

시스템의 구성품 정보와 퍼지 기법을 활용한 시스템 수준 정비도 평가 방법의 개선

유연용¹, 이재천^{2*}

¹국방과학연구소 2유도무기체계단, ²아주대학교 시스템공학과

The Improvement of maintainability evaluation method at system level using system component information and fuzzy technique

Yeon-Yong Yoo¹, Jae-Chon Lee^{2*}

¹2nd Missile System PMO, ADD, ²Dept. of Systems Engineering, Ajou University

요약 정비도는 정비를 쉽고 신속하게 할 수 있는 정도를 나타내는 시스템의 주요 설계 특성이다. 정비도를 고려한 시스템 설계는 무기시스템의 운용유지 비용을 줄여 주는 중요한 역할을 수행하지만, 시제품 제작 이후 정비도 평가를 통해 설계변경이 이루어지면 비용증가와 일정지연을 초래할 수 있다. 정량적 정비도 평가는 정비업무 수행 가능여부를 검증하고, 설계자가 시스템의 특성을 고려한 빠른 의사결정을 수행하여 정비성 향상을 위한 설계를 수행할 수 있도록 지원해야 한다. 기존 논문에서는 시스템설계 초기에 그래프 이론을 활용하여 정비도 지수를 산출하였으나 정비속성간 관계 값의 적절성 및 정비도 평가의 정확도에 한계가 있다. 퍼지 로직과 3D 모델링을 활용한 정비도 평가방법의 경우에는 시스템 전수명주기 동안에서의 정비도 평가를 수행하고 결과의 활용을 통해 설계통합 환경 하에서 설계개선을 신속하게 진행하고 효율적으로 정비도를 평가하고 관리하는 방법이 필요하다. 이에 본 논문에서는 모델기반 시스템공학 도구와 MATLAB이 결합된 통합환경 하에서 SysML 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법과 퍼지 로직을 활용하여 정비도를 평가할 수 있는 방법을 제시하였다. 시스템공학도구 상에서 SysML bdd 다이어그램을 통해 무기시스템의 물리적 설계구조를 모델링하고 정비속성과 정비속성간 쌍대비교 행렬을 생성하여 정비도를 모델링하였다. 그리고 SysML의 par 다이어그램을 생성하고 MATLAB과의 연동을 통해 AHP 기반의 정비속성별 가중치 연산 및 퍼지 로직을 활용하여 정비도를 산출하였다. 본 연구결과와 활용을 통해, 일관성 있고 진화적인 정비도 모델을 효율적으로 관리할 수 있고, 시스템의 정비도 설계 상태를 정량적으로 분석할 수 있으며 정비도가 낮은 품목을 조기에 식별하여 빠른 의사결정과 설계 개선을 달성할 수 있다.

Abstract Maintainability indicates the extent to which maintenance can be done easily and quickly. The consideration of maintainability is crucial to reduce the operation and support costs of weapon systems, but if the maintainability is evaluated after the prototype production is done and necessitates design changes, it may increase the cost and delay the schedule. The evaluation should verify whether maintenance work can be performed, and support the designers in developing a design to improve maintainability. In previous studies, the maintainability index was calculated using the graph theory at the early design phase, but evaluation accuracy appeared to be limited. Analyzing the methods of evaluating the maintainability using fuzzy logic and 3D modeling indicate that the design of a system with good maintainability should be done in an integrated manner during the whole system life cycle. This paper proposes a method to evaluate maintainability using SysML-based modeling and simulation technique and fuzzy logic. The physical design structure with maintainability attributes was modeled using SysML 'bdd' diagram, and the maintainability was represented by an AHP matrix for maintainability attributes. We then calculated the maintainability using AHP-based weighting calculation and fuzzy logic through the use of SysML 'par' diagram that incorporated MATLAB. The proposed maintainability model can be managed efficiently and consistently, and the state of system design and maintainability can be analyzed quantitatively, thereby improving design by early identifying the items with low maintainability.

Keywords : Systems, Maintainability, Model-Based Systems Engineering, Modeling and Simulation, SysML, MATLAB, Fuzzy Logic

*Corresponding Author : Jae-Chon Lee(Ajou Univ.)

Tel: +82-31-219-3941 email: jaelee@ajou.ac.kr

Received December 28, 2018

Revised January 21, 2019

Accepted March 8, 2019

Published March 31, 2019

1. 서론

정비도는 정비 업무 수행의 용이성, 정확성, 안전성 및 경제성과 관련된 시스템의 주요 설계 특성이다[1]. 시스템은 최소의 비용과 자원(정비인력, 물자, 시설 및 시험장비 등)으로 운용유지될 수 있도록 설계되어야 한다. 정비도를 고려한 설계의 목표는 시스템을 효율적이고 효과적으로 의도된 환경에서 임무 수행에 영향을 미치지 않으면서 운용유지하는 것이다.

신뢰도와 정비도는 모두 중요하지만 정비도는 시스템의 수명주기 비용으로 대표되는 인력 및 자원의 소모에 대한 영향 때문에 특별한 고려가 필요하다[2]. Fig. 1과 같이 설계 초기에 정비도 관련 설계에 비용을 투입하면 생산 및 운용유지시 실제 정비에 투입되는 비용은 감소된다[3].

