

우주의 조약돌

우주 쓰레기 재활용을 위한 우주 재활용 센터 구상

우주의 조약돌 3기 5팀 디딤돌

배소율 | 이정안 | 손우진 | 이지환 | 오은성

멘토 이하늘



우주의 조약돌
3기 5팀
디딤돌
 우주 재활용 센터 구상





이하늘

멘토

LEE SKY



배소율

BAE SO YUL



손우진

SON WOOJIN



오은성

OH EUN SUNG



이정안

LEE JUNG AN



이지환

LEE JI HWAN

우주
의 조약들

목 차



001

연구 동기



002

연구 목표



003

문제 정의



004

해결 방안



005

연구 결론

001 연구 동기

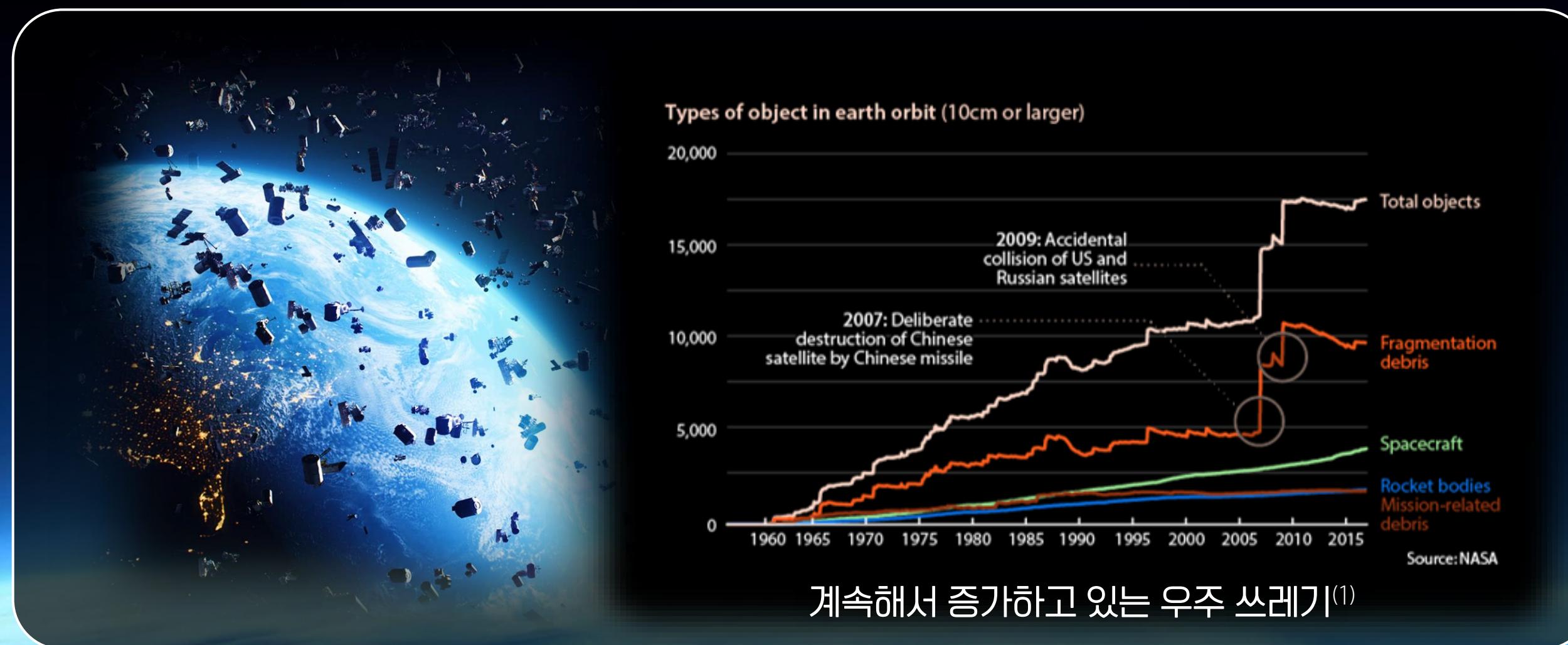


연구 동기

1954년 인류가 최초로 스푸트니크 1호를 발사하는 순간부터,

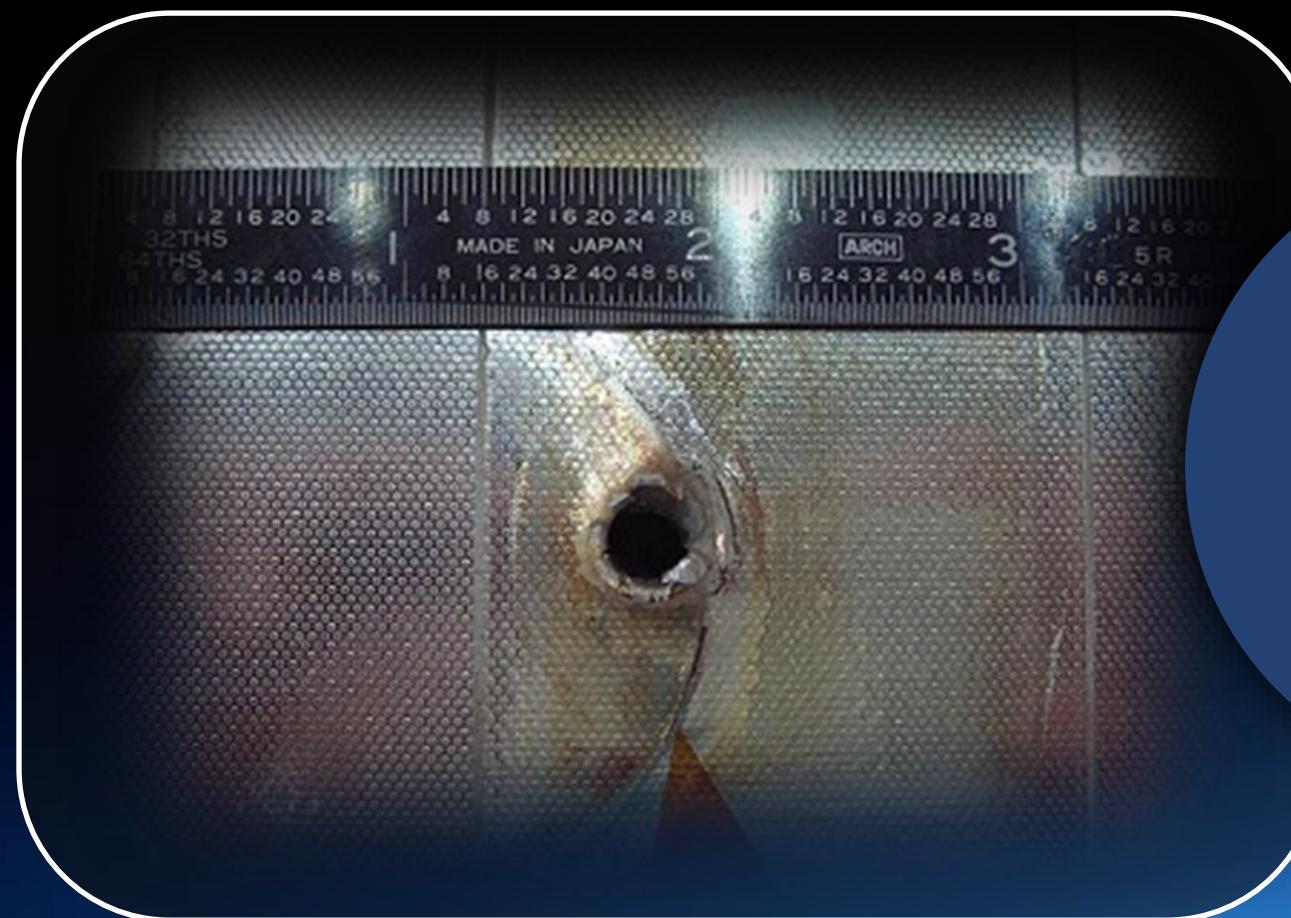
우주 쓰레기는 지속적으로 증가하고 있다.

60년 이상의 우주 활동에서 6,050회 이상의 발사로 궤도에 축적된 물체가 약 56,450개 생성되었으며
오늘날 온전하고 작동하는 위성은 소수(약 4,000개)에 불과하다.



