

서술논리와 규칙언어를 이용한 웹 온톨로지 모델링

Using Description Logic and Rule Language for Web Ontology Modeling

김수경^a

^aDepartment of Computer Engineering, Hanbat National University

San 16-1, DuckMyoung-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-719, Korea

Tel: +82-42-821-1793, Fax: +82-42-825-5395, Email: kimsk@hanbat.ac.kr, khahn@hanbat.ac.kr

본 연구는 시맨틱웹 응용의 중심 기술인 웹 온톨로지의 표현과 추론을 위해 서술 논리와 규칙언어를 기반으로 하는 웹 온톨로지 모델링 방법을 제안한다. 현재 웹 온톨로지 표현 언어인 OWL DL은 서술 논리에 근거하여 표현되는 것이나, 기계나 온톨로지 공학자가 OWL로 기술된 온톨로지를 직관적으로 이해하고 공유할 수 있는 형식적이고 명시적인 온톨로지의 지식 표현은 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 시맨틱웹이 목적하는 웹 온톨로지 구축을 위한 웹 온톨로지 모델링 방법으로 웹 온톨로지 모델링 계층을 제안하고, 제안된 각 계층에 따라 서술 논리의 TBox와 ABox의 구조와 SWRL을 기반으로 지식을 표현하는 웹 온톨로지 모델링 방법을 제안한다. 제안된 웹 온톨로지 모델링 방법의 성능 검증을 위해 제안 방법에 따라 웹 온톨로지를 구축하였고, SPARQL과 TopBraid의 DL Inference를 이용하여 구축된 웹 온톨로지의 성능을 검증하였다.

1. 서론

시맨틱웹 응용(Semantic Web Application)의 최종 단계는 현재 웹 기술을 바탕으로 하여, 웹 온톨로지의 구축을 기반으로 추론 엔진(Inference Engine)을 이용하여 지식에 대한 규칙(Rule)과 추론(Inference) 기능이 제공되는 시맨틱 웹의 최소 요건[1]을 만족하는 응용시스템이다. 그러나 시맨틱웹 응용의 기반 기술인 추론 기반의 웹 온톨로지 구축은 현재 추론 엔진, 온톨로지 개발 도구, 온톨로지 서버 등 다른 시맨틱 웹 기술 수준들에 비해 발전 수준이 부족한 상황이고 이는 시맨틱웹 응용의 발전과 보급에 장애가 되고 있다.

[1]의 요건을 만족하는 규칙과 추론 기능의 제공을 위해서는 웹 온톨로지의 지식 표현(Knowledge Representation)과 추론 표현에 대한 명확한 이해가 필요하다. 온톨로지 표현은 사람이 가지고 있는 지식을 컴퓨터가 처리하고 나아가서 이해할 수 있는 형식으로 표현된 지식

이다. 특히 웹 온톨로지 언어 중 하나인 OWL (Web Ontology Language) DL은 SHIQ 서술논리(Description Logic)에 근거하여 표현되었다. 그러나 OWL로 표현된 온톨로지는 프로테제(Protege)나 TopBraid[18]와 같은 온톨로지 편집 툴을 이용하지 않으면 온톨로지에 표현된 지식의 구조와 내용을 이해하기 어려운 문제점이 있다. 이같은 문제는 웹 온톨로지가 갖는 특징 중의 하나인 지식의 공유(sharing)와 재사용(reuse)를 어렵게 하는 요인이 된다.

따라서 본 연구는 서술논리의 표현 메커니즘(mechanism)인 지식 스키마를 담당하는 용어적 공리(terminology axiom)와 지식 명제를 담당하는 선언적 공리(assertional axiom)에 의한 표현 방법을 적용하고, 지식 추론에 있어 서술논리의 제약사항인 속성(property)간 지식 추론 기능의 제공을 위해 SWRL (Semantic Web Rule Markup Language)[2]의 사용자 임의 규칙 표현 방법을 이용하여 웹 온톨로지의 지식 표현 단계별 모델링 방법을 제안한다. 또한 제안된 웹 온톨로

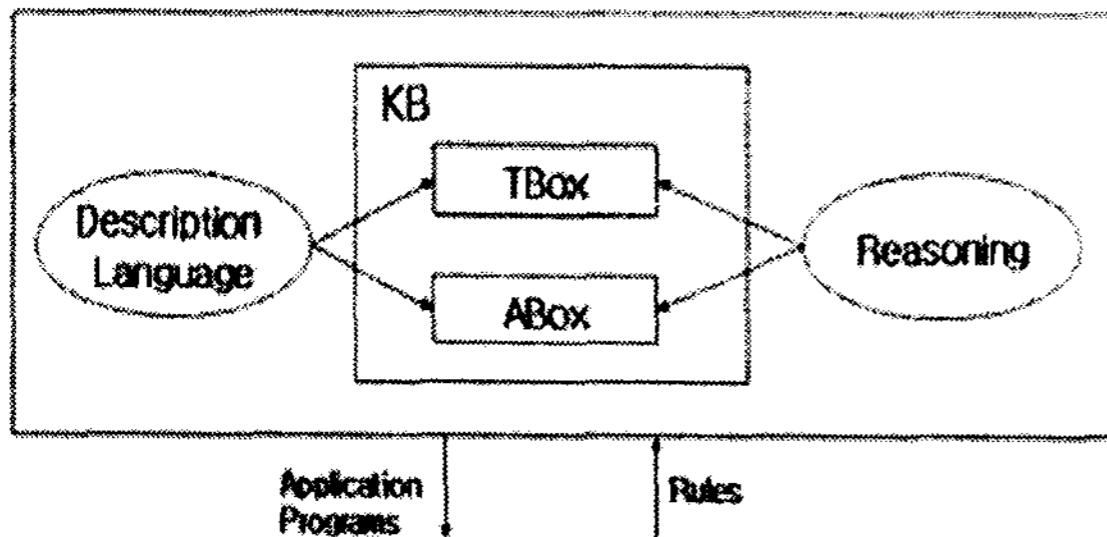
지 모델링 방법의 검증을 위해 실험 온톨로지를 구축하고 구축된 온톨로지의 성능을 평가 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 서술논리와 규칙언어에 대한 개요와 온톨로지 모델링과 관련된 연구들을 비교한다. 3장은 웹 온톨로지 지식표현 모델링 계층을 제시하고 제시된 계층에 따른 지식 표현을 위한 웹 온톨로지 모델링 방법을 제시한다. 4장은 제시된 모델링 방법에 따라 실험 온톨로지를 구축하고 구축된 온톨로지의 성능 검증한다. 5장은 연구 결과의 분석과 앞으로의 연구 방향에 대해 제시한다.

