

### 3)-4 환경적인 측면과 지속가능성의 차이

동물성 단백질은 평균 온실가스 배출량이 단백질 1KG 당 소고기 99KG, 돼지고기 12KG, 닭고기 10KG과 같이 반추동물이 배출하는 메탄가스, 사료 재배, 수송 등에서 많은 양을 배출하는 반면 식물성 단백질은 콩류 1~2KG과 같이 탄소 배출이 없고, 에너지 효율이 높아, 탄소 배출량이 적다. 그리고 물 사용량이 단백질 1KG당 소고기가 15,400L, 돼지고기가 6000L인 것에 비해 콩은 1800L로 상대적으로 적다.

지속 가능성은 동물성 단백질은 대량 생산에 필요한 자원이 식물성 단백질 보다 더 많이 필요하고, 탄소 및 메탄 배출량이 커서 기후에 부담이 된다. 그리고 장기 공급 가능성이 생태계의 자원이 고갈 될 수 있다는 우려가 있다. 이에 반해 식물성 단백질은 에너지 효율이 높아, 대량 생산시 부담이 적고, 저탄소 식품으로 지속 가능성이 동물성 단백질에 비해 높다.

### 4) 식물성 단백질과 동물성 단백질이 우리 몸에 미치는 영향

동물성 단백질은 생체 이용률과 소화 효율이 높아, 근육 합성과 회복에 특히 효과적이다. 이러한 특성 덕분에 성장기 청소년이나 노년층의 근감소 예방에 유리하며, 비타민 B12, 헴철, 아연, 오메가-3 지방산 등 흡수가 잘 되는 영양소들도 함께 제공한다. 그러나 붉은 고기나 가공육을 과다 섭취할 경우 포화지방과 콜레스테롤의 섭취가 늘어나 심혈관 질환이나 일부 암의 위험이 증가할 수 있다는 점은 주의가 필요하다.

반면, 식물성 단백질은 식이섬유, 항산화물질, 피토케미컬 등 부가 영양소가 풍부해 혈중 콜레스테롤을 낮추고 장내 미생물 균형을 개선하여 심혈관 질환, 당뇨병, 대사증후군의 예방에 도움을 준다. 다만, 비타민 B12, 헴철, 아연 등의 흡수율이 낮고 결핍 위험이 있기 때문에 식물성 식단을 따르는 경우 영양 보충에 주의가 필요하다.

자료 출처: 'Our World in Data - Carbon footprint of food'의 탄소 배출량 비교표

ResearchGate의 동물성 단백질과 식물성 단백질의 PDCAAS, DIAAS의 비교표

지식백과, 동아일보 뉴스 등...

### 4. 탐구 과정 중 발생한 문제점 및 해결 방법

처음에 직접 먹어 보는 실험을 기획했지만 실험이 너무 주관적이고, 한계가 명확하여, 실험 계획을 폐기하고 그 대신 여러가지 자료조사를 하려고 했다. 그리고 나의 식물성 단백질에 대한 기본적인 개념이 부족하여 자료 조사를 할 때 개념을 이해하려고 했다. 또 한국어로 된 식물성 단백질과 동물성 단백질에 대한 자료가 부족하여 해외의 영상, 논문, 기사와 같은 자료를 해석해서 사용했다.

### 느낀점(배운점 / 본인이 성장했다고 생각되는 점 등)

정재휘: 식물성 단백질과 동물성 단백질에 관해서 깊이 탐구해보며 각각의 개념, 차이점, 영향등을 새롭게 알게 되었다. 그리고 주제를 탐구하는 과정에서 우리의 미래를 책임지기 위해서 식물성 단백질의 지속적인 개발과 지속가능한 단백질에 대한 개발의 중요성을 인지하며, 미래지향적인 사고를 할 수 있었다. 또 식물성 단백질과 동물성 단백질에 대해 알아보는 과정에서 뉴스, 논문 등을 찾아보며 정확한 자료를 찾는 능력을 기른 것 같다. 마지막으로 이 주제를 친구와 함께 다양한 의견을 나누며 협력하는 과정에서 의견을 맞추어 나가는 연습을 할 수 있었다.

