韓國精密工學會 2005 年度 秋季學術大會論文集

설계 지식 표현을 위한 객체 온톨로지에 관한 연구

안진철*(성균관대 대학원 기계공학과), 강무진(성균관대 기계공학부)

A Study on the Object Ontology for Design Knowledge Representation

J. C. Ahn(Graduate School, SKKU)*, M. Kang(School of Mechanical Engineering. SKKU)

ABSTRACT

The increasing complexity of modern products requires the effective management of design knowledge, which partly resides in the product itself on the one hand. On the other hand, a lot of knowledge is gathered and/or generated during the design process, but disappears as the design project concludes. This paper describes a knowledge representation method to accommodate the implicit design knowledge. The method is based on the FBS(Function-Behavior-Structure) model and extends the object ontology with constraint entity. An example to represent the injection mold design knowledge is given to show its applicability.

Key Words : Ontology(온톨로지), Design Knowledge(설계 지식), Knowledge Representation(지식 표현),

1. 서론

오늘날 소비자 요구의 다양성과 빠른 변화에 따라 제품이나 시스템의 수명주기는 점차 짧아지고 그 복잡성이 증가하고 있다. 기업이 시장 변화에 빠르게 대처하고, 치열한 시장 경쟁에서 살아남기 위해서는 빠르고 효율적인 설계 업무가 요구된다. 설계는 다양한 분야의 전문 지식들이 요구되는 지식 집약적인 활동으로 한 사람 또는 하나의 팀이 설계의 전 과정을 감당하기 불가능한 방대한 양의 지식이 요구된다. 뿐만 아니라 설계자의 의도나 Know-How 같은 많은 설계 지식들은 주관적이고 암묵적인 특성으로 인해 도면이나 정형화된 방법으로 기록하기 힘들고, 이런 지식들 대부분은 설계자의 경험 속에만 존재하기 때문에 적절히 관리하기 어렵다. 따라서 설계 업무를 하는 설계자는 불충분한 지식을 갖고 설계를 시작하게 되며, 설계의 과정은 많은 시행착오를 거치게 된다. 그리고, 설계의 품질이 설계자의 개인 능력에 의존하기 때문에 보장되기 어렵고, 초보 설계자가 설계 업무에 숙달되기까지에는 많은 시간이 소요되는 실정이다. 효과적인 설계 활동을 위해서는 공유하고 이해 가능하도록 설계 지식을 적절히 표현, 관리하고 재사용하는 것이 필요하다. 이를 위하여는 컴퓨터 시스템이 지능적으로 처리할 수 있도록 지식을 조직화하고 축적하기 위한 지식 베이스와 풍부한 표현력과 정형성을 갖춘 지식 표현 방법의 연구가 필수적이다.

본 논문의 목적은 설계에 포함되어 있는 지식을 표현하는 방법으로서의 객체 온톨로지 모델을 제안하고, 사출 금형 설계의 사례로써 그 효용성을 검증하는 것이다.

2. 설계 지식

노나카 이쿠치로는 지식의 유형을 형식지(Explicit Knowledge)와 암묵지(Tacit Knowledge)로, Anderson Consulting은 선언적 지식과 절차적 지식으로, 그리고Leeuwen Harte는 감각적 지식, 경험적 지식, 과학적 지식으로 분류하고 있다.[1] 설계 지식은 설계의 단계에 따라 기능 구조에 관한 지식, 구체화에 관한 지식, 주변 환경에 관한 지식으로 분류할 수 있다. 기능 구조에 관한 지식은 주로 기능구조를 구성하고 적합한 작용원리를 원리를 탐색하여 그들을 결합함으로써 해결안 구하는 개념 설계 과정의 지식이다. 여기에는 설계의 목적이나 설계자의 의도, 과학적 원리뿐만 아니라 필요한 기하학적 특성 및 재료적 특성과 함께 물리적 과정을 포함하는 작용원리에 관한 지식을 포함한다. 구체화에 관한 지식은 전체적 배열과 공간적 적합성을 위한 배치설계와 요소 부품의 형상과 재료 등을 결정하는 형상 설계 과정을 포함하여 개념 설계 단계의 아이디어를

구체화하는 구체 설계 과정의 지식이다. 여기에 재료, 배치, 정량적으로 표현 가능한 형상의 설계 변수, 수식으로 표현되거나 해석이 필요로 하는 공학적 지식, 그리고 최적화를 위한 설계 원칙이나 해석, 평가관련 지식 등이 포함된다. 마지막으로 주변 환경에 관한 지식은 생산 방법, 비용, 법률, 문화 등 설계에 영향을 미치는 환경적 요인으로 본 연구의 대상에서는 제외된다.

