

## C4I Maintenance Priority Decision using Maintenance Metric

Kiwang Kim\*, Dongsu Kang\*\*

### Abstract

Systemic management is required at each phase of the C4I system life cycle to achieve information advantage in the battlefield through stable operation of the C4I system under the NCOE. In particular, the maintenance phase is the longest period of the C4I system life cycle, and it is easy to utilize and analyze data such as faults that occur during system operation. However, according to the previous research, the maintenance is evaluated as a phase in which the definition and management of comprehensive indicators are insufficient compared to other phase. In this paper, we propose the method of C4I Maintenance Priority decision using Maintenance metric. As a result of modifying the Naval Tactical C4I System's preventive maintenance cycle according to the priority, the total number of faults is reduced and the maintenance efficiency is improved.

▶ Keyword: Maintenance Priority, Maintenance Metric, Fault Analysis, C4I

### 1. Introduction

NCOE(Network Centric Operational Environment)는 정보기술의 발전, 정보와 지식 중심 시대에 전쟁의 패러다임이 변화하는 양상을 고려하여 등장하게 되었다[1]. NCOE 개념을 통해 네트워크에 의한 전투 자산의 연결과 통합적 운용의 중요성이 강조되었고 [2], C4I(Command, Control, Communications, Computers and Intelligence)체계가 핵심적인 역할을 수행하고 있다.

이러한 C4I체계는 국방전력발전업무훈령[3]상 무기체계(지휘통제·통신 무기체계)로 분류하고 있으며, 따라서 개발 및 운용단계에 있어 무기체계의 수명주기를 따르고 있다. 무기체계의 일반적인 수명주기는 요구사항 분석-설계-구현-테스팅-유지보수 단계로 구분할 수 있으며, C4I체계의 안정적인 운용을 통한 전장에서의 정보우위 달성을 위해서 각 단계에서 수행되는 활동들에 대한 체계적인 관리가 필요하다.

이 중 유지보수 단계는 수명주기 중 가장 긴 기간을 차지하고 있으며, 체계 운용 중 고장 데이터 등을 확보하고 분석하여 활용할 수 있는 기간이다. 하지만 기존의 연구 등에 따르면 유지보수 단계는 다른 단계에 비해 객관적인 지표를 통해 정량적으로 관리하기보다는 관리자의 경험 등에 의존하는 경향을 가지고 있다[4].

따라서 유지보수 단계에서 결함분석 기법을 활용한 데이터 수집 및 분석을 통하여 유지보수 우선순위를 선정하는 방법을 제안한다. 선정된 우선순위에 따라 유지보수의 제한된 자원(예산, 인력, 시간 등)을 활용하기 위한 정량적인 판단의 근거로 사용하고 이를 통해 유지보수의 효율성을 향상시키고자 한다.

기존 결함분석기법인 FMEA(Failure Modes and Effect Analysis)와 FMECA(Failure Modes, Effect and Criticality Analysis) 방법을 활용하여 C4I체계의 유지보수 우선순위를 선정하는 방법을 제안한다. FMEA와 FMECA는 시스템의 기능분석을 통해 예상 결함 유형을 식별하고 결함 유형별 치명도, 발생빈도, 검출도 등을 평가하여 위험 우선순위를 계산하고 개선 활동을 수행하는 방법이다. 본 논문에서는 결함분석기법의 이러한 특징을 활용하여 유지보수 우선순위를 선정한다.

먼저 C4I체계의 유지보수 우선순위 선정대상으로 주요기능을 식별하고 기능분석을 통해 예상 결함유형을 확인한다. 우선순위를 선정하기 위한 평가척도로 활용할 메트릭은 GQM(Goal-Question-Metric) 기법을 통해 선정하고, 체계 운용간 수집되는 데이터를 통해 유지보수 관리 테이블을 작성함

• First Author: Kiwang Kim, Corresponding Author: Dongsu Kang

\*Kiwang Kim (k3jepe@gmail.com), Dept. of Computer Science and Engineering, Korea National Defense University

\*\*Dongsu Kang (greatkoko@kndu.ac.kr), Dept. of Computer Science and Engineering, Korea National Defense University

• Received: 2017. 11. 10, Revised: 2017. 11. 14, Accepted: 2017. 12. 09.

으로써 선정된 메트릭을 평가한다. 마지막 단계로 평가된 메트릭 점수를 활용하여 유지보수 관리지수를 계산함으로써 최종적인 유지보수 우선순위를 선정한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 결함분석 기법 및 C4I체계의 유지보수에 대한 관련연구를 살펴보고, 3장에서는 결함분석기법을 활용하여 C4I체계의 유지보수 우선순위를 선정하는 방법을 제안한다. 4장에서는 해군 전술C4I체계를 대상으로 제안하는 방법을 통해 유지보수 우선순위를 선정하는 적용사례를 보인 후, 정량적인 방법과 정성적인 방법으로 구분하여 분석 및 평가를 실시한다. 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. Related Works

### 1. Fault Analysis Method

소프트웨어의 결함을 관리하기 위해 많은 연구[5-8]들이 수행되고 있으며, 이는 적용시기 및 입·출력 값 등에 따라 다음[그림 1]과 같이 분류할 수 있다. 먼저, 결함예측기법은 개발초기단계(요구사항분석~설계)에 사용되어 과거 경험 데이터, 프로젝트 특성, 개발환경 등을 통해 결함밀도를 예측하며, RL-TR-92-52, COQUALMO 모델 등이 대표적으로 사용된다. 다음 결함추정기법은 테스트 단계부터 사용되어 초기 결함 수와 결함 간 평균시간 등을 통해 잔존 결함 수 등을 예측하며, Goel-Okumoto, Jelinski-Moranda 등이 대표적인 기법이다. 결함분석기법은 그 종류에 따라 개발주기 중 다양한 시기에 적용이 가능하나, 주로 개발 초기단계에 사용되며, 시스템 분석 등을 통해 예상되는 결함 유형 및 영향성 등에 초점을 맞추어 이를 수치화함으로써 정량화하기 위한 기법으로 결함 위험 분석, 결함트리분석, 고장 유형·영향 및 치명도 분석 기법인 FMEA, FMECA 등이 있다.

