# 제 안 요 청 서

## 제조공정 로봇 활용 실로봇 AI 데이터 수집 용역

| | |
|---|---|
| **용역 구분** | 연구비 재원 용역 / 협상에 의한 계약 |
| **발주기관** | 서울대학교 산학협력단 |
| **실수요기관** | 서울대학교 휴머노이드 AI 로봇 센터 |
| **용역기간** | 계약체결일로부터 2026. 12. 22.까지(세부 일정은 착수보고 시 확정) |
| **사업예산** | 입찰공고문에 따름(부가가치세 포함 총액 기준) |
| **작성일** | 2026. 09. |

※ 본 제안요청서는 입찰공고문과 함께 적용되며, 입찰공고문과 상이한 사항은 제안요청서 및 계약조건이 우선한다.

# 목 차

1. 용역 개요

2. 추진 배경 및 필요성

3. 과업 목표와 기본 방향

4. 과업 범위

5. 세부 기술 요구사항

6. 데이터 수량 및 검수 기준

7. 산출물 및 납품 형식

8. 추진 일정 및 보고체계

9. 제안서 작성 및 제출 요구사항

10. 평가 방법 및 배점

11. 계약·보안·지식재산권 관련 요구사항

붙임 1. 제안서 목차(안)

붙임 2. 데이터 필드 목록(안)

붙임 3. 산출물 검수 체크리스트

붙임 4. 참고 레퍼런스

# 1. 용역 개요

| | |
|---|---|
| **과업명** | 제조공정 로봇 활용 실로봇 AI 데이터 수집 용역 |
| **과업 목적** | 로봇 제조 조립 모사 태스크에서 접촉력 정보를 포함한 멀티모달 데이터의 수집, 정제, 시간·공간 정렬, 표준화, 데이터셋 패키징까지 연결되는 반복 가능한 데이터 수집·구축 파이프라인을 구축하고 이를 검증하는 것 |
| **대상 분야** | Physical AI, AI 휴머노이드/로봇 파운데이션 모델, contact-rich manipulation, 조립 작업, imitation learning, robot learning benchmark |
| **핵심 태스크** | 기어 조립 태스크(제조 조립 공정을 모사하여 기어의 파지·이송·삽입·치합을 수행하는 접촉 조립 태스크) |
| **주요 산출물** | 데이터 수집·구축 파이프라인,<br>다중센서 실로봇 데이터셋,<br>접촉력 표현 이미지 데이터,<br>LeRobot 호환 데이터 패키지,<br>데이터 검수(누락 확인) 리포트,<br>데이터셋 패키징 자료,<br>하드웨어 환경 구성·운영 명세 및 별도 산출내역,<br>최종보고서 |
| **계약 방식** | 협상에 의한 계약(세부 사항은 입찰공고문에 따름) |

# 2. 추진 배경 및 필요성

AI 휴머노이드 기술혁신센터 구축 사업은 휴머노이드 AI 개발을 위한 실세계 및 시뮬레이션 학습 인프라, 표준화 데이터셋, 실증 환경, 기술협력 네트워크를 구축하는 기반구축 사업이다. 본 용역은 해당 사업 중 데이터 인프라 구축과 실증 데이터 확보를 위한 핵심 과업으로서, 기구축 데이터 수집·구축 체계를 접촉 기반 조립 작업과 접촉력 modality 로 확장하는 과업에 해당한다.

센터의 데이터 과업은 일회성 데이터 수집이 아니라, 반복 가능한 데이터 생산 체계의 구축이다. 특히 실제 환경을 모사한 훈련장에서 실제 로봇으로 획득한 접촉 데이터는 시뮬레이션으로 재현하기 어려운 물리 상호작용 정보를 제공하여 시뮬레이션 데이터를 보완하는 데 중요하다. 따라서 본 용역은 데이터 수집량 자체뿐 아니라 수집-정제-정렬-검수로 이어지는 데이터 생산·구축 파이프라인을 산출물로 확보하는 것을 우선한다.

## 2.1 센터 사업과의 연계

- 실제 환경을 모사한 로봇 활용 훈련장 기반 조립 데이터 수집 확대를 위한 데이터 파이프라인 확장
- 기구축 데이터 형식·수집 절차와 호환되는 접촉력 포함 조립 데이터셋 구축
- 실로봇 접촉 데이터와 향후 시뮬레이션 데이터의 통합 활용을 위한 공통 schema 확장
- Hugging Face, GitHub 등 공개 플랫폼 연계를 통한 공개 연구 데이터셋 및 benchmark 기반 조성

## 2.2 본 용역의 핵심 문제의식

| 구분 | 단순 데이터 수집 용역 | 본 용역에서 요구하는 방향 |
|---|---|---|
| 목적 | 정해진 수량의 episode 또는 영상 확보 | Physical AI 모델 구축에 재사용 가능한 데이터 수집·구축 파이프라인 확보 |
| 데이터 | 원천 영상 및 로봇 로그 중심 | 접촉력·영상 정보의 시간·공간 정렬, 정제·annotation·metadata·버전관리가 포함된 학습 가능 데이터 |
| 검수 | 수집 완료 여부 중심 | 데이터 누락·결손 확인, annotation 일관성, episode 유효율 관리 |
| 센터 자산 | 데이터 파일 중심 | schema, pipeline code, loader, 검수 script, protocol, 데이터셋 패키지, 운영 문서가 남는 구조 |

