Ontology-based customized art curation system

Team 4 : 박건우, 박지현, 서동석, 황재훈

2025/12/10

Pohang University of Science and Technology (POSTECH)

POSTECH
POHANG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Table of Contents

- 프로젝트 개요
- 시스템 아키텍처
- 데이터 엔지니어링 구현
- 핵심 추론 엔진
- 서비스 시연 및 결과
- 결론 및 향후과제

프로젝트 개요

- **문제 정의**
  - 획일적인 관람 경험
    - 대표 소장품 Top 10과 같은 정형화된 추천은 개인의 관심사나 그날의 감성을 반영하지 못함
  - 의미 연결의 부재
    - 특정 주제나 스토리에 관심이 있어도, 그와 관련된 작품들이 어느 전시관에 흩어져 있는지 파악하고 연결하기 어려움
  - 정보 과부화
    - 방대한 소장품 앞에서 관람객이 관심 있는 주제를 선정하기 어려움



프로젝트 개요

- **해결 방안**
  - 사용자가 입력한 자유 텍스트(감상평, 특정 키워드 등)에 담긴 의미와 맥락을 분석하여 박물관의 소장품들을 하나의 스토리텔링 코스로 엮어주는 지능형 큐레이션 시스템을 제안
    - 이를 통해 관람객에게 개인적이고 몰입감 높은 예술 감상 경험을 제공

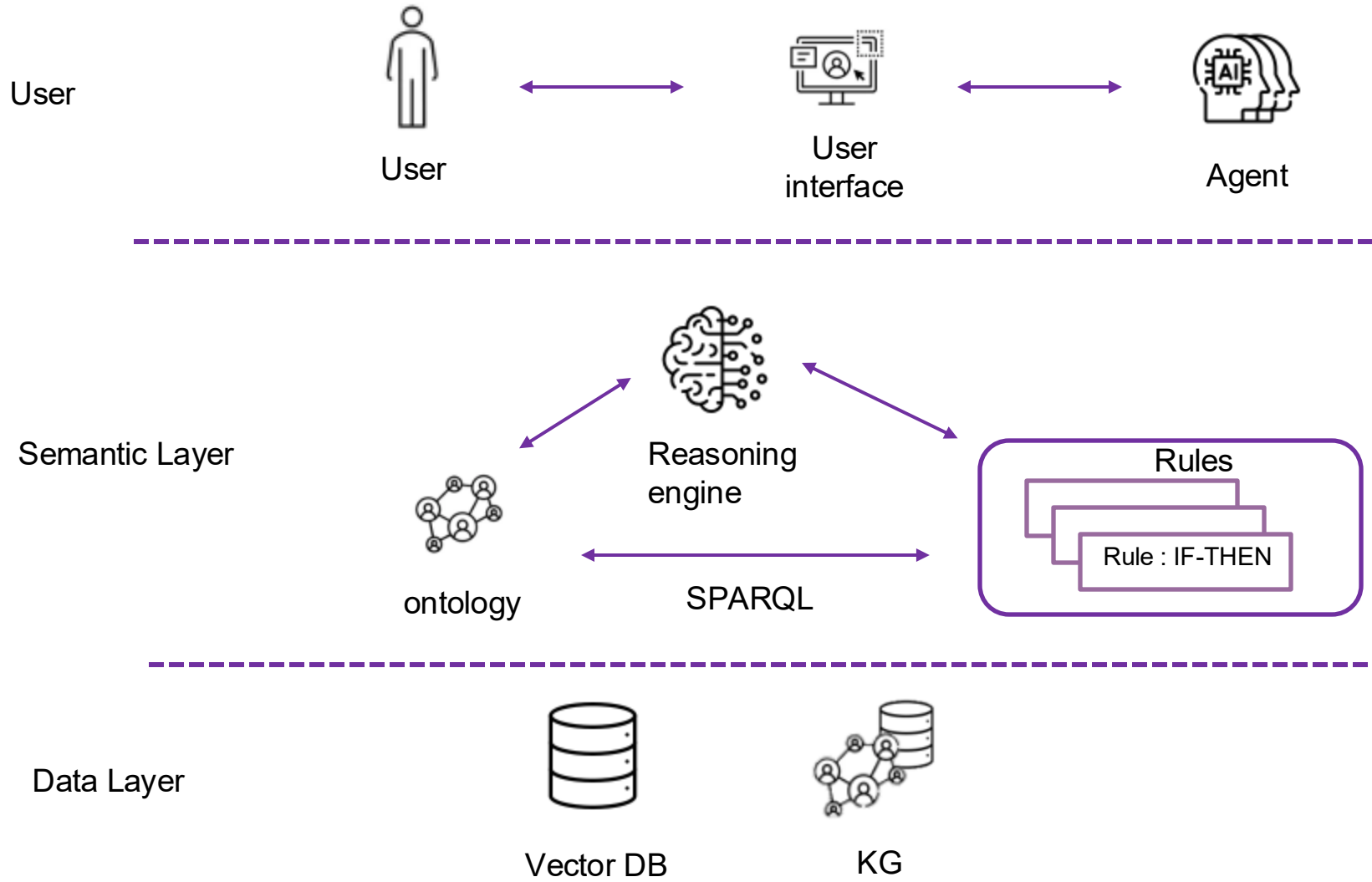
⬇

*" LLM이 작품을 단순한 데이터가 아닌 "맥락적 지식 단위"로 이해하여 사용자 감성·의도에 부합하는 **개인 맞춤형 예술 큐레이션**을 수행 "*

- **서비스 개념**
  - 텍스트 입력만으로, 나만의 감성에 맞는 전시 코스를 자동 생성하는 지능형 큐레이터
  - **입력**: 사용자가 입력한 문장
  - **내부 처리**:
    - LLM이 문장에서 감정·스타일·사조 의도를 추출
    - 온톨로지 기반 SPARQL로 의미 검색
    - 벡터 검색으로 유사 작품 탐색
    - 결과 융합 및 경로 탐색
  - **출력**: 맞춤형 관람 코스 제안 + 각 작품의 '추천 이유' 설명 생성 (RAG 기반)

시스템 아키텍처

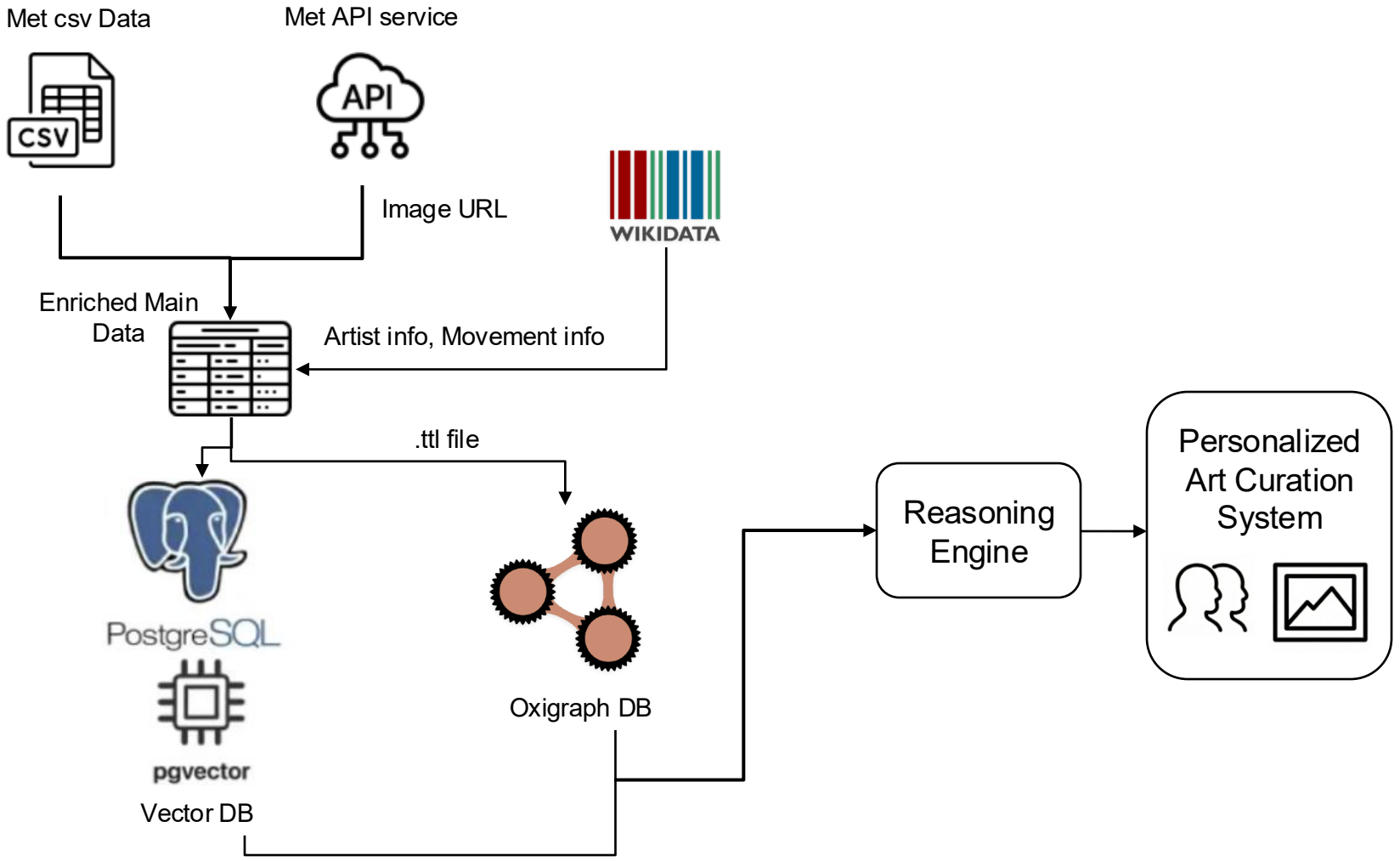
- **전체 시스템 프레임워크**
  - 온톨로지 기반 Graph RAG 검색 시스템 구현 : RAG X 온톨로지



