

반도체 챔버부품의 니어넷 코어·SiC 기능층·HIP 제조 플랫폼

조진현 쿨스 대표 jhcho@cools.co.kr

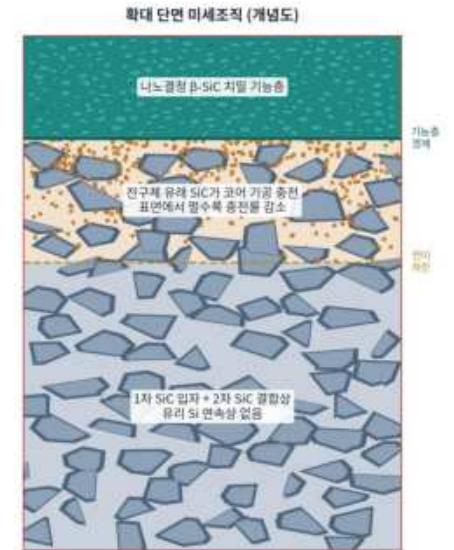
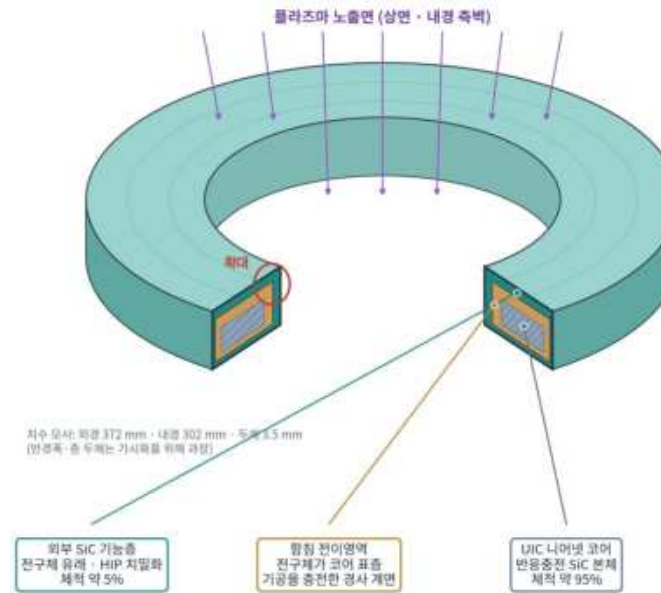
SUMMARY

최고급 포커스링·에지링은 대향면의 내식각·저오염 성능과 부품 전체의 치수·강성·원가를 함께 요구한다. 기존 SiC 제조 경로는 두께에 비례하는 원가, 이중 계면, 유리 Si 같은 구조적 한계를 안고 있다. 반응충전 코어와 얇은 전구체 유래 SiC 기능층으로 역할을 나누고 전면 봉공 후 HIP로 마감하는 제조 플랫폼을 다룬다.

(주)쿨스 기술 발표

UIC 니어넷 코어 + 전구체 유래 SiC 기능층·HIP 최고급 반도체 공정부품 제조 플랫폼

UIC 약 95% + 고기능 마감 약 5%
최고급 포커스링·에지링 제조 경로



핵심 요약 — 플랫폼의 네 가지 결론

대향면에는 최고급 내식각·저오염 성능 집중, 코어에는 열·전기·기계적 성능 설계

① 역할 분담

코어 약 95% · 기능층 약 5%

② 계면 신뢰성

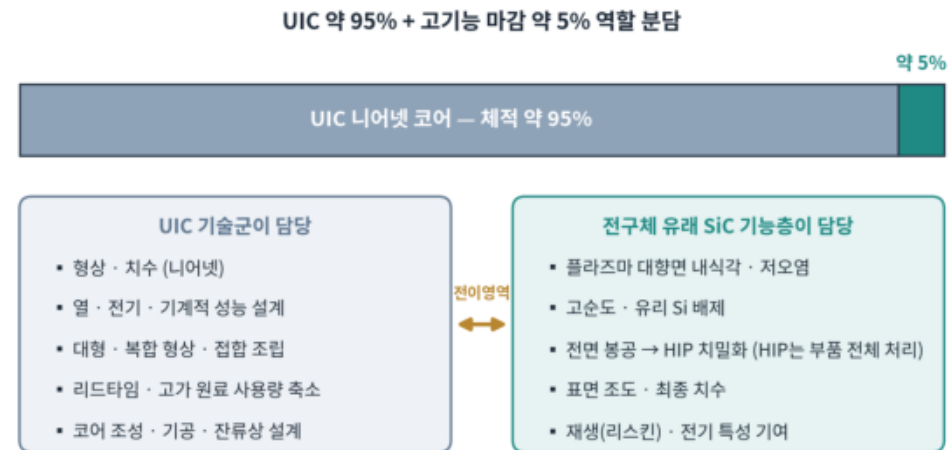
SiC계 적합성 + 함침 전이구조

③ HIP 성립

전면 봉공 → 무캡슐 HIP 우선

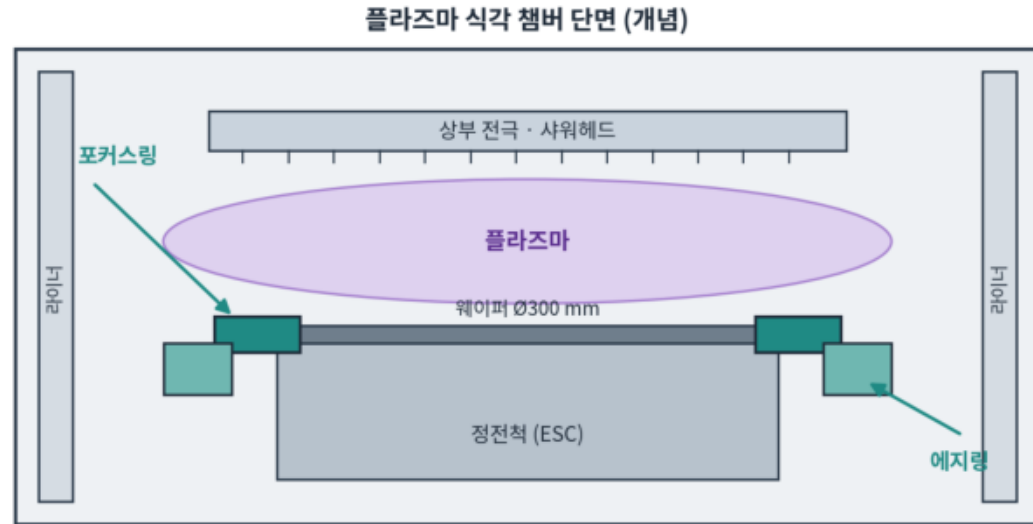
④ 경제 구조

고가 전구체·기능층 형성을 제한 체적에 집중



최고급 포커스링·에지링의 요구조건

대향면 조건과 부품 전체 조건의 분리



웨이퍼 가장자리의 시스(sheath) 연속성을 유지하는 소모성 부품 — 식각 진행에 따라 높이·형상이 변하며 교체 주기가 생산성을 결정

최고급 포커스링·에지링의 요구조건과 담당 영역



대향면

저식각률 · 저오염 · 개기공 부재

부품 전체

치수 · 강성 · 열전도 · 원가

기존 SiC 부품 제조 경로의 구조적 한계

공정 숙련도가 아니라 구조에서 발생하는 한계

기존 SiC 부품 제조 경로의 단면 구조



Bulk CVD

두께 $\propto$ 시간·원가

CVD 코팅

이종 계면

소결 + HIP

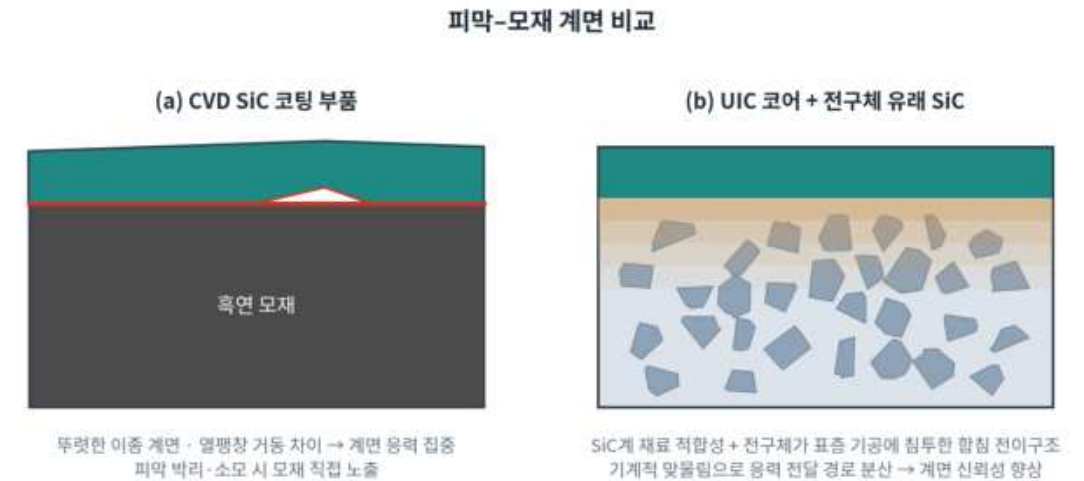
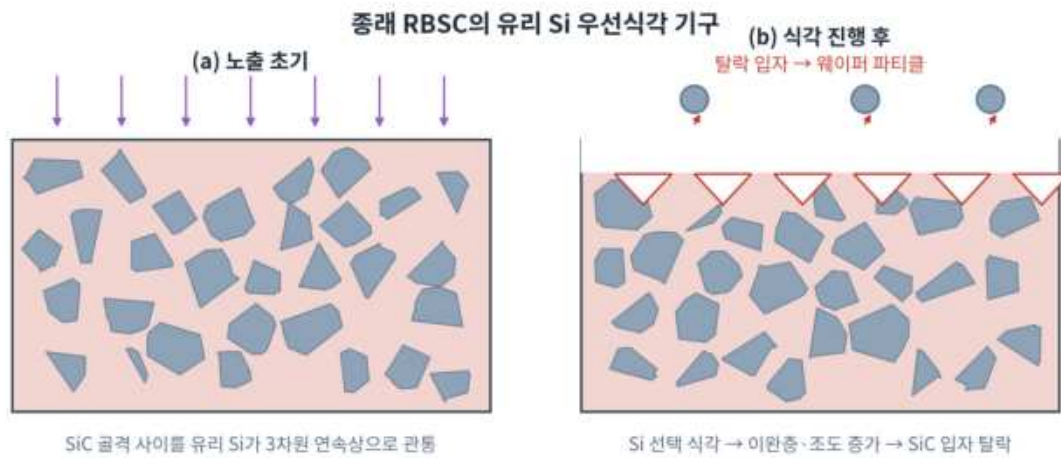
전 체적 수축·가공

