쇼크 업소버(shock absorber)·댐퍼(damper) 기능의 튜브댐퍼(19)를 수중교각(53)에 취부하여 튜브를 연결하는 공법과 튜브앵커(52) 공법을 혼용하여 공사비 절감과 지진 등 자연재해로부터 튜브에 가해지는 피해를 예방한다.
- [0385] 한편, 높은 수압과 수중교각(53) 설치가 어려운 섭입대(攝入帶·subduction zone)가 있는 해구나 지각판의 경계인 해령과 같은 대심해 구간은 2차 강화튜브(182)를 채택하는 한편, 해저지형의 특성에 따라 테트라포드(52)를 좌우 2개소에 투하하여 고장력 케이블(523)이나 체인으로 접속하는 2 튜브앵커(522) 공법과 튜브 자체 부력과 균형점을 유지하는 튜브평형추(51) 공법을 혼용하는 시공법으로 수중 교각(53) 없이 해구나 해령 및 대심해 구간을 중단 혹은 횡단하는 공법을 취사선택하여 시공하는 것이 바람직하다.
- [0386] 도 38은 해상구간 시공선박의 모식도로, 위성항법시스템(GPS)(508)과 해저의 음향송수신기인 트랜스폰더(509) 등에 의한 위치측정 데이터로 선박에 장착된 360도 회전하는 스러스터(505) 자동제어 기능의 자세제어 튜브 시공선박(500)과 수중 작업을 수행하는 작업용 로봇팔 혹은 매니플레이터(manipulator)(502)를 구비한 잠수정(501)을 건조하여, 데릭(derrick)기중기(504)로 드릴파이프(503)를 해저암반을 천공하여 수중교각(53)을 건설하고, 테트라포드에 의한 튜브앵커(52) 시공과 튜브 평형추(51) 연결 및 튜브간 접속을 일괄 시공하는 공법을 도입한다.
- [0387] 상기 시공선박(500)과 작업 잠수정(501)은 각기 2척의 선박이 건설현장 100m 길이 강화튜브(18) 2개를 동시에 시공하여 후미 1튜브 접속 완료 후, 100m 전진하여 앞방향 강화튜브(18) 접속을 위한 수중교각(53) 건설, 튜브앵커(52) 시공과 튜브평형추(51) 연결 등의 시공과 건설을 일괄 완성하는 교차전진 혹은 순차교대 공법으로 공사기간을 단축하며, 공사 완료 이후 선로유지 보수용 선박으로 활용하는 것이 바람직하다.
- [0388] 한편 육상구간은 지진과 지반운동의 크기가 지반깊이에 따라 전반적으로 감소하고 토지 보상비가 불필요한 지하 100m 이상의 대심도 원형터널을 터널굴진기(TBM)등으로 건설하여 선로튜브(11)를 반입하여 튜브를 접속하며, 튜브접속부(17) 보호함체(174)와 터널내벽 $\pi/2, 3\pi/4, \pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4, 3\pi/2$ 6개소에 쇼크업소버·댐퍼 기능을 갖는 튜브댐퍼(19)를 접속하여 선로튜브(11)의 하중을 지지하는 한편, 인근 단층대나 먼 거리에서 전달되는 지진파(P파, S파, 표면파 등)의 파동 에너지를 흡수 혹은 완화하는 공법을 적용하여 선로튜브(11)와 튜브셔틀(20)을 보호하는 안정화 대책을 구비한다.
- [0389] 튜브망(tube network)시공과 건설방법 등에 관한 적절한 실시예는 선로튜브(11) 통과구간과 인근지역의 세밀한 지질조사를 통하여 내진설계를 시행하며, 그 기준은 육상은 대심도 터널내부 100m 튜브접속부(17) 마다 튜브댐퍼(19)를 구비하고, 해상은 해저지형 조사 후 100·200·300m 단위로 $\pi, 5\pi/4, 7\pi/4, 2\pi$ 4개소에 튜브댐퍼(1

9)를 구비한 수중교각(53)과 50·100m 단위 튜브앵커(52) 및 튜브 자체부력과 균형점을 이루는 튜브평형추(51) 공법을 적절히 선택하여 빈발하는 지진으로부터 선로튜브(11)를 보호한다.

실시예 6

- [0390] 제6 실시예에서는 진공 혹은 아진공의 양정현파(陽正弦波) 주름관(101)의 선로튜브(11)와 삼상궤도(13)를 갖는 다중(7중 혹은 19중) 튜브를 초음속 혹은 아음속으로 주행하는 선형스테핑모터(LSM)방식의 자기부상 이동체인 튜브셔틀(20)의 특성을 고려한 본 발명의 구체적 활용예를 예시한다.
- [0391] 베세토 튜브(BeSeToTube) 프로젝트는 중국-대한민국-일본국 수도인 베이징(Beijing, 北京)-서울(Seoul, 首尔)-도쿄(Tokyo, 東京)를 제1 실시예의 진공 혹은 아진공의 양정현파 주름관(101)의 선로튜브(11)로 연결하는 신교통망으로 최적 노선길이는 베이징과 서울간 1,009Km, 서울과 도쿄간 1,168 Km로 서울 경유시 베이징과 도쿄간 거리는 2,175Km 이다.
- [0392] 제1 실시예의 양정현파 주름관(101)의 진공 자기부상 선로튜브(11)를 베세토(BeSeTo) 구간인 육상-해상-육상-해상-육상으로 건설한 후 제2 실시예의 초음속 혹은 아음속으로 주파하는 자기부상 이동체인 튜브셔틀(20)을 마하 2~3의 속도로 운행할 경우 베이징/도쿄-서울간 약 20~30분, 베이징-도쿄간 약 35~53분내 주파할 수 있는 신교통 시스템으로 활용할 수 있다.
- [0393] 3국 공히 육상구간의 경우 토지 보상비와 공사비 절감 및 빈발하는 지진 등의 자연재해로부터 승객과 선로를 보호하기 위해 육상은 지하 100m 이상의 대심도 터널건설이 적절하고, 해상구간은 해저지형 조건, 단층대, 수심, 해류 등의 환경요소를 감안한 최적 시공법의 개발이 요구된다.
- [0394] 해상구간은 튜브부력과 균형점을 달성하는 무게의 부력평형추(51) 공법과 해저 수중교각을 건설하여 튜브를 고정하는 수중교각(53) 공법 및 해저 테트라포드(tetrapod)와 케이블로 접속하는 튜브앵커(52) 공법을 혼용하여 3개 거대도시를 직접 연결하면 기존 육상과 해상 및 항공 교통망의 단점인 태풍과 폭우 및 안개 등으로부터 자유롭고 안전한 전천후 신교통망으로 자리매김할 수 있다.
- [0395] 베이징과 서울 및 도쿄와 같은 거대 메갈로폴리스 시내와 주변지역은 19 선로튜브의 대용량 튜브를 채택하여 7 선로튜브에 상응하는 내측튜브는 국제노선으로 할당하고 외측튜브는 인접 위성도시를 연결하는 대도시내 메트로망 겸용 혹은 복수개의 여객/화물포트를 연결하는 간선망으로 활용함이 바람직하다.
- [0396] 한편 주요 위성도시나 튜브 여객포트와 화물 및 정비포트 등의 연결을 위한 표준 접속로를 제3 실시예와 같이 구성하고 제4 실시예의 다른 행선지를 다방면 편성하는 군집셔틀 운행방식 등의 다지점간 운행 네트워크를 지원하는 솔루션을 채용하여 100년 대계의 관점에서 신교통망 인프라를 건설할 수 있다.
- [0397] 베이징-서울간 해상구간인 서해(황해)는 평균수심 40-50m의 대륙붕이 연속되는 천해구간으로 강화튜브(18) 혹은 1차 강화튜브(1st consolidated tube)(181)를 적용하되 100·200·300m 단위 마다 1개소의 수중교각(53)과 튜브 평형추(51) 공법 및 테트라포드를 이용하는 튜브앵커(52) 공법을 적절히 혼용하여 공사비 절감과 공기 단축을 도모한다.
- [0398] 한편 서울-도쿄간 동해는 수심이 평균 1000m 이상인 심해구간으로 2차 강화 튜브(2nd consolidated tube)(182)를 적용하되 울릉도와 독도인근 해저 용기구간은 수중교각(53) 설치와 해저지반에 테트라포드(52)를 좌우 2개소에 투하하여 고장력 케이블이나 체인으로 접속하는 2 튜브앵커(52) 공법 및 튜브의 부력과 균형점을 유지하는 평형추(51) 공법을 혼용하여 공사비 절감을 도모한다.
- [0399] 한편 지장 장애물이 적은 개활지인 유라시아 대륙(the Eurasian continent) 횡단과 같은 육상구간은 건설비를 고려하여 육상교각 건설이 타당하며, 태평양·대서양·인도양과 같은 대심해 구간이나 대심도 해구 및 해령 통과구간은 튜브외피(15)를 양정현파 주름관(101)과 평편관으로 여러 겹 보강하는 다중 강화튜브(18)를 채택하며, 튜브 자체부력과 균형점을 이루는 평형추(51)를 50·100m 단위 튜브 길이마다 취부하고 능동 자세제어 플랫폼과 같은 스마트앵커 시스템을 개발하여 수중교각(53)이나 해저앵커(52) 없이 대심해 구간을 종단 혹은 횡단하는 특수공법을 적용함이 바람직하다.
- [0400] 상기의 각 태양이나 제 1, 2, 3, 4의 실시예를 실제 산업상으로 이용 가능하게 실시하기 위해서는 허용가능한 편차인 기하공차(幾何公差, GD&T, Geometric Dimensioning and Tolerancing) 범위내 조립 정확도를 담보하고 재료의 비틀림, 압축, 인장강도의 향상과 내(耐) 진동성을 강화할 수 있는 부품제조 및 조립수단과 공정단계의 생력화가 필요하다.

[0401] 바람직하게는, 일 태양과 세로방향 양정현과 주름관(101)은 알루미늄이나 스테인리스 합금강 등을 초정밀 고정도(高精度)로 압출 혹은 사출가공(extruding)의 방법으로, 보조채움관(12)은 PVC 등의 플라스틱 사출성형 및 주행튜브(10) 내심 $\pi/3$ 길이의 3개 WF보 형상 자기편 프레임(130)은 알루미늄 혹은 고강도 엔지니어링 플라스틱으로 사출 성형하면 일체형 구조물로 균일한 제품특성과 원가절감 및 장기간 운용에 따른 피로파괴(fatigue failure)를 극복할 수 있다.

부호의 설명

- [0402]
- 10: 주행튜브
 - 101: 양정현과 주름관
 - 102: 양정현과 마루
 - 103: 양정현과 골
 - 104: 리플폭
 - 105: 리플높이
 - 11: 선로 튜브
 - 110-116: 0-6번 튜브
 - 12: 보조채움관
 - 120: 헬리컬 튜브 양정현과 주름관
 - 121: PVC 편평관
 - 129: 폼재 혹은 빈공간
 - 13: 삼상계도
 - 130: 자기편 프레임
 - 131, 132: 플랜지
 - 133: 웨브
 - 134: 플랜지
 - 135: 돌출웨브
 - 136: 충전 포스트
 - 137: 매립공
 - 138: 필릿
 - 139: 궤간
 - 14: 자기편(영구자석)
 - 140: 집합형 자기편/링형 영구자석
 - 143: 자기균형편
 - 144: 자기부상편
 - 145: 자기견인편
 - 146: 1차 변환 코일부
 - 147: 3상 교류 급전선
 - 148: 시계방향 자속

- 149: 반시계 방향 자속
- 15: 선로 튜브 외피
- 150: 인입 진공차단벽
- 151-157: 1-7구역 진공차단벽
- 158: 진공챔버(vacuum chamber)
- 16: 보조궤도
- 161: 골/플랜지 지지홈
- 162: 마루
- 163: 가이드(턱)
- 168: 췌기
- 169: 플랜지 경계면 접합부
- 17: 튜브 접속부
- 171: 볼트 체결부
- 172: 열수축형 너트
- 173: 오 링(O ring)
- 174: 보호함체
- 18: 강화튜브
- 181: 1차 강화 튜브
- 182: 2차 강화 튜브
- 19: 튜브 댐퍼
- 190: 중앙스프링
- 191-196: 주변 스프링
- 20: 튜브 셔틀
- 202: 출입문
- 203: 공조설비
- 204: 냉각시스템
- 205: 기계장치부
- 206: 셔틀공극
- 207: 산소압력용기
- 208: 배터리
- 209: 전자기편 공극
- 21: 헤치부
- 211: 전자기도킹부
- 212: 비상구
- 22: 전자기 날개부
- 220: 플럭스 포일

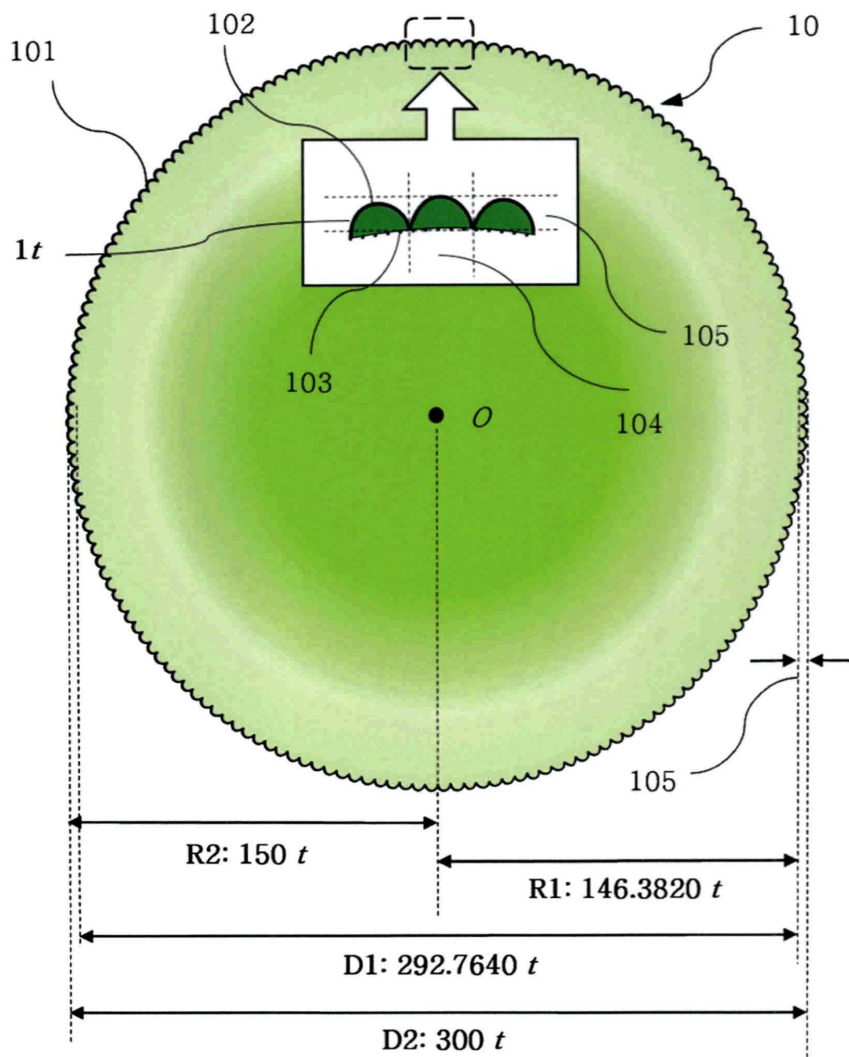
- 23: 전자기편 뱅크
- 230: 포물면
- 231-232: 적층규소강판 요크부
- 24: 전자기편
- 240: 매립형 자기편/영구자석 집합편
- 243: 자기균형편
- 244: 자기부상편
- 245: 전자기전인편
- 25: 셔틀 외피/셔틀 몸체/내외편평판
- 250: 음정현과 주름관
- 251: 반원형내부공간
- 26: 보조바퀴
- 260: 활인모터
- 261-262: 타이어접지면
- 266: 구동축
- 267: 베어링
- 268: 스테핑모터 로터
- 269: 스테핑모터 스테이터
- 27: 능동제어전자기편
- 28: 2차 변환코일부
- 29: 전자기방사판
- 30: 회전튜브
- 300: 원점회전튜브
- 302: 2차 회전튜브
- 305: 1차 회전튜브원호/내접원호튜브
- 306: 외접원호튜브
- 309: 봉쇄구/연장 봉쇄공법
- 31: 스위칭튜브
- 311: 타원형양정현과주름관
- 312: 타원형 편평관/외피
- 319: 기계실
- 32: 교차형스위치(XoS)/굴절편
- 320: 액추에이터
- 321: 궤도지지프레임
- 323: 묶음형 프레임
- 324: 출향측 굴절편

- 325: 입향측 굴절편
- 326: 연접 내측궤도
- 329: 원점회전튜브 전용교차형스위치
- 33: 수직 스위칭튜브
- 34: 수직 교차형스위치(vXoS)
- 344: 출향측 굴절편
- 345: 입향측 굴절편
- 346: 연접 내측궤도
- 35: 대원회전튜브
- 350: 8단자형허브
- 36: 경사튜브
- 37: 진공격벽
- 370: 진공펌프
- 371: 포물면결합부
- 372: 차단벽
- 373: 구동액추에이터
- 374: 진공감지센서
- 375: 기밀유지용 이중오링
- 376: 배터리
- 38: 보조단상궤도
- 380: 궤도프레임
- 39: 튜브서플랫폼
- 390: 플랫폼 바닥
- 391: 플랫폼 천장
- 392: 플랫폼 상면
- 393: 플랫폼 삼상궤도
- 394: 플랫폼 깊이
- 395: 튜브서플 바닥높이
- 396: 다중섬식승강장(multiple island platform, MIP)
- 51: 튜브평형추
- 511: 평형추 연결부
- 519: 수압
- 52: 튜브앵커
- 520: 테트라포드
- 521: 1 튜브앵커
- 522: 2 튜브앵커

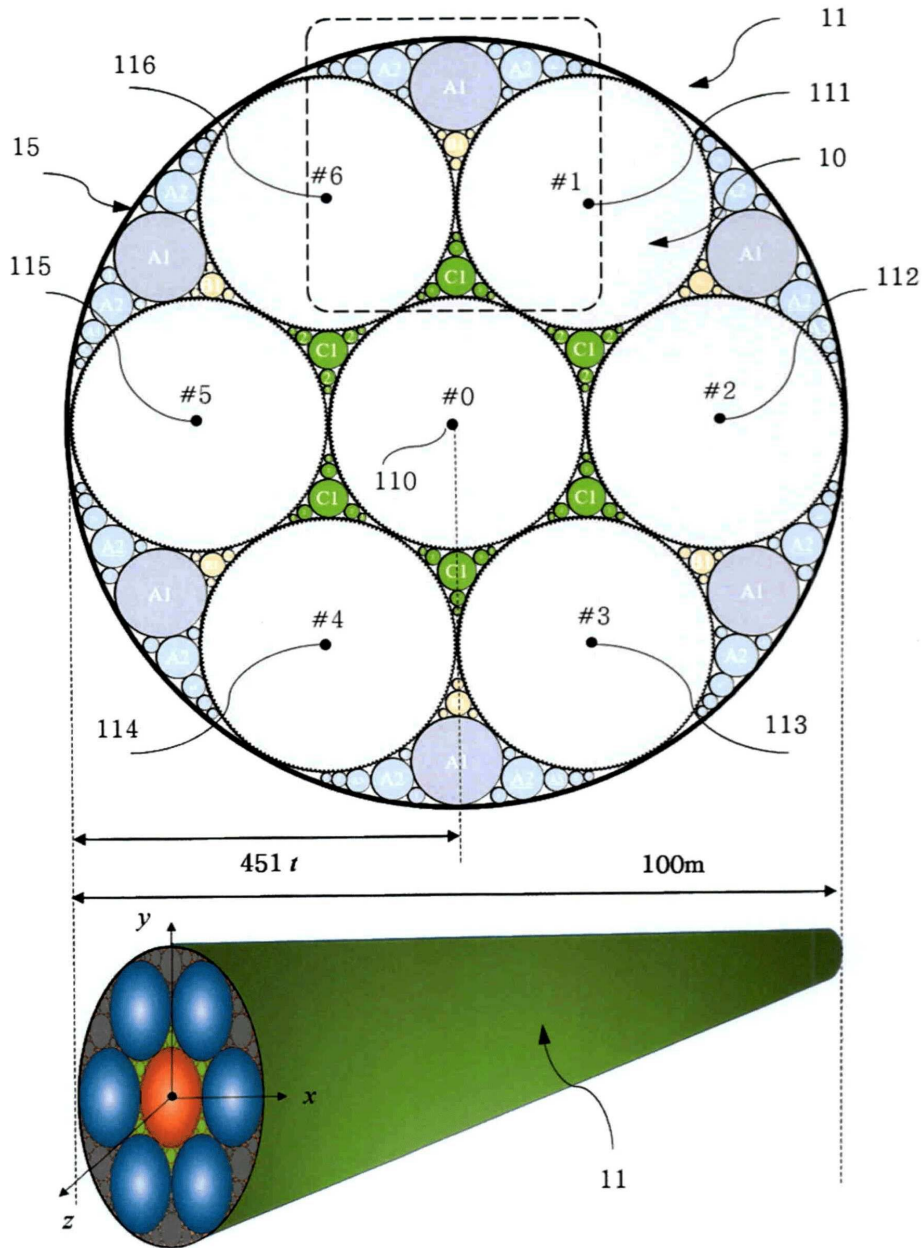
- 523: 고장력케이블
- 53: 수중교각
- 500: 튜브시공선박
- 501: 잠수정
- 502: 매니플레이터/로봇팔
- 503: 드릴파이프
- 504: 데릭기중기
- 505: 스러스터
- 508: 위성항법시스템(GPS)
- 509: 트랜스폰더