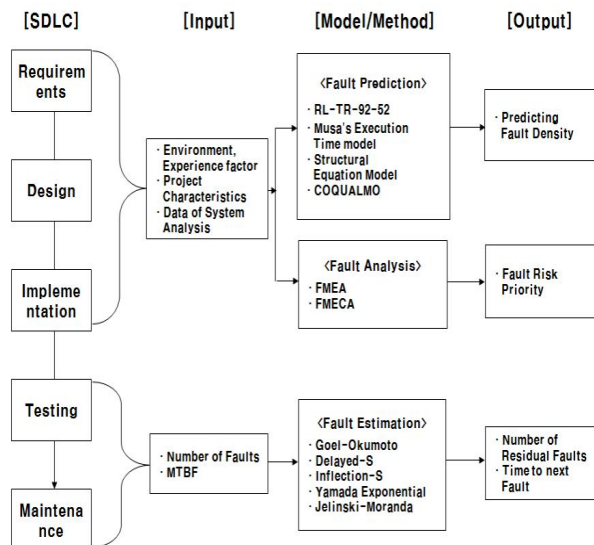


Fig. 1. Fault Management methods

이 중 FMEA, FMECA 기법은 잠재적 결함을 파악하여 그 영향도를 치명도, 발생빈도, 검출도로 평가하고 이를 통해 위험 우선순위를 선정함으로써 현재의 관리 방법의 적절성을 평가한다는 특징을 가지고 있다. FMEA는 1949년 미국 국방부에 의해 개발되어진 기법으로 FMEA의 내용 및 수행 절차 등에 대해서는 MIL-STD-1629A에 규격화 되어 있다. 일반적인 수행절차는 먼저 발생 가능한 잠재적 결함이나 고장 유형에 대한 리스트를 모두 작성한다. 이후 결함이나 고장에 대한 원인을 파악하여 그 영향을 알아내고, 시스템에 치명적인 영향을 미치는 고장에 대해 대책을 수립하여 고장을 방지하는 기법이다. 또한 고장 발생 원인을 제거하기 위한 현재의 관리방법의 적절성을 평가하고 조치 우선순위를 정하게 되며, 기능적 다이어그램 등을 통해 상호관계성에 대한 정보를 확인할 수 있다[9].

또 다른 기법인 FMECA는 FMEA와 유사한 개념으로 사용되며 구분이 모호해지고 있으나, 가장 큰 차이점은 FMECA는 고장 영향의 치명도에 대한 비중을 높게 고려할 때 사용되어 진다. 초기 FMECA는 FMEA의 확장된 형태라고 볼 수 있으며, FMEA를 실시한 이후 치명도 분석인 CA(Criticality Analysis)를 실시하게 된다. FMECA는 가장 하위 기능단위에서 결함이나 고장이 발생하였을 경우 어떠한 영향을 끼치는지를 확인하기 위해 점차 상위 수준으로 확장하여 최종적으로 전체 시스템에서의 영향도를 평가하는 전형적인 귀납적 분석방법이며 상향식(bottom-up) 분석 기법이다[10].

FMECA 기법은 발생 가능한 모든 고장 유형을 예상한 이후 bottom-up 방식으로 고장의 원인과 결과, 고장 위험도를 파악한다. 이를 통해 각각의 치명도(Severity), 발생빈도(Occurrence)와 검출도(Detection)를 곱하여 고장모드별 위험 우선순위(RPN: Risk Priority Number)을 계산하게 된다. 이후에는 위험 우선순위에 따라 개선을 수행하고 RPN을 다시 계산하여 신뢰성 향상을 확인한다[11][12].

FMEA와 FMECA 기법은 판단된 위험 우선순위를 통해 시스템 개발 초기단계에서부터 개발 과정을 관리할 수 있다는 장점을 가지고 있는 반면, 개발 초기단계의 시스템에 대한 제한적인 정보를 통해 결함의 예상 발생빈도, 심각도, 검출도를 계산하게 됨으로써 정확한 판단이 제한될 수 있다. 기존 결함분석기법을 결함의 발생빈도와 심각도에 대한 자료를 수집할 수 있는 유지보수 기간 동안 적용함으로써 유지보수 우선순위 선정에 활용할 수 있다.

### 2. C4I Maintenance

C4I체계는 무기체계 소프트웨어로 분류되어 있으므로 먼저, 소프트웨어의 일반적인 유지보수 형태에 대하여 살펴보고, 실제 C4I체계 유지보수에서는 어떻게 적용되고 있는지를 해군 전술C4I체계 유지보수를 통해 확인한다.

#### 2.1 SW Maintenance

소프트웨어 유지보수는 인수 이후 운영 과정에서 발생하는 기능의 추가, 보완, 결함 처리 등 사용자들이 시스템을 사용하는데 불편이 없도록 지원하는 관리 업무를 의미한다[4]. 이러한 소프트웨어

의 유지보수 유형으로 ISO/IEC 14764에서는 크게 4가지로 구분하여 오류수정(Corrective Maintenance), 적응(Adaptive Maintenance), 완전(Perfective Maintenance), 예방(Preventive Maintenance)으로 분류[13]하고 있으며 다음 <표 1>과 같이 정리할 수 있다.

Table 1. SW Maintenance Type

Type	Contents
Corrective	· Activities that correct software faults without changing requirements
Adaptive	· Activities to be taken to adapt to changes in the environment (enhanced HW, SW patch)
Perfective	· Activities that aim to improve performance, such as non-functional requirements (SW upgrade)
Preventive	· Activities to prevent faults by increasing software robustness about future predicted problems

소프트웨어 유지보수 활동은 소프트웨어 수명주기 프로세스의 한 과정으로 전체 활동의 약 67% 이상을 차지하는 주요한 활동[14]이며, 운용기간이 길어질수록 복잡도가 증가하고 운용자의 다양한 요구 수용 등에 따라 유지보수 비용 또한 소프트웨어 개발비의 50~80%를 차지할 정도로 중요한 비중을 차지하고 있다[13]. 하지만 유지보수 영역은 다른 소프트웨어 개발단계에 비해 종합적인 운영 지표를 정의하고 관리하기 보다는 관리자의 직관적인 경험에 의존하는 경향이 높은 측면을 가지고 있다[4]. 따라서, 소프트웨어 수명주기에서 가장 긴 기간을 차지하고 있으며 많은 비용이 투입되는 만큼 정량적인 지표를 가지고 유지보수 계획을 수립하고 집행할 필요성을 확인할 수 있다.