기능 구조에 관한 지식과 구체화에 관한 지식은 정량적이고 해석적인 지식과 주관적이고 암시적인 형태의 지식으로 구분할 수 있다. 암묵지라 불리는 주관적 형태의 지식들은 개인적 설계 경험을 통해 설계자 머리 속에 추상화되고 개념과 개념의 집합으로 형성된다. 설계자는 다양한 레벨로 추상화된 개념과 개념의 집합을 설계자 개인의 지식 배경에 비추어 도식화하여 사용하고, 설계 활동에서 얻어진 지식을 추가 또는 재구성하여 지식을 확장한다.이와 같이 설계 지식은 개인의 지적 배경에 기반하기 때문에 불명확하고 또한 관리와 공유가 어렵다. 이를 공유하고 재사용 하기 위해서는 다음의 조건을 충족시킬 수 있는 적절한 지식 표현방법이 필요하다.

- 표현의 정확성과 다양성을 위한 명료하고 정밀한 어휘의 제공
- 여러 설계자가 공동으로 이해할 수 있는 어휘의 제공
- 추론과 확장, 수정과 유지보수가 용이성
- 반복과 의미적 충돌의 검색이 가능

3. 설계 지식의 표현 방법

3.1 FBS(Function-Behavior-Structure) Model

John S. Gero는 목적에 맞게 요구되는 기능을 구체화하고, 이 기능을 생성할 수 있는 인공물을 묘사하는 것으로 설계를 정의하고, 기능(Function), 구조(Structure), 기대 거동(Expected Behavior), 실재 거동(Actual Behavior), 설계 묘사(Design Description)로 구성되는 FBS모델을 제안하였다. 그리고 문제정의(Formulation), 종합(Synthesis), 해석(Analysis), 평가(Evaluation), 문제의 재정의(Reformulation), 설계 표현(Production of Design Description) 등 여섯 단계의 설계 과정을 FBS 모델을 이용하여 설명하였다.(Fig.1)[2] 즉, 문제정의는 기능을 기대 거동으로 변환하는 과정을 말하며, 종합은 문제정의 과정에서 생성된 기대 거동을 구조의 선택과 결합에 사용하는 과정이다. 해석은 종합 과정에서 결정된 구조의 실재 거동을 구하고 예상하는 과정이며, 평가는 기대 거동과 실제 거동을 비교하는 과정이다. 그리고 문제의 재정의 과정은 평가의 결과가 만족스럽지 못할 때 기대 거동을 변경하는 과정이다. 설계는 위 과정의 반복적인 변환과 평가를 통해 설계 표현을 생산하게 된다. 설계 모형(Design Prototype)은 설계 지식의 적절한 표현 구조를 제공할 목적으로 FBS모델을 기반으로 설계 요소를 그룹화한 클래스의 개념적 스키마이다. 설계모형은 기능, 구조, 거동 등의 추상화된 설계 요소 그룹과 관계 지식(Relation Knowledge), 정성적 지식(Qualitative Knowledge), 계량적 지식(Computational Knowledge) 그리고 배경

