

## 시맨틱 웹과 SWCL하의 제품설계 최적 공통속성 선택을 위한 의사결정 지원 시스템

김학진\* · 윤소현\*\*

A Decision Support System for Product Design Common  
Attribute Selection under the Semantic Web and SWCL

Hak-Jin Kim\* · Sohyun Youn\*\*

### ■ Abstract ■

It is unavoidable to provide products that meet customers' needs and wants so that firms may survive under the competition in this globalized market. This paper focuses on how to provide levels for attributes that compose product so that firms may give the best products to customers. In particular, its main issue is how to determine common attributes and the others with their appropriate levels to maximize firms' profits, and how to construct a decision support system to ease decision makers' decisions about optimal common attribute selection using the Semantic Web and SWCL technologies. Parameter data in problems and the relationships in the data are expressed in an ontology data model and a set of constraints by using the Semantic Web and SWCL technologies. They generate a quantitative decision making model through the automatic process in the proposed system, which is fed into the solver using the Logic-based Benders Decomposition method to obtain an optimal solution. The system finally provides the generated solution to the decision makers. This presentation suggests the opportunity of the integration of the proposed system with the broader structured data network and other decision making tools because of the easy data shareness, the standardized data structure and the ease of machine processing in the Semantic Web technology.

Keyword : Product Design, the Semantic Web, SWCL, Decision Support System

## 1. 서 론

현대의 기업은 치열한 시장 경쟁상황 속에서 새로운 시장을 개척하기 위해 그리고 기존의 시장 점유를 유지하기 위해 새로운 제품들을 개발하고 이를 통해 소비자의 욕구에 응답한다. 이때 개념적인 제품을 소비자들이 느낄 수 있는 속성들로 구성하고 소비자들이 원하는 수준으로 제공할 수 있도록 제품을 구체적으로 형상화하는 것은 제품 개발에서 가장 중요한 요소이다. 이 논문에서는 이러한 상황에서 소비자들의 속성에 대한 효용을 가정하여 어떻게 속성들의 수준을 최적으로 결정하는 지를 결정할 제품설계에 대한 계량모형을 통한 해결에 관심을 둔다. 특히 제품설계 안에서 어떤 속성을 여러 제품들의 공통속성으로 결정하고 나머지 속성들을 각 시장 시그먼트별로 차별화할지를 결정하는 문제 즉 제품설계에서 최적 공통속성의 선택의 문제 해결에 집중하여, 시스템적인 관점에서 일반 개발자나 의사결정자들이 모형구조에 대한 구체적인 지식없이도 문제를 해결할 수 있도록 의사결정 지원 시스템을 구축하는 것을 목표로 한다.

구체적으로 시스템의 구축에 시맨틱 웹 기술, 특히 SWCL(Semantic Web Constraint Language) 기술을 이용한다. 최근 구글은 웹 검색엔진에 시맨틱 기술을 도입하여, 구글의 검색 엔진이 스스로 관련어나 개념을 파악할 수 있도록 하는 검색의 정확성을 한층 높인바 있지만,<sup>1)</sup> 온톨로지의 데이터를 가공하고 개념간의 의미망을 형성함으로써 효율적으로 정보공유가 가능하게 하는 시맨틱 웹의 특성은 정보의 검색 속도나 정확성을 넘어서 비즈니스에도 유용하게 활용될 수 있다. 기업 내 여러 곳에 데이터들이 분산되어 저장되어 있을 때 그 데이터들 사이의 규칙에 따라 기계를 통해 정보간의 관계를 인식하고 통합하여 활발한 정보의 교환을 통해 최적의 의사결정을 도울 수 있기 때문이다. 또 의사결정 지원 시스템의 측면에서 이 기술을 사용

하는 것은 의미있는 일이라 본다. 왜냐하면 시스템 자체가 개별적으로 분리된 시스템으로 존재하기 보다는 기업 내외의 다른 시맨틱 웹 시스템과 데이터 상으로 상호 연결되어 더욱 커다란 데이터의 의미망 네트워크를 형성할 수 있고 이 데이터를 활용한 여러가지 의사결정 기술들이 네트워크 상에 통합된다면 기업의 통합적인 의사결정 지원 시스템으로의 확장이 가능하며 이를 통해 의사결정자들의 의사결정에 보다 유연하게 적용될 수 있기 때문이다. 예를들어 이 논문에서는 소비자의 제품 속성에 대한 효용의 데이터를 사용하는데 이는 일반적으로 콘조인트 분석을 통해 얻어진다. 따라서 콘조인트 분석의 의사결정 툴을 시맨틱 웹으로 표현된 데이터 망에 연결을 함으로써 훨씬 더 일관적이면서 유연한 의사결정 지원 시스템으로의 확장이 가능하다. 이는 시맨틱 웹 상의 데이터 구조가 일관적이고 표준화된 방식으로 이루어지며 데이터의 공유를 목적으로 설계된 기술이기 때문에 일반적인 시스템의 통합보다는 통합과 확장을 용이하게 해준다. 이에 본 논문은 김학진 등[3]에서 제시된 최적의 공통속성 선택 모형을 바탕으로 시맨틱 웹 기술을 이용한 의사결정 지원시스템의 구축을 제시하고자 한다. 특히 이전의 SWCL 연구와는 달리 여기서는 커스터마이징된 혼합적인 문제 해결기를 사용한다. 연구의 모형이 기존의 문제 해결기가 내포한 기법으로는 풀기 힘든 요소들이 존재하므로 이를 논리기반 벤더스 분리법을 사용하여 해결하고 이를 위하여 논리기반 벤더스 분리법에 대한 문제 해결기를 이용하여 시스템 구축을 시도한다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 제품설계 문제와 시맨틱 웹에 대한 간단한 개요와 문헌소개를 한다. 제 3장에서는 시맨틱 웹과 의사결정 툴로의 확장을 도와주는 SWCL 기술을 기반으로 한 최적 공통속성 선택 문제의 의사결정을 도울 수 있는 시스템의 틀을 설명한다. 제 4장에서는 최적 공통속성 선택 문제를 자세히 정의하고, 이 문제의 해결 방법, 그리고 문제의 데이터의 구

1) IT World Korea, 2009. 3. 25.

조화에 필요한 온톨로지를 이용한 데이터 모형을 설명하고 시스템이 각 단계별로 어떻게 문제 해결에 접근해 가는지를 설명하려고 한다. 제 5장에서는 예제의 풀이를 통해 시스템이 작동하여 어떤 해를 도출하는지를 보이고자 한다. 마지막으로 제 6장에서 결론과 향후 연구방향에 대해 논의한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 제품설계 문제에 대한 문헌 연구

제품설계 문제는 콘조인트 분석(Conjoint Analysis)을 통한 제품 속성에 대한 소비자 선호도 분석을 한 Zufryden[27]에 의해 처음 계량적으로 연구되기 시작한다. 이후 완전 경쟁시장에서 가장 높은 시장점유율을 갖도록 여러 속성을 가진 제품을 설계하는 문제가 제안되고 동적계획법을 이용하여 해를 도출하는 방법이 제안되었고[19], 생산라인 시스템에서의 제품설계의 문제[19]와 생산라인 상에서의 수직적인 구조의 제품설계[18] 등 보다 확장된 의사결정 모형에 대한 연구가 있었다. 또 이 외에도 여러 측면으로 연구가 확장된다. 해법의 측면으로 빔탐색 방법을 사용한 휴리스틱의 이용[24]과 유전 알고리즘을 이용한 방법[7]이 있다. 제품설계 데이터 획득의 측면에서 기존의 소비자로부터의 선호도 뿐만 아니라 제품 디자이너로부터의 선호도를 취합하는 방법을 제시되었다[27]. 제품설계의 응용으로 재고에 대한 논의[12]와 제품 연기에 대한 논의[21] 등 여러 다양한 이슈에 대한 연구가 이어졌다.

공통 플랫폼의 형성을 위한 공통속성의 문제는 Rutenberg[25]와 Rutenberg and Shaftel[26]로부터 시작되고, Kim and Chhajed[17]에 의해 제품설계에 본격적으로 중요한 요소로서 논의된다. 이후 김길선, 김학진[2]은 두 개의 소비자 군들 갖는 시장에서의 공통속성 선택 모형을 제시하였으나 이는 두 개의 소비자군 시장만을 대상으로 하는 한계를 지녔다. 김학진 등[3]의 연구는 이 연구를 확장하여

시장이 두 개 이상의 소비자군으로 구성된 일반적인 경우를 다루도록 하였다. 즉 김길선, 김학진[2]에서 주어진 모형을 변형·재설정하고, 그 모형의 구조적인 특성을 이용, 논리기반 벤더스 분리방법[15]으로 문제를 해결한다. 이 연구는 김학진 등[4]에서 제안된 문제의 정의와 의사결정 모형에 기반하여 보다 사용자의 의사결정과정에 도움을 줄 수 있는 시맨틱 웹 의사결정 지원 시스템의 구축에 관심을 갖는다.

