

시맨틱 웹 환경에서의 부분선형 제약지식표현을 위한 SWCL의 확장*

이명진** · 김우주*** · 김학진****†

SWCL Extension for Knowledge Representation of Piecewise linear Constraints on the Semantic Web

Myungjin Lee** · Wooju Kim*** · Hak-Jin Kim****

■ Abstract ■

The Semantic Web technology, purporting to share, to reuse and to process by machines data stored in the Web environment, incessantly evolves to help human decision making; in particular, decision making based on data, or quantitative decision making. This trend drives researchers to fill the gap with strenuous efforts between the current state of the technology and the terminus of this evolution. The Semantic Web Constraint Language (SWCL) together with SWRL is one of these endeavors to achieve the goal. This paper focuses particularly on how to express the piecewise linear form in the context of SWCL. The importance of this ingredient can be fortified by the fact that any nonlinear expression can be approximated in the piecewise linear form. This paper will also provide the information of how it will work in the decision making process through an example of the Internet shopping mall problem.

Keyword : Semantic Web, SWCL, Constraints, Decision Making, Optimization

논문접수일 : 2011년 09월 20일 논문게재확정일 : 2012년 10월 23일

논문수정일(1차 : 2012년 04월 20일, 2차 : 2012년 09월 30일)

* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2010-0024532).

** 연세대학교 정보산업공학과, 주저자

*** 연세대학교 정보산업공학과

**** 연세대학교 경영대학

† 교신저자

1. 서 론

탐버너스리에 의해 제안된 시맨틱 웹[3]은 하이퍼 링크로 연결된 문서를 표현하기 위한 전통적인 웹을 벗어나 기계에 의해 처리 가능한 지식을 기술하고 이를 활용할 수 있도록 하는데 그 목적을 가지고 있다. 이러한 시맨틱 웹은 탐버너스리에 의해 제안된 계층 구조[5]를 따라 최근 급속도로 연구 및 발전되고 있는 추세이다. 이는 URI(Uniform Resource Identifier)[4]와 XML(Extensible Markup Language)[6]을 기반으로 웹 상에 존재하는 자원에 대한 메타데이터를 기술하기 위한 RDF(Resource Description Framework)[17]와 지식 기반의 온톨로지를 기술하기 위한 OWL(Web Ontology Language)[1]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[11]. SWRL은 혼 규칙(Horn Logic)을 온톨로지 언어인 OWL과 결합하여 규칙을 표현하기 위한 RDF 기반의 언어이다. 최근 규칙 계층은 규칙 시스템 간에 규칙이 교환 및 공유될 수 있도록 하는 규칙언어인 RIF(Rule Interchange Format)가 권고안으로 발표되었다[12]. 이러한 시맨틱 웹 기술의 발전은 웹 환경의 분산된 데이터를 단순히 공유하고 재 사용하는 것에 그치는 것이 아니라 웹을 통해 얻어진 정보를 사용자가 원하는 목적에 맞도록 가공하여 제공함으로써 궁극적으로는 사용자의 의사결정 과정에 도움이 되도록 점차 진화하고 있음을 의미한다.

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 제공하고 있지 않다. 이러한 관점에서 SWRL이나 RIF와 같이 로직 기반의 규칙 또한 일부의 의

사결정을 위한 도구로 활용될 수 있지만 웹 환경에서 발생할 수 있는 다양한 형태의 의사결정을 지원하는데 있어서 그 표현력의 한계가 존재한다. 따라서 시맨틱 웹 환경에서 보다 나은 사용자의 의사결정을 지원하기 위해서는 의사결정에 필요한 목표와 모형을 기술하기 위한 언어의 개발이 필요하며, 또한 이를 지원하고 문제를 해결할 수 있는 프레임워크를 필요로 한다.

이러한 관점에서 제약식은 로직과 함께 지식을 표현하는 또 다른 방법으로써 시맨틱 웹 환경에서 사용자의 의사결정을 위해 필요한 요소 기술이라 할 수 있다. 이에 SWCL(Semantic Web Constraint Language)은 의사결정 지원을 위해 결정된 문제에 대해 해당 문제의 목표와 그에 대한 수리적 모형을 RDF 기반의 언어로 표현할 수 있는 표현력을 제공하고 있다[14]. 이러한 언어를 통해 온톨로지 상에 선언된 개념이나 속성과 같은 데이터들을 제약식으로 어떻게 연결하여 표현할 수 있는지를 제시하였으며, OWL과 SWRL, 그리고 SWCL을 통해 인터넷 환경에서 발생할 수 있는 의사결정 문제인 인터넷 구매자 문제를 어떻게 효과적으로 표현할 수 있는지 보여주었다. 특히 OWL, SWRL, SWCL 등 시맨틱 웹 기술을 최적화 모형 기술과 연결하여 데이터의 표현과 이 데이터를 이용한 의사결정을 자동적으로 이루어지도록 하는 지능형 쇼핑 에이전트의 원형(prototype)을 개발하고, 이를 통해 인터넷 쇼핑 의사결정의 틀을 보여줌으로써 원시 데이터를 실제 의사결정자에게 유용한 지식의 수준으로 상승시킬 수 있음을 보였다.

하지만 현재의 SWCL은 혼합 정수계획 모형(Mixed Integer Programming Model)을 기반으로 하고 있기 때문에 좌변과 우변이 선형 관계로 이루어진 형태만 표현 가능하다는 단점을 가지고 있다. 이러한 선형 관계의 모형은 일반적인 많은 문제를 해결하는데 활용될 수 있지만 현실에서 직면할 수 있는, 예를 들어, 인터넷 쇼핑몰에서 구매자의 배송비와 같이 비선형 형태로 표현될 수 있는 다양한 문제들을 모형화 하는데 어려움이 존재한다.

본 논문에서는 좌변과 우변의 선형적 관계만이 표현 가능했던 SWCL을 확장하여 비 선형관계에 있는 수리적 제약식 모형을 표현하고, 이를 ILOG와 같은 문제 해결기의 입력으로 모형화하여 문제를 해결하고 사용자에게 최적의 의사결정을 내릴 수 있도록 지원할 수 있는 프레임워크를 제안하고자 한다. 웹 환경에서 실제 운영되고 있는 쇼핑몰의 배송비의 경우 일반적으로 일정 구매액까지 부과되며, 해당 구매액 이상의 상품을 구매할 경우 배송비가 부과되지 않는다. 할인 금액은 정해진 금액 이상을 구매했을 경우 일정 금액이 할인되거나, 구매액에 대해 선형적인 관계로 증가하다 최대 할인 금액에 도달하면 더 이상 할인되지 않는 형태로 운영된다. 이러한 형태의 문제는 의사결정을 지원하기 위한 모형을 수립하는데 있어서 빈번하게 발생할 수 있는 모형임에도 불구하고 기존의 SWCL은 이러한 문제를 표현할 수 있는 표현력을 제공하고 있지 않다. 따라서 기존의 SWCL로부터 비선형 형태의 문제를 표현하기 위해 좌변과 우변의 다양한 관계를 추상적으로 표현할 수 있는 형태로 SWCL을 확장하고 더불어 확장된 SWCL을 이해하고 처리할 수 있는 프레임워크를 개발하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 이와 관련된 관련 연구들을 소개하고, 제 3장에서는 SWCL을 확장하여 비 선형관계에 있는 문제를 추상적으로 표현하기 위한 방법에 대해 논한다. 제 4장에서는 확장된 SWCL로 표현된 부분선형 문제에 대해 이를 문제 해결기에 종속적인 형태로 변환을 수행하는 과정과 이를 통해 결과적으로 어떻게 구매자의 의사결정 모형이 도출되고 그 해법이 제시되는지를 보여준다.

