

## 온톨로지와 ELECTRE IS을 활용한 사양 기반 부품 유사도 측정 방법

문두환\*, 황호진\*\*

### Similarity Measurement of Part Specifications based on Ontology and ELECTRE IS

Duhwan Mun\* and Hojin Hwang\*\*

#### ABSTRACT

When existing parts are re-used for the development of a new product or business-to-business transactions, a method for searching parts from a part database that meets user's requirements is necessary. To this end, it is important to develop a part search method which is able to measure similarity between parts and user's input data with generality as well as robustness. In this paper, the authors suggest a method for measuring part similarity using ontology and multi-criteria decision making method and address its technical details. The proposed method ensures the interoperability with existing engineering information management systems, represents part specifications systematically, and has generality in the procedure for comparing part specifications. The case study for ejector pins having been conducted to demonstrate the proposed method is also discussed.

**Key words** : ELECTRE IS, Ontology, Similarity measurement, Part Specifications

#### 1. 연구 동기 및 문제 정의

설계 과정에서 설계자는 올바른 정보를 찾는데 총 설계 시간의 60%를 소비하고<sup>[1]</sup>, 설계의 약 80%는 기존 설계 결과물을 재사용하거나 일부분을 수정하는 형태로 이뤄진다<sup>[2]</sup>. 따라서 기업들간의 전자 거래를 위해서나 신 제품 설계 시 기존 부품을 재활용하기 위해서 부품 데이터베이스에 저장된 부품들 중에서 사용자의 요구 사항에 맞는 유사 부품을 검색할 수 있는 방법이 필요하다. 부품 검색 방법에서 중요한 것은 부품의 유사도를 일반성을 가지면서도 강건한 방법으로 측정하는 것이다. 또한 유사도 비교 과정에서 제조 프로세스, 가격, 재질과 같은 응용 분야의 지식이 중요한 역할을 하기 때문에 이와 같은 지식을 고려해야 한다.

기존의 부품 유사도 측정 방법은 사양 기반 유사도 측정 방법과 형상 기반 유사도 측정 방법으로 구분된다. 사양 기반 유사도 측정 방법은 부품 분류체계에 따라 기술된 부품 사양 데이터의 비교를 통해 부품들간의 유사 정도를 판단하는 방법이다. 부품 사양 데이터의 기술을 위해 사용하는 데이터 모델인 부품 분류체계는 코드 기반 부품 분류체계, 군 분류 기술을 이용한 형상 기반의 부품 분류체계, 데이터 사전 기반 분류체계로 나눌 수 있다. 부품 분류체계 정의를 위해 필요한 정보 모델링 자료는 ISO 13584 PLIB, ISO 15926 Process Plants에서 제공된다<sup>[3-5]</sup>.

부품 분류체계에 따라 부품 사양 데이터가 기술되면 사용자 입력 값과 비교하여 유사도를 계산한다. 서로 다른 정보 모델들 간의 유사도 비교에 관한 연구<sup>[6,7]</sup>는 소프트웨어 컴포넌트의 재활용<sup>[8]</sup>, 부품 분류체계 통합<sup>[9]</sup>, 정보 시스템들간의 상호운용성<sup>[10]</sup> 등을 위해서 다양하게 이뤄졌다. 그러나 부품 사양 데이터의 비교는 이와 같은 정보 모델(클래스 레벨)의 비교가 아니라 정보 모델에 따라 표현된 데이터(인스턴스 레벨)의 비교란 점에서 다르다. 이와 관련하여 최근에

\*중신회원, 한국해양연구원  
\*\*중신회원, 한국해양연구원  
- 논문투고일: 2009. 10. 14  
- 논문수정일: 2010. 02. 19  
- 심사완료일: 2010. 02. 26

Alizon<sup>[11]</sup>은 생산 공정 데이터의 재활용을 위해서 생산 공정과 관련된 여러 속성 값과 사용자 입력 값의 유사도를 가우스 분포(Gaussian distribution) 함수를 이용하여 정량화한 후 다기준 의사 결정 방법(ELECTRE 방법들<sup>[12]</sup> 중 하나인 ELECTRE IS)에 따라 최적의 대안을 찾는 방법을 제안하였다. Alizon의 방법은 유사도 비교 절차의 일반화 측면에서 장점이 있으나 지식의 형식화(formalization), 속성 비교 과정에서 필요한 유사도 측정 함수의 다양성, 유사도 측정 시 설계와 생산 지식의 활용 방안에 대해서 고려하지 않았다.

형상 기반의 부품 유사도 측정 연구는 전체 형상, 특징형상, 위상, 컨벡스 분할 트리(convex decomposition tree)와 같은 기하학적, 위상학적 특성을 이용하여 부품의 유사도를 측정하는 방법이다<sup>[13]</sup>. 형상 기반의 부품 유사도 측정 방법에서는 형상의 표현이 회전, 이동, 크기 변경에 영향을 받지 않도록 정규화하는 전처리 과정 이후에 부품의 형상을 특징형상 벡터나 관계형 데이터 구조(전역 특징형상, 제조 특징형상, 그래프, 히스토그램 등)로 표현한 후 형상 표현의 유사성을 비교한다<sup>[14]</sup>. 그러나 형상 기반의 부품 유사도 측정은 부품의 비형상 속성을 고려하지 않는다. 또한 이 방법은 분류체계에 따라 명세 된 정보 관리 시스템의 부품 데이터를 활용하는 것이 어렵다. 그리고 부품 검색 과정에서 설계 지식, 제조 지식에 근거하여 사용자의 입력 값을 검증해야 하지만 기존의 형상 기반의 부품 유사도 측정 방법은 이를 고려하지 않는다.

이 논문에서는 PDM(product data management), ERP(enterprise resource planning)와 같은 기존의 엔지니어링 정보 관리 시스템들에 쉽게 적용할 수 있고, 부품 속성의 검색 특성을 반영하면서, 사양 비교 과정의 일반성 및 사양 정보 표현의 체계성을 가지는 새로운 부품 유사도 측정 방법을 제안한다.

## 2. 제안하는 해결 방법과 사용 기술

이 연구에서는 부품의 유사도 비교를 “미리 정의된 분류체계에 따라 정보 관리 시스템의 데이터베이스에 저장된 부품 사양 데이터를 사용자가 입력한 데이터와 비교하여 가장 유사한 부품을 선정하는 것”으로 정의한다.

이와 같은 부품의 유사도 비교 문제에 있어 i) 부품 사양 정보 명세의 형식화, ii) 기존 정보 관리 시스템과의 상호운용성, iii) 비교 절차의 일반성 및 비교의 정확성에 대한 고려가 필요하고 이 연구에서는 이를

위해 온톨로지와 다기준 의사결정 방법을 적용한다.

### 부품 사양 정보 명세의 형식화

부품 사양 데이터는 상세화 정도에 따라 일반 데이터, 응용 분야의 공통 데이터, 업체 고유의 데이터로 구분될 수 있다. 업체 고유의 데이터는 호환성은 낮지만 상세도는 높다. 반면에 일반 데이터는 호환성은 높으나 상세도는 낮게 된다. 이 연구에서는, 이와 같은 부품 사양 데이터의 특성을 고려하여, 온톨로지를 이용하여 부품 사양 명세를 위한 데이터 모델을 정의한다. 상세화 정도가 다양한 부품 사양 데이터의 특성을 고려하기 위해서 부품 사양 온톨로지를 상위 온톨로지, 도메인 온톨로지, 업체 온톨로지로 계층화하여 구성한다. 또한 업체의 부품 설계 및 제조 지식을 표현할 수 있는 자원을 정의하고, 부품 사양 데이터와 연계한다.