종래 RBSC

유리 Si 연속상

유리 Si 우선식각과 이중 피막 계면

종래 RBSC 대향부 적용의 주요 장애요인 · 코팅 부품의 계면 한계



종래 RBSC

유리 Si = 대향부 적용의 주요 장애요인

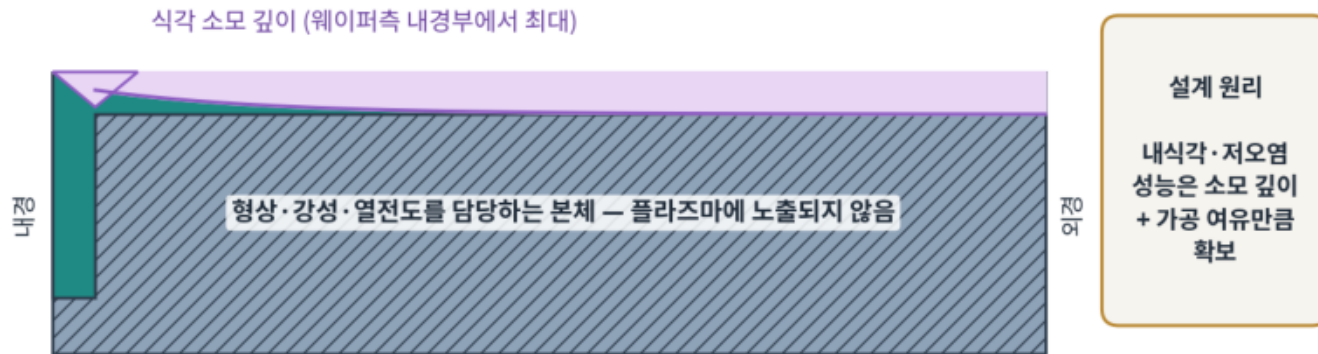
CVD 코팅 부품

모재 → SiC계 코어, 계면 → 함침 전이

설계 원칙 — 대향면 성능과 코어 성능의 분리

소모는 웨이퍼측 내경부와 상면에 집중

포커스링 단면의 소모 영역과 본체 영역



플라즈마 대향면에는 최고급 내식각·저오염 성능을 집중하고, 코어에는 요구되는 열·전기·기계적 성능을 설계

대향면
최고급 내식각·저오염 성능 집중

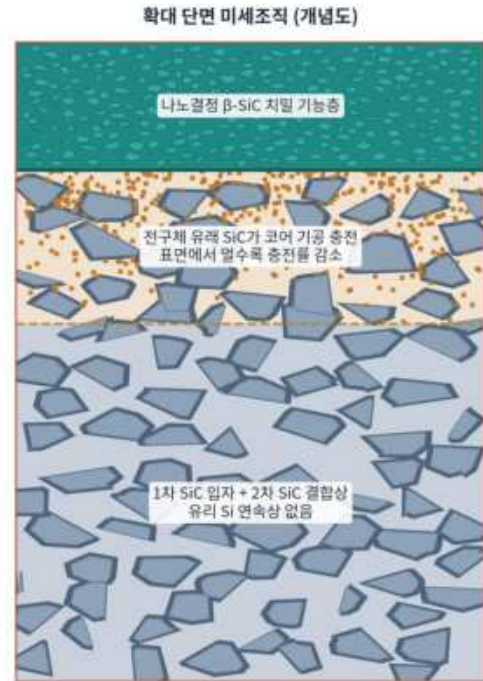
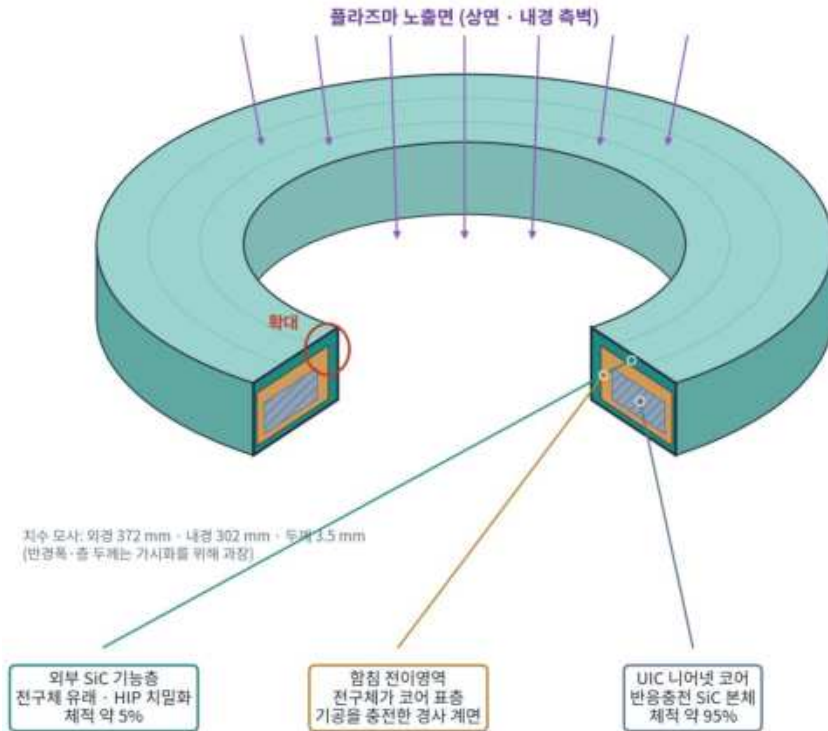
코어
열·전기·기계적 성능 설계

기능층 두께 설계식

$$t_f \geq t_{\text{소모}} + t_{\text{마감}} + t_{\text{여유}}$$

플랫폼 구성 — 세 층위의 역할

UIC 니어넷 코어 · 함침 전이영역 · 외부 SiC 기능층



코어 · 약 95%

형상 · 성능 · 원가

함침 전이영역

기계적 맞물림

기능층 · 약 5%

대향면 성능

UIC 기술군 — 코어 제조 특허 10건

공통 기반: 실리콘 입자와 탄소 전구체의 기공 내 배치

UIC 기술군 — 코어 제조 특허 10건의 구성



A군: 플라즈마 대향 부품급 치밀 SiC 코어 | B군: 외부 접합재 없는 대형 · 복합 코어 조립 — 두 군 모두 '실리콘 입자 + 탄소 전구체의 기공 내 배치'라는 공통 기반

A군

저유리실리콘 치밀 코어
→ 경로 A (우선)

B군

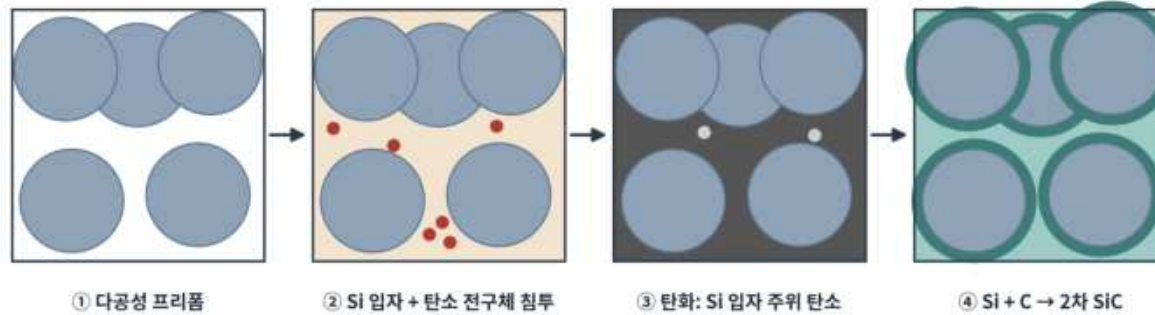
접합매개상 내장 코어
→ 경로 B (조립형)

A군 코어 설계 ① 반응충전과 저점도 동시 침투

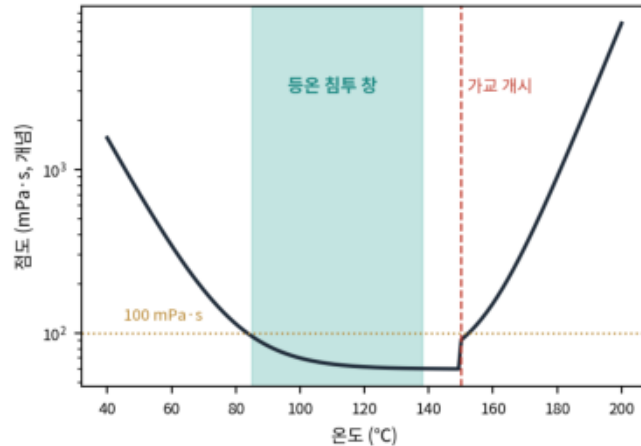
A1 · A3

기공 내 반응충전 — 충전상 자체가 SiC

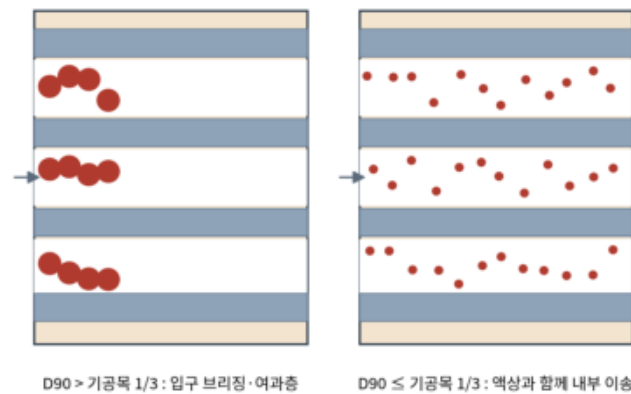
용융 Si를 외부에서 흘려 잔부 기공을 채우는 대신, 기공 안에 미리 배치한 Si와 C를 반응시켜 SiC로 기공을 줄인다



