

건조사양서 요구사항의 추적을 위한 온톨로지 모델과 제품구조 통합 기초 연구

김승현¹ · 이장현^{2,†} · 한은정³
인하대학교 대학원 조선해양공학과¹
인하대학교 조선해양공학과²
인하대학교 조선해양공학과 BK21사업팀³

Integration of Ontology Model and Product Structure for the Requirement Management of Building Specification

Seung-Hyun Kim¹ · Jang-Hyun Lee^{2,†} · Eun-Jung Han³
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Graduate School, Inha University¹
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University²
BK21 Team, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University³

Abstract

Ship design requirements described in the building specification should be reflected in the design process. This paper identifies the configuration of requirements mentioned in the building specification using Ontology Representation Language (OWL). Ontology-based semantic search system specifies the requirement items. Through this extraction, building specifications mentioned for each entry are configured to the tree. Tracking requirements for ship design and a set of procedures to instruct is also used for the V model of systems engineering. The semantic search engine of robot agent and ontology can search the requirements specification document and extract the design information. Thereafter, design requirements for the tracking model that proposes the relationship between the associated BOM(bill of material) and product structure.

Keywords : Product structure(제품구조), BOM(자재 목록), Systems engineering(체계공학), Design requirement(설계 요구사항), Ontology(온톨로지), OWL(온톨로지 표현 언어)

1. 서론

1.1 연구 배경

선박, 해양 구조물의 설계 및 생산 과정은 초기(영업) 설계 단계에서 정의된 선박의 사양과 성능 요구사항을 만족하여야 한다. 이러한 선박의 사양 및 성능 요구사항은 건조사양서(building specification) 문서에 기록되어 있으며 기본 성능, 구조 안전 수준, 선체 재료, 그리고 의장 기자재 성능 등이 명시되어 있다. 그러나 현재는 각 설계 요구사항들이 자연어 문서로만 작성되고 있어서 건조 사양의 반영 여부 또는 변경을 확인하고 추적하는 방법이 명확하지 않으며, 주로 설계자의 인지 과정을 통해서 반영되고 있다.

설계 요구사항은 구조 부재, 의장 부품 그리고 기자재 선정 및 설계/생산에 관련되어 있으며, 성능 지표와도 관련되어 있다. 따라서 요구사항을 각각의 독립된 형상(configuration)을 가진

항목으로 관리하는 것이 효율적인 것이다. 이는 설계 요구사항이 WBS(work breakdown structure)와 같은 형태로 관리되어야 하며, 제품 WBS와도 연관되어야 함을 의미한다. 즉, 제품수명주기 관리(PLM) 시스템의 제품구조와 통합되는 것이 가장 바람직할 것이다(Svensson & Malmqvist, 2001). 이러한 배경에서 '설계 요구사항을 PLM의 제품구조와 BOM에 통합할 수 있는 아키텍처'에 대한 필요성이 언급되고 있다(AMR Research, 2007). 제품의 요구사항을 만족하도록 제품구조를 중심으로 요구사항 WBS가 CAD 시스템까지 반영될 필요가 있다는 의견도 있다(Lee, et al., 2008; Kim, et al., 2010). 따라서 설계 요구사항을 제품구조와 연계할 수 있는 방법이 가장 먼저 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 건조사양서(Fig. 1)에 기술된 제품 성능과 요구사항 항목을 설계 및 생산에 반영하기 위한 방법론을 제시하고자 한다. 이를 위하여 요구사항의 형상 항목은 체계공학 기법으로 모델링하고자 하며, 제품구조 및 BOM과 통합을 위한 자료 모델을 제시하고자 한다. 또한 요구사항 검색을 위한 방법으로는 온톨로지 모델을 이용하고자 한다. 건조사양서를 시맨틱 웹(semantic web)

기술을 결합한 온톨로지 기반으로 요구사항 형상 항목을 검색할 수 있는 시스템을 제시하고자 한다. 이를 통하여 요구사항 항목을 제품구조와 통합하기 위한 기본 틀을 모색하고자 한다.

Korea Shipbuilding Co., Ltd. 4,350 TEU Class Container Carrier

SECTION 4. PRINCIPAL PARTICULARS

4-1. Dimensions

Length over all	abt.	280.00 m
Length between perpendiculars		266.00 m
Breadth (moulded)		32.24 m
Depth to upper deck (moulded)		21.50 m
Design draft (moulded)		12.00 m
Scantling draft (moulded)		13.00 m
Air draft from base line		54.40 m
Deck heights :		
Upper deck to A-deck		3.10 m
A-deck to B-deck		2.85 m
B-deck to C-deck		2.85 m
C-deck to D-deck		2.85 m
D-deck to E-deck		2.85 m
E-deck to F-deck		2.85 m
F-deck to Nav. Bridge deck		2.85 m
Nav. bridge deck to compass deck		2.75 m
Upper deck to f'cle deck at aft to f'cle deck at F.P.		2.70 m 3.00 m
Camber :		
for upper deck(straight)		200 mm
for f'cle deck		nil
for accommodation (for exposed deck)		nil except reverse straight camber for bridge wing
Sheer :		
for upper deck		due to camber.
Rise of floor :		
		nil.

4-2. Deadweight

The vessel shall have a deadweight of 50,300 MT on the design draft moulded 12.00m and 58,000 MT on the scantling draft 13.00m in sea water of specific gravity of 1.025.

The deadweight at a given draft will be defined as the difference between the displacement and light weight.

The displacement shall be calculated from hydrostatic or bonjean tables by measuring appropriate drafts including shell and all appendages.

The light weight shall be defined as follows :

- 1) Hull, machinery and electrical weight including all equipment and fittings required by the rules and the specifications.

