

시스템공학 기반의 무기체계 부품국산화 연구개발 프로세스 연구

나재현^{1)*} 이주욱¹⁾ 김시옥¹⁾ 노돈석²⁾

1) 국방기술품질원, 2) ㈜엘트로닉스

A Study on Products Localization Process of Weapon Systems R&D based on Systems Engineering

Jae Hyun Na^{1)*}, Joo Wook Lee¹⁾, Si Ok Kim¹⁾, Don Suk Roh²⁾

1) Defense Agency for Technology and Quality

2) Eltronix

Abstract : Recently, the use of domestic products securing domestic technology is encouraged, because of export restrictions of the countries or DMSMS(diminishing manufacturing sources and shortages). Domestic weapon systems are actively focused on the parts localization process of R&D projects based on Systems Engineering. However, it is the only way to do technical review for Systems Engineering process up to now. There is a case of application in Localization with Systems Engineering process, but the SE activity is not enough. This study is how to apply Systems Engineering process to Localization effectively based on real cases.

Key Words : Localization, Systems Engineering, Weapon system, SE process, Technical review, SE check list

Received: May 11, 2020 / **Revised:** June 24, 2020 / **Accepted:** June 25, 2020

* 교신저자 : Jae Hyun Na, njh1222@dtq.re.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 부품단종 및 부품의 수출규제 등의 원인으로 국내 양산/운용 장비의 정비/유지가 어려움에 따라 국내기술 확보와 국산품 사용을 장려하고 있다. 국방 무기체계분야도 부품국산화 연구개발이 활발하게 진행되고 있으며, 그림 1과 같이 과거 사업대비 규모와 복잡도, 비용 면에서 크게 발전하는 추세이다. 이처럼 사업화를 목적으로 수행되는 시스템 개발과제는 시스템엔지니어링을 적용하여 사업의 성공 확률을 높이고, 사업화가 잘 진행되도록 할 필요가 있다[1].

핵심부품국산화 개발지원사업은 방위사업청의 ‘무기체계 부품국산화 개발관리 규정(훈령 제559호 2019. 10.30.)’에 따라 국방기술품질원이 개발관리를 수행하며[2], 국방연구개발 예산이 투입되는 유일한 사업으로 시스템공학을 적용하여 수행토록 권고하고 있다. 그러나 현재까지 수행된 부품국산화 연구개발 사업은 단순 주요 기술검토회의(SRR, PDR, CDR 등)를 수행하였는지 확인하여 시스템공학 적용 여부를 판단하는 수준이었다. 일부 국산화 제도개선 및 사례를 바탕으로 부품국산화에 실제 적용 가능한 시스템공학 기반 활동을 명시함으로써 부품국산화의 SE프로세스 연구를 수행하였다.

2. 국방 시스템공학의 개요

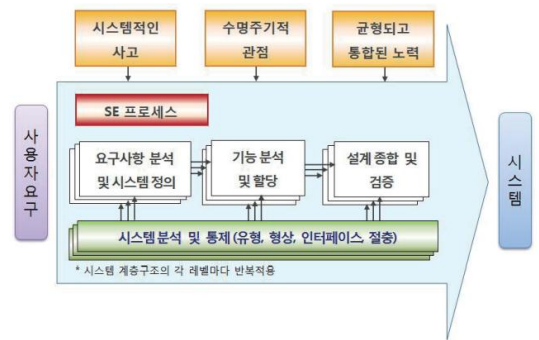
2.1 시스템공학의 정의 및 특징

2.1.1 국방시스템공학의 정의

시스템엔지니어링(SE, Systems Engineering)은 성공적인 시스템을 구현하기 위한 다분야 학문적 접근방법 및 수단이다[3]. 국방무기체계 분야에서 체계공학이라고도 불리며 방위사업청에서 발간한 ‘SE 기반 기술검토회의 가이드북(2017)’에 명시한 바와 같이 거시적인 관점에서 그림 2와 같다. 사용자 요구사항으로부터 요구사항 분석, 설계/제작, 검증/확인, 운용, 폐기에 이르는 모든 단계를 수명주기



[Figure 1] Trend of Localization



[Figure 2] Concept of Systems Engineering

(Life Cycle) 관점에서 고려하여 사용자의 요구사항을 충족하도록 경제적, 균형적으로 체계를 개발하는 방법론이다[4].

