



Received: 2026/07/23
Revised: 2026/08/02
Accepted: 2026/08/27
Published: 2026/09/30

***Corresponding Author:**

Seunghoon Jung
E-mail: seunghoon.jung@hanwha.com

Abstract

본 연구는 한국군 전술데이터링크(TDL) 통합 처리기(DLP) 획득을 위한 3가지 대안을 품질기능전개(QFD)의 품질의 집(HoQ)과 고장유형영향분석(FMEA) 기반 획득 리스크를 융합한 정량적 프레임워크로 비교·평가한다. 작전요구사항 가중치는 공개된 문헌에서 도출하고, 리스크 우선순위는 미 GAO 연례 획득 평가 실적 통계에서 객관적으로 설정하여 재현 가능한 정량 분석을 구현하였다. 검출가능성(D)은 ISO 14971에 따라 독립 변수가 아닌 발생가능성의 완화 수단으로 처리하여 2요소 모델을 채택하였다. 분석 결과 독립 사업화가 HoQ 충족도와 획득 리스크 기준에서 최우위를 차지하였으며, 대형 체계 중속은 일정 지연 리스크가 단일 최고위험 요인으로 확인되었다. 이를 바탕으로 단기, 중기, 장기로 이어지는 3단계 진화적 획득 로드맵을 제안한다.

The aim of this study was to evaluate three acquisition alternatives for an integrated tactical data link (TDL) processor (DLP) for the ROK military using a quantitative framework that integrates the House of Quality (HoQ) from Quality Function Deployment (QFD) with a failure modes and effects analysis (FMEA)-based acquisition risk matrix. Operational requirement weights were derived from open official sources. Risk Priority scores were objectively established from U.S. GAO annual acquisition assessment statistics, with detectability (D) excluded per ISO 14971, which defines risk as $S \times P$ and treats detection as a probability modifier rather than an independent factor. The results show that independent acquisition achieved the highest HoQ score and the lowest RP, while large-system subordination exhibited the highest schedule-delay risk. Based on these findings, a three-phase evolutionary acquisition roadmap is proposed: short-term, mid-term, and long-term.

Keywords

전술데이터링크(Tactical Data Link), 통합 데이터링크처리기(Integrated DLP), 품질기능전개(QFD), 고장유형영향분석(FMEA), 국방 획득(Defense Acquisition), 획득 대안 평가(Acquisition Alternative Evaluation), 진화적 로드맵(Evolutionary Roadmap)

Acknowledgement

이 논문은 2026년도 한국해군과학기술학회 하계학술대회 발표 논문임.

QFD와 FMEA 기반 한국군 전술데이터링크 통합 처리기(DLP) 획득 대안 평가 및 진화적 로드맵 연구

Acquisition Alternative Evaluation and Evolutionary Roadmap for an ROK Integrated Tactical Data Link Processor Using QFD and FMEA

정승훈^{1*}, 신지한², 박재수¹

¹한화시스템 통신연구소 수석연구원

²한화시스템 해양연구소 수석연구원

Seunghoon Jung^{1*}, Jihan Shin², Jaesoo Park¹

¹Chief engineer, Communication Research Institute, Hanwha Systems

²Chief engineer, Naval Research Institute, Hanwha Systems

1. 서론

군 작전 환경에서 전술데이터링크(tactical data link, TDL)는 지휘통제체계(C4I)와 무기체계 간 실시간 표적정보 공유를 위한 핵심 수단이다. 한국 해군은 Link-11 도입을 시작으로 Link-16, ISDL-II, Link-K, KVMF에 이르기까지 다양한 TDL을 순차적으로 도입·운용해 왔으며, 현재 연합해상전술데이터링크 Link-22 체계 개발 사업이 진행 중이다[1]. 이에 따라 한국 해군 함정에는 플랫폼 유형과 도입 시기에 따라 서로 다른 TDL이 탑재되어 있으며, 이를 처리하는 데이터링크 처리기(data link processor, DLP) 역시 플랫폼별로 이질적으로 구성·운용 중이다[2].

이러한 개별 사업 중심의 DLP 획득 구조는 다섯 가지 구조적 비효율을 야기한다. 첫째, 신규 링크 추가나 소프트웨어 업그레이드 시 전체 체계 재설계가 요구된다. 둘째, 작전 중 TDL 전환 시 즉각적인 절체(切替)가 불가하여 전술 상황에서 정보 공백을 유발할 수 있다. 셋째, 기함(旗艦)이 이기종 TDL 간 중계 수행 시 운용자의 수동 개입이 불가피하여 인적 오류 가능성이 증가한다. 넷째, DLP 소프

트웨어 버전 차이와 표준 적용 혼재로 Link-22 상호 운용성 평가의 절차적 비효율이 발생한다[3]. 다섯째, 플랫폼별 중복 개발에 따른 수명주기비용(life cycle cost, LCC) 증가와 군수지원 복잡성 심화가 우려된다[4]. 미 해군은 이를 선제적으로 해결하기 위해 CDLMS와 C2P로 이어지는 통합 DLP 아키텍처를 발전시켜 왔으며[5], 이는 한국군 통합 DLP 획득 방향 설계의 핵심 벤치마크가 된다.

