

LLM 및 모바일 앱 기반 지능형 캠퍼스 내비게이션 시스템

김현수*¹, 장명근*², 홍성용*³, 한승원*⁴, 김현민*⁵, 이동현**

LLM and Mobile App-based Intelligent Campus Navigation System

Hyeon-Su Kim*¹, Myeong-Guen Jang*², Seong-Yong Hong*³, Seung-Won Han*⁴,
Hyeon-Min Kim*⁵, and Dong-Hyun Lee**

이 성과는 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2024-00337584). 또한 2026년도 교육부 및 경상북도의 재원으로 경북RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)-(지역성장 혁신LAB)의 결과임 (2026-rise-15-105)

요약

본 논문은 대규모 언어 모델(LLM)과 특화 지식 베이스(Knowledge base)를 결합하여, 기존 키워드 검색 방식의 한계를 극복한 지능형 캠퍼스 내비게이션 시스템을 제안한다. 사용자의 비정형 자연어 질의에서 이동 의도를 추출하고, 하이브리드 프레임워크를 통해 정확한 목적지를 식별하여 정보의 유연성을 확보하였다. 경로 탐색 시에는 지구 곡률을 반영한 하버사인(Haversine) 기반 Geodesic A* 알고리즘을 적용하여 실외 경로 안내의 정밀도를 극대화하였다. 실증 실험 결과, 제안 시스템은 복잡 질의 처리와 이동 수단별 맞춤형 실시간 경로 생성을 통해 기존 지도 앱 대비 탐색 소요 시간을 대폭 단축하고 사용자 편의성을 크게 개선함을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes an intelligent campus navigation system integrating a Large Language Model (LLM) and a Knowledge Base to overcome the limitations of keyword-based searches. By extracting user intentions from unstructured queries through a hybrid framework, the system accurately identifies destinations. For precise outdoor routing, we implemented a Geodesic A* algorithm incorporating the Haversine formula, reflecting the Earth's curvature. Experimental results demonstrate that the proposed system significantly reduces search time and improves user convenience by successfully processing complex queries and generating real-time, customized routes based on transportation modes.

Keywords

large language model, LLM, mobile application, navigation, intent recognition, geodesic A* algorithm

* 국립금오공과대학교 전자공학부 학생연구원
- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0006-1750-4581>
- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0006-0628-3226>
- ORCID³: <https://orcid.org/0009-0000-5581-0447>
- ORCID⁴: <https://orcid.org/0009-0006-7739-1566>
- ORCID⁵: <https://orcid.org/0009-0008-1279-4377>

** 국립금오공과대학교 전자공학부 및 IT융복합공학과 부교수 (교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9372-3333>

• Received: Feb. 11, 2026, Revised: Mar. 18, 2026, Accepted: Mar. 21, 2026
• Corresponding Author: Dong-Hyun Lee
School of Electronic Engineering and Department IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea
Tel.: +82-54-478-7474, Email: donglee@kumoh.ac.kr

I. 서 론

최근 인공지능 기술의 비약적인 발전으로 인해 대학 캠퍼스, 공항, 대형 쇼핑몰과 같은 복잡한 실외 환경에서 모바일 애플리케이션을 활용한 지능형 안내 시스템의 수요가 급증하고 있다. 특히 대학 캠퍼스는 다수의 건물이 산재해 있고 지형 및 경로가 복잡하여, 신입생이나 외부 방문객이 목적지를 효율적으로 탐색하는 데 큰 어려움을 겪는다. 이를 지원하기 위해 다양한 지도 서비스와 내비게이션 시스템이 활용되고 있으나, 기존 시스템은 사용자 경험 및 정보 전달 방식 측면에서 여전히 구조적인 한계를 내포하고 있다.

기존 상용 지도 서비스 및 키워드 기반 검색 시스템의 한계는 크게 두 가지로 분석된다. 첫째, 명확한 키워드 매칭에 의존하는 검색의 경직성이다. 기존 시스템은 사용자가 미리 정의된 정확한 장소 명칭을 입력해야만 동작하므로, 구어체 기반의 모호한 질문이나 복합적인 의도가 포함된 자연어 질의를 유효한 목적지 정보로 매핑하지 못하는 경우가 빈번하다. 둘째, 데이터의 파편화로 인한 탐색 절차의 이원화이다. 상용 지도 서비스는 주로 건물명 위주의 거시적 위치 정보만을 제공할 뿐, 특정 교수의 연구실 위치나 건물 내 세부 시설과 같은 미시적 내부 정보는 포함하지 않는다. 이로 인해 사용자는 학과 홈페이지 등에서 세부 정보를 선행적으로 탐색한 후, 다시 지도 애플리케이션에 해당 위치를 입력해야 하는 번거로운 과정을 거치게 된다. 이러한 정보 탐색과 경로 안내 플랫폼의 분리는 사용자의 인지적 부하를 가중시키고 시스템의 전반적인 사용성을 저하시키는 주요 원인이 된다[1].

이러한 문제를 해결하기 위해서는 단순한 좌표 안내를 넘어, 사용자의 언어적 문맥을 이해하고 잠재된 이동 의도를 파악하여 능동적으로 정보를 통합 제공하는 대화형 인터페이스가 필수적이다. 고도화된 언어 이해 및 추론 능력을 갖춘 대규모 언어 모델은 비정형 질의를 해석하고 사용자의 의도를 구조화하는 데 매우 강력한 도구가 될 수 있다[2]. 특히 외부 지식 베이스에서 관련 정보를 검색하여 모델의 생성 능력과 결합하는 방식은 환각 현상을

억제하고 신뢰도 높은 캠퍼스 맞춤형 정보를 제공하는 데 적합하다. 또한, 클라이언트-서버 구조 기반의 아키텍처는 복잡한 연산을 서버 측에서 처리하고 결과를 모바일 기기에 즉각적으로 시각화하는 유기적인 연동을 가능하게 한다.

