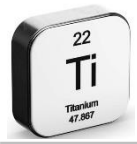


e4ds 세미나

타이타늄 분말기술 활용 및 고순도 탄탈륨 분말 제조 기술

발표자 : 박지환
소속(직급) : (주)엠티아이지(대표이사)





1 타이타늄 분말 기술 기반 제조 공정

2 타이타늄 리사이클링 기술

3 탄탈륨 리사이클링 기술

타이타늄 분말 기술 기반 제조 공정



Certificate
of New Excellent Technology
by Ministry of Knowledge Economy



GOD DESIGN



Certificate
of New Excellent Technology
Venture Business



Certificate of ISO 9001:2000



Korea International
Trade Association Member



Material Technical Innovation Group

Titanium의 우수성

경량 고강도
밀도 : Fe의 60%
강도 : Fe의 200%

우수한 내식성
백금과 유사
화학플랜트

생체적합성
Allergy Free
Non Magnetic

우수한 내열성
항공우주용

천연색상구현
IT용 전자제품
의류부자재



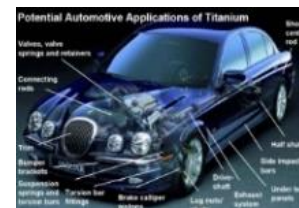
IT용 전자기기 산업



항공/우주 산업



화학플랜트 산업



자동차 산업



해수 플랜트



국방



의료부품 산업



액세서리 및 레저

세계시장

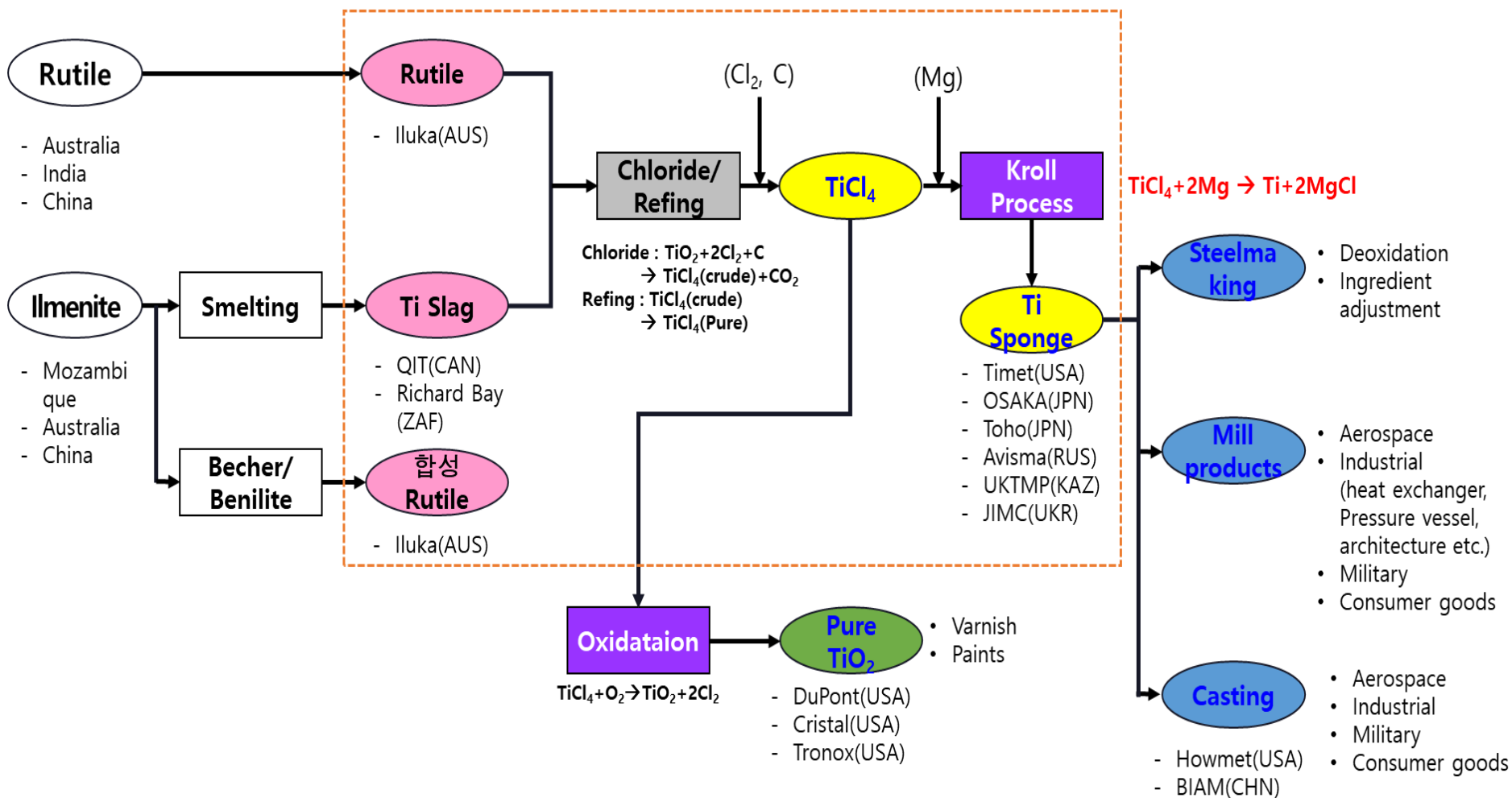
시장규모 : 타이타늄 원자재 10 조원
(매년 5-7% 이상 성장)
기술동향 : 원자재 및 부품 완전 개발 자립
국가간 전략소재 → 국가 간 치열한 경쟁

국내 시장

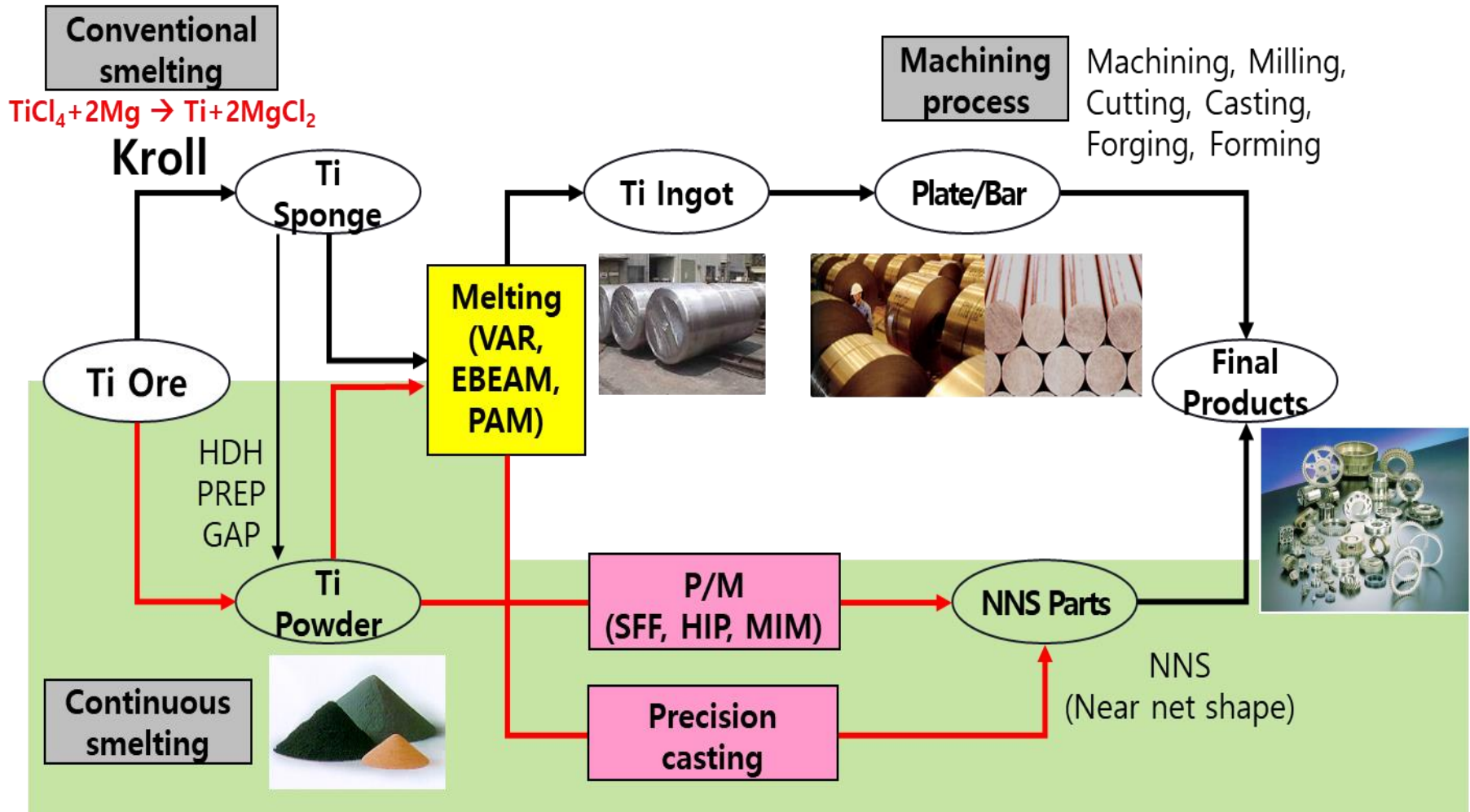
시장규모 : 타이타늄 원자재 1.5 조원 (매년 5-7% 이상 성장)
기술동향 : 원자재 대부분 수입 - 경제성 결여
부품제조 기술 - 국내 없음, 연구단계
(주)엠티아이 지 보유 기술