2. 관련연구 및 기술

2.1 서술논리와 혼논리

서술논리라는 이름은 1980년대 정식으로 명명되었고 그전에는 Terminological Systems, Concept Language로 불리었다[3]. 서술논리[4]는 응용 분야의 지식을 구조화하고 형식적으로 이해 가능한 형태로 표현하여 용어적 지식을 다루기 위한 지식표현 언어의 한 종류이다. 서술논리 표현은 [그림1]과 같이 용어적 공리(terminological axiom)과 선언적 공리(assertional axiom)로 구분된다.



[그림1] 서술 논리 표현 구조[4]

서술논리는 구성자(constructor)를 사용하여 개념을 표현하며, 예를 들어, ‘대학을 졸업하고 최소한 3개의 회사에 합격했으며, 그 회사가 모두 대기업인 남자’와 같은 개념은 다음과 같은 서술논리식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} & Human \sqcap Male \sqcap \exists graduated.University \sqcap \\ & (\geq 3 \text{ passedCompany}) \sqcap \\ & \forall \text{passedCompany}.LargeCompany \end{aligned}$$

위의 예에서 사용된 기호들 중에 단순 개념으로 사용된 기호로는 Human, Male, University,

LargeCompany가 있으며, passedCompany와 graduated가 개념간의 연관성을 표현하는데 사용되었다.

용어적 공리는 응용 분야의 개념과 복잡한 개념에 대한 새로운 이름을 부여하는 기능을 갖고 있다. 위의 예에서 언급한 사람을 “SuccessMan” 이라는 용어적 공리로 정의한다면, 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{SuccessMan} \equiv & \\ & Human \sqcap Male \sqcap \exists graduated.University \sqcap \\ & (\geq 3 \text{ passedCompany}) \sqcap \\ & \forall \text{passedCompany}.LargeCompany \end{aligned}$$

선언적 공리는 개념에 해당하는 개별 주체들의 선언에 관한 지식인 특정 개체의 속성을 지정하는데 사용될 수 있다. 예를 들어 “TOM은 SuccessMan”이다 또는 ‘TOM이 SAMSUNG에 합격했다’와 같이 어떤 개체의 특성을 표현하는 방법이 되며, 아래와 같이 표현될 수 있다. 이때 TOM이나 SAMSUNG는 인스턴스이다.

$$\begin{aligned} & \text{SuccessMan}(TOM) \\ & \text{passedCompany}(TOM, SAMSUNG) \end{aligned}$$

선언적 공리는 선언의 형식에 따라 다음과 같이 두 가지 종류로 구분된다. 선언적 공리에서 사용되는 개념 C와 역할 R은 단순 개념이나 역할일 수도 있고, 구성자에 의해 결합된 개념이나 역할일 수도 있고, TBox에서 정의된 새로운 개념이나 역할일 수도 있다.

- 개념 선언(concept assertion) : $C(a)$
- 역할 선언(role assertion) : $R(a,b)$

혼논리(Horn Logic)는 혼 문장(Horn sentence)에 의해 논리가 표현되는 것으로, 혼 문장은 \neg 이 선행되지 않은 모든 원소들(positive atom)이 \wedge 로 연결되어진 문장이다.

$$\begin{aligned} & P_1 \wedge P_2 \wedge \dots \wedge P_n \Rightarrow Q \\ & (\text{where } P \text{ and } Q \text{ are nonnegated atoms}) \end{aligned}$$

혼문장은 두 가지 특별한 경우가 있다. 첫째, Q가 상수 “False” 일 때, $\neg P_1 \vee \neg P_2 \vee \dots \vee \neg P_n$ 과 동등한 문장을 얻을 수 있다. 둘째, $n=1$ 이고 $P_1 = \text{true}$ 일 때 $\text{True} \Rightarrow Q$ 라는 기본문장 Q와 동일한 문장을 얻을 수 있다. 모든 지식 표현이 혼 문장으로 표현될 수 없지만, 혼 문장은 추론과정을 간단하게 해주는 장점이 있다.

2.2 SWRL

SWRL은 OWL DL 및 OWL Lite와 RuleML (Rule Markup Language)의 하부언어인 Unary/Binary Datalog RuleML을 통합한 언어이다. SWRL은 유사 혼 규칙(Horn-like rules)을 포함시켜 OWL의 공리를 확장함으로써 유사 혼 규칙을 OWL 지식베이스와 통합시킬 수 있도록 하였다.

SWRL은 인간이 읽을 수 있는 형식의 문법 내에서 작성되며 규칙은 다음과 같이 전제에 따른 결과로의 형식을 갖는다.

antecedent \Rightarrow consequent

전제와 결과는 $a_1 \wedge \dots \wedge a_n$ 으로 쓰인 원소들의 AND 결합이다. 변수들은 접두사로 물음표를 붙이는 기본 협약에 의해 나타낸다. 이러한 문법을 사용해서, "x는 y를 부모로 갖고, y가 z와 형제라면 x는 z를 삼촌으로 갖는다"고 표현되는 문장은 parent와 brother 프로퍼티들의 조합을 전제로 두고 uncle 프로퍼티를 결과로 나타낼 수 있으며 다음과 같이 정의된다.

$\text{hasParent}(?x, ?y) \wedge \text{hasBrother}(?y, ?z) \Rightarrow$
 $\text{hasUncle}(?x, ?z)$

여기에서 ?x, ?y, ?z 등은 변수를 나타내고 변수명 앞의 hasParent, hasBrother, hasUncle는 속성을 의미한다. SWRL은 속성간의 추론에 대한 표현이 부족한 OWL의 제약사항을 극복한 언어로 볼 수 있다.

