

시스템 구성품의 위험 심각도를 반영한 안전중시 시스템의 설계 모듈화에 관한 연구

김영민* · 이재천*
*아주대학교 시스템공학과

On the Development of Modularized Structures for Safety-Critical Systems by Analyzing Components Failure

Young Min Kim* · Jae-Chon Lee*

*Dept. of Systems Engineering, Ajou University

Abstract

Modern systems development becomes more and more complicated due to the need on the ever-increasing capability of the systems. In addition to the complexity issue, safety concern is also increasing since the malfunctions of the systems under development may result in the accidents in both the test and evaluation phase and the operation phase. Those accidents can cause disastrous damages if explosiveness gets involved therein such as in weapon systems development. The subject of this paper is on how to incorporate safety requirements in the design of safety-critical systems. As an approach, a useful system structure using the method of design structure matrix (DSM) is studied while reflecting the need on systems safety. Specifically, the effects of system components failure are analyzed and numerically modeled first. Also, the system components are identified and their interfaces are represented using a component DSM. Combining the results of the failure analysis and the component DSM leads to a modified DSM. By rearranging the resultant DSM, a modular structure is derived with safety requirements incorporated. As a case study, application of the approach is also discussed in the development of a military UAV plane.

Keywords : Design Structure Matrix, Failure Modes, Failure Criticality, Unmanned Aerial Vehicle, Safety, Conceptual Design

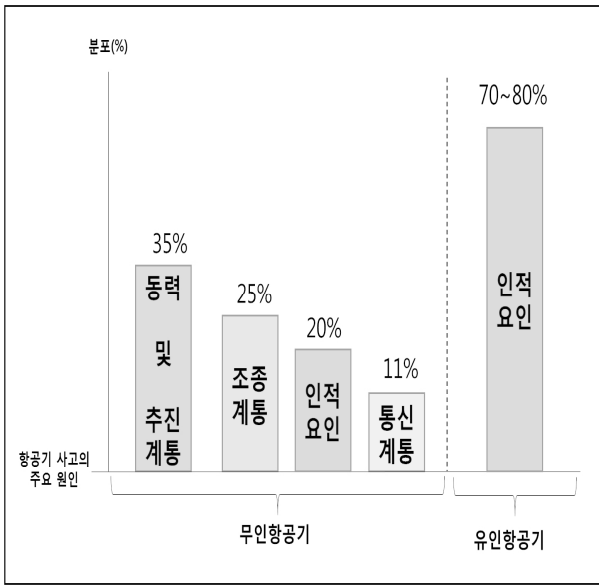
1. 서론

오늘날 항공기는 승객 또는 화물을 옮기는 운송수단으로 과거보다 많이 보편화되어 사용되고 있다. 이러한 항공기의 기술 발전은 무인화 운용에 이르렀다. 특히, 군에서는 적으로부터 피해를 최소화하기 위한 임무정찰용 무인기 개발에 선도적인 역할을 하고 있다. 최근 항

공기 및 헬기의 도심 추락으로 인한, 인적·물적 피해로 인해, 무인 항공기에 대한 안전성 측면이 보다 강조되고 있는 실정이다. 무인항공기 시스템이 민간인이 거주하는 곳으로 추락하는 사고가 발생된다면, 수많은 인명과 재산적 피해가 불가피 할 것이다. 이와 같이, 대상 시스템의 사고로 인해, 인명과 재산적 상당한 피해를 일으키는 시스템을 안전 중시 시스템이라고 한다[1].

†이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2012R1A1A2009193)

†Corresponding Author : Prof. Jae-Chon Lee, Dept. of Systems Engineering, Ajou University, Wonchon-dong, Youngtong-gu, Suwon, 443-749, Tel: 031-219-3941, E-mail: jaelee@ajou.ac.kr
Received October 20, 2014; Revision Received December 18, 2014; Accepted December 18, 2014.



[Figure 1] Causes of airplane accidents [2].

유인항공기 사고의 주요원인이 인적요인(70~80%)에 의해 발생하는 반면, 무인항공기는 사고의 대부분이 기계적 결함(80%)으로 발생한다는 것을 [Figure 1]을 통해서, 알 수 있다[2]. 따라서, 개발단계에서 기계적 결함을 제거하기 위한, 설계 신뢰도를 향상 시킬 수 있는 접근법으로 해결해야 할 것이다.

국내 국방 분야의 무기체계 개발단계는 크게 4단계(선행연구, 탐색개발, 체계개발, 양산단계)로 진행되어진다[3]. 이중 체계개발 단계부터 물리적 형상물을 만드는 단계 이므로, 그 이전 단계인 선행연구와 탐색개발 단계에서 강화된 접근을 통해 해결하는 것이, 비용과 일정 측면에서 보다 효과적인 결과를 가져다 줄 것이다. 시스템공학은 시스템 전 수명 주기적 관점에서 시스템의 개발을 위해서 어느 한 부분의 최적화가 아닌 전체의 균형 잡힌 접근을 통한, 최적화를 통해 시스템의 성공적 개발을 목표로 한다[4]. 특히, 설계 초반 활동인 개념설계단계에서 집중적 활동을 보인다. 이러한 개념설계 단계란 무기체계개발 단계에서 선행연구와 탐색개발 단계에 해당하므로 시스템 공학적 접근을 통해, 무인항공기의 시제품을 만들기 전 단계에서 설계적 접근을 통한 설계 신뢰도 향상을 위한 접근적 방법으로 매우 적합하다고 볼 수 있다.

