

## 물리적 아키텍처 설계에 대한 DSM 방법론 적용 사례 연구

\*최상욱 최상택 정윤호 장재덕

LIG넥스원 개발품질팀

### On the design method of physical architecture based on the Design Structure Matrix (DSM) approach

Sang Wook Choi · Sang Taik Choi · Yun Ho Jung · Jae Deok Jang

*LIG Nex1 Quality Evaluation Team*

**Abstract** : Development of the system that has required performance is the most important figure and that is the key of project succeed. In order to perform that, systems engineering has come to the fore as a solution. In each step of system engineering process, particularly, requirement analysis and derivation, logical solution, architecture design step are known to affect many of the function and efficiency. Of these, this paper focus on architecture design. We introduce methodology for physical architecture design by applying DSM(Design Structure Matrix) methodology which is based on result of logical solution from MBSE methodology.

**Key Words** : Systems Engineering, Design Structure Matrix (DSM), Clustering, Physical Architecture, Operational scenario, MBSE(Model Based Systems Engineering)

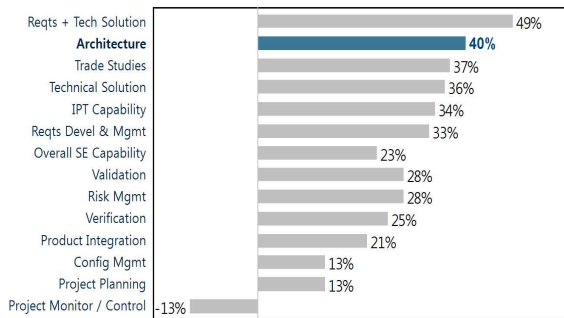
---

\* 교신저자 : sangwook.choi@lignex1.com

## 1. 서론

국방 무기체계 시스템뿐만 아니라 모든 시스템을 개발하는데 있어서 가장 중요한 것은 고객이 요구한 기능과 성능을 개발된 시스템이 제대로 다 만족하는가에 대한 여부이다[1] [5]. 개발된 시스템이 사용자가 요구하는 기능과 성능을 제대로 만족하지 않는다면 아무리 성능이 뛰어나다해도 성공적인 시스템 개발이라고 볼 수 없다. 이에 개발자들은 사용자가 요구사항 기능과 성능을 만족시키는 시스템을 개발하기 위해 많은 노력을 하고 있고 이러한 것에 대한 솔루션을 제시하는 학문인 시스템 공학이 대두되고 있다.

시스템 공학에서는 사용자가 만족하는 시스템을 개발하는 솔루션으로 SE 프로세스를 따를 것을 권장하고 있다. 현재 국내에서는 SE 프로세스의 중요요사항 분석 및 도출, 논리적 해결방안 표현의 단계를 매우 중요하다고 여겨 이 단계를 수행하는 많은 방법론이 연구되고 있고 이를 다룬 논문 또한 많이 게재되고 있다. 그림 1은 SE 프로세스 각 단계가 성능에 미치는 영향을 나타낸 차트이다.



[그림 1] SE 프로세스 단계와 성능과의 관계[2]

이 차트에서 보면 앞서 말했던 요구사항 분석 및 도출, 논리적 해결방안 표현 단계가 성능에 가장 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그러나 그에 못지않게 아키텍처를 설계하는 단계 또한 성능에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이에 본 논문에서는 시스템 아키텍처를 설계하는 것에 초점을 맞춘다. MBSE 방법론을 적용하여 나온 논리적 해결

방안 표현단계의 결과물을 활용하여, 아키텍처 설계 방법으로 효과적이라고 알려진 DSM(Design Structure Matrix) 방법론을 적용함으로써 물리적 아키텍처를 설계하는 방법론을 제시한다.

이를 위한 논문의 구성으로는 2장에서 본 논문에서 다루는 DSM 및 DSM의 주요 기법 중 하나인 Clustering에 대하여 기술한다. 3장에서는 MBSE 방법론을 통한 요구사항 분석 및 논리적 해결방안의 수행 산출물인 기능들을 DSM의 기법에 적용하여 물리적 아키텍처를 설계하는 방법을 사례를 통해 제시하며, 마지막으로 4장에서는 논문의 결과를 요약하고, 공헌에 대하여 기술한다.

