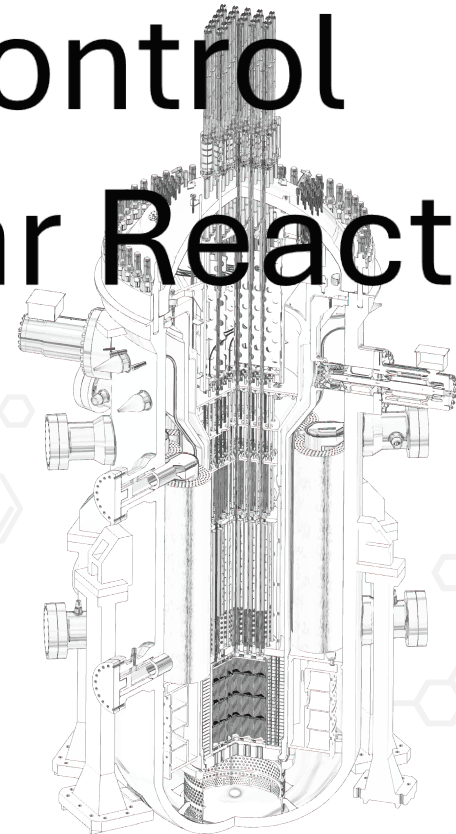


더 나은 세상을 위한 원자력기술
국민과 세계가 지지하는 한국원자력연구원



LLM-Based Integrated Control Agent System for Nuclear Reactor

발표: 이윤표 (KAERI, 한양대학교 원자력공학과)
저자: 이윤표, 김승근, 유용균* (KAERI)
2025 한국원자력학회 춘계학술발표회



더 나은 세상을 위한 원자력기술
국민과 세계가 지지하는 한국원자력연구원



목차

- 01 서론
- 02 시스템 작동 구조
- 03 시스템 개발
- 04 시연 영상
- 05 실험
- 06 결론



더 나은 세상을 위한 원자력기술
국민과 세계가 지지하는 한국원자력연구원



서론

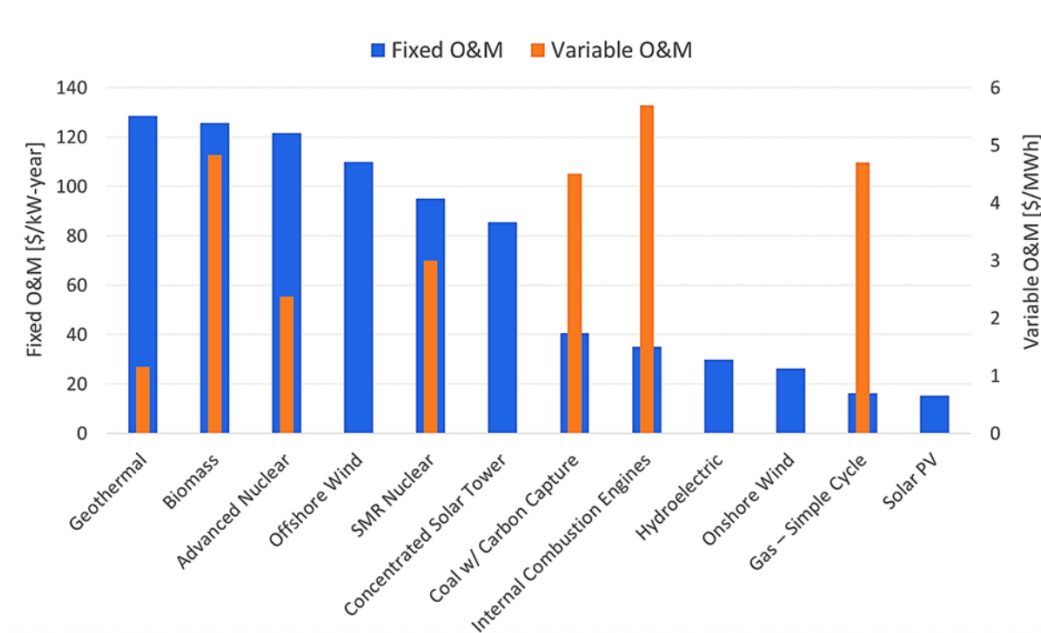
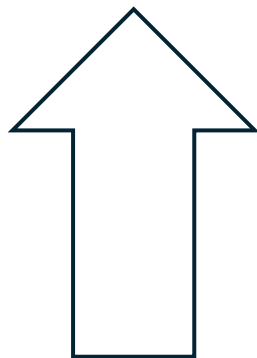
01



01 서론



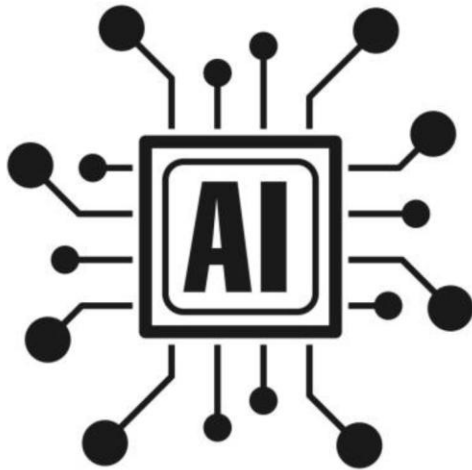
&



U.S. DEPARTMENT OF
ENERGY

Argonne National Laboratory is a
U.S. Department of Energy laboratory
managed by UChicago Argonne, LLC.

01 서론 - 아이디어



LLM Agent

제어 (자연어)