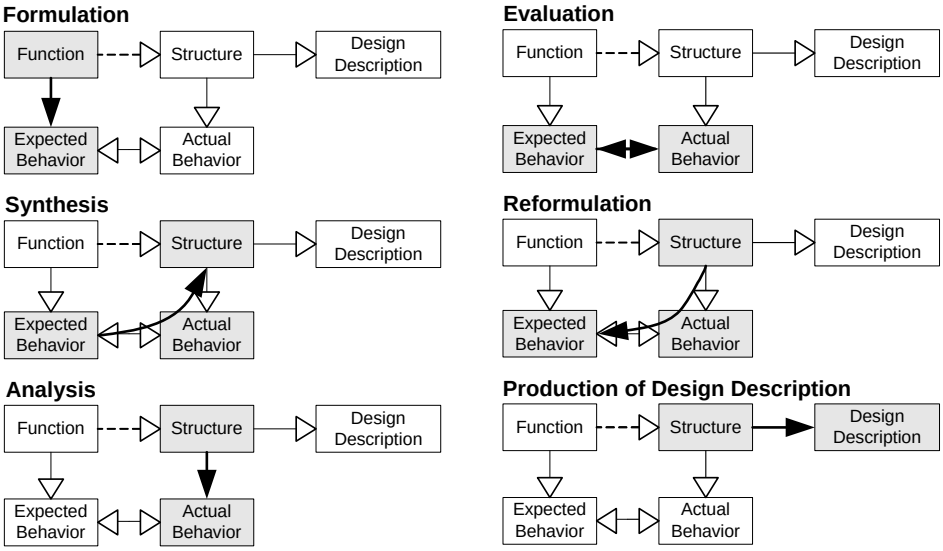

Fig. 1 Design Activities as transformation process among function, structure and behavior [2]

지식(Context Knowledge) 등의 클래스들로 구성된다. 관계 지식은 기능, 구조, 거동의 변수들 사이의 관계를 나타내고, 정성적 지식은 관계지식의 하위 클래스로 구조의 변수 값을 조정할 때 거동과 기능에 미치는 영향에 관한 정보와 제약조건을 표현한다. 계량적 지식은 변수들 사이의 수학적 관계를 제공하며 배경 지식은 외부로부터의 영향과 내부 설계 요소 사이의 관계를 묘사한다.

3.2 CONGEN

CONGEN은 인공물과 설계 프로세스를 포함하는 설계 지식 표현을 위해 SHARED 객체 모델을 기반으로 개발되었다.[3] SHARED 모델은 전통적인 객체지향 패러다임의 확장으로 객체를 식별자(Identifier), 속성(Attribute), 방법(Method), 관계(Relation), 제약조건(Constraint)을 사용하여 정의하고, 관계를 식별자, 역할(Role), 속성, 방법, 제약조건으로 표현한다. CONGEN은 인공물의 형상(Form), 기능 (Function), 거동(Behavior)을 객체로 정의하고 SHARED모델을 이용하여 설계 지식을 표현한다. 그리고 목표(Goal), 계획(Plan), 명세(Specification), 결정(Decision), 환경(Context) 등을 객체로 정의하여 설계 프로세스를 묘사한다. Fig.2 는 CONGEN에서 사용되는 객체들과 객체들 간의 연결을 보여주는 것으로, 제품 객체들과 프로세스 객체들 사이의 연결을 사용하여 제품 지식과 설계 프로세스 지식간의 상호 작용을 표현하고 있다.

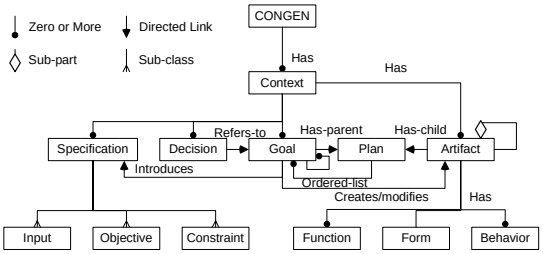

Fig. 2 CONGEN Class Abstraction [3]

