Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 19, No. 11 pp. 88-95, 2018

https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.11.88
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

SysML 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법을 활용한 무기체계 정비도 지수 산출

유연용[1], 이재천[2*]
[1]국방과학연구소 유도무기체계단, [2]아주대학교 시스템공학과

Computation of Maintainability Index Using SysML-Based M&S Technique for Improved Weapon Systems Development

Yeon-Yong Yoo[1], Jae-Chon Lee[2*]
[1]Missile System PMO, ADD, [2]Dept. of Systems Engineering, Ajou University

요 약 정비도는 시스템에 고장이 발생하였을 때 얼마나 쉽게 정상 상태로 복구할 수 있는가를 나타내는 것으로서, 좋은 정비도를 갖도록 개발된 시스템은 정비시간, 정비인력 및 소요자원 등의 절감을 통해 무기체계의 운용유지비용 관점에서 경쟁력을 갖게 된다. 시스템설계 후반기에서의 정비도 반영을 위한 설계변경은 비용 초과와 일정 지연을 초래할 수 있어서 설계 초기단계부터 정비도를 고려할 필요가 있다. 정비도는 평균수리시간, 평균실정비시간 등으로 정량화할 수 있으나, 이는 시제품 제작 이후 또는 이력데이터가 있는 경우에만 추정가능하고 시스템 구성품의 물리적 특성을 나타내지 못하는 제약이 있다. 이점을 해결하기 위해 기존 논문에서는 그래프 이론을 활용하였으나, 일련의 과정이 개별적으로 독립된 환경에서 수행되어 전체과정에 대한 관리의 효율성이 부족하다. 또한 3D 모델 데이터를 활용하여 설계단계에서 정비도 평가방법을 제시하였으나, 새로운 시스템 설계시 또는 설계초기에 적용할 때 제약이 있다. 이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 SysML 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법을 활용하여 무기체계의 정비도 지수를 산출하는 방법을 연구하였다. 특히, 시스템 설계 및 정비도 추정을 동시에 고려하기 위해서, 시스템공학 도구 상의 정비속성 및 속성간 관계 값을 SysML 구조 다이어그램에 반영하여 구성품의 정비도를 모델링하였다. 그리고 나서 SysML Parametric 다이어그램을 생성하고 MATLAB과 연계한 시뮬레이션을 통해 정량적인 정비도 지수를 산출하였다. 본 연구결과를 활용하면, 설계초기부터 시스템 모델과 정비도 모델의 통합으로 효율적 관리가 가능하고, 정비도 지수가 낮은 구성품을 조기에 식별하여 설계 후반기에서의 설계변경에 따른 비용 및 일정에 대한 위험을 감소시킬 수 있다.

Abstract Maintainability indicates how easily a system can be restored to the normal state when a system failure occurs. Systems developed to have high maintainability can be competitive due to reduced maintenance time, workforce and resources. Quantification of the maintainability is possible in many ways, but only after prototype production or with historical data. As such, the graph theory and 3D model data have been used, but there are limitations in management efficiency and early use. To solve this problem, we studied the maintainability index of weapon systems using SysML-based modeling and simulation technique. A SysML structure diagram was generated to simultaneously model the system design and maintainability of system components by reflecting the maintainability attributes acquired from the system engineering tool. Then, a SysML parametric diagram was created to quantify the maintainability through simulation linked with MATLAB. As a result, an integrated model to account for system design and maintainability simultaneously has been presented. The model can be used from early design stages to identify components with low maintainability index. The design of such components can be changed to improve maintainability and thus to reduce the risks of cost overruns and time delays due to belated design changes.