2.2 Naval Tactical C4I Maintenance

C4I체계가 소프트웨어 유지보수의 일반적인 4가지 유형에 따라 적용되고 있는 상태를 해군 전술 C4I체계를 통해 확인하였다. 다음 <표 2>는 해군 전술C4I체계(Korean Naval Command and Control System) 14~16년 유지보수 사업 제안요구서[15]의 SW 분야 수행범위를 확인하여 적용 상태를 정리한 결과이다.

Table 2. Contents of KNCCS SW Maintenance

Type	Contents
Corrective	· Correction of SW faults occurred during operation · Analysis of the effects of the occurred faults on the system
Adaptive	· Improving SW to cope with changes in user operating environment (HW, OS, DBMS, SW)
Perfective	· Configuration Alteration through changing Algorithm and Applying Technology · Tuning of programming and DB · SW environment optimization
Preventive	· Conducting periodic preventive maintenance on server and SW

2.3 Importance of C4I Maintenance

C4I체계에서 적용중인 소프트웨어의 유지보수 수행내용이 일반적으로 정의하고 있는 소프트웨어의 유지보수 형태에 따라 적용되고 있음을 확인하였고, 전체 소프트웨어 수명주기 중 유지보수 활동이 가장 긴 기간을 차지하고 있지만 유지보수 수행에 있어 정량적인 관리가 미흡한 점 등을 고려하여 C4I체계의 유지보수의 중요성 및 개선영역을 다음과 같이 판단하였다.

유지보수 단계가 소프트웨어의 수명주기 중 가장 긴 기간을 차지하고 있다는 것은 체계 운용 중 고장 데이터 등을 포함한 데이터를 확보하고 분석할 수 있는 좋은 기간이라는 것을 의미한다. 특히, C4I체계는 체계개발 후 특정 용역업체와의 계약을 통해 여러 번의 운용유지단계를 거치게 되며 이후, 성능개량 단계로 이어지기 때문에 일정기간 내에 수집한 데이터를 분석하여 다음 단계에서 정량적인 운영 지표를 활용한 향상된 유지보수 수행방안을 적용할 수 있으며, 향후 성능개량 단계 시에도 시스템 분석의 참고자료로 활용할 수 있다. 이러한 C4I체계 유지보수의 중요성을 다음 [그림2] 와 같이 나타냈다.

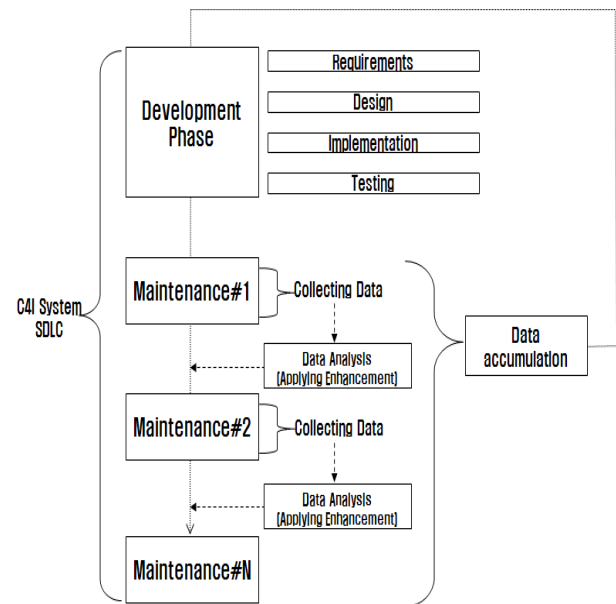


Fig. 2. Importance of C4I Maintenance

하지만 앞서 관련연구에서 살펴본 것과 같이 유지보수 단계는 다른 소프트웨어 개발단계에 비해 종합적인 운영 지표를 정의하고 관리하기 보다는 관리자의 직관적인 경험에 의존하는 경향이 높은 측면을 가지고 있음을 확인하였다. 따라서, 유지보수 기간 중 체계를 운용하면서 수집할 수 있는 데이터를 분석하고 이를 통해 정량적인 통계자료를 활용하여 유지보수를 계획하고 관리한다면 예방정비 주기설정 등의 다양한 부분을 개선할 수 있을 것으로 판단하였다.

### III. Method of C4I Maintenance Priority Decision

C4I체계 유지보수 우선순위 선정 방법은 총 5단계로 구성된다. 첫 번째 단계로 체계 운용지침서 및 각종규정 등을 고려하여 별도의 관리가 필요한 주요기능 등을 유지보수 우선순위 선정 대상으로 식별한다. 두 번째 단계로는 식별된 기능에 대한 분석을 실시함으로써 예상결함 유형을 식별한다. 세 번째 단계로는 설정한 유지보수 우선순위 선정 목표에 따라 유지보수 우선순위 메트릭을 선정한다. 네 번째 단계에서는 이전단계에서 식별한 예상 결함유형과 메트릭을 바탕으로 유지보수 기간 중 수집된 데이터를 분석하여 유지보수 관리 테이블을 작성함으로써 메트릭 점수를 평가 한다. 다섯 번째 단계에서 메트릭 점수를 이용하여 유지보수 관리지수를 계산하고 최종적으로 유지보수 우선순위를 선정한다. 위 절차는 다음 [그림3]과 같이 정리할 수 있으며, 각각의 단계에 대한 세부내용을 설명한다.

