한국철도학회논문집
제11권 제1호 2008년 ▌ pp. 26-32

DSM을 이용한 PBS 구축

PBS Construction by Using DSM

김찬묵† · 박영원*
Chan-Mook Kim · Young-Won Park

Abstract This paper discusses WBS (Work Breakdown Structure) that is known for technique of basic project management. The WBS used in domestic industries often exhibit errors in its structure. The most common serious error is space-oriented breakdown structure of PBS (Product Breakdown Structure) that becomes the core element of the WBS. This paper proposes a method to correct the problem of space-oriented breakdown structure constructed in domestic railroad industry. DSM method was adopted to construct PBS containing function-oriented structure. The proposed process and method will contribute to minimize time that take to construct an accurate and useful PBS.

Keywords : WBS, PBS, DSM

요 지 이 논문은 프로젝트 관리 기법으로 널리 알려진 업무분담구조(WBS)에 관해 다루고 있다. 그러나 현재 국내 산업에서 사용되고 있는 WBS는 잘못된 형식을 취하고 있다. 이러한 문제점은 WBS의 핵심요소인 물리적 계층 구조(PBS)가 공간 중심적으로 잘못 구축됨으로써 발생한다. 이 논문은 국내 철도 산업에서 작성된 PBS를 예제로 사용하여, 설계 구조 매트릭스(DSM)를 이용하여 기능 중심적 PBS로 새로이 구축하는 방법을 제시한다. 제안된 방법론과 프로세스는 빠른 시간 내에 올바른 PBS를 구축하는데 유용할 것이다.

주 요 어 : 업무분담구조, 물리적 계층 구조, 설계 구조 매트릭스

1. 서 론

WBS(Work Breakdown Structure-업무분담구조)는 최종 개발 및 생산되는 제품과 제품을 개발 및 생산하기 위해 수행되는 업무들을 계층적 트리 구조로 정의한 것으로, 즉 PBS (Product Breakdown Structure)와 엔지니어링 활동을 합쳐 놓은 것이다. WBS는 기본적인 프로젝트 관리 기법으로 널리 쓰이고 있으며, 국내에서도 대부분의 프로젝트 수행시 전반적인 프로젝트 범위, 예산, 그리고 진척도를 관리하기 위해 WBS를 작성하여 사용하고 있다.

그러나 국내 산업계 에서는 WBS를 구축함에 있어서 몇 가지 흔한 오류를 범하고 있다. 그 중 가장 큰 문제점 중 하나가 바로 WBS의 핵심 부분이 되는 PBS가 기능을 고려하지 않고 오로지 구성품이 장착되는 위치 만을 고려하여 공간 중심적 PBS를 구축하고 있다는 것이다.

본 연구에서는 국내 철도산업에서 구축된 PBS를 예제로 하여, 공간(space) 중심적 구조의 PBS가 가지는 문제점과 기능(function) 중심적 PBS의 이점을 정리하고, 마지막으로 DSM(Design Structure Matrix) 기법을 활용하여 구성품의 기능과 장착되는 공간을 동시에 고려하여 구축된 PBS를 제시하려 한다.

2. 국내 철도산업의 PBS 구축 문제점

2.1 국내 철도산업의 PBS

아래 표는 국내 철도산업에서 작성되어 사용되고 있는 차량시스템 PBS이다.

† 책임저자 : 정회원, 아주대학교 시스템공학과 박사과정
E-mail : kcmtg@nate.com
TEL : (031)330-7662 FAX : (031)330-7118
* 아주대학교 시스템공학과 교수

Table 1. PBS of vehicle system

레벨 1	레벨 2	레벨 3	레벨 4
train system	interior equipment	...	...
	exterior equipment	...	...
	upper /lower equipment	brake equipment	
		feed-water device	
		HVAC	
		converter	
		...	...
	truck	motor truck	truck frame
			suspension equipment
			brake equipment
			wheel/axle
			...
		coach truck	truck frame
			suspension equipment
			brake equipment
			wheel/axle
			...
	...	...	...