2. 관련 연구

컴퓨터를 이용해서 웹에 존재하는 정보를 기계가 처리할 수 있도록 웹 상의 정보에 의미를 부여하는 시맨틱 웹 개념이 제안된 이후 시맨틱 웹에 대한 연구는 주로 정보를 웹에 어떻게 저장하고 표현할

것인가에 초점이 맞추어졌고, 이러한 연구의 결과로 RDF와 OWL과 같은 표준이 권고안으로 발표되었다. 그 이후 현재에 이르러 그 비전은 자연스럽게 웹에 저장, 표현된 데이터를 어떻게 이용하는가에 관심을 갖기 시작하였다. 이를 위해 논리, 규칙, 제약식 등의 표현을 이용해서 데이터를 추출하고 이로부터 저장된 웹 데이터를 필요한 응용문제들에 적용하는데 관심을 기울이게 되었다. 특히 제약식은 개체와 개체 간의 관계를 보는 새로운 패러다임으로서, 문제를 표현하는 데에도 강점을 지니고 있는 것으로 알려지면서 최근 관심이 부각되어 SWRL 기반 위에 제약식을 표현하는 CIF/SWRL[9]이 제안되었다. 여기서 저자는 제약식 언어인 Colan[2]과 이 위에서 작동하는 데이터 모형을 제시하여 RDF 스키마를 통해 제약식 데이터 모형을 사용할 수 있는 인터페이스를 제시하였다. 또한 Preece et al.[19]은 SWRL 위에서 이루어지고 있는 제약식의 표현 상에 어떻게 소프트 제약식(Soft Constraint)을 구현할 수 있는지에 대해 논하였다. 소프트 제약조건식이란 응용문제에서 엄격하게 충족되어야 하는 제약식이 아니라 충족시키는 정도를 감안하여 모든 제약식을 충족시키는 해가 없을 경우 중요하지 않은 제약식을 제거함으로써 좀 더 약한 문제의 표현에서 만족하는 해를 찾을 수 있도록 제약식에 강제성의 정도가 부여된 형태로 볼 수 있다. 하지만 CIF는 제약식의 모든 형태를 표현할 수 없다는 한계를 가지고 있다. 기본적으로 CIF는 제약식 문제를 표현하기 위해 FOL 기반의 논리적 연산자를 활용하여 CSP 문제를 해결하는데 초점을 맞추고 있지만, 시맨틱 웹 환경에서 사용자의 보다 나은 의사결정을 지원하기 위해서는 최적화 모형을 포함하여 SWRL과 함께 다양한 형태의 수리적 모형을 표현하고 이를 해결할 수 있는 기술이 필요하다.

이를 위해 Kim et al.[13]은 RDF를 기반으로 수리적 제약식 모형을 표현할 수 있는 SWCL을 제안하였으며, 이를 통해 인터넷에서 일반 구매자의 구매 과정을 분석하고, 시맨틱 웹 환경에서 일반 구매자의 의사결정을 도와줄 수 있는 에이전트를 어떻

게 구현할 수 있는지 인터넷 쇼핑물의 사례를 통해 논하였다. 또한 시맨틱 웹에서 RDF, OWL, SWRL 과 같은 개념들을 구매자의 의사결정 지원을 위해 온톨로지를 이용하여 구매자의 의사결정 목표를 수리 모형화하고, 이를 풀어 최적의 조합을 구매자에게 보여줄 수 있는 의사결정 지원 에이전트의 구축이 가능함을 보였다. 이와 더불어 시맨틱 웹에서 OWL 을 기반으로 작성하는 제약식을 기술하기 위한 수리모형 언어를 적용하며, 이러한 언어를 통하여 기존의 OWL 상의 개념이나 속성과 같은 데이터들을 제약식으로 어떻게 연결하여 표현할 수 있을 지를 제시하였다[14]. 이러한 수리 모형에 대한 표준적인 언어적 틀을 이용함으로써 시맨틱 웹 환경에서 의사 결정과 관련된 문제 해결을 지원하기 위해 제약식을 표현하고 이해하는데 매우 유용하게 이용될 수 있다. 하지만 앞서 언급한 것과 같이 기존에 제안된 SWCL은 선형의 형태를 가진 제약식 만이 표현 가능하다는 한계점을 가지고 있다. 일반적으로 의사 결정에 활용될 수 있는 여러 가지 형태의 문제들이 비선형의 구조를 가지고 있으며, 따라서 이러한 모형들이 시맨틱 웹 환경에서 표현되고 활용될 수 있도록 기존의 SWCL에 대한 확장 및 프레임워크의 지원이 필요하다. 본 논문에서는 기존의 SWCL로부터 비선형 모형을 표현할 수 있도록 SWCL을 확장하고, 이를 지원하는 프레임워크를 제안한다.

3. 시맨틱 웹 제약식 언어(SWCL)의 확장

3.1 SWCL에 대한 확장의 필요성

SWRL(Semantic Web Rule Language)을 이용한 OWL(Web Ontology Language)의 확장은 웹 환경에서 단순히 지식을 어떻게 표현할 것인가의 문제를 넘어서서 사용자의 의사결정에 도움이 될 수 있도록 표현된 정보를 어떻게 처리하며 새로운 지식을 발견할 것인가에 대한 문제로 넘어가고 있음을 의미한다. 이러한 의사결정을 지원하기 위해서는 대

상이 되는 문제, 문제를 구성하는 목표, 문제를 표현한 모형, 그리고 이러한 문제의 대상이 되는 데이터를 포함해야만 한다[10]. 이러한 관점에서 현재의 시맨틱 웹은 목표와 모형을 어떻게 표현할 것인지에 대한 정보를 표현할 수 없으며, 지능화된 의사결정을 지원하기 위해 사용자가 접하게 되는 문제를 표현할 수 있는 실용적인 의미 표현 수단이 요구된다.

전통적으로 제약식은 논리 및 규칙과 함께 지식 표현의 또 다른 큰 줄기를 형성해 왔다. 예를 들어, OR이나 AI 분야의 많은 문헌에서 쉽게 볼 수 있는 계량 의사결정 모형들은 제약식을 이용해 문제를 표현하고 있으며, 또한 의사결정론의 한 분야인 모형관리(Model Management) 분야는 추상적인 수준에서 제약식을 표현하고 이를 데이터베이스와 같은 데이터 모형에 연계시키는데 많은 노력을 기울여 왔다. 이러한 분야에서의 주요 관심사 중 하나는 특정 소프트웨어나 하드웨어와 독립적으로 다양한 형태의 수리 의사결정 모형을 데이터와 연계하여 표현하고 활용할 수 있게 하는 것이었다[15, 16, 20]. 이러한 목표는 단순히 상호운영성의 확보뿐만 아니라 지식 수준으로의 정보활용을 위해 현재의 시맨틱 웹에 제약식 개념을 포함함으로써 달성될 수 있다. 즉, 수리 모형을 사용하는 타 분야들의 문제해결 기법들을 이용하여 시맨틱 웹에서 궁극적으로 지향하는 지식 수준의 공유와 재활용이 가능한 정보의 표현과 정보 가공을 통해 사용자의 의사결정 과정이 하나의 틀 안에서 유연하게 이루어 질 수 있게 된다.

이를 위해 [14]에서는 제약식 개념을 포함하는 OWL의 확장으로서 시맨틱 웹 제약식 언어(SWCL, Semantic Web Constraint Language)와 이를 수용하고 해결할 수 있는 프레임워크를 제안하였으며, 실제 인터넷 상에서 발생할 수 있는 다양한 쇼핑물에서의 인터넷 구매자 문제를 대상으로 시맨틱 웹 환경에서 어떻게 구매자의 의사결정 모형이 도출되고 그 해법이 제시되는지를 보여주었다. 이러한 시맨틱 웹 제약식 언어인 SWCL은 제약식의 집합과 목적 함수로 이루어져 있으며, 하나의 제약식은 한

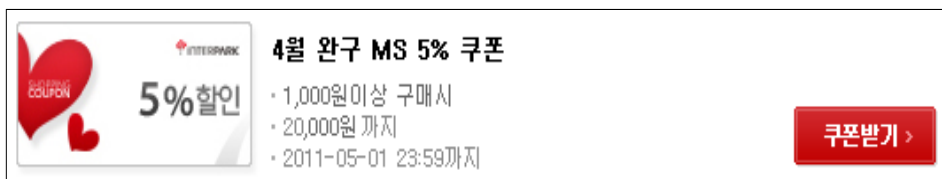
정자와 좌변, 우변, 그리고 변 사이의 관계를 나타내는 연산자로 이루어져 간단한 형태의 제약식을 시맨틱 웹 환경에서 사용할 수 있는 추상화 된 표현으로 기술할 수 있다. 하지만 기 개발된 SWCL은 정수계획 모형을 기반으로 하고 있기 때문에 좌변과 우변의 관계에 대해 항상 선형의 관계를 갖는 형태만이 표현 가능하다는 단점을 가지고 있었다.

