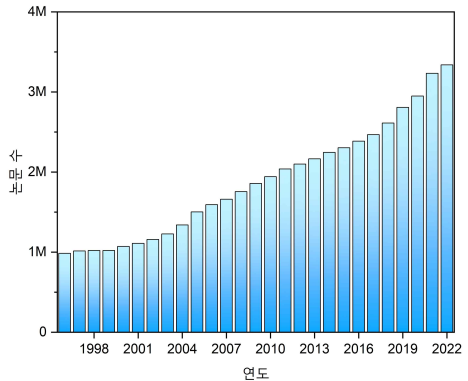


<b>제목</b>	연구의 시작을 도와주는 산지니 AI
-----------	---------------------

**1. 프롬프트 설계 배경 및 목적**

기존 문헌 탐색은 연구의 배경과 목적을 설정하고, 연구 문제의 제기 및 필요성과 중요성을 확립하기 위해 수반되는 필수적인 기초 단계이다. 연구자들은 주로 Web of Science, Scopus, DBpia 등 국내외 학술 데이터베이스를 활용하여 문헌을 조사한다. 이러한 과정은 특정 연구의 타당성을 확보하기 위한 것뿐만 아니라, 해당 분야의 최신 연구 동향이나 전반적인 트렌드를 파악하기 위한 포괄적인 정보 습득을 목적으로 수행되기도 한다. 하지만 그



림 1에서 확인할 수 있듯이, Web of Science 기준 그림 1 연도별 발행된 누적 논문 수으로 연간 약 10만 편 이상의 논문이 발행되는 등 정보의 양이 기하급수적으로 증가하고 있다. 이러한 방대한 데이터는 연구자가 자신의 연구 주제에 가장 적합한 문헌을 선별하는 데 큰 어려움을 초래한다. 특히 연구 동향 파악을 위해 수많은 논문을 개별적으로 검토하는 것은 물리적 시간과 자원의 한계로 인해 현실적으로 매우 어려운 과제이다.

본 보고서는 산지니 AI를 활용하여 연구 목적에 따른 문헌 탐색을 보다 쉽고 신속하게 수행함으로써, 기존 문헌 고찰 과정에서 발생하는 비효율을 해결하고자 한다. 이를 위해 먼저 거시적인 연구 주제나 분야로부터 최신 트렌드를 분석하고 핵심 키워드를 추출하는 “탑다운(Top-down)” 프롬프트를 설계하였다. 이후, 해당 단계에서 도출된 키워드를 입력값으로 활용하는 “기획 프롬프트”를 연계하여 연구 공백을 식별하고 구체적인 연구 아이디어를 도출한다. 최종적으로 이러한 일련의 과정을 통합하여 연구 주제 선정부터 구체화까지 지원하는 연구 기획 자동화 파이프라인, 즉 “연구 프롬프트 체이닝”을 구축하는 데 목적을 둔다.

**2. 프롬프트 설계 및 세부 내용**

**○ 탑다운 프롬프트**

광범위한 연구 주제에서 출발하여 수만 건의 문헌을 관통하는 핵심 트렌드를 파악하고, 객관적인 핵심 키워드를 추출하기 위해 설계하였다. 이 프롬프트는 단순한 키워드 추출을 넘어, 후속될 “기획 프롬프트”에 입력될 정제된 데이터를 산출하는 프롬프트 체이닝의 1단계 역할을 수행한다.

주요 지시 사항으로는 역할 설정, 조건, 출력 형식이 있다. 먼저 역할 설정은 수석 학술 트렌드 분석가를 부여하여, 단순 요약은 넘어 학술적 판단이 포함된 심층 분석을 통한 트렌드 분석을 유도하였다. 조건으로는 메가 트렌드 3가지를 제시하고, 그 중 유망하다고 판단되는 세부 분야로 범위를 좁히는 퍼널링(funneling) 방식을 통해 구체적인 분야를 제시하도록 지시하였다. 출력 형식으로는 다음 단계 프롬프트의 입력값과 호환되도록 핵심 영문 키워드를 도출하고, 초기 탐색을 위한 Boolean 검색식을 지정된 양식으로 출력하도록 구조화하였다.