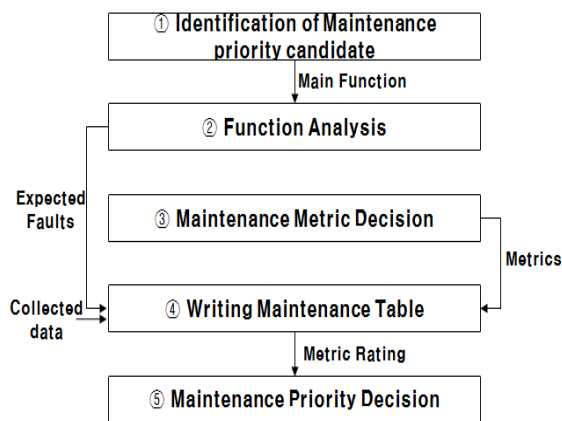


Fig. 3. Procedure of C4I Maintenance Priority Decision

#### 1. Identification of Maintenance Priority Candidate

첫 번째 단계는 유지보수 우선순위 선정 대상을 식별하는 단계이다. C4I체계는 개발단계에서부터 정보, 작전, 전투근무지원 분야 등의 업무 프로세스에 대한 사용자의 많은 요구사항을 반영하여 기능을 구현하였고, 이러한 기능들에 대한 원활한 운용과 활성화를 위해 운용지침서 또는 규정 등에 이에 대한 설명과 활용방안을 제시하고 있다[16][17]. 따라서 체계의 운용지침서 및 각종 규정 등을 참고하여 별도의 관리가 필요하다고 판단되는 주요기능을 식별한다. 주요기능 식별 시 유의사항은 각각의 식별된 주요기능은 독립된 프로세스를 가져야 하며, 하나의 기능 영역 내에 포함된 동일한 프로세스를 가지는 하위 기능은 하나의 상위 기능으로 분류한다.

#### 2. Function Analysis

유지보수 우선순위 선정대상으로 선정된 주요기능에 대한 분석을 실시한다. 기능 분석을 위해서는 체계 개발시 운용자의 요구사항을 분석한 문서인 요구사항명세서와 이를 통해 설계단계에서 작성된 소프트웨어 설계 기술서 및 연동방식 등을 규정

하고 있는 연동통제문서 등 필요한 개발 산출물 등을 활용한다.

이러한 개발 산출물 등을 통해 주요기능을 세부기능 항목으로 다시 분류한 뒤 각각의 관계성 및 처리 프로세스 등을 확인하기 위해 기능별 블록 다이어그램을 작성한다. 이를 통해 발생할 수 있는 예상결함유형을 식별한다. 예상결함유형을 사전에 식별하고 리스트를 유지함에 따라 체계 운용 간 실제 발생하는 결함 데이터를 더욱 효율적으로 수집 및 관리할 수 있다.

### 3. Maintenance Metric Decision

C4I체계의 유지보수 우선순위 선정을 위해 평가되어야 할 척도들을 판단하기 위해서 GQM 기법을 사용한다. GQM 기법은 설정한 목표 달성을 위하여 개선 영역을 도출하고자 할 때 사용하는 기법[18]으로 먼저 목표를 설정하고 이를 달성하기 위해 필요한 질문을 수행한 뒤, 질문을 해결하기 위해 관리되어야 할 파라미터를 메트릭으로 선정한다. 이 기법은 메트릭 선정절차에 대한 근거를 명확히 함으로써 선정된 평가척도에 대한 객관성을 높여주고 각각의 메트릭에 대한 정의를 통해 측정된 값의 해석상의 오류 등을 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다. C4I체계 유지보수 우선순위 선정을 위한 메트릭 선정 시 GQM 기법을 적용한다.

먼저, 목표를 구체화하여 “Goal: 제한된 자원(예산, 인력, 시간 등)을 효율적으로 활용하기 위한 정량적인 판단의 근거로 유지보수 우선순위 선정”으로 설정하였다. 설정된 목표를 달성하기 위해서 가장 먼저 고려해야할 사항은 유지보수의 가장 중요한 역할인 체계가 고장 없이 원활히 운용될 수 있도록 보장하는 것이다. 이를 위해서는 예상 결함에 대한 정보를 얼마나 관리하고 있는가를 평가해야한다. 또한, 결함으로 인한 고장이 발생했을 때 얼마나 많은 사용자에게 영향을 미치는 가를 평가할 필요가 있다. 이를 바탕으로 최종적으로 선정된 메트릭은 <표 3>과 같다.

Table 3. Metric Decision using GQM

Goal	Decision of maintenance priority as a basis for judging the efficient use of limited resources	
Question-1	Do you manage information on expected major faults?	
	Metric-①	Fault Occurrence
	Metric-②	Fault Severity
Question-2	How often the function with the fault is used?	
	Metric-③	Function Utilization

최종 선정된 3개의 메트릭인 결함 발생빈도, 치명도, 기능 활용도는 다음과 같다. 먼저 결함 발생빈도는 실제 결함이 얼마나 많이 발생했느냐를 의미하며, 발생빈도의 측정방법은 해당 결함 발생횟수/전체 결함 발생횟수인 식 (1)와 같다.

$$(\text{발생빈도}) = \frac{\text{해당 결함 발생횟수}}{\text{전체 결함 발생횟수}} \quad (1)$$

두 번째 메트릭인 치명도는 결함이 발생했을 때 해당 기능에 미치는 장애의 영향도를 의미하며, 그 영향도에 따라 다음 <표 4>와 같이 3단계로 측정 및 평가한다.

Table 4. Evaluation Basis of Severity

Severity	Basis	Rating
High	Impossible of using the function	3
Medium	Severely limited use of function	2
Low	Slightly limited use of function	1

마지막으로 활용도는 기능이 운용자에 의해 직접적으로 사용되는 정도를 의미하며, 다음 <표 5>와 같이 3단계로 측정 및 평가한다.

Table 5. Evaluation Basis of Utilization

Utilization	Basis	Rating
High	Always used when logging in	3
Medium	Mainly used when logging in	2
Low	Some used when logging in	1

#### 4. Writing Maintenance Table

유지보수 관리 테이블은 각각의 기능별로 구분하여 이전 단계에서 식별한 예상 결함 유형과 메트릭으로 구성한다. 구성된 유지보수 관리 테이블을 작성하기 위해 유지보수 기간 중 데이터를 수집하고 이를 통해 각각의 메트릭을 평가한다. 이러한 단계를 통해 유지보수 관리 테이블을 다음 <표 6>와 같이 작성한다.

