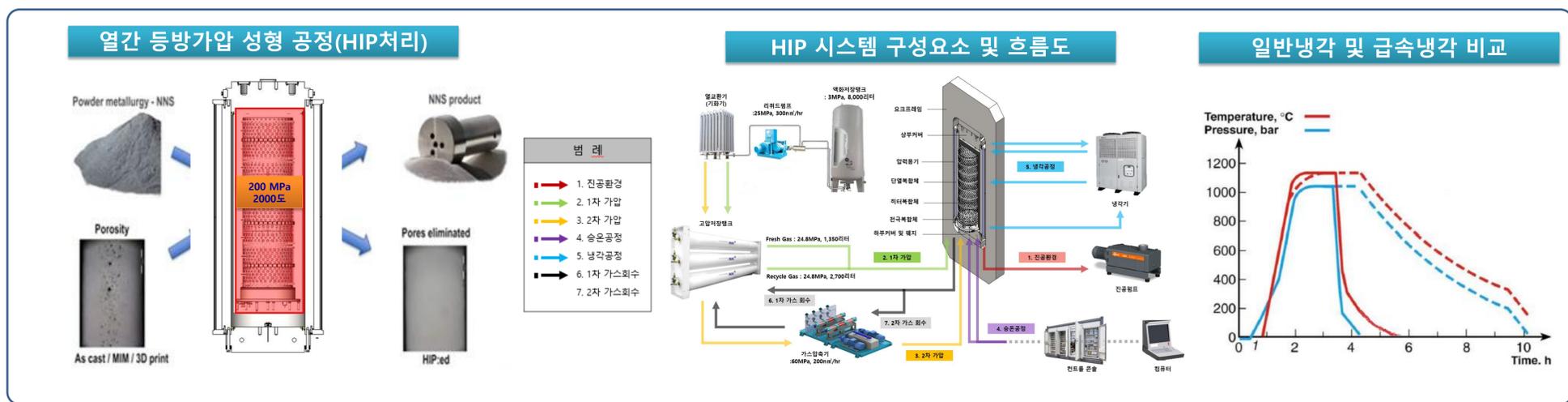


# 급속냉각시스템이 적용된 열간 등방가압성형장비 설계 기법

박종범  
(주) 일신오토클레이브  
(jbpark@suflex.com)

## 1. Introduction

- 열간 등방가압성형(Hot Isostatic Pressing, 이하 HIP) 공정은 기체를 전달 매체로 이용하여 금속이나 세라믹 분말 소재의 용융점 이하의 온도에서 100 MPa 이상의 압력을 동시에 가하여 고밀도 소결 성형 및 이종 금속의 확산 접합을 할 수 있는 공법이다. 일반적으로 금속은 주조나 단조방식으로 제조되는데, HIP 공정을 거치면 조직이 고밀도·고치밀화가 되기 때문에 내부 기공이 없어서 기계적 물성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 열 피로 안정성과 내마모성이 증가하여 피로수명을 획기적으로 늘릴 수 있다. 이러한 이유로 안전이 중요한 항공과 우주·방위 산업분야를 비롯해 에너지, 자동차, 반도체, 의료 등 분야에 주로 쓰이며 특히 소형모듈원자로(SMR) 상용화에 필수 공정으로 꼽히며 향후 원자력과 금속 3D프린팅 분야에도 적용되어 수요가 높을 것으로 예상된다. 하지만 등방가압성형 공정은 고온고압조건에서 운전되는 HIP 냉각공정이 6시간에서 8시간 정도로 너무 길어 하루에 1 사이클 밖에 운용할 수 없을 정도로 생산성이 너무 낮아 관련 사업으로 확대보급이 어려움이 있었다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 본 연구를 통해 이중 실린더 형태의 반응용기 내부 또는 외주면에 냉각 유로를 설치하여 급속냉각이 가능한 설계기법을 제안하고자 한다