2.3 온톨로지 모델링 관련 연구

온톨로지 모델링에 대한 연구는 소프트웨어 공학이나 인공지능 분야를 중심으로 많은 연구가 있다. 특히 소프트웨어 공학의 각종 모델링 방법론들을 온톨로지 구축에 적용하는 방법들이 많이 제안되었다. Stephan Cranfield[5]의 연구는 UML을 기반으로 온톨로지를 모델링하는 방법을 제안하였으나 온톨로지가 갖는 속성 간 추론에 대한 모델링의 제시는 미약하다. 그리고 온톨로지 모델링과 시맨틱웹과의 연결을 위해 MDA(Model Driven Architecture)를 기반으로 한 ODM(Ontology Definition Metamodel)을 제공하는 Dragan Djuric[6]의 연구가 있다. [6]은 metametamodel 단계, metamodel 단계, model 단계와 가장 하위 단계로 instance 단계를 두고 meta-

metamodel 단계와 model 단계에서 UML 기반으로 지식을 표현하고 이를 ODM을 통해 OWL의 지식과 매핑하는 구조이다. [6]은 [5]와 마찬가지로 실제 지식 표현에 있어 UML을 중심으로 표현하기 때문에 속성간 추론이 어려우며, 지식 표현을 위해 다시 ODM과 같은 언어를 이해해야 하는 번거로움이 있다. Jorge Posada[7]의 연구는 프로테제를 이용하여 대규모 모델 가시화를 위한 산업 표준의 온톨로지 모델링을 위한 설계안을 제시하였으나 실제 온톨로지의 모델링 방법을 제시한 것이 아니라 온톨로지 적용을 통한 대규모 모델 가시화의 잇점을 제안하였다. Juntao Cui[8]는 웹 서비스의 시맨틱 합성에 대한 온톨로지 모델링 방법을 제시하였으나 온톨로지에 대한 모델링 방법 보다는 웹 서비스를 제공하기 위한 모델링 방법을 제시하였다.

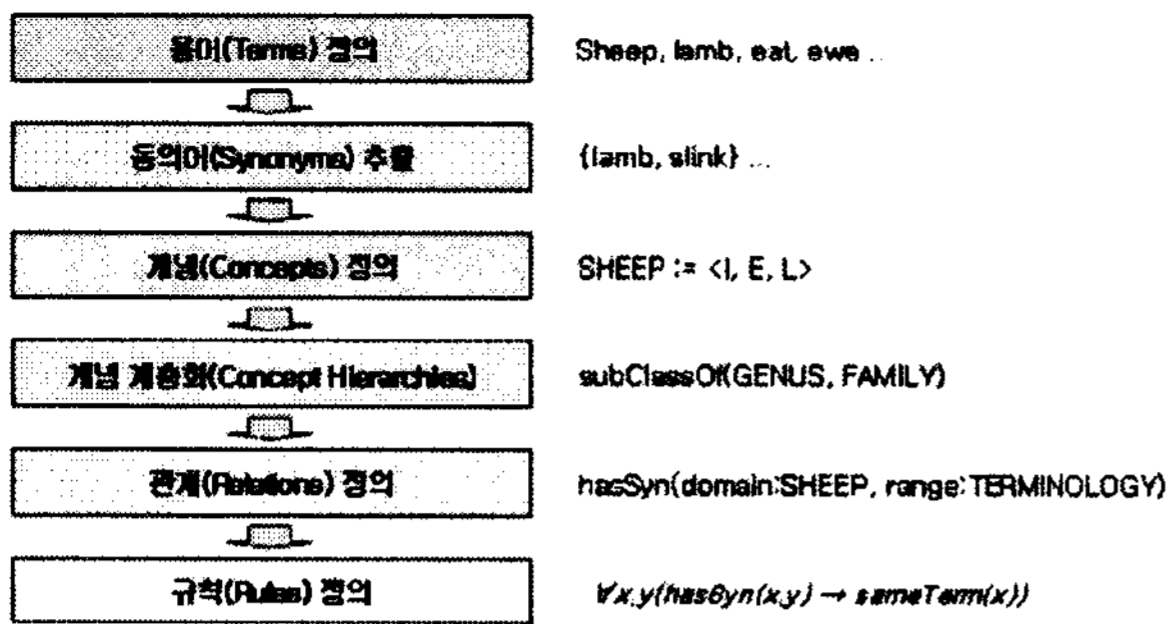
국내 연구로 이현자[9]의 연구는 서술논리를 이용해 전자카타로그 온톨로지 모델링을 제시하였다. [9]는 기본적인 모델링 구성요소 집합은 확장 개체 관계(EER: Extended Entity Relationship)로 개념적으로 나타내고 부가적 의미의 지식은 서술논리로 표현하는 방법을 제안하였으나, 온톨로지 모델링을 위한 정형화된 과정 제시가 부족하였다. 특히 오현목[10]의 연구는 국내 온톨로지와 시맨틱웹의 발전을 위해 다양한 온톨로지 모델링 방법에 대한 연구 필요성을 강조하였다.

3. 웹 온톨로지 모델링

3.1 웹 온톨로지 모델링의 일반화 방안

본 연구는 웹 온톨로지의 제약 요소 중 하나인 개념적 모델의 묵시적 표현으로 인한 응용 코드와 지식 표현의 차이점을 극복하는 방안으로 서술 논리와 규칙 언어를 이용하여 웹상에 존재하는 단어나 용어들로부터 규칙에 이르는 계층을 <그림2>와 같이 분석하여 제시하였다. <그림2>는 기존 온톨로지 모델링 연구에서 나타난 특정 도메인 온톨로지에 한정적인 온톨로지 모델링 방법을 극복하기 위한 방안이다. 또한 <그림2>는 온톨로지 모델링 과정의 점진적 계층 구조로서, 각 계층에서 표현될 지식을 서술논리 표현 구조인 용어적 공리와 선언적 공리를 기반으로 정의하고 마지막 계층인 규칙 정의 계층은 SWRL을 이용하여 속성 간 추론을

표현하는 계층적 단계이다.



<그림2> 웹 온톨로지 모델링 계층

각 계층에 대한 설명은 다음과 같다. 첫째, 용어(Term) 정의 계층은 지식 표현 대상인 도메인에서 명사(Noun)에 해당하는 용어를 나열한다. 둘째, 동의어(Synonyms) 추출 계층은 나열된 용어들 중에 동일한 의미를 가진 용어들을 그룹화한다. 셋째, 개념(Concept) 정의 계층은 그룹화된 동의어들에 대한 개념을 서술논리의 구성자와 용어적 공리를 이용하여 기술한다. 넷째, 개념 계층화(Concept Hierarchies) 계층은 기술된 개념들 간의 상하 관계를 서술논리 구성자와 선언적 공리를 이용하여 기술한다. 다섯째, 관계 정의(Relation Definition) 계층은 각 개념 간 의미적 관계나 속성적 관계를 서술논리의 선언적 공리를 이용하여 정의한다. 마지막 규칙 정의(Rule Definition) 계층은 이종 개념 간 속성에 대한 관계를 SWRL의 전제와 결과 구조를 이용하여 정의한다.

