

기술협력생산의 체계공학 적용 방안 연구

김기목*, 손민정
국방기술품질원

A Study on How to Apply System Engineering to Technology Cooperation Production

Ki-Mok Kim*, Minjeong Son
Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 논문은 방위력개선사업의 무기체계 획득방법 중 하나인 기술협력생산의 체계공학 적용 방안에 대해 서술하였다. 기술협력생산은 연구개발사업으로 분류되어 규정상 체계공학을 적용한 사업관리를 수행하여야 하며 사업 특성상 국산화로 인한 규격자료 개정이 예정되어 있어 철저한 요구도 관리가 필요하다. 그러나 일반적인 체계개발사업과 그 절차와 내용이 달라 별도의 체계가 필요하나 현재 규정 또는 매뉴얼 등의 자료가 없어 사업관리에 어려움이 있다. 이에 본 논문에서는 기술협력생산의 표준절차와 특성을 정의하고 그 절차에 맞는 체계공학 적용 방안을 제안하였다. 기술협력생산의 대표적인 특징은 사업 착수 후 바로 시험평가를 수행하고 국산화 후 또 다른 시험평가를 수행한다는 점과 연구개발 사업임에도 양산물량까지 함께 계약되는 경우가 많아 양산에 대한 사업관리도 필요하다는 점이다. 이러한 특징을 고려할 때 국산화에 대한 기술검토를 강화하고 양산단계 진입 전 기술검토를 강화할 필요가 있다. 본 논문에서 체계요구조건/기능검토, 시험준비상태검토 등 5개의 기술검토회의와 체계규격서, 국산화-하드웨어설계기술서 등 6종의 산출물을 체계공학 적용 방안으로 제시하고 각 활동의 수행 근거를 제시하였다. 기술협력생산에 체계공학을 적용하여 보다 체계적인 사업관리와 요구도관리를 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract This paper describes how to apply system engineering to technology cooperation production, which is one of the methods used in defense-capability improvement projects. Technical cooperation production is classified as a research and development project, and according to regulations, project management that applies system engineering principles must be implemented. However, a distinct system for cooperative technology production is required because the process and contents are different from a general system development project. This study defines standard procedures and characteristics of cooperative technology production and proposes system-engineering application plans that are suitable for these procedures. Five technical review meetings, such as system requirements/function review meetings, and six types of outputs including system subsystem specifications are presented. The rationale for each activity is also presented. It is expected that more systematic project management and requirement management can be performed by applying system engineering to technology cooperation production.

Keywords : Technical Cooperation Production, System Engineering, Project Management, Requirement Management, Quality Management

*Corresponding Author : Ki-Mok Kim(Defense Agency for Technology and Quality)

email: km_kim@dtaq.re.kr

Received July 7, 2023

Accepted September 1, 2023

Revised July 26, 2023

Published September 30, 2023

1. 서론

1.1 기술협력생산

기술협력생산은 방위력개선사업의 무기체계 획득 방법 중 하나로 기 개발된 무기체계 또는 구성품 획득을 위하여 외국 원제작업체와 기술협력하여 생산하는 사업이다. 기술협력생산은 국방부 훈령 제2749호('22.12.30.) 국방전력발전업무훈령 제55조와 방위사업청훈령 제798호('23.05.16.) 방위사업관리규정 제5절에 정의되어 있으며 품질보증에 관한 내용은 방위사업청훈령 제794호('23.03.09.) 방위사업 품질관리 규정에 정의되어 있다.

기술협력생산은 무기체계 선행연구결과 국내 기술수준, 해외 기술보유현황 등의 근거로 사업추진기본전략 수립 시 위원회의 심의를 통해 결정되며 국내 기술성숙도(TRL: Technology Readiness Level)가 국내연구개발 기준 미만일 때 활용된다. 이때 국외구매와 기술협력 생산사업 두 가지의 획득방안이 고려되는데 국외구매 대비 기술협력생산의 장점이자 목적은 크게 두 가지로 국내 기술발전 기여와 운용유지 단계 원활함 확보이다. 기술협력생산을 통해 국내 기술성숙도가 낮은 무기체계의 해외 원제작업체와 국내업체의 기술협력을 유도하여 국내 기술성숙도를 높이고 이후 차기 무기체계 개발을 위한 기술을 축적할 수 있으며 국산화율을 높여 국내 산업 발전에 기여할 수 있다. 또한 국내생산이 이뤄지면 무기체계 운용유지 단계에서 원활한 정비 및 부품수급이 가능해지고 이를 통해 총수명주기비용을 절감할 수 있다. 반면 단점은 국외구매대비 전력화에 소요되는 시간이 길며 국산화에 따른 신뢰성 위험요소가 있다. 위의 Table 1은 무기체계 획득절차 별 특성을 비교해 놓은 표이다.