### 2.2 시맨틱 웹에 대한 문헌 연구

이 절에서는 시스템에서 사용자의 데이터와 제약식을 다룰 시맨틱 웹 기술에 대한 관련 연구를 제시한다. 시맨틱 웹은 하이퍼링크로 연결된 문서를 표현하기 위한 전통적인 웹을 벗어나 기계에 의해 처리 가능한 지식을 기술하고 이를 활용할 수 있도록 하는데 그 목적을 두며, 팀버너스리에 의해 제안된 계층 구조[8]를 따라 급속도로 연구 및 발전되었다. 이는 URI(Uniform Resource Identifier)[8]와 XML(Extensible Markup Language)[10]을 기반으로 웹 상에 존재하는 자원에 대한 메타데이터를 기술하기 위한 RDF(Resource Description Framework)[22]와 지식 기반의 온톨로지를 기술하기 위한 OWL(Web Ontology Language)을 중심으로 완전한 시맨틱 웹 환경을 지원하기 위해 언어 및 기술들이 연구되고 있다. 그 중 하나는 온톨로지 계층을 기반으로 논리와 규칙을 표현하기 위한 규칙 계층으로써, 이를 지원하기 위해 SWRL(Semantic Web Rule Language)이 2004년 W3C에 의해 제안되었다[16]. 또 다른 방향으로 시맨틱 웹은 웹 환경의 분산된 데이터를 단순히 공유하고 재사용하는 것에 그치는 것이 아니라 웹을 통해 얻어진 정보를 사용자가 원하는 목적에 맞도록 가공하여 제공함으로써 궁극적으로는 사용자의 의사결정 과정에 도움이 되도록 진화하고 있다[6]. 일례로 검색시스템에 적용이 있다[1]. 일반적으로 의사결정은 의사결정의 대상이 되는 문제로 나타낼 수

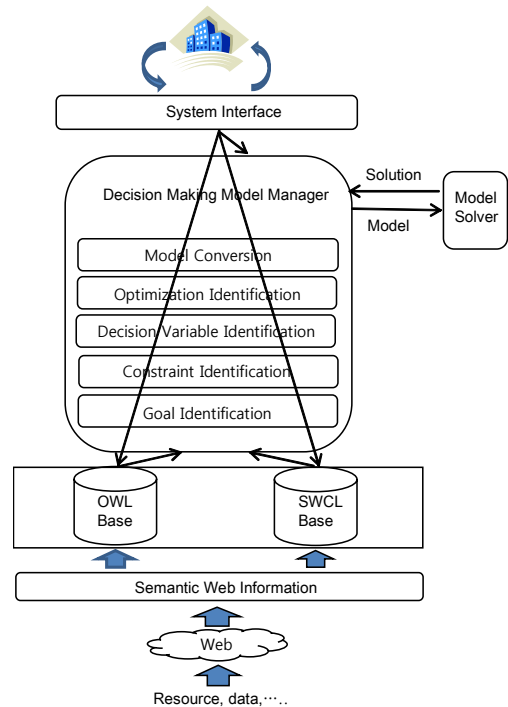
있으며, 이는 의사결정의 목표와 모형, 그리고 데이터로 이루어진다. 하지만 현재 제안된 시맨틱 웹 기술의 계층 구조는 사용자의 의사결정을 위한 목표와 모형을 기술하기에 충분한 표현력을 주지 못하고 있다[5]. 특히 데이터 모델과의 연결을 통한 제약식 표현을 통한 사용자의 목적 표현이나 그와 관련된 제약 조건을 나타내는 방법에는 한계가 있다. 이에 대한 방안으로 SWCL(Semantic Web Constraint Language)이 제안된다. SWCL은 의사결정 지원을 위해 결정된 문제에 대한 해당 문제의 목표와 수리적 모형을 RDF 기반의 언어로 표현할 수 있는 표현력을 제공해 준다[13].

이 논문에서는 위 두 분야의 연구를 바탕으로 김학진 등[4]에서 다루어진 최적 공통속성 선택 문제의 해결을 지원하도록 시맨틱 웹의 OWL과 SWCL 기술을 사용하여 문제의 데이터와 제약식을 기술하고 여기서 자동으로 모형을 생성하여 해를 도출하는 의사결정 지원 시스템의 구축 방법에 초점을 맞춘다.

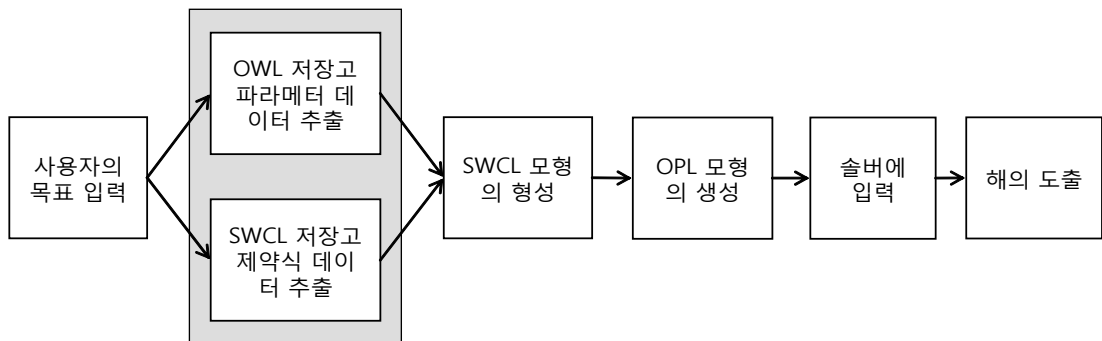
### 3. 공통속성 최적 선택의 의사결정 지원 시스템에 대한 틀

[그림 1]은 의사결정 지원 시스템의 전반적인 풀이 과정을 간략히 보여주고 있다 사용자의 공통속성 최적선택의 목표를 입력하면 OWL과 SWCL 저장고에서 데이터를 추출하여 SWCL 모형을 형성

시키고 OWL의 데이터와 함께 OPL 모형을 만들어 솔버에 입력하면 솔버가 사용자가 원하는 해를 도출하게 된다. [그림 2]는 [그림 1]에서 SWCL 모형의 형성과 OPL 모형의 생성 그리고 솔버에 입력되는 부분을 중심으로 시스템의 구조 틀을 통해서 보여주고 있다.



[그림 2] 공통속성 최적선택을 위한 의사결정 지원 시스템의 구조



[그림 1] 시스템의 문제 풀이 과정

제시된 시스템의 틀은 정보의 흐름을 바탕으로, 다섯 가지의 컴포넌트로 구성된 하나의 모형 관리기와 두 가지의 주요 데이터 저장소로 구성되어 있다. 사용자는 그림의 상단 시스템 인터페이스로 들어와 인터페이스 상의 틀을 이용하여 해결하고자 하는 제품 설계에 대한 목표를 알려준다. 이 논문에서는 공통속성 최적 선택의 문제를 다루므로 이 목표인 이익의 최대화를 입력한다. 사용자의 입력에 의사결정 모형 관리기는 입력된 목표 데이터를 분석하여 OWL과 SWCL로 표현된 관련된 온톨로지 정보와 제약식 정보들을 모은다.

이러 시스템에 설정되어진 규칙에 따라 OWL Base와 SWCL Base에서 읽어 들여와 SWCL 모형을 설정하고, 모형 해결기에 적합한 형태의 데이터로 전환된 수리적 OPL 모형을 만들어 이를 모형 해결기에 전달해주어 문제를 푼다. 그리고 모형 해결기에서 도출된 최적해를 인터페이스로 전달 사용자로 하여금 문제의 최적해를 알게 한다. 이때 OWL Base와 SWCL Base에 포함된 데이터는 웹을 통해 모아진 관련된 온톨로지와 제약식 및 여러 리소스들의 정보로 구성된다.