2.1.2 부품국산화 시스템공학의 특징

시스템 공학의 특징으로는 단순한 의미에서 F-R-A의 3단계 원칙을 갖는다는 점이다. 먼저 개발대상이 수행해야 할 기능(Function)을 정의하고, 그 개발대상의 기능을 수행하기 위한 요구사항(Requirement)이 정해지면 실제 개발대상을 설계(Architecture)할 수 있다는 것이다. 요구사항을 정의하기 전에 기능을 먼저 정의하고 해법을 구할 수 있는 요구사항들을 개발하며 그 전에 여러 대안들을 조사/시험하는 3단계의 이 간단한 과정은 시스템 공학의 기본 개념이라고 볼 수 있다[5][6].

기능을 정의하고 요구사항 도출 후 설계를 하는 과정에서 부품국산화와 무기체계 개발의 차이점을 인지할 수 있다. 무기체계는 요구사항을 모두 만족할 수 있다면 어떠한 설계든지 허용적이지만 부품국산화의 경우 상위장비와의 물리적 호환때문에 설

계가 제한적이라는 것이 시스템 공학을 부품국산화에 적용하고자 할 때의 특징이라고 할 수 있다.

2.2 부품국산화 시스템공학의 필요성

물리적인 형상은 외부 인터페이스 때문에 제한이 있으나 개발하는 대상시스템은 역설계(Copy) 국산화보다는 연구개발관점에서 개선된(Modified) 국산화 개발사업이 증가하는 추세이며, 최초 요구성능을 만족하기 위해 대상시스템 설계타입을 어떤 방향으로 추진할지 반드시 연구가 필요함으로 부품국산화의 시스템공학기법 적용은 필수적이다.

시스템공학의 적용을 방위산업분야에서 예로 들면, 국방획득 연구개발 전체 과정 간 이해관계자들의 다양한 요구사항을 무기체계에 반영하고 확인할 수 있게 한다. 또한 비용, 일정, 성능 등 전체 문제를 고려하여 탐색개발, 체계개발, 시험평가, 양산, 배치, 운용, 지원 및 폐기와 관련된 모든 기술적 노력을 효율적으로 통합할 수 있고, 사업관리의 의사결정 과정을 지원하여 신뢰성 높은 무기체계를 개발할 수 있다.

부품국산화 사업도 무기체계 연구개발(획득)과정의 축소판이라고 인지해도 무방할 만큼 개발 품목이 복잡해지고 다양해졌으며 큰 사업비용이 투입되고 있다. 무기체계와 부품국산화 개발 간에 차이점은 분명히 존재하지만 차이점을 인지하고 개선된 프로세스를 통해 시스템공학 활동을 수행할 필요성이 있다.

3. 부품국산화 연구개발

3.1 부품국산화 연구개발 현 실태

부품국산화 사업은 개발 간 시스템(체계)공학을 적용하여 수행하도록 국방기술품질원 업무규정 ‘무기체계 핵심부품국산화 개발지원사업 운용지침(개정 2018.12.14.)’에도 명시[7]하고 있고, 개발주관기업에 교육을 제공함에도 단순 주요 기술검토회의를 시스템공학 활동의 전부라고 판단하는 경우가 대부분이다.

3.1.1 부품국산화 연구개발 실패사례

그림 3과 같이 KUH-1에 장착되는 리졸버라는 품목은 2013년도에 핵심부품국산화 사업으로 시작하여 2017년도에 최종 종료된 사업으로 운행 중 발생할 수 있는 진동과 장비에 가해지는 비선형적인 외란에도 영상적외선체계가 목표물에 대한 조준(감시)선을 유지할 수 있도록 센서 구동기의 변위각을 측정하는 역할을 수행하는 품목이다.

사업이 진행되는 동안 주요 기술검토회의를 기점으로 설계검토서를 작성하지 않고, 단순 회의만 수행하였으며 개발대상품의 기능을 구체적으로 분석하거나 그림 4와 같이 요구사항화 하지 않았다.