But following shall be counted for deadweight :

Fig. 1 A part of building specification document

1.2 관련 연구

요구사항 관리를 위한 기법으로는 체계공학이 보편적으로 사용되며, 요구사항을 체계의 성능 요소로 변환하는 논리적 절차이면서 요구사항을 추적하기 위한 보편적 방법으로 사용되고 있다 (Kang & Lee, 2009). Messaadia, et al. (2005)는 체계공학 개념이 PLM 시스템과 통합되었을 때 효과를 분석하여 제시하였으나 체계공학 개념의 필요성을 정리하는데 그쳤다.

Ozkaya and Akin (2007)은 요구사항을 XML(extended markup language)를 이용한 스키마(schema) 형태로 저장한 사례를 보였다. 또한 설계 과정에서 요구사항 조회가 가능한 웹 기반의 'DesignTrack' 시스템을 제시하여 의미론적 모델이 가능함을 보였다. Baxter, et al. (2008)은 요구사항 항목을 제품구조와 통합함으로써 설계정보의 재활용이 가능함을 제시하였다. 그러나 이러한 연구에서 제시한 방법은 요구사항의 추적을 위한 과정이 설계자의 지식에 의존하고 있는 제약이 있다.

최근에는 자연언어 처리기술을 이용한 의미기반 정보검색 기술이나 질의응답 시스템 등이 활용되고 있다. 자연어로부터 의미 있는 지식정보를 얻기 위한 방법론으로는 온톨로지(ontology) 개념의 의미론적(semantic) 모델이 활용될 수 있다. Lin, et al. (1996)은 체계공학의 V-모델을 이용하여 제품구조를 부품 상 하위 간의

관계 및 속성이 의미론적으로 모델링 될 수 있음을 증명하였다. Bock, et al. (2010)도 제품구조의 온톨로지 모델을 제안하고 OWL(web ontology language)을 이용하여 부품의 객체(class)와 속성을 모델링 하였다. Li, et al. (2010)도 OWL을 이용하여 제품구조를 모델링 한 후에 설계 변경 절차를 제시하였다. 이러한 연구는 온톨로지 모델이 제품구조 및 부품 속성을 표현할 수 있음을 보이고 있다. 한편 Doors(Hull, et al., 2010)와 같은 상용 소프트웨어가 요구사항 모델링에 사용되고 있으나, 절차 중심의 요구사항 모델에 유용하다. Statemate(White, 2009)와 같은 표현법은 체계의 기능을 표현하는데 사용되고 있다.

2. 요구사항과 제품구조

본 장은 요구사항을 제품구조에 반영하기 위한 방법론을 제시하고자 한다. ①요구사항 추적 방법으로 체계공학을 적용하고, ②건조사양서의 자연어로 표현된 요구사항을 추출하기 위하여 온톨로지 모델을 사용하고, ③요구사항 변경에 따른 효과도 분석 방법을 제시하고자 한다.

2.1 제품구조와 요구사항 형상의 관계

제품구조와 BOM은 부품의 상하위 관계 및 조립 정보를 나타내는 데이터로서, 제품 설계의 기준 정보이다(Burden, 2004; Lee, et al., 2005; Matias, et al., 2008). 각각의 설계 요구사항 항목은 각 부품 또는 시스템과 연관되어 있다. 따라서 Fig. 2에 보인 바와 같이 요구사항의 WBS, 즉 RBS(requirement breakdown structure)와 제품구조는 연계 관계를 가지고 있다고 정의할 수 있다. 또한 각 item(단품, 중간조립품, 조립품)은 BOM을 가지고 있으므로 제품구조와 BOM은 동일한 의미로 사용할 수 있다. 각 요구사항과 제품구조의 관계를 정의함으로써 요구사항의 추적이 가능하다.

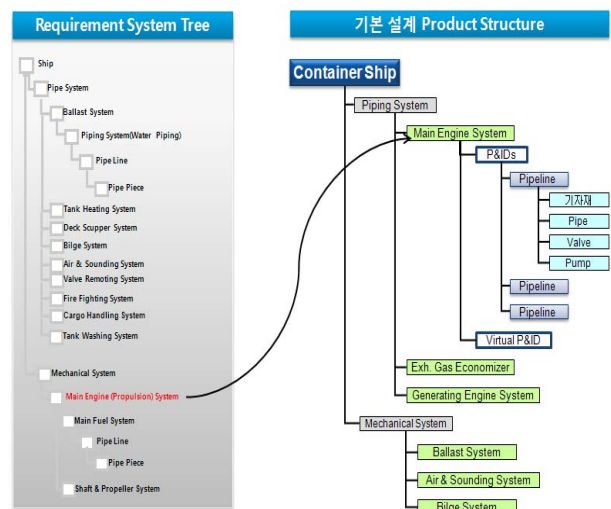


Fig. 2 The relationship between product structure and requirement WBS

2.2 체계공학과 제품 설계

체계공학은 제품의 설계/개발 과정에서 시스템 요구사항을 시스템 규격, 아키텍처 및 형상으로 반영하고 검증하는 절차이다 (DoD, 2001; Price, et al., 2006). 요구사항을 제품 및 시스템에 사상(mapping)한 후에 BOM에 다시 사상하여 제품이 요구사항을 만족시키는지 확인할 수 있을 것이다(Baxter, et al., 2008). 특히, V-모델(DoD, 2001)은 제품개발 단계별로 증명과 검증을 위한 시나리오를 작성하도록 제안된 방법이다. 본 연구는 요구사항의 형상을 추출하여 item과 통합될 수 있도록 체계공학의 V-모델을 적용하였다(Fig. 3).