3.3 설계 온톨로지

3.3.1 TOVE Project

온톨로지는 지식의 공유와 재사용을 목적으로 인공지능 분야에서 지식 표현의 핵심으로 연구가 이루어져 온 분야이다. 대상 영역의 지식을 명시적으로 표현하기 위한 개념과 개념간의 상호 관계를 잘 정의하여 사람들과 소프트웨어 에이전트 간의 상호운용 의사소통을 가능하게 한다. 또한 지식의 일관성과 추론 메커니즘 사용 가능성을 제공하여, 지식 베이스 구축을 위한 단단한 기반을 제공한다. TOVE Project는 기업의 전 부문에서 효과적인 의사소통과 정보 공유를 위한 다양한 영역의 온톨로지를 구축하였다. 즉, 기업의 모든 영역에서 사용되는 용어들을 각 영역의 에이전트들이 공통적으로 이해하고 사용하기 위해 정확하게 용어의 의미를 정의하여 공유 가능한 용어들을 제공하고, 도식적으로 묘사되는 개념들의 구조를 기호로 표현하는 데이터 모델을 목적으로 개발하였다. [4] 설계 영역의 제품(Product) 온톨로지는 공학적 설계 지식을 기록하기 위해 부품(Part) 온톨로지, 특징형상(Feature) 온톨로지, 파라미터(Parameter) 온톨로지, 제약조건(Constraint) 온톨로지, 요구조건(Requirement) 온톨로지들로 구성된다.

3.3.2 Functional-Knowledge Modeling

R. Mizoguchi와 Y. Kitamura는 개념설계 단계에서 요구되는 기능적 설계 지식을 적절한 용어와 구조로 시스템화하여 공유하고 재사용하기 위한 온톨로지 모델과 설계 지식 베이스를 제시한다.[5,6] 이 모델은 설계 과정에서 기능적 설계 지식을 제공하여 효과적으로 해결안을 구할 수 있도록, Extended Device Ontology, Functional Concept Ontology, Ways of Function Achievement 세 가지 온톨로지 모델로 구성된다. Extended Device Ontology는 장치의 작동 메커니즘 묘사하기 위한 것으로 더 작은 단위의 장치들로 구성된다. 각 장치는 입력부와 출력부를 갖는 블랙박스의 개념을 가지고 구성하여 일관성 있는 해석을 가능하게 한다. Functional Concept Ontology는 성취해야 기능을 체계적으로 나타낸 것이다. 일반적인 기능이 물질, 에너지, 정보, 힘과 동작의 네 가지 종류의 약 120 여 개의 용어로 분류되고, 대상영역에 독립적으로 정의되어 여러 종류의 설계 영역에서 공유와 재사용이 가능하다. Ways of Function Achievement는 기능이 어떻게 성취되는지에 대한 기능 구조와 거동을 설명하는데 필수적 속성인 과학적 원리나 의도된 현상에 대한 개념을 제공한다. Fig.3 은 기능적 지식을 위한 모델의 전체 구조를 보여는 데, 수직축은 집합관계로서 개체의 입자크기를 표현하고, 깊이 방향 축은 같은 입자 크기 개체 사이의 관계를 표시한다. 수평축은 객관적-목적론적 해석을 나타낸다. 기능적 개념의 일반화된 계층구조와 설계 대상 계층구조를 명확히 구분함으로써, 기능 전개 구조와 기능 성취방법 계층구조를 일관성 있게 묘사할 수 있다. 설계자는 Functional Concept Ontology의 개념들과 Ways of Function Achievement의 개념들을 선택하고 결합하여 설계 대상의 기능 전개를 위한 지식과 장치의 거동에 대한 구조적 정보를 지원받아 신속하게 해결안을 찾을 수 있다.

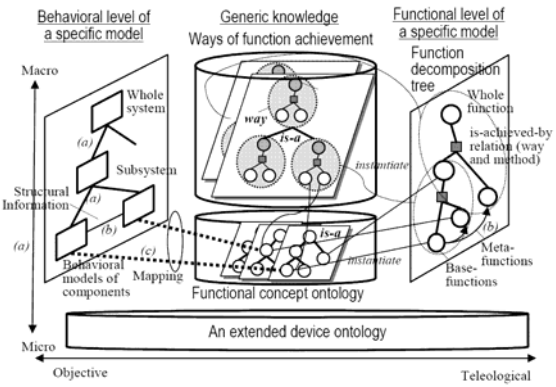

Fig. 3 Functional Knowledge Framework [6]

