

제품, 공정, 서비스 통합 설계를 지원하는 제품자료모델

도남철[†]

경상대학교 산업시스템공학부

Product Data Model for Supporting Integrated Product, Process, and Service Design

Namchul Do

Dep. of Industrial and Systems Engineering, ERI, Gyeongsang National University,
501 Jinjudaero, Jinju, Gyeongsangnamdo

The current market pressure of least environmental effects of products needs companies to consider whole life cycle of their products during their design phase. To support the integrated and collaborative development of the products, this paper proposed product data model for extended Product Data Management (PDM) that can support integrated design of product, manufacturing process, and customer services, based on the consistent and comprehensive PDM databases. The product data model enables design, manufacturing, and service engineers to express their products and services efficiently, with sharing consistent product data, engineering changes, and both economical and environmental evaluations on their design alternatives. The product data model was implemented with a prototype PDM system, and validated through an example product. The result shows that the PDM based on the proposed product data model can support the integrated design for products, manufacturing process, and customer services, and provide an environment of collaborative product development for design, manufacturing and service engineers.

Keywords: Product Data Management, Product Design, Manufacturing Process Planning, Customer Service Planning

1. 서론

정보 기술을 활용한 제품 설계 자료와 프로세스 관리는 경쟁력 있는 제품 개발을 위한 중요한 전략적 도구로 발전해 왔다. 1970년대 도면 관리 시스템으로 시작된 제품 설계 지원 정보 시스템은 부품 리스트, 제품 구조, 그리고 기술 문서를 통합 관리하는 제품자료 관리(Product Data Management : PDM)로 발전하였다. 현재는 설계뿐만 아니라, 산업 디자인, 생산 기술, 그리고 고객 서비스(Customer Service)를 확대 지원하기 위한 제품수명주기 관리(Product Life cycle Management : PLM)로 진화하고 있다. 최근 제품의 전체 수명주기 동안의 환경 영향에 대한 관심이 높아짐에 따라, 재료 사용(제품 설계), 생산(공정),

그리고 고객 서비스(사용 및 폐기)를 포함한 확대된 제품 설계를 지원하는 정보 시스템의 필요성이 높아지고 있다.

기업이 관심을 가지는 제품 수명주기는 제품 설계, 생산, 그리고 고객 서비스로 구성되어 있다(CIMdata, 2006). 제품 수명주기의 주요 요소를 설계하는 제품 설계(Product Design), 공정 설계(Manufacturing Process Design), 그리고 (고객) 서비스 설계(Customer Service Design)를 통합 지원하는 정보 시스템은 각 설계 정보를 통합하고, 이를 통해 설계 변경(Engineering Changes)을 포함한 전체 개발 프로세스를 지원해야 한다. 또한 통합된 설계 정보를 바탕으로 각 설계 대안(Design Alternatives)에 대한 기존의 경제적 가치 외에 환경영향을 평가할 수 있는 정보를 제공하여야 한다.

[†] 연락저자 : 도남철 교수, 660-701 경남 진주시 진주대로 501 경상대학교 산업시스템공학부, Tel : 055-772-1703, Fax : 055-772-1699,
E-mail : dnc@gnu.ac.kr

2012년 1월 12일 접수; 2012년 4월 6일 수정본 접수; 2012년 4월 25일 게재 확정.

현재 제품 및 공정 통합 설계, 제품 및 서비스를 통합한 제품 서비스 시스템(Product Service System) 설계를 지원하는 정보 시스템에 대한 연구들이 이루어지고 있다. 그러나 기존의 연구들은 제품, 공정, 그리고 서비스 통합 설계 지원의 필수적 요구인 제품 자료 공유, 수명주기 상의 환경 영향과 비용 통합 평가, 그리고 설계 변경 지원 기능을 적절히 지원하지 못하고 있다.

그러므로 본 연구에서는 제품, 공정, 그리고 서비스 설계를 통합 지원하는 제품자료모델(Product Data Model)을 제안한다. 제품자료모델이란 제품 설계 정보를 컴퓨터 기반 정보 시스템에 표현하기 위한 정보 모델이며, 제품 설계를 지원하는 정보 시스템 구성의 핵심 기반을 이룬다. 기존 PDM 시스템에 대한 연구(Do, 2007; Do *et al.*, 2008)는 제품 설계와 공정 설계를 통합하는 제품자료모델을 제공하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 기존 PDM에서 지원하는 제품 및 공정 설계와 통합하여, 서비스 설계를 지원 할 수 있는 새로운 제품자료모델을 제안한다. 특히 보편성을 확보하기 위하여 제품 자료 표현과 교환의 국제 표준을 기반으로 제품자료모델을 표현하였다. 제안된 제품자료모델은 시제품 PDM 시스템을 통하여 구현되며, 구현된 시스템에 예제 제품을 적용함으로써 그 유효성을 검증한다.

본 논문의 제 2장에서는 관련 연구를 살펴본다. 제 3장에서는 제품, 공정, 그리고 서비스 설계를 통합 지원하는 제품자료 모델을 제안한다. 제 4장에서는 제안된 제품자료모델을 구현한 시제품 PDM 시스템과 예제 적용을 설명한다. 제 5장에서는 결론을 도출한다.

2. 관련 연구

본 연구는 설계를 지원하는 정보 시스템에 대한 연구로써, 정보 시스템의 기본 요소인 자료 모델(Data Model)을 제안하는 연구이다. 이 자료 모델은 자료 스키마(Data Schema), 정보 모델(Information Model), 지식 모델(Knowledge Model), 혹은 지식 체계(Knowledge Framework) 등으로 불릴 수 있다. 제안된 자료 모델은 제품 설계를 지원하는 PDM 혹은 PLM 시스템의 데이터베이스 모델(Database Model)을 구현하거나, 설계를 위한 다양한 응용 프로그램(Application Programs)을 지원하는 정보 시스템 개발에 사용된다.

