

Decision analysis techniques for establishing a requirements management framework with force support systems ORD based on CMMI-DEV REQM

Park, Chulhyun* · An, Jihun** · Oh, YunJi*** · Seo, Hoseok****

ABSTRACT

This study proposes a novel quantitative analysis framework for establishing a robust requirements management system, specifically designed for Force Support Systems (FSSs), grounded in the Requirements Management (REQM) process area of the CMMI-DEV model. The framework introduces classification criteria that distinguish Key Performance Parameters (KPPs) from System Performance Parameters (SPPs) in Operational Requirements Documents (ORDs) and integrates quantitative decision-making techniques—including CVR, AHP, QFD, and MDS—to enable evidence-based requirement analysis. The proposed framework is systematically mapped to the five specific practices of the CMMI-DEV REQM process area: understanding requirements (SP 1.1), obtaining commitment to requirements (SP 1.2), managing requirements changes (SP 1.3), maintaining bidirectional traceability of requirements (SP 1.4), and ensuring alignment between project work and requirements (SP 1.5). Through these linkages, the framework enhances the structure, prioritization, and consistency of requirements throughout the acquisition lifecycle. Case studies on a training simulator and a next-generation combat uniform verified the quantitative validity of KPP/SPP classification and demonstrate the framework's effectiveness in improving traceability and decision-making in defense acquisition. Overall, the study offers a formalized and practical approach to FSS requirements management, thereby improving the efficiency and reliability of defense acquisition projects.

Keywords : operational requirements document (ORD), key performance parameters (KPPs), system performance parameters (SPPs), capability maturity model integration for development requirements management (CMMI-DEV REQM), decision analysis techniques, requirements management

* (First author) ROK Army (Project Acquisition Group), Project Manager, kmanp@naver.com, <https://orcid.org/0000-0002-5462-6135>.

** (Co-author) Chungnam National University, Department of Defense Management Engineering, Ph.D. Candidate, mars3431@naver.com, <https://orcid.org/0009-0000-8274-9485>.

*** (Co-author) ROK Army (Project Acquisition Group), Project Manager, zeeny77@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-4393-7841>.

**** (Corresponding author) ROK Army, Army, Chief of Project Acquisition Group, hoseok-seo@daum.net, <https://orcid.org/0000-0002-1110-381X>.

I. 서론

군의 전력지원체계는 작전 수행의 직접적 주체가 되는 무기체계와 달리 작전의 지속성과 안정성을 보장하는 지원 장비·물자 전반을 포괄한다(Lee, J. H., 2024). 무기체계는 합동능력통합개발체계(Joint Capabilities Integration and Development System, JCIDS)에 기반한 운용요구서(Operational Requirements Document, ORD)를 통해 핵심과 체계성능을 구분하여 정형화된 요구사항 관리를 수행한다(Lee, J. Y., 2020). 반면에 전력지원체계는 예산, 운용환경, 긴급 소요에 따라 간소화된 획득 프로세스로 진행되어 공식적인 ORD가 작성되지 않는다. 이런 현 실태로 인해 요구사항의 구조화, 우선순위 설정, 변경 이력 관리 등에 관한 체계성 확보가 용이하지 않아 결과적으로 성능 미충족, 일정 지연, 운용 중단 등의 문제로 이어질 수 있다. 그래서 전력지원체계에서 ORD 수준의 요구사항 명시와 추적 가능성을 살펴볼 필요가 있다. 이에 본 연구는 능력성숙도통합모델-개발-요구사항관리(Capability Maturity Model Integration for Development Requirements Management, CMMI-DEV REQM) 기반의 의사결정 분석기법을 활용한 방안을 제안한다. 이런 방법적 접근을 통한 요구사항 관리 프레임워크를 적용할 경우, 요구사항의 정형화와 명세화, 전문가 집단의 정량적 분석에 기반한 변경 승인 절차의 체계화로 기존 전력지원체계 획득과정에서 발생하던 실무자 간 문서 작성의 비일관성, 요구사항의 비공식적·형식적 변경 승인, 시험평가 항목 관리의 단편성 등의 문제를 해소하는 데 기여할 수 있을 것이다.

II. 관련 연구

2.1 ORD의 개념

ORD는 무기체계 개발 시 운용개념과 성능요구를 정량적·정성적으로 기술하여 체계 개발과 시험·평가의 기준이 되는 공식 문서이다(Table 1).¹⁾ 일반적으로 JCIDS 또는 방위사업관리지침에 따라 작성되며, 명확히 구분된 핵심성능파라미터(Key Performance Parameters, KPP)와 체계성능파라미터(System Performance Parameters, SPP)를 포함한다. 무기체계와 달리 전력지원체계는 예산 규모와 긴급 소요 등을 이유로 ORD 작성이 생략되거나 간소화되는 경우가 많아 요구사항의 구조화, 우선순위 설정, 변경 이력 관리 등에서 체계성이 부족하다. 이러한 문제는 성능 미충족, 일정 지연, 사업 실패로 연계될 수 있으며, 궁극적으로 운용 안정성과 작전 지속성에 영향을 미칠 수 있다. 이에 본

1) Ministry of National Defense (2025). Annex Form No. 3 of the Directive on Defense Force Development (Directive No. 3007, Revised on January 10, 2025). Seoul, Republic of Korea: Author. <https://www.law.go.kr>

연구는 전력지원체계 대상으로 무기체계 수준의 요구사항 정형화에 관한 필요성에서 ORD의 핵심 개념과 구조를 도입하고자 한다. 이를 통해 요구사항의 명확성, 추적 가능성, 그리고 사업관리 전 과정의 일관성을 확보할 수 있으며, 전력지원체계 특성에 적합한 실무 적용이 가능할 수 있다.