이준용: 1주일 동안 탐구 활동을 하면서, 나는 자료조사의 중요성을 깊이 깨닫게 되었다. 처음에는 단순히 인터넷이나 책에서 정보를 찾는 것이 탐구의 시작이라고만 생각했지만, 시간이 지날수록 얼마나 정확하고 신뢰할 수 있는 자료를 찾는냐에 따라 탐구 결과의 질이 달라진다는 사실을 몸소 느꼈다. 불확실하거나 검증되지 않은 정보를 바탕으로 탐구를 진행하면 결과 역시 흐릿하고 설득력이 떨어질 수밖에 없다는 것을 경험하면서, 자료를 찾고 분석하는 데에 더 많은 시간과 노력을 들이게 되었다. 그 결과, 신뢰할 수 있는 자료들을 기반으로 정리한 탐구 결과는 더욱 명확하고 설득력 있게 완성될 수 있었다.

# 주제 탐구 활동 계획서

학번 및 이름	
관련 과목	통합과학, 통합사회
지도 교사	
탐구 주제	초전도체로 알아보는 미래사회에서의 이점과 가능성, 그에 반하는 역효과(해결방안)

## 1. 탐구 동기

\*\*\*: 물리와 화학에 평소 관심이 많아서 이런 분야를 탐구하고 싶었지만, 학업이 우선이라 기회가 없을 거라고 생각했어요. 그런데 학교에서 주제 탐구 활동을 한다고 해서, 평소 과학 공부도 같이 하던 민균이와 함께 하기로 했습니다. 무엇을 할지 고민하다가, 한때 언론에서도 많이 다뤄졌던 초전도체가 떠올랐어요. 초전도체는 미래 일상에서 중요한 자원이 될 수 있다고 생각해서, 응용 가능성과 초전도체로 바뀔 미래 모습을 탐구해보기로 했습니다.

### 1. 초전도체의 원리와 특성 탐구

평소 물리와 화학에 관심이 많아서 초전도체가 어떻게 저항 없이 전기가 흐르게 되는지 궁금했어요. 원리를 알면 왜 초전도체가 중요한지 더 잘 이해할 수 있을 것 같아서, 초전도체가 가진 기본 특성을 공부하고 싶었습니다.

### 2. 초전도체의 응용 분야와 미래 가능성 연구

초전도체가 과거에 언론에서 많이 다뤄지면서, 앞으로 우리 생활에 큰 변화를 가져올 수 있다는 점이 흥미로웠어요. 그래서 자기부상열차, 의료기기 등 초전도체가 실제 어디에 쓰이고, 미래에 어떤 영향을 줄지 탐구하고 싶었어요.

### 3. 초전도체의 현재 기술적 한계와 극복 방안 조사

아직 초전도체는 너무 낮은 온도에서만 작동하는 한계가 있다는 사실을 알게 되었어요. 과학자들이 이런 문제를 어떻게 해결하려 노력하는지 궁금했고, 앞으로 이 분야가 어떻게 발전할지 알아보는 것이 의미 있다고 생각했습니다.

이렇게 세 가지를 탐구하면서, 내가 평소 관심 있던 과학 분야도 깊이 공부할 수 있고, 미래 기술에 대해 생각해볼 좋은 기회가 될 것 같아요.

\*\*\*: 과학 과목 중에서도 특히 물리와 화학에 많은 관심을 가져왔지만, 그만큼 어려움도 함께 느껴왔다. 개념이 추상적이거나 복잡해서 쉽게 이해되지 않는 경우가 많았고, 그로 인해 궁금한 점이 생겨도 직접적으로 파고들기보다는 멀리서 바라보는 경우가 많았다. 그럼에도 불구하고 과학적 원리나 현상에 대한 호기심은 늘 안에 자리하고 있었고, 어떤 계기를 통해 그것을 깊이 있게 탐구해 보고 싶은 마음은 계속 있었다. 그러던 중 2023년, 많은 사람들의 이목을 끌었던 초전도체 관련 뉴스와 연구 발표를 접하게 되었다. 특히 상온·상압 초전도체 후보 물질에 대한 실험 결과가 발표되면서 학계뿐 아니라 사회 전반에서 큰 관심이 쏠렸고, 역시 이를 계기로 초전도체라는 분야에 강한 흥미를 느끼게 되었다. 단순히 신기한 현상에 그치는 것이 아니라, 이 기술이 미래 사회에 끼칠 수 있는 영향력과 그 잠재성을 보며 ‘이건 꼭 더 알아보고 싶다’는 생각이 들었다. 그래서 이번 주제탐구에서는 초전도체에 대해 단순히 과학적 원리를 아는 것에서 그치지 않고, 그것이 과학적으로 어떤 구조와 조건에서 가능한지, 그리고 기술적으로는 어떤 방식으로 활용되는지, 나아가 사회적으로 어떤 변화를 이끌 수 있는지를 종합적으로 탐구해보고자 한다. 이를 통해 과학적 호기심을 해소함과 동시에, 과학이 우리 삶과 얼마나 밀접하게 연결되어 있는지를 직접 체감할 수 있는 기회가 될 것이라 기대하며 진지하게 임하려 한다.