# 3. 과업 목표와 기본 방향

## 3.1 최종 목표

본 과업의 최종 목표는 실제 환경을 모사한 로봇 조립 환경에서 접촉력 정보를 포함한 반복 가능한 데이터 생산·검증 체계를 구축하고, 이를 기어 조립 태스크 데이터셋으로 검증하는 것이다. 수행기관은 아래의 페루프를 실제 산출물로 구현하여야 한다.

| 단계 | 주요 기능 | 핵심 산출 |
|---|---|---|
| 1. 수집 | 로봇 한 팔 teleoperation, 실로봇 rollout, 선택적 human/UMI 보조 수집 | 원천 robot/sensor/action 로그, episode manifest 등 |
| 2. 정제 | 멀티카메라, 로봇 상태, gripper, 손목·툴팁 F/T sensor, action command 의 시간·공간 정렬 및 접촉력 표현 이미지 생성 | 멀티모달 dataset, 접촉력 표현 이미지 등 |
| 3. 표준화 | 공개 로봇 데이터 포맷 호환 schema 설계 및 변환 | LeRobot 호환 package, raw archive, schema 문서 등 |
| 4. 검수 | 데이터 누락·결손 자동 확인 및 표본 수동 검수 | 검수(누락 확인) script, 검수 리포트 등 |
| 5. 패키징 | 연구용 데이터셋 패키지 구성 | dataset card, README, 공개 준비 자료 등 |

## 3.2 기본 방향

- 기준 태스크는 제조 조립 공정을 모사하는 기어 조립 작업으로 구성한다.
- 과업은 고난도 오지 dexterous manipulation 보다 신뢰성 있는 2 지 그리퍼 기반 한 팔 접촉 조립 및 데이터 파이프라인 완결성에 집중한다.
- 로봇 데이터, 다중 시점 RGB 영상, 손목·툴팁 F/T, gripper state, action command, 접촉력 표현 이미지, task/subtask language annotation 을 포함하는 multimodal dataset 을 지향한다.
- F/T 데이터는 영상 frame 기준으로 시간 정렬하고, 접촉 발생 위치·크기·방향을 영상 좌표계에 표현하여 시각 정보와 접촉력 정보가 공간적으로 연계되도록 한다.
- 최종 데이터셋은 LeRobot 호환 형식과 원천 보존(raw archive) 형식을 함께 제공하여 공개 연구와 후속 확장성을 동시에 확보한다.

- 제안자는 하드웨어 환경 및 총액 산출 근거를 제시하여야 한다.
- 모든 센서 스트림은 공통 clock 기준 timestamp 로 기록하고, 스트림 간 동기화 오차를 측정·보고한다(목표 오차 1 frame, 약 33ms 이내). 카메라 intrinsic/extrinsic 캘리브레이션 결과와 로봇 base·end-effector·툴팁·카메라 좌표계의 변환 관계(TF)를 문서화하여 제공한다.

# 4. 과업 범위

## 4.1 과업 범위 총괄

| 번호 | 과업 | 상세 내용 |
|---|---|---|
| A | 프로젝트 착수 및 상세 설계 | 착수회의, 상세 일정, 장비/시설/인력 계획 확정 |
| B | 기어 조립 태스크 설계 | task board/fixture/기어 부품/부품 초기 위치함 설계 및 BOM, subtask 구조, 성공·실패 기준, variation 정의 |
| C | 로봇 수집 및 하드웨어 환경 구성 | 7 자유도급 로봇팔(휴머노이드 또는 협동로봇) 또는 동등 이상 플랫폼, 2 지 그리퍼, 손목 F/T sensor, 툴팁 F/T sensor, wrist RGB camera, head 또는 외부 RGB camera, leader-arm/teleop 또는 동등 방식, 로깅 PC/storage, 작업셀·fixture·부품·안전환경 구성 |
| D | 데이터 수집·구축 파이프라인 구현 | 수집, 정제, 센서 간 시간 동기화, 접촉력 표현 이미지 생성, schema 변환, 데이터 누락 확인 검수, annotation, dataset builder, versioning, loader 구현 |
| E | 검증용 실로봇 데이터셋 생성 | 최소 수량 기준을 충족하는 valid episode 수집, 성공/실패 데이터 구분, metadata 및 language annotation |
| F | 데이터셋 패키징 | LeRobot 호환 package, dataset card, README, sample loader, GitHub/Hugging Face 공개 준비 자료 |
| G | 보고 및 인수인계 | 착수/최종 보고, 기술문서, 운영 매뉴얼, 코드·데이터 인수인계 세션, 하드웨어 인계 및 발주기관 시설 세팅·시운전 |

## 4.2 과업에서 제외되는 사항

- 상용 수준의 범용 로봇 파운데이션 모델 신규 개발, 대규모 사전학습, 상시 leaderboard 운영 시스템 구축은 기본 범위에 포함하지 않는다.
- 개인정보 또는 저작권 문제가 있는 외부 영상·데이터의 무단 활용은 허용하지 않는다.