국제민간항공기구(ICAO)에서는 항공기 부품 및 시스템의 고장으로 인해, 치명적인 사고로 연결되기 때문에 [Figure 2]와 같은 설계안전 프로세스의 병행에 따른 이행을 의무로 규정하고 있다. 규정에 의하면, 설계 단계에서부터 안전성 평가에 있어서 기능위험평가(FHA, Functional Hazard Assessment), 예비시스템안전성평

가(PSSA, Preliminary System Safety Assessment), 시스템안전성평가(SSA, System Safety Assessment)과 같은 활동이 주로 수행되어진다. 하지만, 이러한 안전 활동을 통해서 개발초기에 사전적 의미에서 각각의 시스템 레벨에서 위험원을 식별하기 때문에 정량화된 안전성 평가 결과를 어렵다.

본 연구에서는 시스템 설계 초기단계부터 정량적 위험도 평가를 설계단계에 반영 가능한 접근법을 제시한다. 제안된 방법을 통해, 설계가 진행된다면, 시스템 전체 신뢰도를 높여 안전성 확보에 접근적 방안이 될 수 있다.

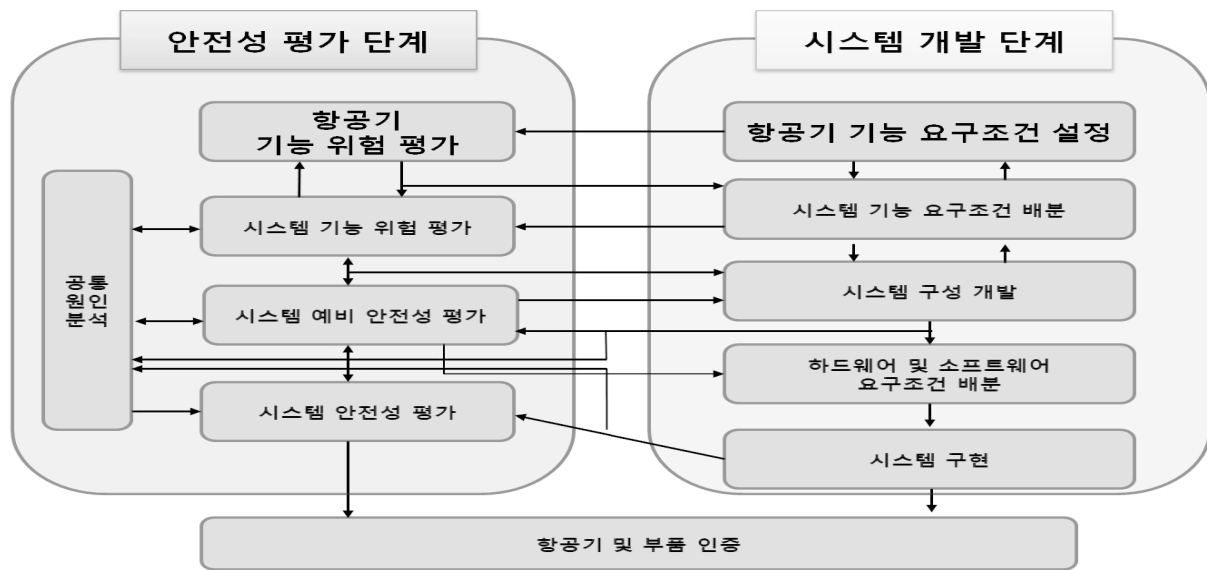
본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에서는 사회 및 연구의 연구동향과 필요성을 제시하였고, 2장에서는 관련 선행연구 및 연구 목표를 기술하여 문제정의를 언급하였다. 3장에서는 개발된 시스템의 구성품 수준에서 수행된 안전성 평가 및 설계 시 고려되어야 할 요소 식별을 제시한다. 4장에서는 3장에서 식별된 요소를 설계적용하기 위한 절차 모델을 제시한다. 5장에서는 4장에서의 제시된 수행 절차에 따라 무인항공기 체계에 대한 적용사례를 제시하여 수행하여 제시된 절차 모델을 검증 및 확립하여 논문의 결과를 정리 및 요약 하였다.

2. 문제의 정의

2.1 항공기 시스템 개발 환경에서 안전성 반영의 개요

오늘날 항공시스템 개발 분야는 항공기 체계를 구성하는 각 전문 엔지니어링 분야의 기술 발전에 따른 고도화로, 개발되는 시스템이 매우 복잡한 구조를 지니고 있다. 따라서, 과거의 단일 시스템을 개발할 때와는 달리, 복합 시스템을 개발함에 따라 개발에 많은 어려움을 겪고 있다.

