

제 안 요 청 서

라온가속기 활용한 중이온 SEE 시험 기술용역

2026. 6

위성우주탐사연구소
위성우주탐사제품보증실
한 국 항 공 우 주 연 구 원

1. 배경 및 목적

본 기술용역은 라온가속기와 코브라 장치를 활용하여 우주용 반도체의 단일사건효과를 국내에서 평가할 수 있는 시험기반을 마련하고, 해외 중이온 시험시설 데이터와의 비교를 통해 시험결과의 신뢰성을 확인하는 것을 목적으로 함.

당해연도 목표로는 아르곤 중이온의 가속에너지 조절과 2차 중이온 빔 생성을 활용하여 4에서 20 MeV/amu 범위의 1차빔 가속 조건하에서, 한국항공우주연구원이 지정하는 4종의 소자에 대한 국내/외 중이온 SEE시험데이터를 확보하여 국내 가속기의 SEE 시험결과와 해외 가속기를 활용한 시험결과를 비교 검증하는 내용을 포함함.

2026년 라온 빔 요청 자료에는 에스램을 대상으로 40Ar, 4·8·12·16·20 MeV/u 조건, 셋업 16시간, 빔타임 80시간, 대기 중 조사 방식, 플럭스 10^3 에서 10^4 ions/cm²·s 수준의 운용계획이 제시되어 있으며, 본 기술용역은 이러한 연구수행계획을 실제 시험수행 체계로 구체화하기 위한 것임.

이에 따라 본 기술용역은 외부 시험기관이 라온 시험과 해외 시험을 연계하여 시료 준비, 시험보드 및 치구 준비, 소자 구동, 오류 검출, 시험 수행, 결과 정리, 현장지원, 최종 보고서 작성까지 일괄 수행하도록 하기 위한 것임.

1.3 과업개요

본 기술용역은 우주용 반도체 중이온시험평가 수행을 목적으로 하며, 계약업체는 다음 업무를 수행하여야 함.

가. 항우연이 지정한 반도체 소자에 대한 라온 중이온 시험 수행
(보드제작 및 소자구매 포함)

나. 동일 소자 또는 비교 가능한 형상에 대한 해외 중이온 시험 수행

다. 소자별 시험계획서, 시험절차서, 보드 구동계획, 오류 검출방안 작성

라. 시험 중 원시 데이터, 빔 정보, 전원 인가 조건, 동작 오류, 이상현상 기록

마. 2026년 라온 중이온 가속기 시험기간 중 현장지원 수행

바. 결과보고서 및 종합보고서 작성

2. 시험 대상 반도체 부품 및 세부과업 내용

2.1 TPS73601 소자 중이온 시험

가. 목적

TPS73601 소자에 대하여 중이온 조사 시 발생하는 SET 특성을 확인함.

나. 수행내용

라온가속기를 활용한 중이온 시험 수행

해외 중이온 가속기 시설을 활용한 비교시험 수행

소자 구동조건, 부하조건, 출력 모니터링 방법, 트리거 조건, 오류 판정 기준 수립
LET 변화에 따른 SET 발생 여부, 발생 빈도, 파형 진폭, 파형 폭, 임계 경향 분석
라온 시험결과와 해외 시험결과의 비교 분석

다. 특기사항

온라인에 공개 된 TPS73601 시험보고서에서는 최대 LET 58.72까지 파괴성 사건은 관찰되지 않았고, 부하전류가 증가할수록 SET 민감도가 커지는 경향이 확인되었으며, 250 mA 부하에서는 LETth가 2 미만 수준으로 보고됨. 또한 100 mA 조건에서는 수 마이크로초 수준의 과도응답이, 250 mA 조건에서는 훨씬 긴 과도응답이 관찰되었으므로, 계약업체는 이러한 공개된 결과를 참고하여 민감도를 충분히 확인할 수 있는 시험조건과 검출회로를 제안서에 포함하여야 함.