01 서론 – vs deep learning

- Deep learning

- 학습된 업무만을 수행
- 많은 데이터가 필요

- AI agent

- 자연어로 요청한 업무 수행
- 다양한 딥러닝 모델 통합 가능
- 종합적인 업무 수행 가능

더 나은 세상을 위한 원자력기술
국민과 세계가 지지하는 한국원자력연구원

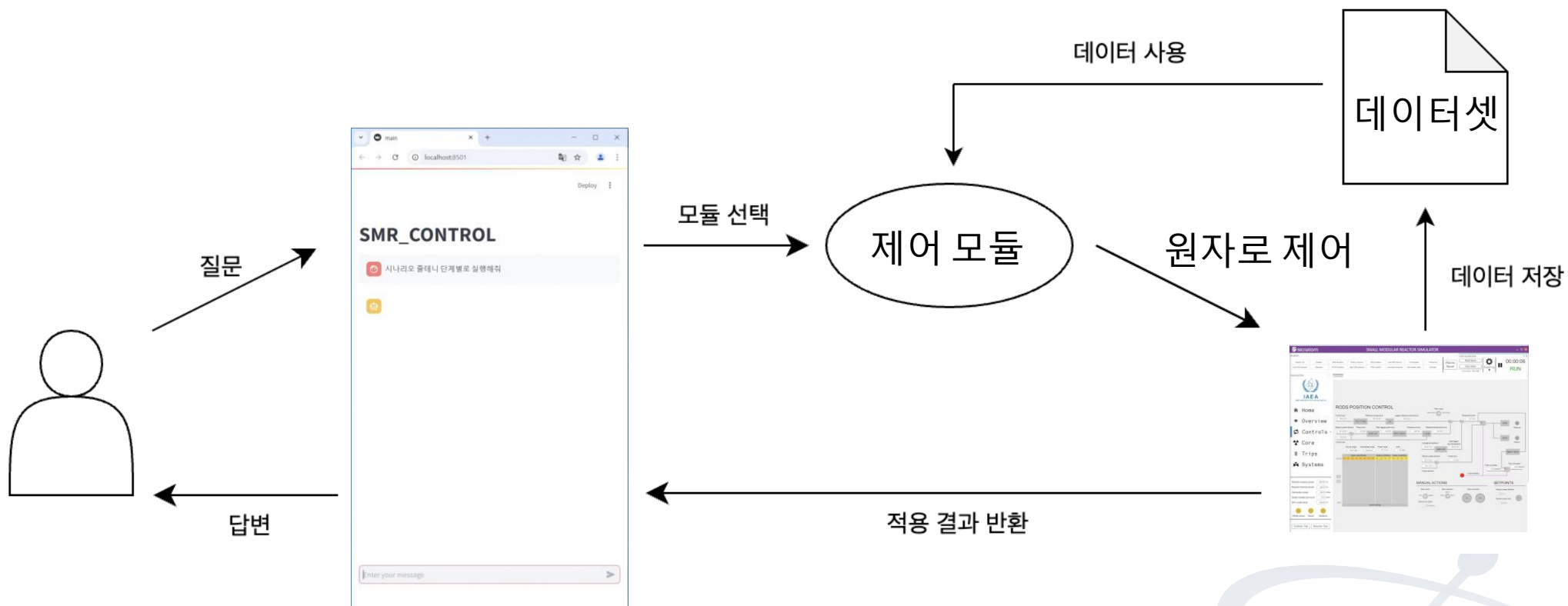


시스템 작동 구조

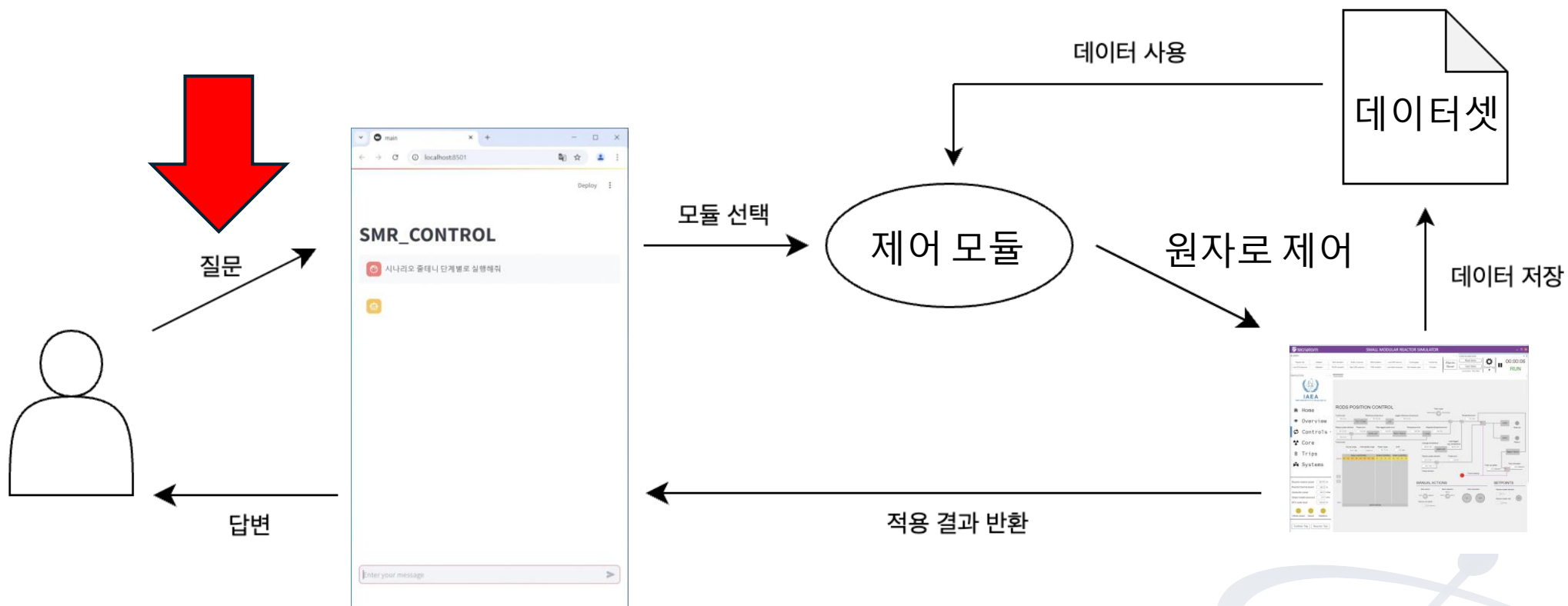
02



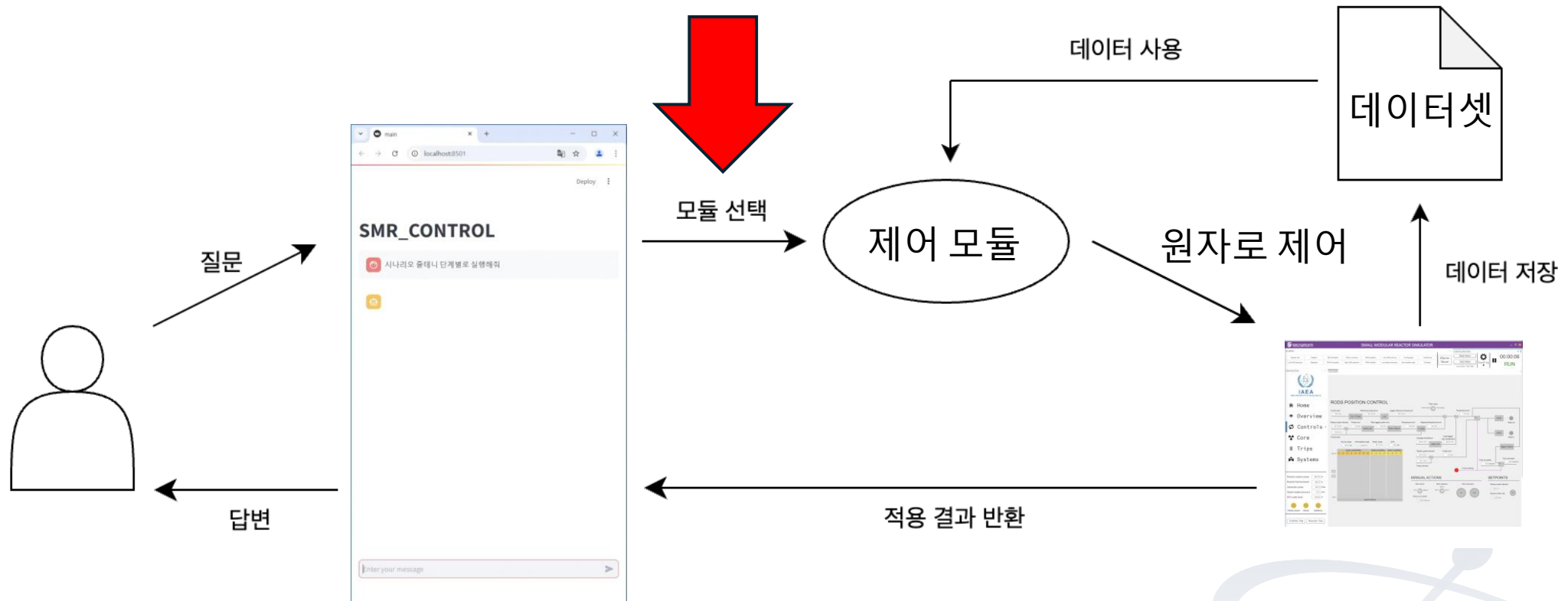
02 시스템 작동 구조



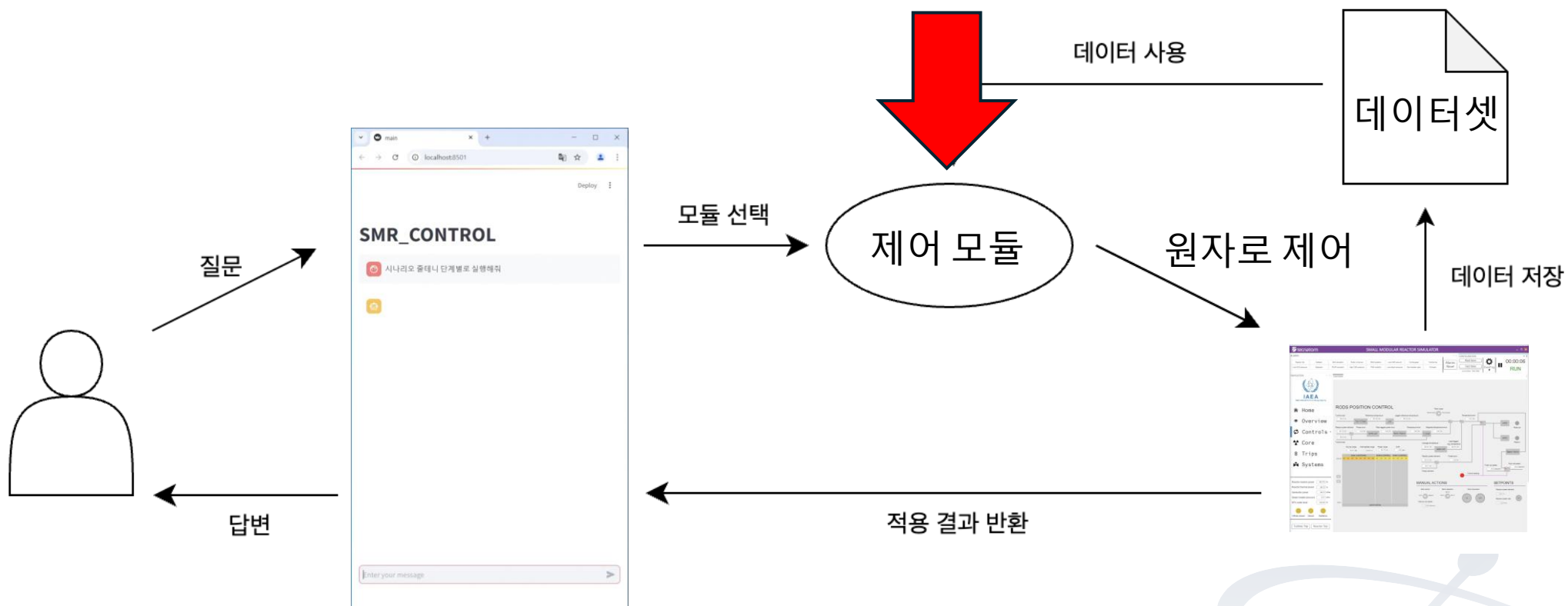
02 시스템 작동 구조



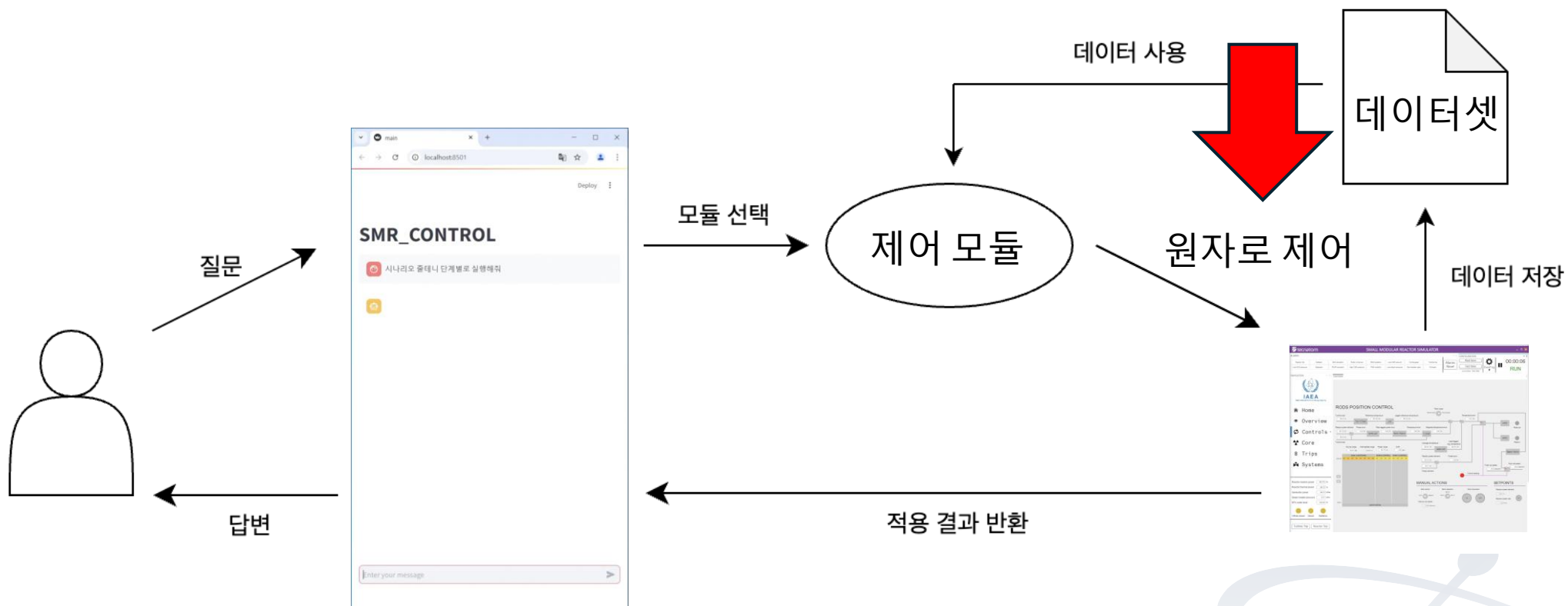
02 시스템 작동 구조



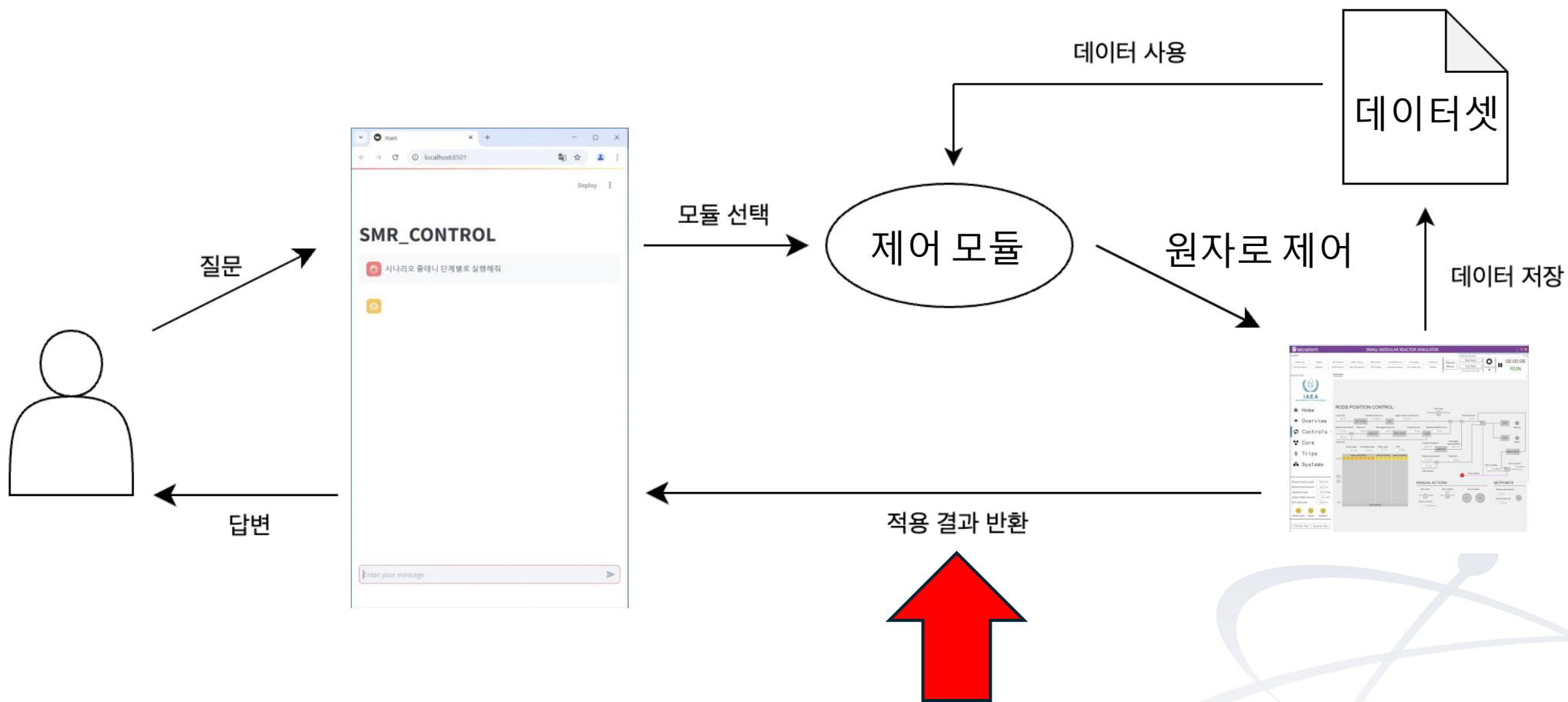
02 시스템 작동 구조



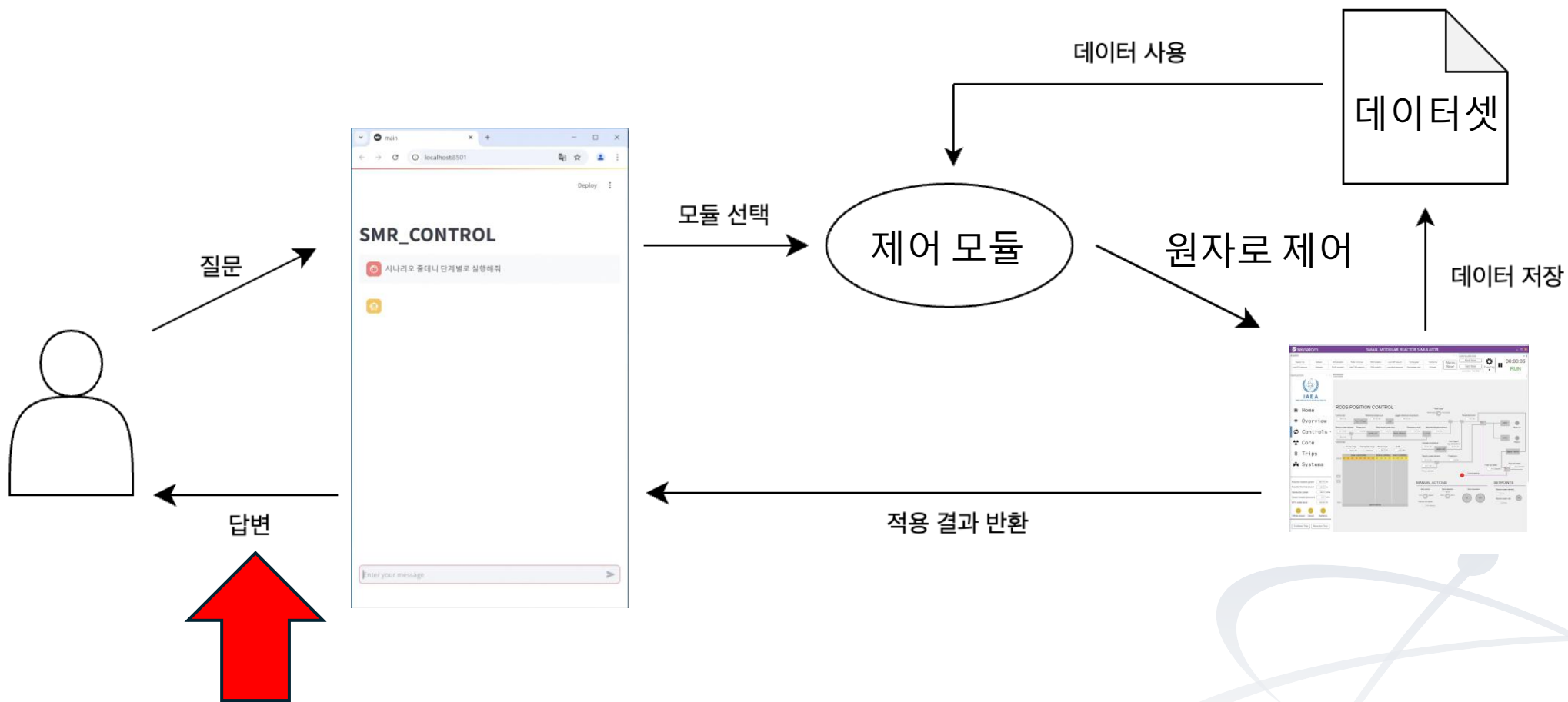
02 시스템 작동 구조



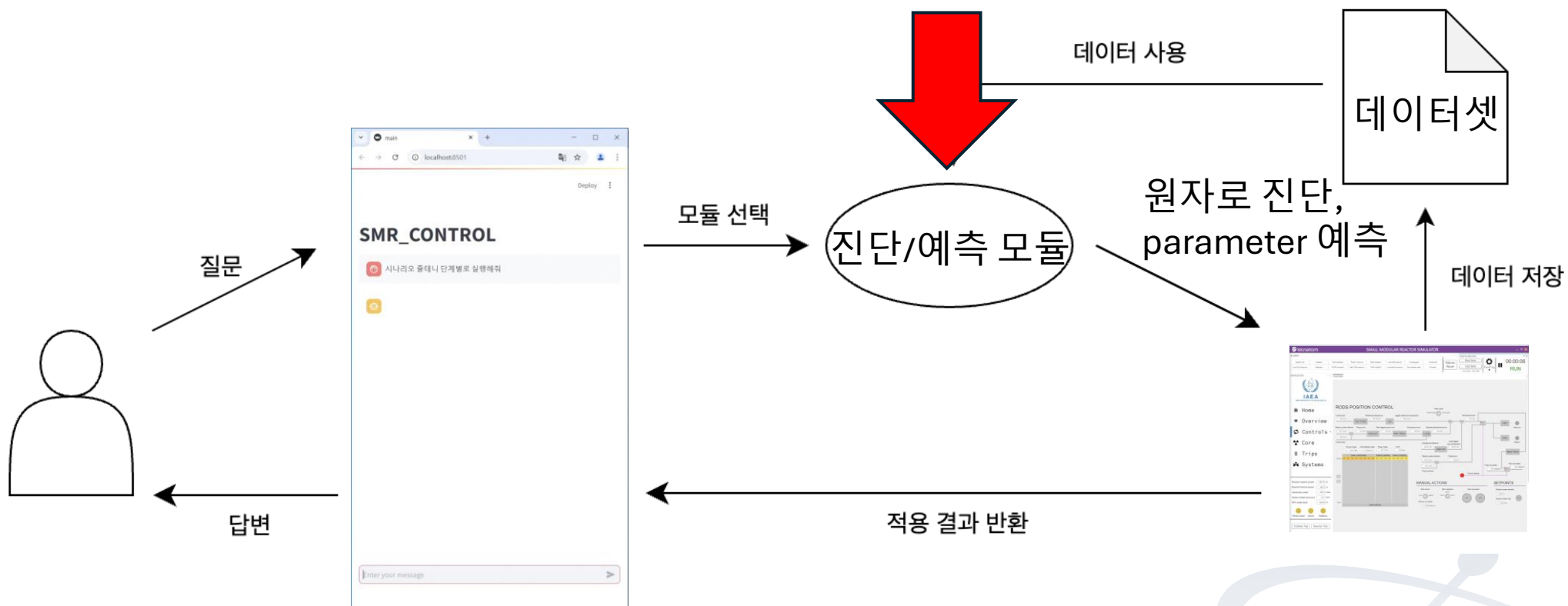
02 시스템 작동 구조



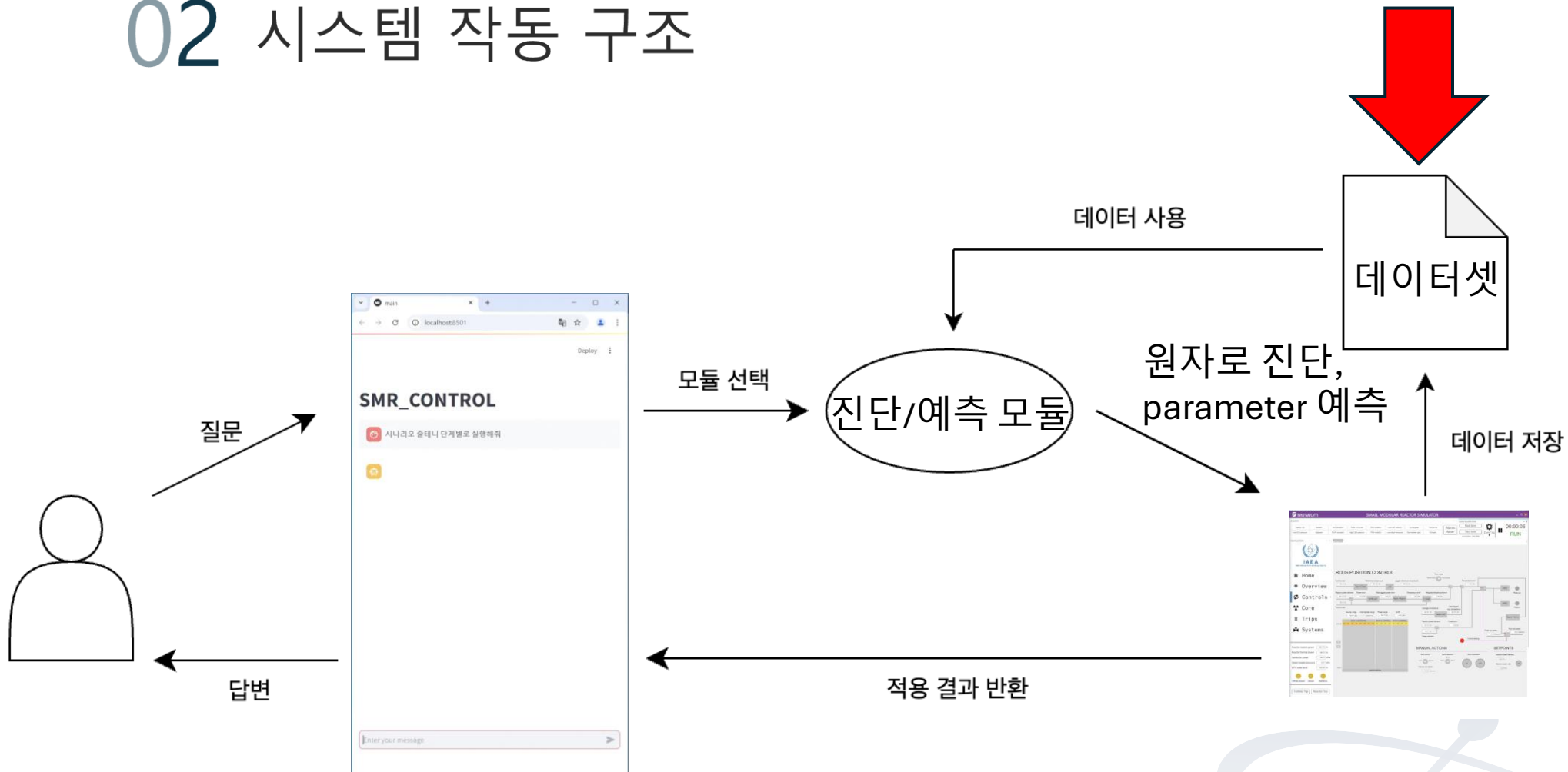
02 시스템 작동 구조



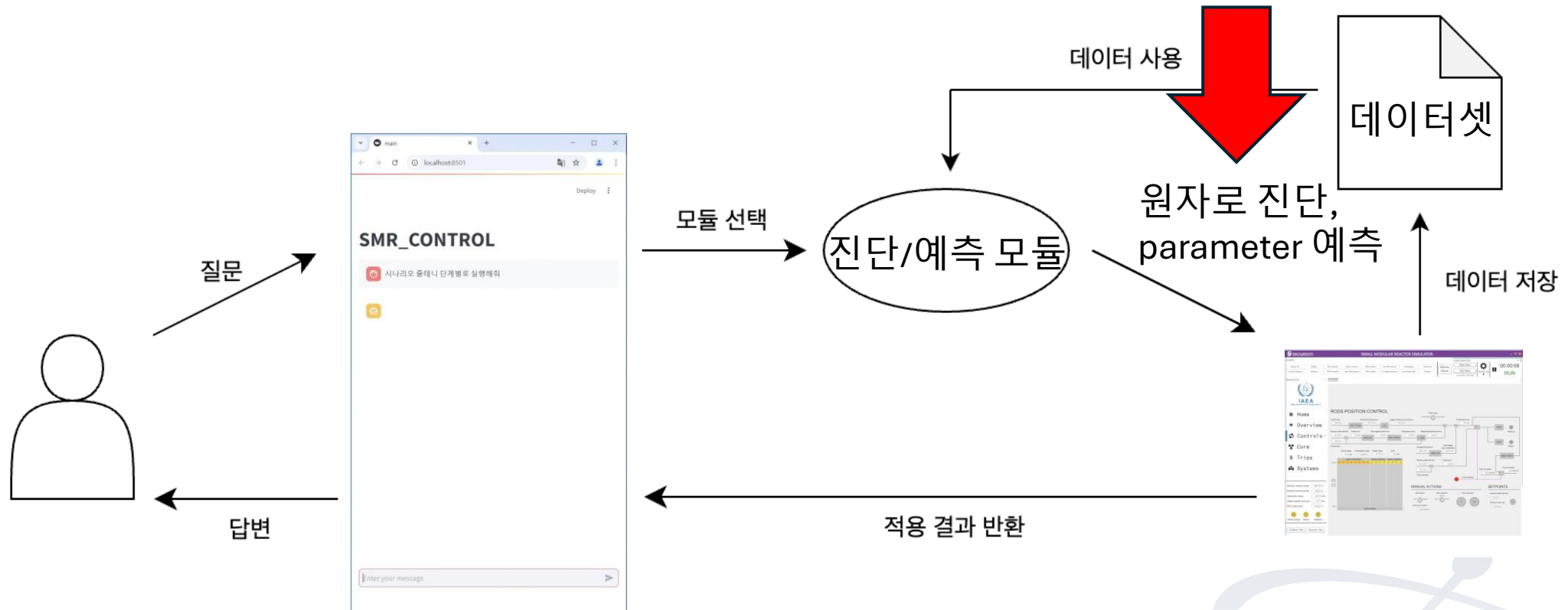
02 시스템 작동 구조



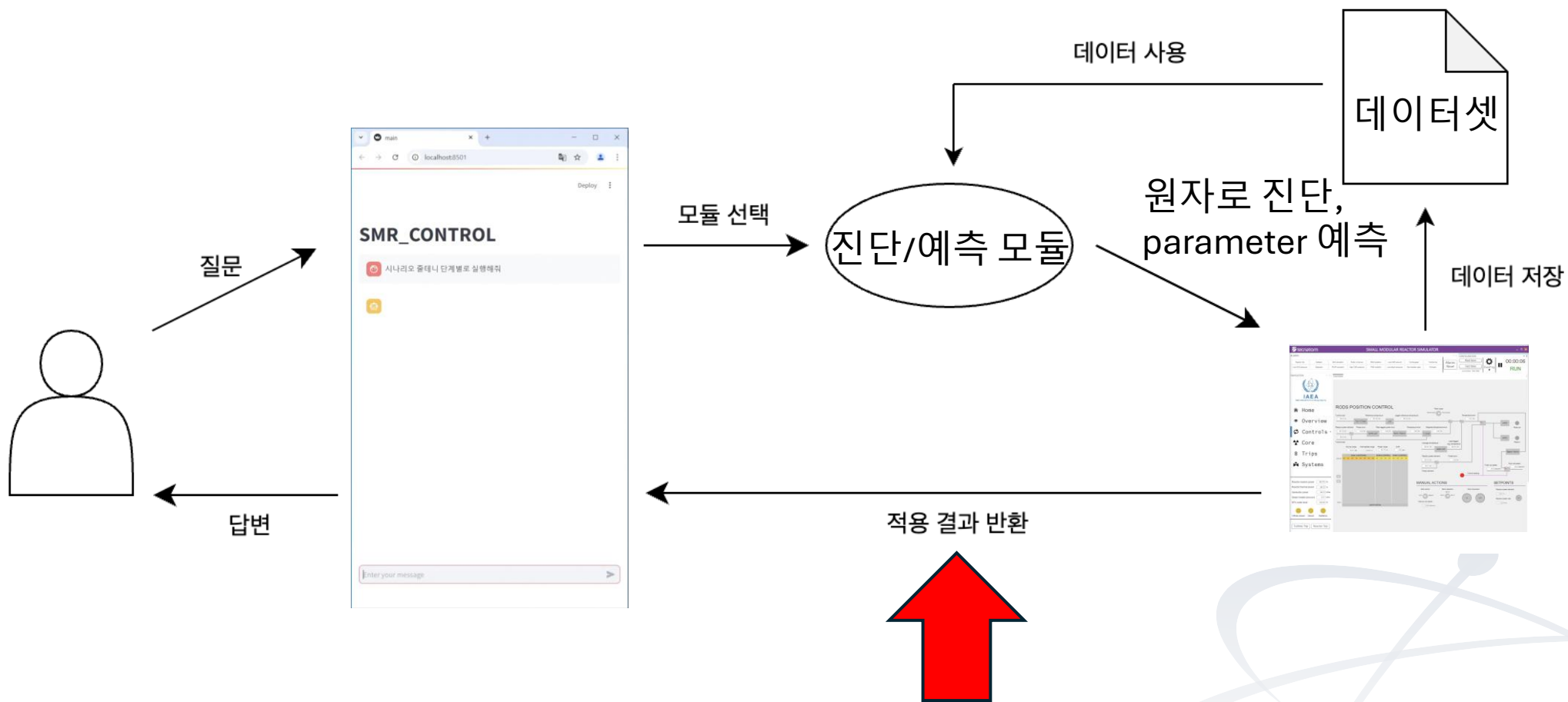