1.2 체계공학

미 국방부는 체계공학을 승인된 운영 요구 사항 및 요구 사항을 운영에 적합한 시스템 블록으로 변환하는 접근 방식으로 정의하며 접근 방식은 요구사항 분석 및 할당, 설계 합성 및 검증, 시스템 분석 및 제어의 하향식 상호 작용 프로세스로 구성된다[1-5]. 체계공학은 설계, 제조, 테스트 및 평가, 제품 지원에 적용되며 그 원칙은 성능, 위험, 비용 및 일정 간의 균형에 영향을 미친다. 방위사업청은 'SE기반 기술검토회의 가이드북'에서 체계공학을 사용자 요구사항으로부터 폐기에 이르는 모든 단계를 수명주기 관점을 고려하여 요구사항을 충족하도록 경제적, 균형적으로 체계를 개발하는 방법론이라 정의한다. 또한 방위력개선사업에서 체계공학 적용은 연구개발 전체 과정 간 관련기관 및 소요군의 다양한 요구사항을 무기체계에 반영 및 확인할 수 있게 하며 보다 효율적인 의사결정과 신뢰성 높은 무기체계를 개발할 수 있게 한다고 서술하였다[6].

1.3 기술협력생산사업 체계공학 적용 필요성

기술협력생산은 국방전력발전업무훈령과 방위사업관리규정에 명확히 연구개발의 한 방법으로 구분되므로 체계공학을 적용한 사업관리가 필수적이다. 그러나 기술협력생산은 탐색개발이나 체계개발과 같은 무기체계 연구개발 절차와 상이하여 체계공학 적용이 어려운 상태이다. 국내 무기체계 연구개발사업에서의 체계공학 적용은 방위사업청의 'SE기반 기술검토회의 가이드북'에 많은 부분 의지하고 있으며 연구개발 간 진행되는 기술검토회의와 연구개발 산출물 또한 가이드북을 따르고 있다. 그러나 방위사업청 'SE기반 기술검토회의 가이드북'에는 기술협력생산에 대한 내용은 기술되어 있지 않아 통합사

Table 1. Characteristics of weapon system acquisition method

Classification	Exploratory / system development	Overseas purchase	Technology cooperation production
Proposal evaluation	R&D procedure	Purchase procedure	R&D procedure
Teat & Evaluation	R&D procedure	Purchase procedure	Purchase procedure
Configuration management	R&D procedure	Purchase procedure	Mass production procedure
Quality management	R&D procedure	Purchase procedure	R&D procedure
System engineering	O	X	O

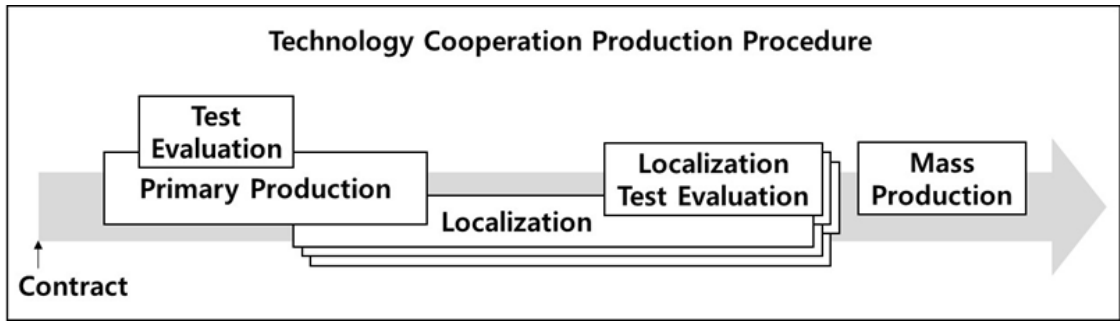


Fig. 1. Technology cooperation production procedure

업관리팀(IPT: Integrated Project Team, 이하 IPT)의 담당자의 재량과 판단 그리고 선례에 의해 운영되고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 기술협력생산 사업의 절차와 체계공학의 기본 원칙과 방법론을 고려하여 기술협력생산 사업의 특성을 정의하고 그에 따라 사업 절차에 적용할 수 있는 체계공학 기반 기술검토회의와 산출물을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 기술협력생산사업 절차