(a) 점도 최소 구간·가교 개시온도 이하 등온유지



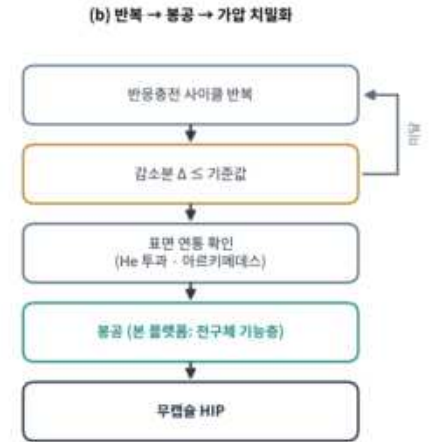
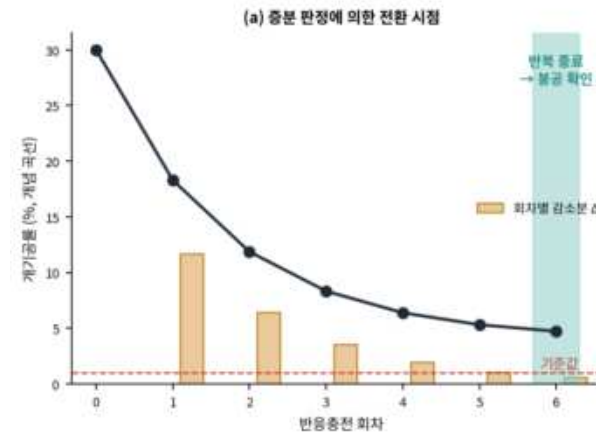
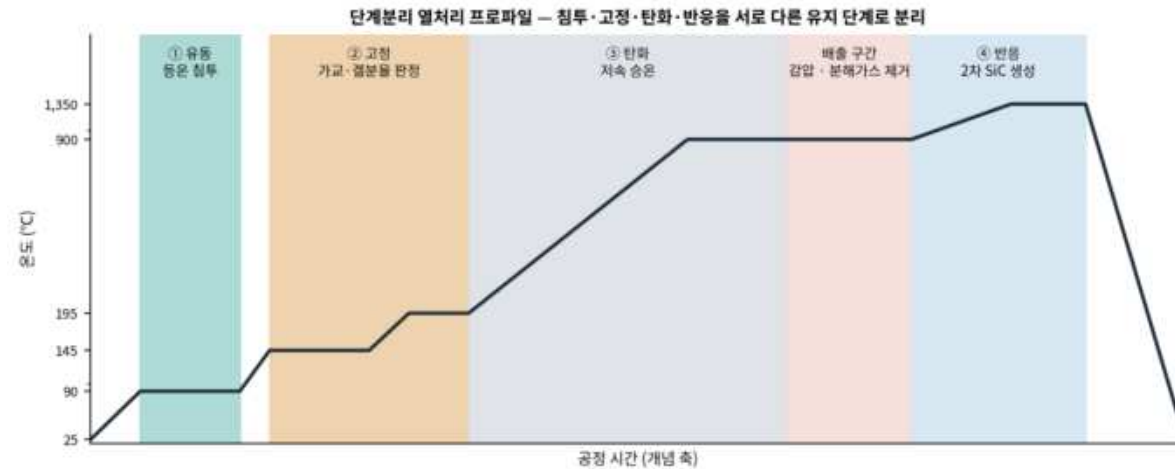
(b) 입도-기공률 정합



- 충전상 자체가 SiC
- 등온 저점도 침투
- $D_{90} \leq \text{기공목 } 1/3$

A군 코어 설계 ② 단계분리 열처리와 반복 전환

A5 · A4



A5

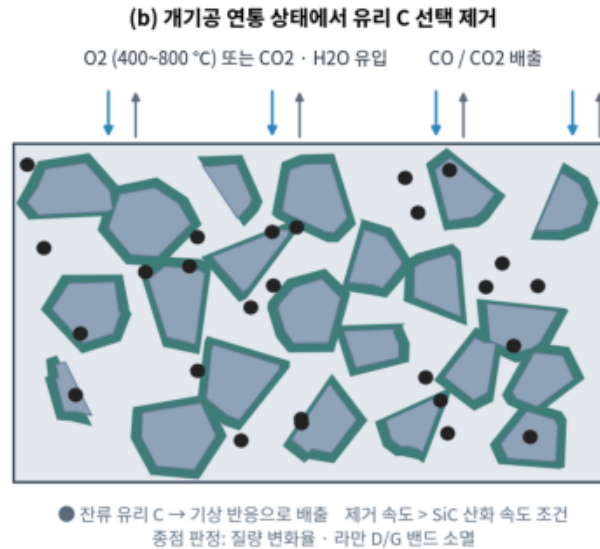
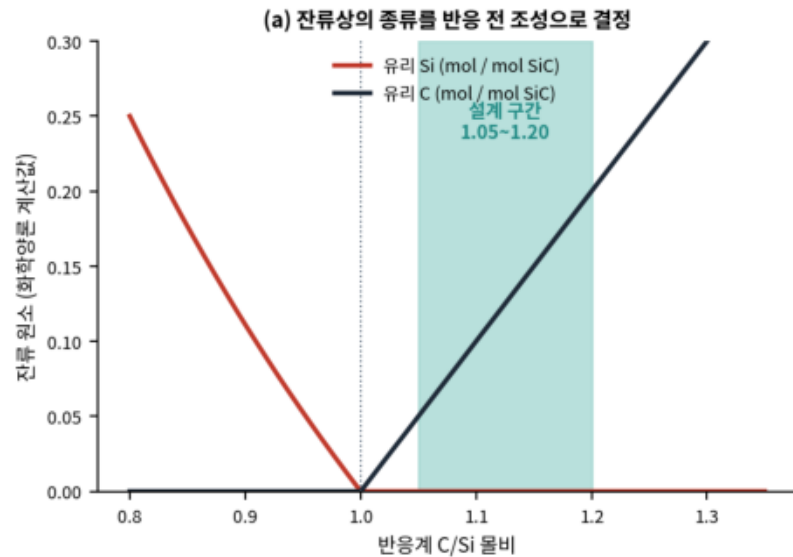
유동 · 고정 · 탄화 · 반응 분리