연구 동기

우주 쓰레기는 우주에서도, 지구에서도 큰 위협이 될 수 있다
또한 경제적 가치는 **약 9.4조**에 달한다



우주 파편의 피해를 입은 스페이스 셔틀 엔데버⁽²⁾



총알보다 평균
8배 빠른
우주 쓰레기



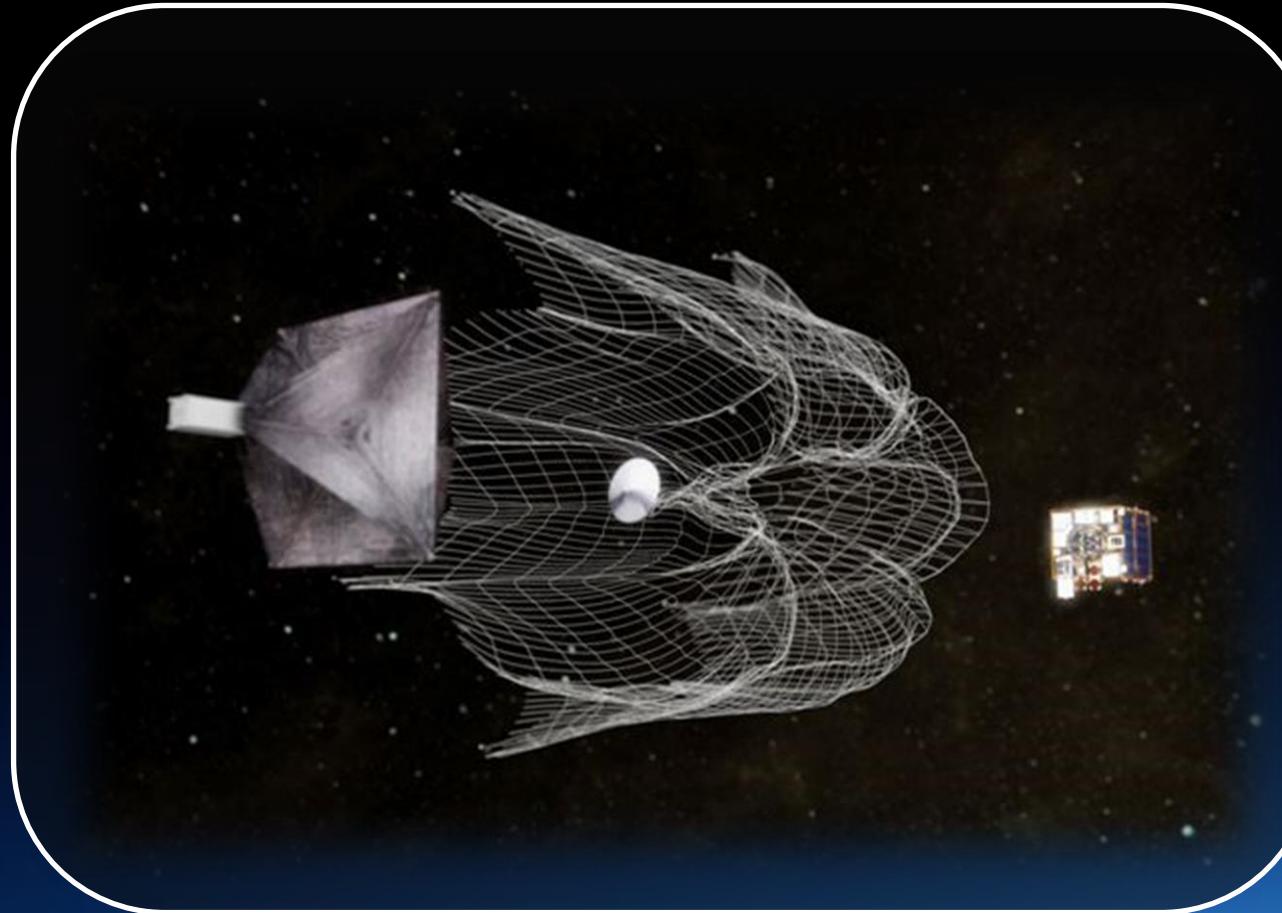
수백만 개의 우주 쓰레기⁽³⁾



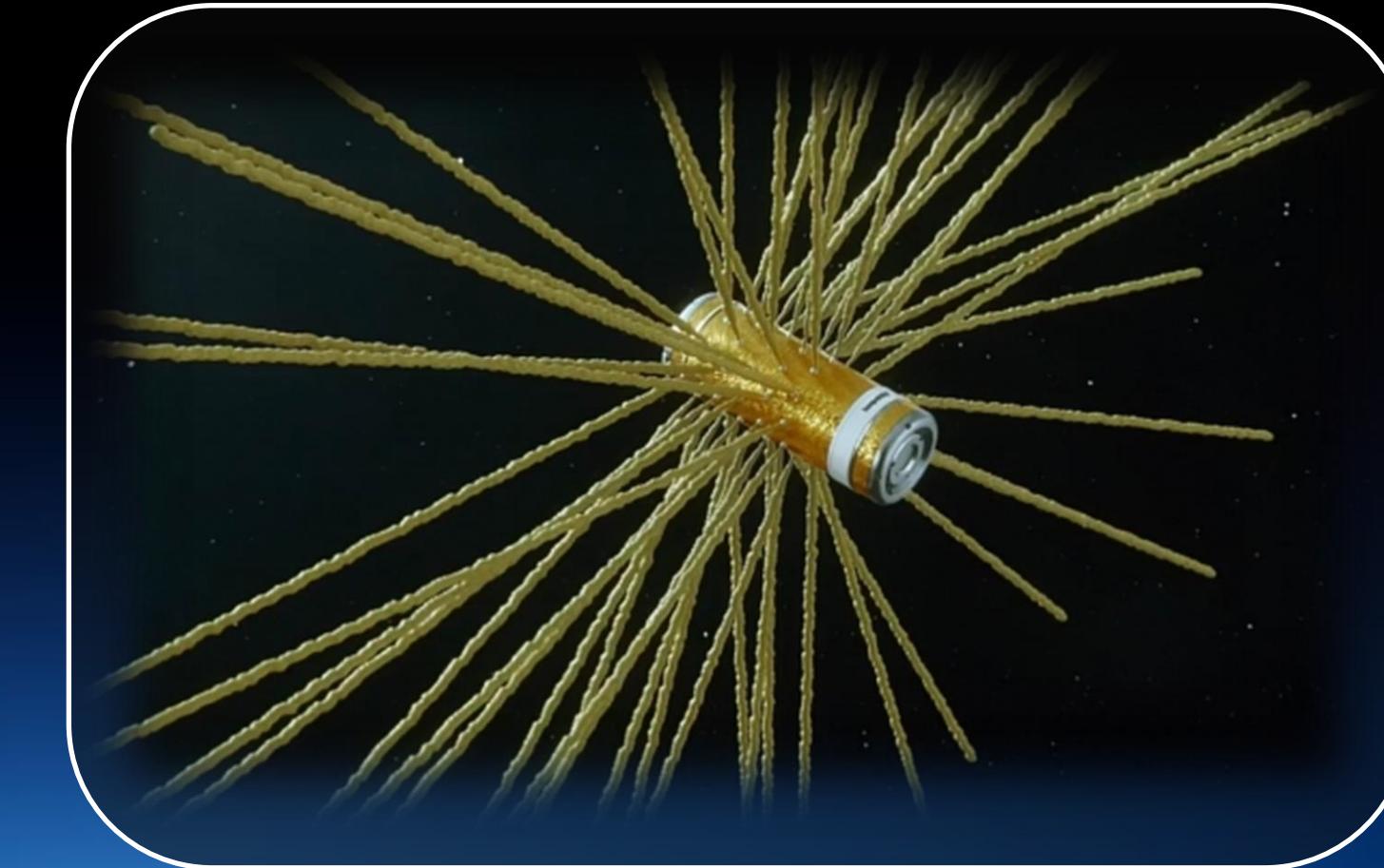
우주 쓰레기의
연쇄적 충돌
“케슬러 신드롬”

연구 동기

이미 우주 쓰레기 문제를 인식한 나라들은 여러 기술들을 고안해 쓰레기를 수집하고 있다



그물을 이용한 우주 쓰레기 청소 위성⁽⁴⁾



끈끈이 거미줄 위성을 이용한 우주 쓰레기 포획⁽⁵⁾

하지만 대부분 포집된 우주 쓰레기를 지구로 떨어뜨려 소각하는 방법들만 고려되고 있다.
이렇게 엄청난 비용을 투자해 쏘아 올린 자원들을 바로 폐기하는 게 아니라, 재활용할 수 있다면 어떨까?

002 연구 목표



연구 목표

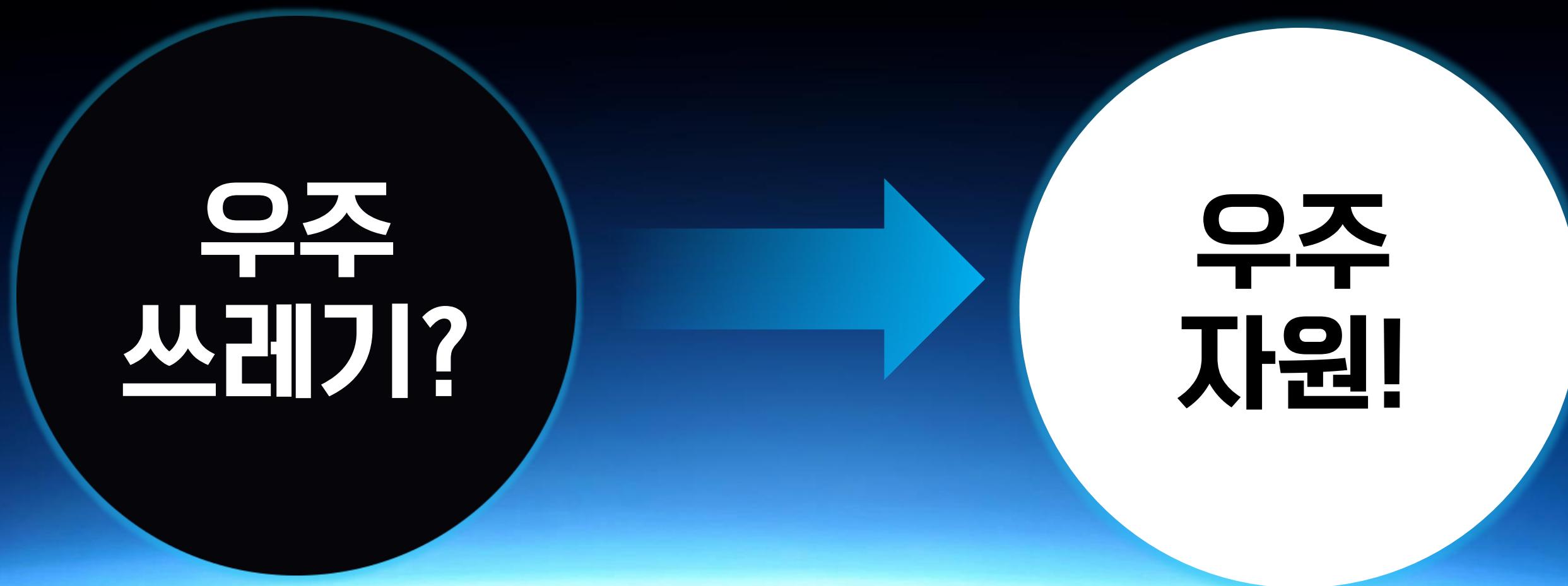
우주 쓰레기를 재활용할 수 있는 우주 정거장을 만들자!
SRF: Space Recycling Factory



연구 목표

순환형 재활용 프로세스 구축으로
[지속 가능한] 우주 쓰레기 자원화 시스템 구현

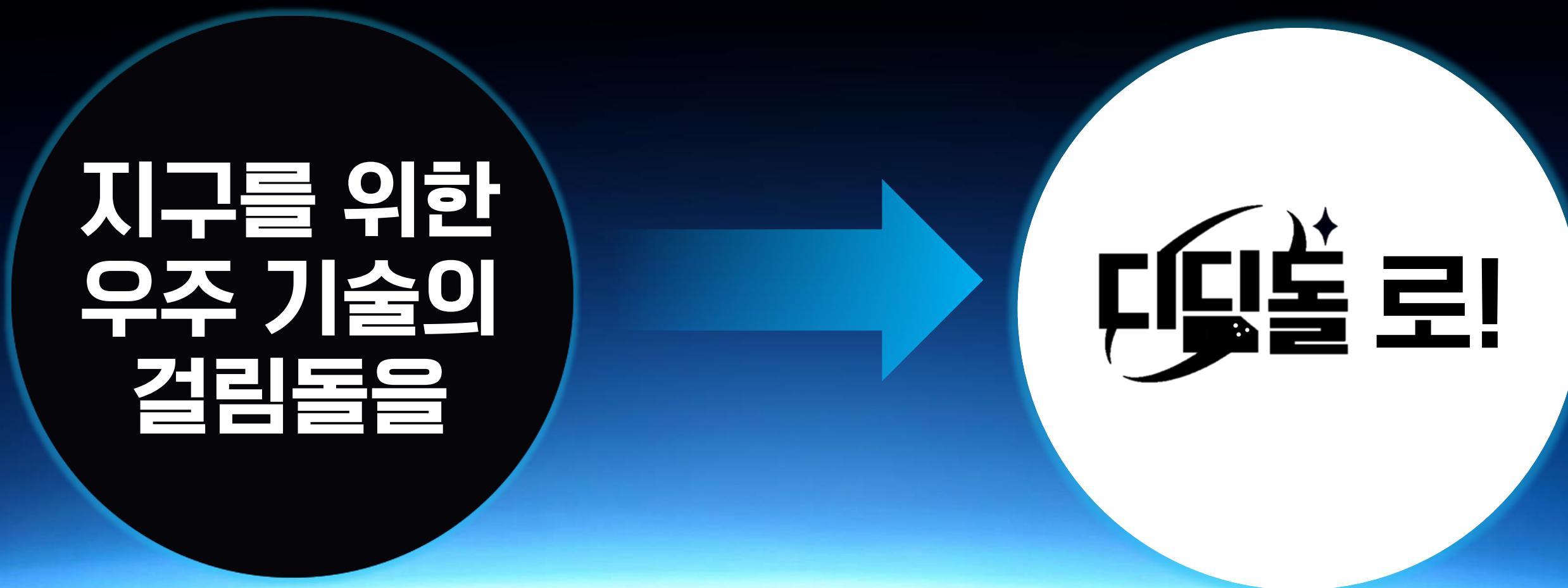
외부로부터 원자재 등을 수입하지 않고,
자체적인 능력으로 서비스나 물건을 생산하는 시스템



연구 목표

순환형 재활용 프로세스 구축으로
[지속 가능한] 우주 쓰레기 자원화 시스템 구현

외부로부터 원자재 등을 수입하지 않고,
자체적인 능력으로 서비스나 물건을 생산하는 시스템



003 문제 정의



문제 정의

우리가 우주 쓰레기 재활용 센터를 만들 때, 어떤 문제점이 있을까?

Qestion.01

우주 쓰레기를 어떻게
포집할 수 있을까?

Qestion.02

시스템을 구동하는 에너지는
어떻게 얻을 수 있을까?

Qestion.03

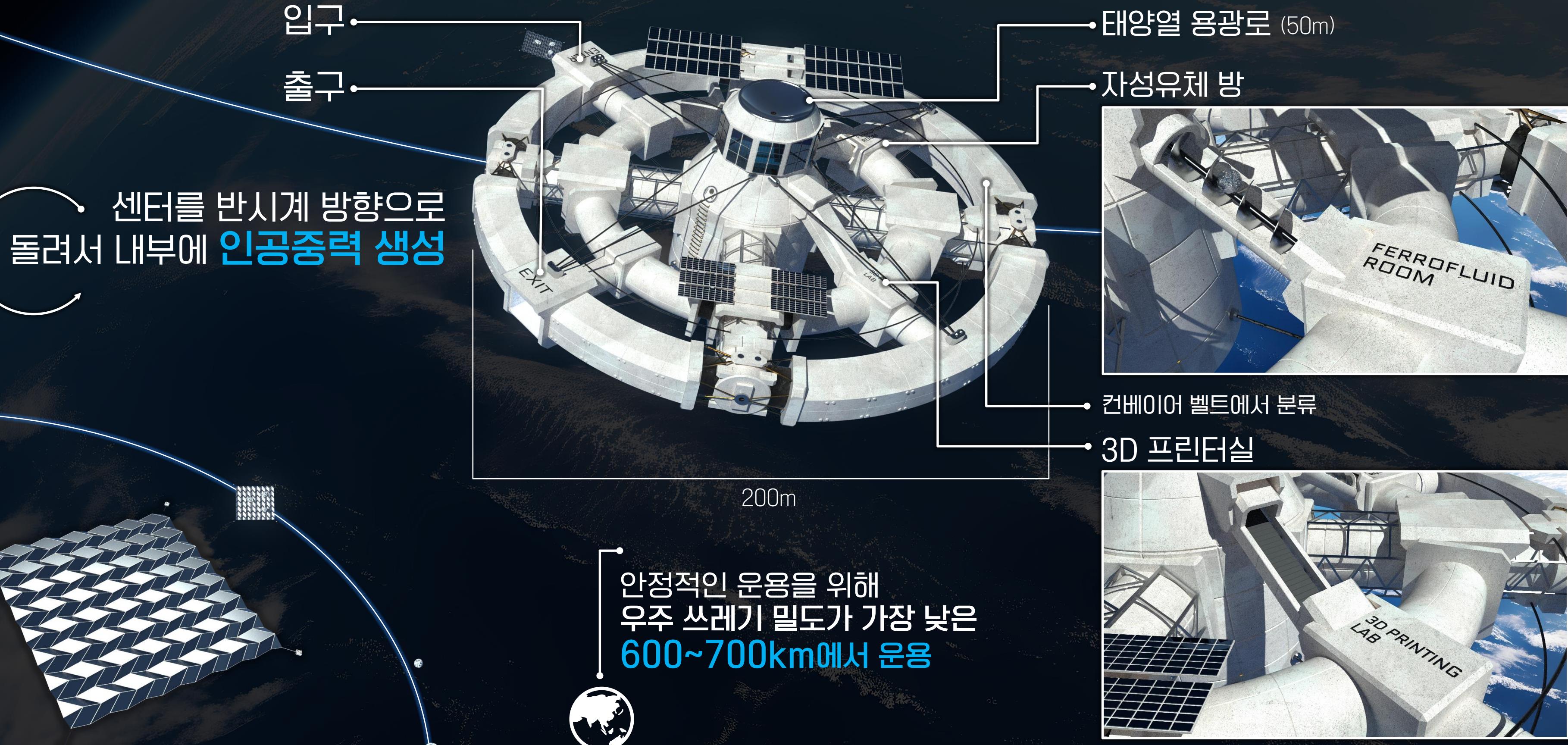
포집된 쓰레기들은 여러 물질들이
섞여 있을 텐데 어떻게 구별할까?

Qestion.04

재활용 시스템을 어떻게 설계해야 할까?