라. 트랜지스터 및 상부 단면 사진확보 및 두께측정, 디캠이후의 칩 마킹 비롯한 칩 이미지 확보

2.2 LM2991 소자 중이온 시험

가. 목적

LM2991 소자에 대하여 중이온 조사 시 발생할 수 있는 SEL 여부를 확인함.

나. 수행내용

라온가속기를 활용한 중이온 시험 수행

해외 중이온 가속기 시설을 활용한 비교시험 수행

입력전류, 출력전압, 소자 온도, 온오프 제어 상태를 감시할 수 있는 시험보드 및 계측계 구성

SEL 발생 여부, 전류 상승 특성, 복구 가능 여부, 전원 차단 조건, 시험 후 전기적 건전성 확인

라온 시험결과와 해외 시험결과의 비교 분석

다. 특기사항

LM2991은 최대 1 A급의 음전압 조정형 저강하 전압조정기이며, 내부 전류 제한, 열 차단, 온오프 입력 기능을 가짐. 또한 출력 안정성 확보를 위해 입력 및 출력 커패시터와 기판 배치가 중요하고, 온오프 핀은 부동 상태로 두지 않아야 하므로, 계약업체는 이러한 소자 특성을 반영한 보드 설계, 전류 감시, 보호회로, 복구 절차를 제안서에 포함하여야 함.

라. 트랜지스터 및 상부 단면 사진확보 및 두께측정, 디캡이후의 칩 마킹 비롯한 칩 이미지 확보, SEL 발생 위치의 전자현미경 사진 확보

2.3 저 LETth 에스램 선정 및 중이온 시험

가. 목적

계약업체가 LETth가 낮은 임의의 에스램 1종을 선정하여 라온 및 해외 시설에서 중이온 시험을 수행함.

나. 수행내용

저 LETth 에스램 후보 선정

선정 사유, 기존 공개 데이터 유무, 패키지 형상, 공급 가능성, 시험 적합성 제시
라온가속기를 활용한 중이온 시험 수행

해외 중이온 가속기 시설을 활용한 비교시험 수행

단면적 데이터, LET 변화에 따른 오류 경향, 라온과 해외 시험결과의 일치성 분석
향후 비교 기준 소자로 활용 가능한지 검토

다. 시험 면제

해당 에스램 제품에 대하여 신뢰성 있는 중이온 SEE 데이터를 제시할 수 있는 경우, 항우연의 승인을 받아 시험의 전부 또는 일부를 면제할 수 있음. 이 경우 계약업체는 시험시설, 소자 형상, 구동조건, 선형에너지전달 범위, 단면적 결과를 포함한 근거자료를 제출하여야 하며, 항우연 검토 결과 부적합하다고 판단될 경우 계획대로 시험을 수행하여야 함.

라. 특기사항

본 과제의 라온 빔 요청자료는 에스램을 기준 소자로 하여 빔 조건과 운용계획을 수립하고 있으므로, 계약업체는 되도록 기존 해외 특성화 데이터가 존재하고 라온 결과와 직접 비교 가능한 에스램을 우선 선정하여야 함.

마. 트랜지스터 및 상부 단면 사진확보 및 두께측정, 디캡이후의 칩 마킹 비롯한 칩 이미지 확보

2.4 LM4050 소자 중이온 시험

가. 목적

LM4050 전압 기준 소자에 대하여 트리거 펄스 진폭을 낮추어 SET 민감도를 높은 조건에서 라온 및 해외 시설의 중이온 시험을 수행함.

나. 수행내용

소자 구동회로 및 오류 검출회로 검토
트리거 펄스 진폭 저감 방안 수립
민감도 향상 여부를 확인하기 위한 사전 측정 수행
라온가속기를 활용한 중이온 시험 수행
해외 중이온 가속기 시설을 활용한 비교시험 수행