선형 관계의 모형은 상호 연관되어 있는 변수들의 관계에 대해 일반적으로 올바른 모형이지만 현실에 존재하는 다양한 문제를 표현하기에는 그 모형의 유연성이 부족하여 몇몇 중요한 관계들을 모형화 하는데 적합하지 않을 수 있다. 즉, 선형의 관계를 바탕으로 개발된 SWCL은 현실에서 발생할 수 있는 여러 실질적인 문제들을 효과적으로 표현하는데 한계를 가지고 있다. 기존의 SWCL에서는 인터넷 쇼핑의 최적화된 의사결정을 도와주기 위해 이를 OWL과 SWCL을 이용하여 제약식으로 표현하고 해결할 수 있는 프레임워크를 제시하였지만, 이 과정에서의 한 가지 문제점은 배송비와 같이 일반적인 선형의 관계로 표현될 수 없는 정보를 직관적인 방법으로 풀어내는데 한계를 보였다. 배송비는 일반적으로 일정 구매액까지 부과되며, 해당 구매액에 도달하였을 경우 배송비는 0이 된다. 즉, 배송비는 해당 쇼핑몰에서의 주문 금액에 대한 계단형의 비용 함수를 갖게 된다. SWCL은 정수계획 모형을 기반으로 하고 있기 때문에 비용의 계단형 구조를 처리할 수 있는 모형 자체의 원시적인 구성부가 존재하지 않는다. 따라서 이를 해결하기 위해 SWRL을 이용하여 계단형의 비용 함수를 표현하고, 이를 수리적인 모형으로 해결하기 위해 추가적인 선형 제약식과 추가 변수를 도입하는 임시적인 방법을 사

용하여 문제를 해결하였다[18]. 하지만 이는 계단형의 비용 함수라는 국한된 모델을 처리하기 위한 임시적인 방법일 뿐, 일반적인 선형의 관계로 표현될 수 없는 정보를 궁극적으로 적절히 표현하고 문제를 해결하기 위한 방법은 아니다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해 SWCL은 다양한 형태의 관계를 추상적으로 표현할 수 있는 형태로의 확장이 필요하며, 또한 이를 지원하기 위한 프레임워크의 설계도 동반되어야 한다.

본 논문에서는 선형의 관계만을 다루고 있던 기존의 SWCL을 확장함으로써 부분선형 함수(Piecewise-Linear Function)를 표현하고, 그 문제를 해결하기 위한 방안을 제안하고자 한다. 우선 부분선형 함수로의 표현을 위해 기 제안되었던 쇼핑물의 구매 의사결정 문제에서 계단형 비용 함수를 가졌던 할인율에 대해 논하도록 하겠다. 이는 기존의 SWCL에서 계단형의 모양을 갖는다고 가정하였지만 현재 대부분의 쇼핑몰에서는 [그림 1]과 같이 제품의 가격에 대한 할인율이 적용되므로 SWRL을 이용한 계단형의 비용 함수로는 표현될 수 없는 부분이다. 즉, 할인금액은 제품의 가격에 따라 증가하며, 최소 금액 이상을 구매했을 경우에 적용되고 최대 특정 금액까지만 할인을 허용하고 있기 때문에 부분선형의 모양을 가지고 있는 대표적인 형태라 할 수 있다.

[그림 1]의 예로부터 인터파크 쇼핑몰에서는 1,000원 이상을 구매하였을 경우 할인 쿠폰을 적용할 수 있으며, 제품의 가격에 따라 5%의 할인율을 적용하고 있다. 또한 최대 20,000원까지 할인을 받을 수 있도록 규정하고 있다. 이러한 할인 쿠폰 정책에 대해 구매액에 따른 할인금액은 각 구간에 대해 서로 다른 선형 함수로 표현될 수 있으며, 해당 문제는 보다



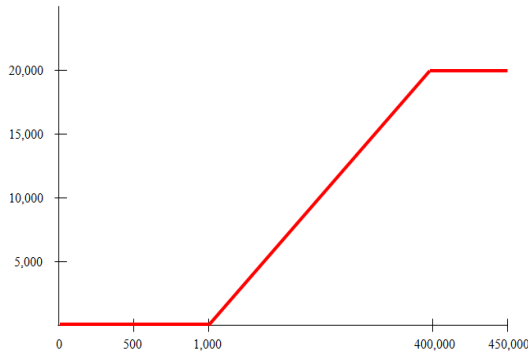
[그림 1] 인터파크 쇼핑몰의 할인 쿠폰의 정책

구체적으로 다음과 같은 제약식을 갖는다.

- 구매액 1,000원까지 할인 금액은 0원이다.
- 구매액 1,000원을 초과할 경우 구매액에 따라 구매액의 5%씩 할인이 적용된다.
- 구매액이 400,000원 이상일 경우라도 할인 금액은 최대 20,000원까지이다.

위에 제시된 인터넷 쇼핑을 위한 의사결정 문제에 있어서 구매액에 따른 할인 금액의 수리적 모델은 [그림 2]와 같은 형태의 부분선형 함수로 표현될 수 있으며, 이러한 모형은 본 논문에서 제시하고자 하는 SWCL의 확장을 통해 시맨틱 웹 환경에서 사용 가능한 수리적 모형으로 나타내어 질 수 있게 된다.

$$\begin{aligned}
 y &= 0, \text{ for } [0, 1000] & (1) \\
 y &= 0.5 \times x, \text{ for } [1000, 400000] & (2) \\
 y &= 0.5 \times 400000 + 0 \times (x - 400000), & \\
 &\text{ for } [400000 \text{ to in finity}] & (3)
 \end{aligned}$$



[그림 2] 구매액에 따른 할인 금액의 부분선형 함수

이와 같은 모형을 표현하는데 있어서 OWL과 SWRL의 표현력으로는 충분치 않으며, 수리적 제약 모형을 표현하기 위해 제안된 SWCL을 이용해서도 이를 표현하기에는 한계를 가지고 있다. 이러한 수리적 모형은 현실에서의 실질적인 의사결정과 관련하여 빈번하게 발생될 수 있으며, 따라서 이는 시맨틱 웹 환경에서의 지능적 의사결정 지원을 위해 반드시 필요한 표현의 대상일 뿐만 아니라 해결

요소라 볼 수 있다.

3.2 SWCL의 확장

SWCL은 제약식에 대한 추가적인 공리(Axiom)를 이용해서 OWL의 추상문법을 확장한다. 하나의 모델은 제약식의 집합과 그것을 통해 구하려는 목적함수로 이루어져 있으며, 하나의 제약식은 한정자와 좌변, 우변, 그리고 변 사이의 관계를 나타내는 연산자로 이루어진다. 우변과 좌변에서의 각 항은 집계 연산자와 매개변수, 인수, 그리고 부호로 구성된다. SWCL의 문법은 EBNF(Extended Backus-Naur Form) 형식으로 정의되어 있으며, 부분선형 모형을 표현하기 위해 확장된 SWCL의 문법은 다음과 같다.

```

LHS ::= 'LHS('termBlock|function{
           termBlock}{function}')'
RHS ::= 'RHS('termBlock|function{
           termBlock} {function}')'
termBlock ::= 'TermBlock('sign
                [aggregateOperator] {
                parameter}
                (factor{factor}))'
function ::= 'Function('signfunctionID{
                parameter}
                (p-property{p-property}))'
sign ::= '+' | '-'
aggregateOperator ::= 'Sigma' | 'Production'
factor ::= 'Factor('((
                classIDdatavaluedPropertyID)|
                (individualIDdatavaluedPropertyID))
                [function]')'
parameter ::= 'Parameter('variable|
                description')'
functionID ::= URIreference
p-property ::= URIreference
  
```

LHS와 RHS는 연산의 좌변과 우변을 나타내며,

이는 하나의 항을 나타내는 termBlock으로 구성된다. 일반적인 termBlock은 부호와 집계 연산자, 그의 매개변수, 그리고 최소 하나 이상의 인자로 구성되지만, 일반적인 선형 이외의 모형을 표현하기 위해 인자를 대신하여 function이 사용될 수 있도록 확장을 하였다. 이러한 function은 확장성을 고려하여 향후 다양한 형태의 추가적인 모형을 표현하기 위해 설계되었으며, 이는 SWRL의 builtin과 같이 내장된 함수의 형태로 그 모형을 기술하게 된다.