〈Table 1〉 Key components of operational requirements document (ORD)

Section	Specifications	
1. Outline	1.1 Document Outline	1.2 System Outline
2. Reference	2.1 Gov Documents	2.2 Non-Gov Documents
3. Operation Context	3.1 System Necessity	3.2 Mission Area
	3.3 System Description	3.4 System Analysis
	3.5 System Mission	3.6 Concept of Operation
4. Threat	4.1 Threat Factors	4.2 Threat Environment
5. Capability Gap	5.1 Weak Point	5.2 Required Capability for the Current Increment
6. System Capability	6.1 Operational Performance Parameter 6.2 Key Performance Parameter	
	6.3 System Performance	
	6.3.1 Mission Scenario	6.3.2 System Performance Parameter (KPP = “*”)
	6.3.3 Interoperability	6.3.4 HMI
	6.3.5 Logistic Support Requirement (Availability, Reliability, Maintenance)	
7. System Support	7.1 Maintenance Support (Including SW Support)	
	7.2 Supply Support	7.4 Training
	7.3 Support Equipment	
	7.5 Transportation Method	
8. Organization	8.1 Required Quantity	8.2 Operational Organization & Required Operators
9. Schedule	9.1 Schedule to deploy	
Supplement	OMS/MP	
⋮	⋮	

상기한 ORD 및 요구사항 관리에 대한 선행연구는 주로 무기체계를 대상으로 진행되었다. Lee & Lee (2015) 연구는 모델 기반 시스템 엔지니어링(Model-Based Systems Engineering, MBSE) 기반의 방법론 적용을 제시하였으며, Lee & Shim (2015)는 CMMI와 MBSE를 연계한 요구사항 개발 및 관리 모델을 제안하였다. 또한, Lee, J. Y. (2020) 연구는 계층 분석법(Antalytic Hierarchy Process, AHP) 및 다차원 척도법(Multidimensional Scaling, MDS)을 활용한 요구사항 도출 절차를 통해 ORD 작성 프로세스 개선을 시도하였다. 최근 Kim & Youn (2024) 연구는 ORD를 단일 산출물이 아닌 ORD-초안 → ORD-I → ORD-II의 진화적 문서로 정의하고, 단계별로 명확하게 구분하는 서식의 개선안을 제시하였다. 반면 전력지원체계 관련 연구에서 Hwang & Lee (2023)는 기술성숙도(Technology Readiness Level, TRL) 평가, 기술 수준 분석, MIL-STD-961E 기반 요구성능 정량화 등의 표준화 방안을 제안하였다. 그러나 ORD 및 요구사항 관리에 관한 분석기법은 연구되지 않았다. 기존 학술문헌을 고찰한

결과, 대부분 연구는 무기체계 대상에 초점을 두고 있어 전력지원체계 특성에 부합하는 ORD 작성 체계나 요구사항 분석 절차는 여전히 미흡한 실정이다.

본 연구는 이러한 한계를 보완하기 위해 전력지원체계에 ORD 개념을 적용하고 CMMI-DEV REQM 기반의 정량적 분석기법을 실증하고자 한다.²⁾ Table 2는 기존 연구와 비교한 본 연구의 연구 대상 및 분석기법 활동의 차이를 나타낸다.

〈Table 2〉 A comparison of the current study with previous research on ORD and requirements management

Category	Prior Studies	Current Study
Application Domain	Focused on weapon systems	Extended to Force Support Systems
ORD Conceptual Framework	Evolutionary development (Draft → ORD-I → ORD-II) (Kim & Youn, 2024)	Defined a practical ORD framework applicable to Force Support Systems
KPP/SPP Classification	Applied to individual weapon systems (Lee, J. Y., 2020)	Proposed a quantitative framework (CVR, AHP, etc.) applicable to various support system acquisitions
Requirements Management Approach	Emphasized MBSE-based management suggestions (Lee & Lee, 2015; Lee & Shim, 2015)	Integrated decision analysis techniques with CMMI-DEV REQM-based structured procedures
Analytical Techniques	Focused on individual use of AHP, MDS, etc. (Lee, J. Y., 2020)	Systematically combined CVR-AHP-QFD-MDS aligned with REQM sub-processes

2.2 CMMI-DEV REQM 프로세스 및 의사결정 분석기법과 연계성 설정

CMMI-DEV REQM은 CMMI-DEV 성숙도 레벨2의 사업관리 프로세스 영역 중 하나이며, 사업 산출물과 구성요소의 요구사항을 관리하고 사업 계획과 산출물에 관한 일관성을 유지하는 데 있다.³⁾ 이는 복잡한 개발 프로젝트 수행 시 요구사항의 효과적인 이해 · 추적 · 변경관리 활동과 문서화를 포함하여 요구사항의 정합성과 일관성을 보장하고, 진행과정에서 변경 요청에 유연하게 대응할 수 있다. 특히, 방위산업과 같이 복수의 이해관계자 및 고신뢰성과 추적성이 요구되는 분야(Kim, Joo, & Joo, 2023)는 CMMI-DEV REQM는 다섯 가지 세부 수행(Specific Practices) 단계(Table 3A)를 포함하며 요구사항 관리의 성숙도 수준을 체계적으로 향상할 수 있다. 본 연구는 전력지원체계 요구사항의 정량적인 수명주기 관리를 수행하기 위해 해당 단계에 내용 타당도 비율(Content Validity Ratio,

2) CMMI-DEV REQM 프로세스를 국방 분야에 적용한 연구는 본 연구가 최초이나, 소프트웨어 개발 및 프로젝트 관리 분야에서는 Astridita et al. (2024), Keshta et al. (2020) 등의 선행연구가 존재한다.

3) SEI(Software Engineering Institute). (2010). CMMI® for Development, Version 1.3. CMU/SEI- 2010-TR-033. Carnegie Mellon University.

CVR), 품질 기능 전개(Quality Function Deployment, QFD), AHP, MDS와 같은 의사결정 분석기법을 연계한다(Akao, 1990; Lawshe, 1975, Kruskal & Wish, 1978; Saaty, 1990). 세부적으로 각 분석기법과 CMMI-DEV REQM 세부 수행 단계는 상호 대응하고 각 분석기법은 전력지원체제의 특성에 따라 유연하게 선택하여 적용할 수 있다(Table 3B).

〈Table 3〉 CMMI-DEV REQM process and decision analysis methods

A. Stages of specific practices in CMMI-DEV REQM

Specific Practice (SP)	Details
SP 1.1. Understanding Requirements	Share understanding of requirements among project stakeholders.
SP 1.2. Obtain Commitment to Requirements	Reach consensus on requirements among stakeholders.
SP 1.3. Manage Requirements Changes	Evaluate, approve, and track requirement changes to maintain consistency.
SP 1.4. Maintain Bidirectional Traceability of Requirements	Ensure traceability between requirements, implementation, and verification results.
SP 1.5. Ensure Alignment Between Project Work and Requirements	Document requirements in a structured format and establish version control.