본 연구와 관련된 첫 번째 접근 방법은 제품 서비스 시스템 설계를 지원하는 자료 모델을 제안한 연구들이다. 제품 서비스 시스템(Product Service System)은 기업의 경쟁력을 확보하고 고객 요구를 만족시키기 위한 제품과 서비스의 통합이다(Kim *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2011). Doultinau *et al.*(2009)은 제품 설계와 서비스 설계를 표현하기 위한 지식 체계를 개발하였다. 인터뷰를 통하여 산업체 제품 개발과 서비스 과정을 조사하고, 이 결과를 토대로 자료모델을 작성하였다. 제안된 자료 모델은

특정 업체의 조사만을 통하여 작성하였으므로 일반적인 모델로 볼 수 없다. 또한 이 연구에서 제안하고 있는 자료모델은 제품 설계에서 일반적으로 요구되는 기능을 제공하지 못하고 있다. 예로 제품 설계 정보를 표현하는 자료모델의 국제 표준인 ISO STEP(1992)과 비교하면 제안된 모델에는 부품과 관련 기술 문서가 서로 분리되어 있으며, 설계 과정에서 필수적인 설계 변경이 표현되어 있지 않다. 이 연구가 서비스 설계 표현에 필요한 요소를 포함하고 있으나 설계 정보 관리에서 필요한 주요 요소를 지원하지 않으므로 일반적인 설계, 공정, 그리고 서비스 통합을 만족시키기 어렵다. Jin *et al.*(2010)의 연구는 제품 서비스 시스템 설계를 지원하기 위하여 경제적, 환경적, 그리고 고객경험 측면의 요구를 고려한 Activity, Context, 그리고 Requirement로 구성된 정보 모델을 제안하고 있다. 이 연구에서도 제품 서비스 시스템에 필요한 활동과 참여자 간의 네트워크를 표현하는데 중점을 두었으며, 기존 설계, 공정, 그리고 서비스 정보와 통합을 고려하지 못하고 있다.

두 번째 관련 연구는 수명주기 공학(Life Cycle Engineering) 중 수명주기 평가(Life Cycle Assessment : LCA)를 지원하는 자료 모델에 대한 연구들이다. 수명주기 공학이란 제품 설계 시 제품 수명주기 전체를 고려함으로써 제품의 품질과 효율을 극대화하려는 노력이다. 수명주기 공학을 지원하는 대표적 방법론이 LCA를 포함한 제품 개발 방법론이며 LCA는 재료 사용, 생산, 배송, 사용, 그리고 폐기 및 재활용 수명주기 단계를 지원한다. 그러므로 LCA를 지원하는 수명주기 공학 자료 모델은 자연스럽게 제품, 공정, 그리고 확대된 고객 서비스 설계를 지원한다. 수명주기 공학을 지원하는 정보 시스템에서도 LCA를 비롯한 다양한 방법론을 통합 표현할 수 있는 자료 모델의 중요성이 강조되고 있다(Glzaebrook *et al.*, 2000). Do (2011)는 기존의 제품 설계와 공정 설계를 지원하는 PDM에 LCA를 통합하는 자료 모델을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 모델은 기존 연구(Do, 2011)에서 제안한 모델을 기반으로 서비스 표현, 통합 설계 변경, 그리고 비용과 환경 영향 통합 평가를 추가하여 개발되었다. LCA를 포함한 수명주기 공학을 지원하는 자료 모델(Jianjun *et al.*, 2008; Yun *et al.*, 2010)은 기존 고객 서비스 시스템 지원 모델에 비하여 보다 확대된 고객 서비스 과정 외에 설계 대안에 대한 환경 평가를 지원한다.

세 번째 관련 연구는 제품 설계, 공정 설계 외의 제 3의 대상으로 고객 서비스(Customer Service)를 지원하는 제품 자료 모델을 개발하는 연구들이다. 제품과 공정 설계에 비하여 고객 서비스 설계는 최근까지 정보화 대상으로써 관심을 받지 못하였다. 하지만 일찍부터 Hammer and Company(2001)와 CIMdata (2006) 등에 의하여 그 중요성이 강조되어 왔다. 그러므로 오랫동안 제품 자료 모델을 표준화 해온 ISO STEP은 고객 서비스에 대한 제품 자료 표준화 활동으로 Product Life Cycle Support (PLCS)를 제안하였다(ISO, 2005). Do(2009) and Mun *et al.*(2010) 등도 기존 PDM 시스템에서 제공하던 기술 문서 출판 등을 기반으로 고객 서비스 지원 자료 모델을 소개하였다. 이

연구들은 제품 설계에 기존 고객 서비스를 통합하는데 중점을 두고 있으며, 환경 영향 평가나 공정과의 통합은 고려하지 않는다.

위의 관련 연구와 비교하여 본 연구에서 제안한 제품자료 모델은 기존 PDM 자료모델을 확장하여 공정과 서비스 설계를 통합 지원한다. 제안된 모델은 서비스 설계를 지원하기 위하여 LCA를 통합한 제품자료 모델(Do, 2011)을 확장하였다. 그러므로 제품 사용과 폐기를 포함한 확대된 수명주기를 표현할 뿐만 아니라 제품수준 탄소배출이력(Product-level Carbon Footprint : PCF) 기반의 환경 영향 평가 기능(BSI, 2008)을 제공한다. 이를 통해 제품 비용 외에 환경 영향을 평가할 수 있다. 제안된 모델은 설계 변경 객체를 공정과 서비스 설계에 통합 적용함으로써 설계 변경을 단위로 제품, 공정, 그리고 서비스 엔지니어가 협동작업을 할 수 있는 환경을 제공한다. 또한, 제품 비용과 환경 영향을 설계 변경에서 관리되는 설계 대안에 통합 적용함으로써, 대안별 경제적, 환경적 평가가 가능하도록 한다. 그러므로 제안된 정보 모델은 제품 서비스 시스템을 지원하는 모델에 비하여 기존 제품과 공정 설계를 변경 없이 지원할 수 있고, 수명주기 공학 지원 모델에 비하여 비용 평가를 통합 지원할 수 있다. 또한 고객 서비스 확장 지원에 비하여 사용, 폐기와 환경 영향 평가가 포함된 정보를 제공할 수 있다. 마지막으로 제품, 공정, 그리고 서비스 설계를 통합하는 설계 변경 객체와 이 객체에 연동된 경제성, 환경성 평가를 제공하는 점에서 다른 모든 접근 방법들과 구별 할 수 있다.