이와 같은 형태의 SWCL에 대한 확장은 OWL과 OWL Semantics를 기반으로 하고 있기 때문에 OWL이 제공하고 있는 의미론에 따라 확장된 구문에 대한 직접적인 모형이론적 의미(Direct Model-Theoretic Semantics)가 부여되어야만 한다. 따라서 확장된 function에 대한 의미론적 해석은 다음과 같다.

function (r, z_1, \dots, z_n)

$\langle S(z_1), \dots, S(z_n) \rangle \in EC(\text{rdf} : \text{Property})$

위의 function에 대한 의미론적 해석에 있어서 r 은 선형 이외의 모델을 표현하기 위해 제공되는 SWCL의 모형 이름을 나타내며, z_n 은 모형에 입력되는 매개변수를 나타낸다. 이때 각 매개변수는 rdf:Property로 정의될 수 있는 속성들로 대응된다. 즉, SWCL에서 확장된 function은 그에 대한 URI의 이름과 이를 위한 매개변수로 구성되며, 이러한 매개변수는 부분선형 함수의 입력을 위한 rdf:Property의 인스턴스집합으로 정의될 수 있음을 보여주고 있다.

3.3 부분선형 문제의 표현

이번 절에서는 본 논문에서 제시하고자 하는 확장된 SWCL이 OWL과 함께 부분선형 함수를 포함하고 있는 인터넷 구매 의사결정 문제를 표현하는데 어떤 도움이 되는지를 살펴보고, 이를 통해 어떻게 수리적 모형과 연결시킬 수 있는지에 대해 알아보하고자 한다.

인터넷 쇼핑몰에서의 구매 의사결정과 관련된 문제는 구매자가 다양한 쇼핑몰로부터 다수의 제품을 구매하고자 할 경우 각각의 제품들이 서로 다른 쇼핑몰에서 서로 다른 가격으로 판매되고 있으며, 각 쇼핑몰마다 서로 다른 구매 조건과 정책을 가지고 판매를 하고 있다는 점 때문에 구매자가 원하는 제품을 가장 저렴하게 구매를 할 수 있는 방법을 찾는 것은 굉장히 어려운 일 중 하나이다. 이러한 인터넷 쇼핑몰의 제품에 대한 다른 가격과 다양하고 서로 다른 판매 정책들은 구매자로 하여금 좋은 의사결정을 하는데 있어서 어려움을 주는 요인 중 하나이다. 비록 최근의 가격 비교 사이트를 통해 최저가의 제품을 검색할 수 있기는 하지만 이러한 방법은 단지 제품의 가격적 측면에 대한 것만을 고려할 뿐 제품을 구매하는 쇼핑몰의 정책적인 측면을 반영하고 있지 않기 때문에 다양한 쇼핑몰로부터 다수의 제품을 구매하는 최적의 의사결정을 하는 것은 아주 어려운 일인 것이다. 따라서 이러한 정보들이 시맨틱 웹이 지향하고 있는 지능화된 데이터로써 쇼핑몰과 제품에 대한 정보가 기술되고, 이들간의 관계를 기술할 수 있다면 지능화된 에이전트를 통해 구매자의 의사결정을 도울 수 있을 것이다.

이러한 문제의 기술과 해결을 위해 인터넷 쇼핑몰에서의 구매 의사결정에 대한 문제에서 제품과 쇼핑몰의 가격을 포함한 여러 정책을 기술하는데 요구되는 온톨로지의 구조는 [그림 3]과 같다. 기존의 SWCL에서 제시되었던 온톨로지로부터 규칙으로 표현되었던 배송비와 할인율을 온톨로지를 이용하여 할인률과 배송비의 정책을 기술하기 위한 클래스와 속성이 추가되었다. 각각의 상자는 하나의 클래스를 의미하여 클래스는 진한 색으로 표현된 객체 속성(Object Property)과 옅은 색으로 표현된 데이터 속성(Datatype Property)을 가지고 있다. 객체 속성은 화살표의 방향에 따라 객체 속성을 갖는 도메인(domain)과 객체 속성의 값의 범위를 지정하는 범위(range)를 갖는다. 예를 들어, hasCDs 객체 속성은 트리플(triple)에서 주어(subject)로 Product InMall 클래스의 인스턴스를 가지며, 목적어(ob-

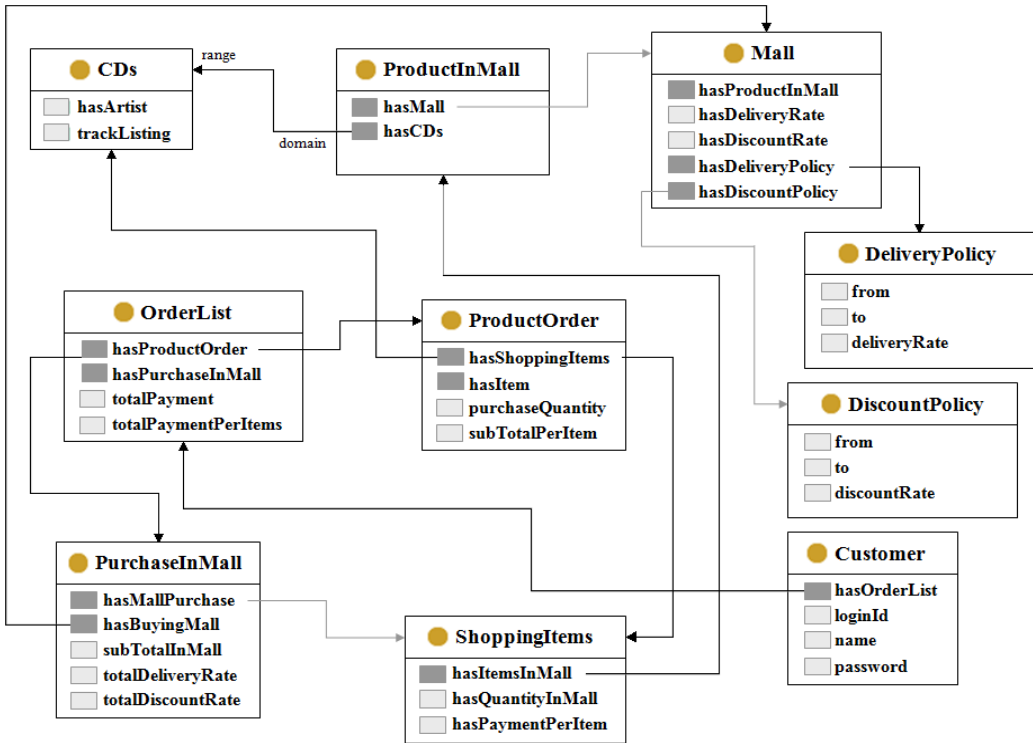
ject)로 CDs 클래스의 인스턴스를 갖는다. 데이터 속성인 hasDeliveryRate와 hasDiscountRate는 하나의 쇼핑몰에서 구매 시 결정된 배송비와 할인 금액을 각각 의미하며 다시 말해, 이 두 속성의 값은 온톨로지 구축 시점이 아닌 SWCL 문제 프레임워크의 런타임 시점에 그 값이 결정되는 변수이다. 본문에서 제시하고자 하는 부분선형 함수를 기술하기 위해 확장된 두 개의 클래스인 DeliveryPolicy와 DiscountPolicy는 각각 쇼핑몰에서 구매액에 따른 배송비의 정책과 할인 정책을 기술하기 위해 사용된다. 이러한 클래스와 속성의 개념들은 구매자의 의사결정 활동을 돕기 위해 각 쇼핑몰에서 판매하는 제품과 배송비 등의 정보를 구매 에이전트(shopping agent)의 관점에 맞추어 설계되었다.