시스템 아키텍처

- **파이프라인**

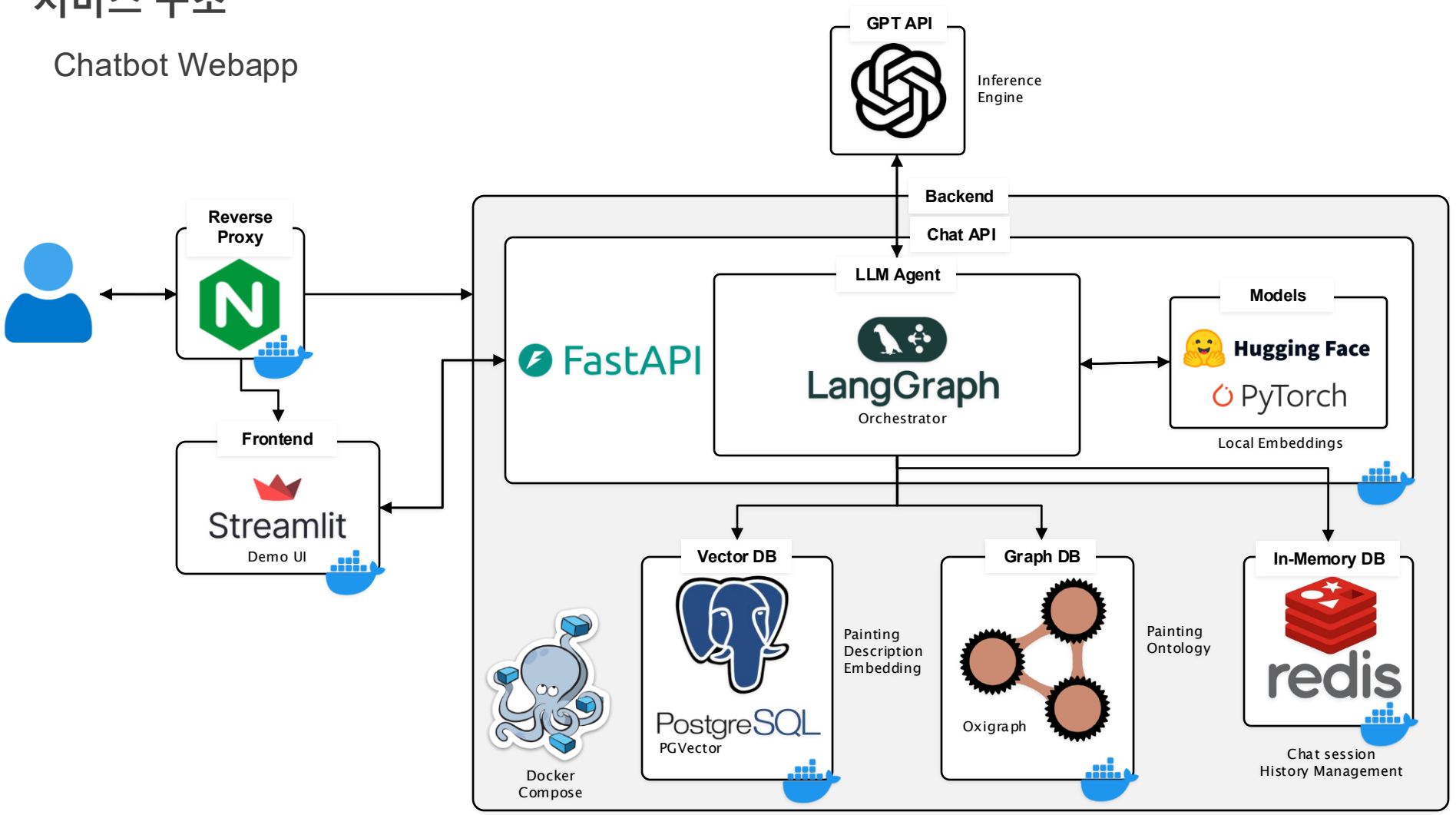
Hybrid RAG Pipeline



시스템 아키텍처

- 서비스 구조

Chatbot Webapp



시스템 아키텍처

- **데이터 정의서**
  - 핵심 데이터 (The MET CSV)
    - Github의 MetObjects.csv 파일을 통해 약 50만 점의 작품 메타데이터를 초기 대량 수집하여 프로젝트의 기본 데이터 베이스 구축
    - https://github.com/metmuseum/openaccess
  - 실시간/상세 데이터
    - Collection API를 활용하여 CSV 데이터에 누락된 상세정보 보강하고 사용자 요청시 최신 데이터를 실시간으로 조회하여 정보의 정확성과 현행성 확보
  - 외부 컨텍스트 데이터 (Wikidata)
    - Wikidata의 SPARQL 엔드포인트를 통해 작가의 사제관계, 사조의 영향 등 The MET 데이터만으로는 알 수 없는 배경지식 수집하여 데이터의 관계성 확장
  - 공간 데이터 (Museum Floor Plan)
    - The MET 공식 웹사이트에서 제공하는 박물관 평면도를 수집하여 전시실 간의 물리적 연결관계를 추출하기 위한 원천 데이터로 사용

데이터 엔지니어링 구현

- **온톨로지 스키마 설계**
  - 목적 : 작품, 작가, 사조, 매체 간 의미 기반 탐색을 위한 지식 구조화
    - 박물관 데이터를 단순 메타데이터가 아닌 의미적 관계망(knowledge graph)으로 재구성 함
    - LLM 기반 에이전트가 작품 간의 맥락을 **이해하며** 추천할 수 있도록 설계한 스키마
  - Ontology 객체 구조



- **Artwork (작품)**
  - Object ID
  - Gallery Number
  - Title
  - Accession Year
  - Department
  - Culture
  - Classification
  - Image URL

- **Artist (작가)**
  - artist_label
  - artist_desc
  - Birth_date
  - Death_date
  - Country_of_citizenship
  - occupation
  - birth_place
  - Death_place



- **Movement (사조)**
  - Movement (ex: Impressionism, Baroque)
- **Medium (재료·기법 정보)**
  - Mediumf
  - Tags



데이터 엔지니어링 구현

- **온톨로지 스키마 설계**
  - 주요 관계 (Relations) 정의

관계	Subject	Object	의미
createdBy	Artwork	Artist	작품의 제작자
hasMovement	Artwork	Movement	작품이 속한 예술 사조
associatedMovement	Artist	Movement	작가의 활동, 연관 사조
hasMedium	Artwork	Medium	작품의 재료, 기법 정보