4. FBS Model 기반 객체 온톨로지

설계의 결과물인 인공물은 설계 과정에서 사용된 여러 지식을 내포하고 있다. 이들 설계 지식은 인공물을 객체(Object)로 하는 FBS 모델로써 체계적으로 표현할 수 있다. Fig.4 에서와 같이, 객체는 기능(Function), 거동(Behavior), 구조(Structure), 제약조건(Constraint)의 개념으로 표현된다. 기능과 거동은 기능 구조와 작동원리 등의 지식을 표현한다. 그리고 구조와 제약조건의 묘사를 통해 인공물의 구체적인 물리적 속성과 형상, 그리고 설계 변수들의 가능한 범위를 표현한다. 기능은 개념설계 단계에서 객체와 거동에 독립적으로 고려되어야 하며 객체는 하나 이상의 기능을 충족시켜야 한다. 객체 온톨로지에서 기능을 기능유형(F-Type), 하위기능(Sub-Function), 이전기능(Pre-Function), 이후기능(Post-Function), 요구조건(Requirement)의 개념들과의 관계를 통해 묘사한다. 기능유형은 기능을 주요기능과 보조기능으로 구분하여 설계자가 기능구조를 구성할 때 유용성을 제공한다. 하위기능은 기능구조에서 하위 기능 요소들을 정의하고, 요구조건은 사용자의 의도를 묘사한다. 이전기능과 이후기능을 정의하여 기능의 과정을 묘사할 수 있으며, 때로 하나 이상의 값을 정의하여 기능 구조에서 병렬구조 표현을 가능하게 한다.

인공물은 그 거동을 통해 요구되는 기능을 충족시킨다. 객체는 하나 이상의 거동을 가지고 있으며, 거동 또한 하나 이상의 기능과 관계를 갖는다. 거동은 거동유형(B-Type), 입력(Input), 출력(Output), 하위거동(Sub-Behavior), 이전거동(Pre-Behavior), 이후거동(Post-Behavior)의 개념을 이용하여 정의한다. 거동유형은 종류, 특성, 위치, 시간을 기준으로 거동을 분류하고, 입력과 출력은 입·출력되는 대상을 묘사한다. 기능에서와 같이 하위거동, 이전거동, 이후거동을 정의하여 거동의 하위구조와 순서 정보를 설명한다. 구체화된 객체의 정보를 묘사하기 위해 일반적인 형상 정보를 위한 객체 온톨로지를 기반으로 구조를 정의한다.[7] 구조는 형상(Shape), 위치(Location), 관계(Relation), 속성(Attribute), 구성요소(Component)의 개념들과의 관계를 통해 표현된다. 형상은 대상 객체가 가지고 있는 기하학적인 설계 요소를 나타내고, 위치는 기준점과 정량적인 위치 정보를 묘사한다. 관계는 대상 객체와 접촉하고 있는 다른 객체 사이의 정성적인 관계를 연결조건으로 나타내고, 구성요소는 객체를 구성하는 하위 객체를 표시한다. 속성은 객체의 재료가 갖는 속성과 비재료적 속성으로 구분하고 비재료적 속성은 무게, 크기 같은 정량적으로 나타낼 수 있는 속성과 색상 같은