3. 제품, 공정, 서비스 통합 설계 지원 제품자료모델

3.1 시나리오

<Figure 1>은 제안된 제품자료모델을 따르는 PDM을 이용하여 간단한 전기 주전자의 제품, 공정, 그리고 서비스를 설계

하는 시나리오를 보여준다.

3.1.1 제품과 공정 설계 표현

기존 제품 개발은 크게 제품 설계와 공정 설계로 나누어진다. <Figure 1>의 좌측에 전기 주전자 그림이 제품 설계를 표시하고, 우측 상단이 공정 설계를 표현하고 있다.

제품 설계 정보는 PDM에서 각 부품(<Figure 1>에서 전기 주전자, 본체, 발열부, 베이스, 그리고 코일)과 부품 사이의 관계인 제품 구조(그림 예에서 부품 간 실선으로 표시된 전기 주전자와 본체, 발열부 조립 관계, 발열부와 베이스, 코일과의 조립 관계)로 표현된다. 물론 각 부품 정보에는 해당 부품의 형상을 포함한 다양한 설계 정보가 포함된다. 그림의 전기 주전자 예에서는 최종 부품의 가격과 재료 사용 단계에서 탄소(온실가스)배출량이 정의되어 있다(예의 코일의 경우 가격이 5,000원이며 탄소 배출량은 300kgCO_{2e}로 정의되어 있다).

PDM에서 공정 설계 결과는 그림 우측 상단의 공정 작업(<Figure 1>에서 소조립, 대조립, 그리고 검사) 순서로 표현된다. 각 공정 작업에는 공정에 필요한 인력의 종류와 임금율(그림 예의 소조립 작업에서는 임금을 600원/분인 작업자가 필요), 조립시간, 그리고 조립에 필요한 공구나 기계가 정의되어 있다(예의 소조립 작업은 1개당 작업시간이 5분이 소요되며, 전동 공구가 필요하다). 또한 작업에 필요한 전력 사용 등으로 인한 탄소배출량이 정의될 수 있다(소조립 작업의 경우 전력 사용으로 10kgCO_{2e}의 탄소배출이 발생). 각 작업은 작업 대상 제품 설계 정보와 연결되어 있다(그림 예에서 소조립 작업과 발열부 부품이 연결되어 있다). 이는 공정 작업 대상 부품 정보로써 사용될 뿐만 아니라, 제품 설계 정보에서 설계 변경이 일어났을 경우, 영향을 받는 공정 작업을 확인하고 변경하기 위하여 사용된다. 기존 제품 개발에서 가장 중요한 설계 대안 평가 기준은 비용이다. 제품 비용은 다음과 같이 재료비, 공정비, 간접비로 나누어 계산할 수 있다.

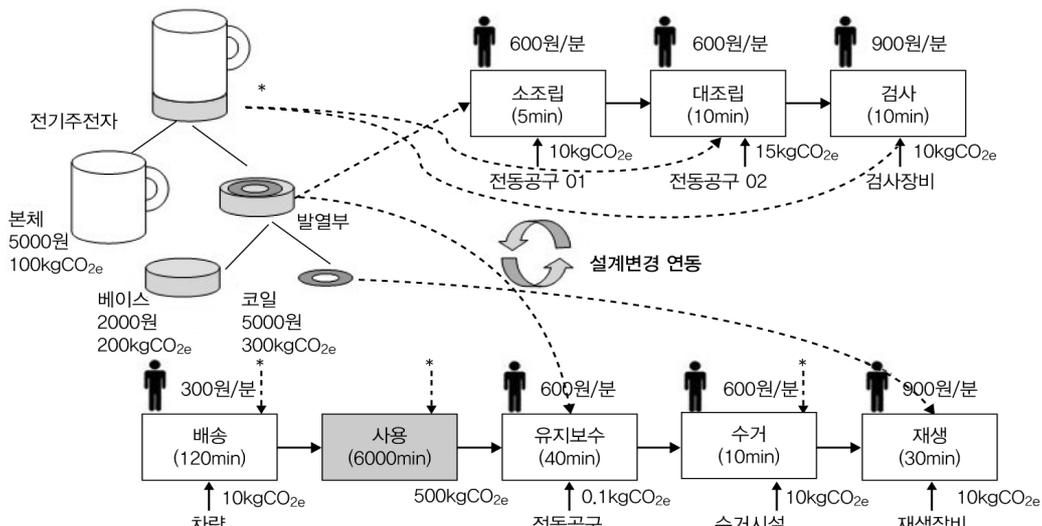


Figure 1. Representations of Product, Process, and Service Design of a Kettle

제품의 비용 = 재료비 + 공정비 + 간접비

그림의 예에서 전기 주전자에 사용되는 재료비는 제품 구조상의 최종 부품(본체, 베이스, 그리고 코일 부품)의 구매 비용의 합으로써 계산할 수 있다. 공정비는 각 공정에 투입된 인력의 임금율×작업시간으로 구할 수 있다. 간접비는 단위 제품에 부가할 수 없는 전기, 시설 등의 일반적 비용으로 기업의 회계 규칙에 의하여 부가된다. 그러므로 간접비를 제외한 예의 제품 개발에서 단위 제품 비용은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} & 5,000\text{원}/\text{개} \times 1\text{개} + 2,000\text{원}/\text{개} \times 1\text{개} + 5,000\text{원}/\text{개} \times 1\text{개} \quad (\text{재료비}) \\ & + 600\text{원}/\text{분} \times 5\text{분} + 600\text{원}/\text{분} \times 10\text{분} + 900\text{원}/\text{분} \times 10\text{분} \quad (\text{공정비}) \\ & = 30,000\text{원} \end{aligned}$$