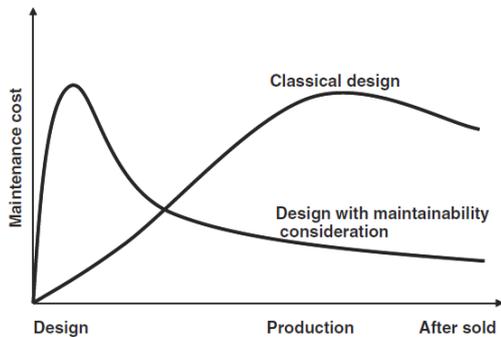


Fig. 1. Effect of maintainability on system life-cycle cost[3]

무기체계는 다양성, 복잡성, 기술집약형 및 획득의 고가성으로 인하여 운용 및 정비유지비로 막대한 예산이 소요되고 있다[4]. 20년 이상을 운용하는 무기체계의 운용 특성을 감안하여 설계 초기부터 무기체계 구성품의 정비도 예측/평가를 통한 설계변경을 수행하여 전력화 이후에 정비로 인한 운용유지비를 절감할 수 있으나 무기체계의 연구개발 단계에서 시제품 제작 이후 ILS 시험평가를 통해 정비도를 평가하기 때문에 비용 및 일정 측면에서 설계변경이 제한이 된다. 또한 이러한 정비도는 정비 전문가의 경험에 의존하고 시제품 제작 이후에나 정확하게 측정할 수 있는 평균수리시간(MTTR) 등 시계열의 정량적 측정 방법 외에는 효율적인 정비도 평가 방법이 제한적이다. 따라서 무기체계 개발시 동시공

학적 접근법을 적용하여 설계 단계부터 정비도 평가를 수행하는 것이 무기체계의 정비도를 향상시킬 수 있는 방법이며 시스템 설계 동안 소요되는 비용과 시간을 줄일 수 있다.

이에 본 논문에서는 SysML 기반 정비도 모델링과 MATLAB의 연동을 통한 시스템의 구성품 정보와 퍼지 기법을 활용하여 시스템 수준의 정비도를 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 연구하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. 1장은 무기체계 정비도의 특성 및 제한사항에 대해 기술하였고, 2장은 정비도 평가를 위한 관련 연구 분석을 통해 문제정의 및 연구 목표를 기술하였다. 3장은 SysML 기반 정비도 모델링, 평가 및 연동 프로세스를 제시하였고, 4장은 개선된 정비도 평가방법의 검증을 위한 구체적인 사례를 보였다. 마지막으로 5장은 연구수행 결과와 향후 연구과제를 정리하였다.

2. 관련 연구

2.1 설계단계 정비도 평가 연구

Wani[5]는 설계단계에서 Graph Theoretic Approach 기반의 정비도 지수를 산출하여 정비도를 평가하였다. 그리고 Yoo[6]는 독립된 환경에서 개별적으로 수행되었던 Graph 이론 및 permanent matrix를 활용한 정비도 평가 방법을 체계공학도구와 전문분석도구가 통합된 환경에서 시뮬레이션을 통해 정비도 지수를 산출하는 방법을 제시하였다. 이 연구는 개념설계나 설계 초기 설계자료가 많지 않은 상황에서 정비도 지수를 산출하여 정비성이 취약한 품목의 조기 식별 및 취약품목의 설계대안별 우선순위 선정에는 효용성이 있으나, 정비속성간 관계값의 적절성을 분석하지 않았으며 시스템 수준의 정비도 평가는 제한이 있다. Slavila[3]는 정비 속성별로 쌍대비교 및 퍼지논리를 활용하여 분석대상 시스템의 정비도를 평가하는 방법을 제시하였고, 추가적으로 3D 모델링 환경에서 정비절차에 따른 접근성 및 인간공학 측면을 고려한 정비도 평가 방법도 제시하였다[7,9,11]. 그러나 정비도 평가는 설계기간 중 설계 진행 상태 및 설계자료의 완성도에 따라 반복 수행되고 설계가 완료된 후에는 정비도 검증을 통해 평가 결과와 비교하며 운용유지 단계에서는 실제 운용 결과가 정비도에 반영/최신화되어 시스템 설계에 피드백되어야 한다. 이를 위해서 정비도의

정량적 평가 방법 뿐만 아니라 정비도와 설계자료의 효율적인 관리 및 추적 방법이 요구된다.

2.2 문제정의 및 연구 목표

선행연구 분석 결과, 설계자료의 완성도와 반복성을 고려하여 시스템 수준의 정비도 평가를 효율적으로 수행하고 수명주기 동안 정비도 및 설계자료를 쉽게 관리 및 추적할 수 있는 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 정비도 분석 결과를 모델 기반의 시스템 설계에 신속하게 반영하고 정비도 개선을 위한 설계변경의 영향을 쉽게 파악하여 정비도 분석과 변경관리 및 추적이 용이하도록 시스템 모델링 표준 언어인 SysML(Systems Modeling Language)[8] 기반의 시스템 수준 정비도 모델링과 전문 분석도구와의 연동을 통한 정량적인 정비도 평가 방법을 제시하고자 한다.

2.3 SysML 기반 정비도 모델링, 평가 및 연동 방법

본 논문의 연구수행 절차는 Fig. 2의 절차와 같다.