02 시스템 작동 구조



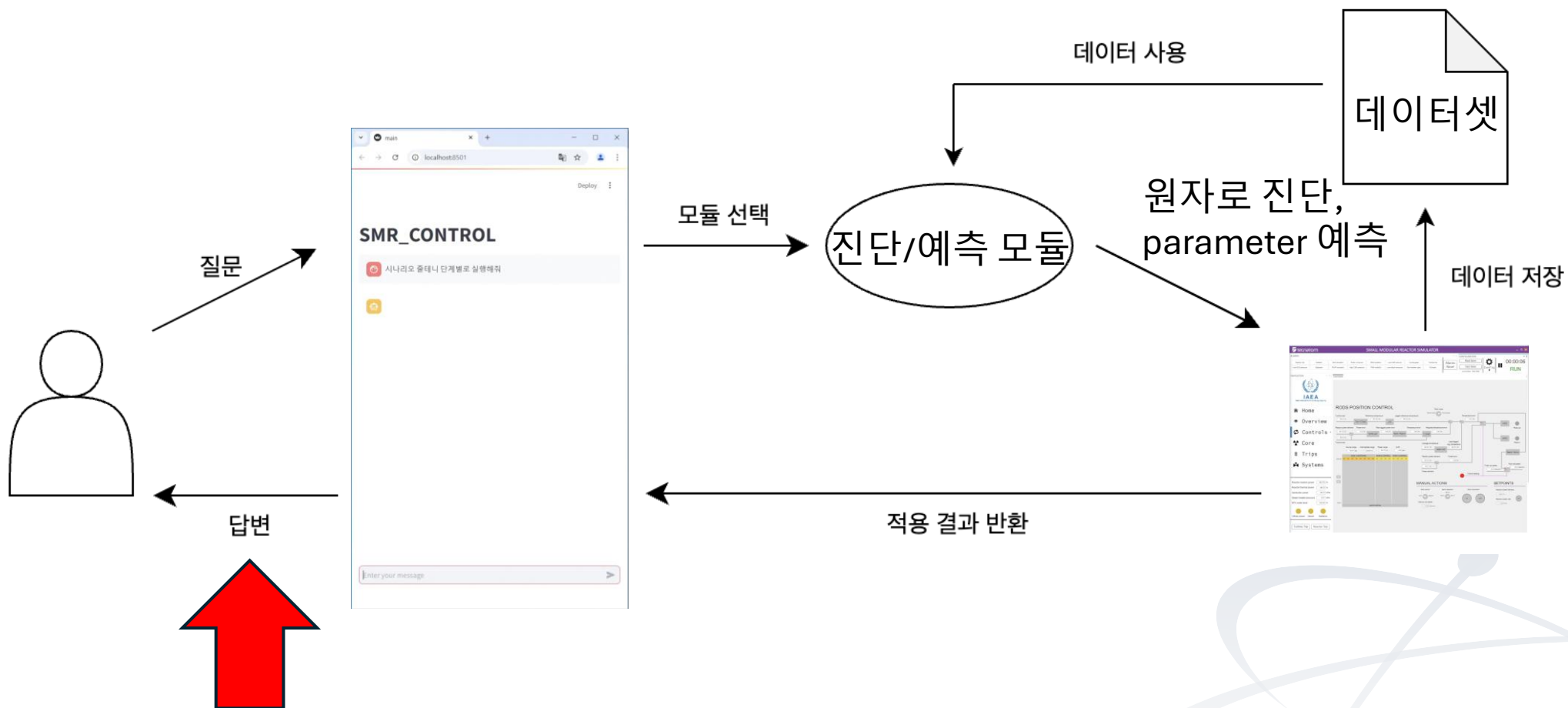
02 시스템 작동 구조



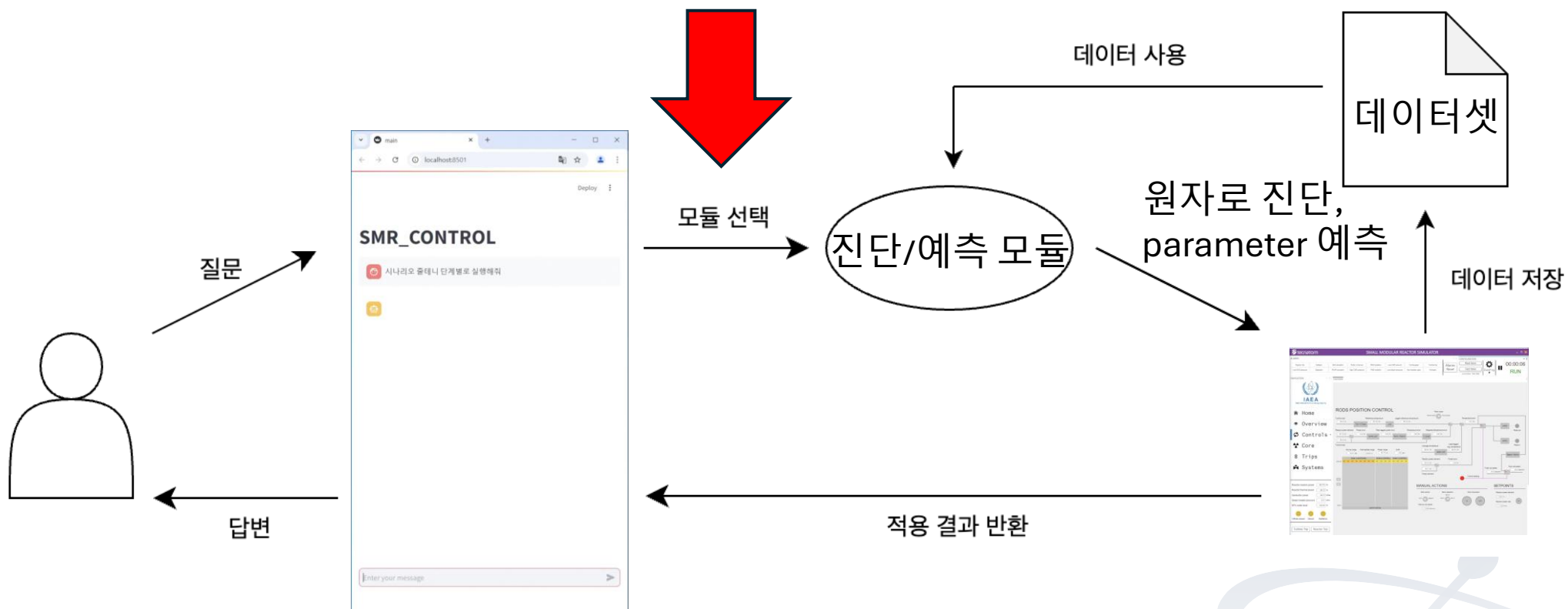
02 시스템 작동 구조



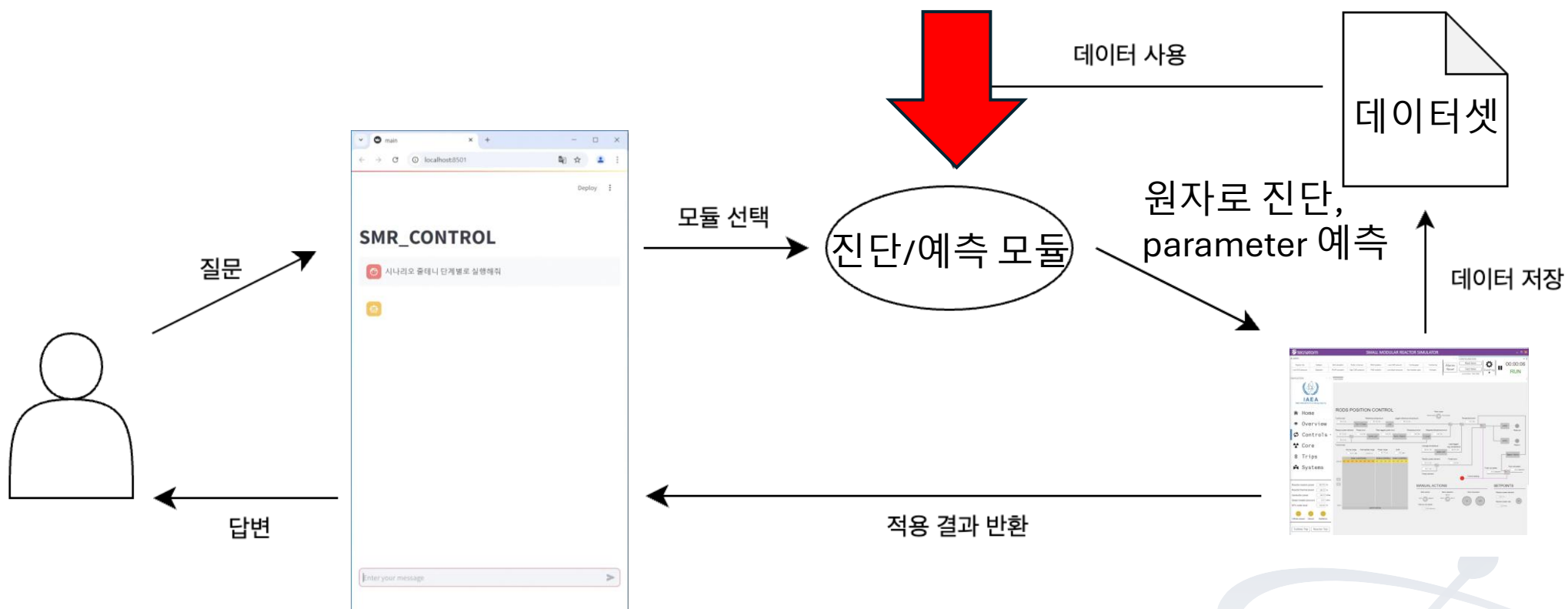
02 시스템 작동 구조



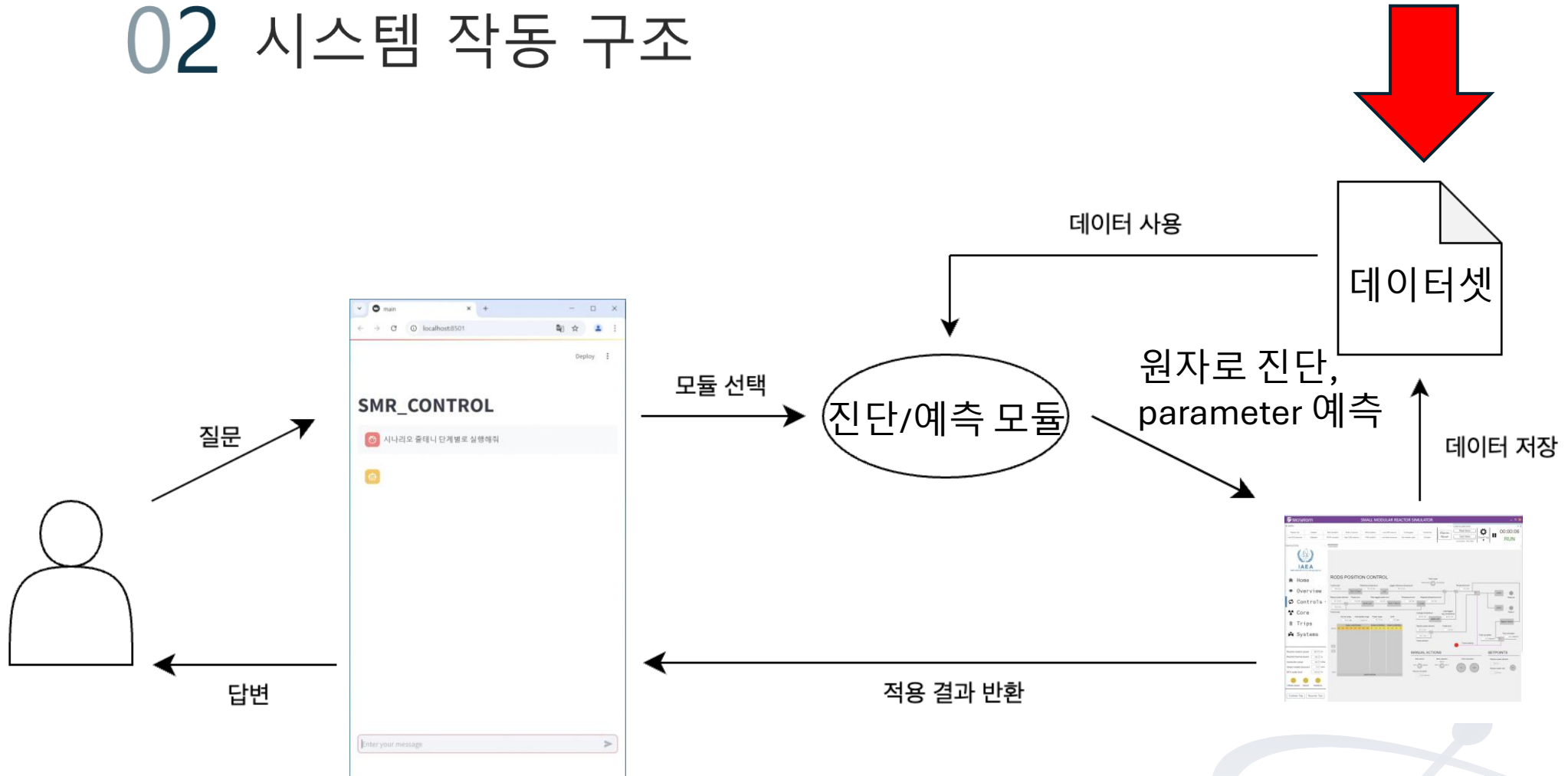
02 시스템 작동 구조



02 시스템 작동 구조



02 시스템 작동 구조



더 나은 세상을 위한 원자력기술
국민과 세계가 지지하는 한국원자력연구원



시스템 개발

03



03 시스템 개발 – function calling



Function calling

+

도구

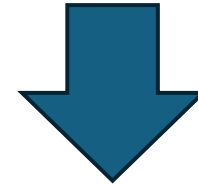
- 단순한 채팅
- 입력한 문제를 해결 못함

03 시스템 개발 – function calling



- GPT - 4o
- 2024년 8월 버전

2025년 5월 22일 날씨 질문



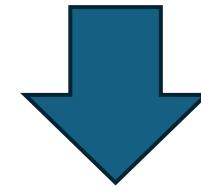
해당 정보가 GPT에게 없음

03 시스템 개발 – function calling



- GPT - 4o
- 2024년 8월 버전

2025년 5월 22일 날씨 질문



+

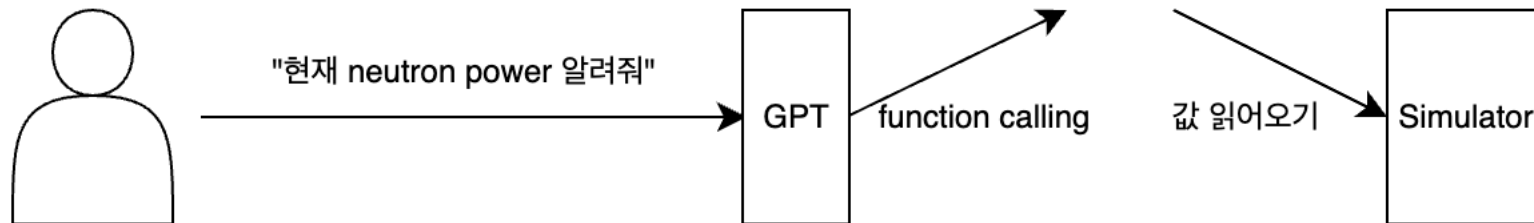


최신 정보를 반영한 답변 생성

03 시스템 개발 – function calling