[그림 3]의 온톨로지 구조로부터 앞서 제시한 특정 쇼핑몰의 할인 금액에 대한 정책은 다음 OWL 코드와 같은 형태로 기술된다. 부분선형 함수에서의

각 구간은 하나의 할인 정책에 대한 인스턴스로 표현되며, 할인 정책을 시행하는 쇼핑몰은 구간선형을 기술한 인스턴스의 집합으로 전체적인 할인율을 표현한다. 아래의 OWL 코드는 전체 온톨로지에서의 인터파크의 할인율에 대한 일부이며, 예제를 통해 인터파크는 세 개의 구간으로 된 부분선형의 할인율을 적용하고 있음을 알 수 있다.

```

<Mall rdf:ID="Interpark">
  <hasDiscountPolicyrdf:resource=
    "#DiscountPolicy_14"/>
  <hasDiscountPolicyrdf:resource=
    "#DiscountPolicy_15"/>
  <hasDiscountPolicyrdf:resource=
    "#DiscountPolicy_16"/>
</Mall>
<DiscountPolicyrdf:ID="DiscountPolicy_14">
  <discountRaterdf:datatype="&xsd;float">0.0
</discountRate>
    
```



[그림 3] 부분선형 문제를 위한 확장된 인터넷 쇼핑몰온톨로지의 구조


```

<from rdf : datatype = "&xsd: int"> 0 </from>
<to rdf : datatype = "&xsd: int"> 1000 </to>
</DiscountPolicy>
<DiscountPolicyrdf : ID = "DiscountPolicy_15">
<discountRaterdf : datatype = "&xsd: float"> 0.05
</discountRate>
<from rdf : datatype = "&xsd:int"> 1000 </from>
<to rdf : datatype = "&xsd:int"> 400000 </to>
</DiscountPolicy>
<DiscountPolicyrdf : ID = "DiscountPolicy_16">
<discountRaterdf : datatype = "&xsd: float"> 0.0
</discountRate>
<from rdf : datatype = "&xsd: int"> 400000
</from>
</DiscountPolicy>

```

DiscountPolicy는 할인정책에 따라 하나의 할인 쿠폰에 대한 할인율을 기술하기 위한 클래스이다. 즉, 인터파크의 할인율은 구매자의 구매 금액에 따라 세 개의 구간으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 구매자가 1,000원 이하의 물품을 구매하였을 경우에는 할인율이 적용되지 않으며, 1,000원 이상부터 400,000원까지는 5%의 할인율을 적용한다. 마지막으로 400,000원 이상의 구매에 대해서는 20,000원의 할인을 구매금액과 상관없이 적용한다. 다시 말해, 최대 할인 금액은 20,000원이다. 이와 같이 웹으로부터 쇼핑물에 대한 제품 및 각기 다른 정책이 수집되어 온톨로지로 표현된 상태에서 구매자가 취해야 하는 행동은 자신의 목표에 따라 최선의 선택을 하는 것이다. 즉, 여러 제품을 다수 구매하고자 할 때 구매자는 어느 인터넷 쇼핑물에서 어떤 제품을 얼마만큼 구매하는 것이 최선의 선택일지를 결정해야 한다. 이러한 종류의 의사결정은 단지 개인대 기업 간 상거래에서만뿐만 아니라 기업 대 기업간의 상거래에서도 다양하게 나타날 수 있는 문제로서, 본 논문에서 다루고자 하는 예제는 총 구매비용의 최소화를 구매자의 달성 목표로 가정한다.

인터넷 쇼핑물에서의 구매자 의사결정 문제를 표현하기 위한 제약식은 구매자의 총 지출을 위한 제약식과 모든 제품에 대한 지출 총액, 각 쇼핑물에서의 지출 총액, 배송비와 할인 금액을 위한 제약식, 그리고 제품의 구매량을 위한 제약식까지 총 6개의

제약식으로 구성된다. 이 중 본 논문에서 예시로 제시하고 있는 할인 금액과 관련이 있는 할인 금액에 대한 제약식과 부분선형 문제를 표현하기 위한 추가 제약식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{OrderList.total DiscountRate} \\
 & = \Sigma \text{PurchaseInMall.hasdiscountRate} \\
 & \text{PurchaseInMall.hasDiscountRate} \\
 & = \text{piecewise}(\text{DiscountPolicy.from}, \\
 & \quad \text{DiscountPolicy.to}, \\
 & \quad \text{DiscountPolicy.discountRate})
 \end{aligned}$$

구매자의 모든 제품을 구매한 쇼핑물의 총 할인 금액은 각 쇼핑물의 할인 금액의 총 합으로 계산되며, 각 쇼핑물의 할인 금액은 쇼핑물이 가지고 있는 할인 정책의 부분선형 함수로 표현됨을 보여주고 있다. 다음의 RDF/XML 구문은 두 번째 할인 금액에 대한 부분 선형 제약식의 SWCL 코드를 기술한 것이다. 이는 PurchaseInMall 클래스의 각 인스턴스 x 에 대해서 hasDiscountRate 데이터 속성의 값은 인스턴스 x 가 가지고 있는 hasDiscountPolicy 객체 속성과 연결된 DiscountPolicy 클래스의 인스턴스들에 대한 from, to, discountRate을 매개변수로 갖는 부분선형 함수로 정의됨을 보여주고 있다.

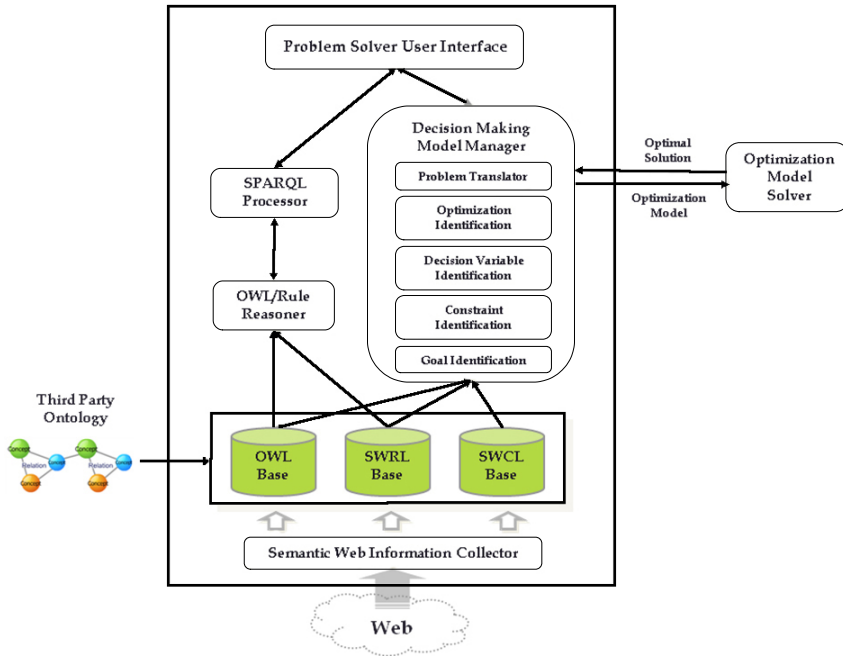
<부록 1>의 예에서 기술된 부분선형 함수를 살펴보면 PurchaseInMall 클래스의 hasDiscountRate 속성의 값은 좌향의 부분선형 함수로 정의됨을 보여주고 있다. 좌향의 부분선형 함수에서 함수의 이름은 piecewise이며, piecewise 함수의 매개변수는 PurchaseInMall 클래스의 hasDiscountPolicy 객체 속성으로 연결된 개체들의 구간의 시작점을 나타내는 from과 구간의 종료점을 나타내는 to, 그리고 각 구간에 대한 변화(기울기)를 나타내는 discountRate 매개변수로 구성되어 있음을 알 수 있다. 일반적으로 정수 계획 모형에서는 부분선형 함수를 표현하는데 있어서 x 축에 해당하는 변수의 구간에 대한 정보와 구간 분절점에서의 함수 값에 대한 정보가 사용된다. 하지만 온톨로지를 설계하는데 있어서

함수 자체를 표현하는 방법이 존재하지 않을 뿐만 아니라, 직관적인 정보를 담고 있는 방향으로 온톨로지의 설계가 이루어지기 때문에 각 구간에 대한 정보와 구간에서의 할인율과 같은 비율로 piecewise 함수의 매개변수가 구성된다. 이와 같이 기술된 SWCL은 본 프레임워크의 모형 해석기를 통해 문제 해결 도구인 ILOG OPL의 구문으로 대응되어 변환되며, 프레임워크는 ILOG OPL을 거쳐 해결된 문제의 결과를 사용자에게 제시하게 된다.

