

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일

2024년 12월 5일 (05.12.2024)



(10) 국제공개번호

WO 2024/248201 A1

(51) 국제특허분류:

F16J 12/00 (2006.01)

F17C 1/00 (2006.01)

B21D 13/10 (2006.01)

B21D 51/06 (2006.01)

B21D 51/24 (2006.01)

B21F 27/12 (2006.01)

(21) 국제출원번호:

PCT/KR2023/007812

(22) 국제출원일:

2023년 6월 8일 (08.06.2023)

(25) 출원언어:

한국어

(26) 공개언어:

한국어

(30) 우선권정보:

10-2023-0069380 2023년 5월 30일 (30.05.2023) KR

(71) 출원인: 전남대학교산학협력단 (INDUSTRY FOUNDATION OF CHONNAM NATIONAL UNIVERSITY) [KR/KR]; 61186 광주광역시 북구 용봉로 77, Gwangju (KR).

(72) 발명자: 강기주 (KANG, Ki Ju); 57315 전라남도 담양군 수북면 쪽재골길 148-3, Jeollanam-do (KR). 정윤창 (JEONG, Yoon Chang); 61059 광주광역시 북구 매곡로 86번길 2, 1807호, Gwangju (KR).

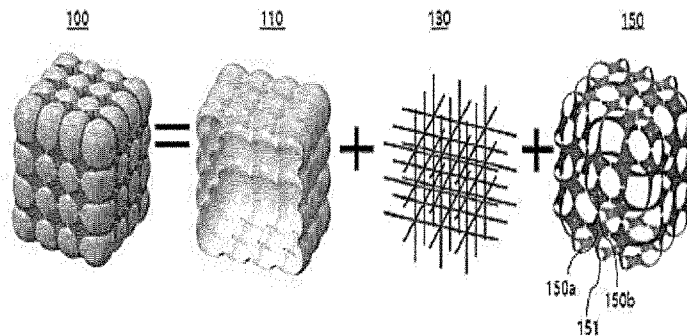
(74) 대리인: 정부연 (JUNG, Bu Yon); 06646 서울특별시 서초구 반포대로26길 42, 101동 2층, Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(54) Title: PRESSURE VESSEL HAVING OUTER SHELL-INNER FRAME STRUCTURE AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

(54) 발명의 명칭: 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법



(57) Abstract: The present invention relates to a pressure vessel having an outer shell-inner frame structure and a manufacturing method therefor. The pressure vessel having an outer shell-inner frame structure comprises: an outer shell formed as an external polyhedron having, on each of the width, length, and height thereof, a plurality of spherical or hemispherical protrusions arranged regularly and in close contact with each other, and having formed therein a space for storage of fluid; and an inner frame disposed in the inner space of the outer shell and coupled to the outer shell to support the outer shell. Therefore, according to the present invention, high pressure may be withstood using a thin film, which is an advantage of a shellular-type pressure vessel, and any external shape may be provided, safety may be maintained by leakage before rupture, and the manufacturing process for a vessel may be simplified.

(57) 요약서: 본 발명은 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법에 관한 것으로, 상기 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기는 가로, 세로 및 높이 각각에 복수의 구(sphere) 또는 반구(hemisphere) 형 돌기들이 밀착하여 규칙적으로 배열된 외형의 다면체로 형성되고 내부에 유체 저장 및 보관을 위한 공간이 형성되는 외각 셀; 및 상기 외각 셀의 내부 공간에 배치되고 상기 외각 셀과 결합되어 상기 외각 셀을 지지하는 내부 프레임을 포함한다. 따라서, 본 발명은 shellular형 압력용기의 장점인 얇은 박막으로 고압력을 견디고 임의의 외형을 가질 수 있으며 파단전누설로 안전성 확보를 유지할 수 있고 용기 제조공정을 단순화할 수 있다.

[다음 쪽 계속]

WO 2024/248201 A1



공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

명세서

발명의 명칭: 외각 셸-내부 프레임 구조 체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법

기술분야

- [1] 본 발명은 유체의 저장 및 보관을 위한 압력용기(Pressure Vessel) 구조에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 외각 셸과 내부 프레임으로 구성되는 3차원 구조체를 이용하여 고압의 유체를 저장하고 내압을 지지할 수 있는 외각 셸-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법에 관한 것이다.

[2]

배경기술

- [3] 일반적으로 압력용기는 내부에 고압의 유체를 저장 및 보관하는데 이용된다. 종래의 압력용기 형태는 낮은 무게를 가지면서 고압을 견딜 수 있도록 원통형(cylinder) 또는 구형(sphere)으로 제작되는 것이 일반적이다.
- [4] 도 1은 종래 일반적인 압력용기의 원통형 또는 구형 셸(shell) 형상과, 압력용기 내 내부 압력 P 가 작용할 때 셸 벽에 발생하는 최대 주응력의 관계를 나타낸다.
- [5] 여기에서, '셸(shell)'은 역학적인 관점에서 면(surface)에 평행한 방향으로 작용하는 인장과 압축 하중(coplanar force)에 견딜 수 있는 면요소를 의미한다. 대략, 폭이나 길이 대비 두께가 수십분의 일인 경우이다. 두께가 더욱 얇아 압축 하중에는 견디지 못하고 인장 하중에만 저항할 수 있는 면요소를 막(membrane)이라 하고, 반대로 더 두꺼워 인장 및 압축 하중뿐만 아니라 전단력과 굽힘 모멘트에 견딜 수 있는 면요소를 판(plate)이라 한다.
- [6] 그러나 종래의 원통형 또는 구형 셸 형상의 압력용기(1)는 다음과 같은 여러 문제점이 있다.
- [7] 많은 양의 고압의 유체를 보관하기 위해서는 그만큼 두꺼운 셸로 만들어진 용기를 써야 하므로 균열 발생시 치명적인 폭발사고를 일으킬 위험이 있다.
- [8] 얇은 셸로 구성되면 균열이 점차 커지다가 불안정 파단을 유발할 정도의 크기(임계 균열길이)에 도달하기 전에 셸을 관통하게 되어 내부 유체가 누설되므로 압력이 저하되어 치명적인 폭발을 막게 된다. 이것을 파단전누설(Leak Before Break: LBB)이라 한다. 반면에 두꺼운 셸로 구성되면 LBB에 실패하여 치명적인 폭발사고가 발생할 위험이 있다.
- [9] 또한 외형이 원통형 또는 구형 셸 형상에 국한되어 특정 위치에 고정하기에 불리하고 주변에 사용하지 않는 공간을 많이 차지한다.
- [10] 본 발명자는, TPMS(Triply Periodic Minimal Surface: 3-주기적 최소곡면) 형태의 얇은 면요소인 셸(shell)로 구성된 일종의 다공질 재료인 shellular를 연구하여 발표하였다. (참고문헌: Han, S. C., Lee, J. W. & Kang, K. A new type of low density material; Shellular. Adv. Mater. 27, 5506-5511(2015).)

- [11] TPMS는 다양한 형태가 존재하며 이중 도 2에 나타낸 바와 같이 P, D 및 G Surface가 화학 및 생물분야에서 가장 대표적으로 인용되고 있다. 자연계에 서 TPMS는 물-유화제 혼합물, 세포박막, 성게 표피판, 실리케이트 중간상 (mesophase) 등에서 발견되는데, 대부분 두개의 상(phase)을 분리하는 계면의 형 태로 존재하며 경량 다공질 구조체의 형태로는 발견되지 않는다.
- [12] TPMS는 곡면의 모든 지점에서 영(zero)의 평균곡률(mean curviture)을 갖으며 공간을 각기 연속인 2개의 부공간(subvolume)으로 나누게 되는데 2개의 부공간 의 체적비가 1:1로 동일하다. 체적비가 다른 경우에도 두 부공간을 나누는 평균 곡률이 균일(constant)한 최소 표면적(minimal surface)의 곡면을 정의할 수 있는데 이 곡면 또한 TPMS라고 한다.
- [13] 만일 TPMS 형태로 셸(shell) 구조체를 제조한다면 계면에 어디에서나 균일한 평균곡률을 가지고 있어 외부하중이 작용할 때, 응력이 어느 한 부분에 집중되지 아니하므로 조기 국부좌굴현상이 발생하지 않으며 무게 대비 높은 강도를 갖는 것으로 알려져 있다. 또한 부드러운 곡면으로 둘러싸인 각 부공간은 넓은 표면적 을 가지며 내부에 유체가 흐를 때 투과성(permeability)이 높다. 따라서 두부공간 의 경계에 존재하는 박막은 두 부공간 사이의 열 및 물질이동 계면(heat and mass transfer interface)으로서 활용 가능성이 높다.
- [14] 본 발명자는, TPMS 형태의 shellular의 경우 균일한 평균곡률을 갖고 있기 때 문에 높은 내부 압력을 견딜 수 있을 수 있다는 사실에 착안하여, 이러한 셸 구조 체를 압력용기로 활용하는 기술을 기출원한 한국등록특허 제2264043호에서 제 시하였다. 해당 선행문헌에는, 2개의 부공간을 고압 유체의 저장공간 또는 열교 환매체의 수용이나 이동을 위한 공간으로 활용하는 방안을 지견하고, 이러한 셸 구조체가 특히 TPMS로 이루어진 경우 무게 대비 저장체적이 크면서도 우수한 내압 특성, 비표면적, 유체 투과성 및 열전달 특성을 갖는 압력용기가 구현될 수 있음을 확인하여 각 공간의 외부로 노출되는 부분 중 유체의 반출입을 위한 부 분을 제외하고 차폐판으로 밀봉된 것을 특징으로 하는 압력용기를 제시하였다. 도 3의 (a) 내지 (c)는 각각 P surface, D surface 및 G(Gyroid) surface 형태를 갖는 shellular에 기반한 압력용기의 형상을 나타내고, 도 4의 (a) 내지 (c)는 도 3의 (a) 내지 (c) 각 TPMS shellular의 두 부공간을 모두 유체저장에 사용한 압력용기의 형 상을 나타낸다.
- [15] 이러한 shellular 압력용기는 다수의 균일한 단위셀로 구성되고 내압강도가 t/D (여기서, t 는 셸의 두께, D 는 단위셀의 직경에 해당)에 비례함으로 동일한 내부 용적을 갖더라도 직경(D)이 작고 많은 수의 단위셀로 구성된다면 얇은 박막으로 도 고압의 유체를 저장하는 압력용기를 실현할 수 있고 파단전누설(LBB)로 폭발 파손의 위험이 없다. 또한 단위셀의 배치를 조절하여 임의의 외형으로 제작할 수 있다.
- [16] 결과적으로, 상기한 종래의 원통형 또는 구형 셸 형상의 압력용기가 갖는 제반 문제점을 개선할 수 있을 것으로 예상되었다.

- [17] 그러나 TPMS 형태의 shellular는 그 형태가 매우 복잡하고 제조가 어렵다. 특히 압력용기는 단 한 개의 미세한 구멍을 가지고 있더라도 그 역할을 할 수 없기 때문에 복잡한 형상은 shellular를 압력용기로 사용하는데 가장 큰 현실적인 장애이다. 구체적으로, 단위셀의 크기가 수 mm 이하인 경우에는 폴리머 템플릿에 고밀도 고강도 물질(예: 금속)을 적층하여 수 μm 두께의 셀을 형성한 다음 내부를 식각하는 방법을 사용할 수 있으나 셀 적층방법으로 무전해도금, ALD(atomic layer deposition: 원자층 증착), CVD(chemical vapor deposition: 화학증착) 중 어느 것도 완전 무결함 균일 적층을 보장할 수 없으며 사후에 누설이 발견된다고 할지라도 그 부위가 내부에 있다면 그 위치를 특정할 수 없다. 반면에 단위셀의 크기가 수십 cm 이상인 경우에는 TPMS 곡면이 일정한 크기와 형태의 배사곡률(anticlastic curvature)을 갖는 사변형으로 분할할 수 있다는 것에 착안하여 먼저 사변형 판재를 대량으로 제작한 후 배사곡률을 갖도록 굽힘가공하고 이것들을 용접으로 서로 연결하여 shellular형 압력용기를 제작할 수도 있을 것이지만 역시 3차원 곡면형상의 용접의 복잡성과 매우 많은 용접공정을 거쳐야 하므로 결함의 존재를 피할 수 없다.
- [18]
- [19] [선행기술문헌]
- [20] [특허문헌]
- [21] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-2264043호 (2021.06.07)
- [22]
- [23] [비특허문헌]
- [24] (비특허문헌 0001) - Gesammelte Mathematische Abhandlungen, Springer
- [25] (비특허문헌 0002) - S. Hyde et al. The Language of Shape. Elsevier, 1997, ISBN: 978-0-444-81538-5
- [26] (비특허문헌 0003) - M. Maldovan and E. L. Thomas. Periodic Materials and Interference Lithography. 2009 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, ISBN: 978-3-527-31999-2
- [27] (비특허문헌 0004) - S.C. Kapfer, S.T. Hyde, K. Mecke, C.H. Arns, G.E. Schrodre-Turk, Minimal surface scaffold designs for tissue engineering, Biomaterials. Vol. 32, pp. 6875-6882, 2011.
- [28] (비특허문헌 0005) - Ban Dang Nguyen, Yoon Chang Jeong, Kiju Kang, "Design of the P-Surfaced Shellular, an Ultra-Low Density Material with Micro-Architecture", Computational Materials Science, Vol. 139, pp.162-178, 2017.
- [29] (비특허문헌 0006) - S.C. Han, J.W. Lee, K. Kang. A new type of low density material; Shellular. Advanced Materials, Vol.27, pp.5506-5511, 2015.
- [30] (비특허문헌 0007) - N.E. Dowling 저, Mechanical Behavior of Materials, 3rd Editon, Pearson Prentice Hall, 2007, p. 347.

[31] (비특허문헌 0008) - Applicability of the leak before break concept, IAEA Technical Report, IAEA-TECDOC-710, 1993.

[32]

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[33] 본 발명의 일 실시예는 shellular형 압력용기의 장점인 얇은 박막으로 고압력을 견디고 임의의 외형을 가질 수 있으며 파단전누설로 안전성 확보를 유지할 수 있는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.

[34] 본 발명의 일 실시예는 얇은 박막의 외각을 가지고도 고압의 유체를 저장할 수 있고, 누설 발생시 수리가 용이할 수 있는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.

[35] 본 발명의 일 실시예는 외각 셀과 내부 프레임으로 3차원 구조체를 구성하여 공간활용성이 우수하며 무게 대비 저장체적이 크면서도 우수한 내압 특성을 가질 수 있는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.

[36]

과제 해결 수단

[37] 실시예들 중에서, 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기는 가로, 세로 및 높이 각각에 복수의 구(sphere) 또는 반구(hemisphere) 형 돌기들이 밀착하여 규칙적으로 배열된 외형의 다면체로 형성되고 내부에 유체 저장 및 보관을 위한 공간이 형성되는 외각 셀; 및 상기 외각 셀의 내부 공간에 배치되고 상기 외각 셀과 결합되어 상기 외각 셀을 지지하는 내부 프레임을 포함한다.

[38] 상기 외각 셀은 상기 복수의 구 또는 반구형 돌기들이 서로 밀착하여 평면을 기준으로 직교하는 사각 또는 육각 격자 형태로 이루어질 수 있다.

[39] 상기 외각 셀은 구형의 볼록 부분, 서로 밀착된 2개의 구 사이의 경계에 존재하는 오목한 골짜기 부분 및 4개 또는 3개의 밀착된 구들 중앙에 존재하는 오목한 배꼽 부분을 포함할 수 있다.

[40] 상기 외각 셀은 프레스 가공을 통해 형성되는 복수의 요철 판을 다면체 형태로 이음 결합하여 형성될 수 있다.

[41] 상기 내부 프레임은 상기 외각 셀의 형상에 상응하는 3차원 트러스 형태로 구성되고 트러스의 단부가 상기 외각 셀의 배꼽에 위치한 구멍을 통과할 수 있다.

[42] 상기 내부 프레임의 트러스는 피아노선재 또는 섬유강화복합재를 소재로 하는 와이어나 봉 형태의 직선 요소들을 서로 교차하여 구성할 수 있다.

[43] 실시예들 중에서, 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기는 상기 외각 셀의 배꼽 구멍을 통해 바깥으로 돌출되는 상기 내부 프레임의 트러스 단부와 상

- 기 외각 셀을 용접, 납땜, 수지접합 중 하나로 결합시키는 접합부를 더 포함할 수 있다.
- [44] 실시예들 중에서, 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기는 상기 외각 셀의 배꼽 구멍을 통해 바깥으로 돌출되는 상기 내부 프레임의 트러스 단부와 상기 외각 셀 사이에 해당 외각 셀과 동일한 곡률반경을 갖는 구 형상의 고무재를 삽입하여 밀폐시키는 밀폐부를 더 포함할 수 있다.
- [45] 실시예들 중에서, 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기는 상기 외각 셀의 배꼽 구멍을 통해 바깥으로 돌출되는 상기 내부 프레임의 트러스 단부를 덮으며 상기 외각 셀 보다 곡률반경이 크고 주변으로 갈수록 점진적으로 상기 외각 셀과 접촉하는 형태의 덮개; 및 상기 덮개와 상기 외각 셀 사이의 빈 공간을 채우는 고무 재질의 충진부재를 더 포함할 수 있다.
- [46] 실시예들 중에서, 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기는 상기 외각 셀의 모서리 부분에 결합되는 제1 덮개 및 상기 외각 셀의 중앙 부분에 결합되는 제2 덮개를 더 포함하고, 상기 제1 덮개는 상기 모서리 부분에 위치한 각 셀들을 감싸듯이 골짜기 부분을 따라 연장된 보강띠를 포함하여 상기 모서리 부분을 보강할 수 있다.
- [47] 상기 내부 프레임은 상기 외각 셀의 형상에 상응하는 3차원 셀 격자 형태로 구성될 수 있다.
- [48] 상기 내부 프레임은 상기 외각 셀에서 인접한 반구형 요철 사이의 가장 오목한 배꼽 부분 및 인접한 배꼽 부분 사이를 잇는 골짜기 부분을 따라 상기 셀 격자의 단부가 결합될 수 있다.
- [49] 상기 내부 프레임의 셀 격자는 상기 외각 셀의 두께와 동일한 두께로 형성되고 각 면요소의 중심부에 유체 유통공이 형성될 수 있다.
- [50] 실시예들 중에서, 압력용기 제조방법은, 외각 셀 및 내부 프레임으로 구성되는 3차원 구조체로 된 압력용기를 제조하는 방법에 있어서, (1) 3차원 트러스 또는 셀 격자 형태로 내부 프레임을 제작하는 단계; (2) 소정 두께의 얇은 판을 프레스 가공하여 반구형상이 규칙적으로 배열된 형태의 복수의 요철 판을 제작하는 단계; 및 (3) 상기 내부 프레임의 외측 면에 상기 복수의 요철 판을 조립하는 단계를 포함한다.
- [51] 상기 단계 (2)는 판의 두께를 얇게 할수록 배열되는 구의 직경을 작게 하여 상기 복수의 요철 판을 제작하고, 상기 내부 프레임이 3차원 트러스 형태인 경우 상기 복수의 요철 판의 배꼽 부분에 트러스 단부와 결합을 위한 결합 구멍을 가공할 수 있다.
- [52] 실시예들 중에서, 압력용기 제조방법은 냉간연신(cold stretching)을 하여 상기 압력용기를 강화시키는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [53] 실시예들 중에서, 압력용기 제조방법은 외각 셀 및 내부 프레임으로 구성되는 3차원 구조체로 된 압력용기를 제조하는 방법에 있어서, (1) 소정 두께의 얇은 판을 프레스 가공하여 반구형상이 규칙적으로 배열된 형태의 복수의 요철 판을 제

작하는 단계; (2) 상기 복수의 요철 판들을 결합하여 다면체의 상기 외각 셀을 형성하는 단계; 및 (3) 상기 외각 셀의 각 배꼽 부분에 있는 결합 구멍으로 트러스 직선요소를 삽입하고 반대쪽 면의 결합 구멍으로 빠져나오도록 하여 상기 외각 셀의 내부 공간에 3차원 트러스 형태의 상기 내부 프레임을 형성하는 단계를 포함한다.