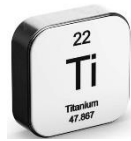
Titanium manufacturing process and Product chain

타이타늄 제련 공정



Titanium New Product chain

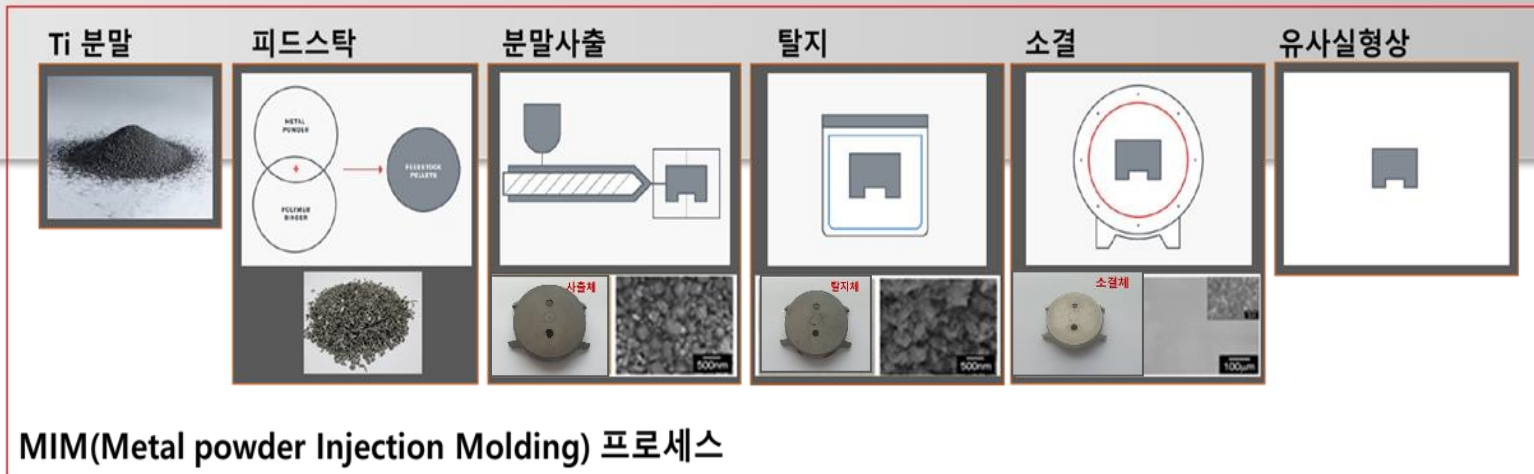
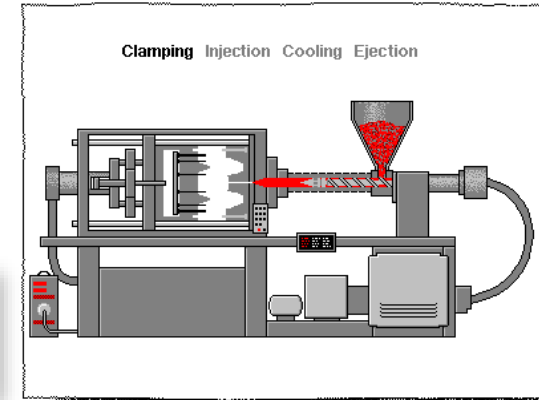




- 분말 사출 성형(Metal powder Injection Molding) 기술

- 타이타늄 정밀 부품의 대량생산
- 저원가 부품 생산 기술

분말야금기술과 정밀한 플라스틱 사출성형기술이 융합된 분말성형공정 복잡한 구조의 3차원 형상을 갖는 금속제품의 양산이 가능한 대량생산기술



[원바디 임플란트]

기존 기술 Vs 타이타늄 분말 기반 제조 공정

기존 기술

- 3차원 형상 부품 생산 제약
- 가공에 대한 높은 공정 비용
- 가공 중 원자재 30% 이상 손실
- 부산물 등 환경 유해 물질 발생

[의료용 Ti 봉재]



[절단/절삭 가공 기술]



[Ti 소재 부품 제조]

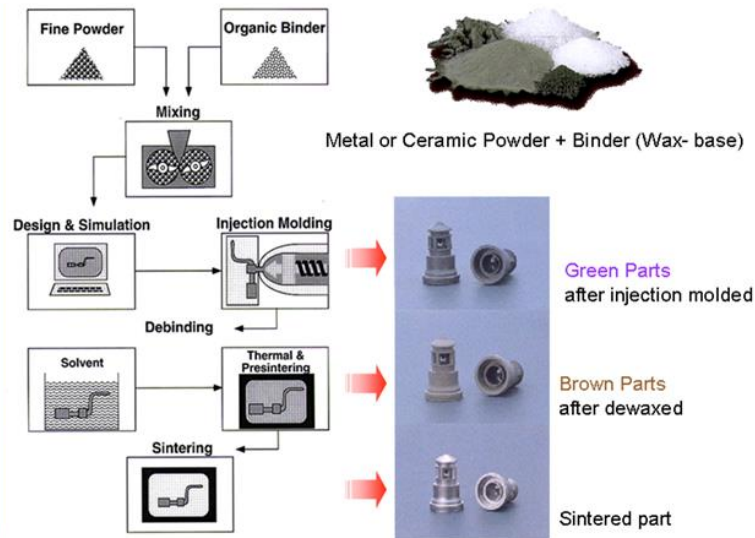


신기술

[타이타늄 분말사출성형 공정을 이용한 핵심 부품 제조]

- 타이타늄 Feed stock을 이용한 분말사출성형 공정
: 저비용 3차원 정밀/복잡한 형상제품 제조 가능
- 짧은 사이클, 금형에 의한 생산
: 동일 형상 정밀 부품 대량 생산 공정 가능
- 후 가공공정의 최소화
- 성분제어 용이/고강도화 가능(분말기술)
- 부품 재생 가능한 경제적 공정

[타이타늄 분말사출성형 공정도]



Strategy

1. 사출(Injecting)



2. 탈지(Debinding)



3. 소결(Sintering)



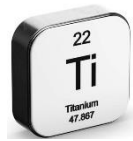
“치과용 임플란트 포장 부품 및 치과용 수술 도구”



치과 임플란트 포장 부품



치과 수술용 드릴



타이타늄 분말 기술 활용 생산 제품



Titanium Experiment crucible.