도면

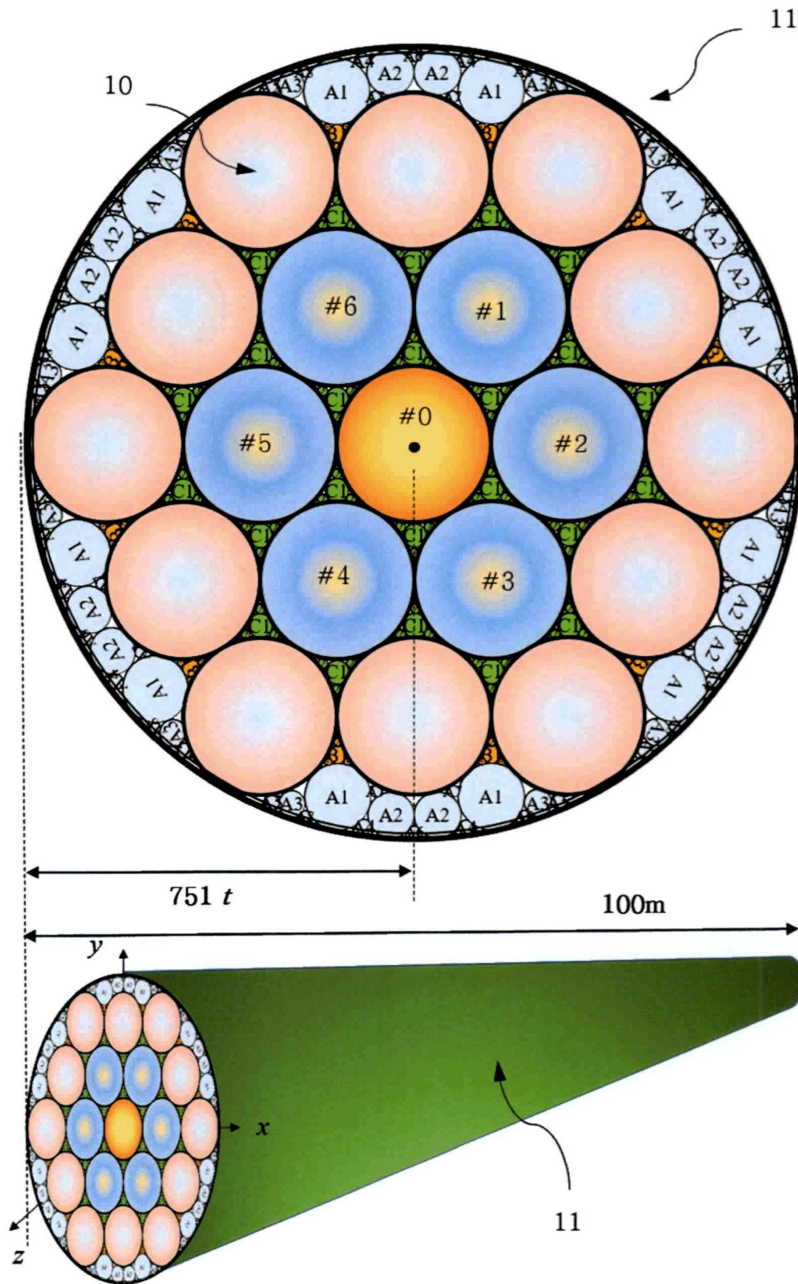
도면1



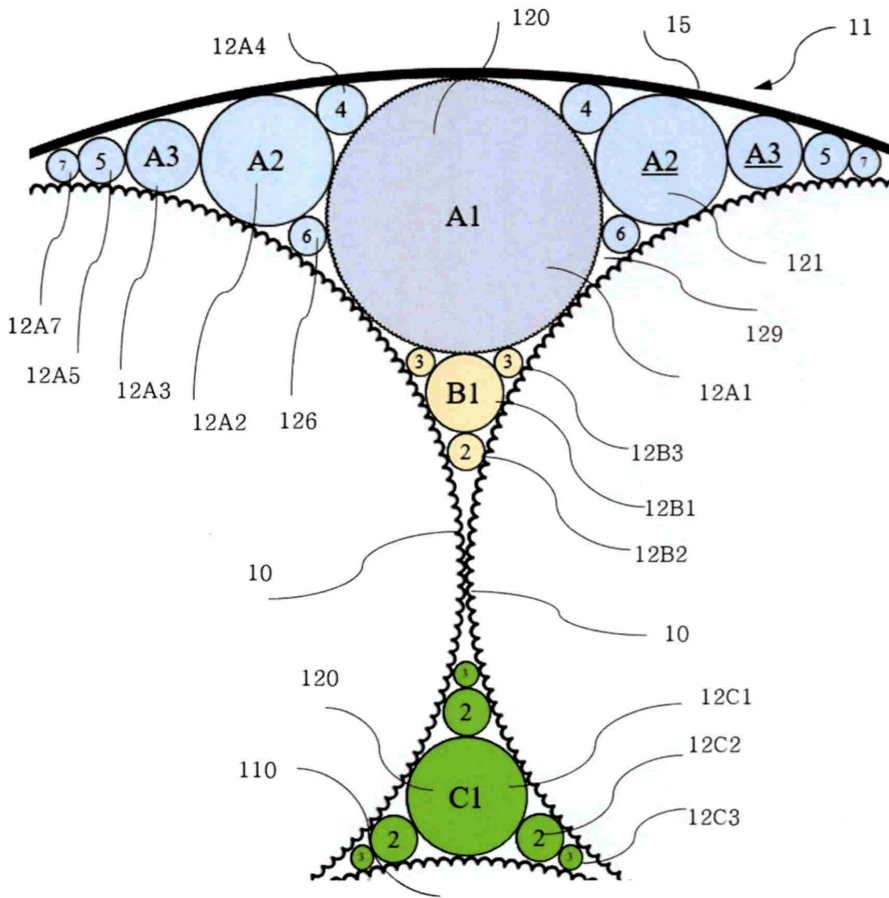
도면2



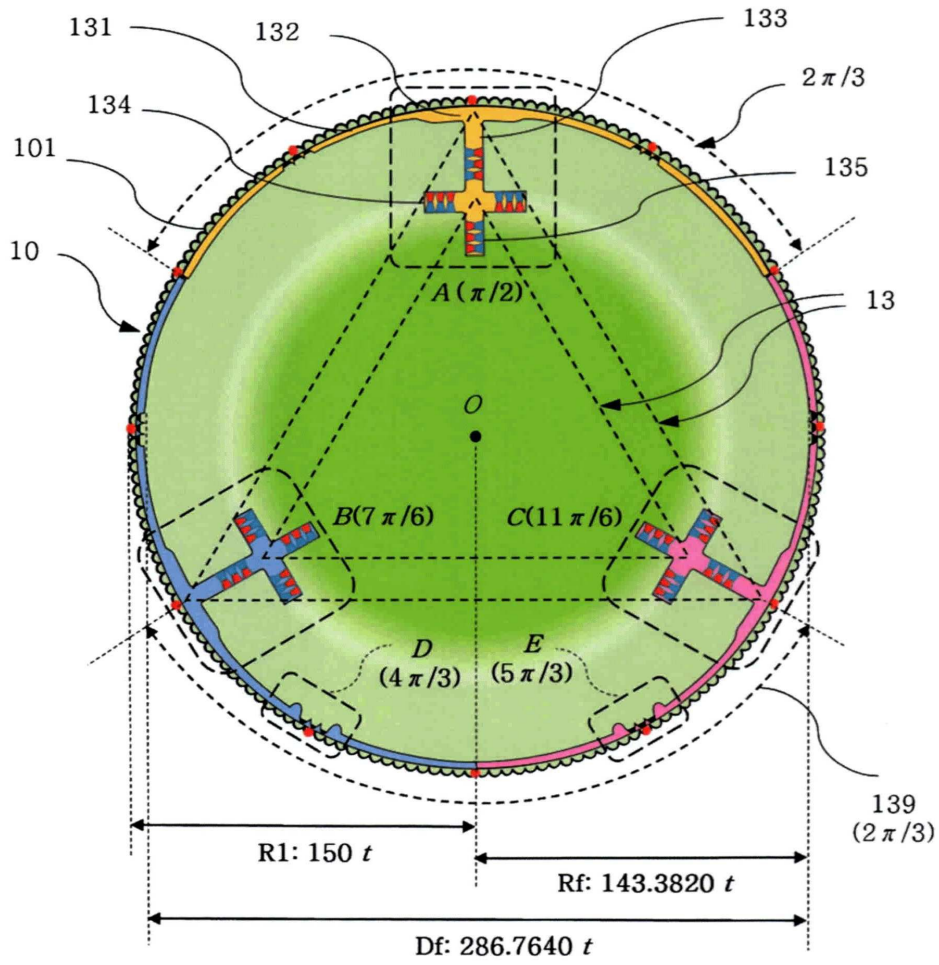
도면3



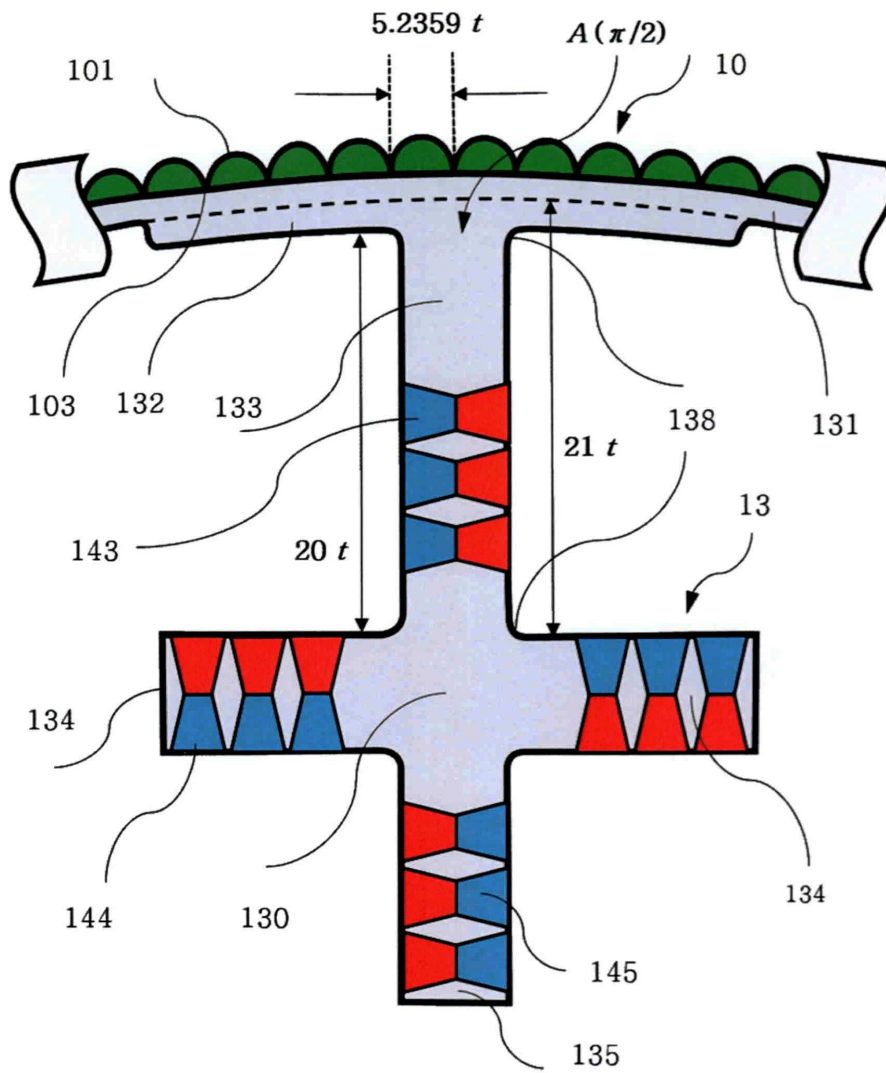
도면4



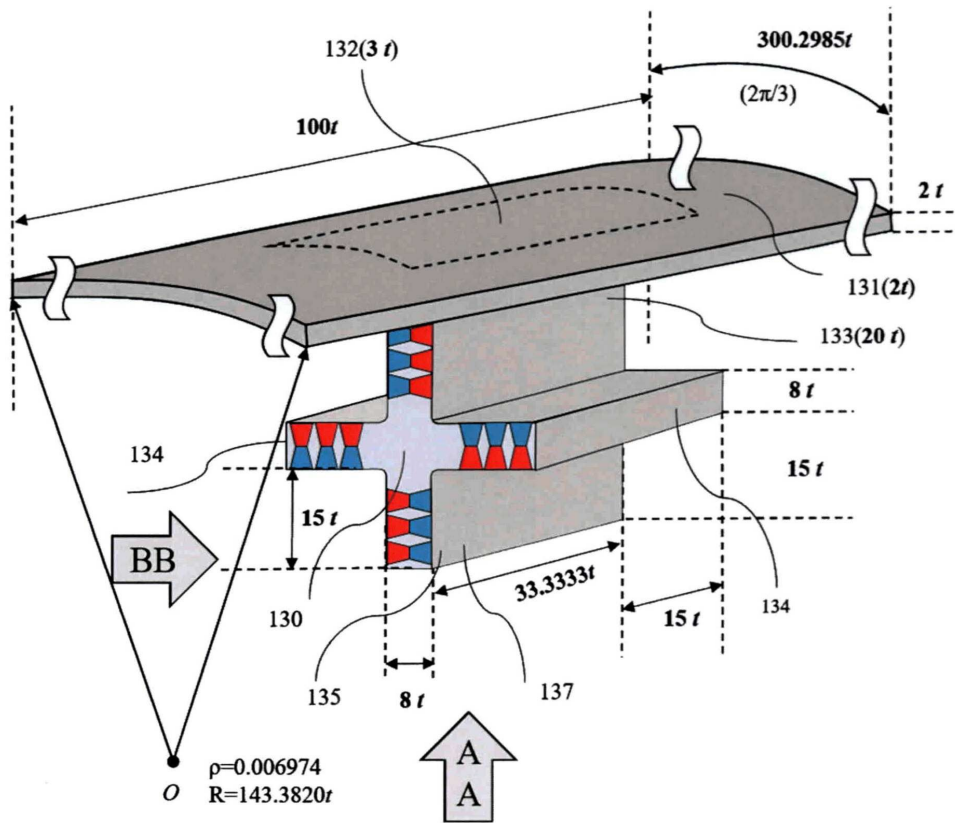
도면5



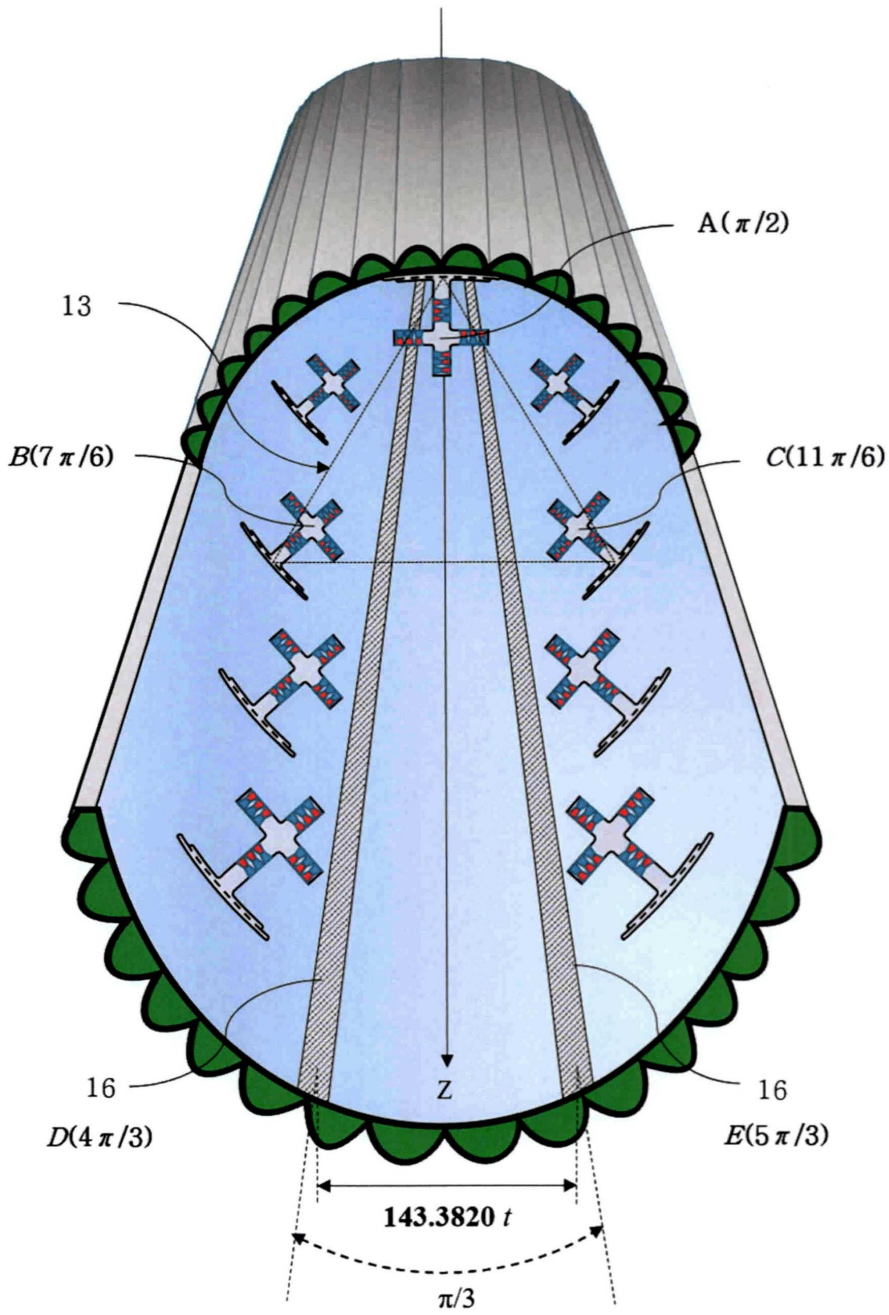
도면6



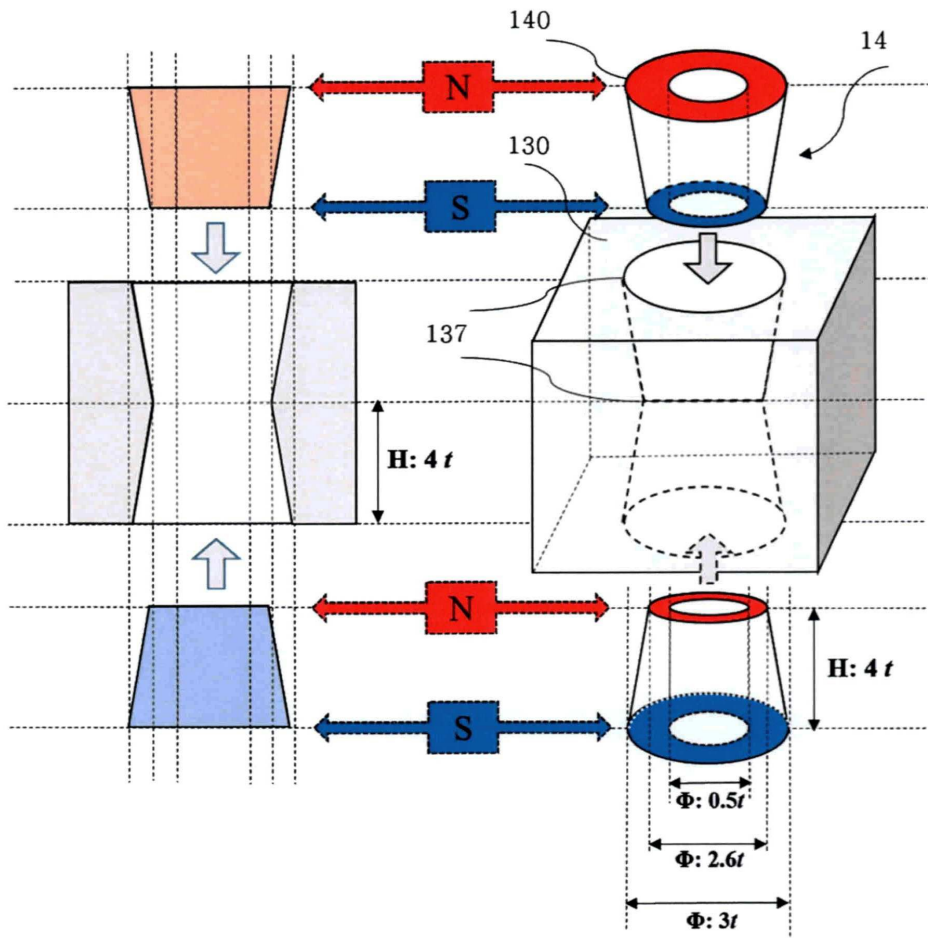