- [54] 상기 단계 (3)은 상기 트러스 직선요소가 상기 외각 셀의 내부에서 같은 면에서 투입된 경우 서로 평행하고 다른 면에서 투입된 경우 서로 교차되도록 하여 상기 내부 프레임을 구성할 수 있다.
- [55] 실시예들 중에서, 압력용기 제조방법은 냉간연신(cold stretching)을 하여 상기 압력용기를 강화시키는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [56] 실시예들 중에서, 압력용기 제조방법은 외각 셀 및 내부 프레임으로 구성되는 3차원 구조체로 된 압력용기를 제조하는 방법에 있어서, (1) 상기 외각 셀과 동일한 형태의 외형을 갖는 템플릿을 제작하는 단계; (2) 상기 템플릿의 표면에 경질 재료를 코팅하여 상기 외각 셀을 형성하는 단계; (3) 상기 외각 셀의 배꼽 부분 각각에 구멍을 뚫고 그 구멍을 통해 식각을 하여 내부의 템플릿을 제거하는 단계; (4) 상기 구멍에 와이어를 삽입하여 반대쪽 구멍으로 빠져나오도록 하여 내부에 3차원 트러스 형태가 되도록 프레임 배치하는 단계; (5) 상기 배꼽 부분과 해당 배꼽 부분을 관통하는 와이어를 서로 고정 결합하고 결합 부위를 밀폐하여 상기 압력용기를 완성하는 단계; 및 (6) 냉간연신(cold stretching)을 하여 상기 압력용기를 강화시키는 단계를 포함한다.
- [57] 상기 외각 셀을 형성하는 단계는 폴리머, 금속, 세라믹 또는 복합재료를 사용하고 사용 재료에 따라 침지 코팅(dip coating), 도금, 원자층 증착, 화학증착, 물리적 증착의 방식을 선택하여 상기 템플릿 표면에 코팅하여 코팅막을 형성할 수 있다.
- [58] 실시예들 중에서, 압력용기 제조방법은 외각 셀 및 내부 프레임으로 구성된 압력용기를 제조하는 방법에 있어서, (1) 상기 외각 셀의 음각형 템플릿을 제작하는 단계; (2) 상기 음각형 템플릿의 내부를 기준으로 가장 오목한 배꼽에 위치한 구멍에 트러스 직선요소인 와이어를 삽입하여 반대쪽 구멍으로 빠져나오도록 하여 내부에 3차원 트러스 형태가 되도록 프레임을 배치하는 단계; (3) 상기 음각형 템플릿의 내부와 외부를 상기 음각형 템플릿과 이종의 폴리머로 채운 후 외부의 폴리머를 제거하는 단계; (4) 외부 폴리머가 제거된 상기 음각형 템플릿을 식각하여 노출되는 양각형 템플릿의 표면과 상기 트러스 단부에 코팅막을 형성하여 상기 외각 셀을 형성하는 단계; (5) 폴리머 주입 유로의 단부를 폴리싱하여 상기 외각 셀의 내부 폴리머를 노출시킨 후 식각하여 제거하고 상기 구멍을 밀봉하여 상기 압력용기를 완성하는 단계; 및 (6) 냉간연신(cold stretching)을 하여 상기 압력용기를 강화시키는 단계를 포함한다.
- [59] 상기 외각 셀을 형성하는 단계는 폴리머, 금속, 세라믹 또는 복합재료를 사용하고 사용 재료에 따라 침지 코팅(dip coating), 도금, 원자층 증착, 화학증착, 물리적 증착의 방식을 선택하여 상기 템플릿 표면에 코팅하여 코팅막을 형성할 수 있다.

[60]

발명의 효과

[61] 개시된 기술은 다음의 효과를 가질 수 있다. 다만, 특정 실시예가 다음의 효과를 전부 포함하여야 한다거나 다음의 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.

[62] 본 발명의 일 실시예에 따른 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법은 제작이 용이하고 압력용기를 구성하는 재료의 무게 대비 저장 유체의 압력과 부피를 최대화할 수 있으며, 다양한 외형상을 통해 공간활용도를 높일 수 있다.

[63] 본 발명의 일 실시예에 따른 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법은 동일한 내부 용적이라도 외각 셀이 직경이 더 작은 구형돌기를 더 많은 수가 존재하도록 하여 더 얇은 두께의 셀로도 고압을 견딜 수 있다.

[64] 본 발명의 일 실시예에 따른 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법은 외각 셀과 내부 프레임의 조립으로 용기 제작할 수 있어 공정이 간단하고 결함 발생 가능성을 낮출 수 있으며 누설 발생시 간단히 수리할 수 있다.

[65]

도면의 간단한 설명

[66] 도 1은 종래기술에 따른 압력용기의 구조도이다.

[67] 도 2는 TPMS(Triply Periodic Minimal Surface: 3-주기적 최소곡면) 예의 구조도이다.

[68] 도 3 및 도 4는 TPMS 셀 구조체로 이루어진 압력용기의 구조도이다.

[69] 도 5a-5c는 본 발명의 일 실시예에 따른 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기의 구성을 나타내는 도면이다.

[70] 도 6a-6c는 도 5a의 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기의 일부 확대도이다.

[71] 도 7 내지 도 10은 도 5a의 외각 셀과 3차원 트러스 형태의 내부 프레임으로 구성된 3차원 구조체 압력용기에 대한 응력분포를 유한요소법으로 예측한 결과를 나타내는 도면이다.

[72] 도 11은 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기의 구성을 나타내는 도면이다.

[73] 도 12 내지 도 15는 도 11의 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기에 대한 응력분포를 유한요소법으로 예측한 결과를 나타내는 도면이다.

[74] 도 16은 본 발명에 따른 압축용기의 외각 셀을 다양한 형태를 나타내는 도면이다.

[75] 도 17은 도 16의 외각 셀의 밀착된 형상을 설명하는 도면이다.

- [76] 도 18a-18c는 본 발명의 일 실시예에 따른 외각 쉘-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기의 구조도이다.
- [77] 도 19는 외각 쉘과 내부 프레임의 결합 실시예를 설명하는 도면이다.
- [78] 도 20은 3차원 쉘-프레임 구조체의 다른 실시예를 설명하는 도면이다.
- [79] 도 21 내지 26은 본 발명에 따른 압력용기의 제조방법의 실시예들을 설명하는 도면이다.
- [80] 도 27은 본 발명에 따른 압력용기의 수리 공정을 설명하는 도면이다.
- [81]

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [82] 본 발명에 관한 설명은 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 본 발명의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 본 발명의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 본 발명에서 제시된 목적 또는 효과는 특정 실시예가 이를 전부 포함하여야 한다거나 그러한 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 본 발명의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.
- [83] 한편, 본 출원에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다.
- [84] "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [85] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [86] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [87] 각 단계들에 있어 식별부호(예를 들어, a, b, c 등)는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별부호는 각 단계들의 순서를 설명하는 것이 아니며, 각 단계들은

문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않는 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.

[88] 여기서 사용되는 모든 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미를 지니는 것으로 해석될 수 없다.

[89]

[90] 압력용기에 관한 역학적 근거

[91] 본 발명은 구(sphere)형 및 반구(hemisphere)형 돌기가 밀집하여 규칙적으로 배열된 형상의 외각 셸과 3차원 트러스 또는 셸 격자 형태의 내부 프레임으로 구성된 구조체를 압력용기 본체로 구성함으로써 우수한 내압 특성을 가지면서도 이와 동시에 셸(shell)의 두께는 얇게 하고 무게 대비 저장 체적은 크게 하는 것을 기본적인 특징으로 하고 있기 때문에, 이하에서 본 발명에 따른 구형 및 반구형 돌기가 밀집하여 규칙적으로 배열된 형상의 외각 셸과 3차원 트러스 또는 셸 격자 형태의 내부 프레임으로 구성된 압력용기(100)와 종래 대표적인 구형 및 원통형 셸 형상의 압력용기(1)를 예로 상호 비교하여 그 작용효과에 관한 역학적 근거에 대해 먼저 설명한다.

[92] 도 5a 내지 5c는 본 발명의 일 실시예에 따른 외각 셸-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기의 구성을 나타내는 도면이다.

[93] 도 5a를 참조하면, 압력용기(100)는 외각 셸(110), 내부 프레임(130) 및 덮개(150)를 조합하여 구성된 3차원 구조체로 이루어진다.

[94] 외각 셸(110)은 가로, 세로, 높이에 각각 4개의 반구형 돌기가 밀착하여 정육면체로 배열된 형태로 형성되며, 반드시 이에 한정되지 않고 돌기의 개수, 배열 형태에 따라 다양한 형상의 다면체로 형성될 수 있다. 외각 셸(110)은 내부에 유체 저장 및 보관을 위한 공간을 포함한다. 압력용기(100)를 구성하는 외각 셸(110)은 각 면의 돌기들이 서로 밀착되면서 반구형 셸을 구성하지만, 모서리는 구형에 가까운 셸을 구성한다. 또한, 외각 셸(110)은 서로 밀착된 2개의 돌기들 사이의 경계에 오목한 골짜기 부분이 형성되고 4개 또는 3개의 밀착된 돌기들 중앙에 가장 오목한 배꼽 부분이 형성된다.

[95] 내부 프레임(130)은 외각 셸(110)의 형상에 상응하는 3차원 트러스 형태로 형성되며, 3차원 셸 격자 형태로 형성될 수도 있다. 내부 프레임(130)은 외각 셸(110)의 내부 공간에 위치한다.

[96] 덮개(150)는 외각 셸(110)의 외면을 둘러싸는 형태로 결합된다. 덮개(150)는 외각 셸(110)의 배꼽 부분을 덮고 배꼽 부분을 통해 외부 노출되는 내부 프레임(130)의 트러스 단부를 외각 셸(110)에 고정시킨다. 여기에서, 배꼽 부분은 외각

셸(110)의 구형 또는 반구형 돌기들 사이의 가장 오목한 부분에 해당한다. 덮개(150)는 외각 셸(110)의 모서리 부분에 결합되는 제1 덮개(150a)와 중앙 부분에 결합되는 제2 덮개(150b)로 구성된다. 제1 덮개(150a)는 외각 셸(110)의 모서리에 위치한 각 셸들을 감싸듯이 골짜기를 따라 연장된 보강띠(151)를 포함한다. 제1 덮개(150a)는 보강띠(151)를 통해 외각 셸(110)의 모서리 부분을 보강할 수 있다.

[97] 도 5b의 단면도를 참조하면, 내부 프레임(130)의 트러스 단부는 외각 셸(110)의 배꼽 부분을 관통하여 배치된다. 도 5c는 도 5b의 'A' 부분의 확대도로, 외각 셸(110)의 배꼽 부분과 이를 관통하는 내부 프레임(130)의 트러스 단부에 덮개(150)가 배치되고 외각 셸(110)의 모서리 부분에 골짜기를 따라 제1 덮개(150a)의 보강띠(151)가 배치된다.

[98] 도 6a 내지 6c는 도 5a의 외각 셸-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기의 일부 확대도이다.

[99] 도 6a 내지 6c를 참조하면, 압력용기(100)의 다면 중 일면에 위치한 4개의 인접한 반구형 돌기들을 가진 외각 셸(110)은 서로 밀착하여 평면도 상에는 직교하는 사각 격자처럼 보인다. 도 6b는 도 6a의 A-A 섹션의 단면도이고, 도 6c는 도 6a의 B-B 섹션의 단면도이다. 여기에서, 사각격자의 대각선 길이는 구의 직경(D)과 같고 격자 네변의 길이는 모두 $\frac{1}{\sqrt{2}}D$ 이다. 격자 사이 경계선(이하, 골짜기)을 따라

단면도를 보면 골짜기와 배꼽에 곡률반경은 D/8이다.

[100]

[101] 도 7 내지 도 10은 도 5a의 외각 셸(110)과 3차원 트러스 형태의 내부 프레임(130)으로 구성된 3차원 구조체로 된 압력용기(100)에 대한 응력분포를 유한요소법으로 예측한 결과를 나타내는 도면이다.

[102] 도 7은 외각 셸-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기(100)가 가로, 세로, 높이 방향으로 각각 4개의 반구형 외각 셸(110)로 구성되고 (셸의 두께)/(구의 직경) 비가 $t/D=0.001$ 일 때 응력분포를 유한요소법으로 예측한 결과로, 내부용적이 직경 1m인 종래 구형 압력용기(1)와 동일하도록 전체 외형 한변의 크기는 859.3 mm, 단위셸(unit cell)의 크기는 $D=275\text{mm}$, 외각의 두께는 $t=0.275\text{mm}$, 트러스의 직경은 $d_t=11\text{mm}$, 덮개의 두께는 외각 두께의 두배인 0.55mm , 외각의 재질은 구리인 것으로 가정하여 영계수와 포아송(Poisson)비, 항복강도를 각각 $E=100\text{GPa}$, $\sigma_o=120\text{MPa}$, $\nu=0.3$ 이고, 트러스와 덮개는 고강도 강철인 것으로 가정하여 영계수와 포아송비, 항복강도를 각각 $E=200\text{GPa}$, $\sigma_o=1\text{GPa}$, $\nu=0.3$ 이고, 고무질의 영계수와 포아송비는 각각 $E=13.2\text{MPa}$, $\nu=0.5$ 이다. 구리와 고강도 강철은 모두 탄성-완전소성 (elastic-perfectly plastic)으로 가정하여 소성변형시 가공경화의 가능성을 배제하였다.

[103] 도 7의 (a)는 구조체의 어느 지점에서라도 최초로 항복이 발생할 때의 von-Mises 응력의 분포를 나타낸다. 이때 가해진 내부압력을 초기항복 압력이라 한다. 이 경우 초기항복 압력은 $P_o=0.001167\sigma_o$ 이다. 배꼽과 골짜기 근처의 응력이

반구형 외각보다 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 이러한 응력 집중을 완화하기 위하여 냉간연신(cold stretching)을 통하여 형상을 최적화하는 방법을 쓸 수 있다. (참고문헌: Cold stretching of austenitic stainless pressure vessels. ASME Code Case 2596, 2008). 즉, 내부압력을 초기항복 압력을 초과하여 외각 쉘 전체 면적의 90% 이상에서 항복이 발생할 때까지 가하여 외각 쉘에서 부분적으로 소성변형에 의한 형상변화가 일어나게 한 후 압력을 제거하는 것이다. 도 7의 (b)는 냉간연신을 위하여 초기항복 압력의 3배의 압력을 가한 후 분포하는 von-Mises 응력의 분포를 나타낸다. 도 7의 (c)는 냉간연신을 수행한 후 압력을 제거했다가 재차 압력을 가하여 구조체의 어느 지점에서라도 최초로 항복이 발생할 때의 von-Mises 응력의 분포를 나타낸다. 냉간연신 과정에서 발생한 국부적인 소성변형을 통하여 외각의 형상이 최적화되어 항복압력은 $P_o=0.002043\sigma_o$ 으로 초기항복 압력보다 2배 정도까지 증가하였음을 알 수 있다. 도 7의 (d)는 냉간연신 전후의 형상변화를 보여주기 위하여 냉간연신 후의 형상(검은색) 위에 원래의 형상(밝은 회색)을 겹쳐서 윤곽을 비교한 것으로 도 7의 (e)에 확대한 바와 같이, 온전한 구형에 가까운 모서리 부분의 외각 쉘에 비하여 모서리에서 떨어진 외각 쉘 부분이 미세하게 더 변형된 것을 나타낸다.

- [104] 동일한 방법으로 (쉘의 두께)/(구의 직경) 비가 $t/D=0.0005, 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02$ 등 6가지일 경우의 초기항복 압력과 냉간연신 후 항복압력을 유한요소법으로 예측하여 t/D 에 따른 변화추이를 나타내면 도 8과 같다. 구체적으로, 도 8의 (a)는 윗 행(row)에는 t/D 에 따른 초기항복 시 von-Mises 응력분포를, 아래 행에는 초기항복 압력의 4배의 압력을 가하여 냉간연신을 시행한 후 다시 가압하여 항복에 도달 시 응력분포를 나타낸다. 전반적으로 초기항복 발생 시에는 모델에 분포하는 von-Mises 응력의 상한과 하한 값의 차이가 심하게 발생하는 데 비하여 냉간연신 후에는 그 차이가 감소한 것을 알 수 있다. 도 8의 (b)는 항복압력/항복강도를 t/D 의 함수로 나타낸 것이다. 외각 쉘 두께에 무관하게 냉간연신 후에 항복압력이 약 두배 증가하며 $t/D=0.001$ 이하인 경우에는 항복압력이 종래의 원통형 압력용기에 거의 근접함을 알 수 있다. 그러나 t/D 커짐에 따라 항복압력의 증가속도는 원통형 압력용기 보다 낮아 $t/D=0.02$ 에서는 절반정도에 불과하다. 냉간연신 후에 항복압력 P_o 를 t/D 의 함수로 표현하면 아래의 수학적 식 1과 같다.

[105]

[106] [수학적 식 1]

[107]

$$\frac{P_o}{\sigma_o} = 0.4979 \times \left(\frac{t}{D}\right)^{0.8343}$$

[108]

[109] 여기에서, σ_o 와 t 는 각각 쉘 재료의 항복응력과 쉘의 두께이고, D 는 외각 쉘의 반구형 단위셀의 크기이다.