Basic Information

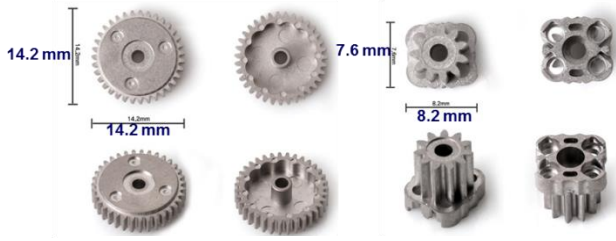
Size, Diameter 35mm x Height 60mm
 Thickness, 1.5T
 Color, Original Titanium Color
 Sales Unit, 10pcs/1pack



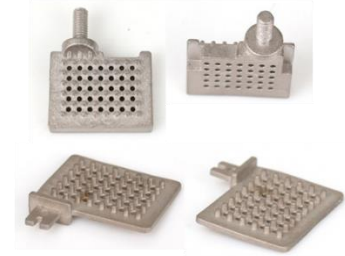
Side Photo & Size



타이타늄 실험용 도가니



타이타늄 정밀 기어



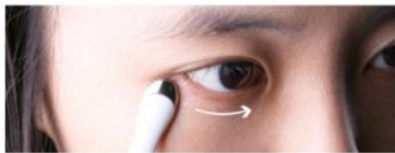
타이타늄 전극



타이타늄 기계 부품



타이타늄 보청기 케이스



화장품 어플리케이터



치과용 트레이



타이타늄 원바디 임플란트



Near Net Shape
Ti Materials
(PM & MIM)

Precision
Machining
(CNC etc.)

Machined
Smart watch case

융합 기술의 장점

- 대량생산 가능
- 기존 가공 기술 대비 가공공정 수 축소
→ 가공 비용 절감에 따른 공정 비용 감소
- 유사실형상 제조 → 원소재 비용 절감
- 합금 설계 용이 → 소재 용도에 따른 물성 제어 가능

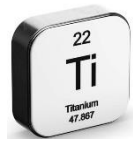


Final Products

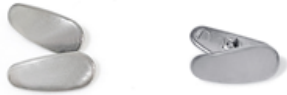
Surface
Treatment

“타이타늄 Smart Watch Case”





“타이타늄 안경 코받침”



타이타늄 의료 부품 제조 전문 기업 (주)엠티아이지

MTIG-TNP01

TITAN-PAD

타이타늄 순수 타이타늄 안경코받침/노즈패드

상 품 명	순수 타이타늄 안경코받침-1조(쌍)
소 재	Pure Titanium
색 상	Silver White (은백색)
치 수	6x13,5mm
제 조 국	대한민국
제 조 사	(주)엠티아이지

타이타늄 리사이클링 기술



Certificate
of New Excellent Technology
by Ministry of Knowledge Economy



GOD DESIGN



Certificate
of New Excellent Technology
Venture Business



Certificate of ISO 9001:2000



Korea International
Trade Association Member



Material Technical Innovation Group

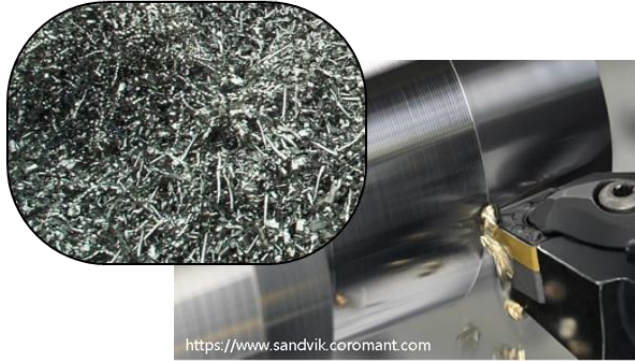


출처 : 'Green Design - Cradle to the Grave'

- ✓ 저원가 탈산 기술을 바탕으로 타이타늄 스크랩의 자원 선순환 구조 구축
- ✓ 타이타늄 스크랩의 고품위화 및 소재 자립화 기술 구축
- ✓ 타이타늄 소재에 대한 수입 대체효과 극대화를 통한 경쟁력 강화

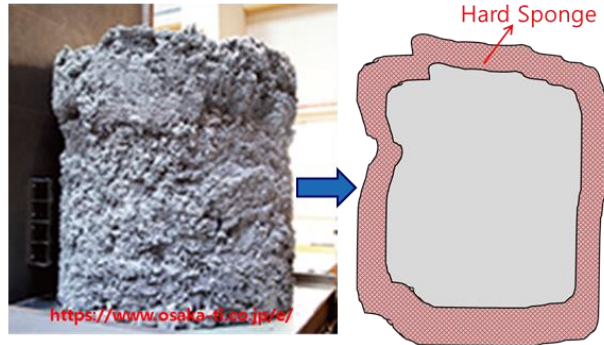
타이타늄 스크랩 종류 및 재활용 기술의 개발 필요성

Off-grade 선삭 스크랩



- 타이타늄 잉곳 가공 과정에서 **약 26%** 발생
- 발생과정에서 다량의 산소 및 불순물 포함
- 화학적 전처리 및 탈산 공정 후 재활용

Off-grade 하드 스펀지



- 타이타늄 스펀지 생산 시 **약 10~20%** 발생
- Kroll 공정에서 다량의 산소 및 불순물 포함
- 탈산 공정 후 재활용 가능

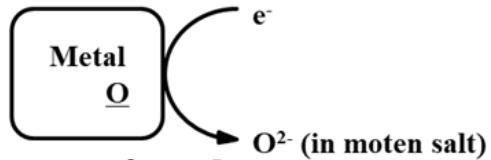
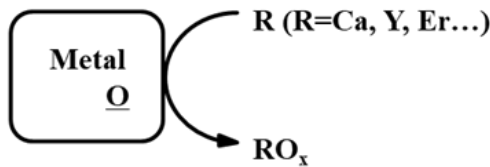
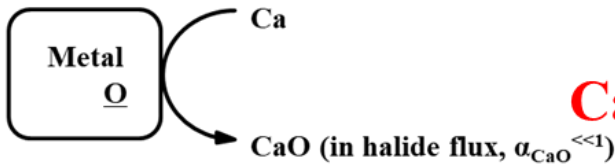
국내 스크랩 활용 동향

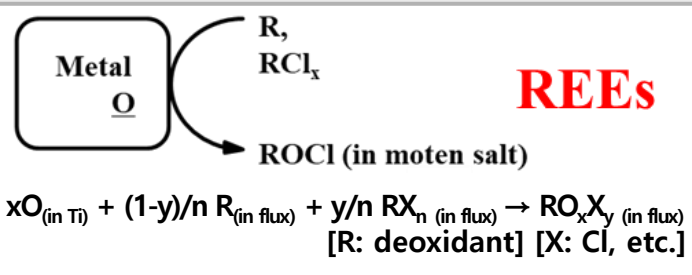
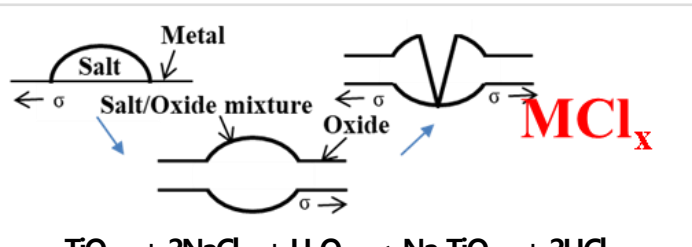
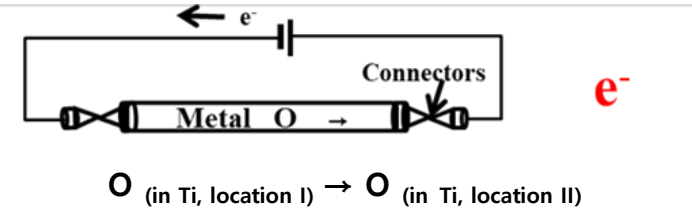
- Off-grade 타이타늄 스크랩은 **스폰지 가격 대비 매우 낮은 가격**(약 1/6수준)
- 국내 Off-grade 타이타늄 스크랩 활용은 **단순 중개 무역** 위주의 사업 형태임
- Off-grade 타이타늄 스크랩의 **국내 재활용 기술 및 설비 부재**