앞에서 언급했듯이 공정 설계 정보는 제품 설계 정보를 공유하고 있으므로, 설계 변경을 하거나 새로운 설계 대안을 만들었을 경우, 손쉽게 제품 비용을 다시 계산해 의사결정을 지원 할 수 있다.

3.1.2 서비스 설계 표현

<Figure 1>의 우측 하단에 보이는 제품 수명주기 단계는 PDM을 통한 서비스 표현 방법을 보여주고 있다. 서비스는 단위 서비스(<Figure 1>에서 배송, 사용, 유지보수, 수거, 그리고 재생 서비스)의 순서로 표현되어 있다. 각 서비스는 공정 작업과 유사하게 서비스 인력, 서비스 시간, 사용 도구와 설비에 대한 정의를 포함하고 있다(<Figure 1>의 재생 서비스는 임금율이 900원/분인 인력이 투입되어 30분이 소요되며, 재생 장비를 사용함을 알 수 있다). 환경 영향을 고려하기 위하여 각 서비스 당 탄소배출량을 정의하고 있다(그림 예의 재생 서비스는 재생 장비의 전기사용으로 10kgCO_{2e}의 탄소배출이 발생한다). 서비스 설계 역시 해당 서비스의 대상 제품을 설계의 부품 정보와 연결하여 표현하고 있다(<Figure 1>에서 재생 서비스의 대상은 코일이며, 이는 해당 제품 정보와 연결되어 있다).

서비스 설계 정보를 <Figure 1>과 같이 기존 제품 설계 정보(좌측의 전기 주전자를 이루는 부품과 제품 구조 정보)와 연결하여 관리할 경우, 공정 설계 예와 같이 일관된 제품 설계 정보를 공유할 수 있을 뿐만 아니라, 빠르고 일관되게 설계 변경에 대응할 수 있다. 또한 서비스에 필요한 비용도 재료비 및 공정비와 통합하여 계산할 수 있다. 이때 서비스 비용은 공정비 계산과 유사하게 계산할 수 있다.

서론에서 언급하였듯이 제품 개발은 환경보호 가치를 구현해야 하며, 이를 위해서는 설계 대안에 대한 환경 영향을 평가할 수 있어야 한다. 예에서 환경 영향 평가 중에 현재 세계표준과 국가 표준 등으로 구체화 된 제품기반 탄소배출이력(Product-level Carbon Footprints : PCF) 체계(BSI, 2008)를 사용하고 있다. PDM 시스템을 기반으로 서비스 설계를 표현했을 경우 PCF를 계산하는 수명주기 평가(Life Cycle Assessment : LCA)를 쉽게

구현할 수 있다.

예의 제품의 PCF를 구하면 아래와 같은 결과를 얻게 된다. 결과 값인 1,175.1kgCO_{2e}는 전기 주전자 1개가 재료 채취에서 폐기까지 수명주기 동안 배출하는 온실가스의 총량을 뜻한다.

$$\begin{aligned} & 100\text{kgCO}_{2e} + 200\text{kgCO}_{2e} + 300\text{kgCO}_{2e} \quad (\text{재료 사용 단계}) \\ & + 10\text{kgCO}_{2e} + 15\text{kgCO}_{2e} + 10\text{kgCO}_{2e} \quad (\text{제조 단계}) \\ & + 10\text{kgCO}_{2e} + 500\text{kgCO}_{2e} + 0.1\text{kgCO}_{2e} \\ & + 10\text{kgCO}_{2e} + 10\text{kgCO}_{2e} \quad (\text{배송, 사용, 유지보수, 재활용 단계}) \\ & = 1,175.1\text{kgCO}_{2e} \end{aligned}$$

PDM을 통한 제품, 공정, 그리고 서비스 설계의 표현은 다양한 구성 요소의 변화를 통하여 다수의 설계 대안을 생성할 수 있다. 사용자는 각 대안에 대한 비용과 환경 영향을 계산함으로써, 경제적 이득과 환경보호 측면에서 최적의 대안을 선택할 수 있다.

3.2 제품자료모델

제안된 제품자료모델이 보편적으로 적용 가능함을 보이기 위하여 제품 자료 표현의 국제 표준인 STEP PDM Schema(PDM Implementor Forum, 2002)를 확장하여 모델을 표현하였다. STEP PDM Schema는 PDM 기능을 구현하는데 필요한 ISO STEP 표준들을 조합하여 만들어진 자료 모델이다. STEP PDM Schema는 제품 식별, 문서 식별, 제품 구조, 설계 변경, 그리고 공정을 표현할 수 있는 자료 구조인 엔티티(Entity)와 관계(Relationship)들을 포함하고 있다. 이들 엔티티와 관계를 표현하기 위하여 전용 언어인 EXPRESS를 사용할 수 있으며, 본 논문에서는 EXPRESS 언어의 그래픽 버전인 EXPRESS-G(ISO, 1996)를 사용한다.

STEP PDM Schema만을 이용할 경우, 통합된 제품, 공정, 그리고 서비스 설계를 표현하지 못하는 부분이 있으므로, 본 연구에서는 STEP PDM Schema를 확장하여 모델을 표현하였다. 제안된 제품자료모델은 PDM, 공정(Process), 서비스(Service), 그리고 설계 변경(Engineering Changes) 객체(Objects)로 이루어져 있다.