- function calling – 자연어로 함수 실행

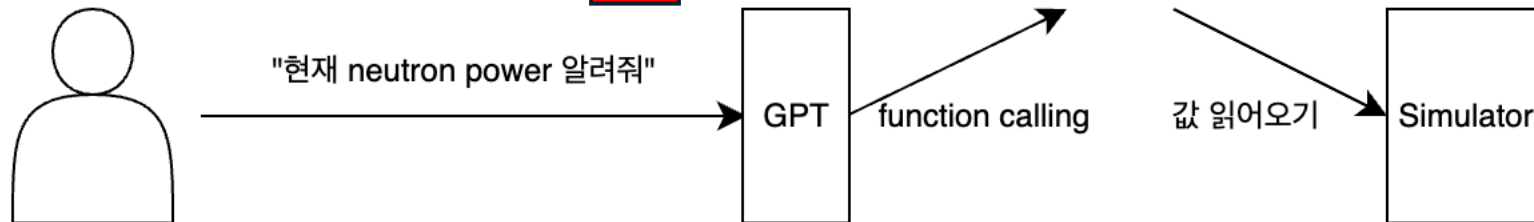
```
def read_neutron_power():  
    """Check the neutron power and it's increasing, decreasing, stable."""  
    neutron_power = rdj.read_value(process_name, RCS_base_address, 0x414A720, data_type='float')  
    csv_file_path = r'C:\Users\User\PycharmProjects\test\monitoring.csv' # CSV 파일 경로를 입력하세요  
    column_name = 'neutron power' # 분석할 열 이름을 입력하세요  
    trends = analyze_recent_trend_smooth(csv_file_path, column_name)  
    return f'neutron power: {neutron_power}% {trends}'
```



03 시스템 개발 – function calling

- function calling – 자연어로 함수 실행

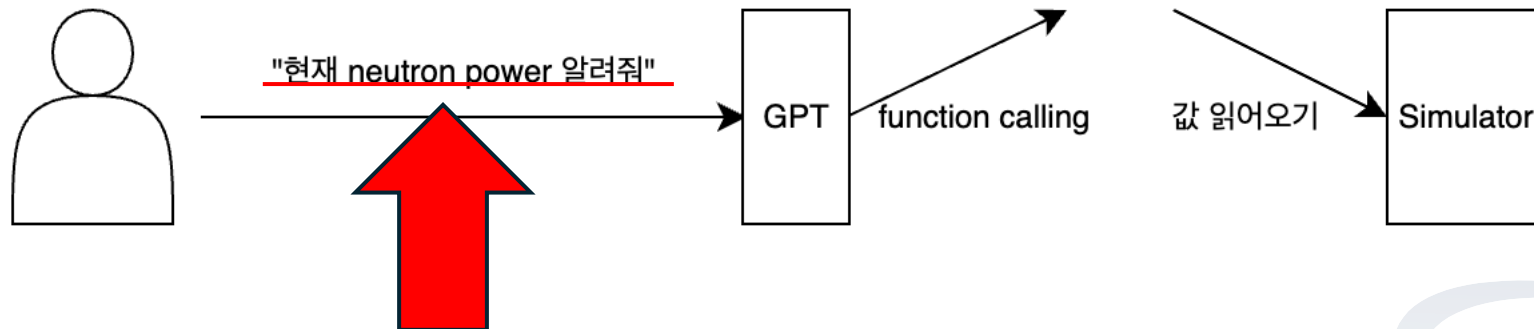
```
def read_neutron_power():  
    """Check the neutron power and it's increasing, decreasing, stable."""  