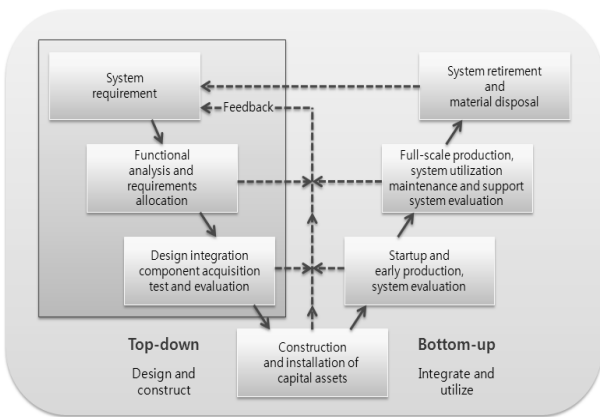


Fig. 3 Schematic procedure of V-model in systems engineering

2.3 요구사항 형상과 제품구조의 연관 모델

본 연구는 4350TEU 컨테이너 선박의 건조사양서를 예제로 적용하였다. Fig. 4는 요구사항과 제품구조의 관계를 Express-G (Mannisto & Peltonen, 1998)로 표현한 것이다. 요구사항은 parent-child 관계를 통해 하위 요구사항으로 분류하였고, defined-by-define을 통해 1:1 또는 1:N으로 기능(function)과 시스템(system)으로 각각의 요구사항이 분류될 수 있을 것이다(Ling, et al., 2005). Fig. 5은 요구사항과 기능, 시스템간의 객체 관계를 정의한 일부분을 예제로 보인 것이다.

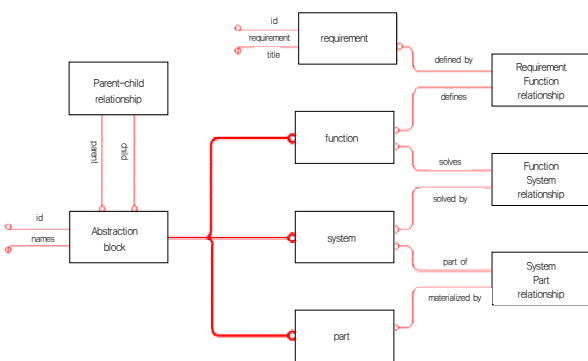


Fig. 4 Schema of classified requirement

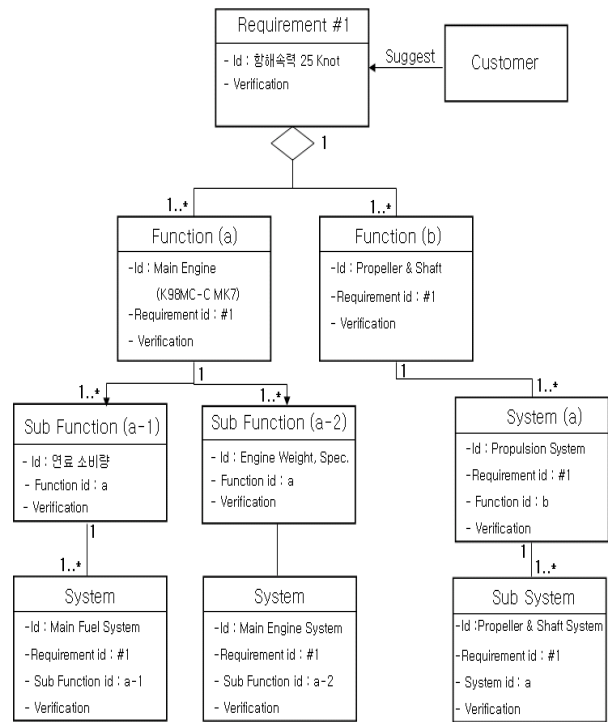


Fig. 5 Data model of requirement, function, system (context extraction)

2.4 온톨로지 기반의 semantic 검색

효과적인 검색을 위해 서술 논리(description logic)바탕의 온톨로지를 사용하여 요구사항 질의나 문맥의 의미를 부여하였다. 시맨틱 검색은 온톨로지를 사용하여 메타데이터를 생성하고, 온톨로지 계층구조와 규칙과 공리를 사용하여 추론하도록 하였다. Fig. 6은 본 논문이 사용한 요구사항 추출 절차와 구성 요소이며, Fig. 7는 요구사항을 기능과 시스템으로 사상한 모습이다. 하나의 요구사항에는 다수의 기능과 시스템을 할당하였다.