# 5. 세부 기술 요구사항

## 5.1 기준 로봇·센서 구성

제안자는 아래 기준 사양을 충족하는 로봇 한 팔 조립 데이터 수집 환경 및 하드웨어 운영 방안을 제안하여야 한다.

- 하드웨어 구성은 데이터 파이프라인 검증을 위한 실증 환경을 의미하며, 특정 장비의 납품을 일률적으로 강제하지 않는다.
- 수집되는 데이터는 위 구성의 주 작업 팔만으로 수행된 것이어야 하며, 다른 팔의 동작이 포함된 episode 는 기본 수량에 산입하지 않는다.

| 항목 | 기준 요구사항 | 비고 |
|---|---|---|
| 로봇 | 7 자유도급 로봇팔 1 식(휴머노이드 또는 협동로봇) 또는 동등 이상. 한 팔 단독으로 기어 조립 작업을 수행할 수 있어야 함 | 제안자는 로봇 모델, 제어 주기, workspace, payload 를 제시 |

| 항목 | 기준 요구사항 | 비고 |
|---|---|---|
| 그리퍼 | 2 지 전동 그리퍼. 기어 파지·이송·삽입·치합 작업에 적합하고 개폐 상태 및 command logging 가능 | 툴팁 F/T sensor 장착 구조 제시 |
| F/T sensor | 손목 F/T sensor 1 식 이상 및 그리퍼 툴팁 다축 F/T sensor. 힘·토크 raw data 제공 | 정격, sampling rate 제시 |
| Wrist camera | 손목 RGB camera 3 식 이상. 근접 조작 및 파지 물체 자세 관찰이 가능한 시점 포함 | RealSense D405/D435 급 또는 동등 이상 참조. 근접 조작 특성상 depth 신뢰도가 낮으므로 depth 제공은 필수로 하지 않으며, 접촉 정보는 툴팁·손목 F/T 데이터로 확보한다 |
| Head/third-person camera | head 또는 외부 시점 RGB camera 1 식 이상 | RealSense D435 급 또는 동등 이상 참조 |
| Teleoperation | 한 팔 leader-follower, GELLO-class leader-arm, VR, exoskeleton 등 | 핵심 데이터는 실제 로봇 state/action 과 연결되어야 함 |
| 데이터 로깅 | 멀티카메라 영상, robot state, action, gripper, 손목·툴팁 F/T, 접촉력 표현 이미지, annotation 을 저장할 수 있는 PC/서버 및 storage | |
| 작업셀·fixture·부품 | 기어 조립 태스크 수행을 위한 작업대, task board, 축(shaft) 고정 fixture, 기어 부품, 부품 초기 위치함 등 반복 수집 가능한 물리 환경 구성 | |

## 5.2 데이터 수집 방식

데이터 수집은 실제 로봇 기반 demonstration 으로 수행하여야 한다. human/UMI 보조 수집은 기본 수량과 별도로 제안할 수 있으나 기본 검수 수량에는 산입하지 않는다.

| 데이터 유형 | 정의 | 필수 라벨 |
|---|---|---|
| Demonstration | 숙련 operator 가 teleoperation 또는 동등 방식으로 성공 수행한 실로봇 조작 episode | demo, success, operator_id/pseudonym, task/subtask |
| Failure episode | 실패 원인을 분석하기 위해 보존하는 실패 또는 불완전 episode | terminal state, safety flag |
| Human/UMI auxiliary (선택) | 사람 동작, handheld device, UMI-like 방식으로 수집한 보조 데이터 | source type, retargeting 여부, action 생성 방식 |

**데이터 유형 비율 기준**

기본 검수 수량은 100% 실제 로봇 state/action 을 포함하는 실로봇 demonstration 또는 rollout 이어야 한다. human/UMI auxiliary 데이터는 기본 수량에 산입하지 않으며, 보조 자료로 제출하는 경우 데이터 유형을 구분하여 라벨링한다.