    neutron_power = rdj.read_value(process_name, RCS_base_address, 0x414A720, data_type='float')  
    csv_file_path = r'C:\Users\User\Documents\Projects\test\monitoring.csv' # CSV 파일 경로를 입력하세요  
    column_name = 'neutron power' # 열 이름을 입력하세요  
    trends = analyze_recent_trends(csv_file_path, column_name)  
    return f'neutron power: {neutron_power}% {trends}'
```



03 시스템 개발 – function calling

- function calling – 자연어로 함수 실행

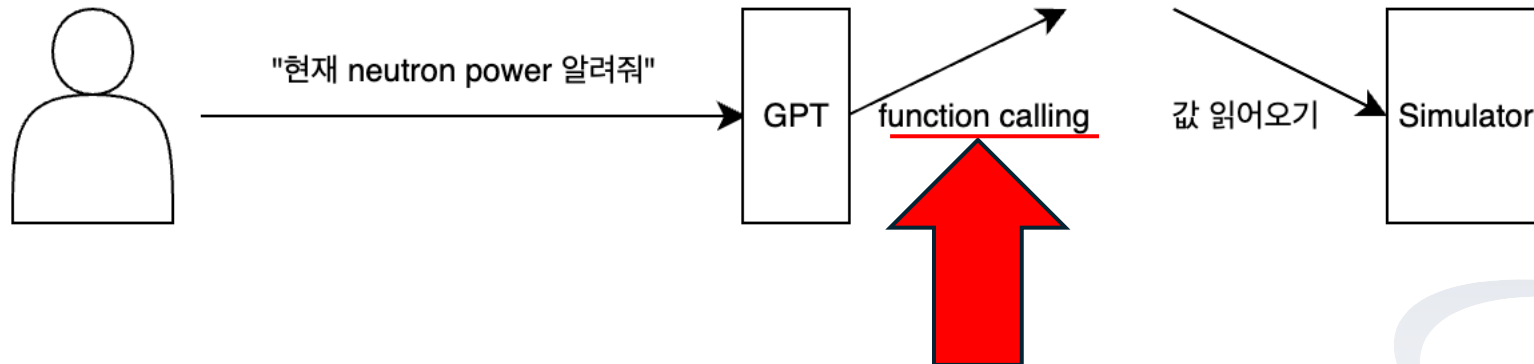
```
def read_neutron_power():  
    """Check the neutron power and it's increasing, decreasing, stable."""  
    neutron_power = rdj.read_value(process_name, RCS_base_address, 0x414A720, data_type='float')  
    csv_file_path = r'C:\Users\User\PycharmProjects\test\monitoring.csv' # CSV 파일 경로를 입력하세요  