#### - 프롬프트 템플릿(예시)

당신은 방대한 학술 데이터를 분석하여 최신 연구 동향을 짚어내는 '수석 학술 트렌드 분석가'입니다.

제가 제시하는 [광범위한 연구 주제]를 바탕으로 현재 학계에서 가장 주목받고 있는 세부 트렌드를 분석하고, 후속 연구 기획 단계에서 활용할 수 있는 '핵심 타겟 키워드'를 도출해 주세요.

[입력 정보]

광범위한 연구 주제: [~ 연구 주제 ~]

타겟 문헌 범위: [~ 연도 범위 ~]

[출력 형식 및 필수 항목]

메가 트렌드 진단 (Trend Overview): 해당 분야에서 최근 가장 활발하게 논의되고 있는 주요 연구 흐름 3가지를 각각 2줄 이내로 요약해 주세요.

유망 세부 분야 도출 (Sub-topic Funneling): 위 흐름 중 향후 발전 가능성이 가장 높고 연구 공백이 존재할 것으로 예상되는 1개의 세부 분야로 범위를 좁혀(Funneling) 그 이유를 설명해 주세요.

□ 기획 연계용 '핵심 타겟 키워드' (Core Target Keywords): 좁혀진 세부 분야를 대표하는 가장 중요한 학술적 영문 키워드 3~5개를 쉼표로 구분하여 제시해 주세요. (이 키워드는 다음 연구 기획 단계의 입력값으로 바로 사용될 예정입니다.)

초기 탐색용 검색식: Web of Science나 Scopus에서 이 트렌드를 전반적으로 훑어보기 (Skimming) 좋은 기본 Boolean 검색식을 1개 제공해 주세요.

#### - 기본 요청과 프롬프트 결과 비교

탐다운 프롬프트의 경우 “초고강도 경량 철강(Fe-Mn-Al-C) 연구, 최근 3년 이내 우수 학술지 중심”에 대한 내용을 요청하였고, 기본 요청의 경우 “요즘 초고강도 경량 철강 관련해서 무슨 연구 많이 해?”라는 질문으로 요청하여 산지니 AI의 GPT 5.4를 기준으로 결과 도출 및 비교 분석하였다.