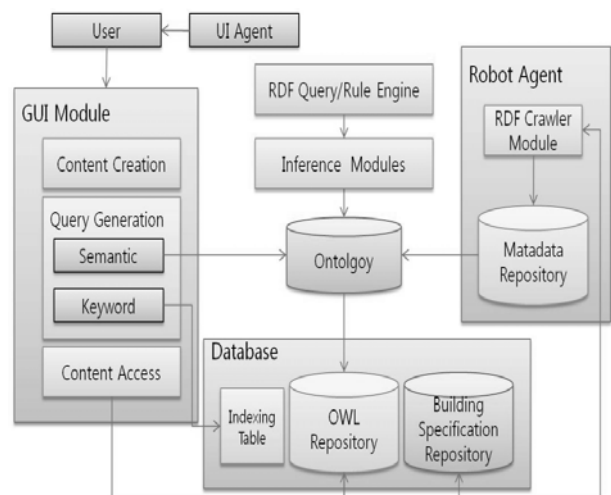


Fig. 6 Schematic procedure of semantic ontology for requirement extraction

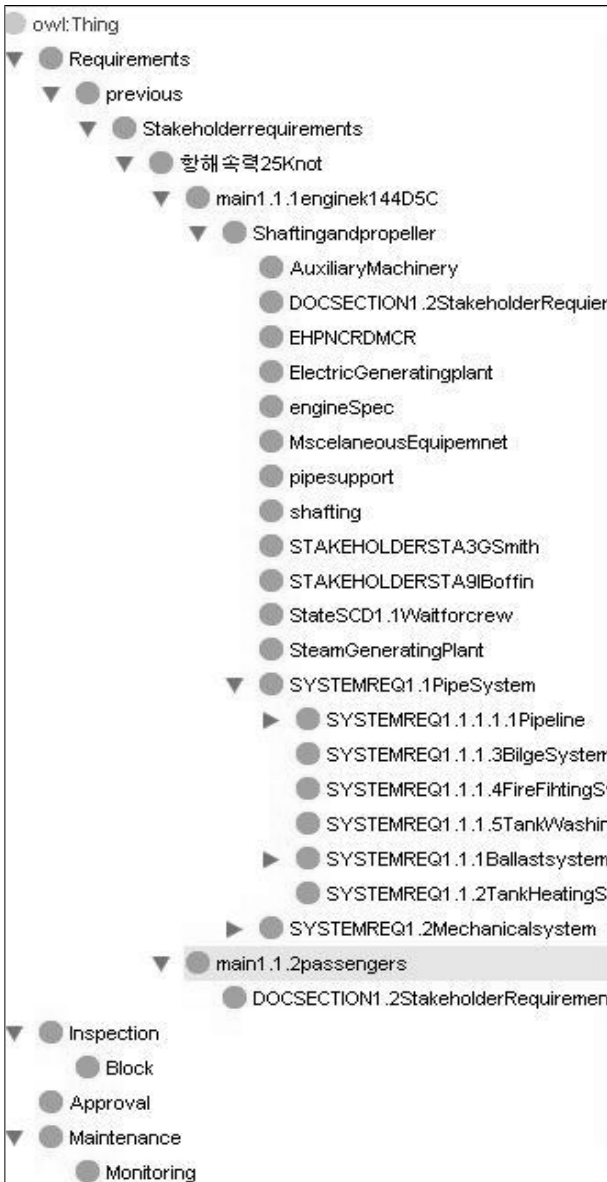


Fig. 7 Class hierarchy of requirement

온톨로지의 역할은 검색 키워드의 의미를 정의하며 정확도를 향상시키는데 있다(Roy, et al., 2005). 따라서 시맨틱 웹의 온톨로지는 의미적 연관성을 통하여 소프트웨어 에이전트로 하여금 문서를 이해하도록 하는 역할을 한다(Horrocks, et al., 2003). 시맨틱 웹은 개체 정보(온톨로지)를 활용하여 검색엔진이 주어진 정보를 이해하도록 한다. 정보를 체계적으로 표현하기 위해서 RDF (resource description framework)(W3C, 2004)를 이용하였다. RDF는 메타 데이터(meta data)의 속성, 객체(class)간의 관계 등을 검색엔진이 이해할 수 있도록 한다. 개체의 정의나 개체들간의 관계를 표시하는 데이터 집합인 온톨로지를 위해서는 OWL(Knublauch, et al., 2004)을 이용하였다.

Fig. 8은 메타 데이터의 생성 과정 및 OWL 문서작성 과정을 표현한 것이다. 본 연구에서는 Protégé3.4.4 (Knublauch, et al., 2004) 를 이용하여 OWL 문서를 생성하였다. 문서의 메타 데이터를 구축하고 이를 원문 문서와 연결하였다. 메타데이터는 온톨로지

클래스와 속성을 포함하고 있기 때문에 원본 문서의 의미적 정의가 가능하도록 하였다. OWL 온톨로지는 객체(class)간의 관계를 설정하며, 요구사항과 같은 검색대상 객체와 그 속성(property) 그리고 인스턴스(instance)를 표현한다(Dean, et al., 2002). Fig. 9는 메타 데이터를 정의한 후에 건조사양서로부터 생성한 OWL 문서의 일부를 보이고 있다. 요구사항을 최상위 클래스인 'Requirements'로 정의하였으며, 모델과 사양이 명기된 주기를 'NamedMainEngine'이라는 하위 요구사항 클래스(subClass)로 모델링한 것이며, 요구사항과 기능, 시스템, 부품(part)와 관계를 표현한 것이다. OWL로 작성된 온톨로지는 로트 에이전트를 이용하여 전 방향 추론을 수행하였다. 로트 에이전트는 RDF문서를 탐색하여 수집하는 크롤러 모듈을 가지고 있다.

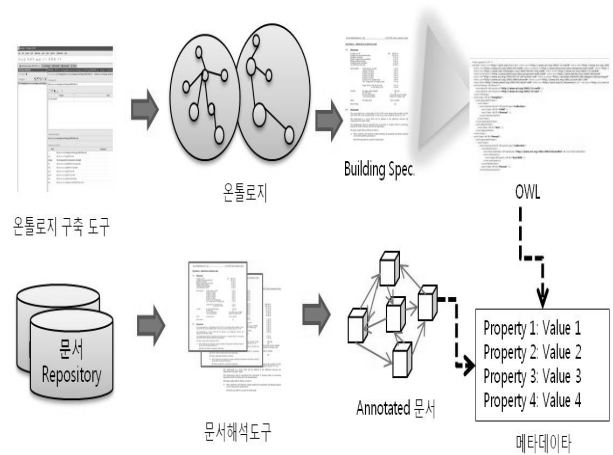


Fig. 8 Generation of metadata using annotation

```
<owl:Ontology rdf:about="">
  <owl:versionInfo rdf:datatype="&xs:string">version 1.3</owl:versionInfo>
  <protege:defaultLanguage rdf:datatype="&xs:string">en</protege:defaultLanguage>
  <rdfs:comment xml:lang="en"
    >An example ontology that contains all constructs required for the various versions
    of the Requirement structure Tutorial run by Inha University </rdfs:comment>
  <owl:imports rdf:resource="http://protege.stanford.edu/plugins/owl/protege/">
  </owl:Ontology>
  <owl:AllDifferent>
    <owl:distinctMembers rdf:parseType="Collection">
      <rdf:Description rdf:about="#Requirement"/>
      <rdf:Description rdf:about="#Function"/>
      <rdf:Description rdf:about="#System"/>
      <rdf:Description rdf:about="#part"/>
    </owl:distinctMembers>
  </owl:AllDifferent>
  <Country rdf:ID="Requirement"/>
  <owl:Class rdf:ID="Requirement Analysis">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#NamedMainEngine"/>
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
        <owl:onProperty rdf:resource="#hasShaftingandpropeller"/>
        <owl:someValuesFrom rdf:resource="#AuxiliaryMachinery"/>
      </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Ontology>
```

Fig. 9 Example of OWL document translated from building specification

2.5 요구사항 관리 툴을 활용한 RBS 분석 및 정의

요구사항 형상(requirement configuration) 정립을 위해 Cradle (Structured Software Systems Ltd., 2010), 을 사용하여 표현하였다. Cradle은 체계공학 도구로서, 문서화된 요구사항을 RBS로 정의하며, 이를 설계에 반영하는 목적을 갖는다(Loureiro, et al., 2004). Fig. 10는 본 연구에서 제시한 요구사항 분석 절차를 통해 나타낸 RBS이다. 앞 절에서 온톨로지를 활용하여 정의한 것과 같이 하나의 요구사항을 다수의 기능과 시스템으로 사상하였다.