Keywords : Maintainability index, Maintainability M&S, SysML, MATLAB, systems engineering

*Corresponding Author : Jae-Chon Lee(Ajou Univ.)
Tel: +82-31-219-3941 email: jaelee@ajou.ac.kr
Received August 16, 2018 Revised (1st August 31, 2018, 2nd September 6, 2018)
Accepted November 2, 2018 Published November 30, 2018

1. 서론

RAM은 신뢰도, 가용도, 정비도의 총칭으로 요소별 예측 및 분석활동을 통해 '설계지원/평가, 설계/대안도출, 군수지원분석 등을 지원하는 업무'로써 무기체계의 고장빈도, 정비업무량, 전투준비태세를 나타내는 척도로 사용되고 있다. 이러한 RAM의 역할은 개발 초기부터 체계 고장률 및 정비도 등을 관리함으로써 체계 신뢰성을 증대하고, 수명주기비용을 절감하는 것이다[1].

그 중 정비도는 어떤 시스템이 고장 발생시 규정된 정비요원이 가용한 절차 및 자원을 이용하여 주어진 조건하에서 주어진 시간 내에 체계를 정비하여 그 성능을 규정된 상태로 복구할 수 있는 능력으로 정의할 수 있다[2-3].

정비도는 시스템 설계시 관리해야 할 시스템 속성이며, 좋은 정비도를 갖도록 개발된 시스템은 정비시간, 정비인력 및 소요자원 등의 절감을 통해 무기체계의 운용유지비용 관점에서 경쟁력을 갖게 된다. 무기체계 개발시 기능 요구사항과 목표 운용가용도를 만족시키는 것이 중요하다. 운용가용도는 신뢰도를 높이거나 정비도를 향상시킴으로써 높일 수 있다. 정비도를 향상시키는 활동은 정비시간이나 행정 소요시간을 최소화하는 노력을 통해 달성할 수 있다. 정비시간은 고장의 식별 및 접근을 용이하게 하고 모듈 단위로 교환하거나 적절한 수량의 표준화된 체결류를 적용하는 등의 정비도를 고려한 설계를 통해 줄일 수 있다. 그러나 종합군수지원의 시험평가 결과를 보면 정비용이성을 위한 설계변경 요구가 가장 많다. 이는 설계자들의 정비도를 고려한 설계에 대한 인식 부족과 설계 초기부터 정비도를 정량적으로 추정하고 추적/관리하는 방법의 부재에 기인한다. 또한 시스템설계 후반기에서의 정비도 반영을 위한 설계변경은 비용초과와 일정 지연을 초래할 수 있어서 설계 초기단계부터 정비도를 고려할 필요가 있다. 정비도는 평균수리시간(MTTR), 평균실정비시간($\overline{M}$) 등으로 정량화할 수 있으나, 이는 시제품 제작 이후 또는 이력데이터가 있는 경우에만 추정가능하고 시스템 구성품의 물리적 특성을 나타내지 못하는 제약이 있다. 이에 본 논문에서는 Fig. 1과 같이 개념설계나 설계초기에 시간 개념이 아닌 시스템의 물리적 특성을 고려하여 SysML 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법을 활용하여 무기체계의 정비도 지수를 산출하는 방법을 연구하였다.