도면7



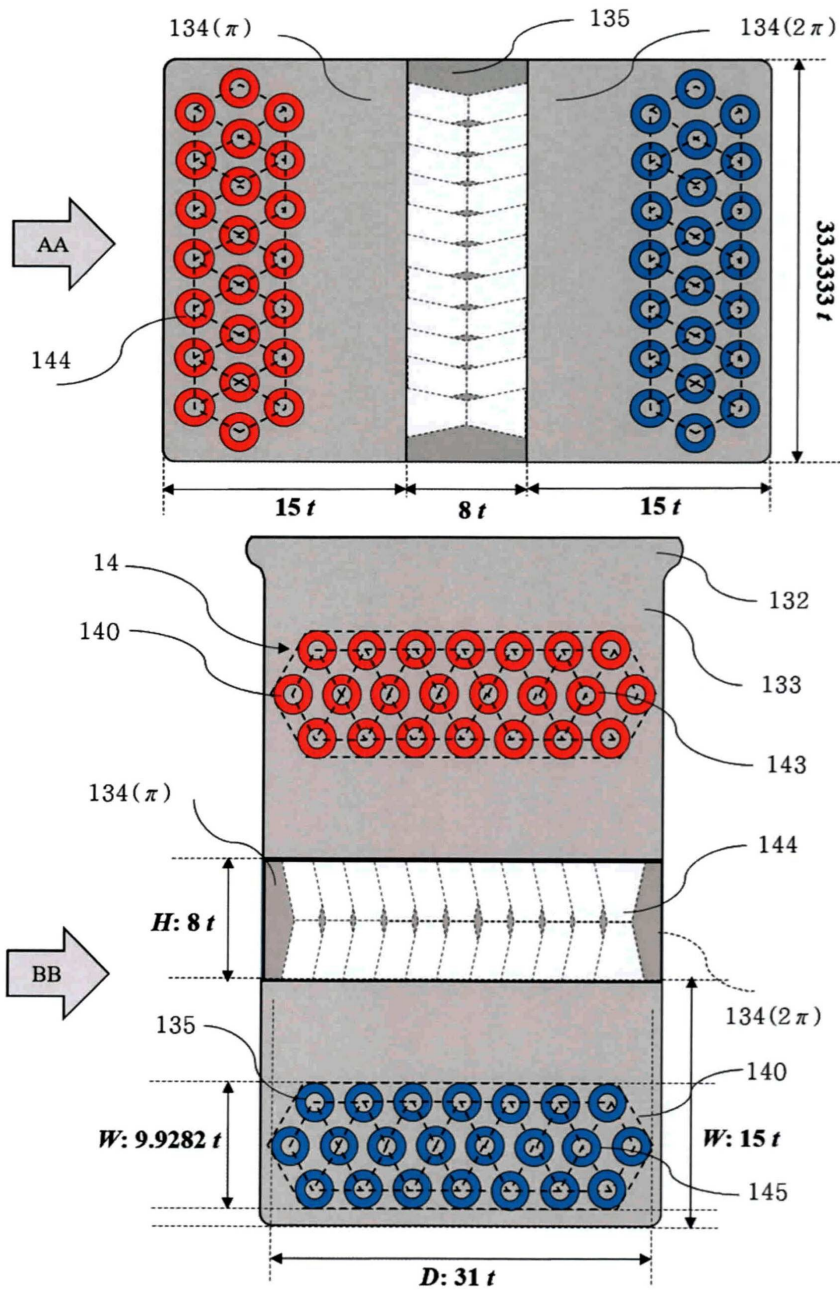
도면8



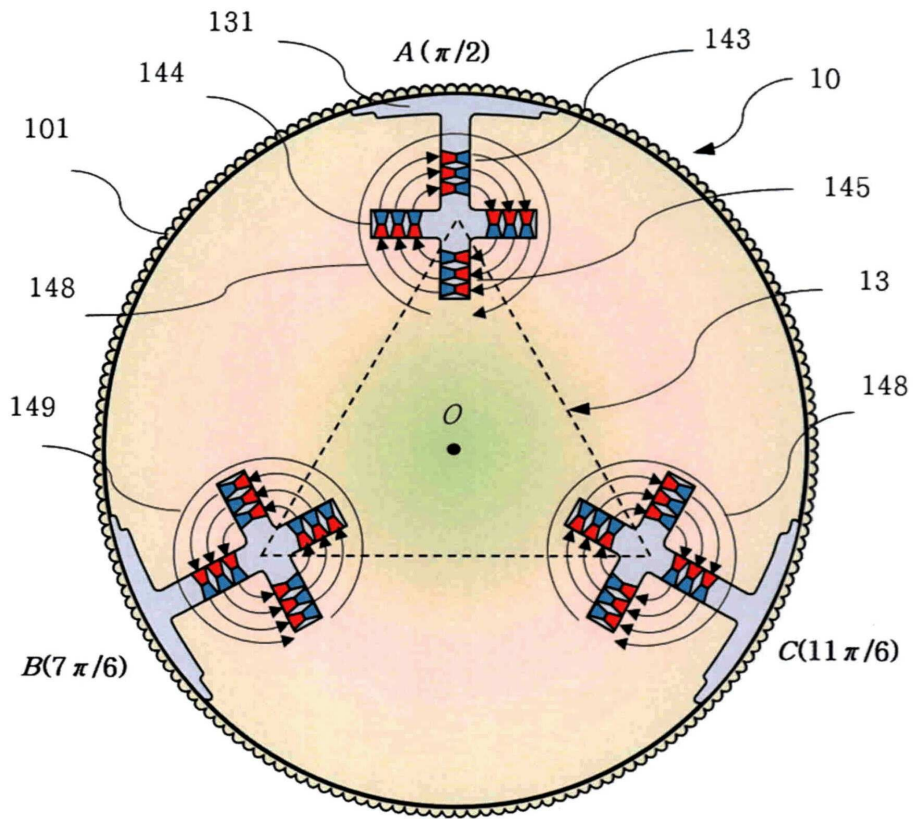
도면9



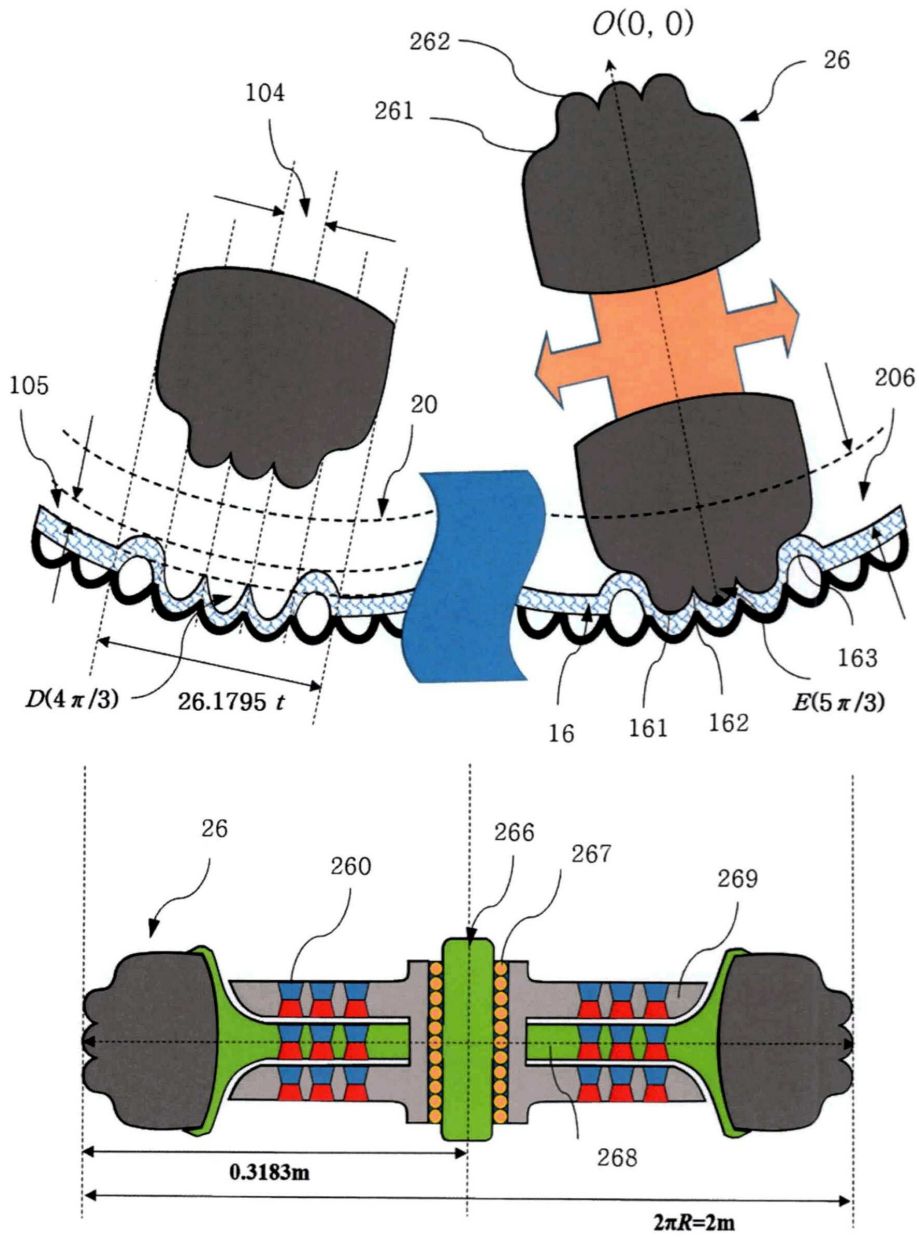
도면10



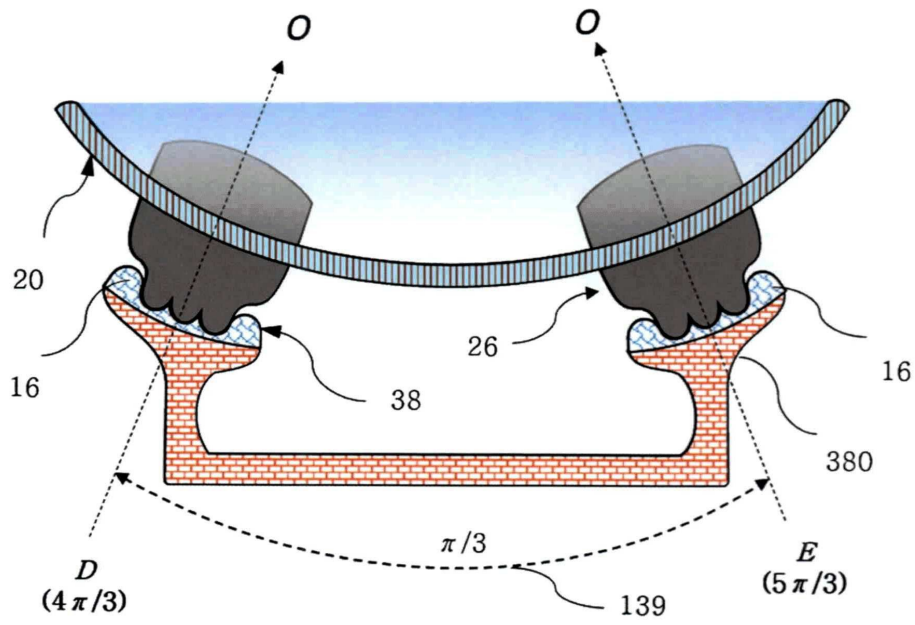
도면11



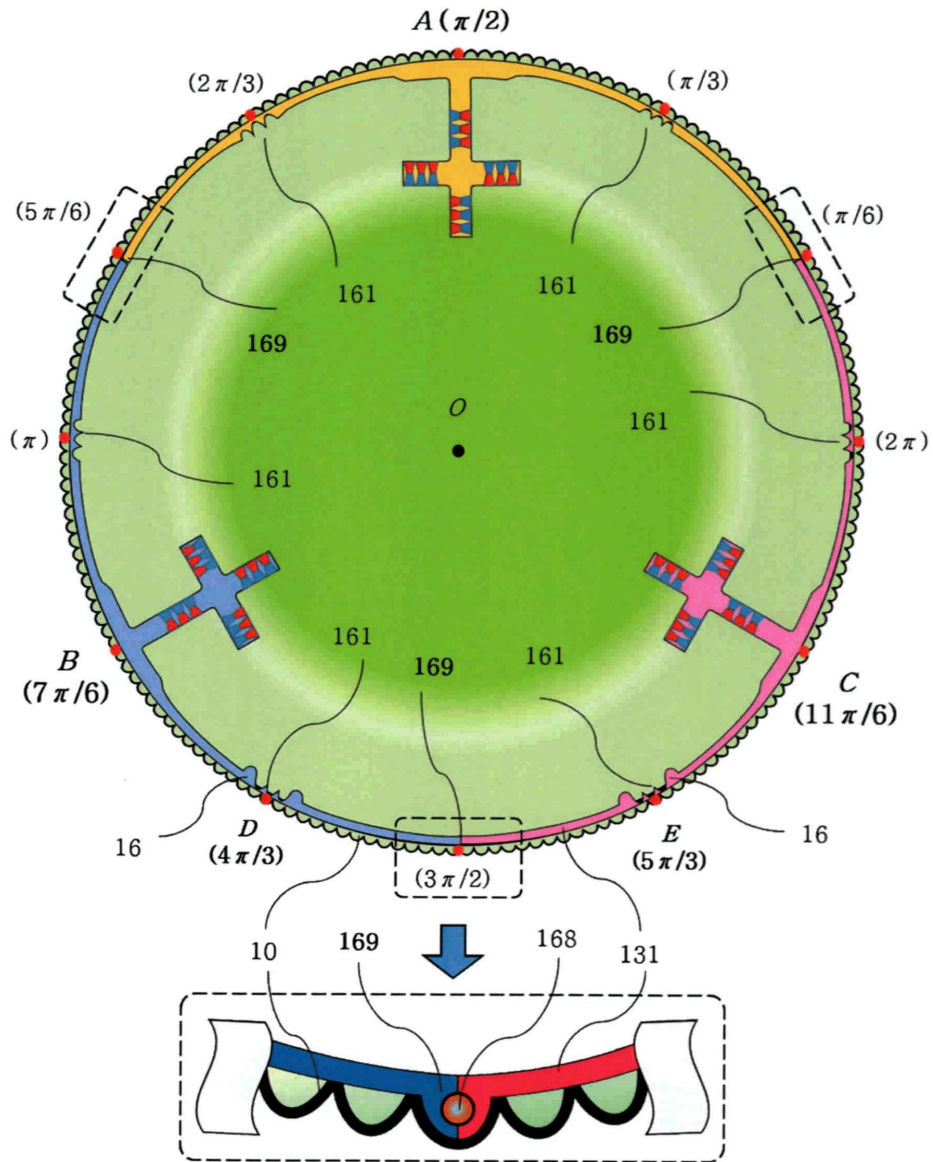
도면12



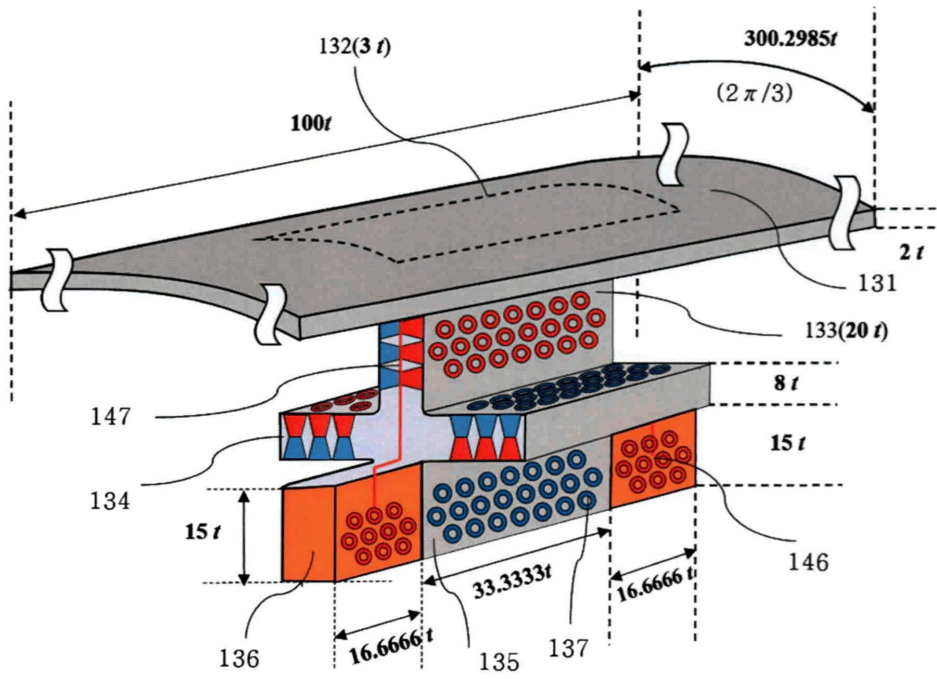
도면13