    column_name = 'neutron power' # 분석할 열 이름을 입력하세요  
    trends = analyze_recent_trend_smooth(csv_file_path, column_name)  
    return f'neutron power: {neutron_power}% {trends}'
```



03 시스템 개발 – function calling

- function calling – 자연어로 함수 실행

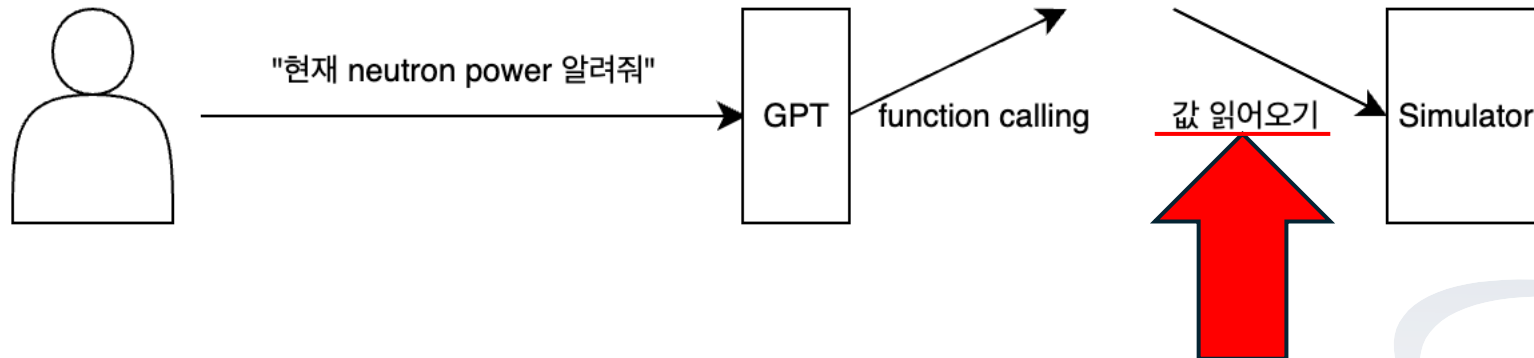
```
def read_neutron_power():  
    """Check the neutron power and it's increasing, decreasing, stable."""  
    neutron_power = rdj.read_value(process_name, RCS_base_address, 0x414A720, data_type='float')  
    csv_file_path = r'C:\Users\User\PycharmProjects\test\monitoring.csv' # CSV 파일 경로를 입력하세요  
    column_name = 'neutron power' # 분석할 열 이름을 입력하세요  
    trends = analyze_recent_trend_smooth(csv_file_path, column_name)  
    return f'neutron power: {neutron_power}% {trends}'
```