의사결정 지원시스템의 핵심적인 역할을 하는 의사결정 모형 관리기를 구성하는 5개의 하위 컴포넌트를 살펴보면, 첫 번째 목표식별기(Goal Identification)는 SWCL로 기술된 문제로부터 사용자가 찾고자 하는 목표를 파악한다. 두 번째 제약식식별기(Constraint Identification)는 설정된 목표와 관련된 모든 제약식을 탐색한다. 세 번째 의사결정 변수식별기(Decision Variable Identification)는 탐색된 제약식들로부터 제약식을 구성할 수 있는 팩터(factor)들을 찾아내고 이들 팩터 중에 OWL에 실제 값이 할당되지 않은 팩터들을 찾아 변수로 선언한다. 네 번째 최적화식별기(Optimization Identification)는 주어진 문제가 어떠한 형태로 표현되어야 하는지 판단하여 SWCL로 표현된 적절한 의사결정 모형을 설정한다. 다섯 번째 모형변환기(Model Conversion)는 설정된 의사결정 모형에 대한 SWCL 표현을 최적화 모형 해결기에 입력을 통해

해를 도출할 수 있도록 해결기가 다룰 수 있는 형태의 수리적 코드인 OPL 모형으로 변환시킨다. 이 과정에서 OWL과 SWCL로 표현되어 있는 문서들을 참조한다[3-5].

위 시스템의 틀을 바탕으로 제 4장에서 제시될 공통속성 최적선택 문제의 해를 찾기 위해 의사결정 모형 관리기는 기업의 상황, 즉 시장세그먼트의 시장점유율, 제품을 만들기 위해 들어가야 할 속성들과 그 수준, 그 속성들을 제공할 때 드는 비용, 제공된 속성으로부터 얻을 수 있는 효용, 공통속성을 선택하여 여러 제품에 적용할 경우 얻게 될 이익, 속성의 수준을 결정할 때 그 정도에 대한 정보와 각 개체별 관계에 대한 정보를 OWL과 SWCL 문서로 받게 된다. 이렇게 받아진 OWL, SWCL 파일들은 의사결정 모형 관리기에서 하나의 단일화된 최적화 문제로 SWCL 형식으로 통합하는 작업을 거친다. 그 후 의사결정 모형 관리기에서 최적화 모형을 최적화 해결기인 IBM CPLEX ILOG OPL의 문법에 맞도록 모형을 OPL로 변환하여 해결기로 보내게 되고 해결기에서는 최적 해를 구하여 다시 의사결정 모형 관리기로 돌려주게 된다. 시스템에서 돌려받은 해를 바탕으로 최적의 공통속성 및 속성 조합을 제시하게 된다.

## 4. 의사결정 시스템의 세부적인 설명

### 4.1 공통속성 최적 선택 문제의 정의와 솔버에서의 해법

이 절에서는 시스템에서 구현하고자 하는 문제의 정의를 보여준다. 그리고 이 문제가 솔버에서 해결되는 방식을 간략히 서술한다. 그 이유는 시스템에서 풀고자 하는 문제가 일반적인 솔버로 풀리지 않고 특별한 방법을 요구하기 때문이다. 이 절 이후로는 정의된 문제의 파라미터에 대한 데이터와 각 제약식의 정보가 어떻게 시스템에 데이터로서 저장되고 차후에 실제 시스템의 모형 형성으로 이루어지는 지를 보여 줄 것이다.

먼저 문제의 정의를 위하여 사용될 기호들의 의미를 <표 1>에서 정의한다. 대부분의 기호들은 문제의 파라미터 데이터로 OWL로 정의된 온톨로지 스키마에 따라 OWL 저장고에 저장되어 있다.

<표 1> 공통속성 최적선택 문제의 정의에서 사용된 기호들

$P_i$	시장 세그먼트 $i$ 를 위해 제시된 제품의 가격 변수
$y_i$	속성 $j$ 의 공유를 나타내는 이진 의사결정 변수
$w_{ij}$	시장 $i$ 의 소비자들이 속성 $j$ 에서 느끼는 단위당 효용
$n_i$	시장 $i$ 의 크기
$c_j$	시장 $i$ 에 제품의 속성을 제공하기 위해 드는 단위당 비용
$\alpha_j$	속성 $j$ 를 공유함으로써 얻는 비용 상의 할인율
$x_{ijk}$	시장 $i$ 의 제품에서 속성 $j$ 가 레벨 $k$ 를 가짐을 나타내는 이진 변수
$L_{jk}$	속성 $j$ 의 $k$ 레벨에서 제공되는 속성의 양
$z_{ijk}$	시장 $i$ 의 제품에 공통속성 $j$ 가 레벨 $k$ 를 가짐을 나타내는 이진 변수

이 연구에서는 김학진 등[4]에서 제시된 다음의 공통속성 최적 선택 문제를 이용한다.

Max

$$\sum_i n_i [P_i - \sum_j c_j \sum_k L_{jk}^2 x_{ijk} + \sum_j \alpha_j \sum_k L_{jk}^2 z_{ijk}] \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_j w_{ij} \sum_k L_{jk} x_{ijk} - P_i \geq \sum_j w_{ij} \sum_k L_{jk} x'_{ijk} - P_i \quad \forall i, i' (i \neq i') \quad (2)$$

$$\sum_j w_{ij} \sum_k L_{jk} x_{ijk} \geq P_i \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_k x_{ijk} = 1 \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$y_j = 1 \rightarrow x_{ijk} = x'_{ijk} \quad \forall i, i', j, k (i \neq i') \quad (5)$$

$$z_{ijk} = x_{ijk} y_j \quad \forall i, j, k \quad (6)$$

$$P_i \geq 0, x_{ijk}, y_j, z_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k \quad (7)$$

위의 식 (1)은 순수익을 구하는 목적함수식이다. 기업의 순수익은 시장 세그먼트  $i$ 에 제시된 가격에서 시장  $i$ 의  $j$  속성을 가진  $k$ 레벨 슬롯의 제품을 만드는 데 드는 비용의 총합을 제하고, 속성  $j$ 가

공유된다면 발생할 수 있는 비용 절감은 이익이므로 이를 더한 값에 시장의 크기, 즉 점유율을 곱한 값으로 계산된다. 시장  $i$ 의  $j$  속성을 가진  $k$ 레벨 슬롯의 제품을 만드는 데 드는 속성 제공 비용은 단위당 비용의 총합과 속성  $j$ 의  $k$ 레벨에서 제공되는 속성의 양인  $L$ 의 제품, 속성  $j$ 가 레벨  $k$ 를 가질지 여부를 나타내는 이진 변수를 반영한 총 값을 곱한 것을 말한다. 여기서 속성의 양의 제공만큼은 곱하는 이유는 레벨  $k$ 을 한 단계 올릴 때마다 연구 개발비 등 추가되는 비용이 제공만큼 증가되는 것으로 하고 있다. 이는 [2]에서 제시된 모형에서 사용한 것으로 제공하고자 하는 속성이 서로 상이한 기술을 통해 구현될 수 있고 선도적인 기술을 사용하여 구현할 경우 속성에 제공하는 양은 높아질 수 있지만 범용 기술에 비해 일반적으로 많은 비용을 야기 할 수 있기 때문에 비용의 측면에서 선형보다는 아래로 볼록인 형태로 구현되어야 할 필요가 있다. 그리고 이를 구현하기 위해 제품 설계 문헌에서는 이차식을 많이 사용하고 있다[11, 14, 23]. 따라서 이 논문에서도 이차식의 경우를 따르기로 한다. 만약 이것이 이차식이 아닌 다른 형태의 함수를 갖는 경우는 식 (1)을 적절히 수정하여 사용할 수 있다. 할인율로 인해 비용 절감된 금액은 단위당 비용에 속성  $j$ 와 관련된 할인율을 곱한 총 금액과 속성  $j$ 의  $k$ 레벨에서 제공되는 속성의 양의 제품과 공통속성  $j$ 가 레벨  $k$ 를 가질지 여부를 곱한 총 값을 말한다. 식 (2)는 자기-선택 제약식을 의미한다. 즉, 각 시장에서 가장 큰 잉여 이득을 줄 수 있는 속성을 제공하려 할 것이다. 왜냐하면 그렇지 않을 경우 소비자는 같은 효용함수를 가지고 다른 속성량을 가진 제품으로 옮겨갈 것이기 때문이다. 잉여 이득은 제품  $i$ 에서 속성  $j$ 에 대한 단위당 효용과 그 속성의 제공 수준인 레벨  $k$ 의 곱으로 개별 속성에 대한 효용이 얻어지고 모든 속성에 대한 이들의 합으로 제공된 제품의 총 효용이 얻어지며 이는 소비자가 기꺼이 지불할 수 있는 최대 가격이 된다. 여기서 그 제품의 가격을 뺀으로써 제공된 소비자가 제품에서 얻는 잉여