	기본 요청	답다운 프롬프트
<p><b>출력값</b></p>	<p>요즘 초고강도 경량 철강 쪽에서 많이 나오는 연구 흐름을 요약하면, 핵심은 “더 가볍게 만들면서도 충돌 안전성, 성형성, 접합성, 수소취성 저항, 그리고 저탄소 생산성까지 같이 잡는 것”입니다. 특히 자동차-전기차 자체 AHSS/UHSS(고장력강/초고강도강) 중심으로 연구가 활발합니다. (worldautosteel.org)</p> <p>요즘 많이 보이는 큰 주제는 3세대 AHSS와 그 이후급 강재 개발입니다. 전통적으로는 강도를 올리면 연성이 떨어지는데, 최근 연구는 미세조직 설계로 이 트레이드오프를 줄이려 합니다. 예를 들어 다상조직 제어, 메탄안정 오스테나이트 활용, 그리고 더 멀리 2 GPa급 이상의 초고강도와 usable ductility를 동시에 노리는 설계가 계속 언급됩니다. ORNL 자료에서도 3세대 AHSS 이후의 초고강도강 R&amp;D가 진행 중이라고 정리하고 있습니다. (info.ornl.gov)</p> <p>두 번째는 핫스탬핑/프레스 하드닝 강 연구입니다. 이 분야는 이미 산업 적용이 넓지만, 최근엔 단순히 강도만 높이는 게 아니라 박삭 형상 성형성, 부분 가열-부분 경화, 표면 특성, 충돌부별 맞춤 물성 쪽으로 발전하고 있습니다. rdsteel 2025 자료에서도 고강도와 낮은 표면 경도를 동시에 노리는 저합금 설계와 고도 냉각 제어 같은 방향이 개됩니다. (worldsteel.org)</p> <p>세 번째는 접합성과 용접성, 특히 LME(liquid metal embrittlement, 액체금속취성) 저감입니다. 고강도 아연도금을 저항용접할 때 문제가 커서, 요즘은 합금-도금-용접 공정 최적화를 통해 실차 적용 신뢰성을 높이는 연구가 많습니다. WorldAutoSteel도 2025 업데이트에서 AHSS의 LME 민감도가 금속학-생산-용접 기술 발전으로 낮아졌다고 설명합니다. (worldautosteel.org)</p> <p>네 번째는 수소취성 저항 향상입니다. 초고강도강은 강도를 올릴수록 수소에 취약해지기 쉬운데, 최근에는 화학적 미세조직적 불균질성을 이용해서 수소 트랩을 설계하고 균열 전파를 억제하는 방향의 연구가 주목받고 있습니다. 관련 연구에서는 Mn-rich zone 같은 미세조직 설계가 가법고 강재의 수소 저항성을 높일 수 있음을 보여줍니다. (arxiv.org)</p> <p>다섯 번째는 EV용 차체-배터리 보호 구조 최적화입니다. 내연기관 때의 단순 경량화와 달리, 전기차는 배터리 보호 측면 충돌-엔더바디 강성까지 같이 봐야 해서, 강재 연구도 에너지 흡수와 구조 통합 설계와 연결됩니다. WorldAutoSteel은 2025 마이크로스터디에서 AHSS가 소형 EV의 측면 충돌 보호와 배터리 보호에 유리하다고 소개합니다. (worldautosteel.org)</p> <p>또 하나 중요한 축은 저탄소 재료와 합금 단순화입니다. 요즘은 “좋은 강재”의 기준이 기계적 성능만이 아니라, 스텝 활용성, 합금 원소 절감-공정 탄소배출 저감까지 포함합니다. worldsteel 2025 자료와 OECD 전망은 철강 업계 밖에서 저탄소 생산 전망이 매우 큰 화두임을 보여줍니다. 즉, 앞으로 연구는 초고강도-경량화 + 제조 탄소 저감 시트로 가는 흐름입니다. (worldsteel.org)</p> <p>정리하면, 요즘 많이 하는 연구는 대체로 이 6가지입니다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3세대 AHSS/그 이후급 초고강도강 설계</li> <li>핫스탬핑/프레스 하드닝 강고도화</li> <li>용접성/LME 문제 해결</li> <li>수소취성 저항 향상</li> <li>EV 충돌 안전-배터리 보호용 구조 강재</li> <li>저탄소 공정-재활용 친화 합금 설계 (worldautosteel.org)</li> </ol> <p>원하시면 제가 다음 단계로 바로 이어서</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 키워드 20개 뽑아드리거나</li> <li>색사/박사 연구주제 후보로 바꿔드리거나</li> <li>자동차용 / 조선용 / 건설용으로 나눠서 정리해드릴게요.</li> </ul>	<p>답다운 프롬프트</p> <p>산지니 AI <span style="float: right;">GPT 5.4</span></p> <p>아래는 최근 3년(대략 2023-2026) 우수 학술지 중심으로 본 “초고강도 경량 철강(Fe-Mn-Al-C)”의 학술 트렌드 일목 분석입니다. 최근 문헌에서는 이 계열이 저밀도-고강도-고연성의 조합 때문에 계속 주목받고 있고, 특히 k-carbide 기반 강화, 적층제조 공정 적용, 수소취성/부식 같은 환경안전성이 빠르게 부상하고 있습니다. (sciencedirect.com)</p> <p><b>1) 메가 트렌드 진단 (Trend Overview)</b></p> <p>① k-carbide/시료경화 기반 초고강도화와 strength-ductility 최적화</p> <p>최근 연구는 Fe-Mn-Al-C 오스테나이트계 경량강에서 k-carbide 석출 제어, 미세합금(V 등), 시료처리, 이질조직 설계를 통해 강도와 연성의 동시 향상을 노리는 방향이 가장 활발합니다. (sciencedirect.com)</p> <p>② 적층제조(특히 LPBF/SLM, DED)로의 확장</p> <p>2024-2025년에는 Fe-Mn-Al-C를 laser powder bed fusion, selective laser melting, direct energy deposition에 적용해 급속용고 하에서의 상형성-결함-기계적 특성을 해석하는 연구가 두드러지게 늘었습니다. (sciencedirect.com)</p> <p>③ 실제 적용을 가로막는 환경신뢰성 이슈: 수소취성-부식-극저온 성능</p> <p>기존의 “강도-연성” 중심 연구에서 나아가, 최근에는 수소 환경에서의 취성 거동, 내식내마모 개선(Cr/Mo 등), 그리고 극저온 인장 거동을 다루는 응용지향 연구가 빠르게 부상했습니다. (sciencedirect.com)</p> <p><b>2) 유망 세부 분야 도출 (Sub-topic Funneling)</b></p> <p><b>추천 Funneling 분야</b></p> <p>“수소취성 저항성을 고려한 Fe-Mn-Al-C 경량강의 미세조직-변형기구 통합 설계”</p> <p><b>이유</b></p> <p>이 분야는 Fe-Mn-Al-C가 본래 가진 고강도-저밀도 장점을 실제 구조재로 연결하는 데 가장 중요한 병목입니다. 최근 Acta Materialia급 연구에서 Fe/MnAlC 저밀도강의 환경-enhanced microbanding과 취성 저항성이 직접 다뤄졌고, 수소경량-자동차-에너지 저장 구조재 관점에서 관련성이 커지고 있습니다. (sciencedirect.com)</p> <p>또한 이 세부 분야는 아직 연구 공백이 분명합니다. 즉, k-carbide/상분율/SFE(적층결함에너지)/이질조직/가공열처리와 수소 유입-트랩-균열전파의 연결을 체계적으로 설명한 연구는 상대적으로 적고, 적층제조까지 포함하면 더 큰 빈틈이 존재한다고 볼 수 있습니다. 이 판단은 최근 문헌들이 각각 공정, 강화, 수소취성, 환경특성을 분절적으로 다루는 경향에서 도출한 주관입니다. (sciencedirect.com)</p> <p><b>3) 기획 연계용 ‘핵심 타겟 키워드’ (Core Target Keywords)</b></p> <p>hydrogen embrittlement, Fe-Mn-Al-C lightweight steel, k-carbide precipitation, stacking fault energy, microbanding</p> <p><b>4) 초기 탐색용 검색식</b></p> <pre>TS = (("Fe-Mn-Al-C" OR "Fe Mn Al C" OR "lightweight steel*" OR "low-density steel*") AND (hydrogen embrittlement OR hydrogen-assisted cracking OR hydrogen damage) AND ("kappa carbide" OR k-carbide OR precipitation OR "stacking fault energy" OR microbanding))</pre> <p>원하시면 다음 단계로 이어서</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>이 키워드 기반의 최신 핵심 논문 10편 선별,</li> <li>연구 공백(gap) 매트릭스 작성,</li> <li>후속 과제명/주목 초안 작성 까지 바로 해드릴 수 있습니다.</li> </ol>