B. Integration of CMMI-DEV with decision analysis methods

Analytical Method	Primary Function	Application Purpose	Related REQM Practices
CVR (Content Validity Ratio)	Validity verification based on expert consensus	Elimination of unnecessary requirements and selection of core elements	SP 1.1, SP 1.2, SP 1.5
AHP (Analytic Hierarchy Process)	Derivation of relative importance through pairwise comparison	Classification of KPP/SPP, prioritization of requirements	SP 1.2, SP 1.3, SP 1.5
QFD (Quality Function Deployment)	Correlation analysis between requirements and design elements	Ensuring design consistency and technical feasibility	SP 1.4, SP 1.5
MDS (Multidimensional Scaling)	Visualization and clustering of requirement similarities	Structural understanding of requirements and support for traceability	SP 1.4, SP 1.5

2.3 핵심성능파라미터와 체계성능파라미터

무기체계 ORD는 요구성능을 운용성능파라미터(Operational Performance Parameters), 핵심성능파라미터(Key Performance Parameters, KPP), 체계성능파라미터(System Performance Parameters, SPP)로 구분하여 작성한다. 운용성능은 작전 임무 관점에서 필요한 성능이며, 핵심성능과 체계성능은 운용요구 충족을 위한 세부 성능지표이다. KPP는 체계 운용에 있어 임무의 성패에 직접적 영향을 미치는 중요한 요구사항이다. 만약 KPP가 특정 임계수준을 충족하지 못하면 시스템 인수가 불가하거나, 시스템 전체의 획득 타당성이 상실되는 기준으로 간주할 수 있어 시험평가·전력화 여부를 결정하는 필수 성능요소로 판단할 수 있다. 특히 KPP는 AHP, MDS 등의 정량적 분석기법을 통해 식별함으로써 요구사항 간 우선순위를 체계적으로 설정할 수 있으며, 이는 CMMI-DEV REQM 세부수행 전 단계와 연관된다. 그래서 ORD는 KPP를 명확히 식별하고, 이를 정량화된 임계치(Threshold)와 목표치(Objective)로 설정하여 성능 충족 여부를 판단하는 기준으로 활용한다.

SPP는 KPP에 비해 상대적으로 중요도는 낮을 수 있으나 전반적인 성능 품질(예: 체계의 운용 효율성, 사용 편의성, 정비성, 생존성, 확장성 등)을 결정하는 요구사항이다. 이는 체계의 성능 보완 요소로 KPP를 보조하거나 지원하며, 사용자의 만족도와 운용 유지비용 측면에서 실질적인 영향을 미친다. SPP 역시 임계치와 목표치를 구체화하며, KPP에 포함되지 않은 성능 항목 중에서 시험평가를 통해 만족 여부를 확인해야 하는 항목으로 분류된다.

2.4 무기체계 ORD 작성 프레임의 전력지원체계 적용

무기체계 중심의 ORD 작성 프레임은 작전운용성능(Required Operational Capability, ROC) → 운용개념서(Operational Concept Document, OCD) → ORD → 체계 규격으로 연계되는 상위 문서 기반 흐름을 준수하며, 각 단계에서 분석된 임무·운용·환경·위협 시나리오가 ORD 요구사항의 정량적 근거로 반영된다. 이러한 절차는 전력지원체계에 동일하게 적용할 수 있다. 예를 들어, OCD 단계에서 정의된 작전운용형태, 임무유형(Operational Mode Summary/Mission Profile, OMS/MP)을 기반으로 장비·물자의 운용 시나리오와 정량적 성능요소(RAM, IPS⁴⁾ 등을 요구사항으로 전환할 수 있으며, 이를 ORD의 성능파라미터(KPP, SPP)에 직접 반영할 수 있다. 특히, 이런 체계는 기존 무기체계의 KPP 요소(예: 사거리, 명중률 등)와 비교하여 체계 특성에 따른 다양한 KPP 요소(예: 정확성, 반응속도, 내구성 등) 식별이 가능하도록 차별화된 접근 방식이 필요하다. 본 연구는 이런 차이를 반영하여 CMMI-DEV REQM을 기반으로 전력지원체계에 부합하는 KPP/SPP 구분 기법과 구조를 제시한다.

4) Reliability, Availability, Maintainability(신뢰도·가용도·정비도), Integrated Product Support(통합체계지원)

III. 연구방법

3.1 연구대상 및 사례적용

본 연구는 전력지원체계의 실무적 특성과 범주별 다양성을 반영하고자 대표적인 두 가지 사례를 선정하였다. 선정한 대상은 체계형 장비(교육훈련장비)와 일반물자(의류물자)로서 운용개념과 기능 구조의 차이로 요구사항의 구성 방식이나 중요도 분포에 따른 전력지원체계의 대표성을 확보할 수 있다.

첫 번째 사례로 00 훈련 시뮬레이터는 가상환경 기반의 실전형 훈련을 위한 체계형 장비로 작전 적합성과 직결되는 성능요구(위치 정확도, 반응속도 등) 뿐만 아니라 운용 효율성(사용자 인터페이스, 유지보수성 등)을 충족할 필요가 있다. 두 번째 사례인 신형 00용 피복은 고온·화재 위험 지역에서의 생존성과 착용 편의성 확보를 위한 의류물자이며 NFPA⁵⁾ 기준의 난연 성능과 장시간 착용성 외에도 통기성, 난연성, 내구성 등 물리적 품질 요소들이 복합적으로 요구된다. 일반적으로 시뮬레이터는 임무 수행 성과와 직접 연관된 정밀 성능요소 위주의 KPP가 산정되며, 피복류는 다양한 기능요소가 KPP로서 병렬적으로 작용하는 구조를 가질 것으로 판단하였다. 이러한 가정을 토대로 사례별 분석에서 요구사항 구조의 차이를 검토한다.