- [110] 단위셀 크기의 영향을 조사하기 위하여, 위와 같이 내부용적이 직경 1m인 구형 압력용기와 동일하며 전체 셀 개수가 2×2×2, 3×3×3, 4×4×4 및 8×8×8이며, 냉간연신 후 항복압력이 $P_o=0.01\sigma_o$ 을 위의 수학적 식 1에 대입하여 외각 셀 두께 대 단위셀 크기 비는 $t/D=0.009242$ 로 일정한 네개의 모델을 추가로 만들어 위와 동일한 방법으로 냉간연신 후 항복압력과 응력분포를 조사하였다. 여기서, 2×2×2 셀로 구성된 모델의 경우에는 보강띠(151) 없이 외각 셀(110)의 각 면의 중앙에 위치한 배꼽 부분에 덮개(150)만 있다.
- [111] 도 9의 (a)는 이 네 모델의 외각 셀의 형상을 나타내고, 도 9의 (b)와 도 10은 각각 초기 항복시와 냉간연신 후 응력분포를 나타낸다. 여기에서, 자세한 응력분포를 보기 쉽도록 3×3×3, 4×4×4 및 8×8×8 모델의 외각 셀의 반 구형 단위셀 크기를 2×2×2 모델과 동일하게 도시하였다. 전반적으로 도 9의 초기 항복시 응력분포는 최고와 최저값의 차이가 현저하나, 도 10의 냉간연신 후에는 그 차이가 감소한 것을 알 수 있다. 2×2×2 셀로 구성된 모델의 경우 냉간연신에 관계없이 다른 모델에 비하여 약간 다른 항복압력을 가지며 냉간연신 전에는 $P_o=0.0064\sigma_o$ 이었던 항복압력이 냉간연신 후에는 $P_o=0.00995\sigma_o$ 로 증가하였다. 3×3×3, 4×4×4 및 8×8×8의 셀로 구성된 모델은 단위셀 크기와 개수가 다름에도 불구하고 항복압력이 냉간연신 전에는 모두 $P_o=0.006159\sigma_o$ 이고, 냉간연신 후에는 모두 $P_o=0.01014\sigma_o$ 로서 거의 $P_o=0.01\sigma_o$ 과 유사하다. 또 각각의 항복압력에서 응력분포도 서로 매우 유사하다. 이로서 상기 수학적 식 (1)은 단위셀 크기와 개수에 무관하게 성립함을 알 수 있다.
- [112] 이상의 유한요소해석에서 트러스 내부 프레임은 전혀 항복변형하지 않는 것으로 가정하였다. 별도의 유한요소해석에서 트러스 요소의 직경(dt)은 아래와 같은 수학적 식 2로 주어지면 냉간연신이 행해지더라도 항복을 일으키지 않는 것으로 밝혀졌다.
- [113]
- [114] [수학적 식 2]
- [115]
- $$d_t = 2 \sqrt{\frac{2p_o}{\pi\sigma_{ot}}} \cdot D = 1.576 \left(\frac{p_o}{\sigma_{ot}} \right)^{\frac{1}{2}} D$$
- [116]
- [117] 여기서, σ_{ot} 는 트러스 소재의 항복강도이다.
- [118]
- [119] 상기 수학적 식 2는 외각 셀의 항복압력이 가해질 때 내부 프레임을 구성하는 트러스에서 발생하는 응력이 트러스 소재의 항복강도와 같아질 직경의 두배를 취한 것이다.
- [120] 도 11은 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기의 구성을 나타내는 도면으로, 도 5a와 동일한 외각 셀을 가진 3차원 구조체이며 3차원 트러스 형태 대신 셀 격자 형태의 내부 프레임으로 구성된다.

[121] 도 11을 참조하면, 압력용기(200)는 외각 셸(210)과 내부 프레임(230)을 조합하여 구성된 3차원 구조체로 이루어진다. 여기에서, 내부 프레임(230)은 외각 셸(210)의 형상에 상응하는 3차원 셸 격자 형태로 형성된다. 전체 외형의 크기, 단위 셸 크기, 외각 셸 두께는 도 6과 같고 셸 격자형 내부 프레임(230)을 구성하는 셸의 두께는 외각 셸(210)의 두께와 같고, 셸 격자를 이루는 각 면요소의 중심부에는 0.25D 직경을 갖는 구멍이 뚫어진 형태이다. 해당 구멍은 유체 유통공(231)에 해당한다.

[122]

[123] 도 12 내지 도 15는 도 11의 외각 셸-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기에 대한 응력분포를 유한요소법으로 예측한 결과를 나타내는 도면이다.

[124] 도 12는 도 11의 압력용기(200)의 (셸의 두께)/(구의 직경) 비가 $t/D=0.001$ 일 때 응력분포를 유한요소법으로 예측한 결과이다. 구체적으로, 도 12의 (a)는 외각 셸(210)과 셸 격자형 내부 프레임(230)의 어느 지점에서라도 최초로 항복이 발생할 때의 von-Mises 응력의 분포를 나타낸다. 이때 가해진 내부압력을 초기항복 압력이라 한다. 이 경우 초기항복 압력은 $P_0=0.0008\sigma_0$ 이다. 배꼽과 골짜기 근처의 응력이 반구형 외각보다 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 도 12의 (b)는 냉간연신을 위하여 초기항복 압력의 4배의 압력을 가한 후 분포하는 von-Mises 응력의 분포를 나타낸다. 도 12의 (c)는 냉간연신을 수행한 후 재차 압력을 가하여 구조체의 어느 지점에서라도 최초로 항복이 발생할 때의 von-Mises 응력의 분포를 나타낸다. 냉간연신 과정에서 발생한 국부적인 소성변형을 통하여 외각의 형상이 최적화가 되어 항복압력은 $P_0=0.0023\sigma_0$ 으로 초기항복 압력보다 3배 정도까지 증가하였음을 알 수 있다.

[125] 동일한 방법으로 (셸의 두께)/(구의 직경) 비가 $t/D=0.0005, 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02$ 등 6가지 일 경우의 초기항복 압력과 냉간연신 후 항복 압력을 유한요소법으로 예측한 결과는 도 13과 같다. 구체적으로, 도 13의 (a)의 윗 행(row)에는 t/D 에 따른 초기 항복시 von-Mises 응력분포를, 아래 행에는 4배의 초기 항복 압력의 4배의 압력을 가하여 냉간연신을 시행한 후 다시 가압하여 항복 시 응력분포를 나타낸다. 전반적으로 초기항복 발생시에는 응력의 상한과 하한 값의 차이가 심하게 발생하는데 비하여 냉간연신 후에는 그 차이가 현저히 감소한 것을 알 수 있다. 도 13의 (b)는 항복압력/항복강도를 t/D 의 함수로 나타낸 것이다. 냉간연신 후 항복압력은 원통형 압력용기를 조금 상회하는 수준으로 t/D 에 따른 변화 양상은 원통형 압력용기와 유사하다. 냉간연신 후 항복압력은 하기 수학식 3과 같다.

[126]

[127] [수학식 3]

$$[128] \quad \frac{P_o}{\sigma_o} = 2.0488 \times \left(\frac{t}{D}\right)^{0.9807}$$

[129]

[130] 단위셀 크기의 영향을 조사하기 위하여, 위와 같이 내부용적이 직경 1m인 구형 압력용기와 동일하며 전체 셀 개수가 2×2×2, 3×3×3, 4×4×4 및 8×8×8이며, 냉간연신 후 항복압력이 $P_0=0.01\sigma_0$ 을 위의 수학식 3에 대입하여 외각 셀 두께 대 단위셀 크기 비는 $t/D=0.004396$ 로 일정한 네개의 모델을 추가로 만들어 위와 동일한 방법으로 냉간연신 후 항복압력과 응력분포를 조사하였다. 이 네 모델의 외형은 도 9의 (a)와 같다.

[131] 도 14 및 15는 각각 초기항복시 즉, 냉간연신 전과 냉간연신 후 응력분포를 나타낸다. 여기에서, 자세한 응력분포를 보기 쉽도록 3×3×3, 4×4×4 및 8×8×8 모델의 단위셀 크기를 2×2×2 모델과 동일하게 도시하였다. 도 14의 초기 항복시 항복압력은 $P_0=0.00364\sigma_0$ 로서 단위셀 크기와 개수에 무관하며, 응력분포도 거의 같다. 또한 응력의 최고와 최저값의 차이가 현저하나 도 15의 냉간연신 후에는 응력집중이 배꼽부분에 국한된 것을 알 수 있다. 2×2×2, 3×3×3, 4×4×4 및 8×8×8로 단위셀 크기와 개수가 다름에도 불구하고 항복압력이 2×2×2 모델은 $P_0=0.009238\sigma_0$ 로서 약간 낮을 뿐, 3×3×3 모델은 $P_0=0.009418\sigma_0$, 나머지 모델은 $P_0=0.009524\sigma_0$ 로서 일정하고 이 압력에서의 응력분포도 서로 매우 유사하다. 이로서 상기 수학식 3은 단위셀 크기와 개수에 무관하게 성립함을 알 수 있다.

[132] 한편, 상기 수학식 1 및 3에 따르면, 항복압력(P_0)이 전체 외형의 크기가 아닌 단위셀(cell)의 크기에 대한 외각 셀 두께의 비(t/D)에 의존하기 때문에, 셀 두께를 작게 하고 동시에 내부 프레임도 작게 하며, 단위셀의 크기를 동일 비율로 작게 하면 셀 두께의 감소에도 불구하고 항복압력(P_0)이 감소되지 않는다. 이는 후술하는 바와 같이 외각 셀을 도금이나 코팅 등으로 제작하여 셀 두께를 박막 형태로 매우 얇게 하는 경우라도 단위셀의 크기를 이에 비례하여 작게 구성하면 압력용기에 대해 소망하는 충분한 내압 특성을 부여할 수 있음을 의미한다. 또한, 단위셀의 크기를 작게 할수록 압력용기의 외관 형상을 보다 자유롭게 구현할 수 있다.

[133]

[134] 압력용기의 실시예 및 그 제조방법

[135] 본 발명은 상기 역학적 근거에 기반한 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법을 제시한다.

[136]

[137] 본 발명에 따른 압력용기(300)는 외각 셀(310)과 내부 프레임(330)으로 구성되는 3차원 구조체로 이루어진다. 여기에서, 외각 셀(310)은 복수의 구 또는 반구 형 돌기들이 밀집하여 규칙적으로 배열된 외형의 다면체 형태로 이루어진다. 내부 프레임(330)은 3차원 트러스 또는 셀 격자 형태로 이루어진다.

[138] 도 16은 본 발명에 따른 압력용기의 외각 셀을 다양한 형태를 나타내는 도면이다.

- [139] 도 16을 참조하면, 외각 셸(310)은 복수의 구(sphere)형 돌기들이 규칙적으로 배열된 형태로 형성된다. 외각 셸(310)은 구형 돌기의 배열 방법에 따라 다양한 외형을 가질 수 있다. 예를 들어, 도 16의 (a) 직육면체, (b) 평행육면체, (c) 직육면체 2개가 조합된 형상인 것과 유사한 외형의 외각 셸(310)을 가질 수 있다. 일 실시예에서, 외각 셸(310)은 구형의 볼록 부분(311), 서로 밀착된 두 개의 구 사이의 경계에 존재하는 오목한 골짜기 부분(313) 및 4개 또는 3개의 밀착된 구들 중앙에 존재하는 오목한 배꼽 부분(315)으로 구성된다. 여기에서, 도 16의 (a) 내지 (c)의 좌측 그림은 각각 인접한 4개 또는 3개의 구가 밀착되되 서로 침범하지 않는 경우이고, 우측 그림은 각각 인접한 4개 또는 3개의 구가 서로 침범하되 중심점 한 곳에서는 서로 밀착된 경우이다.
- [140] 도 17은 도 16의 외각 셸의 밀착된 형상을 설명하는 도면으로, 도 17의 (a) 및 (b)는 도 16의 (a) 및 (c)의 좌측 그림과 같이 각각 인접한 4개의 구가 밀착되되 서로 침범하지 않는 경우와 우측 그림과 같이 서로 침범하되 중심점 한 곳에서는 서로 밀착된 경우를 나타낸다. 도 17의 (c) 및 (d)는 도 16의 (b)의 좌측 그림과 같이 각각 인접한 3개의 구가 밀착되되 서로 침범하지 않는 경우와 우측 그림과 같이 서로 침범하되 중심점 한 곳에서는 서로 밀착된 경우를 나타낸다. 여기에서, 외각 셸(310)의 인접한 구들의 밀착 형상은 도 17에 보여진 형태에 한정되지 않으며, 구 사이의 밀착 정도 또한 필요에 따라 달라질 수 있다. 외각 셸(310)은 인접한 구들의 밀착 형상 및 구 사이의 밀착 정도에 따라 평면을 기준으로 직교하는 사각 또는 육각 격자 형태로 이루어질 수 있다.
- [141] 압력용기(300)는 외각 셸(310)의 배꼽 부분(315)에 내부 프레임(330)을 결합하여 3차원 구조체로 구성된다. 여기에서, 내부 프레임(330)은 3차원 트러스 형태 또는 셸 격자 형태로 구성될 수 있다.
- [142] 도 18a 내지 18c는 본 발명의 일 실시예에 따른 외각 셸-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기의 구조도로, 3차원 트러스 형상의 내부 프레임을 사용한 경우이다.
- [143] 도 18a 내지 18c를 참조하면, 압력용기(300)는 외각 셸(310)과 내부 프레임(330)으로 구성되는 3차원 구조체로 이루어진다. 여기에서, 내부 프레임(330)은 외각 셸(310)의 형상에 상응하는 3차원 트러스 형상으로, 트러스 단부가 외각 셸(310)의 내부를 관통하여 외각 셸(310)의 바깥으로 돌출된 형태로 결합된다. 트러스(truss)는 여러 개의 직선 요소들을 특정 형태로 배열하여 각 요소를 절점에서 연결해 구성한 뼈대 구조를 뜻한다. 여기에서, 내부 프레임(330)은 직선 요소가 공간에서 서로 교차하는 3차원 트러스를 구성한다. 내부 프레임(330)의 3차원 트러스 형상은 외각 셸(310)의 형상에 의해 결정될 수 있다. 내부 프레임(330)은 트러스를 구성하는 직선 요소의 양단이 외각 셸(310)의 배꼽 부분(315)에 결합되어 외각 셸(310)이 내측에 작용하는 압력에 의하여 돌출되지 않도록 지지하는 역할을 한다. 이에, 내부 프레임(330)은 최소의 무게로 최대의 지지 강도를 얻기 위하여 피아노선재 또는 섬유강화복합재를 소재로 사용할 수 있다. 이 경우 직선 요

소들의 교차점에서의 접합에 따른 강도저하가 방지되도록 완벽한 직선 보다는 삼각함수나 나선형으로 약간 휘어지도록 만들어서 교차점에서 서로 비껴 지나가도록 할 수도 있다. 외각 셸(310)의 배꼽 부분(315)과 내부 프레임(330)의 트러스 끝부분은 용접이나 납땜, 수지 접합 등을 통해 서로 결합될 수 있으며, 반드시 이에 한정되지 않고 씰링(sealing), 볼트/너트 결합 및 기타 기계적 결합 등 다양한 방법이 사용될 수 있다.

[144] 도 19는 외각 셸과 내부 프레임의 결합 실시예를 설명하는 도면이다.

[145] 도 19의 (a)를 참조하면, 오목한 곡면 외각 셸(310)에 내부 프레임(330)의 트러스 직선요소의 단부가 용접, 납땜, 수지접합 등의 방법으로 접합부(410)를 형성하여 고정 결합될 수 있다. 여기에서, 접합부(410)는 접합 두께가 직선요소 근처에서 가장 두껍고 주변으로 갈수록 점차 얇아지도록 하여 곡면 외각 셸에 수렴하는 형상을 갖는다.

[146] 도 19의 (b)를 참조하면, 오목한 곡면 외각 셸(310)과 내부 프레임(330)의 트러스 직선요소의 단부 사이에 밀폐부(430)를 형성하여 고정 결합될 수 있다. 여기에서, 밀폐부(430)는 곡면 셸과 동일한 곡률반경을 갖는 구형상의 고무재를 삽입하여 밀폐(sealing)시킨 후 와셔 및 너트 등으로 고정시킨다. 밀폐부(430)는 고무재의 낮은 강성도(stiffness)에 의해 결합부위의 응력 집중을 완화하고 내부 유체를 밀폐할 수 있다.

[147] 도 19의 (c)를 참조하면, 도 19의 (b)에서 결합부위가 외부로 돌출되는 문제점을 보완한 방법으로, 와셔 대신 덮개(450)를 사용하는 방법이다. 여기에서, 덮개(450)는 외각 셸(310)의 배꼽 부분(315) 곡면 셸 보다 곡률반경이 크고 주변으로 갈수록 점진적으로 외각 셸(310)과 접촉하는 오목형태로 형성된다. 이때, 덮개(450)와 배꼽 부분(315) 사이의 빈 공간은 고무재의 충진부재(470)로 채워 응력 집중 완화 및 밀폐를 한다. 여기에서, 덮개(450)는 항복강도와 영계수가 외각 셸(310) 보다 높은 소재를 사용하는 것이 바람직하며, 외각 셸(310)과 같은 소재를 사용할 경우 외각 셸(310) 보다 두께가 두꺼운 것을 사용함으로써 같은 효과를 가질 수 있다.

[148] 도 20은 3차원 셸-프레임 구조체의 다른 실시예를 설명하는 도면으로, 3차원 셸 격자 형상의 내부 프레임을 사용한 경우이다.

[149] 도 20을 참조하면, (a) 및 (b)는 각각 도 18의 (a) 및 (c)의 외각 셸(310)과 동일한 외각 셸(510)을 가진 압력용기의 3차원 셸 격자 형상의 내부 프레임(530)을 나타낸다. 내부 프레임(530)의 3차원 셸 격자 형상은 외각 셸(510)의 형상에 의해 결정될 수 있다. 여기에서, 내부 프레임(530)은 외각 셸(510)의 배꼽 부분과 이들 사이를 잇는 골짜기 부분을 따라 셸 격자의 단부가 결합된다. 셸 격자에는 규칙적인 패턴으로 유체 유통공(531)이 형성되어 유체 유통공(531)을 통해 압력용기(100)에 저장되는 내부 유체가 서로 유통될 수 있다. 외각 셸(510)과 3차원 셸 격자 형상의 내부 프레임(530)의 결합은 용접, 납땜, 수지접합 등의 방법으로 끊김이 없이 연속적으로 이어지는 것이 바람직하다. 이때, 외각 셸(510)의 배꼽 부분에서

골짜기 부분이 만나므로 내부 셀 격자 단부의 교차부가 배꼽 부분과 결합하게 된다.