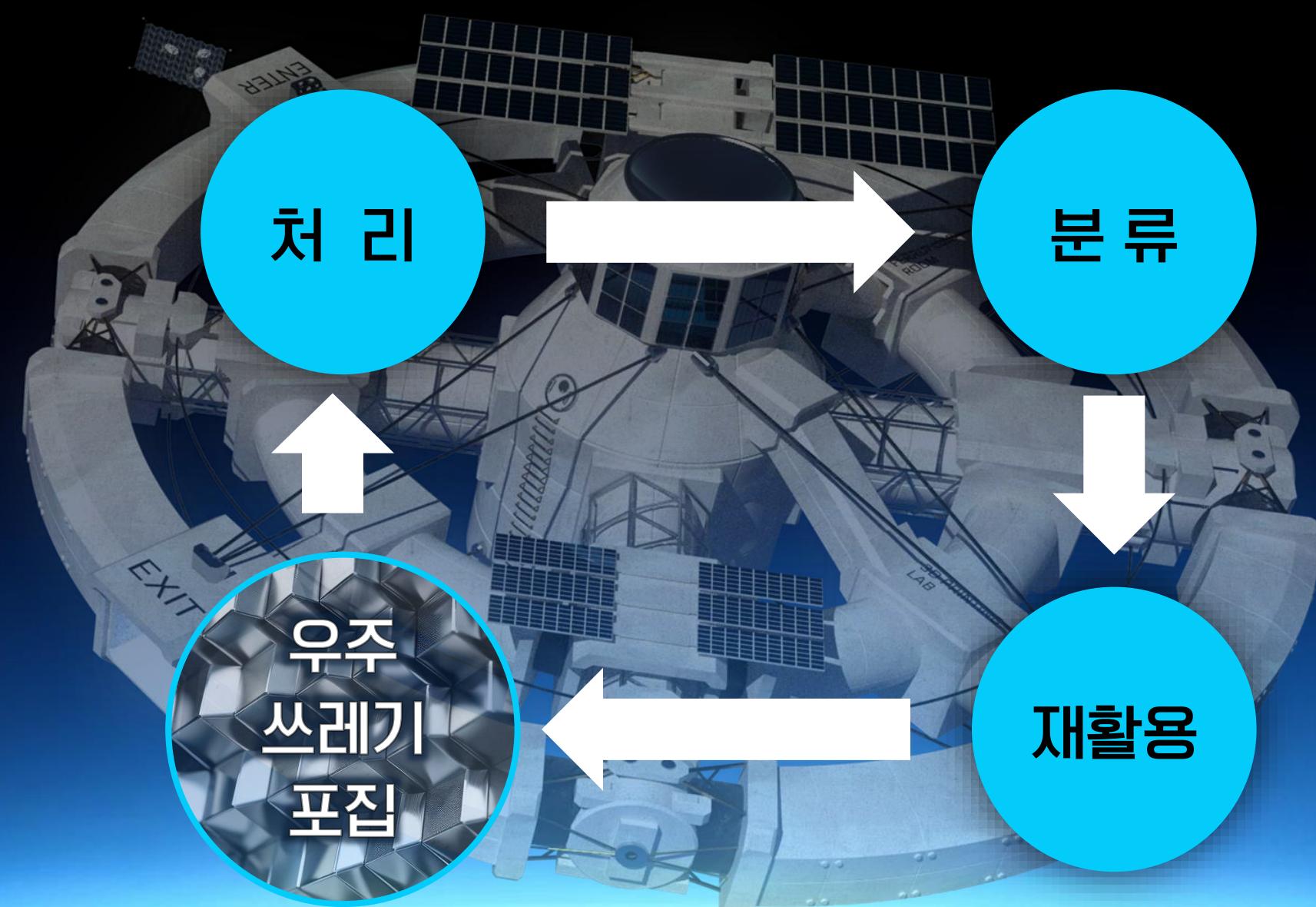
문제 정의 우주 쓰레기 재활용 센터(SRF)의 구조는?



문제 정의

우주 쓰레기 재활용 센터(SRF)의 순환형 시스템

노후화 방지 및 자원 재활용적 측면에서 긍정적!



004 해결 방안



Q1. 우주 쓰레기를 어떻게 포집할 수 있을까?

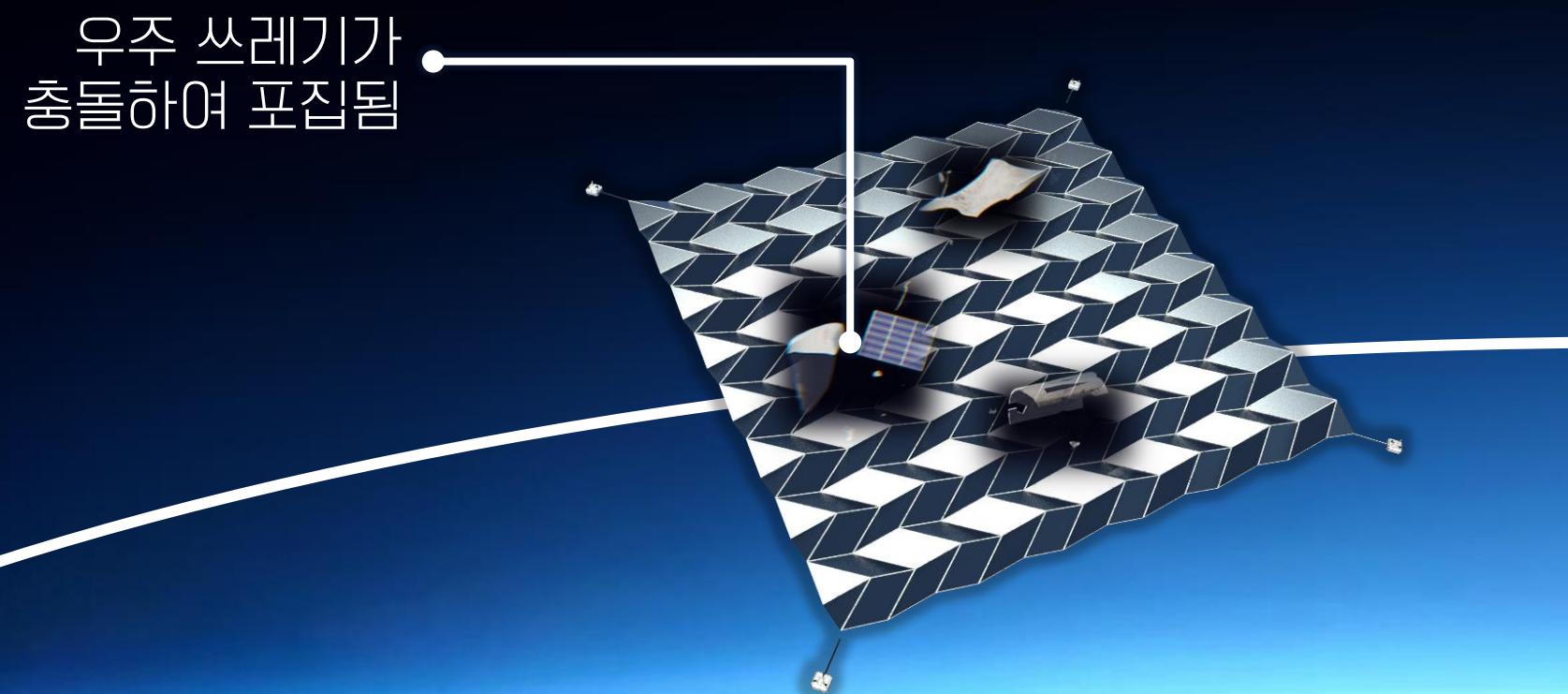
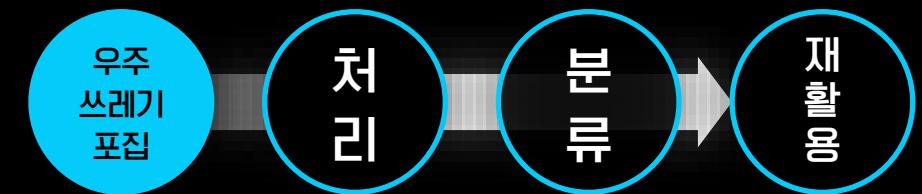
문제 1 해결 방안: 우주 쓰레기 포집

충돌형 우주 쓰레기 포집기 구상

수집할 쓰레기: 10cm 이하의 우주 쓰레기들

- 충돌형 포집기는 그물이나 끈끈이 구조로는 수집하기 힘든 10cm 이하의 우주쓰레기를 포집하는 데 유용
- 우주 쓰레기가 가장 많은 750~1000km 고도에서 운용

궤도를 돌고 있는 우주 쓰레기 파편들⁽⁶⁾

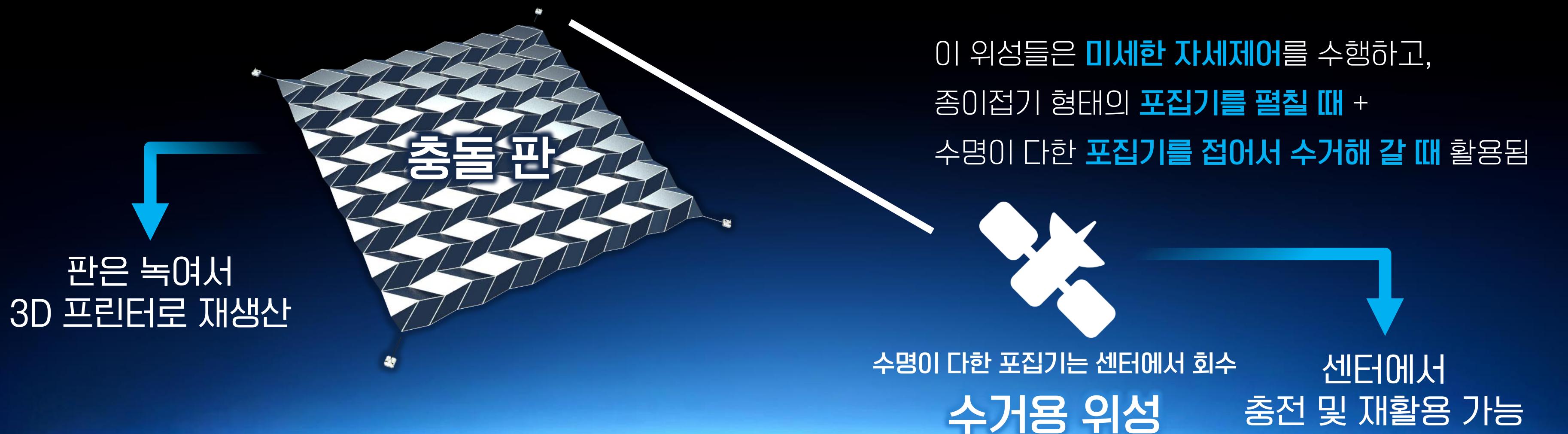


Q1. 우주 쓰레기를 어떻게 포집할 수 있을까?

문제 1 해결 방안 : 우주 쓰레기 포집

충돌형 우주 쓰레기 포집기 구상

- 충돌 판과 수거형 위성

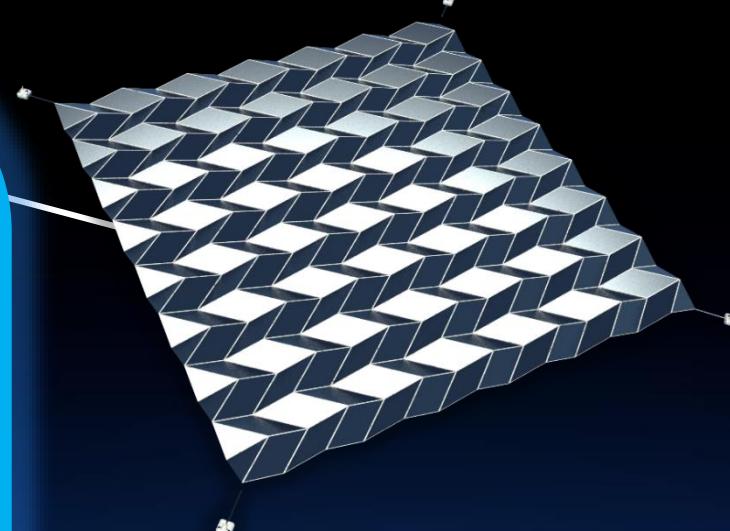
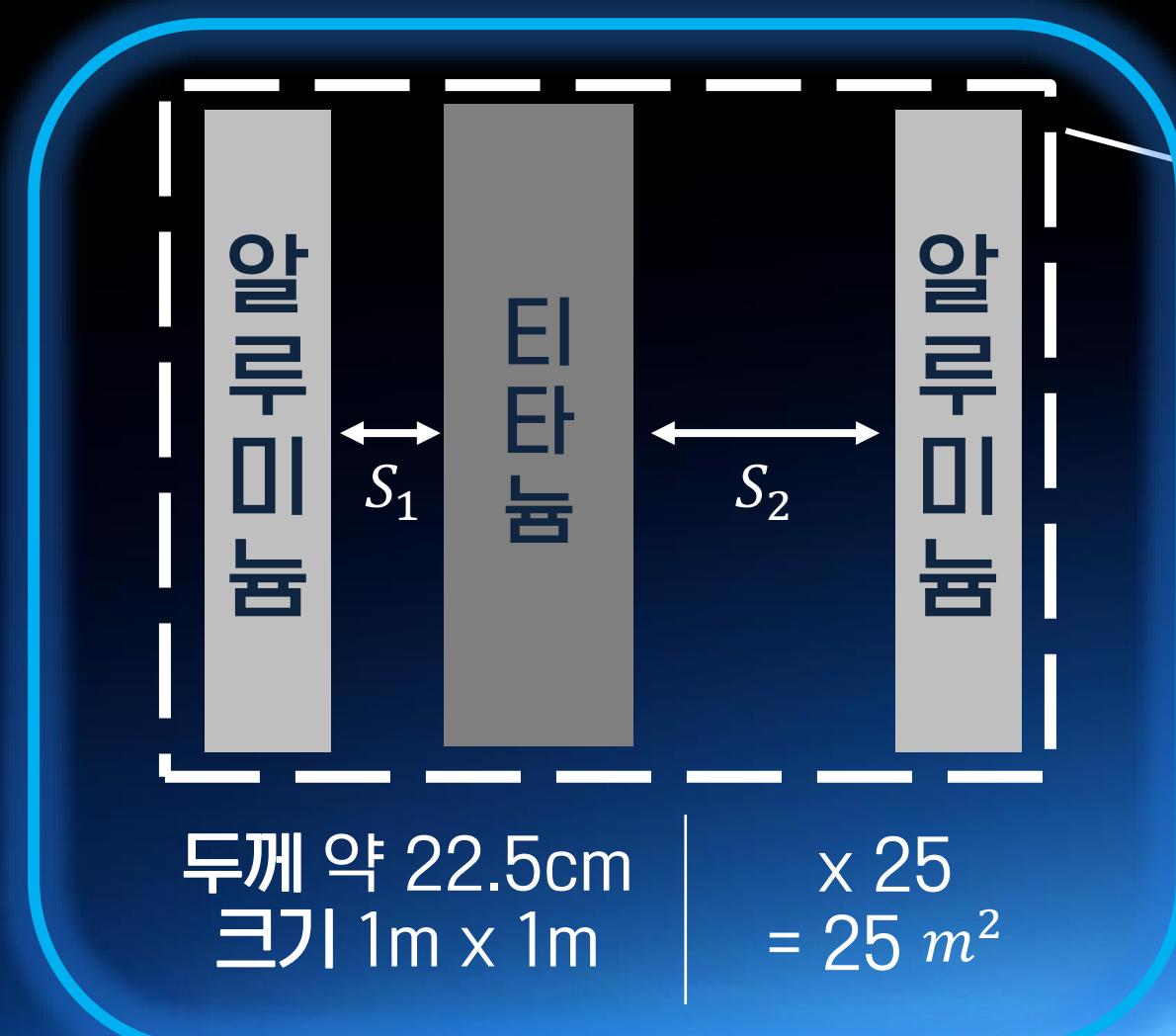


Q1. 우주 쓰레기를 어떻게 포집할 수 있을까?