위 표 레벨 2에서 실내설비, 차외설비, 상하설비 등으로 구분된 것을 보듯이 기존의 PBS는 공간 중심적 구조로 구축되어 있다. 또한 레벨 4에서 동력대차와 객차대차의 하부 구성품들(대차 프레임, 현가장치, 제동장치, 차륜/차축 등)이 반복되어 나타나는 것도 PBS가 공간 중심적 구조로 구축되었음을 보여주는 증거이다. 만약 반복되어 나타나는 대차프레임, 현가장치, 제동장치 등이 동력대차와 객차대차에서 확연히 형상 및 성능이 틀리다하더라도, PBS가 기능 중심적인 구조로 구축되었다면 레벨 3에 대차프레임, 현가장치, 제동장치, 차륜/차축이 되고, 레벨 4에서 객실용 대차프레임/동력용 대차 프레임, 객실용 현가장치/동력용 현가장치 등으로 나뉠 것이다. 만일 동력 및 객실용 차륜이 동일하다면 레벨 4로 분할될 필요성이 없는 것이다.

시스템 개발시 시스템의 전체 형상을 결정하고 각 구성품이 어떠한 위치에 장착될 것인가를 고려하는 것도 중요하지만, 그보다 먼저 시스템이 어떻게 쓰일 것인가를 생각하고 그로 인해 시스템이 갖추어야 할 기능이 무엇인가를 정의하는 것이 더 중요하다. 그러므로 PBS는 시스템이 수행하는 기능을 중심적으로 고려되어야 하며, 추가적으로 기능을 수행하는 구성품이 장착되는 공간을 고려하여 구축되는 것이 타당하다.

세부적으로 PBS가 공간 중심적 구조로 구축될 경우 발생하는 문제점을 정리해 보면 다음과 같다.

2.2 업무 할당 및 하부계약 관리 문제

서론에서 언급하였듯이 PBS는 WBS의 핵심요소가 된다. PBS의 각 구성품들은 구성품 개발 업무로 각 해당 조직에 할당된다. 예를 들어서 표 1에서 레벨 2의 대차는 WBS에서 대차 개발 업무로 대차 개발 조직에 할당된다. 이러한 이유로 PBS는 WBS의 핵심 요소가 되는 것이다.

그러나 PBS가 공간 중심적 구조로 구축될 경우 PBS를 바탕으로 업무를 각 해당 조직에 할당할 수 없게 된다. 예를 들어서, 동력대차에도 차륜이 나오고 객차대차에도 차륜이 동일하게 나오다. 이런 PBS 구조라면, 차량 시스템 개발 시 동력대차의 차륜과 객차대차의 차륜을 각각 A 하청업체와 B 하청업체에 분할하여 개발 업무를 맡겨야 한다. 각 구성품이 장착되는 위치가 틀리다 하더라도 수행하는 기능이 동일한 구성품 이라면 한 조직 또는 업체에 개발 업무가 할당될 수도 있지 않을까?

그러므로 WBS의 핵심 요소로서 PBS를 사용하기 위해서는 PBS는 구성품이 장착되는 공간뿐만 아니라 구성품의 기능을 고려하여 구축되어야 한다.

2.2 유사 시스템 개발 및 개선 시 재사용성 문제

철도 시스템은 그 역사가 오래 되어서 시스템 전반의 커다란 설계 수정이 일어나지 않는다. 즉 철도 시스템 자체의 기술 성숙도가 높기 때문에 새로운 철도 시스템 개발 프로젝트는 철도 시스템의

일부 구성품에 신기술이 적용되는 수준이 될 것이다. 이러한 기술 성숙도가 높은 시스템의 개선시 역공학(Reverse Engineering) 프로세스가 적용된다. 역공학 프로세스는 그림 1과 같은 하부 업무들로 이루어져 있다.

역공학은 새로이 추가되는 기능이나 개선되는 기능이 기존의 기능들과 어떠한 기능적 인터페이스를 가지는가를 분석하고, 기존 PBS에서 어느 수준에 속하는가를 찾아내는 것으로 시작된다. 위 그림의 "2. 인터페이스 포착"에서 인터페이스는 물리적 인터페이스뿐만 아니라 기능적(functional) 인터페이스를 포함한다. 즉, 새로이 추가되는 기능을 수행하는 구성품과 정보를 주고받는 구성품이 무엇인가(인터페이스)를 찾아내는 연구도 포함한다는 것이다.