### 정보 관리 시스템과의 상호운용성

정보 관리 시스템에서 부품 정보는 미리 정해진 분류체계에 따라서 기술되고, 일반적으로 사용되는 분류체계의 종류는 데이터 사전(data dictionary)이다. 데이터 사전은 부품 카테고리(category), 카테고리들 간의 계층 구조(부모-자식 관계)를 정의한 분류 트리(classification tree), 해당 카테고리에 속한 부품의 특성을 기술하는 속성(property)들로 구성된다<sup>[15]</sup>. 이 연구에서는 데이터 사전 형태의 부품 분류체계를 고려하여 상위와 도메인 레벨의 부품 사양 온톨로지를 정의함으로써 기존 정보 시스템과의 상호운용성을 보장한다.

### 비교 절차의 일반성 및 비교의 정확성

부품 사양 데이터의 비교를 위해서는 부품 속성 값과 사용자 입력 값과의 유사도를 정량화할 수 있는 방법과 부품의 여러 속성들에 대한 유사도 계산 결과를 종합적으로 고려하여 유사 부품을 결정할 수 있는 방법이 필요하다. 이 연구에서는 Alizon이 제안한 생산 공정 데이터의 유사도 측정 절차를 부품 유사도 비교 목적에 맞게 개선하여 사용한다. 첫 번째, 유사도 측정을 위해 가우스 분포 함수를 사용하지 않고 새로운 측정 함수를 도입한다. 두 번째, 부품 속성별로 비교 우선 순위를 부여하여 부품 속성의 비교를 단계적으로 수행한다.

유사도 계산 시 가우스 분포 함수를 사용하지 않은 이유는 데이터베이스에 저장된 부품 사양 데이터가 가우스 분포를 보이지 않기 때문이다. 부품 사양 데이

터는 사용자 입력 값 근처에 집중적으로 분포하는 것이 아니라 특정 범위 내에서 균등하게 분포한다.

## 2.1 부품 사양 상위 온톨로지

부품 사양 온톨로지는 OWL(Web Ontology Language)<sup>[16]</sup>을 이용하여 정의한다. OWL은 W3C의 시멘틱 웹 관련 권고안들 중 하나인 웹 온톨로지 언어로서, 사람에게 정보를 표시하는데 그치지 않고 정보의 의미를 직접 처리할 수 있는 어플리케이션을 구현하는데 활용될 수 있도록 설계된 언어이다. OWL은 표현력이 서로 다른 세 개의 하위 언어(OWL Lite, OWL DL, OWL Full)로 구성되어 있으며 후자로 갈수록 표현력이 더 크다. OWL은 사용자 정의 태그 스키마를 정의할 수 있는 XML(Extensible Markup Language)<sup>[17]</sup>과 데이터를 유연하게 표현할 수 있는 RDF(Resource Description Framework)<sup>[18]</sup>를 바탕으로 구축된다.

이 연구에서는 부품 사양 정보 명세를 위해서 온톨로지를 계층화하여 정의하였다. 응용 도메인에 독립적인 상위 온톨로지를 먼저 정의한 후, 이를 바탕으로 응용 도메인에 특화된 도메인 온톨로지를 구축한다. 그리고 생산 업체별 부품에 관한 지식은 상위 온톨로지와 도메인 온톨로지를 참고하여 업체 온톨로지에 정의한다. 부품 사양 온톨로지를 구성하는 이들 온톨로지 중에서 본 절에서는 상위 온톨로지에 대해서 설명한다. 사례 연구로서 금형 부품에 대해서 정의된 도메인 온톨로지와 업체 온톨로지는 3장에서 설명한다.

상위 온톨로지는 도메인 온톨로지와 업체 온톨로지 정의에 필요한 기본 어휘와 문법을 제공하는 정보 모델에 해당되며 다음 사항들을 고려하여 정의하였다.

- 데이터 사전 기반 분류체계: PDM, ERP의 엔지니어링 정보 시스템들은 부품의 사양을 주로 분류체계를 이용하여 표현하고 관리한다. 따라서 상위 온톨로지는 이와 같은 부품 분류체계를 정의하기 위한 자원이 제공해야 한다.
- 속성들의 비교 우선 순위: 부품의 유사도 비교 시, 가격, 납기, 제조 측면에서의 중요도에 따라 속성들의 비교 우선 순위가 다를 수 있다. 따라서 상위 온톨로지는 속성들의 비교 우선 순위를 명세할 수 있는 자원을 제공해야 한다.
- 속성별 유사도 측정 함수: 부품 속성의 유사도를 정확히 측정하기 위해서는 부품의 설계 및 제조 특성을 반영한 다양한 형태의 유사도 측정 함수의 도입이 필요하다. 따라서 상위 온톨로지는 각 속성별로 사용하는 유사도 측정 함수의 종류를 식별

하기 위한 자원을 제공해야 한다.

- 부품 지식: 부품 제조업체는 설계 방법, 생산 설비, 인력의 숙련도 차이로 인해서 서로 다른 수준의 부품 사양에 관한 제약 조건을 가진다. 분류체계에 따라 부품 사양을 기술 할 때 제약 조건은 부품 속성들간의 부여되는 다양한 종류의 관계로 표현된다. 상위 온톨로지는 부품 속성들간의 관계로 표현되는 업체별 부품 지식을 기술할 수 있는 자원을 제공해야 한다. 이 연구에서는 대표적인 속성들간의 제약조건인 속성간의 배타 관계, 종속 변수 관계, 속성의 정밀도를 고려한다.

위에서 설명한 정보 요구사항을 고려하여 상위 온톨로지를 정의한 결과가 Fig. 1에 도시되어 있다. 상위 온톨로지 그림에서 모서리가 둥근 직사각형은 OWL 개념(concept)을 나타내고, 화살표는 OWL 속성(property) 및 OWL 속성의 도메인 개념과 레인지 개념을 나타낸다(다음 예 참조).

```
<owl:Class rdf:about="#PartClass">
  <rdfs:subClassOf
    rdf:resource="#ClassAndPropertyElement"/>
</owl:Class>

<owl:ObjectProperty rdf:about="#hasPropertyOf">
  <rdfs:domain rdf:resource="#PartClass"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#PartProperty"/>
</owl:ObjectProperty>
```

ClassAndPropertyElement는 PartClass와 PartProperty의 상위 개념이다. PartClass는 부품의 타입을 나타내는 개념이고, PartProperty는 부품의 속성을 표현하는 개념이다. PartClass 인스턴스는 hasPropertyOf OWL 속성을 통해 여러 개의 PartProperty 인스턴스들을 가진다. 이와 같은 데이터 구조는 부품 타입, 부품 타입들간의 계층 관계, 부품 타입별 속성들로 구성되는 형태로서 ISO 13584 PLIB의 데이터 사전 정보 모델<sup>[19]</sup>을 참조하여 정의하였다. Manufacturer는 부품을 제조하는 업체를 의미한다.

PartProperty는 유사도 측정 함수(SimilarityFunction-Type)와 유사도 비교 우선 순위(itsPriorityOrder)를 가진다.