이에 본 논문에서는 대규모 언어 모델의 문맥 인식 능력과 모바일 인터페이스 기술을 융합하여, 사용자의 자연어 질의에 유연하게 대응하는 지능형 캠퍼스 내비게이션 시스템을 제안한다. 본 연구의 궁극적인 목적은 기존 범용 지도 서비스가 제공하지 못하는 미시적 공간 정보의 부재와 비정형 질의 처리의 한계를 극복하는 것이다. 이를 달성하기 위한 구체적인 방법론으로서, 제안하는 시스템은 사용자의 자연어로부터 명확한 이동 의도를 추출하는 의도 분류 모듈과 캠퍼스 내 정적·동적 데이터를 관리하는 지식 베이스를 결합한 하이브리드 구조를 갖는다. 이를 통해 시스템은 사용자의 모호한 요청에도 정확한 목적지를 식별하며, 위도 및 경도 좌표계에 하버사인 공식을 적용한 Geodesic A* 알고리즘을 통해 최적의 실외 경로를 실시간으로 산출하여 제공한다. 실외 환경에서 단순 직선거리 기반 탐색 과정에 발생하는 오차를 최소화하기 위해 본 논문에서는 구면 좌표계상의 실제 거리를 정확히 산출하는 하버사인 공식을 알고리즘의 비용 함수에 결합하여 경로 안내의 정밀도를 극대화하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지능형 내비게이션 및 대규모 언어 모델 활용에 관한 관련 연구를 살펴보고, 3장에서는 제안하는 시스템의 전체 아키텍처와 핵심 알고리즘을 상세히 기술한다. 4장에서는 실제 캠퍼스 환경에서의 구현 결과 및 성능 평가를 제시하며, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논한다.

II. 관련 연구

2.1 기존 경로 탐색 및 안내 시스템

전역 경로 계획 기술은 주로 다익스트라 또는 A* 알고리즘을 기반으로, 그래프상의 노드와 간선의 비용을 최소화하는 방식으로 발전해 왔다[3].

이러한 결정론적 알고리즘은 정형화된 토폴로지 맵 내에서 출발지와 목적지 간의 최단 거리 또는 최소 시간을 산출하는 데 있어 높은 효율성을 보장한다.

그러나 기존의 기하학적 경로 탐색 기법은 사용자가 사전에 정의된 목적지의 명칭을 정확하게 입력해야만 동작한다는 구조적 한계를 지닌다. 즉, 사용자가 특정 건물의 명칭을 명확히 인지하지 못하거나 목적지가 추상적이고 모호한 경우, 시스템은 이를 구체적인 좌표로 매핑하지 못하여 유효한 경로를 생성할 수 없다.

또한, 범용 지도 서비스는 건물 단위의 거시적 위치 정보는 제공하나, 대학 캠퍼스 내부의 세부 호실이나 특정 구성원의 위치와 같은 미시적 데이터는 포함하지 않는다. 이로 인해 사용자는 범용 지도와 교내 정보를 별도로 검색해야 하는 정보의 불일치 문제를 겪게 되며, 이는 사용자 경험을 저해하는 주요 요인으로 작용한다[4].

2.2 LLM 기반 대화형 서비스 및 한계

최근 트랜스포머 아키텍처를 기반으로 한 대규모 언어 모델은 방대한 텍스트 데이터를 학습하여 인간 수준의 자연어 이해 및 추론 능력을 입증하였으며[5], 이를 챗봇이나 모바일 에이전트에 접목하려는 연구가 활발히 수행되고 있다[6]. 기존의 검색 시스템이 사전 정의된 키워드 매칭이나 규칙 기반 알고리즘에 의존하여 경직된 명령어 처리만 가능했던 반면, 대규모 언어 모델 기반 시스템은 사용자의 비정형 자연어 질의로부터 문맥을 파악하고 적절한 응답을 생성할 수 있다.

선행 연구에서는 이러한 언어 모델의 처리 능력을 활용하여 사용자의 복잡한 질의에서 핵심 개체 명을 추출하여 관심 지점을 추천하거나, 자연어를 데이터베이스 질의어로 변환하여 정형 데이터를 탐색하는 기술들이 제안되었다[7]. 그러나 범용 모델은 인터넷상의 공개된 데이터를 기반으로 학습되었기 때문에, 특정 대학 캠퍼스 내의 비공개된 세부 공간 정보나 구성원의 위치와 같은 고유한 도메인 지식을 내재하고 있지 않다. 이에 따라 모델은 사용자의 구체적인 질문에 대해 사실과 다른 정보를 생성하는 환각 현상을 일으키거나[8], 일반적인 답

변만을 제공하는 한계를 보인다. 또한, 단순히 텍스트 형태의 답변을 생성하는 데 그칠 뿐, 추출된 정보를 실제 지도상의 좌표계로 변환하여 내비게이션 엔진을 제어하는 물리적 실행 능력이 결여되어 있다. 따라서 실질적인 경로 안내를 수행하기 위해서는 대규모 언어 모델의 문맥 이해 능력과 공간 정보 시스템의 정밀한 경로 생성 기능이 결합된 새로운 융합 아키텍처가 요구된다.

2.3 제안 시스템의 차별성

이러한 기술적 요구에 부응하여 최근 대규모 언어 모델을 공간 탐색 및 내비게이션 도메인에 적용하려는 선행 연구들이 일부 진행된 바 있다. 대표적으로 시각 및 언어 모델을 결합하여 로봇의 자율 주행 경로를 탐색하는 연구[9]가 제안되었다. 그러나 이러한 유사 연구들은 주로 로봇의 하드웨어 제어나 제한된 실험 환경에 초점이 맞춰져 있어, 실제 보행자나 차량 운전자가 모바일 기기를 통해 복합적인 캠퍼스 공간을 탐색하는 서비스 환경에 직접 적용하기에는 구조적 한계가 존재한다. 또한, 캠퍼스라는 특수 목적 공간의 미시적 데이터(특정 교수명, 호실 등)를 실시간으로 해석하여 모바일 지도상에 좌표로 시각화하는 실용적인 연구는 여전히 미흡한 실정이다.