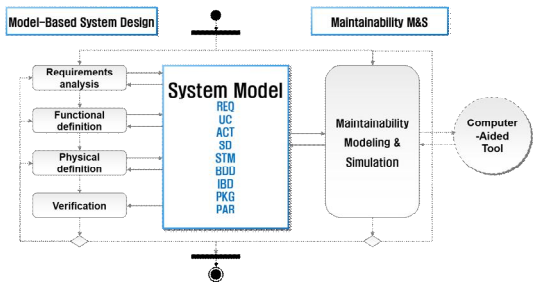


Fig. 1. MBSE and Maintainability M&S Integration

2. 관련 연구

2.1 설계단계 정비도 평가 연구

Graph Theoretic Approach를 활용하여 설계단계에서 정비도를 예측하기 위한 방법론을 제시하였다[4-5]. 이를 위해 유향그래프(digraph)를 활용하여 정비속성과 속성간의 관계를 표현하였다. 유향그래프의 node는 정비속성을 나타내며 node간의 edge는 정비속성간의 관계를 나타낸다. 이러한 유향그래프를 대각선 요소는 정비속성의 중요도를 나타내는 값으로, 그 외의 요소는 속성간 관계값을 표현하는 정방행렬(square matrix)로 변환하고 이 정방행렬로 부터 수치적 인덱스를 평가하기 위해 정방 행렬의 permanent 값을 연산하여 정비도 지수(maintainability index)를 도출하였다. 그러나 정비도를 산출하는 일련의 과정이 개별적으로 독립된 환경에서 수행되어 전체과정에 대한 관리의 효율성이 부족하다. 또한 퍼지 접근법을 활용하여 정비속성을 정량화하고 설계단계의 3D 모델링 데이터를 활용하여 의사결정 및 설계지침을 제시하기 위한 정비도 지표(Maintainability Indicator)를 도출하였다[6-7]. 그러나 3D 모델링 데이터의 분석을 통해 속성값을 정의하고 정비도 지표를 도출함에 따라 새로운 시스템 설계나 설계초기에 적용할 때 제약이 있다. 이에 개념설계나 설계초기에 설계자료가 충분하지 않은 상황에서도 시스템의 물리적 특성을 고려한 정비의 용이성을 정량적으로 표현한 정비도를 추정하고 효율적으로 관리하는 방법이 요구된다.

2.2 SysML 기반 정비도 지수 산출의 필요성

시스템 모델링 언어인 SysML(Systems Modeling Language)은 하드웨어, 소프트웨어, 정보, 절차, 시설 등을 포함하는 복잡한 시스템의 사양화, 분석, 설계, 검증

을 위한 그래픽 모델링 표준 언어로써, 국방, 우주항공, 자동차 등의 다양한 분야에서 사용되고 있다[8].

이러한 SysML을 활용하여 개념설계 및 설계초기부터 모델 기반으로 요구사항 분석, 기능적/물리적 정의 등의 활동과 동시에 정비도를 모델링하여 MATLAB과 연계한 시뮬레이션을 통해 정량적인 정비도 지수를 산출하여 관리함으로써, 시스템 모델과 정비도 모델의 통합으로 개념설계 및 설계초기부터 정비도의 효율적인 추적/관리가 가능하다.

2.3 연구수행 방법 및 절차

본 논문의 연구수행 절차는 Fig. 2의 절차와 같다.

Block Definition Diagram을 통해 정비속성과 관계의 정의를 통해 분석 대상 구성품의 정비도를 모델링하고 Constraint block을 정의한다. 시뮬레이션을 위해 정량적인 정비속성값과 관계값이 필요하며 이를 위해 구성품의 정비속성에 대한 인스턴스를 생성하고 전문가 분석을 통해 정비속성값(V)와 관계값(R_1~R_n)을 할당한다. 그리고 정비도 모델링, Constraint block, 정비속성값 및 관계값을 활용한 Parametric Diagram의 생성을 통해 정비도를 표현하기 위한 정방행렬을 만들고 MATLAB과의 연동을 통해 정비도 지수 및 상대적 비율을 산출하여 정비도를 추정한다.

SysML 기반의 정비도를 모델링하기 위한 체계공학 도구는 Cameo Systems Modeler 18.5 SP3을 적용하였고 정비도 지수 산출을 위해 MATLAB 2017b를 적용하였다.