- 기본 요청과 프롬프트 결과 비교

비교 항목	기본 요청	탐다운 프롬프트
접근 방식 및 깊이	산업 동향 위주의 포괄적 서술	학술 데이터 기반의 심층 분석
출력값의 구조	단순 병렬식 나열	논리적 퍼널링 적용
키워드	추상적이고 일상적인 용어	전문적인 영문 키워드
활용성	수동적인 추가 작업 필요	즉시 적용 가능한 키워드 제공

### ○ 기획 프롬프트

기획 프롬프트는 탐다운 프롬프트에서 얻은 결과물로 연구 공백을 제시하고 연구자의 실제 상황과 결합하여 실행 가능한 연구 계획으로 변환하는데 중점을 둔다. 키워드와 연구자가 보유한 분석 기기 등을 고려하여 연구 기획서를 자동 생성하는데 목적이 있다. 주요 지시 사항으로는 먼저 수석 연구 기획자로 역할을 설정하여 학술적 엄밀함과 기획자로서 체계적인 면모를 가지게 한다. 또한 논리 구조를 [배경-한계-가설-기대효과]로 이어지는 형식으로 지정하여, 제 3자를 설득하기에 최적화된 구조를 갖추게 한다. 마지막으로 기획된 아이디어가 실제 연구 공백인지 연구자 스스로 검증할 수 있도록 구체적인 검색식을 산출하도록 한다.