이에 본 연구는 한국군 전술데이터링크 통합 DLP 획득을 위해 상정 가능한 3가지 대안—① 점진적 통합 방안(A1), ② 대형 체계 종속 방안(A2), ③ 독립 사업화 방안(A3)—을 설정하고, 품질기능전개(quality function deployment, QFD)의 품질의 집(house of quality, HoQ)과 고장유형영향분석(failure mode and effects analysis, FMEA) 기반 획득 리스크 매트릭스를 융합한 정량적 프레임워크로 비교·평가한다. 분석 결과를 바탕으로 단기 플랫폼 접목형 기술 성숙화에서 중장기 독립 사업화 및 아키텍처 표준화로 이어지는 진화적 획득 로드맵을 제안하였다.

2. 관련연구

2.1 한국군 전술데이터링크 운용 현황 및 DLP 획득 구조적 문제

한국군에서 운용 중인 TDL은 작전 목적에 따라 TDL, Sub-TDL, 미사일 포대 통제용, 실시간 정밀타격용, 영상정보획득용 공용데이터링크(common data link, CDL) 등으로 분류된다[1]. 이 중 합동·연합 작전용 TDL은 높은 상호운용성이 요구된다. 한·미 간의 TDL 운용 현황을 비교하면 Table 1과 같다. 미군은 Link-11, Link-16, VMF를 근간으로 운용하는 반

면, 한국군은 이에 더하여 ISDL-II, Link-K, KVMF 등을 추가로 운용하고 있다[1,2].

각각의 TDL 구성 장비 중 DLP는 Link-22를 포함한 대부분의 TDL 체계를 구성하는 핵심 장비로[6], 현재 플랫폼별로 이질적으로 구성·운용 중이다. 이러한 개별 사업 중심의 획득 구조는 서론에서 서술한 다섯 가지 구조적 문제를 야기하며, 통합 DLP 독립 획득 필요성에 대해서도 선행연구에서 언급된 바 있다[7].

2.2 미 해군 CDLMS·C2P 아키텍처 진화 사례

미 해군은 함정의 TDL 통합 처리 문제를 해결하기 위해 독립적인 통합 DLP 체계를 단계적으로 발전시켜 왔다. CDLMS(common data link management system)는 TDL 장비·메시지 표준·프로토콜을 전술정보 처리기로부터 격리하여 다양한 링크 형식을 단일 데이터베이스에서 번역하는 유연한 능력을 제공한다[8]. 이를 통해 함정 전투체계가 링크 종류에 관계없이 동일한 전술정보를 제공받는 시스템 독립적 아키텍처가 구현되었다.

최근 미 해군이 개발/운용을 추진하고 있는 AN/UYQ-120(V) C2P(command and control processor) system(C2PS)은 기존 체계 하드웨어 노후화에 따른 성능개량된 체계를 말하며, Link-16, Link-22, 위성 Link-16, JRE(joint range extension) 등 다중 링크를 단일 처리 아키텍처에서 동시에 지원한다[9]. 미 해군 사례의 핵심 함의는 ① 플랫폼 독립 아키텍처, ② 소프트웨어 정의 개방형 설계, ③ 독립 사업화를 통한 지속적 성능개량으로 요약된다.

2.3 QFD 및 FMEA 이론과 국방 적용 선행연구

QFD는 고객 요구사항을 제품 기술적 특성으로 변환하는 방법론으로, Hauser and Clausing(1988)이 제안한 HoQ을 핵심 도구로 활용한다[10]. HoQ는 고객 요구사항(what)과 기술적 해결책(how) 간의 관계를 정량적 행렬로 표현하며, 9-3-1 척도 기반 관계 점수와 요구사항별 가중치의 곱으로 각 대안의 가중 충족도(Sj)를 산출한다. Chan and Wu(2002)에 따르면 QFD는 제조업에서 출발하여 국방·항공우주 분야로 적용이 확대되어 왔으며[11], 미 국방부 역시 무기체계 획득 과정에서 HoQ를 생산성 공학 도구로 적

Table 1. Comparison of ROK and U.S. TDL[1,2]

Category	ROK	U.S.
Tactical TDL	Link-11, Link-16, VMF, Link-22(TBD), ISDL-II, Link-K, KVMF	Link-11, Link-16, VMF
Combined Ops.	Link-11, Link-16, Link-22(TBD)	Link-11, Link-16
Joint Ops.	Link-16, Link-K, KVMF	Link-16, VMF
Indigenous	ISDL-II, Link-K, KVMF	-

용하고 있다[12].

FMEA는 MIL-STD-1629A에 기반한 위험 분석 방법론으로, 잠재적 고장 유형을 식별하고 심각도(severity, S), 발생가능성(probability, P) 및 검출가능성(detection, D)의 곱으로 위험을 정량화한다. FMEA는 획득 프로젝트 리스크 관리로도 적용이 확장되었으며[13], Ginn et al.(1998)은 QFD와 FMEA를 연계한 통합 프레임워크를 제안하였다[14]. Almannai et al.(2008)은 이를 기술 대안 선택 의사결정에 적용하여 실용성을 검증하였다[15].