PartProperty는 Parameter, SubComponent, Optional-Manufacturing으로 나뉜다. Parameter는 부품의 형상 치수, 기능, 거래 조건, 가공 조건 등의 여러가지 부품

속성을 나타낸다. Parameter는 ShapeDimension, Tolerance, Transaction, Function, Machining로 구분된다. SubComponent는 부품이 서브 콤포넌트들로 구성되어 있고 서브 콤포넌트의 선택 여부가 부품의 속성이 될 때 사용한다. OptionalManufacturing은 사용자의 요청에 따라 부품에 평삭(milling), 드릴링(drilling)과 같은 추가적인 기계 가공 작업을 하는 것을 뜻한다. SubComponent와 OptionalManufacturing의 속성을 정의하기 위해서 Parameter가 사용된다.

ShapeDimension은 부품의 길이, 두께, 높이 등의 치수를 나타내는 개념이다. Transaction은 비용, 납기 등의 거래와 관련된 속성을 의미하고, Function는 부품의 기능과 관련된 속성을 나타낸다. Manufacturing는 재질(Material), 표면 처리(Surface Treatment), 경도(Hardness) 등의 부품의 제조 특성과 관련된 속성을 나타낸다.

회사별 부품의 지식의 명세를 위해서 PartKnowledge 개념이 사용되고, PartKnowledge는 PropertyDependency, PropertyExclusiveRelation, PropertyPrecisionLevel로

나뉜다. PropertyDependency는 부품 속성들간의 종속 관계를 표현할 때 사용하고, PropertyExclusiveRelation은 부품 속성들간의 배타 관계를 나타낸다. 제조업체의 설비와 인력의 숙련도를 고려할 때 업체에서 허용 가능한 속성의 정밀도를 나타낼 때는 PropertyPrecisionLevel을 사용한다.

2.2 부품 속성의 유사도 측정 함수

사용자 입력 데이터와 부품 사양 데이터의 비교를 위해서 먼저 부품의 속성 값이 사용자의 입력 값과 얼마나 유사한지를 계산해야 한다. 이를 위해 유사도 측정 함수가 사용되고 사용자의 입력 값과 부품 속성 값과의 유사도를 0에서 1사이의 값으로 정량화한다.

부품 속성의 유사도 측정 함수는 속성의 특징에 따라 다양한 형태를 가질 수 있다. 여러 가지 유사도 측정 함수 중에서 이 연구에서 사용된 유사도 측정 함수들을 살펴보면 다음과 같다. 여기서는 사용자의 입력 값을  $P_i(P_{i_{min}}, P_{i_{max}})$ 라 하고 데이터베이스에 저장된 부품 속성 값을  $P_d(P_{d_{min}}, P_{d_{max}})$ 라고 가정한다.

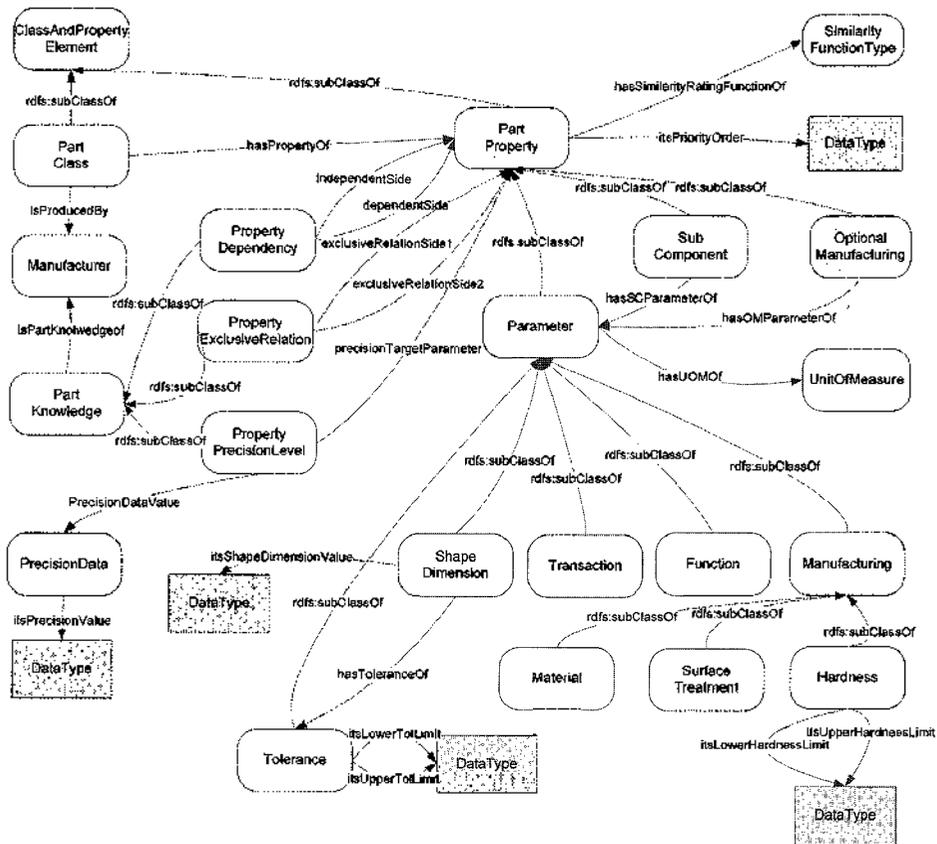


Fig. 1. Upper ontology for the representation of part specifications data.

부품 K의 속성 P가, 치수 관련 속성과 같이, 단일 스킵라 값을 가질 경우, 유사도 계산을 위해서 균일 분포 (uniform distribution) 함수를 사용한다.

#### Uniform distribution 함수

IF ( $P_{d\_min\_in\_database} < P_i < P_{d\_max\_in\_database}$ )  
 THEN  $|P_i - P_d| / (P_{d\_max\_in\_database} - P_{d\_min\_in\_database})$  ELSE 0  
 Where If subtype == "plus range" Then  $P_i < P_d$   
 Else If subtype == "minus range" Then  $P_i > P_d$

균일 분포 함수에서  $P_{d\_min\_in\_database}$ 는 데이터베이스에 존재하는 부품 속성 P의 최소 값이고,  $P_{d\_max\_in\_database}$ 는 데이터베이스에 존재하는 부품 속성 P의 최대 값이다. 사용자가 검색조건으로 부품 제조업체를 선택할 경우  $P_{d\_min\_in\_database}$ 와  $P_{d\_max\_in\_database}$ 는 데이터베이스에 저장된 부품들 중 선택된 제조업체가 생산하는 부품들의 속성 P의 최소, 최대 값이 된다.

균일 분포 함수를 이용하여 부품의 속성 값을 사용자 입력 값과 비교할 때 일반적으로는 부품 속성 값이 사용자 입력 값보다 큰지 혹은 작은지는 고려하지 않고 두 값 사이의 근접도를 계산한다(이 연구에서는 이를 'plus-minus range' 비교라고 명명함). 그러나 정확한 부품의 유사도 측정을 위해서는 부품의 설계 및 제조 특성을 반영해야 한다. 부품 K의 속성 p가 절단 작업에 의해서 생성되는 형상의 치수일 나타낼 경우, 유사도 비교 시 사용자가 입력한 값보다 작은 값을 가지는 부품의 유사도 비교는 의미가 없다. 이럴 경우 속성 p의 값이 입력 값보다 큰 경우에 대해서만 유사도를 비교하는 'plus range' 비교가 필요하고, 그 반대의 경우인 'minus range' 비교도 존재할 수 있다. 그래서 유사도 균일 분포 함수의 경우 사용자 입력 값을 기준으로 비교 범위에 따라 plus-minus range, plus range, minus range의 세가지 서브 타입이 존재한다.