## 5.3 기어 조립 태스크 설계

기준 태스크는 제조 조립 공정의 기어 조립을 모사하는 부품 기반 한 팔 접촉 조립 작업으로 한다. task board 에 사전 고정된 축(shaft)에 기어를 삽입하고 인접 기어와의 치합(맞물림)을 완성하는 작업을 기본으로 하며, 국내 구매 가능한 기어 및 조립 부품, fixture, 부품 초기 위치함 등을 사용하여 반복 가능하고 공개 데이터셋 가치가 있는 task 를 구성할 수 있다.

| 항목 | 요구사항 |
|---|---|
| 태스크 구조 | 서로 다른 기어 구성을 갖는 2 개 이상의 high-level task 를 정의하고, 전체 과업 기준 최소 4 개 이상의 |

| 항목 | 요구사항 |
|---|---|
| | subtask 를 포함한다. 예: 기어 탐색/접근, grasp, 이송, 축 정렬·삽입, 치합, 확인 동작. |
| 부품 구성 | high-level task 별 복수의 기어로 구성하며, 모든 기어의 조립 완료 시 기어 간 치합이 성립하도록 구성한다. |
| 공차와 난이도 | 축-기어 보어 간 끼워맞춤과 기어 위상 정렬이 요구되는 접촉 기반 조립을 대상으로 한다. 삽입·치합 과정의 접촉력이 손목·툴팁 F/T 데이터로 관찰되어야 하며, 과도한 접촉력 및 충돌에 대한 안전 리스크를 관리하여야 한다. |
| Variation | 기어 초기 위치와 함께 기어 구조 종류·기어 크기를 포함하여 3 종 이상의 variation 축을 정의한다. 접촉 조작 학습에 대한 기여도가 낮은 색상 등 외형 변주는 기본 축으로 산입하지 않는다. 각 축의 수준과 범위는 상세설계 단계에서 발주기관과 확정한다. |
| 성공 기준 | episode 종료 시 대상 기어가 모두 지정 축에 삽입되고 인접 기어와 치합된 상태이며, 안전 이벤트 없이 완료된 경우 성공으로 본다. 정량 기준(삽입 깊이, 치합·회전 전달 여부 등)은 상세설계 단계에서 발주기관과 확정한다. |
| 실패 기준 | grasp miss, slip/drop, wrong part, 축 삽입 실패, 치합 실패(jamming 포함), timeout, collision/safety stop, task sequence violation, excessive intervention 등을 실패로 정의하고 라벨링한다. |
| 공개성 | 저작권·영업비밀·개인정보 문제가 없는 부품과 환경을 사용하여 공개 연구 데이터셋으로 배포 가능하도록 설계한다. |

### 5.4 데이터 schema 및 포맷

최종 데이터셋은 LeRobot v3.0 호환 또는 발주기관이 승인한 로봇 데이터셋 포맷으로 제공하여야 한다. 공개 포맷에서 손실될 수 있는 원천 정보는 raw archive 와 metadata 확장 파일로 보존하여야 한다.

| 구분 | 필수 요구사항 |
|---|---|
| 원천 보존 | raw sensor stream, robot log, 손목·툴팁 F/T log, annotation, manifest 를 재처리 가능한 구조로 보존 |
| 공개 포맷 | LeRobot 호환 dataset package, dataset card, README, 제공 |
| 식별자 체계 | episode_id, task_id, subtask_id, object_id, layout_id, operator/session_id, collection_date, data_version |
| 로봇 상태 | joint position/velocity/effort 또는 torque, end-effector pose, gripper state, action command |
| 멀티모달 센서 | head 또는 외부 시점 RGB image, wrist RGB image(3 시점 이상), 손목·툴팁 F/T data |
| 접촉력 표현 이미지 | 데이터셋에 포함된 영상과 동일한 주기로 각 영상 frame 에 대응하는 접촉력 표현 이미지를 생성·제공. 접촉 발생 위치 등 접촉 정보를 영상 좌표계에 표시해야 함. 대상 시점과 표현 방식은 상세설계 시 발주기관과 확정 |
| Annotation | task/subtask language annotation, success/failure |
| 버전관리 | raw/cleaned/annotated/released dataset version, 검수 version |

## 6. 데이터 수량 및 검수 기준

### 6.1 최소 데이터 수량 기준

아래 기준은 가격 산정 및 검수를 위한 최소 기준이다. 본 용역의 episode 는 단위 동작이 아닌 high-level task 전체 조립 완료를 1 건으로 산정하므로, 제안자는 태스크 난이도, episode 길이, episode 당 단위작업 수, 장비 구성, 수집 방식에 따라 발주기관과 협의하여 수량 기준을 조정하거나 동등 환산 기준을 제안할 수 있다.

| 항목 | 최소 기준 | 설명 |
|---|---|---|
| High-level task | 2 개 이상 | 기어 조립 태스크 기준 |
| Subtask | 4 개 이상 | task/subtask boundary 와 language annotation 제공 |

| 항목 | 최소 기준 | 설명 |
|---|---|---|
| Variation 축 | 3 종 이상 | 기어 초기 위치·기어 구조 종류·기어 크기 등. 색상 등 외형 변주는 기본 축으로 산입하지 않음 |
| Valid episode | 800 건 이상 | high-level task 별 400 건 이상. 1 episode 는 해당 task 의 전체 기어 조립 완료까지를 1 건으로 하며, 검수 통과 및 metadata/annotation 완료 episode 기준. episode 길이 및 episode 당 단위작업 수에 따라 발주기관과 협의하여 조정 가능 |
| 성공 demonstration | Valid episode 의 85% 이상 | 학습에 활용 가능한 성공 episode |
| 실패 episode | Valid episode 의 10% 이상 15% 이하 | 실패 유형 보존용. 실패 상황에 대한 유형 분류(라벨링)를 포함한다. 안전상 불가 시 사유와 대체 지표 제시 |
| 접촉력 표현 이미지 | 대상 영상 frame 과 1:1 대응 | 대상 시점 영상과 동일 주기로 생성, 대응 frame 누락 없음 |
| 검증/평가 episode | Valid episode 의 10% 이상 | 검증용 episode |