기존 선행연구들이 TDL 표준화[1], 상호운용성 평가 절차 개선[3], 운용 환경별 장치 개발[4] 등 개별 체계 수준의 문제에 집중한 반면, 통합 DLP를 독립적인 획득 대상으로 설정하고 QFD-FMEA 융합 프레임워크로 획득 대안을 정량 비교한 연구는 수행된 바 없다. 특히 기존 국방 획득 연구에서 활용되는 델파이·전문가 설문 기반 AHP 방식은 설문 참여자 구성에 따라 결과가 달라지므로 데이터 재현성 측면에서 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 가중치와 리스크 점수를 공개된 1차 문헌에서 도출하는 방향을 시도하였다.

다만 다음의 방법론적 한계를 명시한다. 첫째, CDLMS 및 C2P 사례의 벤치마크는 미 연방조달규정(federal acquisition regulation, FAR), 미 국방부 연방 조달 규정 보충서(defense federal acquisition regulation supplement, DFARS), 미 국방중기계획(future years defense program, FYDP), 국내 방산 공급망을 기반으로 검토한 내용으로 방위사업법·방위력 개선사업 관리 규정·소요기획 제도로 운영되는 한국 방위사업 환경에 직접 전용하기 위해서는 제도적 적합성 검토가 선행되어야 한다. 둘째, FMEA 발생가능성(P) 점수 산출 근거로 미 회계감사원(government accountability office, GAO)에서 공개하는 미 주요방위사업획득프로그램(major defense acquisition program, MDAP) 통계를 활용하였으나, 방위사업청 사업 통계는 공개된 집계 자료가 없어 한국 방위력 개선사업의 실제 일정 지연율·원가 초과율이 다를 수 있다. 셋째, 위험을 정량화하는데 있어 검출가능성(D)은 본 연구 대상인 사업적 획득방향 제시라는 측면과 거리가 있어 본 연구에서 제외하였다. 이 세 가지는 향후 연구에서 보완이 필요한 한계 사항이다.

3. 연구방법론 및 설계

3.1 연구 프레임워크 및 3가지 획득 대안 정의

본 연구는 QFD 기반 HoQ 분석과 FMEA 기반 획득 리스크 분석을 순차적으로 수행한 후, 두 결과를 통합하여 최적 대안 및 진화적 로드맵을 도출하는 2단계 융합 프레임워크를 적용한다. 연구 프레임워크는 ① 작전요구사항 도출 및 가중치 설정 → ② QFD-HoQ 관계 행렬 설계 → ③ FMEA 리스크 요인 및 S/P 기준 설계 → ④ 통합 평가 및 로드맵 도출의 4단계로 구성된다.

본 연구의 분석 범위에는 다음과 같은 제한사항이 존재한다. 첫째, 국내외 TDL은 사업 특성 및 관련 권한 문제로 인해 기술적 통합 가능성과 무관하게 정책적 승인 절차가 선행되어야 한다. 둘째, 국외 도입 TDL의 경우 해당국 RMF를, 국내 개발 TDL의 경우 K-RMF를 준수해야 하며, Link-22와 같이 미 RMF-NATO RMF-K-RMF가 혼합 적용되는 체계에서는 양측의 보안 승인 없이 물리적 통합이 불가능하다[16]. 셋째, 개별 DLP와 통합 DLP 간의 수명주기비용 정밀 비교는 별도의 전용 연구가 필요하다. 이러한 정책적·보안적·비용적 요소는 본 연구의 분석 변수에서 제외하고 기술적·획득 구조적 측면에 집중한다.

평가 대상인 3가지 획득 대안은 Table 2와 같이 정의한다.

Table 2. Definition of acquisition alternatives

Alt.	Name	Overview
A1	Incremental Integration	Partial integration of unified DLP technology into new ship programs (e.g., KDDX and future platforms); no separate independent acquisition program
A2	Large-System Subordination	Integrated as a core function of joint/combined C4I systems (e.g., JTDLS-2); dependent on upper-system schedule and budget
A3	Independent Acquisition	Pursued as a separate, independent weapon system acquisition program; based on open architecture; domestic TDL-first integration

3.2. QFD 기반 HoQ 분석 설계

HoQ에 적용되는 작전요구사항은 국방전력발전업

Table 3. HoQ weight derivation basis and relationship score rationale

Code	Operational Requirement	Wi	Weight Basis	A1	A2	A3	Score Rationale
R1	Multi-Link Processing & Data Fusion	0.25	Primary CDLMS goal[5], DoDAF OV top-priority[18]	3	3	9	A3=9: Single-DB simultaneous processing[5], A1/A2=3: DLP structural constraints[2]
R2	TDL Switching Responsiveness	0.20	ROK naval ops gap (Section 2.1), CDLMS agnostic switching[5] (Author analysis)	1	3	9	A3=9: Real-time switching SRS (Author analysis), A2=3: Upper-system Latency / A1=1: No dedicated function[2]
R3	Combined Ops. Interoperability	0.20	ROK-U.S. Link-22 challenge[6], DoDAF OV-3 requirement[18]	3	3	9	A3=9: Open-architecture interface OV-3[18], A1/A2=3: Platform DLP SW versions constraints[2].
R4	System Survivability & Anti-Jamming	0.15	Required for contested RF[7]	1	9	3	A2=9: Inherits C4I anti-jam infra. (Author analysis), A3=3: SRS-addressable but dedicated design / A1=1: status quo[7]
R5	Scalability (New Link/Platform)	0.12	Long-term evolution; C2PS based[8], Lower near-term impact	1	1	9	A3=9: SW-only link addition (C2PS) [9]. A1=1: Platform upgrade cycle / A2=1: Upper-system approval required (Author analysis)
R6	Logistics & LCC	0.08	Long-term metric; future research[4]	9	3	3	A1=9: Existing logistics; no program overhead. (Author analysis), A2/A3=3: New program short-term cost[4].
Total		1.00					