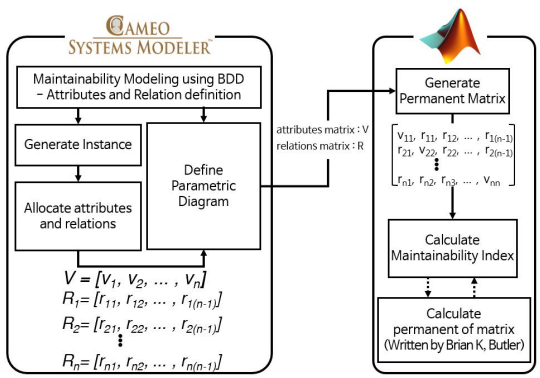


Fig. 2. M&S process proposed in the paper for calculating maintainability index

Table 1. Maintainability attributes

Blanchard[9]	Wani[4]	Luo[6]	Tjiparuro[10]	Leon[11]
1. General	1. Design	1. Process	1. Design	1. Design
- Standardization - Components functionally grouped - Complexity minimized - Self test incorporated - Labelling - MTTR minimized - Repair/replace philosophy - Weight - Calibration requirements - Tools & test equipment minimized - Maintenance procedure - Personnel requirements	- Standardization - Modularization - Simplicity - Diagnosibility - Identification - Accessibility - Disassembly/assembly - Tribo-concepts	- Modularization - Standardization - Simplicity - Diagnosability - Identification	- Standardization - Modularization - Simplicity - Diagnosibility - Identification - Accessibility - Assembly/disassembly - Serviceability - Testability - Parts/components - Reliability	- Simplicity - Identification - Modularity - Tribology - Standardization - Failure watch - Accessibility - Assembly/disassembly
2. Accessibility	2. Personnel	2. Operation	2. Personnel	2. maintenance staff and work conditions
3. Packaging	- Personnel including ergonomics - System environment	- Accessibility - Assembly type - Ergonomics - Maintenance safety	- Anthropology - Human sensory - Physiological - Psychological	- Ergonomics - Training - Environment
4. Connectors 5. Handling 6. Fasteners	3. Logistic support	3. Maintenance support	3. Logistic support	3. Logistics support
7. Cables 8. Equipment racks - General 9. Servicing/Lubrication 10. Adjustments 11. Panel Displays/Controls 12. Test points 13. Parts/Components 14. Reliability 15. Software 16. Safety 17. Environment	- Tools & test equipment - Documentation	- Spare parts - Tools and equipment - Personnel organization - Personnel skill	- Spares procurement - Right tools availability - Tools & test equipment - Documentation - Software 4. Operation context - Safety - System environment - Operation/mission profile	- Relation with the manufacturer - Personnel organization - Spare parts - maintenance tools and equipments - Interdepartmental coordination - Documentation

3. 모델기반 정비도 지수 산출을 위한 구조 설계

3.1 정비도 모델의 생성

정비도 모델은 Block Definition Diagram(이하 bdd)을 통해 모델링한다. bdd는 해당 구성품의 정비도 지수를 산출하기 위한 정비속성들을 식별하여 block으로 구성된다. 정비속성의 종류 및 수량은 Table 1과 같이 대상 시스템에 따라 다양하게 정의되어 활용되었다. 정비도 지수 산출을 위한 정비속성의 종류 및 수량은 분석 대상 시스템의 특성을 반영해야 하기 때문에 대상 시스템의 개발자 및 ILS 담당자가 분석 및 협의를 통해 결정하며 프로젝트마다 상이할 수 있다. 대상 시스템의 특성에 따라 Fig. 3과 같이 n개의 정비속성을 나타낼 수 있으며 하나의 정비속성 block은 정비속성의 중요도에 따라 integer형의 정비속성값과 정비속성간 연관 강도에 따라 integer 배열형의 관계값으로 정의한 value property를 갖는다.