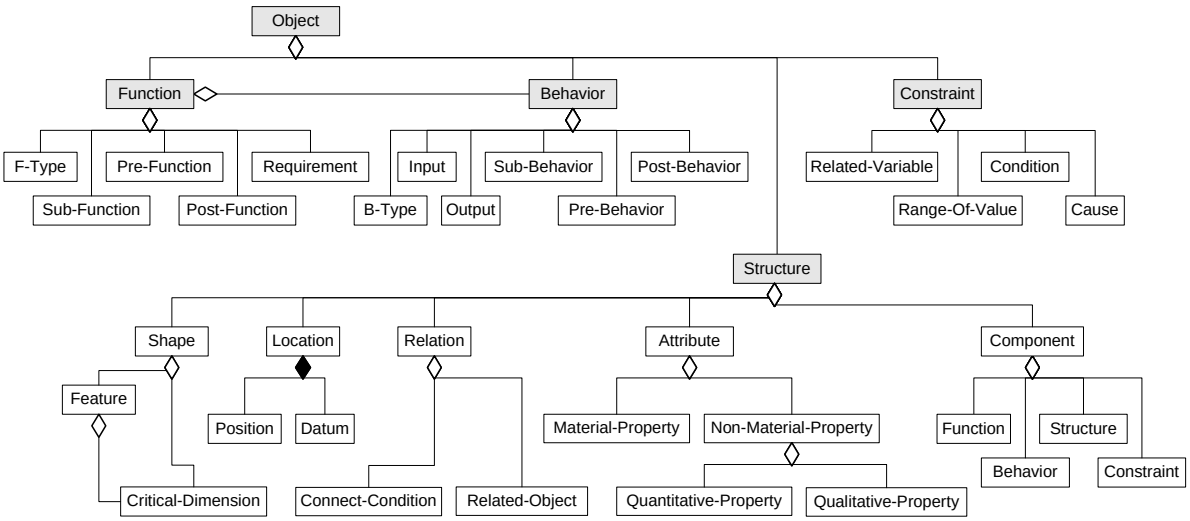

Fig. 4 Object Ontology for Design

정성적인 속성으로 구분한다. 설계 과정에서 설계 변수들은 다양한 이유에 의해 그 값을 제한 받는다. 객체 온톨로지에서 관련변수(Related-Variable), 범위(Range-of-Value), 조건(Condition), 원인(Cause)을 정의하여 제약조건을 표현한다. 관련변수는 대상 설계 변수를 말하며, 조건은 전제가 되는 다른 설계 변수들을 나타낸다. 범위는 정의된 조건들 전제하에 대상 설계 변수 값의 범위를 정의하고, 원인은 설계원리, 작용원리, 요구조건 등과 같은 제약의 근본적 이유를 표현한다.

대상영역의 설계 지식은 객체 온톨로지를 사용하여 정의된 여러 객체들과 객체를 정의하고 있는 개념들 사이의 관계 그리고 공리를 사용하여 표현된다. Fig.5 는 설계의 대상 영역에서 설계 지식을 표현하기 위한 객체들의 구조를 나타낸 것이다. 평면내의 큰 원은 개별적인 객체를, 그리고 원 내부에 있는 작은 원들은 객체 온톨로지를 정의하는 기능, 거동, 구조, 제약조건 등의 개념을 나타낸다. 평면은 객체 그룹에 대한 묘사로 내부에 있는 객체들은 적절한 기준에 따라 분류되어 계층구조를 형성한다. 객체 각각은 서로 다른 설계 지식을 내포하고 있으며, 평면 내부의 객체들은 추상화 정도에 따라 상위 객체의 설계 지식을 상속받는다. 인공물의 제품구조는 객체 온톨로지의 구성요소 개념을 사용하여 정의한다. 즉, Fig.5 에서 보이는 평면들의 계층 구조내에서 설계자의 의도와 설계 목적에 따라 적절한 기능을 수행하는 하위 구성요소로 다양한 조합이 가능하다. 이와 같이,

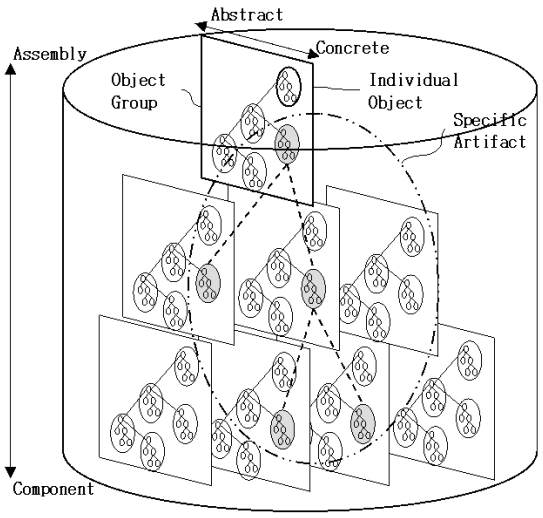

Fig. 5 Framework of Knowledge Model

서로 독립적인 두 가지 계층구조로 구성된 객체들의 집합 속에서 개념들의 관계와 다양한 공리를 통해 서로 다른 객체들 사이에 많은 설계 지식을 표현할 수 있다.