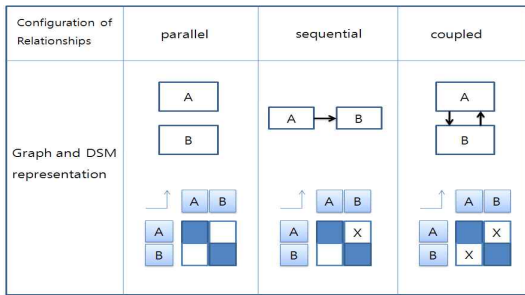
## 2. DSM (Design Structure Matrix)

### 2.1 절 정의

DSM(Design Structure Matrix)은 다양한 응용 분야에서 시스템 모델을 나타내고 분석하기 위한 일반적인 방법이다. DSM은 시스템에 요소들 간의 관계들을 보여주는 정사각형 매트릭스이다.[3] DSM방법론은 시스템을 구성하는 각 요소의 상호작용을 정사각형 매트릭스에 표현할 수 있어 시스템을 한눈에 파악할 수 있는 장점이 있다. 또한 여러 기법을 활용하여 시스템의 분석을 가능하게 해주기에 최근 시스템 설계에 널리 이용되고 있는 방법론이다.[3]

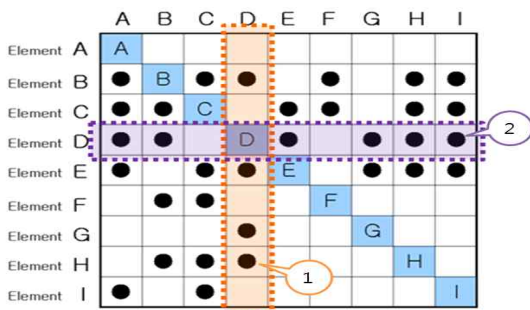
### 2.2 절 개념 및 규칙

DSM에서 요소의 명칭은 매트릭스 가장자리 즉, 맨 좌측과 맨 위쪽에 기록한다. 요소 간의 관계 표시는 관계가 있는 경우 X, 없는 경우에는 그냥 칸을 비워둠으로써 표현한다. 아래 그림은 시스템 요소들의 관계가 parallel(or concurrent), sequential(or dependent), coupled(or interdependent)인 경우들을 각각 묘사한 그림이다. 그림 2를 통해 각 관계들을 DSM에서 어떻게 표현 하는지를 알 수 있다.



[그림 2] 각 관계들의 그래프 및 DSM 표현 방법

DSM의 대각선 셀에 있는 요소를 기준으로 하여 모든 열에 기록된 관계 표시는 기준 요소로부터 다른 요소에 전달되는 출력물이 있음을 나타낸다. 그림 3을 예로 들어 보면, 그림에서 “1번” 관계 표시는 “요소 D”의 출력물이 “요소 H”로 전달됨을 나타낸다. DSM의 대각선 셀에 있는 요소를 기준으로 하여 모든 행에 기록된 관계 표시는 다른 요소로부터 기준 요소로 전달되는 입력물이 있음을 나타낸다. 그림에서 “2번” 관계 표시는 “요소 D”에서 “요소 I”의 출력물이 전달됨을 나타낸다.



- ❖ D element의 행 : D element의 output
- ❖ D element의 열 : D element의 input

[그림 3] 각 요소의 관계에 대한 DSM 표현법

### 2.3 DSM의 Clustering 기법

DSM에는 여러 가지 기법들이 있지만 본 논문에서 주로 Clustering 기법을 활용한다. Clustering은 “그룹 간에 서로 배타적인 또는 그룹 간 상관관계를 최소로 하는 DSM 요소들의 그룹을 찾는 프로세스”로 정의한다.[4]