#### - 프롬프트 템플릿(예시)

당신은 융합 연구 트렌드를 분석하고 성공적인 연구 과제를 기획하는 '수석 연구 기획자 (Research Strategist)'입니다.

탐다운 프롬프트에서 도출된 핵심 키워드와 제가 보유한 분석 기법을 융합하여, 학계의 [연구 공백]을 공략하는 기획서를 작성해 주세요.

[입력 정보]

도출 키워드: [~도출된 키워드~]

보유 분석 기법/조건: [~연구자가 보유 중인 기기 및 기술~]

최종 목적: [~탐다운 프롬프트를 기반으로 세운 목적~]

[출력 형식 및 필수 항목]

핵심 연구 공백 (Research Gap): 두 정보의 교차점에서 발견되는 기존 연구의 한계와 본 연구가 파고들 '빈틈'을 정의해 주세요.

연구 제안 스토리보드: [Background - Limitation - My Hypothesis - Expected Impact]의 4단계로 작성해 주세요.

가설 검증용 검색식: 본 기획의 독창성을 확인하기 위한 정밀한 영문 검색식을 제공해 주세요.

**- 기본 요청과 프롬프트 결과 비교**

기획 프롬프트의 경우 앞선 탐다운 프롬프트를 기반으로 수소취성, 적층결함 에너지 등에 대해 작성하였고, 기본 요청의 경우 “수소 취성, 카파 카바이드 석출, 적층결함 에너지, 마이크로밴딩을 활용한 연구계획서를 1페이지 분량으로 써줘” 라는 질문으로 요청하여 산지니 AI의 GPT 5.4를 기준으로 결과 도출 및 비교 분석하였다.