  - 스키마 설계 결과
    - 지능형 큐레이션을 위한 그래프 기반 구조 확보
    - 작품-작가-사조-재료 간의 다중의미 연결망 구축

데이터 엔지니어링 구현

- ## 데이터 전처리 및 임베딩

1. 작품 id 목록 수집 (Metropolitan Museum 공식 API)

https://collectionapi.metmuseum.org/public/collection/v1/search

2. 각 작품 id 별 세부 데이터 수집

https://collectionapi.metmuseum.org/public/collection/v1/objects/{object_id}

objectID	isHighlight	accessionNumber	accessionYear	primaryImage	department	title
437881	TRUE	89.15.21	1889	https://images.metmuseum.org/CRDImages/ep/original/DP353257.jpg	European Paintings	Young Woman with a Water Pitcher

artistDisplayName	artistDisplayBio	artistNationality	artistBeginDate	artistEndDate	artistWikidata_URL	objectBeginDate	objectEndDate	medium	dimensions
Johannes Vermeer	Dutch, Delft 1632–1675 Delft	Dutch	1632	1675	https://www.wikidata.org/wiki/Q41264	1657	1667	Oil on canvas	18 x 16 in. (45.7 x 40.6 cm)

creditLine	classification	repository	objectURL	objectWikidata_URL	GalleryNumber
Marquand Collection, Gift of Henry G. Marquand, 1889	Paintings	Metropolitan Museum of Art, New York, NY	https://www.metmuseum.org/art/collection/search/437881	https://www.wikidata.org/wiki/Q386453	614

3. 작품 이미지 다운로드



Id: 437881
Young Woman with a Water Pitcher
(Johannes Vermeer, 1667)

4. GPT API를 이용한 작품 이미지 description 생성

그림을 가능한한 풍부하게 묘사해줘.

ChatGPT

이 그림은 조용하고 절제된 빛의 세계 속에 한 여인이 서 있는 모습을 담고 있다. 그녀는 창문을 열며 부드럽게 들어오는 아침 햇살을 맞고 있고, 그 빛은 흰색 머릿수건과 파란색 치마, 그리고 검은색과 흰색이 교차된 상의의 주름마다 섬세하게 스며들어 있다.
손에는 금빛 주전자가 들려 있으며, 붉은색과 청색이 어우러진 자수가 놓인 두꺼운 양탄자 위에는 은빛 접시와 유리잔, 그리고 장식 상자가 놓여 있다.

CLIP

Clip-model embedding

5. 작품 이미지는 Clip, description은 Sbert 를 이용하여 임베딩

SBERT.net

Id: 437881 | image_embedding: [0.09 , …, 0.08] | text_embedding: [0.0045 ,… ,0.235]

pgvector

데이터 엔지니어링 구현

- **데이터 전처리 및 임베딩**
  - Ontology 기반 KG 구축

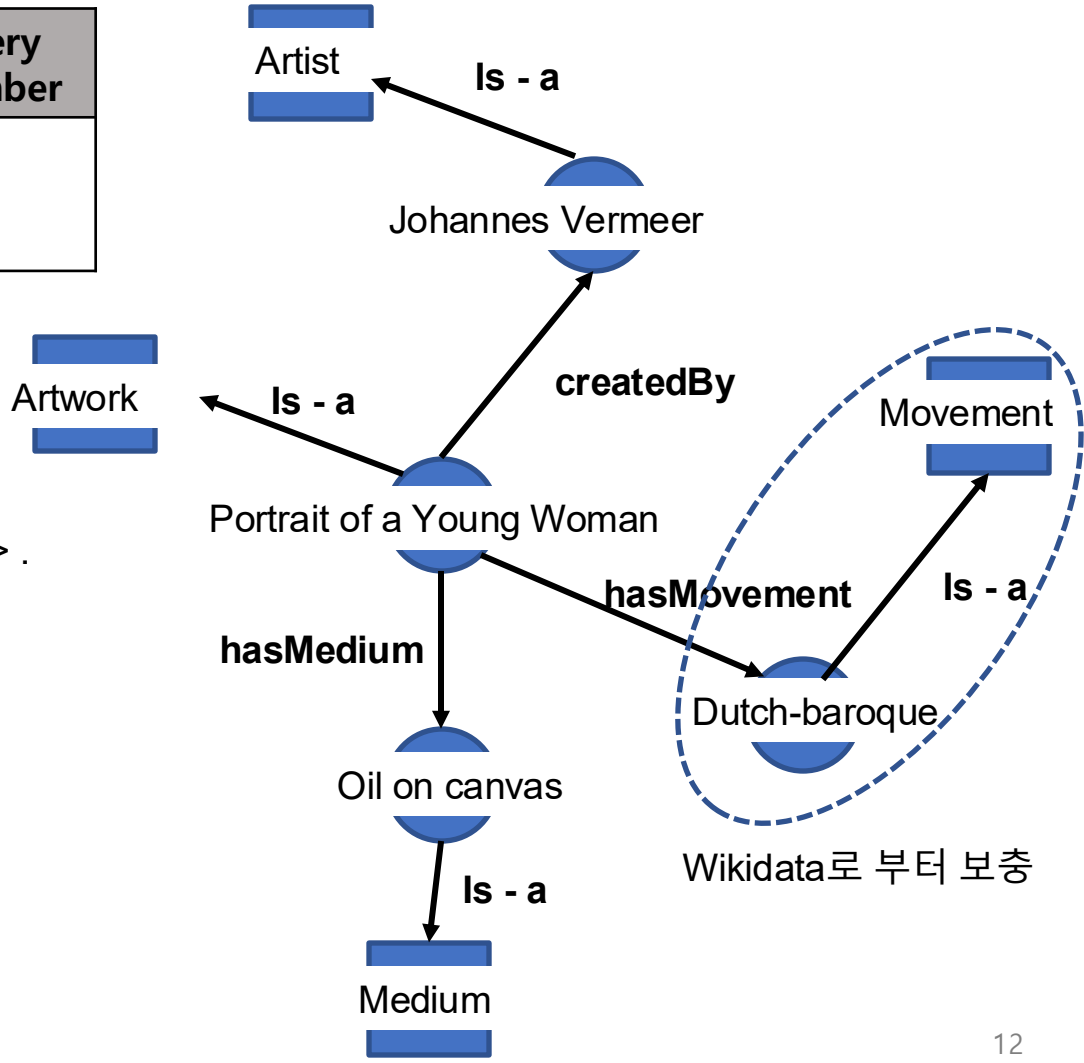
Source Data

Artwork id	Title	Artist	Gallery Number
10247	Portrait of a Young Woman	Johannes Vermeer	618