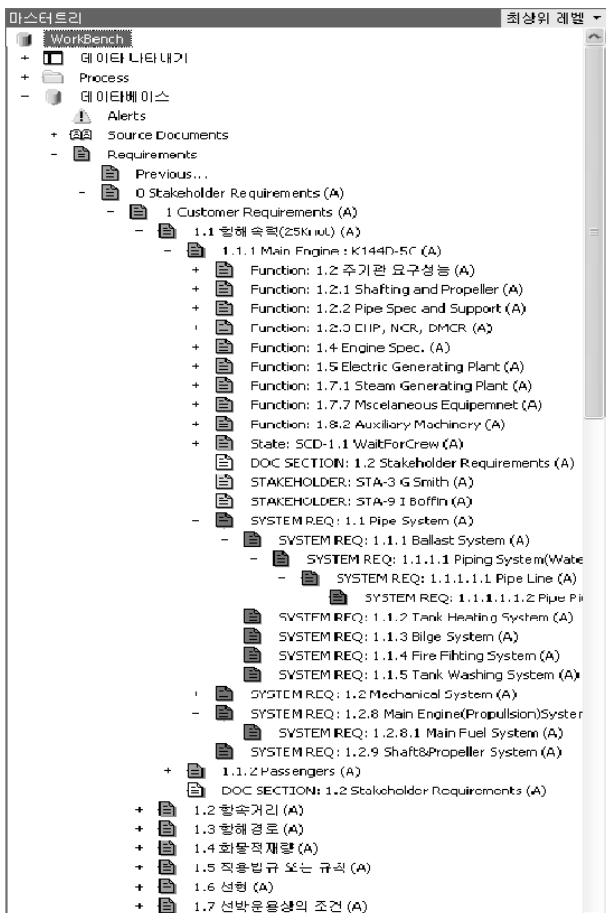


Fig. 10 RBS tree modeled by Cradle

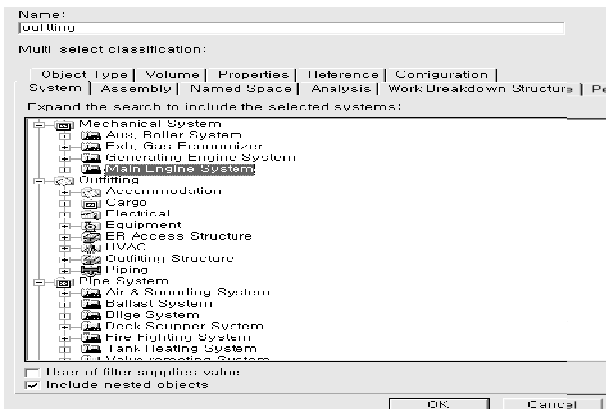


Fig. 11 Example of PBS defined in Ship CAD environment

Fig. 11은 Intergraph사의 SM3D를 이용하여 의장 시스템의 제품구조를 나타낸 예이다. 그림과 같이 본 연구에서 정의한 RBS는 요구사항, 기능, 시스템으로 순차적으로 사상되며 이는 CAD의 제품구조와 같은 형태를 나타내게 되어 요구사항과 제품구조가 연계될 수 있을 것이다.

3. 요구사항과 제품구조의 통합

앞장에서 언급한 바와 같이 요구사항 추출과 검색은 각각 체계공학 및 온톨로지 모델을 적용하여 수행하였다. Fig. 12는 요구사항 추출과 데이터구조 모델링, 온톨로지의 역할을 개념적으로 정리한 것이다. Fig. 13은 WBS로 정의된 제품구조와 설계 요구사항과의 관계를 다시 정리하여 설명한 것이다.

체계공학 및 온톨로지를 이용하여 구조화시킨 요구사항과 제품구조를 연계시키면 각 요구사항은 설계/생산 프로세스 및 부품과 연관관계를 가지며, 설계 변경 시에 추적이 가능할 것이다.