Clustering의 목표는 하나의 Cluster와 최소한의

인터페이스를 가지도록 하는 것이다.[5][6][7] 쉽게 이해하기 위해서 모듈화 개념을 떠올리면 될 것이다. 즉, 서로 상관관계가 높은 요소들을 하나의 그룹으로 묶어 나가되 그룹 간의 상관관계가 최소가 되도록 한다는 것이다.[8]

그림 4를 보면 1~7까지의 요소들끼리 상관관계를 표시한 것이다. Clustering 수행 전에는 상관관계 표시인 X 표시가 분산되어 있는 반면에 Clustering을 수행한 그림 5는 서로 관계있는 것끼리 묶여져있는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 이러한 Clustering 기법을 통한 물리적 아키텍처 설계에 대해 기술한다.

	1	2	3	4	5	6	7
1	■					X	
2	X	■	X	X			X
3			■	X			X
4		X	X	■	X		X
5	X			X	■	X	
6	X				X	■	
7		X	X	X			■

[그림 4] Clustering 수행 전 DSM

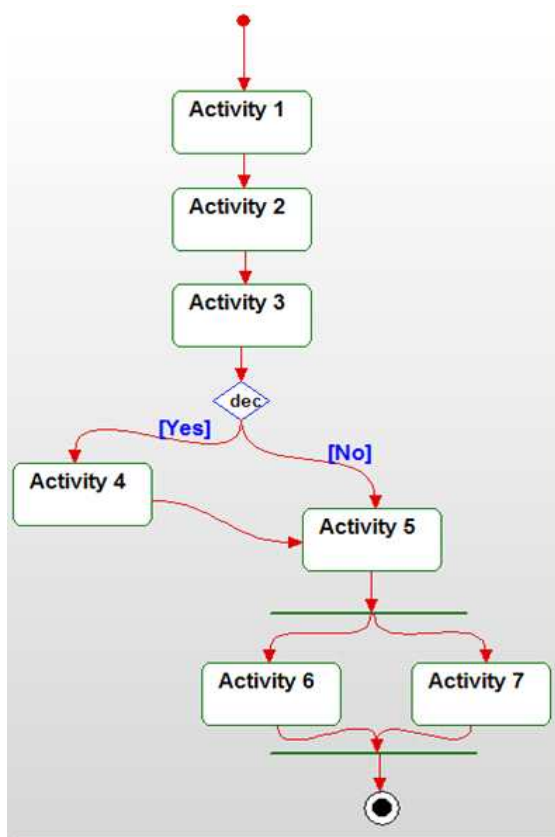
	1	6	5	4	2	3	7
1	■	X					
6	X	■	X				
5	X	X	■	X			
4			X	■	X	X	X
2	X			X	■	X	X
3				X	X	■	X
7				X	X	X	■

[그림 5] Clustering 수행 후 DSM

### 3. DSM을 통한 물리적 아키텍처 설계

#### 3.1 절 DSM을 통한 물리적 아키텍처 설계 방법

시스템을 개발하기 위해서는 우선적으로 사용자의 요구사항을 수집하고 이렇게 수집된 요구사항을 분석하여 논리적 아키텍처를 개발한다. 이 과정은 주로 MBSE 방법론을 통해 수행되며 이를 통해 그림 6과 같은 사용자의 요구사항에 따른 시스템의 기능들을 파악할 수 있다.



[그림 6] MBSE 방법론을 통해 도출된 시스템의 기능 흐름

이렇게 기능들이 파악 되었으면 기능을 요소로 하는 DSM을 구성하고 각 기능들 간 서로 영향을 주고받는 상호작용을 파악하여 그림 7과 같이 DSM의 표현방식에 맞게 표현한다.

이렇게 표현된 DSM에 Clustering을 수행하면 그림 8과 같이 서로 밀접한 상호작용을 가지고 있는 기능들끼리 묶이게 된다.