표 1. 기존 연구와 제안 시스템의 특징 비교

Table 1. Comparison of characteristics between existing studies and the proposed system

Category	Key characteristics	Limitations
Commercial maps[1][4]	Building-level data	No Specific room search
Traditional nav.	Shortest path (A*)[3]	No intent recognition
General LLM[2][9]	Advanced reasoning	No local data & No navigation action[8]
Proposed system	LLM + knowledge base	Coordinate conversion & real-time path generation

표 1은 기존 연구들과 본 제안 시스템의 기술적 특징 및 차별성을 비교하여 요약한 것이다. 기존의

상용 지도 내비게이션은 정밀한 위치 측위에는 강점을 보이나 사용자의 모호하고 복합적인 의도를 해석하는 데 구조적 한계를 지닌다. 반면, 범용 대규모 언어 모델은 우수한 언어 추론 능력을 보유하였으나, 특정 캠퍼스 내부의 공간 정보에 대한 학습 데이터 부재로 인해 실질적인 경로 안내를 수행할 수 없다. 표 1에서 기술한 바와 같이, 이는 범용 모델이 지역 데이터 결여와 내비게이션 실행 능력 부재라는 한계를 동시에 가지기 때문이다.

이에 본 연구에서는 대규모 언어 모델의 고도화된 문맥 인식 능력에 캠퍼스 환경에 특화된 하이브리드 지식 베이스를 결합하고, 이를 스마트폰 기반의 내비게이션 인터페이스와 유기적으로 연동하는 통합 아키텍처를 제안함으로써 기존 연구들의 제약 사항을 극복하고자 한다.

제안 시스템은 자연어 처리 기반의 의도 분류 모듈을 통해 기존 키워드 검색 방식이 해결하지 못했던 비정형 질의를 해석하여 목적지를 특정하고, 이를 구체적인 위도와 경도 좌표로 변환한다. 이는 표 1에 명시된 제안 시스템의 핵심 특징인 좌표 변환 및 실시간 경로 생성 기능을 통해 구현된다. 이후, 하버사인 거리 기반의 Geodesic A* 알고리즘을 적용하여 최적의 경로를 모바일 애플리케이션상에 시각화함으로써 정보의 정확성과 사용자 편의성을 동시에 확보하였다.

III. 시스템 설계

3.1 전체 시스템 구조

본 연구에서 제안하는 지능형 캠퍼스 내비게이션 시스템은 데이터 처리의 효율성과 모듈 간의 유기적인 연동을 보장하기 위해 사용자 클라이언트 계층, 클라우드 연결 계층, 그리고 핵심 지능 계층의 3계층 아키텍처로 설계되었다. 그림 1은 제안 시스템의 전체 아키텍처 및 데이터 흐름을 나타낸다.

이러한 3계층 아키텍처의 구조화는 모바일 기기의 인지적 연산 부하를 서버로 분산시키고, LLM의 추론 결과가 지연 없이 지도에 시각화되도록 실시간성을 보장하는 핵심적인 역할을 한다. 최상위 계

층인 사용자 클라이언트 계층은 사용자와 시스템 간의 직접적인 상호작용을 담당하는 영역이다. 이 계층은 사용자의 자연어 입력을 수신하고 시스템의 응답을 출력하는 대화 인터페이스, 모바일 기기의 위성 항법 시스템 모듈과 연동하여 사용자의 실시간 위도 및 경도 좌표를 주기적으로 수집하는 위치 센서, 그리고 서버로부터 수신한 최적 경로 데이터와 목적지 정보를 지도상에 시각화하는 실시간 지도로 구성된다.

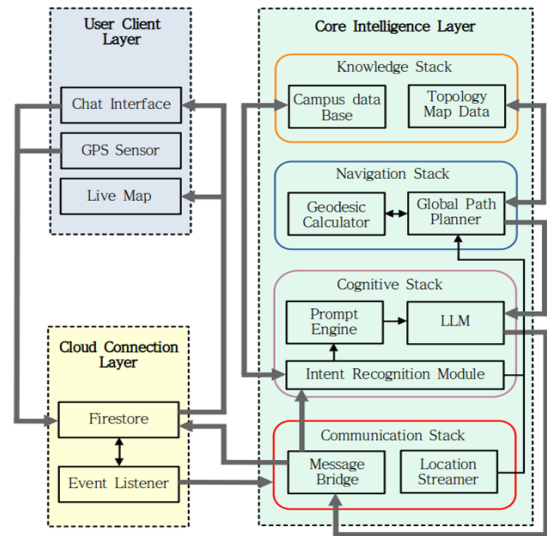


그림 1. 제안 시스템의 전체 아키텍처
Fig. 1. Overall architecture of the proposed system

시스템의 중간 계층인 클라우드 연결 계층은 클라이언트와 서버 간의 비동기 통신을 중개하는 역할을 수행한다. 이 계층은 데이터베이스의 상태 변경을 실시간으로 감지하여, 사용자의 질의 데이터와 서버의 연산 결과를 지연 없이 동기화함으로써 끊김 없는 사용자 경험을 보장한다.