Triple

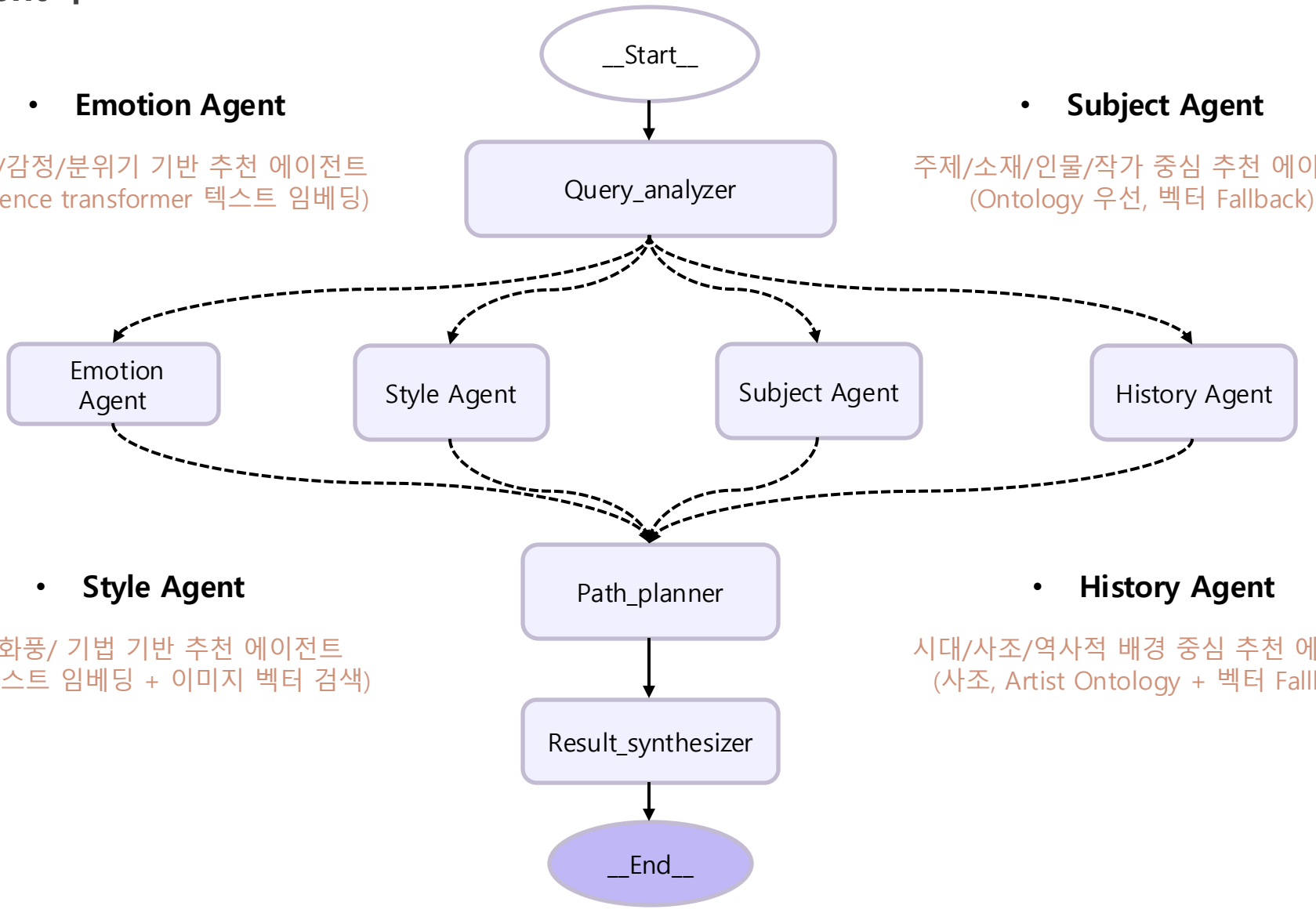
```
@prefix ex: <https://example.org/museum/> .
@prefix dct: <http://purl.org/dc/terms/> .
@prefix schema: <http://schema.org/> .
@prefix xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> .

ex:artwork/10247 a ex:Artwork ;
  dct:title " Portrait of a Young Woman"@en ;
  schema:creator ex:artist/ Johannes Vermeer ;
  ex:belongsTo ex:movement/movement-unknown ;
  ex:locatedIn ex:room/618.
```



핵심 추론 엔진

- **Agent 구조**



- **Emotion Agent**

기분/감정/분위기 기반 추천 에이전트
(sentence transformer 텍스트 임베딩)

- **Subject Agent**

주제/소재/인물/작가 중심 추천 에이전트
(Ontology 우선, 벡터 Fallback)

- **Style Agent**

색채/화풍/ 기법 기반 추천 에이전트
(CLIP 텍스트 임베딩 + 이미지 벡터 검색)

- **History Agent**

시대/사조/역사적 배경 중심 추천 에이전트
(사조, Artist Ontology + 벡터 Fallback)

핵심 추론 엔진

- **RAG 기반 설명 생성 프로세스**
  - 렘브란트처럼 **빛과 어둠을 극적으로 사용한** 다른 바로크 화가

Style Agent

PostgreSQL

pgvector


```
{
  "id": "437532",
  "title": "Rubens, Helena Fourment (1614-1673), and Their
      Son Frans (1633-1678)",
  "artist": "Peter Paul Rubens",
  "location": "626"
},

{
  "id": "437531",
  "title": "Portrait of a Woman, Probably Susanna Lunden
      (Susanna Fourment, 1599-1628)",
  "artist": "Peter Paul Rubens",
  "location": "617"
},

{
  "id": "437919",
  "title": "Two Tritons at the Feast of Acheloüs",
  "artist": "Cornelis de Vos|Frans Snyders",
  "location": "603"
}
 ...
```








→ img_clip_vec 기반 유사한 image list up

핵심 추론 엔진

- **쿼리 처리 및 오케스트레이션**

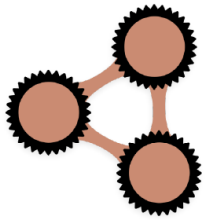
① 바로크 시대에 르네상스 스타일을 모방한 작품 —*Translation*→ ② a work that mimics the **Renaissance style** of the **Baroque period**

③ Query_analyzer

history

④ History Agent

⑤



Medium == Renaissance Artwork
Medium == Baroque Artwork


```
{
        "id": "437532",
        "title": "Rubens, Helena Fourment (1614-1673), and Their Son Frans (1633-1678)",
        "artist": "Peter Paul Rubens",
        "location": "626"
      },
      {
        "id": "437531",
        "title": "Portrait of a Woman, Probably Susanna Lunden (Susanna Fourment, 1599-1628)",
        "artist": "Peter Paul Rubens",
        "location": "617"
      },
      {
        "id": "437919",
        "title": "Two Tritons at the Feast of Acheloüs",
        "artist": "Cornelis de Vos|Frans Snyders",
        "location": "603"
      }
```


⑥ *Shortest path* → Path_planner

⑦ Result_synthesizer

답변생성

안녕하세요, 미술관에 오신 것을 환영합니다. ***바로크 시대에 르네상스 스타일을 모방한 작품을 찾고*** 계시군요. 몇 가지 추천 작품을 소개해드리겠습니다.

첫 번째로 추천하는 작품은 ***피터 폴 루벤스의 "Helena Fourment와 그들의 아들 Frans"***입니다. 이 작품은 ***626호에 전시***되어 있으며,
플랑드르 바로크 회화의 대표적인 예시입니다. 루벤스의 작품은 ***그의 독특한 스타일과 함께 르네상스의 영향***을 잘 보여줍니다. 다음으로, 617호에 전시된 ...

이 작품들을 감상하시려면 ***다음과 같은 경로로 이동하시면 효율적입니다***. 100호에서 시작하여 603호로 이동한 후, 626호로...

서비스 시연 및 결과

- **주요 기능 데모 시나리오**
  - 질의 시나리오
    - History – 역사/시대/관계
      - ✓ 특정 시대, 사조, 작가 간의 관계 등 맥락적, 관계적 정보를 기반으로 질의
    - Style – 색채/화풍
      - ✓ 특정 색감, 붓 터치, 구도 등 시각적 요소나 기법을 기준으로 질의
    - Subject – 주제/소재
      - ✓ 신화, 인물, 풍경, 정물 등 특정 주제나 소재를 다루는 작품을 탐색
    - Emotion – 감성/분위기
      - ✓ 작품 내 특정 분위기를 표현한 작품 탐색
  - 질의 난이도
    - Level 1 – 초급: 미술사에 대한 기초 배경이 없으며 단순 감상에 의한 질의 수준
    - Level 2 – 중급: 깊은 미술사 지식이 있는 것은 아니지만 연관 단어 관련 질의 수준
    - Level 3 – 고급: 관람객이 쌓아온 미술사 지식과 미술품 관련 정보를 융합해 질의할 수 있는 수준

서비스 시연 및 결과

- **시나리오 1: History**
  - 역사 / 시대 / 관계

Level	질의	분석
Level 1	**Q: "오래된 작품들을 추천해줘"**	'오래된'이라는 키워드를 통해 현대 작품이 아닌 고대의 유물을 정확하게 상위에 랭크시킴.
Level 2	**Q: " 바로크 시대의 미술"**	'바로크' 등 핵심 시대적 배경을 완벽히 이해하고 해당 사조를 역사적 맥락으로 인식하여 관련 작품들을 추천함.
Level 3	**Q: " 레오나르도 다빈치 스승의 작품을 추천해줘"**	단순 작품 검색을 넘어, 모델이 보유한 미술사적 지식을 활용하여 정확한 사실 기반으로 답변을 제공함. ** 지식을 바탕으로 질의에 대한 키워드를 추출하고 이에 해당되는 데이터셋에 없을 경우 의미적으로 가까운 작품을 추천*