## 6.2 데이터 수집 조건

| 항목 | 요구사항 |
|---|---|
| Frame rate | 영상은 RGB 30fps 기준으로 수집·제공한다. 다른 frame rate 를 사용하는 경우 학습 활용성, 저장 용량을 설명하고 발주기관 승인을 받아야 한다. |
| Robot state/action | 30Hz 이상을 기준으로 한다. 발주기관과 협의 가능하다. |
| F/T data | 손목·툴팁 F/T sensor 는 사용 센서가 지원하는 최대 샘플링 레이트로 수집·보존한다. 제안자는 사용 예정 센서의 모델명과 최대 샘플링 레이트를 제안서에 제시하여야 한다. |
| Data loss | 결측 frame, 불완전 episode, sensor dropout 은 검출하고 기록한다. |

## 6.3 검수 원칙

- 본 용역의 검수는 데이터의 누락·결손 여부를 자동으로 확인하는 수준을 기본으로 한다. 수행기관은 필수 스트림·접촉력 표현 이미지·annotation 의 누락과 함께 스트림 간 동기화 오차 및 F/T 이상치를 검출하는 검수 스크립트를 제공하고, 그 결과를 리포트로 정리한다.

# 7. 산출물 및 납품 형식

## 7.1 산출물 목록

| 구분 | 산출물 | 납품 형식 | 검수 기준 |
|---|---|---|---|
| D1 | 착수계획서 및 상세 일정표 | PDF/DOCX | 계약 후 7 일 이내 제출, 역할·일정·위험관리 포함 |
| D2 | Task 설계서 및 부품 BOM | PDF/DOCX, 사진/CAD/도면 가능 | 기어·축·fixture·부품 초기 위치함, variation, 성공·실패 기준 포함 |
| D3 | 데이터 수집 및 하드웨어 환경 구성 문서 | PDF/DOCX | 로봇, gripper, 손목·툴팁 F/T, camera, logging, safety 계획과 하드웨어 포함. 동기화 오차 측정 결과, 카메라 캘리브레이션 및 좌표계(TF) 문서 포함 |
| D4 | 데이터 파이프라인 | Git repository | 수집/변환/검수 관련 코드와 README 제공 |

| 구분 | 산출물 | 납품 형식 | 검수 기준 |
|---|---|---|---|
| | 코드 | 또는 압축파일 | |
| D5 | Raw dataset archive | 저장매체 또는 보안 전송 | 원천 로그, 영상, sensor 등 포함 |
| D6 | Cleaned/validated dataset | LeRobot 호환 package 및 확장 metadata | 최소 수량·품질 기준 충족, train/val/test split 포함 |
| D7 | 데이터 검수(누락 확인) 리포트 | PDF/DOCX, CSV/JSON | episode validity, annotation 누락 포함 |
| D8 | 데이터셋 패키징 자료 | dataset card, README, sample loader, license draft | Hugging Face/GitHub 공개 준비 가능 수준 |
| D9 | 최종보고서 및 인수인계 자료 | PDF/DOCX, 발표자료 | 전체 산출물 요약, 운영 매뉴얼, 후속 확장 로드맵 포함 |
| D10 | 하드웨어 환경 구성·운영 보고서 및 인계 목록 | PDF/DOCX 및 XLSX 가능 | 장비별 모델·수량·용도 등 하드웨어 재구성 기준. 인계 품목의 모델·수량·시리얼과 발주기관 시설 시운전 결과 포함 |

## 7.2 데이터 납품 구조

수행기관은 raw, cleaned, released 세 계층을 구분하여 납품하여야 한다. 예시 directory 구조는 다음과 같다.

```
/dataset_project/
  00_docs/              # protocol, schema, dataset card, checks report
  01_raw/               # raw camera/robot/F/T logs, session manifests
  02_cleaned/           # validated episode data
  03_released_lerobot/  # LeRobot-compatible release package
  04_annotations/       # task/subtask/failure labels
  05_splits/            # train/val/test split and leakage checks
  06_checks/            # checks scripts, results, reports
```

## 7.3 공개·배포 준비

- 공개 데이터셋 패키지는 Hugging Face Dataset 또는 이에 준하는 공개 연구 플랫폼에 업로드 가능한 구조로 정리한다. 실제 공개 시점과 공개 범위는 발주기관이 최종 결정한다.
- GitHub 공개용 README, 환경설치 방법 등을 제공한다.
- dataset card 에는 데이터 수집 환경, sensor 구성, task 정의, limitations, license draft, citation draft, ethical/safety note 를 포함한다.
- 얼굴, 개인정보, 제 3 자 영업비밀, 저작권 제한 자료가 포함되지 않도록 수집 환경과 공개 범위를 설계한다.