철도 시스템을 예를 들어 보자. 새로이 자기부상열차 시스템을 개발한다고 할 경우 먼저 새로 추가되는 기능 및 구성품 또는 기존의 일반 열차 시스템과 비교하여 교체되는 기능 및 구성품이 무엇인가를 분석할 것이다. 새로이 추가되는 기능

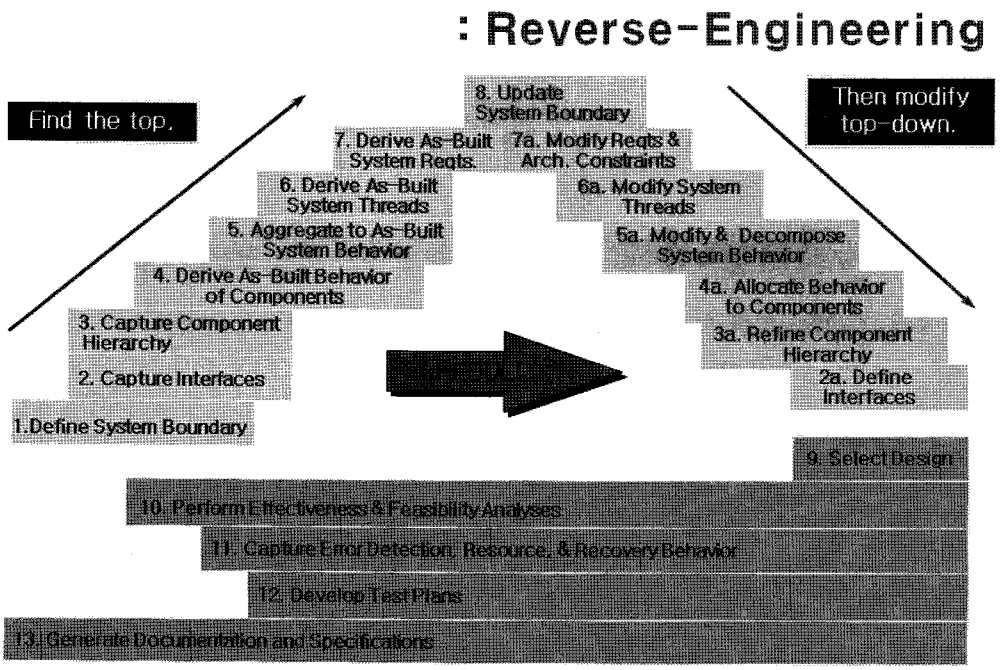

Fig. 1. Reverse-Engineering process

이 열차를 부상시키는 부상 기능이며 이 기능을 부상 장치가 수행한다고 분석되었다면 그 다음 연구로 부상 장치가 정보를 교환하는 장치가 무엇인가를 분석할 것이다. 부상 장치는 어디로부터 전원을 공급받는가? 부상 장치의 부상 간격 제어 신호는 어디로부터 받는가?

여기서 주목할 것은 새로이 추가되는 기능을 먼저 찾은 다음에 그 기능을 수행하기 위해서 기존의 어떠한 구성품과 정보를 교환하는가를 찾는다는 것이다. 그러므로 기존의 PBS가 기능 중심적 구조로 구축될 경우에 새로이 추가되는 기능이 어떤 수준(level)의 기능이며 어떠한 구성품과 정보를 교환할 것인지를 보다 쉽게 찾을 수 있다는 것이다.

우리가 어떠한 시스템을 개발할 시 업무 결과물들을 기록하고 보관하는 이유는 사업 내외적인 재사용성에 있다. 외적으로는 후에 이와 유사한 시스템을 개발할 경우에 기존의 시스템 개발 결과물들과 비교 분석함으로써 개발 일정을 줄이고, 개발 비용을 줄이는 등 시스템 개발에 발생하는 리스크들을 줄일 수 있다.

그러므로 PBS는 유사 시스템 개발 및 기능 개선시 재사용성을 위해서 기능 중심적 구조로 구축됨이 타당하다.