A4

감소분 판정 → 불공 → 가압

A군 코어 설계 ③ 탄소 과잉 설계와 유리 탄소 선택 제거

A2 — 잔류상의 종류를 반응 전 조성으로 결정



1.05~1.20

C/Si 몰비 설계 구간

400~800 °C

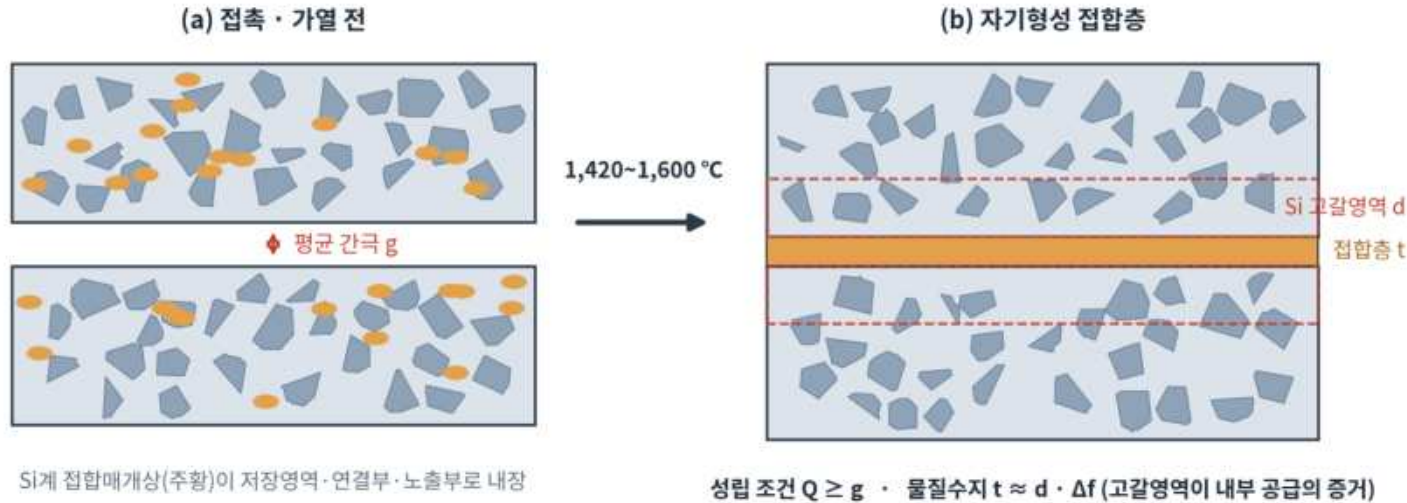
O₂ 선택 제거

- 내부 잔류 Si의 전면 제거는 어려움 → 잔류상을 유리 C로 유도
- 유리 C 제거는 개기공 연통 상태에서, 기능층 형성 이전

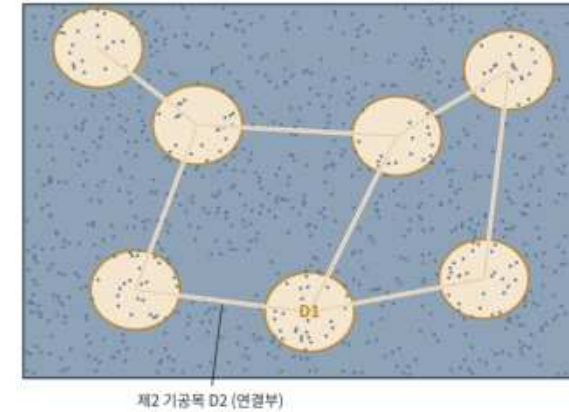
B군 코어 설계 — 접합매개상 내장과 자기형성 접합

B1 ~ B5 : 외부 접합재 없는 대형·복합 코어 조립

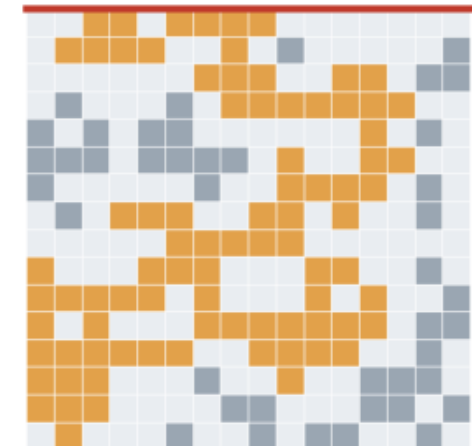
접합매개상 내장 부재와 외부 접합재 없는 자기형성 접합



(a) 이중모드 기공 프리폼 — 저장영역과 연결부의 분리



접합면



성립 조건

$$Q \geq g \cdot \varphi \geq 0.5 \cdot D1/D2 \geq 3$$

코어 설계 자유도 — 다섯 설계축

구성 · 기공 · 반응충전 · 잔류상 · 접합구조

코어 설계 자유도 — 특허별 담당 설계축

	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5
구성 (C/Si · Si/C 몰비)	○	●				○	●			○
기공 (개기공률 · 기공목 · 이중모드)	○	○	●	○			○	●	○	
반응충전 (침투 · 고정 · 반복)	●	○	●	●	●	○	●	○		
잔류상 (유리 Si · 유리 C)	●	●	○	○	○	○	○		○	○
접합구조 (매개상 · 연결망 · 접합층)						●	○	●	●	●

● 청구 핵심축 ○ 종속·실시형태 지지

코어 설계 = 마감 입력

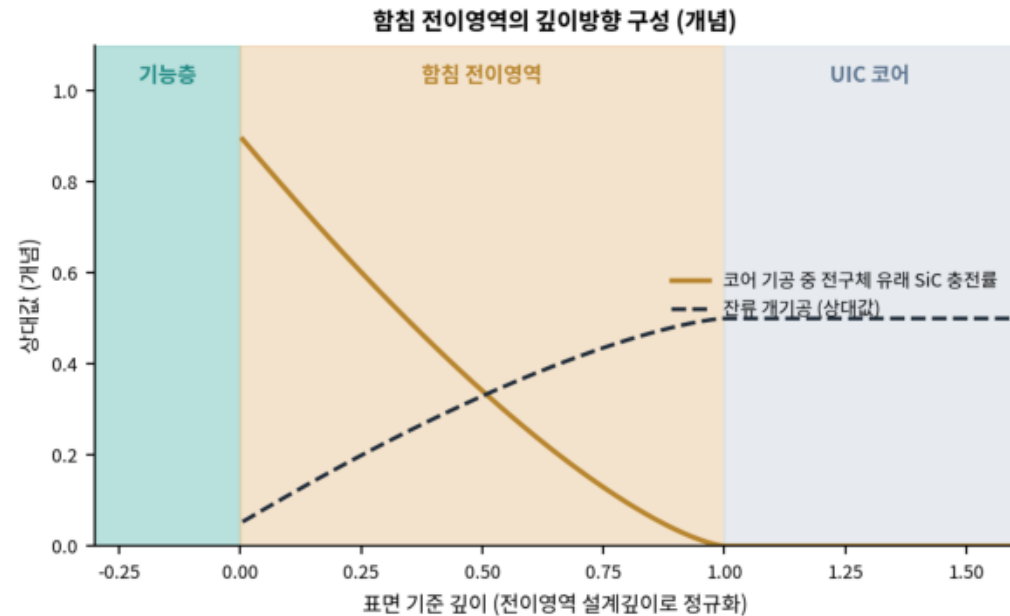
기공 → 전이 깊이

잔류상 → 경로 선택

접합구조 → 부품 크기

함침 전이영역 — 코어 표층 개기공의 앵커 공간화

저점도 전구체 감압 함침 · 가압 유지 → 경화 · 열분해



설계 변수

코어 표층 개기공률
UIC 반복 회차로 조정

기공목 직경
필러 입도 상한 결정

전구체 점도·온도
침투 깊이 결정

감압·가압 사이클
충전률 결정

도포 회차
기능층 두께 결정

40~100 cP

SMP-10 점도 (25 °C)