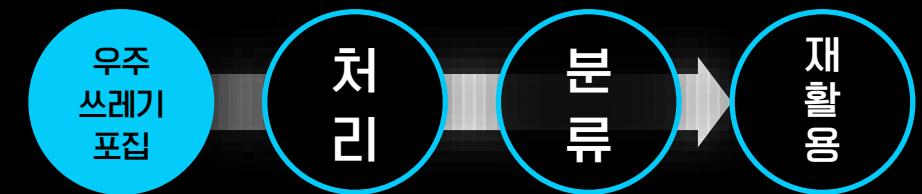
문제 1 해결 방안 : 우주 쓰레기 포집

충돌형 우주 쓰레기 포집기 구상

- 포집기의 구조는?



- 알루미늄-티타늄-알루미늄 3층, 전체는 종이접기⁽⁷⁾ 구조
- 궤도 상에 설치하고 우주 쓰레기가 충돌하여 포집되는 방식



Q1. 우주 쓰레기를 어떻게 포집할 수 있을까?

문제 1 해결 방안: 우주 쓰레기 포집

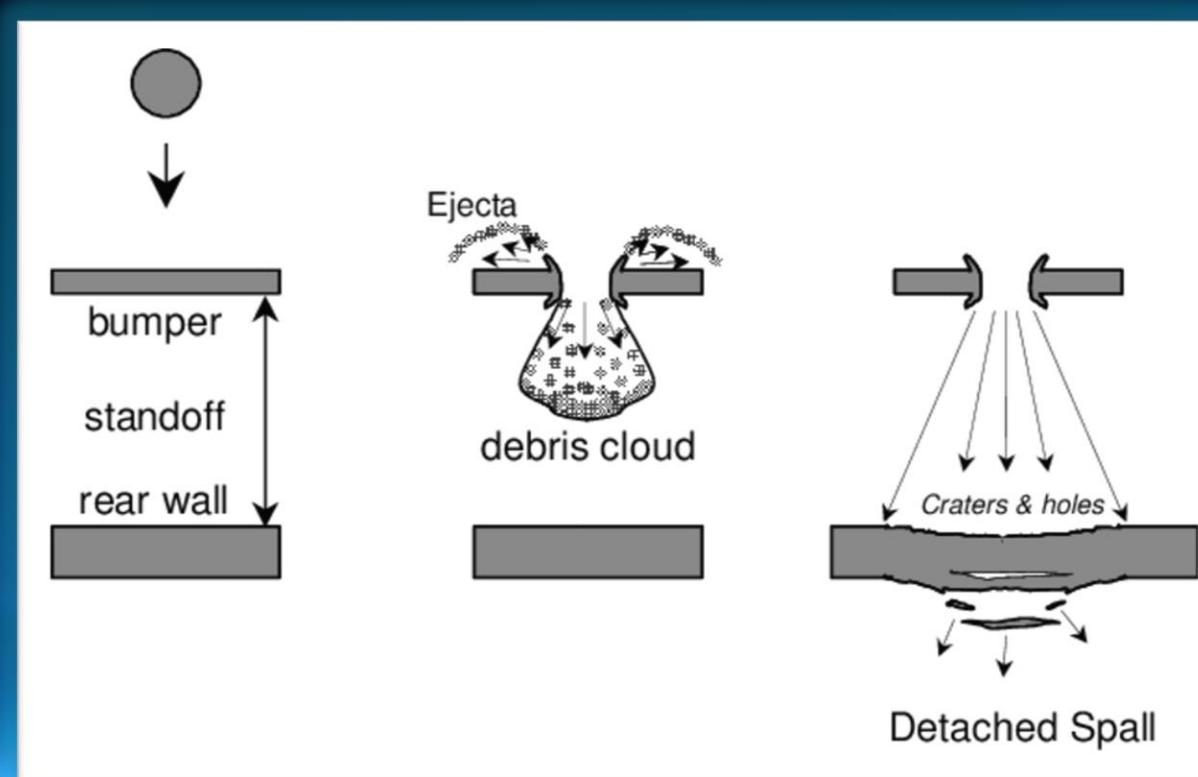
충돌형 우주 쓰레기 포집기 구상

수집할 쓰레기: 10cm 이하의 우주 쓰레기들

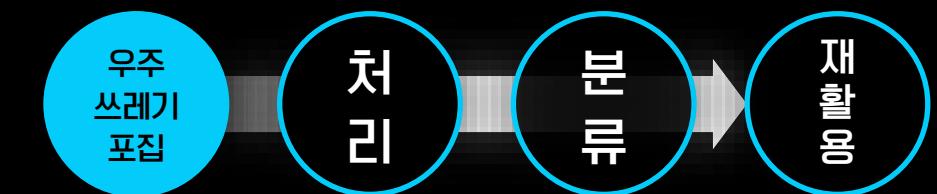
- 3중 구조를 사용하는 이유?

우주 잔해물의 충격을 방어하는데 널리 사용되는 기존 Whipple Shield⁽⁸⁾는 2중 구조

하지만 매우 작고 고속의 미립자가 아니면 방어에 취약함



우리는 이를 발전시킨 3중 구조인
ESA Triple Wall Equation⁽⁹⁾ 이용하여 설계



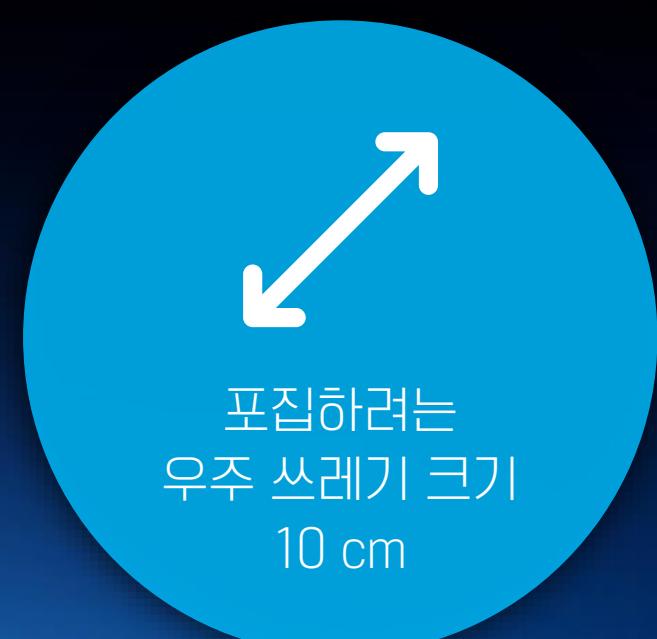
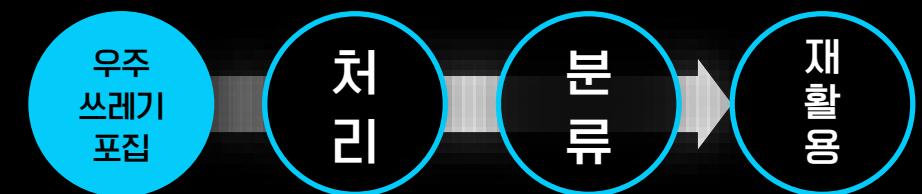
Q1. 우주 쓰레기를 어떻게 포집할 수 있을까?

문제 1 해결 방안: 우주 쓰레기 포집

충돌형 우주 쓰레기 포집기 구상

수집할 쓰레기: 10cm 이하의 우주 쓰레기들

- ESA Triple Wall Equation⁽⁹⁾ 을 이용한 검증



Q1. 우주 쓰레기를 어떻게 포집할 수 있을까?

문제 1 해결 방안: 우주 쓰레기 포집

충돌형 우주 쓰레기 포집기 구상

수집할 쓰레기: 10cm 이하의 우주 쓰레기들

- ESA Triple Wall Equation⁽⁹⁾ 을 이용한 검증
- 목표 $d_c(v)$ 값: 10 cm 직경의 우주 쓰레기

$$\frac{d_c(v)}{\text{포획하고자 하는 우주 쓰레기의 직경}} = \frac{1.155 \cdot (S_1^{1/3} \cdot (t_b + K_{tw} \cdot t_w)^{2/3} + K_{S2} \cdot S_2^\beta \cdot t_w^\gamma \cdot (\cos\theta)^{-\varepsilon} \cdot (\frac{\sigma_{y,ksi}}{70})^{1/3}}{K_{3D}^{2/3} \cdot \rho_p^{1/3} \cdot \rho_{ob}^{1/9} \cdot v^{2/3} \cdot \cos\theta^\delta}$$

포획하고자 하는
우주 쓰레기의 직경

- 논문 참고 값

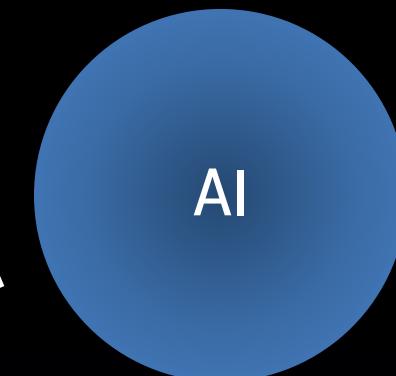
$$\delta = \frac{4}{3}, \varepsilon = \frac{8}{3}, \beta = \frac{2}{3}, \gamma = \frac{1}{3}$$

$$K_{3D} = 0.16, K_{S2} = 0.1, K_{tw} = 1.5$$

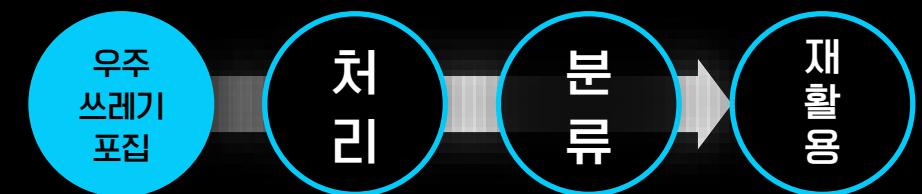
- 알루미늄과 티타늄의 항복 응력

$$\text{Al: } \sigma_{y,ksi} \approx 47 \text{ ksi,}$$

$$\text{Ti: } \sigma_{y,ksi} \approx 128 \text{ ksi}$$



우주 쓰레기를 알루미늄의
구 형태로 가정하고 계산



- $\theta : 0^\circ$ (수직 충돌 가정)
- $v : 7.42 \text{ km/s}$
- S_1, S_2 : 판 사이의 간격
- t_{ob}, t_b, t_w : 1, 2, 3층의 두께
- 1층 판의 밀도 (Al) $\rho_{ob} = 2.7 \text{ g/cm}^3$
- 우주 쓰레기 밀도 $\rho_p = 2.7 \text{ g/cm}^3$

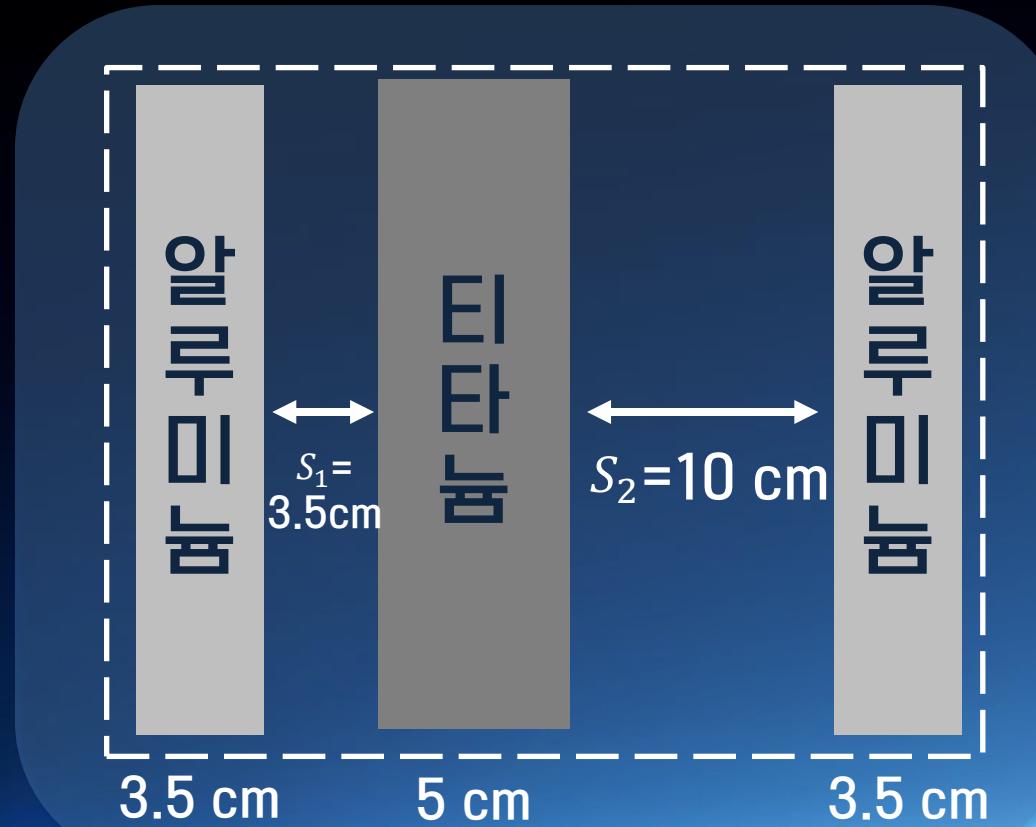
Q1. 우주 쓰레기를 어떻게 포집할 수 있을까?