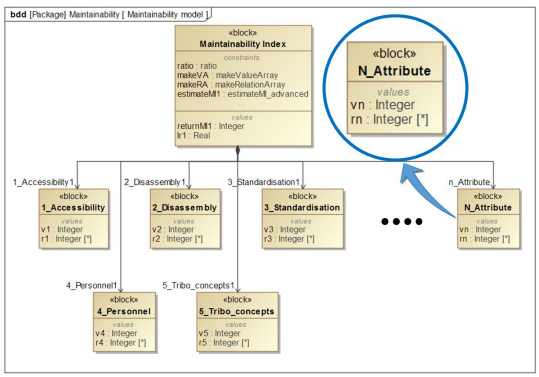


Fig. 3. Generation of maintainability model

3.2 Constraint Block의 정의

정비도 모델 내 block들의 속성값과 관계값을 활용하여 정비도 지수를 산출하기 위해 Parametric Diagram(이하 par)에서 활용할 constraint block을 정의한다. 정비속성의 개수와 상관없이 MATLAB과 연계한 시뮬레이션을 통해 정비도 지수를 산출하기 위해 par에서 정비속성값과 관계값은 각각 하나의 배열로 저장하기 위해 makeValueArray와 makeRelationArray constraint block을 정의하였다.

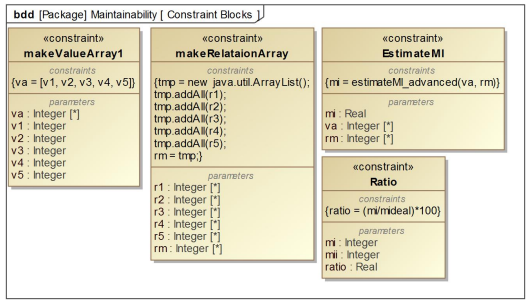


Fig. 4. Definition of constraint block

makeRelationArray constraint block은 Fig. 4와 같이 Java Script 코드를 사용하여 하나의 관계 배열을 생성한다. 그리고 이 두 배열을 MATLAB에 인수로 전달하여 정비도 지수를 반환하기 위한 estimateMI_advanced constraint block을 정의한다.

3.3 인스턴스 생성 및 관계 설정

bdd의 정비도 모델을 par를 통해 MATLAB과 연계하여 시뮬레이션하기 위해 초기값 설정이 필요하며 이를 위해 인스턴스를 생성한다. 정비속성별로 속성값과 속성간의 관계값은 해당 구성품의 설계담당자와 정비업무 분석을 담당하는 ILS 담당자 등이 협의를 통해 설정한다. 본 논문에서는 Wani[4]를 참고하여 정비속성의 속성값은 중요도에 따라 4, 2, 0의 값을 부여하고, 속성간의 관계값은 연관 강도에 따라 4, 3, 2, 0의 값을 부여하였다.

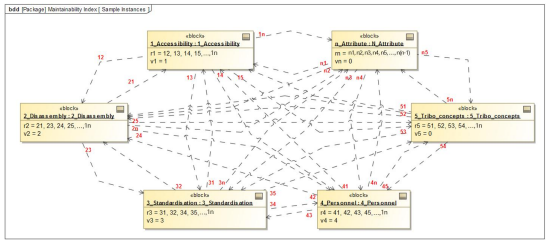


Fig. 5. Creating instances and setting relation between attributes

3.4 파라메트릭 다이어그램의 생성

SysML 기반으로 모델링 및 시뮬레이션을 통해 정비도 지수를 산출하기 위해 par를 정의해야 한다. par를 통해 bdd에서 정의한 Constraint block과 block의 파라미터들을 연결할 수 있으며, 시뮬레이션을 수행하면 block들이 가진 속성값 및 관계값이 constraint block의 파라

미터 입력값으로 입력되며 최종적으로 MATLAB과의 연계를 통해 정비도 지수를 산출하게 된다.

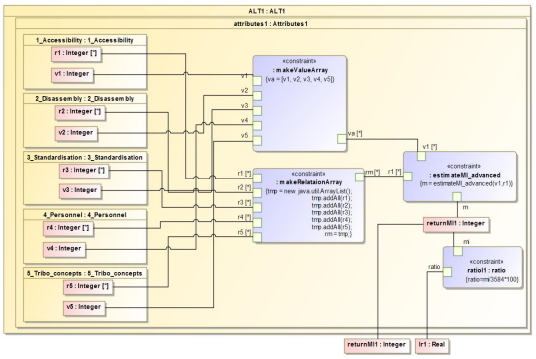


Fig. 6. Creating parametric diagram

Fig. 6과 같이 par를 정의한 후에는 추가적으로 시뮬레이션에 필요한 모델 요소 및 UI를 정의한 후, 시뮬레이션을 수행한다.