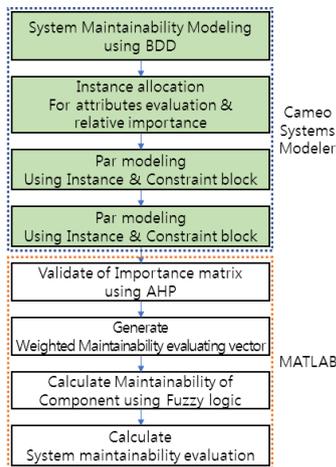


Fig. 2. Activities flow of system maintainability evaluation in the paper.

Block Definition Diagram을 통해 정비속성을 정의하여 분석 대상 구성품의 정비도를 모델링하고 AHP 및 정비도 평가를 위한 MATLAB과의 연동을 위해 Constraint block을 정의한다. 시물레이션을 위해 전문가 분석을 통한 정비속성간 상대적 중요도 벡터($A_{n \times n}$)와 정비 속성별 평가값(E)을 할당한다. 그리고 정비도 모델링,

Constraint block, 상대적 중요도 벡터 및 정비속성별 평가값을 활용한 Parametric Diagram의 생성을 통해 MATLAB과 연동하며 AHP를 통한 정비속성간 상대적 중요도의 일관성을 검증하고 정비도 평가 및 가중치 벡터를 생성한 후 퍼지 논리를 활용하여 시스템 및 하위 구성품의 정비도를 정량적으로 평가한다.

SysML 기반의 정비도를 모델링하기 위한 모델 기반 시스템공학도구는 Cameo Systems Modeler 19.0을 적용하였고 AHP 및 정비도 평가를 위해 MATLAB 2017b를 적용하였으며 그 관계는 Fig. 3과 같다.

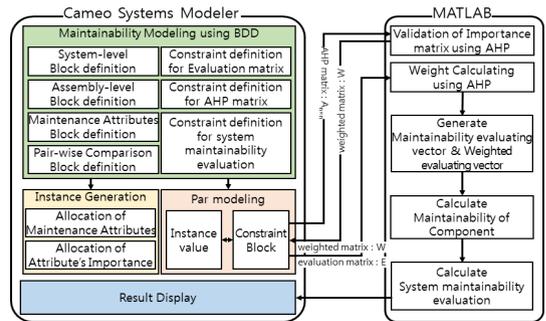


Fig. 3. Artifacts relation for evaluating system maintainability.

3. 정비도 평가 및 연동을 위한 구성요소 설계

3.1 시스템 정비도 평가를 위한 SysML 요소 정의

정비도 모델은 Fig. 4와 같이 Block Definition Diagram(이하 bdd)을 활용하여 모델링한다.

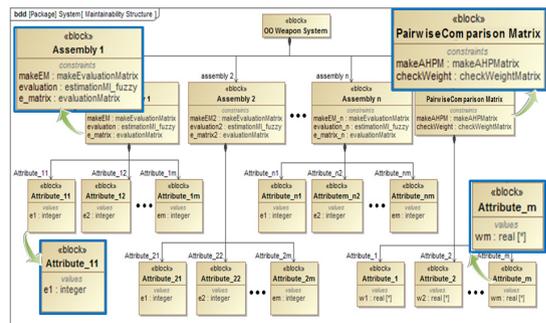


Fig. 4. Generation of system-level maintainability model.

bdd는 시스템 및 분석 대상 구성품의 정비도 평가를 위해 정비 속성들을 식별하여 block으로 구성된다. 하나의 시스템 및 n개의 하부 조립체를 block으로 표현하고 constraint 및 value를 정의한다. 하나의 조립체 block은 시스템의 특성에 따라 m개의 다양한 정비속성을 갖을 수 있으며 개발자 및 ILS 담당자의 협의에 따라 결정한다. 또한 AHP 방법으로 정비 속성간 중요도 설정이 타당한지 평가하기 위해 쌍대비교(pair-wise comparison) 행렬의 생성을 위한 block을 정의한다.



Fig. 5. Block definition for Pair-wise comparison matrix

정비 속성간 상대적 중요도는 참고문헌 [7,9-11]을 참조하여 Table 1과 같이 1~9의 값으로 설정한다.

Table 1. Assessment of relative importance.

Value	Preference of attribute i to j
1	Equally preferred
3	Moderately preferred
5	Strongly preferred
7	Very strongly preferred
9	Extremely preferred
2, 4, 6, 8	Intermediate levels

3.2 시스템 정비도 평가를 위한 제약사항 정의

정비도 모델 내 block들의 정비 속성별 평가값과 쌍대비교 행렬을 활용하여 시스템 및 구성품의 정비도를 평가하기 위해 Parametric Diagram(이하 par)에서 활용할 constraint block을 Fig. 6과 같이 정의한다.