항공기 시스템의 개발과정은 [Figure 2]에서 제시하는 바와 같이, 설계 자료로부터, 기능중심의 안전성 평가가 이루어지고 있다. 특히, 개발 초기인, 개념설계 단계에서는 구체화된 설계 데이터를 획득할 수 없기 때문에 정량적 안전성 평가가 어렵다. 이로 인해, 대부분의 안전성 평가가 상세설계 이후의 단계에서 집중적 활동이 수행되고 있다[8].



[Figure 2] Interfaces between systems design and safety analysis [5].

2.2 DSM 기법을 활용한 시스템 설계와 안전성 요소의 연계

본 연구에서는 정량적 안전성 평가결과를 설계단계에 반영하기 위해 활용하려고 하는 접근으로 DSM(Design structure Matrix) 기법을 활용하였다. DSM 기법은, 오늘날 항공, 자동차, 조선 설계분야에서 복잡한 시스템을 분석하는데 있어서 설계 요소간의 의존관계를 분석하는데 강력한 도구적 기능을 제공한다[7]. 이렇듯, 항공 시스템 체계와 같은 복합 시스템을 구성하는 구성품 간의 상호 영향성 분석이 가능한 방법으로 널리 쓰이고 있어, 설계단계에서 물리적 구성품의 통합단계 수행 및 구성부품의 모듈화 하는데 유용하다.

본 연구에서는 설계단계 단계와 안전성 활동의 결과 반영을 위한 연결고리로서 시스템의 구성품으로 규정하였다. 시스템 구성품 수준의 안전성 평가 반영을, 동일 수준의 설계단계에 반영시키기 위해서 DSM의 Matrix의 구성요소를 시스템의 하부 구성품으로 규정하여 상호 연동성에 관한 분석을 바탕으로 설계활용 되었다.

2.3 연구의 필요성

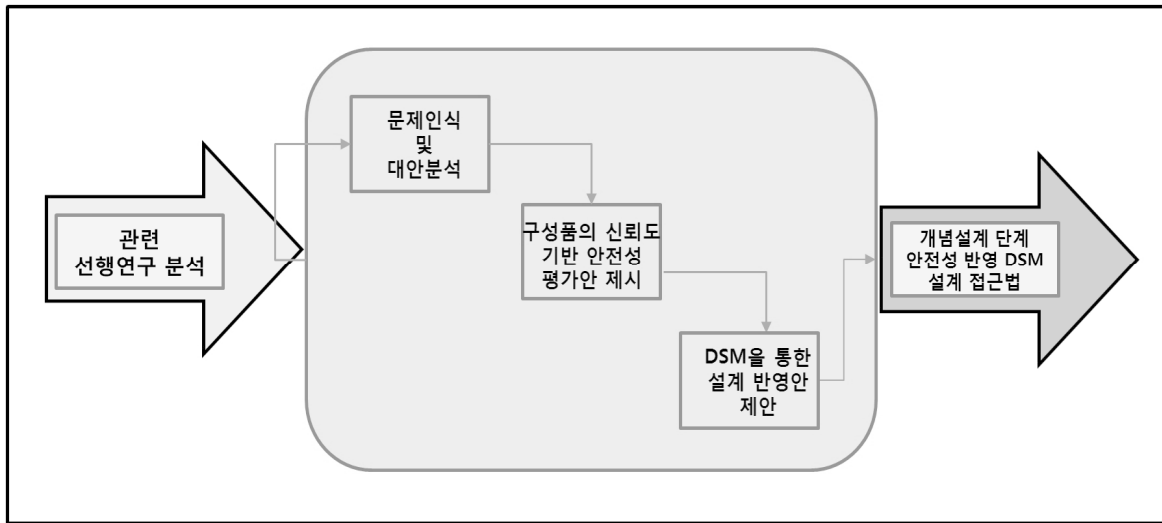
지금의 항공기 시스템 개발 환경에서는 초기 설계단계(개념설계단계)에서 안전 활동 수행에 대한 결과에 대한 설계반영이 적을 뿐더러 어렵다. 이는 설계단계의 진행에 따른 안전 활동 결과의 설계 반영 시, 비용 및 일정 측면에서 초과 및 지연을 초래할 수밖에 없다. 따

라서 복잡화된 구조와 고도화된 기술을 포함한 무인항공 시스템을 개발하는 환경에서 상세설계 단계로부터의 본격적 안전성 접근은 시스템 개발의 실패를 초래할 수 있는 위험한 접근이다. 이러한 제기된 문제와 관련해, 해결하고자 노력했던 관련 연구들을 정리 하였다.

선행연구[9]에서도 시스템 설계 초기단계에서 안전성 확보를 위한 노력을 강조하였다. 시스템 개발 초기에 시스템을 구성하는 구성 컴포넌트 요소가 지닌 기능을 모델화하여 기능 리스트를 식별하였다. 식별된 기능은 개별적 Failure Mode를 추가적으로 식별하게 된다. 이러한 자료를 바탕으로 Matrix 구조로서 상호 요소별 중요도 값을 부여하여 표현하였다. 하지만, 선행연구[9]에서는 Matrix로 평가된 결과를 바탕으로 위험을 평가할 뿐, 설계단계로의 적용에 대해 제안하고 있지 못해 적용에는 한계점을 지니고 있다.