3.2.1 PDM 객체(PDM objects)

PDM 객체는 PDM에서 기본적으로 관리하는 부품(Products)과 제품 구조(Product Structure) 정보를 이용하여 제품 설계 정보를 표현한다. <Figure 2>는 EXPRESS-G를 이용하여 PDM 객체를 표현하고 있다. 그림에서 엔티티(Entity)는 직사각형으로 표시되었고(예로 <Figure 2> 상단의 product 엔티티), 그 중 색칠된 엔티티는 본 연구에서 확장한 엔티티이다(예로 <Figure 2>의 product_definition_production 엔티티). 각 엔티티에 속한 속성(Attribute) 중에 밑줄 친 속성도 본 연구에서 확장한 속성들이다(예로 <Figure 2>의 product_definition 엔티티의 GHG_emission

속성). 엔티티를 연결한 선은 두 엔티티의 관계를 나타낸다. 이 중 굵은 선으로 표시된 관계는 상속(Inheritance)을 나타낸다. 그러므로 <Figure 2>에서 product_definition_usage 엔티티는 product_definition_relationship과 상속 관계를 가지고 있으며, 상위 엔티티의 모든 속성을 상속 받는다.

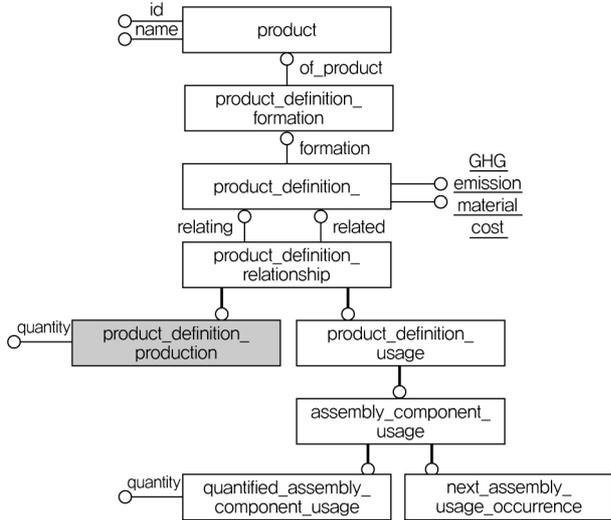


Figure 2. Entities in PDM Objects

STEP PDM Schema에서 부품의 기본 정보는 product 엔티티를 통하여 표현된다. 각 부품은 다수의 관점(예로 설계 관점과 생산 관점)이 있을 수 있으며 이는 product_definition_formation으로 나타낸다. 각 관점별 부품은 다수의 버전(Version)을 가질 수 있으며, 이는 product_definition 엔티티로 표현한다. 그러므로 물리적으로 구별할 수 있는 부품은 product_definition의 인스턴스(Instance)로 표현할 수 있다.

제품 구조(Product Structure)는 부품사이의 구성 관계(Constituent Relationship)를 나타내며, 특정 제품의 구성 부품과 그 수량을 파악할 수 있게 한다. STEP PDM Schema에서는 product_definition_relationship 엔티티의 relating과 related 속성(<Figure 2>의 product_definition_relationship 엔티티 참조)을 통하여 product_definition 객체들 간의 관계를 표현한다. 다양한 부품간의 관계 중, 제품 구조는 조립품과 부품 사이의 관계를 뜻하는 assembly_component_usage의 하위 엔티티를 통하여 표현된다.

예로 <Figure 1>의 전기 주전자가 본체와 발열부와 구성하는 제품 구조를 표현하기 위해서는 relating 속성 값에 전기 주전자의 객체 식별자(Object Identifier)를 related 속성 값에 구성품인 본체와 발열부의 객체 식별자를 가지는 quantified_assembly_component_usage 객체를 생성하면 된다(<Figure 3>의 우측 인스턴스 다이어그램 참조). 제품 구조를 표현하는 방법은 조립되는 부품의 수만큼 객체를 생성하는 방법과 하나의 제품 구조에 부품 수를 기록하는 방법이 있다. next_assembly_usage_occurrence의 경우 부품의 개수만큼 객체를 생성하고 quantified_assembly_component_usage의 경우 부품 수를 quantity 속성에 기록한다.

본 연구에서 추가된 product_definition_production 엔티티는

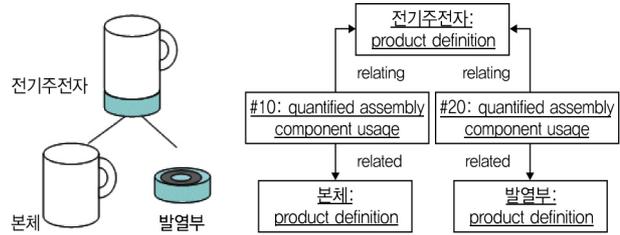


Figure 3. Example Instances of product_definition and product_relationship Entities

(<Figure 2>의 색칠된 엔티티)는 환경 영향 지표인 PCF 계산을 위하여 추가된 객체이다(Do, 2011). 이 객체는 제품의 생산 시 발생하는 부산물 관계를 나타낸다. 일반적으로 기존 PDM은 최종 제품 외의 제품 생산 중의 부산물을 표현하지는 않는다. 하지만 환경 영향을 평가하기 위해서는 최종제품 외에 부산물에 대한 정보가 필요하다. 그러므로 관련 연구(Do, 2011)에서는 PCF 계산을 위한 LCA를 PDM에 통합하기 위하여 부산물을 표현하는 개체를 추가하였다. 이 확장을 통하여 제안된 제품 자료모델은 제품에 사용된 부품뿐만 아니라 PCF 계산 대상이 되는 부산물까지 표현할 수 있다.