3. DSM을 이용한 PBS 구축

3.1 DSM 개요

MIL-HDBK-881은 WBS를 개발하는 절차와 사용 방법을 가이드하는 문서이다. 이 가이드북에 따르면 WBS의 핵심 요소가 되는 PBS를 구축하는 절차는 간단히 다음과 같다[1].

① 원천 요건(need) 정의
② 시스템 목표 설정
③ 시스템 시나리오 작성
④ 시나리오 절충 분석
⑤ 시스템 기능 및 성능 요건 도출
⑥ 기능을 구현한 구성품

위와 같은 프로세스를 수준별로 반복 수행하여 PBS를 구축하도록 권장하고 있다. 이는 시스템엔지니어링의 개발 프로세스와 동일하다. 그러나 시나리오에 기반하여 기존 철도 시스템의 PBS를 구축하는 경우에는 많은 시간과 노력이 요구된다.

그러므로 본 페이퍼에서는 보다 적은 시간으로 논리적으로 타당한 기능 중심적 구조의 PBS를 구축하기 위해서 DSM (Design Structure Matrix) 기법을 적용하려 한다.

오래 전부터 복잡한 시스템에 대한 이해도를 증가시키기 위한 방법의 하나로서 모델을 사용하여 왔다. DSM은 이러한 시스템 모델링을 위한-특히 분할(decomposition) 및 통합(integration)에 유익한- 분석 도구이다. DSM은 시스템 구성품들 간의 관계를 간소하고, 가시적이고, 분석적인 형태로 보여준다. 그림 2와 그림 3에서 보듯이 DSM은 정사각형의 매트릭스로 대각선 셀(cell)에 각 요소들을 기입한다. 매트릭스

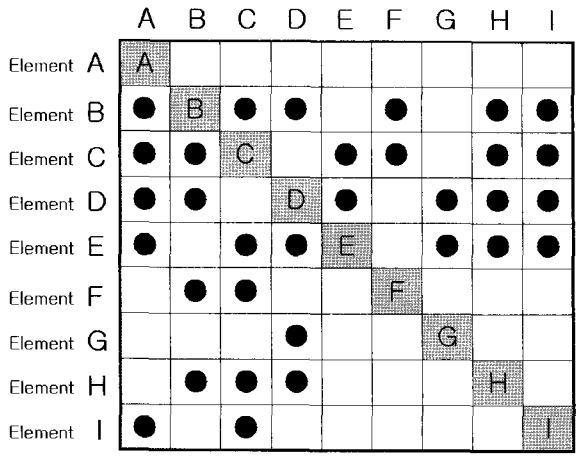

Fig. 2. The example of DSM

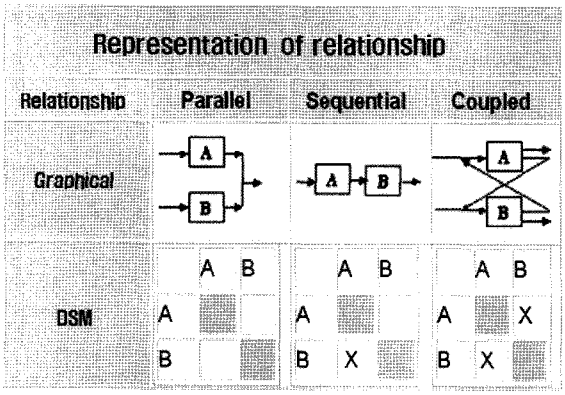

Fig. 3. Representation of relationship between elements

의 비-대각선 셀에는 하나의 요소가 다른 요소들과 어떤 의존관계가 있는지를 표시하게 된다.

대각선 셀을 기준으로 행에는 입력되는 정보를 표시하고, 열은 출력되는 정보를 표시한다. 위 그림에서 보면 요소 B는 요소 A, C, D, F, H, I로부터 입력되는 정보가 있으며, 요소 B에서 출력되는 정보는 요소 C, D, F, H로 전달된다. 비-대각선 셀에는 정보 유무를 × 등과 같은 기호로 표시하거나, 또는 의존도(dependency)를 숫자로 표시하기도 한다[2,3].