# 8. 추진 일정 및 보고체계

## 8.1 추진 일정(안)

| 단계 | 기간 | 주요 내용 | 주요 산출 |
|---|---|---|---|
| 착수 | 계약 후 1 주 이내 | 착수회의, 과업 세부범위·장비·인력·일정 확정, 하드웨어 비용·소유권·사용권 기준 확정 | D1 |
| 상세 설계 | 착수 직후 | task/BOM/fixture, data schema, 접촉력 표현 이미지 정의, 검수 기준, 파이프라인 설계 | D2, D3 초안 |
| 수집환경 구축·파일럿 | 상세 설계 후 | robot/sensor/teleop/logging 통합, 하드웨어 환경 구성·검수, pilot 20 episode 이상 | 파일럿 data, 검수 결과 |
| 본 수집 1 차 | 파일럿 완료 후 | core demonstration data 수집, annotation, 검수 반복 | 중간 dataset, 중간보고 |
| 본 수집 2 차·정제 | 본 수집 1 차 후 | target 수량 확보, cleaned dataset, release package 구성 | D5, D6, D7 |
| 최종 납품 | 2026. 12. 22.까지 | 최종보고, 하드웨어·코드·데이터 인수인계, 발주기관 시설 세팅·시운전, 검수 대응 | D4~D10 최종본 |

## 8.2 보고체계

- 착수보고: 계약 후 7 일 이내. 상세 수행계획, risk register, 산출물 목록, 일정표 제출.
- 중간점검: 파일럿 종료 시 샘플 episode, 동기화 오차, 접촉력 표현 이미지 결과를 공유한다(온라인 가능).
- 최종보고: 모든 산출물, 데이터 통계, 검수 결과, 공개 패키지 점검.
- 필요 시 발주기관은 현장 또는 온라인 점검, sample episode 재생, 검수 결과 시연, loader 실행 시연을 요청할 수 있다.

# 9. 제안서 작성 및 제출 요구사항

## 9.1 제안서 기본 원칙

- 제안자는 본 제안요청서의 최소 요구사항을 모두 충족하는 수행방안을 제시하여야 한다.
- 제안서에는 장비 구성, 수집 방식, data schema, 검수, annotation, 인력, 일정, 산출물, 가격 산출 전제가 서로 일관되게 제시되어야 한다.
- 제안자가 동등 이상 대체 장비·포맷·수집 방식을 제안하는 경우, 기준 사양과의 차이, 장단점, 가격 영향, 검수 가능성을 명확히 설명하여야 한다.
- 제안서에 포함된 추가 제안은 사업예산 범위 내에서 수행 가능한 내용이어야 하며, 기본 과업 수행을 저해하지 않아야 한다.

## 9.2 제안서에 반드시 포함할 사항

| 번호 | 항목 | 작성 내용 |
|---|---|---|
| 1 | 과업 이해도 | Physical AI 데이터 수집·구축 파이프라인에 대한 이해, 본 과업의 핵심 리스크와 해결 방향 |
| 2 | 수행기관 역량 | 참여인력(로봇 데이터 수집 경험 포함), 역할분담, 보유/활용 가능 장비 |
| 3 | 태스크 설계 | 기어 조립 task, 부품·fixture·variation, 성공/실패 기준 |
| 4 | 수집환경 구성 | 로봇, gripper, 손목·툴팁 F/T, cameras, teleop, logging PC, safety, facility 등 |
| 5 | 데이터 파이프라인 | 수집, 정제, schema, 검수(누락 확인), versioning, loader, release workflow 등 |
| 6 | 데이터 수량 계획 | episode 수, 시간, frame 수, 검수 통과율, 수집 인력 운영 계획 |

| 번호 | 항목 | 작성 내용 |
|---|---|---|
| 7 | 데이터 검수 | 데이터 누락·결손 자동 확인 항목, annotation 누락 점검 |
| 8 | 산출물·일정 | deliverable 별 제출 시기, 검수 방법, 인수인계 계획 |
| 9 | 보안·IP·공개 | 데이터 권리, 공개 가능성, 개인정보/저작권 관리, 오픈소스 라이선스 |
| 10 | 가격 산출 전제 | 인건비, 로봇/시설 사용료, 하드웨어 구매·임차·사용료, 장비·소모품, annotation, compute, 문서화, 기타 직접비 구분 등 |
| 11 | 하드웨어 환경 구성 | 하드웨어 구성 |

# 10. 평가 방법 및 배점

본 용역은 협상에 의한 계약 방식을 전제로 하며, 기술능력평가와 입찰가격평가를 합산하여 협상대상자를 결정한다. 세부 절차는 입찰공고문 및 서울대학교 산학협력단 안내에 따른다.