Table 4는 두 사례의 주요 요구사항 항목으로 KPP / SPP의 예비 분류도 함께 제시하였다. 00 훈련 시뮬레이터에서는 $\pm 1m$ 수준의 위치 정확도, 0.5초 이하의 시스템 반응속도 등이 훈련의 효과와 직결되는 요소로서 KPP 후보로 판단될 수 있다. 아울러 몰입감 있는 사용자 인터페이스, 훈련 시나리오 자동생성 기능, 유지보수 용이성과 같은 기능은 시스템 운용의 효율성을 향상시키는 SPP로 고려될 수 있다. 신형 00용 피복의 경우 NFPA 1970(2025판) 등 국제 표준을 충족하는 난연 성능, 12시간 이상 지속 착용이 가능한 편의성과 내구성, 방수능력은 장비의 안전과 작전 성공 여부에 직결되므로 KPP 후보로 판단할 수 있다. 반면, 통기성, 세탁 후의 수축률 유지와 같은 요소들은 체계의 일상적 운용성과 사용자 만족도에 영향을 주는 성능으로서 SPP로 고려될 수 있다. 사례와 같이 다양한 요구사항에 대하여 장비·물자의 임무·운용환경·운용개념에 따라 KPP와 SPP를 대략 구분할 수 있으나, 다음 절의 분석 절차를 통하여 정량적 분석 기반의 의사결정이 가능해진다. 또한, CMMI-DEV REQM 단계와 연계한 KPP와 SPP 구분 이후 설계요소와 시험(평가) 항목 간의 연계성을 정량적으로 구조화하는 요구사항 추적성 확보, 요구사항이 변경되었을 때 리스크를 최소화하는 방식의 관리체계 정립이 가능하다.

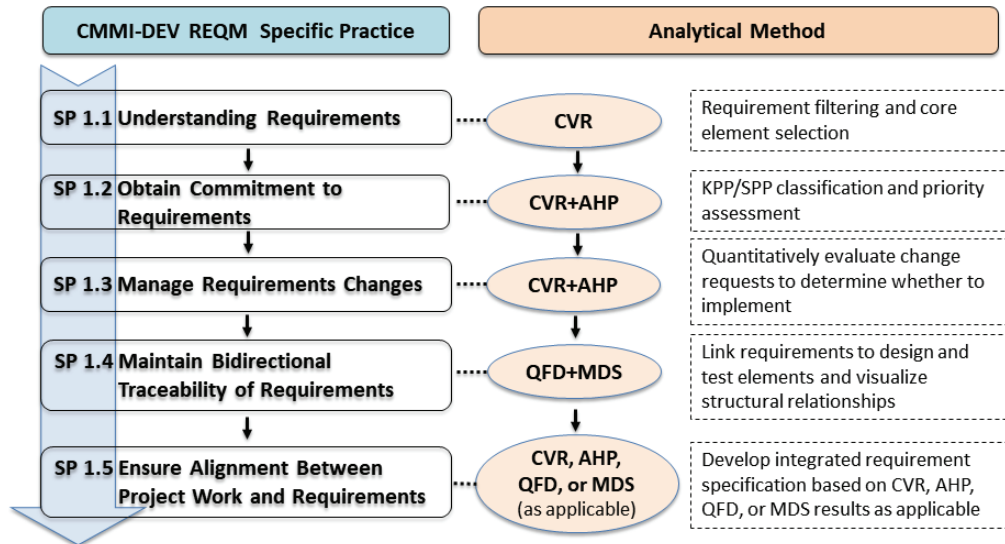
5) National Fire Protection Association(미국 화재방지협회)

〈Table 4〉 Overview of requirements classification from the 00 training simulator and the 00 combat uniform

Requirement - 00 Training Simulator	Preliminary Classification	Requirement - New 00 Combat Uniform	Preliminary Classification
Positioning accuracy ($\pm 1\text{m}$)	KPP	NFPA 1970-compliant flame resistance	KPP
Response time (≤ 0.5 seconds)	KPP	Wearability (≥ 12 hours)	KPP
Enhanced UI immersion	SPP	Durability (tensile and abrasion resistance)	KPP
Automatic scenario generation	SPP	Waterproof performance (≥ 60 minutes)	KPP
Maintainability	SPP	Breathability retention	SPP
Data logging function	SPP	Shrinkage resistance after washing	SPP
⋮	⋮	⋮	⋮

3.2 요구사항 분석 절차의 구조화 및 적용 설계

본 연구는 Table 3에 제시한 각 분석기법이 CMMI-DEV REQM의 세부수행 단계(SP1.1 ~ SP1.5)와 연계되어 단계별 목적에 따라 선택적으로 적용되도록 설계하였다. Figure 1은 이러한 절차의 흐름과 분석기법 간의 연계 구조이며, 요구사항의 선별 · 정제, 우선순위 산정, 변경관리, 설계 및 시험 항목과 연계, 시각적 구조화, 명세서 통합에 이르는 전 과정을 나타낸다.



〈Figure 1〉 Process flow of requirements analysis in CMMI-DEV REQM with analytical methods Integration

IV. 분석결과

본 장은 CMMI-DEV REQM 세부수행 절차에 따라 사례별 분석을 수행하고, 각 단계에 적용된 정량적 분석기법의 결과를 정리하였다.

4.1 요구사항 이해 · 합의 도출 단계

요구사항 이해 및 합의 도출 단계는 수집된 다양한 요구사항들에 대한 정보공유, 불필요 항목 제거, 우선순위를 부여하는 과정을 거친다. 이를 위해, 전문가 집단⁶⁾을 통한 CVR⁷⁾ 분석으로 요구사항별 타당성을 검토하고 CVR 점수가 낮은 항목을 삭제한다(Table 5). 총 15명의 전문가를 대상으로 00 훈련 시뮬레이터와 신형 00용 피복에 관한 2회 델파이 설문을 시행 후에 CVR 값을 분석하여 해당 점수가 기준값($CVR \geq 0.62$)보다 낮은 항목은 삭제하였다.

〈Table 5〉 Results of CVR analysis by experts ($N = 15$)

Requirement - 00 Training Simulator	Agreement (N_e)	CVR Score	Deletion	Requirement - New 00 Combat Uniform	Agreement (N_e)	CVR Score	Deletion
Positioning accuracy	14	0.87	-	NFPA 1970 compliance	15	1.00	-
Response time	13	0.73	-	Durability	14	0.87	-
Enhanced UI immersion	12	0.62	-	Wearability	13	0.73	-
Automatic scenario generation	12	0.62	-	Breathability retention	12	0.64	-
Maintainability	13	0.73	-	Waterproof performance	12	0.62	-
Data logging function	10	0.33	Deleted	Shrinkage resistance after washing	11	0.47	Deleted
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

CVR 분석 결과에 따라 삭제되지 않은 요구사항들을 대상으로 AHP 분석하여 상대적 중요도를 산정하였다. 이 과정은 각 요구사항이 체계 전체 성능에 미치는 영향을 수치화하고, KPP와 SPP 구분 기준을 제공한다. 00 훈련 시뮬레이터와 신형 00용 피복의 AHP 분석은 총 15명의 전문가⁸⁾를 대상

6) 전문가 집단은 군사학, 방위산업학, 산업공학 등 관련 분야 박사학위 보유자, 또는 관련 분야 석사학위 소지자로서 3년 이상 복무한 자, 또는 학사학위 소지자로서 해당 분야에서 5년 이상 복무한 자를 대상으로 선정하였다. 이들은 육군 전력지원체계사업단, 군 관련 학회와 연구기관에 소속된 부서장 또는 실무자급 전문가들로 구성되었다.