DSM은 크게 정적(Static) DSM과 동적(Time-base) DSM 2가지로 분류된다. 정적 DSM은 주로 제품을 구성하는 구성품들 또는 조직 그룹을 표현하는데 사용된다. 일반적으로 정적 DSM은 클러스터 알고리즘(cluster algorithm)을 사용하여 분석작업을 수행한다. 동적 DSM은 시간에 따른 업무 흐름을 표현하는데 사용되며, 주로 시퀀싱 알고리즘(sequencing algorithm)을 사용한다.

본 페이퍼에서는 제품 구성품들의 계층적 관계를 표현하므로 정적 DSM을 사용한다.

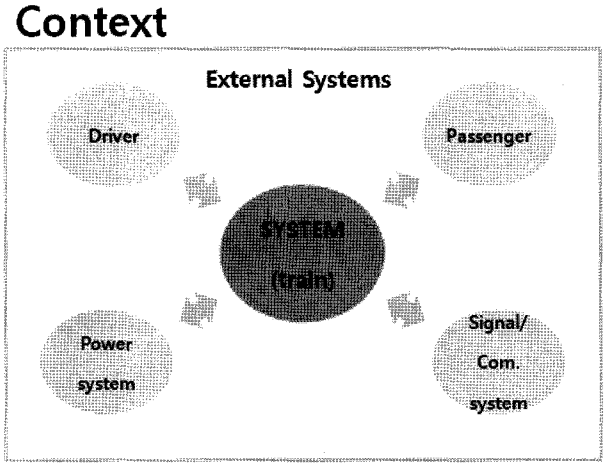

Fig. 4. System Context

3.2 DSM을 PBS 구축 방안

2장에서 언급하였듯이 본 페이퍼에서는 정적 DSM 기법을 적용하여 보다 적은 시간으로 논리적으로 타당한 기능 중심적 구조의 PBS를 구축하는 방법 및 절차를 제시하고자 한다. 기본 절차는 토마스(Thomas Udo Pimmler)의 논문[4] "A Development Methodology for Product Decomposition and Integration"을 따르되, 일부 개선이 필요한 부분을 추가하여 제시하였다.

3.2.1 시스템 정황 분석

대상이 되는 시스템과 외부시스템, 그리고 그들간의 관계를 정의한다. 개발 대상 시스템의 내부 구성요소들 간의 상호작용뿐만 아니라, 시스템과 외부시스템 간의 상호작용도 중요하게 분석되어야만 한다. 시스템은 사용자의 요구를 만족시키기 위해 개발된다. 그러므로 사용자 또는 고객(외부시스템에 포함됨)이 시스템에 무엇을 요구하고, 시스템이 사용자에게 무엇을 제공하는가를 파악하는 것이 중요하다. DSM에 외부시스템과 구성요소 간의 관계(에너지, 정보, 재료 등의 상호전달 관계)를 고려하지 않을 경우에는 구성요소의 통합결과 산출물들이 타당하지 않을 수가 있다.

본 페이퍼에서는 그림 4와 같이 차량시스템을 대상시스템으로 하고 외부시스템은 운전자, 승객, 전력시스템, 신호/통신 시스템으로 정의하였다.

3.2.2 시스템을 구성요소(element)로 분해

시스템을 기능 및 물리적 요소로 분해한다.

복잡한 문제를 보다 작은 하부 문제로 분해하여 풀어나가듯이, 시스템을 잘 알려진 구성품 수준으로 분해한다.

본 페이퍼는 표 2와 같이 도시철도 차량 표준사양에 나와

Table 2. Components of vehicle system

	구성요소
1	under frame
2	side frame
3	roof frame
4	frame ends
5	floor
6	interior
7	window
8	door
9	chair
10	passenger room grip
11	passenger information guide equipment
12	equipment of Driver's cab
13	coupler
14	gangway diaphragm
15	HVAC
16	bogie frame
17	axle
18	axle box
19	support/buffer device
20	traction device
21	transmission
22	train control and monitoring system
23	ATC
24	ATO
25	current collector
26	arrester
27	inverter
28	traction motor
29	charger
30	battery
31	brake
32	air compressor
33	wheel
외부 시스템	passenger
	driver
	power system
	signal/communication system

있는 구성품들로 정의하였다.

3.2.3 구성요소 간의 상호작용 분석

구성요소 간에 발생하는 상호작용을 식별한다.

