계층적 참조 온톨로지 기반의 제품정보 간 상호운용성 확보

Product Data Interoperability based on Layered Reference Ontology

서원철(Wonchul Seo)*, 이순재(Sunjae Lee)*, 김광수(Kwangsoo Kim)**
김병인(Byung-In Kim)*, 이재열(Jae Yeol Lee)***

초 록

오늘날의 제품개발환경은 다양한 역량을 가진 참여자들의 가상조직 구성을 통한 협업을 요구하고 있으며, 참여자들 사이의 협업은 제품 개발 관련 정보들의 교환을 바탕으로 이루어진다. 제품정보의 효율적인 교환을 지원하기 위하여 본 논문에서는 제품정보에 대한 시맨틱스를 기반으로 가상조직 내 모든 애플리케이션 도메인들이 서로의 제품정보모델을 이해하고 이를 바탕으로 제품정보모델 사이의 상호운용성을 확보할 수 있도록 참조 온톨로지인 Reference Domain Ontology(RDO)를 제안하고 이를 이용한 방법론을 제시한다. RDO는 가상조직에 참여하는 모든 애플리케이션 도메인의 제품정보모델과 메타모델에 대한 시맨틱스를 포함함으로써 협업에서 발생 가능한 제품정보모델 교환의 지연요소를 제거한다. RDO는 가상조직이 형성될 때 생성되며 가상조직의 변화에 능동적으로 대응하고 가상조직이 소멸되면 함께 사라지는 등 민첩하고 일시적인 특성을 지닌다. 이를 위하여 RDO는 상위 온톨로지를 이용한 *top-down*과 가상조직 내 애플리케이션 도메인 온톨로지의 병합을 기반으로 하는 *bottom-up*의 복합적 접근법으로 구축된다.

ABSTRACT

In order to cope with the rapidly changing product development environment, individual manufacturing enterprises are forced to collaborate with each other through establishing a virtual organization. In collaboration, designated organizations work together for mutual gain based on product data interoperability. However, product data interoperability is not fully facilitated due to semantic inconsistency among product data models of individual enterprises. In order to overcome the semantic inconsistency problem, this paper proposes a reference ontology, Reference Domain Ontology(RDO), and a methodology for product data interoperability with semantic consistency using RDO. RDO describes semantics of product data model and metamodel for all application domains in a virtual organization. Using RDO, application domains in a virtual organization can easily understand the product data models of others. RDO is agile and temporal such that it is created with the formation of a virtual organization, copes with changes of the organization, and disappears with the vanishment of the organization. RDO is built by a hybrid approach of *top-down* using a upper ontology and *bottom-up* based on the merging of ontologies of application domains in a virtual organization. With this methodology, every domain in a virtual organization can achieve product data model interoperability without model transformation.

키워드 : 협업적 제품개발, 가상조직, 제품정보, 계층적 온톨로지
Collaborative Manufacturing, Virtual Organization, Product Data, Layered Ontology

* 포항공과대학교 산업경영공학과
** 포항공과대학교 산업경영공학과, 교신저자
*** 전남대학교 산업공학과

1. 서 론

제품개발에서 급변하는 생산 환경에 능동적으로 대응하고 다양한 고객의 요구를 충족시키기 위하여 기업들 사이에 가상조직(virtual organization) 형성을 통한 협업의 중요성이 증가하고 있다. 가상조직을 통한 협업적 제품개발(collaborative manufacturing)은 다양한 참여자들이 공동의 목표를 가지고 일관되게 프로세스를 운용할 수 있도록 지원함으로써 제품개발의 환경변화에 대한 민첩성을 향상시키고 궁극적으로 기업 경쟁력을 증강시킨다[7]. 협업적 제품개발을 위해 가장 중요한 요소는 제품개발의 라이프사이클 전반에서 참여자들 간 제품정보의 원활한 흐름과 상호운용성(interoperability)을 확보하는 것이다. 참여자들 사이에 실시간으로 정보가 전달되고 공유되게 함으로써 제품개발 프로세스에서 발생가능한 지연요소를 제거할 수 있고 이를 바탕으로 효율적인 협업적 제품개발환경을 구축할 수 있다.

제품정보의 원활한 흐름 확보를 기반으로 참여자들은 공유되는 정보의 의미를 정확하고 완전하게 이해할 수 있어야 한다. 이러한 정보 의미의 효율적인 이해를 지원하기 위하여 온톨로지(ontology)를 활용한 연구가 진행되고 있다[8]. 온톨로지는 다음과 같이 정의된다[3].

"Ontology is a formal explicit specification of a shared conceptualization."

애플리케이션 도메인은 온톨로지를 통해 자신의 제품정보에 대한 시맨틱스(semantics)를 체계적으로 기술한다. 온톨로지는 제품정보모델이 지니는 의미를 명확하게 정의하기 때문에 다른 도메인들에서도 시맨틱스를 기술하는 온톨로지를 참조함으로써 그 도메인이 정의하고 사용하는 제품정보모델을 정확하게 파악할 수 있다. 그러므로 애플리케이션 도메인 사이의 제품정보 간 상호운용성을 확보하기 위해서는 제품정보에 대한 시맨틱스를 제공하는 온톨로지 간 통합이 기반이 되어야 한다.

온톨로지는 표현하는 내용의 추상화(abstraction) 레벨에 따라 크게 상위 온톨로지(upper ontology), 중위 온톨로지(mid-level ontology), 도메인 온톨로지(domain ontology)로 구분할 수 있다[17]. 상위 온톨로지는 기본적이고 일반적이며, 도메인에 독립적인 개념들의 시맨틱스를 정의한다. 하위 레벨의 온톨로지는 상위 온톨로지에서 정의한 일반적인 개념들을 이용하고 확장하여 구축된다. 상위 온톨로지는 한번 표준으로 정해지면 다른 많은 도메인 온톨로지에서 재사용이 가능하고 상위 온톨로지에서 정의된 개념을 이용한 부분에 대해서는 도메인 온톨로지 간 통합도 지원할 수 있다[1].

본 논문에서는 급변하는 제품개발환경에 능동적으로 대응하고 도메인 간 가상조직 형성을 통한 협업을 지원할 수 있도록 제품정보 간 상호운용성 확보를 위하여 도메인 온톨로지들의 통합을 기반으로 참조 온톨로지를 구축하고 이를 이용하는 방법론을 제안한다. 추상화 레벨에 따른 체계화된 계층적 온톨로지(layered ontology)는 가상조직 내의 애플리케