이득이 구해진다. 그리고 이는 다른 시장에 제공된 제품에 대한 잉여 이득 보다 커야한다. 시장 세그먼트  $i$ 와  $i'$ 는 다르며, 여러 시장 중 같은 속성  $j$ 를 제공했을 때 가장 큰 잉여 이득을 줄 수 있는 속성을 선택하도록 해야 한다. 전통적인 견해에 따르면 합리적인 소비자들은 그들의 효용을 가장 크게 충족시켜 주는 제품을 선택하기 때문이다. 식 (3)은 제공된 총 효용이 소비자가 지불하는 가격보다 커야 함을 나타내고 있다. 식 (4)에서 시장  $i$ 의 제품에서 속성  $j$ 가 레벨  $k$ 를 가진다 할 때, 오직 한 개의  $k$ 값만 1이 될 수 있다는 것을 말한다. 즉 각 속성  $j$ 에 대한 오직 하나의 제공 수준인 레벨  $k$ 가 결정된다. 식 (5)는 속성  $j$ 가 공유된다면( $y_j = 1$ ) 시장에 제공되는 제품에는 그 공유 속성에 대해 동일한 레벨을 갖는다는 것을 의미한다. 식 (6)은 시장  $i$ 의 제품에 공통속성  $j$ 가 레벨  $k$ 를 갖는 것은 시장  $i$ 의 제품에서 속성  $j$ 의 공유되고 동시에 속성  $j$ 가 레벨  $k$ 를 갖는 것이다. 식 (8)은 세 개의 의사결정 변수로 시장  $i$ 를 위해 제시된 제품의 가격은 0보다 크거나 같아야 하며, 시장  $i$ 의 제품에서 속성  $j$ 가 레벨  $k$ 를 가지는지, 속성  $j$ 를 공유하는지 여부, 시장  $i$ 의 제품에서 속성  $j$ 가 레벨  $k$ 를 가지는지에 대한 값으로 이들은 모두 이진 변수라는 것을 의미한다.

위에서 정의된 문제 식 (1)~식 (7)은 일반적인 문제해결기(Solver)로는 해결될 수 없는 형태이다. 특히 제약식 (5)은 일반적인 수리계획 모형에서는 사용되지 않는 표현이다. 또한 제약식 (6)의 경우는 비선형 제약식이므로 비선형계획 문제해결기를 이용하지만 볼록계획법(Convex Programming)이 아닌 한은 최적해를 보장하지 못한다. 이 문제를 해결하기 위해서 김학진 등[4]에서는 논리기반의 벤더스 분리법을 사용하고 있고 이는 원 문제 식 (1)~식 (7)을 주 문제와 하위 문제의 두 개의 문제로 분리하여 교대로 푸는 방법을 취한다. 그 최초 주 문제는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Max} \sum_i n_i [P_i - \sum_j c_j \sum_k L_{jk}^2 x_{ijk} + \sum_j c_j \alpha_j \sum_k L_{jk}^2 z_{ijk}] \quad (8)$$

$$\text{s.t.} \sum_j w_{ij} \sum_k L_{jk} x_{ijk} - P_i \geq \sum_j w_{ij'} \sum_k L_{jk} x_{i'jk} - P_{i'} \quad \forall i, i' (i \neq i') \quad (9)$$

$$\sum_j w_{ij} \sum_k L_{jk} x_{ijk} \geq P_i \quad \forall i \quad (10)$$

$$\sum_k x_{ijk} = 1 \quad \forall i, j \quad (11)$$

$$P_i \geq 0, x_{ijk}, z_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k \quad (12)$$

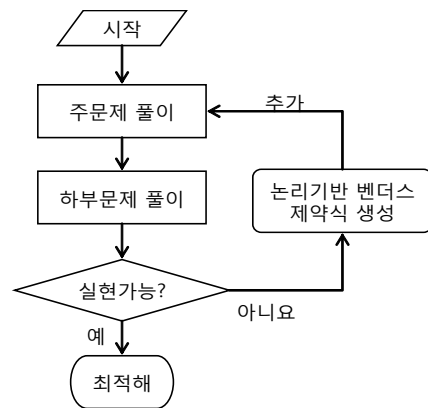
주 문제를 푼 후에 전체 해( $P, x, z, y$ )에서 부분해( $\bar{P}, \bar{x}, \bar{z}$ )가 구해졌다고 할 때 이에 대해 하위 문제는 다음과 같이 설정된다.

$$y_j \rightarrow \bar{x}_{ijk} = \bar{x}_{i'jk} \quad \forall i, i', j, k (i \neq i') \quad (13)$$

$$\bar{z}_{ijk} = \bar{x}_{ijk} y_j \quad \forall i, j, k \quad (14)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \quad (15)$$

이 하위 문제에서 실현가능해가 얻어지면 전체 해는 최적해가 되지만 실현가능해가 없으면 이 하위 문제는 실현가능하지 않은 이유로부터 논리기반의 벤더스 제약식이 생성되고 이를 주 문제에 추가하여 다음 단계로 주 문제를 풀게 된다[4]([그림 3] 참조). 이와 같은 풀이 기법의 구현을 위하여 전통적인 혼합정수선형계획 문제를 푸는 IBM ILOG CPLEX Optimization Studio를 확장하여 하위 모형을 제약식 프로그래밍 기법으로 해결하도록 한 혼합 문제풀이기를 구축하여 사용한다.



[그림 3] 문제풀이 흐름도

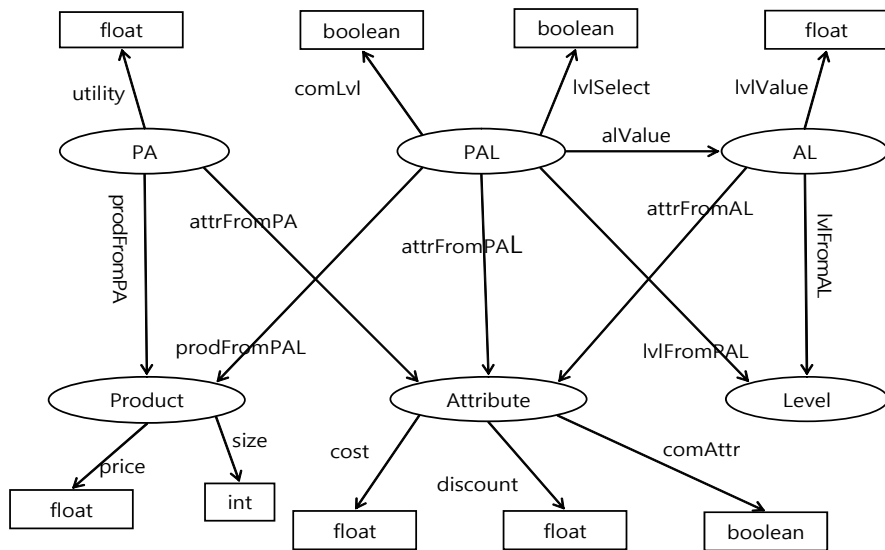
### 4.2 온톨로지를 이용한 파라미터 데이터의 구조화 및 OWL 표현

문제의 해를 구하기 위해서는 파라미터 데이터와 데이터들 간의 관계를 보여주는 제약식 이 두 가지가 필요하다. 즉 앞 절에서 문제 정의에 필요한 파라미터의 데이터는 온톨로지로 저장되고 최초 주문문의 제약식들은 SWCL 형식으로 SWCL Base에 저장되게 된다. 여기서는 파라미터 데이터의 저장에 대해 논의한다.

아래의 [그림 4]은 온톨로지 스키마로 문제의 파라미터 데이터들이 저장되는 구조를 보여주고, 이에 따라 데이터가 OWL Base에 저장된다. [그림 4]은 6개의 클래스와 16개의 프로퍼티로 구성되어 있다. 그림에서 원형은 클래스를 나타내며 사각형은 데이터형을 프로퍼티들은 화살표로 표현되었다. 각 화살표는 두 개의 원형을 연결하여 시작되는 원형을 도메인(domain)으로 끝나는 원형을 레인지(range)를 의미한다. 프로퍼티는 레인지가 원형이면 개체 프로퍼티를, 레인지가 사각형이면 데이터 프로퍼티를 나타내는 것으로 구분된다.