문제 1 해결 방안 : 우주 쓰레기 포집

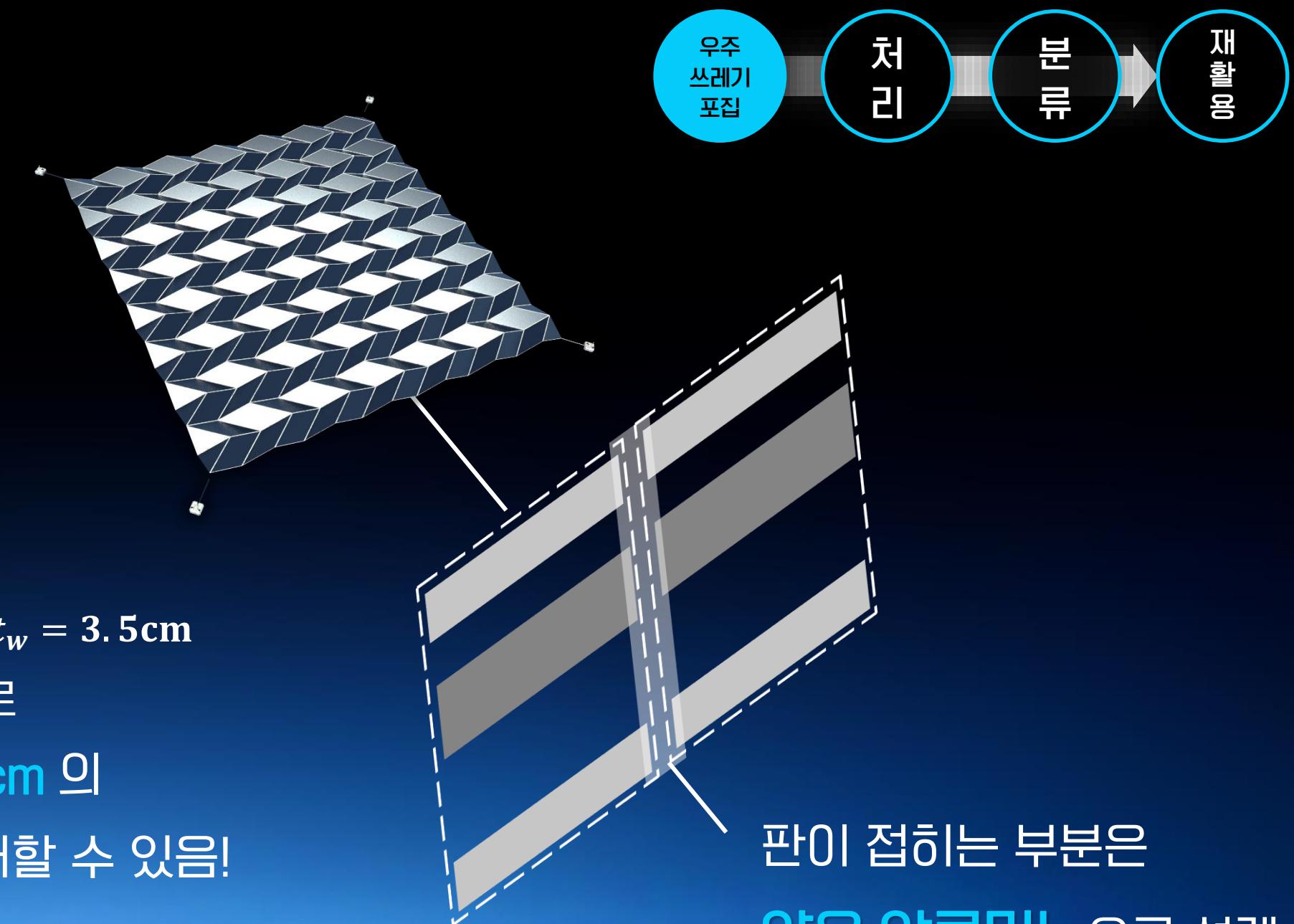
충돌형 우주 쓰레기 포집기 구상

수집할 쓰레기: 10cm 이하의 우주 쓰레기들

- ESA Triple Wall Equation⁽⁹⁾ 을 이용한 검증
- 목표 $d_c(v)$ 값: 10 cm 직경의 우주 쓰레기



수직 충돌을 가정했을 때,
 $t_{ob} = 3.5\text{cm}$, $t_b = 5\text{cm}$, $t_w = 3.5\text{cm}$
 $s_1 = 3.5\text{cm}$, $s_2=10\text{cm}$ 로
설계하면 $d_c(v)=10.52\text{cm}$ 의
우주 쓰레기까지 방어할 수 있음!

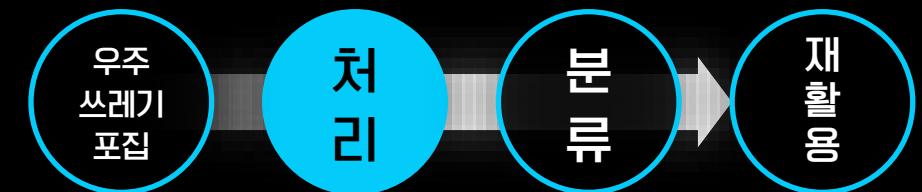


Q2. 시스템을 구동하는 에너지는 어떻게 얻을 수 있을까?

문제 2 해결 방안 : 시스템 구동 에너지

우주 쓰레기를 녹일 수 있는 태양광 용광로

- 파라볼릭 미러(반사경)을 사용한 태양열 집약 시스템
- 용광로 재질 : 텅스텐 (녹는점이 약 3,422도, 고온에서 열적 안정성 뛰어남)
→ 티타늄 녹는점(1,668도)까지 충분히 도달 가능할까?



태양광 용광로 도달 온도 검증 ($P = \sigma AT^4$) σ : 슈테판-볼츠만 상수

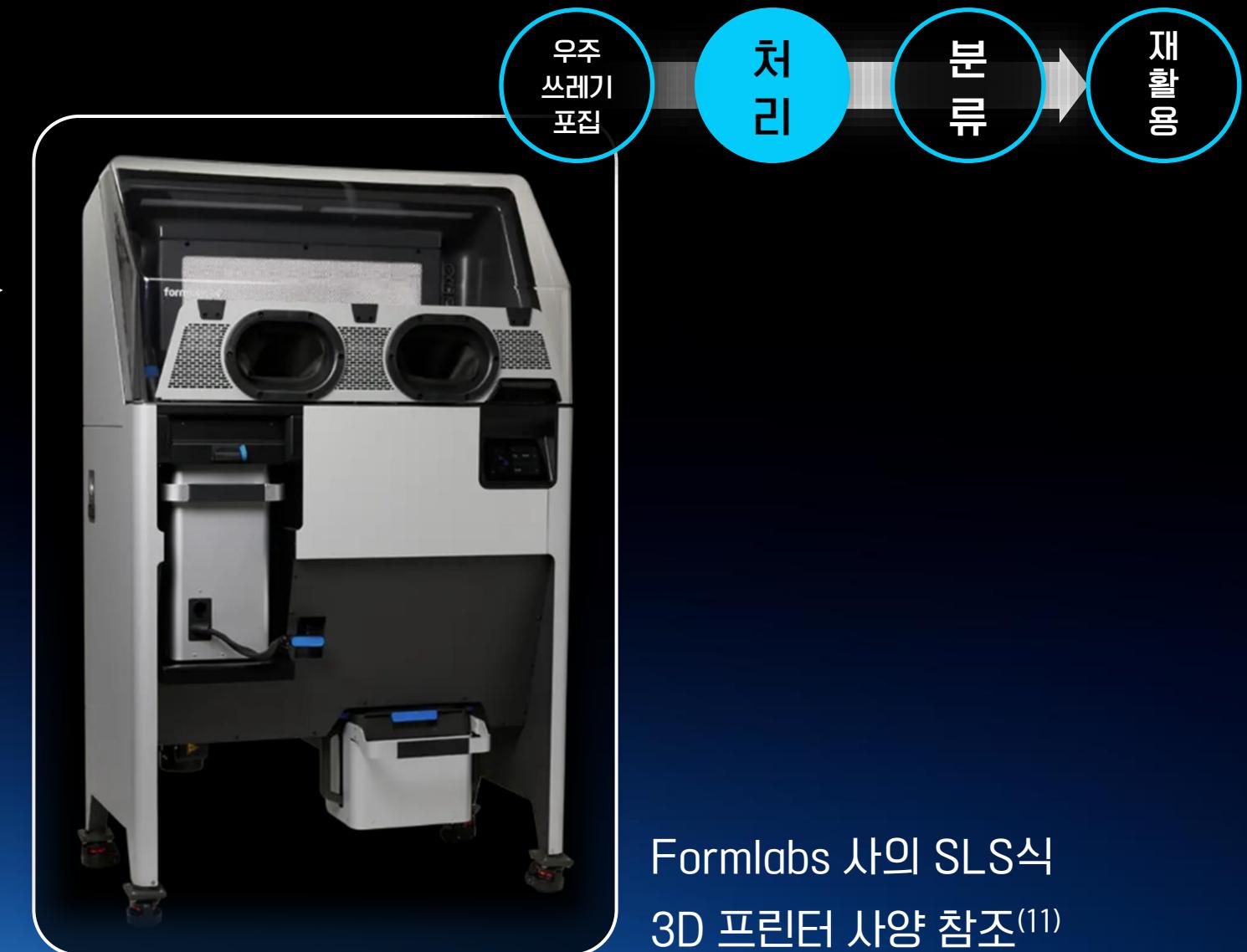
- 직경이 55m인 원형 용광로의 면적은 $A = \pi(\frac{50}{2})^2 \approx 1963.5 \text{ m}^2$
- 태양 입사 에너지는 $P_{in} = 1361W/m^2 \cdot A \approx 2672.32 \text{ kW}$
- $T = 2273.15K$ 일 때 필요한 방출 에너지는 $P_{re} = \sigma AT^4 = 5.67 \times 10^{-8} \times 1963.50 \times (2053.15)^4 \approx 1976.92 \text{ kW}$
- $P_{in} > P_{re}$ 이므로 용광로가 1780도에 도달할 때의 여유 에너지 $P_{in} - P_{re} = 695.40 \text{ kW}$
 - 이때, 여유 에너지는 ESS(Energy Storage System)에 저장해 두고 사용⁽¹⁰⁾

Q2. 시스템을 구동하는 에너지는 어떻게 얻을 수 있을까?

문제 2 해결 방안 : 시스템 구동 에너지

SRF 구동에 필요한 전력

- 금속 3d 프린터의 평균 전력 소비량:
 $(1.8 \text{ kW} + 10 \text{ kW}) \times 25\text{개} = 295 \text{ kW}$ →
- 자성유체와 제어 장비의 평균 전력 소비량:
약 10 kW로 가정
- 태양열 용광로의 평균 전력 소비량:
비일광 시간 (33분) 동안 온도 유지가 필요하므로, 962.04 kW가 필요
- 기타 제어 장비의 평균 전력 소비량:
약 0.05 kW로 가정