선행연구[10]에서는 확률적 분석을 바탕으로, 본 연구에서 문제제기한 안전성 평가에 대한 정량적 평가를 수행하여 위험도를 보다 정확히 측정하려고 하였다. 하지만, 연구접근의 설계적 측면이라는 관점에서 접근법을 제시하지 못하고 있다.

본연구와 가장 직결되는 선행연구[11]에서는 대형 복합 시스템을 개발하는데 있어서, DSM 접근법을 통해, 대상 시스템을 모델링 및 분석결과를 바탕으로 설계를 수행한다. 특히, 서로 다른 공학간의 DSM Matrix에서 구조적 통합을 바탕으로 수행을 하게 된다. 본 연구에서 접근하려고 하는 안전영역과 DSM을 통한 설계영역, 이 두 영역간의 접근적 착안에 대해서는 제시하지 못하고 있다.



[Figure 3] Overview of the approach taken.

2.4 연구의 목표 및 범위

본 연구의 연구범위는 항공기체계 개발 초기단계인 개념설계 단계에 초점이 맞춰져 있다. 국방 항공기 체계의 개발 초기 단계인 개념설계 단계에서 식별되는 문제점을 [Figure 3] 통해서 제시 하듯이, 본 연구에서는 개념설계 단계에서 시스템을 구성하는 구성품의 고장 심각도를 기반으로 구성품의 우선순위 선정하였다. 이러한 안전 측면에서의 접근을 통한 결과 값이 설계 단계에 반영될 수 있도록 최종적으로 설계적 접근안이 제시된다.

3. 구성품 고장 심각도를 활용한 안전성 평가

3.1 고장 심각도 관점에서 위험도 분류 매트릭스의 분석

위험도 매트릭스는 정성적 위험평가를 위한 도구이다. 일반적인 형태는 [Figure 4]와 같이, 제시되며 여러 분야에서 위험도 매트릭스는 각 분야의 적합성을 반영하여 다양한 형태로 제시되고 있다. 하지만, 기본 구조는 위험원을 식별하여, 개별적 위험원에 대해 발생 빈도와 결과의 심각도 두 요소의 곱셈을 통한 결합을 통해 평가하는 방식이다. [Figure 4]의 세로축이 발생 빈도(Likelihood)를 나타내고, 가로축(Consequences)은 사건발생에 따른 심각도를 나타낸다. 예를 들어, 'a'라는 시스템 하부 구성품의 고장이 발생 가능한 발

생빈도를 최상일 경우, Likelihood '5'에 해당하며, 이러한 사건으로부터 발생하는 결과의 심각도 평가기준에 따라 최상의 카테고리에 해당하는 경우, '5'에 해당하여 위험도 평가에 의해 '25' 값에 해당하므로 붉은색 영역인 고위험(High Risk) 영역에 해당하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 구성품으로부터 발생 가능한 고장(Failure)를 분석하여 개별 고장에 대한 심각도를 설계단계에 반영하는 전환(Conversion)하는 방안적 측면에서 접근하였다.

		CONSEQUENCES					
		1	2	3	4	5	
LIKELIHOOD	1	1	2	3	4	5	Low Risk
	2	2	4	6	8	10	
	3	3	6	9	12	15	Medium Risk
	4	4	8	12	16	20	
	5	5	10	15	20	25	High Risk

Risk Rating = Likelihood x Severity

Risk Matrix

[Figure 4] An example risk matrix [6].

4. 안전성 평가가 반영된 DSM 기반 설계 수행

4.1 DSM을 통한 인터페이스 식별

DSM을 통한 설계기법의 접근에는 주요 4가지(Component, Organization, Activity, Design Parameter) 기반의 접근을 통해 수행 가능하다. 본 연구에서는 물리적 설계에 활용하기 위해서, Component-based DSM을 통해 수행하였다.