03 시스템 개발 – function calling

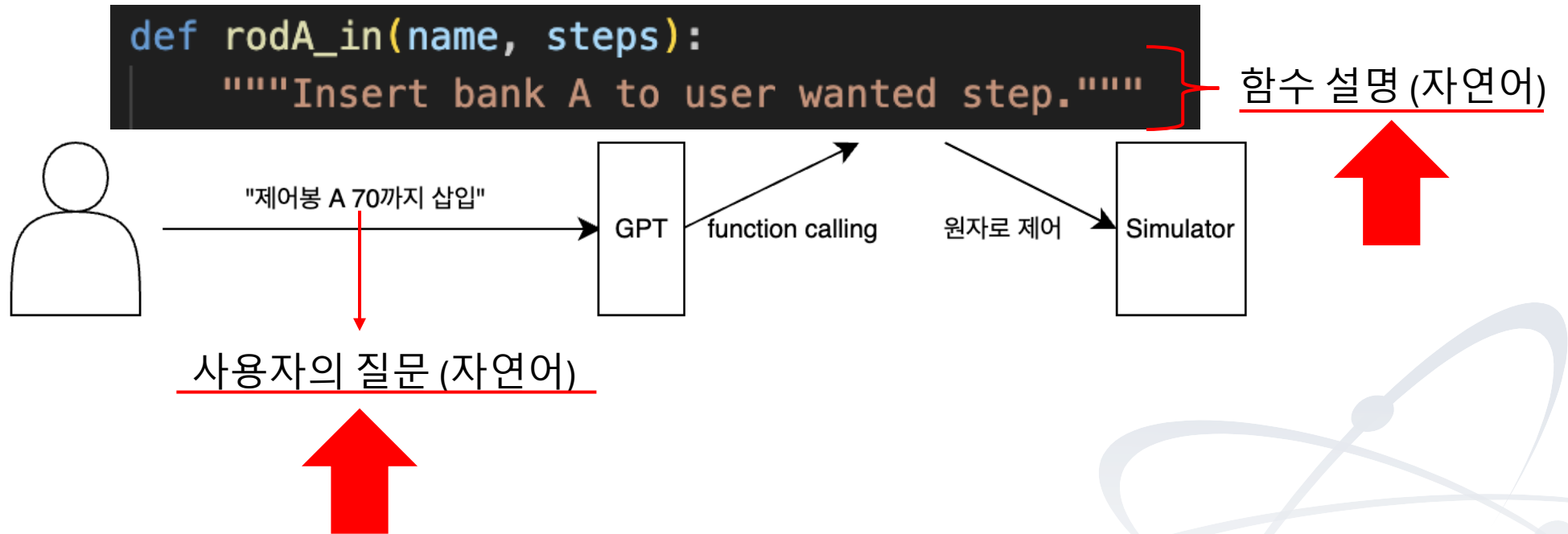
- function calling – 자연어로 함수 실행

```
def read_neutron_power():  
    """Check the neutron power and it's increasing, decreasing, stable."""  
    neutron_power = rdj.read_value(process_name, RCS_base_address, 0x414A720, data_type='float')  
    csv_file_path = r'C:\Users\User\PycharmProjects\test\monitoring.csv' # CSV 파일 경로를 입력하세요  
    column_name = 'neutron power' # 분석할 열 이름을 입력하세요  
    trends = analyze_recent_trend_smooth(csv_file_path, column_name)  
    return f'neutron power: {neutron_power}% {trends}'
```



03 시스템 개발 – function calling

- function calling – 자연어로 함수 실행



03 시스템 개발 - 제어 모듈

- Function calling 으로 제어, 모니터링 함수를 작동시킬 수 있음
- 함수는 시뮬레이터의 값을 읽어오거나 변경함
- 시뮬레이터의 값은 특정 파일의 특정 address에 존재
- 이 값들의 위치를 찾아 읽거나 (모니터링), 덮어 씌 (제어)

03 시스템 개발 - 제어 모듈

- 함수의 구성 - 예시: neutron power 읽어오는 함수



```
def read_neutron_power():  
    """Check the neutron power and it's increasing, decreasing, stable."""  
    neutron_power = rdj.read_value(process_name, RCS_base_address, 0x414A720, data_type='float')  
    csv_file_path = r'C:\Users\User\PycharmProjects\test\monitoring.csv' # CSV 파일 경로를 입력하세요  
    column_name = 'neutron power' # 분석할 열 이름을 입력하세요  
    trends = analyze_recent_trend_smooth(csv_file_path, column_name)  
    return f'neutron power: {neutron_power}% {trends}'
```

- Process name 프로그램의 RCS base파일에 0x414A720 주소의 float 값을 읽어오는 함수

03 시스템 개발 - 제어 모듈

- 함수의 구성 - 예시: neutron power 읽어오는 함수

```
def read_neutron_power():  
    """Check the neutron power and it's increasing, decreasing, stable."""  
    neutron_power = rdj.read_value(process_name, RCS_base_address, 0x414A720, data_type='float')  
    csv_file_path = r'C:\Users\User\PycharmProjects\test\monitoring.csv' # CSV 파일 경로를 입력하세요  
    column_name = 'neutron power' # 분석할 열 이름을 입력하세요  
    trends = analyze_recent_trend_smooth(csv_file_path, column_name)  
    return f'neutron power: {neutron_power}% {trends}'
```

- Process name 프로그램의 RCS base파일에 0x414A720 주소의 float 값을 읽어오는 함수

03 시스템 개발 - 제어 모듈

- 함수의 구성 - 예시: neutron power 읽어오는 함수

```
def read_neutron_power():  
    """Check the neutron power and it's increasing, decreasing, stable."""  
    neutron_power = rdj.read_value(process_name, RCS_base_address, 0x414A720, data_type='float')  
    csv_file_path = r'C:\Users\User\PycharmProjects\test\monitoring.csv' # CSV 파일 경로를 입력하세요  
    column_name = 'neutron power' # 분석할 열 이름을 입력하세요  
    trends = analyze_recent_trend_smooth(csv_file_path, column_name)  
    return f'neutron power: {neutron_power}% {trends}'
```



- Process name 프로그램의 RCS base파일에 0x414A720 주소의 float 값을 읽어오는 함수

03 시스템 개발 - 다른 모듈들

- 진단 모듈 - Multilayer Perceptron (MLP) - 정상, 사고
모든 원자로 변수 → 진단 모듈 → 상황 진단
- 예측 모듈 - Long Short-Term Memory (LSTM) - coolant 온도 예측
모든 원자로 변수 (60초) → 예측 모듈 → 이후 140초 온도
- 데이터 저장 모듈 - 매초 원자로 parameter 데이터 저장

더 나은 세상을 위한 원자력기술
국민과 세계가 지지하는 한국원자력연구원



시연 영상

04



04 시연 영상 - 설명

- AI agent 에게 절차서 전체를 입력
- 초기 상태 출력 100% → 90%로 감소 → 100%로 상승
- 절차 입력 후 “다음 단계로 진행해줘”만 요청.
- 절차 전체를 입력 시 agent가 절차를 실행할 수 있는지 확인

main

localhost:8501

Deploy

SMR_CONTROL

시나리오 줄테니 단계별로 실행해줘

tecnaTom

SMALL MODULAR REACTOR SIMULATOR

ALARMS

Reactor trip, Setback, ADS actuation, Rods in manual, MSS isolation, Low CNR vacuum, Turning gear, Turbine trip, Low RCS pressure, Stepback, PDHR actuation, High CBS pressure, FWS isolation, Low steam pressure, Gen breaker open, Runback, Alarms Reset

CONFIGURATION

Real time, Fast time, Config, 00:00:06, RUN, Current Mode: REAL TIME

NAVIGATION

Home, Overview, Controls, Core, Trips, Systems

IAEA

International Atomic Energy Agency

RODS POSITION CONTROL

Turbine load: 99.44 %

Reference temperature: 287.39 °C

Lagged reference temperature: 287.43 °C

Temperature error: -0.47 °C

Reactor power demand: 99.110 %

Power error: -0.33 %

Rate lagged power error: 0.00 %

Temperature error: 0.00 °C

Weighted temperature error: 0.00 °C

Turbine load: 99.44 %

Average temperature: 287.91 °C

Lead-lagged avg. temperature: 287.91 °C

Reactor power demand: 99.110 %

Power error: 0.00 %

Power demand: 99.11 %

Reactor neutron power: 99.109 %

Reactor thermal power: 99.13 %

Generator power: 45.13 MWe

Steam header pressure: 2.71 MPa

RPV water level: 100.00 %

Offsite power, Diesel, Batteries

Turbine Trip, Reactor Trip

MANUAL ACTIONS

Rod control: AUTO, MANUAL, Bank selection: Bank A, Bank B, Bank C, Rod movement: IN, OUT, Manual rod speed: 20.00 steps/min