	기본 요청	타다운 프롬프트
<p style="text-align: center;"><b>출력값</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>기본 요청</b></p>	<p>중입니다. 아래의 **[Step 1 키워드] x [보유 분석 영역(FEM + Ni 첨가 미세조직/응력-변형률 데이터)]**의 교차점에서, 최근 3년 내 문헌 흐름을 기준으로 연구 공백을 겨냥한 1-Page 기획안입니다.</p> <p>최근 문헌을 보면 Fe-Mn-Al-C 경량강에서는 <b><math>\kappa</math>-carbide</b> 석출 제어가 기계적 특성 핵심 변수로 자리 잡고 있고, Ni 첨가는 B2 상 형성 및 석출 거동 변화와 관련된 것으로 보고됩니다. 또한 적응결함에너지(SFE)는 변형상장 적응결함 microbanding 같은 변형 모드와 수소취성 감수성을 잇는 설계 변수로 다루지고 있습니다. (sciencedirect.com) (C)</p> <p>한편 수소취성 관련 최근 연구는 Fe-Mn-Al-C 계 및 고Mn 오스테나이트강에서 활발하지만, 대체로 "실용적 현상 규명" 또는 "단일 미세조직 변수 해석"에 집중되어 있고, Ni 첨가 → 석출/상분율 변화 → SFE 변화 → microbanding/균열 민감도를 열-기계 FEM과 연관한 통합 예측 프레임은 아직 매우 제한적이라고 볼 수 있습니다. 이는 최근 문헌들이 <math>\kappa</math>-carbide, B2, 수소취성, 공정/적응제조를 주로 개별 축으로 다루는 경향에서 도출한 해석입니다. (sciencedirect.com) (C)</p>
	<p><b>연구계획서</b></p> <p><b>적응결함에너지 및 <math>\kappa</math>-carbide 제어를 통한 Fe-Mn-Al-C계 초고강도 경량강의 microband 기반 변형거동과 수소취성 저감 메커니즘 규명</b></p>	<p><b>1) 핵심 연구 공백 (Research Gap)</b></p> <p>정의:</p> <p>현재 Fe-Mn-Al-C 경량강 연구는</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\kappa</math>-carbide 및 기타 석출상 제어를 통한 강도 향상,</li> <li>SFE 기반 변형기구 해석,</li> <li>수소취성 저항성 평가</li> </ul> <p>를 각각 활발히 수행하고 있으나, 이들 사이를 Ni 첨가라는 조성 변수로 일관되게 연결하여 "미세조직-SFE-microbanding-수소손상-강도/인성"의 인과 사슬을 정량 설계하는 연구는 부족합니다. (sciencedirect.com) (C)</p> <p>본 연구가 파고들 빈틈:</p>
	<p>최근 자동차 및 전기차 산업에서는 차체 경량화와 충돌 안전성 향상을 동시에 만족할 수 있는 초고강도 경량 철강의 필요성이 증가하고 있다. 그중 Fe-Mn-Al-C계 경량강은 Al 첨가에 따른 낮은 밀도, Mn 및 C에 의한 우수한 연성, 그리고 <math>\kappa</math>-carbide 석출에 의한 높은 강도 확보가 가능하다는 점에서 차세대 구조재료 주목받고 있다. 그러나 실제 적용을 위해서는 강도 향상 과정에서 필연적으로 발생하는 수소취성 문제, 그리고 조성 및 열처리 조건에 따라 달라지는 적응결함에너지(stacking fault energy, SFE) 및 변형기구의 정밀 제어가 필수적이다. 특히 Fe-Mn-Al-C계 강에서는 SFE에 따라 planar slip, deformation twinning, microbanding과 같은 변형 양상이 달라지며, 이 과정에서 형성되는 전위 구조, 적응결함, 상정 경계, 석출물 계면은 모두 수소의 침투와 트랩, 균열 개시에 직접적인 영향을 미칠 수 있다.</p> <p>본 연구의 목적은 Fe-Mn-Al-C계 초고강도 경량강에서 SFE와 <math>\kappa</math>-carbide 석출 거동을 제어함으로써, microband 기반 소성변형과 수소취성의 상관관계를 규명하는 것이다. 구체적으로는 Mn, Al, C 함량과 시료 열처리 조건을 조절하여 SFE 및 <math>\kappa</math>-carbide의 크기, 분율, 분포, 계면 특성을 변화시키고, 이에 따른 변형기구의 차이와 수소거동의 변화를 체계적으로 분석하고자 한다. 이를 통해 강도-연성-수소취성 저항성의 균형이 가장 우수한 미세조직 조건을 도출하는 것이 최종 목표이다.</p> <p>연구 방법으로는 우선 Fe-(25~30Mn)-10Al-(0.7~1.2)C 범위의 합금 조성을 설계하고, 용체화 처리 및 시효처리를 통해 <math>\kappa</math>-carbide 석출 상태를 제어할 예정이다. 이후 XRD, SEM, EBSD, TEM 분석을 통해 기본 미세조직과 석출물 분포를 평가하고, TEM 기반 결합 분석 및 열역학 계산을 통해 SFE 변화를 정량화할 것이다. 기계적 특성 평가는 상온 인장시험과 변형 중단 실험(interrupted tensile test)을 통해 수행하며, microbanding, twinning, planar slip의 경형 거동을 관찰할 예정이다. 또한 전기화학적 수소 charging과 SSRT(slow strain rate test), TDS(thermal desorption spectroscopy), 파편 분석을 통해 수소의 확산 및 트랩 거동, 그리고 균열 개시 위치를 평가할 계획이다. 필요 시 APT를 활용하여 <math>\kappa</math>-carbide와 기지 계면의 원소 분배 및 수소 관련 거동을 더욱 정밀하게 해석하고자 한다.</p> <p>본 연구는 SFE-변형기구-<math>\kappa</math>-carbide-수소취성의 연계 메커니즘을 통합적으로 규명한다는 점에서 학문적 의의가 크다. 특히 <math>\kappa</math>-carbide가 단순한 강화상이 아니라 수소 트랩 또는 균열 개시원으로 작용할 수 있는 조건을 구분하고, microbanding이 수소취성 저항성에 미치는 영향을 정량적으로 분석함으로써, 초고강도 경량강의 설계 전략을 보다 정교하게 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 궁극적으로 본 연구는 차세대 자동차용 경량 구조재 개발에 필요한 고강도-고연성-고신뢰성 철강 소재 설계 원리를 제시하는 데 기여할 것이다.</p>	<p><b>2) 1-Page 연구 제안 스토리보드</b></p> <p><b>Background</b></p> <p>Fe-Mn-Al-C 경량강은 일반 강재 대비 밀도 저감과 높은 강도-연성 조합 때문에 차세대 구조재료 주목받고 있다. 최근 연구는 이 계에서 <math>\kappa</math>-carbide 석출이 강도 증가의 핵심이며, 반대로 과도한 석출/조대화는 취화를 유발할 수 있음을 보여줍니다. 또한 Ni 첨가는 B2 상 형성 및 석출 거동 변화와 연결되어 미세조직 제어 변수로 부상하고 있습니다. (sciencedirect.com) (C)</p> <p>동시에 수소 환경에서의 사용 가능성을 위해 hydrogen embrittlement(HE) 문제가 중요해지고 있습니다. 최근 고 Mn 계 오스테나이트강 연구는 SFE가 수소 존재 하 변형기구와 균열 민감도를 좌우하는 설계 변수임을 보여주며, 수소가 적응결함/상정 microband 형성을 촉진해 국부 손상을 유도할 수 있음을 시사합니다. (sciencedirect.com) (C)</p> <p><b>Limitation</b></p> <p>하지만 현재까지의 연구는 대체로 세 갈래로 분되어 있습니다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>석출/니 중심 연구는 <math>\kappa</math>-carbide와 B2 상성이 기계적 성질에 미치는 영향을 다루지만 수소손상과 직접 연결이 약하고,</li> <li>HE 연구는 수소 존재 하 변형 및 파괴 현상을 보여주지만 조성 변수, 특히 Ni 변화에 따른 미세조직-변형 경로의 세조정 효과를 깊게 다루지 않으며,</li> <li>시뮬레이션 연구도 공칭 또는 변형률 해석 비중이 높아, 수소취성까지 포함한 미세조직-응력 통합 예측은 드물다. (sciencedirect.com) (C)</li> </ol> <p>결과적으로 "Ni 첨가가 <math>\kappa</math>-carbide/B2/SFE를 조절하고, 그 변화가 microbanding과 국부 응력 집중을 매개로 HE 저항성 및 강도-인성 균형에 어떤 최적점을 만드는가?"라는 핵심 질문이 아직 남아 있습니다. 이 공백은 특히 합금 설계 가이드라인을 원하는 연구개발 관점에서 치명적입니다. (sciencedirect.com) (C)</p>
	<p>원하시면 재가 이질 바로</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>타닥딱한 교수 제출용 문체로 바꾸거나</li> <li>자기소개서/책임계획서 스타일로 바꾸거나</li> <li>"지열동기 + 연구계획 + 진로계획" 형식으로 재작성해드릴게요.</li> </ul>	<p><b>My Hypothesis</b></p> <p>가설:</p> <p>적정 Ni 첨가량은 Fe-Mn-Al-C 경량강의 <math>\kappa</math>-carbide/B2 석출 상태와 SFE를 동시에 조절하여, microbanding의 발생 시점과 국부 응력 집중 분포를 재편하고, 그 결과 강도 손실 없이 수소취성 감수성을 높일 수 있다. (sciencedirect.com) (C)</p> <p>이를 구체화하면 다음과 같습니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ni 변화는 상안정성과 석출 경로를 변화시켜 <math>\kappa</math>-carbide의 크기 분율 분포 및 B2 형성에 영향을 준다. (sciencedirect.com) (C)</li> <li>이 미세조직 변화는 SFE 및 가공경화 거동을 바꾸어, 변형상장/적응결함/microbanding의 발생 순서를 변경한다. (sciencedirect.com) (C)</li> <li>그 결과 국부 strain localization과 hydrogen-assisted cracking의 민감도가 달라진다. (sciencedirect.com) (C)</li> </ul> <p>따라서 실험 데이터 기반 FEM 열/기계 해석으로 국부 응력-변형률 손상 지표를 정량화하면, Ni 첨가량-열처리-미세조직-HE 저항성-강도/인성의 설계 지도를 구축할 수 있다. 이 마지막 연결은 기존 문헌의 불일정을 바탕으로 한 본 연구의 핵심 통합 가설입니다. (sciencedirect.com) (C)</p> <p><b>Expected Impact</b></p> <p>본 연구가 성공하면, Fe-Mn-Al-C 경량강 분야에서 흔히 "강도는 높이지만 취성이 커진다"는 문제를 넘어, strength-toughness trade-off와 hydrogen embrittlement resistance를 동시에 고려한 합금 설계 원리를 제시할 수 있습니다. 이는 단순한 성능 보강을 넘어, 실제 개발자가 사용할 수 있는 Ni 최적 조성량 및 열처리/공정 조건 가이드라인으로 이어질 수 있습니다. (sciencedirect.com) (C)</p> <p>또한 학술적으로는 <math>\kappa</math>-carbide precipitation-SFE-microbanding-HE를 하나의 인과 메커니즘 체계로 묶는 데 기여하고, 방법론적으로는 실험 미세조직 데이터 + 응력-변형률 데이터 + FEM 시뮬레이션을 결합한 통합 설계 프레임워크를 제시할 수 있습니다. 이는 Fe-Mn-Al-C뿐 아니라 고Mn 오스테나이트계 및 저밀도 강 전반으로 확장 가능한 플랫폼이 될 가능성이 큼니다. (sciencedirect.com) (C)</p>