$\leq 100 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

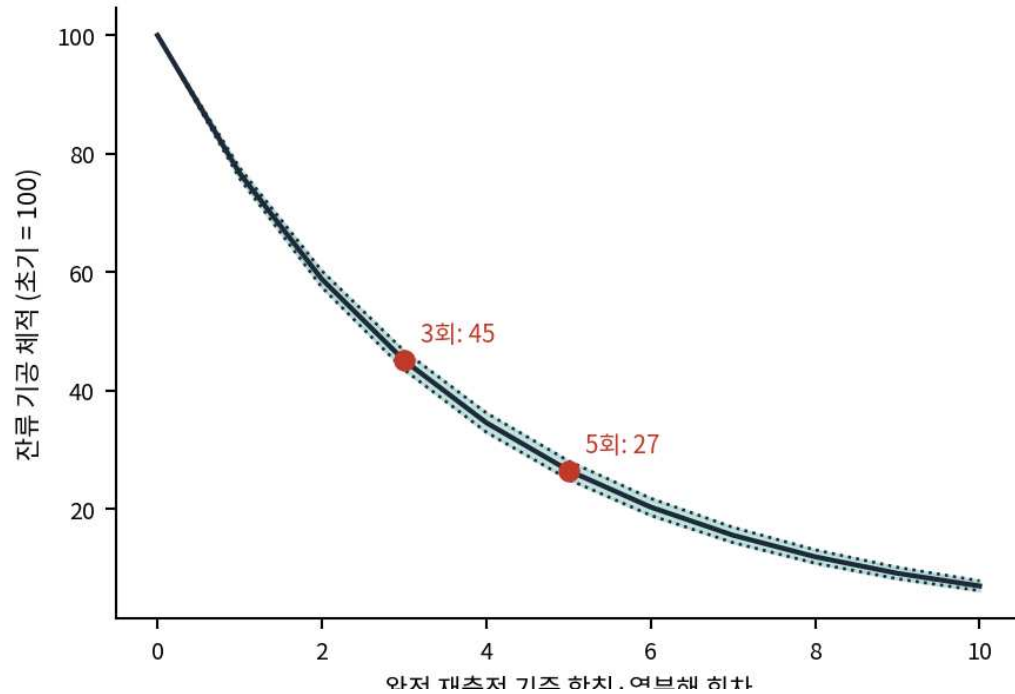
A3 코어 침투 규정

- 코어 침투의 점도-기공목 관계를 전이영역에 그대로 적용

전구체 유래 SiC 기능층 — 체적 전환 물리

벌크 기공은 반응충전, 전구체는 표층과 기능층만 담당

(a) 무충전 전구체: 회차당 체적 충전을 약 23%



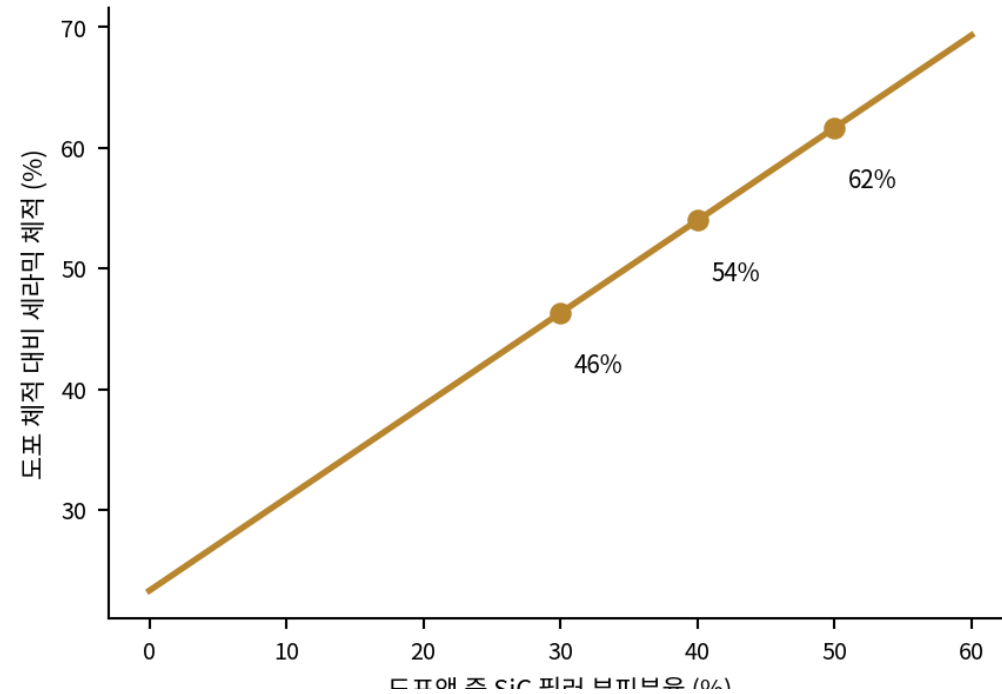
≈ 0.23

전구체 1 cm³ → SiC cm³

45 → 27

3회 · 5회 후 잔류 기공

(b) 충전형 전구체: 1회 전환 체적 증대



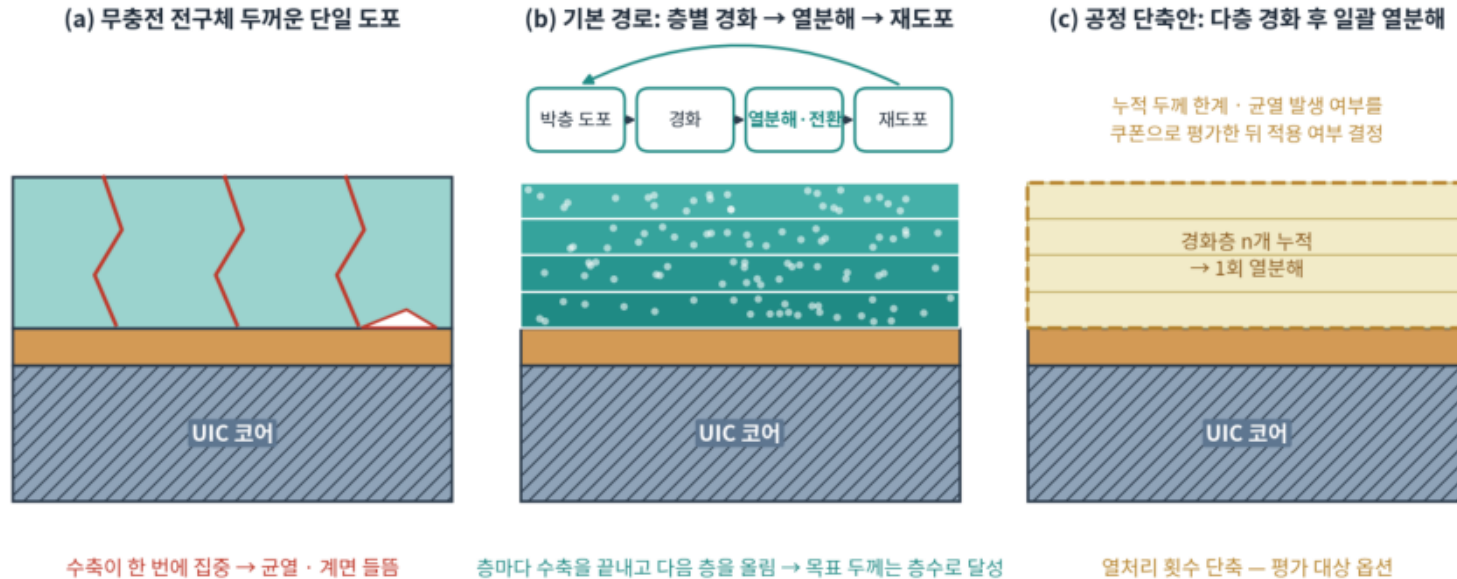
≈ 54%

필러 40 vol% 1회 전환

기능층 적층 경로 — 층별 세라믹 전환 완료

수축은 경화가 아니라 열분해·세라믹 전환 단계에서 발생

기능층 적층 경로 — 층마다 세라믹 전환을 완료하는 기본 경로와 공정 단축안



기본 경로

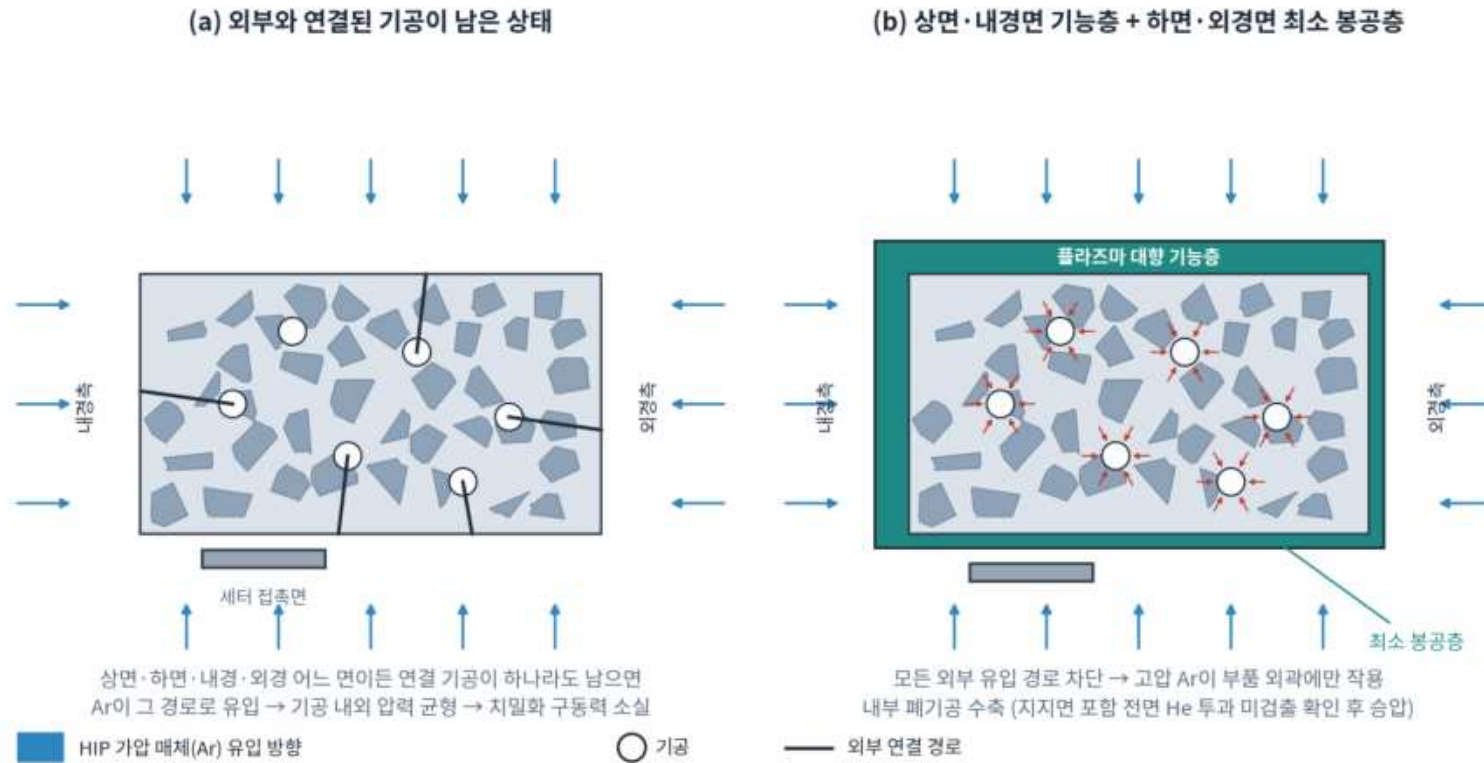
도포 → 경화 → 열분해 → 재도포

공정 단축안

일괄 열분해 — 평가 후 적용

HIP 통합 — 외부 연결 기공의 전면 차단

표면과 연결된 개기공은 HIP로 압착되지 않음 (KOBELCO)



무캡슐 (우선)

투입조건:
부품 전면 봉공

캡슐 (대체)

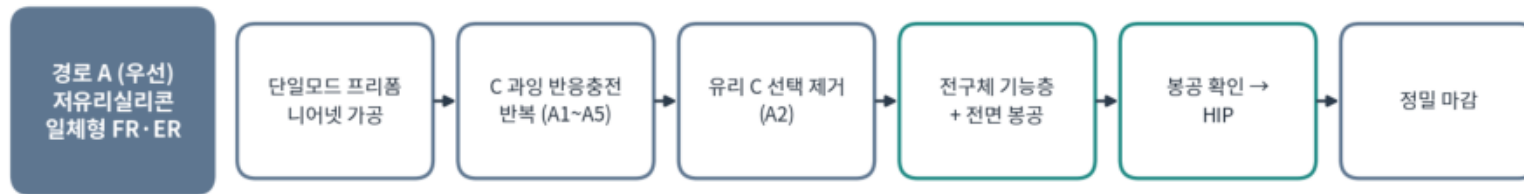
투입조건:
캡슐 기밀 · 탈가스

- 상면·내경면 기능층 + 하면·외경면 최소 봉공층

코어 선택과 제조 경로

저유리실리콘 우선 경로(A) · Si-rich 관리 경로(B) · 공통 마감 모듈

코어 선택과 제조 경로 — 저유리실리콘 우선 경로와 Si-rich 관리 경로



용융 Si 이동 · 유출 · 외층 침투 관리 (그림 다음 절)



경로 A는 HIP 온도에서 용융될 유리 Si를 처음부터 최소화한다. 경로 B는 Si-rich 코어를 그대로 쓰되 용융 Si의 거동을 공정 변수로 관리하며, 탄소 전환은 외부와 연결된 접근 가능 영역에만 적용되는 선택 단계이다.