시스템의 핵심 연산을 수행하는 핵심 지능 계층은 다시 인지, 지식, 항법, 통신의 네 가지 스택으로 세분화된다. 인지 스택은 대규모 언어 모델을 기반으로 비정형 자연어 질의를 해석하여 사용자의 의도를 분류하고 목적지 탐색에 필요한 매개변수를 추출하며, 프롬프트 엔진을 통해 시스템 프롬프트를 최적화하여 환각 현상을 억제한다. 지식 스택은 캠퍼스 내 건물 및 구성원 정보를 담은 정적 데이터

베이스인 지식 베이스와, 실외 경로 탐색을 위해 도로망을 지점과 선 기반의 그래프로 모델링한 위상 지도를 관리한다. 항법 스택은 구면 좌표계 상에서의 정밀한 거리 비용을 계산하고[10], 이를 바탕으로 경로 계획기가 Geodesic A* 알고리즘을 수행하여 출발지에서 목적지까지의 최단 경로를 산출한다. 통신 스택은 핵심 지능 계층과 클라우드 연결 계층 사이의 데이터 송수신을 최적화하고 관리하는 통신 인터페이스 영역이다. 이 스택은 서버 내부에서 처리된 복잡한 지능형 데이터가 사용자 기기로 끊김 없이 전달되도록 한다.

이와 같은 계층 구조를 통해, 사용자의 자연어 질의는 클라우드 계층을 거쳐 서버의 지능 계층에서 해석 및 처리되며, 산출된 최종 경로 정보는 다시 역순으로 전달되어 클라이언트의 지도 화면에 실시간으로 시각화된다.

3.2 의도 파악 및 지식 베이스 구축

본 시스템의 인지 스택은 대규모 언어 모델을 핵심 엔진으로 활용하여, 사용자의 비정형 자연어 질의로부터 명확한 이동 의도를 추출하는 기능을 수행한다. 본 연구에서는 범용 모델이 학습 데이터의 부재로 인해 사실과 다른 정보를 생성하는 환각 현상을 원천적으로 차단하고, 캠퍼스 도메인 정보를 정확하게 제공하기 위해 검색 증강 생성 기법과 프롬프트 엔지니어링을 결합한 하이브리드 접근 방식을 적용하였다.

3.2.1 프롬프트 엔지니어링 및 의도 분류

의도 분류 모듈은 시스템의 역할과 작업 범위를 명확히 규정하는 시스템 프롬프트를 통해 제어된다. 본 연구에서는 사용자의 다양한 발화 패턴을 정밀하게 처리하기 위해, 입력된 질의를 길찾기, 교수 및 연구실 정보, 학과 위치 등 캠퍼스 내비게이션에 최적화된 다양한 세부 의도로 분류하도록 설계하였다.

또한, 대규모 언어 모델의 추론 결과가 후속 제어 모듈에서 즉시 파싱 가능하도록 출력 형식을 JSON 포맷으로 강제하였다. 특히 목적지와 인물명이 혼재된 복합 질의의 경우, 시스템 프롬프트 내에

"교수 고유명사가 포함될 경우 무조건 교수 및 연구실 정보로 우선 분류한다"는 명시적 규칙을 삽입하여 의도 파악의 정확도를 보장하였다.

3.2.2 캠퍼스 특화 지식 베이스

지식 스택은 추출된 매개변수를 기반으로 실제 경로 탐색에 필요한 좌표 정보를 제공하기 위해 구축된 캠퍼스 특화 데이터베이스이다. 기존 상용 지도 서비스가 제공하지 않는 건물 내부의 미시적 정보를 처리하기 위해, 본 연구에서는 교내의 모든 관심 지점을 건물명, 소속 학과, 교수명, 연구실 호수, 인접 건물, 행정 또는 편의 카테고리, 위도, 경도 등의 속성을 포함하는 구조화된 스키마로 정의하였다.

이 데이터베이스는 단순한 데이터 연결을 넘어 공간적 인접성과 계층적 소속 관계를 포함하도록 설계되었다. 이러한 속성 정보는 대규모 언어 모델이 사용자의 추상적 의도를 해석할 때 단순한 키워드 매칭에 그치지 않고 주변 정보나 장소의 특성이 지 고려하여 맥락에 맞는 답변을 생성할 수 있는 구조적 기반을 제공한다. 이는 향후 다양한 유형의 장소 탐색으로 기능을 확장할 수 있는 유연성을 보장하며, 정형화된 검색 방식 대비 높은 데이터 효용성을 갖는다.

3.3 경로 탐색 및 측지 거리 알고리즘

본 시스템의 항법 스택은 대규모 언어 모델이 추출한 목적지 좌표를 바탕으로, 실제 캠퍼스 도로망 위에서 최적의 이동 경로를 생성한다. 실외 환경의 정밀한 거리 계산을 위해 지점 간의 직선거리가 아닌 지구의 곡률을 고려한 측지 거리를 산출하며, 이를 위해 하버사인 공식과 A* 알고리즘을 결합한 방식을 제안한다.

3.3.1 하버사인 기반 거리 측정

캠퍼스 내 두 지점 사이의 최단 거리를 구하기 위해 하버사인 공식을 사용한다. 이 공식은 위도와 경도로 표현되는 구면 좌표계에서 두 점 사이의 거리를 산출하는 데 적합하다. 이러한 측지 거리는 고

도 차이가 크지 않은 평면적인 캠퍼스 환경에서 유클리드 거리보다 높은 정밀도를 보장하며, 실제 지표면의 특성을 반영한 경로 산출의 기초 데이터가 된다[10].

3.3.2 측지 기반 A* 알고리즘

산출된 측지 거리는 경로 탐색 알고리즘인 A* 알고리즘의 비용 함수에 포함되어 최적의 경로를 결정한다. A* 알고리즘은 도로망 그래프를 탐색하며 전체 비용이 최소가 되는 지점을 우선적으로 선택한다. 특히 캠퍼스의 복잡한 지형 특성을 고려하여, 계단이나 가파른 경사로와 같이 이동 수단에 따라 접근이 제한되는 구간에는 별도의 페널티 가중치를 부여하였다. 이를 통해 도보 이용자뿐만 아니라 휠체어 사용자 등 다양한 환경에 맞춘 경로 산출이 가능하다. 최종적으로 생성된 경로 데이터는 통신 스택을 통해 모바일 앱으로 전달되어 지도 화면에 실시간으로 시각화된다.