다. 트랜지스터 및 상부 단면 사진확보 및 두께측정, 디캡 이후의 칩 마킹 비롯한 칩 이미지 확보

2.5 2026 년 라온 시험 현장 지원

가. 기간

2026년 9월 29일부터 2026년 10월 9일까지의 평일 09:00부터 18:00까지

나. 수행내용

시료 배치 및 교체 지원
시험보드 구동 및 상태 확인
전원 인가 조건 설정 및 변경 지원
빔 정보 기록
소자 동작 오류, 이상현상, 복구 여부, 재현 여부 기록
시험 중 문제 발생 시 즉시 통보 및 조치 협의
일별 시험일지 작성
시험 종료 후 원시 기록 정리 및 제출

다. 비고

라온 운전일정 또는 빔 운용사정으로 시험일정이 변경되는 경우에는 항우연과 협의하여 동등 수준의 현장지원을 수행하여야 함.

2.6 시험계획 수립 시 참고사항

가. RAON 가속기 1차 빔의 에너지

- 가속에너지 변경에 따라 표면 Si LET는 $6.27 \sim 15 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{mg}$ 로 변경 됨.
- $15 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{mg}$ LET 빔은 가속에너지가 약하여 passivation 구간 진행 시 LET 증가하여 실제 Si active layer에서 약 $16 \sim 17 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{mg}$ 수준 LET 도달

- 60도 tilt 시험 시 2배의 effective LET 범위 발생 ($12.54 \sim 34 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{mg}$)

나. RAON 가속기 2차 빔의 에너지

- Al의 경우 $7 \sim 8 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{mg}$, Ne의 경우 $3 \sim 4 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{mg}$ 수준 LET
- 60도 tilt 시험 시 2배의 effective LET 범위 발생

다. 해외 가속기 빔의 에너지

- 해외 가속기에서는 RAON 가속기에서 발생하는 $3 \sim 18 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{mg}$ 범위의 빔 4종 시험
- 상기 빔을 60도 기울인 빔을 활용하여 effective LET를 $6 \sim 36 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{mg}$ 범위의 빔 4종 시험
- 또한 60도 기울인 빔과 Normal 방향 빔의 SEE 특성 유사성을 확인하기 위하여 Normal 방향에서 26 및 $34 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{mg}$ 에너지 갖는 빔 각각 1종 시험
- 즉 시료의 각 바이어스 조건에서 10종 빔 활용 시험
(저LET 빔 4종 0도, 60도, 고LET 빔 2종 0도)

라. 바이어스 조건 split (국/내외 동일조건)

- SRAM은 적정 구동 조건 1종
- LM2991은 SEL 취약 조건 1종
- TPS73601은 SET 취약 조건 2종
- LM4050은 SET 취약 조건 2종

마. 수행내용

시료 배치 및 교체 지원

시험보드 구동 및 상태 확인

전원 인가 조건 설정 및 변경 지원

빔 정보 기록

소자 동작 오류, 이상현상, 복구 여부, 재현 여부 기록

시험 중 문제 발생 시 즉시 통보 및 조치 협의

일별 시험일지 작성

시험 종료 후 원시 기록 정리 및 제출

바. 비고

라온 운전일정 또는 빔 운용사정으로 시험일정이 변경되는 경우에는 항우연과 협의하여 동등 수준의 현장지원을 수행하여야 함.

3. 시험 수행 원칙

본 기술용역의 시험계획은 중이온 단일사건효과 관련 국제적으로 통용되는 기준을 참고하여 수립하여야 하며, 기본적으로 ESA-ECSS-25100, EIA/JESD57 및 소자별 데이터시트와 기존 공개된 방사선 시험자료를 반영하여야 함. 해외 시험시설은 우주용 또는 군용 부품 중이온 시험 수행 이력이 있는 기관을 우선 활용하여야 함.

라온 시험계획 수립 시에는 40Ar, 4·8·12·16·20 MeV/u 조건, 셋업 16시간, 빔타임 80시간, 플럭스 10^3 에서 10^4 ions/cm²·s 수준, 대기 중 조사 방식, 시료 교체시간 단축을 위한 시험형상이라는 기본 조건을 반영하여야 함. 다만 실제 빔 조건은 라온 운전 상황, 시험 대상 소자의 에러 양상 등에 따라 조정할 수 있음.