3.5 MATLAB code의 생성

Constraint block인 estimateMI_advanced와 연동하기 위한 MATLAB 코드를 작성하였다. par에서 두 개의 배열인 정비속성값 배열과 관계값 배열을 인수로 받아 정비속성값 배열 크기만큼의 초기화된 n×n 정방행렬을 생성하고 정방행렬의 대각선 요소는 속성값 배열의 속성값으로 대체하고 비대각선 요소에는 관계값 배열에서 크기 (n-1)만큼의 관계값을 분리하여 각 행마다 관계값을 대체함으로써 정비도 지수 산출을 위한 정방행렬을 완성하였다. 그리고 이렇게 완성된 정방행렬은 Butler[12]의 함수를 호출하여 permanent 값을 연산하며 이 값이 정비도 지수이다. 정비도 지수는 높을수록 더 좋은 정비도를 갖는다.

4. Case study

본 논문은 산출된 정비도 지수의 값을 비교하기 위해 Wani[4]에서 다룬 부싱에 대한 case study의 정비속성 및 관계값을 활용하였다.

4.1 정비도 모델의 생성

본 case study에서는 Wani[4]와 같이 Accessibility, Disassembly, Standardization, Personnel, Tribo-concepts를 정비속성으로 선정하였으며 bdd에 5개의 block을 활용하여 하나의 설계대안을 표현하였으며 설계대안과 최적의 설계대안을 Fig. 7과 같이 표현하였다.

4.2 인스턴스 생성 및 관계 설정

최적 설계대안과 3개의 설계대안별 5개의 정비속성에 대하여 초기값 설정을 위해 인스턴스들을 생성하여 정비속성값을 설정하고 'dependency' 관계를 활용하여 속성간 관계값을 설정한다. 그 관계값을 속성별 관계값 배열에 입력한다.