3.2 웹 온톨로지 계층별 모델링

(1) 용어 정의 계층

용어 정의 계층은 온톨로지 구축 목적에 의해 분류된 도메인이 갖고 있는 자료나 정보들을 분석하여 용어 조사표를 작성한다. <표1>은 도메인 용어 조사표의 예이다.

<표1> 도메인 용어 조사표

도메인 용어 조사표				
번호 : _____		작성일 : _____		
온톨로지명		이미지 지식 기반 온톨로지		
도메인 온톨로지명		양(sheep)		
단어명	동의어	약어	설명	유형
sheep			양, 면양	class
lamb	slink		어린 양	class
wool			양모	class
mutton			양고기	class
wild sheep			야생종 양	class
location			양의 서식지	property
merino			양의 한 품종	instance

<표1>에 조사된 용어들을 서술논리 구성자를 통해 아래와 같이 정의된다.

$$\text{domain:term}(xn) = \{ x1, x2, x3, \dots, xn \}$$

위 정의에서 domain:term은 정의될 지식 표현의 영역에 정의될 용어들을 의미하고 다음은 위 정의에 따른 <표1> 도메인의 서술논리 정의이다.

$$\text{sheep:term}(x) = \{\text{sheep, lamb, wool, mutton} \dots\}$$

(2) 동의어 추출 계층

정의된 용어들 중에서 같은 의미를 가진 용어들을 다음과 같이 정의한다. domain:synonyms(x)에서 x는 대표 동의어를 의미한다.

$$\text{domain:synonyms}(x1) = \{x1_1, x1_2, x1_3, \dots, x1_n\}$$

.....

$$\text{domain:synonyms}(xn) = \{xn_1, xn_2, xn_3, \dots, xn_n\}$$

위 정의에 따른 동의어 추출의 예는 다음과 같으며 sheep은 대표 동의어가 된다.

$$\text{sheep:synonyms}(\text{sheep}) = \{\text{ram, wether, ewe, } \dots \}$$

(3) 개념 정의 계층

개념 정의에서 개념은 클래스와 같은 것으로 용어 정의와 동의어 추출 결과를 기반으로 먼저 <표2>의 적격 질의 목록을 작성한다. 작성된 적격 질의 목록은 개념의 속성을 구성하는 역할을 하며 이에 따른 <표3>은 개념 속성표이다.

<표2> 적격 질의 목록

적격 질의 목록표				
번호 : _____		작성일 : _____		
용용 시스템		이미지 지식 검색		
온톨로지명		이미지 지식 기반 온톨로지		
번호	질의내용	예상답	관련도메인	비고
1	lamb과 동일한 의미를 가진 이미지지는?	slink		
2	merino sheep 의 품명은?	ovis aries		
3	bighorn sheep이 서식하는 지역은?	Rockie Mountain		
....

<표3> 도메인 개념 속성표

도메인 개념 속성표					
온톨로지명		이미지 지식 기반 온톨로지			
도메인 온톨로지명		양(sheep)			
개념명		domestic sheep			
속성명	속성 종류	속성 유형	측정단위	정밀도	제한
hasLocation	Data	String	-	-	3
hasColor	Data	String	-	-	3
hasGenusName	Object	동물분류	-	-	1
....
개념명		wild sheep			
속성명	속성 종류	속성 유형	측정단위	정밀도	제한
....

<표2>와 <표3>의 정보를 기준으로 서술논리의 구성자에서 개념인 C는 $C = \{x \mid C(x)\}$ 의 의미에 의해 C는 다음과 같이 확장될 수 있다. 여기에서 X는 원자 개념(atomic concept)이다.

$$C(X) \rightarrow X \mid \neg C \mid C \sqcap D \mid C \sqcup D \mid \forall R.C \mid \exists R.C \mid (\geq nR) \mid (\leq nR)$$

<표3>의 개념 domestic sheep은 조사된 정보와 정의된 표현에 의해 다음과 같이 정의된다.

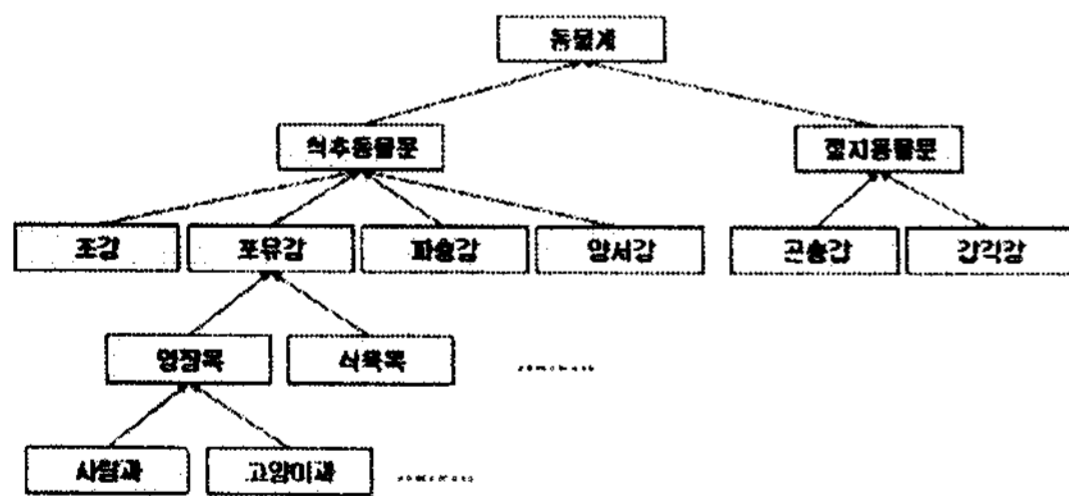
$$\begin{aligned} C(\text{Domestic sheep}) \rightarrow & \text{Domestic sheep} \mid \\ & \neg \text{Domestic sheep} \mid \text{Domestic sheep} \mid \\ & \text{Domestic sheep} \sqcap \text{Wild sheep} \mid \\ & \text{Domestic sheep} \sqcup \text{Wild sheep} \mid \\ & \forall \text{hasLocation.Domestic sheep} \mid \\ & \exists \text{hasGenusName.Domestic sheep} \mid \\ & (\geq 3\text{hasLocation}) \end{aligned}$$

개념에 대한 서술논리 구성자를 통한 정의에 대한 지식 표현은 다시 TBox 구조인 용어적 공리로 표현될 수 있다. 개념 $C(X) \rightarrow X$ 는 용어적 공리로 $X \equiv \dots$ 와 같이 표현되며 위 정의에 대한 용어적 공리 표현은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{Domestic sheep} \equiv & \text{Sheep} \sqcap \neg \text{Wild Sheep} \sqcap \\ & \text{hasLocation.Farm} \sqcap \geq 3\text{hasLocation} \\ \text{Domestic sheep}(\text{Merino}) \end{aligned}$$

(4) 개념 계층화 계층

개념 계층화는 <그림3>과 같은 개념들 간의 상하위 개념 그래프에 의해 정의된다. 특히 개념들 간의 계층은 일반적으로 용어적 공리의 포함(Subsumption)을 의미하는 “ \sqsubseteq ” 기호에 의해 표현될 수 있다.