## 2. 탐구 계획(매우 구체적으로 작성)

### 1) 초전도체의 원리와 조건에 대한 과학적 이론 탐구 및 조사하기

- 초전도체가 전기 저항 없이 전류를 흐르게 하는지에 대한 물리적 원리를 이론 중심으로 조사한다.
- 초전도 상태가 되기 위해 필요한 환경(온도, 자기장, 물질 구조 등)을 정리한다.
- BCS 이론, 마이스너 효과 등 핵심 개념도 학습 대상에 포함한다.

### 2) 초전도체의 기술적 활용 사례 조사 및 분석하기

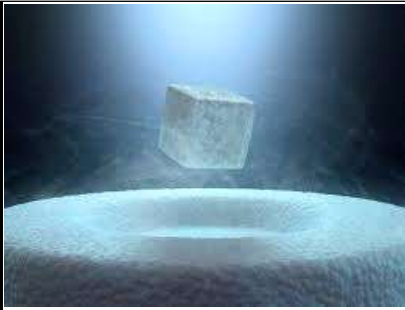
- 초전도체가 실제 기술에 적용된 예시를 조사한다.
- 각각의 기술이 초전도체를 어떻게 이용는지, 왜 필요한지를 설명한다.
- 미래 기술에서 초전도체가 확장될 가능성도 예측해본다.

### 3) 초전도체가 사회에 미칠 수 있는 영향과 변화 예측 및 분석하기

- 초전도체 기술이 사회, 산업, 환경에 미칠 수 있는 장단점을 조사한다.
- 에너지 절약, 친환경 기술, 교통 혁신, 의료기기 등 다양한 분야로 확장해 본다.
- 상온 초전도체가 상용화된다면 사회가 어떻게 바뀔 수 있는지 이점을 줄지 역효과를 줄지 예측해본다.

## 주제 탐구 활동 보고서

탐구 주제	초전도체로 알아보는 미래사회에서의 이점과 가능성, 그에 반하는 역효과(해결방안)		
학번 및 이름			
탐구 내용 및 결과			
3. 탐구 결과 (탐구활동에 대한 객관적 자료(탐구활동 데이터, 도표, 사진, 측정결과 등)을 포함하고 자료를 인용한 경우는 출처를 반드시 밝힐 것)			



## 초전도체의 정의

초전도체는 일정 온도 이하인 임계 온도에서 전기 저항이 완전히 사라지고, 외부 자기장을 내부에서 완전히 배제하는 마이스너 효과를 나타내는 물질이다. 이 상태에서는 전자가 쿠퍼 쌍을 형성하여 격자와의 산란 없이 자유롭게 움직인다. 초전도 현상은 BCS 이론에 의해 설명되며, 이 이론은 전자들이 쌍을 이루어 집단적으로 행동함으로써 저항이 사라진다고 본다. 초전도 상태에서는 전기 저항이 0이므로, 일반적인 옴의 법칙이 적용되지 않고, 전압 없이도 전류가 흐를 수 있다.

## 핵심 개념 한 줄 요약

임계 온도: 초전도 현상이 시작되는 온도.

마이스너 효과: 초전도체가 자기장을 완전히 밀어내는 현상.

전기 저항 제로: 전류가 저항 없이 흐르는 상태.

쿠퍼 쌍: 두 전자가 짝을 이뤄 초전도 현상을 만드는 단위.

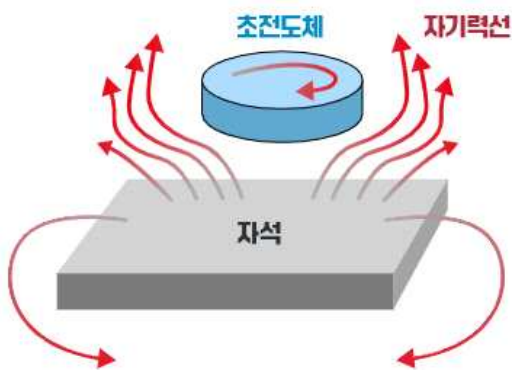
BCS 이론: 쿠퍼 쌍 형성과 초전도 현상을 설명하는 이론.