부품 P의 속성 p가 스트링 데이터 타입이거나 업체의 생산 능력의 제한으로 인해서 속성 p의 값이 오직 a가 가능하다고 할 경우, 유사도 측정 시 "+range 비교"는 의미가 없고 일치 여부만을 따지는 일치 (exact) 비교를 해야 한다.

#### Exact 함수

IF ( $P_i == P_d$ ) THEN 1 ELSE 0

부품 P의 속성 p가, 공차와 같이 최대와 최소 사이의 범위가 되는 경우, 사용자의 입력 값과 부품 속성 값의 중첩 범위(overlapped\_range)를 사용자의 입력 값의 범위로 나눈 비율인 중첩 비율(overlapped ratio)

를 구하여 유사도를 정량화할 수 있다.

#### Overlapped ratio 함수

$overlapped\_range / (P_{i\_max} - P_{i\_min})$

부품 속성별로 사용되는 유사도 비교 함수는 부품 사양 도메인 온톨로지에 정의된다. 사용자가, 필요할 경우, 속성별로 정의된 유사도 측정 함수를 변경할 수 있다.

### 2.3 다기준 의사결정 방법의 활용

부품 분류체계에서 부품 타입별로 1개 이상의 복수 개의 속성을 가지는 것이 일반적이다. 부품의 속성 데이터를 사용하여 부품의 유사도를 측정한다. 이는 부품 유사도의 판단 기준이 여러 개임을 의미한다.

예를 들어, 부품의 유사도 측정 시 A 부품이 한 기준(속성  $p_1$ )에 대해서는 다른 부품 B보다 유사도가 높지만 다른 기준(속성  $p_2$ )에 대해서는 반대일 경우가 발생할 수 있다. 결국 부품의 다양한 속성들을 종합적으로 고려하여 사용자의 입력 값과 가장 유사한 부품을 판단할 수 있는 방법이 필요하다.

이와 같은 문제는 m개의 기준 집합  $F = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ 에 근거하여 n개의 대안 집합  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 에 대해서 순위 선호 관계를 판정하는 다기준 의사결정 문제로 볼 수 있다. 이 연구에서는 이를 위해서 ELECTRE IS 방법을 사용한다. ELECTRE IS는, SMART<sup>[20]</sup>나 AHP<sup>[21]</sup> 등의 다른 의사 결정 방법들과 비교해서, 무차별(indifference)과 선호(preference) 경계치를 이용하여 의사결정 과정의 모호성을 고려할 수 있다는 특징이 있다. 부록 '가'에 ELECTRE IS 방법에 대한 설명이 있다.

### 2.4 비교 우선 순위 개념의 도입

부품 검색 목적에 따라서 사용자가 중요시하는 속성들이 달라지기 때문에 속성의 비교 우선 순위가 달라진다. 부품 속성에 서로 다른 가중치를 적용하여 부품 속성의 중요도를 조절하는 전통적인 기법으로는 우선 순위가 떨어지는 속성의 영향을 완전히 배제할 수 없다. 그래서 부품 속성들의 유사도 비교 우선 순위(isPriorityOrder)에 따라 부품의 유사도 비교를 단계적으로 진행한다.

이 연구에서는 부품 속성의 비교 우선 순위는 초기에 동일하게 부여한다. 그리고 필요할 경우 사용자가 비교 우선 순위를 속성별로 다르게 지정할 수 있도록 한다.

부품 속성의 비교 우선 순위를 초기부터 중요도에

따라 자동으로 다르게 부여해야 할 경우 사용자들이 비교 우선 순위를 설정한 기존 기록을 바탕으로 가장 많은 빈도수를 보이는 우선 순위 설정 패턴을 찾을 수 있다. 또 다른 방안으로는 부품 속성들간의 종속관계를 분석한 후 독립 변수에 해당되는 부품 속성들의 우선 순위를 높게 잡는 것이다.

**2.5 유사 부품 검색 절차**

유사 부품의 검색 절차는 다음과 같다.

사용자는 원하는 부품 종류를 선택하고 부품의 속성 값을 입력한다. 부품 업체 온톨로지와 SWRL (Semantic Web Rule Language)<sup>[21]</sup>로 표현된 규칙들을 이용하여 사용자 입력 값을 체크하여 오류가 있을 경우 보고한다(Fig. 2(1)).

유사도 비교 우선 순위가 가장 높은 부품 속성 값 (도메인 온톨로지의 isPriorityOrder 값이 1인 부품 속성들)과 사용자 입력 값과의 유사도를 비교하여 후보 부품 세트를 선정한다. 세부 절차는 다음과 같다.

- 데이터베이스에 저장된 부품들에 대해서 사용자 입력 값과 부품 속성 값의 유사 정도를 유사도 측정 함수를 이용하여 0에서 1 사이의 값으로 정량화한다(Fig. 2(2)).
- 정량화된 부품 속성의 유사도 측정 값을 바탕으로 ELECTRE IS를 적용하여 가장 유사한 부품들을 선정하고 후보 부품 세트를 만든다(Fig. 2(3)).

후보 부품 세트의 부품들에 대해서 비교 우선 순위가 2인 부품 속성 값과 사용자의 입력 값과의 유사도를 비교한다. 비교를 통해 가장 유사한 부품들을 선정한 후 후보 부품 세트를 갱신한다. 유사도 비교 우선 순위가 가장 낮은 부품 속성들에 대해서 비교를 할 때까지 이 과정을 반복한다(Fig. 2(4)).

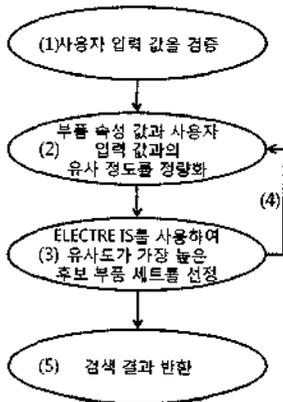


Fig. 2. Procedure for part similarity measurement.

최종적인 후보 부품 세트를 검색 결과로 반환한다 (Fig. 2(5)).

**3. 사례 연구 금형 부품(이젝터 핀)**

제안하는 부품 유사도 측정 방법의 사례 연구 대상으로 금형 부품 중 하나인 이젝터 핀을 선정하였다. 주문형 금형 부품의 사양 결정에 관한 선행 연구<sup>[23]</sup>를 수행하는 과정에서 이젝터 핀 생산 업체의 종이 카탈로그를 이용하거나 업체 담당자와의 회의를 통해 얻은 이젝터 핀에 관한 설계 및 생산 지식을 이번 사례 연구에서 활용하였다.

**3.1 이젝터 핀의 개요**

이젝터 핀은 Fig. 3과 같이 스트레이트 이젝터 핀 (straight ejector pin), 단불이 이젝터 핀 (stepped ejector pin), 각형 이젝터 핀 (rectangular ejector pin)의 3가지로 나뉜다. 이젝터 핀의 주요 속성은 다음과 같다.