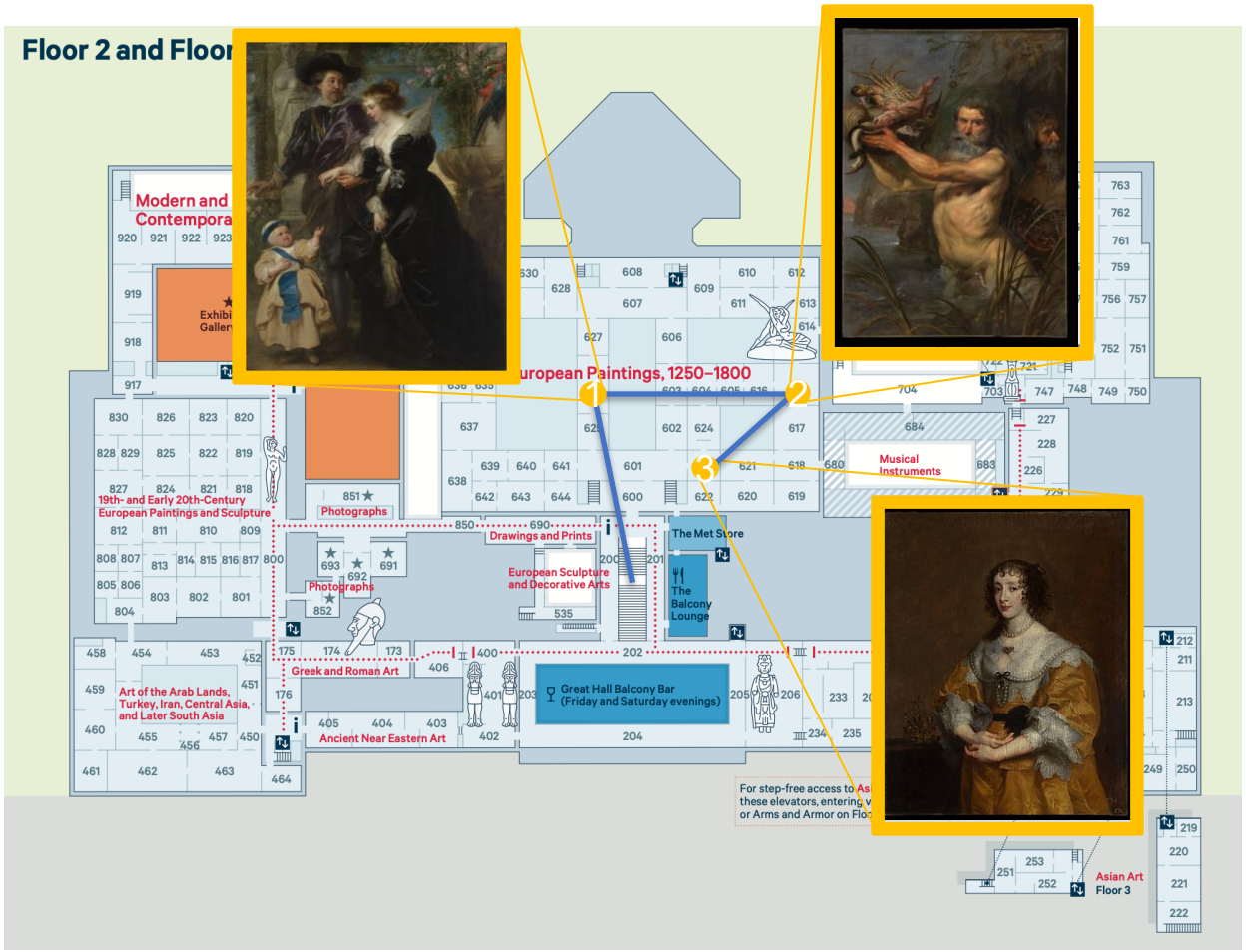
  - **Entity 인식 및 외부 지식 활용 능력**
    - ✓ 쿼리 내에서 시대(19세기), 사조(인상파), 인물(다빈치) 등 핵심 엔티티를 정확히 추출해 냄
    - ✓ 특히 검색된 작품 메타데이터 뿐만 아니라 RAG(지식 기반 검색)를 통해 **고차원적인 미술사 지식까지 커버**

```
============================================================
AI Response:
============================================================
레오나르도 다빈치의 스승에 대한 작품을 찾으시는군요. 다빈치의 스승으로 잘 알려진 인물은 안드레아 델 베로키오입니다. 하지만 현재 전시 중인 작품 중에는 베로키오의 작품이 포함되어 있지 않은 것 같습니다. 대신, 다른 유명한 예술가의 작품을 추천드리겠습니다.

먼저, 에드가 드가의 작품을 소개해드리겠습니다. 드가는 인상주의 화가로, 그의 작품은 주로 무용수와 일상적인 장면을 담고 있습니다.
```