5. 적용사례 : 사출금형 설계 지식

사출금형 설계 지식의 예로써 객체 온톨로지를 이용한 설계 지식 표현 가능성을 고찰하고자 한다. Fig 6 은 도광판(LGP : Light Guide Plate) 성형에

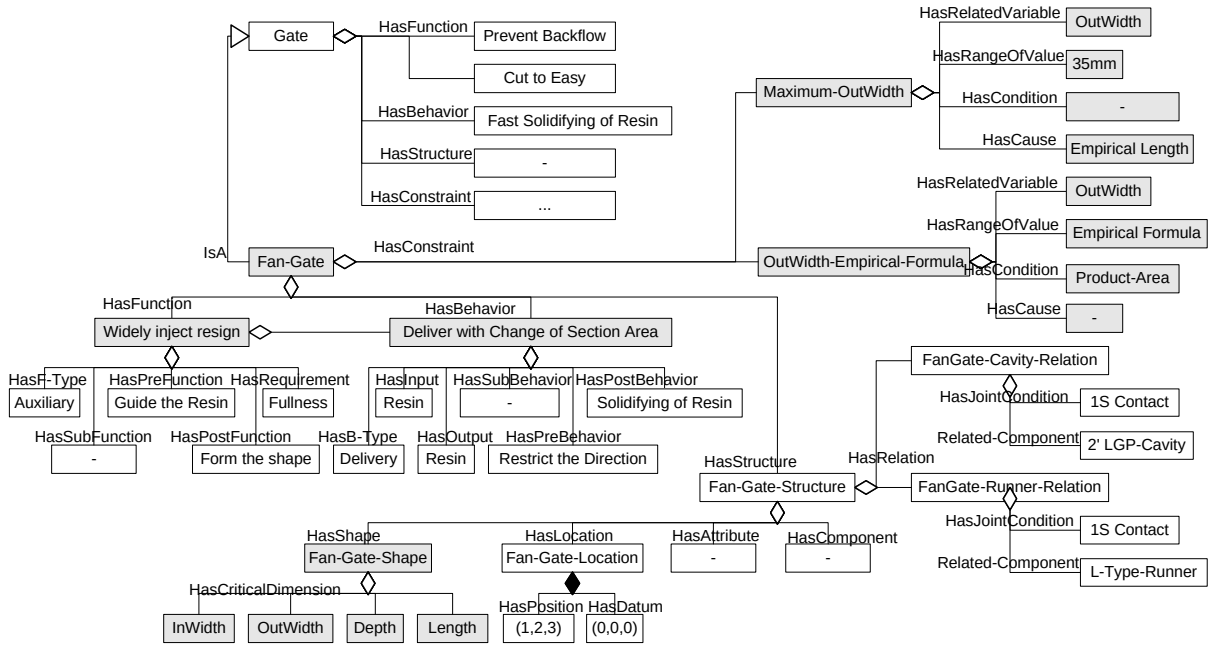

Fig. 6 Example of Fan-Gate Description

사용되는 팬게이트(Fan-Gate) 객체 온톨로지의 일부를 보여준다. 팬게이트는 면적이 비교적 큰 평판상의 성형품에 적당한 형식으로 성형품에 기포나 플로우 마크가 발생할 우려가 있는 경우 사용되는 부채꼴 형상의 게이트이다. 팬게이트와 게이트는 객체로서 각각의 객체 온톨로지로 서로 다른 지식을 표현한다. 하지만 팬게이트는 게이트의 한 종류로 게이트의 특성을 모두 갖고 있고, 이는 IsA 관계를 통해 팬게이트가 게이트 속성을 상속받아 표현한다. 즉, 팬게이트는 역류 방지와 절단을 용이하게 하는 게이트 본래의 기능과 함께 충진성을 위해 수지를 넓게 주입하도록 하는 별도의 기능을 가진 게이트임을 설명하고 있다. 기능 구조에 대한 지식은 사출 금형을 구성하는 객체들의 기능과 거동에 대한 정의 그리고 그들 사이의 관계를 통해 표현할 수 있다. Fig.6 에서는 팬게이트는 L 형 런너와 도광판용 캐비티 사이에서 한 면이 연결되어 수지를 전달하는 역할을 하는 것만 표현하고 있다. 하지만 인공물을 구성하는 모든 구성요소들의 기능과 거동의 관계를 표현하면 제품의 작동원리와 작용구조를 파악하여 해결안을 찾는데 도움을 준다. 구조는 팬게이트의 구체적인 물리적 속성과 형상을 표현하고 있다. 팬게이트는 최하위 구성요소이므로 구성요소 개념은 Null 값으로 표시하고, 또한 물리적 재료로 만들어진 것이 아니기 때문에 속성 개념도 Null 값을 갖는다. 부채꼴 형상을 갖는 팬게이트의 기하학적 설계 변수는 입력·출력부의 폭, 깊이, 길이로 정의된다. 그리고 이 게이트의 정량적 위치가 (0,0,0)을 기준점으로 (1,2,3)이라는 좌표 위에 있음은 알 수 있다. 제약조건 개념의 정의를 통해 출력부의 최대 폭이 35mm 를 초과하면 안되고, 경험식을 적용하여 제품의 면적에 따른 출력부 폭의 가능 범위를 구할 수 있음을 보여주고 있다.

6. 고찰

온톨로지를 사용하여 설계지식의 체계화와 설계 과정을 지능적으로 지원하는 설계 시스템을 위한 지식 표현 방법을 설명하고, 사출 금형 설계 지식을 그 적용 사례로 보였다. 온톨로지로 지식 베이스를 구축하기 위해서는 대상 영역의 설계 지식을 습득하고 체계화하여 표현하는데 많은 시간과 노력이 요구된다. 하지만 대상영역의 지식을 객체와 이를 정의하는 개념들 사이의 관계, 그리고 적절하게 정의된 공리를 사용해 표현하는 온톨로지 기반 지식 베이스로 구축한다면 지식의 관리와 공유, 그리고 확장이 용이하다. 