- 파라미터
  - 지름(P), 끝부분 두께(W), 전체길이(L), 지름 공차, 유지부 지름(D), 유지부 길이(N), 열처리, 경도, 머리 높이 T, 머리 지름 H, 전체 길이 공차, 머리 높이 공차, 머리 지름 공차
- 서브 콤포넌트
  - 없음
- 추가가공
  - 머리부: 머리부 절단 가공(선단 추가가공 무), 머리부 절단 가공(선단 추가가공 유), 넘버링 가공, 노크핀 홀 가공, 탭 가공
  - 선단부: 선단 형상 가공, 다듬질 가공
  - 축부: 가스 벤트 가공

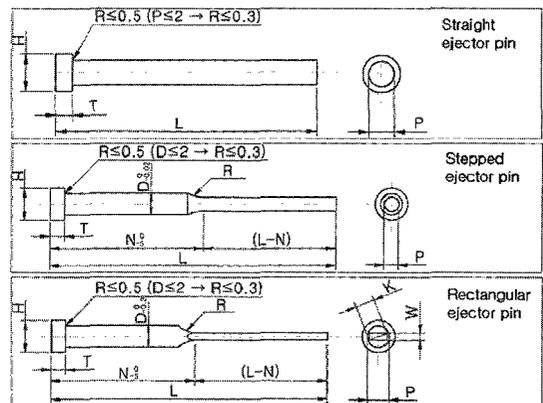


Fig. 3. Ejector pin types and properties.

각형 이젝터 핀의 경우 지름(P) 대신에 끝부분 폭(P), 끝부분 두께(W) 속성을 가진다. 단봉이 이젝터 핀, 각형 이젝터 핀의 경우 추가적으로 유지부 지름(D), 유지부 길이(N) 속성들을 가진다.

3.2 이젝터 핀 온톨로지

이젝터 핀 온톨로지는 도메인 온톨로지와 업체 온톨로지 구성된다.

3.2.1 이젝터 핀 도메인 온톨로지

도메인 온톨로지에서는, 상위 온톨로지를 참조하여, 대상 도메인의 일반적인 부품 사양 정보를 명세하기 위한 데이터 사전 기반 분류체계를 정의한다. 3.1 절에서 설명한 이젝터 핀의 속성들이 분류체계 형태로 이젝터 핀 도메인 온톨로지에 정의된다.

이젝터 핀에 대해서 정의된 도메인 온톨로지의 일부가 Fig. 4이다. 도메인 온톨로지 그림에서 모서리가 둥근 직사각형은 OWL 개념을 나타내고, 화살표는 아래의 예에서와 같이 존재 제약(existential restriction) 관계를 나타낸다.

```

<owl:Class rdf:about="#StraightEjectorPin">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#EjectorPin"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty>
        rdf:resource="#hasPropertyOf"/>
      <owl:someValuesFrom>
        rdf:resource="#EjectorPinLength"/>
    </owl:Restriction>
  </owl:Class>
  
```

3.2.2 이젝터 핀 업체 온톨로지와의 규칙

업체 온톨로지는 부품 속성들간의 관계를 통해 표현되는 업체별로 특수한 설계 및 생산에 관한 지식을 정의 한다. 예를 들어, 이젝터 핀 제조업체 Company A의 부품 지식으로 Table 1과 같이 이젝터 핀 속성들간의 종속 관계가 있을 수 있다.

Company A의 스트레이트 이젝터 핀에 관한 지식을 명세하기 위한 업체 온톨로지를 상위 온톨로지와

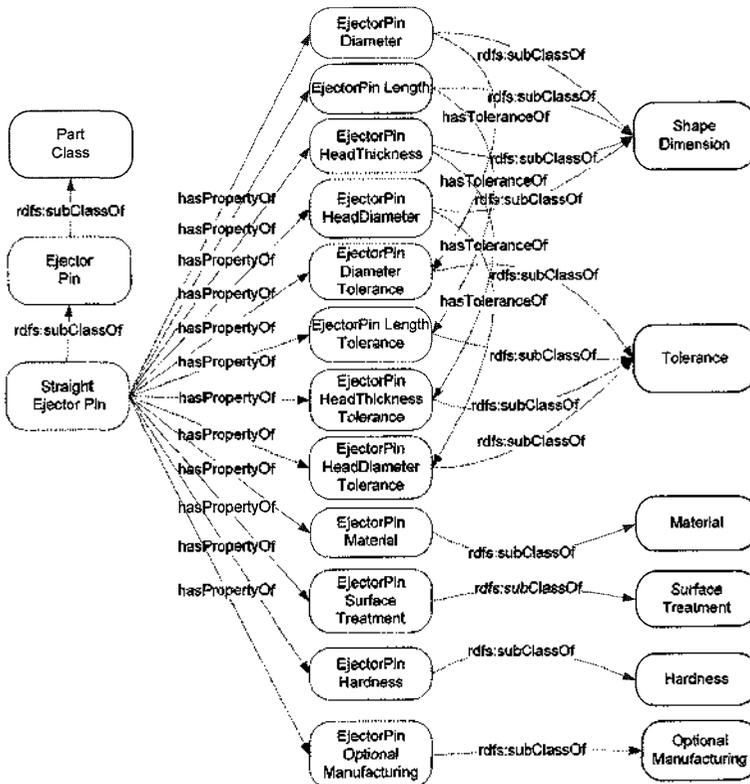


Fig. 4. Domain ontology for the representation of part specifications data – ejector pin.

Table 1. Dependency relations for straight ejector pin properties

Independent property		Dependent Property		
Material	Surface treatment	Ejector pin length tolerance	Ejector pin head thickness tolerance	Ejector pin head diameter tolerance
SACM645	chromium plating	+0.1~+5	-0.05~0	-0.3~0
SKD61	nitriding	+0.1~+5	-0.02~0	-0.3~0
SKH51	No	+0.1~+5	-0.02~0	-0.3~0

도메인 온톨로지를 이용하여 정의한 결과가 Fig. 5이다. 업체 온톨로지 그림에서 모서리가 둥근 직사각형은 OWL 개념을 나타내고, 정사각형은 OWL 개체(individual)을 의미한다. 실선 화살표는 존재 제약 관계를 나타내고 점선 화살표는 속성 값 제약(hasValue restriction) 관계를 의미한다.

업체 온톨로지 속성들간의 배타 관계, 종속 관계, 정밀도 관계의 존재 여부는 정의할 수 있다. 예를 들어, 업체 온톨로지에 스트레이트 이젝터핀의 재질과 표면처리 상태에 의해서 머리 높이 공차 값이 영향

을 받는다는 지식을 명세할 수 있다(Fig. 5의 PD\_EPHTT\_CompanyA). 그러나 온톨로지 지식 구성하는 수식이나 조건을 명확히 명세 하기는 어렵다. 그래서 SWRL을 사용하여 지식의 상세 내용을 명세한다.

SWRL은 W3C에 제안된 시멘틱 웹 데이터의 규칙 표현을 위한 언어이고 OWL DL 및 OWL Lite 언어와 규칙 언어인 RuleML의 결합한 것이다. SWRL의 기본 문법은 다음과 같다.