7) $CVR = (N_e - N/2) / (N/2)$ 로 정의한다. 여기서 N 은 전체 전문가 수이며, N_e 는 해당 항목이 “필요하다”고 동의한 전문가의 수이다.

8) CVR 분석 시와 동일한 전문가 집단으로 구성하였다.

으로 9점 척도로 쌍대비교를 실시하였다. 분석결과(Table 6), 각 사례에서 가중치의 총합은 1이며, 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)은 각각 0.0062, 0.0035로 쌍대비교 행렬의 일관성이 있다고 판단되었다.⁹⁾ 00 훈련 시뮬레이터와 신형 00용 피복의 KPP는 AHP 분석을 통해 도출된 상대적 중요도 가중치가 0.20 이상인 요구사항을 대상으로 선정하였다. 해당 기준값은 사례별 전문가 집단의 델파이 기반 의견수렴 및 수치 분포 분석을 통해 실증적으로 설정된 값이며, 요구사항의 수와 성격, 분석 대상 시스템의 복잡도에 따라 조정가능한 유연한 기준으로 활용될 수 있다.

〈Table 6〉 AHP analysis results of 00 training simulator and the new 00 combat uniform

00 Training Simulator			New 00 Combat Uniform		
Requirement Item	Relative Weight	Classification	Requirement Item	Relative Weight	Classification
Positioning accuracy	0.32	KPP	NFPA 1970 compliance	0.35	KPP
Response time	0.21	KPP	Durability	0.26	KPP
Enhanced UI immersion	0.11	SPP	Wearability	0.11	SPP
Automatic scenario generation	0.09	SPP	Breathability retention	0.09	SPP
Maintainability	0.10	SPP	Waterproof performance	0.08	SPP
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

또한, 요구사항과 관련된 설계요소가 작성되었거나 유사체계를 통하여 설계요소 수집이 가능한 경우, 실제 기술 구현의 난이도가 높거나 부담이 큰 요구사항의 식별, 여러 요구사항이 하나의 기술 요소에 중복으로 연계되는 경우 등을 식별하고 해소하기 위한 절차로 QFD 분석을 적용할 수 있다. Table 7은 사례별 유사 체계 사업의 기술지원담당자 3명을 대상으로 요구사항과 설계요소의 관계성을 1~9점 척도로 부여한 QFD 분석 매트릭스 결과이다. 두 사례 모두 특정 요구사항이 전체 설계요소에서 낮은 점수를 받거나, 또는 하나의 설계요소에 여러 개의 높은 점수가 부여된 경우가 아님을 알 수 있다. 이러한 상황을 사전에 식별가능한 경우 QFD 분석은 생략할 수 있다.

9) Saaty (1980, 1990)는 CR값이 0.10 미만일 경우, 쌍대비교 판단의 일관성이 수용가능한 수준이라고 제안하였다.

〈Table 7〉 Matrix output of requirements and design elements with quality function development (QFD) analysis

A. Case of 00 training simulator

Design Element Requirement Item	High-Precision GPS	Reactive Sensor Module	Immersive UI/UX System	Auto Scenario Generator	Modular Design
Positioning accuracy ($\pm 1m$)	9	3	1	1	2
Response time (≤ 0.5 seconds)	3	9	2	2	3
Enhanced UI immersion	1	2	9	3	3
Automatic scenario generation	2	2	3	8	2
Maintainability	2	3	4	2	9

B. Case of new 00 combat uniform

Design Element Requirement Item	High-Performance Flame-Retardant Fiber	Double-Stitched Abrasion-Resistant Fabric	Seamless Design with Ergonomic Cuts	Moisture-Wicking Coating with Mesh Inserts	Waterproof Nano coating
NFPA 1970 compliance	9	3	1	1	2
Durability	2	8	2	3	4
Wearability	1	3	9	4	3
Breathability retention	1	2	4	8	3
Waterproof performance	2	2	3	5	9

4.2 요구사항 변경관리 단계

요구사항 변경관리는 CMMI-DEV REQM의 세 번째 단계로 사업추진 간 발생하는 요구사항의 추가 · 수정 · 삭제 등의 요청에 대해 체계적이고 정량적인 절차에 따라 평가하고, 그 영향도를 분석하여 반영 여부를 결정하는 과정이다. 이는 무분별한 변경 요청으로부터 체계의 성능 · 품질과 일정 관리의 리스크를 최소화하고, 변경사항이 체계 전체에 미치는 영향을 사전에 통제하는 핵심 활동이다. 특히, 전력지원체계는 운용환경이 가변적이고, 사용자 요구나 법령 · 기술 기준 변경 등에 따라 요구사항에 관한 변경 요청이 빈번히 발생할 수 있다. 게다가 초기 요구사항의 정의가 미흡할 경우, 사업 중반 이후에 변경 요청이 급증함에 따라 성능 저하, 일정 지연, 예산 초과 등의 문제가 발생할 수 있다. 그래서 이런 변경 요청을 정량적으로 검증하고, 영향도 기반으로 수용 여부를 결정하는 관리체계가 필요하다.

본 연구는 요구사항의 변경이 발생했을 때 CVR 재평가를 통해 항목의 타당성을 검토하고, AHP 기반의 우선순위 조정과 영향도 분석을 통해 체계 전반의 변경에 관한 리스크를 최소화하는 방식으로 설계하였다. 이 중 영향도 분석은 성능 · 일정 · 비용 · 기술난이도에 미치는 영향을 고려하여 변

경사향을 분석할 수 있으며 사례별 변경관리 매핑테이블의 예시는 Table 8과 같다.