Table 6. Example of Maintenance Table

Function	Sub Function	Expected Faults	Rating Metrics		
			Utilization	Severity	Occurrence
00	(A)	(A)-1	3	2	0.02
		(A)-2		3	0.08
	(B)	(B)-1		3	0.1
		(B)-2		2	0.07
	(C)	(C)-1		1	0.1
		(C)-2		2	0.02

#### 5. Maintenance Priority Decision

유지보수 관리 테이블 작성을 통해 평가된 메트릭 점수를 이용하여 유지보수 관리 지수(Maintenance Index)를 계산한다. 유지보수 관리 지수 계산 방식은 먼저, 유지보수 우선순위 선정 대상이 되는 기능의 총 결함 리스트(n개)중 각각의 결함(k)별 치명도(Severity)와 발생빈도(Occurrence)를 곱한 값을 모두 더한 후 그 값에 활용도(Utilization)를 곱하여 계산하며 다음 식 (2)와 같다.

$$MI = Utilization \sum_{k=1}^n (Severity)_k * (Occurrence)_k \quad (2)$$

- n = 총 결함 개수
- k = k 번째 결함
- Utilization : 활용도
- Severity : 심각도
- Occurrence : 발생빈도

위 계산식을 이용하여 유지보수 우선순위 선정 대상으로 식별된 주요기능들에 대한 유지보수 관리지수(MI)를 계산하여 그

값이 클수록 높은 우선순위를 부여함으로 최종적인 유지보수 우선순위를 선정한다.

## IV. Case Study and Evaluation

### 1. Case Study

본 논문에서는 제안한 기법을 적용하여 해군 전술 C4I체계의 유지보수 우선순위를 선정하기 위하여 다음과 같은 실험 데이터를 활용하였다. 결함 데이터는 최근 약 9개월간(16년 3분기~17년 1분기)의 유지보수 수행 간 발생한 고장자료를 토대로 단말기 및 주변장치(프린터 등) 등의 단순고장(체계 기능사용에 직접적 영향성 없음) 제외하고 유의미한 고장 데이터(결함으로 인한 체계의 기능사용에 영향성 있음)를 가공하여 총 152건의 고장자료를 실험 데이터로 활용하였고, 주요 기능별 활용도는 기간 중 체계상의 운용실적 조회 기능을 통해 확인한 데이터를 활용하였다.

#### 1.1. Identification of Maintenance Priority Candidate

해군 전술C4I체계는 운용지침서상에서 주요기능을 상황도, 상황일지, 전문처리, 웹미팅, VCP(Virtual Command Post), 자료실 총 6가지로 제시[17]하고 있으며, 체계 운용활성화 계획에서도 각각의 기능을 활용하는 방안 등을 구체적으로 명시하고 있다. 따라서 위 6가지 기능을 별도의 관리가 필요한 유지보수 우선순위 선정대상으로 식별하였다. 각 기능에 대한 설명은 다음과 같다. 상황도는 상시 전술상황 및 함정전개 현황을 파악하는 일종의 디지털 작전 지도 기능이며, 상황일지는 상황 발생시 정해진 양식에 의거 내용을 작성하고 전파함으로써 상황을 공유하는 기능이다. 전문처리는 전문양식 형태로 작전지침 등을 발/수신시 활용하는 기능이며, 웹미팅 기능은 문자/화상회의를 통해 회의 및 업무 협조시 활용되는 기능이다. VCP는 주요 메뉴 또는 자료 링크를 통하여 일종의 가상지휘소로서의 역할을 수행하는 기능이다. 자료실은 공유폴더 형태로 각종 일반자료 및 비밀자료를 탑재하여 공유하는 기능이다.

#### 1.2. Function Analysis

유지보수 우선순위 선정대상으로 식별한 주요기능 6가지에 대하여 기능분석을 실시한다. 본 논문에서는 주요기능 6가지 중 상황도를 중심으로 적용사례를 보인다.

상황도 기능은 연동체계로부터 표적정보를 수신받아 처리명령을 식별(생성/수정/삭제)로 구분하는 (A) 표적처리명령 식별 기능, 새로 수신한 표적과 현재 자신이 관리하는 표적목록을 비교하는 (B) 표적목록 처리 기능, 연동체계로부터 수신한 표적정보 및 표적번호 체계를 유지/관리하는 (C) 표적정보 관리 기능, 관리중인 표적정보를 상황도에 제공하여 전시하는 (D) 상황도 전시 기능 총 4가지 세부기능으로 구분하였다. 세부기능



의 상호관계성 확인이 용이하도록 기능 블록 다이어그램 작성을 통해 예상 결함 리스트를 추출한 결과는 다음과 같다.

- (A)-1. 표적정보 신호변환 처리오류
- (A)-2. 명령식별(생성/수정/삭제) 오류
- (B)-1. 현재 관리중인 표적 누락
- (B)-2. 표적목록 비교 오류(이중표적 발생 등)
- (B)-3. 표적정보 갱신 오류(표적정보 업데이트 지연 등)
- (C)-1. 표적정보 할당 및 관리 오류  
(표적번호 중복 할당, 비정상적 위치/침로/속력값 할당 등)
- (C)-2. 표적정보 상황도 제공 오류
- (D)-1. 표적 전시 오류  
(표적전시 누락 또는 삭제표적 지속전시 등)

**1.3. Metric Decision and Writing Maintenance Table**

유지보수 우선순위 메트릭은 3장에서 제안한 C4I체계 유지보수 우선순위 선정방법에서 GQM 기법을 활용해 선정된 결함 발생빈도, 결함 치명도, 기능 활용도 3가지 메트릭을 사용한다. 이전 단계에서 식별한 예상결함 유형과 3가지 메트릭을 이용하여 유지보수 관리 테이블을 구성한 후 9개월간의 실험 데이터를 활용하여 상황도 기능의 메트릭 점수를 평가 하였다. 이 결과를 이용하여 유지보수 관리 테이블을 작성한 결과는 다음 <표 7>와 같다.