서비스 시연 및 결과

- **시나리오 1: History**
  - 역사 / 시대 / 관계
    - **바로크 시대의 미술 작품을 추천해줘**



서비스 시연 및 결과

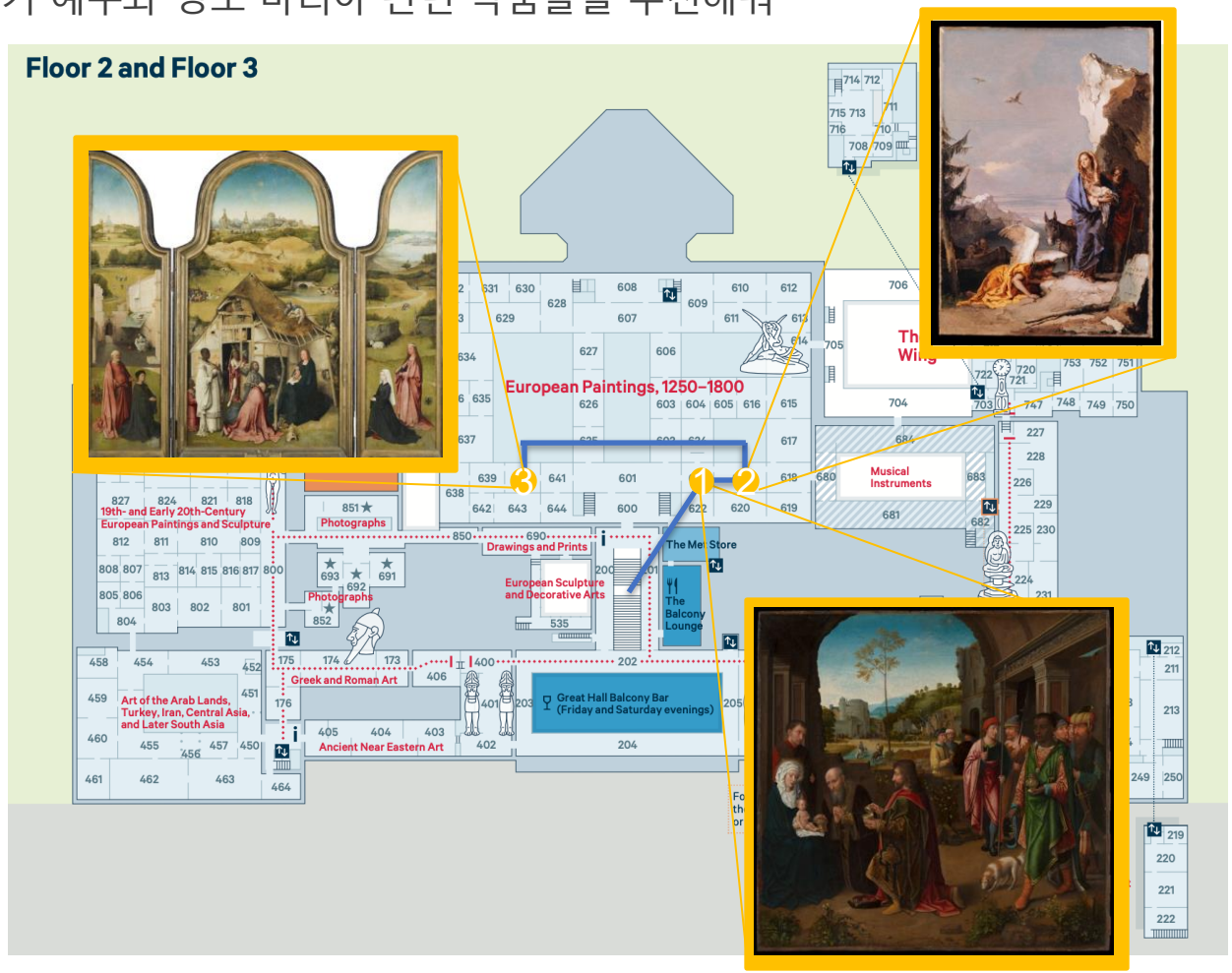
- **시나리오 2: Subject**
  - 주제 / 소재

Level	질의	분석
Level 1	**Q: "해바라기 그림 알려줘"**	'해바라기'라는 명확한 소재명이 제목에 포함되어 있어 모네의 작품을 정확히 찾음
Level 2	**Q: " 화가의 자화상 작품들 추천해줘"**	'자화상 ' 장르명이 메타데이터에 명확히 태깅되어 있어 여러 작가의 자화상을 제대로 탐색함
Level 3	**Q: "비너스가 나오는 신화 그림들을 알려줘"**	신화 속 인물인 '비너스'의 이름이 제목, 태그에 포함되어 있어 온톨로지 검색이 정확히 작동

- **명확한 고유명사와 구체적인 사물 키워드**
  - ✓ 해바라기', '자화상', '비너스'와 같이 명확한 고유명사나 구체적인 사물 키워드를 포함하고 있어 검색 의도가 매우 뚜렷
  - ✓ 따라서 온톨로지 기반 검색 에이전트가 데이터베이스 내의 작품 제목 및 주제 필드에서 정확한 텍스트 매칭을 통해 오차 없이 정답을 찾아낼 수 있음

서비스 시연 및 결과

- **시나리오 2: Subject**
  - 주제 / 소재
    - 아기 예수와 성모 마리아 관련 작품들을 추천해줘



서비스 시연 및 결과

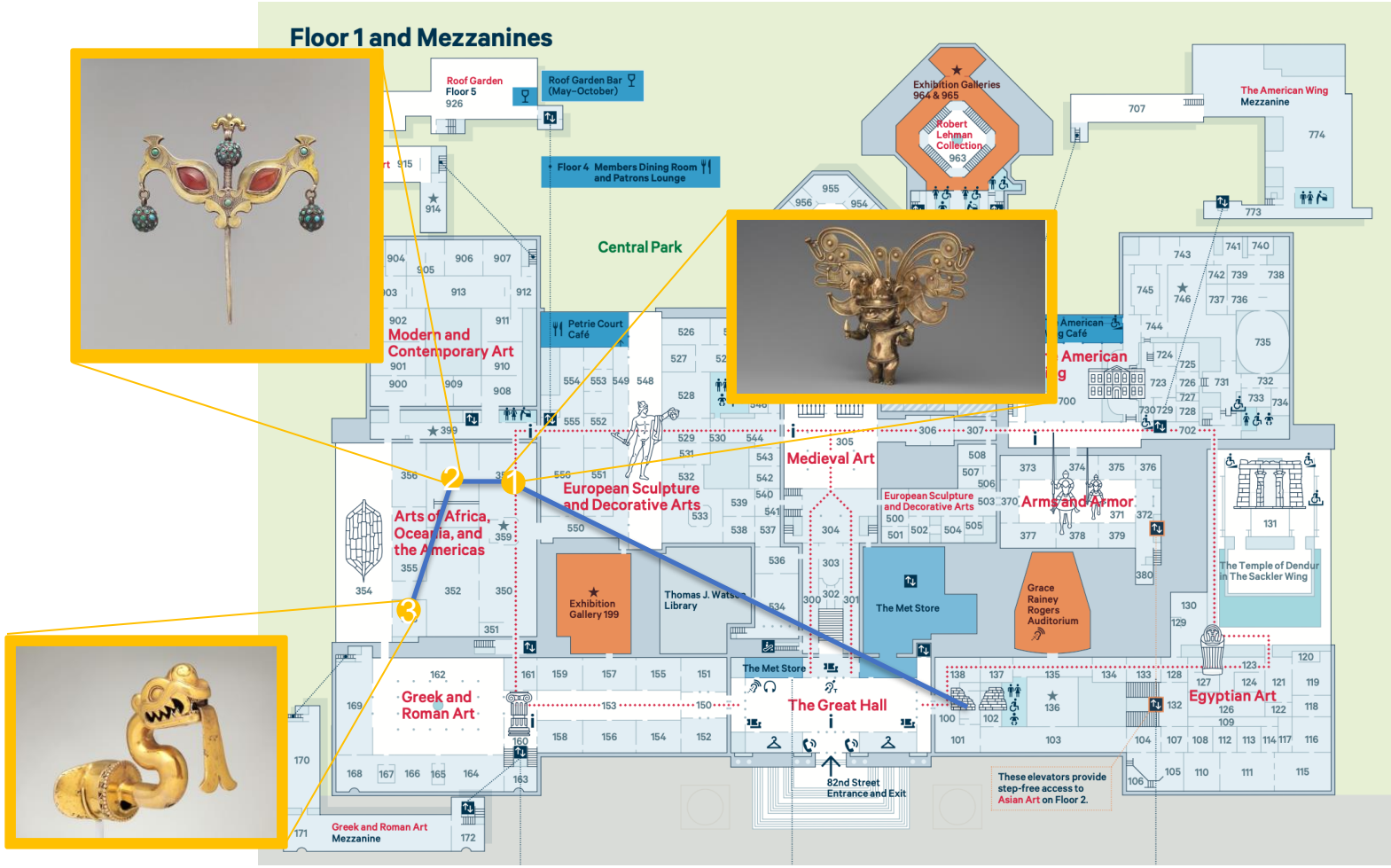
- **시나리오 3: Style**
  - 색채 / 화풍

Level	질의	분석
Level 1	**Q: "푸른빛 작품들을 알려줘"**	파란색이라는 시각적 특징을 벡터로 변환하여 푸른 바지가 돋보이는 마네의 ***The Spanish Singer***나 푸른 바다를 묘사한 쿠르베의 ***The Woman in the Waves*** 등을 이미지 유사도로 찾아냄
Level 2	**Q: "황금색으로 장식된 작품들을 알려줘"**	'Gold'라는 단어가 제목에 없어도 Gilt Bronze(금도금 청동)나 **Gold Leaf(금박)** 속성을 가진 작품들을 시각적 유사도로 찾아내는 데 성공
Level 3	**Q: " 유화로 된 작품들을 추천해줘"**	데이터셋의 대다수 명화가 유화 속성을 가지고 있어, 대표적인 걸작들이 자연스럽게 검색됨

- **시각적 특성과 예술적 양식의 결합**
  - ✓ 시각적 특징이나 물리적 속성을 나타내는 키워드가 구체적이고 명확
  - ✓ 따라서 스타일 검색 에이전트가 작품의 이미지 기반 설명(재질, 기법)이나 시각적 임베딩 정보에서 해당 특징을 정확하게 식별하고 매칭할 수 있어 성공률이 높음