Formlabs 사의 SLS식
3D 프린터 사양 참조⁽¹¹⁾

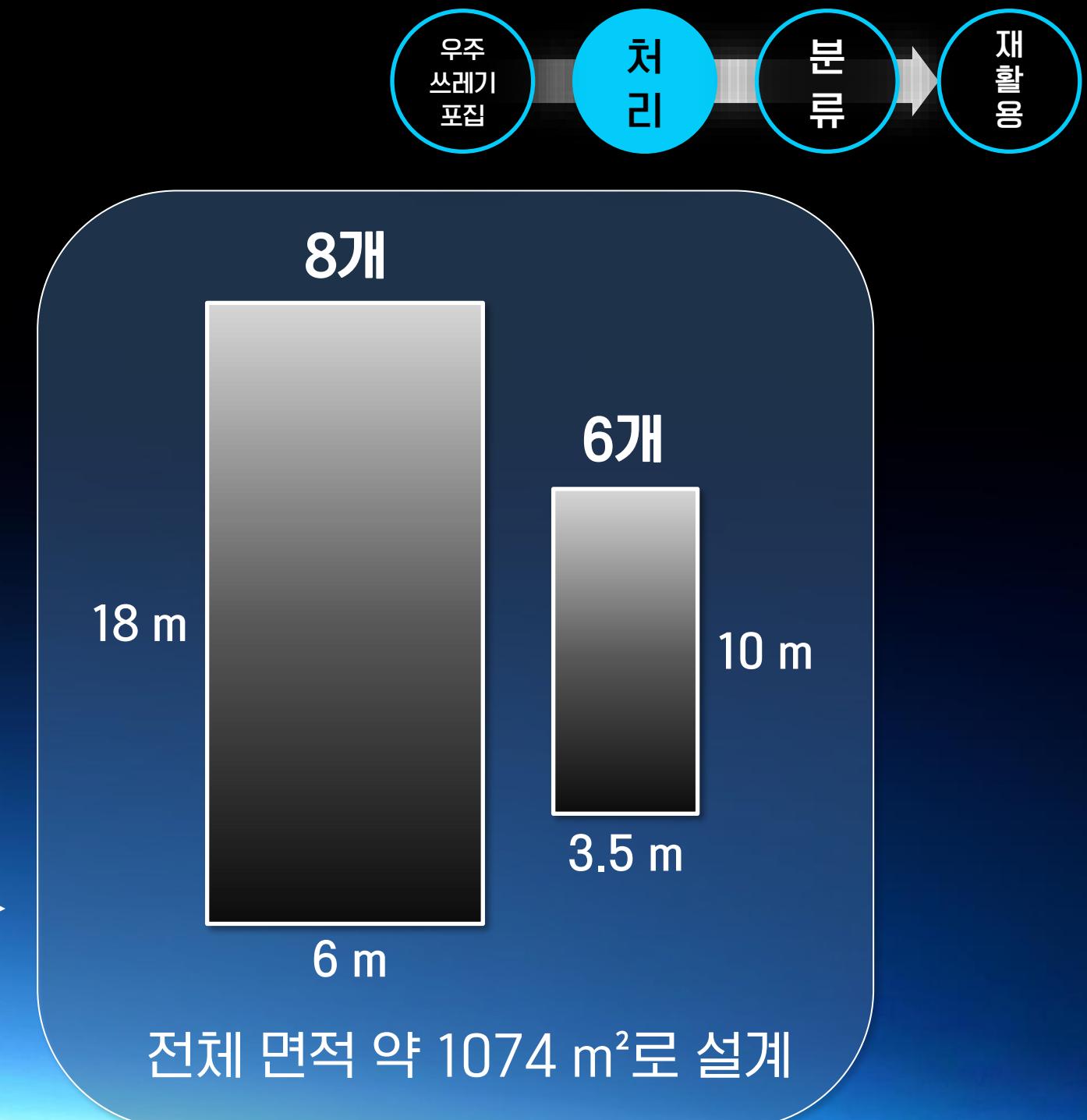
태양열 용광로로부터의 잉여 에너지를 제외하면, 총 572 kW 정도의 에너지가 더 필요함

Q2. 시스템을 구동하는 에너지는 어떻게 얻을 수 있을까?

문제 2 해결 방안 : 시스템 구동 에너지

SRF 구동에 필요한 전력

- 따라서 궤도 약 850km에서 574kW의 전력 확보를 위한 태양광 패널 계산:
 - 태양 상수: 1361 W/m^2
 - 패널 효율: 40% (멀티 접합 태양광 전지⁽¹²⁾ 사용)
 - LEO 궤도 주기: 98분 (65분 일광)
- 일일 발전 가능 시간: $65\text{분} \times 14\text{회} = 910\text{분} = \text{약 } 15\text{시간}$
- 단위 면적당 발전량 = $1367\text{W/m}^2 \times 0.4 = 546.8 \text{ W/m}^2$
- 총 필요 면적 = $574 \text{ kW} \div 546.8\text{W/m}^2 \approx 1049.2 \text{ m}^2$



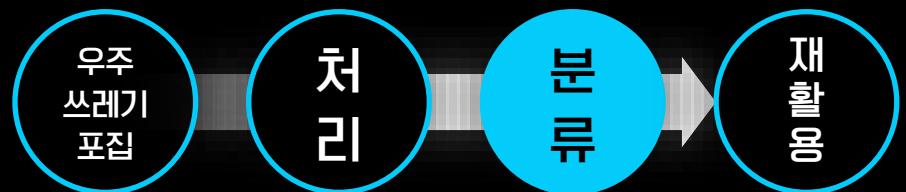
Q3. 포집된 쓰레기들을 어떻게 분류할까?

문제 3 해결 방안 : 우주 쓰레기 분류

태양열 용광로로 쓰레기를 녹인 뒤 자성유체법으로 1차 분류

- 자성유체란?
 - 자성유체는 자성을 띤 나노 입자가 액체에 분산되고 계면활성제로 안정화된 물질로, 자기장이 가해지면 입자들이 정렬되어 독특한 성질을 나타냄

NASA에서 개발한 신기한 물체, 자성유체⁽¹³⁾

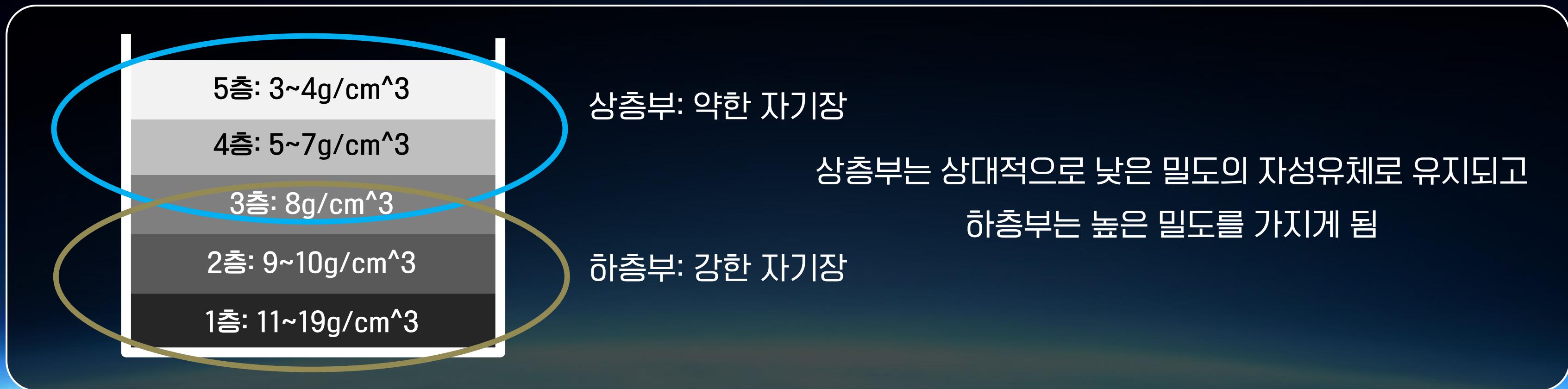
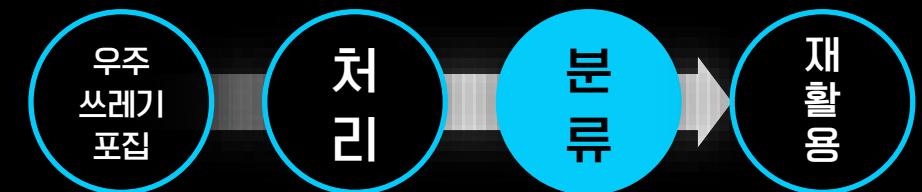


Q3. 포집된 쓰레기들을 어떻게 분류할까?

문제 3 해결 방안 : 우주 쓰레기 분류

태양열 용광로로 쓰레기를 녹인 뒤 자성유체법으로 1차 분류

- 자성유체란?
 - 자성유체에 외부 자기장을 가할 시, 자기장의 강도에 따라 자성 나노입자들이 서로 끌어당기며 밀집하는 정도가 달라짐.
 - 즉 자성유체 내부에서 나노 입자들이 특정 영역에 모이게 되어 효과적인 밀도 변화가 일어남.

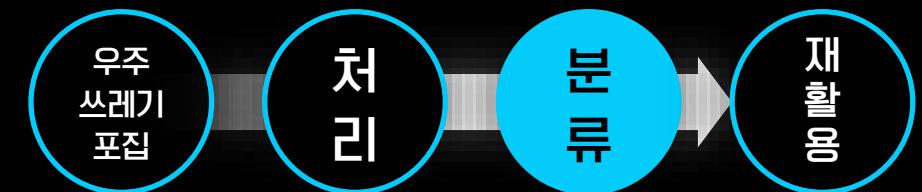


Q3. 포집된 쓰레기들을 어떻게 분류할까?

문제 3 해결 방안 : 우주 쓰레기 분류

태양열 용광로로 쓰레기를 녹인 뒤 자성유체법으로 1차 분류

- 자성유체란?
 - 자성유체에 외부 자기장을 가할 시, 자기장의 강도에 따라 자성 나노입자들이 서로 끌어당기며 밀집하는 정도가 달라짐.
 - 즉 자성유체 내부에서 나노 입자들이 특정 영역에 모이게 되어 효과적인 밀도 변화가 일어남.



알루미늄 ↑, 티타늄 ↓	5층: 3~4g/cm ³	Ti
티타늄 ↑, 철 ↓	4층: 5~7g/cm ³	Fe
철 ↑, 니켈 ↓	3층: 8g/cm ³	Ni
니켈 ↑, 은 ↓	2층: 9~10g/cm ³	Ag
은 ↑, 금 ↓	1층: 11~19g/cm ³	Au

자성유체 분리기의 재료는 **탄화 텐스텐(WC)**⁽¹⁴⁾

탄화 텐스텐은 녹는점이 2870°C로 내열성과 내구성이 뛰어난 재료!

자성유체는 **코발트 나노 입자**⁽¹⁵⁾

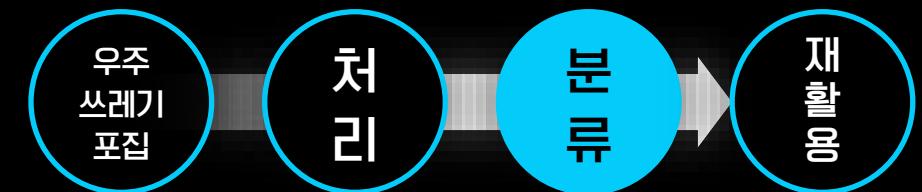
자성을 띠며, 우수한 자기적/촉매적 특성을 지닌 가지는 입자!

Q3. 포집된 쓰레기들을 어떻게 분류할까?

문제 3 해결 방안 : 우주 쓰레기 분류

자성유체법으로 분류된 금속들을 적외선 카메라로 2차 분류

우주 쓰레기 구성 물질을 재활용 가능/불가능 물질로 나누고, 가능한 물질들에 대해 분류를 진행



재활용 가능 물질

알루미늄

철

티타늄

구리

금, 은

재활용 불가능 물질

고강도 합금

복합 재료

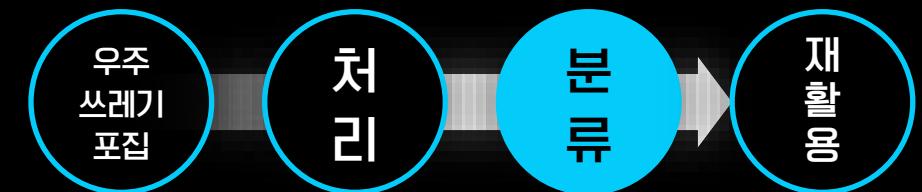
전자부품

전선, 케이블

Q3. 포집된 쓰레기들을 어떻게 분류할까?

문제 3 해결 방안 : 우주 쓰레기 분류

자성유체법으로 분류된 금속들을 적외선 카메라로 2차 분류

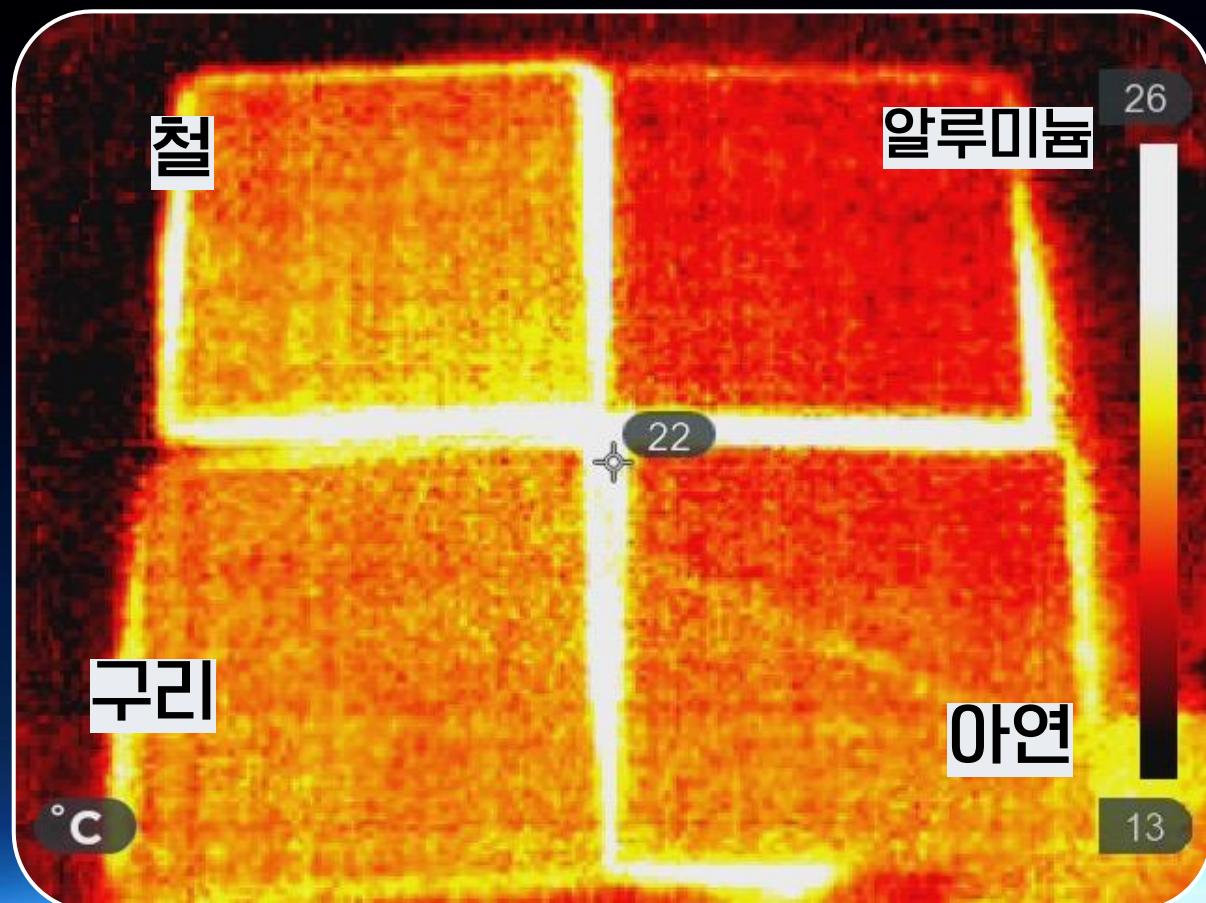
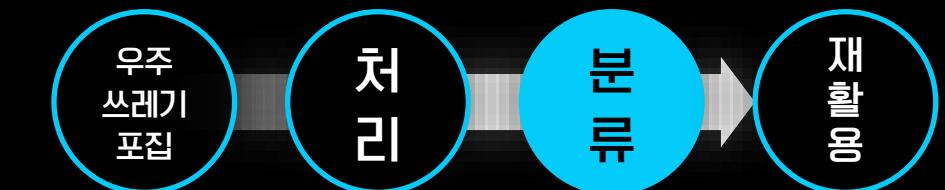


Q3. 포집된 쓰레기들을 어떻게 분류할까?