[150] 본 발명에 따른 압력용기(100,200,300)는 3차원 셀-프레임 구조체를 보강하기 위한 보강덮개(도 5a의 150a에 해당)를 포함할 수 있다. 보강덮개는 외각 셀(110,210,310,510)의 모서리에 위치하는 구형 셀의 배꼽 부분과 골짜기 부분을 따라 띠 형태로 배치되어 외각 셀(110,201,310,510)의 모서리에 위치하는 구형 셀을 보강할 수 있다. 예를 들어, 압력용기(100,200,300)가 사면체인 경우 8개의 모서리, 육면체인 경우 12개의 모서리에 위치한 구형 셀에 보강 덮개가 배치될 수 있다.

[151]

[152] 다음으로, 도 21 내지 26을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 압력용기의 제조방법에 대해 설명한다.

[153] 도 21은 본 발명에 따른 압력용기의 제조방법의 일 실시예를 설명하는 도면이고, 도 22 및 23은 도 21의 제조방법에 대한 모식도이다.

[154] 도 21을 참조하면, 압력용기 제조방법은 내부 프레임의 제작부터 시작된다(단계 S610). 여기에서, 내부 프레임은 도 22의 (a)와 같은 3차원 트러스형 내부 프레임(730a) 또는 도 23의 (a)와 같은 3차원 셀 격자형 내부 프레임(730b)으로 제작될 수 있다.

[155] 그런 다음, 압력용기 제조 방법은 외각 셀(710)의 각 면을 이루는 복수의 요철 판(711)을 가공한다(단계 S630). 여기에서, 복수의 요철 판(711)은 소정 두께의 얇은 판을 프레스 가공하여 반구형상이 규칙적으로 배열된 형태로 제작될 수 있다. 복수의 요철 판(711)에는 도 22의 (b)와 같이 배꼽 부분에 3차원 트러스형 내부 프레임(730a)과의 결합을 위한 결합 구멍(713)이 가공될 수 있다.

[156] 그런 다음, 압력용기 제조 방법은 제작된 내부 프레임(730a,730b)과 복수의 요철 판(711)을 조립하여 외각 셀(710)과 내부 프레임(730a,730b)으로 구성된 압력용기를 제조한다(단계 S650). 조립 단계에서, 3차원 트러스형 내부 프레임(730a)의 경우에는 도 22의 (c)와 같이 별도 제작된 3차원 트러스형 내부 프레임(730a)의 각 외측 면에 복수의 요철 판(711)들을 대고 조립한다. 이때, 3차원 트러스 각각의 단부가 대향 배치되는 복수의 요철 판(711)에 있는 결합 구멍(713)에 끼움 결합된다. 3차원 트러스형 내부 프레임(730a)을 기준으로 각 외면에 조립되는 복수의 요철 판(711)들 각각은 이웃하는 복수의 요철 판과 용접, 납땜, 수지접합 및 기타 기계적 방법으로 이음 결합되어 외각 셀(710)을 형성한다. 또한, 복수의 요철 판(711)의 배꼽 부분과 해당 배꼽 부분의 결합 구멍(713)을 통해 빠져나온 트러스 단부를 용접, 납땜, 수지접합 및 기계적 방법으로 고정 결합하고 밀폐하여 압력용기를 완성한다. 조립 단계에서, 3차원 셀 격자형 내부 프레임(730b)의 경우에는 도 23의 (c)와 같이 별도 제작된 3차원 셀 격자형 내부 프레임(730b)의 각 외측 면에 복수의 요철 판(711)들을 대고 조립한다. 이때, 복수의 요철 판(711)의 골짜기 안쪽면과 셀 격자 외면 셀의 단면이 서로 접촉이 유지되도록 하고, 접촉면

을 용접, 납땜, 수지접합 및 기타 기계적 방법으로 고정 결합한다. 그런 다음, 복수의 요철 판(711)들 사이의 접촉부분을 용접, 납땜, 수지접합 및 기타 기계적 방법으로 이음 결합하여 외각 셀 전체를 연결하고 밀폐하여 압력용기를 완성한다.

[157] 도 24는 도 22의 압력용기 제조방법의 변형 실시예를 나타내는 도면으로, 도 22의 (a)와 같이, 3차원 트러스형 내부 프레임을 별도 제작하지 않고 대신 외각 셀을 먼저 구성한 후 외각 셀의 내부공간에 트러스를 구성한다.

[158] 도 24를 참조하면, 압력용기 제조 방법은 얇은 판을 프레스 가공하여 만들어진 복수의 요철 판(711)들 사이의 접촉 부분을 결합하여 (a)와 같은 다면체의 외각 셀(710)을 형성한다. 외각 셀(710)의 각 배꼽 부분에는 트러스 직선요소(731)가 통과할 결합 구멍(713)이 가공된다. 해당 결합 구멍(713)은 외각 셀(710)을 형성하기 전의 복수의 요철 판(711)들 각각에 가공할 수도 있고 외각 셀(710)을 형성한 이후에 가공할 수도 있다.

[159] 그런 다음, 압력용기 제조 방법은 (b)와 같이 외각 셀(710)에 가공된 결합 구멍(713)으로 트러스 직선요소(731)를 삽입한 후 반대쪽 면의 결합 구멍으로 빠져나오도록 하여 외각 셀(710)의 내부공간에 3차원 트러스를 구성한다. 여기에서, 트러스 직선요소(731)는 일정길이 및 두께의 와이어 또는 봉으로 구성될 수 있다. 트러스 직선요소(731)는 외각 셀(710)의 내부에서 같은 면에서 투입된 와이어 또는 봉들끼리 서로 평행하고 다른 면에서 투입된 와이어 또는 봉들끼리는 서로 교차되도록 하여 외각 셀(710)의 내부공간에 3차원 트러스형 내부 프레임(730a)을 구성한다.

[160] 압력용기 제조 방법은 (c)와 같이, 외각 셀(710)과 3차원 트러스형 내부 프레임(730a)이 결합된 상태에서 외각 셀(710)의 배꼽 부분과 해당 배꼽 부분의 결합 구멍(713)을 통과하는 트러스 직선요소(731) 끝 부분을 용접, 납땜, 수지 접합 및 기타 기계적 방법으로 결합하고 밀폐하여 압력용기를 완성한다.

[161] 도 25는 본 발명의 일 실시예에 따른 압력용기의 제조 공정을 개략적으로 나타내는 도면으로, 2차원적으로 도식화하였다.

[162] 도 25를 참조하면, 외각 셀(710)과 동일한 형태의 외형을 갖는 템플릿(810)을 제작한 후(공정 ①), 템플릿(810)의 표면을 경질 재료를 코팅하여 외각 셀(710)을 형성한다(공정 ②). 코팅 공정 ②에서는, 템플릿(810)의 전체 표면에 침지 코팅(dip coating), 도금, 원자층 증착, 화학증착, 물리적증착 등의 방법으로 폴리머, 금속, 세라믹 또는 복합재료를 코팅하여 코팅막을 형성한다. 여기서는, 코팅 재질에 따라 코팅 방법이 선택될 수 있으며, 예컨대 금속의 경우 전해 도금, 무전해 도금, 원자막 증착, 화학증착 등으로, 세라믹의 경우 원자막 증착, 화학증착, 물리증착, 수지의 경우 침지 코팅, 화학증착 등으로 형성될 수 있다.

[163] 외각 셀(710)을 형성한 후, 배꼽 부분에 구멍을 뚫은 후(공정 ③), 그 구멍을 통하여 식각을 하여 내부의 템플릿(810)을 제거한다(공정 ④). 여기에서, 내부 템플릿 제거는 구멍을 통해 침투되는 에칭액을 이용해 식각되어 배출되는 방식으로 제거될 수 있다. 그런 다음, 템플릿(810)이 제거된 내부 공간에 3차원 트러스 형태의

내부 프레임(730a)을 배치한다(공정 ⑤). 내부 프레임 배치 공정 ⑤에서는, 구멍에 트러스 직선요소(731)인 와이어를 삽입하고 반대쪽 구멍으로 빠져나오도록 하여 내부에 3차원 트러스 형태가 되도록 배치한다.

- [164] 외각 셸(710)의 내부에 3차원 트러스 형태로 프레임(730a)이 배치되면, 배꼽과 구멍을 관통하는 와이어를 서로 결합하고 밀폐하여 압력용기를 완성한다(공정 ⑥).
- [165] 도 26은 도 25의 변형 실시예에 따른 압력용기의 제조 공정을 나타 내는 도면이다.
- [166] 도 26을 참조하면, 먼저 외각 셸(710)의 음각형의 템플릿(910)을 제작한 후 기존에 존재하는 구멍에 트러스 직선요소인 와이어를 삽입하고 반대쪽 구멍으로 빠져나오도록 하여 내부에 3차원 트러스 형태가 되도록 배치한다(공정 ①).
- [167] 그런 다음, 음각형의 템플릿(910) 내부와 외부를 음각형 템플릿(910)과 다른 폴리머로 채운 후(공정 ②), 템플릿 외부의 폴리머를 제거하여 내부의 음각형 템플릿(910)을 노출시킨다(공정 ③). 여기에서, 템플릿 외부 폴리머 제거는 폴리싱 방식일 수 있다.
- [168] 음각형의 템플릿(910)을 구성하는 폴리머를 식각한 후(공정 ④), 새로 노출된 양각형 템플릿(920) 표면과 외부에 노출된 트러스 단부에 코팅막을 형성하여 외각 셸(710)을 형성한다(공정 ⑤). 여기에서, 코팅막은 양각형의 템플릿(920)의 전체 표면에 형성되며 외각 셸(710)의 외면을 구성하기 때문에 금속, 세라믹, 수지 또는 복합재료 등의 재질을 사용할 수 있다. 코팅방법은 사용 재질에 따라 침지 코팅(dip coating), 도금, 원자층 증착, 화학증착, 물리적증착 등이 선택될 수 있다.
- [169] 그런 다음, 음각형 템플릿(910)의 내부에 폴리머 주입시 사용된 유로의 단부를 폴리싱하여 내부 폴리머를 노출시킨 후 식각하여 제거하고 구멍을 다시 밀봉한다(공정 ⑥). 여기에서, 폴리머 주입 유로는 막대 형태로 외각 셸의 바깥으로 노출되게 되므로 폴리싱 방식으로 그 단부를 제거하여 내부 폴리머를 노출시킨다.
- [170]
- [171]
- [172] 도 21 내지 26의 공정에 따라 압력용기 제조를 완료한 후, 압력용기 내에 물을 주입하여 설계 내압보다 높은 압력을 가하는 냉간연신(cold stretching)을 하여 외각 셸의 소성변형에 의한 부분적인 변형을 유도함으로써 압력용기를 강화시키는 공정을 추가로 수행할 수 있다.
- [173]
- [174] 도 27은 본 발명의 실시예에 따른 압력용기의 수리방법을 나타내는 도면이다.
- [175] 도 27을 참조하면, 압력용기의 외각 셸의 박막 구성에 따라 결함이 발생하여 누설이 발생한 또는 발생할 위험이 있는 경우, 누설이 발생한 또는 발생 위험 부분의 돌기형 셸과 그 내부에 고무질 재료를 주입하여 간단히 수리할 수 있다. 이 방법은 특히 셸 격자 형태의 내부 프레임을 갖는 경우에 유리할 수 있다. 왜냐하면

주입된 고무질 재료가 주변의 셀 격자에 의하여 둘러 쌓여 그 변형이 구속됨으로써 누설부에서 이탈될 가능성이 낮아지기 때문이다.

[176]

[177] 일 실시예에 따른 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기 및 그 제조방법은 임의의 형상을 가질 수 있어 공간활용성이 우수하며, 내부 용적 대비 외각 셀을 구성하는 반구형 요철의 크기를 줄이고 개수를 늘려 더 얇은 두께의 셀로 내압을 지지할 수 있고, 외각 셀의 두께를 얇게 함에 따라 균열이 존재하더라도 치명적인 파열에 이르기 전에 셀을 관통하여 LBB 안전을 확보할 수 있으며, 누설 발생시 해당 부분에 고무질 재료를 주입하여 누설을 방지할 수 있다.

[178]

[179] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[180]

[181] [부호의 설명]

[182] 100,200,300: 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기

[183] 110,210,310,510,710: 외각 셀

[184] 311: 볼록 부분 313: 골짜기 부분

[185] 315: 배꼽 부분

[186] 130,230,330,530: 내부 프레임 150,450: 덮개

[187] 150a: 제1 덮개 150b: 제2 덮개

[188] 151: 보강띠

[189] 231,531: 유체 유통공

[190] 410: 접합부 430: 밀폐부

[191] 470: 충전부재

[192] 711: 복수의 요철 판 713: 결합 구멍

[193] 730a: 3차원 트러스형 내부 프레임

[194] 730b: 3차원 셀 격자형 내부 프레임

[195] 731: 트러스 직선요소

[196] 810,910,920: 템플릿

청구범위

- [청구항 1] 가로, 세로 및 높이 각각에 복수의 구(sphere) 또는 반구(hemisphere) 형 돌기들이 밀착하여 규칙적으로 배열된 외형의 다면체로 형성되고 내부에 유체 저장 및 보관을 위한 공간이 형성되는 외각 셀; 및
상기 외각 셀의 내부 공간에 배치되고 상기 외각 셀과 결합되어 상기 외각 셀을 지지하는 내부 프레임을 포함하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 2] 제1항에 있어서, 상기 외각 셀은
상기 복수의 구 또는 반구 형 돌기들이 서로 밀착하여 평면을 기준으로 직교하는 사각 또는 육각 격자 형태로 이루어지는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 3] 제1항에 있어서, 상기 외각 셀은
구형의 볼록 부분, 서로 밀착된 2개의 구 사이의 경계에 존재하는 오목한 골짜기 부분 및 4개 또는 3개의 밀착된 구들 중앙에 존재하는 오목한 배꼽 부분을 포함하는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 4] 제1항에 있어서, 상기 외각 셀은
프레스 가공을 통해 형성되는 복수의 요철 판을 다면체 형태로 이음 결합하여 형성되는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 5] 제1항에 있어서, 상기 내부 프레임은
상기 외각 셀의 형상에 상응하는 3차원 트러스 형태로 구성되고 트러스의 단부가 상기 외각 셀의 배꼽에 위치한 구멍을 통과하는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 6] 제5항에 있어서, 상기 내부 프레임의 트러스는
피아노선재 또는 섬유강화복합재를 소재로 하는 와이어나 봉 형태의 직선 요소들을 서로 교차하여 구성하는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 7] 제5항에 있어서,
상기 외각 셀의 배꼽 구멍을 통해 바깥으로 돌출되는 상기 내부 프레임의 트러스 단부와 상기 외각 셀을 용접, 납땜, 수지접합 중 하나로 결합시키는 접합부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 8] 제5항에 있어서,
상기 외각 셀의 배꼽 구멍을 통해 바깥으로 돌출되는 상기 내부 프레임의 트러스 단부와 상기 외각 셀 사이에 해당 외각 셀과 동일한 곡률반경을 갖

는 구 형상의 고무재를 삽입하여 밀폐시키는 밀폐부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.

- [청구항 9] 제5항에 있어서,
상기 외각 셀의 배꼽 구멍을 통해 바깥으로 돌출되는 상기 내부 프레임의 트러스 단부를 덮으며 상기 외각 셀 보다 곡률반경이 크고 주변으로 갈수록 점진적으로 상기 외각 셀과 접촉하는 형태의 덮개; 및
상기 덮개와 상기 외각 셀 사이의 빈 공간을 채우는 고무 재질의 충전부재를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 10] 제5항에 있어서,
상기 외각 셀의 모서리 부분에 결합되는 제1 덮개 및 상기 외각 셀의 중앙 부분에 결합되는 제2 덮개를 더 포함하고,
상기 제1 덮개는
상기 모서리 부분에 위치한 각 셀들을 감싸듯이 골짜기 부분을 따라 연장된 보강띠를 포함하여 상기 모서리 부분을 보강하는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 11] 제1항에 있어서, 상기 내부 프레임은
상기 외각 셀의 형상에 상응하는 3차원 셀 격자 형태로 구성되는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 12] 제11항에 있어서, 상기 내부 프레임은
상기 외각 셀에서 인접한 반구형 요철 사이의 가장 오목한 배꼽 부분 및 인접한 배꼽 부분 사이를 잇는 골짜기 부분을 따라 상기 셀 격자의 단부가 결합되는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 13] 제11항에 있어서, 상기 내부 프레임의 셀 격자는
상기 외각 셀의 두께와 동일한 두께로 형성되고 각 면요소의 중심부에 유체 유통공이 형성되는 것을 특징으로 하는 외각 셀-내부 프레임 구조체로 구성된 압력용기.
- [청구항 14] 외각 셀 및 내부 프레임으로 구성되는 3차원 구조체로 된 압력용기를 제조하는 방법에 있어서,
(1) 3차원 트러스 또는 셀 격자 형태로 내부 프레임을 제작하는 단계;
(2) 소정 두께의 얇은 판을 프레스 가공하여 반구형상이 규칙적으로 배열된 형태의 복수의 요철 판을 제작하는 단계; 및
(3) 상기 내부 프레임의 외측 면에 상기 복수의 요철 판을 조립하는 단계를 워드 포함하는 압력용기 제조방법.
- [청구항 15] 제14항에 있어서, 상기 단계 (2)는
판의 두께를 얇게 할수록 배열되는 구의 직경을 작게 하여 상기 복수의 요철판을 제작하고, 상기 내부 프레임이 3차원 트러스 형태인 경우 상기 복

수의 요철판의 배꼽 부분에 트러스 단부와 결합을 위한 결합 구멍을 가공하는 것을 특징으로 하는 압력용기 제조방법.

[청구항 16] 제14항에 있어서,

냉간연신(cold stretching)을 하여 상기 압력용기를 강화시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 압력용기 제조방법.

[청구항 17] 외각 셸 및 내부 프레임으로 구성되는 3차원 구조체로 된 압력용기를 제조하는 방법에 있어서,

(1) 소정 두께의 얇은 판을 프레스 가공하여 반구형상이 규칙적으로 배열된 형태의 복수의 요철 판을 제작하는 단계;

(2) 상기 복수의 요철 판들을 결합하여 다면체의 상기 외각 셸을 형성하는 단계; 및

(3) 상기 외각 셸의 각 배꼽 부분에 있는 결합 구멍으로 트러스 직선요소를 삽입하고 반대쪽 면의 결합 구멍으로 빠져나오도록 하여 상기 외각 셸의 내부 공간에 3차원 트러스 형태의 상기 내부 프레임을 형성하는 단계를 포함하는 압력용기 제조방법.

[청구항 18] 제17항에 있어서, 상기 단계 (3)은

상기 트러스 직선요소가 상기 외각 셸의 내부에서 같은 면에서 투입된 경우 서로 평행하고 다른 면에서 투입된 경우 서로 교차되도록 하여 상기 내부 프레임을 구성하는 것을 특징으로 하는 압력용기 제조방법.