Ti 소재 자립화 기술 필요성

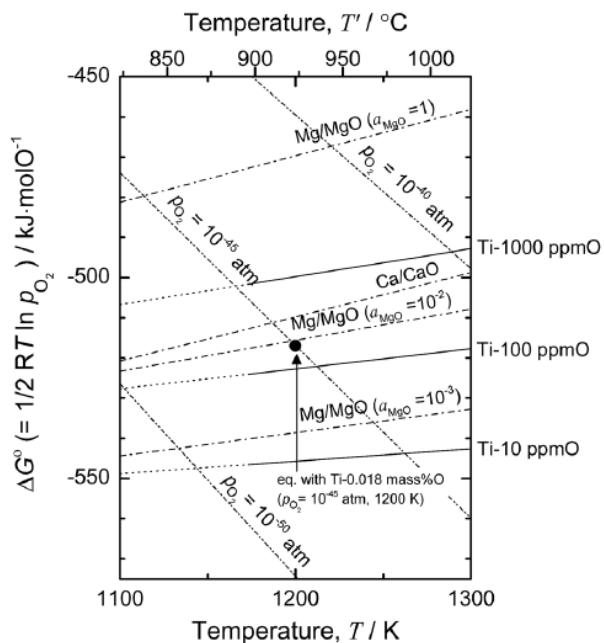
- 기술혁신을 통한 소재 업사이클링 산업구조 개혁으로 국내 **타이타늄 소재 자립화** 필요
- 탈산/용해/정련 기술을 활용한 타이타늄 소재의 **고품위화** 기술 필요
- 잉곳/분말 제조 기술 확보를 통한 타이타늄 소재 **고부가가치화** 필요
- **친환경적** 탈산/용해 정련기술 및 분말/잉곳 제품화 **일관공정기술** 개발 필요

탈산 공정	반응 메카니즘	장점	단점
<p>Electrochemical deoxidation</p>	 <p style="text-align: right; color: red; font-weight: bold;">Ca/e</p> $R^{2+} (in\ flux) + 2e^- \rightarrow R (on\ cathode)$ $O (in\ Ti) + R (on\ cathode) \rightarrow O^{2-} (in\ flux) + R^{2+}$ <p>Anode reaction:</p> $xO^{2-} (in\ flux) + C_{(s)} \rightarrow CO_{x(g)} + 2xe^-$ <ul style="list-style-type: none"> • 용융염을 전해질로 하여 Ti 음극과 양극에 인가된 전류 또는 전압을 통해 탈산 	<ul style="list-style-type: none"> • < 10 ppm로 탈산 가능 (950 °C) • 환원된 Ca 재사용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 대량 탈산 공정 부적합 • Ca의 경우 매우 고가이며, 수급이 어려움. • Ti 및 용융염 분리 시 산소 오염 발생
<p>Deoxidation using metal/metal oxide equilibrium</p>	 <p style="text-align: right; color: red; font-weight: bold;">Ca</p> $xO (in\ Ti) + R \rightarrow RO_x \quad [R: deoxidant]$ <ul style="list-style-type: none"> • Ti와 접촉된 반응성 금속(Ca, Y등)을 이용하여 탈산 	<ul style="list-style-type: none"> • 공정이 간단함 • 고순도 금속 제조 가능 (~500 ppm 까지 탈산 가능) 	<ul style="list-style-type: none"> • 제한된 환원제만 사용 가능(Ca, some REEs) • 환원제 가격이 매우 고가임 • 대량 탈산 공정 부적합
<p>Calcium-halide flux deoxidation</p>	 <p style="text-align: right; color: red; font-weight: bold;">Ca</p> $O (in\ Ti) + Ca (in\ flux) \rightarrow CaO (in\ flux)$ <ul style="list-style-type: none"> • Ti는 칼슘에 의해 포화된 할라이드 플럭스에 의해 탈산 	<ul style="list-style-type: none"> • ~50 ppm까지 탈산 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 대량 탈산 공정 부적합 • Ca의 경우 매우 고가이며, 수급이 어려움 • Ti 및 용융염 분리 시 산소 오염 발생

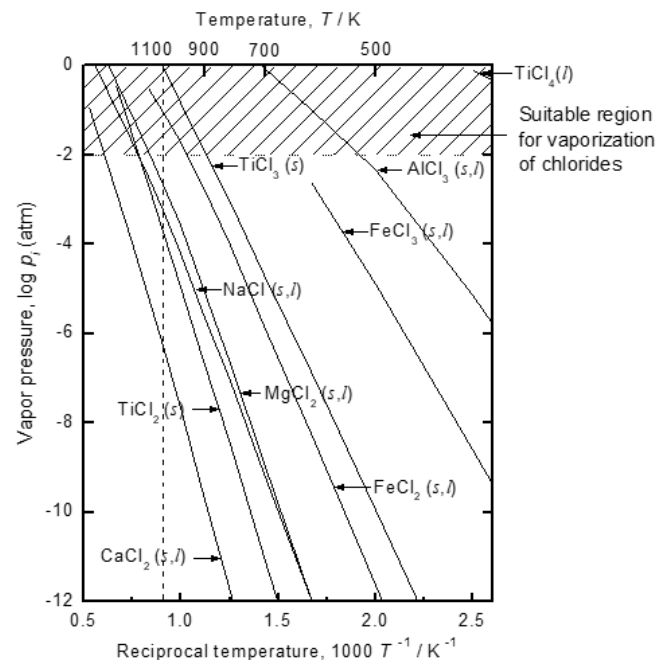
탈산 공정	반응 메카니즘	장점	단점
<p>Deoxidation by oxyhalide formation</p>	 <p>• Ti는 희토류 옥시할라이드를 이용하여 탈산</p>	<p>• 열역학적 관점에서 Ti는 ppm 수준까지 탈산 가능</p>	<p>• 대량 탈산 공정 부적합 • 탈산에 사용되는 희토류 금속 또는 염화물 수급이 어려움.</p>
<p>Hot salt cracking</p>	 <p>• Ti의 금속 표면에 생성된 산화물을 NaCl과 인장 응력이 작용하여 탈산</p>	<p>• Ti 합금계 내부식성 평가 가능 • 금속 표면 산화층 제거 용이</p>	<p>• 대량 탈산 공정 부적합 • 염화물로부터 부식가스(HCl) 발생에 의한 원소재 (Ti) 부식 발생 • Ti 합금 내부식 시험에 사용되는 공정임.</p>
<p>Solid-state electrotransport (SSE)</p>	 <p>• 높은 전류 하에서 Ti에 용해된 산소는 음으로 하전 되어 양극으로 이동하여 탈산</p>	<p>• 산소 외 다른 불순물 제거 가능 • 고순도 금속 제조 가능</p>	<p>• 대량 탈산 공정 부적합 • 매우 긴 공정시간 필요 • 낮은 생산성(실험실 규모에서 탈산/정제 가능)</p>