이션 도메인 온톨로지들로부터 빠르게 참조 온톨로지를 구축할 수 있도록 돕고, 다른 가상조직의 참조 온톨로지들과의 통합도 지원한다. 각 애플리케이션 도메인 온톨로지는 표준인 상위 온톨로지를 확장하여 구축되어 각 도메인 온톨로지의 개념들 간에 연관관계를 부여할 수 있고, 이를 바탕으로 참조 온톨로지에서도 상위 온톨로지와의 연결 관계를 생성할 수 있기 때문이다. 각 애플리케이션 도메인 온톨로지들로부터 병합되어 구축된 참조 온톨로지는 가상조직 내 모든 도메인의 제품정보모델에 대한 시맨틱스를 포함함으로써 협업에 참여하는 도메인들에게 다른 도메인의 제품정보모델을 의미적으로 이해할 수 있도록 지원한다. 참조 온톨로지는 협업을 위한 가상조직이 생성되었을 때 생성되며 참여자들의 변화에 대응하고 가상조직의 소멸과 함께 사라지는 등 민첩하고 일시적인 특성을 가진다. 이와 같이 본 논문의 목적은 온톨로지 체계화를 기반으로 가상조직 내 모든 애플리케이션 도메인 온톨로지의 병합을 통해 통합된 형태의 참조 온톨로지를 구축하고 모든 도메인의 제품정보모델에 대한 시맨틱스를 기술하는 참조 온톨로지를 이용하여 각 도메인 간 제품정보 사이의 상호운용성을 확보하는 것이다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서 기존 연구를 소개하고, 3절에서는 온톨로지 기반으로 구축되는 애플리케이션 도메인의 제품정보모델링에 대해 설명한다. 4절에서는 3절에서 정의된 온톨로지 기반의 제품정보모델링 환경을 바탕으로, 각 도메인 온톨로지 사이의 병합을 이용하여 가상조직 내 모든 애플리케이션 도메인 사이의 제품정보 간 상호운용성을 확보할 수 있는 참조 온톨로지 기반의 방법론을 제시하고 이러한 방법론을 이용하는 예를 보인다. 5절에서 본 논문을 마무리하고 향후 연구과제에 대해 논의한다.

2. 기존 연구

Kim et al.[6]은 가상조직에서의 성공적인 협업적 제품개발환경 구축을 위하여 제품정보, 시스템 및 프로세스 간 상호운용성 확보가 필요함을 제시한다. 제품정보 간 상호운용성 확보는 비즈니스 참여자들 사이에서 제품정보에 대한 이해를 돕고 효율적인 의사소통 및 정보공유를 가능하게 하여 시스템 및 프로세스 사이의 상호운용성 확보를 위한 기반이 되어 궁극적으로 협업적 제품개발환경의 구축을 지원할 수 있음을 보여준다[6].

기존의 많은 연구들은 제품정보 간 공유를 위해서 모든 애플리케이션 도메인에서 사용되는 제품정보와의 변환을 지원할 수 있는 표준의 정의에 초점을 맞추고 있다. 이러한 대표적인 표준으로 솔리드 모델의 데이터를 위한 ISO 10303이 있다. STandard for the Exchange of Product model data(STEP)으로 알려진 ISO 10303은 제품개발의 전체적인 라이프사이클에 걸쳐서 필요한 관련 정보의 공유를 가능하도록 중립적 파일 포맷형태를 제시하며, source-to-neutral / neutral-to-target과 같이 2-stages 기반으로 제품정보 교환을 수행하도록 지원한다[14]. 그러나 ISO 10303은 Computer-Aided Design(CAD) 시스템들 사이에서 형상과 관

련된 기하학적 제품정보의 교환에 초점을 맞추고 있기 때문에, 기하정보가 아닌 제품관련 정보가 교환 과정에서 손실될 수 있다[13]. 예를 들어, 특정 도메인이 제품정보 자체와는 별개로 효율적인 제품설계에 도움이 될 수 있는 설계자의 의도와 같은 연관된 정보를 보유하고 있더라도 ISO 10303을 통하여 제품정보를 교환하게 되면 그러한 관련된 유용한 정보의 손실이 발생하게 된다.

Process Specification Language(PSL)는 제품생산과 관련된 프로세스 전반에서 필요로 하는 데이터의 공유를 위한 온톨로지를 제시한다[12]. 이러한 온톨로지를 기반으로 다양한 제품생산 프로세스를 관리하는 애플리케이션들은 프로세스에 관련된 데이터를 서로 공유 및 교환할 수 있게 된다. 하지만 PSL은 제품생산 프로세스에 관련된 데이터의 중립적 온톨로지 구축과 이를 이용한 데이터 통합이 목적이다.

이미 언급된 ISO 10303의 단점을 극복하고 제품정보 간 상호운용성 확보를 지원하기 위해 Patil et al.[13]은 각각의 CAD 시스템들 사이에서 시맨틱 상호운용성을 확보하기 위한 요구사항을 제시한다. 이에 따라, 모든 시스템에서 사용되는 개념들의 시맨틱스를 정의하는 중립적 온톨로지를 이용하여 2-stages로 시스템 간 제품정보에 사용되는 개념의 변환을 지원하고자 한다. 이는 각 도메인의 온톨로지 내에 존재하는 개념들 사이의 1-to-1 매핑을 가정한다. 하지만 각 도메인은 자신만의 제품정보의 시맨틱스 정의를 위한 개념들을 바탕으로 온톨로지를 구축하기 때문에 도메인 사이에서 개념들간 1-to-1 매핑이 되지 않는 경우가 많다.

Roser et al.[15]은 일반적인 모델 간 변환을 지원하기 위하여 메타모델에 대한 시맨틱스를 정의하는 온톨로지 기반의 방법론을 제시한다. 이 방법론은 메타모델의 온톨로지 간 변환을 통해 메타모델 사이의 변환을 구성하고 이를 바탕으로 모델을 변환하는 과정으로 구성된다. 하지만 전체적인 프레임워크만 제시할 뿐, 온톨로지 간 통합의 구현방법과 메타모델과 온톨로지 간의 바인딩 방법에 대해서는 제시하지 않고 있다.

최근에는 모델 간 변환을 위해 온톨로지를 통한 시맨틱스 통합이 중요해지면서 많은 연구들이 온톨로지 간 변환 및 통합에 초점을 맞추고 있다. Noy[10]는 시맨틱스 통합을 지원하기 위한 방법을 휴리스틱 기반과 여러 도메인 사이에서 공유 가능한 상위 온톨로지 기반으로 구분하고 이를 구현하는 여러 방법론에 대해 소개한다.

Semy et al.[17]은 추상화의 레벨에 따라 온톨로지를 3가지 계층으로 나누며 각 도메인 온톨로지는 상위 온톨로지를 기반으로 구성되어 도메인 온톨로지 사이의 변환을 지원하도록 한다. 대표적인 상위 온톨로지에는 Suggested Upper Merged Ontology(SUMO)와 Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering(DOLCE) 온톨로지가 있다. SUMO는 데이터의 상호운용성과 올바른 정보검색 및 추론을 지원하기 위한 목적으로 기존에 제시된 다양한 상위 온톨로지들의 병합을 통해 개발되었다[9]. DOLCE 온톨로지도 에이전트들 사이에서 사용되는 개념들의 의미에 대해 일치된 합의를 가질 수 있도

록 함으로써 궁극적으로 에이전트들 사이의 효율적인 협업을 지원하기 위한 목적으로 개발되었다[2]. 이와 같은 상위 온톨로지를 기반으로 각 애플리케이션 도메인 온톨로지들을 구축함으로써 상위 온톨로지 내에서 같은 개념을 바탕으로 생성된 도메인 온톨로지들 내의 개념들은 서로 연관관계를 가지게 된다. 하지만 이를 바탕으로 도메인 온톨로지 간 통합을 하기에는 무리가 있다. 왜냐하면 각 애플리케이션 도메인 온톨로지는 기본적으로 상위 온톨로지에 정의되어 있는 개념들을 기반으로 구성되지만, 자신의 도메인에서 필요로 하는 개념에 대해서는 추가로 정의하거나 상위 온톨로지 내의 개념을 확장하여 기술할 수 있기 때문이다. 즉, 상위 온톨로지 내의 같은 개념을 확장하여 사용한 다른 두 애플리케이션 도메인 온톨로지의 개념들은 서로 다른 의미를 가질 수 있게 되기 때문에 이들 간 통합이 상위 온톨로지만을 기반으로 이루어지기에는 무리가 있다.