구성요소 간에 발생하는 중요한 상호작용은 4가지 형태가 있다.

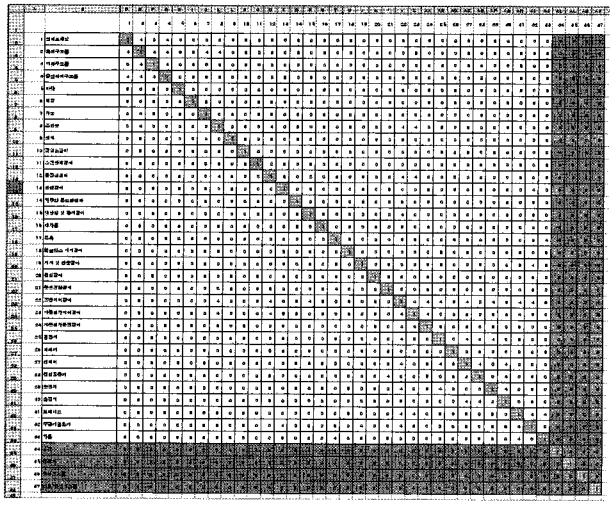

Fig. 5. Interaction matrix of vehicle system

Table 3. Identification and scoring of interaction between components

	"HVAC" & "Passenger"				
Function (HVAC)	HVAC supplies fresh air of proper temperature to passenger				
Function (Passenger)					
Interaction	HVAC offers air of suitable temperature so that passenger may can feel comfort				
Score	S	0	E	4	E: heat
	I	0	M	4	M: air

① 물리적 공간(spatial) 및 배열
② 에너지(energy) 교환
③ 정보(information) 교환
④ 물질(material) 교환

구성요소 간에 발생하는 상호작용이 어떠한 형태인가를 식별하고 중요도를 평가한다. 본 페이퍼에서는 두 구성요소 간에 상호작용이 없을 경우에는 "0"점, 상호작용이 있되 필수적이 아닐 경우에는 "2"점, 상호작용이 필수적일 경우에는 "4"점을 부여 한다.

표 3은 구성요소 간의 상호작용을 식별하고 점수를 부여한 템플릿을 예로 보인 것이다. 아래 표와 같이 모든 구성요소 간의 상호작용을 식별하고 평가한 템플릿을 정리하여 그림 5와 같이 DSM 형식에 맞게 행렬 형태로 작성한다.

그림 5에서 회색부분은 외부시스템을 표현한 것이다. 앞서 밝힌 바와 같이 DSM을 이용하여 시스템 분해 및 통합 분석을 수행할 경우, 대상시스템의 구성요소와 외부시스템 간의 상호작용을 고려하여야 한다.

