

Technical Article

환경영향평가 검토지원을 위한 생성형 AI의 시범적용과 확대 방향

최광훈 · 하종식 · 진대용

한국환경연구원

Pilot Application and Expansion Direction of Generative AI for the Review of Environmental Impact Assessment Reports

Kwanghun Choi · Jongsik Ha · Daeyong Jin

Korea Environment Institute

요약: 환경영향평가서 검토는 환경영향평가 내용 및 절차의 전문성, 객관성 등을 확보하기 위한 중요한 과정으로, 1997년 환경영향평가법 개정 이후 최근까지 법적 근거에 따라 단일의 국책연구기관이 독립적이며 독점적으로 그 역할을 지원해 왔다. 이와 관련하여 2021년에는 다양한 검토의견 확보 차원에서 검토기관의 분산화 및 다원화가 진행되었으나, 검토의견의 독립성 및 일관성에 한계가 상존한다는 의견이 제기되었다. 다른 한편으로 2022년 11월에 OpenAI의 ChatGPT가 소개되면서 생성형 AI의 활용이 증가해 왔으며 최근에는 일상, 업무, 그리고 연구에까지 보편화되고 있다. 이에 그간의 환경영향평가서 검토 역량 활용과 최근 분산/다원화된 기관들의 검토의견 균형성 확보 목적으로 생성형 AI의 활용 가능성이 언급되고 있다. 본 논문에서는 환경영향평가서 검토지원을 위한 생성형 AI의 시범적인 구축과 향후 방법론적 제도적 확대 방향을 제안하고자 하였다. 이를 위하여 우선 환경영향평가 제도 내에서 운영되는 건강영향평가 관련 내용의 검토지원을 위한 생성형 AI 시스템을 시범적으로 구축하여 활용 사항을 정리하였다. 이와 더불어 환경영향평가서 검토의 절차, 내용, 이해관계자 등을 구체화하여 방법론적 측면과 제도적 측면에서 도입 시 고려사항을 검토하여 제안하였다.

주요어: 환경영향평가서 검토, 생성형 AI, 건강영향평가

Abstract: The review of environmental impact assessment reports is a crucial process to ensure the expertise and objectivity of the content and procedures of Environmental Impact Assessment (EIA). Since the amendment of the Environmental Impact Assessment Act in 1997, a single national research institute has independently and exclusively supported this role based on legal grounds. In 2021, in an effort to secure a more diverse range of review opinions, there was a movement towards decentralization and diversification of review institutions. However, concerns have been raised about the limitations in the independence and consistency of these review opinions. Meanwhile, with the introduction of OpenAI's ChatGPT in November 2022, the use of generative artificial intelligence (AI)

has increased, becoming common in daily life, work, and research. This has led to discussions about the potential use of generative AI to leverage existing EIA review capabilities and ensure a balanced range of opinions from the recently decentralized and diversified institutions. This study aims to propose a pilot implementation and future methodological and institutional expansion of generative AI to support the review of environmental impact assessment reports. To achieve this, a generative AI system was initially developed and tested to support the review of content related to Health Impact Assessment within the EIA framework. The practical applications of this pilot system were documented. Additionally, by specifying the procedures, content, and stakeholders involved in the EIA review process, this paper suggests considerations for its expansion from both methodological and institutional perspectives.

Keywords: the review of environmental impact assessment reports, generative AI, health impact assessment

I. 서론

「환경영향평가법」 제28조와 관련하여 한국환경연구원(이하 Korea Environment Institute; KEI)은 1997년 해당 법이 개정된 이후 2020년까지 약 20년간 국내 유일의 독립적이고 전문적인 환경영향평가 검토기관으로 그 역할을 수행해 왔다(National Law Information Center 2024a). 하지만 평가서 검토 시 국내 정책적 상황과 현장 여건 인식 미흡과 환경보전에 치우친 대응, 그리고 동일한 평가항목 내 검토위원 간의 일부 의견 차이 등의 문제가 있다는 KEI 내부 진단도 제기되었다. 이에 2020년 5월 「환경영향평가법 시행령」 개정을 통해 환경부는 KEI의 검토기능을 국립환경과학원, 한국환경공단, 국립생태원, 국립생물자원관으로 분산·다원화하였다(National Law Information Center 2024b). 또한 국립환경과학원 내에 환경영향평가센터를 설립하여 총괄 기능을 수행하도록 하였다(Ro 2021). 하지만 분산·다원화된 검토기관들이 환경부 산하 또는 소속기관으로 한정되어 있기 때문에 협의기관인 환경부로부터 독립성 확보가 어려워 검토의견 중립성이 훼손될 수 있으며, 검토기관 분산·다원화로 검토의견을 조율·종합하는 기능이 부족하여, 검토의견의 균형성이 저해될 수 있다(Ro 2021).

이와 더불어 최근 광역지자체들은 특별자치법 또는 「환경영향평가법」 제42조(시도의 조례에 따른 환경영향평가)에 근거하여 환경영향평가 협의권을 관할 지

체로 이관하고 있으며, 이에 따라 환경영향평가 검토기관이 점차 확대되고 있다(National Law Information Center 2024a). 환경영향평가 협의권의 이관 정도는 광역지자체별로 차이가 있으나, 특별자치법으로 현재 시행 중인 제주특별자치도의 경우에는 KEI 이외에 제주녹색환경지원센터가, 강원특별자치도의 경우에는 KEI 이외에 강원연구원이 전문 검토기관으로 그 역할을 수행하고 있다. 시도 조례에 따라 현재 시행 중인 서울특별시의 경우에 서울연구원, 경기도의 경우에 경기연구원이 전문 검토기관으로의 역할을 수행하고 있다. 그 외의 광역지자체별 특별자치법 제정 또는 시도 조례를 통해 환경영향평가의 협의권을 환경부에서 관할 지자체로 이관하려는 노력이 추진되고 있어, 그간 KEI가 독점적으로 수행했던 환경영향평가서에 대한 검토는 다원화된 다수의 기관에서 수행될 것으로 예상할 수 있다. 이에 따라 2020년부터 시작된 환경부의 전문 검토기관 다원화로 우려되는 검토의견의 중립성 및 균형성 저해는 더욱 가중될 것으로 판단된다.

다른 한편으로 2022년 11월에 OpenAI의 ChatGPT가 소개되면서, 일상, 업무, 연구 등 사회 전반에서 초거대 인공지능 기반 대규모언어모델(Large Language Model: 이하 LLM)의 활용이 증가하고 보편화되었다. 최근에는 검색증강생성(Retrieval Augmented Generation: 이하 RAG) 등 LLM의 지식 베이스를 확장하여 사용자 제공 문서 등의 외부 정보를 활용하여 보다 객관적이고 사실에 기반한 결과를 생성할 수 있는 기술이 소개

되었다. 이러한 흐름에 따라 환경 분야에서도 LLM 활용이 보편화되는 사회적 패러다임에 준비할 필요가 있다. 특히 환경영향평가서 검토의 경우에 환경영향평가서의 작성 및 협의라는 제도적 특수성을 고려할 때, LLM 적용 시 장점과 한계를 파악하고 자료 활용 범위를 명확히 설정하며 보안 조건을 철저히 준수하는 것이 중요한 사항이라 할 수 있다.

따라서 KEI가 다년간 축적한 환경영향평가서 검토 역량을 LLM 및 RAG 기술과 같은 생성형 인공지능(이하 AI) 기술과 적절하게 결합하여 그간 축적된 환경영향평가서 검토 역량을 체계적으로 구축·제공할 경우에 최근 검토기관의 다원화에 따라 야기될 수 있는 검토의 객관성, 균형성, 그리고 독립성 확보에 일정 부분 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 이를 위해 본 논문은 현행 환경영향평가 제도 내에서 이루어지는 건강영향평가 관련 내용의 검토지원에 생성형 AI를 시범적으로 적용하여 활용 가능성을 평가하고, 이를 바탕으로 향후 환경영향평가의 검토지원에 확대 적용하기 위한 방법론적 제도적 방향을 제안하고자 한다.

II. 연구방법

1. 건강영향평가 검토지원을 위한 생성형 AI 시범적용

1) 대규모언어모델(LLM)과 검색증강생성(RAG)

대규모언어모델(이하 Large Language Model; LLM)은 자연어 처리 분야에서 발전한 기술로, 초기 자연어 처리 방식과는 달리 대규모 텍스트 기반 문서를 학습 자료로 활용하는 딥러닝 기법을 통해 구현되었다. LLM의 기술적 근간은 2017년 구글이 발표한 셀프 어텐션(Self-Attention) 메커니즘을 이용한 트랜스포머 모형(Transformer Model)이다. 셀프 어텐션 메커니즘은 각 단어와 다른 모든 단어와의 관계를 학습하여, 기존에 자연어 처리에 사용된 딥러닝 기법과 달리 텍스트의 길이가 길어져도 초기 입력 정보가 소실되지 않는 장점이 있다. 이러한 특성으로 인해 트랜스포머 모델에 기반을 둔 LLM은 사용자가 제공하는 텍스트의 문맥을 더욱 정확하게 이해하고, 길이가 긴 문장의 글을 제대로 처리하지 못했던 기존의 딥러닝 기반 자연어 처

리 기법의 약점을 효과적으로 극복하여 사람과 유사한 수준의 상호 응답을 가능하게 하였다(Vaswani et al. 2017). 또한, LLM은 '전이 학습(Transfer Learning)'이 가능하여 사전 학습된 지식을 다양한 하위 작업에 적용할 수 있다(Patil and Gudivada 2024). 이러한 기능들로 인해 LLM은 번역, 요약, 질의응답, 텍스트 생성 등에서 뛰어난 성능을 보인다. 실제 의료, 교육, 생명공학, 재료과학 등 다양한 응용 분야에서도 광범위하게 활용되고 있다(Sallam 2023, Boonstra et al. 2024, Jablonka et al. 2024, Jeon and Lee 2024, Tian et al. 2024).

하지만 대부분의 연구에서 지적하는 것처럼 LLM은 학습 데이터보다 최근에 만들어진 정보나 모형 학습에 사용되지 않은 전문적인 정보를 참조할 수 없어 그럴듯한 유사 정보를 생성하는 할루시네이션(Hallucination) 등 몇 가지 기술적 한계와 과제를 함께 가지고 있다. 이러한 LLM의 한계를 극복하고자 제시된 기법이 검색증강생성(이하 Retrieval Augmented Generation; RAG)이다. 즉 RAG은 LLM이 학습하지 않은 외부 지식이나 신뢰성이 확보된 최신 정보를 효율적으로 참조하여, LLM의 지식 업데이트 한계와 부정확한 응답 가능성을 극복하고 더욱 정확하고 신뢰성 있는 답변을 생성하도록 하는 기법이다(Gao et al. 2024). 일반적으로 LLM이 참조할 수 있는 텍스트에 한계가 있어서 RAG 시스템 안에서 외부 문서는 LLM이 처리할 수 있는 길이로 분할하고 분할된 텍스트는 임베딩(Embedding) 모형을 이용하여 임베딩 벡터로 변환할 수 있다.

텍스트 임베딩(Text embedding)은 텍스트 데이터를 의미에 따라 수치화하는 방법으로, 텍스트의 의미론적 특성과 문맥적 정보를 고려하여 자연어를 컴퓨터가 효율적으로 처리할 수 있는 고차원의 수치 벡터로 표현하는 방법이다. 텍스트 임베딩의 주요 장점은 의미적 유사성을 보존한다는 점이다. 유사한 의미를 갖는 텍스트는 벡터 공간에서 서로 가깝게 위치하게 된다. 이러한 특성 때문에 텍스트 임베딩을 이용하면 수학적 연산을 통해 사용자 질의(Query)와 관련된 정보를 정확하고 효율적으로 검색할 수 있다(Heimerl and Gleicher 2018). 그 후 LLM이 참조할 수 있도록 임베딩 벡터와 원문을 저장한 문서 임베딩 벡터 데이터베이스(이하 Database; DB)를 구축하는 방식으로 진행된다. 이를 이

용하면 대규모 외부 지식이 LLM에 주어졌을 때 사용자의 질의와 가장 유사한 정보를 찾아 LLM에 제공하여 LLM이 관련 정보를 바탕으로 응답(Response)하게 할 수 있다.

2) LLM 기반 건강영향평가 검토지원 시스템

본 논문은 생성형 AI가 적용된 환경영향평가 검토지원 시스템을 개발하기 위해 앞서 환경영향평가 항목 중 하나인 건강영향평가를 대상으로 RAG 기법을 활용한 LLM 기반 시스템을 시범적으로 구축하였다. 시범 구축한 시스템의 구성은 다음과 같다(Figure 1).