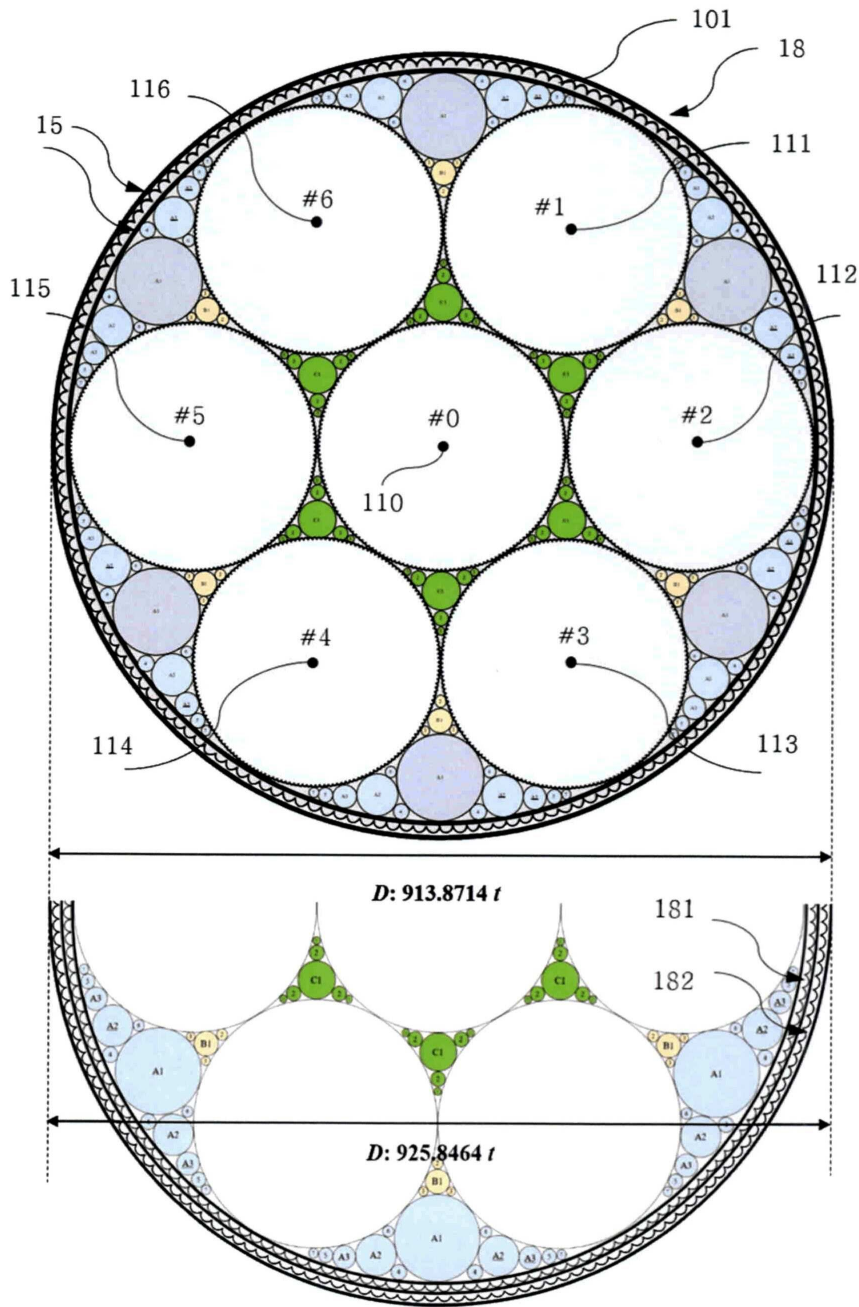
도면14



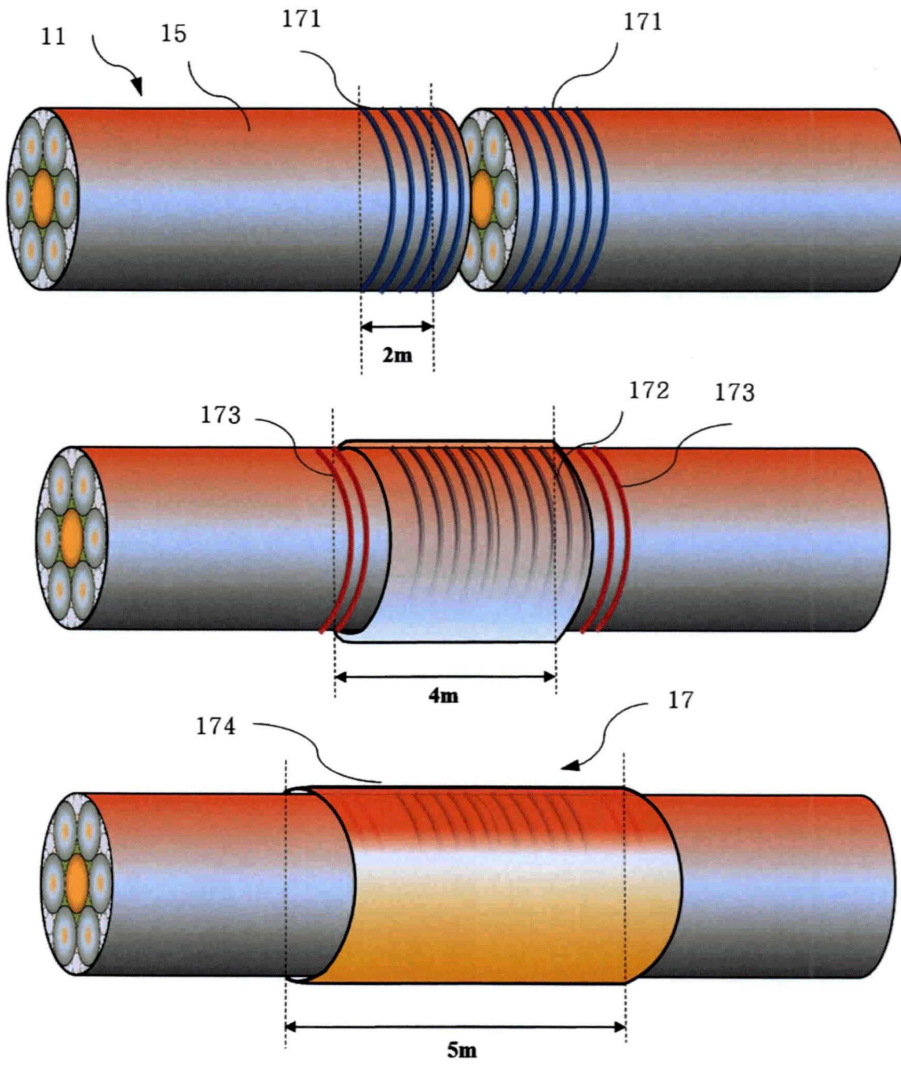
도면15



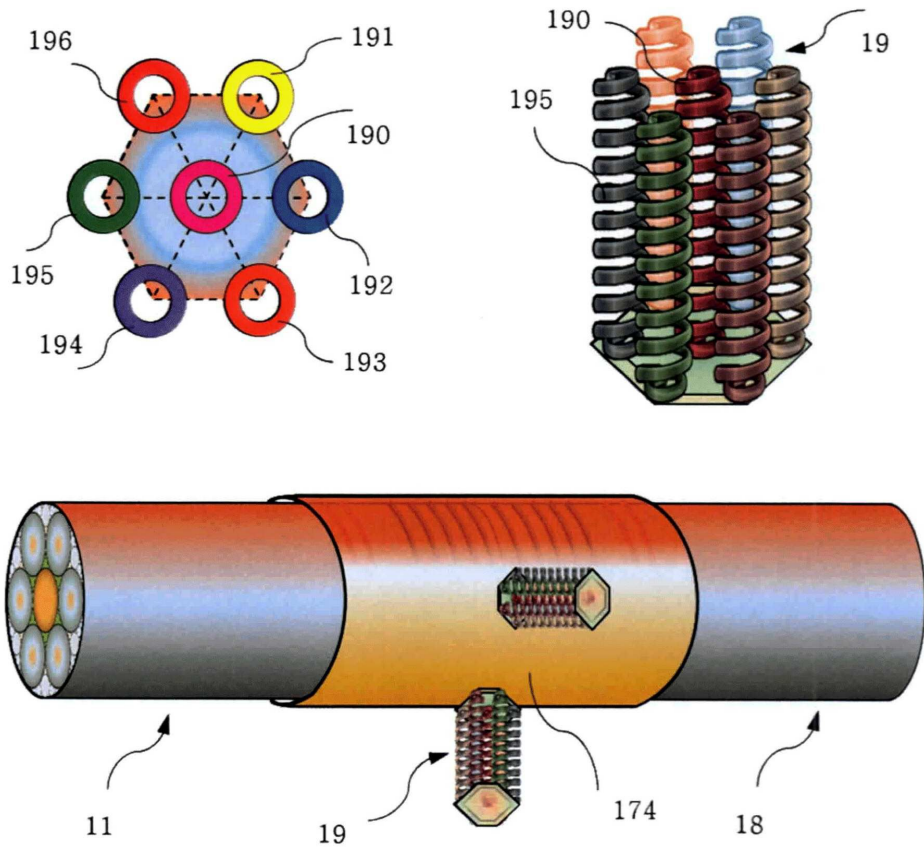
도면16



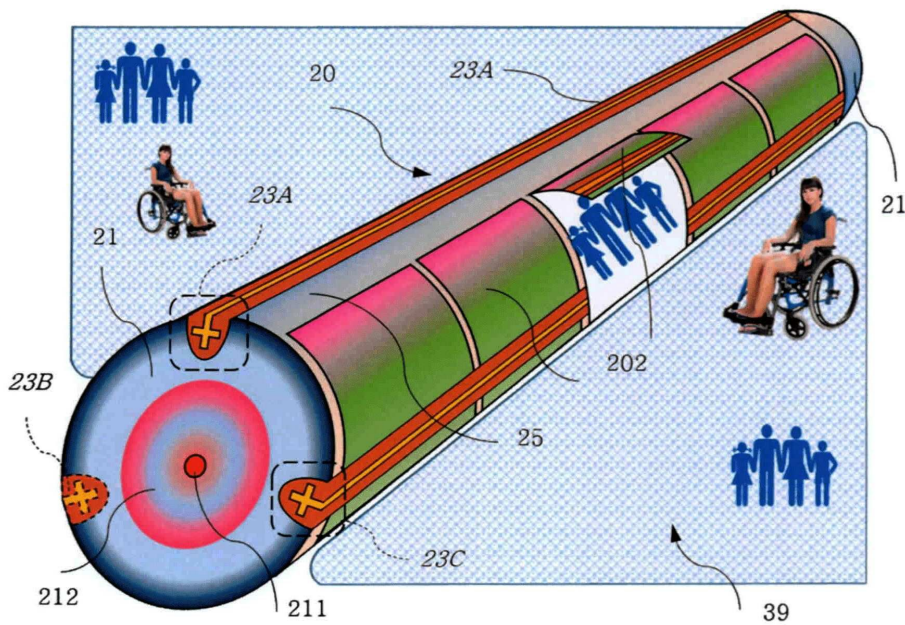
도면17



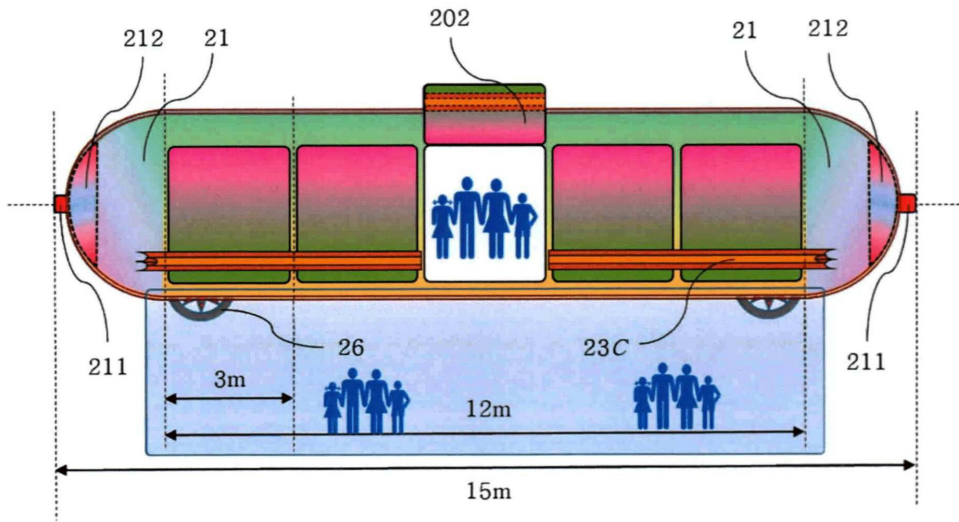
도면18



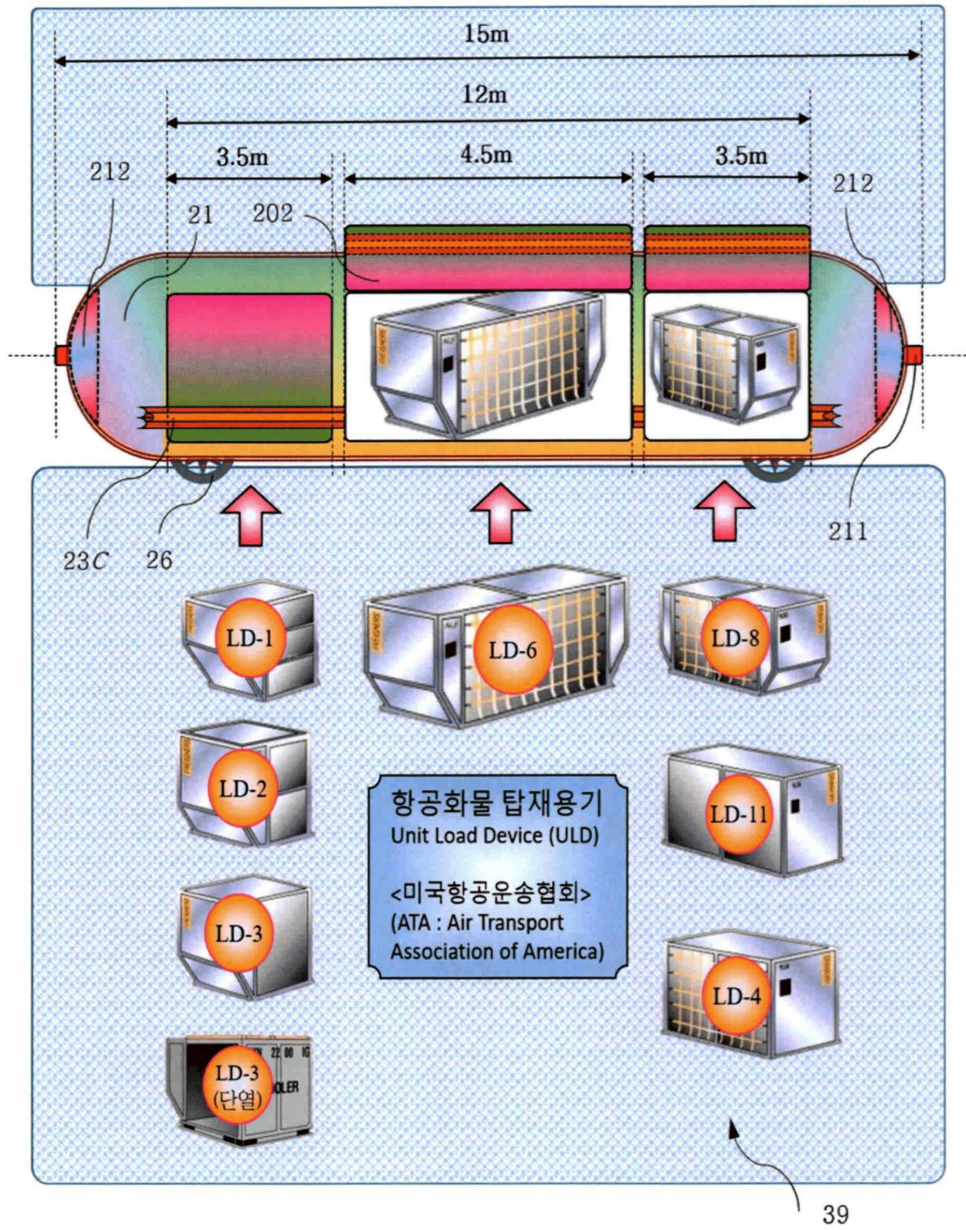
도면19a



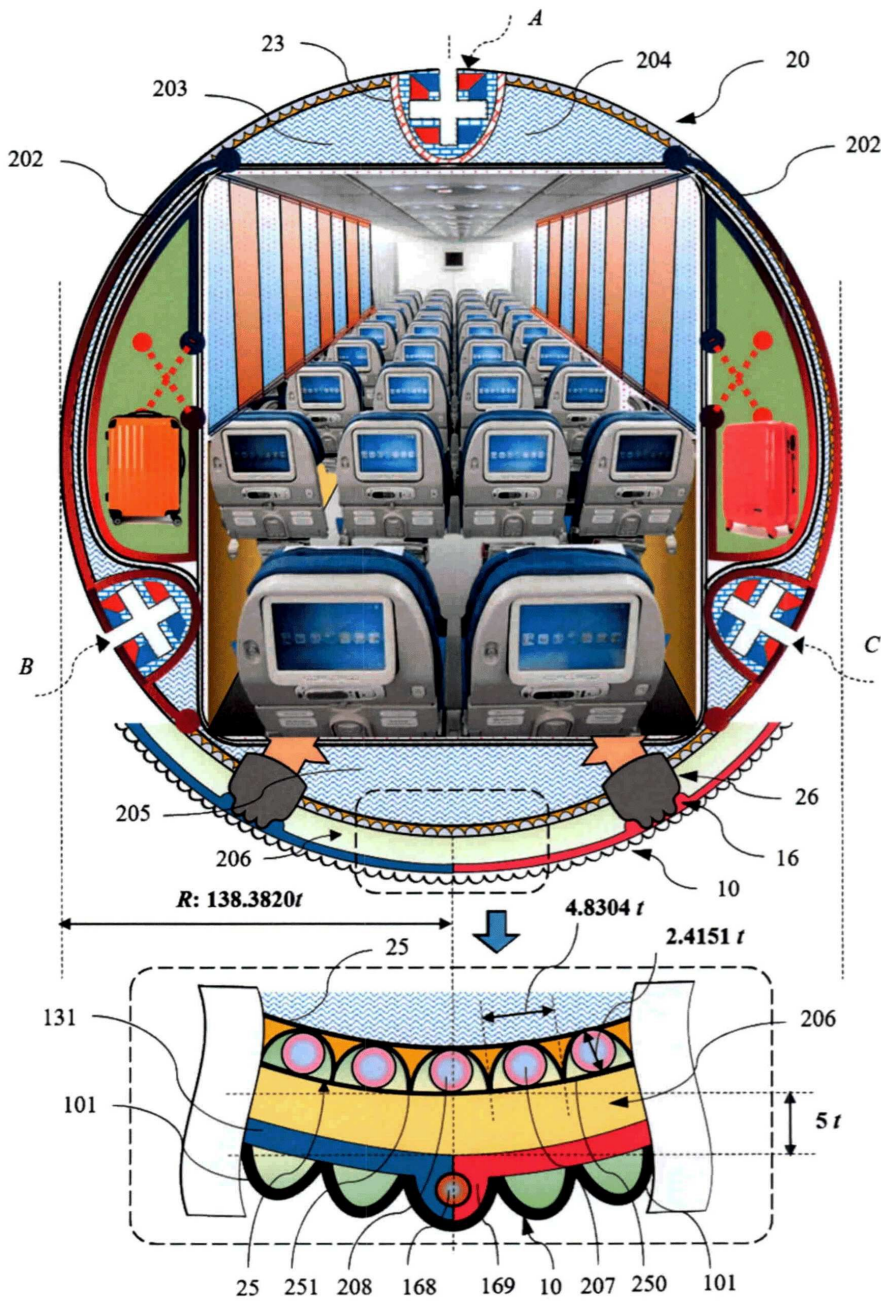