출력값	<p><b>3) 가설 검증용 '역-검색식 (Reverse Boolean)'</b></p> <p>아래 검색식은 **이미 누가 거의 동일한 프레이밍으로 했는가?***를 확인하기 위한, 다소 좁은 중복성 검증용 검색식입니다.</p> <pre> text TS = ( ("Fe-Mn-Al-C" OR "Fe Mn Al C" OR "lightweight steel*" OR "low-density steel*") AND ("hydrogen embrittlement" OR "hydrogen-assisted cracking" OR "hydrogen damage") AND ("kappa carbide" OR "κ-carbide" OR "precipitation" OR "B2 phase") AND ("stacking fault energy" OR "SFE" OR "microbanding" OR "deformation mechanism") AND ("nickel" OR "Ni addition" OR "Ni-alloyed") AND ("finite element" OR "FEM" OR "simulation" OR "thermo-mechanical modeling") ) </pre> <p>원하시면 다음 단계로 이어서</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 과제명 3안,</li> <li>• 세부 연구목표/세부과제(WP1-WP3),</li> <li>• 도식형 연구추진체계도,</li> <li>• 차별성 문장(기존 과제 대비 3줄 요약)</li> </ul> <p>형식으로 바로 확장해드릴 수 있습니다.</p>
-----	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**- 기본 요청과 프롬프트 결과 비교**