*Antecedent (전제) → consequent (결론)*

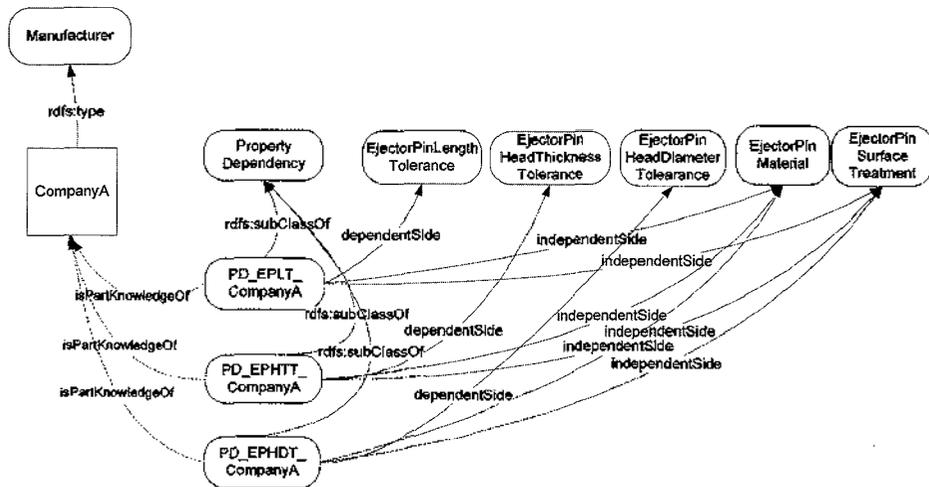


Fig. 5. Company ontology for the presentation of part specifications data – ejector pin.

List 1. SWRL rules for verifying user input data

<pre> StraightEjectorPin(?part) ∧ isProducedBy(?part, CompanyA) ∧ hasPropertyOf(?part, ?EPM) ∧ Material(?EPM) ∧ itsMaterial(?EPM, "SKD61") ∧ hasPropertyOf(?part, ?EPST) ∧ SurfaceTreatment(?EPST) ∧ itsSurfaceTreatment(?EPST, "Nitriding") ∧ hasPropertyOf(?part, ?p1) ∧ EjectorPinHeadThicknessTolerance(?p1) ∧ itsLowerTolLimit(?p1, ?l1) ∧ swrlb:notEqual(?l1, -0.02) → query:select(?part, ?p1, ?l1, ?l2)                     </pre>	<pre> StraightEjectorPin(?part) ∧ isProducedBy(?part, CompanyA) ∧ hasPropertyOf(?part, ?EPM) ∧ Material(?EPM) ∧ itsMaterial(?EPM, "SKD61") ∧ hasPropertyOf(?part, ?EPST) ∧ SurfaceTreatment(?EPST) ∧ itsSurfaceTreatment(?EPST, "Nitriding") ∧ hasPropertyOf(?part, ?p1) ∧ EjectorPinHeadThicknessTolerance(?p1) ∧ itsUpperTolLimit(?p1, ?l2) ∧ swrlb:notEqual(?l2, 0) → query:select(?part, ?p1, ?l1, ?l2)                     </pre>
--	--

이 문법은 전체에 명세 된 조건이 만족되면 결론에 명세 된 조건도 만족해야 한다는 것을 의미한다.

전제와 결론은 1개 이상의 원소로 구성된다. 원소는 OWL 개념  $C(x)$ , OWL 속성  $P(x, y)$ , sameAs  $(x, y)$ , differentFrom  $(x, y)$ , SWRL built-in 함수가 될 수 있다. 여기서  $x, y$ 는 OWL 개념, OWL 개체, 또는 OWL 데이터 값이 된다.

List 1은 Table 1에 기재된 지식 중 하나인 “Company A에서 생산하는 스트레이트 이젝터 핀의 재질이 SKD61이고 질화처리(nitriding)를 했을 경우 이젝터 핀의 머리 높이 공차는  $-0.02\sim 0$ ”이어야 한다”라는 지식에 위반되는 사용자 입력 데이터를 검색하는 SWRL 규칙이다.

### 3.3 이젝터 핀의 유사도 측정

Company A에서 생산하는 스트레이트 이젝터 핀에 대해서 유사도 측정 실험을 수행하였다. 유사도 측정 실험을 위해서 먼저 스트레이트 이젝터 핀 4개를 선정하고 이젝터 핀의 도메인 온톨로지에 따라 부품 사양 정보를 표현하였다. 사용자의 입력 데이터는 업체 온톨로지와 SWRL 규칙을 사용하여 검증하였다. 이젝터 핀 속성별로 정의된 유사도 측정 함수에 따라 사용자 입력 값과의 유사도를 정량화하였다. 마지막으로 속성별 비교 우선 순위에 따라 ELECTRE IS를 단계적으로 적용하여 실험 대상 부품들 중에서 사용자 입력 값과 가장 유사한 핵심 대안을 선정하였다.

스트레이트 이젝터 핀의 속성별 유사도 비교함수와 우선 순위는 Table 2와 같다. 스트레이트 이젝터 핀의 속성 비교 함수로는 균일 분포, 일치, 그리고 중첩 비율 함수를 사용한다. 균일 분포 함수는 수치 값의 비교 시 사용한다. 일치 함수는 문자열 데이터의 비교

시 사용되고, 중첩 비율 함수는 공차와 같이 최대값과 최소값을 가지는 속성을 비교할 때 사용한다. 균일 분포 함수를 사용하는 속성의 경우, []안에 기재된 데이터는 Company A에서 생산되는 스트레이트 이젝터 핀 속성들의 최소/최대 값들이다.

유사도 측정 실험을 위해서 선정된 비교 대상 부품들 (TP00000001, TP00000002, TP00000003, TP00000004)의 속성 값의 유사도를 유사도 측정 함수를 사용하여 정량화한 결과가 Table 3이다. Table 3의 맨 오른쪽 열에는 기재된 사용자의 초기 입력 값을 Company A의 업체 온톨로지와 SWRL 규칙을 사용하여 검증하여 머리 지름 공차(Head Diameter Tolerance) 값  $-0.4\sim 0$ 이 Company A의 부품 지식을 위반하는 것을 발견하였다. 그래서 머리 지름 공차 값을  $-0.3\sim 0$ 으로 수정하였다.

실험 대상 부품들의 속성 별 유사도를 계산한 후 이를 바탕으로 ELECTRE IS 방법에 따라 부품들의 순위선호 관계 aSb를 계산하였다. 순위 선호 관계 aSb 값은 모든 기준을 고려하여 대안 a가 대안 b보다 열등하지 않을 때 ‘1’이 되고, 반대로 열등할 경우 ‘0’이 된다. 순위 선호 관계의 계산을 위해서 사용되는 파라미터  $p, q, v$ ,의 값으로는 각각 0.1, 0, 0.3, 0.5를 설정하였다.

속성들의 비교 우선 순위를 고려하지 않았을 때 실험 대상 부품들의 순위선호 관계 aSb를 계산한 결과가 Table 4-1이다. 표의 1열에 기재된 부품들은 순위 선호 관계 aSb에서 a를 나타낸다. 그리고 표의 1행에 기재된 부품들은 순위 선호 관계 aSb에서 b를 나타낸다. 만약 부품 b가 다른 모든 부품들에 대해서 순위 선호 관계 aSb 값이 0일 경우 그 부품은 다른 모든 부품들에 대해서 열등하지 않은 핵심대안이 된다.