IV. 실험 및 결과

4.1 실험 환경 및 데이터셋 구축

본 연구에서 제안하는 지능형 내비게이션 시스템의 성능 검증 및 실증 테스트를 위해, 실제 대학 캠퍼스 환경을 기반으로 정밀한 실험 환경을 구축하였다. 시스템의 핵심 추론 엔진으로는 미들웨어 상에서 구동되는 경량화 대규모 언어 모델인 Qwen 2.5 7B를 채택하여, 로컬 서버 환경에서도 실시간 자연어 처리가 가능하도록 최적화하였다. 이 모델은 로컬 환경에서 낮은 지연 시간과 우수한 한국어 처리 성능을 보장하고 뛰어난 JSON 출력 안정성과 RAG 문맥 이해 능력을 갖추고 있어 시스템의 파싱 오류 및 환각 현상을 억제하는 데 적합하다고 판단하여 채택하였다. 또한, 사용자 단말기와 서버 간의 데이터 동기화는 클라우드 데이터베이스의 실시간 감지 기능을 활용하여, 사용자의 질의와 서버의 연산 결과를 지연 없이 주고받을 수 있는 통신 환경을 조성하였다.

실험을 위한 공간 데이터는 그림 2와 같이 캠퍼스 내 핵심 지점인 5개 주요 건물(글로벌관, 디지털관, 본관, 도서관, 테크노관)을 대상으로 구축되었다. 지식 베이스는 각 건물에 소속된 학과 정보, 교수 연구실 위치, 편의 시설 등 약 50여 개의 핵심 데이터 지점을 계층적 구조로 정의하여 모델의 검색 효율성을 높였다. 또한, 실외 보행 경로 탐색의 정확도를 확보하기 위해 캠퍼스 내 주요 교차로와 건물 출입구를 포함하는 16개의 통과 지점을 노드로 설정하고, 이들 간의 연결성을 정의한 위상 지도를 그래프 구조로 모델링하여 최단 경로 산출을 위한 기반 데이터를 완성하였다.

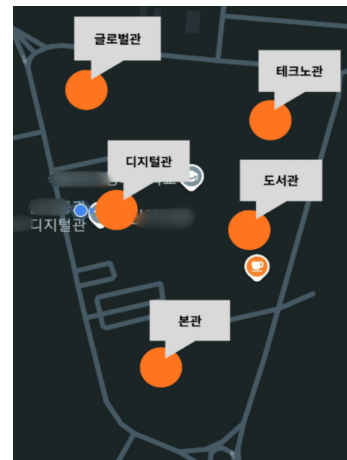


그림 2. 캠퍼스 주요 건물 및 지도 시각화

Fig. 2. Visualization of major campus buildings and map

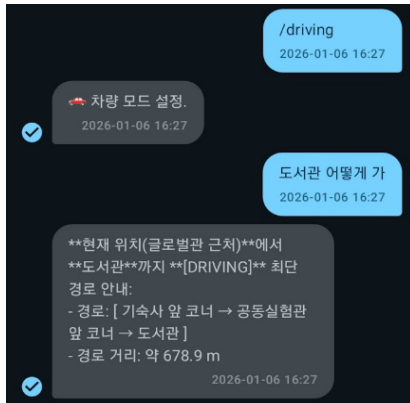
4.2 시나리오 기반 주요 기능 검증

본 연구에서는 구축된 시스템이 사용자의 다양한 요구사항을 충실히 수행하는지 검증하기 위해, 실제 캠퍼스 생활에서 빈번하게 발생하는 시나리오를 선정하여 실험을 진행하였다. 실험 결과, 제안 시스템은 단순한 위치 안내를 넘어 복합적인 의도 파악과 정보 제공을 유기적으로 수행함을 확인하였다.

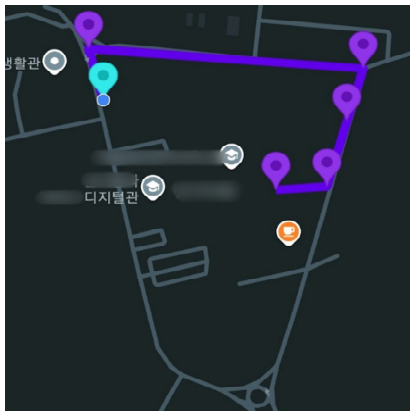
4.2.1 이동 수단별 맞춤형 경로 생성

기존의 단순 최단 거리 알고리즘은 보행자와 차량의 이동 특성을 구분하지 못하는 한계가 있었다.

이를 개선하기 위해 제안 시스템은 사용자의 명시적 명령어 혹은 자연어 문맥을 분석하여 이동 수단을 판별하고, 이에 최적화된 경로를 산출하도록 구현하였다.