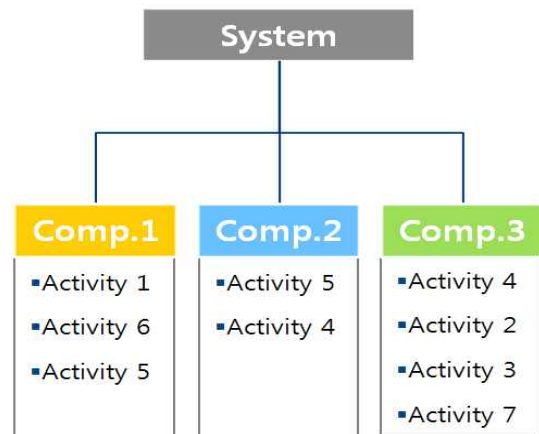
Functions		1	2	3	4	5	6	7
Activity 1	1						X	
Activity 2	2	X		X	X			X
Activity 3	3				X			X
Activity 4	4		X	X		X		X
Activity 5	5	X			X		X	
Activity 6	6	X				X		
Activity 7	7		X	X	X			

그림 7. 기능흐름에서 도출된 DSM

Functions		1	6	5	4	2	3	7
Activity 1	1		X					
Activity 6	6	X		X				
Activity 5	5	X	X		X			
Activity 4	4			X		X	X	X
Activity 2	2				X		X	X
Activity 3	3				X			X
Activity 7	7				X	X	X	

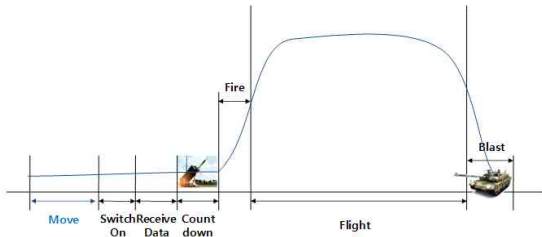
[그림 8] 기능흐름에서 도출된 DSM의 Clustering 수행 결과

이렇게 나온 결과를 바탕으로 물리적 아키텍처를 그림 9와 같이 설계할 수 있다.



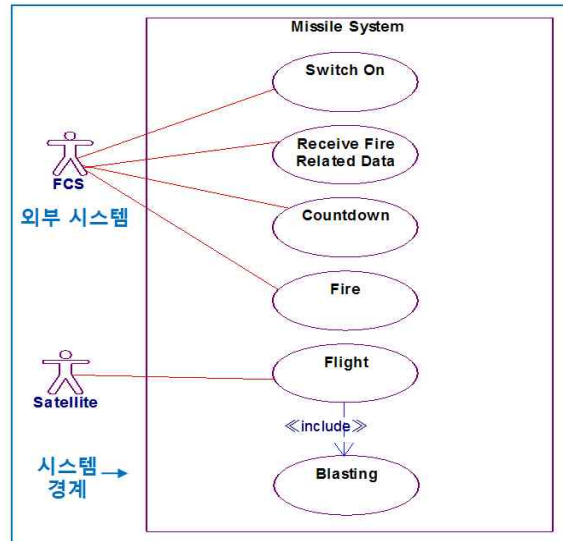
[그림 9] Clustering 수행 결과를 통해 도출된 물리적 아키텍처

그림 9를 보면, 시스템은 컴포넌트 1, 컴포넌트 2, 컴포넌트 3으로 구성되고, 컴포넌트 1은 기능 1, 기능 6, 기능 5를 수행하고, 컴포넌트 2는 기능 5,



1. 유도탄은 FCS로부터 전원을 공급 받는다.
2. 유도탄은 발사대위치, 표적위치, 속도, 경로 데이터를 입력 받는다.
3. 유도탄은 초읽기를 수행한다.
4. 유도탄은 발사한다.
5. 유도탄은 표적을 향해 비행한다.
6. 유도탄은 목표물을 파괴한다.

[그림 10] 유도 미사일의 거동 시나리오



[그림 11] Use case Diagram

기능4를 수행하고, 컴포넌트 3은 기능 4, 기능 2, 기능 3, 기능 7을 수행한다.

이러한 방법으로 기능 흐름을 통해 DSM을 구성하고 Clustering 수행을 함으로써 물리적 아키텍처를 설계한다.