본 논문에서는 효율적인 협업을 지원하기 위하여 기존연구들의 단점을 극복하고, 애플리케이션 도메인 사이의 제품정보 간 상호운용성을 확보할 수 있는 방법론을 제안한다.

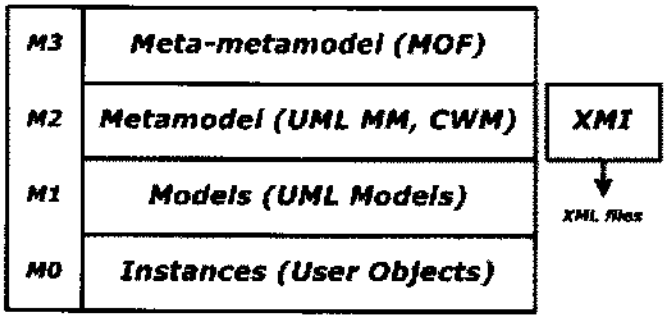
3. 온톨로지 기반의 제품정보 모델링

각 애플리케이션 도메인의 제품정보모델링은 Object Modeling Group(OMG)에서 제안하는 Model Driven Architecture(MDA)의 4-layer 메타모델 아키텍처[11]에 기반을 둠을 가정한다. 이는, 아키텍처를 통해 제품정보모델을 정확하고 엄밀하게 표현할 수 있고 메타모델을 이용하여 다른 정보모델과의 호환성 확보에도 도움을 받을 수 있기 때문이다. 하지만 애플리케이션 도메인 사이의 제품정보모델 간 상호운용성을 확보하기 위해서는 제품정보모델을 기술하는 메타모델과 모델 자체에 대한 정확한 시맨틱스가 필요하다. 그러므로 각 도메인은 제품정보모델과 함께 시맨틱스를 부여하기 위하여 온톨로지를 정의해 주어야 한다. 이러한 도메인 온톨로지는 효율적인 호환성 확보를 위하여 상위 온톨로지를 기반으로 구축된다.

3.1. MDA의 4-layer 메타모델 아키텍처 기반의 제품정보모델링

MDA는 <그림 1>과 같이 MOF(Meta Object Facility)라는 표준 메타모델 정의 언어를 기반으로 각 컴포넌트 기술요소의 메타모델을 정의함으로써 모든 컴포넌트 기술요소들의 호환성 및 시스템 간 동작성을 보장한다.

M3 layer의 메타메타모델은 메타모델의 필수요소와 문법 및 구조를 정의하는 것으로서, OMG는 MOF를 표준으로 제안한다. M2 layer의 메타모델은 M1 layer에서 정확한 모델을 구성할 수 있도록 모델링 언어를 명시적으로 정의한다. 모델링 언어는 표현하고자 하는 모델의 목적에 따라 다양하지만 OMG는 Unified Modeling Language(UML)와 Common Warehouse Metamodel(CWM)을 표준으로 제안한다[16]. M1 layer는 메타모델의 명시적 정의에 따라 특정 모델링 언어를 이용하여 표



〈그림 1〉 MDA 4-layer 메타모델 아키텍처

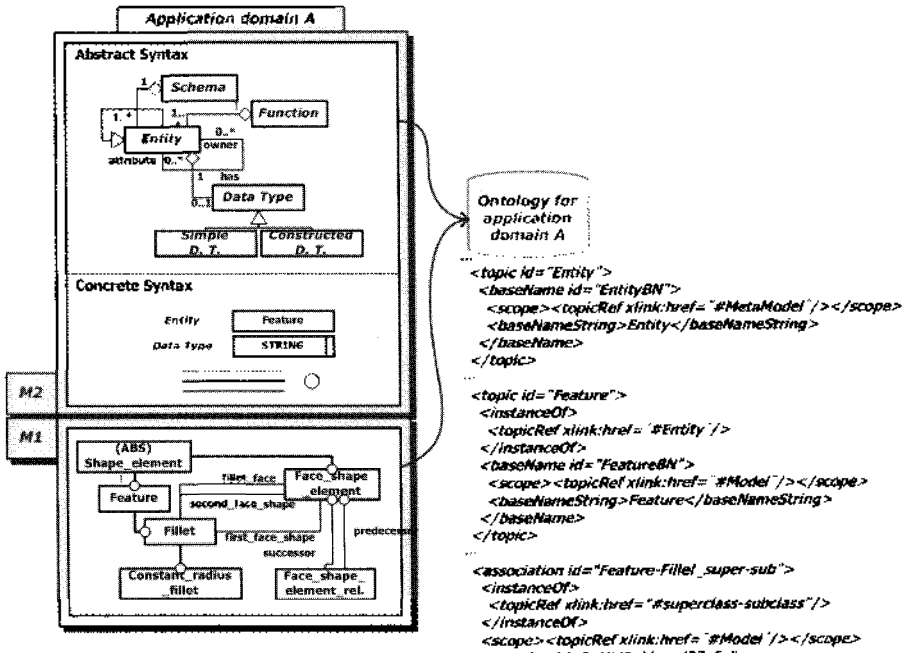
현한 모델이며 XML Metadata Interchange(XMI)는 XML 기반 데이터 관리를 위한 표준으로 MOF 기반 모델을 XML로 매핑하기 위한 표준 사양이다.

이와 같은 4-layer 메타모델 아키텍처에 따라 각 애플리케이션 도메인은 자신의 메타모델을 정의하고 이를 바탕으로 제품정보모델을 구성한다.

3.2. 제품정보모델의 시맨틱스를 위한 도메인 온톨로지

애플리케이션 도메인 사이의 제품정보 간 상호운용성을 확보하기 위하여 각 도메인 온톨로지는 메타모델과 모델에서 사용하는 개념 및 개념 간 관계 그리고 모델 정의에 필요한 제한요소 등을 포함한다. 본 논문에서 제시하는 방법론에 대한 이해를 돕기 위해 가상의 애플리케이션 도메인 A를 정의한다. 〈그림 2〉는 도메인 A의 제품정보모델을 위한 메타모델과 그에 따른 모델 그리고 온톨로지와의 관계를 나타내며 3절 및 4절에서 예제로 사용하는 제품정보모델과 온톨로지는 Patil et al.[13]에서 참조하여 구축하였다. 도메인 A는 EXPRESS-G[4]에 대한 메타모델을 정의하고 이를 기반으로 제품정보모델을 구성하며 제품정보모델 사이에서 시맨틱스 기반으로 상호운용성 확보를 지원하고자 Topic Maps[18]를 이용하여 온톨로지를 정의한다.