경로 A (우선)

저유리실리콘 코어
FR·ER 1차 경로

경로 B

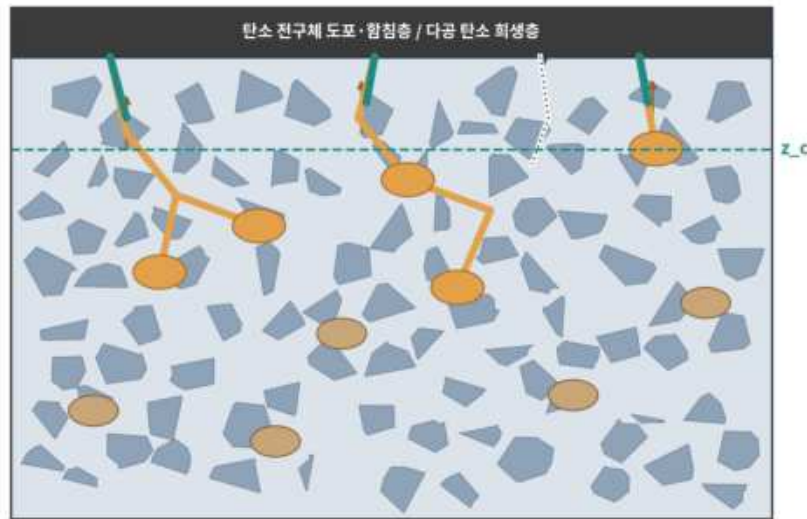
Si-rich 조립 코어
잔류 Si 관리

- 코어 잔류 Si량 = 경로를 가르는 설계 변수

접합 후 탄소 전환의 실제 접촉 경로

탄소와 실리콘이 만나는 곳에서만 전환 — 폐쇄 Si 포켓은 대상 아님

(a) 접합 후 코어 단면 — 탄소 공급원과 Si의 실제 접촉 경로



표면에서 멀고 연결되지 않은 Si 포켓은 탄소와 접촉하지 않으므로 전환되지 않는다

(b) 접근 경로별 전환 방식과 한계

- ① 표면 연결 Si 연결망
용융 Si가 연결망을 따라 표면 탄소층으로
모세관 이동 → 표층에서 SiC 전환
- ② 표면 노출 Si
도포된 탄소 전구체와 직접 접촉·반응
→ 표면 근방 전환대 (깊이 실측)
- ③ 잔류 개기공
액상 전구체가 기공을 통해 침투
→ 기공 벽의 Si와 반응
- ④ 폐쇄 Si 포켓
탄소 공급 경로 없음 → 전환 대상 아님
→ Si-rich 관리 경로로 처리

전환 가능 깊이 z_c 는 CT 연결성 분석(B4 방식을 외부 표면에 적용)
과 단면 EDS로 실측하여 공정 조건과 함께 확정

- ① 표면 연결 Si 연결망
- ② 표면 노출 Si
- ③ 잔류 개기공
- ④ 폐쇄 Si 포켓 → 관리

- 전환 범위 = 표면에서 z_c 까지의 접근 가능 영역 (CT·EDS 실측)

Si-rich 코어의 HIP 관리

용융 Si의 이동 · 유출 · 외층 침투를 공정 변수로 관리

Si-rich 코어 경로 — 용융 Si의 세 가지 거동과 관리 수단



기본: HIP 공정창(1,600~1,900 °C) + 위 관리 수단 | 탐색 조건: Si 용점(1,414 °C) 미만 가압 처리 — 용융 Si 억제 목적, 기능층 치밀화 결과 확보 후 채택

- 최종 대향면: 유리 Si 미검출

기본 조건

HIP 공정창
+ 관리 수단

탐색 조건

용점 미만 가압
치밀화 확인 후 채택

세 가지 설계의 전구체 계산상 필요량

외경 372 · 내경 302 · 두께 3.5 mm 포커스링 1개 기준 — 계산값

전체 PIP

성형체 전 체적 함침

약 **194 g**

계산상 필요량

UIC + 무충전 전구체

기능층 + 전이영역

약 **32 g**

계산상 필요량

UIC + 필러 도포액

필러 40 vol% · 기능층 + 전이영역

약 **11 g**

계산상 필요량

실제 구매량 (별도)

필요량 $\times (1 + \text{반복 여유}) \div \text{도포 이용률 } \eta$

부품 전체 제조원가 (별도)

HIP · 가공 · 검사는 원료비와 별도 항목

경쟁 경로 대비 구조적 우위

기존 네 경로가 각각 포기한 항목을 하나의 부품에서 동시 확보

제조 경로별 구조적 특성 비교 (구조 원리 기반 정성 비교)

	Bulk CVD	CVD 코팅 (흑연 모재)	분말 소결 + HIP	종래 RBSC	본 플랫폼 (UIC + 기능층 + HIP)
플라즈마 대향면 조성	●	●	●	◐	●
유리 Si 부재	●	●	●	○	●
모재-표층 재료 적합성	●	○	●	●	●
두꺼운·대형 형상 제조	○	◐	◐	●	●
성형 수축·변형 부담	●	●	○	●	●
니어넷 성형 자유도	○	◐	◐	●	●
표층 교체 재생	○	◐	○	○	●
접합 조립 대형화	○	○	◐	◐	●