클래스 Product는 제품의 시장 세그먼트 크기를 나

타내는 size라는 데이터 프로퍼티를 가진다. price는 시장에 출시될 제품의 가격을 보여주는 데이터 프로퍼티로 원 모형에서 P<sub>i</sub>에 대응한다. 클래스 Attribute는 속성의 제공 비용을 나타내는 cost 데이터 프로퍼티와 공통속성으로 제공될 때 비용의 할인율을 보여주는 discount 데이터 프로퍼티의 도메인이다. 또 데이터 프로퍼티 comAttr는 해당 속성이 공통속성인지를 보여주는 프로퍼티로 원 모형의 y<sub>j</sub>에 해당한다. 클래스 Level은 속성의 수준을 나타낸다. 원 문제의 데이터를 표현하기 위해 세 개의 클래스가 더 도입된다. 클래스 PA는 제품과 속성의 쌍을 표현하는 클래스이고, 클래스 AL은 속성과 수준의 쌍을 표현하는 클래스이고, 클래스 PAL은 제품-속성-수준의 세조합을 나타내는 클래스이다. PA 클래스를 도메인으로 하고 조합의 각 요소들을 값으로 하는 개체 프로퍼티들은 prodFromPA, attrFromPA가 있고, PAL을 도메인으로 하고 조합의 각 요소들을 값으로 하는 개체 프로퍼티로 prodFromPAL, attrFromPAL, lvlFromPAL가 있고, AL을 도메인으로 하며 조합의 각 요소들을 값으로 하는 개체 프로퍼티 attrFromAL과 lvlFromAL이 있다. 개체 프로퍼티 aValue은 도메인으로 PAL을 갖고



[그림 4] 공통속성 선택 문제의 온톨로지 스키마



레인지로 AL을 갖어서 특정 PAL 개체에 대해서 해당하는 속성과 수준으로 이루어진 AL 개체를 값으로 주는 프로퍼티이다. PAL의 개체에 또 클레

스 PA를 도메인으로 하는 데이터 프로퍼티 utility는 해당 제품과 속성에 대한 효용을 값으로 하는 프로퍼티이고 comLvl은 도메인 PAL의 개체인 제

```
<?xml version = "1.0"?>
<!DOCTYPE rdf : RDF>
<!ENTITY owl "http://www.w3.org/2002/07/owl#">
<!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#">
<!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#">
<!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"> ]>
<rdf : RDF xmlns = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#"
xml : base = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl"
xmlns : rdf = "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns : owl = "http://www.w3.org/2002/07/owl#"
xmlns : xsd = "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
xmlns : rdfs = "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#">
<owl : Ontology rdf : about = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl"/>

<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#alValue -->
<owl : ObjectProperty
  rdf : about = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#alValue">
  <rdfs : range rdf : resource = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#AL"/>
  <rdfs : domain rdf : resource = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#PAL"/>
</owl : ObjectProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#attrFromAL -->
<owl : ObjectProperty
  rdf : about = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#attrFromAL">
  <rdfs : domain rdf : resource = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#AL"/>
  <rdfs : range rdf : resource = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#Attribute"/>
</owl : ObjectProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#attrFromPA -->
<owl : ObjectProperty
  rdf : about = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#attrFromPA">
  <rdfs : range rdf : resource = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#Attribute"/>
  <rdfs : domain rdf : resource = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#PA"/>
</owl : ObjectProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#attrFromPAL -->
<owl : ObjectProperty
  rdf : about = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#attrFromPAL">
  <rdfs : range rdf : resource = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#Attribute"/>
  <rdfs : domain rdf : resource = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#PAL"/>
</owl : ObjectProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#lvlFromAL -->
<owl : ObjectProperty
  rdf : about = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#lvlFromAL">
  <rdfs : domain rdf : resource = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#AL"/>
  <rdfs : range rdf : resource = "http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#Level"/>
</owl : ObjectProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2014/3/Ontology1396933754828.owl#lvlFromPAL -->
...
```

[그림 5] 파라미터 데이터의 구조를 표현하는 OWL 문서의 일부

품-속성-수준의 조합에서 속성이 공통속성으로 제공되는지를 나타내는 데이터 프로퍼티로  $z_{ijk}$ 에 해당한다.  $lv1Select$ 는 제품-속성-수준의 조합에서 해당 수준이 해당 제품의 속성으로 선택되었는지를 나타내는 데이터 프로퍼티로  $x_{ijk}$ 에 해당한다. 도메인  $AL$ 을 갖는 데이터 프로퍼티  $lv1Value$ 는 도메인 개체에 해당하는 속성과 수준에 대한 제공양을 나타낸다. 정의된 데이터 프로퍼티 중에 각 도메인의 개체별로 값을 특정 상수 값으로 갖는 프로퍼티는 원 수리 모형의 파라미터를 지시하게 되고 값이 정해지지 않은 프로퍼티는 SWCL 표현에서 의사결정 변수의 역할을 하게 된다.

[그림 5]는 [그림 4]의 온톨로지를 바탕으로 Protégé 에디터로 작성한 XML/RDF 형식의 실제 OWL 파일이다. 위에서 언급한 각 클래스와 프로퍼티들에 대해 정의하고 클래스와 클래스 간, 클래스와 프로퍼티간의 관계를 지정하며 데이터가 저장되는 위치를 표현하였고 원 모형을 구성하는 파라미터 데이터들이 OWL 문서를 통해서 구조화된 형태로 저장되게 된다.

### 4.3 맨체스터 문법을 이용한 제약식과 SWCL 표현

이 절은 문제의 제약식에 대한 정보를 저장하기 위한 SWCL의 표현에 대해 논의하기로 한다. 앞에서 설명한 바와 같이 혼합 문제풀이기에 문제풀이를 위해 필요한 것은 식 (8)~식 (12)의 주 모형이므로 이에 대한 SWCL 문서의 생성에 대해서술한다. 기본적으로 SWCL은 제약식 정보를 표현하기 위한 OWL의 확장이라 볼 수 있다. 보통은 OWL과 마찬가지로 XML/RDF 형식으로 표현되지만 그 표현의 가독성이 떨어지고 길이가 길어 불편하다. 여기서는 OWL에 대한 맨체스터 문법을 이용하여 제약식들을 단순 형태로 표현한다. 그리고 뒤에 이를 변환한 SWCL 문서를 보여주기 위하여 한다. 맨체스터 문법을 이용한 제약식의 표현은 다음과 같다.

먼저 제약식 (9)는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} & \text{For all } p \in \text{Product} \\ & a \in PA \text{ AND } \text{prodFromPA VALUE } p \\ & b \in AL \\ & c \in PAL \text{ AND } \text{prodFromPAL VALUE } p \\ & \quad \text{AND } a\text{Value VALUE } b \\ & d \in PAL \text{ AND } \text{NOT } \text{prodFromPAL VALUE } p \\ & \Sigma_a \text{ utility} \times b.lv1Value \times c.lv1Select - p.\text{price} >= \\ & \Sigma_b \text{ utility} \times b.lv1Value \times d.lv1Select - p.\text{price} \end{aligned}$$

위 식에서 제약식은 클래스 Product에 있는 모든 개체에 대해 생성된다. 그리고 맨체스터 문법에 의해 각 클래스에 있는 개체들은 변수로 표현이 된다. 즉  $a$ 는 클래스 PA에 있는 개체 중에 다음의 OWL의 제한적 클래스의 생성에 따라  $\text{prodFromPA}$ 의 값으로 위에서 규정된  $p$  제품을 갖는 모든 클래스 PA 개체로 정의된다. 변수  $b$ 는 클래스 AL에 있는 개체이고 마찬가지로  $c$ 도  $\text{prodFromPAL}$ 의 값이  $p$ 이고  $a\text{Value}$ 의 값이  $b$ 가 되는 클래스 PAL의 개체이다. 변수  $d$ 는 프로퍼티  $\text{prodFromPAL}$ 의 값이 앞에서 규정된  $p$ 가 아닌 클래스 PAL의 개체가 된다. 이상의 변수에 대한 OWL 상의 규정 하에서 제약식의 좌변은  $a.\text{utility}$ 와  $b.lv1Value$ 와  $c.lv1Select$  프로퍼티 값들의 곱을 모든 개체  $b$ 에 대한 합으로 계산하고  $p.\text{price}$  프로퍼티의 값을 빼줌으로써 계산된다. 우변은 마찬가지로  $a.\text{utility}$ 와  $b.lv1Value$ 와  $d.lv1Select$ 의 값들의 곱을 역시  $p.\text{price}$ 로 빼줌으로써 계산되고 전자는 후자의 값보다 크거나 같아야 한다.