비교 항목	기본 요청	기획 프롬프트
논리 전개 방식	산업 동향 위주의 포괄적 서술	학술 데이터 기반의 심층 분석
연구의 독창성	기존 문헌의 짜깁기 수준	날카로운 연구 공백 도출
연구자 역량 반영	반영 불가능	맞춤형 기획 연계

**3. 기대 효과**

본 보고서는 연구자들이 겪는 문헌 탐색 및 연구 주제 선정의 비효율을 해결하기 위해 산지니 AI를 활용한 탐다운 프롬프트와 기획 프롬프트를 작성하였고, 이를 통해 연구 기획 파이프라인을 제안하였다.

이 시스템은 실제 수백편의 논문을 직접 검토하고 아이디어를 구체화하는데 소요되던 수 주의 물리적 시간을 단 몇 십 분 단위로 압축하였다. 도출된 결과물은 [배경-한계-가설-기대효과]의 명확한 구조를 갖추고 있어 연구의 타당성 조사를 위한 초안으로 즉시 활용될 수 있다.

또한, 고가의 장비나 현실성 없는 조건을 제안하는 AI의 환각 현상을 원천 차단하고, 연구자의 현실에 맞추어 연구실 내에서 가동할 수 있는 장비와 기법을 입력값으로 강제함으로써 실현 가능성이 높은 아이디어만을 도출해 낸다. 또한, 가설 검증용 검색식을 통해 아이디어의 중복성까지 자체 검증할 수 있는 워크플로우를 제시했다.

본 보고서의 프롬프트들은 특정 전공에 국한되지 않고, 빈칸을 채우는 형태의 템플릿으로 설계되었다. 거시적인 관심 분야와 보유 분석 기법에 어떤 것을 입력하느냐에 따라 그 가능성은 무궁무진하다.