4. SWCL 기반의 문제해결 프레임워크

이번 절에서는 확장된 SWCL을 이용하여 문제를 해결하기 위한 프레임워크에 대해 논하고자 한다. SWCL을 위한 문제해결 프레임워크는 크게 다섯 개의 컴포넌트로 구성된다. [그림 4]는 SWCL을 지원하기 위한 문제해결 프레임워크의 전체 구조를 보여주고 있다.

[그림 4]에서 보는 것과 같이 SWCL 프레임워크는 크게 두 가지 모듈로 구성된다. 첫 번째로 SPA RQL 처리기와 OWL/Rule 추론기는 정보 탐색을 위해 사용자의 인터페이스로부터 입력된 질의를 SPARQL로 변환 및 처리하고, 만약 추론이 필요하다면 추론기를 통해 새로운 지식을 생성 및 발견하게 된다. 두 번째로 모형 관리기(Decision Making Model Manager)는 OWL과 SWRL, 그리고 SWCL로 표현된 온톨로지, 규칙, 그리고 제약식의 정보들을 읽어 사용자가 원하는 수리적 모형을 선택 및 생성하고 이를 해결하여, 의사결정을 위한 모형의 최적 해를 도출한 후 제공하게 된다. 이러한 모형관리기는 5개의 하위 컴포넌트로 구성되어 있으며, 첫 번째로 목표 식별기(Goal Identification)는 SWCL로 기술된 문제로부터 사용자가 찾고자 하는 목표를 파악하며, 두 번째로 제약식식별기(Constraint Identification)는 설정된 목표로부터 관련된 모든 제약식을 탐색하는 기능을 수행한다. 다음으로 의사결정 변수 식별기(Decision Variable Identification)는 탐색된 제약



[그림 4] SWCL을 위한 문제해결 프레임워크

식들로부터 제약식을 구성할 수 있는 인자들을 찾아내고 이들 인자 중에 OWL에 실제 값(일반적으로 Literal Value)이 할당되지 않은 인자들을 찾아 변수로 선언한다. 네 번째로 최적화 식별기(Optimization Identification)는 주어진 문제가 어떠한 형태로 표현되어야 하는지에 대해 판단하여 적절한 해석 모형을 설정하게 되며, 마지막으로 문제 변환기(Problem Translator)는 선택된 모형에 따라 SWCL을 모형기에 입력하여 해를 도출하기 위한 수리적 코드로 변환을 수행한다. 이러한 두 개의 모듈을 통해 사용자가 기술한 수리적 문제 SWCL과 OWL 및 SWRL을 이용하여 최적화 모델에 따른 해를 도출하게 된다.

이러한 모형 관리기는 의사결정을 위한 모델을 식별하는 것과 최적화 모델을 생성하는 두 개의 주요 기능을 수행한다. 우선 의사결정을 위한 모델을 식별하는 단계는 문제 해결을 위한 목표를 설정하고, 이와 관련된 제약식을 식별한 후 변수를 파악하고 최적화 모델을 식별하는 과정으로 이루어진다. 첫 번째로 목표 설정 단계는 예를 들어, 총 구매 비용을 최소화하는 것과 같이 사용자가 본 프레임워크를 통해 달성하고자 하는 그 목표를 설정하는 단계이다. 다음으로 주어진 목표에 대해 모형 관리기는 해당 목표와 연관된 모든 제약식을 SWCL 문서로부터 탐색하여 추출하게 된다. 다시 말해, SWCL로 설정된 모든 제약식을 검토하면서 해당 목표의 좌변에 담고 있는 제약식을 탐색하고, 우변과 관련된 다른 제약식들을 반복적으로 검색해 나간다. 이때 더 이상 새로운 제약식이 발견되지 않으면 해당 목표의 최적해를 도출하기 위한 모든 제약식을 발견한 것이기 때문에 관련 제약식 식별의 과정을 중단하게 된다. 세 번째로 앞서 발견된 제약식의 각 인수에 대해 값의 여부를 판단하여 그 값이 존재하지 않을 경우 변수로의 설정을 결정하고, 마지막으로 주어진 문제에 대해 프로그래밍 모델을 분류한다.

다음의 과정은 앞서 식별된 의사결정 모형이 문제해결 도구를 통해 풀릴 수 있다고 결정되면 최적화 문제를 해결하기 위해 식별된 모형을 문제해결

도구에 종속적인 형태로 변환을 수행하고 해당 모형의 해를 도출하게 된다. 본 논문에서는 CPLEX[7]를 수리계획 엔진으로 갖고 있는 ILOG OPL Studio [8]를 호출하고, 이에 모형을 입력하여 문제를 푼다. ILOG OPL Studio는 모형 언어로 OPL을 사용하기 때문에 문제를 풀기 위해 앞서 기술한 각 절차에 따라 OWL과 SWCL로부터 설정한 모형을 문제 변환기(Problem Translator)를 통해 SWCL OPL 문장으로 변환하게 된다. 이러한 변환 과정에 있어서 일반적인 형태의 제약식의 경우 작성된 SWCL의 문서로부터 제약식의 집합과 확인된 변수 및 상수 집합들의 구조체로부터 변환이 이루어진다. 문제 변환기는 먼저 모형으로부터 제약식들의 설정에 필요한 의사결정 변수와 상수에 해당하는 데이터를 선언문의 형식으로 기록하고, 각 제약식에 해당하는 OPL 문장을 기술한다. 이 때 SWCL의 매개변수와 한정어는 OPL의 인텍스와 한정어로 변환이 이루어진다.

다음으로 본 논문에서 제시하고자 하는 부분선형 표현에 대한 OPL 문장으로서의 변환과정은 다음과 같은 방법론에 의해 그 변환이 이루어진다. 할인 금액과 같이 부분선형으로 표현된 문제를 해결하기 위해서는 추가적인 선형 제약식과 변수를 도입하여 그에 해당하는 구조체를 만들어 이를 해결할 수 있다. 가령 다음과 같은 부분선형함수를 가지고 있다면,

$$\text{piecewise_linear}\{[a_1, a_{12}, a_3, a_4, a_5], \\ [f(a_1), f(a_{12}), f(a_3), f(a_4), f(a_5)]\}$$

$a_i \leq y \leq a_{i+1}$ 인 y 에서 함수 값 $f(y)$ 를 표현하기 위해서 새로운 연속변수 λ_i 를 도입하고,

$$y = \lambda_i \cdot a_i + \lambda_{i+1} \cdot a_{i+1} \quad (1)$$

$$\lambda_i + \lambda_{i+1} = 1 \quad (2)$$

$$0 \leq \lambda_i, \lambda_{i+1} \leq 1 \quad (3)$$

과 같이 볼록결합(convex combination)으로 표현하면 $f(y) = \lambda_i \cdot f(a_i) + \lambda_{i+1} \cdot f(a_{i+1})$ 로 표현할 수 있다.