방위력개선사업의 사업추진기본전략과 기술협력생산 기본계획서가 위원회를 통해 수립되어 무기체계 획득방안이 기술협력생산으로 결정되면 IPT는 관련기관의 검토를 받아 제안요청서를 작성한다. 기술협력 제안요청서에 따라 국내업체가 사전협상을 통해 외국업체의 대상기종을 선정하여 제안서를 제출한다. 이때 기술협력생산계획서를 함께 제출한다. IPT는 접수된 제안서를 평가하여 국내업체를 선정하는데 제안서 평가의 절차는 연구개발사업 업체선정절차를 따른다.

제안서 평가를 통해 협상 우선순위가 정해지면 협상을 수행하며 이후 기술협력생산계획서를 위원회 또는 분과 위원회를 통해 확정한다. 이후 국내업체에서 기술협력생산된 시제품으로 시험평가를 수행하여 요구도 충족여부를 판단한다. 시험평가는 국방전력발전업무훈령 제7절 구매시험평가방법을 준용하여 실시한다. 기술협력생산 시험평가는 실물에 의한 시험평가로 수행하며 후반기와 후반기 성능평가는 자료에 의한 평가로 수행하는 것을 원칙으로 한다.

기술협력생산 시험평가 후 전투용적합판정을 받으면 양산단계 형상관리 절차를 준용하여 사업관리를 수행한

다. 기술협력생산계획서의 국산화 계획에 따라 국산화를 수행하며 최종 납품 전까지 국산화를 달성을 목표로 한다. 국산화 횟수와 범위는 사업의 특성과 IPT, 기술협력생산주관기관의 협의 결과에 따라 결정된다. 기술협력생산사업은 양산단계 형상관리를 준용하므로 국산화 절차는 방위사업청훈령 제785호('22.12.30.) 무기체계 부품 국산화개발 관리규정의 양산부품국산화 절차를 따른다.

국산화된 부품이 포함된 제품이 납품되기 전 국산화 절차를 모두 완료하거나 군사용 적합판정을 받아야 한다. 국산화개발 시험평가를 통해 방위사업청 담당 사업부가 국산화 부품의 군사용 적합을 판정한다. 이후 국산화 부품을 적용하여 기술협력생산계획서 상의 국산화를 만족한 제품을 양산하여 소요군에 납품한다. IPT는 기술협력생산계획서 내 규격화 계획 또는 사업관리회의를 통해 사업수행간 규격화를 진행하고 국방기술품질원은 기술협력생산으로 생산된 양산품에 대해서 양산 품질보증 활동을 수행한다. Fig. 1에 일반적인 기술협력생산사업의 계약 이후 주요 업무 절차를 그림으로 표현하였다.

2.2 체계공학 기술검토회의의 절차

방위사업청 IPT가 주관하는 체계공학 기반 기술검토회의는 기본적으로 총 7개의 회의로 구성되며 대부분의 연구개발사업에 적용되어 사업관리에 활용되고 있다. 각 기술검토와 주요 산출물의 명명명과 약어는 Table 2와 같다.

체계공학 기반 기술검토는 연구개발사업의 진행에 따라 체계요구사항검토(SRR), 체계기능검토(SFR), 기본설계검토(PDR), 상세설계검토(CDR), 시험준비상태검토(TRR), 기능적형상확인(FCA), 물리적형상확인(PCA) 순으로 수행한다. 위의 Fig. 2에 기술검토 수행 순서와 각 단계별 주요 산출물을 그림으로 표현하였다. Fig. 2에 각 산출물의 최초 초안 제출 시점과 최종 제출 시점을 상자로 표시하였다. 체계요구사항명세서(SSRS)는 체계요구