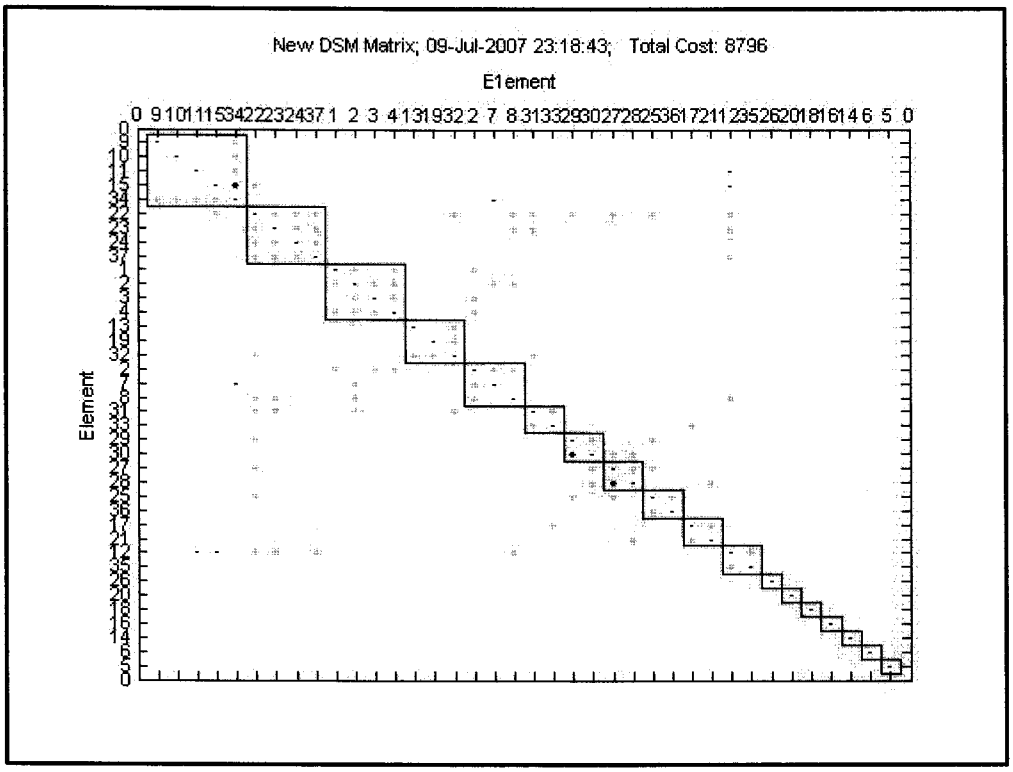

Fig. 6. Clustered interaction matrix for vehicle system

3.2.4 구성요소들의 그룹핑(clustering)

상호작용이 강한 구성요소들끼리 그룹핑한다.

여기서 그룹핑 행위를 클러스터링(clustering)이라 부르고 묶여진 그룹을 각각 청크(chunk)라 부른다.

클러스터링의 목표는 청크 내부 구성요소들 간의 상호작용을 최대로 하고, 청크 간의 상호작용은 최소로 하는 것이다[5]. 이는 모듈화 개념과 동일하다. 2001년 Ronnie Thebeau는 유전자 알고리즘을 도입하여 클러스터링을 수행하는 MATLAB Macro를 개발하였다. 이 매크로를 사용하여 차량시스템의 통합 분석을 수행하였다.

먼저 상호작용 4가지 형태 중 에너지, 정보, 물질 교환에 대한 상호작용을 식별하고 점수를 부여한 후 클러스터링을 수행하였다. 아래 그림 6에서 7은 차량시스템의 에너지, 정보, 물질 교환에 대한 클러스터링 결과이다.

위 그림과 같이 에너지, 정보, 물질 교환에 대한 클러스터링 결과로 편의부(Cluster #1), 운전 및 제어부(Cluster #2), 객실부 차체(Cluster #3), 현가부(Cluster #4), 객실부(Cluster #5), 제동부(Cluster #6), 보조전원(Cluster #8), 집전기(Cluster #9), 동력전달부(Cluster #10), 운전실설비(Cluster #11) 등으로 통합되었다.

이와 같은 방법으로 공간 할당에 관한 상호작용을 분석하고 클러스터링을 수행한 결과 대차부(대차틀, 지지 및 완충장

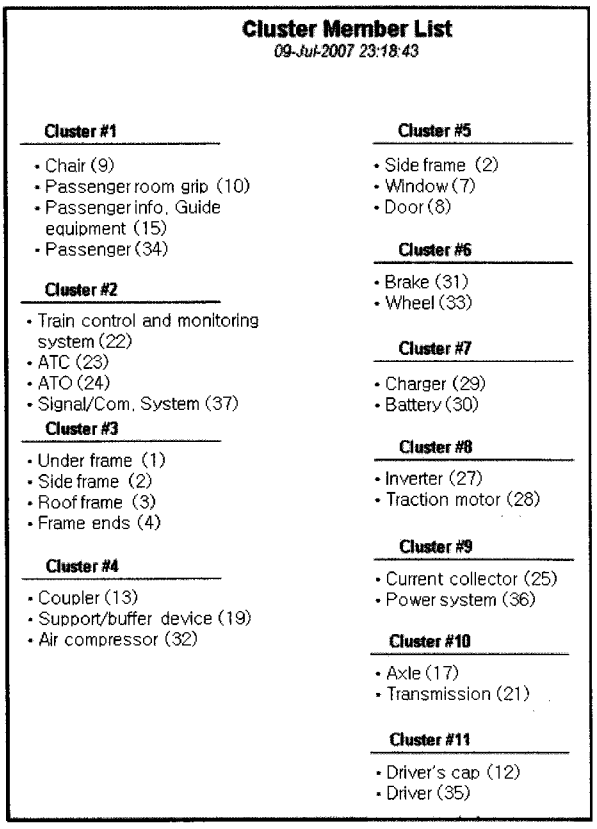

Fig. 7. Clustering list of vehicle system

치, 견인장치, 집전기, 브레이크, 차륜, 동력전달장치, 견인전동기, 액슬박스 지지장치), 객실부(측면구조틀, 끝칸막이구조틀, 내장, 창문, 출입문, 차량간 통로연결막) 등으로 통합되었다.