이를 모든 경우로 적용하기 위해 y 를 다음과 같이 정의한다.

$$y = \sum_{i=1}^r \lambda_i \cdot a_i \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^r \lambda_i = 1 \quad (5)$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad (6)$$

이 때 오직 두 개의 연속적인 λ 만이 활성화 되도록 해야 하기 때문에 이를 강제하기 위해 새로운 이진 변수 $x_i (i = 1, \dots, r-1)$ 를 도입하고 다음과 같은 제약식을 추가하게 된다.

$$\lambda_1 \leq x_1 \quad (7)$$

$$\lambda_i \leq x_{i-1} + x_i, \quad i = 2, \dots, r-1 \quad (8)$$

$$\lambda_r \leq x_{r-1} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^r x_i = 1 \quad (10)$$

$$x_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, r-1 \quad (11)$$

이 식들을 보면 식 (10)과 식 (11)에서 오직 하나의 x_i 만이 1의 값을 갖고 나머지는 0의 값을 갖게 됨을 알 수 있다. 따라서 0에 해당하는 변수에 의해 식 (7), 식 (8), 그리고 (9)는 λ_i 의 값이 0이 되게 강제한다. 오직 1에 해당하는 x_i 를 지니고 있는 두 개의 연속적인 λ_i 만이 양수를 갖도록 허용된다. 마찬가지로 만약 두 개의 연속적인 λ_i 만이 양수로 허용될 때는 식 (7), 식 (8), 그리고 식 (9)에 있는 제약식 중에 양수의 λ_i 에 해당하는 제약식에 공통으로 포함된 x_i 가 1의 값을 갖는다. 그렇지 않다면 하나는 0이 되도록 강제되기 때문이다.

따라서 부분선형의 함수 $g(y) = PL[\{a_1, \dots, a_r\}, \{f(a_1), \dots, f(a_r)\}](y)$ 에 대해 시스템은 다음과 같은 과정으로 OPL 코드로의 변환이 진행된다.

1. 부분선형 함수의 각 구간에 대한 함수를 표현하기 위해 연속변수 λ_i 를 생성한다.
2. 앞서의 제약식 중 식 (1)~식 (3)까지를 OPL 코드에 추가한다.
3. 부분선형의 각 구간 함수 중 두 개의 연속적인 λ 만이 활성화되도록 하기 위해 이진 변수 x_i 를

생성한다.

4. 마지막으로 제약식 (7)~식 (11)을 OPL 코드에 추가한다.

위와 같은 절차에 따라 SWCL 문서로부터 입력된 부분선형 함수에 대한 OPL 코드로의 변환이 이루어지며, OWL과 SWCL로부터 변환된 OPL 코드 중 부분선형 함수에 대한 변환 결과는 다음과 같다.

```

intnbInterval = ...;

range Intervals = 1..nbInterval;
range Index = 1..(nbInterval+1);

(string) ShoppingMalls = ...;

float DCT[ShoppingMalls][Index] = ...;
float DC[ShoppingMalls][Intervals] = ...;

dvar float+CostFromItems[ShoppingMalls];
dvar float+DiscountCost[ShoppingMalls];

dvarboolean Y[ShoppingMalls][Intervals];
dvar float+lambda[ShoppingMalls][Index];

forall(i in ShoppingMalls) {
DiscountCost[i] == sum(k in Intervals) DC[i][k]
    *Y[i][k];
CostFromItems[i] == sum(k in Index) DCT[i][k]
    *lambda[i][k];
sum(k in Index) lambda[i][k] == 1;
lambda[i][1] <= Y[i][1];
lambda[i][2] <= Y[i][1]+Y[i][2];
lambda[i][3] <= Y[i][2]+Y[i][3];
lambda[i][4] <= Y[i][3];
sum(k in Intervals) Y[i][k] == 1;
};

```

앞서의 SWCL로 기술된 piecewise 함수의 세 개의 매개변수 중 두 매개변수는 OPL 변환공식에서 각 구간을 나타내는 a_k 를 결정하게 되며, 마지막 매개변수는 해당 구간에서의 결과 함수에 대한 기울기를 결정하게 된다. 그리고 특정 쇼핑물에서 연결된 할인 정책의 인스턴스 수로 구간의 개수를 나타내는 nbInterval의 값이 결정된다.

이렇게 형성된 OPL 구문은 문제해결 도구인 IL

OG OPL Studio로 입력되고, OPL Studio는 주어진 모형으로부터 해를 도출한 후 SWCL 기반의 문제 해결 프레임워크의 모형관리기로 전송한다. 모형관리기는 도출된 최적의 의사결정을 [그림 5]와 같이 사용자에게 출력해 줌으로써 사용자에게 최적의 의사결정을 유도하게 된다. 다양한 쇼핑몰에서 판매되고 있는 제품의 경우 쇼핑몰마다 각 제품에 대한 할인률도 다를 뿐만 아니라 배송비에 대한 정책도 서로 다르다. 따라서 여러 제품을 구매할 경우 서로 다른 쇼핑몰로부터 최적의 쇼핑 즉, 최소의 비용으로 원하는 모든 제품을 살 수 있도록 구매 결정을 하는 것은 그 조합의 수에 따라 복잡도가 기하급수적으로 증가하는 어려운 문제에 해당한다. 이러한 문제에 있어서 제품과 쇼핑몰에 대한 여러 정책이 기술된 OWL과 이에 대한 수리적 모형을 기술한 SWCL을 이용할 경우 본 논문에서 제시하고 있는 프레임워크를 통해 사용자는 여러 쇼핑몰로부터 최적의 금액으로 모든 제품을 구매할 수 있는 최적의 의사결정을 위한 도움을 얻을 수 있다. [그림 5]는 MINA 3과 RETURN, Rendezvous 앨범을 각각 HotTracks와 CDPark에서 샀을 때 할인 정책에 따라 2000원을 할인 받아 총 63,700원의 금액으로 가장 저렴하게 구입할 수 있었음을 보여주고 있다.

Suggested Optimal Shopping Decision			
Items	Shop	PurchaseQuantity	
MINA3	HotTracks	1	
MINA3	CDPark	2	
RETURN	CDPark	1	
Rendezvous	HotTracks	2	

Payment to Shop			
Shop	PaymentForItems	DeliveryCost	Discount
HotTracks	33000	0	0
CDPark	32700	0	(2000)

Total Payment Summary	
TotalPaymentPerItems :	65700
TotalDeliveryCost :	0
TotalDiscount :	(2000)
TotalPayment :	63700

[그림 5] SWCL 기반 문제해결 프레임워크로부터 도출된 최적의 의사결정

이와 같은 방법에 따라 사용자는 최종적으로 자신이 구하고자 하는 모형의 최적값을 얻을 수 있으며, 이를 통해 효율적인 의사결정을 내릴 수 있게 된다. 이와 같이 실제의 웹 환경에서 발생할 수 있는 수리적 모형을 기술하고 공유하며 이를 해결하기 위한 언어인 SWCL로부터, 본 논문에서는 부분선형 함수를 표현할 수 있는 SWCL의 확장 방법에 대해 제시하였다. 이를 통해 기존의 SWCL이 표현할 수 없었던 비선형 문제에 대해 확장된 수리적 모형의 표현을 가능하게 하며, 이를 해결하고 모형의 해를 도출하기 위한 방안을 제시하였다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

SWCL은 시맨틱 웹 환경에서 의사결정과 관련된 문제 해결 과정에 있어서 문제의 목표와 모형을 표현하기 위한 RDF 기반의 언어적 틀을 제시하고 있으며, 이를 이용하여 웹 환경에서 발생할 수 있는 다양한 수리적 제약식을 시맨틱 웹 환경에서의 언어로 모형화할 수 있다. 또한 이를 지원하는 프레임워크를 통해 사용자는 최적의 의사결정을 위한 대안(對案)을 지원받을 수 있다. 이러한 언어적 장점은 현재의 시맨틱 웹 기술과 의사결정 문제의 표현에 있어서 충족되지 못하던 표현력의 빈자리를 메울 수 있다. 이를 통해 원시 데이터를 실제 의사결정자에게 유용한 지식의 수준으로 상승시킬 수 있으며, 가상 기업(virtual enterprise)과 같은 정보 네트워크 환경에서 기계와 기계가 해당 모형에 대해 서로 이해하고 공유하거나 나아가 통합할 수 있는 수단을 제공함으로써 더욱 쉽고 유연한 정보의 전달 및 교류가 가능해 질 수 있다.