무훈령 및 DoDAF v2.02의 운용부(OV) 요구사항 정의 체계를 참조하여 6개 항목으로 도출하였다 [17,18]. 가중치(W_i) 및 관계 행렬(R_{ij})은 공개된 군사 문서 및 선행연구에서 근거를 도출하고 자체분석 결과를 포함한 점수를 배분하였다. 정리된 내용은 Table 3와 같으며, 적용된 수식은 수식 (1)과 같다.

$$S_j = \sum (W_i \times R_{ij}) \quad (1)$$

여기서 W_i 는 i 번째 작전요구사항의 가중치, R_{ij} 는 i 번째 요구사항과 j 번째 대안 간 관계 점수이다. R1~R6 요소를 도출하고, 관련 수치에 대한 판단근거는 표 내부에 언급하였다. 이 중 R2(TDL 전환 적응성), R4(체계 생존성) 및 R6(군수지원성 및 수명주기비용) 등 일부 점수는 객관적 자료 획득이 제한되어 저자의 경험적 분석을 통해 수치화하였으며, 이는 향후 수정·보완이 필요한 사항이다. 이러한 HoQ 및 이후 FMEA 분석 설계 시 포함된 저자 분석 항목이 결론에 미치는 영향은 4.3절 민감도 분석을 통해 검증하였다.

3.3 FMEA 기반 획득 리스크 분석 설계

국방 획득 맥락에 FMEA를 적용하여 각 대안의 잠

재적 획득 실패 모드를 정의하였다. MIL-STD-1629A의 FMEA 절차를 준용하되[13], 분석 대상을 하드웨어 고장이 아닌 획득 사업 리스크 요인으로 확장한 Carbone and Tippet(2004)의 프로젝트 리스크 FMEA 방법론을 적용하였다[19].

전통적 FMEA는 심각도(S)·발생가능성(P)·검출가능성(D) 세 요소의 곱으로 RPN을 산출하나, 국제 리스크 관리 표준 ISO 14971은 위험을 $S \times P$ 의 2요소로 정의하고 있어[20], 이점을 참고하여 D는 독립 변수가 아닌 발생가능성의 완화 수단으로 판단하여 제외하였다. 획득 사업 리스크에서 검출가능성은 사업 감시 주기·감사 체계 등 외생적 조직 요인에 의존하므로 공개 문헌 기반의 객관적 수치화가 불가능하다. 따라서 본 연구는 재현가능성 확보를 위해 리스크 우선순위(risk priority, RP)를 심각도(S)와 발생가능성(P)의 곱으로 산출하는 2요소 모델을 채택하였다.

GAO MDAP 문서를 바탕으로 4가지 획득 리스크(기술(RT), 일정(RS), 비용(RC), 상호운용성(RI)) 요인을 정의하고 S 및 P의 점수를 Table 4와 같이 도출하였다. GAO-20-439[21]는 MDAP 초도 전력화 소요시간이 계획 대비 30% 증가하여 평균 2년 이상 지연됨을 보고하였으며, GAO-24-106831[22]는 전력화 완료 MDAP의 평균 지연이 3년에 달함을 확인하

Table 4. FMEA acquisition risk factor definition and S-P score basis

Code	Risk Item	Failure Mode	Effect	S Score Basis	P Score Basis
RT	Technical Risk	Immature key technology (TRL deficiency)	System dev. failure/delay	Delay(Month): 9-10(24M), 7-8(12M), 5-6(6-12M), 3-4(6M), 1-2(No)[21-23]	GAO: TRL gaps common in new MDAP programs[21]
RS	Schedule Delay	Upper-system dependency, development overrun	Operational capability gap		GAO: >50% MDAP report new delays annually[23]
RC	LCC Overrun	Requirements change, rework cost increase	Budget overrun/cancellation	Cost overrun: 9-10(20%), 7-8(10-20%), 5-6(5-10%), 3-4(5%), 1-2(No)[21]	GAO: 54% MDAP exceed cost baseline[21]
RI	Interoperability Failure	Non-standardized interface, integration test failure	Reduced operational effectiveness	9-10(integration test fail), 7-8(non-standard), 5-6(diff. standard), 3-4(OV-3), 1-2(interoperability) (Author analysis)	Integration complexity by alternative. No direct GAO statistic (Author analysis)

였다. 따라서 S점수는 전력화 지연 기간 및 예산 초과 규모를 기준으로 정의하였다. P점수는 GAO-22 - 105230[23]의 일정 지연율 50% 초과를 기준으로 환산하여 적용하였다. 획득리스크 중 상호운용성(RI) 리스크의 S와 P점수는 공개 통계가 부재하여 저자의 경험적 분석으로 자체 수치화하였다.