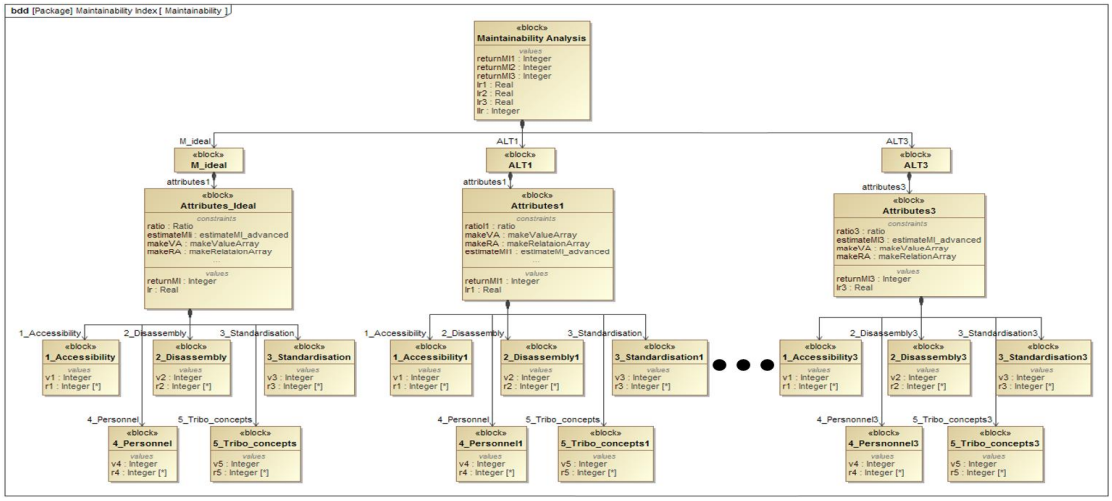


Fig. 7. BDD of maintainability model

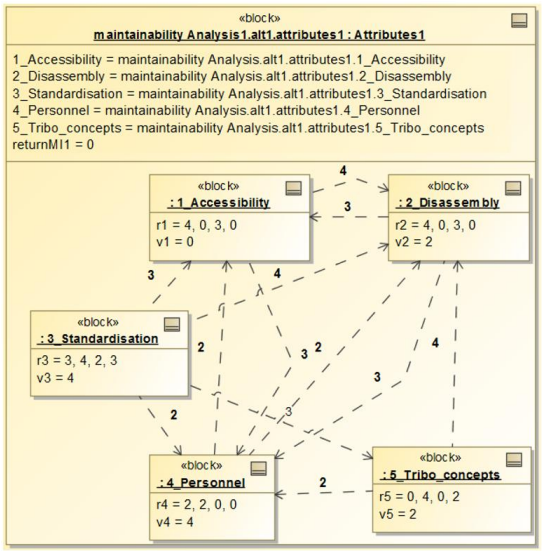


Fig. 8. Creating instances and making relation for design alternative 1

Table 2. variables of instances

	v	r[]		v	r[]	attribute
Ideal	4	[4,0,3,0]	Design ALT1	0	[4,0,3,0]	①
	4	[4,0,3,0]		2	[4,0,3,0]	②
	4	[3,4,2,3]		4	[3,4,2,3]	③
	4	[2,2,0,0]		4	[2,2,0,0]	④
	4	[0,4,0,2]		2	[0,4,0,2]	⑤
Design ALT2	2	[4,0,3,0]	Design ALT3	2	[4,0,3,0]	①
	2	[4,0,3,0]		2	[4,0,3,0]	②
	4	[3,4,2,3]		4	[3,4,2,3]	③
	4	[2,2,0,0]		4	[2,2,0,0]	④
	2	[0,4,0,2]		4	[0,4,0,2]	⑤
①Accessibility ②Disassembly ③Standardization ④Personnel ⑤ Tribo-concepts						

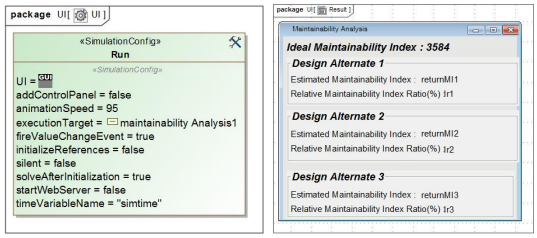
Fig. 8은 설계대안1에 대한 인스턴스 생성 및 관계를 설정한 그림이다. 설계대안별 인스턴스들의 초기 속성값 및 관계값은 Table 2와 같이 설정하였다.

4.3 파라메트릭 다이어그램의 생성

최적 설계대안과 3개의 설계대안에 대한 시뮬레이션을 위해 par를 생성하였다. 정비속성값 배열의 생성을 위해 설계대안별 모든 정비속성값 파라미터 v_1, v_2, ..., v_5를 makeValueArray constraint block와 'value binding path'로 연결한다. 정비속성간 관계값 배열의 생성을 위해 관계값 파라미터 r_1, r_2, ..., r_5를 makeRelationArray constraint block과 'value binding path'로 연결한 후 MATLAB과의 연계를 위해 estimateMI_advanced constraint block과 연결한다. 그리고 MATLAB으로부터 반환된 정비도 지수를 저장하기 위한 returnMI 변수와 연결하고 최적의 정비도 지수 대비 설계대안별 상대적 정비도 지수를 산출하기 위해 ratio constraint block과 연결한다.

4.4 시뮬레이션 수행

최적 설계대안과 3개의 설계대안에 대해 산출된 정비도 지수를 보여주기 위한 UI를 Fig. 9와 같이 설계하였고 설계대안별 정비도 지수와 상대적 비율을 볼 수 있도록 구성하였다.