### 3.2 절 DSM을 통한 물리적 아키텍처 설계 사례

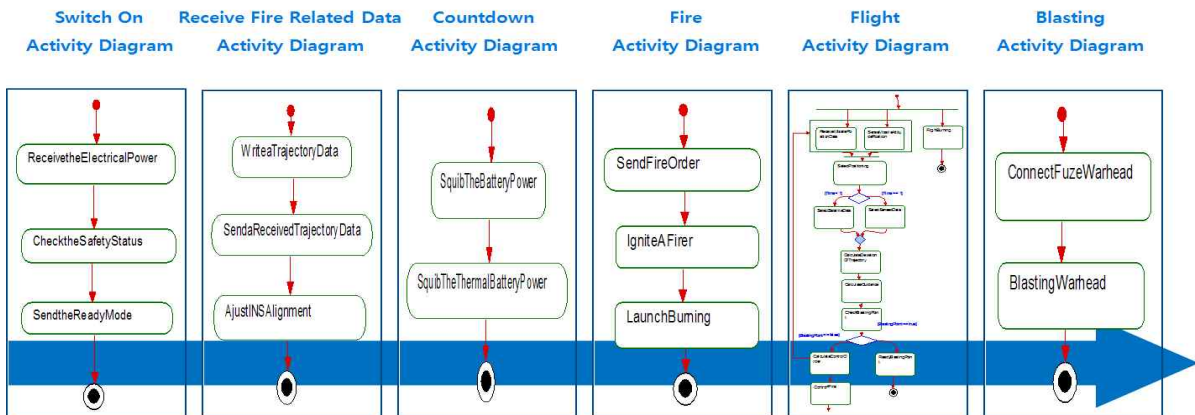
본 절에서는 DSM을 통해 유도 미사일의 물리적 아키텍처를 설계하는 사례에 대해서 다룬다.

사용자의 요구사항을 통해 도출된 유도 미사일의 거동 시나리오는 전원을 공급받고, 표적위치 등을 입력받고 발사하여 목표물을 파괴하는 것으로 이루어진다. 이는 그림 10을 통해 자세하게 볼 수 있다.

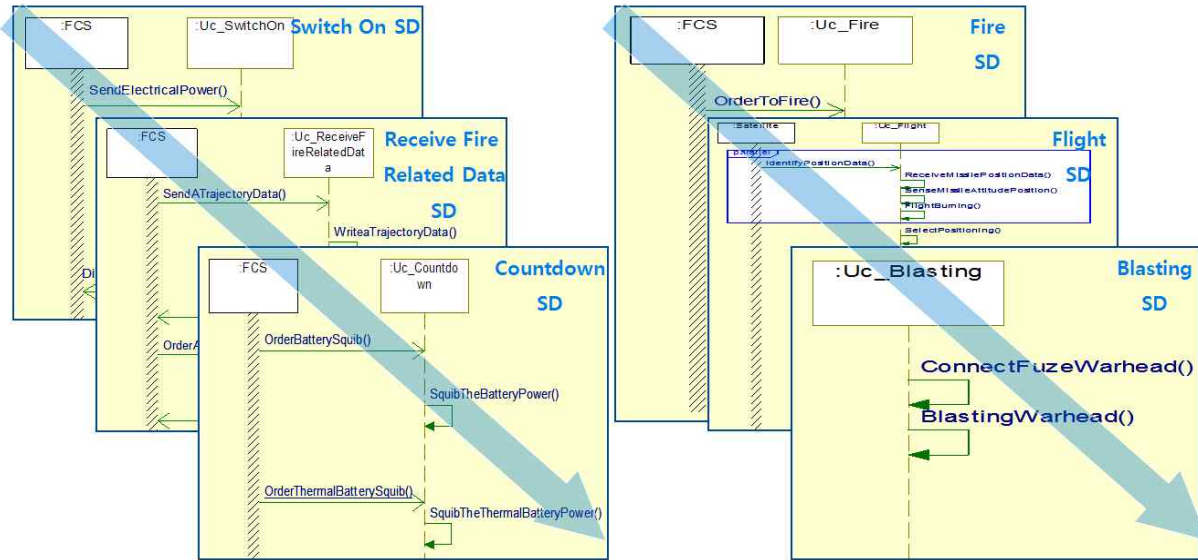
이 시나리오를 바탕으로 Use case Diagram을 작성하고, 이를 통해 외부시스템과의 관계를 도출해 낸다.