(1) 건강영향평가 검토지원을 위한 외부 지식

환경영향평가서 내 건강영향 항목의 추가 평가는 「환경보전법」 제13조에 근거하며(National Law Information Center 2024c), 특정 개발사업에 대한 법적인 평가·검토 매뉴얼이 존재하여 그간 검토의견이 일정 부분 전문성, 독립성, 일관성이 유지되었다고 가정할 수 있다. 이에 본 논문의 생성형 AI 활용의 시범적용 대상으로 건강영향평가 관련 검토지원을 대상으로 하였다. 더하여 본 논문에서는 외부 지식 제공 수준에 따른 생성형 AI의 활용 가능성을 평가해보기 위해, 건강영향평가

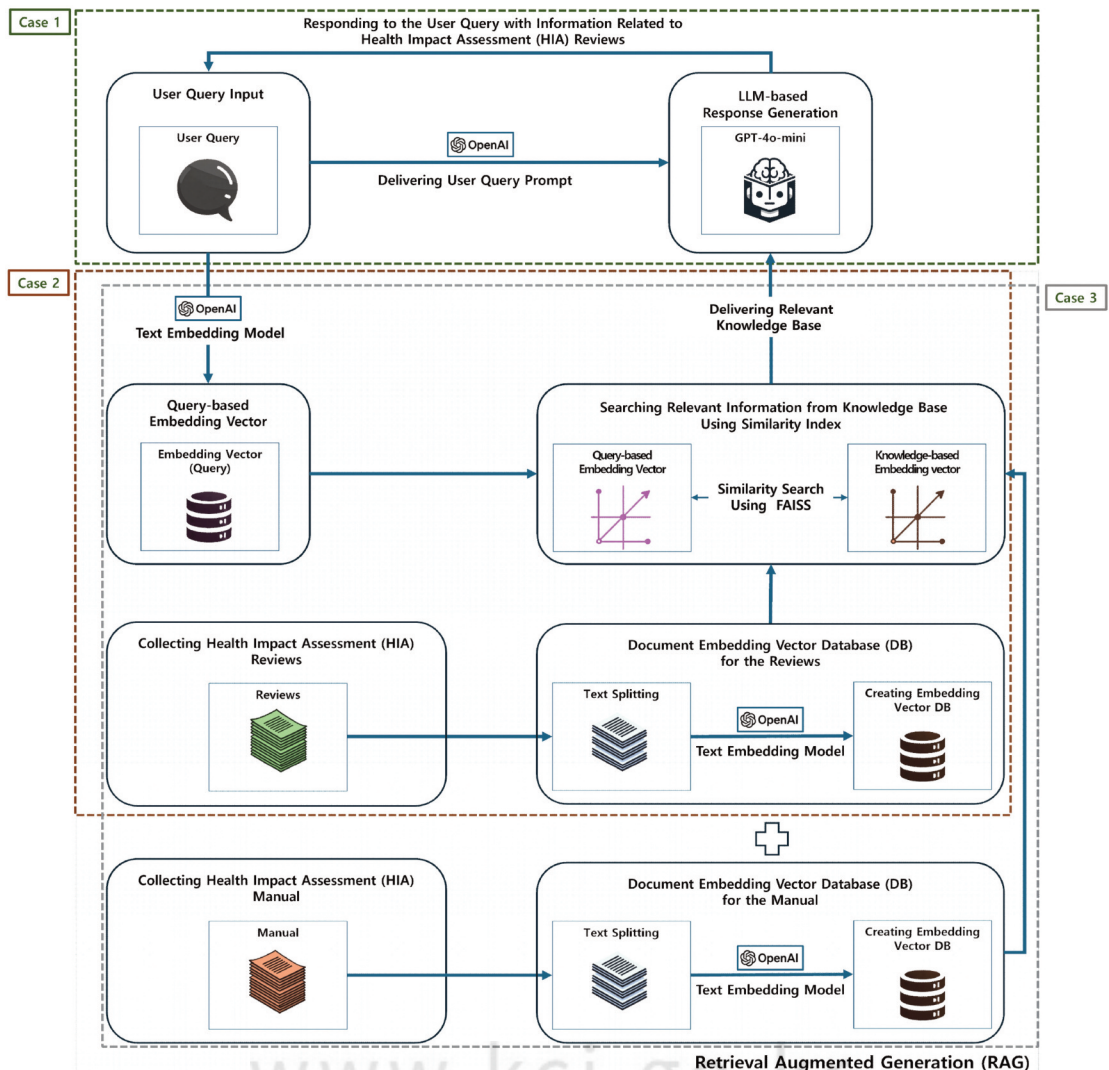


Figure 1. Concept of LLM-based Health Impact Assessment (HIA) review support system

검토에 대한 외부 지식으로서 건강영향 항목 관련된 “축적된 검토의견”과 환경부에서 발간한 건강영향 항목의 추가·평가 관련한 “평가 매뉴얼”로 구분하여 LLM에 제공하였다. “축적된 검토의견”은 2016년부터 2018년까지 3개년 동안 환경부에서 협의한 건강영향 항목 관련 내용의 검토의견을 바탕으로 협의기관 담당자 역량강화 목적으로 정리된 자료를 근거로 하였으며 (Ministry of Environment 2020), “평가 매뉴얼”은 2023년 5월에 발간된 건강영향 항목의 추가·평가 매뉴얼 자료를 근거로 하였다 (Ministry of Environment 2023). 외부 지식으로 사용된 “축적된 검토의견”은 평가 대상 여부, 현황조사, 영향 예측, 위해성 평가, 저감방안, 그리고 사후 환경영향 조사계획 등 건강영향평가의 모든 부분에 걸쳐 제공된 검토의견 관련 정보이다 (Ministry of Environment 2020). 이 의견은 18개의 중분류, 33개의 검토 주제, 56개의 검토사항으로 체계적으로 분류되어 있어 검토 주제에 대한 편향성이 적으며, 개발사업과 관련된 다양한 가능성을 종합적으로 고려한 건강영향평가 검토의견 관련 정보 데이터베이스라 할 수 있다.

(2) 지식 베이스 참조를 위한 문서 임베딩 DB 구축

본 논문에서 텍스트 임베딩은 “Text-embedding-3-large” 모형을 이용하여 진행되었다. 이 모형은 OpenAI의 사전 학습된 최신 텍스트 임베딩 모형으로 주어진 텍스트를 의미에 따라 3,072차원의 공간에 수치 벡터로 표현한다. 이 모형이 처리할 수 있는 텍스트의 최대 길이는 8,191 토큰으로 영문 텍스트 약 6,000~7,000단어 또는 한글 텍스트 약 2,000~3,000단어에 해당한다 (OpenAI, 2024a, OpenAI, 2024b). 따라서 효율적인 RAG 구성을 위해 수집된 문서를 텍스트 임베딩 모형이 처리할 수 있는 길이로 분할하고 의미를 기반으로 임베딩 벡터를 생성하였다. 이 과정은 RAG 기반 LLM 서비스를 쉽게 구현할 수 있도록 다양한 기능을 제공하는 플랫폼인 Langchain을 사용하여 진행하였다. 수집 문서는 Langchain이 제공하는 문서 분할 기능 모듈 (Langchain_text_splitters) 중 “RecursiveCharacterTextSplitter”라는 함수를 이용하여 분할하였다 (LangChain, 2024).

“RecursiveCharacterTextSplitter”는 기본적으로 줄바

꿈과 공백 등 텍스트의 장 혹은 문단, 문장 등을 기본 분할 단위로 하여 사용자가 지정한 길이 이내로 문서를 분할한다. 이에 본 논문에서는 문서 길이가 2,000 토큰을 초과하지 않도록 하였고, 글의 맥락을 유지하기 위해 1,000 토큰씩 앞뒤로 중복되도록 하였다. 그간 축적된 검토의견 관련해서 기본적인 줄바꿈을 기본 단위로 하였고, 평가 매뉴얼의 경우에 “절” 단위로 분할되어 있어 “제[숫자]절”을 기본 분할 단위로 정하였다 (LangChain, 2024). 일정한 크기로 분할된 문서는 OpenAI에서 발표한 임베딩 모형 중 가장 성능이 뛰어난 것으로 발표된 최신 임베딩 모형인 “text-embedding-3-large”를 이용하여 의미를 기준으로 수치 벡터로 변환하였다. 해당 임베딩 모형은 문서 내용을 바탕으로 의미를 파악한 후 그 의미를 3,072차원의 벡터 공간에 숫자 형태로 저장한다 (OpenAI, 2024a).

분할 및 벡터 임베딩 과정을 거친 문서는 빠르고 효율적인 자료 참조를 위해 FAISS (Facebook AI Similarity Search)로 임베딩 벡터 DB를 구축하였다. FAISS는 Meta AI Research에서 개발한 고차원 벡터 공간에서 밀집 벡터의 효율적인 유사성 검색 및 클러스터링 등을 지원하는 라이브러리이다 (Douze et al. 2024). 본 논문에서 생성한 임베딩 벡터는 고차원 공간에 존재하고 있어 자료의 효율적인 검색을 위해 FAISS 기반 벡터 DB를 구축하였다.

(3) 사용자 질의 처리

LLM 모형을 통해 건강영향평가 검토와 관련하여 사용자가 원하는 질의에 대한 응답을 받기 위해 사용자로부터 질의를 입력받고, 입력된 질의는 지식 베이스의 임베딩에 쓰인 것과 같은 OpenAI의 “text-embedding-3-large” 모형을 이용하여 벡터로 변환하였다.

(4) 유사도 기반의 질의 관련 건강영향평가 검토

지식 베이스 추출

입력된 사용자 질의를 기반으로 그간 축적된 검토의견 및 평가 매뉴얼의 지식 베이스에서 관련 정보를 추출하였다. 관련 정보는 질의를 변환한 임베딩 벡터와 지식 베이스 기반 문서 임베딩 벡터들 간 코사인 유사도를 활용하여 추출한다. 코사인 유사도는 두 벡터 간의 유사성을 측정하는 방법으로, 두 벡터가 이루는 각

도를 이용해서 계산된다. 즉, 임의의 두 벡터를 A, B라고 하면 두 벡터 간의 유사도는 다음과 같이 벡터 A와 B의 내적을 각 벡터의 크기로 나눈 값이다.

$$\text{sim}(A, B) = \frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|} = \cos(\theta)$$

위의 식에서는 벡터 A와 B의 코사인 유사도를 나타내며, 는 각 벡터의 크기를 나타낸다. 그리고 는 두 벡터 사이의 각도이다(Douze et al. 2024).

(5) LLM 기반 응답 생성

사용자 질의 및 질의와 관련하여 추출된 정보는 LLM 모형의 부가적인 외부 정보로 제공되었다. LLM 모형은 주어진 외부 정보를 종합하여 사용자 질의에 대해 정확한 응답을 생성한다. 본 논문에서는 비용과 응답의 정확성을 고려하여 2024년 9월 10일 기준 OpenAI의 최신 경량화 모형인 GPT-4o-mini 모형을 사용하였다. LLM 모형의 성능을 파악하는 LMSYS Chatbot Arena Leaderboard에서 2024년 8월 27일에 발표한 결과에 따르면 GPT-4o는 발표된 모형 중 가장 우수한 성능을 보이는 LLM 모형이며, 이의 경량화 모형인 GPT-4o-mini 또한 GPT-4o에 근소한 성능 차이로 6위에 오른 우수한 모형이다(Chiang et al. 2024). 이후, LLM에 의해 생성된 응답은 최종적으로 사용자에게 전달된다.

본 논문에서 구축한 외부의 지식 베이스 기반 RAG 시스템인 Case 2(LLM+축적된 검토의견)와 Case 3(LLM+축적된 검토의견+평가 매뉴얼)의 경우에는 할루시네이션 가능성을 최대한 배제하고 자료에 기반한 신뢰성 있는 응답을 받기 위해, LLM이 응답할 때 외부의 지식 베이스에 기반하여 응답을 제공하고 관련 정보가 없다면 모른다고 답변하라고 지시하는 시스템 프롬프트를 추가하였다(Figure 1). 해당 시스템 프롬프트는 LangChain Hub에서 제공하는 자료 기반 RAG의 프롬프트를 다음과 같이 수정하여 이용하였다(LangChain Hub, 2024). “You are an assistant for question-answering tasks. Use the following pieces of retrieved context to answer the question. If you don't know the answer, say that you don't know. Answer concisely but includes many details about the question.” 또한, Case 3의 경우에 제공된 외부지식 베이스를 통

해 나온 응답을 종합하고, 서로 간의 유의한 차이가 있으면 알려달라는 지시 사항을 담은 프롬프트를 추가하였다.

(6) 시범적용 시스템의 구현 및 배포

시범적인 건강영향평가 검토지원 시스템은 연구진들의 원활한 시스템 평가를 위해 사용자가 쉽게 접근 및 활용할 수 있도록 간단한 웹 서비스 형태로 구현 및 배포하였다. 시스템 구현은 파이썬 언어 기반 데이터 및 기계학습 모형을 쉽게 웹 어플리케이션으로 구현하도록 도와주는 오픈 소스 프레임워크 개발 도구인 Streamlit(Snowflake Inc., 2024)을 이용하였으며, 시스템 배포는 인공지능 및 머신러닝 모형을 개발하고 공유할 수 있는 플랫폼을 제공하는 허깅페이스(Hugging Face, 2024)를 이용하였다.

3) 시범적용 시스템의 평가

시범적용 시스템의 활용 가능성 평가는 외부 정보의 제공 수준에 따라 Figure 1에서와 같이 3가지의 경우로 나누어 진행하였다. Case 1은 외부 지식이 추가로 제공되지 않은 LLM (ChatGPT-4o-mini)으로만 구성된 시스템이고, Case 2는 그간 축적된 검토의견이 제공된 LLM (GPT-4o-mini+RAG(축적된 검토의견)), 마지막으로 Case 3은 축적된 검토의견 및 평가 매뉴얼이 제공된 LLM (GPT-4o-mini+RAG(축적된 검토의견 및 평가 매뉴얼))으로 구성된 시스템이다. 각 경우의 시스템별로 동일한 내용을 질의하고 해당 시스템의 응답을 상호 비교하였다. 본 논문에서 질의는 LLM 및 RAG을 통해 외부 지식에 해당 정보가 포함되어 있는 여부를 고려하여 5가지로 선정하였다. Table 1은 각 질의에 대한 외부 지식 내 해당 정보의 포함여부와 구체적인 사항을 논문 저자가 정리한 것이다.