도면19b



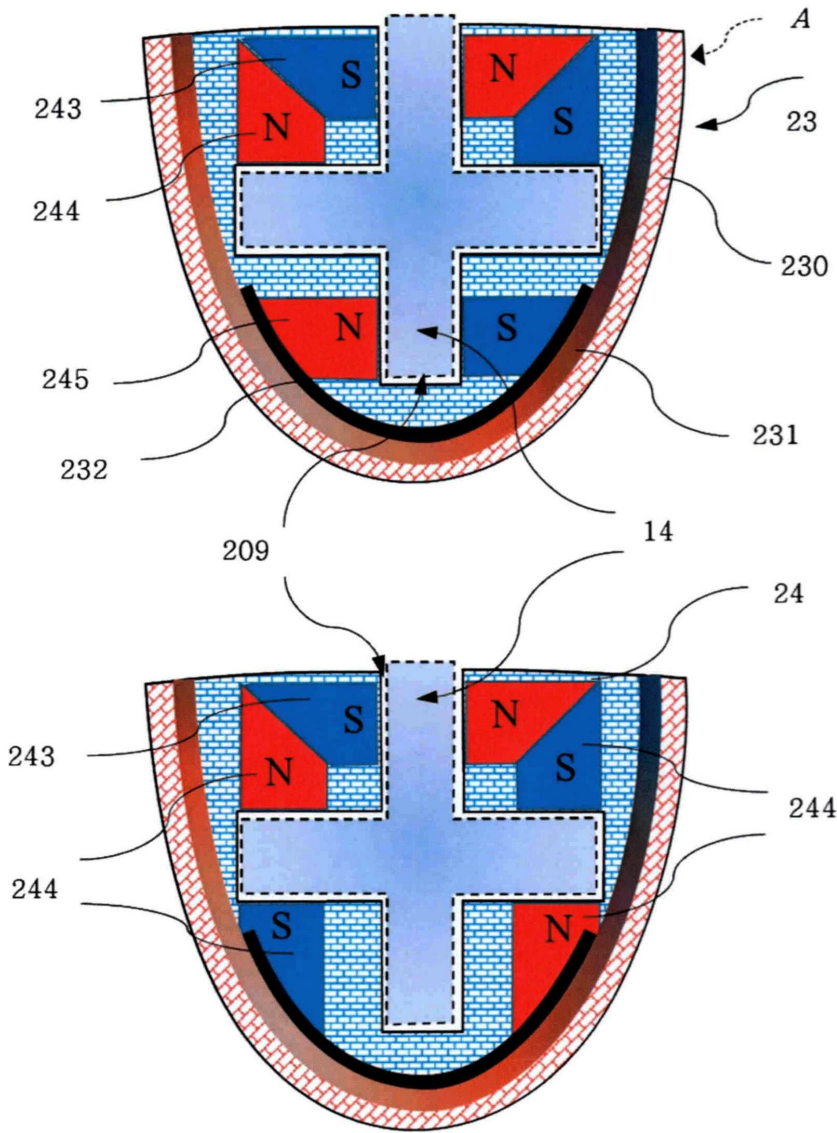
도면19c



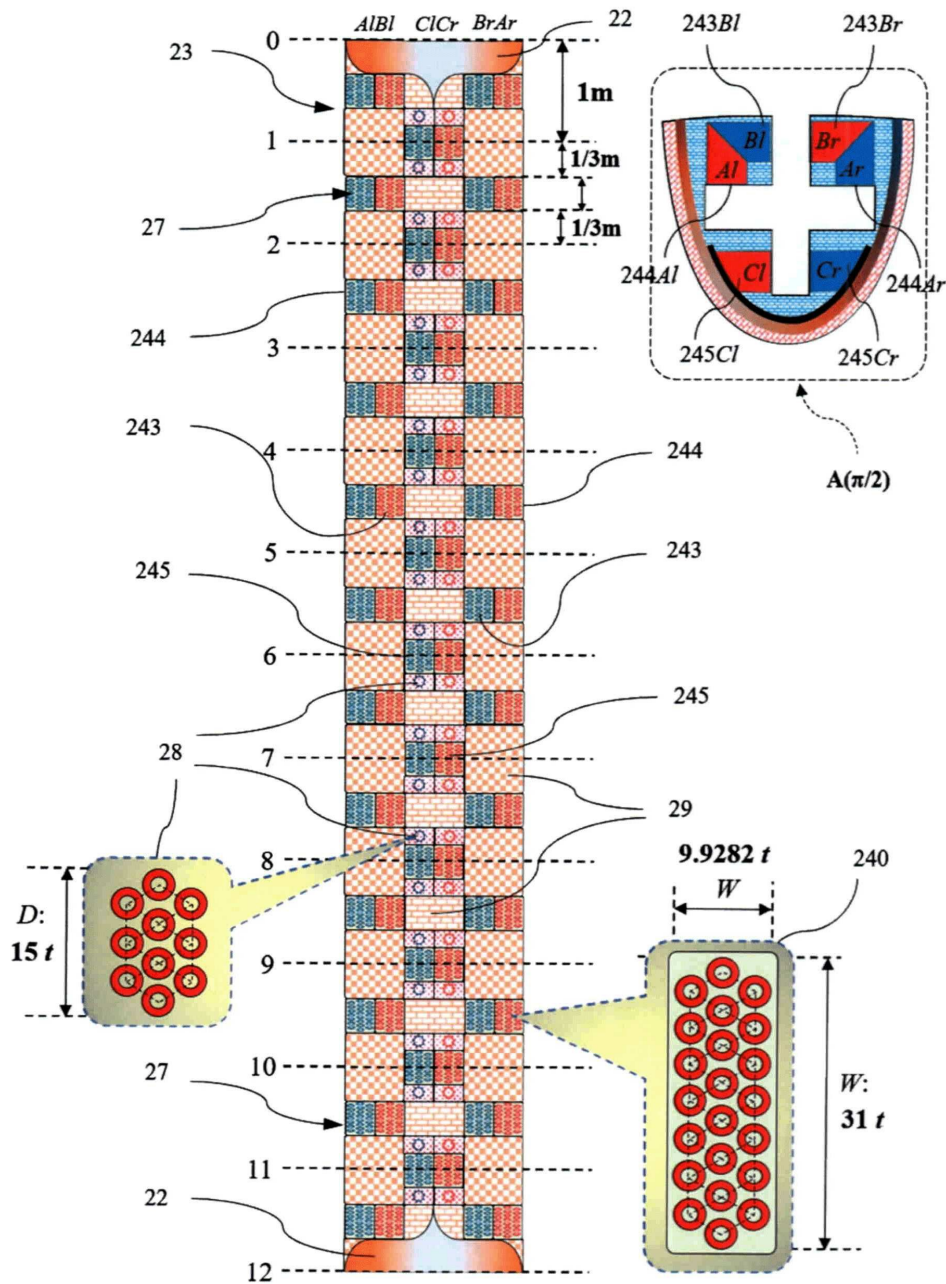
도면20



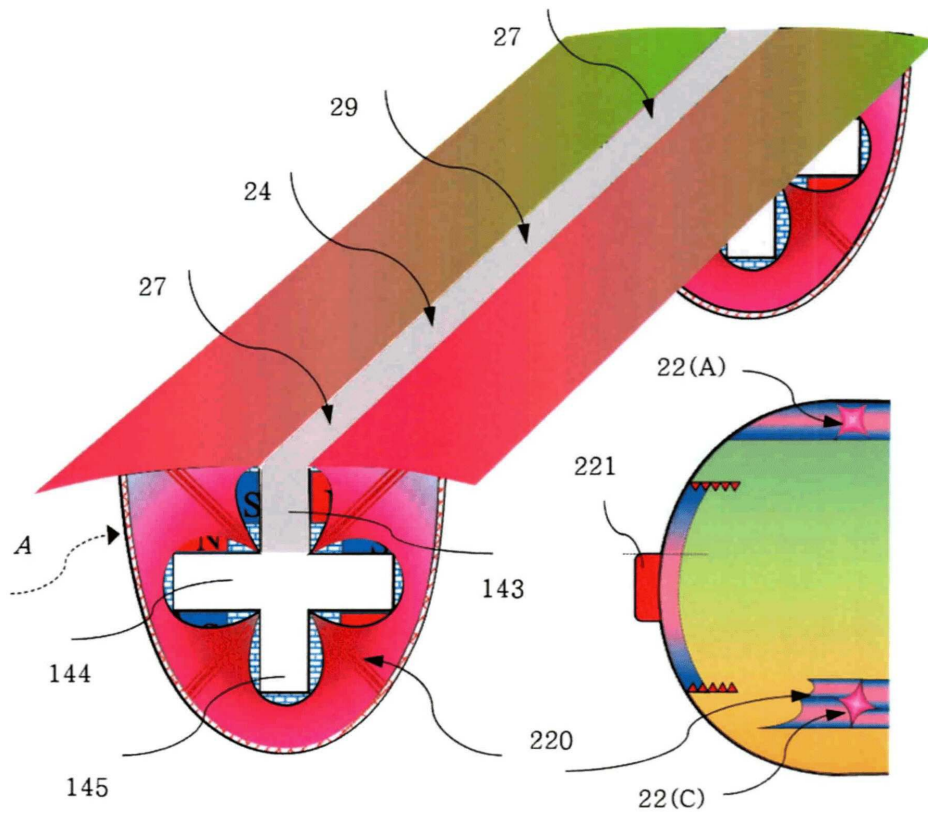
도면21



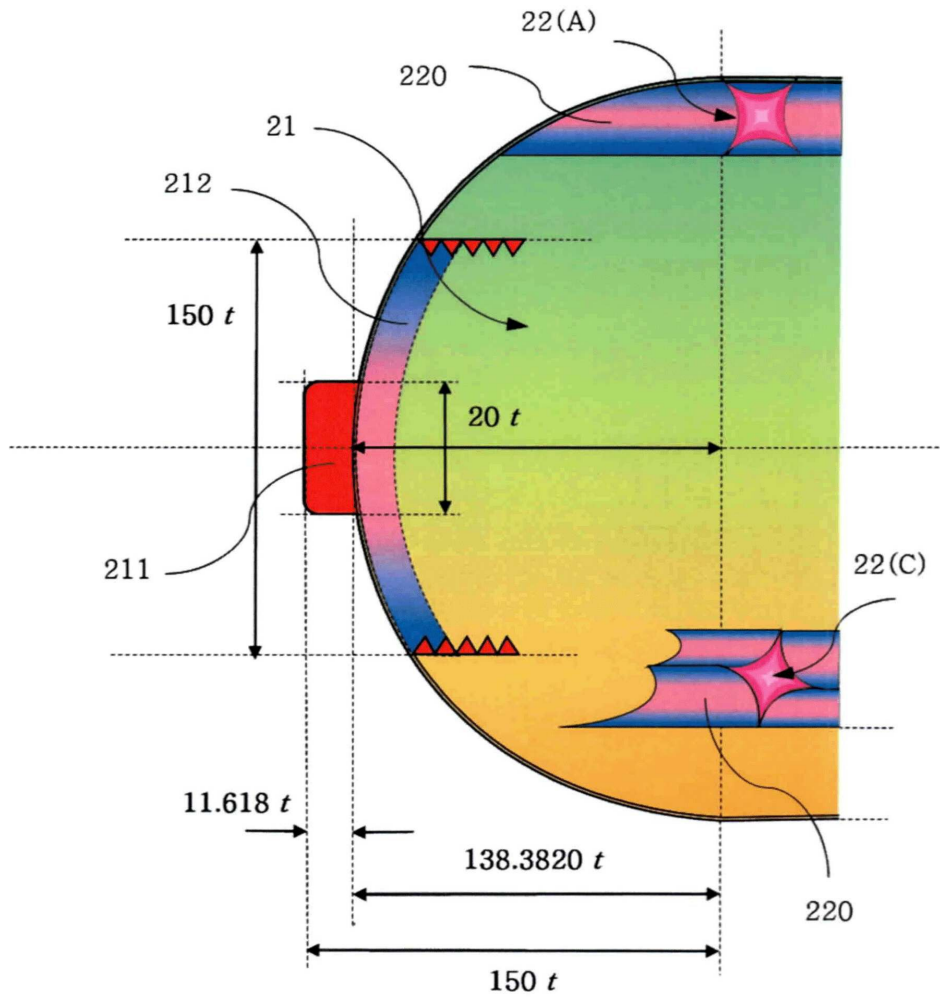
도면22



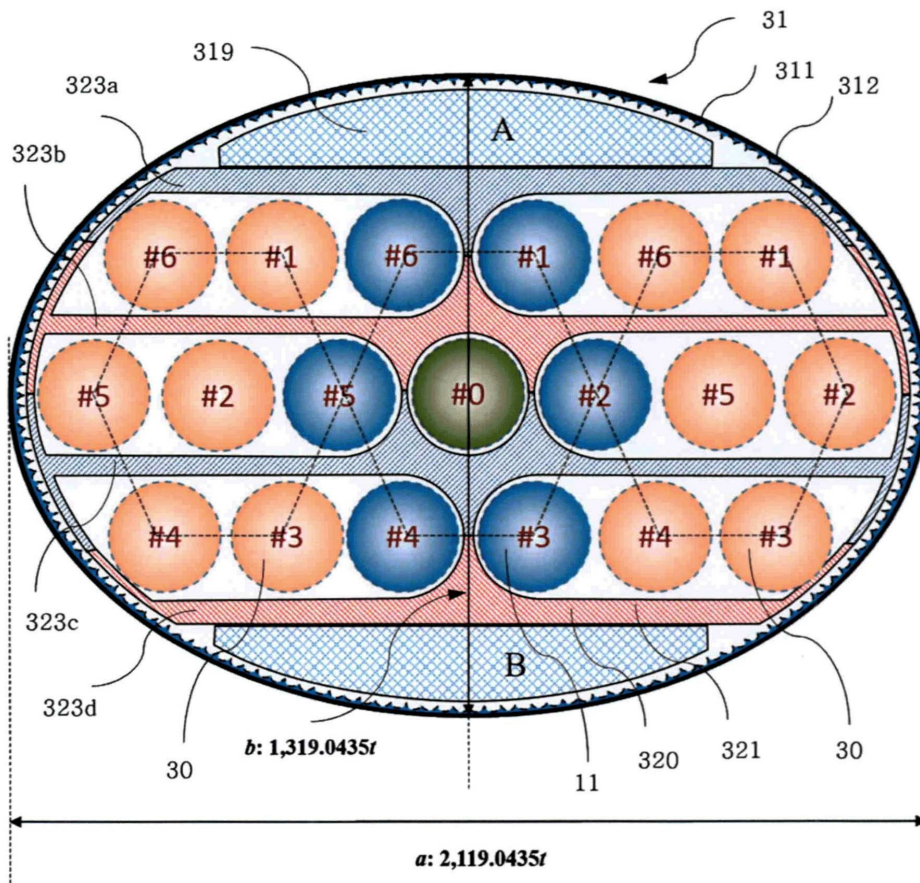
도면23



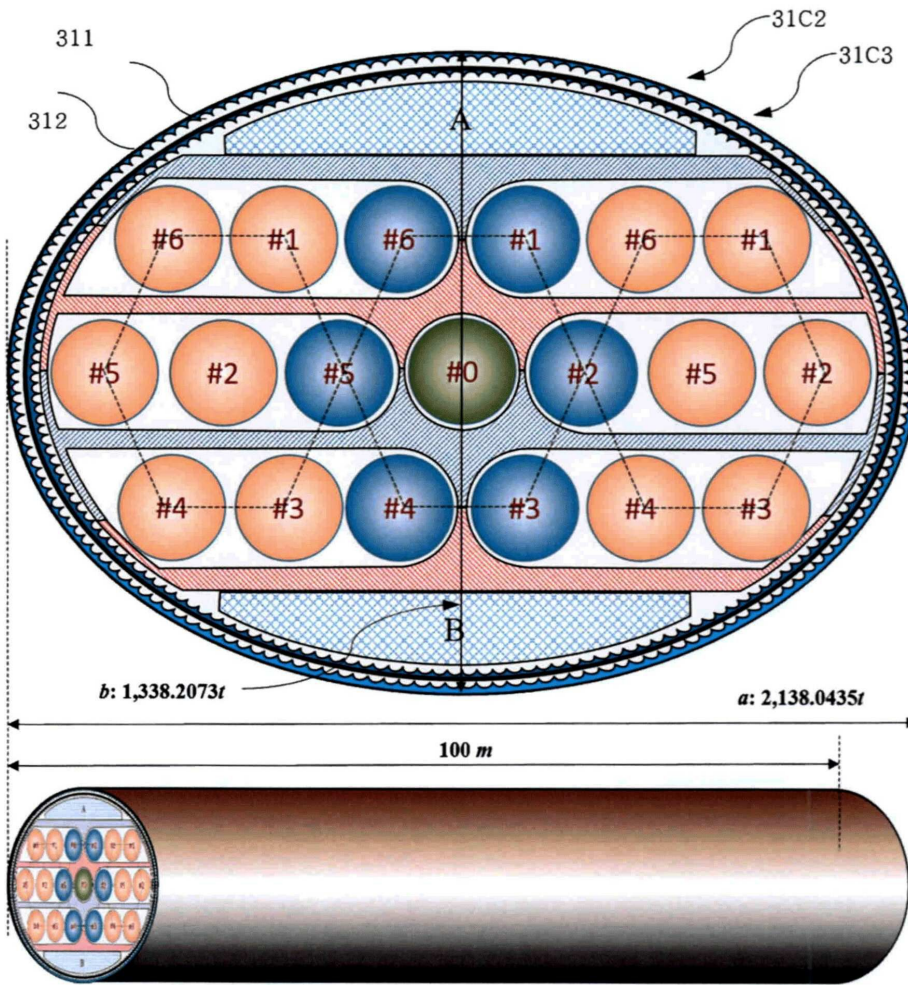
도면24