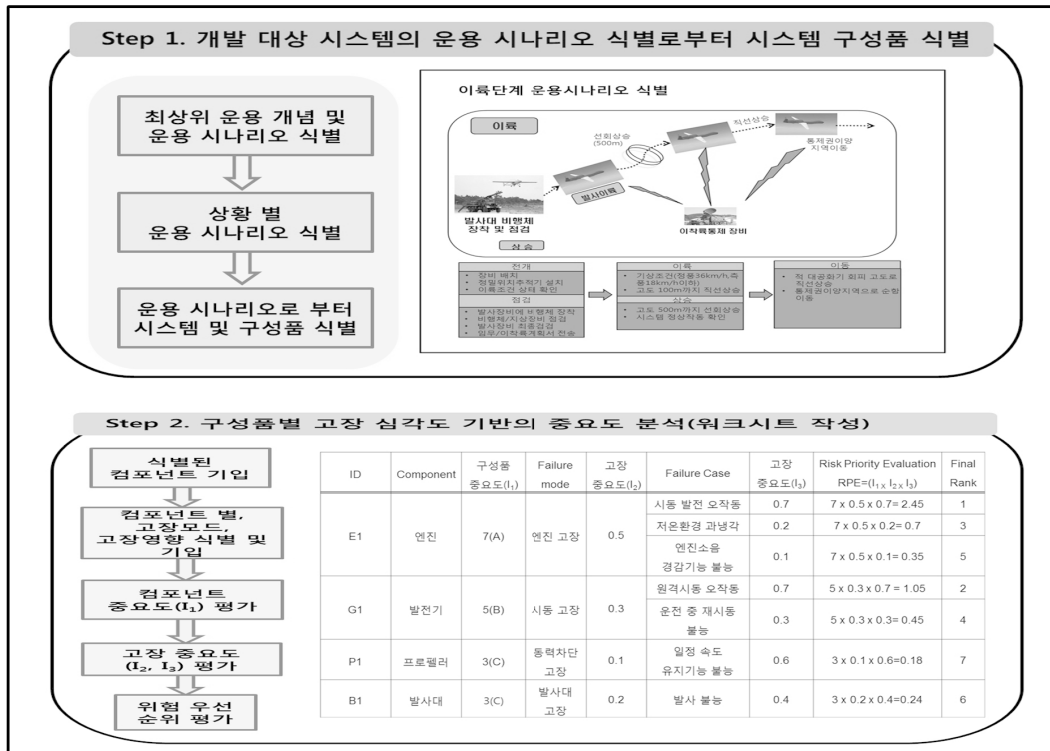
기본적 컴포넌트 기반의 DSM 접근 방법은 [Figure 5]와 같이, 시스템을 구성하는 하부 구성품 간 입력과 출력의 관계를 Matrix 대각을 중심으로 연동성을 분석하고, 상호 영향도 높은 것 끼리 재배열 과정을 통해, 각각의 집합으로 군집화 한다. [Figure 5]을 통해서, 예를 들어 설명하자면, 어느 대상 시스템의 하부 구성이 'A', 'B', 'C'라는 컴포넌트로 구성되어 있다. 'A'와 'B'는 'C'에 입력관계를 갖고 있다. 이러한 관계는 구성하는 컴포넌트의 수에 의해 n x n 행렬로 표현된다. A, B, B 구성품 간의 상호 영향성 분석 결과는 Matrix에 'X'표시를 통해 나타낸다. [Figure 5]의 예를 살펴보면, 구성품 "A"는 구성품 "C"에 입력관계를 맺고 있다. 이러한 상호관계는 Matrix의 세로축 구성품

'A'를 출발 기점으로 오른쪽으로 이동하여, 가로축에 위치한 구성품 'C'에 'X' 표시를 통해 구성품 간 정보의 흐름을 알 수 있다. 이렇듯, DSM은 구성품 간의 관계를 시각화하여 보여줄 수 있다는 장점을 지니고 있다.

4.2 식별된 인터페이스 구성품의 중요도 평가

국방 무기체계 시스템을 개발하는데 있어서, 임무와 운용시나리오는 매우 중요한 요소이다. 개발 대상 시스템은 자신의 임무 달성을 위해, 각종 상황별 시나리오가 개발단계를 거쳐 구현되어야 한다. 구성품의 중요도(I1)는 이러한, 개발 대상 체계의 목표 달성을 위한, 임무수행 중 어떠한 고장이 발생할 경우, 얼마나 심각하게 발생할 것인지를 가늠해 볼 수 있는 척도가 된다. 그 밖에 사항으로, 구성요소의 위험식별 관련지표 중 심각도(Severity), 발생도(Occurrence)와 연계 시킬 수 있다.

구성품의 중요도를 평가하는데 있어서 구성품 고장 심각도 계산식을 제안하였다. 심각도 지표는 체계의 구성품으로부터 발생한 고장이 얼마나 심각한지를 가늠해 볼 수 있는 척도이다. <Table 3>에서 심각도 분석을 통한 구성품의 우선순위 선정에 위해 다음과 같은 접근법을 제안한다.



[Figure 6] Analysis procedure to derive severity grades of system components based on operational scenarios.