2. 환경영향평가 검토지원에의 확대 적용을 위한 방법론적 제도적 방향

시범 적용 결과를 바탕으로 환경영향평가 검토지원에의 확대 적용 방향을 제안하기 위해 환경영향평가서 검토 관련한 개념, 내용, 나아가 범위를 구체화하고자 하였다. 「환경영향평가법」 등에 개념화된 검토를 바탕

Table 1. Key queries for the evaluation of the Health Impact Assessment (HIA) review support system and related information inclusion status

Query (질의)	Information Inclusion Status (정보 포함 정도)	
	ChatGPT 4o mini	External knowledge for HIA review support system (외부 지식) Accumulated review opinions (축적된 검토의견) Evaluation manual (평가 매뉴얼)
Query 1. What are the current health impact assessment target projects under Korean law? (질의 1. 현행 한국의 법적인 건강영향평가 대상사업은 어떠한가?)		Industrial complexes, power plants, waste treatment facilities (incineration, landfill), livestock manure treatment facilities (산업단지, 화력발전소, 폐기물처리시설(소각시설, 매립시설), 가축분뇨처리시설)
Query 2. What is the method for conducting health impact assessments for urban development projects? (질의 2. 도시개발사업에 대한 건강영향평가 수행 방법은 어떠한가?)		No method or information is provided for conducting health impact assessments for urban development projects. (도시개발사업에 대한 건강영향평가 수행 및 관련 방법은 부재함)
Query 3. Is a health impact assessment required for the development of an incineration facility with a capacity of 90 tons/day? (질의 3. 용량이 90톤/일인 소각시설 개발 시 건강영향평가 수행 여부는 어떠한가?)	A diverse range of publicly available text data, including books, websites, academic papers, and news articles up to around October 2023 (책, 웹사이트, 학술 논문, 뉴스 기사 등 2023년 10월까지 웹에 공개된 다양한 텍스트 기반 데이터)	An incineration facility with a capacity of 90 tons/day is close to 100 tons/day, and a health impact assessment is conducted if there are residential areas nearby. (소각시설 용량 90톤/일은 100톤/일에 육박하며 주변에 주거시설이 존재하는 경우에 건강영향평가를 수행)
Query 4. What is the method for assessing health impacts related to magnetic field? (질의 4. 전파장해 관련 유해인자의 건강영향 평가 방법은 어떠한가?)		No mention of health impact assessments related to magnetic fields (전파장해에 관련한 건강영향평가는 언급한 바 없음)
Query 5. What is the method for evaluating the appropriateness of industrial complex development plans? (질의 5. 산업단지 개발계획에 대한 계획 적정성 평가 방법은 어떠한가?)		An evaluation is conducted using indicators such as community characteristics, background concentration, and development burden. (지표를 통한 평가로서 지역사회 특성지표, 배경농도 지표, 개발부담 지표로 구분하여 총점이 특정 수 준을 초과할 경우에 건강영향 측면에서 부재함을 제안함)

으로 검토의 주요 대상과 검토의 주체를 명확히 하고, 관련하여 검토 시에 참조하는 근거들을 목록화함으로써 그 범위를 구체화하였다. 검토 시 참조하는 근거들은 본 논문에서 시범 구축한 건강영향평가 검토지원 시스템에서의 평가 매뉴얼과 같이 RAG 기법을 활용하는 LLM 기반 시스템의 외부 지식으로 활용할 수 있도록 하였다. 더하여 LLM 기반 검토지원 시스템의 외부 지식은 검토 시 참조하는 근거들 이외에 그간 환경영향평가서에 대한 검토 역량을 추가로 적용해 볼 수 있다. 이에 KEI가 축적·관리하고 있는 환경영향평가서 관련한 검토 의견의 정보 수준을 조사·정리하여 검토지원 시스템으로 활용할 수 있도록 하였다.

환경영향평가 검토지원 시스템의 제도적 방향은 향후 구축 시에 활용, 갱신, 그리고 확대의 측면에서 제안하고자 하였다. 현행 환경영향평가 제도 내 검토의 역할 차원에서 누구를 대상으로 활용케 할 것인지, 누가 검토지원 시스템을 갱신 등 관리를 할 것인지, 그리고 중장기적 차원에서 검토지원 시스템의 발전 방향은 무엇인지를 제안하고자 하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 건강영향평가 검토지원에의 시범적용 결과

1) RAG 기반 시범 적용 시스템(Case 2, 3)

RAG 기반 건강영향평가 검토지원 시범 시스템은 Hugging Face를 통해 배포되었다. 배포한 어플리케이션의 화면과 구성은 Figure 2와 같다.

본 논문에서 시범 구축한 LLM 기반 웹 어플리케이션은 OpenAI의 GPT-4o-mini를 사용하고 있기 때문에 OpenAI의 API-key를 입력하는 공간을 만들었다. API-key가 입력되면 Figure 2의 “건강영향평가 대상사업은?”와 같은 사용자 질의에 대해 제공된 외부 지식 기반하여 응답을 생성한다. RAG 기반으로 구축된 두 시스템의 기본적인 화면 구성은 동일하지만, 제공된 외부 지식의 범위에 따라 다른 답변을 제공한다.

2) 질의에 대한 응답 내용의 평가

본 논문은 LLM 기반 환경영향평가 검토지원 시스템의 가능성을 평가하기 위해 건강영향평가 항목에 대한 그간 축적된 검토의견과 환경부의 건강영향평가 매뉴얼을 기반으로 RAG 시스템을 구성하였고, Table 1의 질의를 통해 시범 구축한 시스템의 성능 및 유효성을

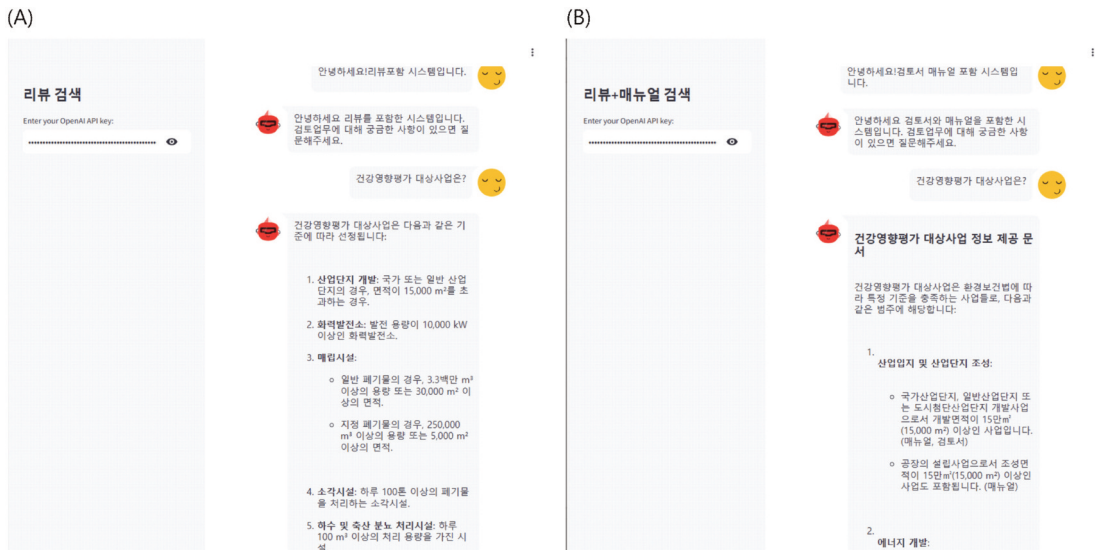


Figure 2. Interfaces of Health Impact Assessment (HIA) review support system: (A) RAG system with accumulated review opinions (Case 2), (B) RAG system with accumulated review opinions and evaluation manual from Ministry of Environment (Case 3)

평가하였다.

GPT-4o-mini 기반 ChatGPT를 기본 시스템으로 하고 각각의 RAG 기반 건강영향평가 검토지원 시스템을 평가했을 때, 전반적인 결과는 3가지로 정리해 볼 수 있다. 첫째, ChatGPT의 기본 시스템은 국내외 건강영향평가 관련 정보와 학술정보 등을 종합하여 일반적인 내용을 응답하나, 외부 지식을 학습한 검토지원 시스템은 관련된 정보에 기반하여 제공한다는 것이다. Table 1의 질의 1에 대한 응답을 보면, 외부 지식을 제공하지 않은 ChatGPT는 우리나라의 특수한 환경을 고려하여 설정한 정확한 건강영향평가 기준에 근거하지 않은 일반적인 건강영향평가 가능 대상을 제시하나, 축적된 검토의견 및 평가 매뉴얼을 제공한 RAG 시스템은 각 대상 사업을 정확한 기준과 함께 제시하고 있다 (Table S1). Table 1의 질의 2와 같이 외부 지식으로 제공한 자료에 질의에 정확하게 대응되는 항목이 없는 경우에, ChatGPT의 기본 시스템 및 RAG 시스템은 다른 답변을 제시하였지만, 서로 다른 자료를 기반으로 한 두 RAG 시스템의 답변에는 큰 차이가 없었다 (Table S2). 이는 질의 관련한 RAG 시스템에 명확한 정보가 제공되지 않는다면 비슷한 정보를 조합하여 그럴듯한 응답 또는 잘못된 정보를 제공할 수 있다는 것이다. 본 논문에서 시범 구축한 RAG 시스템에서 할루시네이션과 같이 완전히 잘못된 정보들을 조합한 오정보를 발견할 수는 없었지만, 법적 및 절차적 엄밀성이 강조되는 환경영향평가 제도에서 신뢰성에 영향을 줄 수 있는 부분이라 이에 대한 개선이 필요하겠다.

둘째, RAG 시스템에 제공되는 외부 지식의 구체화 및 명확화 수준에 따라서 달라질 수 있다는 것이다. Table 1의 질의 3에 대한 응답을 보면, 소각시설 용량 관련한 건강영향평가 대상여부에 대해 축적된 검토의견에 기반한 응답과 평가 매뉴얼을 추가 제공할 때의 응답에 차이가 있다. 즉 축적된 검토의견에서는 용량 90톤/일인 소각시설 주변 주거 인구가 다수일 경우에 건강영향평가의 필요성을 제시하고 있다 (Table S3). 나아가 평가 매뉴얼에서의 건강영향평가 대상 여부와의 차이점을 명확히 제시하고 있다. 다만, Table 1의 질의 4에 대한 응답을 보면, 축적된 검토의견에서 언급된 유해 대기오염물질 및 자기장예의 동시 노출 여부에 따른 평

가의 필요성만을 언급한 사항이 있으나 해당 RAG 시스템들은 ChatGPT의 기본 시스템과 거의 동일한 수준의 응답을 제시하고 있다 (Table S4). 위의 결과로 볼 때 수치화가 된 구체적이고 명확한 정보가 외부 지식으로 제공되면 RAG 시스템은 정확한 기준을 바탕으로 사용자 질의에 대해 응답하는 것에 반해 정보가 불명확한 경우, RAG 시스템은 ChatGPT와 같이 일반적인 내용만 제시해 준다. 따라서 향후 외부 지식을 제공하는 RAG 시스템을 개발 시에는 외부 지식에 대해 일정한 기준에 따라 명확하게 그리고 체계적으로 정리하는 것이 필요하겠다.

셋째, RAG 시스템에 제공되는 외부 지식에 대해 이 름표(i.e. Labeling of information) 주어 응답에 대한 신뢰성을 일정 부분 확보할 수 있다는 것이다. Table 1의 질의 5에 대한 응답을 보면, 산업단지 개발계획에 대한 건강영향평가 방법에 대해 그간 축적된 검토의견에서는 언급된 바 없는 사항을 최신의 평가 매뉴얼에서 언급한 사항을 바탕으로 응답하고 있다 (Table S5). 나아가 Table 1의 모든 질의의 응답들은 출처를 명확히 제시하고 있어 응답에 대한 활용의 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다 (Table S1~5). 향후 외부 지식을 제공하는 RAG 시스템 개발 시에는 검토에 대한 법적 기준 여부를 바탕으로 해당 외부 지식을 구분하여 구축·제공하는 것이 필요하겠다.

다른 한편으로 본 논문에서 시범 구축한 건강영향평가 검토지원 시스템은 구축의 방법론적 측면과 제공하는 외부 지식적 측면에서도 성능 및 유효성이 달라질 수 있다. 첫째 RAG 시스템의 구축 방법론 측면에서 RAG의 성능은 문서 파싱 및 분할, 그리고 임베딩 및 벡터 DB 참조 방법 등의 선택과 조합에 따라 성능이 좌우된다 (Gao et al. 2023; Zhang et al. 2024). 문서를 읽는 파싱 단계에서 고려해야 할 점은 다음과 같다. 우리나라는 행정 및 학술 관련 문서를 작성할 때 다양하면서도 복잡한 형태의 표를 많이 사용한다. 이러한 표는 사람이 효율적으로 정보를 얻도록 도와준다. 하지만 컴퓨터가 문서를 읽을 때는 형식을 고려하기가 쉽지 않기 때문에 셀이 합쳐져 있는 경우, 혹은 열 제목이 다층적으로 여러 행에 걸쳐 있는 경우에는 파싱 방법을 제대로 선택하지 않으면 정확한 정보를 읽지 못한다. 또, 문

서를 분할할 때 구조화된 문서의 경우에는 본 논문에서 진행했던 절차처럼 장, 절과 같은 문서의 구조를 따라 분할을 하는 것이 더 정확한 정보 참조에 도움이 될 수 있다. 그리고 임베딩 모형의 선택도 RAG 성능에 큰 영향을 미친다. 본 논문에서 사용한 OpenAI사의 “text-embedding-3-large” 모형은 ChatGPT 등에서 이미 성능이 검증되어 있다. 하지만 한글 문서에 최적화되어 있지는 않기 때문에 한글 문서 이해와 작성에 더 최적화된 임베딩 모형을 사용하면 성능이 향상될 수 있다. 그리고 정보 참조 전략도 RAG 성능에 영향을 미친다. 본 논문에서는 FAISS 벡터 DB를 이용하여 임베딩된 벡터의 코사인 유사도를 기준으로 사용자 질의와 관련된 문서를 불러와 이를 기반으로 질의에 대한 응답을 작성하였다. 하지만 최근 키워드 기반 검색을 결합한 Ensemble 임베딩 전략 또한 많이 쓰이고 있으며, 그래프 이론에 기반하여 다층적으로 정보를 검색·참조하는 그래프 임베딩 기반 Graph RAG도 점차 사용이 확산되고 있다.