문제 3 해결 방안 : 우주 쓰레기 분류

자성유체법으로 분류된 금속들을 적외선 카메라로 2차 분류

- 적외선 카메라로 금속 분류가 가능한지 **모의 실험 진행**
- 광택 금속(Al, Zn)은 열전도율은 높지만 적외선 방출을 잘 하지 않기에, 단순 열 비교보다는 **냉각 과정 관찰**
- 금속 시편을 동일하게 **2분 동안 90°의 히트건으로 가열 후, 10초 냉각 후 카메라로 측정**



(10cm x 10cm x 0.3mm)의 금속 시편, 부피: 0.3cm^3

	알루미늄(Al)	아연(Zn)	구리(Cu)	철(Fe)
질량 ($v \times \rho$)	0.81g	2.14g	2.69g	2.36g
열용량 ($m \times c$)	$0.81\text{g} \times 0.897\text{ J/g}\cdot\text{K} = 0.73\text{ J/K}$	$2.14\text{g} \times 0.388\text{ J/g}\cdot\text{K} = 0.83\text{ J/K}$	$2.69\text{g} \times 0.385\text{ J/g}\cdot\text{K} = 1.04\text{ J/K}$	$2.36\text{g} \times 0.449\text{ J/g}\cdot\text{K} = 1.06\text{ J/K}$

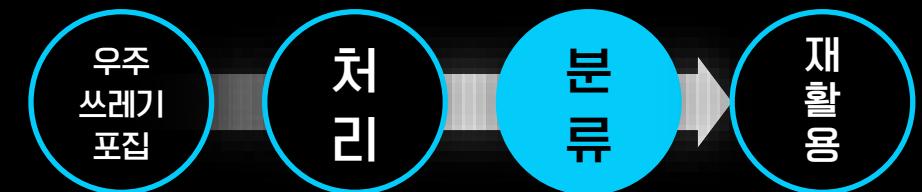
실험 결과 알루미늄-아연-구리-철 순으로 냉각이 이루어지는 것 확인

Q3. 포집된 쓰레기들을 어떻게 분류할까?

문제 3 해결 방안 : 우주 쓰레기 분류

자성유체법으로 분류된 금속들을 적외선 카메라로 2차 분류

- 이를 실제 SRF 분류 시스템에 적용하기 위해, 우리가 수집할 우주 쓰레기에 대해 부피를 V로 가정하고 열용량을 계산



	알루미늄(Al)	티타늄(Ti)	구리(Cu)	철(Fe)	금(Au)	은(Ag)
열용량 (V × m × c)	$V \times 2.7 \times 0.897 = 2.42V \text{ J/K}$	$V \times 4.5 \times 0.523 = 2.35V \text{ J/K}$	$V \times 8.96 \times 0.385 = 3.45V \text{ J/K}$	$V \times 7.87 \times 0.449 = 3.53V \text{ J/K}$	$V \times 19.32 \times 0.129 = 2.49V \text{ J/K}$	$V \times 10.49 \times 0.235 = 2.47V \text{ J/K}$

즉 같은 온도로 가열했다면, 열용량이 가장 높은 강철이 가장 천천히 식고, 티타늄이 가장 빨리 식을 것

→ 금속들을 일정한 온도로 가열하고, 일정한 시간 동안 식혀서 온도 비교로 분류 가능!

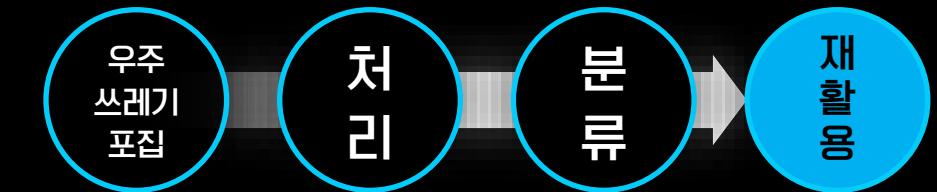
(이때 센터의 온도, 기압, 중력 등은 일정하다고 가정)

Q4. 재활용 시스템은 어떻게 설계해야 할까?

문제 4 해결 방안 : 포집기 재생산 시스템

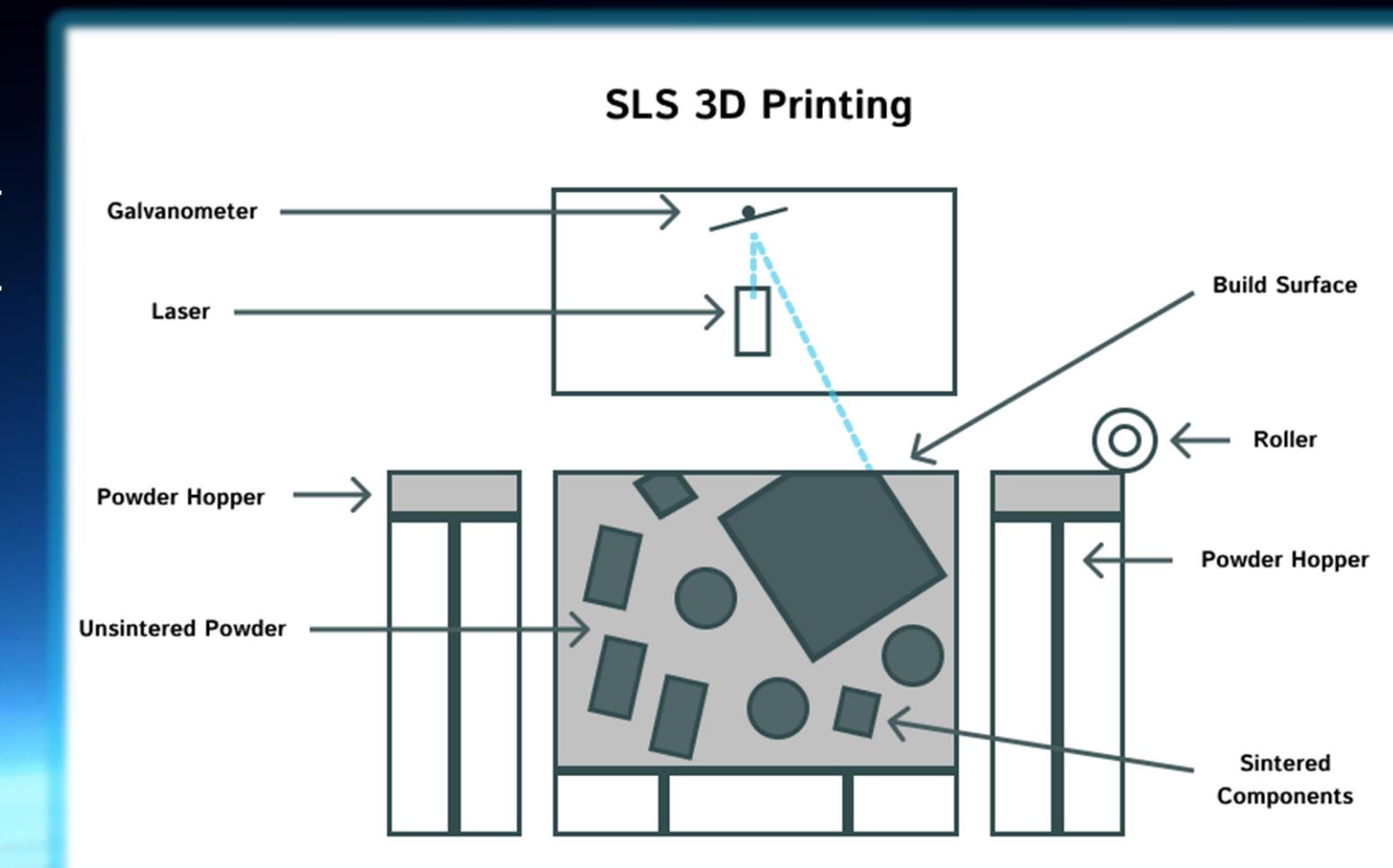
SLS 방식을 사용한 3D 프린터 기술 사용

- SLS (Selective Laser Sintering) 프린터란 **분말 형태의 필라멘트를 이용해서 프린트하는 방식**.
 - 단단하고 정밀한 구조도 프린트할 수 있고 **포집기가 금속으로 이루어져 있기 때문에 포집기 재생산에도 SLS 프린팅이 효과적임.**



SLS 프린팅 방식 예시⁽¹⁶⁾

가루형 분말의 금속 가루를
한 층으로 얇게 깔고

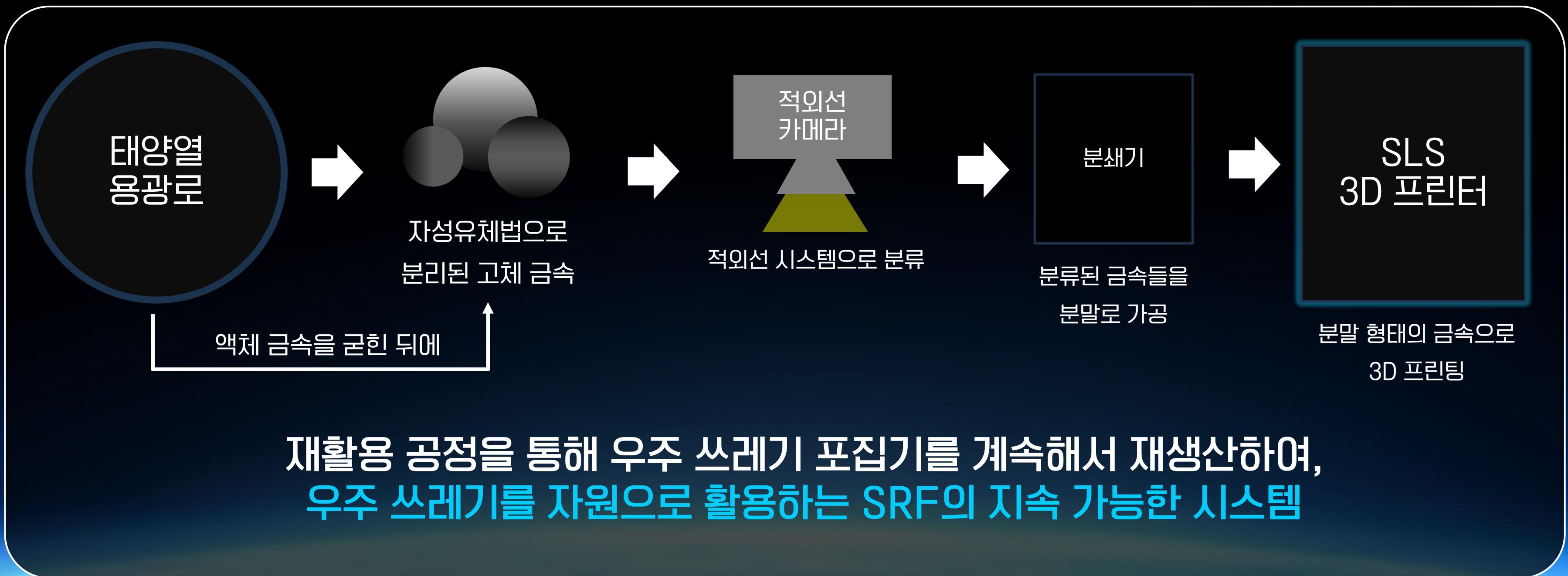
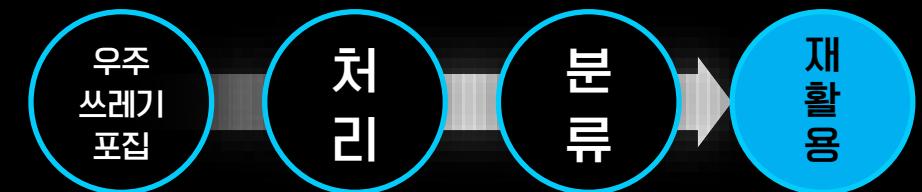


레이저로 필요한 부분만 녹여서 굳힌 뒤
주변에 굳지 않은 분말들을 털어내면
필요한 구조물이 나오게 됨!

Q4. 재활용 시스템은 어떻게 설계해야 할까?

문제 4 해결 방안 : 포집기 재생산 시스템

SLS 방식을 사용한 3D 프린터 기술 사용



005 연구 결론



연구 결론

연구 목표 : 버려지는 우주 쓰레기를 재활용하자!