현재 탈산기술의 문제점

- Ca, REE 등 고가의 환원제 사용
: Mg와 같은 저가의 환원제를 사용한 탈산기술 개발 필요



- 탈산 후 Ti 산세 시 산소 오염 발생
: 산세 없이 Ti과 염 분리 필요
: 산세 시 Ti의 산소 오염 발생 억제

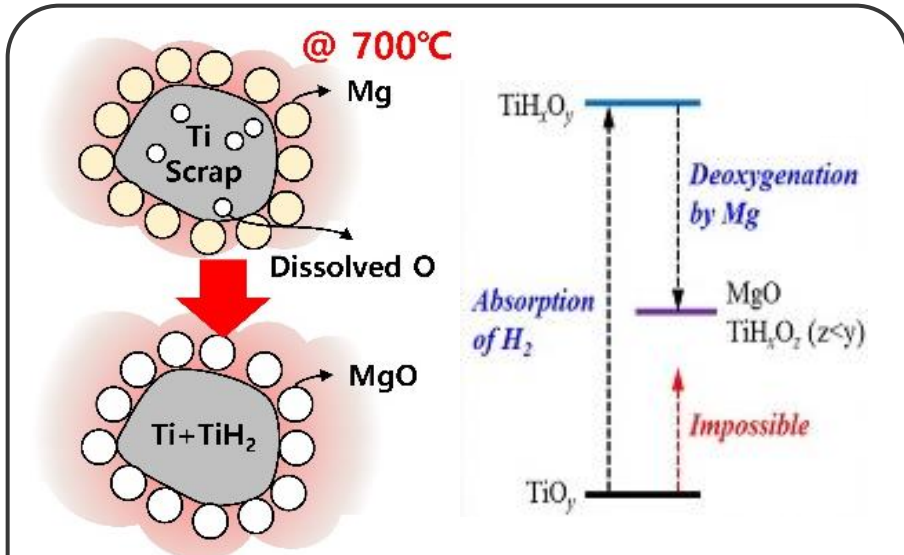


- MgO의 activity를 낮춤
- 수소분위기에서 마그네슘을 이용한 탈산

- MgCl_2 와 같은 고증기압 용융염 사용
- 탈산 후 Ti을 세라믹 형태로 회수

Mg활용 탈산 공정을 이용한 타이타늄 리사이클링 기술

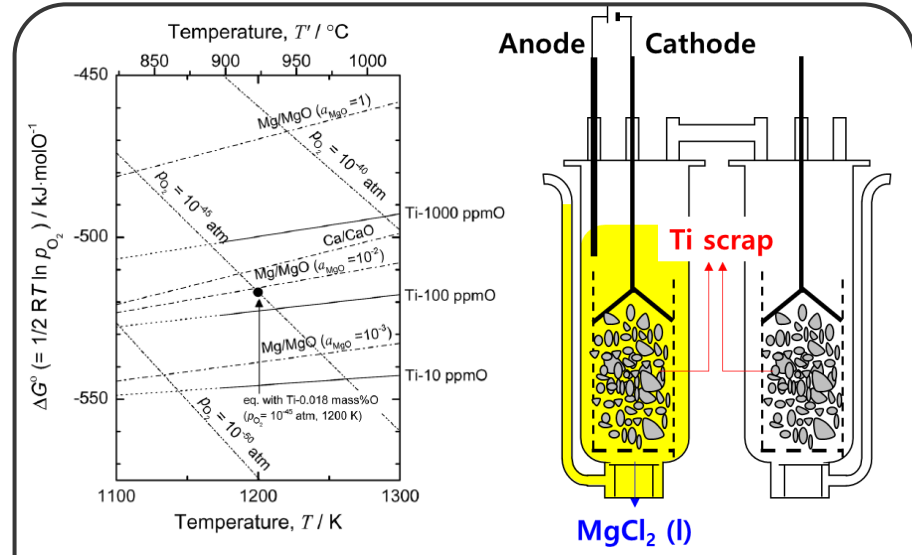
Mg-H 융합 탈산 기술



[Mg-H 탈산 수소화 융합 공정 모식도]

- TiO_x(O in Ti)의 경우 Mg에 의한 탈산이 불가능
- TiH_yO_x의 경우 TiO_x 대비 불안정 → Mg에 의한 탈산가능
- 탈산 후 수소화(TiH_x)에 의한 산세 시 산소 오염 방지가능

Mg/MgCl₂를 활용한 전해탈산 기술



[(좌)MgO activity 제어에 따른 Mg 탈산력 변화
(우) 타이타늄 스크랩의 Mg 전해 탈산 기술 모식도]

- 일반적으로 Mg를 이용한 Ti내 용존 산소 저감은 불가능
- MgCl₂ 용융염 내 MgO의 활동도 감소 시 탈산 가능
- 탈산 후 MgCl₂의 휘발제거에 의한 산소오염 방지 가능

리사이클링 타이타늄 소재 활용 모델



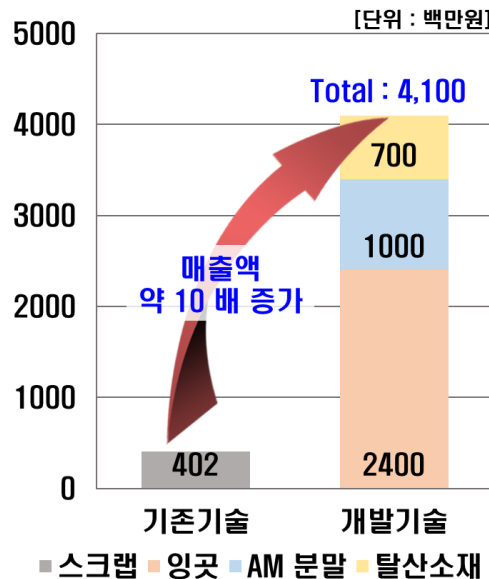
기존 스크랩 활용 모델



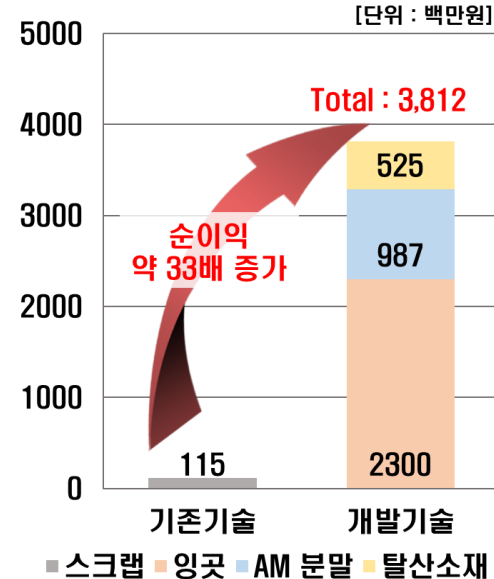
경제적 성과 창출 계획 (2027 년 예상)

구분 (예상금액)	원료금액 (원/Kg)	판매단가 (원/Kg)	판매량 (ton)
기존 비즈니스 모델			
선삭 스크랩	2,500	3,500	115
리사이클링 소재 비즈니스 모델			
탈산소재	2,500	10,000	70
잉곳	2,500	60,000	40
AM 분말	2,500	200,000	5
합 계			115

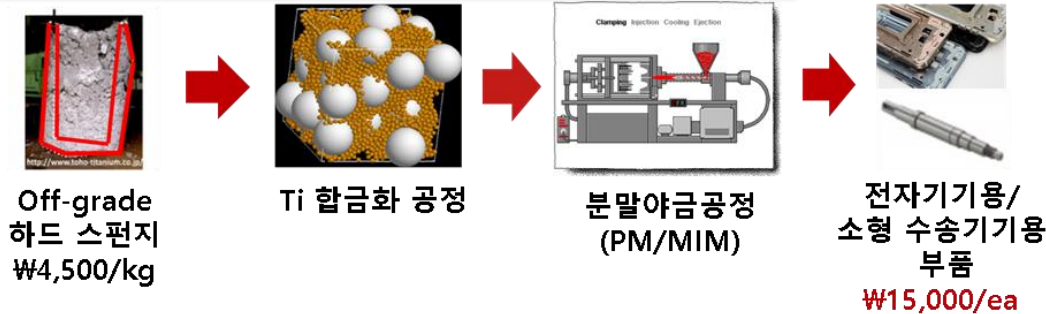
예상 매출액



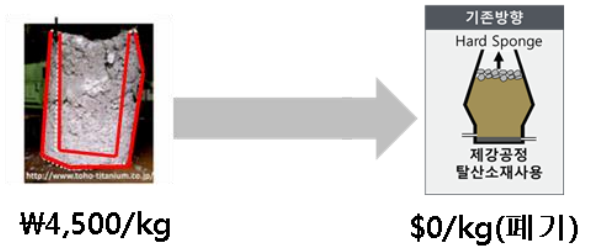
부가가치액



리사이클링 타이타늄 소재 활용 모델



기존 스크랩 활용 모델



경제적 성과 창출 계획 (2027년 예상)