온톨로지 정의를 위한 언어로는 Topic Maps 외에도 W3C에서 표준으로 인정한 Web Ontology Language(OWL)[19] 등이 있으나 Topic Maps에서 제공하는 여러 기능을 활용하여 효율적으로 온톨로지를 관리할 수 있기 때문에 본 논문에서는 Topic Maps를 이용한다. 예를 들어, 도메인 온톨로지는 메타모델과 모델을 위한 모든 개념들이 혼재하여 존재하기 때문에 이들을 효율적으로 관리해줄 필요가 있다. 즉, 메타모델의 요소와 모델의 요소를 하나의 온톨로지에서 다루고 있지만 필요에 따라 이들을 구분해줄 필요가 있는 것이다. 이를 위하여 Topic Maps의 *scope* 기능을 이용할 수 있다. Topic Maps에서는 각 개념을 나타내는 *topic*의 *baseName*과 개념 간 관계를 위한 *association*, *occurrence*에 *scope*을 부여할 수 있어 각 요소의 특성이 유효한 범

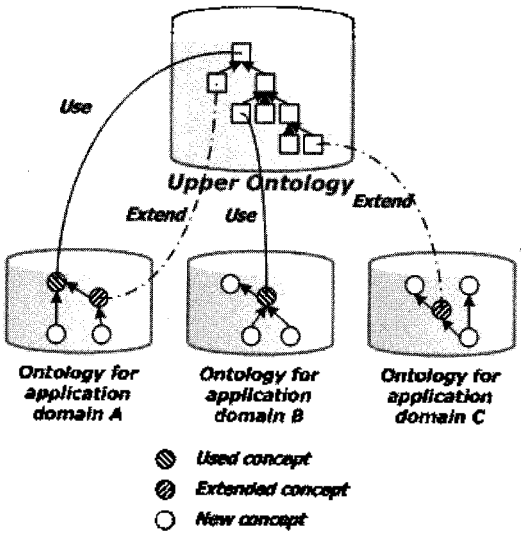


〈그림 2〉 예제 도메인 A의 부분적인 제품정보모델과 온톨로지

위를 지정할 수 있다[18]. 이러한 *scope*에 메타모델 또는 모델을 포함시킴으로써 특정 *topic*과 *association*이 포함되는 범위를 지정할 수 있다. 예를 들어 〈그림 2〉의 **Entity** *topic*은 메타모델에 정의되어 있는 요소로서 *scope*으로 **MetaModel**이 부여되어 있고, **Feature** *topic*과 **Feature-Fillet** *association*은 모델에 정의되어 있는 요소로서 **Model**이 *scope*으로 부여되어 있다.

3.3. 상위 온톨로지 기반의 도메인 온톨로지 구축

각 애플리케이션 도메인 온톨로지는 도메인에 특화된 개념을 정의하기 때문에 같은 개념일지라도 도메인이 다르면 의미도 다르게 해석될 수밖에 없다. 반면 상위 온톨로지는 도메인에 대해 독립적이며, 기본적이고 모든 도메인에서 사용되는 개념들을 정의한다. 잘 정의된 상위 온톨로지는 지속적인 재사용을



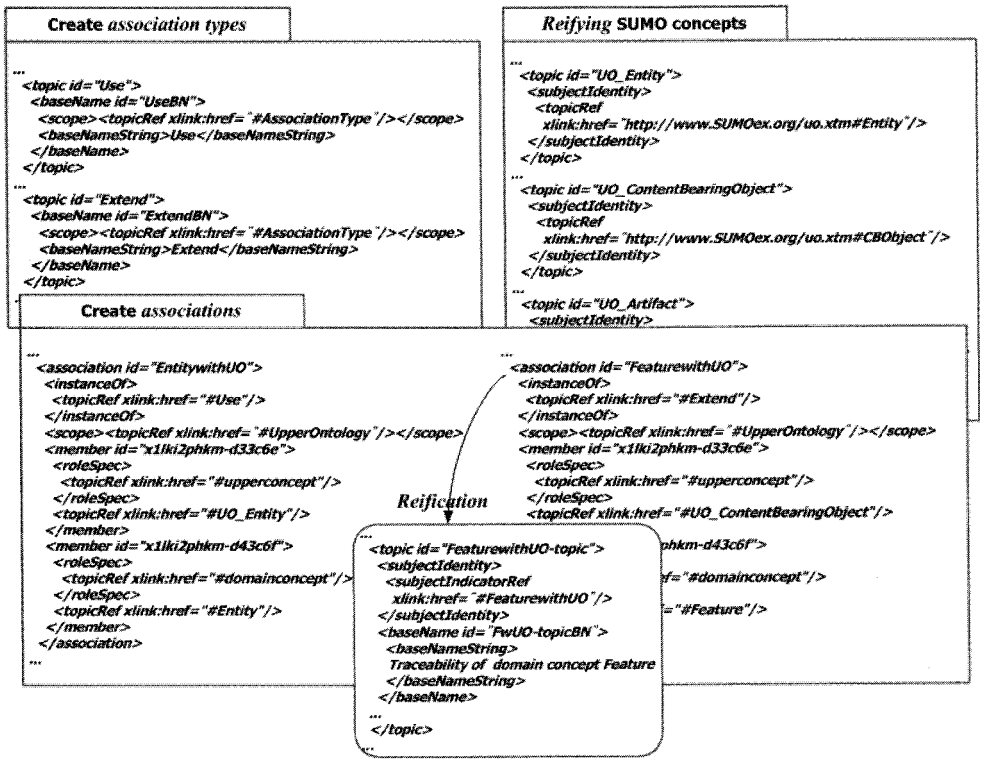
〈그림 3〉 상위 온톨로지 기반의 도메인 온톨로지

통해 여러 도메인 온톨로지의 효율적인 구축을 돕고 시맨틱스 기반의 통합과 검색을 지원한다[17]. 〈그림 3〉은 이러한 상위 온톨로지를 기반으로 각 도메인 온톨로지가 정의됨을 나타낸다.

모든 도메인은 자신의 온톨로지 구축을 위하여 상위 온톨로지에 이미 정의되어 있는 개념을 그대로 사용하거나(**Use**) 확장하여 사용하며(**Extend**) 또는 도메인 자체의 필요에 따라 새롭게 정의하여 사용한다(**New**). 상위 온톨로지 기반으로 도메인 온톨로지 간 통합을 구현하기 위해서는 지칭하는 상위 온톨로지 내의 개념을 파악할 수 있어야 한다. 이를 위하여 상위 온톨로지도 Topic Maps를 기반으로 구성됨을 가정하고 *association*을 이용한다. *Association*은 *topic*들 간의 관계를 규정하는 것으로서, 도메인 온톨로지의 *topic*과 이것이 지칭하는 상위 온톨로지의 *topic*을 특정 *association*을 통해 연결시킬 수 있다. 이는 다음과 같은 과정을 통해 구현된다.

- Step 1 : 도메인 온톨로지의 개념과 상위 온톨로지 개념의 연관관계규정
- Step 2 : 연관관계에 따라 필요한 *association type*(e.g. **Use** or **Extend**) 생성
- Step 3 : *association type*에 따라 연관관계를 의미하는 *association* 생성

Topic Maps에서는 *reification*을 이용하여 *association*에 추가적인 의미를 부여할 수 있다. 도메인 온톨로지와 상위 온톨로지 간의 연관관계를 규정하는 각 *association*을 *reify*하여 연관관계의 의미를 정의함으로써 시맨틱스 기반 관리가 가능해진다. 물론 새로운 *type*의 *association*은 도메인 온톨로지를 혼잡하게



〈그림 4〉 상위 온톨로지인 SUMO를 이용한 예제 도메인 A의 부분적 온톨로지

만들 우려가 있으나 이 또한 *scope*을 활용함으로써 도메인 모델에 대한 시맨틱스와 구별하여 관리할 수 있다.