6.93으로 전체 S_j 의 91%를 차지한다. 특히 R2($W_i = 0.20$)에서 A1의 기여값이 0.20에 그친 반면 A3는 1.80으로, 독립 사업화를 통한 실시간 전환 기능의 설계 반영 가능성이 결정적 차별 요인임이 확인된다. A2는 R4($W_i \times R_{ij} = 1.35$)가 강점이나 R5 기여값 0.12에 그쳐 확장성이 구조적으로 제한된다.

4. 분석 결과 및 진화적 획득 로드맵

4.1 HoQ 분석 결과

3장에서 설계된 W_i 와 R_{ij} 를 수식 (1)에 대입한 $W_i \times R_{ij}$ 기여값 계산 결과 및 가중치 충족도($S_j = \sum(W_i \times R_{ij})$)는 Table 5와 같다.

A3(독립 사업화)의 $S_j = 7.62$ 는 A2(3.66) 대비 2.08배, A1(2.54) 대비 3.0배로, 작전 효과와 직결되는 R1(다중링크)·R2(전환 적응성)·R3(상호운용성)·R5(확장성) 4개 항목에서의 $W_i \times R_{ij}$ 기여값이 총

Table 5. HoQ calculation & weight satisfaction score

Code	W_i	A1 R_{ij}	A1 $W_i \times R_{ij}$	A2 R_{ij}	A2 $W_i \times R_{ij}$	A3 W_i	A3 $W_i \times R_{ij}$
R1	0.25	3	0.75	3	0.75	9	2.25
R2	0.2	1	0.20	3	0.60	9	1.80
R3	0.2	3	0.60	3	0.60	9	1.80
R4	0.15	1	0.15	9	1.35	3	0.45
R5	0.12	1	0.12	1	0.12	9	1.08
R6	0.08	9	0.72	3	0.24	3	0.24
S_j	1.00		2.54		3.66		7.62

4.2 FMEA 분석 결과 및 통합 평가

대안별 리스크 우선순위(risk priority, RP) 산출 결과는 Table 6과 같다. A2의 총 RP가 185로 가장 높아 고위험군으로 분류된다. 이는 MDAP의 50% 이상이

Table 6. Risk priority results by alternative

Alternative	Risk Item	S	P	RP (S×P)	Level
A1 Incremental	RT Technical	4	5	20	Low
	RS Schedule	5	4	20	Low
	RC LCC	6	6	36	Medium
	RI Interop.	8	7	56	High
	Subtotal			132	
A2 Subordination	RT Technical	5	4	20	Low
	RS Schedule	9	8	72	High
	RC LCC	9	7	63	High
	RI Interop.	6	5	30	Medium
	Subtotal			185	
A3 Independent	RT Technical	6	5	30	Low
	RS Schedule	5	4	20	Low
	RC LCC	7	5	35	Medium
	RI Interop.	4	3	12	Low
	Subtotal			97	

Table 7. Integrated QFD-FMEA evaluation results

Alt.	HoQ Score(S_j)	FMEA Total RP	Assessment
A1	2.54 (Low)	132 (Medium)	Supplementary in short-term
A2	3.66 (Medium)	185 (High)	Discouraged - Excessive risk
A3	7.62 (Best)	97 (Low)	Optimal - Dual superiority

매년 신규 일정 지연을 보고하는 현실에서[23] 상위 체계 일정에 종속된 구조가 DLP 전력화 지연을 구조적으로 내포하기 때문이다. A2의 RS RP는 72로 나와 전체 위험에서 가장 높은 단일 요인으로, Table 5의 $S = 9$ 기준인 전력화 24개월 이상 지연에 해당한다고 볼 수 있다.

여기서 A3의 RI(RP = 12) 값이 가장 낮다는 점은 직관에 반할 수 있으나, 이는 다음과 같이 해석된다. A3는 시스템 설계 초기 단계부터 DoDAF OV-3 기반 개방형 표준 인터페이스를 체계요구사항(software requirements specification, SRS)으로 강제할 수 있어 구조적 연동 문제가 설계 단계에서 사전 차단된다. 반면 A1은 기존 플랫폼 DLP의 비표준 인터페이스를 그대로 상속하며, A2는 상위 체계 아키텍처 변경 제약으로 인해 추가 인터페이스 표준화가 어렵다. 따라서 상호운용성 리스크의 원인이 “새 시스템 여부”가 아니라 “표준 인터페이스 설계 자율성 여부”에 있으며, A3가 이 자율성을 최대한 확보하는 대안이다.

QFD-FMEA 통합 평가 결과는 Table 7과 같다. A3는 HoQ 최고점(7.62)과 FMEA 최저 RP(97)를 동시에 달성하는 이중 우위를 확보하였다. 두 분석 기준이 독립적으로 동일 결론을 지지한다는 점이 결론의 강건성(robustness)을 높인다.