<그림3> 개념 그래프

개념 C과 개념 D의 하위 관계를 나타내는 용어적 공리 표현은 다음과 같다.

$$C(X) \sqsubseteq D(Y)$$

이의 선언적 공리 표현은 다음과 같다.

$$R(C, D) \equiv \text{subClassOf}(C, D)$$

<그림3>에서 강(綱) 개념 계층과 목(目) 개념 계층과의 용어적 공리와 선언적 공리 표현은 다음과 같다. 이때 강(綱) 개념은 Class로 목(目) 개념은 Order로 정하였고, X와 Y는 양의 분류학명을 이용하였다.

$$\text{용어적 공리} : \text{Order}(\text{Artiodactyla}) \sqsubseteq \text{Class}(\text{Mammalia})$$

$$\text{선언적 공리} : \text{subClassOf}(\text{Order}, \text{Class})$$

이때 $\text{subClassOf}(\text{Order}, \text{Class})$ 표현은 용어적 선언 관계에 의해 인스턴스 간에서 포함 관계로 추론할 수 있다.

$$\text{subClassOf}(\text{Order}, \text{Class}) \dots \textcircled{1}$$

$$\text{Order}(\text{Artiodactyla}) \sqsubseteq \text{Class}(\text{Mammalia}) \dots \textcircled{2}$$

①과 ②를 서술논리의 구성자로 정의하면 ③과 같은 정의로 유도된다.

$$\text{subClassOf}(\text{Order}, \text{Class}) \sqcap \text{Order}(\text{Artiodactyla}) \sqsubseteq \text{Class}(\text{Mammalia})$$

$$\Rightarrow \text{subFamily}(\text{Artiodactyla}, \text{Mammalia}) \dots \textcircled{3}$$

①과 ②와 ③의 정의에 따라 포함 관계에 대한 용어적 공리와 선언적 공리는 다음 지식 표현과 같이 추론을 위해 일반화 될 수 있다.

$$\text{subClassOf}(?x, ?y) \sqcap C(?x) \sqsubseteq D(?y)$$

$$\Rightarrow \text{subRole}(?x, ?y) \dots \textcircled{4}$$

(5) 관계 정의 계층

관계 정의는 서술논리의 선언적 형식에서 역할(Role)의 선언으로 속성의 정의와 같다. <표2>와 <표3>의 분석에 따라 관계 정의가 이뤄진다. 일반적인 역할의 선언은 다음과 같다. 이때 $R(a,b)$ 에서 R은 속성명, a와 b는 개념명이며 a는 domain이고, b는 range 클래스가 된다.

$$R(a,b) \rightarrow$$

$$\begin{aligned} & \text{hasLocation}(\text{Domestic sheep}, \text{xsl:String}) \\ & \text{hasGenusName}(\text{Domestic sheep}, \text{Ovis}) \end{aligned}$$

domain과 range가 서로 다를 때, 위의 Domestic sheep, Ovis와 같이 서로 다른 개념일 때 위 정의는 “Domestic sheep의 hasGenusName은 Ovis” 관계가 있다고 말하고 hasGenusName은 OWL에서 Object Property가 된다. hasLocation 속성은 domain Domestic sheep는 XML의 xsl:String가 된다는 의미이다.

(6) 규칙 정의 계층

규칙 정의는 서술논리의 Object Property에서 지원하지 못하는 속성간 관계와 속성간 추론이 필요한 문장을 정의하는 계층이다. 이 계층에서는 혼(Horn) 논리의 구조에 의한 SWRL의 구조에 따라 표현된다. 이를 위해서 <표2>의 적격질의 목록에 따라 <표4>의 도메인 규칙 공리표를 작성한다.

<표4> 도메인 규칙 공리표

도메인 규칙 공리표	
온톨로지명	이미지 지식 기반 온톨로지
도메인 온톨로지명	용어(terminology)
개념명	LifeStage
공리명	sameLifeStage
설명	lamb과 동일한 양의 성장 단계를 나타내는 용어를 추론한다
표현식	$sameLifeStage(?x, ?y) \wedge sameLifeStage(?y, ?x)$ $\wedge differentFrom(?x, ?y)$ $\Rightarrow sameLifeStage(?x, ?z)$
관련 개념	Sheep, Actor, LifeStage
관련 속성	sameLifeStage, differentFrom, LifeStage(x) ...

<표4>의 도메인 규칙을 SWRL 기반의 표현으로 일반화 시킨 정의는 다음과 같다. 이때 $hasProperty_1()$ 과 $hasProperty_2()$, $hasProperty_n()$ 는 앞의 관계(속성) 정의로 기술된 표현들로서, 추론에 있어 전제 조건에 해당하고 $hasFinal$ 은 추론의 결과로 새롭게 생성되는 관계(속성)이며 결론의 역할을 제공한다. 변수 $?x$, $?y$, $?z$ 는 개념, 인스턴스 관계 정의에 표현된 개념이나 인스턴스로 대체된다.

$$hasProperty_1(?x, ?y) \wedge hasProperty_2(?y, ?z) \wedge \dots \wedge hasProperty_n(?y, ?z) \Rightarrow hasFinal(?x, ?z)$$

이같이 일반화된 표현은 다시 특정 도메인에서 요구하는 규칙에 적합하게 변경된다. <표4>에 선언된 공리 sameLifeStage는 규칙에 의해 추론될 결과 속성이다.