PBS 구축시 기능 중심적인 구조로 구축하되 공간 할당에 대해서 완전히 무시할 수는 없다. 그러므로 에너지, 정보, 물질 교환에 관한 1차 클러스터링 결과물과 공간 할당에 관한 1차 클러스터링 결과물을 교차 검토하여 통합하고, 필요에 따라 2차 클러스터링을 수행하여 기능 중심적인 시스템 PBS를 도출하였다. 그 결과는 표 4와 같다.

Table 4. PBS of vehicle system modified by DSM

Level 0	Level 1	Level 2	Level 3
train system	control equip.	train control/monitoring system	
		ATC	
		ATO	
		equip. of driver's cab	
	passenger room equip.	frame	under frame
			side frame
			roof frame
			frame ends
		window	
		door	
		interior	
		gangway diaphragm	
	power equip.	current collector	
		auxiliary power	charger
			battery
	service equip.	chair	
		passenger room grip	
		passenger info. guide equip.	
		HVAC	
	traveling equip.	truck frame	
		air compressor	
		coupler	
		suspension	
		driving equip.	inverter
			traction motor
		brake equip.	brake
			wheel
		power delivery equip.	axle box
			transmission
			axle

여기서 주공기 압축기는 위치상으로는 언더프레임 상에 위치하게 된다. 그러나 기능적인 측면으로 볼 때 주공기 압축기는 연결장치와 현가장치, 브레이크 장치에 압축된 공기를 제공한다. 그러므로 주공기 압축기는 에너지, 정보, 물질 교환이 빈번하게 일어나는 대차부의 하부 구성품으로 정의하는 것이 타당할 것이다.

4. 결 론

역사가 오래된 시스템의 개선을 위해서는 기능중심으로 잘 정의된 PBS가 필요하다. 앞서 설명한 역공학 프로세스에서 보듯이 새로이 추가되는 기능이 어떤 수준에 적용되며 어떠한 정보들을 주고 받는가를 판단하는 작업이 가장 먼저 수행되는 작업인 까닭이다.

본 페이퍼에서는 기능 중심의 PBS를 보다 정확하게 구축하기 위한 방법으로 DSM 기법을 적용하였다. 기존의 DSM 기법과 달리 대상시스템과 외부시스템을 동시에 고려하여 상호작용을 표기함으로써 보다 타당한 PBS를 찾을 수 있었다.

본 페이퍼에서는 상호작용에 있어서 부정적인 창발성 관계를 고려하지 않았다. 즉 에너지, 물질, 정보 교환이 부정적인 영향을 미치는 경우에 음수(-) 값을 할당하여 클러스터링을 수행하지 않았다.

차후에는 이러한 부정적인 영향을 미치는 상호작용을 포함하여 클러스터링을 수행하는 방법에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

1. DoD (1998). MIL-HDBK-881, "Department of Defense Handbook, Work Breakdown Structure", DoD, January, pp.1-65
2. Tyson R. Browning (2001). "Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions", IEEE Transactions on Engineering Management, Vol.48, No.48, August, pp.299-304
3. Thomas Udo Pimmler (1994). "A development methodology for product decomposition and integration", Massachusetts Institute of Technology, May, pp.17
4. Tyson R. Browning (2001). "Process integration using the design structure matrix", Systems Engineering. Vol.5, No.3, pp.180-193
5. Travis P.Dunn (2005). "Using Design Structure Matrices to Improve Decentralized Urban Transportation Systems", Massachusetts Institute of Technology, August, pp.5-7

(2007년 11월 22일 논문접수, 2008년 2월 11일 심사완료)