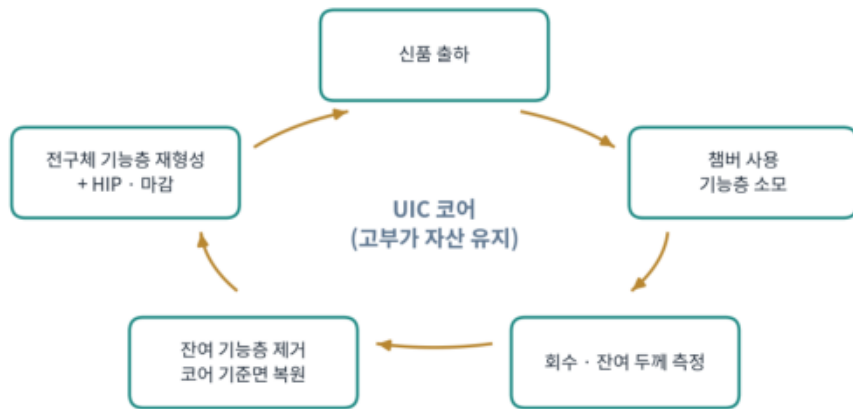
● 구조적으로 유리 ◐ 조건부 ○ 구조적 제약

순도·조직	전구체 유래 β-SiC
대형화	본체는 반응충전
치수	그린 가공
계면	함침 전이구조
오염	무캡슐 HIP 우선
원가	고가 원료 집중 투입

코어 자산화와 제품군 확장

기능층 교체 재생(리스킨) · 챔버부품 전반 적용

코어 자산화 — 기능층 교체에 의한 재생 수명주기



재생 가능 횟수 = (코어 기준면 허용 제거 두께) ÷ (1회 재생당 코어 제거량) — 코어 설계 단계에서 재생 예산을 두께로 배정

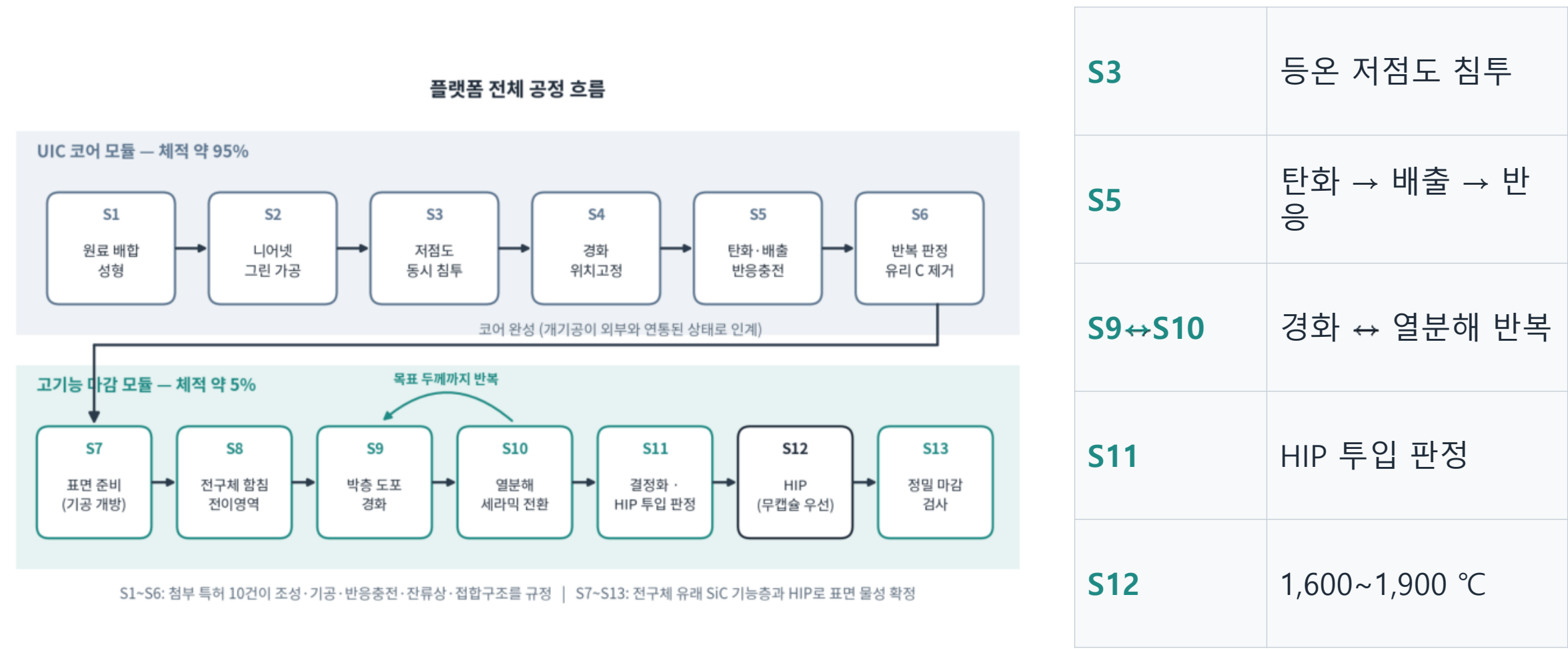
플랫폼 적용 제품 확장



사업 구조: 직접 제조 · 재생 서비스 · 설비 공급 · 실시권

플랫폼 전체 공정 흐름

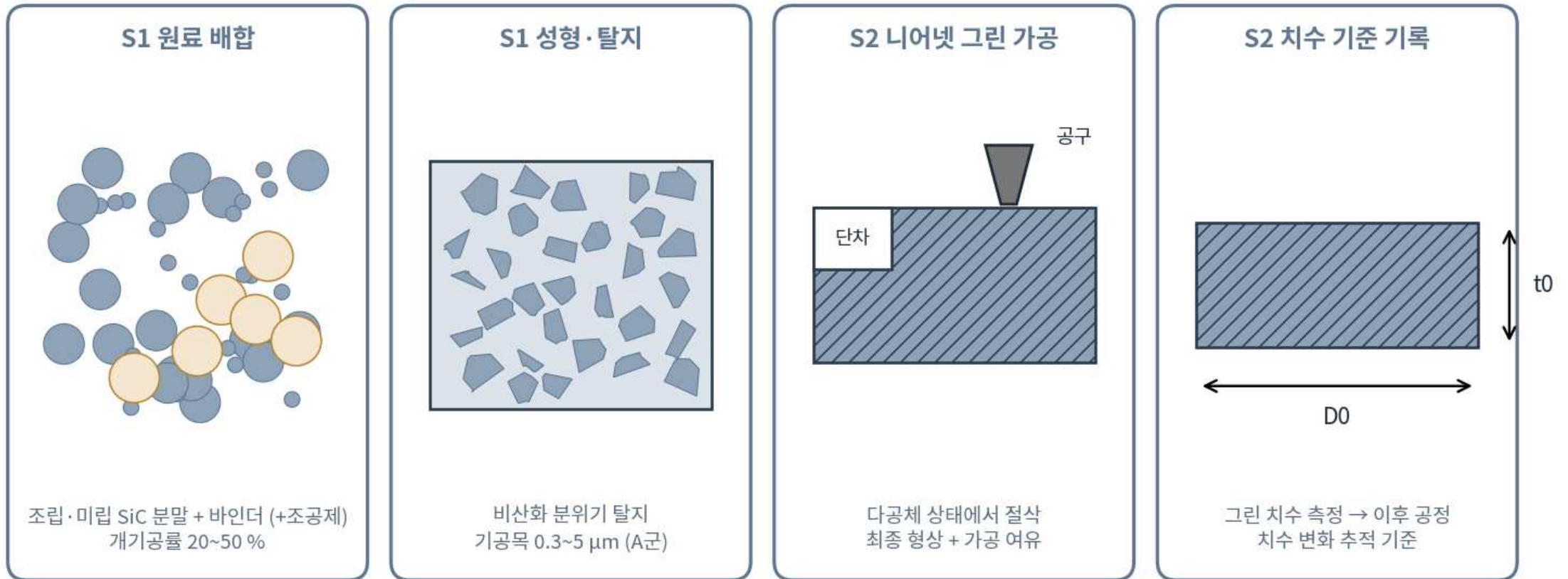
S1~S6 UIC 코어 모듈 · S7~S13 고기능 마감 모듈



공정 확대도 ① 코어 원형 형성

S1 ~ S2

공정 확대도 ① 코어 원형 형성 (S1~S2)

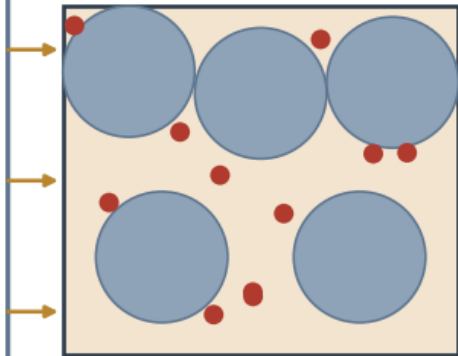


공정 확대도 ② 기공 내 반응충전

S3 ~ S6

공정 확대도 ② 기공 내 반응충전 (S3~S6)

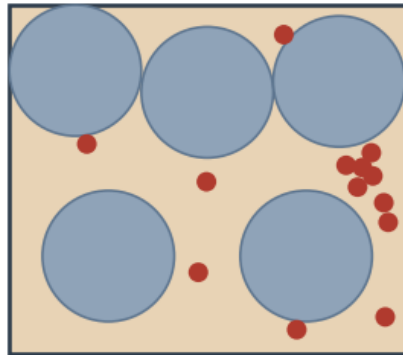
S3 저점도 동시 침투



감압 배기 → 접촉 → 불활성 가압
등온 $\leq 100 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ · D90 $\leq$ 기공목 1/3

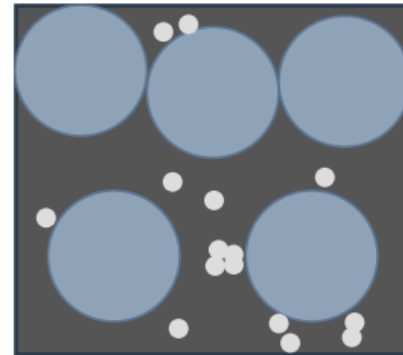
S4 경화 위치고정

가교 네트워크가 입자 고정



가교 개시온도 이상 유지
겔분율 $\geq 90 \%$ 판정

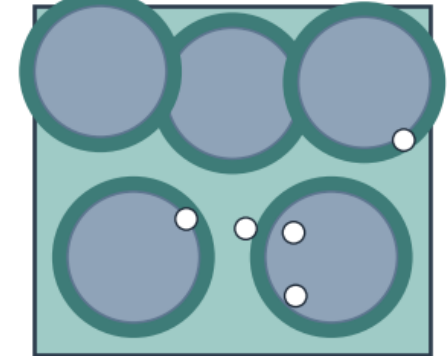
S5 탄화·배출·반응



700~1,100 °C 탄화 → 배출 구간
1,250~1,700 °C 2차 SiC 생성

S6 반복 판정·C 제거

C 제거 흔적 = 연통 개기공

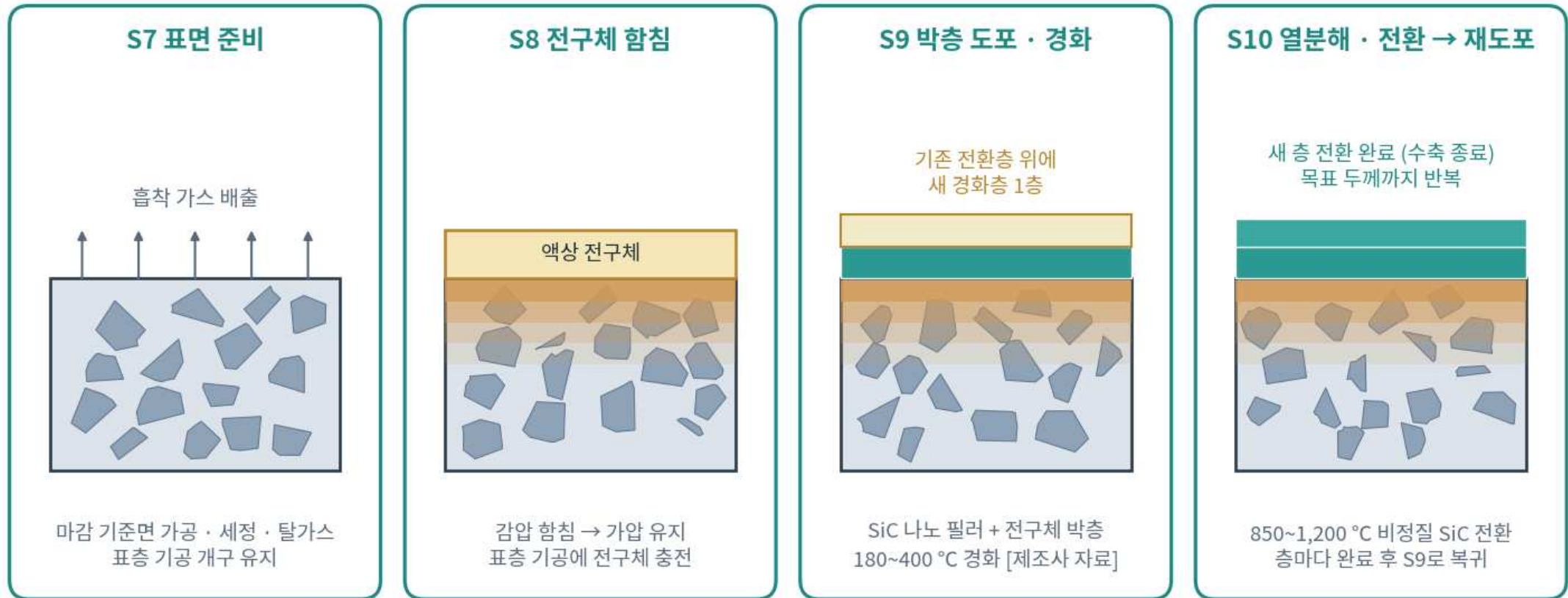


감소분 $\leq$ 기준값에서 종료
O₂ 400~800 °C 선택 제거

공정 확대도 ③ 전이영역과 기능층 형성

S7 ~ S10

공정 확대도 ③ 전이영역과 기능층 형성 (S7~S10)

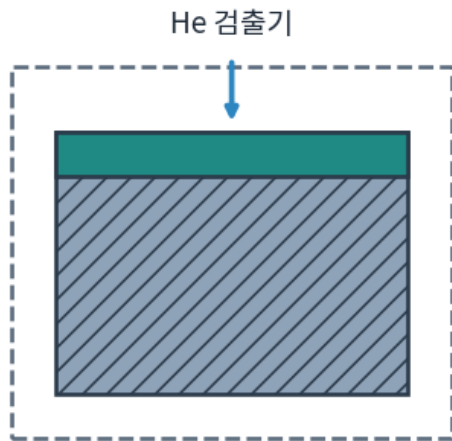


공정 확대도 ④ 투입 판정 · HIP · 마감

S11 ~ S13

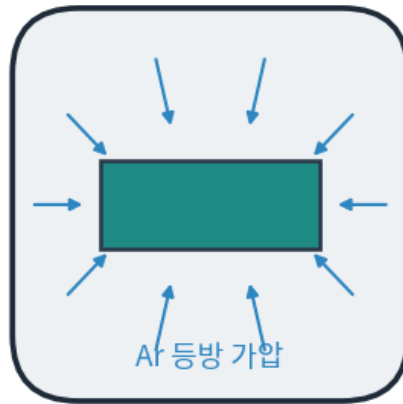
공정 확대도 ④ 치밀화와 마감 (S11~S13)