## 10.1 평가 배점 총괄

| 구분 | 배점 | 평가 내용 |
|---|---|---|
| 기술능력평가 | 80 점 | 정성평가 80 점 |
| 입찰가격평가 | 20 점 | 입찰가격 평점 산식은 입찰공고문 및 관련 기준에 따름 |
| 합계 | 100 점 | 기술능력평가와 가격평가 합산 |

## 10.2 기술능력평가 세부 배점(안)

| 평가영역 | 세부 항목 | 배점 | 평가 관점 |
|---|---|---|---|
| 정성평가 | 참여인력 전문성 | 15 | 로봇제어, 데이터 엔지니어링, ML/robot learning, annotation/검수 담당자 역량 |
| 정성평가 | 수행 기반 및 안정성 | 10 | 실제 환경을 모사한 로봇 활용 훈련장 보유·활용 가능성, 하드웨어 확보 및 비용 산출 근거, 사업수행 안정성, 일정 대응력 |
| 정성평가 | 과업 이해도 및 추진전략 | 11 | 데이터 수집이 아닌 데이터 수집·구축 파이프라인 확보라는 목표 이해도 |
| 정성평가 | 태스크 설계 및 수집환경 구성 | 11 | 기어 조립 task, 로봇팔, 2 지 그리퍼, 손목·툴팁 F/T, 멀티카메라, teleop, 하드웨어 환경 구성·운영 계획의 구체성 |
| 정성평가 | 데이터 파이프라인 설계 | 11 | 수집-정제-schema-검수-versioning-release workflow 의 완결성 |
| 정성평가 | 데이터 표준화 및 공개 패키징 | 11 | LeRobot 호환성, raw 보존, metadata, dataset card, GitHub/Hugging Face 준비성 |
| 정성평가 | 데이터 검수 및 annotation | 11 | 데이터 누락·결손 자동 확인, language annotation |

## 10.3 협상 및 제안 발표

- 제안평가위원회는 필요 시 제안발표 또는 온라인 질의응답을 실시할 수 있다.
- 제안자는 제안발표에서 sample pipeline architecture, 수집환경 구성도, 데이터 schema 예시, 접촉력 표현 이미지 예시, 검수(누락 확인) 항목을 설명할 수 있어야 한다.
- 협상 과정에서 발주기관은 제안 내용의 범위, 산출물, 데이터 수량, 일정, 가격 산출 내역을 조정할 수 있다.

# 11. 계약·보안·지식재산권 관련 요구사항

## 11.1 데이터 및 산출물 권리

- 본 용역으로 수집·생성·정제된 원천 데이터, annotation, metadata, 검수 결과, 공개 패키지, 보고서 등 산출물은 발주기관의 연구·교육·공개·2 차가공·학습·평가·배포 목적 활용이 가능하여야 한다.
- 수행기관이 기존에 보유한 범용 tool, library, platform, proprietary module 은 사전 보유 IP 로 인정될 수 있으나, 본 용역 산출물의 재현·검수·공개에 필요한 범위의 사용권과 실행 환경(코드 환경)을 제공하여야 한다.
- 공개 예정 코드와 데이터에 포함되는 오픈소스 라이선스, 제 3 자 저작권, 모델 라이선스, 데이터 라이선스는 수행기관이 사전에 검토하고 발주기관에 고지하여야 한다.
- 최종 공개 여부, 공개 시점, 공개 범위, citation, license 문구는 발주기관이 최종 결정한다.
- 인계 대상 하드웨어의 소유권은 인계 시 발주기관에 귀속되며, 수행기관은 해당 하드웨어의 도면·펌웨어 설정·드라이버 정보를 함께 제공한다.

## 11.2 보안 및 개인정보

- 수행기관은 과업 수행 중 취득한 발주기관의 미공개 정보, 연구자료, 계정, 장비 접근정보를 제 3 자에게 공개하거나 목적 외로 사용하여서는 안 된다.
- 데이터 수집 환경에는 원칙적으로 식별 가능한 인물 얼굴, 개인정보, 제 3 자 영업비밀, 비공개 산업공정 정보가 포함되지 않도록 한다.
- 수행기관이 해외 시설 또는 외주 annotation/검수 인력을 활용하는 경우 데이터 이전·접근·보안관리 방안을 제안서에 명시해야 한다.

## 11.3 하자보완 및 유지지원

- 최종 검수 후 30 일 이내 발견되는 산출물 누락, 코드 실행 오류, metadata 결함, 공개 패키지 오류는 수행기관이 무상 보완한다.
- 수행기관은 인수인계 후 발주기관 담당자가 loader 와 검수 script 를 실행할 수 있도록 1 회 이상의 온라인 기술지원 세션을 제공한다.
- 하자보완 범위는 계약 산출물의 재현성·무결성 확보에 한하며, 발주기관의 신규 과업 또는 추가 데이터 수집 요청은 별도 협의 대상으로 한다.