구분 (예상금액)	원료금액 (원/Kg)	판매단가 (원/ea)	판매량 (ea)	매출원가 (백만원)	예상 매출액 (백만원)	부가가치액 (가산법 기준)	비고
기존 비즈니스 모델							
하드스펀지	4,500			-	-	-	재활용 전무 (탈산재 원료)
리사이클링 소재 비즈니스 모델							
분말야금부품 휴대전화 케이스 기준 (100 g/ea)	4,500	15,000	850,000	382.5	12,750	12,367.5	고부가가치

탄탈륨 리사이클링 기술



Certificate
of New Excellent Technology
by Ministry of Knowledge Economy



GOD DESIGN



Certificate
of New Excellent Technology
Venture Business



Certificate of ISO 9001:2000



Korea International
Trade Association Member



<http://www.mtig.co.kr>
Material Technical Innovation Group

탄탈륨 금속 재활용 필요성 - 특징 및 장점

탄탈륨 특징

- 고용점(3,017 °C), 밀도(16.69 g/cm³)
- 높은 전하량, 낮은 저항온도계수, 안정된 비저항, 우수한 내부식성
- 사용 분야 : 반도체 공정 타겟, 의료용 소재, 소형 콘덴서, 제트엔진 부품, 항공기 등

탄탈륨 사용현황

❖ 전자산업

→ 반도체 공정용 타겟



휴대용 전화기 디지털 카메라

❖ 자동차산업

→ 극한조건의 고용량 축전기 재료



자동차용 전기장치

❖ 기계산업

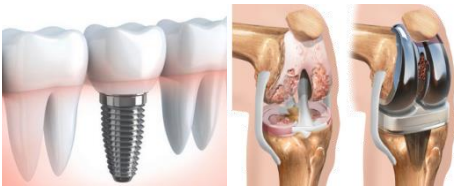
→ 내마모성 공구 재료



연삭기 드릴링기

❖ 의료산업

→ 인체 부작용이 없는 재료



임플란트

인공뼈

❖ 화학산업

→ 내화학성 재료

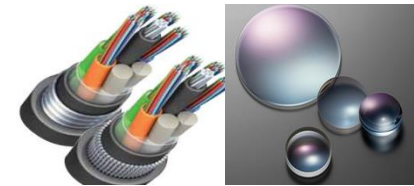


반응타워

촉매반응타워

❖ 광학산업

→ 고굴절성 재료



광통신

고굴절 렌즈

탄탈륨 시장 동향

참조 : HS-Code (2011 ~ 2015)

- 5년 평균 수입 450 톤 (1,940 억 원), 수출 240 톤 (480 억 원) → 무역수지 : -1,460 억 원
- Ta 스크랩 수출량 : 135 톤, 수출금액 : 72 억 원 → 경제적 가치가 매우 낮음

Ta 원료/제품 수입

현재
스크랩 발생

Ta 스크랩 수출

향후
스크랩 발생

금속 스크랩 재활용

기대효과

- 신규시장 창출 및 고용 증대
- 수요기업에 안정적인 원료공급
- 자원 선순환 구조 확보
- 스크랩 재활용으로 인한 수입대체

고부가가치 소재화

탄탈륨 스크랩의 종류

탄탈륨 금속 스크랩

- 반도체 공정용 폐 타겟, 폐 탄탈륨 도가니
- 타겟 가공 시 발생하는 선삭 스크랩
- 금속 가공 시 발생하는 포일 및 시트 스크랩 등
- 탄탈륨 함유량 : 99 ~ 99.99 %
- 연간 약 40-70 ton의 탄탈륨 금속 스크랩 발생
- 스크랩의 종류에 따라서 200 ~ 400 \$/kg의 가격으로 수출



Target scrap



Crucible scrap



Foil scrap



Turning scrap



Sheet scrap

탄탈륨 산화물 스크랩

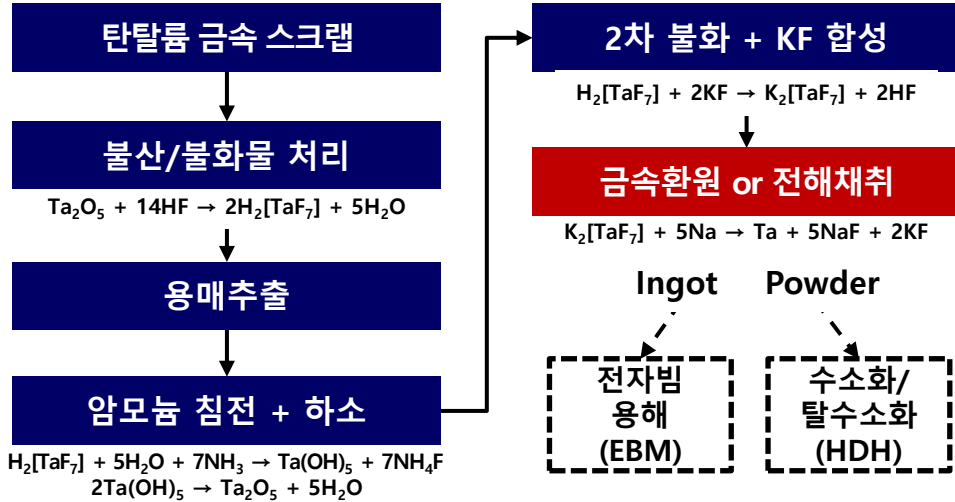
- 폐 전자제품에서 발생하는 캐패시터
- 콘덴서 제작 공정 스크랩
- 연간 약 100 ton의 스크랩 발생
- 탄탈륨 함유량 : 40 %이하
- 탄탈륨을 회수하기 위한 재활용 공정 복잡
- 탄탈륨 캐패시터 국내 생산중단



Tantalum capacitor scrap

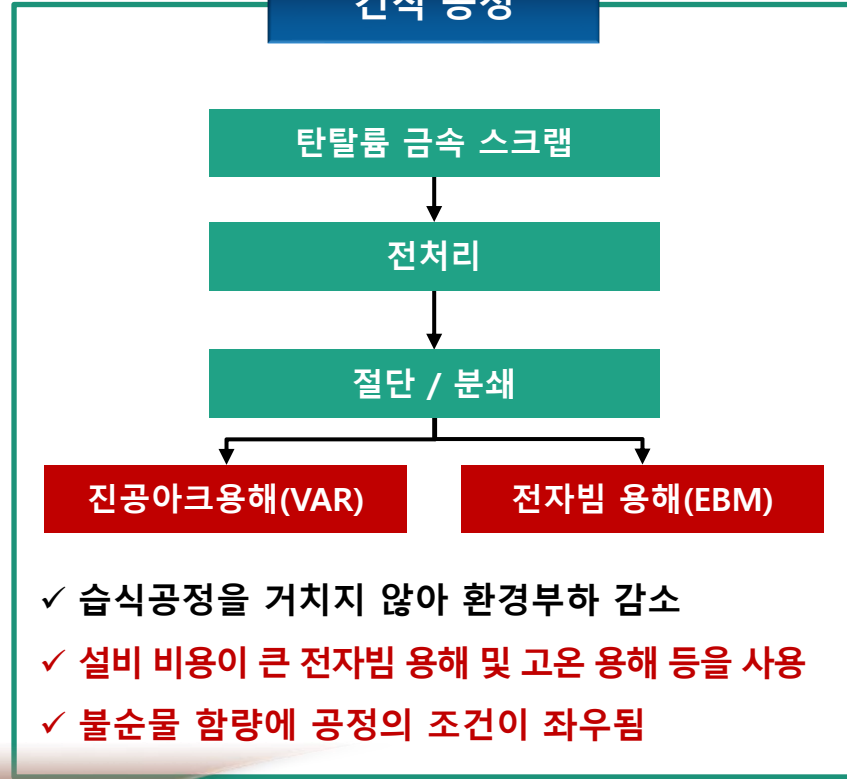
기존 탄탈륨 금속 스크랩 재활용 공정

습식 공정



- ✓ 응용제품에 따라 최적화된 공정 적용 가능
- ✓ 불화물 및 유기용매 사용에 따른 환경부하가 높음
- ✓ 복잡한 공정으로 인한 높은 운영비용