[청구항 19] 제17항에 있어서,

냉간연신(cold stretching)을 하여 상기 압력용기를 강화시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 압력용기 제조방법.

[청구항 20] 외각 셸 및 내부 프레임으로 구성되는 3차원 구조체로 된 압력용기를 제조하는 방법에 있어서,

(1) 상기 외각 셸과 동일한 형태의 외형을 갖는 템플릿을 제작하는 단계;

(2) 상기 템플릿의 표면에 경질 재료를 코팅하여 상기 외각 셸을 형성하는 단계;

(3) 상기 외각 셸의 배꼽 부분 각각에 구멍을 뚫고 그 구멍을 통해 식각을 하여 내부의 템플릿을 제거하는 단계;

(4) 상기 구멍에 와이어를 삽입하여 반대쪽 구멍으로 빠져나오도록 하여 내부에 3차원 트러스 형태가 되도록 프레임 배치하는 단계;

(5) 상기 배꼽 부분과 해당 배꼽 부분을 관통하는 와이어를 서로 고정 결합하고 결합 부위를 밀폐하여 상기 압력용기를 완성하는 단계; 및

(6) 냉간연신(cold stretching)을 하여 상기 압력용기를 강화시키는 단계를 포함하는 압력용기 제조방법.

[청구항 21] 제20항에 있어서, 상기 외각 셸을 형성하는 단계는

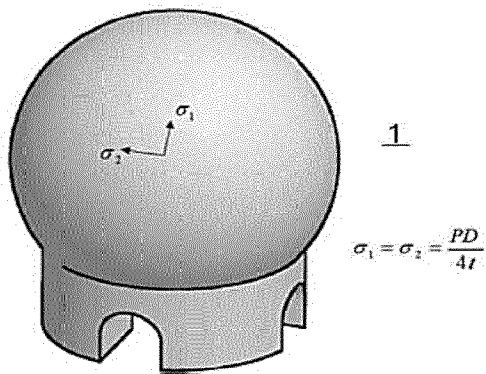
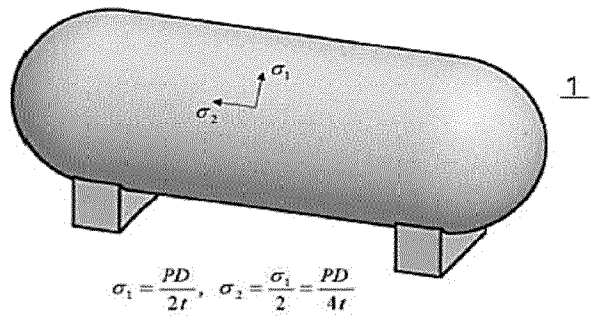
폴리머, 금속, 세라믹 또는 복합재료를 사용하고 사용 재료에 따라 침지 코팅(dip coating), 도금, 원자층 증착, 화학증착, 물리적증착의 방식을 선택

하여 상기 템플릿 표면에 코팅하여 코팅막을 형성하는 것을 특징으로 하는 압력용기 제조방법.

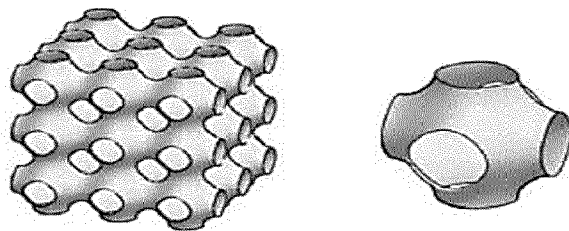
- [청구항 22] 외각 셸 및 내부 프레임으로 구성된 압력용기를 제조하는 방법에 있어서,
- (1) 상기 외각 셸의 음각형 템플릿을 제작하는 단계;
 - (2) 상기 음각형 템플릿의 내부를 기준으로 가장 오목한 배쪽에 위치한 구멍에 트러스 직선요소인 와이어를 삽입하여 반대쪽 구멍으로 빠져나오도록 하여 내부에 3차원 트러스 형태가 되도록 프레임을 배치하는 단계;
 - (3) 상기 음각형 템플릿의 내부와 외부를 상기 음각형 템플릿과 이종의 폴리머로 채운 후 외부의 폴리머를 제거하는 단계;
 - (4) 외부 폴리머가 제거된 상기 음각형 템플릿을 식각하여 노출되는 양각형 템플릿의 표면과 상기 트러스 단부에 코팅막을 형성하여 상기 외각 셸을 형성하는 단계;
 - (5) 폴리머 주입 유로의 단부를 폴리싱하여 상기 외각 셸의 내부 폴리머를 노출시킨 후 식각하여 제거하고 상기 구멍을 밀봉하여 상기 압력용기를 완성하는 단계; 및
 - (6) 냉간연신(cold stretching)을 하여 상기 압력용기를 강화시키는 단계를 포함하는 압력용기 제조방법.

- [청구항 23] 제22항에 있어서, 상기 외각 셸을 형성하는 단계는 폴리머, 금속, 세라믹 또는 복합재료를 사용하고 사용 재료에 따라 침지 코팅(dip coating), 도금, 원자층 증착, 화학증착, 물리적증착의 방식을 선택하여 상기 템플릿 표면에 코팅하여 코팅막을 형성하는 것을 특징으로 하는 압력용기 제조방법.

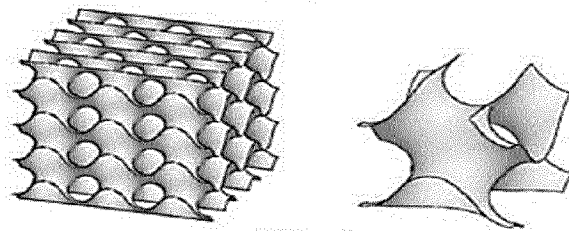
[도1]



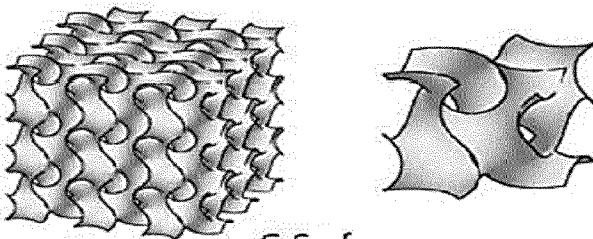
[도2]



P Surface

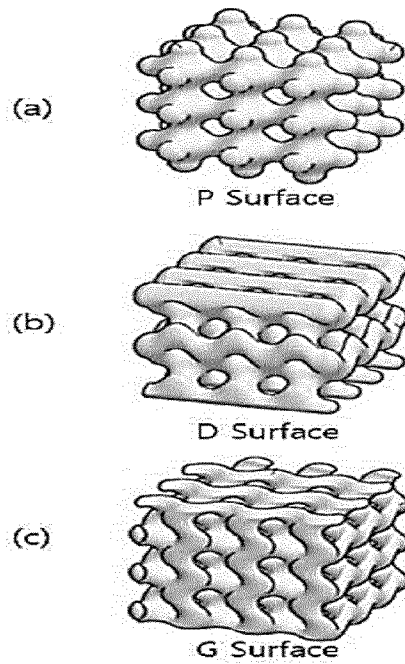


D Surface

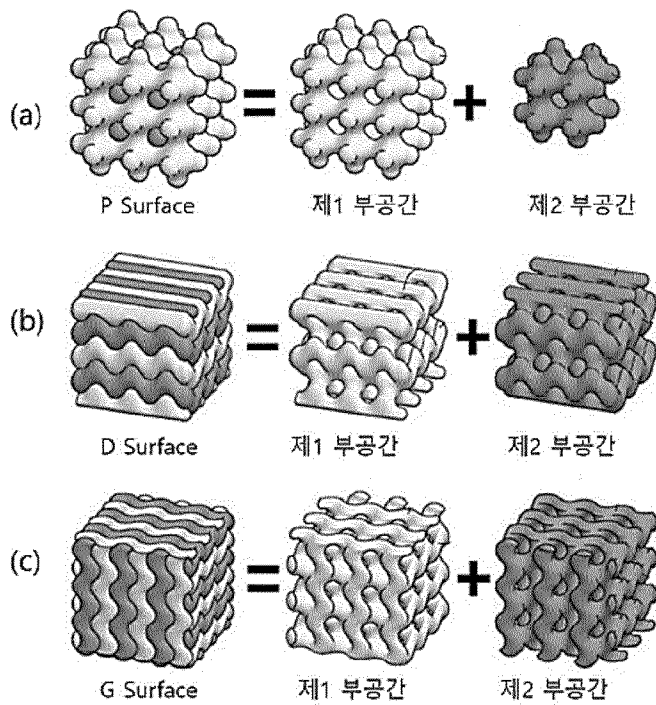


G Surface

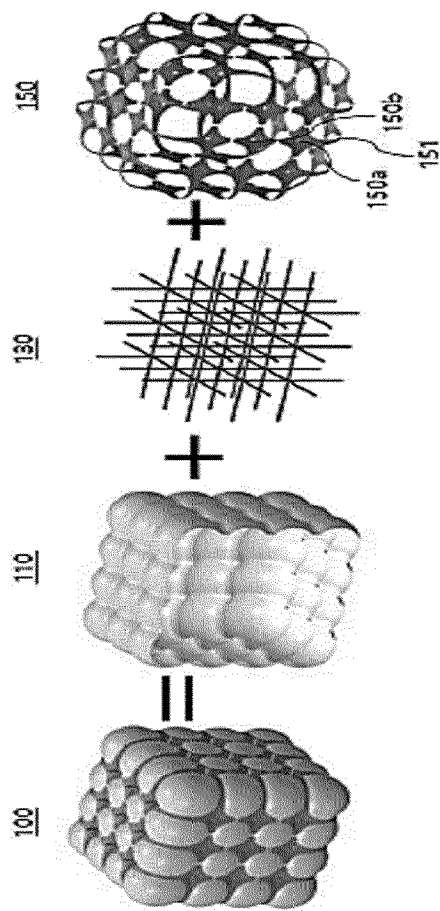
[도3]



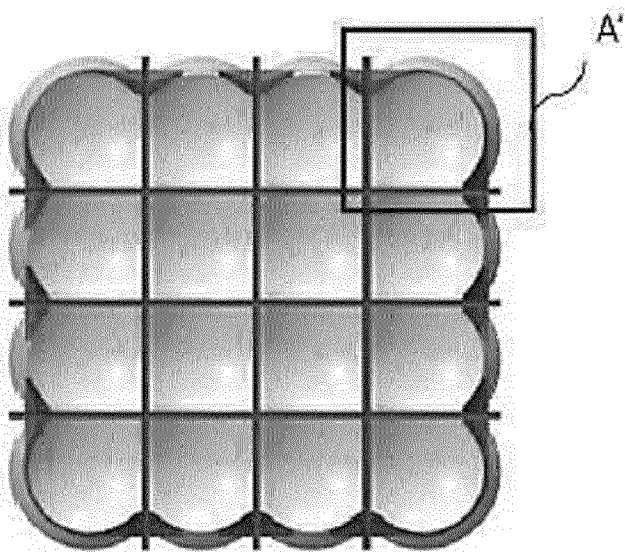
[도4]



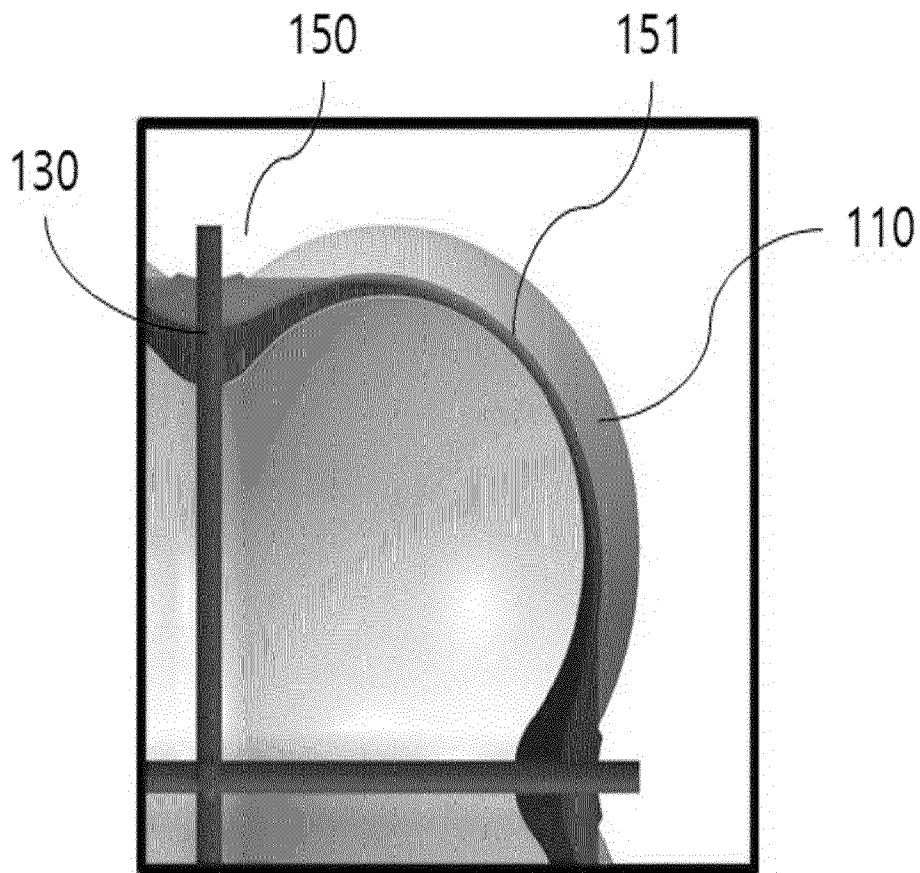
[도5a]



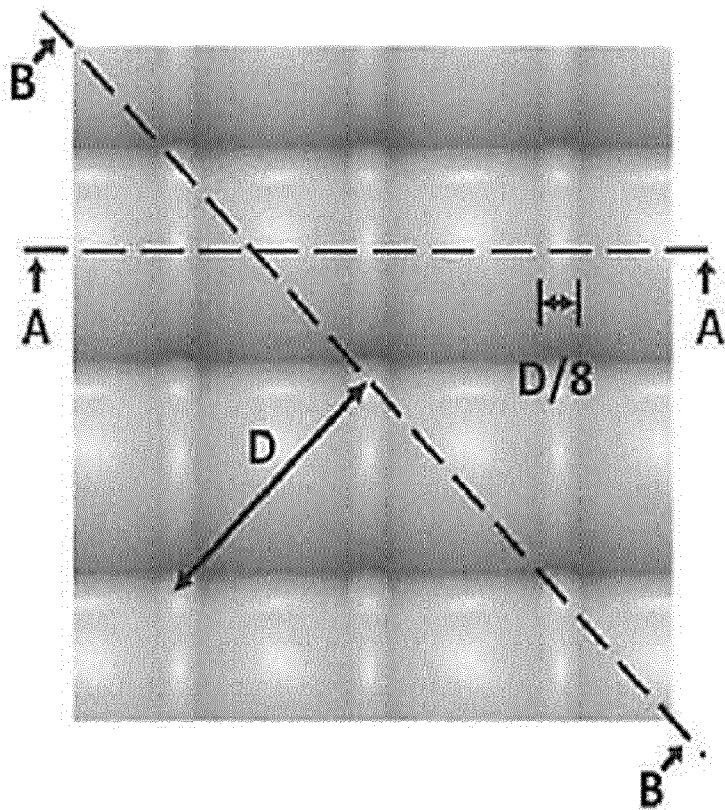
[도5b]



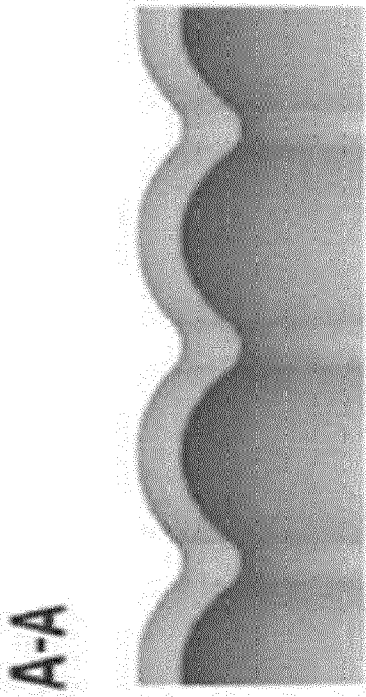
[도5c]



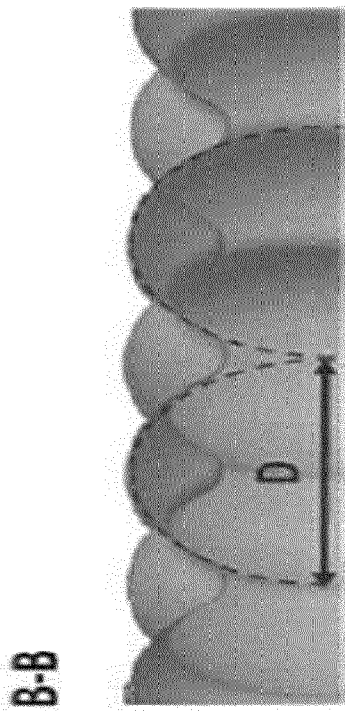
[도6a]