정비 속성간 상대적 중요도에 따른 쌍대비교 행렬을 생성하기 위한 makeAHPMatrix, 정비 속성별 평가값을 저장하는 행렬을 생성하기 위한 makeEvaluationMatrix, 쌍대비교 행렬의 적합성을 평가하기 위한 checkWeightMarix, 정비 속성별 평가값 행렬과 쌍대비교 행렬을 파라미터로 전달하여 가중치 벡터 생성 및

triangular fuzzy number를 활용한 변환, 상대적 거리 측정 등을 통한 정비도를 평가하기 위한 estimateMI, MATLAB과의 연동을 통한 정비도 평가 결과값을 저장하기 위한 evaluationMatrix, 시스템의 정비도를 평가하기 위해 하부 구성품의 고장률, 구성품 수, 조립체의 정비도 값을 MATLAB에 전달하기 위한 makeFRmatrix, makeCNmatrix, makeRCmatrix를 정의한다. 또한 이러한 파라미터를 활용하여 시스템 정비도 및 정비도 값에 따른 평가값을 저장 및 연동하기 위한 totalEvaluation과 finalResult를 정의한다.

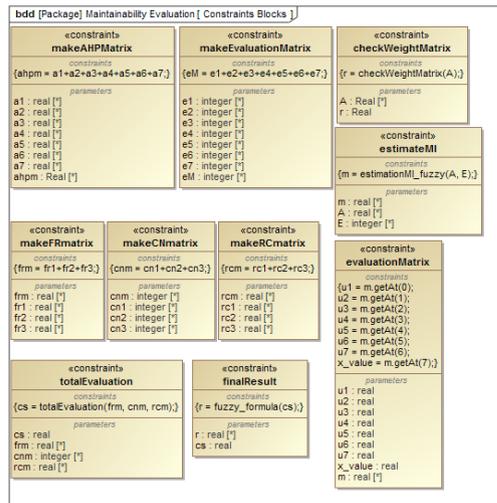


Fig. 6. Definition of constraint block for system-level maintainability model.

3.3 속성별 평가 및 중요도 검증을 위한 인스턴스의 생성

bdd의 정비도 모델을 par를 통해 MATLAB과 연계하여 시뮬레이션하기 위해 구성품별 정비속성에 대한 평가값을 설정하고 정비속성별 상대적 중요도에 대한 행렬의 적절성과 가중치 벡터의 생성을 위해 해당 block에 대한 인스턴스를 생성한다.

3.3.1 정비속성별 평가 인스턴스 생성

구성품별 정비속성에 대한 평가값의 인스턴스는 분석 시점의 설계진행 상태와 설계자료의 검토를 통해 Table 2와 같이 7개의 평가값을 설정한다.

Table 2. Evaluation value of each attribute.

Instance Value	Linguistic variable	triangular fuzzy number
1	Very dissatisfied	(0, 0, 0.1)
2	Dissatisfied	(0, 0.1, 0.3)
3	A little dissatisfied	(0.1, 0.3, 0.5)
4	Moderate	(0.3, 0.5, 0.7)
5	A little satisfied	(0.5, 0.7, 0.9)
6	Satisfied	(0.7, 0.9, 1)
7	Very satisfied	(0.9, 1, 1)

3.3.2 정비속성간 상대적 중요도 인스턴스 생성

해당 구성품에 대해 설계자 및 ILS 담당자 등 전문가 분석을 통해 정비속성간 상대적 중요도를 Table 1을 참조하여 pair-wise comparison matrix block 하부의 m개의 정비속성에 대해 상대적 중요도를 분석하여 m개의 인스턴스를 생성한다.

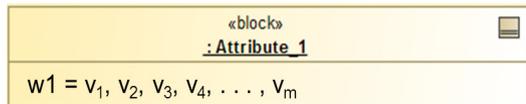


Fig. 7. Created instances of relative importances.

3.4 정비도 모델과 분석도구간 연동을 위한 par의 정의

SysML 기반으로 시뮬레이션 및 MATLAB과의 연동을 통해 정량적인 정비도를 평가하기 위해 par를 정의해야 한다.

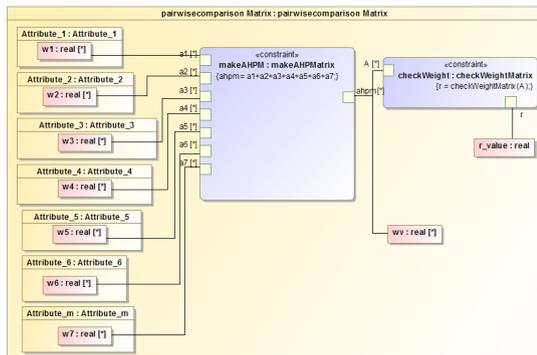


Fig. 8. Created parametric diagram for pair-wise comparison.

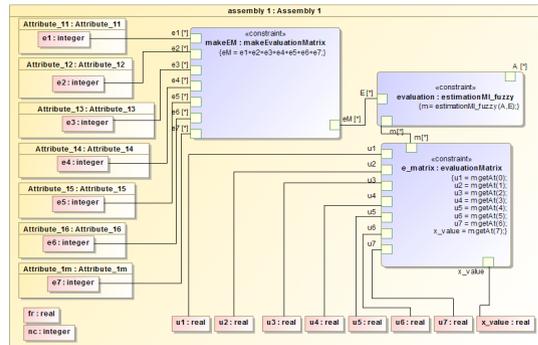


Fig. 9. Created parametric diagram for maintainability evaluation.