〈그림 4〉는 상위 온톨로지인 SUMO를 이용하여 구축한 예제 도메인 A의 부분적 온톨로지를 나타낸다. 우선 위에서 제시한 과정에 따라 연관관계에 필요한 *association type*을 생성하고 도메인 온톨로지에서 필요로 하는 SUMO 내의 개념들에 대하여 예제 도메인 A 안에서 사용할 수 있도록 *reification*을 통하여 *topic*화 한다. 예제의 간략성을 위하여 SUMO 내의 개념들만을 고려하였다. 이를 바탕으로 실제 연관관계를 기술하는 *association*을 생성하며 *reification*을 통하여 추가적으로 의미를 부여할 수 있다.

4. 시맨틱스 통합을 위한 Reference Domain Ontology

효율적인 협업을 지원하기 위하여 가상조직에 참여하는 애플리케이션 도메인 간 온톨로지의 통합이 매우 중요하다. 본 논문에서는 이러한 온톨로지 통합을 위하여 가상조직 내의 참조 온톨로지인 Reference Domain Ontology(RDO)를 제안한다. RDO는 가상조

직 내 모든 애플리케이션 도메인 온톨로지의 병합을 기반으로 구성되기 때문에 모든 참여자의 제품정보모델에 대한 시맨틱스를 정의할 수 있다. 그러므로 가상조직 내 참여자들은 RDO를 바탕으로 모든 다른 도메인의 제품정보에 대한 시맨틱스를 이해할 수 있게 되고 궁극적으로 제품정보 사이의 상호운용성을 확보할 수 있다. RDO 역시 Topic Maps의 장점을 활용하여 구축된다.

이미 언급한 것처럼 급변하는 생산 환경의 변화에 능동적으로 대처하기 위해서는 민첩성 확보가 중요하다. 이러한 민첩성 확보를 위해 RDO에 대한 효율적인 관리방법론이 필요하다.

4.1. Reference Domain Ontology의 구축

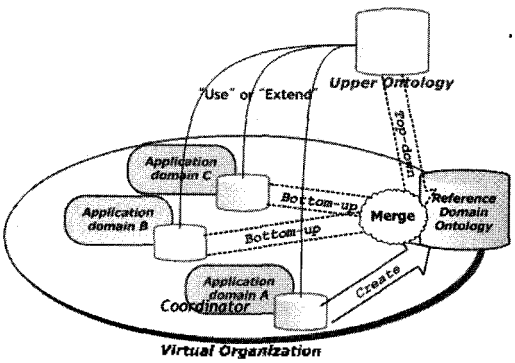
RDO는 〈그림 5〉와 같이 우선 가상조직의 조정자(coordinator) 역할을 하는 애플리케이션 도메인의 온톨로지로부터 생성되며, 가상조직에 참여하는 모든 도메인 온톨로지들의 병합을 기반으로 *top-down*과 *bottom-up*으로 구축된다.

■ *Top-down*

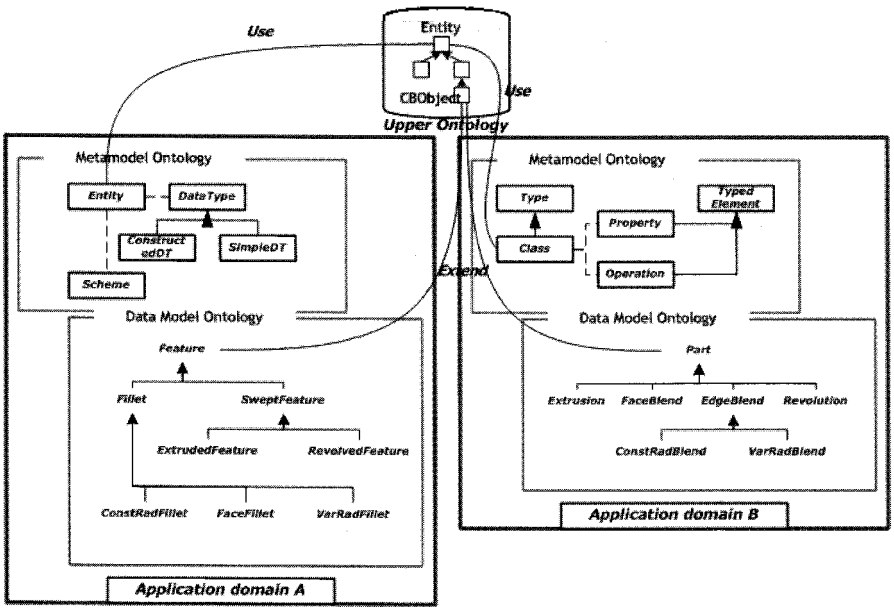
3.3절의 도메인 온톨로지와 상위 온톨로지 간의 시맨틱스 기반 연계를 바탕으로, 애플리케이션 도메인 온톨로지에서 상위 온톨로지를 이용(**Use** or **Extend**)하여 구성된 개념에 대해서는 상위 온톨로지를 기반으로 RDO를 구축한다. 이는 여러 도메인 온톨로지에서 정의하는 기본적이고 일반적인 개념에 대한 중복을 방지하고 다른 가상조직의 참조 온톨로지와의 통합을 위한 기반이 된다.

■ *Bottom-up*

각 도메인에서 정의하는 제품정보에 대한 시맨틱스를 모든 참여자들이 이해할 수 있도록 가상조직의 조정자로부터 생성된 RDO에 다른 참여자들의 온톨로지를 병합한다. 중복을 방지하고 효율적인 병합을 지원하기 위해서는 RDO에 대한 시맨틱스 검색이 선행되어야 한다. 이를 바탕으로 각 애플리케이션 도메인 온톨로지는 선택적으로 RDO에 병합될



〈그림5〉 가상조직을 위한 RDO 구축

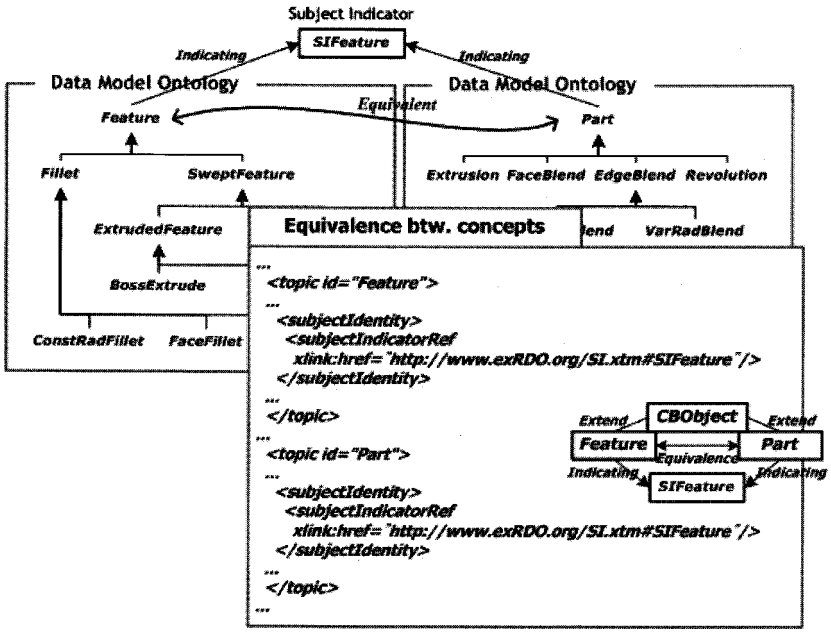


〈그림 6〉 가상조직형성을 통한 협업을 수행하고자 하는 두 도메인의 부분적 온톨로지

수 있다. RDO는 Topic Maps를 기반으로 하기 때문에 이러한 시맨틱스 검색은 Topic Maps Query Language(TMQL)을 이용할 수 있다. TMQL은 ISO/IEC 공동연구를 통해 현재 working draft 상태이며 Topic Maps로 구성된 데이터에 대해 포괄적인 검색을 지원한다[5].