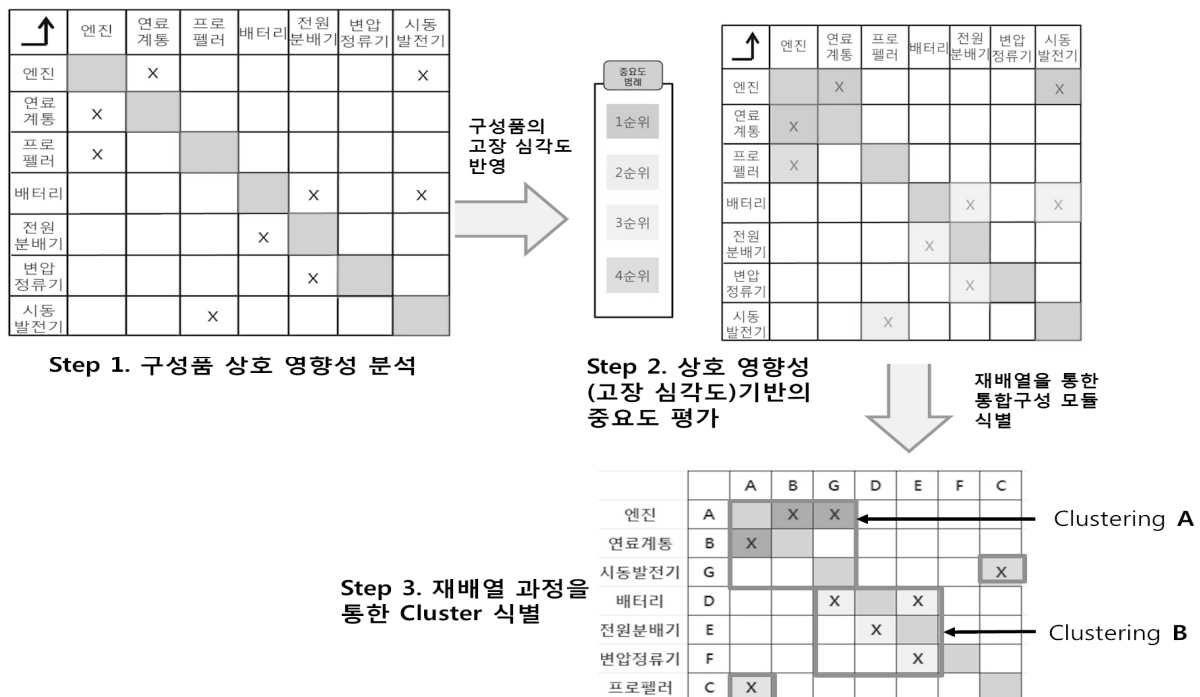
Step 1. 국방 항공기 시스템을 개발하는데 있어서 대상이 되는 항공 시스템의 임무달성을 위해 발생 가능한 운용 시나리오 생성.

Step 2. 개별 운용시나리오를 이행하면서 대상 시스템을 구성하는 하부 구성품의 고장이 발생시 차지하는 비중을 <Table 2>를 기준으로 시스템 전체에 미치는 영향을 바탕으로, 전체를 1로 보고, 구성품의 고장 영향도 평가를 실시한다.

Step 3. RPE(Risk Priority Evaluation) 값을 평가를 통해, 최종적으로 구성품의 고장영향으로부터 개별 구성품의 중요도를 정하게 된다. 이를 통해, 발생 가능한 위험도를 반영하게 된다. <Table 3>을 통해서, 알 수 있듯이, 구성품 '엔진'의 고장이 미치는 영향은 <Table 2>에서 고려할 수 있는 가장 높은 평가인 7점(A)를 부여 받았다. 이와 같은 맥락에서 <Table 3>의 I1, I2, I3에 각 구성품 및 발생 가능한 오작동이 전체 1에서 차지하는 비중을 반영하여 이들 전체 간(I1, I2, I3)의 곱을 통해 위험도를 반영한 구성품의 우선순위를 반영하게 된다. 이렇게 도출된 결과 값은 설계단계에 반영되어야 한다.

위 활동의 결과 값을 설계단계에 반영하기 위해서, DSM 기법을 통한 설계에 반영하여 진행하였다. 본 연

구에서는 DSM Matrix를 구성하는 구성품의 중요도 반영하였다. 반영된 중요도는 [Figure 5]와 같이 연동성이 확인되어 'x'표시를 한 것을 대상으로만 중요도를 반영하게 된다. 중요도는 <Table 3>을 통해서 획득한 Final Rank를 활용하여 평가하게 된다. 제시된 <Table 3>에는 총 6개의 순위가 매겨져 있다. [Figure 7] 범례에 제시된 것처럼, 본 연구에서 제시하는 구성품의 중요도는 크게 4단계(4가지 색상)로 구성되어 있다. 상위 25% 마다, 순위를 매겨, 1순위(~25%), 2순위(25~50%), 3순위(50~75%), 4순위(75% 이상)으로 나뉘게 된다. 1순위에 해당하는 것이 고장 심각도로부터 가장 심각한 상황을 나타낸(붉은색) 것 이다. <Table 3>을 살펴보면, 초기 '엔진, 발전기, 프로펠러' 3가지 구성품으로 시작하여, Final Rank를 살펴보면 6개 구성품으로 확장된 것을 알 수 있다. 이는 구성품이 지니고 있는 고장 모드로부터, 발생하는 Failure Case가 상호연동을 맺고 있는 구성품의 Failure를 발생시켜, 추가적으로 식별된 연동 구성품이다. 전체 Rank가 6개 이므로, 상위 1개가 1순위에 해당, Rank 2,3은 2순위(~50%)에 해당하게 된다. 지금까지의 과정을 거치게 되면, DSM을 통한 설계를 수행하는데 있어서, Matrix에 상호 연관성과, 구성품의 중요도를 평가하여 반영하게 된다.