건식 공정



- ✓ 습식공정을 거치지 않아 환경부하 감소
- ✓ 설비 비용이 큰 전자빔 용해 및 고온 용해 등을 사용
- ✓ 불순물 함량에 공정의 조건이 좌우됨

高경제성 (낮은 시설비용 및 에너지 사용) / 고효율

탄탈륨 금속 스크랩 재활용 기술 개발 필요



탄탈륨 금속 스크랩 재활용 기술 비교







공정방법	습식기술 (용매추출)	용해기반기술		분말야금기술
		VAR	EBM	HDH-소결
특징	다양한 응용제품의 적용 가능	합금화 용이 대형주조 가능 용해정련 가능	Feed Stock 제조 편리 합금화 용이 대형주조 가능 용해정련 가능	친환경 공정 / 결정입도 제어 가능 설비투자 / 운영비 낮음
문제점	불산에 의한 환경 오염 / 높은 운영 비용	소모전극 / 제조비 고가	설비 / 운영비 고가	배치 타입 / 합금제조 어려움

습식기술, EBM, VAR 공정 : 환경문제, 설비 가격 등으로 중소/중견 기업에서 적용이 어려움

HDH 공정 : 낮은 설비 투자 비용, 친환경 공정, 저 비용 금속 분말 제조에 적합

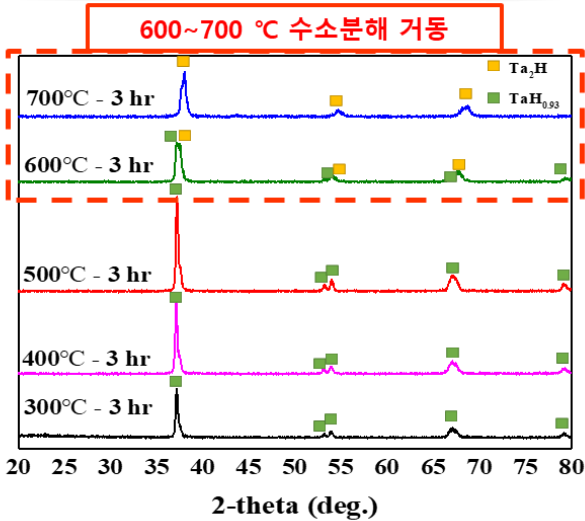


HDH 공정을 이용한 탄탈륨 분말 제조 상용 플랜트 구축

종류	전처리 전 scrap	주요 기술 개발 내용	전처리 완료 scrap
Target Scrap		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Backing plate 제거 기술 ✓ 화학 반응을 통한 이물 제거 기술 ✓ 조분쇄 기술 ✓ 압연 기술 ✓ 최소 비용/ 최대 용량 생산 위한 공정 조건 최적화 	
선삭 Scrap		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 유분제거 기술 ✓ 조분쇄 기술 ✓ 화학 반응을 통한 이물 제거 기술 ✓ 최소 비용/ 최대 용량 생산 위한 공정 조건 최적화 	
Sheet 스크랩		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 물리적 방법을 통한 표면 이물 제거 기술 ✓ 조분쇄 기술 ✓ 최소 비용/ 최대 용량 생산 위한 공정 조건 최적화 	

수소화 조건 최적화 및 분말 공정 최적화

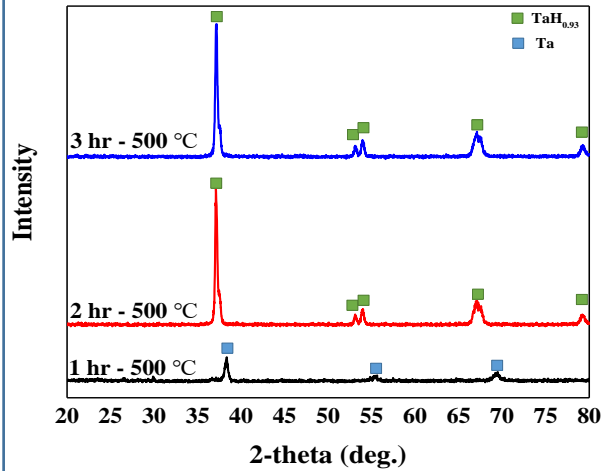
온도에 따른 수소화 거동



[온도변화에 따른 수소화 거동]

- 500°C : 탄탈륨 내의 수소 농도 최대
- 500°C 이상 : 수소 분해 거동 발생
→ 수소화 탄탈륨 생성을 위한 적정 온도 : 500 °C

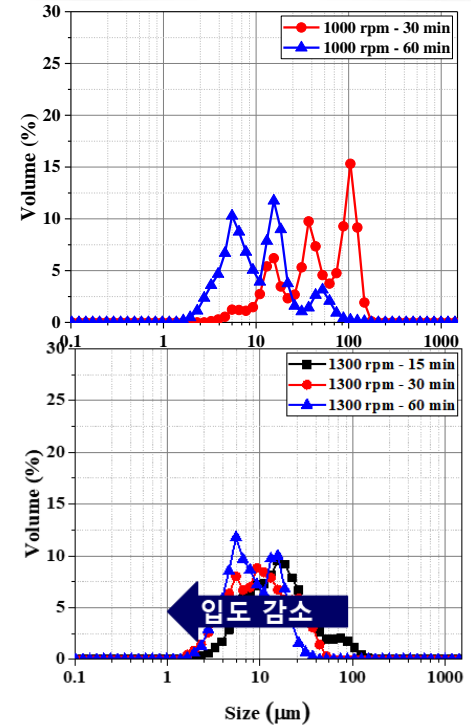
시간에 따른 수소화 거동



[시간변화에 따른 수소화 거동]

- 시간이 증가함에 따라 Ta → TaH_{0.93}으로 상변화 발생
- 수소화 시간이 증가함에 따라 수소농도가 증가하고 분쇄에 용이함

시간에 따른 분쇄 거동

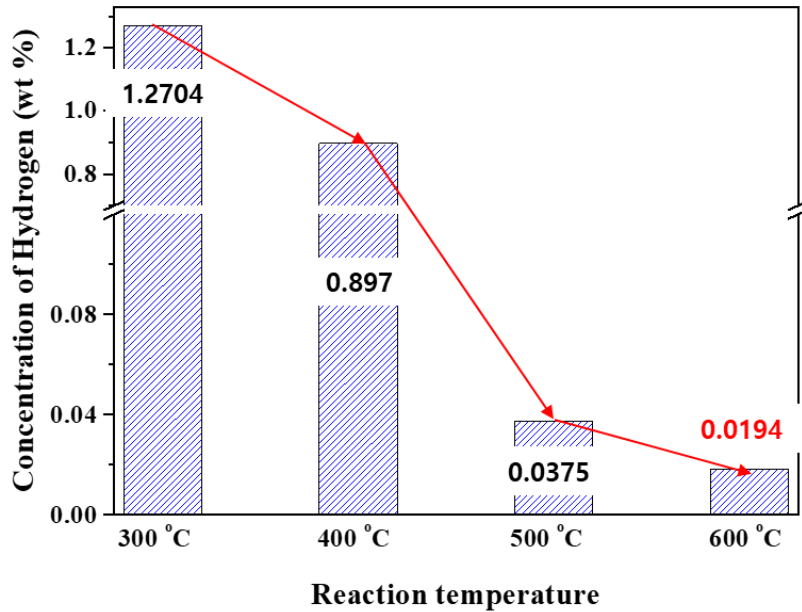


[시간 및 속도 변화에 따른 분쇄 거동]