병합된 RDO 내의 요소들에 대한 일관성을 확보하고 효율적인 관리를 지원할 수 있도록 각 요소들은 자신이 속한 애플리케이션 도메인을 인지할 수 있어야 한다. 이 또한 Topic Maps의 *scope* 부여를 통해 가능하다. *Scope*을 통하여 RDO의 요소들에 대한 여과능력을 확보할 수 있기 때문에 애플리케이션 도메인의 변화에 RDO의 요소들을 능동적으로 변화시킬 수 있어, 궁극적으로 가상조직 환경의 급격한 변화에 대해 민첩하게 대응할 수 있다.

〈그림 6〉은 가상조직을 형성하고 RDO 기반으로 제품정보모델을 공유하여 협업을 수행하고자 하는 가상의 애플리케이션 도메인 A와 B의 부분적인 온톨로지를 나타낸다. 간략하게 예제를 설명하기 위하여 온톨로지는 각 도메인에서 사용하는 개념들만 고려하였으며, 이들 간 상속관계 기반의 구조적인 모델만을 표현하였다. 우선 가상조직의 조정자 역할을 하는 도메인 A의 온톨로지로부터 RDO를 생성한다. 그리고 참여자인 B의 도메인 전문가에 의해 도메인 B의 온톨로지를 *top-down*과 *bottom-up*으로 RDO에 병합한다. Topic Maps는 기본적으로 *topic*들 간 병합을 지원하지만 이는 *topic*이 가지는 이름이나 지칭하는 *subject*에 의한 것으로서 서로 다른 도메인 온톨로지들 사이의 병합을 지원하기위해서는 시맨틱스 기반으로 개념 간 대등

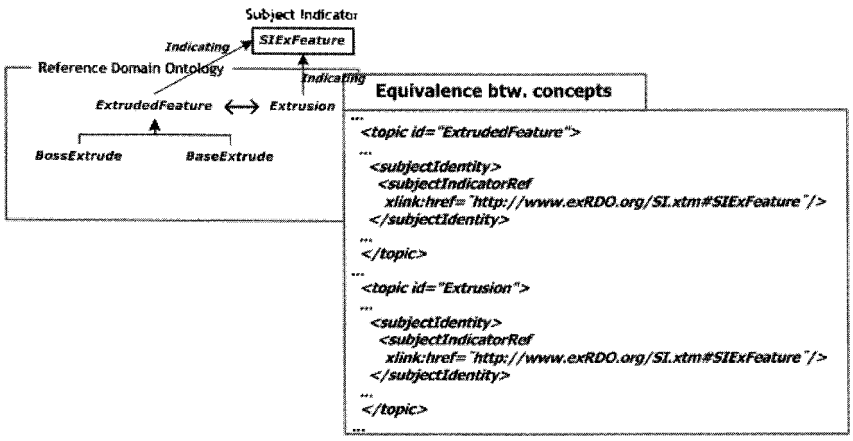


〈그림 7〉 상위 온톨로지 기반으로 도메인 B 온톨로지의 **Part** *topic* 병합

관계의 파악이 선행되어야 한다. 그 후, Topic Maps에서 제공하는 기본적인 병합기능을 이용하여 RDO를 정리한다. 예를 들어, 하나의 *topic*이 이미 RDO에 정의되어 있는 다른 *topic*과 의미적으로 대등하다면 이들이 같은 *subject*를 지칭하도록 수정하고 Topic Maps의 기본 기능을 통해 두 *topic*을 병합한다.

■ *Top-down의 예*

B의 도메인 전문가는 도메인 A의 온톨로지를 통해 구축된 RDO에서 상위 온톨로지를 기반으로 하는 개념들과 도메인 B의 온톨로지에서 상위 온톨로지를 이용하는 개념들에 대한 평가를 수행하고 이를 기반으로 B의 온톨로지를 RDO에 병합시킨다. 〈그림 6〉에서 도메인 A의 메타모델 온톨로지에 포함된 **Entity**와 B의 **Class**는 상위 온톨로지의 **Entity**를 사용한다(**Use**). 이는 상위 온톨로지에 정의된 **Entity**가 가지는 속성을 그대로 가져와 사용하기 때문에 대등하게 보고 이들을 병합한다. 또한 도메인 A의 데이터모델 온톨로지에 포함된 **Feature**와 B의 **Part**는 상위 온톨로지의 **CBObject**의 속성을 확장하여 사용한다(**Extend**). 이 경우, 3.3절에서 설명한 것과 같이 도메인 A는 *reification*을 통해 **Feature-CBObject** *association*에 대한 시맨틱 정보를 온톨로지에 정의하였기 때문에 이에 대한 검색을 통해 도메인 B의 **Part**와 비교 및 대등평가를 수행할 수 있다. 이러한 시맨틱 기반의 검색 서비스는 구축된 RDO의 데이터에 대한 그래픽 기반의 navigation 모듈과 TMQL 기반의 검색 모듈 등을 통해 도메인 B의 전문



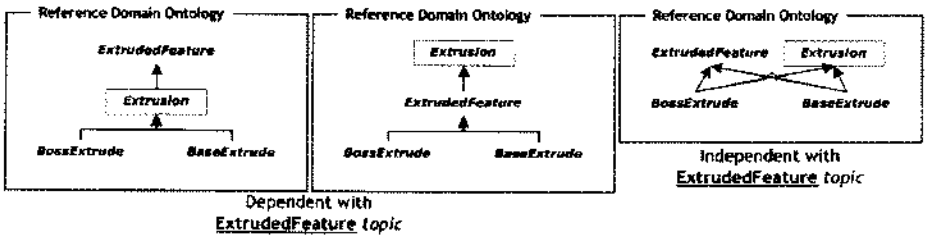
〈그림 8〉 1-to-1 대등한 경우, 도메인 B 온톨로지의 **Extrusion** *topic* 병합

가에게 제공되며, 이를 바탕으로 병합하고자 하는 개념들 사이의 대등평가가 이루어진다. 〈그림 7〉은 *top-down*으로 도메인 B의 **Part**를 병합시킨 결과이며, 이는 RDO 내에 새로운 *subject*를 위한 *subject indicator*를 생성하고 이를 *topic*에서 *subjectIdentity*로 지칭함으로써 표현된다. 모든 온톨로지가 정리되고 난 후, 이들은 Topic Maps 고유의 특성에 따라 같은 *subject*를 지칭하는 하나의 *topic*으로 합쳐지게 된다. **Part** *topic*의 병합으로 인해 **Part**와 관계가 있는 다른 *topic*들도 영향을 받게 되는데, 상위 온톨로지를 이용하여 대등관계가 성립하는 부분은 위와 같은 과정으로 병합되고 상위 온톨로지를 이용하지 않거나 대등관계가 성립되지 않는 부분은 *bottom-up* 기반으로 병합이 이루어진다.