다음과 같이 나타나는 제약식 (10) 역시 제약식은 모든 Product 클래스의 개체  $p$ 에 의해 생성되는 것으로  $a$ 는  $\text{prodFromPA}$  값이  $p$ 가 되는 클래스 PA의 개체이고  $b$ 는 AL의 개체  $c$ 는  $\text{prodFromPAL}$ 의 값이  $p$   $a\text{Value}$ 의 값이  $b$ 인 PAL의 개체이다.

$$\begin{aligned} & \text{For all } p \in \text{Product} \\ & a \in PA \text{ AND } \text{prodFromPA VALUE } p \end{aligned}$$

$$b \in AL$$

$$c \in PAL \text{ AND } prodFromPAL \text{ VALUE}$$

$$p \text{ AND } aValue \text{ VALUE } b$$

$$\Sigma_b a.utility \times b.lvlValue \times c.lvlSelect \geq p.price$$

이에 대해 a.utility와 b.lvlValue와 c.lvlSelect의 곱의 모든 개체 b에 대한 합은 p.price보다 크거나 같다.

제약식 (11)는 다음과 같이 나타난다. 제약식의 좌변에 있는 변수 c는 prodFromPAL의 값이 p이고 attrFromPAL의 값이 a인 PAL 클래스의 모든 개체들에 대해 c.lvlSelect 값의 합으로 표현되고 이는 1이 되어야 한다.

For all  $p \in Product$   
 For all  $a \in Attribute$   
 $c \in PAL \text{ AND } prodFromPAL \text{ VALUE}$   
 $p \text{ AND } attrFromPAL \text{ VALUE } a$   
 $\Sigma_c c.lvlSelect = 1$

마지막으로 목적함수식 (8)은 다음과 같이 표현된다. 제약식의 첫 항은 Product의 모든 개체에 대해 size와 price 값의 곱을 더한 것이다. 둘째 항은 PAL 클래스의 개체에 대한 합으로 만들어지는 것

으로 a를 구성하는 속성의 cost와 a에 대한 AL의 개체의 수준값을 나타내는 lvlValue의 제곱 그리고 a의 lvlSelect 프로퍼티 값의 곱을 모든 a에 대해 합한 것으로 표현된다. 마지막 항은 앞의 항에 속성의 할인률인 discount 값이 곱해지고 lvlSelect 대신 comLvl 프로퍼티의 값이 곱해진다.

$$p \in Product$$

$$a \in PAL$$

$$\Sigma_p p.size \times p.price -$$

$$\Sigma_a a.attrFromPAL.cost \times a aValue.lvlValue$$

$$\times a aValue.lvlValue \times a lvlSelect$$

$$+ \Sigma_a a.attrFromPAL.cost$$

$$\times a.attrFromPAL.discount \times a aValue.lvlValue$$

$$\times a aValue.lvlValue \times a comLvl$$

위에서 맨체스터 문법에 의해 표현된 제약식들은 실제 데이터와 연결시키기 위해 OWL과 연계될 수 있도록 구체적인 제약식 표현을 SWCL 문서로 표현하는 것이 필요하다. SWCL은 각각의 제약식들이 OWL 문서에 들어 있는 구체적인 데이터들과 그들간의 관계를 참조할 수 있도록 한다. 다음의 [그림 6]는 앞에서 설명한 제약식 정보를 표현한 SWCL 문서의 일부이다.

```
<swcl : Constraint rdf : ID = "Constraint_2">
  <swcl : qualifier>
    <swcl : Variable rdf : ID = "p">
      <swcl : bindingClass rdf : resource = "#Product"/>
    </swcl : Variable>
    <swcl : Variable rdf : ID = "a">
      <owl : equivalentClass>
        <owl : Restriction>
          <owl : onProperty rdf : resource = "prodFromPA"/>
          <owl : hasValue rdf : resource = "#p"/>
        </owl : Restriction>
      </owl : equivalentClass>
    </swcl : Variable>
  </swcl : qualifier>
  <swcl : hasLHS rdf : parseType = "Collection">
    <swcl : termBlock rdf : ID = "totalUtility">
      <swcl : sign rdf : resource = "http://iwec.yonsei.ac.kr/swcl#plus"/>
      <swcl : aggregateOperator rdf : resource = "http://iwec.yonsei.ac.kr/swcl#sigma"/>
    </swcl : termBlock>
  </swcl : hasLHS>
</swcl : Constraint>
```

```

<swcl : parameter>
  <swcl : Variable rdf : ID = "b"/>
  <swcl : bindingClass rdf : ID = "AL"/>
</swcl : Variable>
<swcl : Variable rdf : ID = "c"/>
  <owl : equivalentClass>
    <owl : Restriction>
      <owl : onProperty rdf : resource = "prodFromPAL"/>
      <owl : hasValue rdf : resource = "#p"/>
      <owl : onProperty rdf : resource = "alValue"/>
      <owl : hasValue rdf : resource = "#b"/>
    </owl : Restriction>
  </owl : equivalentClass>
</swcl : Variable>
</swcl : parameter>
<swcl : factor rdf : parseType = "Collection">
<swcl : FactorAtom>
  <swcl : bindingClass rdf : resource = "#a"/>
  <swcl : bindingDatatypeProperty rdf : resource = "#utility"/>
</swcl : FactorAtom>
  <swcl : FactorAtom>
    <swcl : bindingClass rdf : resource = "#b"/>
    <swcl : bindingDatatypeProperty rdf : resource = "#lvValue"/>
  </swcl : FactorAtom>
    <swcl : FactorAtom>
      <swcl : bindingClass rdf : resource = "#c"/>
      <swcl : bindingDatatypeProperty rdf : resource = "#lvSelect"/>
    </swcl : FactorAtom>
  </swcl : factor>
</swcl : termBlock>
</swcl : hasLHS>
<swcl : hasOperator rdf : resource = "http://iwec.yonsei.ac.kr/swcl#greaterThanOrEqual"/>
<swcl : hasRHS rdf : parseType = "Collection">
  <swcl : termBlock rdf : ID = "price">
    <swcl : sign rdf : resource = "http://iwec.yonsei.ac.kr/swcl#plus"/>
    <swcl : factor rdf : parseType = "Collection">
      <swcl : FactorAtom>
        <swcl : bindingClass rdf : resource = "#p"/>
        <swcl : bindingDatatypeProperty rdf : resource = "#price"/>
      </swcl : FactorAtom>
    </swcl : factor>
  </swcl : termBlock>
</swcl : hasRHS>
</swcl : Constraint>

```

[그림 6] 제약식 (10)의 SWCL 표현의 일부

#### 4.4 SWCL의 OPL로의 변환

이 절에서는 앞 절에서 표현된 파라미터 데이터와 제약식 데이터를 이용해 문제 해결기가 이해할 수 있는 모형의 형식인 OPL 모형의 생성에 대해 설명한다.

제품설계의 최적 공통속성을 선택하는 문제를 풀기 위해서 앞에서 OWL과 SWCL로 정의된 문제의 데이터와 제약식의 정보를 문제 해결기로 전달하여야 한다. 문제를 풀기 위해 이 연구에서는 IBM ILOG CPLEX Optimization Studio를 사용한다. 하지만 앞에서 설명한 바와 같이 이 문제 해결

기는 혼합정수선형 계획법의 해결기이고 제약식의 비선형성과 대수적 제약식이 아닌 논리적 제약식을 해결할 수 없기에 이를 해결할 수 있는 논리기반의 벤더스 분리방법을 사용하는 혼합 해결기를 IBM ILOG CPLEX Optimization Studio의 기반 하에 확장 구축하였고 이를 이용하여 문제를 푼다. 논리기반의 벤더스 분리방법 상에 문제를 주 문제와 하위 문제로 구축하게 되고 하위 문제에 해당하는 제약식들은 구축된 혼합 해결기에 의해 자동으로 생성된다. 따라서 여기서는 주 문제를 혼합 해결기에 전달하는 과정에서 SWCL로 표현된 주 모형을 해결기가 이해하도록 번역하는 과정으로 OWL 문서와 SWCL 문서에서 IBM ILOG CPLEX Optimization Studio가 이해하는 OPL 형식의 문서로 변환한다. 이 변환 과정에서 시스템은 SWCL 상에 표현된 문제의 목표로부터 시작하여 팩터들을 읽어들이고 여기에 표현된 개체와 프로퍼티에 의해 OWL로 표현된 온톨로지를 확인함으로써 프로퍼티의 값이 설정되어 있는지를 확인한다. 만약 값이 설정되지 않은 상태라면 이를 의사결정 변수로 인식하고, 설정되어 있는 경우라면 모형의 파라미터로 인식한다. 이를 통해 먼저 의사결정 변수의 선언이 이루어지고 이후 목적함수식과 제약식의 표현에서 각 팩터들을 해당 파라미터나 의사결정 변수로 교체하여 수식을 OPL 형식으로 써주게 된다. [그림 7]은 이 과정을 통해 생성된 OPL 문서의 예이다.