본 논문에서는 선형 문제의 표현만으로 국한되었던 기존의 SWCL을 확장하여 부분선형 함수와 같이 비 선형의 형태를 가지고 있는 다양한 수리적 제약식을 모형화하기 위한 방안을 제시하였다. 이를 위해 SWCL의 표현력을 확장하고, 확장된 SWCL의 표현이 어떻게 인터넷 쇼핑몰에서 발생할 수 있는 할인 금액과 같은 부분선형 문제를 효과적으로 표현하

고 시맨틱 웹으로 표현된 온톨로지와 연결될 수 있는지에 대해 살펴보았다. 또한 표현된 문제를 해결하기 위해 프레임워크를 제시하였으며, 구체적으로 어떻게 부분선형 문제를 표현한 SWCL이 문제해결을 위해 ILOG의 OPL 코드로 변환될 수 있는지에 대해 논하였다. 이러한 일련의 과정을 통해 사용자는 구매하고자 하는 다양한 품목을 여러 쇼핑몰로부터 최적의 가격으로 구매할 수 있는 대안을 제시받게 된다.

본 논문에서 확장된 SWCL의 표현에서 구체적인 예시로 제시한 부분선형 함수에 대한 표현은 연속적인 형태를 가정하고 있다. 따라서 유한 개의 비선형 점에서 연속되지 않는 비연속적인 함수의 경우 정수계획 모형에서 어떻게 모형화가 이루어질 수 있는지에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 현 단계의 SWCL은 다항식 형태의 수리 제약식만을 다룰 수 있고, 둘째로 최적화 모형의 범위가 혼합 정수계획 모형에 국한되어 있다. 위 두 가지의 향후 연구와 더불어 SWRL 처럼 Protégé의 플러그인 형태로 제공되는 전용 에디터와 같은 에디터의 개발 및 에이전트 구현에 관련된 많은 구체적인 문제들은 추후의 연구과제로 진행될 것이다. 그리고 본 연구에서 제시한 SWCL에 대한 문제의 표현과 유용성을 증명하기 위한 실험이 충분히 필요할 것으로 판단된다. 시맨틱 웹 환경에서 이러한 프레임워크가 유용하게 활용되기 위해서는 보다 심도 있는 응용 영역에서의 연구가 필요하다. 이러한 추후 연구를 통해 시맨틱 웹에서의 지식에 대한 유효성(validation)과 검증(verification)에 대한 중요한 연구과제 중 하나로써, 지식으로써의 수리 모형에 대한 유효성과 검증 과정이 향후 연구방향으로 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Antoniou, G. and F. Harmelen, *Handbook on Ontologies in Information Systems*, Springer, 2003.
- [2] Bassiliades, N. and P.M.D. Gray, "Colan : A Functional Constraint Language and Its Implementation," *Data and Knowledge Engineering*, Vol.14, No.3(1994), pp.203-249.
- [3] Berners-Lee, T., <http://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html>, 1998.
- [4] Berners-Lee, T., R. Fielding, and L. Masinter, "Uniform Resource Identifier(URI):Generic Syntax," *RFC 3986/STD 66*, 2005.
- [5] Bratt, S., "Semantic Web, and Other Technologies to Watch," *World Wide Web Consortium*, 2007.
- [6] Bray, T., J. Paoli, C.M. Sperberg-McQueen, and E. Maler, "Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition)," *W3C Recommendation*, 2008.
- [7] CPLEX Optimization Inc., *Using the CPLEX TM Callable Library and CPLEX TM Mixed Integer Library*, Incline Village, NV, 1994.
- [8] Gerald, H. and M. Stefan, "ILOG OPL Studio," *OR Spektrum : Organ der Deutschen Gesellschaft für Operations Research*, Vol.21, No.4(1999), pp.419-427.
- [9] Gray, P., K. Hui, and A. Preece, "An Expressive Constraint Language for Semantic Web Applications," *IJCAI01 Workshop on e-business and the intelligent web*, 2001.
- [10] Hendler, J., <http://iswc2003.semanticweb.org/invitedtalks.html>, 2003.
- [11] Horrocks, I., P.F. Patel-Schneider, H. Boley, S. Tabet, B. Groszof, and M. Dean, "SWRL : A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML," *Acknowledged W3C Member Submission*, NRC 48058, 2004.
- [12] Kifer, M., "Rule Interchange Format : The Framework," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.5341(2008), pp.1-2.
- [13] Kim, H.J., W. Kim, and J. Kim, "An Intelligent Shopping Agent for Optimal Purchasing

- Decision on the Semantic Web,” *Lecture Notes on Computer Science*, Vol.4623(2006), pp. 192-201.
- [14] 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, No.4(2009), pp.882-894.
- [15] Krishnan, R., “Knowledge Based Aids for Model Construction,” Ph.D. Thesis, The University of Texas, Austin, 1987.
- [16] Lee, J.K. and M.Y. Kim, “Knowledge-assisted Optimization Model Formulation : UNIK-OPT,” *Decision Support Systems*, Vol.13, No.2(1995), pp.111-132.
- [17] 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.
- [18] Nemhauser, G.L. and L.A. Wolsey, *Integer and Combinatorial Optimization*, John Wiley and Sons, 1988.
- [19] Preece, A., S. Chalmers, C. McKenzie, J.Z. Pan, and P. Gray, “Handling Soft Constraint in the Semantic Web Architecture,” In *Proceedings Reasoning on the Web Workshop (RoW)* at WWW, Edinburgh, UK, (2006), pp. 22-26.
- [20] Yeom, K. and J.K. Lee, “Logical Representation of Integer Programming Models,” *Decision Support Systems*, Vol.18, No.3/4(1996), pp.227-251.

〈부록 1〉 배송비에 대한 부분선형 제약식을 표현한 SWCL 코드

```

<swcl : Constraintrdf : ID = "Constraint_DeliveryRate">
  <swcl : qualifier>
    <swcl : Variablerdf : ID = "x">
      <swcl : bindingClassrdf : resource = "#PurchaseInMall"/>
    </swcl : Variable>
  </swcl : qualifier>
  <swcl : hasLHSrdf : parseType = "Collection">
  <swcl : TermBlockrdf : ID = "DeliveryRatePerMall">
    <swcl : signrdf : resource = "&swcl; plus"/>
    <swcl : factorrdf : parseType = "Collection">
      <swcl : FactorAtom>
        <swcl : bindingClassrdf : resource = "#x"/>
        <swcl : bindingDatatypePropertyrdf : resource = "#hasDiscountRate"/>
      </swcl : FactorAtom>
    </swcl : factor>
  </swcl : TermBlock>
</swcl : hasLHS>
  <swcl : hasOperatorrdf : resource = "&swcl; equal"/>
  <swcl : hasRHSrdf : parseType = "Collection">
    <swcl : Functionrdf : ID = "DiscountFunction">
      <swcl : signrdf : resource = "&swcl; plus"/>
      <swcl : functionNamerdf : resource = "&swcl; piecewise"/>
      <swcl : parameter>
        <swcl : Variablerdf : id = "y">
          <rdfs : subclassOf>
            <owl : Restriction>
              <owl : onPropertyrdf : resource = "#hasDiscountPolicy"/>
              <owl : hasValuerdf : resource = "#x"/>
            </owl : Restriction>
          </rdfs : subclassOf>
        </swcl : Variable>
      </swcl : parameter>
    <swcl : arguments>
      <rdf : List>
        <rdf : first>
          <swcl : Argument>
            <swcl : bindingClassrdf : resource = "#y"/>

```



```
<swcl : bindingDatatypePropertyrdf : resource = "#from"/>
</swcl : Argument>
</rdf : first>
<rdf : rest>
  <rdf : List>
    <rdf : first>
      <swcl : Argument>
        <swcl : bindingClassrdf : resource = "#y"/>
        <swcl : bindingDatatypePropertyrdf : resource = "#to"/>
      </swcl : Argument>
    <rdf : rest>
      <rdf : List>
        <rdf : first>
          <swcl : Argument>
            <swcl : bindingClassrdf : resource = "#y"/>
            <swcl : bindingDatatypePropertyrdf : resource = "#discountRate"/>
          </swcl : Argument>
          <rdf : restrdf : resource = "&rdf; nil"/>
        </rdf : List>
      </rdf : rest>
    </rdf : List>
  </rdf : rest>
</rdf : List>
</swcl : arguments>
</swcl : Function>
</swcl : hasRHS>
</swcl : Constraint>
```