둘째, LLM 및 RAG 구현 기술의 수준뿐만 아니라 적용되는 외부 전문지식의 수준 및 형태에 따라서도 응답이 달라질 수 있다. Setty et al. (2024)는 입력되는 외부 자료의 질과 메타 정보 등 정보를 구조화하는 정도에 따라 RAG의 성능이 달라질 수 있음을 언급한 바 있다. 또한 Graph RAG과 같이 비정형 데이터의 구조화된 인덱싱이 RAG 성능향상에 긍정적인 영향을 미친다는 연구를 볼 때, 자료의 구조화가 더 나은 RAG 성능에 도움을 줄 수 있다(Edge et al. 2024). 건강영향평가 수행이 법적 근거를 가진 이후 지금까지 제안된 검토 의견은 평가 대상이 되는 개발사업의 유형, 목적, 규모, 위치와 시기, 전략·환경·소규모환경 그리고 초안·본안·보완 등 평가/협의의 단계, 나아가 개발위주 또는 보전위주 등의 검토위원 성향 등에 따라 결정되었다. 또한 현행 검토 매뉴얼은 단행본 형태의 서술식 문장으로 출판되어 있고 내용적으로도 건강영향평가 관련한 세부항목 및 기준, 그리고 방법론 등을 제시하고 있어, 건강영향평가 관련 사항에 대한 검토 시 활용자의 이해 및 해석에 기반하여 검토기준으로 적용될 수 있다. 따라서 본 연구에서 시범구축한 검토지원 시스템은 전문 검토기관의 검토의견을 LLM이 참조하기 쉽도록

구조화하고 검토 매뉴얼에서 불필요한 사항을 제거하여 정보를 정제한다면 그 성능이 보다 향상될 것으로 판단한다.

2. 환경영향평가 검토지원에의 확대 적용을 위한 방향

1) 지식기반 구축 및 시스템으로의 설계

「환경영향평가법」 제28조 및 동법 시행령 제48조(환경영향평가서의 검토 등)에 따라 환경영향평가 협의권자인 환경부장관은 환경영향평가서에 대해 협의대상 여부 등 형식적인 요건에 관한 사항, 주민 등의 의견 수렴 절차 이행 및 주민의견 반영에 관한 사항, 그리고 환경영향평가서 내용의 타당성 여부를 검토하여야 한다. 이와 더불어 동법 제28조에서는 협의권자인 환경부장관은 환경영향평가서를 검토할 때 환경영향평가에 필요한 전문성을 갖춘 기관 또는 전문가의 의견을 듣거나 현지조사를 의뢰할 수 있으며, 현행 한국환경연구원에게는 반드시 그 의견을 듣도록 하고 있다(National Law Information Center 2024a). 검토 관련한 세부 사항은 환경부예규 제748호(2024.6.19. 일부 개정) 「환경영향평가서등에 관한 협의업무 처리규정」 제6조(검토 사항)에 제시되어 있는데, 크게 4가지로서 기본요건, 의견수렴의 적정성, 내용의 충실성, 그리고 사업자 및 환경영향평가업자 준수사항으로 구분하고 있다(National Law Information Center 2024d).

환경영향평가서에 대한 환경부장관의 검토 시 법적으로 의견을 듣도록 하는 한국환경연구원 등 전문 검토기관은 검토사항 중에 내용의 충실성에 대해 중점적으로 검토한다. 협의업무 처리규정 제6조에 내용의 충실성으로 제시된 사항은 모두 8가지로서, 첫째 전략환경영향평가협의를 실시한 경우 그 협의내용의 적정 반영 여부, 둘째 결정된 평가항목 범위 등의 적정 반영 및 평가 여부, 셋째 평가서 구성이 환경부고시 제2023-72호(2023년 4월 13일 일부 개정) 「환경영향평가서 작성 등에 관한 규정」에 적합하게 작성되었는지 여부(National Law Information Center 2024e), 넷째 평가서 내용의 적정성 및 입지의 타당성에 대한 충실한 검토 이행 여부, 다섯째 환경에 미치는 불가피한 영향의 분석, 사업계획에 대한 대안 검토, 예측분석에 따른 평가 및 저감대

Table 2. Key documents serving as criteria for assessing the thoroughness of Environmental Impact Statements

Category (구분)	Title of Key Documents (주요 문서)
Notification (고시)	Regulations on the preparation of environmental impact statements (환경영향평가서등 작성 등에 관한 규정) Integrated guidelines on the development of industrial sites (산업입지의 개발에 관한 통합지침) Regulations on key environmental impact assessment items and methods for golf courses (골프장의 중점 환경영향평가항목 및 평가방법 등에 관한 규정) Integrated guidelines on the development and operation of agro-industrial parks (농공단지의 개발 및 운영에 관한 통합지침) Guidelines for environmentally-friendly railway construction (환경친화적 철도건설 지침) Guidelines for environmentally-friendly road construction (환경친화적인 도로건설 지침)
Ordinance (예규)	Guidelines for reviewing natural landscapes related to development projects (개발사업 등에 관한 자연경관 심의지침) Guidelines for environmental impact assessments for eco-friendly dam construction (친환경댐 건설을 위한 환경영향평가 지침) Regulations on the handling of consultation tasks related to environmental impact statements (환경영향평가서등에 관한 협의업무 처리규정) Guidelines for reviewing and assessing health impact items in environmental impact assessments (건강영향 항목의 검토 및 평가에 관한 업무처리지침)
Guideline (지침)	Guidelines for establishing environmental ecosystem plans in response to abnormal climate conditions (이상기후 등을 대비한 환경생태계획 수립지침) Guidelines for environmental assessment of onshore wind power development projects (육상풍력 개발사업 환경성평가 지침) Guidelines for handling small-scale environmental impact assessments for flood recovery projects (수해복구사업 소규모 환경영향평가 협의업무 처리지침) Guidelines for environmental assessment consultations for floating solar power generation projects (수상태양광 발전사업 환경성평가 협의 지침) Guidelines for environmental assessment consultations for onshore solar power projects (육상태양광발전사업 환경성 평가 협의 지침) Guidelines for environmental assessment consultations for offshore wind power projects (해상풍력발전 환경성 평가 협의 지침)
Manual (설명서)	Strategic Environmental Impact Assessment Task Manual (Feb. 2023) (전략환경영향평가 업무 매뉴얼(2023.2)) Guide to preparing environmental impact statements (Jan. 2024) (환경영향평가서등의 작성 등에 관한 안내서(2024.01))

책 등의 적정성 여부, 여섯째 환경영향평가를 위하여 활용된 정보방법 또는 기술의 과학적 정확성 및 객관성 유지 여부, 일곱째 동식물 등 생태계 조사내용과 환경부가 조사·공표한 생태계조사연구보고서 등과의 다름 여부, 여덟째 환경영향 저감방안 이행목표기준 제시여부 및 적정성과 이의 달성 가능성 여부이다.

「환경영향평가법」 제22조에 따르면 현행 환경영향평가 대상은 전체 18개 개발사업 및 설치사업으로 구분될 수 있으며, 해당 구분별로 더욱 세분화되어 지정되어 있다. 더불어 「환경영향평가법 시행령」 별표1에

따르면 각각의 평가 대상에 대한 평가항목은 21개 항목으로 구분되어 있다(National Law Information Center 2024a; National Law Information Center 2024b). 이에 환경영향평가서 작성 또는 평가의 기준은 평가 대상별 그리고 평가 항목별로 매우 다양하게 정립되어 있으며, 관할 부처인 환경부는 환경영향평가 관련 규정집, 환경영향평가서등의 작성 등에 관한 안내서 등을 통해 환경영향평가서의 품질향상 등 일정부분 방향을 제시하고 있다(Ministry of Environment 2024a; Ministry of Environment 2024b). 해당 문헌들이 제시한 환경영향

Table 3. Internal database of the Korea Environment Institute (KEI) related to review opinions on Environmental Impact Statements

Category (구분)	Information or Attribute (정보 또는 속성)	Remarks (비고)
Development Project Information (개발사업 정보)	Name of the development project (개발사업의 이름) Type of development project (개발사업의 유형) Address of the development project (개발사업의 주소) Scale of the development project (개발사업의 규모) Project cost (개발사업의 비용) Others(기타)	- Examples: Industrial complexes etc. (예: 산업단지 개발 등) Examples: road name address, etc. (예: 도로명 주소 등) Examples: area, length, capacity, etc. (예: 면적, 연장, 용량 등)
Consultation Information (협의 정보)	Consultation agency (협의기관) Consultation stage (협의 단계) Report stage (평가서의 단계) Others (기타)	- Examples: SEA, EIA etc. (예: 전략환경영향평가, 환경영향평가 등) Examples: draft, main, supplement, etc. (예: 초안, 본안 보완 등)
Review Information (검토 정보)	Review committee members (검토위원) EIA preparation agency (평가서 작성기관) Others (기타)	Examples : overall, item (예: 총괄, 항목) Examples: agencies etc. (예: 대행업체명, 담당자 등)

평가서 작성 관련 현행 고시, 예규, 지침 및 안내서 등을 정리해보면 Table 2와 같다.

KEI 환경영향평가서 검토기준은 개발사업 및 항목별 매뉴얼로 발간되었으나, 그간 환경영향평가서 검토의 역량은 자체 데이터베이스에 축적되어 있다고 할 수 있다. 검토의견은 개발사업의 환경영향평가서 단계별로 하나의 문서 파일로 저장·관리되고 있으며, 하나의 문서 내에 항목별 검토의견 모두를 포함하고 있다. 항목별 검토의견은 주제별로 구분되어 검토의견 제목을 구성하며 해당 제목별로 다수의 문장으로 구성되어 있다. 각 문장에 대한 세부 내용 또는 보충 사항은 하위 문장으로 구성되어 작성될 수도 있다. 검토의견들을 구성하는 하나의 문서에 대해 KEI 내부 데이터베이스에 포함된 정보의 항목은 Table 3과 같다.

본 논문에서 제안한 환경영향평가 검토지원 시스템의 지식기반 자료 또는 정보는 검토 시 참조하는 법적 근거자료 및 그간의 전문가 검토 역량에 바탕으로 둔

것이다. 하지만 이러한 지식기반 자료 및 정보는 RAG 시스템으로의 활용 시 어떻게 구조화하여 정리하는 방식에 따라서 달라질 수 있음을 시범 구축한 시스템의 사례에서 확인한 바 있다. 향후 실제 업무용 시스템으로 개발·활용하기 위해서는 과거 검토기관 또는 다수의 검토위원과 협력을 통해, 법적 근거 자료들에 대한 구분 및 재정리, 나아가 그간 축적된 검토의견들에 대한 선택과 검토의견들의 속성들을 바탕으로 구분 및 재정리하는 과정을 거쳐야 할 것이다. 특히 그간 축적된 검토의견들의 경우에 해당 개발사업의 시기 및 주소지가 변화하면 지역적 및 시기적 현황이 달라지고 이에 따라 유사한 내용의 개발사업이라고 할지라도 검토의견은 달라질 여지가 충분히 존재하기 때문에 이에 따른 질의응답 결과도 달라질 수 있도록 개발되어야 할 때문이다.

환경영향평가서 검토지원 시스템의 RAG 기법을 적용한 설계는 지식기반 구축과 연계하여야 할 것이다.

앞서 정리한 환경영향평가 검토시 참조하는 법적 근거자료 및 그간 축적된 검토의견들을 외부 지식으로 활용하되, 검토 관련한 질의에 대한 기본적인 응답은 이들을 구분하여 확인할 수 있도록 설계하여야 할 것이다. 즉 검토의견 관련 질의에 있어 전문가의 판단에 근거하여 일괄되고 독립적으로 제시될 수 있는 응답과 더불어 최신 작성 및 평가 기준에 근거하여 시의성 있고 전문적으로 제시될 수 있는 응답을 동시에 얻을 수 있도록 위함이다. 이를 통해 환경영향평가서 검토의견은 개발사업의 특성을 바탕으로 전문가의 최종 판단을 통해 이루어지도록 할 수 있겠다. 질의 사항이 1차 외부 지식인 그간의 검토의견들에 근거하여 응답받고 또다시 응답받은 내용이 2차적 외부 지식인 최신 작성 및 평

가 기준에 근거하여 해당 기준에 만족하는지 여부를 응답받는 형태의 설계는 Figure 3과 같다.

2) 제도 내 도입을 위한 고려사항

환경영향평가 검토지원의 생성형 AI 활용은 제도 내 도입을 위해 관리자, 활용자, 그리고 향후 확장 및 발전 방향에 대해 사전 논의가 필요할 것이다. 다만, 본 논문에서는 현행 환경영향평가 제도 내 검토의 역할 및 중장기적 방향 차원에서 해당 사항들을 제안하고자 하였다.