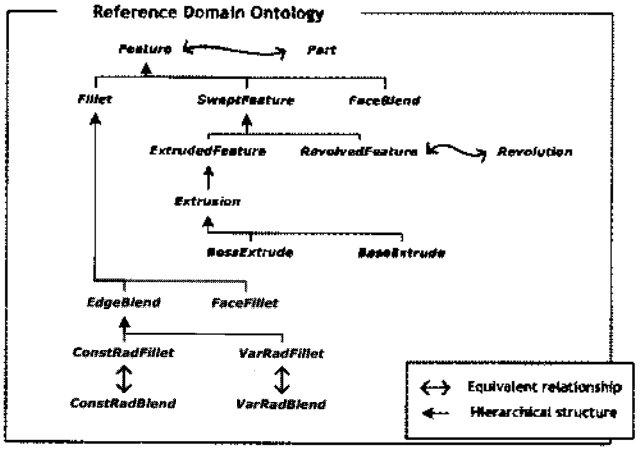
■ *Bottom-up의 예*

구축된 RDO의 시맨틱스를 참조하여 B의 도메인 전문가는 개념들 사이의 대등평가를 수행하며, 이에 따라 B의 개념들을 RDO에 추가함으로써 병합을 수행한다. 이는 크게 개념 사이의 1-to-1 대등관계가 성립하는 경우와 그렇지 않은 경우로 구분할 수 있다. 우선 〈그림 8〉은 도메인 A에 의해 RDO에 포함된 **ExtrudedFeature**와 B의 **Extrusion**의 대등평가에 따라 병합된 결과를 보여준다. 그러나 대부분의 제품정보와 메타모델을 위한 개념들은 이러한 1-to-1 대등관계가 성립하지 않으므로 이들을 기존 RDO의 개념들에 시맨틱스를 기반으로 하여 구조적으로 옳은 의미를 가지도록 각 개념별로 병합하는 작업이 필요하다. 〈그림 9〉는 RDO에 도메인 B의 **Extrusion**이 병합될 수 있는 여러 구조적인 모형을 나타낸다.

이와 같이 RDO는 *top-down*과 *bottom-up*의 복합적인 접근법으로 구축되며 위에서 제시한 도메인 A와 B의 온톨로지를 병합한 예제 RDO는 〈그림 10〉과 같다. 예제는 제품정보모델과 관련된 개념들의 구조적인 모델만



〈그림 9〉 1-to-1 대등하지 않은 경우, 도메인 B 온톨로지의 **Extrusion** *topic* 병합 가능 구조적 모형

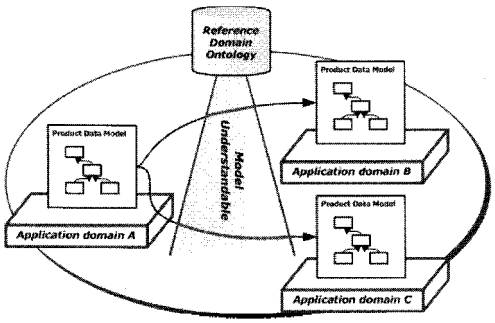


〈그림 10〉 예제 도메인 A와 B 온톨로지의 병합으로 구축된 부분적 RDO의 구조적 모델

을 보여주지만 실제 RDO는 각 도메인 온톨로지에 포함되어 있는 모든 개념들을 비롯하여 개념 간 관계 및 제한요소 그리고 제품 설계자의 의도와 같은 많은 연관된 정보를 정형화된 형태로 정의하고 있어 협업에 참여하는 여러 도메인들 사이에서 통합된 시맨틱스 기반의 제품정보 간 상호운용성을 확보할 수 있도록 지원한다.

4.2. Reference Domain Ontology를 이용한 가상조직 내의 제품정보 간 상호운용성 확보

새로운 생산 환경의 요구에 따라 협업을 위한 가상조직이 형성되면 조정자에 의해 기본 RDO가 생성되며 참여자들은 RDO를 기반으로 자신의 온톨로지를 병합시키고 RDO에 대한 접근권한을 획득함으로써 가상조직에 참여할 수 있다. 이러한 RDO는 모든 참여자들의 제품정보모델을 위한 시맨틱스를 체계적으로 기술하기 때문에, 참여자들은 서로의



〈그림 11〉 RDO 기반의 모델 이해를 바탕으로 제품정보 간 상호운용성 확보

제품정보모델에 대한 시맨틱 일관성을 유지할 수 있다. 그리고 RDO를 참조함으로써 〈그림 11〉과 같이 가상조직 내의 참여자들은 다른 참여자들의 제품정보모델을 변환하지 않고 있는 그대로의 모델을 시맨틱스 기반으로 이해할 수 있다. 메타모델과 제품정보모델의 시맨틱스를 정의하는 온톨로지를 통하여, 각 애플리케이션 도메인의 제품정보모델이 의미하는 바를 문법적(syntactic), 의미적으로 파악할 수 있기 때문이다.

본 논문에서 제시하는 *top-down*과 *bottom-up* 기반으로 구축된 RDO를 이용한 제품정보 간 상호운용성 확보를 위한 방법론은 다음과 같은 장점을 가진다 : 1) 상위 온톨로지와의 연계를 통해 여러 도메인 온톨로지들 뿐 아니라 다른 가상조직을 위한 참조 온톨로지와의 일관성 유지, 2) 상위 온톨로지 재사용을 통한 RDO 구축의 신속성 확보, 3) 가상조직 내의 모든 애플리케이션 도메인에서 정의하는 제품정보모델에 대한 시맨틱스 확보, 4) 가상조직 환경의 변화에 대한 민첩성 확보. 본 방법론은 도메인 사이에서 온톨로지 내 개념 간 1-to-1 매핑을 기반으로 하는 모델 간 변환을 요구하지 않아 통합 시맨틱스를 기반으로 신속하고 정확하게 각 도메인의 제품정보 간 상호운용성 확보를 지원할 수 있다. 하지만 본 논문의 통합 시맨틱스를 기술하는 RDO 구축 단계는 자동화되어있지 않다. 이는 민첩성을 요구하는 협업을 방해하는 요인이 된다. 비록 RDO 구축 과정의 완전 자동화는 매우 가치있는 작업이지만 이는 구현하기 매우 어려운 측면이 있어 많은 연구들은 시맨틱 유사성 및 온톨로지 사용자들의 평가 등을 기반으로 부분적 자동화를 지원하기 위해 노력한다. 그러므로 기존의 연구들을 통해 제품정보모델 간 상호운용성 기반으로 민첩한 협업을 지원하고자 하는 본 연구의 역량을 높일 수 있을 것이다.

5. 결 론

급변하는 생산 환경에 민첩하게 대응하고자 협업을 위한 가상조직을 형성하고 가상조직 내 도메인 사이에서 제품정보 간 상호운용성 확보를 위한 노력이 진행되어왔다. 협업은

가상조직 공동의 목적을 위하여 실시간으로 의사결정을 수립할 수 있도록 참여 기업들 간 제품정보모델의 상호운용성 확보를 기반으로 하여야 한다.