4.3 가중치 민감도 분석

가중치(W_i) 설계가 결론에 미치는 영향을 검증하기 위해 각 W_i 를 $\pm 30\%$ 변동시키는 민감도 분석을 수행하였으며 해당 결과는 Table 8과 같다. 분석 결과 12개 변동 시나리오 전체에서 A3가 최적 대안 지위를 유지하였다. A2에 유리한 R4 가중치를 기준값(0.15)의 3배인 0.50까지 올려야 비로소 A2가 A3를 역전($A2 = 5.86 > A3 = 5.72$)하는 것으로 나타났다. 이는

Table 8. Sensitivity analysis: Effect of $\pm 30\%$ W_i variation on HoQ ranking

Scenario	W_i (changed)	A1 S_j	A2 S_j	A3 S_j	Rank 1	Robust
Baseline	—	2.54	3.66	7.62	A3	O
R1 -30%	0.189	2.50	3.71	7.51	A3	O
R1 +30%	0.302	2.57	3.61	7.72	A3	O
R2 -30%	0.149	2.64	3.70	7.53	A3	O
R2 +30%	0.245	2.45	3.62	7.70	A3	O
R3 -30%	0.149	2.51	3.70	7.53	A3	O
R3 +30%	0.245	2.57	3.62	7.70	A3	O
R4 -30%	0.110	2.61	3.41	7.84	A3	O
R4 +30%	0.187	2.47	3.89	7.42	A3	O
R5 -30%	0.087	2.60	3.76	7.57	A3	O
R5 +30%	0.151	2.49	3.57	7.67	A3	O
R6 -30%	0.057	2.38	3.68	7.73	A3	O
R6 +30%	0.102	2.69	3.64	7.51	A3	O
R4=0.40	0.400	2.02	5.28	6.36	A3	O
R4=0.50	0.500	1.91	5.86	5.72	A2	X

체계 생존성이 전체 작전요구사항 중 절반을 차지해야 한다는 비현실적 조건으로, 본 연구 결론이 가중치 선택에 강건함을 의미한다.

4.4 진화적 획득 로드맵 제안

통합 평가 및 민감도 분석 결과 A3가 최적 대안으로 확인되었으나, 정책적·보안적 제한사항을 고려할 때 국내 개발 TDL을 우선 통합하고 제한사항 해소 시점에 국외 도입 TDL을 포함하는 단계적 확장 전략 적용이 필요할 것으로 판단된다. 1단계에서 언급한 관련 사업인 FFX Batch-IV는 이미 2024년 12월 본계약이 완료되어 설계가 확정된 상태[24]이므로, KDDX[25] 및 이후 신조 함정에 DLP 통합 모듈을 파일럿으로 적용하여 기술 성숙화를 추진할 필요가 있다. 통합 DLP 도입에 따른 단일 장애점(single point of failure, SPOF) 생존성 우려에 대해서는 기존 각 TDL별 독립 DLP 점유 공간을 이중화 구성에 재활용함으로써 SPOF를 해소하고, 이중화 아키텍처 요구사항을 2단계 SRS에 명시적으로 반영하여야 한다. 제안하는 3단계 진화적 획득 로드맵은 Table 9과 같다.

Table 9. 3 phase evolutionary acquisition roadmap

Category	Phase 1: Short-term	Phase 2: Mid-term	Phase 3: Long-term
Period	Present ~ 2029	2030 ~ 2033	2034 ~
Approach	A1 Incremental Integration	A3 Independent Development	Mass Production & Standardization
Integration Scope	Domestic TDL Priority	Domestic TDL Completion	Including Foreign-procured TDL
Key Tasks	DLP module pilot on KDDX and post-FFX platforms; Open I/F standard (draft)	Requirements planning; Redundancy arch. in SRS; DT/OT	MND std. architecture notice; All-platform deployment
Operational Level	IOC*	FOC**	All Platforms
Related Programs	KDDX[25], Future naval platforms	Integrated DLP Independent Program	JTDLs-2, KCCS Integration

*IOC: Initial Operational Capability

**FOC: Full Operational Capability

4. 결론

본 연구는 한국군 TDL 통합 DLP 획득을 위한 3가지 대안을 QFD·HoQ와 FMEA 기반 획득 리스크 매트릭스를 융합한 정량적 프레임워크로 비교·평가하고, 가중치 민감도 분석을 통해 결론의 강건성을 검증하였으며, 진화적 획득 로드맵을 제안하였다. 분석 결과, 독립 사업화 방안(A3)이 HoQ 충족도(7.62점)와 획득 리스크(총 RP = 97) 양 기준에서 모두 최우위를 기록하여 최적 대안으로 도출되었다. 대형 체계 종속 방안(A2)은 일정 지연 리스크(RS RP = 72)가 단일 최고위험 요인으로 확인되어 단독 추진이 부적절하며, 점진적 통합 방안(A1)은 단기 보조 수단으로만 유효하다.