Table 7. Maintenance Table of Operational Picture

Function	Sub Function	Expected Faults	Rating Metrics		
			Utilization	Severity	Occurrence
Operational Picture	(A)	(A)-1	3	3	0.0131
		(A)-2		2	0.0065
	(B)	(B)-1		2	0.0131
		(B)-2		2	0.0197
		(B)-3		1	0.0723
	(C)	(C)-1		2	0.0197
		(C)-2		2	0.0065
	(D)	(D)-1		1	0.0460

**1.4. Maintenance Priority Decision**

작성된 유지보수 관리 테이블과 유지보수 관리지수 계산식을 이용하여 상황도 기능의 유지보수 관리지수(MI)를 계산한 결과는 약 0.87로 확인할 수 있다. 나머지 주요기능 5가지에 대하여 상황도 기능과 동일한 방법으로 유지보수 관리지수를 계산한 결과는 다음 [그림4]과 같다.

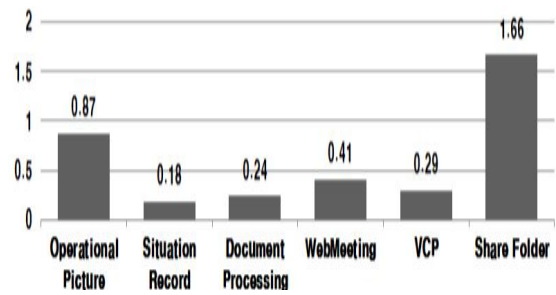


Fig. 4. MI of KNCCS Main Functions

위 결과를 통해 해군 전술C4I체계의 최종 유지보수 우선순위는 ① 자료실(1.66) → ② 상황도(0.87) → ③ 웹미팅(0.41) → ④ VCP(0.29) → ⑤ 전문처리(0.24) → ⑥ 상황일지임(0.18)을 확인할 수 있다.

**2. Analysis and Evaluation**

제안한 C4I체계 유지보수 우선순위 선정방법을 해군 전술C4I체계에 적용하여 우선순위를 선정하였다. 분석 및 평가에서는 정량적, 정성적 평가를 수행하였다. 정량적 평가에서는 선정된 우선순위에 의거 소프트웨어 유지보수의 한 형태인 예방정비 주기를 차등 적용하여 전체 결함수가 감소하고, 유지보수 관리지수의 편차가 줄어들어 보임으로써 유지보수 효율성의 향상을 입증한다. 정성적 평가에서는 제안방법 적용에 따른 기대효과를 총 5가지 측면에서 분석을 실시한다.

**2.1. Quantitative Evaluation**

**2.1.1. Correlation Between MI and PM**

먼저, 정량적 평가에 앞서 본 논문에서 제안한 유지보수 관리지수와 유지보수의 형태 중 하나인 예방정비의 상관관계에 대하여 설명한다. 유지보수 관리지수는 결함의 발생빈도와 심각도 그리고 활용도를 곱하여 계산한 값으로 그 값이 높을 수록 유지보수의 우선순위가 높고 더 많은 관리가 필요함을 의미한다. 반면 예방정비는 미래에 문제가 예측되는 사항들에 대해 소프트웨어 견고성을 증가시켜 미연에 방지하기 위한 활동으로 이를 통해 예상되는 결함 등을 예방할 수 있는 정비활동이다. 따라서 유지보수 관리지수와 예방정비 간에는 다음 [그림5]과 같은 상관관계가 있음을 확인할 수 있다.

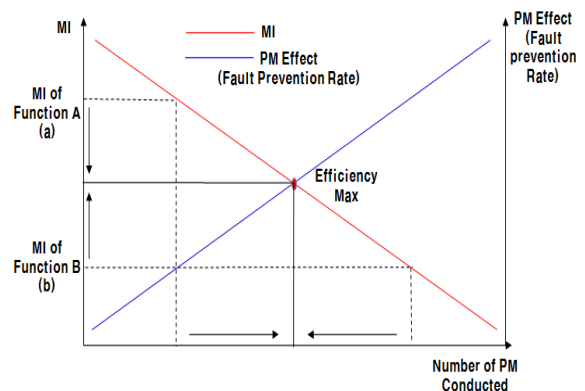


Fig. 5. Correlation Between MI and PM

예방정비 횟수의 증가에 따라 예방정비의 효과로서 결함 예방률은 증가하게 된다. 반면 유지보수 관리지수는 결함의 예방률이 높아짐에 따라 결함 발생빈도의 감소로 이와 함께 낮아짐을 확인할 수 있다. 하지만 유지보수는 제한된 일정한 자원 하에서 수행되므로, 특정 기능에 많은 유지보수 자원을 투입하게 되면 다른 기능에 투입할 수 있는 자원이 줄어들게 된다. 이러한 점을 고려했을 때, 예방정비 측면에서 유지보수의 효율성이 최대가 되는 지점은 유지보수 투입노력 중 하나인 예방정비 횟수와 유지보수 관리지수가 교차하는 지점이라고 설명할 수 있다.

예를 들어, 그래프 상 'A' 기능의 유지보수 관리지수가 (a)이고, 'B' 기능의 유지보수 관리지수가 (b)라고 가정할 경우 효율성을 향상시키기 위해 상대적으로 관리가 더 필요한 A 기능의 예방정비 횟수를 증가(주기를 감소) 시키고, B 기능의 예방정비 횟수를 감소(주기를 증가) 시킴으로써 가능함을 확인할 수 있다.

**2.1.2. Effect of Modifying Preventive Maintenance Cycle**

선정한 우선순위에 의거 예방정비를 차등적용 하기 전에 예방정비에 투입되는 노력, 기존 예방정비의 횟수 및 예방정비 주기에 따른 결함 예방률에 대하여 다음과 같이 가정 한다.

- ① 우선순위 선정대상인 주요기능들의 예방정비에 투입되는 노력은 동일하다.
- ② 주요기능들의 기존 예방정비 횟수는 월 1회로 적용한다.
- ③ 예방정비 주기에 따른 결함 예방률은 다음과 같다.
  - 주기(결함예방률) : 20일(45%), 30일(30%), 60일(15%)

이와 같은 가정을 전제하고, 적용사례를 통해 선정된 우선순위에 의거하여 예방정비 주기를 다음 <표 8>과 같이 조정하여 차등 적용한다. 유지보수에 투입되는 자원은 일정하다는 점을 고려하여, 예방정비 차등 적용 시에도 기간 중 실시되는 예방정비의 총 횟수는 동일하다.