〈Table 8〉 Mapping tables for managing the change request items

A. Case of 00 training simulator

Change Request Items	Reason for Change	CVR Reassessment	AHP Recalculation	Impact Level	Decision
Response time adjustment (0.5s → 0.3s)	Performance threshold raised due to improved sensor capability	0.80	0.28	Medium	Accepted
Removal of UI immersion feature	Simplification of visual interface and budget constraints	0.60	0.11	Low	Rejected
Refinement of scenario generation conditions	Expanded functionality to cover diverse operational cases	0.73	0.17	Medium	Accepted
Reduction of maintenance functions	Streamlining based on initial delivery specification	0.59	0.09	Low	Rejected

B. Case of new 00 combat uniform

Change Request Item	Reason for Change	CVR Reassessment	AHP Recalculation	Impact Level	Decision
Enhanced flame-retardant standard (NFPA)	Incorporation of the revised NFPA 1970 standard	0.89	0.35	High	Accepted
Improved waterproof performance (60 → 90 min)	Operational need for extreme climate conditions	0.66	0.11	Medium	Accepted
Removal of breathability requirement	Specification simplification for cost / material efficiency	0.60	0.09	Low	Rejected
Removal of wearability requirement	Design simplification and standardization	0.58	0.08	Low	Rejected

4.3 요구사항 추적 유지 단계

요구사항 추적 유지는 AHP 가중치 및 QFD 분석결과를 활용하여, 요구사항과 설계요소, 시험(평가) 항목 간의 상호 연계 관계를 표 형태로 구조화하였다(Table 9). 이는 요구사항 - 설계요소 - 시험 항목 간 추적 가능 구조를 형성하여 요구사항이 실제 구현 · 검증 단계까지 일관되게 반영될 수 있도록 보장하며, 설계 변경이나 시험 결과 불일치 발생 시 추적 기반 원인 분석에도 활용될 수 있다. 또한, 대상 장비 · 물자 특성에 따라 기능 범주별로 추적이 필요할 경우 MDS 분석을 활용하여 유사성 있는 항목을 군집화한 추적 구조를 형성할 수 있다.

〈Table 9〉 Traceability Matrix of requirements, design elements, and test items

A. Case of 00 training simulator

Requirement ID	Requirement Description	Design Elements	Test Items
R-01	Positioning accuracy ($\pm 1m$)	High-precision GPS, Position correction algorithm	Accuracy test in mixed indoor/outdoor environments
R-02	Response time (≤ 0.3 seconds)	Low-latency sensor interface, Real-time comms module	Scenario-based response time test
R-03	Enhanced UI immersion	Immersive display, Feedback-responsive interface	Immersion survey, Visual tracking response test
R-04	Automatic scenario generation	Autonomous logic engine, AI training module	Scenario generation test under variable tactical conditions
R-05	Maintainability	Modular hardware design, Self-diagnosis functionality	Maintenance evaluation, Fault recovery simulation
⋮	⋮	⋮	⋮

B. Case of new 00 combat uniform

Requirement ID	Requirement Description	Design Elements	Test Items
V-01	Flame-retardant performance exceeding NFPA 1970	High-performance flame-retardant fabrics, structural layers	Flame resistance test (NFPA 1970)
V-02	Durability for over 12 hours of wear	Double-stitched abrasion-resistant fabric	Wear durability test (ISO 12947)
V-03	Ergonomic design for improved wearability	Seamless connections, ergonomic cut lines	Skin friction sensitivity test
V-04	Breathability under hot and humid conditions	Moisture-wicking coating, mesh vent structure	Sweat permeability test (ASTM E96)
V-05	Waterproof performance (≥ 90 minutes)	Nano-coating for waterproofing	Water penetration resistance test (ISO 811)
⋮	⋮	⋮	⋮

4.4 요구사항과 산출물 간 정합성 확보 단계

요구사항과 산출물 간 정합성 확보 단계는 KPP/SPP 선정, 변경관리, 추적 유지관리 등의 결과를 통합하여 구조화된 명세서를 작성한다. Table 10은 사례별 기본설계검토(Preliminary Design Review, PDR) 산출물에 표기된 요구사항의 명세서 예시이다. PDR에서 기본설계가 일정, 비용, 성능 요구를 충족하는지 검토하고, 상세설계 단계로 진입할 준비 여부를 확인한다. CVR과 AHP 분석을 통한 KPP/SPP 구분 결과, 요구사항의 변경내역, 요구사항에 대한 설계요소 · 시험 항목 등 CMMI-DEV REQM의 세부수행 단계에서 구현된 사항을 반영하여 지속되는 사업 진행 간 요구사항의 우선순위에 기초한 일관성 있는 사업관리가 가능하였다.

〈Table 10〉 Examples of specification requirements for preliminary design review (PDR)

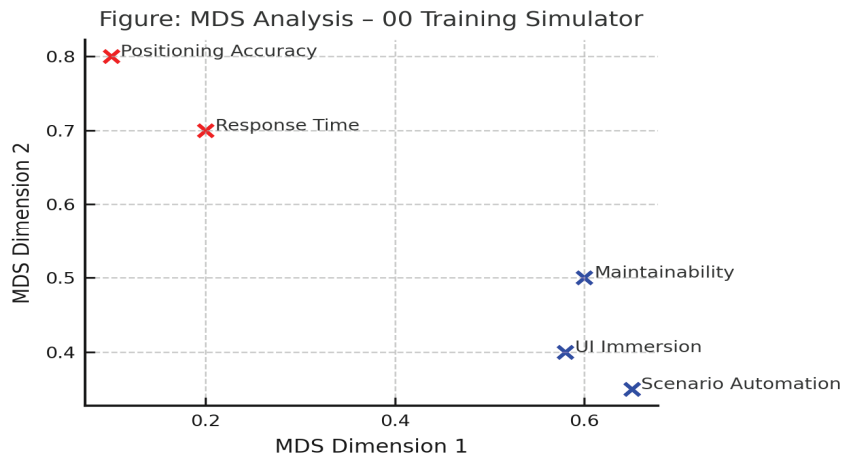
A. Case of 00 training simulator

Requirement ID	Requirement Description	CVR	AHP Weight	Category	Revision ver.	Design Elements	Test Items
R-01	Positioning accuracy ($\pm 1\text{m}$)	0.87	0.32	KPP	-	High-precision GPS, Position correction algorithm	Accuracy test in hybrid indoor/outdoor environments
R-02	Response time (≤ 0.3 seconds)	0.73	0.21	KPP	1.1	Low-latency sensor interface, Real-time comms module	Scenario-based response time measurement
R-03	Enhanced UI immersion	0.62	0.11	SPP	-	Immersive UI/UX display, High-resolution interface	Immersion survey, Field of view & visual response test
R-04	Enhanced automatic scenario generation	0.62	0.09	SPP	1.1	Autonomous logic engine, AI-based mission module	Scenario generation test under variable tactical conditions
R-05	Maintainability	0.73	0.10	SPP	-	Modular design, Self-diagnostic functions	Maintenance usability evaluation, Fault-recovery simulation
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮

B. Case of new 00 combat uniform

Requirement ID	Requirement Description	CVR	AHP Weight	Category	Revision ver.	Design Elements	Test Items
V-01	Flame-retardant performance exceeding NFPA 1970	1.00	0.35	KPP	1.1	High-performance flame-retardant fabrics, structural layers	Flame resistance test (NFPA 1970)
V-02	Durability for over 12 hours of wear	0.87	0.26	KPP	-	Double-stitched abrasion-resistant fabric	Wear durability test (ISO 12947)
V-03	Ergonomic design for improved wearability	0.73	0.11	SPP	-	Seamless connections, ergonomic cut lines	Skin friction sensitivity test
V-04	Breathability under hot and humid conditions	0.64	0.09	SPP	-	Moisture-wicking coating, mesh vent structure	Sweat permeability test (ASTM E96)
V-05	Waterproof performance (≥ 90 minutes)	0.62	0.08	SPP	1.1	Nano-coating for waterproofing	Water penetration resistance test (ISO 811)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

또한, 명세서 작성에서 요구사항 간 기능적 유사성/비유사성과 KPP/SPP 구분을 다변량 · 다차원의 복잡성을 고려하여 2차원상에 가시화한 MDS 분석결과를 추가할 수 있다. 00 훈련 시뮬레이터의 MDS 분석결과(Figure 2), 실전성과 관련된 KPP 항목인 위치 정확도, 반응속도는 상단에 위치하고, SPP 항목인 사용자 인터페이스 몰입도, 시나리오 자동생성, 유지보수성은 사용자 경험 및 운용성 중심 요소로 우측 하단에 군집되어 나타났다.



〈Figure 2〉 Example of MDS analysis of the 00 training simulator

4.5 사례별 CMMI-DEV REQM · 의사결정 분석기법 연계

Table 11은 의사결정 분석기법과 CMMI-DEV REQM 세부수행 단계의 연계 구조를 사례로 검증한 결과이다. 요구사항 이해 및 합의 도출 단계에서 CVR 분석을 통해 요구의 타당성을 정량화하고, 기준값 이하 항목을 제외하여 필수 요구사항만을 도출하였다. 또한, AHP 분석을 통해 KPP/SPP를 구분하고 QFD를 활용하여 요구사항과 설계요소 간 연계성을 분석하였으며, 이를 요구사항과 산출물 간 정합성 확보 단계에서 통합하여 명세화하였다. 요구사항 변경관리 단계는 CVR과 AHP 재적용을 통해 변경 요구의 타당성과 영향도를 분석하고, 반영 여부 및 우선순위를 조정하였다. 요구사항 추적 유지 단계는 QFD 기반의 시험 항목 연계를 통해 요구사항 - 설계요소 - 시험 항목 간의 추적 가능성을 확보하였다. 이러한 CMMI-DEV REQM 기반 분석기법 연계 절차는 전력지원체계의 특성에 따라 선별적으로 적용될 수 있다.

〈Table 11〉 Case-based mapping of CMMI-DEV REQM and decision analysis techniques

CMMI-DEV REQM Practices	Applied Techniques	00 Training Simulator	New 00 Combat Uniform
SP 1.1, 1.2, SP 1.5	CVR, AHP	Identification and classification of mission- critical requirements (e.g., positioning accuracy, response time) as KPP/SPP	Identification and classification of survivability-related requirements (e.g., flame resistance, durability) as KPP/SPP
	QFD	Linking requirements to design elements (e.g., GPS module for positioning accuracy)	Linking requirements to design elements (e.g., flame-retardant fabric for NFPA compliance)
SP 1.3	CVR, AHP	Evaluation and prioritization of change requests (e.g., improved response time)	Evaluation and prioritization of change requests (e.g., stricter flame-resistance standard)
SP 1.4	QFD, MDS (optional)	Establishing traceability among requirements, design elements, and test items; visualizing KPP/SPP clusters via MDS	Establishing traceability among requirements, design elements, and test items

V. 결론 및 논의

전력지원체계의 요구사항은 단기간 · 다품목 · 고복잡도의 특성에 따라 체계적이고 정량적인 접근이 필요하다. 한편, 기존 개념 중심의 REQM 모델은 정성적 판단이나 경험적 관리에 의존하여 절차적인 구조화와 수치 기반의 의사결정 체계로 전환해야 한다. 이에 본 연구의 목적은 전력지원체계에 특화된 요구사항 관리의 실효성을 제고하는 데 있다. 이를 위해 무기체계 중심의 ORD 개념을 전력지원체계에 적용하고, CMMI-DEV REQM의 5개 세부수행 단계에 각 의사결정 분석기법(CVR, AHP, QFD, MDS)을 연계하는 절차를 00 훈련 시뮬레이터와 신형 00용 피복 사례를 토대로 진행하였다. 해당 분석접근을 통해 실무상 요구사항 혼재, 변경 기록 누락, 설계 불일치 등의 문제를 사전에 방지하는 효과를 기대할 수 있다. 또한, CVR과 AHP를 활용한 요구사항 필터링 및 우선순위화, KPP/SPP 구분, QFD 기반의 설계 연계성 확보, MDS에 의한 시각적 구조화 기법으로 요구사항 분석의 정량화 · 계층화 · 구조화를 통합하였다.