사항검토 단계에서 최종본이 제출되며 체계규격서(SSS)는 체계요구사항검토 단계에서 초안이 그리고 체계기능검토 단계에서 최종본이 제출된다. 연동통제문서(ICD)는 타체계 연동기능이 있을 경우 작성되며 체계요구사항검토 단계와 상세설계검토 단계에서 각각 초안과 최종본이 제출된다. 체계/부체계설계기술서(SSDD)와 하드웨어요구사항명세서(HRS), 그리고 소프트웨어요구사항명세서(SRS)는 체계기능검토 단계와 기본설계검토 단계에서 각각 초안과 최종본이 제출된다. 하드웨어설계기술서(HDD), 소프트웨어설계기술서(SDD), 그리고 인터페이스설계기술서(IDD)는 기본설계검토 단계와 상세설계검토 단계에서 각각 초안과 최종본이 제출된다.

Table 2. Key abbreviations : Technical reviews and outputs based on system engineering

Abbreviation	Full name
〈 Technical review 〉	
SRR	System Requirements Review
SFR	System Functional Review
PDR	Preliminary Design Review
CDR	Critical Design Review
TRR	Test Readiness Review
FCA	Functional Configuration Audit
PCA	Physical Configuration Audit
〈 Output 〉	
SSRS	System Subsystem Requirements Specification
SSS	System Subsystem Specification
ICD	Interface Control Document
SSDD	System Subsystem Design Description
HRS	Hardware Requirements Specification
SRS	Software Requirements Specification
HDD	Hardware Design Description
SDD	Software Design Description
IDD	Interface Design Description

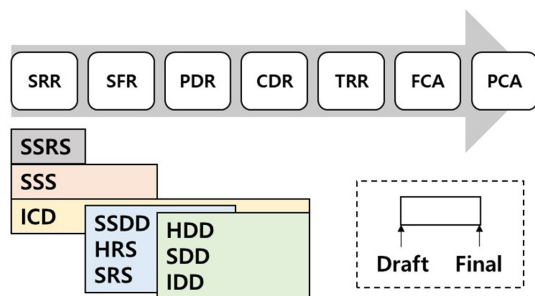


Fig. 2. System engineering based technical review meetings' process and representative outputs

각 산출물들은 문서의 특성에 따라 최종 제출 이후 IPT 주관 형상변경심의를 통해 추가적인 최신화 또는 수정이 가능하다. 위에서 서술한 문서 외에도 사업특성과 IPT, 연구개발주관기관 간 협의에 따라 체계공학 산출물이 추가되거나 제외, 통합될 수 있다.

2.3 기술협력생산사업 체계공학 적용 방안

기술협력생산사업의 절차는 일반적인 연구개발사업과 달라 기존의 절차를 그대로 적용하기엔 무리가 있다. 체계공학 적용 방안 연구에 있어 기술협력생산사업의 주요 특징은 다음과 같다. ① 개발이 완료된 국외업체 제품의 기술자료를 제공받아 생산하므로 하드웨어 설계 과정이 생략된다. ② 사업 진행 간 최소 2회의 시험평가가 예정되어 있다. ③ 국산화로 인해 사업 진행 간 생산자가 변경되는 부품이 다수 있다. ④ 사업시작 이후 바로 시험평가에 착수한다. ⑤ 연구개발사업에서 양산착수 전 수행하는 제조성숙도평가(MRA : Manufacturing Readiness Assessment)와 같이 생산능력을 확인하는 절차가 없다. 이런 특성을 반영하여 기술협력생산의 체계공학 적용 방안을 Fig. 3와 같이 제안한다.