**Table 2.** Similarity measuring functions for part properties of straight ejector pins and their priority orders in comparison

Part property	Similarity measuring function	Priority order in comparison
Diameter	Uniform Distribution Function: Minus Range [0.3-12]	1
Diameter Tolerance	Overlapped Ratio Function	1
Length	Uniform Distribution Function: Plus Range [50-350]	1
Length Tolerance	Overlapped Ratio Function	1
Head Diameter	Uniform Distribution Function: Plus Range [3-17]	2
Head Diameter Tolerance	Overlapped Ratio Function	2
Head Thickness	Uniform Distribution Function: Plus Range [4-8]	2
Head Thickness Tolerance	Overlapped Ratio Function	2
Hardness	Overlapped Ratio Function	2
Material	Exact Function	2
Surface Treatment	Exact Function	2

**Table 3.** Similarities of part property of the test parts against user input data

	TP00000001		TP00000002		TP00000003		TP00000004		Modified Input Value	Initial Input Value
	Property Value	Property Similarity								
Diameter	1.5	0.812	3.5	0.983	3.8	0	3.5	0.983	3.7	3.7
Diameter Tolerance	-0.005~0	1	-0.005~0	1	-0.005~0	1	-0.02~0.01	0	-0.005~0	-0.005~0
Length	250	0.5	150	0.883	60	0	60	0	100	100
Length Tolerance	0.1~5	1	0.1~5	1	0.1~5	1	0.1~5	1	0.1~5	0.1~5
Head Diameter	7	1	9	0.857	7	1	7	1	7	7
Head Diameter Tolerance	-0.3~0	1	-0.3~0	1	-0.3~0	1	-0.3~0	1	<del>-0.3~0</del>	-0.4~0
Head Thickness	4	1	6	0.5	6	0.5	4	1	4	4
Head Thickness Tolerance	-0.02~0	1	-0.02~0	1	-0.02~0	1	-0.02~0	1	-0.02~0	-0.02~0
Hardness	58~60	1	56~59	0.5	58~60	1	58~60	1	56~59	56~59
Material	SKH51	1	SKH51	1	SKH51	1	SKH51	1	SKH51	SKH51
Surface Treatment	No	1	No	1	No	1	No	1	No	No

**Table 4-1.** Outranking relations aSb for the test parts – without considering comparison priority orders

	TP00000001	TP00000002	TP00000003	TP00000004
TP00000001		0	1	1
TP00000002	0		0	0
TP00000003	0	0		0
TP00000004	0	0	0	

**Table 4-2.** Outranking relations aSb for the test parts – with considering comparison priority orders

	TP00000001	TP00000002	TP00000003	TP00000004
TP00000001		0	1	1
TP00000002	1		1	1
TP00000003	0	0		0
TP00000004	0	0	0	

Table 4-1의 결과를 보면 실험 대상 부품들 중에서 TP00000001과 TP00000002가 다른 부품들에 대해서 열등하지 않은 핵심대안이 되어 검색 결과로 이 부품들을 반환한다.

그러나 비교 우선 순위가 높은 지름 (Diameter), 지름공차(Diameter Tolerance), 전체 길이(Length), 전체 길이 공차(Length Tolerance)를 고려하여 순위선호 관계 aSb를 계산하면 Table 4-2와 같은 결과를 얻는다. 실험 대상 부품들 중에서 TP00000002만이 다른 모든 부품들에 대해서 열등하지 않아 TP00000002를 핵심대안으로 반환한다. 유사도를 비교할 때 지름, 지름 공차, 전체 길이, 전체 길이 공차 속성을 먼저 고려할

경우 TP00000001은 TP00000002 보다 열등하게 되어 핵심대안이 되지 못한다.

실험 대상 부품들의 유사도 비교 결과로부터 부품 속성들의 비교 우선 순위에 차등을 두면 사용자의 의도를 명확히 반영한 부품 유사도 비교를 할 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

이 연구에서 온톨로지와 다기준 의사결정 방법을 활용하여 부품 사양 정보의 유사도를 비교하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법의 기술적 특징은 다음

과 같다.

- 상위 온톨로지, 도메인 온톨로지, 업체 온톨로지  
로 구성된 계층화된 부품 사양 온톨로지의 정의
- 온톨로지와 SWRL을 이용하여 업체의 부품에 관  
한 지식을 명세하고 사용자 입력 값을 검증
- 부품 속성별 특성을 반영한 다양한 유사도 측정  
함수의 정의
- 유사도 비교 시 부품 속성별 비교 우선 순위 개념  
을 도입

이 연구의 주요 기여도로는 온톨로지를 사용하여  
부품 사양 데이터의 명세 방법을 형식화하고,  
ELECTRE IS와 함께 다양한 유사도 비교 함수를 도  
입하여 유사도 비교 절차의 일반성을 확보한 점을 들  
수 있다.

부품 사양의 명세를 위한 정보 모델의 형식화를 위  
해서 부품 사양 온톨로지를 정의하였다. 그리고 부품  
사양 온톨로지의 구성을 상위 온톨로지, 도메인 업체  
온톨로지, 업체 온톨로지 계층화함으로써 부품 사  
양 정보의 상호운용성 및 확장성을 확보하였다.

부품 사양 비교 과정은 Arizon이 제안한 지식 재활  
용 과정을 보완한 것이다. 차별성은 부품 속성의 특성  
을 고려한 다양한 유사도 비교 함수를 도입한 점과 속  
성별 비교 우선 순위를 다르게 하여 유사도 비교 시  
사용자의 의도를 정확히 반영하도록 한 점에 있다.

## 후 기

이 논문은 한국해양연구원의 “기관목적사업”의 지  
원으로 수행된 연구 결과의 일부임을 밝힙니다.

## 참고문헌

1. Leizerowicz, W., Lin, J. and Fox, M. S., “Collaborative Design Using WWW”, *Proceedings of the WET-ICE'96*, CERC, University of West Virginia 1996.
2. Gunn, T. G., “The Mechanization of Design and Manufacturing”, *Scientific American*, Vol. 247, No. 3, pp. 114-130, 1982.
3. Radack, G., “Report on the Task Force on Dictionaries, Part Libraries and Reference Data Libraries”, ISO TC184/SC4 N2016, 2005.
4. Pierra, G., Potier, J.-C. and Sardet, E., “From Digital Libraries to Electronic Catalogues for Engineering and Manufacturing”, *International Journal of Computer Applications in Technology*, Vol. 18, No. 1-4, pp. 27-42, 2003.
5. Leal, D., “ISO 15926 Life Cycle Data for Process Plant: An Overview”, *Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP*, Vol. 60, No. 4, pp. 629-637, 2005.
6. Rodriguez, M. A. and Egenhofer, M. J., “Determining Semantic Similarity among Entity Classes from Different Ontologies”, *IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp. 442-456, 2003.
7. Mili, R., Desharnais, J., Frappier, M. and Mili, A., “Semantic Distance between Specifications”, *Theoretical Computer Science*, Vol. 247, No. 1-2, pp. 257-276, 2000.
8. Prieto-Diaz, R. and Freeman, P., “Classifying Software for Reusability”, *IEEE Software*, Vol. 4, No. 1, pp. 6-16, 1987.
9. Cho, J., Han, S. and Kim, H., “Meta-ontology for Automated Information Integration of Parts Libraries”, *Computer-Aided Design*, Vol. 38, No. 7, pp. 713-725, 2006.
10. Sheth, A., “Changing Focus on Interoperability in Information Systems: From System, Syntax, Structure to Semantics”, in M. Goodchild, M. Egenhofer, R. Fegeas, C. Kottman (eds.), *Interoperating Geographic Information Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1999.
11. Alizon, F., Shooter, S. B. and Simpson, T. W., “Reuse of Manufacturing Knowledge to Facilitate Platform-based Product Realization”, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 6, No. 2, pp. 170-178, 2006.
12. Roy, B., “The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods”, *Theory and Decision*, Vol. 31, No. 1, pp. 49-73, 1991.
13. Hong, T., Lee, K. and Kim, S., “Similarity Comparison of Mechanical Parts to Reuse Existing Designs”, *Computer-Aided Design*, Vol. 38, No. 9, pp. 973-984, 2006.
14. Iyer, N., Jayanti, S., Lou, K., Kalyanaraman, Y. and Ramani, K., “Three-dimensional Shape Searching: State-of-the-art Review and Future Trends”, *Computer-Aided Design*, Vol. 37, No. 5, pp. 509-530, 2005.
15. Mun, D., Kim, H., Jang, K., Cho, J., Kim, J. and Han, S., “A Method for Automatic Generation of Parametric CAD Models in a Mold Base e-Catalog System”, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 6, No. 3, pp. 308-314, 2006.
16. W3C OWL Web site, <http://www.w3.org/2004/OWL/>, 2007.
17. W3C, Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fourth Edition), W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/2006/REC-xml-20060816/>, 2006.
18. W3C, Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax, W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/rdf-concepts/>, 2004.