본 연구의 학술적 기여는 크게 세 가지로 볼 수 있다. 첫째, 전문가 설문에 의존하는 기존 방법론 대비 모든 평가 수치를 미 DoD 문서, GAO 획득 실적 통계 등 공개 1차 문헌에서 도출하여 재현 가능한 정량 분석 체계를 구축하였다. 가중치 민감도 분석 결과 모든 W_i 를 $\pm 30\%$ 변동시켜도 A3가 최적 지위를 유지하여, 결론이 특정 가중치 설계에 의존하지 않음을 입증하였다. 둘째, TDL 전환 적응성(R2)을 기존 선행연구에

없던 독립 작전요구사항으로 정량화하였다. 국내·외 TDL 표준화 연구에서 TDL 전환 지연을 구조적 문제로 지적한 사례[3]는 있으나, 이를 HoQ 요구사항으로 독립 설정하고 가중치를 부여한 사례는 확인되지 않는다. 셋째, QFD·FMEA 융합 방법론을 한국군 독립 DLP 획득 의사결정에 적용한 사례로서, 방사청 소요기획 단계에서 활용 가능한 실용적 의사결정 지원 프레임워크를 제시한다.

본 연구에 대해 제기될 수 있는 주요 예상 쟁점은 다음과 같다. 첫째, “결론이 가중치 설계에 의해 사전 결정된 것 아닌가”라는 지적에 대해서는, R4(A2 유리 항목)를 기준값(0.15)의 3.3배인 0.50까지 올려야만 A2가 역전되는 것으로 확인되어 결론이 합리적 범위의 가중치 변동에 강건함을 실증하였다. 둘째, A3의 RI 최저값에 대해서는, 독립 사업화 시 개방형 표준 인터페이스를 SRS로 강제할 수 있어 인터페이스 비표준화 위험이 설계 단계에서 사전 차단되기 때문임을 명시하였다. 셋째, GAO 통계를 한국 방위력 개선사업에 적용하는 것의 타당성에 대해서는, 방위사업청의 공개 집계 통계가 부재한 상황에서 가장 유사한 공개 1차 자료로 GAO를 준용하였으며 이를 참고 문헌에서 한계로 명시하였다. 넷째, LCC 비교 부재에 대해서는 본 연구의 분석 범위를 운용·기술·리스크 기준으로 명확히 제한하고 별도 연구 과제로 제시한다. 넷째, 관계 점수(R_{ij}) 중 R2, R4 등 일부 셀은 공개 문헌에서 직접 수치를 도출하지 못하고 저자 분석(author analysis)으로 처리하였다. 이 셀들의 타당성 검증을 위해서는 해당 분야 전문가 패널 검토 또는 유사 체계 도입 사례 분석이 필요하며, 이는 본 연구의 재현가능성 주장의 부분적 한계임을 인정한다. 다섯째, 심각도(S) 점수 구간 설정은 GAO 통계의 평균값·백분위를 기준으로 저자가 정의하였으며, 구간 경계 자체가 자의적이라는 비판이 가능하다. 향후 방위사업청 획득 실적 통계가 공개될 경우 한국 방위사업 환경에 맞는 S 기준표 재보정이 필요하다. 여섯째, Table 4의 $W_i \times R_{ij}$ 계산 전개표는 단순 곱셈의 반복으로 보일 수 있으나, 각 셀의 기여값을 명시적으로 표현함으로써 계산 과정의 투명성과 오류 검증 가능성을 확보하기 위해 노력하였다.

향후 연구 과제로는 ① 이중화 아키텍처의 정량적 생존성 검증, ② HoQ·RP 수치의 실제 방위력 개선사업 데이터를 활용한 실증 보정, ③ 방위사업청 획득

실적 기반 S-P 점수 재보정, ④ 저자 분석 R_{ij} 셀의 전문가 패널 검증, ⑤ 국외 도입 TDL 통합을 위한 K-RMF 보안 승인 절차 설계[16], ⑥ 개별·통합 DLP 간 수명주기비용(LCC) 정밀 비교가 필요하다.