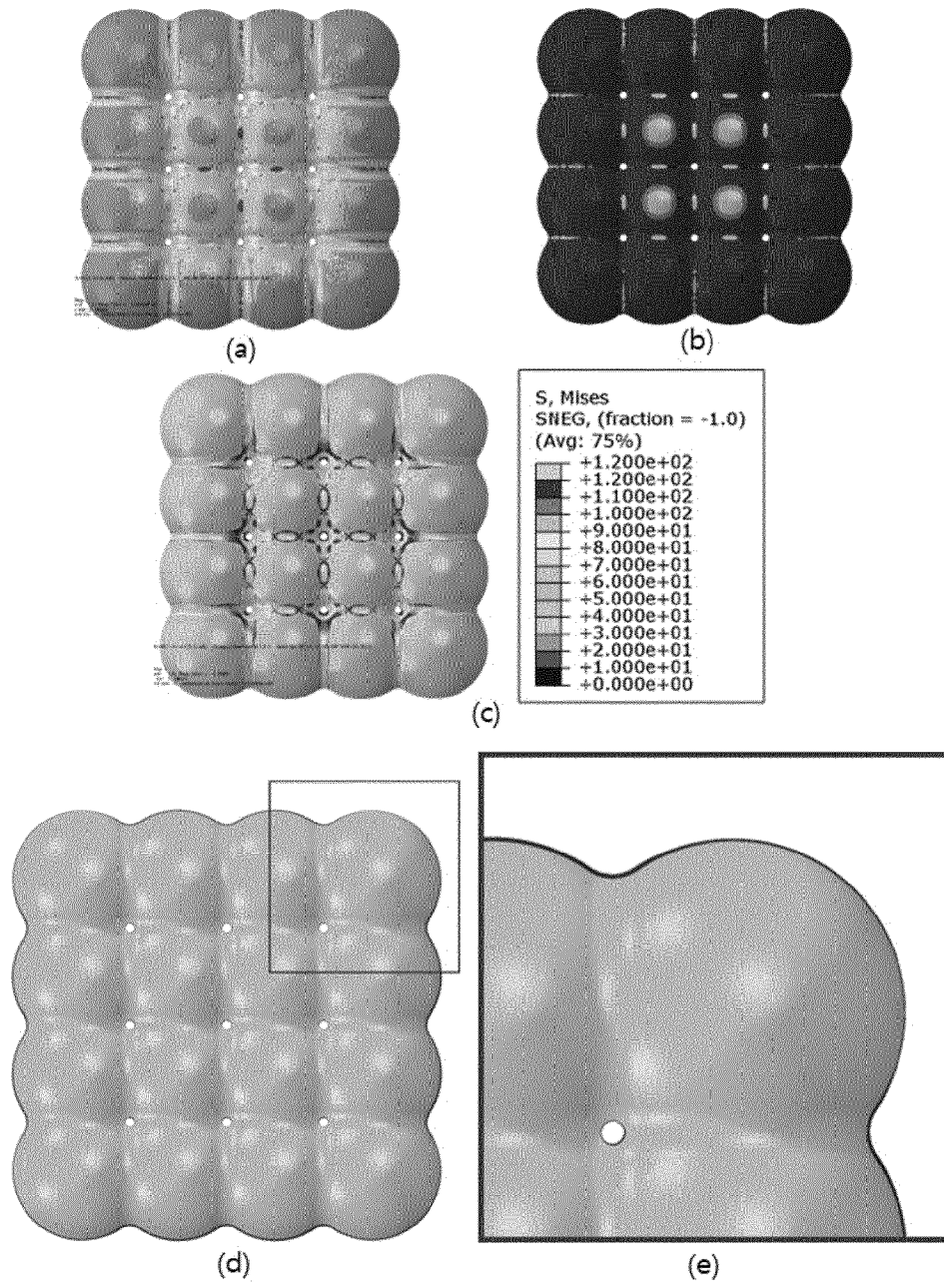
[도6b]



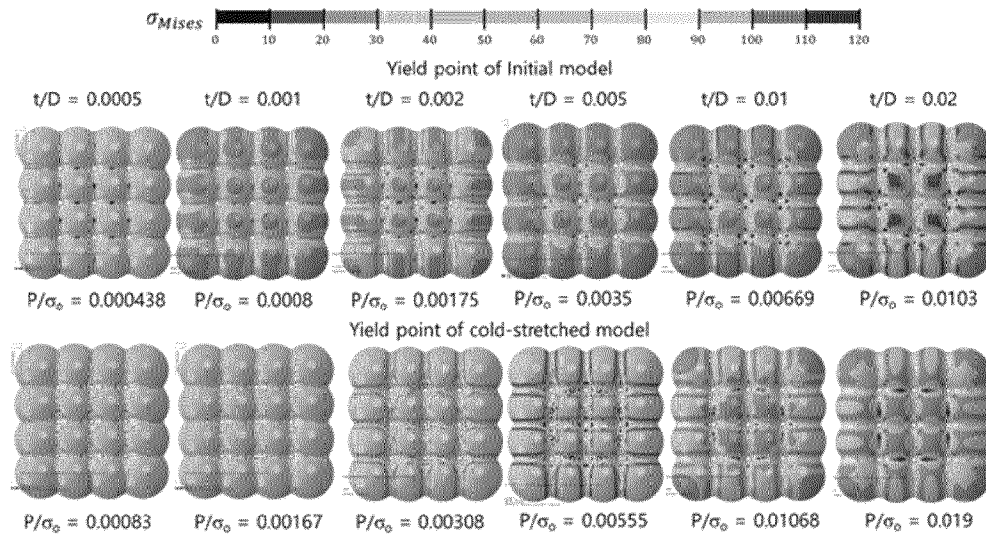
[도6c]



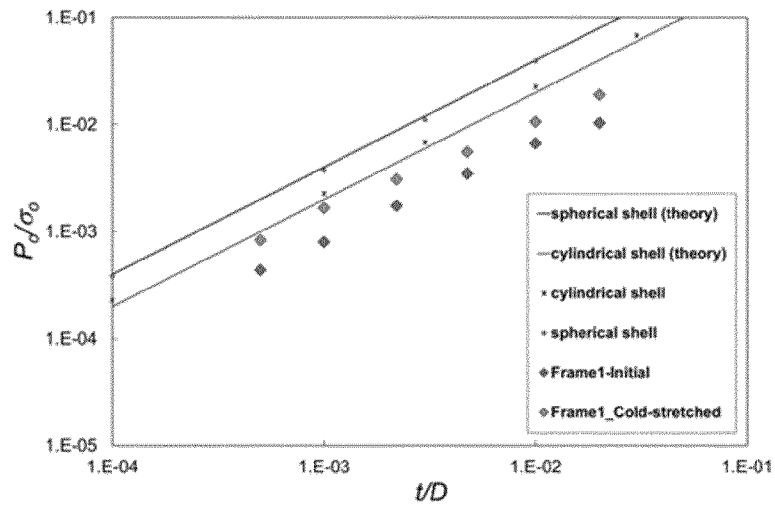
[도7]



[도8]

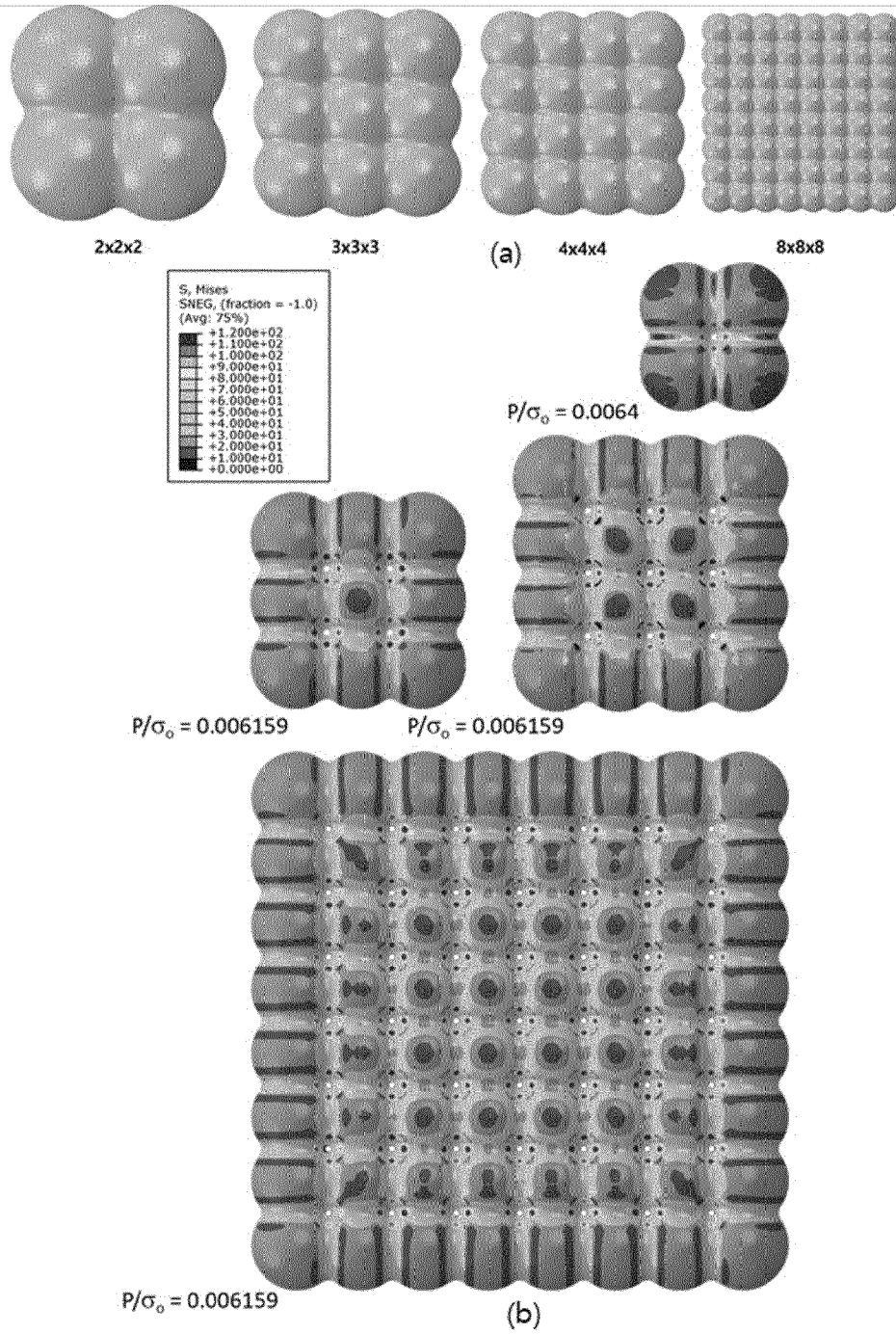


(a)

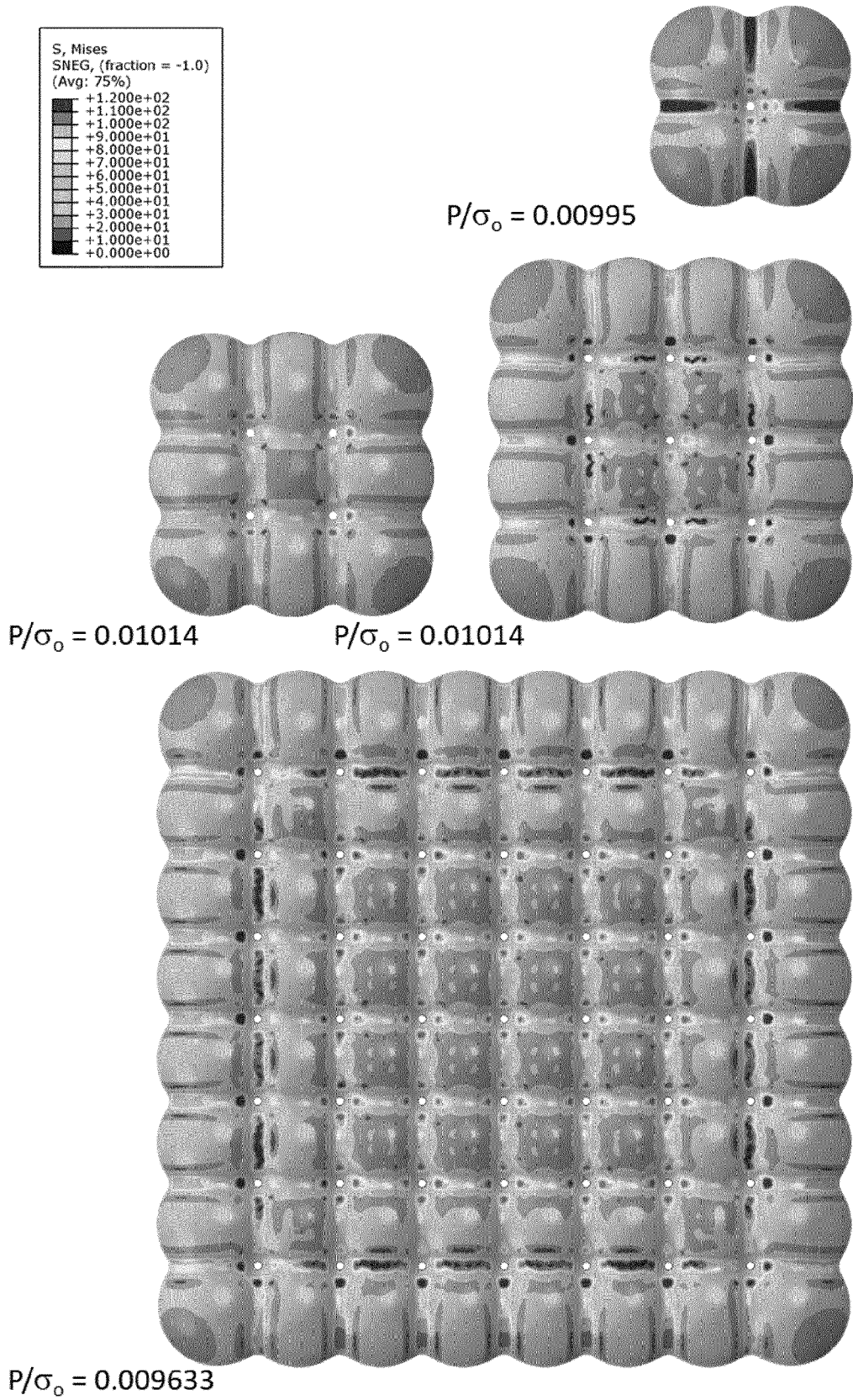


(b)

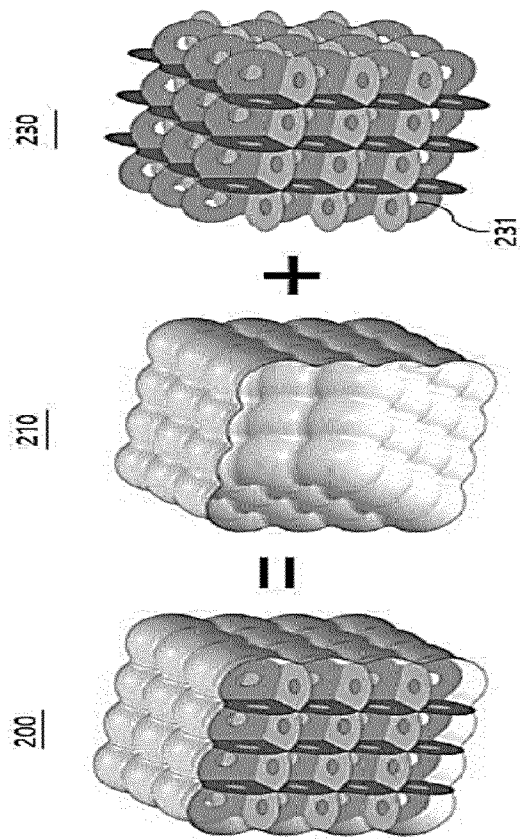
[도9]



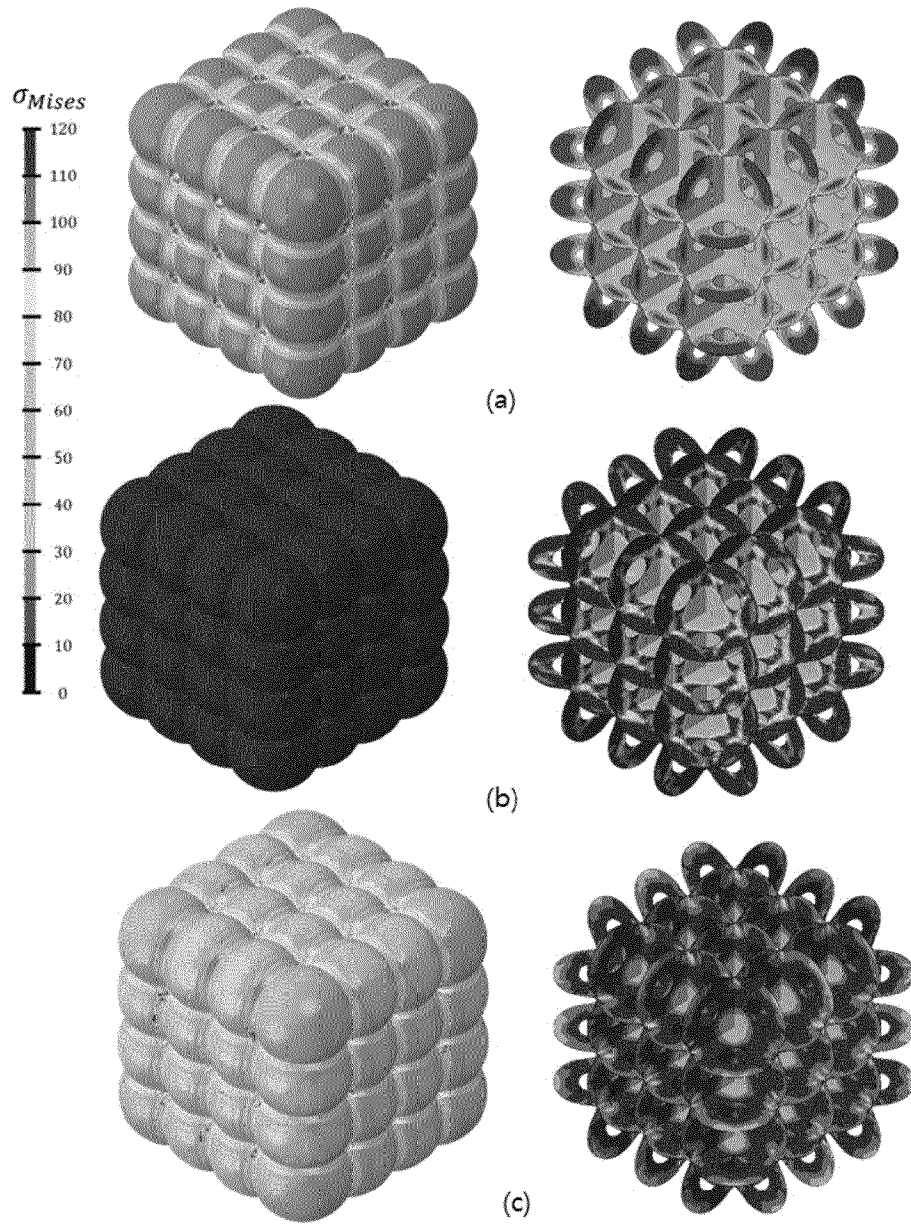
[도10]