S11 HIP 투입 판정



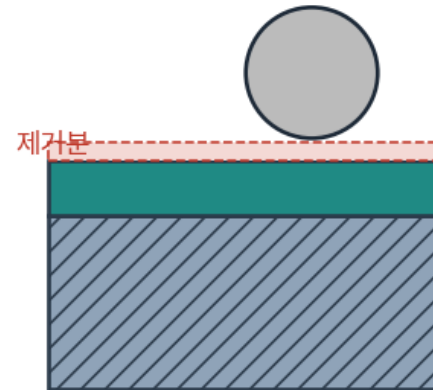
무캡슐: 부품 전면 He 투과 미검출
캡슐: 캡슐 기밀 · 내부 탈가스 확인

S12 HIP (무캡슐 우선)



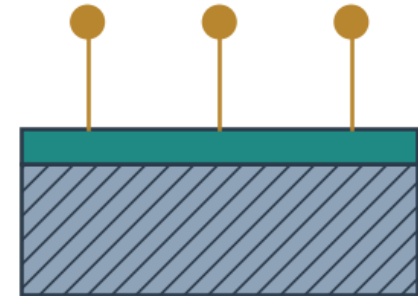
Ar · 1,600~1,900 °C · 50~200 MPa
캡슐법은 대체 경로

S13 정밀 마감



다이아몬드 연삭 · 랩핑 · 폴리싱
제거량은 기능층 두께 이내

S13 출하 검사



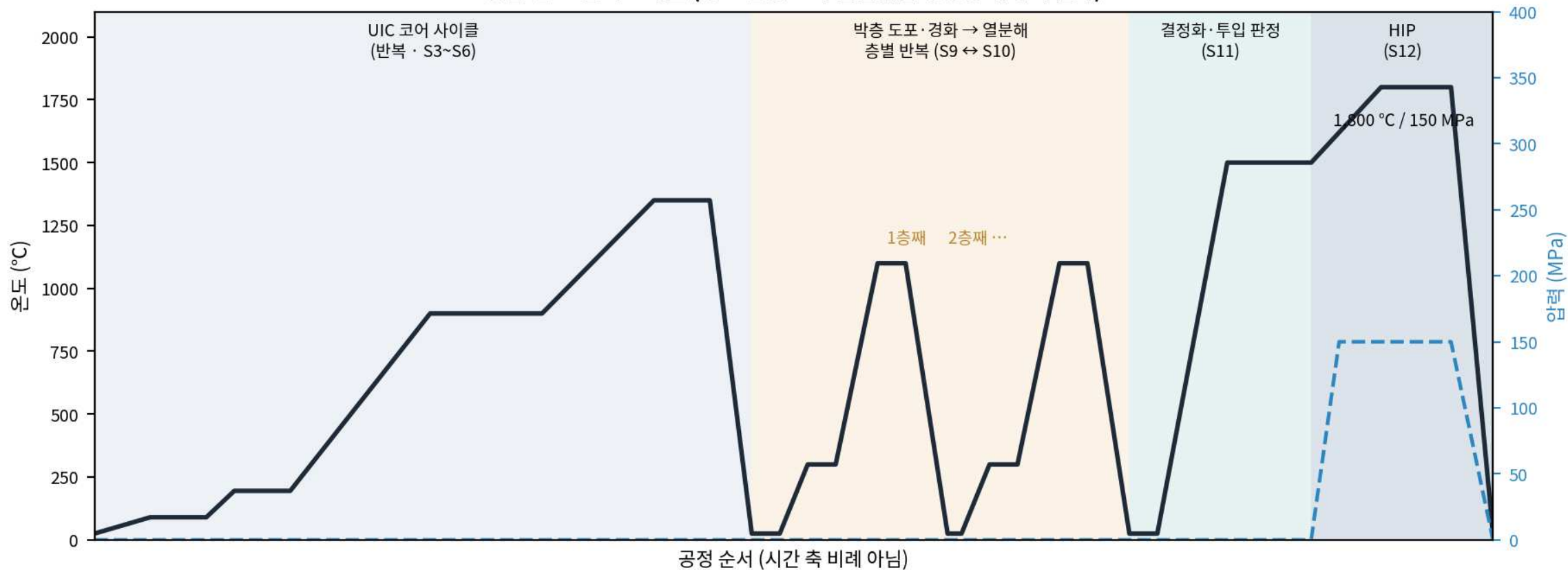
4탐침 · 형상 · XRD

치수 · 조도 · 층두께 · 순도
저항률 · 결함 검사

통합 열처리·가압 스케줄

전 공정 1,900 °C 이하의 단일 온도 체계

통합 온도·압력 스케줄 (대표 설정 — 구간별 값은 공정창 내에서 선택)



코어 UIC 사이클 반복 **가능층** 해 층별 경화 ↔ 열분 **결정화** 전층 완료 후 **HIP** 투입 판정 후 승압

평가계획 ① 층별 평가 매트릭스

코어의 허용 잔류상과 최종 대향면 요구조건의 구분

	UIC 코어	함침 전이영역	SiC 기능층	HIP 후 부품	플라즈마 쿠폰
개기공률 · 부피밀도					
기공목 분포					
결정상 · 잔류 Si/C					
연결망 · ϕ					
단면 조직 · 층두께					
금속 불순물					
치수 · 평탄도					
저항률 · 열전도율					
식각률 · 조도 변화					
계면 잔류응력 · 열사이클					
결정립 형태 · 크기					
유리 Si 유출 · 외층 침투					

코어 허용 잔류상

A: 저유리실리콘 목표

B: 잔류 Si 양·분포·연결성

최종 대향면

A·B 공통:

유리 Si 미검출

평가계획 ② 단계 게이트 G0 ~ G5

CVD SiC · 종래 RBSC 기준 시편과의 상대 비교로 판정

단계 게이트 평가 흐름

각 게이트는 동일 형상의 기준 시편(CVD SiC · 종래 RBSC)과 같은 조건으로 측정한 상대 비교로 판정



G0

코어

G1

전이영역

G2

기능층

G3

투입·HIP

G4

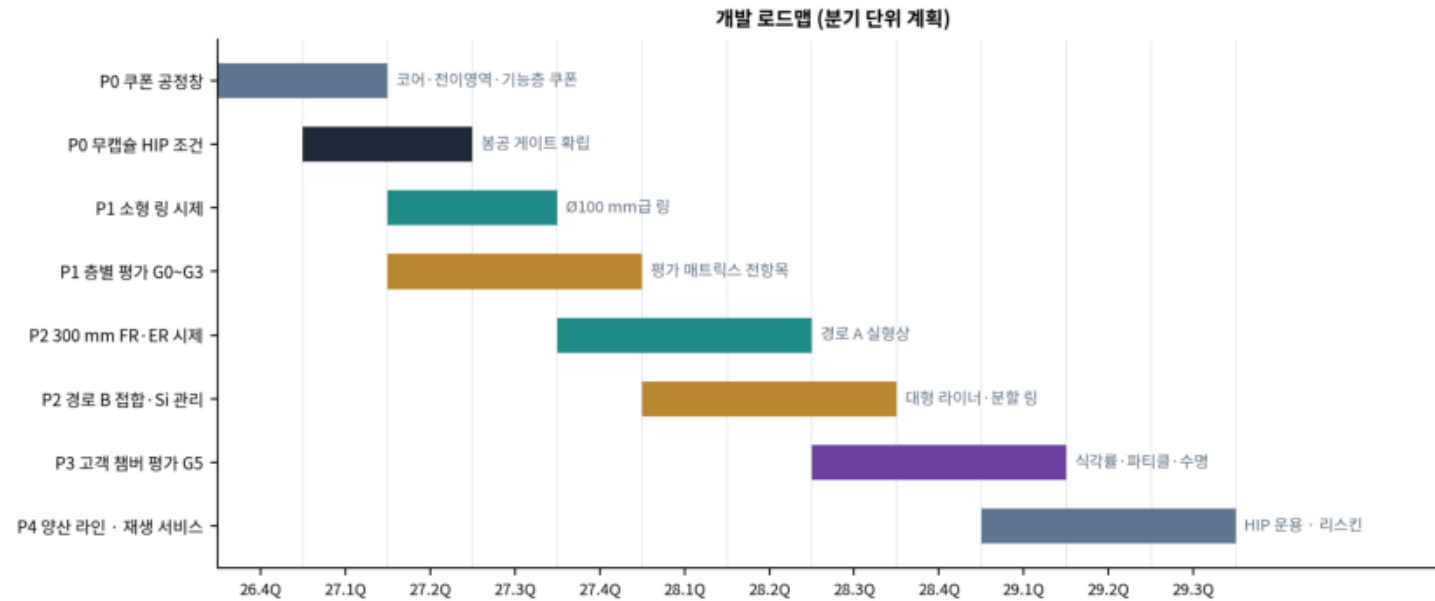
형상

G5

챔버

개발 로드맵 — P0 ~ P4 다섯 단계

쿠폰 → 소형 링 → 300 mm 실형상 → 고객 챔버 → 양산·재생



P0 쿠폰 공정창

P1 소형 링

P2 300 mm 시제

P3 고객 챔버

P4 양산 · 재생

결론

대향면에는 최고급 내식각·저오염 성능을 집중하고,
코어에는 요구되는 열·전기·기계적 성능을 설계

코어 약 95%

다섯 설계축
A 우선 · B 관리

마감 약 5%

층별 전환
전면 봉공 · HIP

구조적 우위

계면 · 무캡슐
원료 집중 · 재생

실행 경로

쿠폰 → 300 mm
→ 고객 챔버

반응소결 SiC의 성형 경제성 + CVD급 대향면 = 최고급 포커스링·에지링



주식회사 쿨스

대표이사 조진현

본사 | 경상남도 창원시 의창구 중동북로 23

지사 | 경기도 화성시 동탄구 삼성1로 160

M. 010-2280-9414

E. jhcho@cools.co.kr

H. www.cools.co.kr