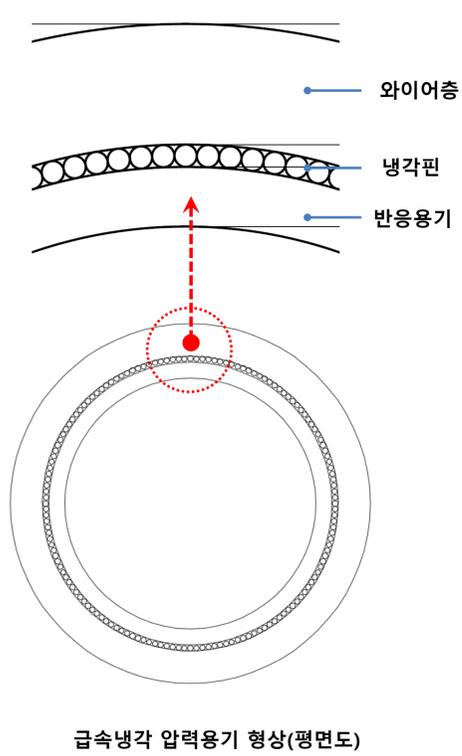


## 2. Theoretical Modeling(ASME SEC VIII, DIV3 ) & Structural analysis

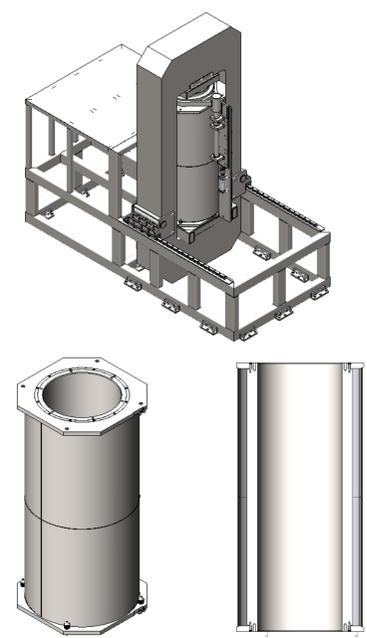
### ASME CODE-설계기준코드

- ❖ 설계압력 : 228MPa(운전압력 : 200MPa)
- ❖ 설계온도 : 160도(운전온도 : 150도)
- ❖ 재질 : SA-723 GR.1 C.L 4
- ❖ 내경 : 440 mm, 외경 : 632mm
- ❖ 용기실린더두께 : 28mm, 냉각핀 : 10mm
- ❖ 와이어와인딩 두께 : 58mm

### 급속냉각 압력용기 형상 및 구조



### 3D모델링 및 구조해석



$$\sigma_r(x_1) = - \left[ 1 - \left( \frac{D_i}{x_1} \right)^2 \right] \int_{D_o}^{D_w} \frac{D_w}{D_o^2 - D_i^2} S_w(x) dx \quad \sigma_t(x_1) = - \left[ 1 + \left( \frac{D_i}{x_1} \right)^2 \right] \int_{D_o}^{D_w} \frac{D_w}{D_o^2 - D_i^2} S_w(x) dx$$

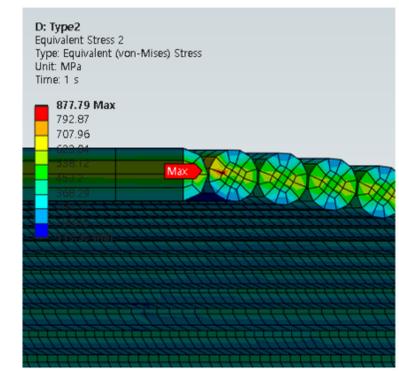
설계코드(KD910)

3. Stress Intensity Calculation under Design Condition						
Diameter, D	otr (Mpa)	ort (Mpa)	ort (Mpa)	ort1 (Mpa)	ort1 (Mpa)	Deflection
440	0	0	662.2429907	-228	-586.3665739	0
468	0	0	610.5739092	-176.3309185	-552.3342674	-34.03230645
496	0	0	567.4057106	-133.1627199	-523.9011441	-62.46542976
496	0	0	567.4057106	-133.1627199	-523.9011441	-62.46542976
Outer 506.45	0	0	553.0994402	-118.8564496	-514.4781902	-71.88838372
516.9	0	0	539.6520444	-105.4090537	-505.8209416	-80.74563227
516.9	0	0	539.6520444	-105.4090537	-505.8209416	-80.74563227
Wire 573.45	0	0	479.1767099	-44.83371927	390.1794817	-48.36208118
630	0	0	434.2429907	0	577	0
Diameter, D	otr (Mpa)	ort (Mpa)	equivalent stress (Mpa)	Limits (Mpa)	Result	Deflection
440	75.87641676	-228	273.9362219	1026.0	okt	-1.350792107
Inner 468	58.23964175	-210.363225	244.7366363	1026.0	okt	4.4 (Allowable def.)
496	43.50456643	-195.6281497	220.6212548	1026.0	okt	
496	43.50456643	-195.6281497	220.6212548	770.6	okt	
Outer 506.45	38.62125007	-190.7448333	212.7016603	770.6	okt	
516.9	34.03110276	-186.154686	205.2966934	770.6	okt	
516.9	611.0311028	-186.154686	722.3287885	1020.0	okt	
Wire 573.45	869.3561916	-93.29580045	919.5605342	1020.0	okt	
630	1011.242991	0	1011.242991	1020.0	okt	

강도산출결과표

급속냉각 압력용기 형상(평면도)

열간등방가압성형장치 형상



냉각핀부의 응력분포(Von-Mises)

## 3. Conclusion

- ❖ 강도이론설계를 위해 ASME SEC. VIII DIV.3 KD-910 에서 제시된 코드를 활용한 결과 200 MPa, 2,000도 사양의 열간 등방가압성형의 압력용기는 실린더두께 28mm, 냉각핀 10mm, 와이어와인딩두께 58mm 벽 두께가 각각 산출되었다.
- ❖ 구조해석의 탄소성 해석 결과 응력이 집중되는 곳은 열간 등방가압장치의 내부냉각핀 원주부분에 878MPa 응력이 집중되었으며, 안전율 1.8배 및 소재가 갖고 있는 항복 응력값(1,105MPa)을 고려하여 강도설계값은 적정하다고 판단된다.

✓ 본 연구는 2022년도 중소기업 '기술혁신개발사업(강소기업100)' 의 과제성과물로 제출되었습니다.