첫째, 환경영향평가 검토지원의 생성형 AI 활용 시스템 개발 및 관리자는 환경영향평가 제도 내 검토의 독립성, 전문성 등을 갖춘 법적 검토기관인 KEI가 담당

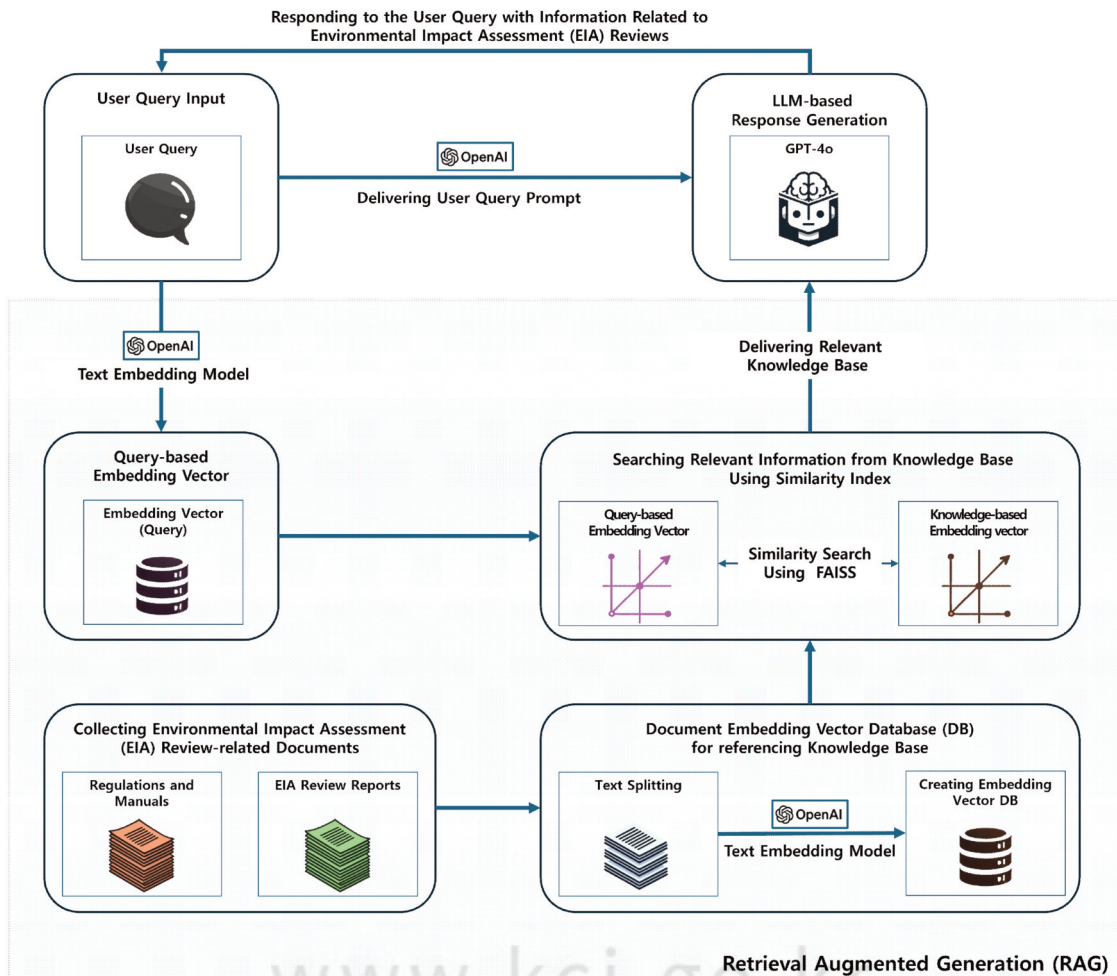


Figure 3. Concept of LLM-based Environmental Impact Assessment (EIA) review supporting system

하는 것을 제안한다. 환경영향평가서 협의를 위한 검토의 주체가 되는 환경부장관이 생성형 AI 활용한 검토지원 시스템의 개발 및 관리를 계획하되, 실제 개발 및 외부 지식 등의 갱신은 현행 법적 전문 검토기관인 KEI가 수행하여 검토지원 시스템의 검토 독립성을 확보해 나가야 한다. 무엇보다도 검토지원 시스템의 외부 지식은 일정 기간을 주기로 갱신하는 것이 필요하다. 이는 환경영향평가서에 대한 검토의견이 지식적으로 축적되며, 최신의 평가서 작성 및 평가 기준은 수정·보완되기 때문이다. 다만 갱신되는 지식에 대해서는 갱신의 주체, 내용, 시기, 방법 등을 구체화하여 진행할 필요가 있으며, 갱신되는 지식에 대해서는 이를 공표하여 신뢰성을 확보해 나가야 한다.

둘째, 환경영향평가서 검토지원 시스템은 우선 현행 검토기관 및 협의기관에 한정하여 적절한 이해를 바탕으로 활용될 수 있도록 해야 할 것이다. 환경영향평가서의 검토는 동일한 내용의 개발사업일지라도 계획하는 지역 및 시기에 따라서 검토의 내용이 달라질 수 있다. 비록 경제적 이익과 이로 인한 환경적 영향이 동일하다고 하더라도 지속가능한 발전 차원에서 사회적·정치적 현황에 따라서 그 수준을 다르게 판단할 여지는 충분하기 때문이다. 다만 최신 환경영향평가서의 작성 및 평가 기준에 대해서는 개발사업자 및 지역사회 주민들에게까지 공개하여 검토의 신뢰성을 높이는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

셋째, 환경영향평가서 검토의 최종적인 목적은 신뢰할 수 있는 환경영향평가의 수행과 이를 통해 사전에 적절한 저감방안 등을 수립하는 것이 목적이다. 본 논문에서 제안한 검토지원 시스템이 단기적으로는 환경영향평가서 검토를 전문적이면서도 일관되며 독립적으로 수행할 수 있도록 하는 목적이지만, 장기적으로는 환경영향평가서의 작성 및 관련된 개발사업에 대한 적절한 저감방안 마련이라 할 수 있다. 이에 검토지원 시스템은 개발사업자가 개발을 계획하기에 앞서 해당 개발로 야기될 수 있는 환경적 영향을 미리 가능해보고 환경영향평가 대행업자는 환경적 영향을 바탕으로 환경영향평가서를 작성하기까지 활용될 수 있도록 확장될 필요가 있다. 특정 개발사업에 대한 환경영향평가서 검토의견이 개발사업자 및 평가 대행자에게 전달

되어 폐쇄적 또는 부분적으로만 평가서 작성에의 개선이 이루어졌다면, 검토지원 시스템은 검토의견들이 일관되게 정리·제공되어 보다 공개적 또는 전체적인 평가서 작성에의 개선이 이루어질 것으로 예상해 볼 수 있겠다.

IV. 요약 및 결론

본 논문은 환경영향평가 검토지원에 생성형 AI 활용을 제안하기 위해 시범적으로 건강영향평가 검토에 적용한 시스템을 구축하여 활용 가능성을 평가하였으며, 이를 바탕으로 환경영향평가 검토지원을 위한 지식기반 구축 및 시스템 설계, 그리고 제도 내 도입을 위한 고려사항을 제시하였다. 환경영향평가 검토가 전문가 영역에 해당하며 다양한 분야의 지식과 전문 역량에 기반하여 수행된다는 것이 일반적이었으나, 본 논문을 통해 최신 생성형 AI를 활용하여 도구적 지원을 받을 수 있다는 것을 최초 사례로 제시하였다는 것에 학술적 가치가 있다고 판단한다. 특히 과거 다수의 개발사업에 대한 검토의견들은 텍스트 형태의 비정형자료(unstructured data)로서 활용상의 한계가 있었으나, LLM 및 RAG 기술이 적용되면서 전문가 집단의 지식에 대한 활용 등 향후 발전 가능성을 보여준 사례일 것이라 판단한다.

나아가 생성형 AI를 활용한 검토지원 시스템의 시범적 구축을 통해, 기반이 되는 LLM 및 외부 지식, 이들을 처리 및 적용하는 방법, 나아가 개발된 시스템의 활용과 관리 측면에서 고려해야 할 사항이 존재함을 재차 확인할 수 있었다. 특히, 현재 환경영향평가 관련하여 검토를 담당하는 입장에서 환경영향평가 검토 관련한 외부 지식에 대한 구조화 및 재정리는 매우 주요한 과점이며 반드시 해당 전문가로 시스템 개발 시 협업하여야 함을 확인할 수 있었다. 나아가 국내 환경영향평가 제도 내 검토의 과정이 가지는 목적 및 역할을 고려할 때, 그간 전문 검토기관이 수행해 온 내용과 역량은 향후 환경영향평가 검토지원을 위한 생성형 AI 시스템 개발 시 포함될 수 있도록 하여야 할 것이다.

환경영향평가 검토지원을 위한 생성형 AI 활용은 제도 내에 도입하여 현 실제 업무에 적용하기에 아직 한

계가 있다. 이는 생성형 AI를 활용한 검토지원 시스템이 개발되었다고 현 실제 업무에 활용 가능성을 다수의 관련 전문가가 확인·평가하는 과정이 필요하기 때문이다. 다만 생성형 AI를 활용한 검토지원 시스템 개발은 LLM 및 RAG 기술의 발전과 함께 동시에 시작되어야 하며, 이를 통해 현행 환경영향평가 검토 관련 전문가들이 외부 지식으로 고려되는 사항을 보다 쉽게 접근하여 활용할 수 있고, 향후 개발 시스템의 개선으로 이어질 수 있기 때문이다.

사사

본 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경보전 디지털 조사기반 구축 개발사업(과제번호: 2021-KE001620)의 지원을 받아 2024년 한국환경연구원에서 수행한 「환경유해인자 노출에 의한 공간의 환경보건상태 평가 기술개발(2024-005(R))」 및 한국환경연구원 연구개발적립금 사업인 「초거대 언어모델을 활용한 지능형 환경지식 검색시스템 구축(RR2024-16)」 사업의 연구결과 일부를 바탕으로 작성되었습니다.

References

- Al Ghadban Y, Lu HY, Adavi U, Sharma A, Gara S, Das N, Kumar B, John R, Devarsetty P, Hirst JE. 2024. Transforming Healthcare Education: Harnessing Large Language Models for Frontline Health Worker Capacity Building using Retrieval-Augmented Generation. In: NeurIPS'23 Workshop on Generative AI for Education (GAIED); 2023 Dec 15; New Orleans (USA); Ernest N. Morial Convention Center. Available from: https://gaied.org/neurips2023/files/30/30_paper.pdf
- Chiang W-L, Zheng L, Sheng Y, Angelopoulos AN, Li T, Li D, Zhang H, Zhu B, Jordan M, Gonzalez JE, Stoica I. 2024. Chatbot Arena: An Open Platform for Evaluating LLMs by Human Preference. arXiv e-prints. [accessed 2024 Aug 20]:[29 p.]. Available from: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.04132>
- Douze M, Guzhva A, Deng C, Johnson J, Szilvasy G, Mazare P-E, Lomeli M, Hosseini L, Jegou H. 2024. The Faiss library. arXiv e-prints, [accessed 2024 Jun 25]:[22 p.]. Available from: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.08281>
- Edge D, Trinh H, Cheng N, Bradley J, Chao A, Mody A, Truitt S, Larson J. 2024. From Local to Global: A Graph RAG Approach to Query-Focused Summarization. arXiv e-prints. [accessed 2024 Jun 18]:[15 p.]. Available from: <https://arxiv.org/abs/2404.16130>
- Gao Y, Xiong Y, Gao X, Jia K, Pan J, Bi Y, Dai Y, Sun J, Wang M, Wang H. 2024. Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey. arXiv e-prints, [accessed 2024 Jul 19]:[21 p.]. Available from: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.10997>
- Heimerl F, Gleicher M. 2018. Interactive Analysis of Word Vector Embeddings. *Compute. Graph. Forum*, 37(3): 253-265. Available from: <https://doi.org/10.1111/cgf.13417>
- Hugging Face. 2024. Hugging Face. [accessed 2024 Aug 10]. Available from: <https://huggingface.co/>
- Jablonka, KM, Schwaller P, Ortega-Guerrero A, Smit B. 2024. Leveraging large language models for predictive chemistry. *Nat. Mach. Intell.* 6(2): 161-169. Available from: <https://doi.org/10.1038/s42256-023-00788-1>
- Jeon, J. and Lee, S. 2023. Large language models in education: A focus on the complementary relationship between human teachers and ChatGPT. *Educ. Inf. Technol.* 28(12):15873-15892. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11834-1>
- LangChain. 2024. RecursiveCharacterTextSplitter [Internet]; [accessed 2024 Jul 29]. Available from: https://python.langchain.com/v0.2/api_