Fig. 8과 Fig. 9와 같이 par를 통해 bdd에서 정의한 Constraint block과 block의 value들을 연결할 수 있으며, 시뮬레이션을 수행하게 되면 block들이 가진 평가값 및 쌍대비교를 위한 행렬이 constraint block의 파라미터 입력값으로 입력되며 최종적으로 MATLAB과의 연동을 통해 정비도를 평가한다. par를 정의한 후에는 추가적으로 시뮬레이션에 필요한 모델 요소 및 UI를 정의한 후, 시뮬레이션을 수행한다.

3.5 시스템 수준 정비도 평가를 위한 함수의 구현

constraint block과 MATLAB과의 연동을 위해 참고 문헌[7,9-11]을 참조하여 함수를 정의하였다.

3.5.1 가중치 벡터 생성

정비 속성간 상대적 중요도 행렬 $A_{m \times m}$ 을 constraint block과 연결된 MATLAB 함수로 전달하여 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 활용한 쌍대비교를 통해 상대적 중요도 분석의 적절성을 평가하고, 쌍대비교 행렬을 곱한 후 행렬의 각 열의 합을 통해 정비속성에 대한 가중치 벡터(W)를 생성한다.

$$W = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_m] \quad (1)$$

여기서, W : 가중치 벡터

w_i : i번째 정비속성별 가중치

m : 정비 속성 수

그리고 쌍대 비교 행렬에서 최대 eigenvalue(λ_{max}), 일관성 지수(C_I), 랜덤 일관성 지수($R_I(m)$)를 활용하여 쌍대비교 행렬의 적절성(C_R)을 산출하고, C_R 이 0.1보다 작으면 쌍대비교 행렬은 적절하다고 판단한다.

3.5.2 퍼지 논리 정의 및 변환

전문가 분석을 통해 산출한 정비 속성별 평가값의 모호함(fuzziness)을 해소하기 위해 Table 2를 참조하여 constraint block을 통해 전달된 정비 속성별 평가 행렬 ($E_{1 \times m}$)을 정량적인 triangular fuzzy number 행렬로 변환하여 변환 벡터(V)를 생성하고 Zhong[7]을 참조하여 Fig. 10과 같이 귀속도 함수를 정의한다.

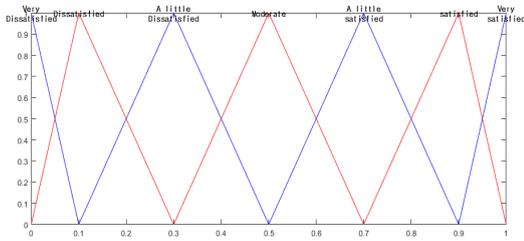


Fig. 10. Definition of triangular membership function.

$$V = \{(V_{1,l}, V_{1,m}, V_{1,u}), \dots, (V_{m,l}, V_{m,m}, V_{m,u})\} \quad (2)$$

여기서, V : 변환 벡터

($V_{i,l}, V_{i,m}, V_{i,u}$) : i 번째 정비속성의 triangular fuzzy number

3.5.3 가중치 적용 벡터 생성 및 정비도 평가

식(1)과 식(2)를 활용하여 가중치가 적용된 정비도 평가 벡터(Z)를 생성한다.

$$Z = \{(w_1 v_{1,l}, w_1 v_{1,m}, w_1 v_{1,u}), \dots, (w_m v_{m,l}, w_m v_{m,m}, w_m v_{m,u})\} \quad (3)$$

여기서, Z : 정비도 평가 벡터

($w_i v_{i,l}, w_i v_{i,m}, w_i v_{i,u}$) : i 번째 가중치 벡터와 변환 벡터의 곱

그리고 “very satisfied” 평가 결과에 해당하는 벡터 (Z^+)와 “very dissatisfied” 평가 결과에 해당하는 벡터 (Z^-)를 정의한다.

$$Z^+ = \{(0.9w_1, w_1, w_1), \dots, (0.9w_m, w_m, w_m)\} \quad (4)$$

$$Z^- = \{(0, 0, 0.1w_1), \dots, (0, 0, 0.1w_m)\} \quad (5)$$

$Z^- \rightarrow Z^+$ 간 거리(D^+)와 $Z \rightarrow Z^-$ 간 거리(D^-)를 MATLAB의 norm() 함수를 활용하여 산출한 후 상대적 접근도(relative closeness, C)를 산출하여 해당 구성품의 현재 정비도 설계 상태(x축)에 대한 정비도 평가값(y축)을 획득한다.

$$C = D^- / (D^+ + D^-) \quad (6)$$

여기서, C : 상대적 접근도(relative closeness)

D^+ : $Z^- \rightarrow Z^+$ 간 거리

D^- : $Z \rightarrow Z^-$ 간 거리

3.5.4 시스템 수준 정비도 평가

각 하부 구성품에 대한 상대적 접근도(C_i)와 bdd에서 정의한 하부 구성품에 대한 구성품의 수 및 고장률을 활용하여 시스템의 정비도를 평가한다.