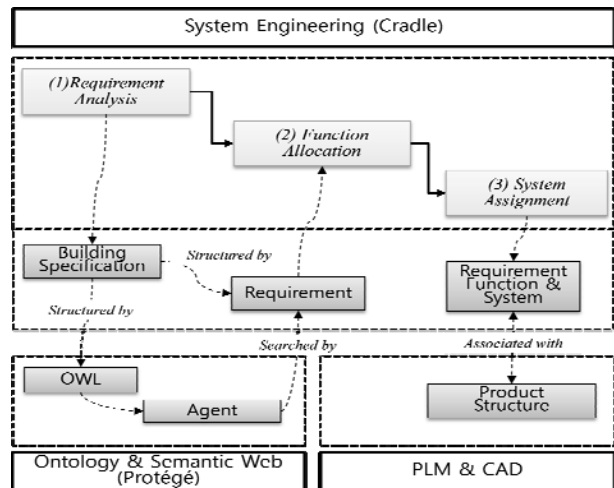


Fig. 12 Schematic configuration of methodology

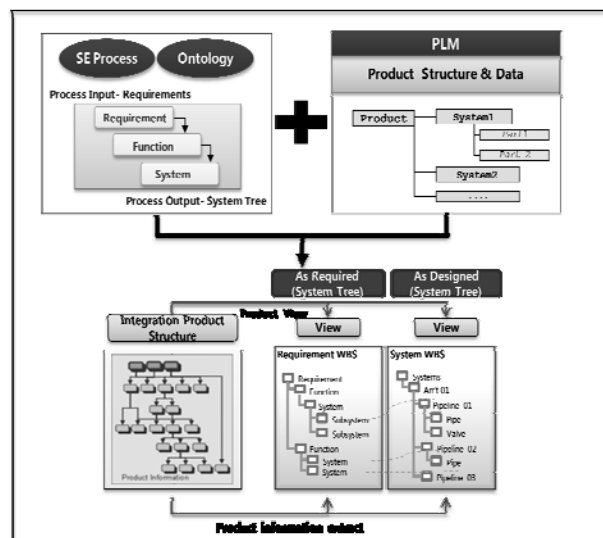


Fig. 13 System architecture for integration

3.1 제품구조와 요구사항의 통합

요구사항의 최종 형태는 각 시스템과 관계를 가지고 있다. Fig. 14는 SWBS(system work breakdown structure) 등 제품구조와 기능 WBS등의 일부를 예로 보인 것이다. 요구사항 형상과 제품 구조의 참조 및 연관 관계를 부여함으로써 각 설계 단계 별로 요구사항을 표현할 수 있을 것이다. 그림은 주기(main engine)가 변경될 경우 속력, 선형뿐만 아니라 의장 시스템과 선체 블록(block), 의장 영역(zone)에 미치는 영향을 가정하여 표시한 것이다. 주기가 변경되는 요구사항은 Main Engine System, Block1, Engine Room에 사상되기 때문에 설계 변경 대상 및 효과도 추적 가능할 것으로 판단된다.

3.2 요구사항의 영향도 및 추적

요구사항 변경에 따른 설계 영향도는 FMEA(failure mode and effects analysis)(Ebrahimpour, et al., 2010) 및 FTA(fault tree analysis) 방법을 변형하여 적용하였다. 설계 요구사항은 RCEA(requirement change and effects analysis)와 RTA(requirement track analysis)를 통해 요구사항 추적과 설계 변경에 따른 영향도 분석이 가능하도록 하였다(Moon, et al., 2010). Table 1은 RCEA를 이용하여 요구사항 변경에 따른 영향도를 예제로써 평가한 것이다. Fig. 14은 요구사항(항해속력) 변경이 시스템에 미치는 영향을 설명하고 있다. 항해속력이 변경되면, Propulsion System에 영향을 미치며, 이로 인해 Main Engine, Hull Structure, Engine Room 등에 영향을 주며, 영향을 받는 블록, 영역, 관련 부서 등을 파악할 수 있다. Fig. 15는 RCEA의 관계를 바탕으로 표현한 RTA이다. RTA는 요구사항 변화와 그 결과의 관계를 논리 기호를 사용하여 트리를 만들고, 상위 요구사항의 변화에 따른 하위의 기능, 시스템 등으로 파생되는 영향도를 평가하는 방법이다. 그림에서와 같이 항해속력의 변경 시 주 기관 성능의 변화를 가져오며, 순차적으로 기능과 시스템, 블록의 변경으로 할당된다. 여기서 AND기호는 각각의 이벤트가 모두 만족, OR 기호는 이벤트가 하나만 만족하면 변경됨을 의미한다.

Table 1 Example of RCEA for requirements

ID	Description of Requirement		Description of Engineering Change			Description of Tracking	
	Requirement	System	Engineering Change	Effective Rate	Block WBS	Zone WBS	Related Department
1	항해속력	Hull Structure	Main Engine	Critical	Block 1	Engine Room	기장배관
		Propulsion System	Hull Structure	Critical	Hull Block	Cargo Hold	선체설계
		Electric System	Propeller and Shaft	Critical	Block 2	After Body	기장설계
		Auxiliary System	Auxiliary Machinery	No Critical	Block 3	E/R Sub-1	의장설계
		Outfit & Furnishing	Cost	Critical	Block 3	Accommodation	의장설계
		Accommodation	Engine Room	Critical	Block 1	Engine Room	기장설계
		Ballast System	Lines	Critical	Hull Block	Bottom	선형설계
2	항해거리	Propulsion System	Main Engine	Critical	Block 1	Engine Room	기장설계
3	화물적재량	Hull Structure	Hull Structure	Critical	Hull Block	Cargo Hold	선체설계
4	선형	Hull Structure	Hull Structure	Critical	Hull Block	Fore Body	선체설계
5	선박운용상의 조건	All System	Cost	No Critical	Block 5	Zone 2	의장설계
6	하역설비	Auxiliary System	Auxiliary Machinery	No Critical	Block 7	Zone 3	의장설계
7	항해경로	Hull Structure	Hull Structure	Critical	Hull Block	Upper Deck	선체설계