- reference/text_splitters/character/langchain_text_splitters.character.RecursiveCharacterTextSplitter.html
- LangChain Hub. 2024. rlm/rag-prompt [Internet]; [accessed 2024 Jul 29]. Available from: <https://smith.langchain.com/hub/rlm/rag-prompt>
- Liu Y, He H, Han T, Zhang X, Liu M, Tian J, Zhang Y, Wang J, Gao X, Zhong T, Pan Y, Xu S, Wu Z, Liu Z, Zhang X, Zhang S, Hu X, Zhang T, Qiang N, Liu T, Ge B. 2024. Understanding LLMs: A comprehensive overview from training to inference. arXiv e-prints, [accessed 2024 Aug 20]:[30 p.]. Available from: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.02038>
- Madani A, Krause B, Greene E, Subramanian S, Mohr B, Holton J, Olmos J, Xiong C, Sun Z, Socher R, Fraser J, and Naik N. 2023. Large language models generate functional protein sequences across diverse families. *Nat. Biotechnol.* 41(8): 1099-1106. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41587-022-01618-2>
- Ministry of Environment. 2020. A study on the improvement of health impact assessment for consumers (II). [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2023. Manual for Additional Assessment of Health Impact Items. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2024a. Compilation of Regulations Related to Environmental Impact Assessment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2024b. Guidelines for the Preparation of Environmental Impact Statements. [Korean Literature]
- National Law Information Center. 2024a. Environmental Impact Assessment Act. Act No. 20334, Partially Amended on February 20, 2024. [accessed 2024 Aug 13]. Available from: <https://law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9/%ED%99%98%EA%B2%BD%EC%98%81%ED%96%A5%ED%8F%89%EA%B0%80%EB%B2%95> [Korean Literature]
- National Law Information Center. 2024b. Enforcement Decree of the Environmental Impact Assessment Act. Presidential Decree No. 34656, Amended by Other Laws, Article 23, Paragraph 2. [accessed 2024 Aug 13]. Available from: <https://law.go.kr/LSW//lsInfoP.do?lsiSeq=263619&ancYd=20240702&ancNo=34656&refYd=20240710&nwJoYnInfo=Y&refGubun=Y&chrClsCd=010202&ancYnChk=0#0000> [Korean Literature]
- National Law Information Center. 2024c. Environmental Health Act. Act No. 19668, Partially Amended on August 16, 2023, Article 13. [accessed 2024 Aug 13]. Available from: <https://www.law.go.kr/lsSc.do?section=&menuId=1&subMenuId=15&tabMenuId=81&eventGubun=060101&query=%ED%99%98%EA%B2%BD%EB%B3%B4%EA%B1%B4%EB%B2%95#undefined> [Korean Literature]
- National Law Information Center. 2024d. Regulations on the Processing of Consultation Tasks for Environmental Impact Statements, etc. Partially Amended on June 19, 2024, Article 13. [accessed 2024 Aug 13]. Available from: <https://law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulId=25874&refYd=0> [Korean Literature]
- National Law Information Center. 2024e. Regulations on the preparation of environmental impact statements, Partially Amended on April 13, 2023, Article 13. [accessed 2024 Aug 13]. Available from: <https://law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulId=26073&refYd=0> [Korean Literature]
- OpenAI. 2024a. New embedding models and API updates; [accessed 2024 Jul 29]. Available from: <https://openai.com/index/new-embedding-models-and-api-updates/>
- OpenAI. 2024b. Tokenizer; [accessed 2024 Jul 29]. Available from: <https://platform.openai.com/>

- tokenizer
- Patil R, Gudivada V. 2024. A review of current trends, techniques, and challenges in large language models (LLMs). *Appl. Sci.* 14(5): 2074. Available from: <https://doi.org/10.3390/app14052074>
- Ro TH. 2021. Diversification of Environmental Impact Assessment Review Agencies: Challenges and Prospects. *Korea Environment Institute Focus.* 9(7):1-16, Available from: https://www.kei.re.kr/board.es?mid=a10102020000&bid=0028&act=view&list_no=57621 [Korean Literature]
- Sallam, M. 2023. ChatGPT Utility in Healthcare Education, Research, and Practice: Systematic Review on the Promising Perspectives and Valid Concerns. *Healthcare*, 11(6): 887. Available from: <https://doi.org/10.3390/healthcare11060887>
- Setty S, Thakkar H, Lee A, Chung E, Vidra N. 2024. Improving Retrieval for RAG based Question Answering Models on Financial Documents. *arXiv e-prints*. [accessed 2024 Aug 10]:[14 p.]. Available from: <https://arxiv.org/abs/2404.07221>
- Snowflake Inc. 2024, Streamlit [software]. Ver. 1.37.0. Python Package Index. [accessed 2024 Jul 29]. Available from: <https://pypi.org/project/streamlit/1.37.0/#files>
- Tian S, Jin Q, Yeganova L, Lai P.-T., Zhu Q, Chen X, Yang Y, Chen Q, Kim W, Comeau DC, Islamaj R, Kapoor A, Gao X, Lu Z. 2024. Opportunities and challenges for ChatGPT and large language models in biomedicine and health. *Briefings in Bioinformatics*, 25(1):bbad493. Available from: <https://doi.org/10.1093/bib/bbad493>
- Vaswani A, Shazeer N, Parmar N, Uszkoreit J, Jones L, Gomez AN, Kaiser L, Polosukhin I. 2017. Attention is all you need. In *Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'17)*. Curran Associates Inc., Red Hook, NY, USA, 6000-6010.
- Zhang T, Patil S, Jain N, Shen S, Zaharia M, Stoica I, Gonzalez J. 2024, RAFT: Adapting Language Model to Domain Specific RAG, *arXiv e-prints*. [accessed 2024 Aug 20]:[12 p.]. Available from: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.10131>

부록

Table S1. “현행 한국의 법적인 건강영향평가 대상사업은 어떠한가?”에 대한 각 시스템별 응답 내용

활용시스템	응답
GPT-4o-mini	<p>현행 한국의 법적인 건강영향평가 대상사업은 환경영향평가법 및 기타 관련 법령에 의해 규정되어 있습니다. 건강영향평가는 특정 개발 사업이나 시설이 지역 주민 및 근로자의 건강에 미치는 잠재적인 영향을 사전에 파악하고 관리하기 위해 시행됩니다.</p> <p>다음과 같은 사업들이 건강영향평가의 대상이 될 수 있습니다:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 산업단지 조성 및 개발 사업: 대규모 산업단지, 공업지역, 및 특정 산업시설의 조성 및 운영은 지역 주민의 건강에 직접적 또는 간접적 영향을 미칠 수 있기 때문에 건강영향평가의 대상이 됩니다. 2. 대규모 공공시설 건설: 항만, 공항, 도로, 철도, 전력 및 에너지 시설 등의 대규모 인프라 구축 사업도 건강영향평가의 대상이 될 수 있습니다. 3. 화학물질 취급 및 처리 시설: 유해 화학물질을 다루는 공장이나 폐기물 처리시설, 매립지 등은 주민 건강에 중대한 영향을 미칠 수 있기 때문에, 건강영향평가를 통해 사전 관리가 필요합니다. 4. 에너지 관련 시설: 화력발전소, 원자력 발전소 등 에너지 생산 및 처리 시설은 주변 환경과 주민 건강에 잠재적인 영향을 미칠 수 있어 건강영향평가가 이루어집니다. 5. 기타 대규모 개발 사업: 일정 규모 이상의 건설사업, 관광단지 개발, 골프장 조성 등도 법령에 따라 건강영향평가가 요구될 수 있습니다. <p>건강영향평가는 환경영향평가와 통합하여 이루어지기도 하며, 사업의 특성과 규모에 따라 평가 범위와 내용이 달라집니다.</p>
GPT-4o-mini + 축적된 검토의견	<p>현행 한국의 법적인 건강영향평가 대상사업은 다음과 같습니다:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 산업단지 및 공장 조성: 국가산업단 또는 일반산업단의 경우, 면적이 15만㎡ 이상이어야 합니다. 2. 화력발전소: 발전 용량이 1만 kW 이상인 화력발전소가 해당됩니다. 3. 매립시설: 생활폐기물의 경우, 용적이 330만㎡ 또는 면적이 30만㎡ 이상이어야 하며, 지정폐기물은 용적이 25만㎡ 또는 면적이 5만㎡ 이상이어야 합니다. 4. 소각시설: 하루 처리 용량이 100톤 이상인 소각시설이 포함됩니다. 5. 분뇨 및 축산분뇨 처리시설: 하루 처리 용량이 100㎥ 이상인 시설이 해당됩니다. <p>이 외에도 환경보전방안서의 건강영향평가 대상 여부를 확인해야 하며, 협의되는 계획이 법적으로 건강영향평가를 수행해야 하는 경우에 해당하는지 검토해야 합니다. 이러한 기준은 환경부의 관련 법령 및 가이드라인에 따라 정해져 있습니다.</p>
GPT-4o-mini + 축적된 검토의견 + 평가 매뉴얼	<p>현행 한국의 법적인 건강영향평가 대상사업은 다음과 같은 기준에 따라 정의됩니다:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 산업입지 및 산업단지 조성: 국가산업단지, 일반산업단지 또는 도시첨단산업단지 개발사업으로서 개발면적이 15만㎡ 이상인 사업입니다. (매뉴얼) 공장의 설립사업으로서 조성면적이 15만㎡ 이상인 사업도 포함됩니다. (검토서) 2. 에너지 개발: 발전시설 용량이 1만 kW 이상인 화력발전소의 설치사업이 해당됩니다. (매뉴얼, 검토서) 3. 폐기물 처리시설: 최종처분시설 중 생활폐기물 매립시설의 경우, 조성면적이 30만㎡ 이상이거나 매립용적이 330만㎡ 이상이어야 합니다. (매뉴얼, 검토서) 지정폐기물 처리시설의 경우, 조성면적이 5만㎡ 이상이거나 매립용적이 25만㎡ 이상이어야 합니다. (매뉴얼, 검토서) 하루 처리능력이 100톤 이상인 소각시설도 포함됩니다. (매뉴얼, 검토서)

Table S1. 계속

활용시스템	응답
	<p>4. 분뇨 및 가축분뇨 처리시설: 하루 처리용량이 100㎥ 이상인 시설이 해당됩니다. (매뉴얼, 검토서) 이러한 사업들은 환경보건법 시행령에 따라 건강영향 항목의 추가 및 평가 대상에 포함되며, 각 사업의 시행 시 건강영향을 사전에 평가하여 국민 건강을 보호하는 데 기여하고 있습니다. (매뉴얼) 또한, 환경보건법안서의 건강영향평가 대상 여부를 확인해야 하며, 협의되는 계획이 법적으로 건강영향평가를 수행해야 하는 경우에 해당하는지 검토해야 합니다. (검토서)</p> <p>차이점 소각시설: 매뉴얼에서는 “하루 처리능력이 100톤 이상인 소각시설”이라고 명시하고 있지만, 검토서에서는 “하루 처리 용량이 100톤 이상인 소각시설”이라고 표현하고 있습니다. 두 문서의 내용은 동일한 의미를 가지고 있으나, 표현 방식이 다릅니다. 법적 검토: 검토서에서는 환경보건법안서의 건강영향평가 대상 여부를 확인해야 한다고 추가적으로 언급하고 있으며, 이는 매뉴얼에는 포함되어 있지 않습니다.</p>

Table S2. “도시개발사업에 대한 건강영향평가 수행 방법은 어떠한가?”에 대한 각 시스템 별 응답 내용

활용시스템	응답
GPT-4o-mini	<p>도시개발사업에 대한 건강영향평가는 다음과 같은 방법으로 수행됩니다:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 문헌 조사 및 배경 연구: <ul style="list-style-type: none"> - 도시개발과 관련된 기존 연구 및 문헌을 검토하여 건강영향에 대한 기초 정보를 수집합니다. - 지역 내 건강 문제와 관련된 데이터를 조사합니다. 2. 노출 평가: <ul style="list-style-type: none"> - 개발 프로젝트로 인해 발생할 수 있는 건강 위험 요소를 식별합니다. 이는 공기 오염, 소음, 교통 혼잡 등과 같은 요소를 포함할 수 있습니다. - 전염병 확산, 환경적 스트레스 요인 등을 평가합니다. 3. 건강 데이터 수집: <ul style="list-style-type: none"> - 지역 주민의 건강 데이터를 수집합니다. 이는 질병 발생률, 병원 방문 기록, 건강 설문조사 등을 포함할 수 있습니다. - 개발 지역 내와 주변 지역의 건강 상태를 비교하여 배경 데이터를 확보합니다. 4. 영향 분석: <ul style="list-style-type: none"> - 노출 평가와 건강 데이터 분석을 바탕으로 도시개발사업이 건강에 미치는 잠재적 영향을 분석합니다. - 건강 문제의 발생 가능성, 심각도, 빈도 등을 평가합니다. 5. 위험 평가: <ul style="list-style-type: none"> - 건강 위험 요소의 영향을 평가하고, 그 위험이 특정 인구 집단에 미치는 영향을 분석합니다. - 위험 요소의 노출 정도와 지속 기간을 고려하여 건강 영향을 예측합니다. 6. 대책 마련 및 권고: <ul style="list-style-type: none"> - 분석 결과를 바탕으로 건강 영향을 최소화하기 위한 대책을 제안합니다. - 대기질 개선, 소음 감소, 교통 관리, 지역 사회 건강 프로그램 등을 포함한 권고 사항을 제시합니다. 7. 이해관계자 의견 수렴: <ul style="list-style-type: none"> - 주민, 지역 사회, 보건 전문가 등 이해관계자들의 의견을 수렴합니다. - 의견을 반영하여 평가 결과를 수정하고, 보다 실효성 있는 대책을 마련합니다. 8. 보고서 작성: <ul style="list-style-type: none"> - 평가 결과, 권고 사항, 대책 등을 포함한 건강영향평가 보고서를 작성합니다. - 개발 계획과 관련된 건강영향을 명확히 기술하여 이해관계자와 의사결정자들에게 전달합니다. 9. 모니터링 및 평가: <ul style="list-style-type: none"> - 개발 진행 중과 완료 후에 건강영향을 모니터링하고, 필요한 경우 추가 조치를 취합니다. - 개발이 건강에 미친 영향을 주기적으로 평가하여 지속적인 개선을 도모합니다. <p>이러한 방법을 통해 도시개발사업의 건강영향을 종합적으로 평가하고, 건강을 보호하며 지역 사회의 생활 질을 향상시키는 데 기여할 수 있습니다.</p>