각 Use case 별로 이를 달성하기 위해 필요한 기능 흐름을 도출하고 이를 그림 12와 같이 Activity Diagram을 통해 표현한다. 이렇게 도출된 기능흐름의 각 기능들은 DSM을 구성하는 요소가 된다.

각 Use case 별로 기능흐름이 도출되었다면 그림 13과 같이 Sequence Diagram을 통해 외부 시스템과 유도 미사일 간의 상호 작용, 유도 미사일 내에서의 상호 작용을 파악한다. 이렇게 파악된 상호작용은 기능들 간 상호작용을 파악하는데 쓰이며,



[그림 12] 각 Use case 별 Activity Diagram



[그림 13] 각 Use case 별 Sequence Diagram

Functions	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y
Receive the Electrical Power	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Check the Safety Status			1																						
Send the Ready Mode	1																								
Write Trajectory Data				2	2							2			2	2	2	2	2	2	2				
Send a Received Trajectory Data			2	2																					
Adjust NS Alignment			2	2								2										2			
Squib the Battery Power							2		2	2															
Squib the Thermal Battery Power							2		2	2															
Send Fire Order								2		2															
Ignite Fire								2	2	2	2														
Launch Burning								2	2	2	2														
Receive Missile Position Data			2										2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sense Missile Attitude Position				2									2				2	2					2		
Select Positioning														2	2										
Select Satellite Data													2	2	2										
Select Sensed Data													2	2	2										
Calculate Deviation of Trajectory				2								2	2					2	2	2	2	2			
Calculate Guidance												2	2					2	2	2	2	2			
Check Blasting Point				2								2	2					2	2	2	2	2			
Calculate Control Order				2								2	2					2	2	2	2	2			
Ready Blasting Point				2								2	2					2	2	2	2	2	2	2	2
Control 4 Fins			2	2								2						2	2	2	2	2			
Flight Burning												2	2									2		2	2
Connect Fuze Warhead																								2	2
Blasting Warhead																							2	2	2

[그림 14] 유도 미사일의 DSM 표현

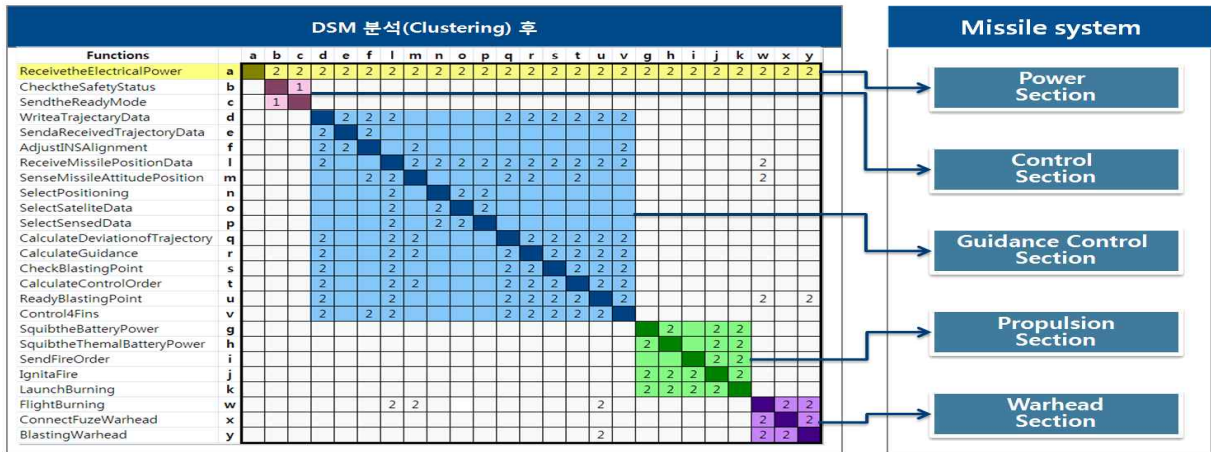
이것이 Clustering을 수행하는데 활용된다.