## 5. 예제의 실행과 결과

이 장에서는 앞에서 설명한 시스템에 구체적인 데이터를 이용한 한 예제를 풀어보았다. 이 데이터 집합은 일정한 구간 안에서 무작위로 만들어진 여러 예제들 중의 하나이다. 예제는 <표 1>에서의 기호들 중에 변수를 제외한 파라미터의 값을 정함으로써 결정된다. 먼저 6개의 시장 세그먼트에 6개의 제품을 공급하는 경우를 상정하였다( $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ). 각 제품은 6개의 속성들로 구성되어 있고( $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ), 각 속성마다 얼마만한 수준으로

```
float CostAttribute1 = ...;
float CostAttribute2 = ...;
float CostAttribute3 = ...;
float DiscountAttribute1 = ...;
float DiscountAttribute2 = ...;
float DiscountAttribute3 = ...;
float UtilityProduct1Attribute1 = ...;
float UtilityProduct1Attribute2 = ...;
...
dvar float+PriceProduct1;
dvar float+PriceProduct2;
dvar float+PriceProduct3;
dvar boolean LvlSelectProduct1Attribute1Level1;
...
maximize
SizeProduct1×PriceProduct1+
SizeProduct2×PriceProduct2+
SizeProduct3×PriceProduct3-CostAttribute1×
LvlValueAttribute1Level1×LvlValueAttribute1Level1
×LvlSelectProduct1Attribute1Level1- ... +
CostAttribute1×DiscountAttribute1×
LvlValueAttribute1Level1×LvlValueAttribute1Level1
×ComLvlProduct1Attribute1Level1+ ...;
subject to {
UtilityProduct1Attribute1×LvlValueAttribute1Level1
×LvlSelectProduct1Attribute1Level1+
UtilityProduct1Attribute1×LvlValueAttribute1Level2
×LvlSelectProduct1Attribute1Level2+ ...
UtilityProduct1Attribute3×LvlValueAttribute3Level3
×LvlSelectProduct1Attribute3Level3-
PriceProduct1 >=
UtilityProduct2Attribute1×LvlValueAttribute1Level1
×LvlSelectProduct2Attribute1Level1+
UtilityProduct2Attribute1×LvlValueAttribute1Level2
×LvlSelectProduct2Attribute1Level2+ ...
UtilityProduct2Attribute3×LvlValueAttribute3Level3
×LvlSelectProduct2Attribute3Level3-
PriceProduct2
...

```

[그림 7] SWCL 문서로부터 생성된 OPL 문서의 일부

그 속성을 제공할 지를 10개의 슬롯( $k = 1, 2, \dots, 10$ )의 값( $L_{jk}$ )으로 나타내는데 여기서는 문제를 단순화하기 위해 모든 속성  $j$ 에 대하여 각 슬롯의 값은  $L_{jk} = k$ 로 가정한다. 각 시장 세그먼트에 대한 크기( $n_i$ )는  $n_1 = 17, n_2 = 16, n_3 = 16, n_4 = 17, n_5 = 17, n_6 = 17$ 로 주어졌다. 제품에 속성을 제공하는 단위당 비용  $c_j$ 은  $C_1 = 0.62, C_2 = 0.26, C_3 = 0.16,$

$C_4 = 0.38, C_5 = 0.45, C_6 = 0.48$ 로 주어졌다. 속성이 모든 제품에 공통으로 사용되었을 때 이를 통해 비용이 절감되는 비율을 할인율  $\alpha_j$ 로 나타내고 각 속성당 할인율을  $\alpha_1 = 0.25, \alpha_2 = 0.23, \alpha_3 = 0.36, \alpha_4 = 0.35, \alpha_5 = 0.30, \alpha_6 = 0.30$ 으로 정하였다. 마지막으로 각 시장  $i$ 에 속한 소비자들의 제품 속성  $j$ 에 따른 속성 제공수준당 효용  $w_{ij}$ 는 다음과 같이 주어진다.

〈표 2〉 시장  $i$ 의 소비자가 속성  $j$ 에 대해 제공 수준당 느끼는 효용  $w_{ij}$

	속성 1	속성 2	속성 3	속성 4	속성 5	속성 6
시장 1	1.64	1.17	0.5	1.8	1.2	3.46
시장 2	3.31	3.27	3.40	2.64	2.32	3.37
시장 3	1.00	0.90	2.40	3.72	1.17	2.03
시장 4	3.94	2.33	1.58	2.47	1.95	2.85
시장 5	1.00	1.44	1.66	0.84	3.23	1.33
시장 6	2.56	0.32	1.48	3.01	4.10	3.44

이상으로 주어진 문제의 파라미터 데이터가 온톨로지 스키마 [그림 4]의 묘사대로 OWL Base에 저장된다. 그리고 [그림 6]와 같이 표현된 주문제의 제약식들이 SWCL Base에 저장된다. 이와 같이 문제의 데이터가 주어진 상황에서 이익 최대화의 목표를 제안된 의사결정 시스템에 주면 시스템은 주어진 파라미터 데이터와 제약식 데이터로부터 OPL 모형을 추출하고, 이 모형이 혼합솔버에 입력됨으로써 해가 계산된다.

이 예제의 데이터에서 계산되어 도출되는 결과는 다음과 같다. 먼저 산출된 최대이익은 2030.23이 된다. 이때 이진변수  $y_j$ 에 해당하는 값으로  $y_1 = y_3 = y_4 = 1$ 으로 나머지 값은 0으로 결정되었다. 즉 속성 1, 속성 3, 속성 4가 공통 속성으로 선택되었다. 이진변수  $x_{ijk}$ 에 대한 값으로는 다음의 이진변수들이 1의 값을 갖게 되고 나머지  $x_{ijk}$  변수들은 0의 값을 갖는다.

$X_{112}, X_{123}, X_{137}, X_{145}, X_{152}, X_{167}, X_{212}, X_{224}, X_{237},$

$X_{245}, X_{251}, X_{261}, X_{312}, X_{322}, X_{337}, X_{345}, X_{352}, X_{362},$   
 $X_{412}, X_{424}, X_{437}, X_{445}, X_{451}, X_{461}, X_{512}, X_{525}, X_{537},$   
 $X_{545}, X_{556}, X_{561}, X_{612}, X_{621}, X_{637}, X_{645}, X_{652}, X_{662}$

따라서 1 값의  $x_{ijk}$ 에 대한 첨자( $i, j, k$ )에 해당하는  $L_{ijk}$ 의 값이 시장  $i$ 에 제공되는 제품의 속성  $j$ 에 대한 제공 수준이 된다. 마지막 이진변수  $z_{ijk}$  값은 모든  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ 에 대해  $z_{112} = z_{137} = z_{145} = 1$ 이고 나머지에 대해서는 0의 값을 갖는다. 그러면  $z_{ijk}$ 의 의미에 의해 속성 1과 속성 3과 속성 4는 공통속성으로 모든 제품에 대해 같은 제공 수준을 가지고, 이 수준은  $L_{112}$ 와  $L_{137}$ 과  $L_{145}$ 로 결정된다. 이를 정리하면 <표 3>과 같다.

〈표 3〉 각 제품별 속성이 제공되는 수준

	속성 1	속성 2	속성 3	속성 4	속성 5	속성 6
제품 1	2	3	7	5	2	7
제품 2	2	4	7	5	1	1
제품 3	2	2	7	5	2	2
제품 4	2	4	7	5	1	1
제품 5	2	5	7	5	6	1
제품 6	2	1	7	5	2	2

<표 3>에서 보는 바와 같이 공통속성인 속성 1과 속성 3과 속성 4에 대해 속성수준은 2와 7과 5로 모든 제품에 동일한 수준으로 제공됨을 알 수 있다. 주어진 예제에 대한 이 결과를 이 논문에서 제안하는 의사결정 지원 시스템은 원하는대로 문제의 해를 도출함을 알 수 있다.