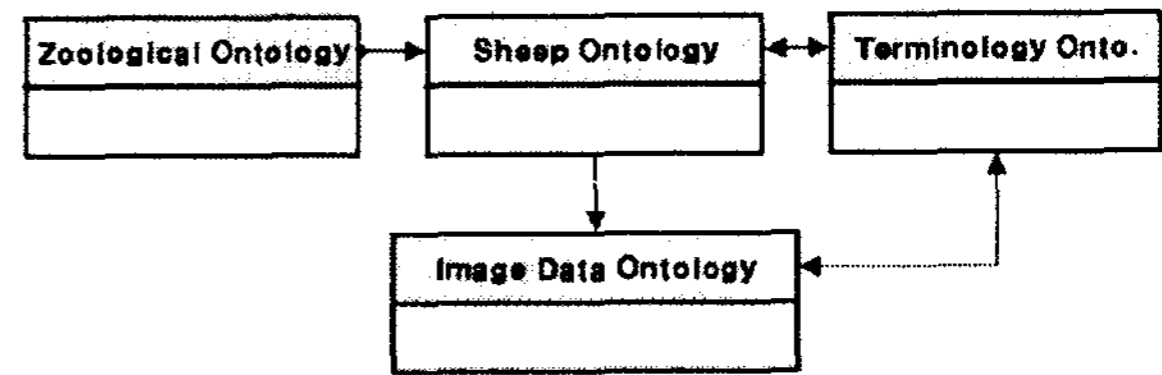
$$sameLifeStage(?x, ?y) \wedge sameLifeStage(?y, ?z) \wedge differentFrom(?x, y) \Rightarrow hasLifeStage(?x, ?z)$$

위 규칙의 의미는 "lamb과 동일한 양(sheep)의 성장 단계를 나타내는 용어를 추론하라"이다.

4. 실험 및 분석

4.1 제안 모델링 방법에 따른 온톨로지 구축

본 연구에서 제안된 모델링 방법의 검증을 위해 제안된 모델링 방법에 따라 TopBraid 온톨로지 편집 툴을 이용하여 온톨로지들을 구축하였다. 전체 온톨로지 구조는 <그림4>와 같다.



<그림4> 실험 온톨로지 구조

Sheep Ontology는 Zoological Ontology의 지식 중 양(Sheep)의 학명(Zoological Name)에 대한 지식을 추론하며 Terminology Ontology는 Sheep Ontology에 표현된 양에 대한 다양한 용어(Terminology)와 동사(verb)와 목적어(Object) 등을 추가 표현하여 Sheep Ontology의 지식을 참조하거나 Sheep Ontology에 지식을 제공한다. Image Data Ontology는 Terminology Ontology와 Sheep Ontology의 지식들을 [정의1]과 [정의2] 같은 서술 논리의 용어적 공리와 선언적 공리 표현에 의해 지식을 추론하여 생성된다. [정의1], [정의2]는 Image Data Ontology를 생성하기 위한 지식 표현의 일부이다.

[정의1]

$$rdfs:domain \equiv T \sqsubseteq \forall hasActor \bar{.} ContentDescription$$

$$rdfs:range \equiv T \sqsubseteq \forall hasActor. Terminology:Actor$$

$$hasActor(ContentDescription, Terminology:Actor)$$

[정의2]

$$actorModifier \sqsubseteq hasActor \text{ 이므로}$$

$$rdfs:domain \equiv T \sqsubseteq \forall actorModifier \bar{.} ContentDescription$$

$$rdfs:range \equiv T \sqsubseteq \forall actorModifier. xsd:string$$

$$actorModifier(ContentDescription, xsd:string)$$

<그림5>는 [정의1]과 [정의3]에 의해 각 온톨로지의 지식이 이입되어 추론되는 과정을 표현한 그림이다. Image Data Ontology내 hasActor 속성(관계)에 의해 ContentDescription 개념이 Terminology Ontology의 개념 Actor에 연결되고 sameGender 속성에 의해 Gender 개념과 연결되어 최종적으로 동일한 성(性)을 가진 인스턴스를 추론한다.

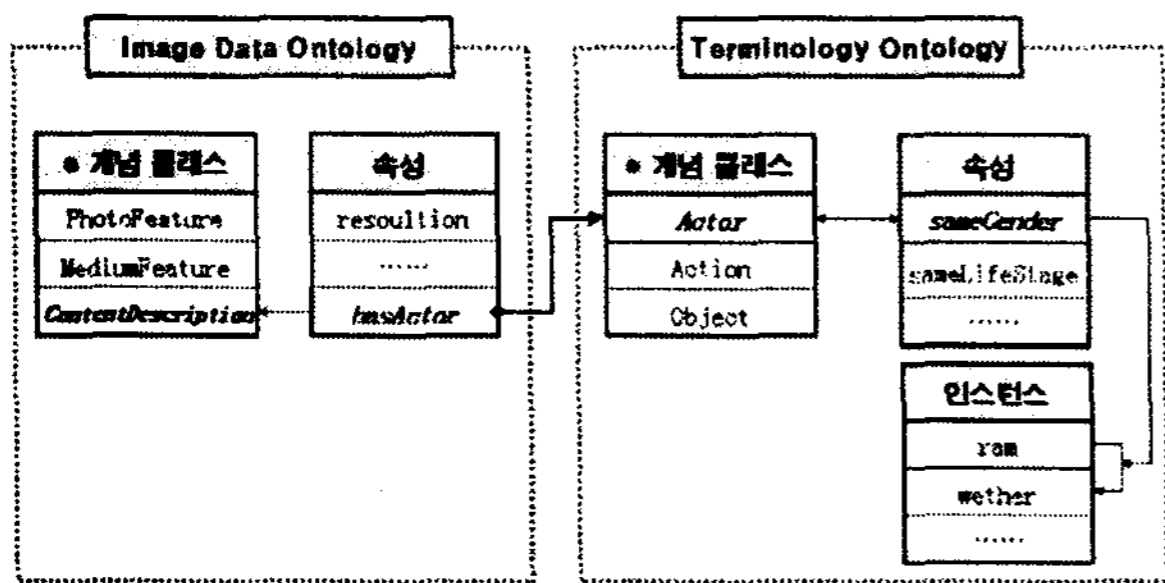
[정의3]