앞에서 도출된 기능들을 각 요소로 하여 DSM을 구성하고 Sequence Diagram을 통해 파악된 서로 간의 상호작용을 바탕으로 DSM 각 요소 간의 상호작용을 표현해준다. 상호작용 표현 시, 정량화를 위해 +2부터 -2까지 기준을 두어 표현을 하였다. +2는 정말 필요한 상호작용을 나타내고, +1은 상호작용하면 이상적인 것을 나타낸다.[9] 여기서는 쓰이지는 않았지만 0부터 -2는 영향을 못 미치거나 제거되어야만 하는 상호작용을 나타낸다. 이렇게

작성된 DSM은 그림 14와 같다.

이렇게 표현된 DSM을 Clustering 수행을 하면 각 기능들이 묶인 컴포넌트가 수행하는 기능에 따라 Power Section, Control Section, Guidance Control Section, Propulsion Section, Warhead Section으로 구성됨을 파악할 수 있다. 파악된 포넌트는 유도 미사일을 이루는 구성요소가 된다.

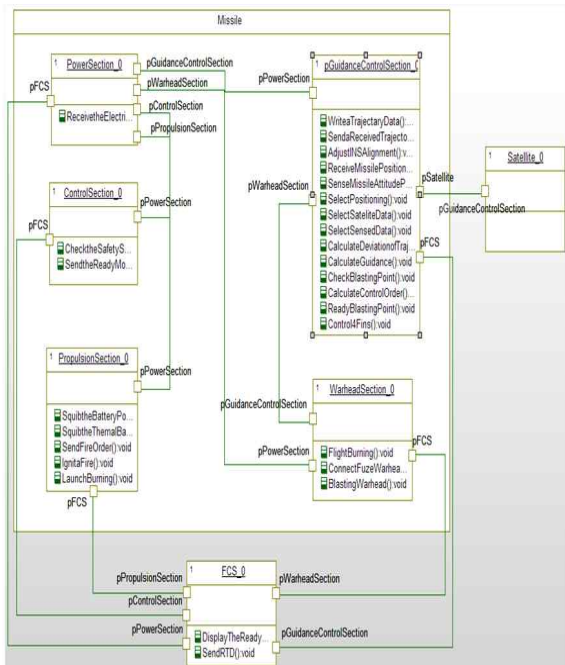
물리적 아키텍처 설계의 마지막 단계로서 시스템의 내/외부 인터페이스를 식별하여야 한다. 우리는 앞서 Sequence Diagram을 통해 도출된 상호작용



[그림 15] 유도 미사일 DSM의 Clustering 수행 결과

과 DSM의 분석결과를 통해 유도 미사일의 내/외부 인터페이스를 식별할 수 있다. 이렇게 식별된 시스템 구성요소의 인터페이스는 그림 16을 통해 확인할 수 있다.

지금까지 설계한 아키텍처가 제대로 설계가 되었는지 검증을 해 봐야 한다. 이를 위해 그림 17과 같이 State Diagram을 작성하여 유도 미사일의 각 구성요소의 상태 전이에 따른 거동 분석을 확인하여 제대로 설계가 되었다는 것을 확인하였다.