Table 8. Modification of Preventive Maintenance Cycle

Priority	Function	Preventive Maintenance Cycle	
		Existing	Modification
1	Share Folder	30days (1 per month)	20days (1.5 per month)
2	Operational Picture		20days (1.5 per month)
3	Web Meeting		30days (1 per month)
4	VCP		30days (1 per month)
5	Document Processing		60days (0.5 per month)
6	Situation Record		60days (0.5 per month)
Monthly total Number of PM conducted		6	6

예방정비 주기 차등적용에 따른 전체 결함 수의 변화는 다음 [그림6]과 같이 실험 데이터 152건에서 예방정비 동일적용 시에는 46건이 감소한 106건이, 우선순위에 의거 예방정비 차등적용 시에는 53건이 감소한 99건으로 예방정비 동일적용 시에 비해 7건의 결함이 더 감소한 결과를 확인할 수 있다. 다음으로, 예방정비 관리지수의 변화는 다음 [그림7]과 같이 상대적으로 유지보수 관리지수가 높았던 자료실과 상황도 기능의 유지보수 관리지수는 큰 폭으로 감소하였고, 나머지 기능들의 유지보수 관리지수는 소폭 증가함으로써 유지보수 관리지수 편차의 감소를 다음 <표 9>과 같이 확인할 수 있다.

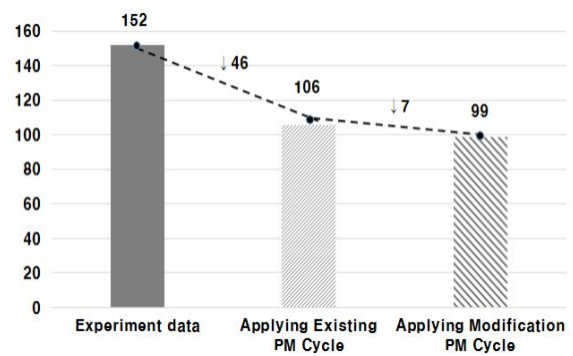


Fig. 6. Comparison of Total Number of Faults

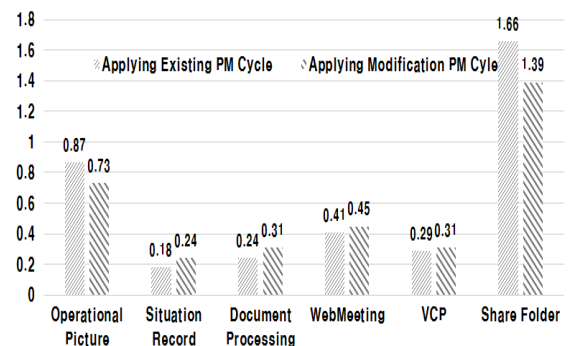


Fig. 7. Comparison of MI

Table 9. Changing of MI Average and Variance

Category	Applying Existing PM Cycle	Applying Modification PM Cycle	Change
MI Average	0.6	0.57	↓ 0.03
MI Variance	0.27	0.16	↓ 0.11

이를 통해 유지보수 우선순위에 따라 예방정비 주기를 차등 적용하여 전체 결함 수가 감소됨을 확인하였고, 주요기능들의 유지보수 관리지수의 편차가 감소함으로써 전체적인 유지보수의 효율성이 향상됨을 확인하였다. 하지만 이는 우선순위에 따라 유지보수의 형태 중 예방정비만을 조정한 결과로서 그 외의 다양한 방법을 통해 유지보수의 효율성은 더욱 향상될 수 있다.

## 2.2. Qualitative Evaluation

유지보수 우선순위 선정방법을 적용 시 기대효과에 대하여 총 5가지 측면에서 다음과 같이 분석하였다. 첫째, 결함 데이터 수집 및 분석에 있어 관리부대별 과거 업무방식 등에 따라 상이한 방식으로 관리되고 있으며, 이는 데이터에 대한 상호공유 및 활용도 저하를 가져올 수 있다. 하지만, 유지보수 우선순위 적용을 위한 표준화된 데이터 수집 및 분석방법을 적용 시 일관된 방식의 결함 데이터 수집/분석이 가능하여 데이터 상호공유 및 활용도를 향상시킬 수 있을 것이다.

둘째, 수리부속 확보는 장비별 특성에 따라 적정수준의 인가량을 설정·운용한다[19]. 하지만 인가량을 설정하기 위해 객관적인 판단근거로 활용할 데이터 부재 시 과거 정비경험 등에 의존함으로써 인가량의 적절성 판단이 제한된다. 제안하는 방법을 적용 시에는 축적된 객관적인 통계 데이터와 우선순위에 의거하여 인가량을 판단함으로써 객관성을 향상시킬 수 있다.

셋째, 유지보수 업체 변경 시 중점 관리되어야 할 대상(고장 및 기능적 측면)에 대한 전반적인 이해도 부족으로 유지보수 초반 서비스 연속성이 결여될 수 있다. 하지만 이전 유지보수 기간 중 축적된 데이터와 이를 통해 판단된 우선순위를 기반으로 유지보수에 착수할 경우 초기 서비스 연속성 결여에 대한 보완이 가능하다.

넷째, 예방정비는 HW, SW를 특정단위로 분류하여 월 1회, 분기 1회 등의 주기로 실시 중에 있으나, 우선순위를 적용할 경우 관련되는 HW 및 SW의 예방정비 주기를 우선순위 의거 단력적으로 변경 적용하여 예방정비의 효율성을 높일 수 있다.