(a)



(b)

그림 3. 차량 모드 설정 및 경로 안내 실험 결과

(a) 차량 모드 전환 및 텍스트 경로 안내,

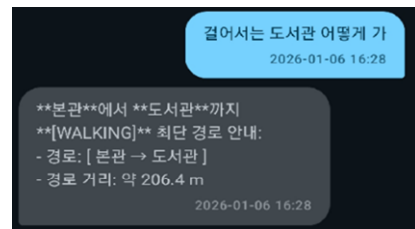
(b) 차량 모드 기반 Live Nav 경로 시각화

Fig. 3. Experimental results of driving mode setting and route guidance (a) Switching to driving mode and text-based route guidance, (b) Live Nav route visualization based on driving mode

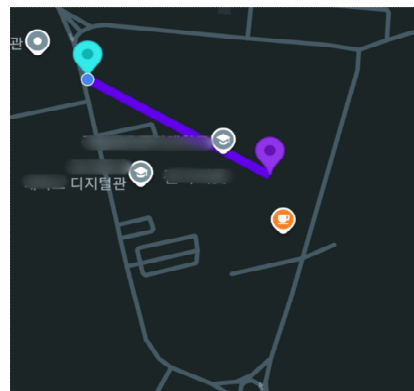
차량 모드 검증 시나리오에서는 사용자가 대화창에 특정 명령어를 입력하여 시스템을 주행 모드로 전환하는 과정을 시험하였다. 그림 3(a)와 같이 모드 전환이 완료되면 시스템은 즉시 피드백 메시지를 반환하여 사용자에게 현재 상태를 인지시킨다. 이후 목적지까지의 경로를 질의하면, 대규모 언어 모델은 설정된 모드를 반영하여 차량 진입이 가능한 도로

망을 기반으로 경로를 탐색하며 주요 경유지를 상세히 안내한다. 그림 3(b)는 해당 경로가 모바일 앱의 실시간 내비게이션 화면에 동기화된 결과로, 보행자 전용 도로를 배제하고 차량 통행이 가능한 주 도로를 따라 경로가 생성되었으며 사용자의 실시간 위치에 맞춰 동적으로 업데이트됨을 확인하였다.

보행 모드인 경우, 별도의 명령어 입력 없이 자연어 문장에 포함된 이동 의도를 파악하는 성능을 검증하였다. 그림 4(a)와 같이 사용자가 이동 수단을 포함하여 질의할 경우, 의도 분류 모듈은 이를 보행 모드로 해석하여 보행자 전용 통로를 포함한 최단 경로를 산출한다. 그림 4(b)에 시각화된 보행 경로는 차량 모드에서는 진입이 불가능했던 건물 사이의 지름길을 포함하여 목적지까지의 최적 동선을 제시한다. 이 시나리오에서 산출된 이동 거리는 약 206.4m로, 차량 모드 대비 단축된 결과를 보였다.



(a)



(b)

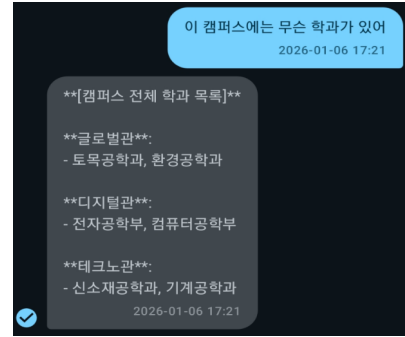
그림 4. 자연어 명령 기반 보행 모드 경로 안내 실험 결과 (a) 자연어 명령 기반 보행 모드 인식 및 텍스트 안내, (b) 보행 모드 기반 Live Nav 경로 시각화

Fig. 4. Experimental results of walking mode route guidance based on natural language commands (a) Walking mode recognition based on natural language commands and text guidance, (b) Live Nav route visualization based on walking mode

4.2.2 정보 검색 및 인물 중심 경로 안내

본 시스템은 단순한 경로 안내뿐 아니라 캠퍼스 내의 다양한 정적 데이터를 사용자의 질의 의도에 맞춰 효율적으로 탐색하는 정보 에이전트 역할을 수행한다. 본 절에서는 지식 베이스의 구조적 정합성을 확인하기 위해 건물 내부의 미시적 정보부터 캠퍼스 전체를 아우르는 거시적 정보까지, 다양한 입도의 질의에 대한 응답 성능을 검증하였다.

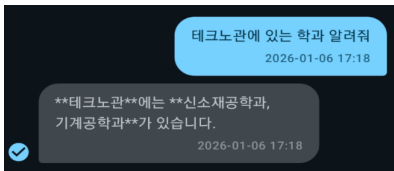
그림 5는 시나리오별 정보 검색 결과를 보여준다. 특정 건물의 내부 정보를 질의한 경우, 시스템은 문장에서 건물명을 정확히 추출하여 해당 건물에 종속된 교수진 목록과 학과 정보를 필터링하여 제공한다. 반면 학과 전체 명단과 같은 포괄적 질의에 대해서는 데이터베이스 전체를 탐색하여 구조화된 리스트를 반환한다. 또한 데이터베이스에 존재하지 않는 정보에 대해서는 검색 결과의 부재를 즉시 감지하여 명시적 부정 응답을 반환함으로써, 대규모 언어 모델이 허위 정보를 생성하는 환각 현상을 원천적으로 차단하고 정보의 무결성을 확보하였다.



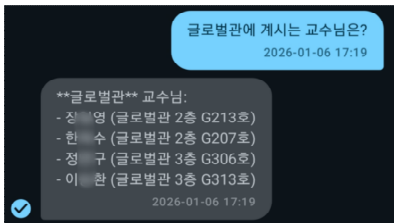
(d)

그림 5. 계층적 캠퍼스 정보 검색 실험 결과
(a) 특정 건물 소속 교수 안내, (b) 특정 건물 소속 학과 안내, (c) 캠퍼스 전체 교수 목록 조회, (d) 캠퍼스 전체 건물/학과 목록 조회

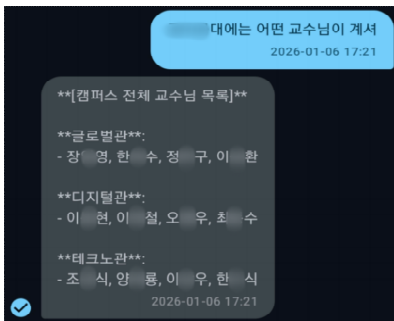
Fig. 5. Experimental results of hierarchical campus information retrieval (a) Guidance on professors in a specific building, (b) Guidance on departments in a specific building, (c) Retrieval of campus-wide professor list, (d) Retrieval of campus-wide building/department list