Table S2. 계속

활용시스템	응답
GPT-4o-mini + 축적된 검토의견	<p>도시개발사업에 대한 건강영향평가는 여러 단계로 구성되며, 다음과 같은 주요 방법론이 포함됩니다:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 법적 기준 확인: 도시개발사업이 법적으로 건강영향평가 대상인지 확인합니다. 일반적으로 대규모 개발 프로젝트(예: 산업단지, 대형 주거단지 등)는 법적 기준에 따라 평가가 필요합니다. 2. 평가대상물질 선정: 개발사업에 따라 영향을 미칠 수 있는 유해물질을 선정합니다. 이는 대기오염 물질, 수질오염물질, 소음 등 다양한 환경 요인을 포함합니다. 예를 들어, 대기오염물질의 경우 벤젠, 포름알데히드, 암모니아 등이 포함될 수 있습니다. 3. 누적영향 평가: 주변 개발사업과의 누적 영향을 고려하여 평가합니다. 이는 인근 지역의 기존 오염원과 신규 개발사업의 배출량을 종합적으로 분석하여 건강에 미치는 영향을 평가하는 과정입니다. 4. 위험성 평가: 선정된 유해물질에 대한 위험성을 평가합니다. 이는 노출 농도, 노출 경로, 인구의 취약성 등을 고려하여 건강에 미치는 영향을 분석합니다. 5. 모델링 및 예측: 대기 및 수질 오염물질의 확산 모델링을 통해 개발사업으로 인한 오염물질의 분포를 예측합니다. 이를 통해 특정 지역에서의 건강 영향을 예측할 수 있습니다. 6. 모니터링 계획 수립: 개발사업 진행 중 및 완료 후 오염물질의 농도를 모니터링하기 위한 계획을 수립합니다. 이는 주민 건강에 미치는 영향을 지속적으로 평가하기 위한 중요한 단계입니다. 7. 이해관계자 참여: 지역 주민 및 이해관계자와의 소통을 통해 건강영향평가 결과를 공유하고, 주민의 의견을 반영하는 과정이 필요합니다. 6. 보고서 작성 및 제출: 최종적으로 건강영향평가 결과를 종합하여 보고서를 작성하고, 관련 기관에 제출합니다. 이 보고서는 개발사업의 승인 여부에 중요한 역할을 합니다. <p>이러한 방법론을 통해 도시개발사업이 지역 주민의 건강에 미치는 영향을 최소화하고, 지속 가능한 개발을 도모할 수 있습니다.</p>
GPT-4o-mini + 축적된 검토의견 + 평가 매뉴얼	<p>도시개발사업에 대한 건강영향평가 정보 제공 문서</p> <p>도시개발사업에 대한 건강영향평가는 지역 주민의 건강과 환경을 보호하기 위해 필수적인 절차입니다. 이 평가는 여러 단계로 구성되며, 각 단계는 다음과 같습니다:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 법적 기준 확인: 도시개발사업이 건강영향평가 대상인지 확인합니다. 이는 환경보전법 및 관련 법령에 따라 결정되며, 일반적으로 대규모 개발 프로젝트(예: 산업단지, 대형 주거단지 등)는 법적 기준에 따라 평가가 필요합니다. (출처: 검토서, 매뉴얼) 2. 사업 분석 및 평가대상물질 선정: 개발사업의 특성과 범위를 분석하여 건강영향 평가의 필요성을 판단합니다. 이 과정에서 대기오염물질, 수질오염물질, 소음 등 다양한 환경 요인을 포함하여 평가할 유해물질을 선정합니다. 예를 들어, 대기오염물질의 경우 벤젠, 포름알데히드, 암모니아 등이 포함될 수 있습니다. (출처: 검토서, 매뉴얼) 3. 스크리닝(SCREENING): 해당 사업이 건강영향 평가 대상인지 확인하는 단계로, 국내의 건강영향 항목 추가 평가는 법령에 명시된 대상사업 및 규모에 따라 스크리닝 단계를 생략할 수 있습니다. (출처: 매뉴얼) 4. 스코핑(SCOPING): 건강영향 평가를 위해 평가할 항목, 범위, 방법 등을 결정합니다. 이 과정에서 환경영향평가협의회의 의견을 청취해야 합니다. (출처: 매뉴얼) 5. 누적영향평가: 주변 개발사업과의 누적 영향을 고려하여, 해당 지역의 기존 오염원 및 신규 오염원에 대한 평가를 수행합니다. 이때, 주변 인구의 노출 가능성을 분석합니다. (출처: 검토서) 5. 위험성 평가: 선정된 유해물질에 대한 노출 경로 및 농도를 분석하여 건강에 미치는 위험성을 평가합니다. 이 과정에서 발암성 및 비발암성 물질에 대한 정보를 동시에 고려합니다. (출처: 검토서, 매뉴얼) 6. 모델링 및 예측: 대기 및 수질 오염물질의 확산 모델링을 통해 오염물질의 영향을 예측합니다. AERMOD, CALPUFF와 같은 모델을 사용하여 오염물질의 분포를 시뮬레이션합니다. (출처: 검토서, 매뉴얼)

Table S2. 계속

활용시스템	응답
	<p>7. 저감 방안 수립: 건강영향을 최소화하기 위한 저감 방안을 제안합니다. 이는 오염물질의 배출을 줄이기 위한 기술적, 관리적 대책을 포함합니다. (출처: 매뉴얼)</p> <p>8. 모니터링 계획 수립: 개발사업 진행 중 및 완료 후 오염물질의 농도를 모니터링하기 위한 계획을 수립합니다. 이는 주민 건강에 미치는 영향을 지속적으로 평가하기 위한 것입니다. (출처: 검토서, 매뉴얼)</p> <p>9. 이해관계자와의 협의: 지역 주민, 관련 기관 및 이해관계자와의 협의를 통해 건강영향 평가 결과를 공유하고, 필요한 경우 추가적인 조치를 논의합니다. (출처: 검토서, 매뉴얼)</p> <p>10. 보고서 작성 및 제출: 최종적으로 건강영향 평가 결과를 정리하여 보고서를 작성하고, 관련 기관에 제출합니다. 이 보고서는 향후 정책 결정 및 개발 계획에 중요한 기초 자료로 활용됩니다. (출처: 검토서, 매뉴얼)</p> <p>이러한 단계들을 통해 도시개발사업이 지역 주민의 건강에 미치는 영향을 평가하고, 건강 불평등을 최소화하는 방향으로 사업 계획을 조정할 수 있습니다.</p> <p>차이점 스크리닝 단계: 매뉴얼에서는 스크리닝 단계를 생략할 수 있는 조건을 명시하고 있지만, 검토서에서는 이 단계에 대한 언급이 없습니다. 저감 방안 수립: 매뉴얼에서는 저감 방안 수립을 별도로 언급하고 있으나, 검토서에서는 이 부분이 포함되지 않았습니다. 누적영향평가: 검토서에서는 주변 개발사업과의 누적 영향을 고려하는 내용을 포함하고 있지만, 매뉴얼에서는 이 부분에 대한 언급이 없습니다.</p>

Table S3. “용량이 90톤/일인 소각시설 개발 시 건강영향평가 수행 여부는 어떠한가?”에 대한 각 시스템 별 응답 내용

활용시스템	응답
GPT-4o-mini	<p>소각시설의 용량이 90톤/일인 경우, 건강영향평가(Health Impact Assessment, HIA) 수행 여부는 지역의 법적 요구 사항과 규제에 따라 다를 수 있습니다. 한국의 경우, 대기환경보전법 및 관련 규제에 따라 특정 용량 이상의 소각시설은 환경영향평가와 함께 건강영향평가를 수행해야 할 수 있습니다.</p> <p>일반적으로, 대규모 소각시설에 대해서는 건강영향평가를 수행하여 지역 주민의 건강에 미치는 영향을 평가하는 것이 필요합니다. 용량이 90톤/일인 경우, 법적 요구 사항에 따라 건강영향평가가 요구될 수 있으므로, 해당 지역의 환경 관련 규정을 검토하고 관련 기관과 상담하는 것이 좋습니다.</p> <p>자세한 정보는 해당 지역의 환경부서나 관련 기관에 문의하여 확인하는 것이 가장 확실합니다.</p>
GPT-4o-mini + 축적된 검토의견	<p>용량이 90톤/일인 소각시설 개발 시 건강영향평가는 수행할 필요성이 있습니다. 일반적으로 소각시설의 경우, 규모가 100톤/일에 육박하며 주변(5km 이내)에 대규모 주거지역이 존재할 경우 건강영향평가를 수행해야 한다고 제안되고 있습니다. 따라서 90톤/일의 용량은 법적 기준에 근접하므로, 주변 환경과 주민의 건강에 미치는 영향을 평가하기 위해 건강영향평가를 실시하는 것이 바람직합니다. 특히, 주변에 대규모 주거지역이 존재한다면 더욱 필요성이 강조됩니다.</p>
GPT-4o-mini + 축적된 검토의견 + 평가 매뉴얼	<p>건강영향평가 필요성에 대한 정보 제공 문서</p> <p>소각시설 개발 시 건강영향평가는 매우 중요한 과정입니다. 특히, 용량이 90톤/일인 소각시설의 경우, 건강영향평가는 수행해야 할 필요성이 있습니다. 한국의 환경보건법 시행령에 따르면, 폐기물 처리시설 중 소각시설은 처리능력이 100톤/일 이상일 때 건강영향평가의 대상이 됩니다. 그러나 90톤/일의 경우에도 주변 환경과 주민의 건강에 미치는 영향을 고려해야 하므로, 건강영향평가를 수행하는 것이 바람직합니다(매뉴얼).</p> <p>특히, 주변에 민감한 인구집단(어린이, 노인 등)이나 대규모 주거지역이 있는 경우, 건강영향을 사전에 평가하여 부정적인 영향을 최소화하는 조치를 취하는 것이 중요합니다(검토서). 일반적으로 소각시설의 경우, 규모가 100톤/일에 육박하며 주변 5km 이내에 대규모 주거지역이 존재할 경우 건강영향평가를 수행해야 한다고 제안되고 있습니다(검토서). 따라서 90톤/일의 용량은 법적 기준에 근접하므로, 주변 환경과 주민의 건강에 미치는 영향을 고려하여 건강영향평가를 수행하는 것이 더욱 필요성이 강조됩니다(검토서).</p>

Table S3. 계속

활용시스템	응답
	<p>차이점 법적 기준: 매뉴얼에서는 90톤/일의 소각시설도 건강영향평가를 수행하는 것이 바람직하다고 명시하고 있으며, 검토서에서는 90톤/일이 법적 기준에 근접하므로 건강영향평가의 필요성이 강조된다고 언급하고 있습니다. 주변 환경 고려: 매뉴얼은 민감한 인구집단과 주거지역의 존재 여부를 강조하고, 검토서는 대규모 주거지역의 존재가 건강영향평가의 필요성을 더욱 강조한다고 설명하고 있습니다.</p>

Table S4. “전파장해 관련 유해인자의 건강영향평가 방법은 어떠한가?”에 대한 각 시스템 별 응답 내용

활용시스템	응답
GPT-4o-mini	<p>전파장해(전자파장해)와 관련된 유해 인자의 건강영향평가는 다음과 같은 방법으로 수행됩니다:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 문헌 조사: 전파장해와 관련된 기존 연구와 문헌을 검토하여 전파장해가 건강에 미치는 잠재적 영향을 이해합니다. 이를 통해 과거 연구 결과와 데이터를 기반으로 평가를 시작할 수 있습니다. 2. 노출 평가: 전파장해가 발생할 수 있는 환경에서의 전자파 노출 수준을 측정합니다. 이 과정에는 전자파 강도 측정, 주파수 분석, 그리고 시간에 따른 노출 패턴 분석이 포함될 수 있습니다. 3. 건강 데이터 수집: 해당 지역의 주민들로부터 건강 데이터를 수집합니다. 이에 질병 발생률, 건강 검진 결과, 증상 보고 등이 포함될 수 있습니다. 4. 위험 평가: 수집된 데이터와 문헌 조사를 바탕으로 전파장해가 건강에 미치는 잠재적 위험을 평가합니다. 이 과정에는 전파장해의 종류와 강도, 노출 기간 등을 고려하여 건강 영향을 분석합니다. 5. 영향 예측 및 평가: 전파장해가 특정 건강 문제를 유발할 가능성에 대해 예측하고 평가합니다. 이를 통해 특정 질병이나 증상이 전파장해와 관련이 있을 수 있는지를 분석합니다. 6. 대책 및 권고: 건강영향평가 결과에 따라 필요한 대책을 제시합니다. 여기에는 전파장해의 감소를 위한 조치, 건강 모니터링 강화, 주민 교육 및 정보 제공 등이 포함될 수 있습니다. 7. 보고서 작성: 평가 결과를 종합하여 보고서를 작성합니다. 보고서에는 연구 방법, 데이터 분석 결과, 건강 영향 평가 및 권고 사항이 포함됩니다. <p>이러한 방법들은 전파장해의 건강영향을 종합적으로 평가하고, 필요한 조치를 취하기 위해 사용됩니다. 평가 과정에서 전문가의 조언과 협조가 중요하며, 관련 법규와 가이드라인에 따라 평가를 수행하는 것이 바람직합니다.</p>
GPT-4o-mini + 축적된 검토의견	<p>전파장해 관련 유해인자의 건강영향평가는 다음과 같은 방법으로 수행됩니다:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 유해인자 선정: 전파장해와 관련된 유해인자를 선정합니다. 이는 전파장해가 발생할 수 있는 환경에서의 특정 물질이나 요인을 포함합니다. 2. 노출 평가: 해당 유해인자에 대한 노출 수준을 평가합니다. 이는 인구가 전파장해에 얼마나 노출되는지를 측정하는 과정으로, 노출 경로(예: 공기, 물, 식품 등)와 노출 기간을 고려합니다. 3. 건강 영향 분석: 노출된 인구 집단에서의 건강 영향을 분석합니다. 이는 역학 연구, 실험적 연구, 문헌 검토 등을 통해 이루어지며, 유해인자와 건강 결과 간의 관계를 규명합니다. 4. 위험 평가: 유해인자의 위험성을 평가합니다. 이는 발암성, 비발암성, 독성 등을 포함하여, 특정 농도에서의 건강 영향을 예측하는 과정입니다. 5. 모델링: 전파장해의 확산 및 영향을 예측하기 위해 대기 확산 모델링이나 수질 모델링을 사용할 수 있습니다. 이를 통해 특정 지역에서의 유해인자 농도를 예측하고, 건강 영향을 평가합니다. 6. 정책 및 관리 방안 제안: 평가 결과를 바탕으로 건강 보호를 위한 정책 및 관리 방안을 제안합니다. 이는 노출 저감 조치, 규제 강화, 공공 건강 캠페인 등을 포함할 수 있습니다. 7. 모니터링 및 재평가: 건강영향평가 후에도 지속적인 모니터링을 통해 유해인자의 농도 및 건강 영향을 재평가하고, 필요시 추가적인 조치를 취합니다. <p>이러한 방법들은 전파장해가 인체 건강에 미치는 영향을 체계적으로 평가하고, 이를 통해 공공 건강을 보호하기 위한 기초 자료를 제공합니다.</p>