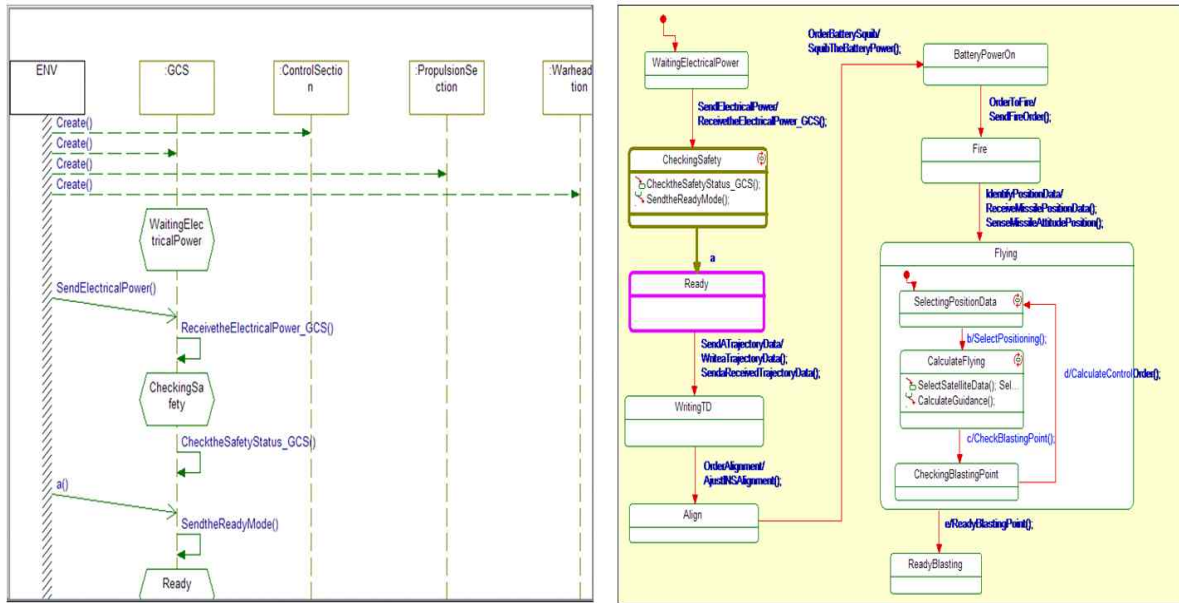
[그림 16] 구성요소의 인터페이스

#### 4. 결론

본 논문은 사용자가 요구하는 기능과 성능을 만족시키는 시스템 개발을 위한 방법론을 SE 프로세스 각 단계 중 아키텍처 설계 단계에 초점을 맞추어 제시하였다. 아키텍처 설계에는 아키텍처 설계에 매우 효과적인 방법으로 알려진 DSM(Design Structure Matrix) 방법론의 Clustering 기법을 활용하였다.

본 논문에서 제시한 아키텍처 설계 방법론은 요구사항 분석 및 도출, 논리적 해결방안 표현 단계에서 가장 많이 적용하는 방법론인 MBSE 방법론의 결과물을 활용하여 물리적 아키텍처 방법론을 제시하였다. 이에 제시된 방법론이 매우 유용할 것이라는데 그 의미가 있다고 생각된다.

향후 DSM을 활용하여 물리적 아키텍처를 설계하는데 있어서 최적화가 추가적으로 고려된 아키텍처 설계 방법론이 연구되어야 할 것이다.



[그림 17] State Diagram을 통한 아키텍처 검증

참 고 문 헌

[1] D.M. Buede, “The engineering design of systems: models and methods”, Wiley, New York (2000)

[2] John Ackley, “Bridging Concept to Design: How to Create, Evaluate, and Use System Architectures”, INCOSE Three Rivers Chapter, Oct 28, 2010

[3] <http://www.dsmweb.org>

[4] 김찬목, “PBS 구축 및 일정최적화를 위한 DSM 방법론의 개선 - Improvements of the DSM method for PBS construction and schedule optimization”, 아주대학교 시스템공학과, 2009년 2월.

[5] C. Y. Baldwin and K. B. Clark, “Design Rules: The Power of Modularity”, Cambridge, MA: MIT Press, 2000, vol. 1.

[6] E. Rehtin, “Systems Architecting: Creating & Building Complex Systems”, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.

[7] R. Sanchez and J. T. Mahoney, “Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design”, IEEE Eng. Manage. Rev, 1997.

[8] A. Kossiakoff, Systems engineering principles and practice, Wiley, Hoboken, New Jersey, U.S.A, 2003.

[9] T. U. Pimmler and S. D. Eppinger, “Integration Analysis of Product Decompositions” in Proc. ASME 6th Int. Conf. on Design Theory and Methodology, Minneapolis, MN, 1994.