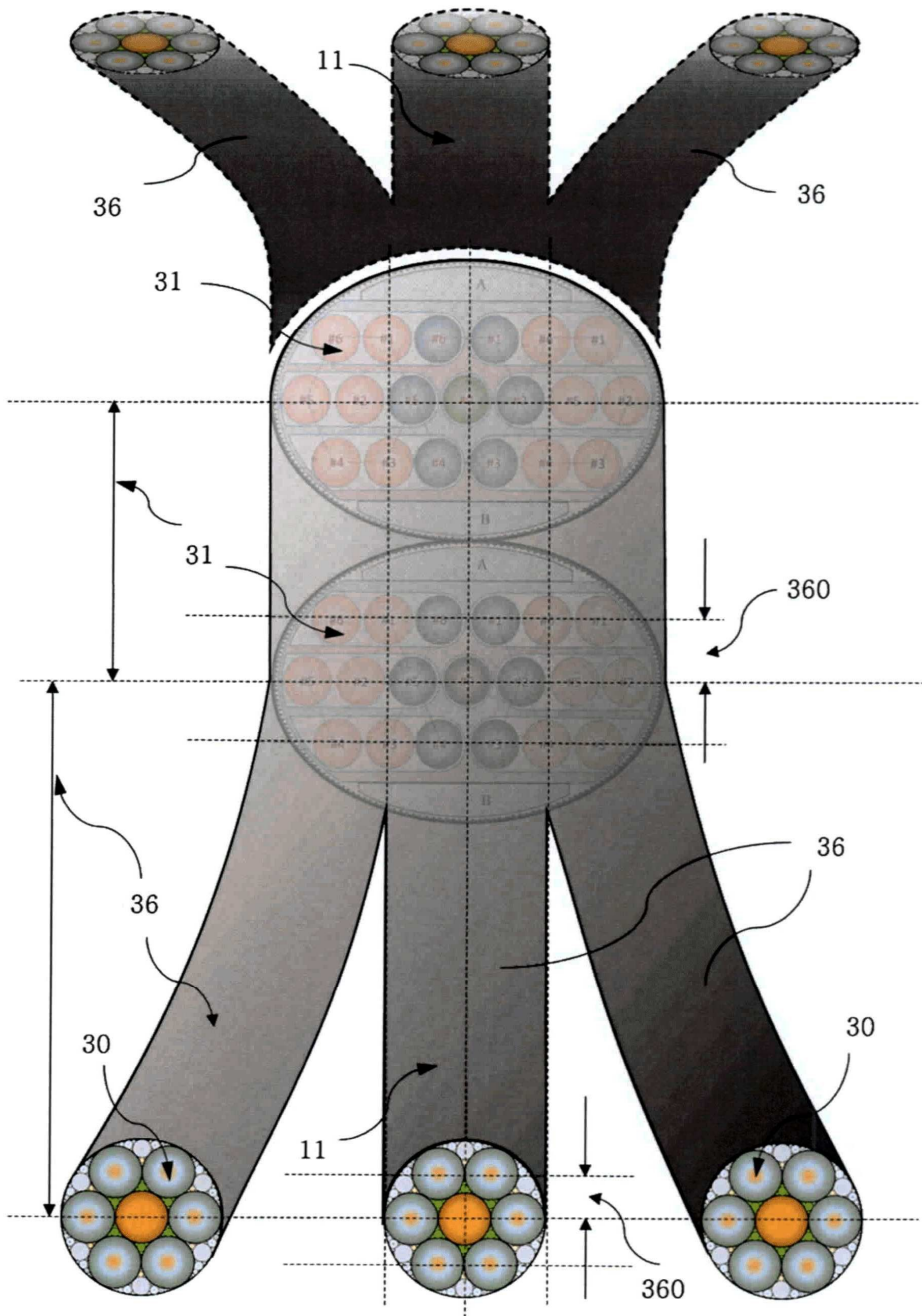
도면25



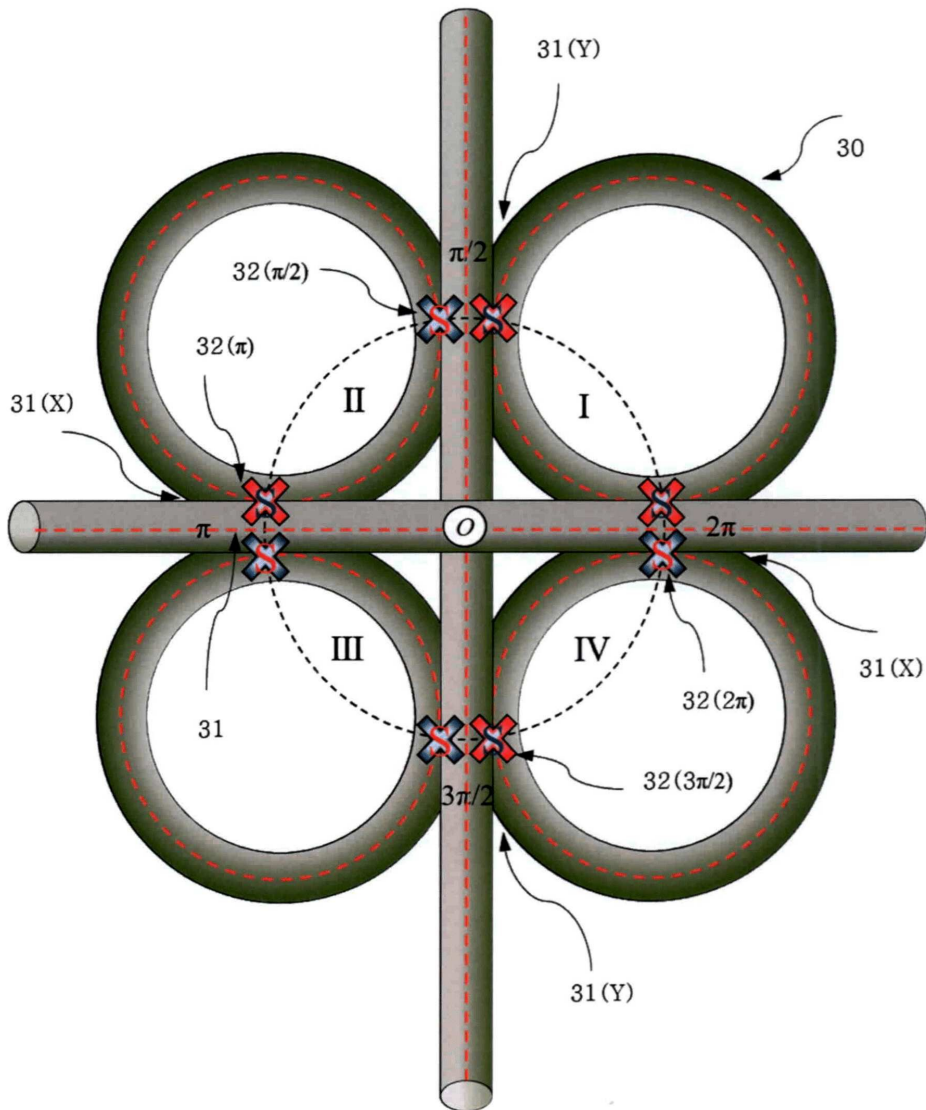
도면26



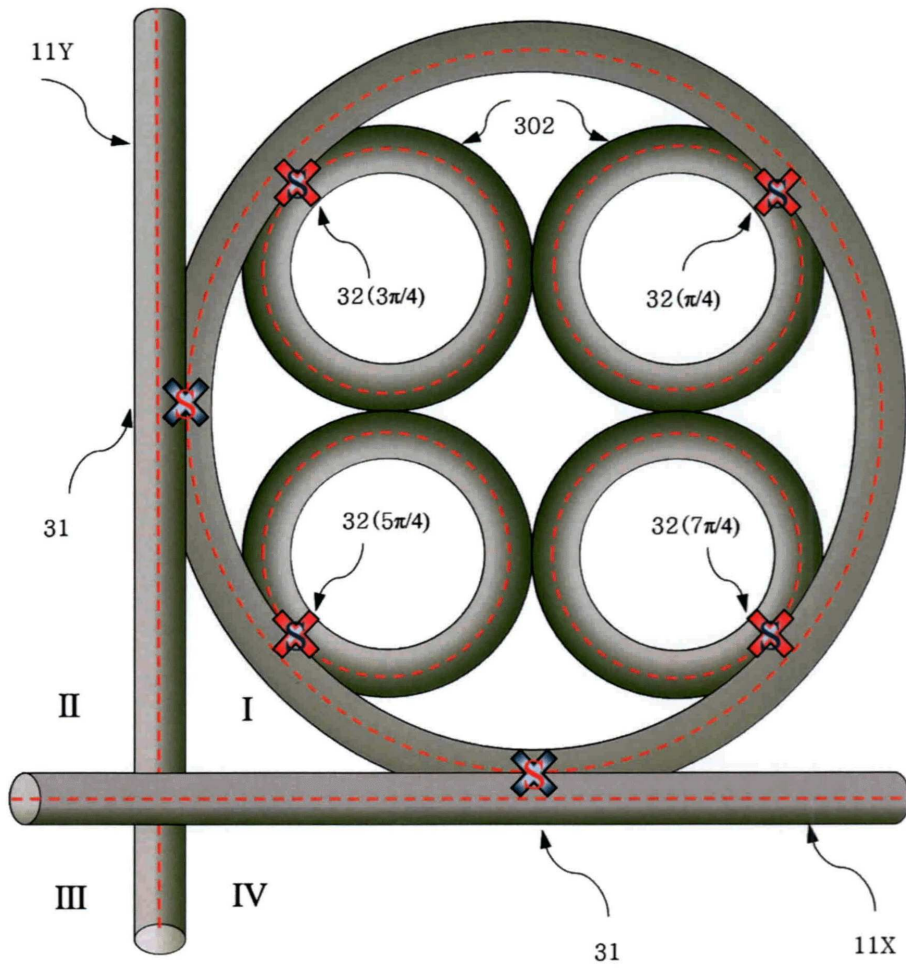
도면27



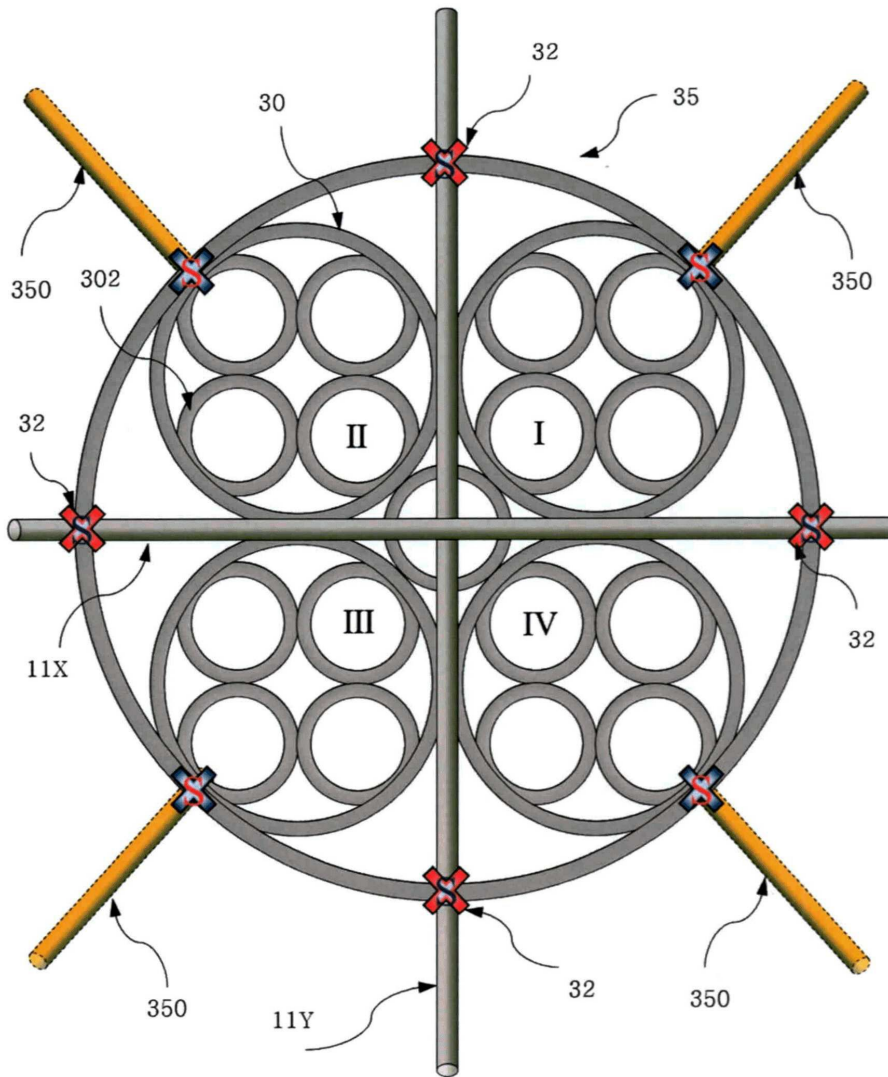
도면28



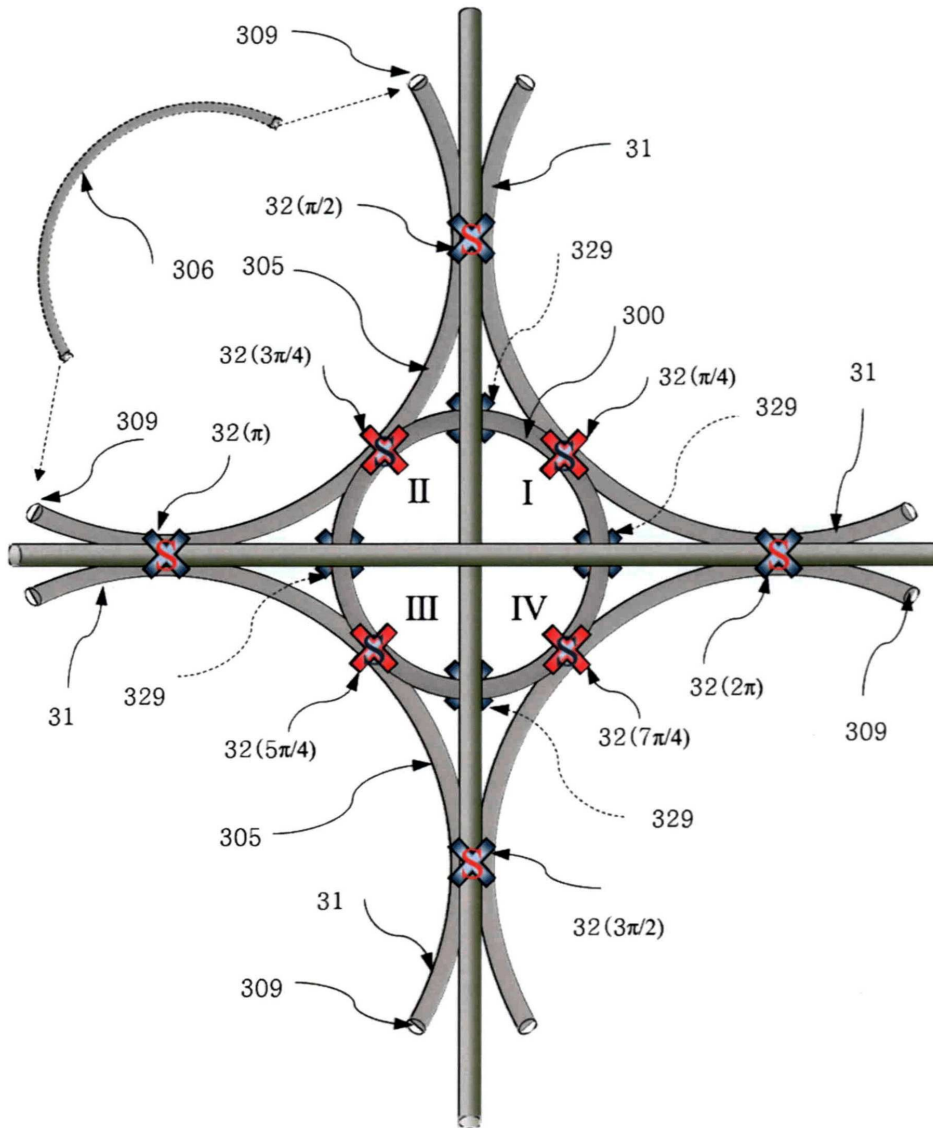
도면29



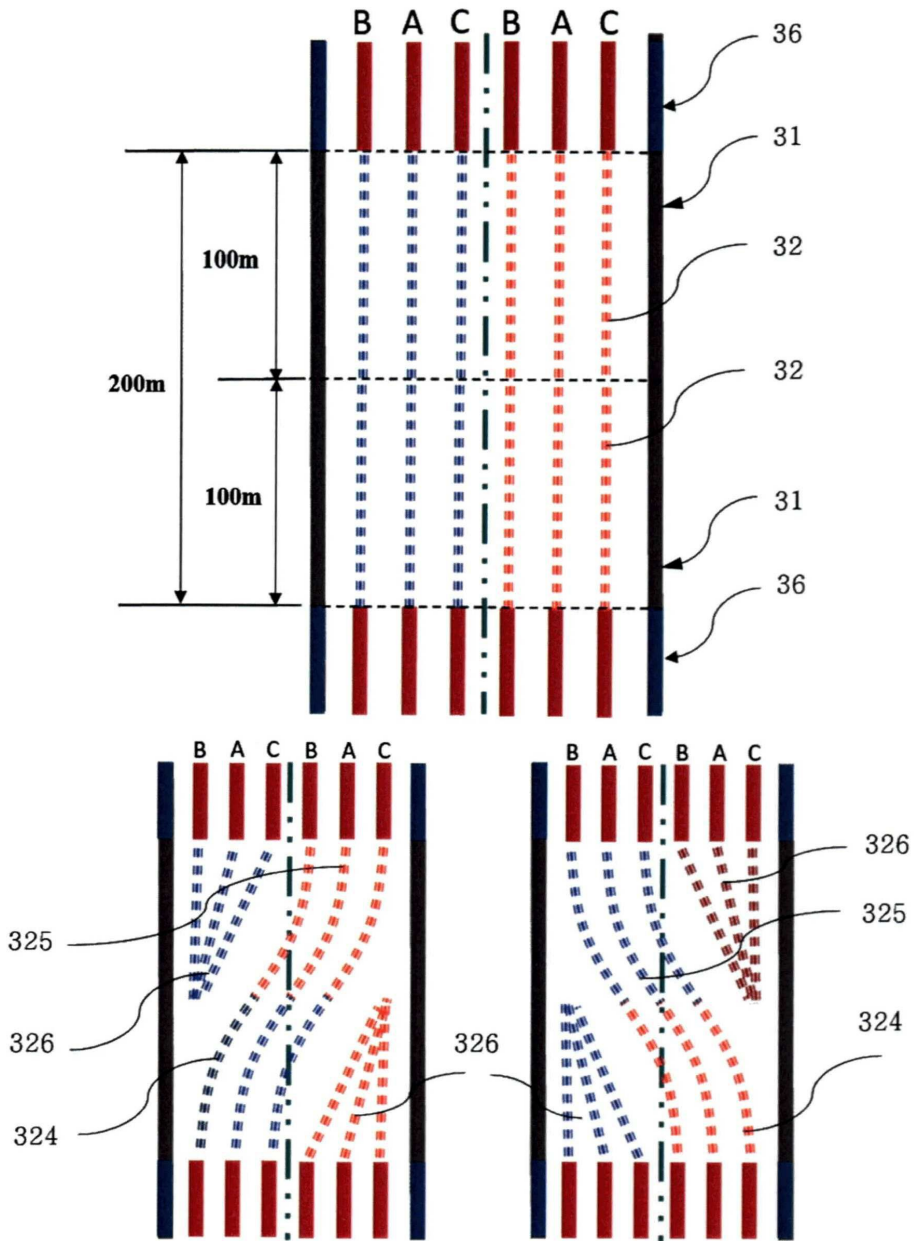
도면30



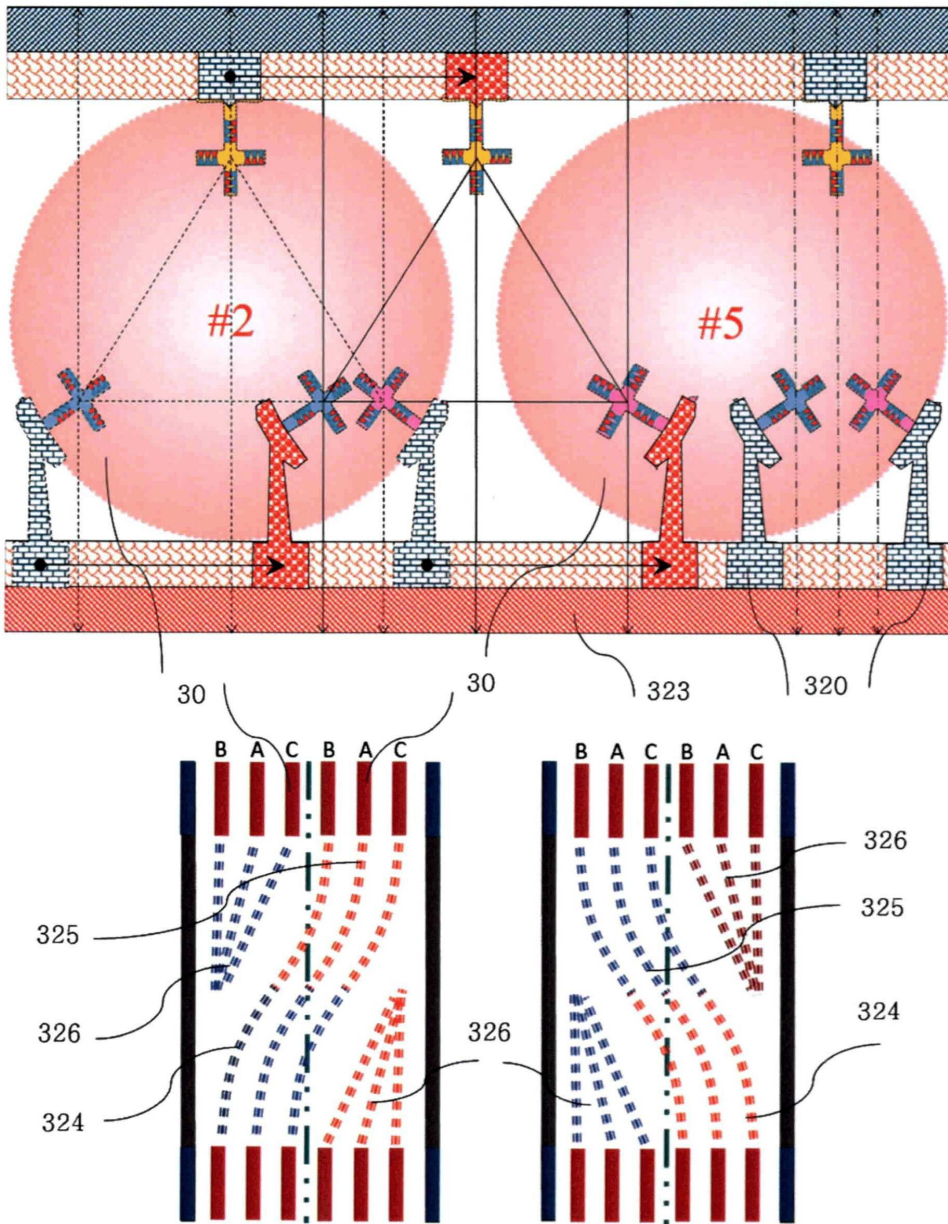