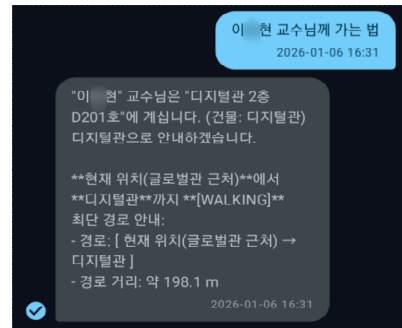
(a)



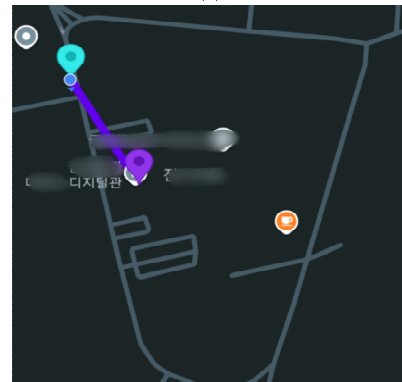
(b)



(c)



(a)



(b)

그림 6. 교수 위치 파악 및 경로 안내 실험 결과
(a) 교수 연구실 상세 정보 텍스트 안내,
(b) 해당 건물까지의 Live Nav 경로 시각화

Fig. 6. Experimental results of professor localization and route guidance. (a) Text guidance for detailed lab information (room/floor), (b) Live Nav route visualization to the corresponding building

사용자가 건물 명칭 대신 특정 인물을 목적지로 설정했을 때, 인물 정보를 공간 좌표로 변환하여 실제 경로 안내까지 수행하는 인물 중심의 내비게이션 성능을 확인하였다. 시스템은 상세 위치 정보는 대화창의 텍스트로, 이동 경로는 지도로 제공하는 이원화된 전략을 채택하여 사용자의 인지 효율성을 극대화한다. 그림 6에 나타난 실험 결과와 같이, 특정 교수의 위치와 이동 의도가 결합된 질의가 입력되면 시스템은 해당 교수가 상주하는 연구실 호수와 층수 정보를 대화 형태로 먼저 안내한다. 이와 동시에 내비게이션 엔진은 해당 연구실이 위치한 건물의 좌표를 목적지 매개변수로 자동 할당하여 경로 탐색을 수행한다. 사용자가 지도 화면으로 전환하면 현 위치에서 해당 건물까지의 최적 경로가 시각화되며, 사용자는 지도상의 거시적 경로와 대화창의 미시적 정보를 상호 보완적으로 활용하여 목적지에 도달할 수 있다.

4.3 기존 시스템과의 정량적 성능 비교

본 시스템의 실효성을 구체적으로 입증하기 위해, 기존 경로 탐색 안내 시스템과의 정량적 성능 비교 평가를 수행하였다. 평가 시나리오는 "특정 교수의 연구실 위치 확인 및 경로 탐색"이라는 캠퍼스 내 빈번한 복합 질의 상황으로 설정하였으며, 10명의 피실험자를 대상으로 소규모 사용성 평가를 진행하여 평균값을 산출하였다. 비교 대상은 1) 기존 방식(학교 홈페이지에서 호실 검색 후 상용 지도 앱에 수동 입력), 2) 본 제안 시스템으로 구성하였다. 평가 지표로는 질의 입력부터 최종 목적지 확인까지 소요된 평균 탐색 소요 시간, 그리고 시스템이 안내하는 최종 목적지의 구체성을 수치화한 공간 정보 안내 심도를 측정하였다. 공간 정보 안내 심도는 1단계(건물 단위 안내), 2단계(층 단위 안내), 3단계(건물, 층, 호실 통합 안내)로 정량화하여 평가하였다. 본 평가에 사용된 표 2의 정량적 지표는 제안 시스템이 기존 정보 탐색 방식이 지닌 다단계 절차의 비효율성을 얼마나 효과적으로 개선했는지 그 우수성을 객관적으로 뒷받침한다.

표 2의 결과에 나타난 바와 같이, 기존 상용 지도 방식은 길 안내 자체는 가능하나 안내 범위가 1

단계(건물 단위 안내)에 그쳐, 세부 호실을 찾기 위해 학교 홈페이지에서 별도의 정보 탐색 과정을 추가로 거쳐야 하므로 평균 1분 32초의 긴 탐색 시간이 소요되었다.

표 2. 기존 방식 및 범용 모델과의 정량적 성능 비교 결과
Table 2. Quantitative performance comparison with existing methods and general models

Evaluation item	Existing method (Web + Commercial map)	Proposed system
Average search time	92 sec	24 sec
Spatial information guidance depth	1 Level (Building)	3 levels (Building + Floor + Room)

반면, 본 제안 시스템은 의도 분류 모듈과 특화된 지식 베이스를 활용하여 내비게이션 엔진을 통한 거시적 건물 안내와 대화창을 통한 미시적 호실 안내를 결합하였다. 이를 통해 공간 정보 안내 심도를 3단계(건물, 층, 호실 통합 안내)까지 확장하였으며, 기존 방식 대비 평균 탐색 소요 시간을 약 73.9% 단축시키는 정량적 성과를 달성하였다. 이는 제안 시스템이 기존 범용 앱이 제공하지 못하는 세밀한 목적지 도달 능력과 탐색 효율성을 입증하는 결과이다.

V. 결 론

본 연구는 대규모 언어 모델의 문맥 인식 능력과 하이브리드 지식 베이스를 결합하여, 기존 지도 서비스의 경직성과 미시적 정보 부재를 해결한 지능형 캠퍼스 내비게이션 시스템을 제안하였다. 측지 기반 알고리즘을 통해 실외 경로의 정밀도를 높였으며, 텍스트와 지도를 병행하는 정보 제공 전략으로 사용자의 인지적 부하를 최소화하고 탐색 효율성을 개선하였다. 실증 실험 결과, 복합적인 자연어 질의와 이동 수단별 맞춤형 경로 안내에서 높은 정확도를 보임으로써 시스템의 실용성을 입증하였다.