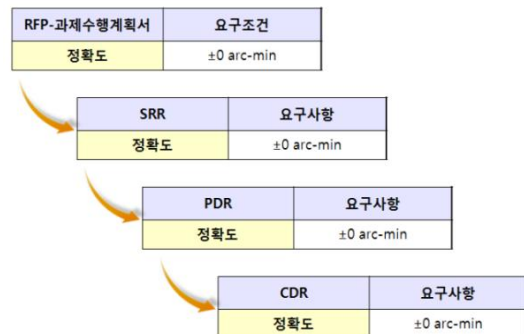
그 외에도 무기체계 연구개발과 같이 대상시스템의 임무나 기능을 분석하는 활동 등을 수행하지 않았다. 최초 사업제안요청서(RFP:Request For Proposal)의 요구조건을 기준으로만 시제품을 제작하였고 최종적으로 적용장비 호환의 어려움으로 사업이 실패하였다.

3.1.2 부품국산화 연구개발 현 제도 사례

부품국산화 개발사업의 최종평가를 담당하는 부서(부품개발연구팀)의 업무 규정인 ‘무기체계 핵심부품



[Figure 3] Figure of resolver



[Figure 4] A Bad Case of Requirement Development

국산화 개발지원사업 운용지침(개정 2018.12.14.)은 그림 5와 같이 체계공학에 의한 개발관리체계 구축 여부에 따라서 가중치를 부여(규정 별지 제4-3호 참고)하게 되어 있다.

그럼에도 불구하고 체계공학을 평가하는 항목인 '5-1항목(규정 별지 제4-3호 참고)'의 세부 평가기준이 수립되어있지 않으며, 단순 주요 기술검토회의 및 단계별 대표 산출물 도출여부 정도만을 형식적으로 파악하고 있는 실정이다.

3.2 부품국산화 연구개발 개선 제안 및 적용

부품국산화 연구개발은 실제 무기체계 연구개발의 축소판이라 불릴만큼 복잡하고 다양해졌음에도 불구하고 개발관리 수준이나 제도적 측면에서 시스템공학 활동이 기반되기는 힘든 실정이다. 단기간 노력을 통해 전체 프로세스가 개선될 수는 없지만 지속적인 부분적 노력을 통해 전체 부품국산화 연구개발 프로세스를 개선할 필요성이 있다.

본 연구는 부품국산화 사업에 적용 가능한 SE주요기술검토단계별 체크리스트를 작성 및 사업에 적용시켰으며, 단순 체크리스트 외 SE활동에 따른 필요산출물을 부품국산화 사업에 적합하도록 제시하였다.

3.2.1 부품국산화 연구개발 개선 제안

부품국산화가 무기체계와 같은 연구개발이라는 점에서 가장 먼저 개선이 필요한 것은 주요 기술검토회의의 기준을 수립하는 것이다. 현재까지 부품국산화 개발지원 사업의 주요기술검토 수준은 국방분야 SE활동 관점에서 부족한 수준이다. 예를들어, 시스템요구사항 검토단계(SRR)임에도 요구사항 작성기준에 따른 요구사항 개발보다는 최초 RFP에 명시한 요구성능 수준을 유지한 채 검토가 이루어지거나, 상세설계단계(CDR)임에도 상세설계도면이 확정되지 않고 검토회의를 진행하는 경우가 많았다. 현재 국산화 개발관리 업무는 SE주요기술검토를 어떻게 적용해야 하는지 구체적으로 명시하고 있지 않으며, 국방분야의 SE가 무기체계개발이 아닌 국산화 개발지원사업에 그대로 적용하기에는 개발 규모나 개념상 어려운 점이 있기 때문이다.

그림 6은 부품국산화를 위한 시스템공학 활동의 일환으로 제작한 주요 기술검토회의 중 SRR에 해당하는 체크리스트이다. 부품국산화 관련 규정에 의거하여 반드시 수행이 필요한 부분(펌웨어를 포함한 SW개발 필요성, RFP요구조건 변경내용, 부체계/체계업체의 요구조건 추가 등 검토 여부 확인)을 체크리스트에 삽입하고, 무기체계 연구개발 수행하는 주요 기술검토회의의 불필요한 활동들을 삭제하였