도면31



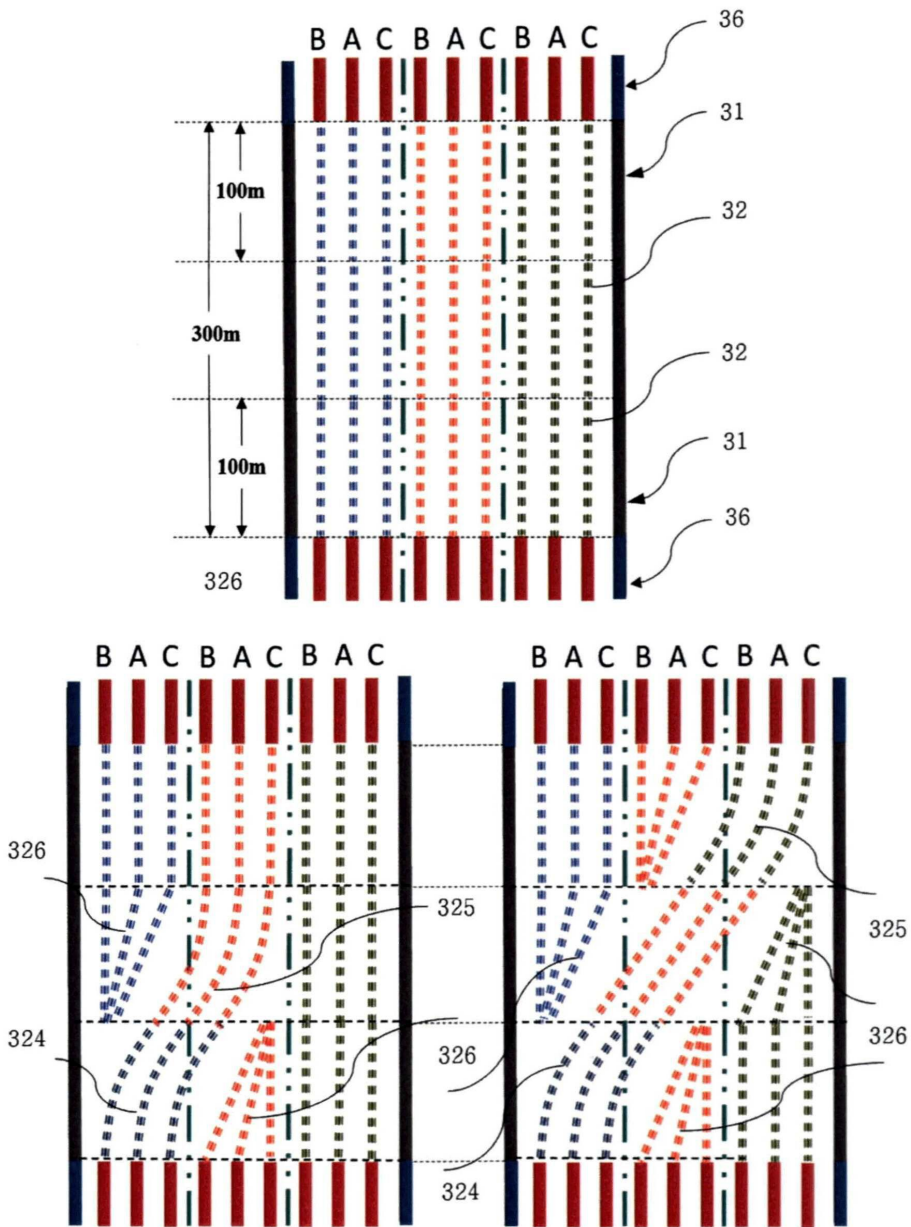
도면32a



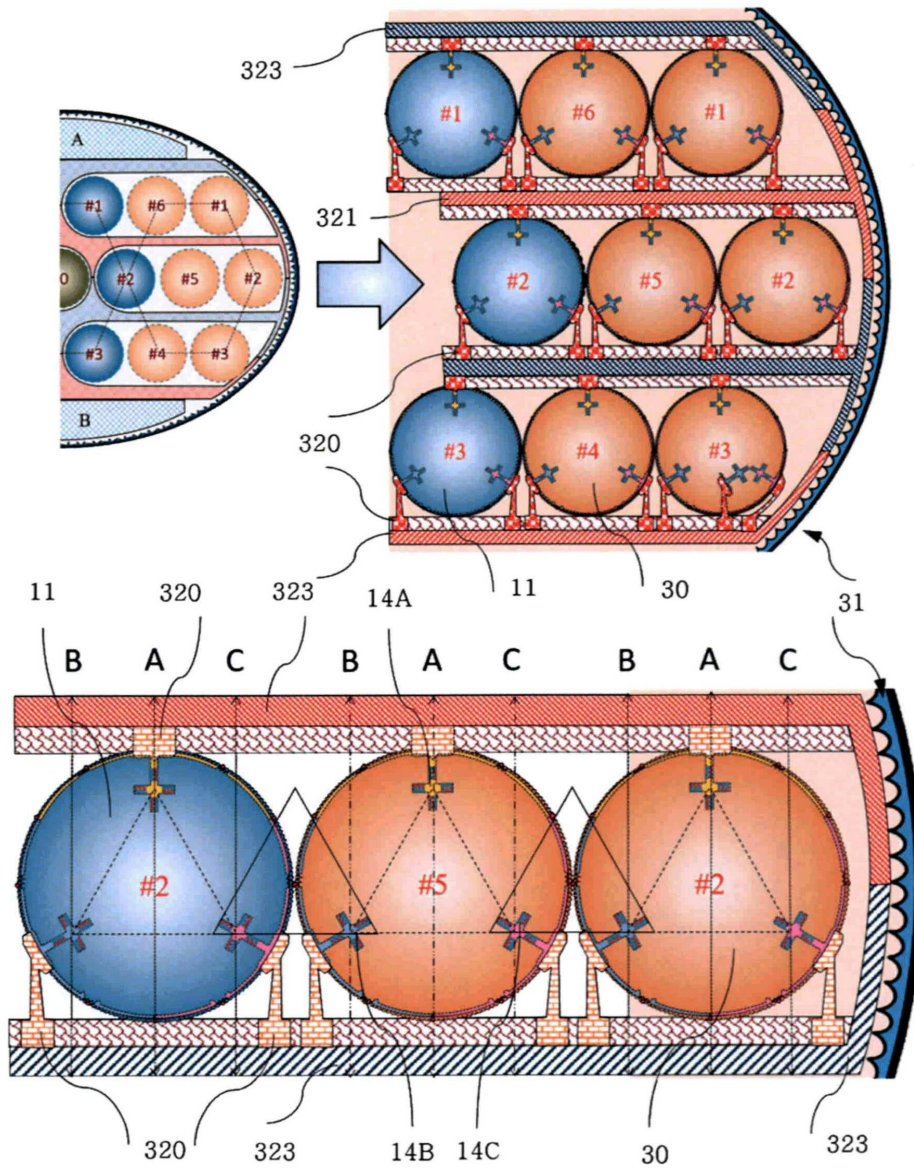
도면32b



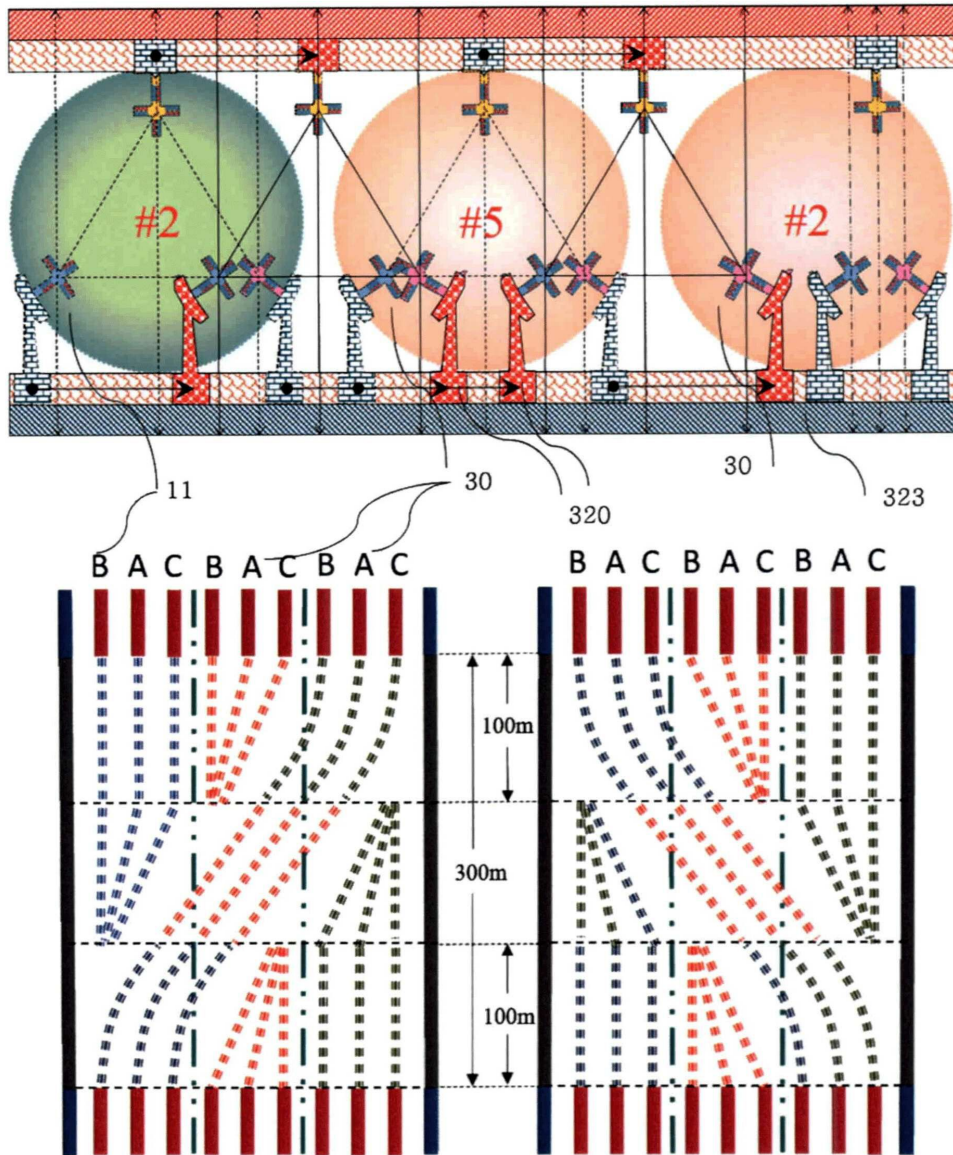
도면32c



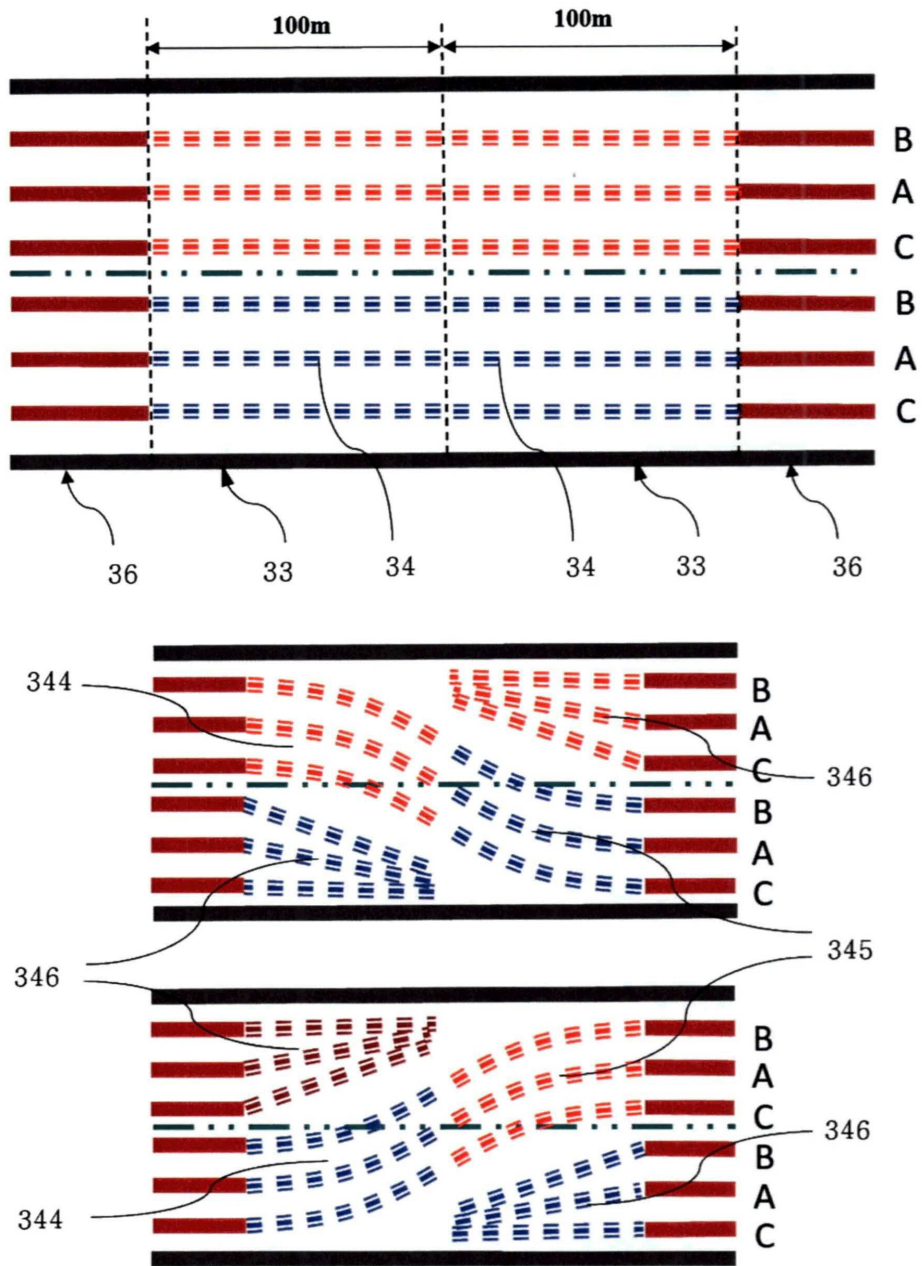
도면32d



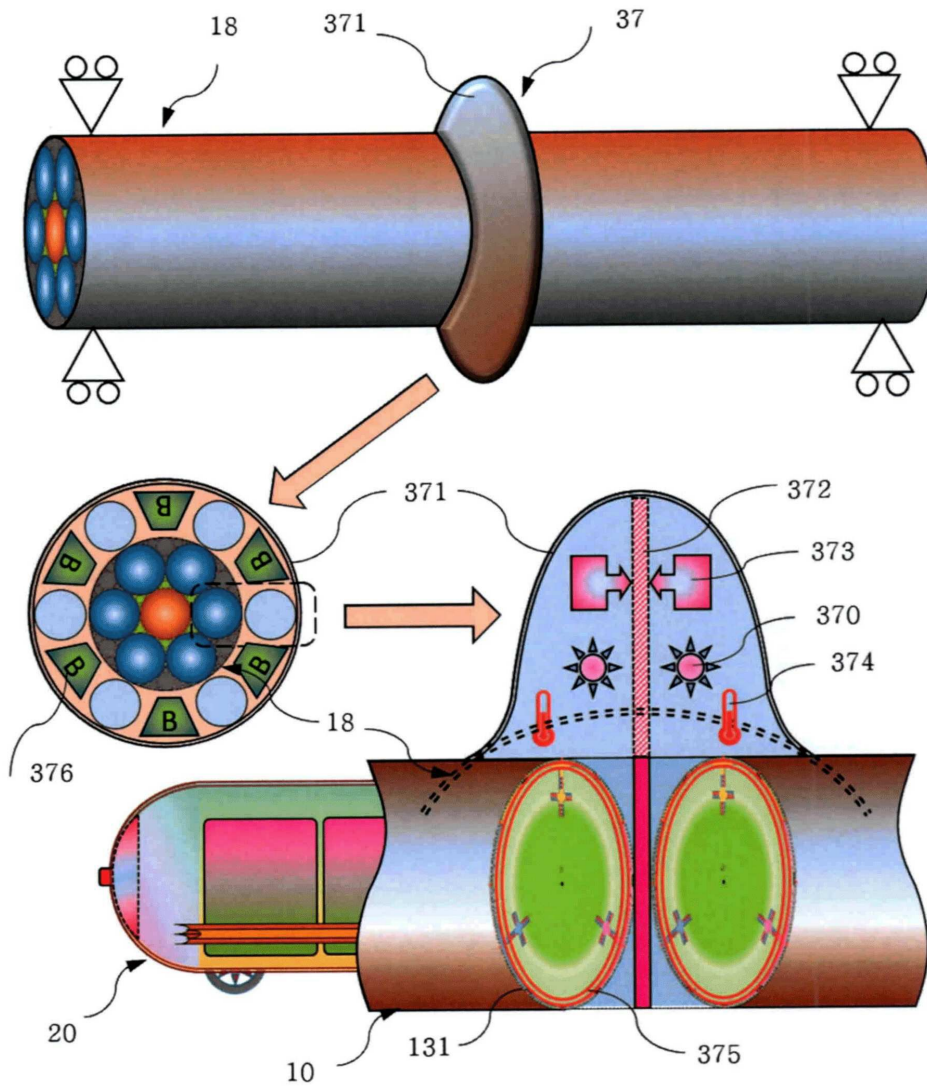
도면32e



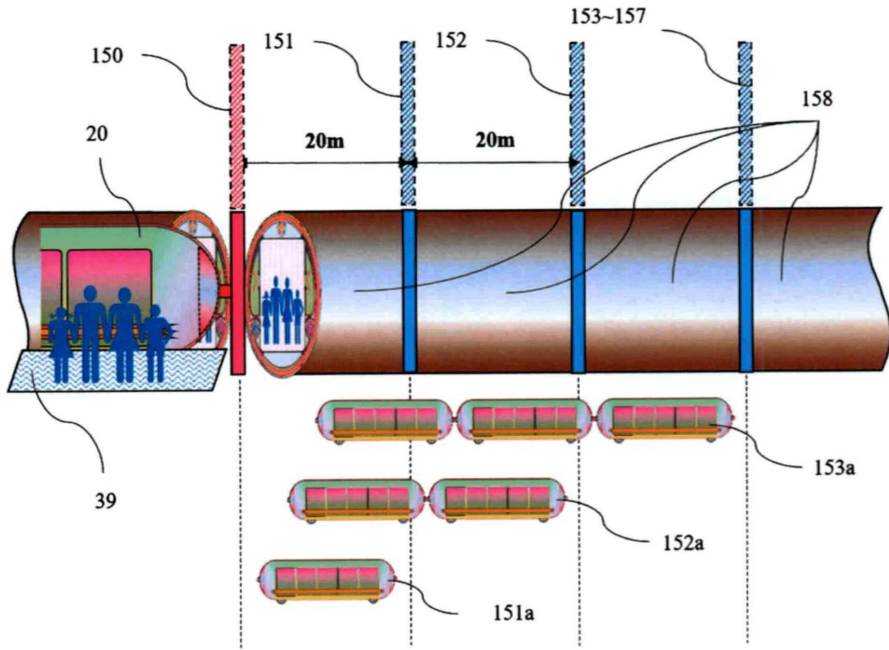
도면33