$$rdfs:domain \equiv T \sqsubseteq \forall sameGender \bar{.} Gender$$

$$rdfs:range \equiv T \sqsubseteq \forall sameGender. Gender$$

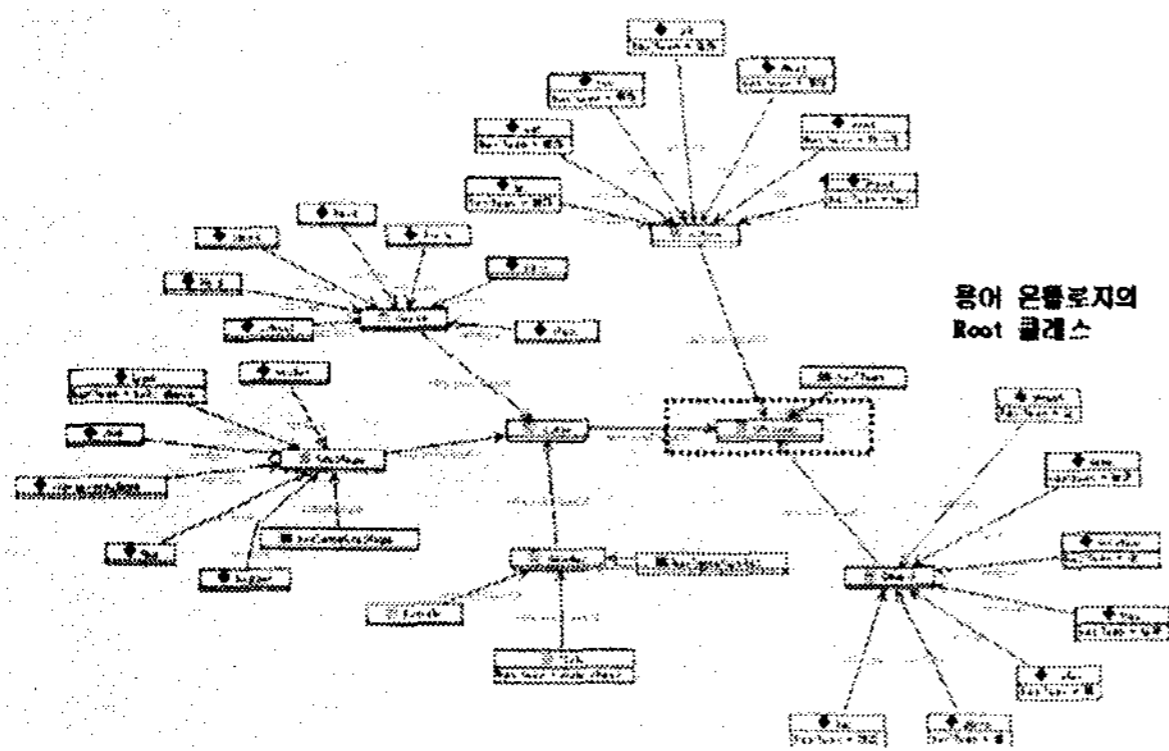
$$owl:maxCardinality \equiv 4 \leq sameGender. Gender$$

$$sameGender(Terminology:Actor, Terminology:Gender)$$



<그림5> 서술논리 표현에 의한 지식 추론 과정

<그림6>은 제안된 모델링 방법에 의해 구축된 온톨로지들 중에서 Terminology Ontology의 전체 그래프이다.



<그림6> Terminology Ontology 그래프

4.2 구축 온톨로지 검증

서술 논리 기반의 언어로 작성된 온톨로지는 세 가지 추론 기능에 의해 검증될 수 있다.

첫 번째는 **subsumption check**로 상위 개념과 하위 개념 간의 관계를 결정하는 기능이다. 어떤 개념 C의 모든 사례가 다른 개념 D의 모든 사례에 포함되는지를 개념 차원에서 검증하는 것이다. 두 번째는 **instance check**로 사례 관계를 결정하는 기능이다. 이는 특정 개체가 어떤 개념의 사례인지를 검사하는 것이다. 세 번째는 용어적 형식과 선언적 형식에 의해 표현된 개념들의 집합인 지식베이스에 모순이 발생하는지를 검사하는 일관성 검사이다.

위 같은 검증 방법에 따라 본 연구는 각 도메인 온톨로지별로 추론을 실행하여 <표3>에서 정의한 적격 질의에 적합한 결과를 획득하였다. 다음은 SPARQL을 통해 구축된 온톨로지들을 검증한 구문들의 일부이다.

[질의 1] 모든 클래스의 서브 클래스들을 검색하라.

```
SELECT ?subject ?object
WHERE {?subject rdfs:subClassOf ?object}
```

[추론결과]

[subject]	object
Class	Phylum
Division	Kingdom
Family	Order
Genus	Family
Green_algae	Division
Kingdom	owl:Thing
LandPlant	Division
Order	Class
Phylum	Kingdom
Species	Genus

[질의 2] 인스턴스 Ovis_aries와 다른 객체 중 (species) 들을 검색하라.

```
SELECT ?subject ?object
WHERE {?Ovis_aries owl:differentFrom ?object}
```

[추론결과]

[subject]	object
	Ovis_dalii
	Ovis_vignei
	Ovis_asiaticus
	Ovis_candensis
	Ovis_orientalis
	Ovis_montanus
	Ovis_asiaticus
	Ovis_orientalis

[질의 3] 인스턴스 Ovis와 같은 속(Genus)이지만 다른 인스턴스들을 검색하라.

```
SELECT ?subject
WHERE {?Ovis :hasSameGenus ?object.
?Ovis owl:differentFrom ?object}
```

[추론결과]

[subject]	object
	Linus
	Panthera
	Felis
	Canis

[질의 4] 인스턴스 Merino의 속(Genus) 명을 검색하라.

```
SELECT ?subject ?object
WHERE {?Merino :hasGenus ?object}
```

[추론결과]

[subject]	object
	Zoological:Ovis

[질의 5] 클래스 중에서 Gender 클래스의 서브클래스이며 "male sheep"이란 의미를 가진 클래스를 검색하라.

```
SELECT ?subject
WHERE {?subject rdf:type ?class .
?subject rdfs:subClassOf ?Gender .
?subject :hasMean "male sheep"}
```

[추론결과]

[subject]	object
	Male

[질의 6] "baby sheep"라는 의미를 가진 객체와 동일한 성숙 단계를 의미하는 모든 용어를 검색하라.

```
SELECT ?subject ?object
WHERE {?subject :hasMean "baby sheep".
?subject :hasSameLifeStage ?object}
```

[subject]	object
◆ lamb	◆ sucker
[추론결과] ◆ lamb	◆ sink

[질의 7] hasActor, hasAction, hasObject로 선언된 인스턴스들을 검색하라.

```
SELECT ?subject ?object
WHERE {{?subject :hasActor ?object} UNION
       {?subject :hasAction ?object} UNION
       {?subject :hasObject ?object}}
```

[subject]	object
◆ PhotoAnnotation_1	◆ Terminology:lamb
◆ PhotoAnnotation_1	◆ Terminology:eat
◆ PhotoAnnotation_1	◆ Terminology:glass
◆ PhotoAnnotation_2	◆ Terminology:flock
◆ PhotoAnnotation_2	◆ Terminology:run
◆ PhotoAnnotation_2	◆ Terminology:lamb
◆ PhotoAnnotation_3	◆ Terminology:lamb
◆ PhotoAnnotation_3	◆ Terminology:sleep
◆ PhotoAnnotation_3	◆ Terminology:tree

서술논리 기반의 추론 검증과 더불어 SWRL로 표현된 규칙에 대한 검증도 실행하였다. 정의된 규칙 언어 표현의 일부를 [정의4], [정의5]에 제시하였다. <그림7>은 TopBraid의 SWRL Inference 기능에 의해 [정의4]와 [정의5]의 실행 결과를 보여준다.