다섯째, 주요기능이 동시고장 시 복구 우선순위를 결정함에 있어 정보시스템 관리지침서에서는 영향도(Impact)×긴급도(Urgency)라는 개념적 관계식을 이용해 산출하고 있으며 이를 평가하기 위한 세부 항목으로는 장애관련 데이터의 양, 영향을 받은 업무프로세스, 시스템, 사용자, 사이트의 수 등을 통해 평가하도록 되어있다[20]. 하지만 이는 전시 및 유사시 등 긴급한 상황을 가정했을 때 판단에 장시간이 소요되는 단점을 가지고 있다. 제안하는 방법에서 메트릭으로 설정한 결함 치명도, 기능 활용도 등은 정보시스템 관리지침서의 영향도, 긴급도와 유사한 개념적 의미를 포함 하고 있으며 이를 통해 사전에 선정된 유지보수 우선순위를 통해 복구 우선순위를 결정한다면 신속한 고장정비 착수와 노력 분배로 체계의 복구시간을 단축할 수 있다.

## V. Conclusions

유지보수 기간은 C4I체계의 수명주기 중 가장 길며, 체계 운용간 발생하는 데이터를 수집/분석하여 활용이 용이하지만, 유지보수 수행에 있어 종합적인 운영 지표를 정의하고 관리하는 행위가 미흡함을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 결함분석

기법을 활용하여 C4I체계의 유지보수 우선순위 선정방법을 제안하였다. 우선순위 선정절차는 체계의 주요기능을 우선순위 선정대상으로 식별한 후 기능분석을 통해 예상결함유형을 확인하고, 우선순위 선정을 위한 메트릭으로 결함 발생빈도, 치명도와 기능 활용도를 GQM 기법을 이용하여 도출한다. 유지보수 기간 중 수집된 데이터를 활용하여 메트릭을 평가함으로써 유지보수 관리테이블을 작성하고, 유지보수 관리지수를 계산하여 최종적으로 유지보수 우선순위를 선정한다.

유지보수 수행 시 선정된 우선순위를 적용함에 따라 효율성이 향상됨을 정량적인 방법으로 입증하기 위해 유지보수 관리지수와 예방정비의 상관관계를 설명한 뒤, 예방정비의 주기를 우선순위에 따라 차등 적용하여 전체 결함의 수가 감소하고 유지보수 관리지수의 편차가 줄어들음을 보였다. 또한 안정적인 평가를 위해 제안하는 방법 적용에 따른 기대효과를 결함 데이터 수집 및 분석, 수리부속 확보근거, 유지보수 연속성, 예방정비 판단근거, 복구 우선순위 결정 총 5가지 측면에서 분석하였다.

유지보수 수행에 있어 우선순위의 선정·적용을 통해 기존의 문제점 이었던 객관적인 지표를 통한 관리 미흡을 보완하고 이를 정량적인 판단의 근거로 활용함으로써 전체적인 유지보수의 효율성을 향상시킬 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] Jejun Park and Dongsu Kang, "Design and Evaluation of Information Broker Architecture for Network-Centric Operational Environment," Journal of KIISE, Vol.43, No.6, pp.668-677, 2016.
- [2] Haejin Lee and Dongsu Kang, "A Method of Service Refinement for Network-Centric Operational Environment," Journal of KSCI, Vol.21, No.12, pp. 97-105, 2016.
- [3] MND, "National Defense War Potential development task instructions," 2017.
- [4] kwon Jae Sung, "A Process Method for Efficiency Improvement of Information System Maintenance," Sogang University, 2009.
- [5] Kiwang Kim and Dongsu Kang, "C4I Maintenance Priority Decision using fault analysis methods," Conference of KSCI, Vol.25, No.2, pp.25-28, 2017
- [6] Sangsoo Kim and Dongsu Kang, "Software Vulnerability Analysis using File Fuzzing," Conference of KSCI, Vol.25, No.2, pp.29-32, 2017
- [7] Myungmuk Kang, Taewan Gu and Jongmoon Baik, "Software Fault Detection and Removal Effort-based Reliability Estimation Model," Journal of KISS, Vol.37, No.7, pp.536-547, 2010.



- [8] Ki-Chang Kim, Young-Hwan Kim, Ju-Hwan Shin, and Ki-Jun Han, "A Case Study on Application for Software Reliability Model to Improve Reliability of the Weapon System," *Journal of KISS*, Vol.38, No.8, pp.405-418, 2011.
- [9] Eun Ji Jin, "A study on the Development and Adaptation of Safety Analysis Process through Integration of FTA and FMECA," Pukyong National University, 2012.
- [10] SooMi Jang, "A study on the Fault Analysis and Security Assessment for Smart Card Management System," Pukyong National University, 2014.
- [11] Kim So Young, "A Study on the Information Management Process and FTA, FMEA for Software Security of Mobile Banking System," Pukyong National University, 2016.
- [12] HyunKi Park, "A Study on Methods of Fault Analysis and the Failure Effect Analysis for Security Improvement of e-Teaching and Learning System," Pukyong National University, 2012.
- [13] Byoung-Chol Lee, SungYul Rhew, "The Maintenance Cost Estimation Model for Information System Maintenance Based on the Operation, Management and Service Metrics," *Journal of KSCI*, Vol.18, No.5, pp.77-85, 2013.
- [14] Eunjo Jeong, Cheonsoo Yoo, "A Software Maintenance Cost Estimation Model based on Real Maintenance Efforts," *Journal of Information Technology Application & Management*, Vol.19, No.2, pp.181-196, 2012.
- [15] R.O.K.N, "14-16 KNCCS Maintenance Request for Proposal," 2014.
- [16] R.O.K JCS, "Joint-Combined Command & Control System Operational Regulation," 2016.
- [17] R.O.K.N, "KNCCS operational guide book," 2009.
- [18] Eunro Kim, "Metric based reliability engineering process for reducing software defects of weapon systems," Kyungpook National University, 2015.
- [19] R.O.K.N, "Maintenance management regulation," 2015.
- [20] Ministry of Information and Communication, "Guideline for incident & problem management of information system," 2005.

## Authors



Kiwang Kim received the B.S. degrees in military science from Naval Academy, Korea, in 2010. He is currently a graduate student in the Department of computer science and engineering, Korea National Defense University. He is interested in

SW maintenance, weapon system software and software reliability.



Dongsu Kang received the Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from Korea University, Korea, in 2011 and has certified PMP(Project Management Professional) since 2006. Dr. Kang is assistant professor in Korea National

Defense University, Republic of Korea. He is interested in weapon system software, software dependability, software security testing and defense acquisition.