우주 쓰레기 재활용 센터 (SRF) 제안

지속 가능한 우주 기술을 위해
우주 쓰레기 재활용 센터, SRF를 제안



쓰레기 포집

충돌형 포집기로 궤도 상의 우주 쓰레기들을 포집

처리

포집된 쓰레기는 SRF로 이동하여 태양광 용광로에서 녹여짐

분류

녹여진 금속들을 자성유체법으로 분류 후,
전자석과 적외선 카메라로 2차 분류

재활용

분류된 금속 중 포집기 재생산에 필요한 금속들을 (Al, Ti)
SLS 3D 프린터로 재생산

재생산된 포집기로 다시 포집

참고문헌

- [1] Oxford Analytica. (2018, October 1). Space debris threatens global economy and security. Oxford Analytica Daily Brief.
- [2] National Aeronautics and Space Administration. (2024). Micrometeoroids and orbital debris (MMOD). <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/white-sands/micrometeoroids-and-orbital-debris-mmmod/>
- [3] 이영애. (2023, January 23). 커지는 우주쓰레기 위협...지구로 떨어지기 전 청소하는 기술들. 동아사이언스 테크. <https://m.dongascience.com/news.php?idx=58098>
- [4] 박종익. (2018, March 30). [아하! 우주] 그물과 작살 던지는 '우주 청소부 위성' 발사한다. 서울신문. <https://nownews.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20180330601008>
- [5] 윤태희. (2020, June 24). 거미줄처럼 낚아 대기권에 투하…려 기업 '우주쓰레기 수거위성' 개발한다. 서울신문 사이언스. <https://nownews.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20200624601015>
- [6] Whitcomb, I. (2021, March 14). How do tiny pieces of space junk cause incredible damage? Live Science. <https://www.livescience.com/tiny-space-junk-damage.html>
- [7] Bhovad, P., & Li, S. (2021). Physical reservoir computing with origami and its application to robotic crawling. *Scientific Reports*, 11(1), 13002.
- [8] Hayashida, K. B., & Robinson, J. H. (2000). Double-plate penetration equations (NASA Technical Memorandum 209907). National Aeronautics and Space Administration.
- [9] Schäfer, F. K., Ryan, S., Lambert, M., & Putzar, R. (2008). Ballistic limit equation for equipment placed behind satellite structure walls. *International Journal of Impact Engineering*, 35(12), 1784-1791.
- [10] LG Energy Solution. (2024). ESS전지: 다양한 ESS 배터리제품으로 스마트 그리드시대를 열어갑니다. <https://www.lgensol.com/kr/battery-ess>
- [11] Formlabs. (2024). Fuse Sift + Fuse Blast. <https://formlabs.com/kr/3d-printers/fuse-sift/>
- [12] Fraas, L. M., & O'Neill, M. J. (2023). The story of the 40% efficient multijunction solar cell (A personal perspective by Lewis Fraas). In *Low-Cost Solar Electric Power* (pp. 93-104). Springer.
- [13] YTN Science. (2021, June 7). NASA에서 개발한 신기한 물체, 자성유체 [Video]. YouTube. <https://youtu.be/ybrubi7f6jc>
- [14] Dynamic Metals Ltd. (n.d.). What is tungsten carbide? Retrieved January 10, 2024, from <https://www.dymetalloys.co.uk/what-is-tungsten-carbide>
- [15] 정남조, 김찬수, 서용석, 정문석, 박순철, 정보윤, & 김준수. (2015). 나노입자의 탄소 코팅 방법 및 이에 의해 제조된 탄소 코팅된 나노입자 (KR Patent No. 101678187B1). Korean Intellectual Property Office.
- [16] PrintPool. (n.d.). Design for SLS 3D printing: The ultimate guide. Retrieved January 10, 2024, from <https://www.printpool.co.uk/articles/design-for-sls-3d-printing-the-ultimate-guide>

우주의 조약돌

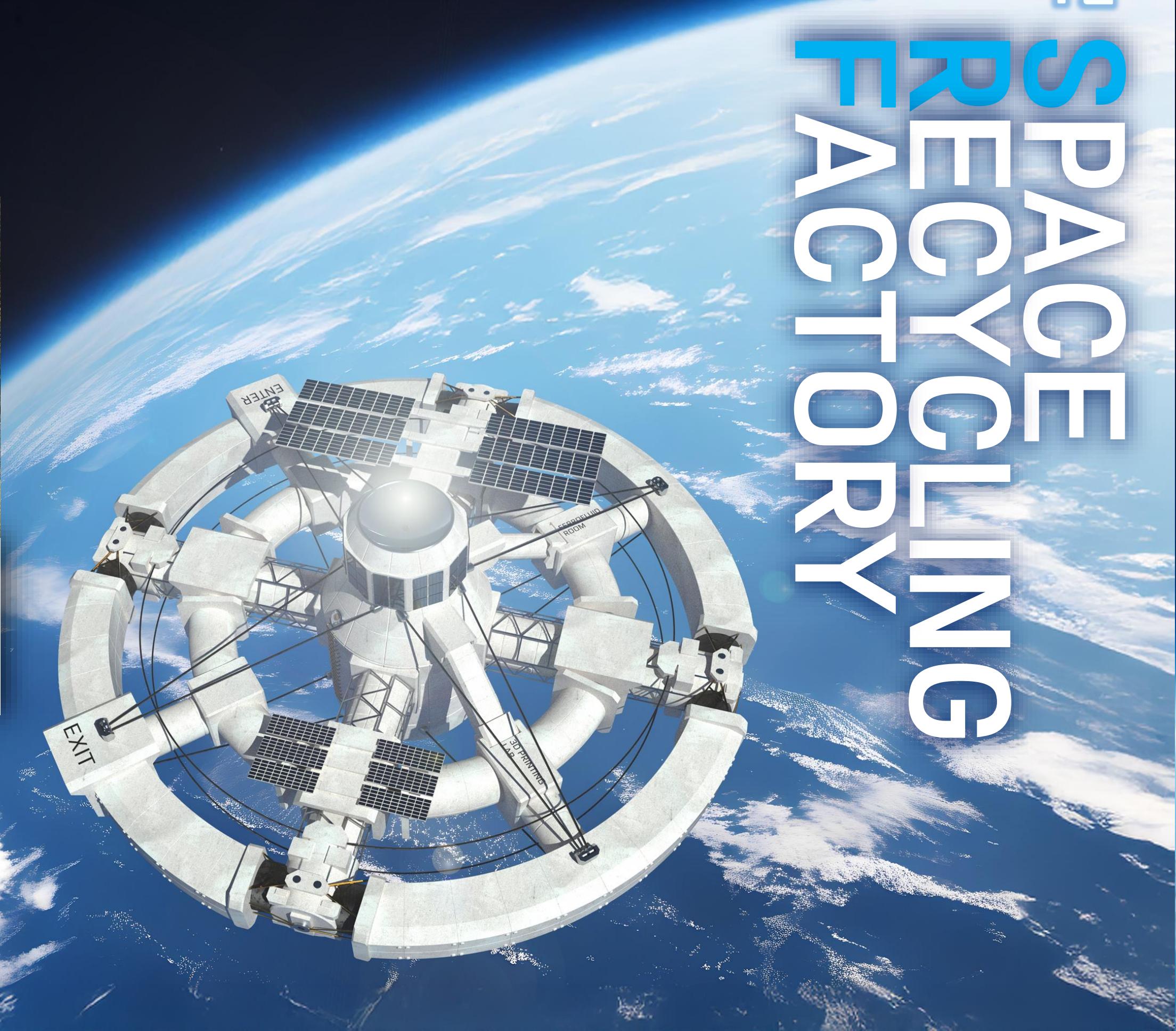
우주의 조약돌 3기 5팀 디딤돌

24.12.14 최종발표 리허설



감사합니다

디딤돌



부록

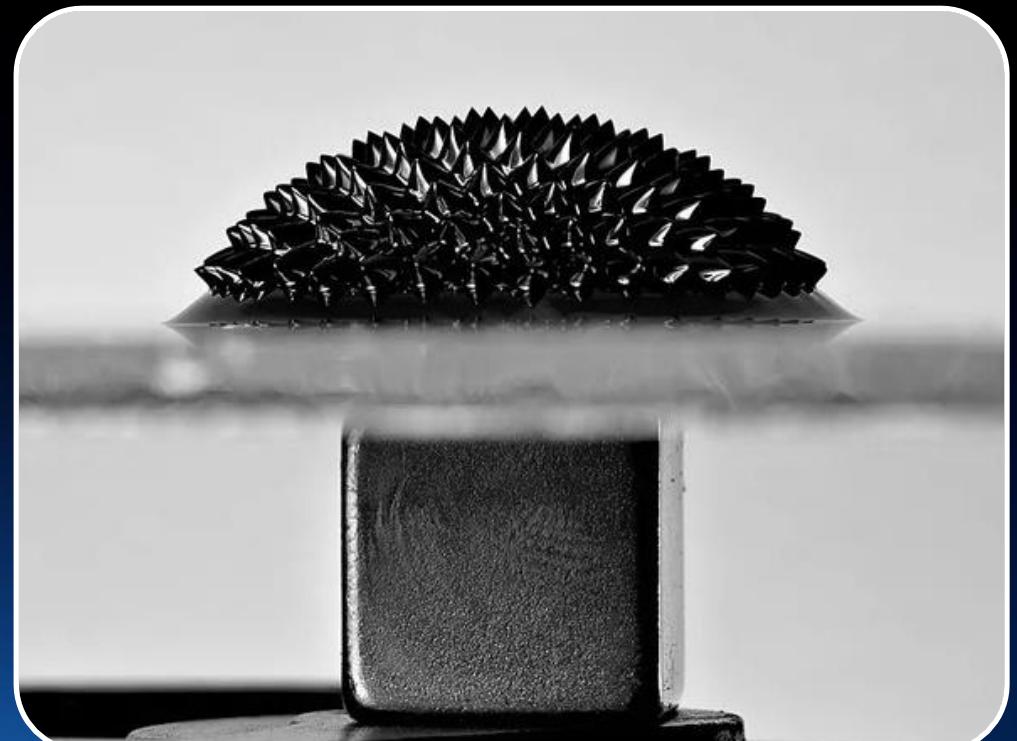
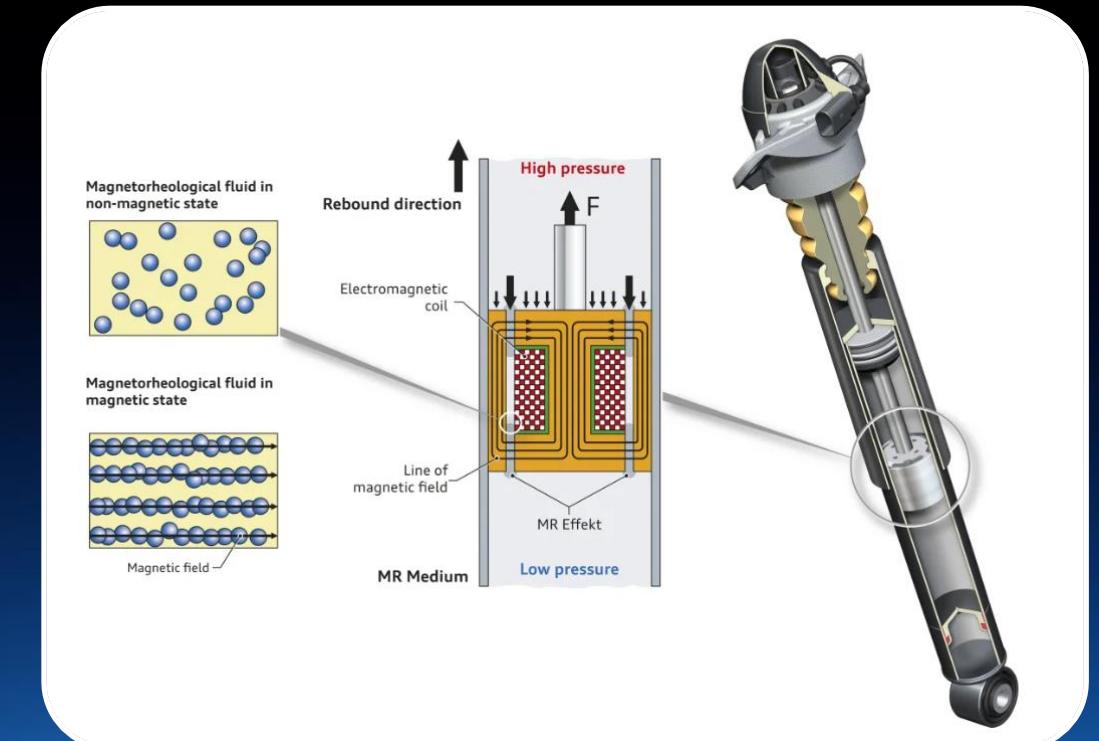
태양열 용광로로 쓰레기를 녹인 뒤 자성유체법으로 1차 분류

- 자성유체란?

NASA의 자성유체 개발자



실생활 속 예시: Magnetic Ride Control



서스펜션 댐퍼 내부에는 자성 나노입자가 분산된 자성유체가 들어 있어
자기장을 조절하여 서스펜션의 밀도와 점도를 조절할 수 있다

부록

태양열 용광로로 쓰레기를 녹인 뒤 자성유체법으로 1차 분류

- 코발트 나노입자란?

코발트 나노입자(CoNP)의 경우 자성을 띠며, 우수한 자기적 및 촉매적 특성을 띠고 있음

일반적으로 CoNP의 경우 응집이나 표면 산화를 방지하기 위해 계면활성제와 폴리머로 코팅되는데⁽¹³⁾

코발트의 경우 고온에서 쉽게 산화되기 때문에 추가로 탄소 코팅을 할 예정임

- 나노 입자에 탄소 코팅을?

실제로 나노 탄소 소재를 이용한 나노입자 코팅은 입자가 가혹한 물리적/화학적 환경에서도 쉽게 변화되는 것을 막아 줌

크게 CVD(Chemical Vapor Deposition) 과 열분해방법으로 코팅이 가능함⁽¹⁴⁾

550°C 미만에서는 탄소 코팅 반응이 잘 일어나지 않고, 입자의 종류에 따라 부산물이 생길 수 있는데,

코발트는 녹는점이 약 1495 °C이기 때문에 안정적임