[정의4]

$$\text{sameLifeStage}(?x,?y) \wedge \text{sameLifeStage}(?y,?z) \\ \wedge \text{differentFrom}(?x,?y) \Rightarrow \text{sameLifeStage}(?x,?z)$$

[정의5]

$$\text{sameMean}(?x,?y) \wedge \text{sameMean}(?y,?z) \\ \wedge \text{differentFrom}(?x,?y) \Rightarrow \text{sameMean}(?x,?z)$$

<그림7>은 [정의4]와 [정의5]의 추론 결과이다.

[Subject]	Predicate	Object
Terminology:Group	owl:disjointWith	Terminology:Male
Terminology:LifeStage	owl:disjointWith	Terminology:Male
Terminology:Cryptochid	Terminology:hasSameMean	Terminology:Cryptochid
Terminology:ram	Terminology:hasSameMean	Terminology:ram
Terminology:slink	owl:differentFrom	Terminology:lamb
Terminology:sucker	owl:differentFrom	Terminology:slink
Terminology:sucker	owl:differentFrom	Terminology:lamb
Terminology:weather	Terminology:hasSameMean	Terminology:weather
Zoological:Ovis	owl:differentFrom	Zoological:Ovis
Zoological:Canis	owl:differentFrom	Zoological:Ovis
Zoological:Felis	owl:differentFrom	Zoological:Ovis
Zoological:Ovis_ammon	owl:differentFrom	Zoological:Ovis_aries
Zoological:Ovis_candensis	owl:differentFrom	Zoological:Ovis_aries

<그림7> SWRL을 이용한 임의 추론 결과

5. 결 론

4장에서 검증된 결과에서 보듯이 본 연구가 제안한 서술논리와 규칙언어 기반의 웹 온톨로지 모델링 방법은 시맨틱웹의 중심 기술로서 웹 온톨로지의 역할을 제대로 수행하였다. 특히 지식 표현을 명시적이고 형식적으로 기술함으로써 다른 온톨로지 공학자나 기계가 온톨로지의 구조와 지식을 쉽게 이해할 수 있을뿐더러 서술논

리와 규칙언어의 표현이 온톨로지들간의 지식 공유를 위한 방법이 될 수 있음도 제시하였다.

앞으로의 연구 방향은 기존 웹에 표현된 정보와 지식들을 자동으로 온톨로지로 구축하기 위해 본 연구가 제안한 웹 온톨로지 모델링 방법을 온톨로지 학습(Ontology Learning)을 위한 기반 지식으로 활용하는 방안을 연구하고자 한다.

참 고 문 헌

1. Michel Klein, Ubbo Visser. "Semantic Web Challenge 2003", IEEE Computer Society, IEEE INTELLIGENT SYSTEM, pp. 31-33, 2004. 5.
2. Ian Horrocks, Peter F. Patel-Schneider, Harold Boley, Said Tabet, Benjamin Grosf, Mike Dean. "SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML", <http://www.daml.org/2003/11/swrl/>, 2003.11.
3. 박영택, 최중민. "온톨로지 추론 개요와 연구 동향", 한국정보과학회 학회지 제24권 제4호 pp. 17-23, 2006.4
4. 한국전산원. "웹 환경에서의 지식교환/유통을 위한 지식표현 및 추론기술 연구", pp. 65-80, 2004.
5. Stephan Cranefield, Stefan Haustein, Martin Purvis, "UML-Based Ontology Modeling for Agent", The Information Science Discussion Paper Series, 2001.7.
6. Dragan Djuric, Dragan Gasevic, Vladan Devedzic, "Ontology Modeling and MDA", Journal of Object Technology, Vol.4, No.1, January-February 2005.
7. Jorge Posada, Carlos Toro, Stefan Wundrak, Andre Stork, "Ontology Modelling of Industry Standards for Large Model Visualization and Desing Review using Protege", 8th Intl. Protege Conference, July, 2005.
8. Juntao Cui, Jiamao Liu, Yujin Wu, Ning Gu, "An Ontology Modeling Method in Semantic Composition of Web Services", Proceedings of the IEEE International

Conference on E-Commerce Technology for Dynamic E-Business, 2004.

9. 이현자, 심준호. "Description Logic을 이용한 전자카타로그 온톨로지 모델링", 한국정보과학회 논문지, 데이터베이스 제32권 제2호, 2005. 4.
10. 오현목, "시맨틱 웹 발전 방향 및 표준화 개발전략 연구", 한국전산원, 2005.
11. Tim Burners Lee. "Artificial Intelligence and the Semantic Web", [http://www.w3.org/2006/Talks /0718-aaai-tbl/](http://www.w3.org/2006/Talks/0718-aaai-tbl/), AAAI, 2006.7.
12. Michael Schroeder, Gerd Wagner (Eds.). "Proceedings of the International Workshop on Rule Markup Languages for Business Rules on the Semantic Web", CEUR-WS Publication, Vol. 60, 2002.
13. Dieter Fensel et al. "On-To-Knowledge: Ontology-Based Tools for Knowledge Management.", 2000.
14. Nicola Guarino. "DOLCE : a Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering", <http://www.loa-cnr.it/DOLCE.html>, 2006.
15. C.Masolo, S. Borp, A. Gangemi, N. Guarino, A. Oltramari. "Wonder- Web deliverable D17", intermediate report 2.0, ISTC-CNR, 2002.
16. Aditya Kalyanpur, Nada Hashmi, Jenifer Globeck, Bijan Parsia. "Lifecycle of a Casual Web Ontology Development Process", Application Design, Development and Implementation Issues in the Semantic Web, 2004. 1.
17. 한국전산원. "웹 온톨로지 개발지침 연구", pp. 1-4, 2004. 12.
18. <http://www.topbraidcomposer.com>