[별지 제4-3호]<개정 2015. 8.25><개정 2016. 5. 9><개정 2017.8.23>

과제번호	평가일	20 . . .
------	-----	----------

핵심부품 국산화개발 지원사업 현장평가서

과제명	
주관기업	과제책임자
공동개발기업	위탁연구기관

● 평가 참여자

구분	수소	지위	시행
----	----	----	----

<첨부 #1><개정 2015. 8.25><개정 2016. 5. 9><개정 2017.8.23>

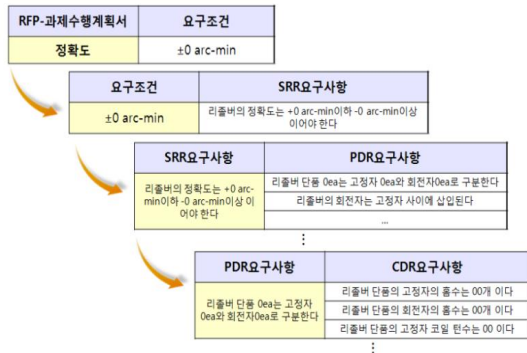
핵심부품 국산화개발 지원사업 현장평가표

평가항목	배점	평가자료	가중치	평점
1. CEO의 경영역량	10	1. CEO의 경영능력 및 핵심부품사업에 대한 이해도 2. CEO의 개발대상과제에 대한 이해도 및 대응 의지	5 5	
4. 인사관리의 적절성 및 운영능력	3			
5. 체계공학에 의한 개발관리 체계구축여부	6			
체계	15	2. 시뮬레이션, 설계해석 능력 3. 부속 분야에 대한 보안 방어의 적절성	5 4	
6. 시제작 능력	10	1. 직공구, 생산 공정 설계 능력 2. 자체 생산 능력 보유 및 품질관리체계	4 3	

[Figure 5] The Part of Evaluation Table for Localization

SRR/SRR					
번호	구분	항목	판정기준	판정	비고
1	산출물 확인	개발 산출물 작성은 타당한가?	0	0	
		-요구사항기술서	0/X	0	
		-위협관리계획서	0/X	0	
		-소프트웨어 개발계획서	0/X	X	
		-회의 자료	0/X	0	
2	SW개발 필요성 확인	의뢰 항목 X시) 타당성 분석에 대한 사유는 타당한가?	0 (해당없음 시 '모기)	0	
3	요구조건 누락 확인	필요한 요구사항 중 RFP요구조건이 누락된 것이 있는가?	0/X	0	
		의뢰 항목 X시) 누락된 RFP요구조건이 변경이 필요하고 타당한 근거가 작성되었는가?	0 (해당없음 시 '모기)		
4	요구조건 변경 확인	필요한 요구사항 중 RFP요구조건과 상이한 것이 있거나(추가 요구사항 제외)	0/X	X	
		의뢰 항목 X시) 상이한 RFP요구조건이 변경이 필요하고 타당한 근거가 작성되었는가?	0 (해당없음 시 '모기)	0	
		의뢰관제자등의 (추가)요구사항을 반영하였는가?	0	0	
		-부체계업체 담당부서	0/X	0	

[Figure 6] The Part of Check List for Technical Review (SRR version)



[Figure 7] A Best Practice of Requirement Development

다. 주요기술검토회의를 단순 일련의 회의가 아닌 Pass와 Fail의 마일스톤 관점에서 사업관리를 수행할 수 있도록 정립하였다.

시스템 공학적 기반의 사업관리 활동으로 또 다른 중요한 사항 중 하나인 요구사항 개발이다. 현재까지의 부품국산화 대상은 규모가 작고 여러 기술들이 복합적으로 반영되는 품목이 아니었기 때문에 국산화 개발이 가능할 수 있었으나, 최근 국산화의 추세는 고난이도 및 기술의 융복합이 요구되는 품목이 증가하는 추세임으로 요구사항을 구체적으로 개발/분해할 필요성이 있다. 앞선 그림 4와 같이 KUH에 장착되는 리졸버를 개발함에 있어서도 최초 RFP요구조건을 기준으로 그림 7과 같이 요구사항 개발을 수행할 필요성이 있었다.

사업을 수행하는 동안 최초 RFP요구조건을 기반으로 실제 엔지니어가 요구사항을 세분화하고 개발할 수 있도록 가이드화 하였다.