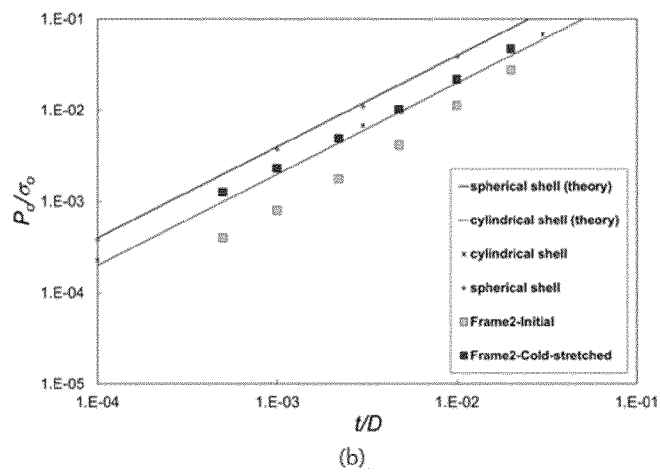
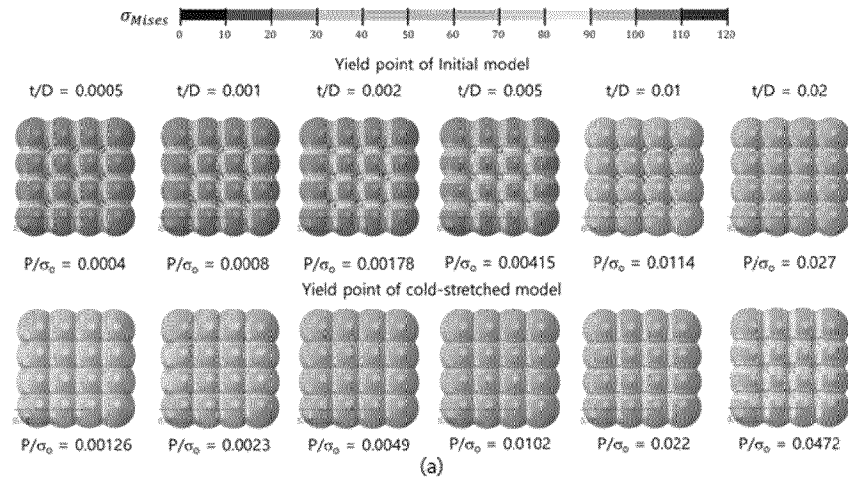
[도11]



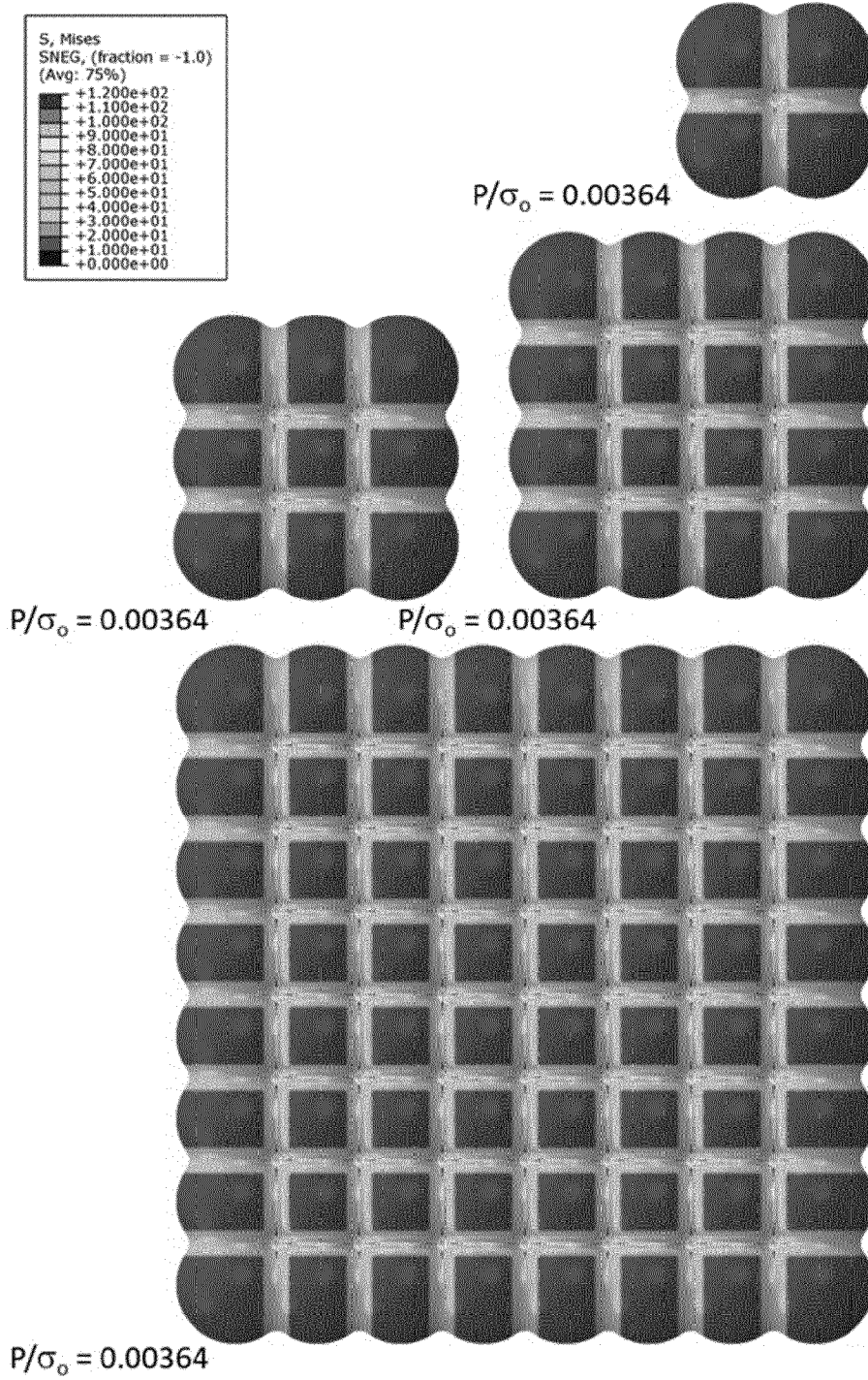
[도 12]



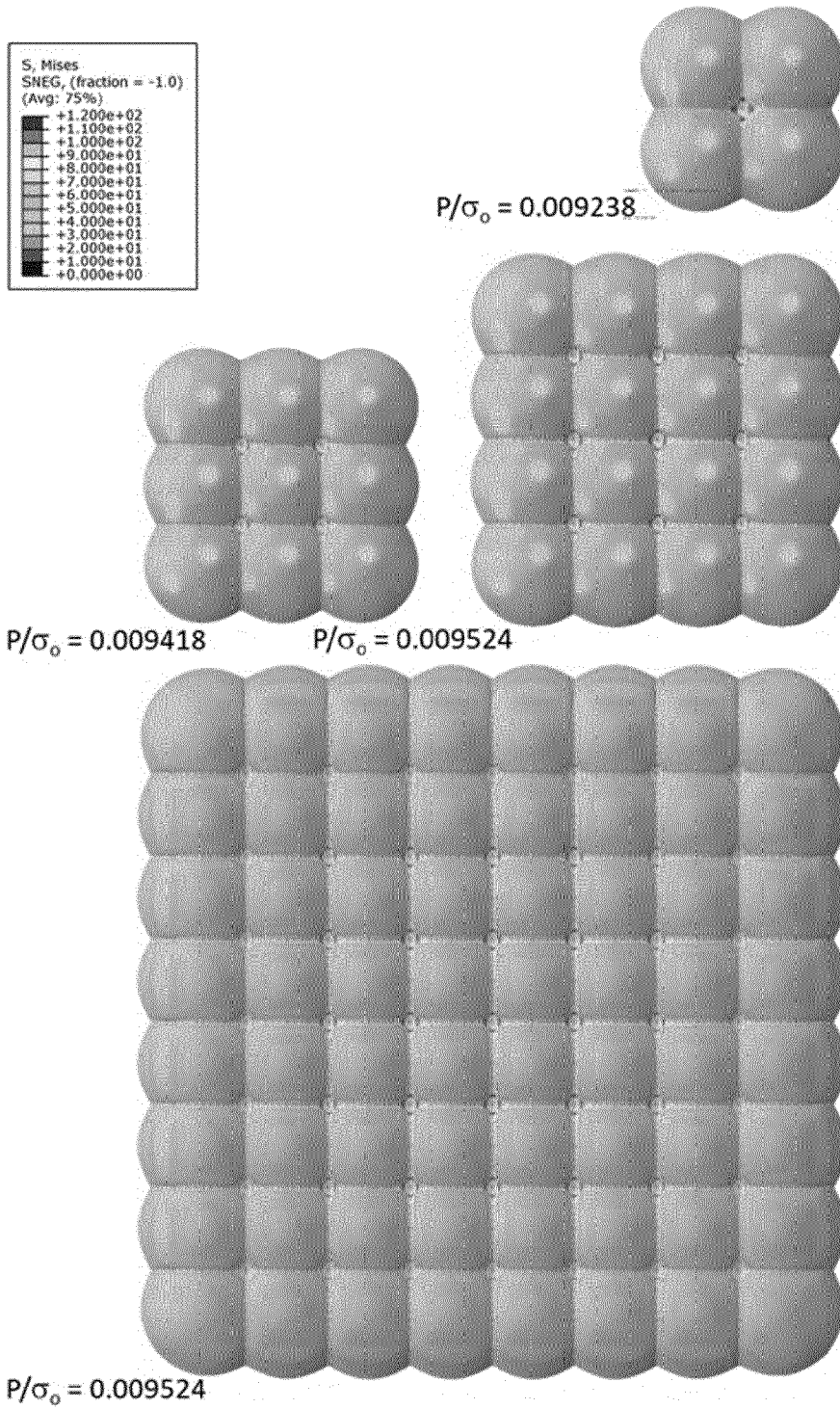
[도 13]



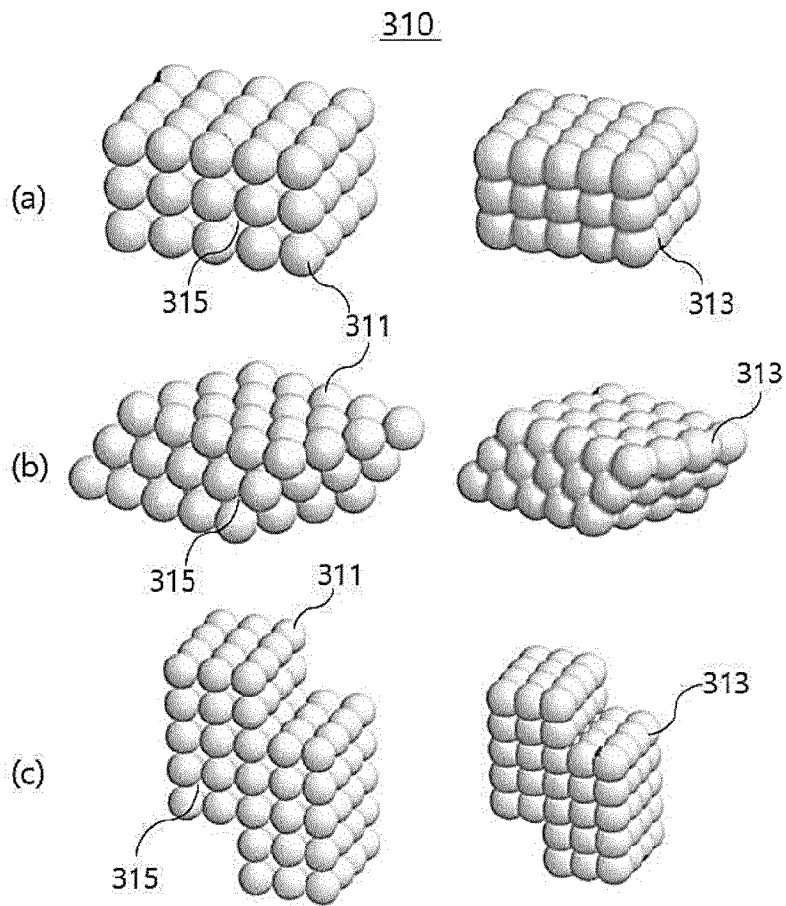
[도14]



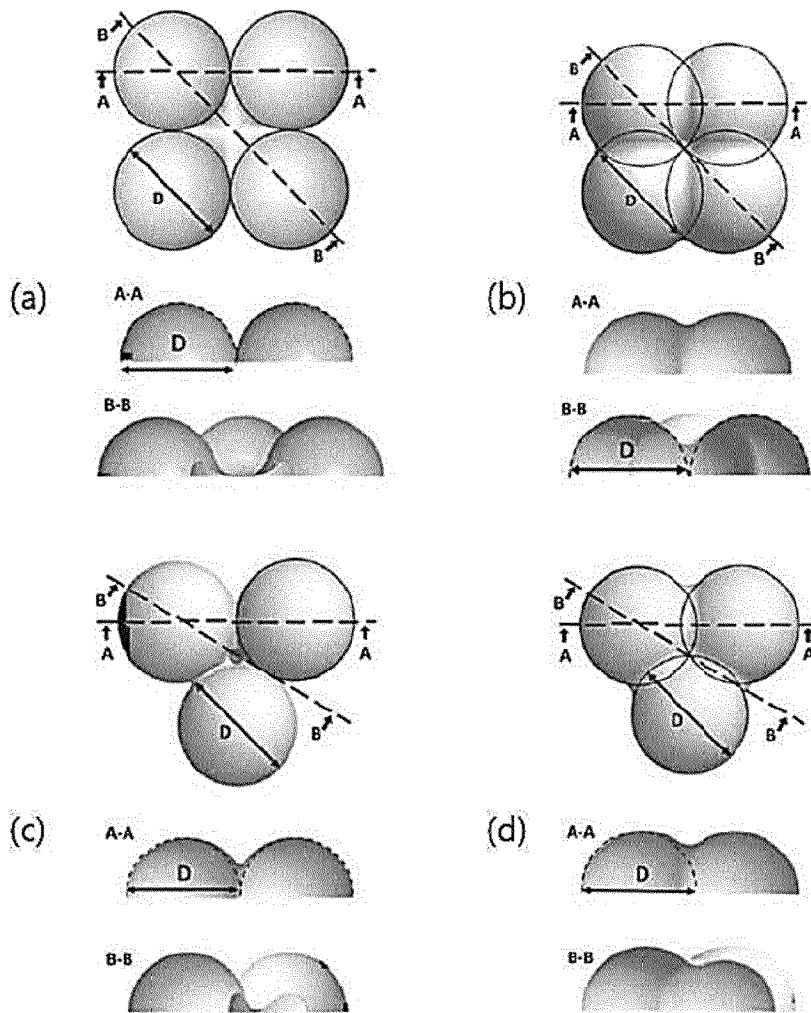
[도15]



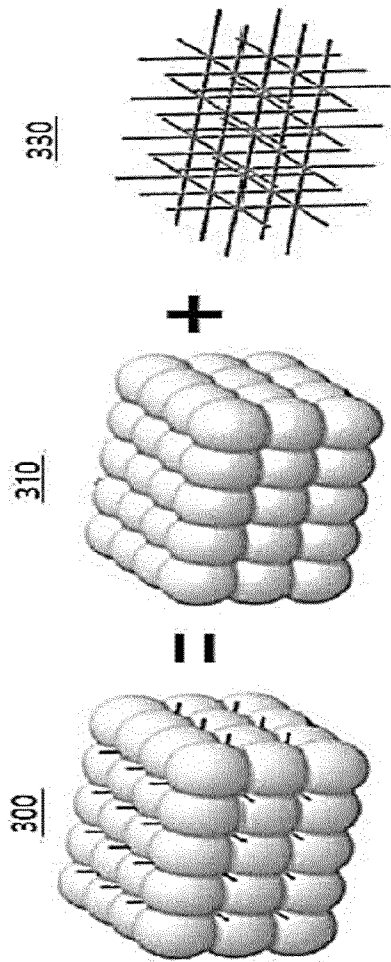
[도16]



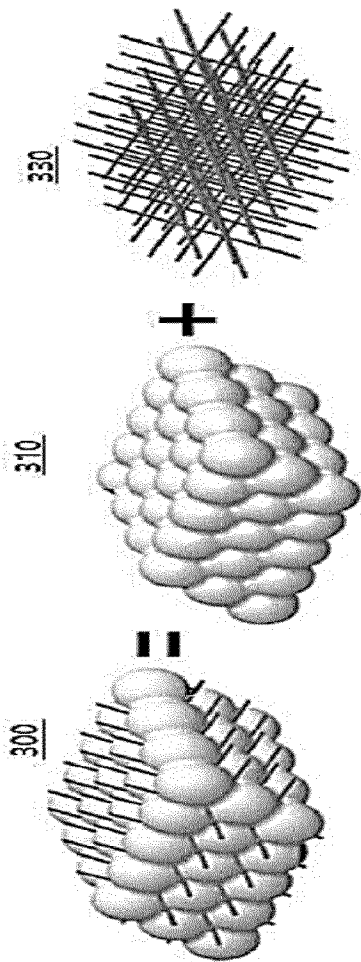
[도17]



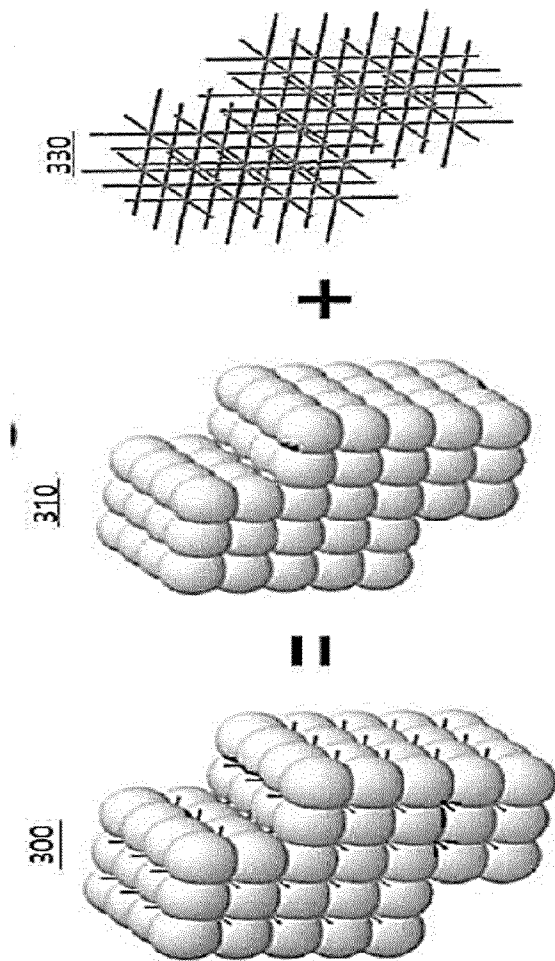
[도 18a]