## 11.4 대금 지급

- 계약금액의 50%는 선금으로, 나머지 50%는 잔금으로 지급한다.
- 선금은 계약 체결 후 수행기관이 청구하는 경우 지급하며, 수행기관은 청구 시 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령 제 37 조제 2 항에 따른 보증서 등(선금 보증보험증권 등)과 선금 사용 및 반환 조건 이행 확약서를 제출하여야 한다.
- 잔금은 과업 완료 후 발주기관의 최종 검수를 마친 뒤 수행기관의 청구에 따라 지급한다.
- 선금의 사용·정산·반환 등 이 요청서에서 정하지 않은 사항은 일반용역계약특수조건 및 정부 입찰·계약 집행기준에 따른다.

# 붙임 1. 제안서 목차(안)

I. 제안 개요

1. 제안 목적 및 범위 이해
2. Physical AI 데이터 수집·구축 파이프라인 추진전략

II. 수행기관 일반 현황

1. 기관/기업 개요
2. 보유 장비·시설·인력 현황

III. 기술 제안

1. 기어 조립 태스크 설계안
2. 로봇·그리퍼·센서·teleop 구성안
3. 데이터 수집 계획 및 throughput 산정
4. 데이터 schema 및 LeRobot 호환 계획
5. 정제·검수·annotation 계획
6. 공개 데이터셋 패키징 계획

IV. 사업관리 계획

1. 조직 및 인력 투입계획
2. 일정 및 milestone

V. 산출물 및 인수인계 계획

VI. 가격 산출 전제 및 세부 산출내역(하드웨어 환경 별도 항목 포함)

# 붙임 2. 데이터 필드 목록(안)

| 분류 | 필드 예시 |
|---|---|
| Episode metadata | episode_id, task_id, subtask_id, collection_date, session_id, operator_id/pseudonym, data_version, split |
| Task metadata | task_name, instruction, subtask_sequence, object_list, layout_id, variation_id, success_criteria |
| Robot state | joint_position, joint_velocity, joint_effort, ee_pose, ee_velocity |
| Action | action_type, target_pose, delta_pose, gripper_command, teleop_command, policy_command |
| Gripper | gripper_width, gripper_force/current, open_close_state, contact flag if available |
| F/T | wrist_force_xyz, wrist_torque_xyz, tooltip_force_xyz, tooltip_torque_xyz |
| Vision | camera_id, rgb_frame, contact_image_frame, resolution, frame_rate |
| Annotation | task_label, subtask_label, natural_language_instruction, success/failure, failure_mode |
| Quality | valid_flag, dropped_frame_count, missing_field, validation_error |

# 붙임 3. 산출물 검수 체크리스트

| 검수 항목 | 확인 내용 | 판정 |
|---|---|---|
| Task 설계 | 기어/축/BOM/fixture/variation/성공·실패 기준이 문서화되었는가 | 적합/보완 |

| 검수 항목 | 확인 내용 | 판정 |
|---|---|---|
| 수집환경 | 로봇, 그리퍼, 손목·툴팁 F/T, camera, teleop, logging, safety 구성 문서가 있고, 하드웨어 포함/제외·소유권·사용료 기준이 명시되었는가 | 적합/보완 |
| 하드웨어 구성 | 데이터 획득한 하드웨어의 재현성이 잘 명시되었는지 | 적합/보완 |
| 수량 | valid episode, 성공 demo, 실패 episode, 유효 시간, frame 수가 최소 기준을 충족하는가 | 적합/보완 |
| Schema | LeRobot 호환 package, raw archive 가 모두 제공되었는가 | 적합/보완 |
| Annotation | task/subtask/language/success/failure 가 누락 없이 제공되었는가 | 적합/보완 |
| 검수 스크립트 | 데이터 누락·결손 자동 확인 script 가 실행 가능하고 결함 episode 추적이 가능한가 | 적합/보완 |
| Loader | sample loader 가 무작위 episode 를 정상 로드하고 visualization 가능 예시가 있는가 | 적합/보완 |
| 공개 패키지 | dataset card, README, license draft, GitHub/Hugging Face 공개 준비자료가 있는가 | 적합/보완 |
| 인수인계 | 운영 매뉴얼과 인수인계 세션이 완료되었는가 | 적합/보완 |

# 붙임 4. 참고 레퍼런스

아래 자료는 태스크 컨셉, 장비 구성, 센서 시점, 공개 데이터 포맷을 이해하기 위한 참고자료이며, 특정 제조사·기관·제품을 지정하는 조건이 아니다. 제안자는 동등 이상 또는 대체 가능한 구성을 제안할 수 있다.

| 구분 | 참고 URL |
|---|---|
| 조립 태스크 보드 참고(NIST Assembly Task Board) | https://www.nist.gov/el/intelligent-systems-division-73500/robotic-grasping-and-manipulation-assembly/assembly |
| LeRobot v3.0 데이터셋 포맷 참고 | https://huggingface.co/docs/lerobot/lerobot-dataset-v3 |
| LeRobot 공개 로봇 데이터셋 및 센서 시점 참고 | https://huggingface.co/spaces/lerobot/robot-folding#sensors |