뿐만 아니라 지식 표현의 일관성과 추론 메커니즘의 사용 가능성, 시스템의 상호 운용성을 보장한다. 향후, 설계 과정을 지능적으로 지원하는 설계 시스템에 적용하기 위하여는, 온톨로지에 기반한 설계 저장소(Design Repository)를 구축하고, 구축된 설계 저장소의 지식을 효과적으로 추론하기 위한 방법에 대한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 산업자원부 핵심연구개발사업 “미세형상 설계 지능화 기술 개발” 과제 수행의 일환으로 이루어진 것임을 밝히며, 지원 기관에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 유재복, “지식의 공유 및 활용을 위한 지식분류체계 설계 방안”, 정보관리연구, vol. 35, No. 1, 2004, pp 1-27
2. John S. Gero, “ Design Prototype : A knowledge representation schema for design,” AI Magazine, vol.11, No.4 pp.26-36.
3. S R Gorti, A Gupta, G J Kim, R D Sriram and A Wong “An object-oriented representation for product and design processes,” Computer-Aided Design, Volume 30, Issue 7, June 1998, Pages 489-501
4. TOVE Project , http://www.eil.utoronto.ca/tove/ontoTOC.html
5. R. Mizoguchi “Ontology-based systematization of functional knowledge,” Journal of Engineering Design, Vol.15, No 4 pp. 327-351, 2004
6. Y. Kitamura and R. Mizoguchi, “Ontology-Based Modeling of Product Functionality and Use -Part 1: Functional-Knowledge Modeling,” Proc. of The Third International Seminar and Workshop Engineering Design in Integrated Product Development, pp. 105-114, 2002
7. E. Wang, Y. Kim, S. Kim, “Object Ontology Using Form-Function Reasoning,” 한국 CAD/CAM 학회 2005 학술발표회 논문집, pp. 123-132, 2005