계약업체는 소자별로 필요한 시료 수량, 시험 순서, 보드 수량, 예비 시료 수량, 시험 전후 전기적 확인 항목을 제안서에 명시하여야 하며, 모든 시험은 시료 추적성이 확보되는 방식으로 수행하여야 함.

시험 중 기록되는 데이터에는 최소한 시험일시, 소자 식별번호, 빔 종류, 에너지, 선형에너지전달, 플럭스, 플루언스, 입사각, 전원 인가 조건, 전류와 전압, 오류 종류, 오류 횟수, 파형, 비교사항이 포함되어야 함.

4. 제안서 요구사항

입찰기관은 제안서에 최소한 다음 내용을 포함하여야 함.

- 과업 이해도

본 과제의 목적, 라온 시험의 역할, 해외 비교시험의 필요성, 소자별 시험 목적에 대한 이해 내용을 기술하여야 함.

- 시험 수행계획

소자별 시험목적, 시험항목, 구동조건, 측정항목, 판정기준, 시험 순서, 시험 전후 확인방법, 이상현상 대응방안을 포함한 시험계획을 제시하여야 함.

- 시험보드 및 치구 계획

소자별 전원 인가 방식, 부하조건, 검출회로, 보호회로, 데이터 취득 방식, 계측장비 연계 방식, 라온 현장 설치 형상을 제시하여야 함.

- 에스램 선정 계획

후보 소자, 선정 사유, 기존 공개 데이터, 시험 면제 검토 가능 여부, 시료 확보 방안을 포함하여야 함.

- 현장지원 계획

라온 시험기간 동안의 인력 편성, 일별 지원체계, 기록 양식을 제시하여야 함.

- 유사 실적

최근 3년 이내 중이온 시험, 단일사건효과 시험, 우주용 또는 고신뢰성 반도체 시험, 반도체 고장 분석 실적을 증빙자료와 함께 제시하여야 함. 기존 중이온 시험 수행 제안서 평가표에서도 단일사건효과 시험 경험과 반도체 고장 분석 경험을 주요 평가항목으로 두고 있음.

- 운송 및 보관 방안

시료 수령 이후의 포장, 보관, 정전기 보호, 온습도 관리, 시험 후 재보관, 해외 반출입 절차를 제시하여야 함.

- 일정계획

계약 후 시험준비, 보드 제작, 결과 정리, 최종보고까지의 전체 일정을 제시하여야 함. 사업계획서의 연간 수행일정에는 계획수립, 시료구매, 보드 제작과 국내 중이온 시험, 해외 중이온 시험 등을 포함하여 하여 작성하여야 함.

5. 제출물 및 대금지급

2 장의 세부과업 내용을 포함하는 시험결과 보고서가 작성되고 제출되어야 함. 보고서는 한국항공우주연구원에 편집가능한 형태로 전자파일로 USB 1EA 에 담겨서 제출되어야 하며, 3 부의 인쇄물을 제출해야 함.

대금지불 : 시험결과 보고서 납품 승인이후 계약금액 전액을 지급함.

6. 제안서 평가표

평가 분야	세부 평가 항목	배점	평가 내용
과업 이해도 및 추진방안		(65)	
항목 1.	시험 품질관리	10	시험절차서, 품질경영시스템 증빙자료, 시험원의 교육 수준, 장비보유 및 교정, 기관 품질관리시스템에 관한 내용
항목 2.	일정수립 타당성	10	방사선 시험 일정에 대한 타당성
항목 3.	산출물 작성 계획	15	절차서, 시험플로우, 보고서 등 산출물 작성 계획이 체계적이고 구체적인지 확인
항목 4.	시험 기술적 이해도	20	시험항목 선정 내용 등으로부터 판단하였을 때 반도체 방사선 시험에 대한 이해도가 충분한지 판단하여 배점
항목 5.	산출물 관련 세부내용 반영	10	편집가능한 양식 문서제출, 보고서 포함 내용 등 제안요청서의 세부 요구사항 등이 제안서의 보고서 제출계획에 반영되었는지 여부
프로젝트 관리 및 협력 방안		(15)	
항목 6.	보관, 운송, 안전, 보안 관리 계획의 적절성	5	보관, 운송, 안전, 보안 관리 계획의 적절성이 제안서에 구체적이고 적절하게 선언되어 있어야 함