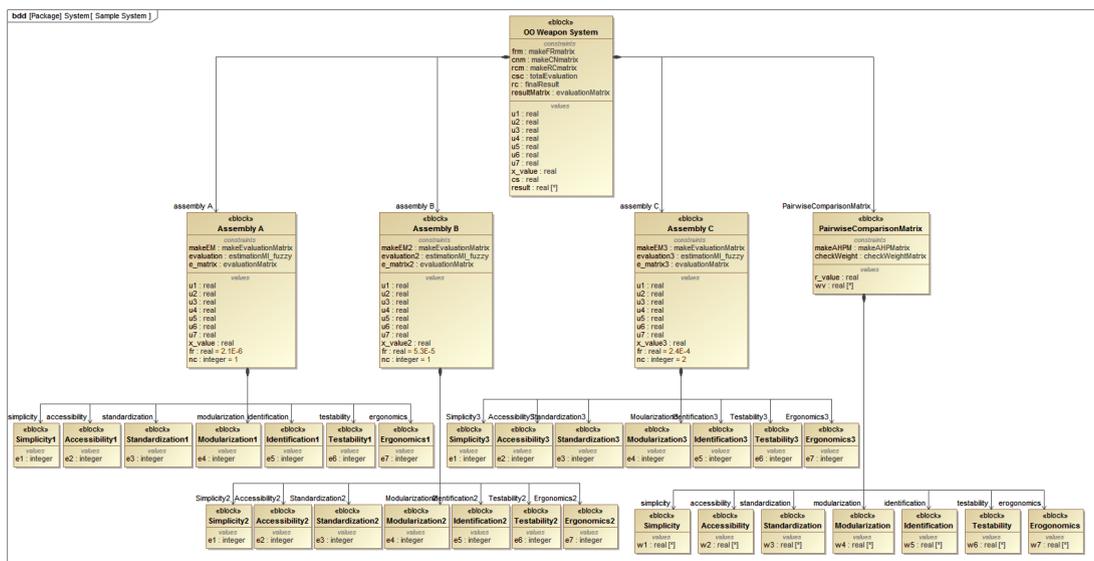


Fig. 11. Created block definition diagram for OO weapon system.

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i C_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (7)$$

여기서, C_s : 시스템 수준 정비도(상대적 접근도)
 n : 조립체의 수
 λ_i : 구성품의 고장률
 C_i : i번째 구성품의 상대적 접근도

4. 개선된 정비도 평가방법의 검증을 위한 사례 연구

본 논문은 Table 3과 같이 세 개의 조립체로 구성된 가상 무기체계의 정비도를 평가하였다.

Table 3. OO weapon system configuration.

Item	Number of Components	Failure rate
Assembly A	1	2.1×10^{-6}
Assembly B	2	1.9×10^{-3}
Assembly C	1	5.3×10^{-5}

4.1 BDD를 활용한 정비도 모델링

본 case study에서는 Zhong[7]와 같이 Simplicity, Accessibility, Standardization, Modularization, Identification, Testability, Ergonomics를 정비도 속성으로 선정하였으며 bdd에 조립체 A, B, C에 대해 각 7개의 정비속성을 정의하고 가중치 벡터를 생성하기 위한 block을 Fig. 11과 같이 표현하였다.

4.2 정비속성별 평가 및 중요도 설정

조립체 A, B, C에 대해 구성품 수와 고장률을 block의 variable에 입력하고 정비속성의 평가값은 전문가 분석을 통해 Table 2를 참조하여 Table 4와 같이 설정하였다.

Table 4. Evaluation of maintainability attributes.

Attributes	Assembly A	Assembly B	Assembly C
Simplicity	6	6	6
Accessibility	5	7	5
Modularization	5	6	6
Standardization	6	6	7
Identification	7	7	7
Testability	6	7	6
Ergonomics	5	6	5

그리고 7개의 정비속성간 상대적 중요도는 Fig. 12와 같이 설정하였다.

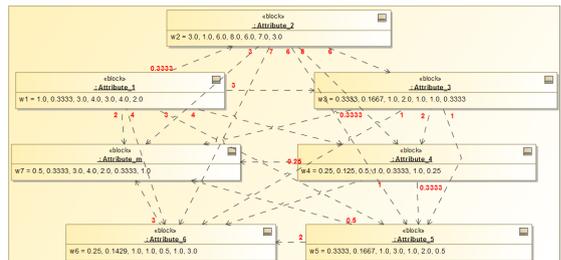


Fig. 12. Instances of relative importances.

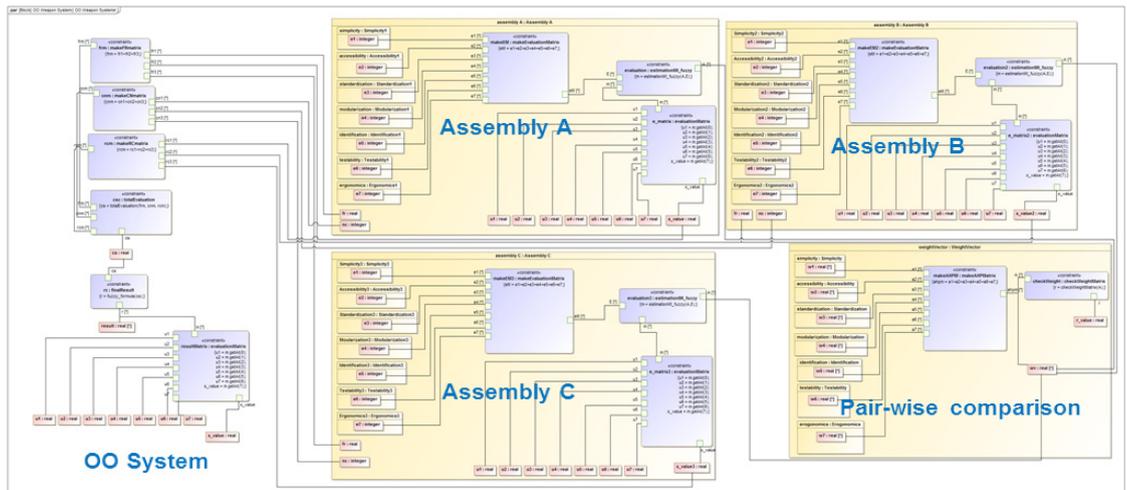


Fig. 13. Created parametric diagram for OO system maintainability evaluation.