제품 비용과 환경 영향을 계산하기 위하여 product_definition 엔티티에 material_cost와 GHG_emission(Green House Gas Emission) 속성이 추가되었다. material_cost는 재료나 부품의 구매 비용을 표시하며, GHG_emission은 자체 생산이나 이동 시 발생하는 탄소배출량을 표시한다.

3.2.2 공정 객체(Process objects)

공정 객체는 제품 생산 공정의 단위 작업 과정을 정의하는 객체이다. <Figure 4>에서 공정 객체는 action 엔티티의 하위 엔티티인 process_action 엔티티로 표현되며, 고객 서비스 과정을 지원하는 service_action 엔티티와 구별된다. 설계 변경의 전달과 일관된 제품 자료 공유를 위해서 공정 객체와 대상 부품 정보의 관계가 유지되어야 한다. 이 연결을 표현하기 위하여 process_action 엔티티의 상위 엔티티인 action과 연계된 applied_action_assignment 엔티티를 이용한다. 이 엔티티는 공정을 표현하는 process_action 엔티티와 제품 설계를 표현하는 product_definition을 연결한다(<Figure 4>의 process_action과 product_definition 엔티티). 공정에서 소요되는 공정비용과 탄소 발생량을 표현하기 위하여 process_action 엔티티에 labor_cost와 GHG_emission 속성을 추가하였다.

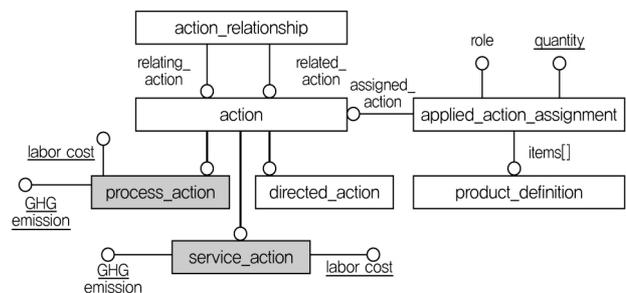


Figure 4. Process, Service, and Engineering Changes Objects

3.2.3 서비스 객체(Service Objects)

서비스 객체는 제품 판매 후 서비스를 표현한다. <Figure 4>에서 서비스 객체는 service_action 엔티티로 표현된다. 서비스 객체도 공정 객체와 유사하게 applied_action_assignment 엔티티를 이용하여 서비스와 서비스에 필요한 제품과의 관계를 나타낸다. service_action 엔티티에도 서비스에서 소요되는 비용과 탄소 발생량을 표현하기 위하여 labor_cost와 GHG_emission 속성을 추가하였다. 공정과 서비스 간의 순서나 포함 관계를 나타내기 위해서는 두 action 간의 관계를 표현하는 action_relationship 객체를 사용할 수 있다.

3.2.4 설계 변경 객체(EC Objects)

설계 변경 객체는 변경 전 후의 제품을 입력과 출력으로 정의함으로써 해당 설계 변경의 이력을 표시한다. 제안된 제품자료모델에서는 directed_action 엔티티(<Figure 4>의 directed_action 엔티티 참조)를 이용하여 설계 변경을 표현한다. directed_action은 원인이나 목표 등으로 설계 변경 활동을 유도하는 엔티티(그림에는 표현되어 있지 않음)를 가진 action의 하위 엔티티이다. 설계 변경의 설계 변경 이전과 이후의 부품 연결은 directed_action에 연결된 applied_action_assignment의 role 속성에 input과 output 값을 부여함으로써 표현한다. 예로 설계 변경의 입력이 되는 변경 전 부품을 표시하기 위해서는 해당 applied_action_assignment의 role과 items 속성 값에 각각 'input'과 해당 product_definition 객체의 식별자를 부여하면 된다. 제안된 모델은 설계 변경 의사결정에 필요한 입력과 출력 설계 대안 사이의 다양한 지표를 계산하고 비교할 수 있도록 한다. 제안된 모델에서는 환경 지표로 PCF가, 경제적 지표로 제품 비용이 계산되고 비교된다.

<Figure 5>는 제안된 제품자료모델 전체를 보여준다. 그림에는 STEP PDM Schema의 엔티티와 본 연구에서 확장한 엔티티(그림에서 색칠한 직사각형)와 속성(그림에서 밑줄 친 속성)이 함께 포함되어 있다. STEP PDM Schema는 간단하게 표현하기 위하여 직접 관련된 엔티티만을 표현하였다.

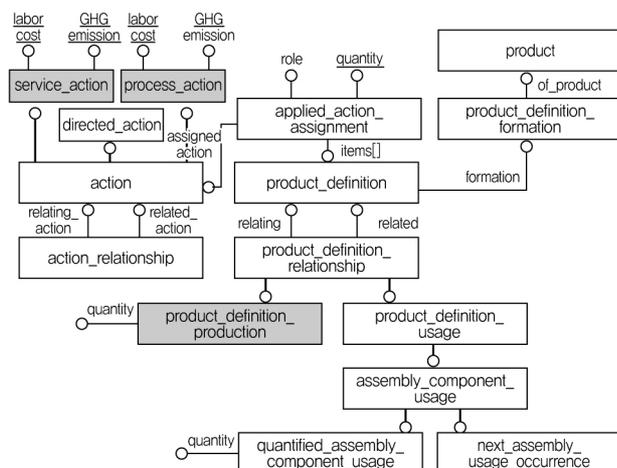


Figure 5. Proposed STEP PDM Schema-based Product Data Model

그림 중앙의 product_definition 엔티티는 개별 제품을 나타내며, 이를 relating과 related 속성으로 연결한 product_definition_relationship 엔티티는 제품 구조를 나타낸다. product_definition_relationship 엔티티의 하위 엔티티 중 product_definition_production 엔티티는 제품 공정과 사용 중의 부산물과 제품 사이의 관계를 표현한다. 일반적인 조립품과 부품과의 관계를 표시하기 위하여 하위 엔티티 중의 quantified_assembly_component_usage와 next_assembly_usage_occurrence 엔티티를 사용한다.