옴의 법칙: 전압은 전류와 저항의 곱이다( $V = IR$ ).

자기부상열차: 초전도체의 반자성으로 차량을 부상시키는 교통수단.

MRI(자기공명영상): 초전도 자석을 이용해 인체 내부를 영상화하는 의료 장비.

양자컴퓨터: 초전도체 기반 큐비트를 이용한 차세대 고속 연산 기술.



## 초전도체의 기본 원리와 특성

### 1. 서론

초전도체는 특정 임계 온도 이하에서 전기 저항이 완전히 사라지고 완전한 반자성 상태를 보이는 물질이다. 이 현상은 1911년 네덜란드의 헤이케 카메를링 오네스에 의해 처음 발견되었다. 초전도체는 전력 손실이 없는 전기 전송, 강력한 자기장 생성, 양자 컴퓨팅 등 다양한 첨단 기술에 응용 가능하여 물리학 및 공학 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

### 2. 초전도 현상의 기본 원리

초전도 현상은 두 가지 주요 특징으로 요약할 수 있다: (1) 전기 저항의 소멸과 (2) 마이스너 효과

#### 2.1 전기 저항의 소멸

일반적인 금속에서 전류가 흐를 때 전자들은 격자 진동 및 불순물과 충돌하여 저항을 발생시킨다. 그러나

초전도체에서는 임계 온도 이하에서 전자들이 쿠퍼 쌍이라 불리는 쌍을 이루어 상호작용한다. 쿠퍼 쌍은 페르미온인 전자 두 개가 격자 진동을 매개로 약한 끌어당김 상호작용을 통해 보스온과 같은 입자 상태로 변환된다. 이들은 동일한 양자 상태를 점유하며 저항 없이 이동할 수 있게 된다. 이 이론은 BCS 이론으로 정립되었다.

## 2.2 마이스너 효과

마이스너 효과는 초전도체 내부에서 자기장이 완전히 배제되는 현상이다. 초전도체가 임계 온도 이하로 내려가면 내부의 자기장은 0이 되고, 자기장이 물질을 관통하지 못하게 된다. 이는 초전도체가 완전한 반자성체가 됨을 의미한다.

## 3. 초전도체의 특성

### 3.1 임계 온도

임계 온도는 초전도 상태가 유지되는 최고 온도이다. 재료마다 다르며, 저온 초전도체는 보통 몇 켈빈(K) 이하에서 초전도를 보인다. 반면 고온 초전도체는 비교적 높은 온도에서도 초전도 현상을 나타낸다.

### 3.2 임계 자기장

임계 자기장은 초전도 상태를 유지할 수 있는 최대 자기장 세기이다. 이 이상으로 자기장이 강해지면 초전도 상태가 붕괴된다.

### 3.3 임계 전류 밀도

초전도체가 견딜 수 있는 최대 전류 밀도를 의미한다. 임계 전류 밀도 이상에서는 초전도 현상이 파괴되어 저항이 발생한다.

## 4. 결론

초전도체는 임계 온도 이하에서 전기 저항이 사라지고 자기장을 완전히 배제하는 독특한 물질이다. BCS 이론을 중심으로 한 쿠퍼 쌍 형성과 마이스너 효과가 초전도의 본질적 메커니즘이며, 임계 온도, 임계 자기장, 임계 전류 밀도 등의 특성에 따라 분류된다. 초전도체 연구는 물리학의 기본 이론 발전뿐 아니라 실생활 응용에서도 핵심적 역할을 하며, 특히 고온 초전도체 개발이 향후 에너지 및 정보 기술 분야에 큰 영향을 미칠 전망이다.

## 초전도체 종류

### 1, 온도에 따른 구분

초전도체는 먼저 작동 온도를 기준으로 저온 초전도체와 고온 초전도체로 나눌 수 있다.

저온 초전도체는 영하 253도(20K) 이하의 극저온에서만 초전도 현상이 나타난다.

이들은 액체 헬륨 같은 값비싼 냉각재가 필요하지만 안정적인 성질 덕분에 MRI나 입자 가속기 등에 널리 사용된다.

반면 고온 초전도체는 영하 196도(77K) 정도에서도 초전도성이 나타난다.

고온 초전도체는 액체 질소로 냉각할 수 있어 유지비가 저렴하고 실용화 가능성이 높아 최근까지 활발히 연구되고 있다.

### 2. 물질의 성질에 따른 구분

초전도체를 구성하는 물질의 종류에 따라 나눌 수 있다.