4.3 par를 활용한 정비도 모델의 연동

정비 속성간 상대적 중요도의 적절성을 평가하고 가중치 벡터를 생성하기 위해 PairwiseComparisonMatrix block의 변수들을 checkWeightMatrix constraint block에 연결한다. 각 조립체 A, B, C의 정비도를 평가하기 위해 각 조립체별로 estimationMI_fuzzy constraint block에 가중치 벡터와 정비속성별 평가값 벡터를 연결한다. 또한 시스템의 정비도를 평가하기 위해 위 과정을 통해 획득한 조립체별 상대적 접근도 및 평가값과 조립체의 고장률 및 구성품 수를 시스템 레벨의 constraint block과 연결한다. 시스템 정비도 평가를 위한 par는 Fig. 13와 같다.

4.4 시스템 수준 정비도 평가 시뮬레이션 및 결과

조립체 A, B, C에 대한 정비도 평가와 시스템 정비도 평가를 위한 UI를 Fig. 14와 같이 설계하였고 정비도 평가값에 대한 triangular fuzzy number를 확인할 수 있도록 구성하였다.

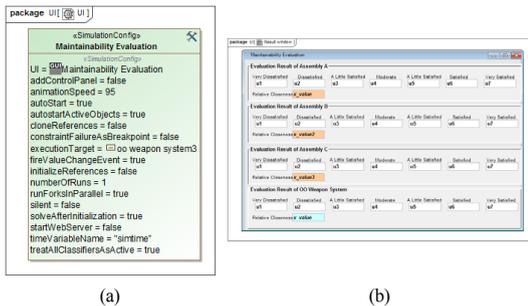


Fig. 14. UI config and UI design for simulation
(a) UI Config (b) UI Design

시뮬레이션 결과는 Cameo System Modeler의 결과 화면은 Fig. 15와 같으며 Fig. 15의 결과를 바탕으로 MATLAB에서 도식화한 결과는 Fig. 16과 같다. 가상 무기체계의 정비도 평가도 결과, 시스템 수준에서의 정비도 평가 벡터는 (0, 0, 0, 0, 0.5991, 0.4009, 0), 정비도 평가값은 0.7802이며 Fig. 16에서 “A Little Satisfied”임을 확인할 수 있다. 그리고 조립체 A는 가장 낮은 정비도 평가값인 0.7316을 갖으며 시스템의 정비도 향상을 위해 설계 개선 활동이 필요하다.

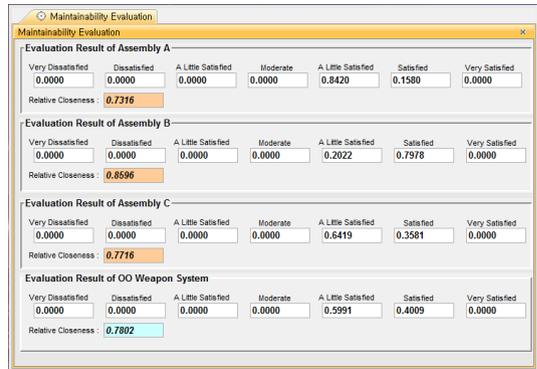


Fig. 15. Result of simulation.

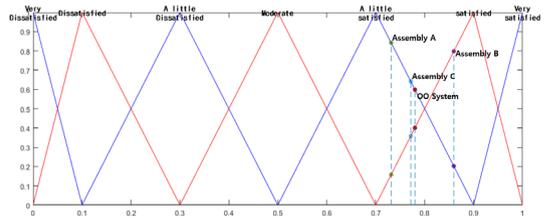


Fig. 16. Result of MATLAB.

본 논문의 연구 결과, 본 논문은 Yoo[6]와 비교하여 Table 5와 같은 개선사항을 갖는다.

Table 5. Improvement of this paper against Yoo[6]

Attributes	this paper	Yoo[6]
evaluation method	Fuzzy + AHP	Graph theory + permanent matrix
coverage	System&component	component
physical structure	applied	not applied
failure rate & qty of component	applied	not applied
consistency of maintainability attributes	consistency verification using AHP	non-consistency verification
visibility of result	text+graph	text

5. 결론

본 논문은 모델기반 시스템공학도구와 MATLAB과의 연동을 통해 통합환경 하에서 시스템 및 하부 조립체의 정비도를 평가하여 설계 개선활동을 수행할 수 있는 방법론을 제시하였다.