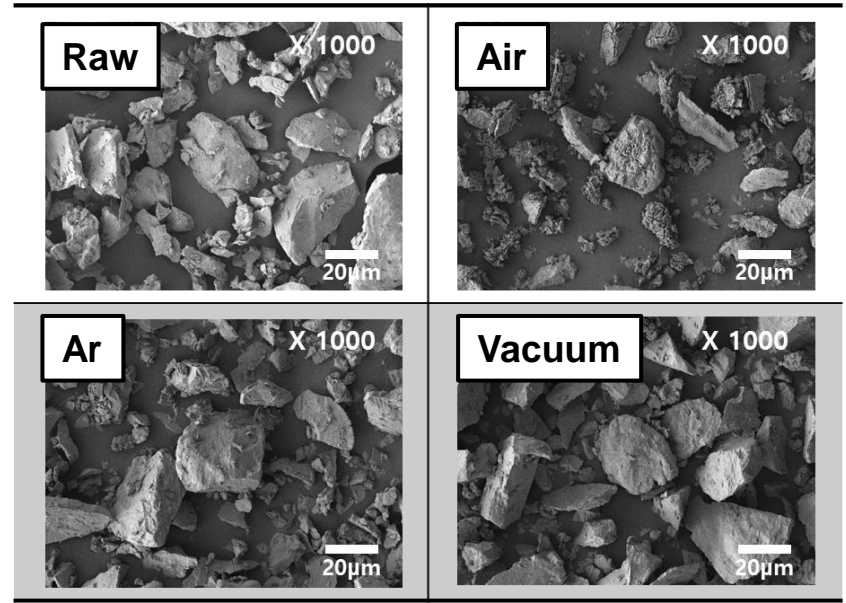
- 기계적 분쇄를 통한 미분 제조
- 분쇄 시간 및 속도 증가에 따른 미분 제조 확인

→ 입도 (D 50) : 10 um 이하 수소화 탄탈륨 분말 제조

탈수소화 조건에 따른 수소농도



[온도변화에 따른 수소농도, Ar분위기/1시간]



[온도변화에 따른 수소농도, Ar분위기/1시간]

- 탈수소화 온도 및 시간 증가에 따라, 수소 농도 감소
- 탈수소화 진행에 따른 분말의 입도 변화 없음
- Air 분위기에서 탈수소화 진행 시, 산화물 형성 및 산소 침입으로 미세화 발생

➔ 수소 농도 : 50 ppm 이하

[온도 조건 : 600°C]

	1시간	5시간
Ar 분위기	194 ppm	54 ppm
저진공	280 ppm	48 ppm

약 20% 감소

Pilot plant를 이용한 Ta 분말 제조



전처리된 Ta 스크랩



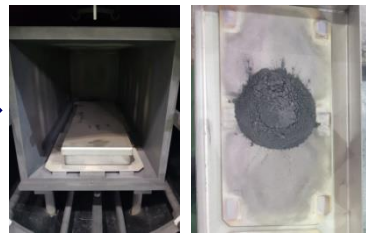
Pilot 급 수소화 장치



수소화 Ta 분쇄 장비
조크러셔, 어트리션밀



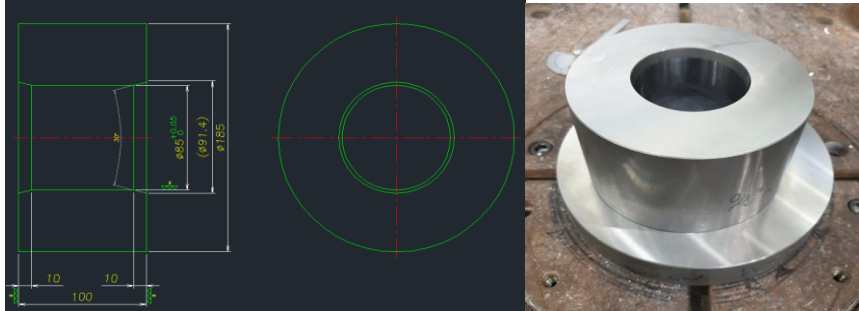
Pilot 급 탈수소화 장치



생산된 Ta 분말

- 장비 구축 내역
 - ✓ 2016년 : Pilot Plant 급 수소화 장치
 - ✓ 2017년 : Pilot Plant 급 탈 수소화 장치(고진공 분위기)
 - ✓ 2018년 : Pilot Plant 급 분쇄용 어트리션밀
- 전처리된 스크랩을 활용한 탄탈륨 분말 제조 상용화 공정 구축

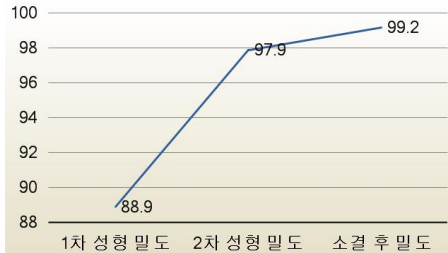
탄탈륨 타겟 제조 공정 기술



[1차 성형용 금형]



[최종 제조된 타겟]



[공정별 타겟 밀도]

- CIP성형 후 밀도수치가 이론 밀도 대비 97% 이상 달성
- 2000°C 5MPa 진공가압소결
- 소결후 이론 밀도 대비 99% 이상 달성
- 밀도 상 타겟 사용 가능

3D 프린팅용 탄탈륨 분말 개발

- 현재 탄탈륨은 항공/우주용 제트엔진 연소 부품으로 사용
- 항공/우주용 부품의 특성상 경량 부품의 요구에 따라 탄탈륨의 단점인 높은 비중을 극복하기 위한 부품 제조 방법 중 하나로 3D 프린팅 공정을 통한 부품 제조 연구가 활발히 진행 중
- 3D 프린팅 공정에 적용하기 위해서 탄탈륨 분말의 구형화 기술 필요

- ◆ Tantalum is a rare metal that belongs to the group 5A elements and exists in a body centered equilibrium phase (α -Ta) and the metastable tetragonal (β -Ta) phase.
- ◆ High density (16.69 g/cm³), high melting point (2996 °C), good resistance to oxidation and biocompatibility
- ◆ Applied in aerospace, electronics, biomedical and power plant

Nuclear fusion reactor



Problems

- Difficult to manufacture the shape
- Production unit price increases due to material loss caused by post-processing

Solution

Additive Manufacturing – Selective Laser Melting

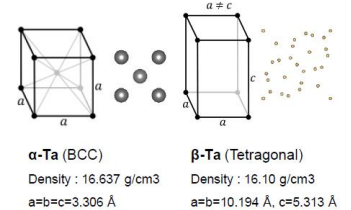
- ◆ Near-net-shape fabrication
- ◆ Manufacture in pure materials without impurities

Purpose of this research

Study on the crystallographic characteristics of pure tantalum depending on the SLM process parameters



Jet Engine Combustor Parts



[탄탈륨의 항공/우주용 제트엔진 연소 부품 개발 연구 사례]

감사합니다



Certificate
of New Excellent Technology
by Ministry of Knowledge Economy



GOD DESIGN



Certificate
of New Excellent Technology
Venture Business



Certificate of ISO 9001:2000



Korea International
Trade Association Member



Material Technical Innovation Group