SETPOINTS

Reactor power demand: 99.11 %, Reactor power rate: 1.00 %/min, GO

더 나은 세상을 위한 원자력기술
국민과 세계가 지지하는 한국원자력연구원



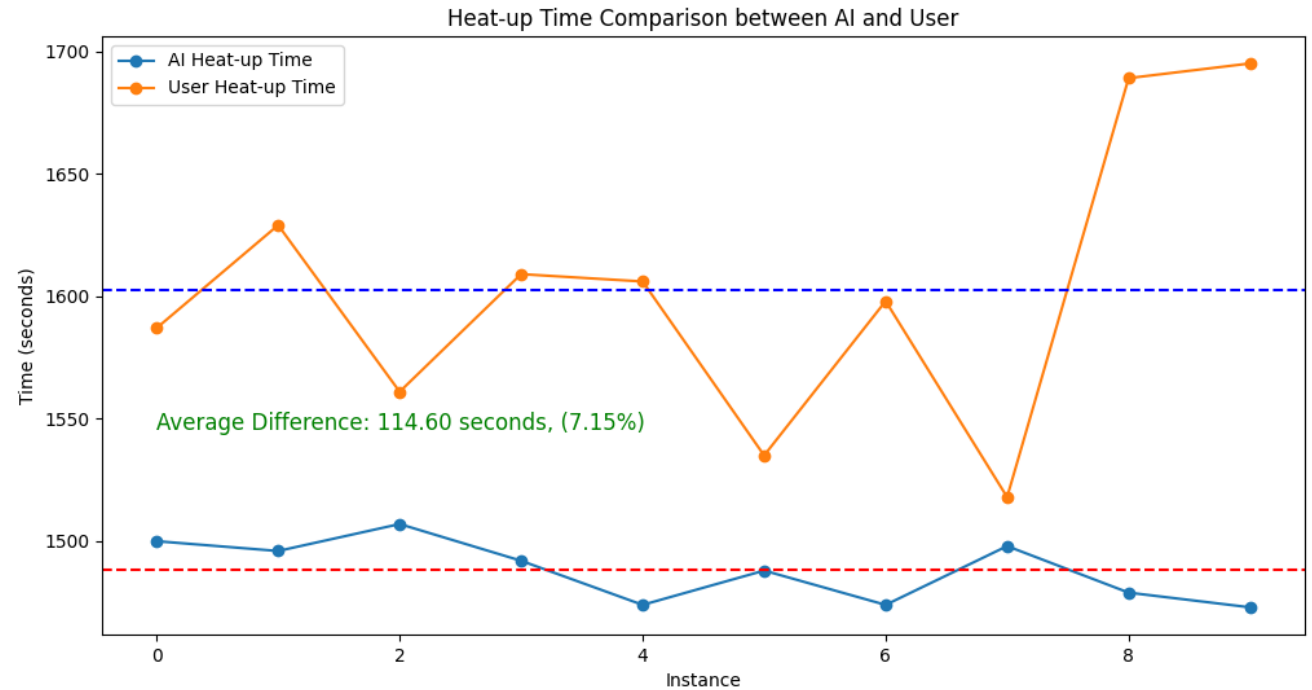
실험

05



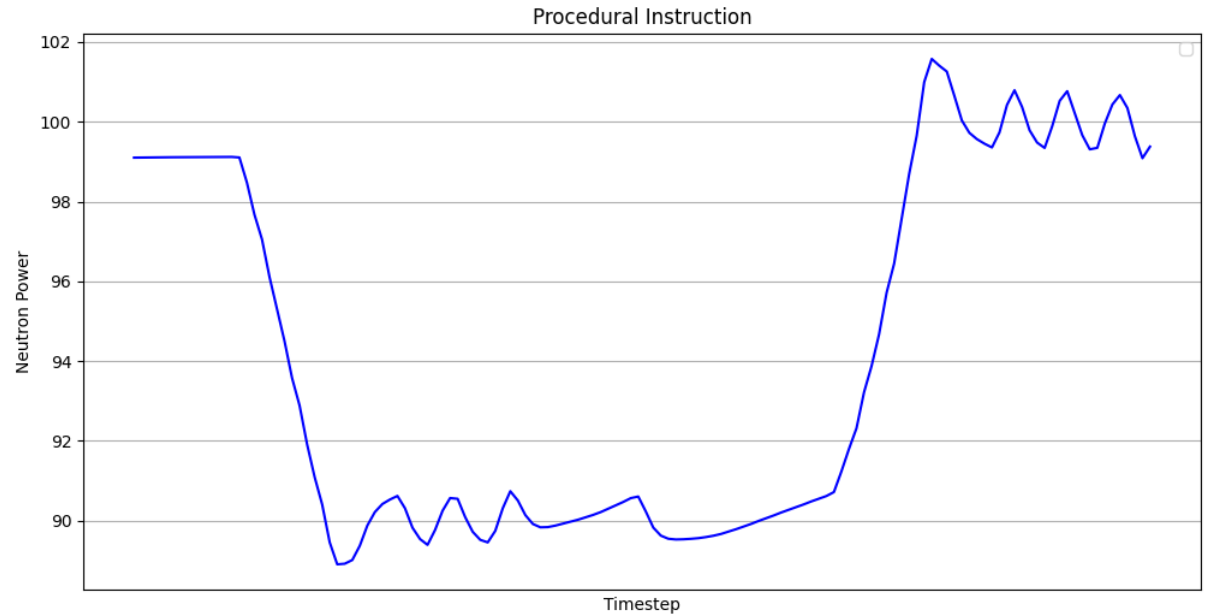
05 실험1 – 사람 vs LLM

- Heat up (0% → 30%)
- 사람 vs LLM
- GUI 조작 시간이 없음
- 수치 인식 시간이 짧음



05 실험2 - 시나리오 입력

- 100% → 90% → 100%
- Hallucination 발생
그럴 듯한 잘못된 답변 생성



05 실험3 – 판단

- Large Main Steam Line Break 10%
- 진단 → 인지, 판단 → 출력 감소

SMR_CONTROL



원자로 상태 진단해주고 shutdown 될 것으로 판단되면 그 전에 cool down 시켜줘



원자로는 정상 상태에 있습니다. 추가적인 조치가 필요하지 않습니다.



원자로 상태 진단해주고 shutdown 될 것으로 판단되면 그 전에 cool down 시켜줘



도구호출: diagnosis_reactor

transfer_to_supervisor도구호출: None {} transfer_to_supervisor도구호출: Cool_down

transfer_to_supervisor도구호출: None {} transfer_to_supervisor

원자로 상태를 진단한 결과, 큰 증기 라인의 파손 상태가 확인되었습니다. 메인 증기 라인의 파손으로 인해 원자로를 냉각시켰습니다. 추가적인 조치가 필요할 경우 알려주시기 바랍니다.

05 실험3 – 판단

- Large Main Steam Line Break 10%
- 진단 → 인지, 판단 → 출력 감소

SMR_CONTROL

 원자로 상태 진단해주고 shutdown 될 것으로 판단되면 그 전에 cool down 시켜줘

 원자로는 정상 상태에 있습니다. 추가적인 조치가 필요하지 않습니다.

 원자로 상태 진단해주고 shutdown 될 것으로 판단되면 그 전에 cool down 시켜줘

 도구호출: diagnosis_reactor

transfer_to_supervisor도구호출: None {} transfer_to_supervisor도구호출: Cool_down

transfer_to_supervisor도구호출: None {} transfer_to_supervisor

원자로 상태를 진단한 결과, 큰 증기 라인의 파손 상태가 확인되었습니다. 메인 증기 라인의 파손으로 인해 원자로를 냉각시켰습니다. 추가적인 조치가 필요할 경우 알려주시기 바랍니다.

05 실험3 – 판단

- Large Main Steam Line Break 10%
- 진단 → 인지, 판단 → 출력 감소

SMR_CONTROL



원자로 상태 진단해주고 shutdown 될 것으로 판단되면 그 전에 cool down 시켜줘



원자로는 정상 상태에 있습니다. 추가적인 조치가 필요하지 않습니다.



원자로 상태 진단해주고 shutdown 될 것으로 판단되면 그 전에 cool down 시켜줘



도구호출: diagnosis_reactor

transfer_to_supervisor도구호출: None {} transfer_to_supervisor도구호출: Cool_down

transfer_to_supervisor도구호출: None {} transfer_to_supervisor

원자로 상태를 진단한 결과, 큰 증기 라인의 파손 상태가 확인되었습니다. 메인 증기 라인의 파손으로 인해 원자로를 냉각시켰습니다. 추가적인 조치가 필요할 경우 알려주시기 바랍니다.

05 실험3 – 판단

- Large Main Steam Line Break 10%
- 진단 → 인지, 판단 → 출력 감소

SMR_CONTROL

 원자로 상태 진단해주고 shutdown 될 것으로 판단되면 그 전에 cool down 시켜줘

 원자로는 정상 상태에 있습니다. 추가적인 조치가 필요하지 않습니다.

 원자로 상태 진단해주고 shutdown 될 것으로 판단되면 그 전에 cool down 시켜줘

 도구호출: diagnosis_reactor

transfer_to_supervisor도구호출: None {} transfer_to_supervisor도구호출: Cool_down

transfer_to_supervisor도구호출: None {} transfer_to_supervisor

원자로 상태를 진단한 결과, 큰 증기 라인의 파손 상태가 확인되었습니다. 메인 증기 라인의 파손으로 인해 원자로를 냉각시켰습니다. 추가적인 조치가 필요할 경우 알려주시기 바랍니다.

05 실험3 – 판단

- Large Main Steam Line Break 10%
- 진단 → 인지, 판단 → 출력 감소

SMR_CONTROL

 원자로 상태 진단해주고 shutdown 될 것으로 판단되면 그 전에 cool down 시켜줘

 원자로는 정상 상태에 있습니다. 추가적인 조치가 필요하지 않습니다.

 원자로 상태 진단해주고 shutdown 될 것으로 판단되면 그 전에 cool down 시켜줘

 도구호출: diagnosis_reactor

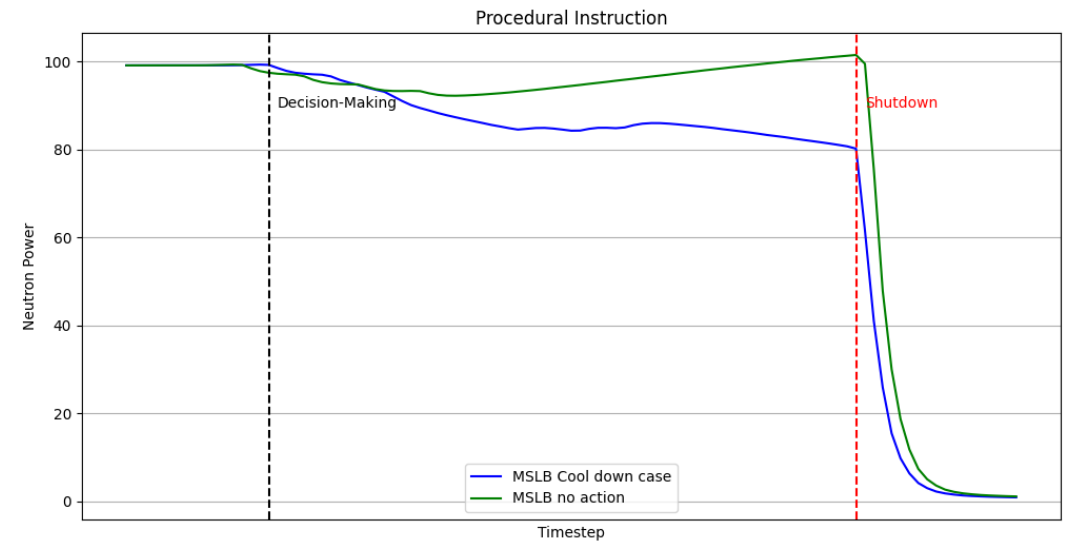
transfer_to_supervisor도구호출: None {} transfer_to_supervisor도구호출: Cool_down

transfer_to_supervisor도구호출: None {} transfer_to_supervisor

원자로 상태를 진단한 결과, 큰 증기 라인의 파손 상태가 확인되었습니다. 메인 증기 라인의 파손으로 인해 원자로를 냉각시켰습니다. 추가적인 조치가 필요할 경우 알려주시기 바랍니다.

05 실험3 - 판단

- 초록색: 출력 상승 후 shutdown
- 파란색: 출력 하락 후 shutdown



더 나은 세상을 위한 원자력기술
국민과 세계가 지지하는 한국원자력연구원



결론

06



06 결론

- LLM을 이용한 원자로 시뮬레이터 제어 시스템
- Function calling 을 이용하여 함수 호출 & 실행
- vs 사람: 더 안정적이고 시간을 덜 사용
- 절차를 입력하면 필요한 함수를 스스로 순서대로 사용
- 충분한 정보를 통해 자체적 판단을 통한 대처 확인

06 결론 - limitation

- 교육용 시뮬레이터 → 시나리오의 한계 존재
- 모든 기능을 함수화 하지 못함
- Hallucination과 같은 그럴듯한 답변 생성

06 결론 – future work

- 적절한 시나리오 연구
- 더 다양한 기능을 함수로 구현
- RAG를 이용하여 문서 정보를 agent에게 제공
- 멀티 모달 시스템으로 발전 (이미지, 음성, 문서...)
- 자체 모델 개발

더 나은 세상을 위한 원자력기술
국민과 세계가 지지하는 한국원자력연구원



감사합니다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported in part by Korea Atomic Energy
Research Institute R&D Program under Grant KAERI-524540-25