3.2.2 부품국산화 연구개발 개선 적용 사례 및 효과

부품국산화 연구개발 사업 간 시스템공학 기반의 개선이 필요한 주요기술검토회의 간 체크리스트 도입과 요구사항 개발을 실제 부품국산화 사업에 적용하였고 효과를 입증한 사례이다. 그림8은 천마 지대공 무기체계에 들어가는 2018년 최종 연구개발 완료된 믹서, 시험용믹서, 리미터, 리미터제어기 4 품목이며 천마 추적레이더 수신단에 장착되어 수신 신호의 혼합 등 제어를 담당하는 품목들이다.



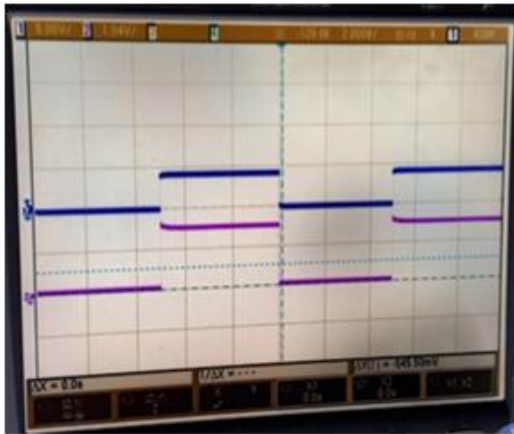
[Figure 8] Localization of K-SAM1 (Mixer, etc.)

SRR		PDR	
SRR-LCS-001.1	SRR정밀 Low? Low? 미정 미정 미정.	PDR-LCS-001.1.1	당해로 기존내 MCU용 FPGA 구성하여 SRR정밀의 신호주출을 제어한다.
		PDR-LCS-001.1.2	제어신호에 의해 인출해, 기존내 Amp기 OFF 되고, 리미터의 동작을 OFF 시킨다.
SRR-LCS-001.2	SRR정밀 Attenuation이 45dB 미정 미정 미정.	PDR-LCS-001.2.1	당해로 기존내 MCU용 FPGA 구성하여 SRR정밀의 신호주출을 제어한다.
		PDR-LCS-001.2.2	제어신호에 의해 인출해, 기존내 Amp기 ON 되고, 리미터의 동작을 ON 시킨다.
		PDR-LCS-001.2.1	당해로 기존내 MCU용 FPGA 구성하여 SRR정밀의 신호주출을 제어한다.
CDR			
CDR-LCS-001.1.1.1	외부 인터페이스와의 연결을 위해 MCU를 적용한다.		
CDR-LCS-001.1.1.2	기존 PROM과 로직소자로 구성된 부분은 FPGA를 적용한다.		
CDR-LCS-001.1.2.1	리미터의 동작을 ON/OFF 시키고, 최종제어신호 안정화를 위해 최종 출력단에 Op-Amp를 적용한다.		
CDR-LCS-001.1.2.2	리미터의 ON/OFF 타이밍 조절 및 잡음 제거를 위해 Op-Amp의 입력단에 Bypass Capacitor를 적용한다.		
CDR-LCS-001.2.1.1	외부 인터페이스와의 연결을 위해 MCU를 적용한다.		
CDR-LCS-001.2.1.2	기존 PROM과 로직소자로 구성된 부분은 FPGA를 적용한다.		
CDR-LCS-001.2.2.1	리미터의 동작을 ON/OFF 시키고, 최종제어신호 안정화를 위해 최종 출력단에 Op-Amp를 적용한다.		

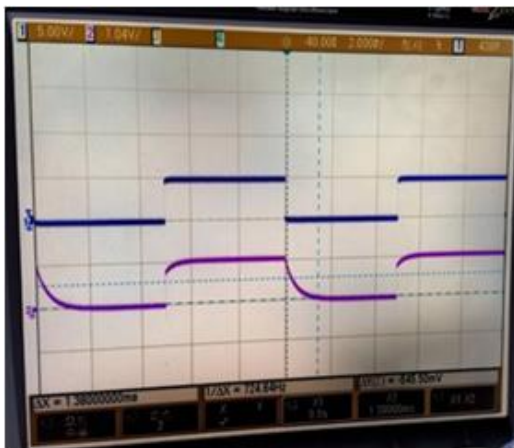
[Figure 9] The Output of Requirement Engineering