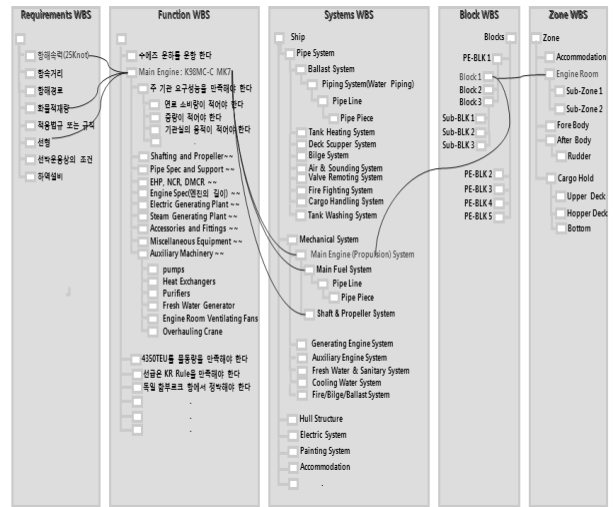


Fig. 14 Associated relationship between RBS and PBS

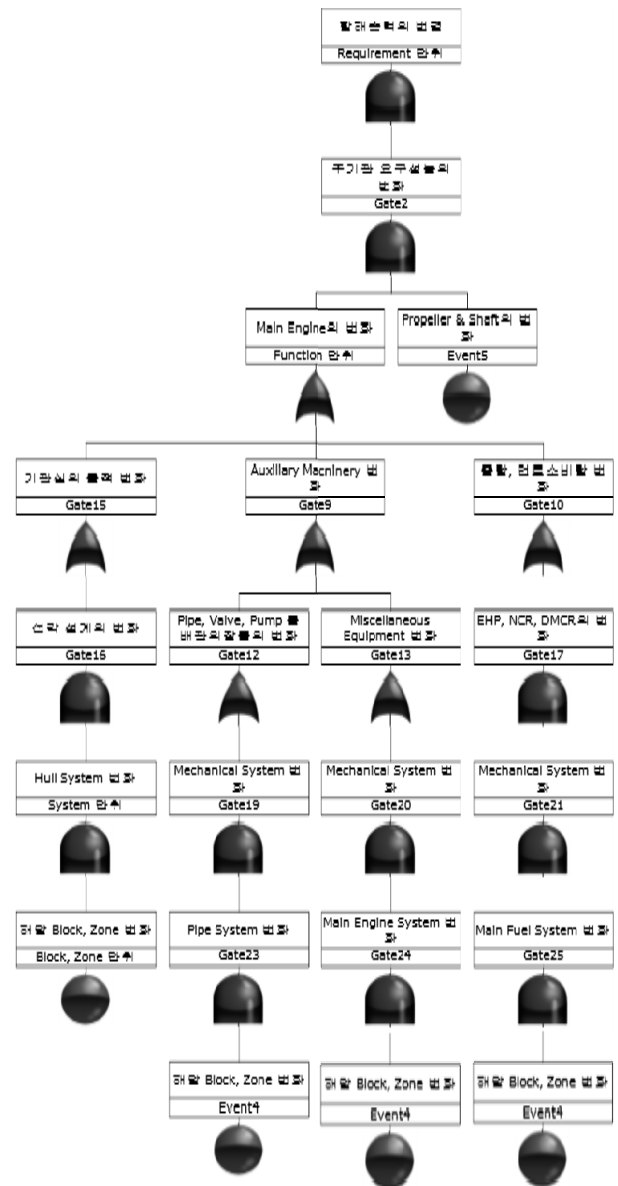


Fig. 15 Example of RTA for requirement change

3.3 요구사항의 중립 문서 구현

시스템 간의 요구사항 형상의 교환을 위한 중립 문서는 XML을 이용하여 구현하였다. Fig. 16는 형상 항목과 PLM 시스템 간의 개념적 통합을 위한 WBS 구조 및 연관성을 설명하고 있다. PLM 시스템의 SWBS와 형상 항목에서 정의한 SWBS 상호간 사상에 필요한 데이터 구조를 간략하게 표현한 것이다. Fig. 17은 요구사항 중 일부를 XML 형식으로 생성한 것이다. 앞에서 정의한 요구사항, 기능, 그리고 시스템으로 각각 할당되는 분석절차를 XML 문서로 표현하였다.

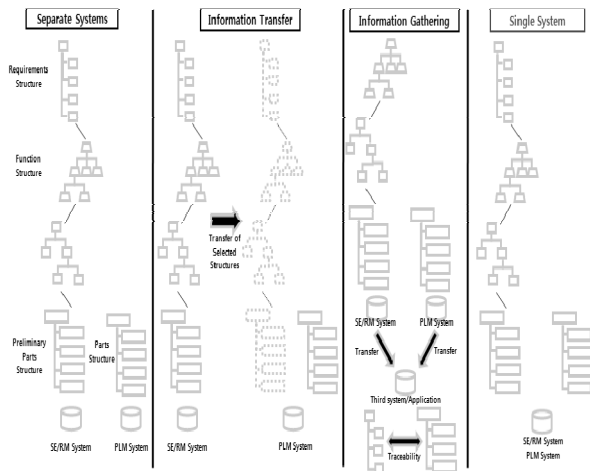


Fig. 16 Relationship between requirement WBS and product structure of PLM

```

<Ship>
  <Requirement>
    항해속력 25Knot를 만족해야한다.
  </Requirement>
  <Function>
    Main Engine : K98MC-C MK7
    <System>Mechanical System</System>
    <Subsystem>Main Engine System</Subsystem>
  </Function>
  <Function>
    주 기관 요구성능을 충족시켜야함
  </Function>
  <System>
    Mechanical System
    <Subsystem>Main Fuel System</Subsystem>
  </System>
  <SubFunction>EHP, NCR, Engine Spec, Weight 충족시켜야함</SubFunction>
  </Function>
</Requirement>
<Requirement>
  선급은 KR Rule를 만족해야한다.
  <Function>기준선 선급 Rule 정보 참조</Function>
</Requirement>
<Requirement>
  4350 TEU의 율동량을 만족해야한다.
  <Function>
    기준선의 선체 정보 참조
    <System>Hull System</System>
  </Function>
</Requirement>
<Requirement>
  수에즈 운하를 운항한다.</Requirement>
</Ship>
    
```

Fig. 17 Example of the data exchange using XML format

4. 결론

선박의 설계 요구사항은 건조사양서에 기록하며, 작성된 요구사항은 설계/생산 프로세스 및 제품구조에 반영되어야만 한다.