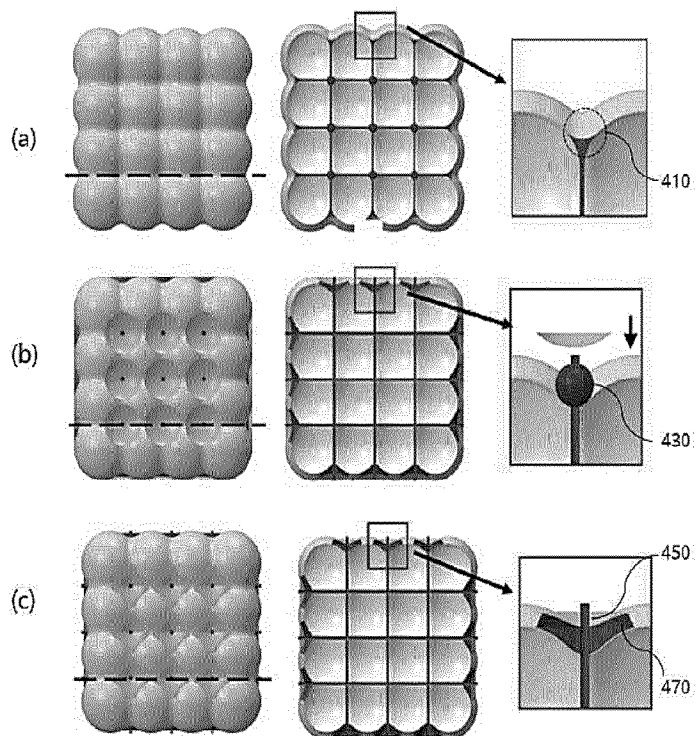
[도18b]



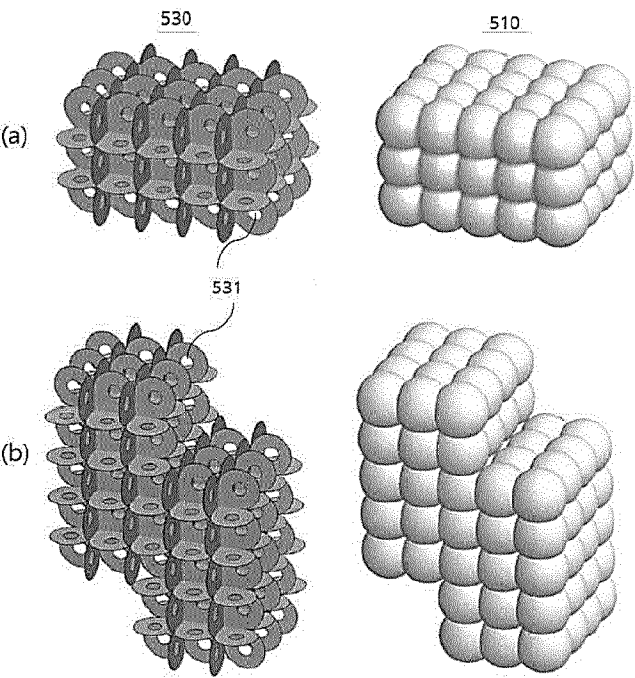
[도18c]



[도19]



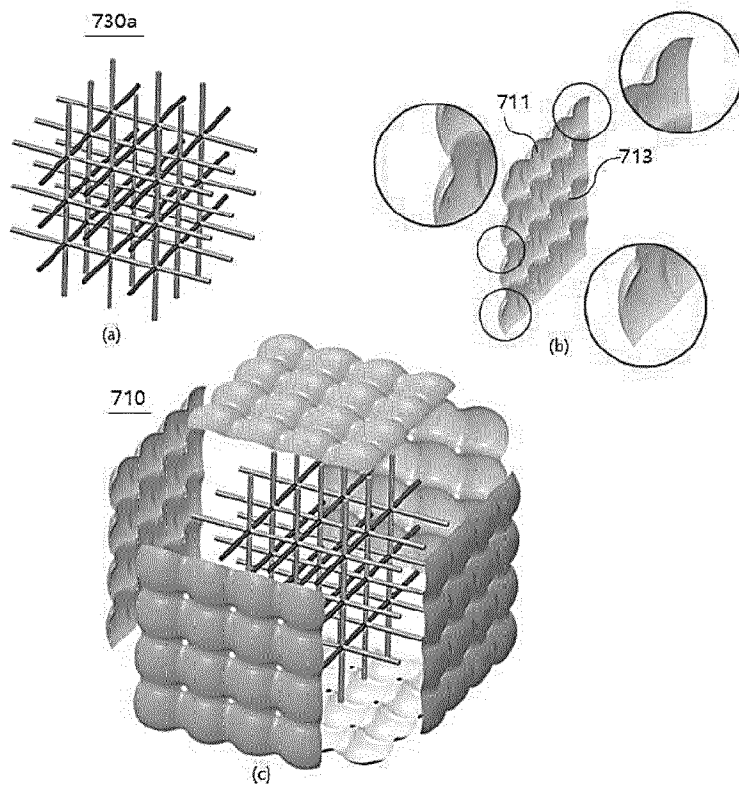
[도20]



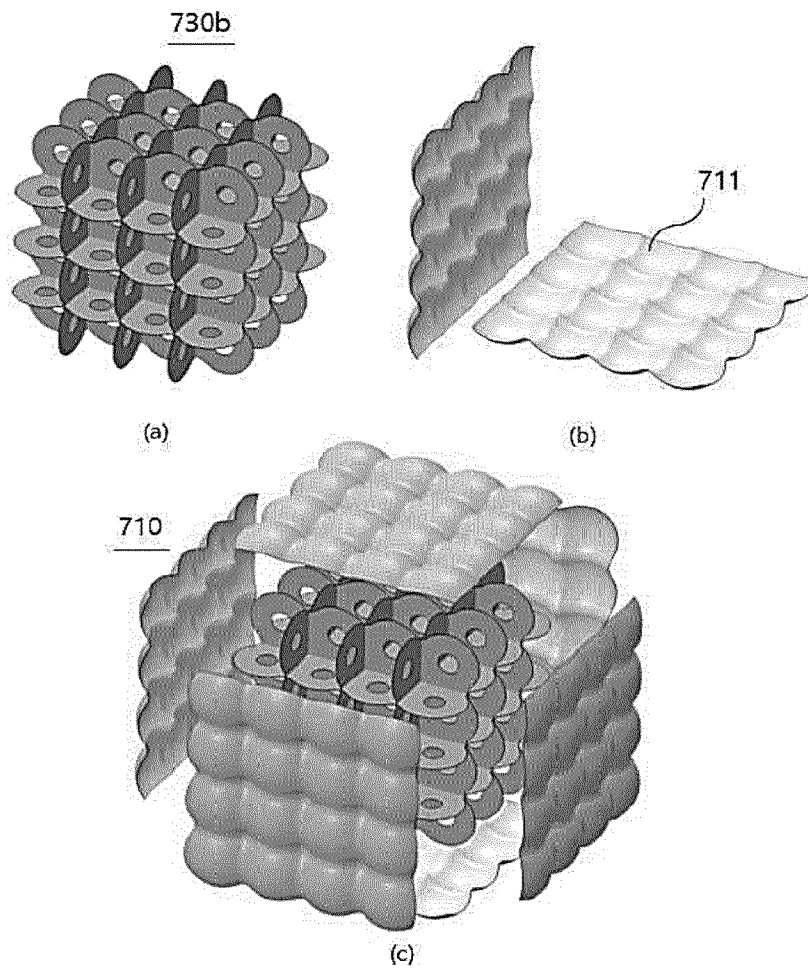
[도21]



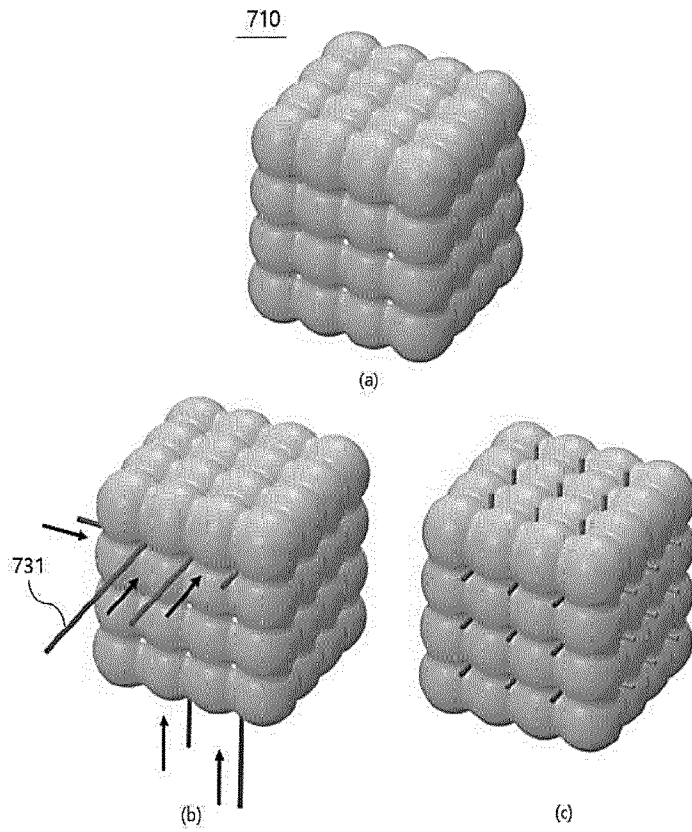
[도22]



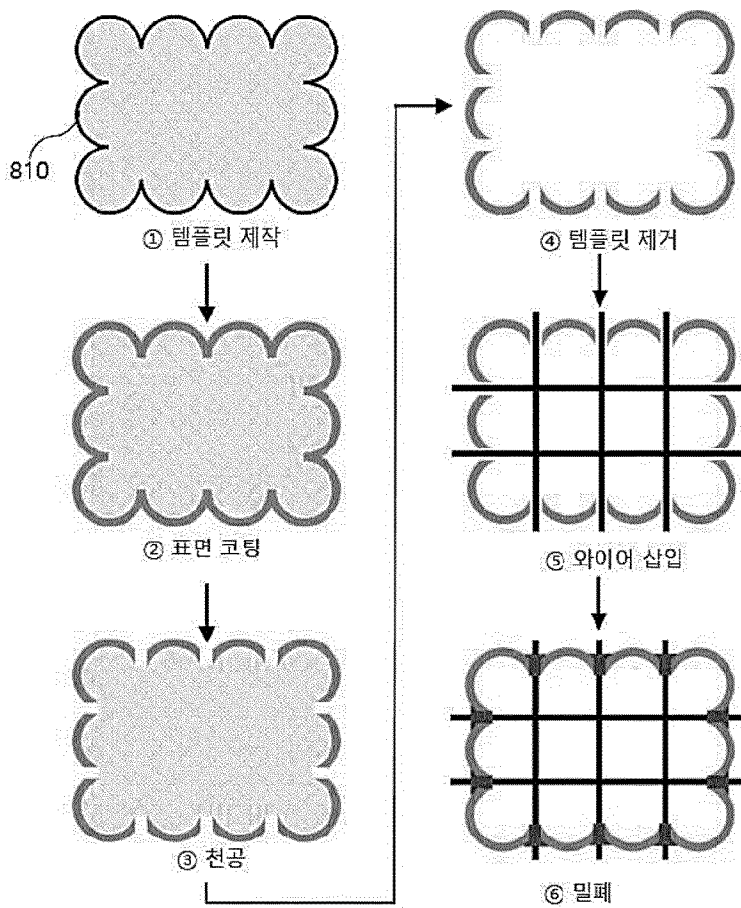
[도23]



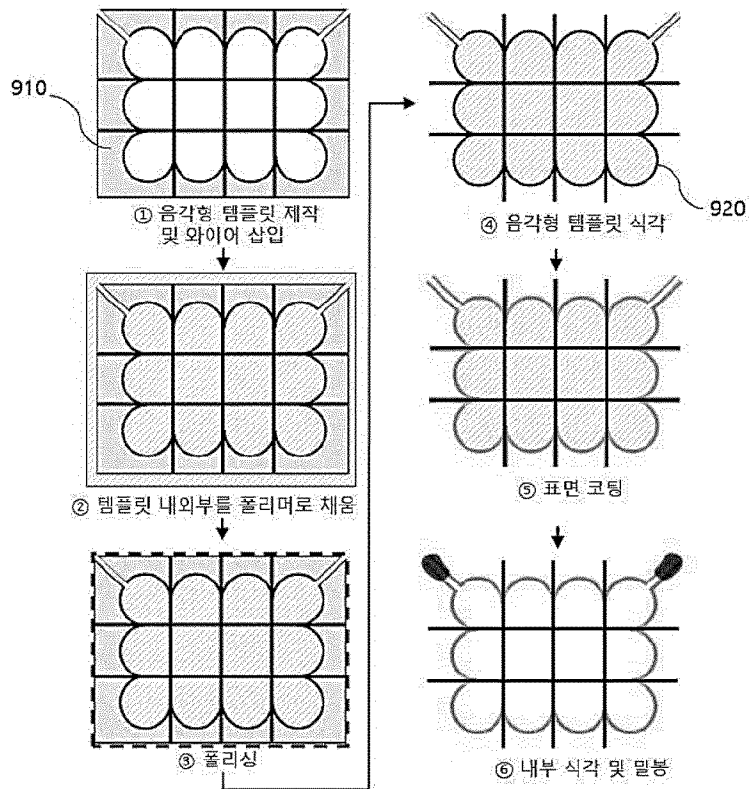
[도24]



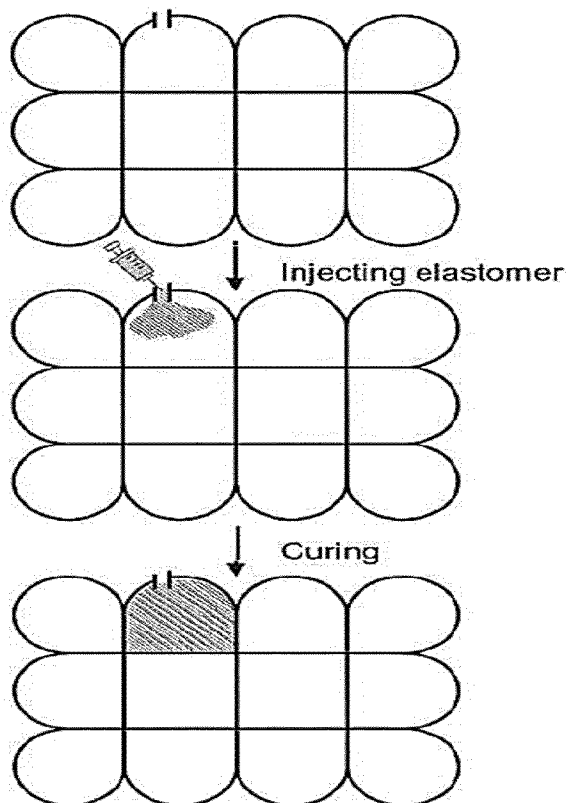
[도25]



[도26]



[도27]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2023/007812

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16J 12/00(2006.01)i; **F17C 1/00**(2006.01)i; **B21D 13/10**(2006.01)i; **B21D 51/06**(2006.01)i; **B21D 51/24**(2006.01)i;
B21F 27/12(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F16J 12/00(2006.01); E03B 11/00(2006.01); F17C 1/00(2006.01); F17C 1/02(2006.01); F17C 1/08(2006.01);
 F28F 3/08(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
 Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 외각 쉘(external shell), 내부 프레임(internal frame), 압력용기 (pressure vessel), 트러스(truss), 요철판(uneven plate), 냉간연신(cold stretching), 템플릿(template), 와이어(wire), 구형 (spherical), 반구형(hemispherical)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 113028052 A (BEIJING GREID TECHNOLOGY CO., LTD.) 25 June 2021 (2021-06-25) See paragraphs [0035]-[0052], claims 1-4 and figures 1-5.	1-4,11-15
A		5-10,16-23
Y	US 2006-0175337 A1 (DEFOSSET, Josh P.) 10 August 2006 (2006-08-10) See paragraph [0088] and figures 13A-13E.	1-4,11-15
Y	US 2017-0030519 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION) 02 February 2017 (2017-02-02) See paragraphs [0052]-[0053] and figures 9A-9D.	4,14-15
A	CN 201746881 U (DONG, Laixi) 16 February 2011 (2011-02-16) See claims 1-3 and figures 1-2.	1-23



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “D” document cited by the applicant in the international application
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 August 2024

Date of mailing of the international search report

30 August 2024

Name and mailing address of the ISA/KR

**Korean Intellectual Property Office
 Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208**

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2023/007812

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-0751895 B1 (INHA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION et al.) 23 August 2007 (2007-08-23) See claims 1 and 6-7 and figures 6 and 17.	1-23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2023/007812

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	113028052	A	25 June 2021	CN	113028052	B	09 May 2023
US	2006-0175337	A1	10 August 2006	US	2006-0191277	A1	31 August 2006
US	2017-0030519	A1	02 February 2017	US	10302252	B2	28 May 2019
				WO	2015-160324	A1	22 October 2015
CN	201746881	U	16 February 2011	None			
KR	10-0751895	B1	23 August 2007	KR	10-2006-0135474	A	29 December 2006
				KR	20-0396699	Y1	26 September 2005

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) F16J 12/00(2006.01)i; F17C 1/00(2006.01)i; B21D 13/10(2006.01)i; B21D 51/06(2006.01)i; B21D 51/24(2006.01)i; B21F 27/12(2006.01)i		
B. 조사된 분야		
조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) F16J 12/00(2006.01); E03B 11/00(2006.01); F17C 1/00(2006.01); F17C 1/02(2006.01); F17C 1/08(2006.01); F28F 3/08(2006.01)		
조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC		
국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 외각 쉘(external shell), 내부 프레임(internal frame), 압력용기(pressure vessel), 트러스(truss), 요철판(uneven plate), 냉간연신(cold stretching), 템플릿(template), 와이어(wire), 구형(spherical), 반구형(hemispherical)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y A	CN 113028052 A (BEIJING GREID TECHNOLOGY CO., LTD.) 2021.06.25 단락 [0035]-[0052], 청구항 1-4 및 도면 1-5	1-4,11-15 5-10,16-23
Y	US 2006-0175337 A1 (DEFOSSET, JOSH P.) 2006.08.10 단락 [0088] 및 도면 13A-13E	1-4,11-15
Y	US 2017-0030519 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION) 2017.02.02 단락 [0052]-[0053] 및 도면 9A-9D	4,14-15
A	CN 201746881 U (DONG, LAIXI) 2011.02.16 청구항 1-3 및 도면 1-2	1-23
A	KR 10-0751895 B1 (인하대학교 산학협력단 등) 2007.08.23 청구항 1, 6-7 및 도면 6, 17	1-23
☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2024년08월29일(29.08.2024)		국제조사보고서 발송일 2024년08월30일(30.08.2024)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 박태욱 전화번호 +82-42-481-3405

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
CN 113028052 A	2021/06/25	CN 113028052 B	2023/05/09
US 2006-0175337 A1	2006/08/10	US 2006-0191277 A1	2006/08/31
US 2017-0030519 A1	2017/02/02	US 10302252 B2	2019/05/28
		WO 2015-160324 A1	2015/10/22
CN 201746881 U	2011/02/16	없음	
KR 10-0751895 B1	2007/08/23	KR 10-2006-0135474 A	2006/12/29
		KR 20-0396699 Y1	2005/09/26