체계공학의 핵심은 사업의 요구사항을 정의하는 것이다. 요구사항을 정의하고 개발사업 초기부터 폐기에 이르는 총수명주기를 모두 고려하여 사업관리를 수행하여야 한다. 따라서 기술협력생산사업 또한 사업 착수 후 시험평가 이전 단계에서 사용자의 요구사항을 식별하고 정리할 필요가 있다. 제안서 단계에서 식별하지 못한 추가적인 성능 및 품질 요구사항들과 국내업체와 국외업체의 기술협력 간 새로 식별된 통제가 필요한 성능지표들을 파악해야한다. 또한 통합체계지원(IPS: Integrated Product Support) 관점의 세부 요구사항들을 시험평가 이전에 식별하고 관리할 필요가 있다. 이 요구도 검토를 위해 기술협력생산사업 착수 후 2개월 이내 또는 시험평가 착수 1개월 이전에 체계요구사항/기능검토(SRR/SFR) 회의를 수행한다. 기존 체계요구사항검토와 체계기능검토를 통합하여 수행하며 기술협력생산주관기관의 제출 필요 산출물은 체계규격서(SSS)와 연동통제문서(ICD)이다. 체계규격서는 제안서와 협상단계 시 식별된 요구도와 체계요구사항/기능검토를 통해 새롭게 식별된 요구도가 규격서의 양식으로 작성되어 무기체계의 통제가 필요한 성능요구조건과 품질요구조건이 포함된다. 체계규격서는 변경사항 발생 시 지속적으로 관리하여 규격화 시 활용될 수 있다. 또한 시험평가 이전에 사업의 요구사항을 정리하는 문서로써 시험평가 기준으로 활용할 수 있다. 연동통

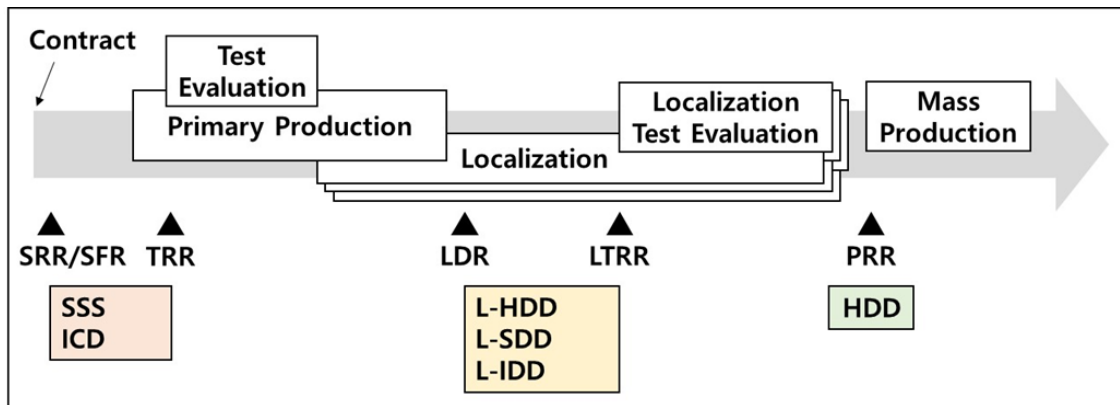


Fig. 3. Implementation plan for system engineering for technology cooperation production

제문서는 타체계 연동기능이 포함된 체계에 한에 작성하며 시험평가 이전까지 완성하여 시험평가 시 기준점을 제시할 수 있도록 한다.

다음 단계는 시험준비상태검토이다. 이 단계에서는 이전 단계에서 작성한 체계규격서와 연동통제문서가 충실히 작성되었는지 검토하고 이를 기반으로 시제품의 시험준비상태를 검토한다. 기술협력생산은 핵심 하드웨어설계가 완료되었으므로 기본설계검토와 상세설계검토의 과정은 생략하거나 간소화하여 시험준비상태검토 단계에서 수행한다. 기존에 개발이 완료된 국외 무기체계에서 설계나 형상이 변경되거나 성능의 변경이 있을 경우 이 내용을 검토하여야 한다. 이후 시험목적, 방법, 절차, 범위, 인력, 자원과 안전에 관한 내용이 포함된 시험계획을 검토하여 사용자 요구사항 만족 여부를 검증할 수 있는지 확인한다.

세 번째 단계는 국산화설계검토(LDR: Localization Design Review) 단계이다. 국산화부품은 항상 품질위협요소로 작용한다. 원제작사의 공정이 아닌 다른 업체의 시설과 인력이 투입되므로 성능과 품질 통제요소의 관리가 필요하다. 국산화설계검토는 국산화 초기단계에서 수행하여 국산화 범위와 방법을 검토하고 원제작사로부터 전달받은 핵심공정과 품질관리계획을 국내제조업체에서 어떻게 수행하고 있는지 검토한다. 국산화설계검토 단계의 산출물로 기술협력생산주관기관은 국산화-하드웨어설계기술서(L-HDD: Localization HDD), 국산화-소프트웨어설계기술서(L-SDD: Localization SDD), 국산화-인터페이스설계기술서(L-IDD: Localization IDD)를 제출하여야 한다.