서비스 시연 및 결과

- **시나리오 3: Style**
  - 색채 / 화풍
    - 황금색으로 장식된 작품들을 알려줘



서비스 시연 및 결과

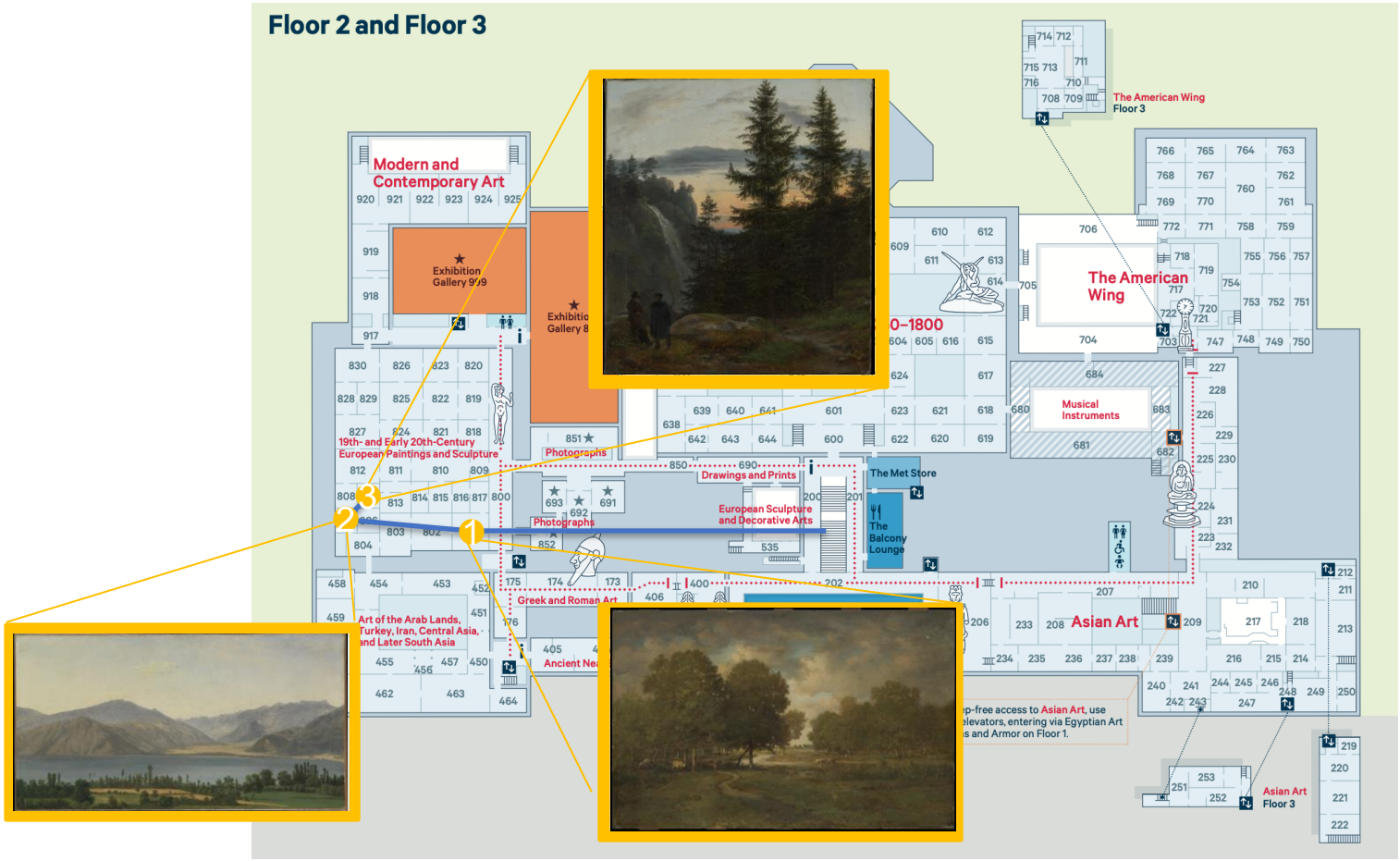
- **시나리오 4: Emotion**
  - 감성 / 분위기

Level	질의	분석
Level 1	**Q: "무서운 분위기의 작품 추천해줘"**	작품 설명에 *"죽음", "지옥", "어두운", "살해"* 같은 단어가 포함된 경우, 텍스트 임베딩이 이를 '무서움'과 의미적으로 연결하여 찾아냄
Level 2	**Q: " 행복한 분위기를 느낄 수 있는 밝은 표정의 작품"**	인물의 구체적인 표정 묘사 대신 객관적 사실 위주로 기록되어 있어, 텍스트 내에 ' 밝은 표정'이라는 정보 자체가 부재하기에 검색 알고리즘이 참조할 근거가 없어 실패
Level 3	**Q: " 마음이 차분해지는 고요하고 평화로운 그림"**	임베딩 모델은 '평화로움'이라는 추상적 감정을 '강', '숲' 등 자연물과 의미적으로 유사한 공간에 배치하도록 학습 됐기에 작품 설명에 풍경 묘사가 포함되어 있으면 검색에 성공

  - **성공** 요인: 텍스트 간의 의미적 교집합
    - ✓ 평화와 고요/호수, 무서움과 죽음/지옥과 같이 언어적으로 유사한 맥락을 공유하므로 벡터 거리가 가까워 검색에 성공할 수 있었음
  - **실패** 요인: 인지 불가
    - ✓ 실제 그림 속 인물이 특정한 표정을 짓고 있더라도 이미지 임베딩 과정에서 LLM이 해당 의미의 벡터를 뽑아내지 못하였기 때문에 작품 설명과의 연결이 어려워 추천에 실패