이와 더불어, 본 시스템은 향후 대용량의 공간 데이터 셋으로 확장될 경우에도 구조적 확장성을

보장한다는 장점을 지닌다. 본 시스템은 거대 언어 모델이 모든 지식을 내재화하여 추론하는 방식이 아니라, 모델을 의도 분류기로만 활용하고 실제 정보는 분리된 지식 베이스에서 추출하는 RAG 기법을 적용하였다. 이를 통해 데이터 규모가 방대해지더라도 언어 모델이 처리해야 하는 프롬프트의 길이는 유지되므로, 탐색 범위가 확장되더라도 시스템의 응답 지연을 최소화할 수 있다.

향후 연구에서는 실내 측위 기술[11]을 도입하여 실내와 실외의 단절 없는 내비게이션 서비스로 확장하고, 음성 인터페이스 및 실시간 동적 데이터 파이프라인을 구축하여 상황 인지형 서비스로 고도화할 계획이다.

References

- [1] H. Huang, G. Gartner, M. Schmidt, and Y. Li, "Location based services: ongoing evolution and research agenda", *Journal of Location Based Services*, Vol. 12, No. 2, pp. 63-93, Aug. 2018. <https://doi.org/10.1080/17489725.2018.1508763>.
- [2] T. Brown, B. Mann, N. Ryder, M. Subbiah, and J. Kaplan, "Language Models are Few-Shot Learners", *Proc. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, Online, Vol. 33, pp. 1877-1901, Dec. 2020. <https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/hash/1457c0d6bfc4967418bfb8ac142f64a-Abstract.html>.
- [3] P. E. Hart, N. J. Nilsson, and B. Raphael, "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths", *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, Vol. 4, No. 2, pp. 100-107, Jul. 1968. <https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136>.
- [4] F. Zafari, A. Gkelias, and K. K. Leung, "A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 21, No. 3, pp. 2568-2599, Apr. 2019. <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2911558>.
- [5] J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova, "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding", *Proc. Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (NAACL-HLT)*, Minneapolis, Minnesota, pp. 4171-4186, Jun. 2019. <https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423>.
- [6] L. Ouyang, J. Wu, X. Jiang, D. Almeida, and C. Wainwright, "Training language models to follow instructions with human feedback", *Proc. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, New Orleans, LA, USA, Vol. 35, pp. 27730-27744, Dec. 2022. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2022/hash/b1efde53be364a73914f58805a001731-Abstract.html.
- [7] P. Lewis, E. Perez, A. Piktus, F. Petroni, and V. Karpukhin, "Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks", *Proc. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, Online, Vol. 33, pp. 9459-9474, Dec. 2020. <https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/hash/6b493230205f780e1bc26945df7481e5-Abstract.html>.
- [8] Z. Ji, N. Lee, R. Frieske, T. Yu, and D. Su, "Survey of Hallucination in Natural Language Generation", *ACM Computing Surveys*, Vol. 55, No. 12, pp. 1-38, Mar. 2023. <https://doi.org/10.1145/3571730>.
- [9] D. Shah, B. Osiński, B. Ichter, and S. Levine, "LM-Nav: Robotic Navigation with Large Pre-Trained Models of Language, Vision, and Action", *Proc. Conference on Robot Learning (CoRL)*, Atlanta, GA, Vol. 205, pp. 492-504, Jan. 2023. <https://proceedings.mlr.press/v205/shah23b.html>.
- [10] C. F. F. Karney, "Algorithms for geodesics", *Journal of Geodesy*, Vol. 87, No. 1, pp. 43-55, Jan. 2013. <https://doi.org/10.1007/s00190-012-0578-z>.
- [11] R. Harle, "A Survey of Indoor Inertial Positioning Systems for Pedestrians", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 15, No. 3, pp. 1281-1293, Aug. 2013. <https://doi.org/10.1109/SURV.2012.121912.00075>.

저자소개

김 현 수 (Hyeon-Su Kim)



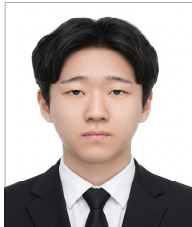
2026년 2월 : 국립금오공과대학교
전자공학부(공학사)
관심분야 : GNSS, 정밀 측위

장 명 근 (Myeong-Guen Jang)



2026년 2월 : 국립금오공과대학교
전자공학부(공학사)
관심분야 : 애플리케이션개발,
모바일 IoT

홍 성 용 (Seong-Yong Hong)



2026년 2월 : 국립금오공과대학교
전자공학부(공학사)
관심분야 : 딥러닝, 영상 처리,
패턴 인식

한 승 원 (Seung-Won Han)



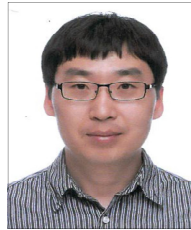
2020년 3월 ~ 현재 :
국립금오공과대학교 전자공학부
전자시스템전공 학사과정
관심분야 : 모바일 로봇틱스,
자율주행

김 현 민 (Hyeon-Min Kim)



2026년 2월 : 국립금오공과대학교
전자공학부(공학사)
관심분야 : AMR, 딥러닝

이 동 현 (Dong-Hyun Lee)



2007년 2월 : 경북대학교
전자전기컴퓨터학부(공학사)
2009년 1월 : KAIST
전자전산학부(석사)
2015년 2월 : KAIST
전기및전자공학과(박사)

2016년 9월 ~ 현재 :

국립금오공과대학교 전자공학부 및 IT융복합공학과
교수

관심분야 : 모바일 로봇, 인공지능