[Figure 7] Identified modules reflecting the failure severity of system components using a DSM.

4.3 위험성 중요도가 반영된 DSM의 재배열 및 모듈 도출

앞의 활동을 통해, 구성품 간의 상호 연동성을 식별하고 각 구성품이 차지하는 중요도를 평가하였다. 중요도 평가의 결과는 [Figure 7]에서 상호 연동성을 맺고 있는 구성품에 'x' 표시를 한 곳에만 중요도를 반영하였다. 또한, 중요도 순서(1~4순위)에 따라 색상을 달리하여 표현 하였다. 상호 연동성 및 중요도가 반영된 DSM의 재배열을 수행하기 위해서는 재배열 원칙이 중요하다. 본 연구에서는 중요도가 높은(1순위, 붉은색) 순으로 DSM Matrix 상위에 위치를 차지하도록 집합 구조(Cluster)를 이동시켜 생성하였다. 생성된 집합(Cluster)은 집합 속성이 가지는 우선순위에 따라 구성품 집합의 중요도가 판단된다.

5. 무인항공기 시스템에 대한 사례 연구

본 연구를 통해서, 크게 2가지를 제시하였다. 첫 번째는 체계를 구성하는 구성품의 고장으로부터 발생할 수 있는 결과의 심각도 및 위험도를 반영하는 것이다. 두 번째는 안전성 측면의 수행결과를 설계단계에 반영하는 것이다. 제시하는 두 가지 관점에 대한 검증을 수행하기 위해서 무인항공기 시스템을 적용 대상으로 선정하였으며, 설계범위는 개념설계 단계로 한정 하였다. [Figure 6]와 같이, 무인항공기 시스템의 전체 운용시나리오를 식별한다. 시나리오부터 운용단계에서 요구되는 기능 식별을 통해 물리적 시스템 구성품을 식별한다. 따라서, [Figure 6] 워크시트에 운용 시나리오를 통해 식별된 구성품(엔진, 발전기, 프로펠러, 발사대)을 작성하게 된다. 식별된 구성품을 바탕으로 개별 구성품으로 부터 발생 가능한 고장모드와, 고장에 따른 영향을 분석하게 된다. 고장의 영향을 분석하는 과정에서 상호 연동된 구성품이 식별되기 때문에 [Figure 7] DSM Matrix를 구성하는 구성품의 수가 더 많아짐을 알 수 있다. 구성품의 고장이 미치는 영향의 중요도를 <Table 2>를 통해 평가하게 된다. 엔진의 경우 고장시, 임무수행 불가 및 체계 손실을 가져다 줄 수 있으므로 A등급(7)점을 부여 받아, [Figure 6] 워크시트 '엔진'의 경우, 구성품 중요도 (I1)을 7점으로 평가되었다. 위 과정이 마치게 되면, [Figure 6] 우측(워크시트)처럼, 구성품의 고장 모드와 각각의 모드에서 발생할 수 있는 영향 분석이 완료된다. 각각의 모드와 발생결과에 대한 중요도를 전체(1)에서 차지하는 비율로 정량화 하여 나타내게 된다. '발전기' 고장의 경우,

고장모드와 고장영향이 '엔진'에 비해 상대적 고장비중이 낮은 것을 알 수 있다. 이러한 구성품 및 고장의 중요도를 바탕으로 최종적으로 구성품의 고장 심각도에 대한 정량적 평가결과를 통한 구성품 위험도 우선순위를 반영 할 수 있게 된다.

앞선, 연구결과를 바탕으로 개념설계 단계에서 구성품에 대한 중요도를 정량적 평가를 수행하였다. 이러한 결과를 설계단계에 반영하기 위해 DSM을 통한 접근을 하였다. [Figure 7]의 Step 1과 같이, 워크시트를 통해 최종 식별된 구성품(엔진, 연료계통, 프로펠러, 배터리, 전원 분배기, 변압 정류기, 시동발전기)을 DSM Matrix 구성품(가로축, 세로축)에 배열하여 상호 연동 여부를 확인한다. Step 2의 구성품의 중요도를 반영하기 위해서, 구성품의 고장 심각도를 기반으로 개별 구성품의 중요도(고장 심각도)를 식별하였다. <Table 2>와 같이, 고장의 심각도에 따라 A~D등급 4단계로 나누고 있다. DSM 수행에 심각도를 반영하기 위해, [Figure 7]에 제시한 중요도 범례(우선순위 1~4)와 같다.

DSM Matrix의 가로축과 세로축에 구성품을 배열하고 상호 연동성이 있는 구성품 중에 심각도 결과가 높은 값들을 중요도 범례 4가지 단계(색상)을 통해 반영하였다. DSM의 대각선을 중심으로 상호연동성이 식별된 구성품을 바탕으로, 구성품 상호연동에 대한 고장 심각도를 [Figure 7]의 중요도 범례에 따라 반영하였다. 중요도가 높은 순으로 Matrix에 상단에 집합구조(Cluster)를 나타내도록 재배치를 하였다. 재배열 과정을 통해, 군집화된 결과를 얻을 수 있었으며, 대각을 중심으로 군집화 된 집합구조 2개(Clustering A와 B)를 식별하였다. 또한, 식별된 집합에 포함되지는 않지만, 독립적 구조 속에 고장 위험도가 높은(2순위)것의 경우, 설계 시, 독립적 배치를 하되 안정성 측면에서 보완될 수 있는 기능 안전 구성품이 반영되어야 할 것이다.