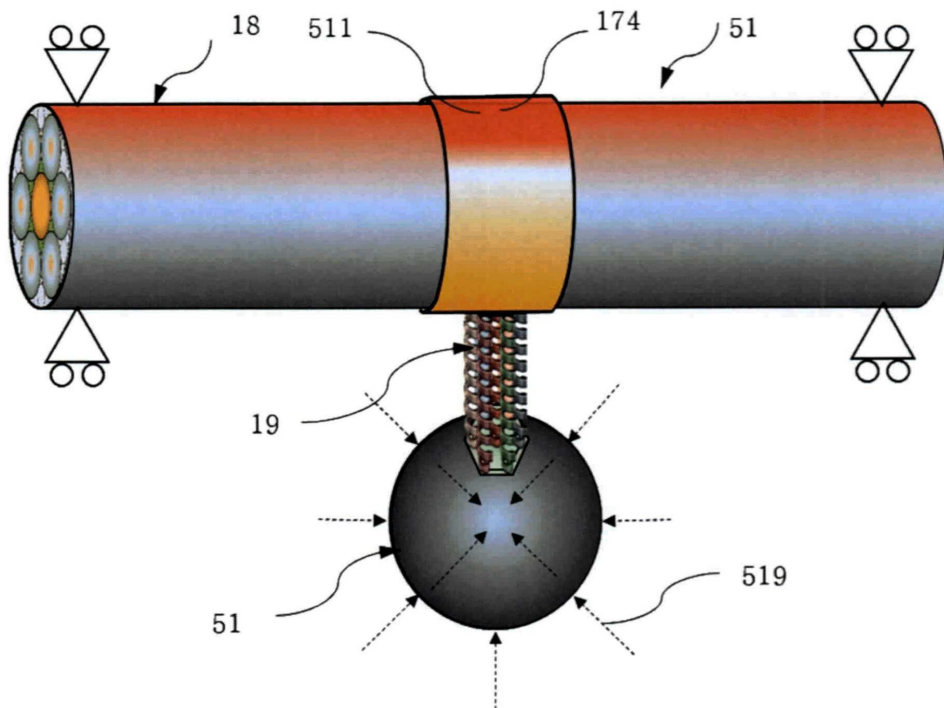
도면34a



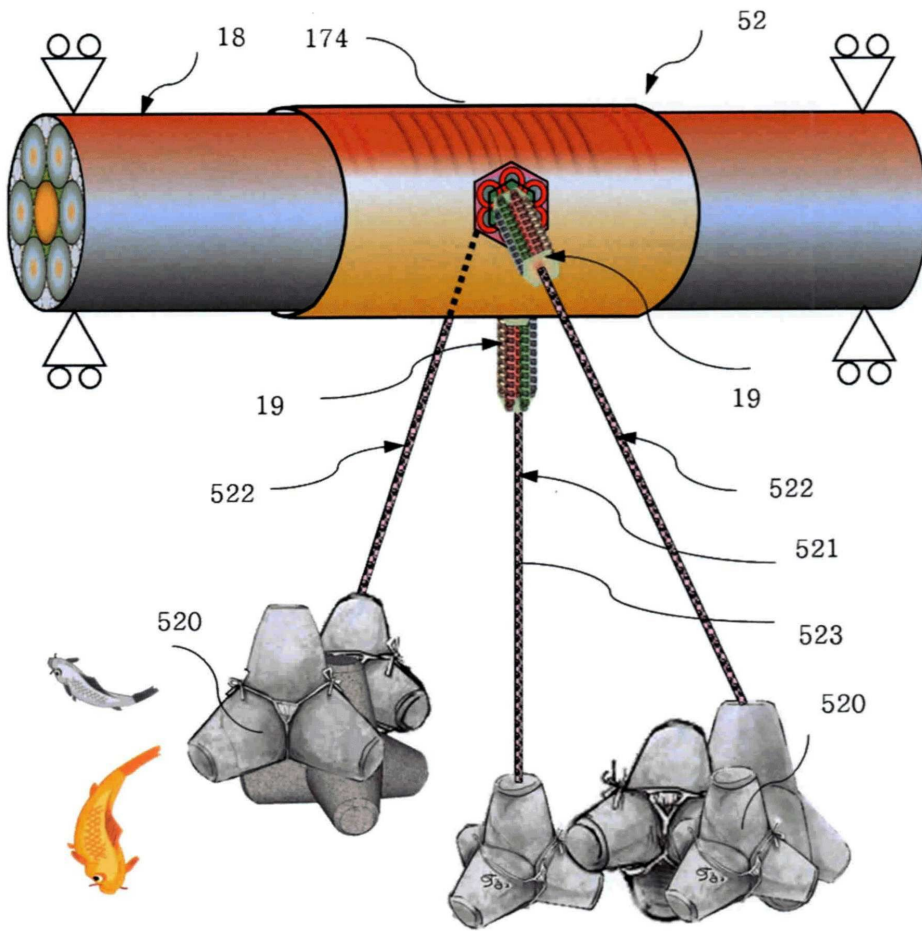
도면34b



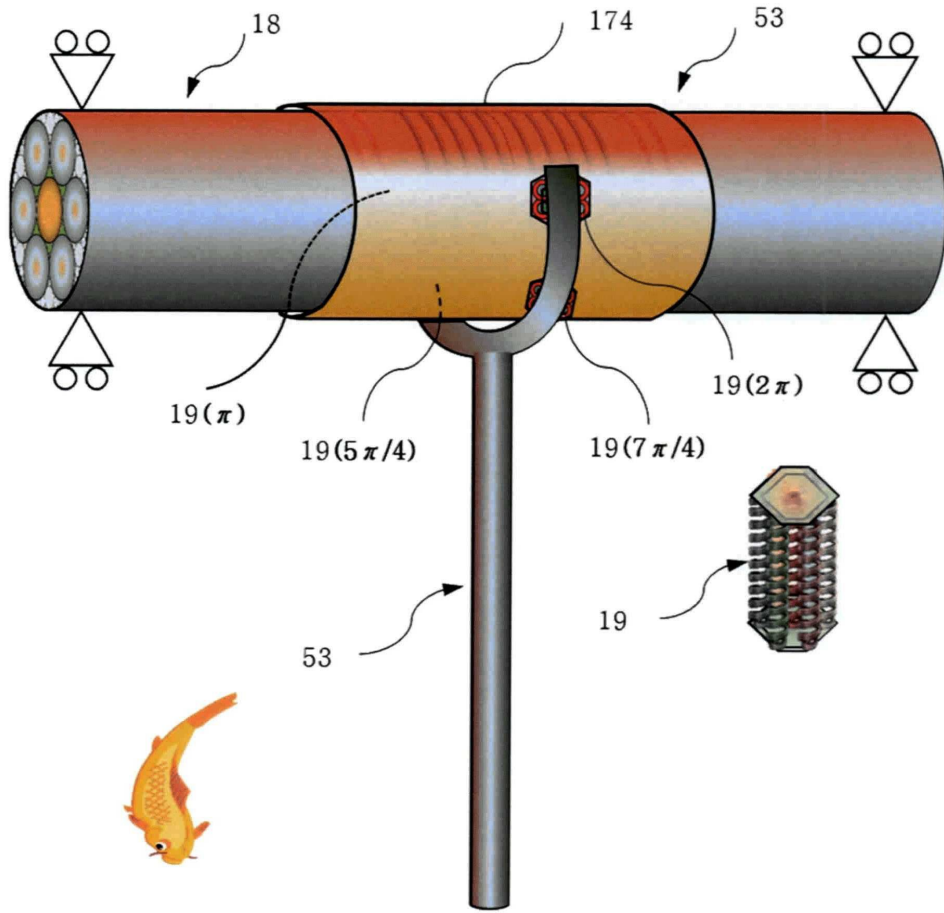
도면35



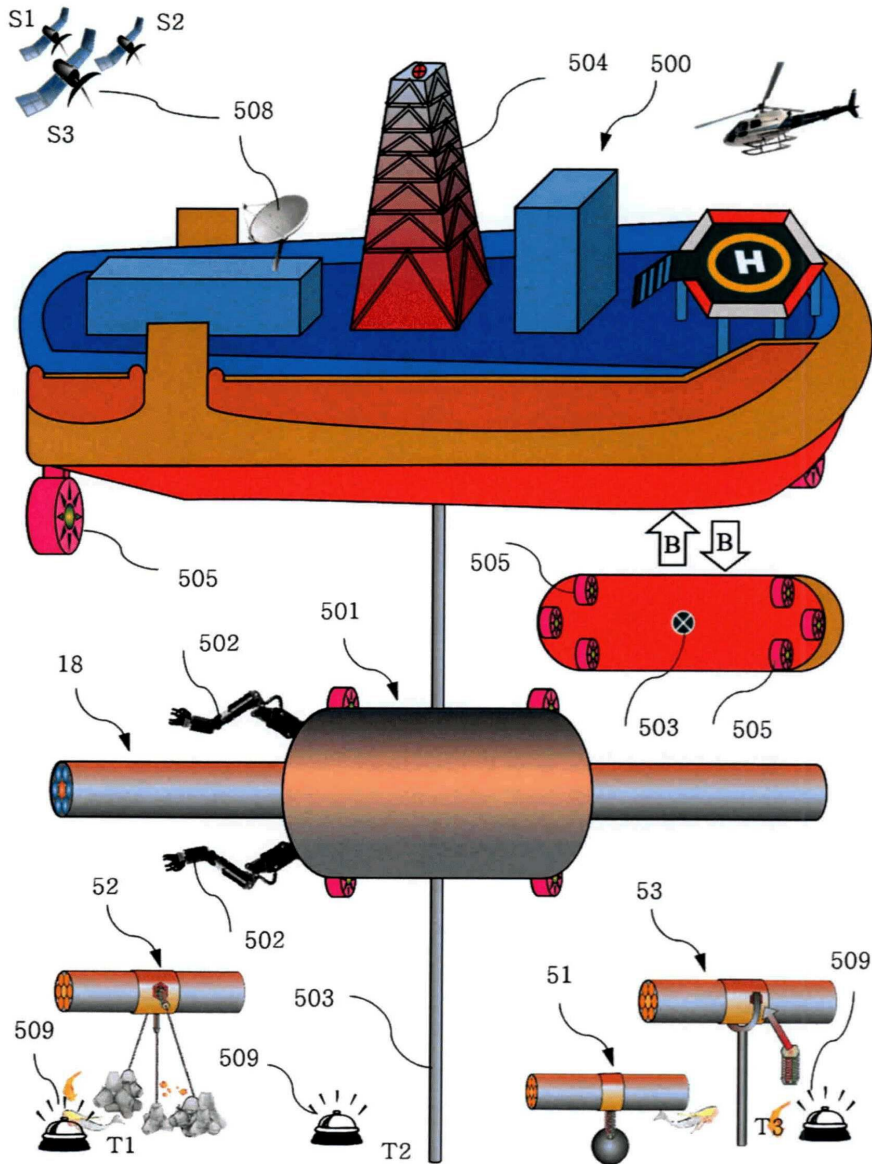
도면36



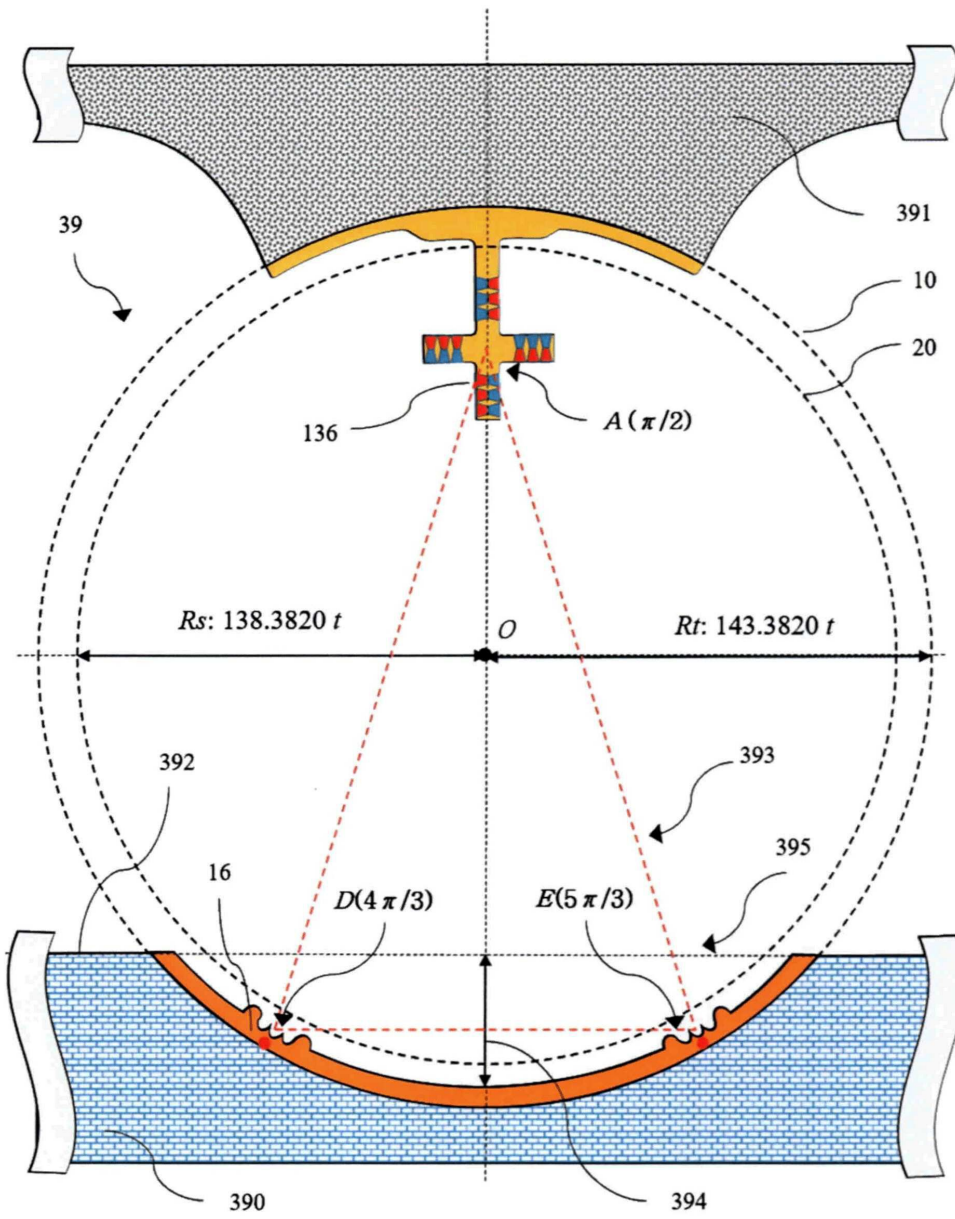
도면37



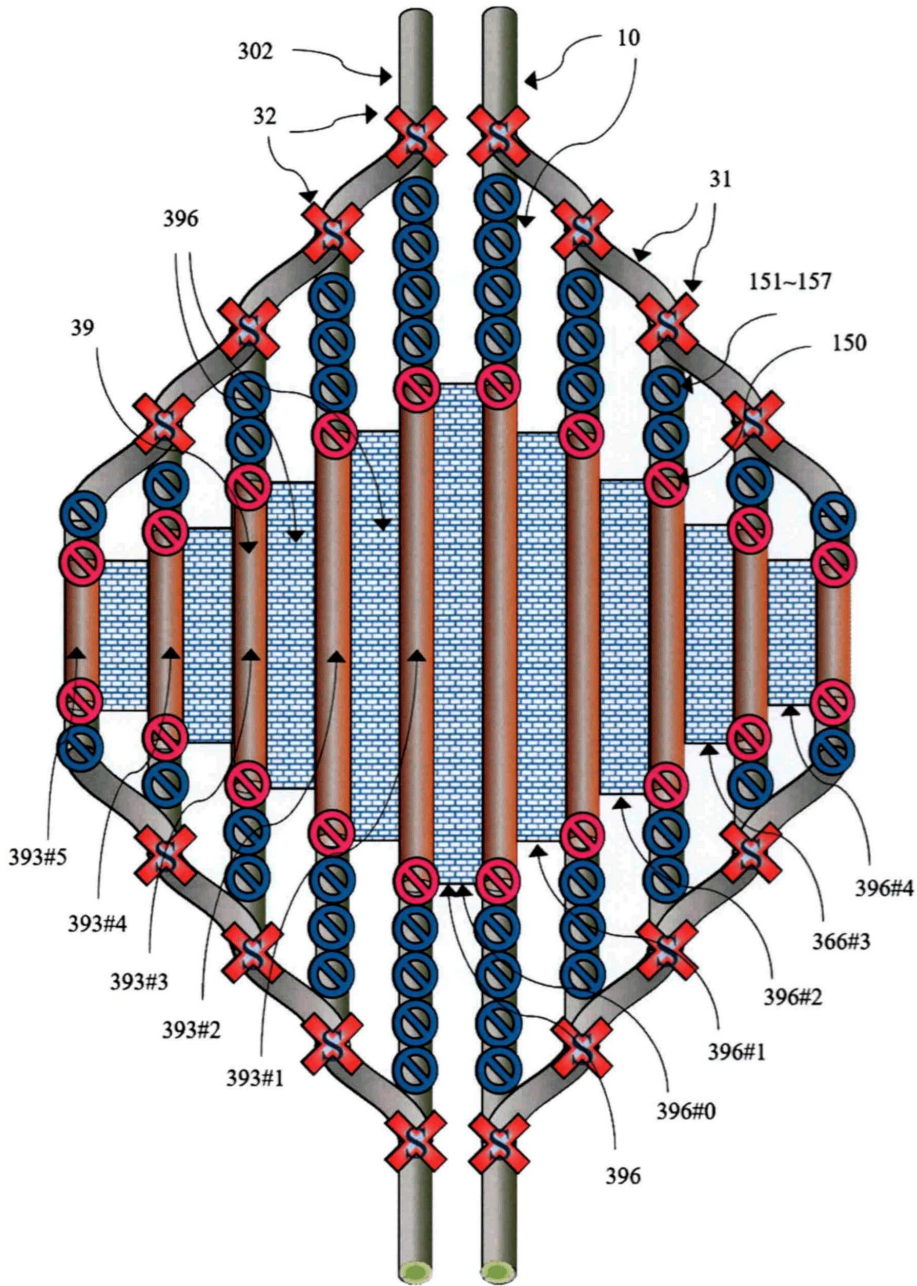
도면38



도면39a



도면39b



도면39c