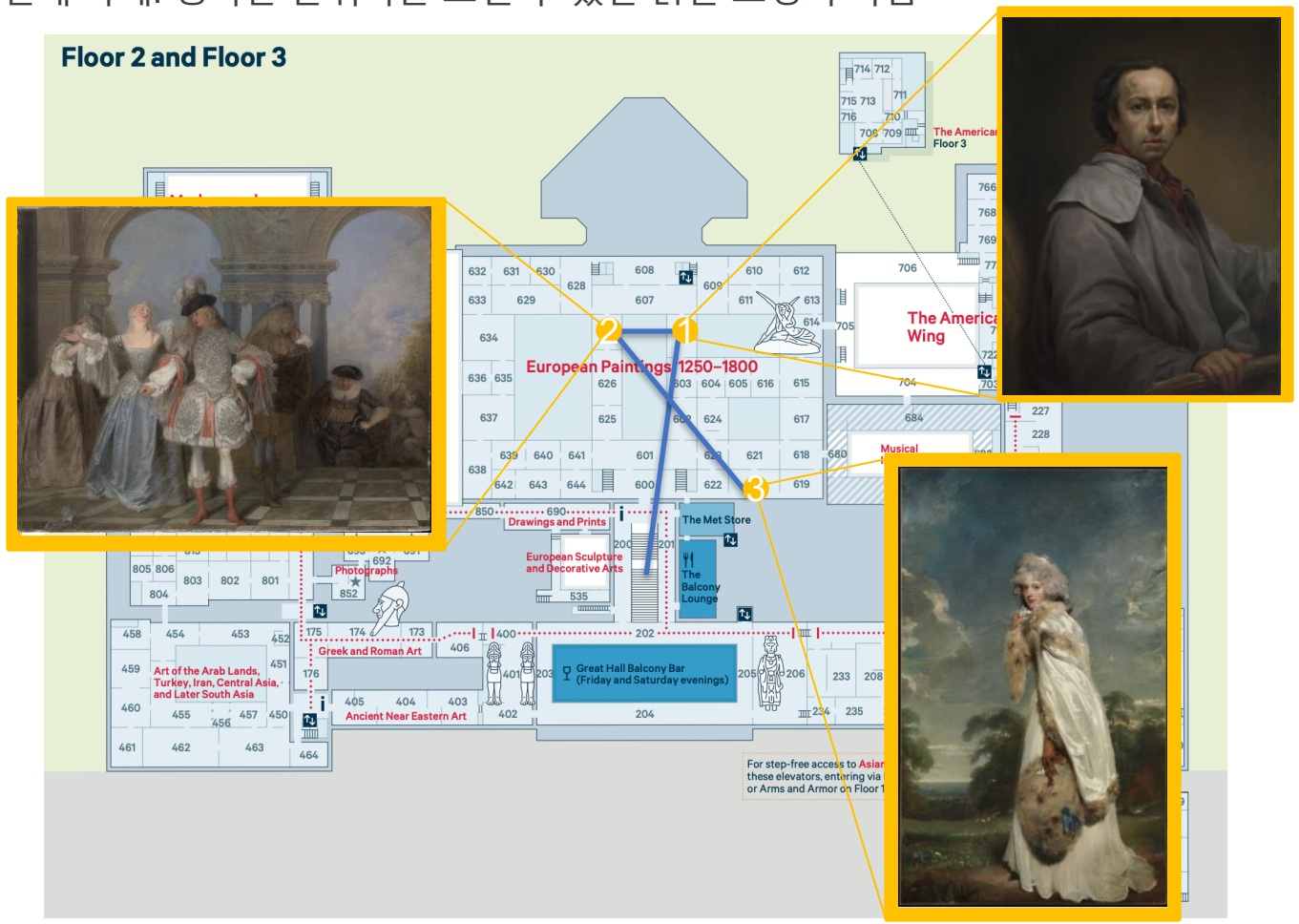
서비스 시연 및 결과

- **시나리오 4: Emotion**
  - 감성 / 분위기
    - 성공 사례: 마음을 진정시키는 차분하고 평화로운 풍경



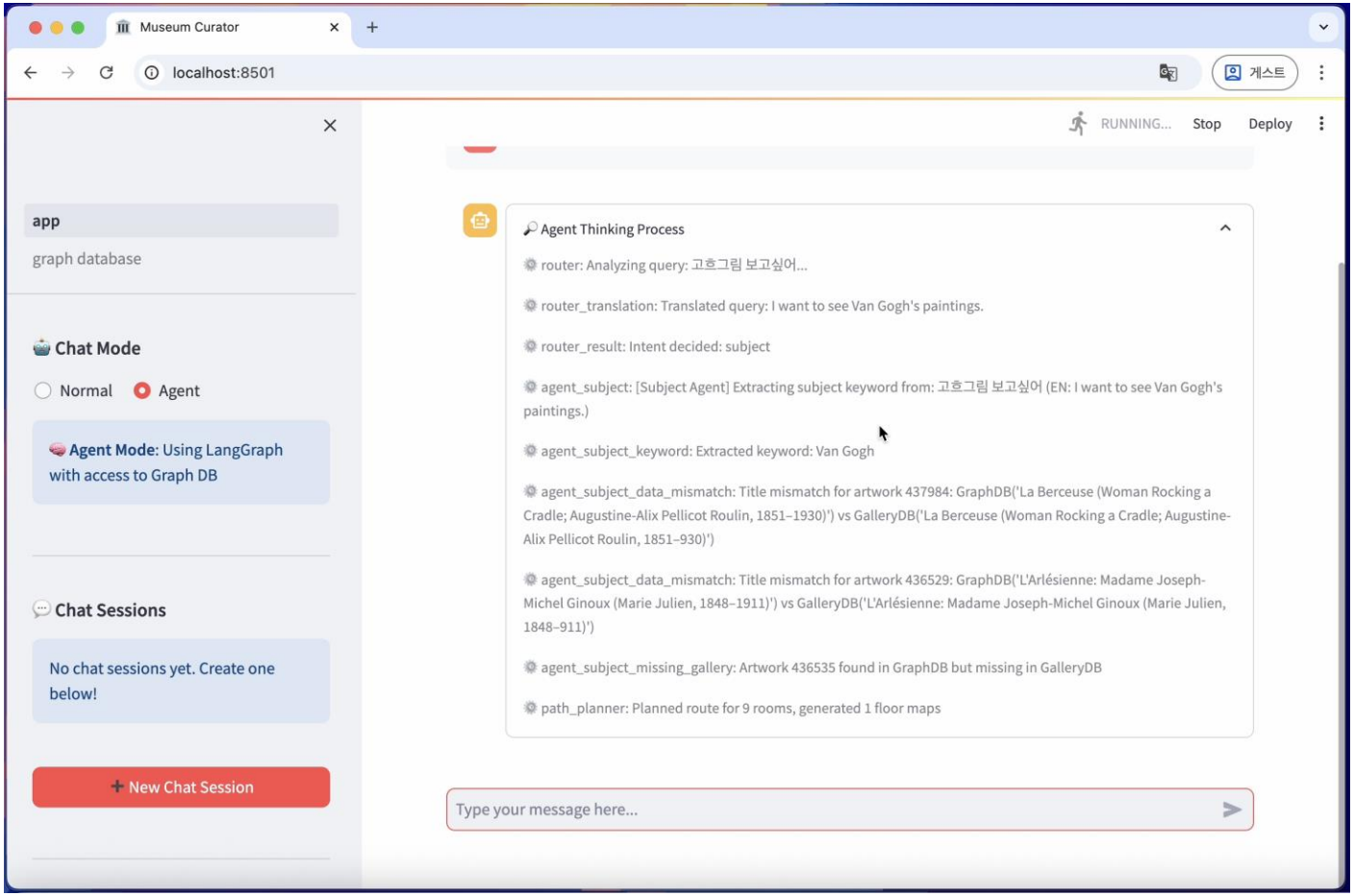
서비스 시연 및 결과

- **시나리오 4: Emotion**
  - 감성 / 분위기
    - 실패 사례: 행복한 분위기를 느낄 수 있는 밝은 표정의 작품



서비스 시연 및 결과

- **구현 결과 화면 및 성능**
  - https://drive.google.com/file/d/1aazBckil8GprlwfpkjzVPG2zbIPnXJkR/view?usp=sharing



결론 및 향후 과제

- **프로젝트 요약 및 기술적 성과**
  - 프로젝트 목표
    - 자연어 입력 → 맞춤형 작품 추천 + 최적 관람 동선 안내
    - 온톨로지 기반 Graph RAG 시스템으로 개인화된 예술 큐레이션 실현
  - 핵심 기술 구현

구현 요소	기술 스택	성과
멀티모달 검색	SBERT + CLIP + SPARQL	텍스트, 이미지, 지식 그래프 융합
의도 기반 라우팅	LLM (GPT-4o)	4개 전문 에이전트 자동 분기
온톨로지 설계	RDF/Turtle + Oxigraph	작품과 작가 및 키워드 간 관계망 구축
경로 최적화	NetworkX + Greddy TSP	전시실 동선 계산
RAG 답변 생성	LangGraph + GPT-4o	추천 이유 포함 도슨트 멘트 생성

결론 및 향후 과제

- **프로젝트 요약 및 기술적 성과**
  - 기술적 성과
    - 하이브리드 RAG 아키텍처 구현
      - ✓ 온톨로지 + 벡터검색 + LLM 융합
    - 의도 기반 멀티 에이전트 설계
      - ✓ Emotion, Style, Subject, History 4개의 에이전트 자동 라우팅
    - End-to-End 큐레이션 파이프라인
      - ✓ 자연어 질의 → 작품 추천 → 관람 동선까지 원스톱 처리
    - 체계적 실험 검증
      - ✓ 4개의 시나리오에서 3개의 난이도로 성능을 검증함
    - Full-stack Demo 구현
      - ✓ Web server + Frontend + Backend

결론 및 향후 과제

- **한계점 및 개선 방향**
  - 한계점
    - Emotion agent의 인지 한계
      - ✓ 원인: 이미지 임베딩 시 GPT가 표정/감정 정보를 description에 포함하지 않음
        - 실패 예시: " 웃고 있는 인물화 " → 초상화 description에 " 웃음 " 언급 없음 → 검색 실패
        - 성공 예시: " 평화로운 풍경 " → description에 " 고요한 호수 " 등 유사 표현 존재 → 검색 성공
    - 이종 검색의 한계
      - ✓ 원인: 온톨로지 결과(작품 ID 리스트)와 벡터 검색 결과(유사도 스코어)의 결합 로직 부재
        - 실패 예시: "바로크 시대 파란색 작품" → History(SPARQL) + Style(CLIP 벡터) → 이종 결과 융합 불가
        - 성공 예시: "바로크 시대 루벤스 작품" → History(사조) + Subject(작가) 모두 SPARQL → 교집합 가능
  - 개선 방향
    - Description 보강: 이미지 임베딩 시 표정, 감정, 분위기 키워드 명시적 추출
    - 하이브리드 검색 융합: 온톨로지 결과를 벡터 검색의 필터로 활용 (2단계 검색)
    - 멀티모달 임베딩: SBERT/CLIP 분리 대신 통합 멀티모달 모델 도입 검토
    - 데이터셋 보강: 감정이 명확하게 들어나는 작품 데이터 추가

Thank you