이 연구결과를 통해 시스템 모델과의 연동으로 일관성 있는 정비도 모델의 효율적 관리가 가능하고, 설계 초기부터 시제품이 제작되기 전까지 설계 진행에 따라 모델기반 체계공학도구와 3D 모델링 데이터를 활용한 정비도 분석값을 MATLAB과의 연동을 통해 정비도 평가값을 산출하고 이 평가값과 정비도 모델을 설계 기간 동안 유지함으로써 변경관리 및 추적을 용이하게 할 수 있다. 정확한 값으로 표현할 수 없는 정비도 평가를 정비속성간 상대적 중요도와 triangular fuzzy number를 활용하여 해당 구성품에 대한 정량적인 정비도 평가가 가능하여 설계 개선을 진행할 근거가 될 수 있다. 그리고 여러 구성품들의 정비도를 산출하여 다른 구성품에 비해 정비도 값이 낮아서 시스템의 정비도에 많은 영향을 미칠 수 있는 구성품의 식별을 가능하게 하여 해당 품목에 대한 정비도 관련 설계 개선을 진행할 수 있다. 또한 같은 구성품에 대해 여러가지 설계 대안이 있을 경우 설계 대안별로 정비도를 평가하여 어떤 설계대안이 타당한지의사결정할 수 있도록 한다.

현재는 정비속성에 동일한 퍼지 논리와 귀속도 함수를 적용하였으나 정비속성의 특성을 반영한 퍼지 함수의 개발 및 적용을 통해 보다 정밀한 속성별 평가를 수행할 필요가 있다. 또한 구성품의 정비 속성 뿐만 아니라 act 다이어그램을 통한 정비 업무 분석과 연동하여 정비절차별 정비도 평가를 통해 설계 개선을 수행할 수 있는 방법론의 개발도 필요하다고 판단된다.

References

- [1] Integerated Logistics Support Practical Guide, DAPA, 2015.
- [2] MIL-HDBK-470A, Designing And Developing Maintainable Products And Systems, DoD, Aug. 4, 1997.
- [3] MIL-HDBK-472, Maintainability Prediction, DoD, 1984.
- [4] M.F. Wani and O.P. Gandhi, "Development of maintainability index for mechanical systems," Reliability Engineering and System Safety, vol. 65, pp. 259-270, Jan. 1999.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(99\)00004-6](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(99)00004-6)
- [5] Rajesh Kr Singh, Pravin Kumar, Blesson Joseph, and Himanshu Sharma, "Evaluation of Maintainability Index of a Mechanical System using Graph Theoretic Approach," in Proc. SOM-14, 2015, pp. 303-313.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.03.226>
- [6] Xu Luo, Zhexue Ge, Fengjiao Guan, and Yongmin

Yang, "A method for the maintainability assessment at design stage based on maintainability attributes," in Proc. 2017 ICPHM, Dallas, TX, Jun. 2017, pp. 187-192.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICPHM.2017.7998326>

- [7] Corneliu-Alexandru Slavila, Christophe Decreuse, and Michel Ferney, "Fuzzy Approach for Maintainability Evaluation in the design process," CONCURRENT ENGINEERING, vol. 13, no. 4, pp. 291-300, Dec. 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1177/1063293X05059807>
- [8] OMG Systems Modeling Language, v.1.5, 2017
- [9] Benjamin S. Blanchard, Dinesh Verma, and Elmer L. Peterson, "MAINTAINABILITY: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management," New York, NY: John Wiley & Sons, INC., 1995, Chap. Appendix A, pp. 439-456.
- [10] Z. Tjiparuro and G. Thompson, "Review of maintainability design principles and their application to conceptual design," Journal of Process Mechanical Engineering, vol. 218, no. 2, pp. 103-113, May 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1243/095440804774134280>
- [11] Pedro Moreu De Leon, VicenteGonza' lez-Prida D'az, LuisBarbera' Mart'inez, and Adolfo Crespo Ma'riquez, "A practical method for the maintainability assessment in industrial devices using indicators and specific attributes," Reliability Engineering and System Safety, vol. 100, pp. 84-92, Apr. 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2011.12.018>
- [12] Brian Butler, Matrix Permanent Using Recursion version 1.3.1.0, Mathworks, 2016,
<https://kr.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/53434-matrix-permanent-using-recursion>, (accessed July 10, 2018)

유연용(Yeon-Yong Yoo)

[정회원]



- 2002년 2월 : 강원대학교 공과대학 정보통신공학과 (공학석사)
- 2002년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원
- 2016년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 박사과정

<관심분야>

시스템공학, 종합군수지원(ILS), Modeling & Simulation

이 재 천(Jae-Chon Lee)

[정회원]



- 1977년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 1979년 2월 / 1983년 8월 : KAIST 통신시스템 (석/박사)
- 1984년 9월 ~ 1985년 9월 : 미국 MIT Post Doc 연구원
- 1985년 10월 ~ 1986년 10월 : 미국 Univ. of California 방문연구원
- 1990년 2월 ~ 1991년 2월 : 캐나다 Univ. of Victoria (Victoria, BC) 방문교수
- 2002년 3월 ~ 2003년 2월 : 미국 Stanford Univ. 방문교수
- 1994년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 정교수

<관심분야>

시스템공학 (SE), Model-Based SE (MBSE), Systems Safety, Systems T&E, Modeling & Simulation