해당 품목은 시스템공학 기반의 부품국산화 연구개발을 통해 주요기술검토회의 단계별 필요 수행사항을 모두 수행하고 PASS하여 최종 개발을 완료하였고, 시제품제작 후 단품단위에서 개발성능 측정결과 요구조건을 모두 만족하였으나 상위 부체계인 천마 추적레이더 고주파헤드 장착시험에서 제대로 동작하지 못하는 현상이 발생했다. 구체적인 현상으로 추적레이더의 방위각 및 고각 채널 정보가 천마 체계 화면전시기에 전시되지 않았으며, 그림 9와 같이 사업 수행 간 요구사항 개발을 토대로 문제점을 파악하였다. 그림 9는 최초 SRR단계부터 TRR까지 추적관리 되어오던 요구사항 추적관리표이며 현재까지 수행되었던 타 국산화 사업에서 흔히 관리하던 산출물은 아니었다.

세분화된 요구사항을 기준으로 분석결과 동작속도에 문제가 있음을 발견할 수 있었다. 기존 도입품과 비교 시 각 시간별로 신호의 흐름은 동일하였으나 신호가 스위칭되는 순간의 타이밍이 어긋난다는 것을 확인할 수 있었다. 해당 근거를 기반으로 실제 도입품과 장비를 연결하여 스위칭 타이밍 값을 확



(a) Imported products



(b) Domestic products

[Figure 10] Differential between imported products and domestic products

인하였고, 그림 10과 같이 개발품과 차이점을 직접 확인할 수 있었다.

최종적으로 개발품의 최하위 부품소자인 캐패시터의 값을 파악하여 기존 값(시정 수 : 100nF) 대비 개선된 값(시정 수 : 6.8pF)의 소자로 대체하였고, 체계적인 프로세스와 대처방법을 통해 최종 사업을 성공적으로 마무리 할 수 있었다.

4. 결론

부품국산화 연구개발은 무기체계 연구개발의 축소판이라고 할만큼 사업관리가 중요하다. 비용과 복잡도가 증가 뿐만 아니라 정부가 투자하는 사업비용도 꾸준히 증가하고 있으며 수출규제 및 단종을

대비한 국내기술 확보 측면에서도 중요한 연구개발 사업이다. 현 부품국산화 사업의 시스템 공학 적용 실태에 대해 분석했고, 무기체계 개발과 차이가 있는 만큼 테일러링된 시스템 공학 기반의 프로세스가 필요하였다. 부품국산화에 적용 가능할 수 있도록 현실적인 주요기술검토회의 단계별 체크리스트를 도출하고 사업에 실제 적용하였으며, 최종 어려움을 극복하고 연구개발을 완료함으로써 그 효과를 확인할 수 있었다.

시스템공학에 기반한 활동이 단순 주요 기술검토회의 체크리스트가 아니라 초기에 임무 및 기능분석, 위험관리 등 다양하기 때문에 향후 부품국산화에 적합한 프로세스 연구가 추가될 필요성이 있으며 부품국산화 연구개발의 성공률을 높이기 위해서는 지금보다 더 고도화/체계화 되어야 할 것이다.

References

1. 김진일, 염충섭, 신중욱, “정부지원 과제의 시스템 엔지니어링 적용 교훈 : 사례연구”, Journal of Korea Society of Systems Engineering, Vol. 15, No. 2, pp.31-38, December 2019.
2. 무기체계 부품국산화개발 관리규정, 방위사업청 훈령 제559호(2019.10.30.개정)
3. 기완욱, 김광수, 홍대근, “이해관계자 요구사항 기반 기술정보 도출 방법론-나노 센서 사례”, Journal of Korea Society of Systems Engineering, Vol. 14, No. 1, pp.19-27, June 2018.
4. Systems Engineering Technical Review GUIDEBOOK, 방위사업청(2017.6.30.)
5. Alexander Kossiakoff, Systems Engineering Principles and Practice 2ndEdition, JohnWiley& sons, p139, 2011.
6. Gregory S. Parnell, Decision Making in Systems Engineering and Management, 2ndEdition, JohnWiley&Sons, 327-335, 2011.
7. 무기체계 핵심부품 국산화개발 지원사업 운용지침, 국방기술품질원(2018.12.14.개정).