참고문헌

- [1] Seunghoon Jung & Jeongeon Lee, 'A Study on the Standards Advancement of National Tactical Data Link (TDL),' *Journal of the KNST*, VOL. 7, NO. 3, 2024, pp. 378–383.
- [2] K. A. Hssain, 'Analysis of Importance of Tactical Data Link(TDL) in Military Domains in 21st Century,' *Scientific Research Journal(SCIRJ)*, VOL. XI, NO. VIII, 2023, pp. 70–94.
- [3] Juneho Han, Jeongeon Lee, & Seunghoon Jung, 'A Study on the Development of Interoperability Assessment for the ROK's Link-22 Operations,' *Journal of the KNST*, VOL. 8, NO. 3, 2025, pp. 570–575.
- [4] Jeongeon Lee, Juneho Han, & Seunghoon Jung, 'A Study on the Development of a Verification and Support Device for Link-22 Remote Operation Communication Networks between Land-based and Island Bases,' *Journal of the KNST*, VOL. 8, NO. 3, 2025, pp. 510–514.
- [5] Michael W. DaBose, 'Autonomous Agents for Digital Network Maximization,' Master's thesis, Naval Postgraduate School 1997.
- [6] NILE PMO, Customer Information Guide(CIG), LINK 22 Official Website, 2020.11.03. https://www.link22.org/uploads/7/9/3/2/7932022/20201001_nile_cig_v2.3.pdf (accessed 2026.07.22.)
- [7] Cheol Hoe Kim & Young Ryeol Kim, 'A Study on the Development of the ROK Forces' TDL Through Analysis of the M-TDL Management Case of the Country's Major Forces,' *Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies*, VOL. 21, NO. 2, 2014, pp. 224–248.
- [8] Juli Ballesteros, 'U.S. Navy SPAWAR Selects Northrop Grumman to Provide Tactical Data Link System Development and Support,' *GlobeNewswire*, 2003.07.23. <https://www.globenewswire.com/news-release/2003/07/23/298933/189/en/u-s-navy-spawar-selects-northrop-grumman-to-provide-tactical-data-link-system-development-and-support.html> (accessed 2026.07.22.)
- [9] Juan Romero & Daniel Alan LaVarier, System and Method for Ruggedized Remote Communication, U.S. Patent Application Publication, NO. US 2019/0094911 A1, 2019.03.28. <https://patents.google.com/patent/US20190094911A1/en> (accessed 2026.07.23.)
- [10] John R. Hauser & Don Clausing, 'The House of Quality,' *Harvard Business Review*, VOL. 66, NO. 3, 1988, pp. 63–73.
- [11] Lai-Kow Chan & Ming-Lu Wu, 'Quality Function Deployment: A Literature Review,' *European Journal of Operational Research*, VOL. 143, NO. 3, 2002, pp. 463–497.
- [12] Pavel Fomin, Thomas A. Mazzuchi, & Shahram Sarkani, 'Incorporating Maturity Assessment into Quality Functional Deployment for Improved Decision Support Analysis, Risk Management, and Defense Acquisition,' in *proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2009 VOL II*, (WCECS), San Francisco, CA, 2009.
- [13] Lefayet Sultan Lipol & J. Haq, 'Risk Analysis Method: FMEA/FMECA in the Organizations,' *International Journal of Basic & Applied Sciences*, VOL. 11, NO. 5, 2011, pp. 49–57.
- [14] D. M. Ginn, D. V. Jones, H. Rahnejat, & M. Zairi, 'The 'QFD/FMEA Interface', ' *European Journal of Innovation Management*, VOL. 1, NO. 1, 1998, pp. 7–20.
- [15] B. Almannai, R. Greenough, & J. Kay, 'A Decision Support Tool Based on QFD and FMEA for the Selection of Manufacturing Automation Technologies,' *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, VOL. 24, NO. 4, 2008, pp. 501–507.
- [16] Seunghoon Jung, 'A Study on the Military Cybersecurity Risk Management Framework(K-RMF) to ROK's Tactical Data Link,' *Journal of the KNST*, VOL. 8, NO. 1, 2025, pp. 81–87.
- [17] 국방부, 국방전력발전업무 훈령, 국방부훈령 제3184호, 2026.07.01. <https://www.law.go.kr/행정규칙/국방전력발전업무훈령> (accessed 2026.07.23.)
- [18] U.S. Department of Defense, DoD Architecture Framework Version 2.02, DoD CIO, 2010.08. <https://dowcio.war.gov/DODAF/> (accessed 2026.07.23.)
- [19] Thomas A. Carbone & Donald D. Tippet 'Project Risk Management Using the Project Risk FMEA,' *Engineering Management Journal*, VOL. 16, NO. 4, 2004, pp. 28–35.
- [20] ISO, Medical Devices – Application of Risk Management to Medical Devices, ISO 14971, 2019. <https://www.kmedhealth.com/wp-content/uploads/2024/03/E N-ISO-14971-2019-Application-of-risk-management.pdf> (accessed 2026.07.12.)
- [21] U.S. Government Accountability Office, Defense Acquisitions Annual Assessment: Drive to Deliver Capabilities Faster Increases Importance of Program Knowledge and Consistent Data for Oversight, GAO-20-439, 2020.06. <https://www.gao.gov/assets/gao-20-439.pdf> (accessed 2026.07.21.)
- [22] U.S. Government Accountability Office, Weapon Systems Annual Assessment: DOD Is Not Yet Well-Positioned to Field Systems with Speed, GAO-24-106831, 2024.06. <https://www.gao.gov/assets/gao-24-106831.pdf> (accessed 2026.07.21.)
- [23] U.S. Government Accountability Office, Weapon Systems Annual Assessment: Challenges to Fielding Capabilities Faster Persist, GAO-22-105230, 2022.06. <https://www.gao.gov/assets/gao-22-105230.pdf> (accessed 2026.07.21.)
- [24] 홍규빈, '한화오션, 울산급 호위함 '배치-IV' 1·2번함 건조

본계약, ' 연합뉴스, 2024.12.19.

<https://www.yna.co.kr/view/AKR202412190859000003>
(accessed 2026.07.22.)

[25] 방위사업청, 제175회 방위사업추진위원회 결과, 보도자료,

2026.02.23.

<https://www.dapa.go.kr/dapa/doc/selectDoc.do?docSeq=58193&menuSeq=3069&bbsSeq=326¤tPageNo=1&recordCountPerPage=10> (accessed 2026.07.21.)