19. ISO, Industrial Automation Systems and Integration - Parts Library - Part 42: Methodology for Structuring Parts Families, ISO 13584-42, 1998.  
 20. W. Edwards, "How to Use Multiattribute Utility Measurement for Social Decision Making", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 7, No. 5, pp. 326-340, 1977.  
 21. T.L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, 1980.  
 22. W3C, A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML, W3C Member Submission, <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>, 2004.  
 23. Mun, D., Jang, K., Han, S., Kim, J. and Hwang, H., "Engineered-to-order Approach for Providing Flexibility in e-Commerce of Mold Parts", *Concurrent Engineering: Research and Applications*, Vol. 15, No. 4, pp. 345-355, 2007.

**부록 가. ELECTRE IS 방법**

다기준 의사결정 문제에서는 n개의 대안들의 집합  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 와 m개의 기준들 집합  $F = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ 이 주어진다. 그리고 어떤 기준 k에 대한  $a_i \in A$ 에 대한 평가치는  $g_k(a_i)$ 로 표현되며, 대안  $a_j \in A$ 의 다기준 평가치는  $g(a_j) = \{g_1(a_j), g_2(a_j), \dots, g_m(a_j)\}$ 로 나타낼 수 있다.

ELECTRE에서는 "모든 기준을 고려하여 대안 a는 대안 b보다 나쁘지 않다"라는 순위 선호(aSb) 관계를 기반으로 한다. ELECTRE 방법에서는 두 대안간의 순위선호 관계를 정의하는데 있어서 의사결정자가 갖게 되는 애매모호한 판단을 감안하여 유사기준의 개념을 도입하였다. 유사 기준은 각 기준 k에 대해서 indifference, preference, veto 경계치( $q_k, p_k, v_k$ )를 지정함으로써 구성된다. 여기서 indifference 판정 경계치의 의해 구분되는  $aI_k b$ 는 두 대안 사이에 선호관계가 없음을 의미하고, preference 판정 경계치에서 의해 구분되는  $aP_k b$ 는 대안 a가 대안 b보다 확실히 좋음을 확신할 수 있음을 의미한다. 그리고 indifference와 preference 판정 경계치 사이에 존재하는  $aQ_k b$ 는 대안 a가 대안 b보다 좋지만 이를 확신하기에는 다소 망설임이 있음을 의미한다.

$$aP_k b: g_k(a) - g_k(b) \geq p_k$$

$$aQ_k b: q_k \leq g_k(a) - g_k(b) \leq p_k$$

$$aI_k b: -q_k \leq g_k(a) - g_k(b) \leq q_k$$

"기준 k에 대해서 대안 a는 대안 b보다 나쁘지 않다"를 의미하는  $aS_k b$ 는  $aP_k b, aQ_k b, aI_k b$ 일 경우에 성립된다. 한편 한 기준 k에서 대안 a에 대한 b의 평

가치의 차이가 veto 판정 경계치보다 크게 되면 다른 모든 기준에서  $aS_j b, j \neq k$ 가 성립된다 하더라도  $aS_b$ 를 부정하게 된다.

ELECTRE 방법의 여러 버전 중 하나인 ELECTRE IS방법에서는 매개변수-가중치( $w_k$ ), 유사기준 경계치( $q_k, p_k, v_k$ ), 일치판정 기준 비율(s)- 설정으로부터 시작한다. 매개변수가 결정되면 순위선호 관계( $a_i S a_j$ )를 결정하기 위해서 두 대안 사이의 일치 지수(concordance index,  $C(a_i, a_j)$ )와 불일치 지수(discordance index,  $D(a_i, a_j)$ )를 계산한다. 마지막으로 결정된 순위선호 관계를 통해 핵심 대안 집합이 선정된다.

일치 지수는 다음과 같이 정의된다.

$$c_k(a_i, a_j) = \begin{cases} 1, & a_i S_k a_j \\ \frac{g_k(a_i) - g_k(a_j) + p_k}{p_k - q_k}, & a_j Q_k a_i \\ 0, & a_j P_k a_i \end{cases} \quad (1)$$

$$C(a_i, a_j) = \sum_{k=1}^m w_k c_k(a_i, a_j) \quad (2)$$

불일치 지수는 다음과 같이 정의된다.

$$d_k(a_i, a_j) = \begin{cases} 0, & \text{if } g_k(a_i) - g_k(a_j) > q_k \frac{1 - C(a_i, a_j) - w_k}{1 - s - w_k} - v_k \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$D(a_i, a_j) = \begin{cases} 0, & d_k(a_i, a_j) = 0, \forall i, j, k, i \neq j \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

순위선호 관계는 다음 식 (5)을 이용하여 계산된다.

$$a_i S a_j = \begin{cases} 1, & C(a_i, a_j) \geq s \text{ and } D(a_i, a_j) = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{where } 0.5 \leq s < s^*, s^* = 1 - 2 \min_{K \in F} w_k$$

일치 판정 기준 비율 s의 하한 0.5는 최소한 과반수의 기준들에서  $a_i S a_j$ 를 동조할 수 있어야 한다는 것을 의미한다. 한편 일치판정 기준비율을 상한 s\*보다 크게 설정하면 모든 기준에 대해서  $a_i S a_j$ 가 성립될 때만  $a_i S a_j$ 가 성립된다.

마지막으로 핵심대안  $a_j$ 는, 다른 어떤 대안들에 대해서도 순위선호(outranked) 되지 않은 대안으로 정의되고 다음 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n a_i S a_j = 0 \quad (6)$$



### 문 두 환

1999년 고려대학교 기계공학과 학사  
 2001년 한국과학기술원 기계공학과 석사  
 2006년 한국과학기술원 기계공학과 박사  
 2006년~현재 한국해양연구원 선임연구원  
 관심분야: Collaborative Product Design,  
 Digital manufacturing, Engineering  
 data exchange, Engineering system  
 integration, Industrial data standards,  
 Ontology, Web services



### 황 호 진

1997년 연세대학교 기계공학과 학사  
 1999년 연세대학교 기계공학과 석사  
 2003년 한국과학기술원 기계공학과 박사  
 2003년~현재 한국해양연구원 해양시스  
 템안전연구소 선임연구원  
 관심분야: Ship STEP, PLM, Modeling  
 & Simulation