Table S4. 계속

활용시스템	응답
GPT-4o-mini + 축적된 검토의견 + 평가 매뉴얼	<p>전파장해 관련 유해인자의 건강영향 평가 방법</p> <p>전파장해와 관련된 유해인자의 건강영향 평가는 다음과 같은 단계로 수행됩니다:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 유해인자 식별/선정: 전파장해와 관련된 유해인자를 식별하거나 선정합니다. 이는 전파장해가 발생할 수 있는 환경에서의 특정 물질이나 요인을 포함합니다. (출처: 매뉴얼, 검토서) 2. 노출 평가: 해당 유해인자에 대한 인구의 노출 수준을 평가합니다. 이는 전파장해가 발생하는 지역 내 인구의 노출 정도를 측정하고, 노출 경로(예: 공기, 물, 토양 등)를 분석합니다. (출처: 공통) 3. 건강 영향 분석: 노출된 인구에 대한 건강 영향을 분석합니다. 이는 유해인자에 대한 과거 연구 결과를 바탕으로 하여, 특정 질병이나 건강 문제와의 연관성을 평가합니다. (출처: 공통) 4. 위험 평가: 유해인자에 대한 위험성을 평가합니다. 이는 발암성, 비발암성, 독성 등의 기준을 적용하여, 해당 유해인자가 건강에 미치는 영향을 정량적으로 분석합니다. (출처: 공통) 5. 모델링: 전파장해의 확산 모델링을 통해, 유해인자가 환경에서 어떻게 퍼지는지를 예측합니다. 이를 통해 특정 지역에서의 건강 위험을 평가할 수 있습니다. (출처: 공통) 6. 정책 제안: 평가 결과를 바탕으로, 건강 보호를 위한 정책이나 저감 방안을 제안합니다. 이는 공공 건강을 증진시키기 위한 구체적인 조치를 포함할 수 있습니다. (출처: 공통) <p>이러한 방법들은 전파장해가 발생할 수 있는 다양한 환경적 요인과 인구 특성을 고려하여, 보다 정확한 건강영향 평가를 수행하는 데 기여합니다. (출처: 공통)</p> <p>차이점</p> <p>유해인자 식별/선정: 매뉴얼에서는 ‘유해인자 식별’이라고 표현하고, 검토서에서는 ‘유해인자 선정’이라고 표현합니다. 두 용어는 유사하지만, ‘식별’은 더 넓은 범위의 유해인자를 포함할 수 있는 반면, ‘선정’은 특정 유해인자를 선택하는 과정에 중점을 둡니다.</p>

Table S5. “산업단지 개발계획에 대한 계획 적정성 평가 방법은 어떠한가?”에 대한 각 시스템 별 응답 내용

활용시스템	응답
GPT-4o-mini	<p>산업단지 개발계획에 대한 계획 적정성 평가는 다음과 같은 방법으로 수행됩니다:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 법적 요구 사항 검토: 개발 계획이 관련 법규와 규제, 예를 들어 도시계획법, 환경보전법, 산업집적법 등의 요구 사항을 충족하는지 확인합니다. 법적 기준에 따라 적정성을 평가합니다. 2. 환경영향평가: 개발 계획이 환경에 미치는 영향을 평가합니다. 이를 통해 대기오염, 수질오염, 소음, 토양오염 등 환경적 영향을 분석하고, 환경 보호 조치를 마련합니다. 3. 사회적 영향 평가: 개발이 지역 사회에 미치는 영향을 분석합니다. 주민의 생활 질, 지역 경제, 사회적 갈등 등을 고려하여 사회적 수용성을 평가합니다. 4. 경제적 분석: 개발 계획의 경제적 타당성을 분석합니다. 비용-편익 분석, 투자 회수 기간, 예상 수익 등을 검토하여 경제적 합리성을 평가합니다. 5. 교통 영향 분석: 개발로 인한 교통량 변화와 교통 혼잡을 분석합니다. 교통 인프라의 개선 필요성 및 교통 관리 대책을 검토합니다. 6. 자원 사용 및 효율성 평가: 자원의 효율적인 사용과 관리 방안을 검토합니다. 에너지 사용, 자원 낭비 방지, 재활용 가능성 등을 분석합니다. 7. 리스크 분석: 개발에 따른 잠재적 리스크를 식별하고 평가합니다. 자연재해, 산업사고, 안전 문제 등을 고려하여 리스크 관리 계획을 수립합니다. 8. 이해관계자 의견 수렴: 개발 계획에 영향을 받을 이해관계자(주민, 기업, 지역 사회 등)의 의견을 수렴합니다. 의견 반영과 공청회를 통해 개발 계획의 적정성을 높입니다.

Table S5. 계속

활용시스템	응답
	<p>9. 계획 검토 및 수정: 평가 결과를 바탕으로 개발 계획의 개선 사항을 도출하고, 필요에 따라 계획을 수정합니다.</p> <p>10. 보고서 작성 및 승인: 평가 결과와 수정된 계획을 종합하여 보고서를 작성하고, 관련 기관의 승인을 받습니다.</p> <p>이러한 방법들을 통해 산업단지 개발계획의 적정성을 종합적으로 평가하고, 잠재적인 문제를 사전에 해결하여 개발의 성공 가능성을 높이는 것이 중요합니다.</p>
<p>GPT-4o-mini + 축적된 검토의견</p>	<p>산업단지 개발계획에 대한 계획 적정성 평가는 여러 가지 요소를 고려하여 수행됩니다. 주요 평가 방법은 다음과 같습니다:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 사후환경영향조사계획 수립: 사후환경영향조사계획의 수립 기간과 수행 기간의 적절성을 검토합니다. 이는 환경영향평가법 시행규칙 제19조 별표1 및 사업 특성을 고려하여 설정됩니다. 2. 배출량 산정: 산업단지 개발 시 건강영향평가 대상 물질의 배출량을 산정합니다. PRTR 통계자료를 활용하여 업종별 유해대기오염물질의 배출량을 산정하고, 실제 입주업체의 배출량을 직접 조사하여 산출합니다. 3. 모니터링 및 관리: 대기오염물질 및 수질오염물질에 대한 모니터링 계획을 수립하고, 건강영향조사 및 오염원 관리 방안을 검토합니다. 이는 주민 건강영향 조사와 오염원 관리의 적절성을 포함합니다. 4. 저감방안 검토: 산업단지 개발 시 업체 입주제한 및 배출량 관리 관련 저감방안을 검토합니다. 특정 대기유해물질 배출시설의 입주 제한 및 입계가중배출량 산정방식의 적절성을 평가합니다. 5. 주변 오염원 조사: 사업부지 주변의 기존 및 계획 중인 오염원에 대한 조사를 실시하여, 이들이 산업단지 개발에 미치는 영향을 평가합니다. 6. 건강영향평가: 개발사업에 따른 건강영향을 평가하기 위해, 주변 인구에 미치는 영향을 고려하여 누적영향평가를 실시합니다. 이는 개발사업 부지의 영향범위를 일반적으로 2배로 설정하여 평가합니다. <p>이러한 평가 방법들은 산업단지 개발계획의 환경적, 사회적 영향을 종합적으로 고려하여 적정성을 판단하는 데 중요한 역할을 합니다.</p>
<p>GPT-4o-mini + 축적된 검토의견 + 평가 매뉴얼</p>	<p>산업단지 개발계획에 대한 계획 적정성 평가</p> <p>산업단지 개발계획에 대한 계획 적정성 평가는 지역사회와 환경에 미치는 영향을 최소화하고 주민의 건강을 보호하기 위해 체계적으로 수행됩니다. 이 평가는 여러 가지 요소를 고려하여 진행되며, 주요 방법은 다음과 같습니다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 계획 적정성 평가 지표 설정: 평가 지표는 지역사회 특성, 배경 노출, 개발 부담 등으로 구분되며, 각 지표는 해당 지역의 건강영향을 평가하는 데 필요한 요소를 포함합니다(매뉴얼, 검토서). 2. 정량적 평가 방법: 각 지표에 대한 점수를 산출하여 총점을 계산합니다. 총점은 다음의 공식으로 산출됩니다: $\text{계획 적정성 평가 총 점수} = 100 \times \left(\frac{\text{지역사회 특성 가중치} \times \sum(\text{지역사회특성 지표}_i \times \text{지역사회특성 지표 가중치}_i) + \text{배경노출 가중치} \times \sum(\text{배경노출 지표}_j \times \text{배경노출 지표 가중치}_j) + \text{개발부담 가중치} \times \sum(\text{개발부담 지표}_k \times \text{개발부담 지표 가중치}_k)}{\text{지역사회 특성 가중치} + \text{배경노출 가중치} + \text{개발부담 가중치}} \right)$ [* Latex 형식으로 출력되어 아래와 같이 수식 변환] 3. 사후환경영향조사계획 수립: 사후환경영향조사계획의 수립 기간과 수행 기간의 적절성을 검토하며, 이는 환경영향평가법 시행규칙 제19조 별표1 및 사업 특성을 고려하여 설정됩니다(검토서). 4. 배출량 산정: 산업단지 개발 시 건강영향평가 대상 물질의 배출량을 산정합니다. PRTR 통계자료를 활용하거나 입주업체의 평가대상물질 배출량을 직접 조사하여 산출합니다(검토서). 5. 오염원 관리: 산업단지 내외의 오염원 관리 방안을 검토하고, 저감방안의 적절성을 확인하며, 사업부지 내외의 공원 및 녹지 조성 여부를 검토합니다(검토서).

Table S5. 계속

활용시스템	응답
	<p>6. 모니터링 및 건강영향조사: 대기오염물질 및 건강영향조사에 대한 모니터링 계획의 적절성을 검토합니다. 이는 모니터링 대상 물질 선정, 시기, 빈도, 방법 등을 포함합니다(검토서).</p> <p>7. 누적영향평가: 주변 개발사업의 누적영향을 평가하여 해당 산업단지 개발이 주변 환경에 미치는 영향을 분석합니다. 주변 오염원 및 기존 오염원의 특성을 파악하고, 이들이 수용체에 미치는 영향을 고려합니다(검토서).</p> <p>8. 법적 기준 및 지침 준수: 관련 법규 및 지침에 따라 개발계획이 적절히 수립되었는지 확인합니다. 이는 환경영향평가 및 건강영향평가의 법적 대상 여부를 포함합니다(검토서).</p> <p>9. 결과 해석: 평가 결과가 일정 기준(예: 65점)을 초과할 경우, 건강영향 측면에서 개발계획이 적절하지 않다고 판단하며, 이 경우 추가적인 저감 방안이나 대책을 제안합니다(매뉴얼).</p> <p>10. 모니터링 및 사후 관리: 개발이 완료된 후에도 지속적인 모니터링을 통해 건강영향을 평가하고, 필요 시 추가적인 조치를 취합니다(매뉴얼).</p> <p>이러한 방법들은 산업단지 개발이 지역사회와 환경에 미치는 영향을 최소화하고, 주민의 건강을 보호하기 위한 중요한 절차입니다.</p> <p>차이점</p> <p>계획 적정성 평가 지표 설정: 매뉴얼에서는 지역사회 특성, 배경 노출, 개발 부담으로 구분된 지표를 설정하는 반면, 검토서에서는 사후환경영향조사계획 수립과 같은 구체적인 절차를 강조합니다.</p> <p>정량적 평가 방법: 매뉴얼에서 제시된 공식은 구체적이며, 검토서에서는 배출량 산정과 오염원 관리에 대한 구체적인 방법론을 포함합니다.</p> <p>모니터링 및 건강영향조사: 검토서에서는 모니터링 계획의 적절성을 검토하는 항목이 강조되며, 매뉴얼에서는 사후 관리의 중요성을 언급합니다.</p>