제품에 관련된 공정과 서비스 과정을 표현하기 위하여 action 엔티티를 사용한다(<Figure 5> product_definition 엔티티의 좌측에 위치). action의 하위 엔티티인 process_action과 service_action이 각각 공정과 서비스의 단위 과정을 표시한다. 제품(product_definition)과 관련된 공정 및 서비스(process_action과 service_action)를 연결하기 위하여 applied_action_assignment 엔티티가 사용된다.

설계 변경을 표현하기 위하여 역시 action의 하위 엔티티인 directed_action 엔티티를 사용한다. 설계 변경 전 후 제품을 표현하기 위하여 applied_action_assignment의 role 속성 값을 'input'과 'output'으로 정의하여 해당 제품(product_definition)을 각각 연결한다.

3.3 제품자료모델 기능

제안된 제품자료모델은 기존의 PDM을 위한 자료 모델에 비하여 다음 4가지의 요소를 추가하였고, 이로 인하여 연구 목표에서 요구한 새로운 기능이 가능하게 되었다.

1) product_definition_production 엔티티 추가

기존 PDM은 최종 제품에 포함되는 부품 이외에 부산물 표현이 불가능하여 수명주기 평가에서 재료 사용 단계의 환경 영향 평가 자료를 제공할 수 없다. 제안된 모델은 product_definition_production 엔티티를 추가함으로써 통합 정보 시스템인 PDM을 통하여 재료 사용 단계의 환경 영향 평가 자료를 관리하고 공유할 수 있도록 해준다. 이는 제품 개발 과정에 환경 전문가와 설계자 사이의 협동 작업이 가능하도록 한다.

2) process_action과 service_action 엔티티 추가

공정과 서비스의 통합관리는 환경 영향 평가에 필요한 제품의 전체 수명주기 정보를 통합 관리할 수 있도록 한다. 공정과 서비스는 applied_action_assignment 엔티티를 통하여 관련 제품과 연결되어 있으므로 제품, 공정, 그리고 서비스 설계 전문가들이 공유된 정보를 이용하여 상호 변경에 대한 영향 평가를 포함한 협동 작업을 가능하게 한다.

3) GHG_emission과 material_cost/labor_cost 속성 추가

두 종류의 속성은 위에서 언급한 재료 사용에서 폐기까지 전체 수명주기에 비용과 환경 영향 측면의 제품 평가가 가능

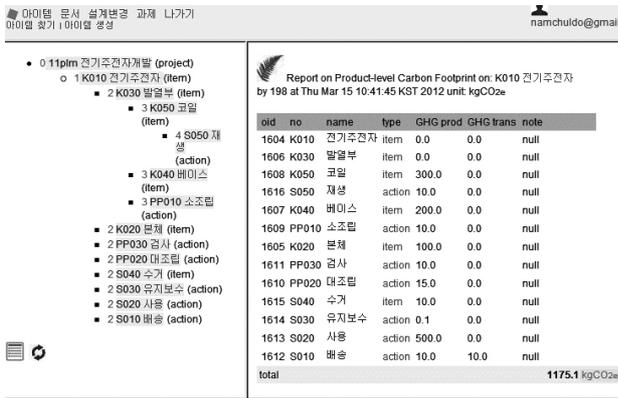


Figure 7. Product Structure with PCF Report

<Figure 8>의 좌측 화면은 설계 변경 객체를 보여준다. 설계 변경 객체는 ‘전기주전자’와 ‘New 전기주전자’를 입력과 출력 값으로 가지고 있다. <Figure 8>의 우측 화면은 좌측 화면 설계 변경 전후 제품에 대하여 비용과 PCF를 계산하고 그 결과를 그래프로 보여주는 화면이다. 비용과 환경 평가는 현재 제품 구조와 속성 값에 따라 동적으로 계산되므로, 참여한 각 분야 전문가들에 의한 다양한 속성 변경과 이에 따른 실시간 평가가 가능하다.

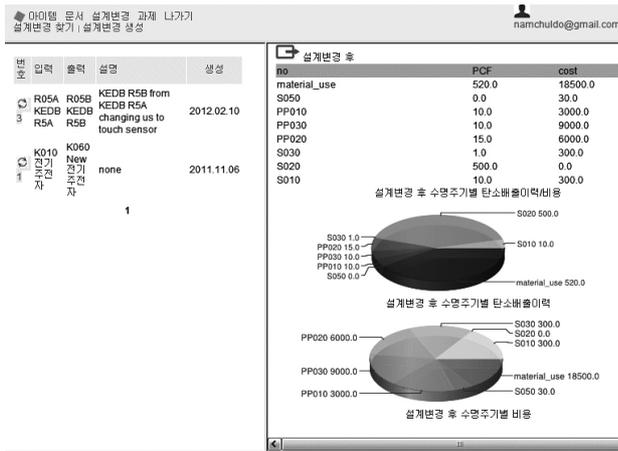


Figure 8. Engineering Changes and EC Report on PCF and Cost

5. 결론

최근 제품의 수명주기 동안의 환경 영향이 주목을 받으면서, 재료 사용, 생산, 그리고 사용을 포함한 제품 수명주기를 종합적으로 고려하는 설계 지원 정보 시스템에 대한 요구가 높아지고 있다. 그러므로 본 논문에서는 제품 설계와 공정 설계를 지원 하던 PDM을 확장하여 제품, 공정, 그리고 서비스 통합 설계를 지원하는 새로운 제품자료모델을 제안하였다. 제안된 모델의 개발 과정에서 기존 제품 정보 공유, 공정과 서비스 표현,

그리고 비용과 환경 영향 통합 평가를 고려하였다. 이와 같은 연구 방법을 통하여 제품, 공정, 그리고 서비스 설계를 통합 지원할 수 있는 제품자료모델을 제안하였다. 제안 된 자료 모델은 제품정보 공유, 통합 설계 변경 관리, 그리고 비용 및 환경 영향 통합 평가 측면에서 기존 접근 방법에 비하여 우수 하였다.