항목 7.	발주기관과의 협업 및 의사소통 계획	10	일정 공유, 이슈사항 보고 등 능동적인 협업 계획
수행 역량		(20)	
항목 8.	참여인력의 전문성 및 구성의 적절성	10	참여인력의 관련 분야 전문성, 경험 및 과업 투입률
항목 9.	재무 건전성	10	안정적인 과업 수행을 위한 재무 상태 ¹⁾
합계		100	

항목별 점수표

(각 항목의 배점 이내에서 소수점 없이 정수로 점수 기입 및 총점기입)

항목 1	항목 2	항목 3	항목 4	항목 5	항목 6	항목 7	항목 8	항목 9	총점

1) 경영상태 세부평가기준

- 입찰 공고일 기준 최근 1년 이내 신용평가 등급에 따라 경영상태 평가

신용평가등급			평가점수	
회사채	기업어음	기업신용평가등급		
AAA, AA+, A0, AA-, A+, A0, A-, BBB+, BBB0	A1, A2+, A20, A2-, A3+, A30	AAA, AA+, AA0, AA-, A+, A0, A-, BBB+, BBB0	10.0	배점의 100%
BBB-, BB+, BB0, BB-	A3-, B+, B0	BBB-, BB+, BB0, BB-	9.5	배점의 95%
B+, B0, B-	B-	B+, B0, B-	9.0	배점의 90%
CCC+ 이하	C 이하	CCC+ 이하	7.0	배점의 70%

* 등급별 평점이 소수점 이하의 숫자가 있는 경우 소수점 다섯째자리에서 반올림 함

[주]

1. 「신용정보의 이용 및 보호에 관한 법률」제2조 제8의3에 해당하는 신용조회사 또는「자본시장과 금융투자업에 관한 법률」제335조의3에 따라 업무를 영위하는 신용평가사가 입찰공고일 이전에 평가하고 유효기간 내에 있는 회사채, 기업어음 및 기업신용평가등급을 국가종합전자조달시스템에 조회된 신용평가등급으로 평가하되, 가장 최근의 신용평가등급으로 평가한다. 다만, 가장 최근의 신용평가등급이 다수가 있으며 그 결과가 서로 다른 경우에는 가장 낮은 등급으로 평가한다.
2. 국가종합전자조달시스템에서 신용평가등급 확인서가 확인되지 않은 경우에는 최저등급으로 평가하며, 유효기간 시작일 또는 만료일이 입찰공고일인 경우에

도 유효한 것으로 평가한다. 다만, 입찰공고일 다음날 이후에 발생 또는 수정된 자료는 평가에서 제외한다.

3. 주 1 에도 불구하고, 합병 또는 분할한 자가 입찰공고일 이전에 평가한 신용평가등급이 없는 경우에는 입찰서 제출 마감일 전일까지 발급된 유효기간 내에 있는 가장 최근의 신용평가등급으로 평가한다. 다만, 합병 후 새로운 신용평가등급이 없는 경우에는 입찰공고일 이전에 평가하고 유효기간 내에 있는 신용평가등급으로서 합병 대상자 중 가장 낮은 신용평가등급을 받은 자의 신용평가등급으로 평가한다.

4. 공동수급체의 경우 구성원별 해당 점수에 지분율을 곱한 후 그 점수들을 합산하여 최종 평가하고, 평가 결과 소수점 이하의 숫자가 있는 경우 소수점 다섯째자리에서 반올림 한다.

(예) (A사 점수×A사 지분율)+(B사 점수×B사 지분율)...

5. 중소기업협동조합이 입찰에 참여하는 경우 중소기업협동조합의 신용평가등급으로 평가한다.