향후 연구는 다음과 같은 보완과 확장이 필요하다. 첫째, 본 연구는 KPP/SPP 구분을 위한 분석기법으로 AHP를 적용하였다. 이는 CMMI-DEV REQM의 SP1.1~SP1.2 단계에서 사업을 이해하는 전문가의 합의를 통해 요구사항 간 상대적 중요도를 객관적으로 판단할 수 있는 분석기법 적용의 적절성을 제시하였다. 특히, 복수 기능영역이 복합적으로 통합된 무기체계 사례에서 MDS는 효과적인 분석 도구로 적용될 수 있다. 이 기법을 활용하여 다차원적 요구사항 간의 관계를 시각화하고 기능 간 중첩 및 분포 구조를 해석할 수 있다. 이에 후속연구는 MDS 기법을 적용하여 KPP 항목 간 관계

에 관한 시각적 해석이나 요구사항 간 유사성의 군집을 심화하는 연구가 활성화될 필요가 있다. 둘째, 본 연구는 전력지원체계의 대표적인 두 가지 사례를 토대로 운용개념과 기능 구조에 따른 요구사항의 중요도 분포와 KPP/SPP 구성의 차이를 가정하고 분석을 진행하였다. 하지만, CVR과 AHP 기반의 정량적 분석결과는 양 사례 모두 유사한 수치 분포로 나타났으며 각 항목의 상대적 중요도 수준도 근접하게 도출되었다. 따라서 향후 연구는 분석사례 수를 확대하여 유형별 프레임워크의 적합성을 비교하고 제안한 요구사항 관리 프레임워크가 사업성과에 미치는 영향을 종단적으로 분석하여 분석모형의 일반화 가능성을 확보할 필요가 있다.

Acknowledgements

This research was supported by Chungnam National University.

Declaration of Conflicting Interests

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Author contributions

Conceptualization: PC and SH, Literature review: PC, AJ, OY, and SH, Resources and Data curation: PC, AJ, OY, and SH, Investigation and Methodology: PC, AJ, OY, and SH, Writing (Original Draft): PC, Project administration and Supervision: SH.

Reference

- Akao, Y. (1990). *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*. Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9781003578833>
- Astridita, A., Raharjo, T., & Nur Fitriani, A. (2024). Perceived Benefits and Challenges of Implementing CMMI on Agile Project Management: A Systematic Literature Review, *International Journal of Advanced Computer Science & Applications*, 15(1), 232-239. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0150122>
- Hwang, Y. S. & Lee, D. H. (2023). Development of Technology research and analysis method for acquisition strategy of Combatant support systems, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 24(4), 413-422. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.4.413>
- Keshta, I. M., Niazi, M. & Alshayeb, M. (2020). Towards the implementation of requirements management specific practices (SP1.1 and SP1.2) for small-and medium-sized software development organizations, *IET Software*, 14(3), 308-317. <https://doi.org/10.1049/iet-sen.2019.0180>
- Kim J. S., Joo, E. W. & Joo, I. H. (2023). Analysis of Perception Types on Research and Development Programs of Creative and Challenging Defense Science and Technology using Q Methodology. *Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies*, 30(2), 89-109. <https://doi.org/10.52798/KADIS.2023.30.2.7>
- Kim, H. B. & Youn, B. J. (2024). A Study on ORD Format Improvement Linked with the ORD Concept, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 25(6), 335-345. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2024.25.6.335>
- Kruskal, J. B. & Wish, M. (1978). *Multidimensional scaling* (No. 11). Sage. <https://doi.org/10.4135/9781412985130>
- Lawshe, C. H. (1975). *A quantitative approach to content validity*. *Personnel Psychology*, 28(4), 563-575. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x>
- Lee, J. H. (2024). A Study on the Development Direction of Force Support System for the Implementation of Defense Innovation 4.0. *STRATEGIC STUDIES*, 31(2), 303-344. <https://doi.org/10.46226/jss.2024.7.31.2.303>
- Lee, J. Y. & Lee, C. (2015). A Study on Operational Requirements Document(ORD) for Weapons System by Applying MBSE, *Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies*, 22(2), 149-160.
- Lee, J. Y. & Shim, S. R. (2015). A Study on ARD & REQM Process Modeling for Acquisition

Organizations based on CMMI & MBSE, *Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies*, 22(3), 124-149. UCI : G704-SER000001543.2015.22.3.006.

Lee, J. Y. (2020). A Study on the Framework of Operational Requirements Document(ORD) for Weapons System after Requirements Decision, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 23(1), 87-95. <https://doi.org/10.9766/KIMST.2020.23.1.087>

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

원 고 접 수 일 2025년 06월 07일

원 고 수 정 일 2025년 10월 22일

게 재 확 정 일 2025년 10월 30일

CMMI-DEV REQM 기반 전력지원체계의 ORD 요구사항 관리체계 정립을 위한 의사결정 분석기법 제안

박철현* · 안지훈** · 오윤지*** · 서호석****

국문초록

본 연구는 전력지원체계에 특화된 운용요구서(ORD)의 요구사항 관리체계를 정립하기 위해 CMMI-DEV REQM의 세부수행 단계에 기반한 정량적 분석 프레임워크를 제안한다. 이를 위해 ORD의 핵심성능파라미터(KPP)와 체계성능파라미터(SPP)의 구분 기준을 수립하고, 요구사항의 타당성 검증(CVR), 중요도 분석(AHP), 설계요소 및 시험항목과 연계성 도출(QFD), 시각적 구조화(MDS) 등의 정량적 의사결정 분석기법을 통합하여 적용하였다. 이런 프레임워크는 요구사항 이해 · 합의 도출 · 변경관리 · 추적 유지 · 산출물과 정합성 확보 등 CMMI-DEV REQM의 5가지 세부수행 단계에 대응하면서 요구사항의 구조화 · 우선순위화 · 연계성 확보가 가능하다. 또한, 본 연구는 00 훈련 시뮬레이터와 신형 00용 피복을 대상으로 KPP와 SPP 구분의 타당성과 요구사항 추적성 확보의 실효성을 검증하는 분석을 수행하였다. 따라서 본 연구는 전력지원체계의 실무적 특성에 부합하는 요구사항 명세 · 분석 · 관리 절차를 제시함으로써 향후 다양한 획득사업에 적용가능한 체계적 관리기반을 제공하였다는 점에서 학술적 의의가 있다.

주제어 : 전력지원체계, 운용요구서(ORD), 핵심성능파라미터(KPP), 체계성능파라미터(SPP), 능력성속도통합모델-개발-요구사항 관리(CMMI-DEV REQM), 의사결정 분석기법, 요구사항 관리

* (제1저자) 육군 전력지원체계사업단, 사업관리자, kmanp@naver.com, <https://orcid.org/0000-0002-5462-6135>.

** (공동저자) 충남대학교, 국방경영공학, 박사과정, mars3431@naver.com, <https://orcid.org/0009-0000-8274-9485>.

*** (공동저자) 육군 전력지원체계사업단, 사업관리자, zeeny77@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-4393-7841>.

**** (교신저자) 육군, 전력지원체계사업단장, hoseok-seo@daum.net, <https://orcid.org/0000-0002-1110-381X>.