제안된 제품자료모델을 이용하여 PDM 시제품을 개발하였으며, 모델의 유효성을 검증하기 위하여 기존 연구에서 사용된 제품 예를 시제품에 적용하였다. 예의 표현 결과 제안된 제품자료 모델은 제품, 공정, 그리고 서비스 설계를 통합 지원하고, 각 설계 대안에 대한 비용과 환경 영향을 평가할 수 있음을 확인 하였다.

제품, 공정, 그리고 서비스 통합 설계 지원은 PDM이 전체 제품 수명주기를 포함하는 완전한 Product Life cycle Management 시스템에 한발 다가갈 수 있게 해주었다. 수명주기 평가에 대한 ISO 표준(ISO, 2004)은 제품 수명주기 단계를 재료 사용, 제조, 배송, 사용, 폐기, 그리고 재활용으로 정의하고 있다. 하지만 현재 PDM과 PLM 시스템은 제품 설계를 포함한 공정 설계와 고객 서비스의 일부만 지원하고 있다. 제안된 제품자료 모델을 채용한 PDM 시스템은 재료 사용, 생산, 배송, 사용, 그리고 폐기 및 재활용 단계의 설계정보를 관리하고 비용과 환경 영향을 평가할 수 있다. 이와 같이 기존 PDM에서 관리 하는 제품과 공정 정보에 서비스 정보를 포함하면, ISO에서 제안한 확장된 수명주기 평가 단계를 모두 표현할 수 있음을 알 수 있다.

추후 연구로써 제품 서비스 시스템 설계를 지원하는 제품 자료모델 개발이 필요하다. 설계지원 정보 시스템의 역할을 설계 응용(Design Application) 지원과 설계자료 통합으로 보았을 때, 본 논문에서 제안한 모델은 제품 서비스 시스템을 위한 설계자료 통합 목적에 적합하다. 추후 보편적인 제품 서비스 시스템 개념과 설계 방법론이 정의된다면, 제안된 제품자료 모델을 기반으로 제품 서비스 시스템 설계 응용을 지원하는 제품자료 모델 개발이 가능할 것으로 예측된다.

참고문헌

BSI (2008), Guide to PAS 2050-How to assess the carbon footprints of goods and services, BSI.
 CIMdata (2006), collaborative Product Definition management (cPDM), <http://cimdata.com/plm/cpdm.html>.
 Do, N. (2007), Introduction to PLM and its applications, Life and Power Press, Korea.
 Do, N., Choi, I., and Song, M. (2008), Propagation of Engineering Changes to Multiple Product Data Views using History of Product Structure Changes, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(1), 19-32.
 Do, N. (2009), A Product Lifecycle Management Framework for Customer Services, *Society of Service Science Conference 2009*, Seoul, Korea.

- Do, N. (2011), An Extension of Product Data Model for Calculating Product-level Carbon Footprint, *Journal of Society of CAD/CAM Engineers*, **16**(4), 268-276.
- Doultsinou, A., Boxter, D., Roy, R., Gao, J., and Mann, A. (2009), Service and manufacturing knowledge in product-service systems : a case study, *Proceedings of the 1st CIRP IPS2 Conference*, 82-88, Cranfield, UK.
- Glazebrook, B., Coulon, R., and Abrassar, C. (2000), Towards a product life cycle design tool, *Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Electronics and Environment*, 81-85, San Francisco, US.
- Hammer and Company (2001), Post-Sales Support Process : The Next Competitive Battlefield, Technical Report.
- ISO (1992), ISO 10303-Part1-Overview and fundamental principles, ISO.
- ISO (1993), ISO 10303-Part 11-EXPRESS language reference manual, ISO.
- ISO (2004), ISO 14000 : 2004-Environmental management, ISO.
- ISO (2005), ISO 10303-Part 239-Application protocol : Product life cycle support, ISO.
- Jianjun, Y., Baiyang, J., Yifeng, G., Jinxiang, D., and Chenggang, L. (2008), Research on evaluation methodologies of product life cycle engineering design (LCED) and development of its tools, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **21**(8), 923-942.
- Jin, H., Park, J., Zhang, N., and Kim, Y. (2010), The Information Support Systems for Product-Service Systems Design, *ACDDE 2010*, 130-134, Jeju, Korea.
- Kim, K., Hong, Y., Park, K., Lim, C., Heo, J., Kang, C., Baek, M., and Park, G. (2011), Product-Service System : Current Status and Research Issues, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **37**(3), 234-247.
- Kim, K., Hong, Y., Shin, D., Cho, N., Jung, J., Lee, Y., Park, H., Hong, J., Kang, W., and Shin, H. (2009), Service innovation : research framework and research issues, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **35**(4), 226-247.
- Mun, D., Hwang, H., Lee, J., and Lee, K. (2010), Approach for information modeling of ship's product structure data across its lifecycle using industrial data standards, *ACDDE 2010*, 237-247, Jeju, Korea.
- PDM Implementor Forum (2002), Usage Guide for the STEP PDM Schema V1.2, PDM Implementor Forum.
- Wimmer, W., Züst, R., and Lee, K. (2004), ECODESIGN Implementation-A Systematic Guidance on Integrating Environmental Considerations into Product Development, Springer.
- Yun, B., Kim, M., Jeong, M., and Suh, H. (2010), An Approach to LCA and Eco-Design using Ontology, *ACDDE 2010*, 32, Jeju, Korea.