본 논문은 건조사양서의 설계 요구사항을 제품구조에 반영하기 위한 방안을 제시하고자 하였다. 설계 요구사항과 선박 제품구조 및 BOM의 관계를 고려한 방안을 제시하였다. OWL을 이용하여 요구사항 항목의 형상을 식별하였으며, 요구사항 검색을 위해서는 의미론적 검색 방법을 이용하였다. 요구사항을 선박 제품구조 및 BOM 정보와 연계함으로써 PLM으로 확장될 수 있도록 하였다. 이를 통하여 요구사항 형상과 선박 제품구조 및 BOM과의 연관관계를 이용한 설계 요구사항 추적 모델을 제시하였다. 또한 설계 변경에 따른 영향도 분석을 위한 RCEA 및 RTA 모델을 제시하였다. 그러나, 본 연구에서 제시한 방법은 초기 개념 모델로서 선박 CAD 시스템, PLM 시스템과 통합을 구현한 것은 아니다. 향후에는 본 연구에서 제시한 개념 모델을 PLM 내의 설계변경 관리기능과 연동하여 실제로 구현할 예정이다.

후 기

본 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원과제(KRF-2008-331-D00721)의 일부로 수행된 것을 함께 정리한 것으로, 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

AMR Research, 2007. *AMR Research Report: The Product Life Cycle Management Application Report*.

Baxter, D. et al., 2008. Framework to integrate design knowledge reuse and requirements management in engineering design. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(4), pp.585-593.

Bock, C. & Zha, X., 2010. Ontological product modeling for collaborative design. *Advanced Engineering Informatics*, 24(4), pp.510-524.

Burden, I., 2004. *PDM Product Data Management*, CIBRES.

Dean, M. et al., 2002. Web Ontology Language (OWL) Reference Version 1.0. <http://www.w3.org/TR/owlref/>

DoD, 2001. *Systems Engineering Fundamentals*, Defense Acquisition University Press.

Ebrahimipour, V.K. Rezaie. & Shokraviva, S., 2010. An ontology approach to support FMEA studies. *Expert Systems with Applications*, 37(1), pp.671-677.

Horrocks, I. Patel-Schneider, P.F. & van Harmelen, F., 2003. From SHIQ and RDF to OWL: the making of a Web Ontology Language. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 1(1), pp.7-26.

Hull, E. Jackson, K. & Dick, J., 2010. *Requirements Engineering 2nd Ed.*, Springer Press., Ltd.

- Kang, H.J. & Lee, J.K., 2009. Requirements Analysis for Onboard Product Life-cycle Management System Based on System Engineering Approach. *Journal of Ships & Ocean Engineering*, 47, pp.12-13.
- Kim, S.H. Lee, J.H. Lee, K.H. & Suh, H.W., 2010. Framework of Ship PLM System Based Upon Four-Tier Model. *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 15(5), pp.362-374.
- Knublauch, H. Ferguson, R.W. Noy, N.F. & Musen, M.A., 2004. The Protégé OWL Plugin: An Open Development Environment for Semantic Web Applications. *Lecture Notes in Computer Science*, 3298, pp.229-243.
- Lee, C.W. et al., 2008. Development of PLM Prototype for Conceptual Design of Marine Vessels. *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 21(6), pp.543-554.
- Lee, J.H. Kim, Y.G. Oh, D.K. & Shin, J.G., 2005. A Functional Review and Prototype for Ship PDM Implementation, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 42(6), pp.686-697.
- Li, Y. Yan, Y. & Jian, J., 2010. A semantics-based approach for collaborative aircraft tooling design. *Advanced Engineering Informatics*, 24(2), pp.149-158.
- Lin, J. Fox, M.S. & Bilgic, T., 1996. A Requirement Ontology for Engineering Design. *Concurrent Engineering*, 4(3), pp.279-291.
- Ling, H. Zhang, W.J. Li, J.X. & Xie, H., 2005. Data Modeling for an Integrated PLM and CSP Framework for Configuration Design. *Computer-Aided Design & Applications*, 2(1-4), pp.223-232.
- Loureiro, G. Leaney, P.G. & Hodgson, M., 2004. A systems engineering framework for integrated automotive development, *Systems Engineering*, 7(2), pp.153-166.
- Mannisto, T. Peltonen, H. Martio, A. & Sulonen, R., 1998. Modeling generic product structures in STEP. *Computer-Aided Design*, 30(14), pp.1111-1118.
- Matias, J.C.H. Garcia, H.P. Garcia, J.P. & Idoipe, A.V., 2008. Automatic generation of a bill of materials based on attribute patterns with variant specifications in a customer-oriented environment. *Journal of Materials Processing Technology*, 199(1-3), pp.431-436.
- Messaadia, M. Jamal, M.H. & Sahraoui, A.E.K., 2005. Systems engineering processes deployment for PLM. *Proceedings of International Conference on Product Lifecycle Management (PLM'05)*, pp.282-291.
- Moon, K.T. Yang, Y.S. Youn, Y.P. & Ryu, W.S., 2010. The Study on Risk and Redundancy Assess, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(1), pp.76-87.
- Ozkaya, I. & Akin, O., 2007. Tool support for computer-aided requirement traceability in architectural design: The case of Design track. *Automation in Construction*, 16(5), pp.674-684.
- Price, M. Raghunathan, M. & Curran, R., 2006. An integrated systems engineering approach to aircraft design. *Progress in Aerospace Sciences*, 42(4), pp.331-376.
- Roy, R. Kerr, C.I.V. Sackett, P.J. & Corbett, J., 2005. Design Requirements Management using an Ontological Framework. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 54(1), pp.109-112.
- Svensson, D. & Malmqvist, J., 2001. Integration of Requirement Management and Product Data Management Systems. *Proceedings of DETC2001/CIE-21246 ASME 2001 Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference*.
- Structured Software Systems Ltd., 2010. *Cradle Tutorial*. <http://www.threesl.com>
- White, S.M., 2009. Modeling a System of Systems to Analyze Requirements. *Proceedings of IEEE SysCon 2009-3rd Annual IEEE International Systems Conference*, pp.83-89.
- W3C, 2004. *Resource Description Framework (RDF)*. <http://www.w3c.org/RDF/>



김승현

이장현

한은정