가장 전통적인 것은 금속형 초전도체로, 납, 알루미늄 등 순수 금속이 대표적이다.

다음으로는 합금형 초전도체가 있는데, 금속 합금으로 만들어져 강도가 높고 유연성이 좋아 코일이나 케이블로 활용된다.

고온 초전도체의 대부분은 세라믹형 초전도체로, 처럼 산화물 기반 물질이 해당된다.

이 외에도 최근에 발견된 철 기반 초전도체는 고온 초전도 가능성이 연구되고 있다.

또한 유기 초전도체는 탄소 화합물로 이루어진 특수한 형태로 실험적으로 연구되고 있고, 그래핀이나 탄소나노튜브 같은 탄소 기반 초전도체는 미래 양자소자나 첨단 기술에 쓰일 수 있어 주목받는다.

### 3. 이론적 기준에 따른 구분

마지막으로 이론적인 관점으로는 BCS 이론으로 설명 가능한 초전도체와 그렇지 않은 비BCS 초전도체로 나눌 수 있다.

납같은 저온 초전도체는 전자의 쌍(쿠퍼쌍)이 형성되어 BCS 이론으로 잘 설명된다.

반면 고온 초전도체나 철 기반 초전도체는 기존 BCS 이론으로는 완전히 설명되지 않아 전자 상호작용과 새로운 이론 연구가 계속되고 있다.

또 최근에는 상온 초전도체(실온에서도 초전도성이 나타나는 물질) 후보가 발표되거나, 위상 초전도체처럼 양자컴퓨터와 연결되는 새로운 개념이 연구되고 있다.

#### 참고문헌

Bardeen, J., Cooper, L. N., & Schrieffer, J. R. (1957). Theory of Superconductivity. *Physical Review*, 108(5), 1175–1204. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.108.1175>

Tinkham, M. (2004). *Introduction to Superconductivity* (2nd ed.). Dover Publications.

Poole, C. P., Farach, H. A., Creswick, R. J., & Prozorov, R. (2014). *Superconductivity* (3rd ed.). Academic Press.

Kittel, C. (2005). *Introduction to Solid State Physics* (8th ed.). Wiley.

K. Y. Lee, J. H. Kim. (2023). "Recent Advances in High-Temperature Superconductors." *Journal of Applied Physics*, 134(2), 023905.

네이버 뉴스: “상온 초전도체, 현실로?” 국내 연구진의 도전

→ 국내 연구팀이 상온 초전도체 개발을 목표로 진행 중인 연구 현황과 도전을 소개하며, 기술 실현 가능성에 대해 조명합니다.

한국일보: “초전도체 기술, 에너지 혁신의 열쇠”

→ 초전도체가 송전 효율 향상과 친환경 에너지 확대에 미칠 영향, 미래 에너지 산업 혁신 가능성을 다룹니다.

연합뉴스: “초전도체 산업, 국내 신성장동력 기대”

→ 초전도체 기술이 국내 산업 경쟁력 강화 및 경제 성장의 새로운 동력으로 주목받고 있다는 전망을 전합니다.

#### 초전도체의 새로운 개발과정

마이크로소프트, 새로운 양자컴퓨터 칩 ‘Majorana 1’ 발표

마이크로소프트는 'Majorana 1'이라는 새로운 양자컴퓨터 칩을 개발했다고 발표했습니다. 이 칩은 '토폴로지 초전도체'를 활용하여 신뢰성이 높은 큐비트를 구현하며, 향후 100만 개의 큐비트를 하나의 칩에 통합할 수 있을 것으로 기대됩니다. 이 기술은 데이터 암호화, 약물 개발, 복잡한 문제 해결 등 다양한 분야에 응용될 수 있습니다. [nypost.com](https://www.nypost.com)

사회에 끼치는 영향 참고로 보고 작성함

MIT, 새로운 유형의 초전도체 발견

MIT 연구팀은 그래핀을 활용한 새로운 유형의 초전도체를 발견했습니다. 이 초전도체는 전자들이 'Cooper pair'를 형성하여 저항 없이 전류를 흐르게 하며, 기존의 초전도체와는 다른 특성을 보입니다. 이러한 발견은 초전도체 연구에 새로운 방향을 제시할 수 있습니다.

#### 기존 물질과의 차이

초전도체는 자기장에 대한 감도가 높아 자기장을 강하게 유지할 수 있는 특징을 가지고 있습니다. 이는 초