## 6. 결 론

경제에서 기업이 생산을 통해 소비자의 필요와 욕구를 충족시키는 활동의 핵심이 제품을 통해 나타난다고 할 때 제품 설계의 문제는 기업 활동의 가장 핵심적인 요소 중 하나이며 또 한 시장에서의 경쟁에 있어서 기업의 경쟁력을 표현하는 가장 중요한 부분이다. 이 논문은 기업의 활동에 있어 제품

을 형성하는 제품 속성의 적절한 제공 수준을 결정하는 제품 설계에서 특히 여러 제품모델의 기반이 되는 공통 플랫폼을 구성하는 공통 속성을 찾는 의사결정을 지원하기 위한 시스템을 의미웹과 SWCL 기술을 이용해 구축하는지를 논의하였다. 김학진 외[4]에서 제시한 제품 설계 최적 공통속성 선택 문제를 바탕으로 의사결정자의 입장에서 사용할 수 있는 의사결정의 틀로서의 의사결정 지원 시스템의 구축을 제시하였다. 시맨틱 웹 기술과 의사결정 분야로의 확장인 SWCL 기술을 사용하여 문제의 데이터 모형과 데이터 간의 관계를 나타내는 제약식 데이터를 OWL과 SWCL로 표현하고, 표현된 정보에서 모형을 형성하고 문제 해결기로 해를 구하는 과정을 통해 시스템을 설명하였다.

시맨틱 웹 기술을 통해 좀 더 완성된 형태의 의사결정 지원 시스템으로 확장하기 위한 미래의 연구 과제로 다음과 같은 사항을 제안한다. 첫째로 이 연구에 논의된 문제 뿐 아니라 여러 제품 설계에 대한 의사결정 모형을 바탕으로 보다 풍부한 시스템으로의 확장을 생각해 볼 수 있다. 둘째로 이 논문에서 언급된 모형의 파라미터 데이터의 값 예를 들어 속성 제공 비용과 공통 속성 비용 할인을 등을 추론하기 위한 추론 모형을 시스템화 함으로써 의사결정의 고도화된 자동화를 도모할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박상언, 임재익, 강주영, “공간정보사업의 중복사업 검색을 위한 의미기반검색 시스템의 설계”, 『한국IT서비스학회지』, 제12권, 제3호(2013), pp.389-404.
- [2] 김길선, 김학진, “Common Attribute Selection Problem : Formulation, Algorithm and Heuristic”, 『한국생산관리학회지』, 제19권, 제2호(2008), pp.123-146.
- [3] 김우주, 윤숙희, 이명진, “시맨틱 웹 제약 언어 기반 쇼핑 의사 결정 지원 시스템 개발”, 『한국지능정보시스템학회 추계학술대회 논문집』, (2006), pp.113-121.
- [4] 김학진, 이삼열, 윤소현, “논리기반 벤더스 분리법을 이용한 제품 설계 공통속성 최적 선택의 풀이”, 『한국생산관리학회지』, 제24권, 제2호(2013), pp.261-277.
- [5] 이명진, 김우주, 김학진, “시맨틱 웹 환경에서의 부분 선형 제약 지식 표현을 위한 SWCL의 확장”, 『한국경영과학학회지』, 제37권, 제4호(2012), pp.19-34.
- [6] 이명진, 김학진, 김우주, “의미망 제약식언어를 기반으로 한 인터넷 쇼핑 의사결정 틀”, 『한국경영과학학회지』, 제33권, 제3호(2008), pp.29-42.
- [7] Balakrishnan, P. V. and Varchese S. Jacob, “Genetic algorithms for product design”, *Management Science*, Vol.42, No.8(1996), pp. 1105-1117.
- [8] Berners-Lee, T., R. Fielding, and L. Masinter, “Uniform Resource Identifier(URI) : Generic Syntax”, *RFC 3986/STD 66*, 2005.
- [9] Bratt, S., “Semantic Web, and Other Technologies to Watch”, *World Wide Web Consortium*, 2007.
- [10] Bray, T., J. Paoli, C. M. Sperberg-McQueen, and E. Maler, “Extensible Markup Language(XML) 1.0(Fifth Edition)”, W3C Recommendation, 2008.
- [11] Desai, P., S. Kekre, S. Radhakrishnan, and K. Srinivasan, “Product differentiation and commonality in design : balancing revenue and cost drivers”, *Management Science*, Vol.47, No.1(2001), pp.37-51.
- [12] Gerchak, Y., M. J. Magazine, and A. B. Gamble, “Component commonality with service level requirements”, *Management Science*, Vol.34 No.6(1988), pp.753-760.
- [13] Kim, H.-J., W. Kim, and M. Lee, “Semantic

- Web Constraint Language and its application to an intelligent shopping agent”, *Decision Support Systems*, Vol.46(2009), pp. 882-894.
- [14] Heese, H. S. and J. M. Swaminathan, “Product line design with component commonality and cost-reduction effort”, *Manufacturing and Service Operations Management*, Vol.8, No.2(2006), pp.206-219.
- [15] Hooker, J. N. and G. Ottosson, “Logic-based Benders decomposition”, *Mathematical Programming*, Vol.96(2003), pp.33-60.
- [16] Horrocks, I., P. F. Patel-Schneider, H. Boley, S. Tabet, B. Grosz, and M. Dean, “SWRL : A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML”, *Acknowledged W3C Member Submission*, NRC 48058, 2004.
- [17] Kim, K. and D. Chhajed, “Commonality in product design : Cost saving, valuation change and cannibalization”, *European Journal of Operational Research*, Vol.33, No. 12(2000), pp.1502-1511.
- [18] Kim, K. and D. Chhajed, “Product design with multiple quality-type attributes”, *Management Science*, Vol.33, No.12(2002), pp. 1502-1511.
- [19] Kohli, R. and R. Krishnamurti, “A heuristic approach to product design”, *Management Science*, Vol.33, No.12(1987), pp.1523-1533.
- [20] Kohli, R. and R. Sukumar, “Heuristics for product-line design using conjoint analysis”, *Management Science*, Vol.36, No.12(1990), pp.1464-1478.
- [21] Lee, H. L. and C. Billington, *Designing products and processes for postponement*, in Dasu S. and Eastman C. eds., *Management of Design*, Kluwer Academic Publishers : Boston, (1994), pp.105-122.
- [22] Miller, E., “An Introduction to the Resource Description Framework”, *Bulletin of the American Society for Information Science*, Vol.25, No.1(1998), pp.15-19.
- [23] Moorthy, K. S., “Market segmentation, self-selection, and product line design”, *Marketing Science*, Vol.3, No.4(1984), pp.288-307.
- [24] Nair, S. K., L. S. Thakur, and K. Wen, “Near optimal solutions for product line design and selection : Beam search heuristics”, *Management Science*, Vol.41, No.5(1995), pp.767-785.
- [25] Rutenberg, D. P., “Design commonality to reduce multi-item inventory : Optimal depth of a product line”, *Operations Research*, Vol.19, No.2(1969), pp.491-509.
- [26] Rutenberg, D. P. and T. L. Schftel, “Product design : Subassemblies for multiple markets”, *Management Science*, Vol.18, No.4(1971), pp.220-231.
- [27] Tarasewich, P. and P. R. McMullen, “A pruning heuristic for use with multisource product design”, *European Journal of Operational Research*, Vol.128(2001), pp.58-73.
- [28] Zufryden, F. S., *A conjoint measurement-based approach for optimal new product design and market segmentation*, Analytic Approaches to Product and Market Planning, A. D. Shoker, ed., Cambridge, MA : Marketing Science Institute, (1977), pp.100-114.



## ◆ 저 자 소 개 ◆

**김 학 진 (hakjin@yonsei.ac.kr)**

현재 연세대학교 경영대학 OR분야 부교수로 재직 중이다. 연세대학교 경영대학에서 학사, University of Illinois at Urbana Champaign에서 수학전공으로 석사, Carnegie-Mellon University에서 OR전공으로 박사학위를 취득하였다. 관심 연구분야로는 논리기반 최적화, 제약식 프로그래밍, 조합최적화, 시맨틱 웹과 SWCL, 모바일 네트워크 스케줄링 문제, 제품설계 문제들 비롯한 여러 응용문제가 있다. 논문으로는 Decision Support Systems, Future Generation Computing Systems, Computer Networks, Wireless Networks, Annals of Operations Research 등 해외와 국내에 여러 논문을 발표한 바 있다.

**윤 소 현 (sohyeonyoon@naver.com)**

연세대학교 경영학과에서 Operation Research 전공으로 석사과정 중에 있다. 경희대학교에서 식품영양학과 경영학 학사 학위를 취득하였으며, 현재는 롯데제과 생산본부에서 근무 중이다. 주 연구 관심분야로는 시맨틱 웹, 제약식 프로그래밍, 최적화 이론 및 알고리즘, 제품군 설계, 최적 포트폴리오 등이 있다.