(a) (b)

Fig. 9. UI config and UI design for simulation (a) UI Config (b) UI Design

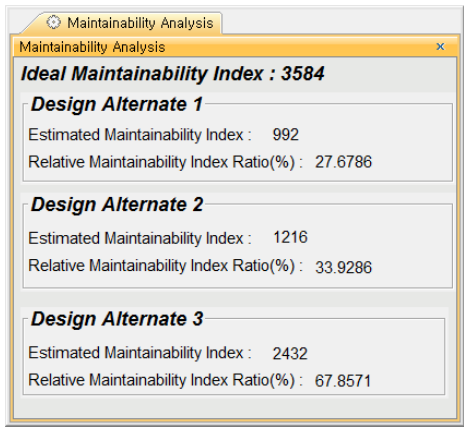


Fig. 10. Result of simulation

시뮬레이션 결과는 Fig. 10과 같다. 정비속성별로 정비속성값이 최대인 이상적인 정비도 지수는 3584이며 설계대안별 설계개선에 따른 정비속성값의 변경(Table 2)에 따라 설계대안1은 992, 설계대안2는 1216, 설계대안3은 2432의 정비도 지수가 산출되었다. 상대적 비율은 정비도 지수 최대값에 대한 설계대안별 정비도 지수

의 비율로서 설계대안1은 27.6786%, 설계대안2는 33.9286%, 설계대안3은 67.8571%가 산출되었다. 이는 정비속성과 관련된 요소의 설계개선을 통해 설계대안별 정비도 지수가 992에서 2432로 향상됨을 나타내며, 최대 정비도 지수 대비 설계대안별 정비도 지수가 27.6786%에서 67.8571%로 향상되었음을 의미한다. 이에 설계개선에 대해 비용 및 일정을 고려하지 않는 경우에는 설계대안3을 적용하여 시스템을 설계해야 한다.

5. 결 론

Wani[4]는 유향그래프의 생성, 정방 행렬로의 변환 및 permanent 값을 산출하는 과정이 개별적으로 독립된 환경에서 수행되어 전체과정에 대한 관리의 효율성이 부족하나 본 논문은 체계공학도구와 MATLAB과 연계한 시뮬레이션을 통해 정비도 지수를 산출하는 방법론을 제시하였다.

본 연구결과를 활용하면, 설계초기부터 시스템 모델과 정비도 모델의 통합으로 효율적 관리가 가능하고, 정비도 지수가 낮은 구성품을 조기에 식별하여 설계 후반기에서의 설계변경에 따른 비용 및 일정에 대한 위험을 감소시킬 수 있다.

정비속성의 추가/삭제에 따른 정비속성값 및 속성간 관계값의 개수가 변경되어도 MATLAB에 전달되는 인수는 동일하도록 속성값과 관계값을 배열로 정의하여 활용하였다. 이를 통해 정비속성의 추가/삭제에 따른 속성간 관계값의 개수가 변경되어도 MATLAB 코드의 수정 없이 정비도 지수를 산출할 수 있다.

향후에는 정비속성 및 관계의 변경에 따른 비용 및 일정 영향 요소를 반영한 정비도 최적화 방안을 모델링과 시뮬레이션을 통해 검증하는 연구가 필요하다. 또한 기술이 발전함에 따라 하나의 시스템이 다수의 기능을 수행하도록 시스템이 변화되었고 시스템을 구성하는 부품 또한 기계 중심에서 전기/전자/소프트웨어 중심으로 바뀌게 됨에 따라 전기/전자/소프트웨어의 정비 특성을 반영한 정비속성 및 속성간 관계의 도출과 이를 반영하는 연구가 필요할 것으로 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

[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 Dı´az, LuisBarbera´ Martı´nez, and Adolfo Crespo Ma´rquez, "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.ress.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)

유 연 용(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