6. 결론

본 논문에서의 연구를 통해, 기존의 상세설계 단계 위주의 정량적 안전성 활동을 설계초기 단계인 개념설계 단계에서 접근법을 제시하였다. 이를 통해, 개념설계 단계에서 설계관점의 정량적 위험성 평가가 가능한 방안을 제시하였다. 또한, 이렇게 수행된 결과를 최종적으로 설계단계에 반영하기 위해서 컴포넌트로 구성된 DSM 기법을 활용하였다. 구성품의 중요도 평가(위험도 평가)와 DSM을 통한 설계를 수행하는데 있어서 동일한 컴포넌트 수준에서 수행함으로써 공통영역을 만들게 되었다.

본 연구결과를 통해서, 개념설계 단계, 즉 상위수준에서 구성품의 위험 심각도를 반영한 정량적 위험도 평가 결과를 도출할 수 있었다. 또한, 이러한 결과를 DSM을 통한 설계 반응을 통해, 위험요소에 대한 대비를 수행할 수 있어서, 무인항공기 개발에 보다 성공적 발판을 마련하였다. 오늘날 자동차 분야 설계에서 널리 쓰이는 모듈 개념처럼 향후 무인항공기 시스템 개발에서 구성품의 중요도를 반영한 Cluster 개념을 통해 시스템 설계 통합 및 구성품의 안전성 확보보완 대책으로 상당한 기여를 하였다고 판단된다. 후속, 연구에서는 '컴포넌트-기능' 사이의 클러스터 개념을 적용해 보다 설계영역에 연구범위를 확장 시키는 연구가 필요할 것이다.

7. References

- [1] J. H. Yoon and J. C. Lee(2009), "A process model for the systematic development of safety-critical systems," Korea Safety Management & Science, vol. 11, pp. 19-26.
- [2] Ministry of Land(2009), Infrastructure and Transport "Unmanned aircraft safety management system construction studies".
- [3] Systems engineering (SE) standard guidelines(2010), Defense Acquisition Program Administration.
- [4] Systems Engineering Handbook(2006), C. Haskins, K. Forsberg, M. Krueger, D. Walden, and D. Hamelin.
- [5] SAE ARP(1996), "4754," Certification considerations for highly-integrated or complex aircraft systems.
- [6] DoD(2011), "Risk Management Guide for DOD Acquisition,"
- [7] S.D. Eppinger and T.R. Browning(2012), Design Structure Matrix Methods and Applications. Cambridge, MA: The MIT Press.
- [8] K. Thramboulidis and S. Scholz(2010), "Integrating the 3+1 SysML view model with safety engineering," Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) 2010 IEEE Conference on, pp. 1-8, 13-16.
- [9] K. G. Lough, R. Stone, and I. Y. Tumer(2009), "The risk in early design method," Journal of Engineering Design, vol.

20, no. 2, pp. 155-173.

- [11] N. K. Back, S. M. Jung and T. K. Kim(2013), "A Study on the Risk Evaluation Scheme based on the Probabilistic Analysis," Journal of Security Engineering, vol. 10, no. 2.
- [12] A. Yassine and D. Braha(2003), "Complex concurrent engineering and the design structure matrix method," Concurrent Engineering, vol. 11, no. 3, pp. 165-176.
- [13] DOT(2000), "Hazard analysis guidelines for transit projects,"

저자 소개

김 영 민



현 아주대학교 시스템공학과 박사과정 수료. 관심분야는 시스템 안전설계, 요구사항 관리, 모델기반 시스템공학, Modeling & Simulation, 시스템 설계 슬림화 및 최적화 연구, 모델기반 설계 검증, 시스템 공학 기반의 품질관리 및 개선, 조직 성숙도 관리 등.

주소 : 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 성호관 243호

이 재 천



현 아주대학교 시스템공학과 정교수. 서울대학교 전자공학과에서 공학사, KAIST 전기 및 전자공학과에서 공학석사 및 박사 학위를 취득. 미국 MIT에서 Post-Doc을 수행하였으며, Univ. of California (Santa Barbara)에서 초빙연구원, 캐나다 Univ. of Victoria (BC)에서 방문교수, KIST에서 책임연구원 재직. 이 후 미국 Stanford Univ. 방문교수 역임. 현재 연구 및 교육 관심분야는 시스템공학(SE), 모델기반 시스템공학(MBSE), 시스템 안전(Systems Safety), 시스템 시험평가(Systems T&E) 및 다양한 산업 및 공공 분야에서의 SE 응용 등.

주소 : 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 서관 309호