본 논문에서는 효율적인 협업을 지원하기 위하여 가상조직 내 각 애플리케이션 도메인의 제품정보모델을 다른 모든 도메인에서 이해할 수 있고 이를 바탕으로 제품정보 간 상호운용성을 확보할 수 있는 가상조직을 위한 참조 온톨로지인 RDO를 제시하고 이를 이용한 방법론을 제안한다. RDO는 상위 온톨로지를 이용한 *top-down*과 각 애플리케이션 도메인 온톨로지의 병합을 기반으로 하는 *bottom-up*의 복합적 접근법으로 구축된다. RDO를 통해 가상조직에 참여하는 모든 도메인의 제품정보모델과 메타모델의 시맨틱스를 통합적으로 기술함으로써 이를 기반으로 가상조직에 참여하는 모든 도메인들은 서로의 제품정보모델에 대한 이해능력을 지니게 되고 궁극적으로 제품정보모델 간 상호운용성을 확보할 수 있다. 하지만 도메인 전문가에 의한 수동적인 RDO 구축은 오류의 가능성을 내포하고 있고 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 그러므로 향후 자동적인 대등관계 도출을 통한 RDO 구축의 효율성을 높일 수 있는 연구가 필요하다. 또한 협업에 참여하는 각 도메인의 온톨로지는 시간의 흐름과 함께 변화한다. 이러한 변화에 능동적으로 대처하기 위하여 RDO가 유동성을 가질 수 있도록 가상조직 내의 참여자들 주도로 RDO에 대한 진화 관리를 지원할 수 있는 방법론에 대한 연구도 필요하다. 그리고 가상조직에서의 성공적인 협업적 제품개발환경의 구축을 위하여 이러한 제품정보 간 상호운용성 확보를 기반으로 시스템과 프로세스 간 상호운용성을 확보하기 위한 연구도 향후 수행되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] Bittner, T., Donnelly, M. and Winter, S., "Ontology and Semantic Interoperability", Large-scale 3D data integration : Problems and challenges, CRCpress (Tailor & Francis), 2005

[2] Gangemi, A., Guarino, N., Masolo, C. and Oltramari, A., "Sweetening wordnet with DOLCE", AI Magazine, Vol.24, No.3, pp.13-24, 2003

[3] Gruber, T. R., "A translation approach to portable ontology specifications", Knowledge Acquisition, Vol.5, No.2, pp.199-220, 1993

[4] ISO, "ISO 10303 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual", December 15, 1994

[5] ISO, "ISO 18048 ISO/IEC JTC1/SC34 Information Technology - Document Description and Processing Languages: Topic Maps Query Language (TMQL)", February 18, 2005, Online available at

http://www.isotopicmaps.org/tmql/spec.html

[6] Kim, H., Kim, H.-S., Lee J.-H., Jung, J.-M., Lee, J. Y. and Do, N.-C., "A framework for sharing product information across enterprises", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.27 No.5-6, pp.610-618, January 2006

[7] MESA, "Collaborative Manufacturing explained", A MESA International White Paper, 2004, Online available at http://www.mesa.org

[8] Mizoguchi, R. and Ikeda, M., "Towards Ontology Engineering", Technical Report AI-TR-96-1, I.S.I.R., Osaka University, 1996

[9] Nichols, D. and Terry, A., "User's Guide to Teknowledge Ontologics", Teknowledge Corp., December 3, 2003, Online available at http://ontology.teknowledge.com /Ontology_User_Guide.doc

[10] Noy, N. F., "Semantic Integration : A Survey Of Ontology-Based Approaches", Special Interest Group on Management Of Data (SIGMOD) Record, Vol.33, No.4, pp65-70, December 2004

[11] OMG, "Model Driven Architecture(MDA)", OMG Document ormsc/01-07-01, July 2001

[12] PSL Team, "The Process Specification Language", 2005, Online available at http://www.mel.nist.gov/psl/

[13] Patil, L., Dutta, D. and Sriram, R., "Ontology-Based Exchange of Product Data Semantics", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol.2, No.3, pp.213-225, July 2005

[14] Pratt, M. J., "Introduction to ISO 10303 - the STEP Standard for Product Data Exchange", Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol.1, No.1, pp.102-103, March 2001

[15] Roser, S. and Bauer, B., "Ontology-based Model Transformation", Proceedings of the ACM/IEEE 8th International Conference On Model Driven Engineering Languages And Systems (MoDELS/UML-2005) - Posters, Montego Bay, Jamaica, 2005

[16] Seidewitz, E., "What Models Mean", IEEE Software, Vol.20, No.5, pp.26-32, 2003

[17] Semy, S. K., Pulvermacher, M. K. and Obrst, L. J., "Toward the Use of an Upper Ontology for U.S. Government and U.S. Military Domains : An Evaluation", MITRE Technical Report, 2004, Online available at http://www.mitre.org /work/tech_papers/tech_papers 04/04 060 3/04 1175.pdf

[18] TopicMaps.org, "XML Topic Maps(XTM) 1.0", August 6, 2001, Online available at http://www.topicmaps .org/xtm/1.0/

[19] W3C, "OWL Web Ontology Language Overview", W3C Recommendation,

February 10, 2004, Online available at
http://www.w3.org/TR/owl-features/

저 자 소 개

서원철 (E-mail : wcseo@postech.ac.kr)
2003. 2. 포항공과대학교 산업공학과(학사)
2003. 3~현재 포항공과대학교 산업경영공학과 석박사통합과정
관심분야 협업적 제품개발, 가상기업, 온톨로지

이순재 (E-mail : supersun@postech.ac.kr)
1999. 2. 포항공과대학교 산업공학과(학사)
2002. 2. 포항공과대학교 산업공학과(석사)
2001. 3~현재 포항공과대학교 산업경영공학과 박사과정
관심분야 비즈니스 프로세스 & 서비스 아키텍처, 온톨로지

김광수 (E-mail : kskim@postech.ac.kr)
1973. 3~1977. 2. 서울대학교 공과대학 산업공학과(학사)
1977. 3~1979. 8. 서울대학교 공과대학 산업공학과(석사)
1977. 1~1980. 7. 한국섬유기술연구소연구원
1980. 8~1982. 7. Kansas State Univ. 연구원
1982. 9~1985. 8. Univ. of Central Florida 산업공학과 박사
1985. 8~1988. 2. Rochester Institute of Technology 조교수
1988. 2~현재 포항공과대학교 부교수/정교수
관심분야 엔터프라이즈 아키텍처, 웹 서비스, 시맨틱스, 비즈니스 프로세스 관리

김병인 (E-mail : bkim@postech.ac.kr)

1992. 2. 포항공과대학교 산업공학과(학사)

1994. 8. 포항공과대학교 산업공학과(석사)

2002. 5. Rensselaer Polytechnic Institute 산업공학과(박사)

1994. 8 ~ 1997. 11. LG생산기술원 주임연구원

2002. 5 ~ 2002. 7. Rensselaer Polytechnic Institute 박사후과정

2002. 8 ~ 2003. 7. Univ. of Memphis 기계공학과(산업공학) 조교수

2003. 7 ~ 2005. 1. Institute of InformationTechnology, R&D Director

2005. 2 ~ 현재 포항공과대학교 산업경영공학과 조교수

관심분야 로지스틱스, VRP, AGV/OHT 디스패칭, 시뮬레이션, 웹 서비스

이재열 (E-mail : jacyeol@chonnam.ac.kr)

1992. 2. 포항공과대학교 산업공학과(학사)

1994. 2. 포항공과대학교 산업공학과(석사)

1998. 2. 포항공과대학교 산업공학과(박사)

1998. 2 ~ 2003. 2. 한국전자통신연구원 선임연구원

2003. 3 ~ 2006. 1. 한국전자통신연구원 초빙연구원

2003. 2 ~ 현재 전남대학교 산업공학과 조교수

관심분야 시맨틱 웹, 유비쿼터스 컴퓨팅, 가상/증강현실, 상황인식 컴퓨팅, 협업정보