국산화설계가 완료되면 국산화시험평가를 수행하는데 그전에 국산화-시험준비상태검토(L-TRR : Localization

TRR) 단계를 거친다. L-TRR을 통해 국산화시험평가 이전 해당 시험의 절차와 과정이 적절한지 분석하고 제한 사항을 사전에 파악하여 원활하고 공정한 시험평가를 준비한다. L-TRR 시점까지 LDR 단계에서 제출한 L-HDD, L-SDD, L-IDD를 최신화하여 제출한다.

기술협력생산사업의 마지막 체계공학 기술검토 단계로 생산준비검토(PRR : Production Readiness Review)를 제안한다. 기술협력생산의 사업 범위는 양산을 항상 포함하지만 MRA를 수행하지 않아 양산 및 생산 준비에 대한 검토과정이 없다. 생산준비검토를 통해 생산계획과 생산준비상태를 검토하고 최종 형상이 체계 요구조건을 충족할 수 있는지 평가한다. 추가로 최종 형상과 규격서가 일치하는지 해당 규격에 요구조건이 모두 반영되었는지 검토한다. PRR 수행 시점은 국내생산이 본격적으로 착수되기 전 수행하며 국산화 완료 이후에는 반드시 수행한다. 사업의 생산계획에 따라 점진적, 유동적으로 수행이 필요하다. 사업의 마지막 PRR 수행 전에 확정된 최종 HDD를 제출하여 기술협력 대상 품목의 설계 기술자료를 확보한다.

3. 결론

체계공학을 연구개발사업에 적용하는 가장 큰 목적은 최초 제기된 소요의 요구도와 개발 간 식별된 요구도가 최종 개발품에 올바르게 적용되고 달성되는 것이다. 기술협력생산은 연구개발사업으로 기술수준이 높은 해외의 제품을 국내 도입하여 전력화하고 기술협력을 통해 국산화하여 국내 기업의 기술수준을 높여 궁극적으로 국방전력을 높이는 사업형태이다. 국외구매보다 전력화 시기가

상대적으로 낮고 사업의 위험성 또한 높지만 국내 기술 수준 향상과 운영유지 단계의 부품조달 측면에서 유리하여 앞으로 많은 사업이 기술협력생산으로 수행될 것으로 예상된다. 이를 위해 보다 체계적인 기술협력생산의 사업관리를 위해 체계공학 적용방안을 제시하였다.

기술협력생산 간 국내생산업체가 수행하고 제출해야 할 체계요구조건/기능검토를 비롯한 5단계의 기술검토와 체계규격서 등 6종의 기술자료를 제시하였다. 각 기술검토 수행 시기와 산출물의 제출 시점을 구체화하고 각 활동의 수행 근거를 제시하였다. 기술협력생산의 체계공학 적용 방안 연구를 통해 구체화되지 않은 제도를 정비하고 사업관리의 가이드라인을 제시할 수 있을 것으로 보인다. 또한 이를 통해 기술협력생산의 체계적이고 빈틈없는 사업관리와 요구도관리를 수행하여 국방전력발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Forsberg, Kevin, and Harold Mooz. "The relationship of system engineering to the project cycle." INCOSE international symposium., USA Vol. 1. No. 1. 1991. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/j.2334-5837.1991.tb01484.x>
- [2] Dahmann, Judith S., and Kristen J. Baldwin. "Understanding the current state of US defense systems of systems and the implications for systems engineering." 2008 2nd Annual IEEE Systems Conference. USA, p. 1-7. 2008.
- [3] INCOSE-TP-2003-002-03.2.2, INCOSE Systems Engineering Handbook v. 3.2.2, pp7, 2011
- [4] Benjamin S. Blanchard, System Engineering Management 4th ed., Wiley 2008, pp.45
- [5] James N. Martin, Systems Engineering Guidebook, pp4, 1997
- [6] DAPA., Systems Engineering Technical Review Guidebook, p.135, 2017., p.135

김 기 목(Ki-Mok Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

전자공학, 체계공학

손 민 정(Minjeong Son)

[정회원]



- 2016년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

기계공학, 체계공학