

기술논리와 SWRL 기반의 웹 온톨로지 모델링

Web Ontology Modeling Based on Description Logic and SWRL

김수경(Su-Kyoung Kim)*

안기홍(Kee-Hong Ahn)**

초 록

차세대 인터넷 기술로 각광받은 시맨틱 웹의 완전한 사용은 도메인 영역의 지식표현과 지식추론의 성능에 달려있다. 특히 표현된 지식을 기계가 이해하여 인간과 도메인들 간의 상호작용을 위해서는 더욱 형식적이고 명시적인 지식과 추론 표현이 기반된 웹 온톨로지 구축이 중요하다. 더구나 웹 온톨로지간의 상호작용은 시맨틱 웹의 기술적 완성을 위한 중요 요소이나 현재 웹 온톨로지의 구축을 위한 표준화된 모델링 방법의 부족으로 인해, 구축된 웹 온톨로지의 상호작용과 이해가 어려운 상황이다. 따라서 이같은 문제를 해결하기 위해 본 논문은 온톨로지의 지식 표현과 추론에 따른 단계를 명확하게 정의하고 정의된 각 단계에 따라 기술논리의 TBox와 ABox의 지식표현 구조와 SWRL 기반의 추론 규칙을 바탕으로 하는 웹 온톨로지 모델링 방법을 제안한다. 제안된 방법의 성능 검증을 위해 제안된 웹 온톨로지 모델링 과정에 따라 웹 온톨로지들을 구축하였고, 구축된 웹 온톨로지들의 추론에 따른 상호작용 성능을 실험하여 본 논문의 유용성을 입증하였다.

ABSTRACT

Actually a diffusion of a Semantic Web application and utilization are situations insufficient extremely. Technology most important in Semantic Web application is construction of the Ontology which contents itself with characteristics of Semantic Web. Proposed a suitable a Method of Building Web Ontology for characteristics of Semantic Web and Web Ontology as we compared the existing Ontology construction and Ontology construction techniques proposed for Web Ontology construction, and we analyzed. And modeling did Ontology to bases to Description Logic and the any axiom rule that used an expression way of SWRL, and established Inference-based Web Ontology according to proposed ways. Verified performance of Ontology established through Ontology inference experiment. Also, established an Web Ontology-based Intelligence Image Retrieval System, to experiment systems for performance evaluation of established Web Ontology, and present an example of implementation of a Semantic Web application and utilization. Demonstrated excellence of a Semantic Web application to be based on Ontology through inference experiment of an experiment system.

키워드: 온톨로지, 시맨틱 웹, 기술논리, 규칙언어
ontology, semantic web, description logic, rule

* 한밭대학교 컴퓨터공학과 연구원(kimsk@hanbat.ac.kr) (제1저자)

** 한밭대학교 컴퓨터공학과 교수(khahn@hanbat.ac.kr) (공동저자)

■ 논문접수일자: 2008년 2월 16일 ■ 게재확정일자: 2008년 3월 13일
■ 情報管理學會誌, 25(1): 149-171, 2008. [DOI:10.3743/KOSIM.2008.25.1.149]

1. 서론

웹은 공개성과 편의성 그리고 확장성 등으로 인해 현재 폭발적인 성장을 이루었다. 또한 웹은 정보 표현의 단순성을 이용하여 수동으로 다양한 정보를 생성하고 확장하거나 다른 정보와 결합되어 재사용되고 있다. 그러나 이러한 웹 사용의 증가는 인간과 컴퓨터와의 질의 상호작용에 따른 어려움, 검색 결과의 신뢰성, 많은 쓰레기 정보의 양산과 같은 문제점을 야기시켰다. 1999년 팀 버너스리는 현재의 웹을 신뢰의 웹(Trust Web)으로 진화시키기 위한 기술로 시맨틱 웹(Semantic Web)을 제안하였으며, W3C와 같은 기관들은 이를 위한 많은 기술들을 연구 발표하였다. 시맨틱 웹은 현재의 웹 기술을 바탕으로 기계가 웹 온톨로지내 표현된 도메인 지식들을 추론 엔진(Inference Engine)을 통해 지능화된 추론과 상호작용(Interaction)을 제공하는 웹(Michel Klein 2003)으로 정의될 수 있다. 그러나 시맨틱 웹이 제안된지 많은 시간이 지났음에도 불구하고 시맨틱 웹의 실제 응용사례나 보급은 미미한 상황이다. 이는 시맨틱 웹을 완성하기 위한 가장 중요한 기반기술인 추론 기반의 웹 온톨로지 구축이 다른 기술에 비해 부족한 상황이기 때문이다.

시맨틱 웹의 요건을 만족하는 규칙과 추론 기능의 제공을 위해서는 웹 온톨로지의 지식 표현과 추론 표현에 대한 명확한 이해가 필요하다. 온톨로지 표현은 사람이 가지고 있는 지식을 컴퓨터가 처리하고 나아가서 이해할 수 있는 형식으로 표현된 지식이다. 특히 W3C의 공식 웹 온톨로지 언어인 OWL(Web Ontology Language) DL은 SHIQ 기술논리(Description

Logic)에 근거하여 지식을 표현한다. 그러나 OWL의 형태로 표현된 온톨로지는 프로테제(Protege)나 TopBraidComposer와 같은 온톨로지 편집 툴을 이용하지 않으면 온톨로지에 표현된 지식의 구조와 내용을 생성하거나 이해하기 어려운 문제점이 있으며, 이같은 문제는 웹 온톨로지가 갖는 특징 중의 하나인 지식의 공유(sharing)와 재사용(reuse)를 어렵게 하는 요인이 된다.

따라서 본 연구는 기술논리의 표현 메커니즘(mechanism)인 지식 스키마를 담당하는 용어적 공리(terminology axiom)와 지식 명제를 담당하는 선언적 공리(assertional axiom)에 의한 표현 방법을 명시적으로 적용하고, 지식 표현과 추론에 있어 기술논리의 제약사항인 속성(property)간 지식 추론 기능의 제공을 위해 SWRL(Semantic Web Rule Markup Language)(Ian Horrocks et al. 2003)의 사용자 임의 규칙 표현 방법을 이용하여 웹 온톨로지의 지식 표현 단계별 웹 온톨로지 모델링 방법을 제안한다. 또한 제안된 모델링 방법의 검증을 위해 실험 온톨로지를 구축하고 구축된 온톨로지의 성능을 비교 분석하여 제안된 방법이 웹 온톨로지 모델링 방법으로 유용함을 증명하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 현재 제시된 온톨로지 모델링 연구들과 SWRL을 현재 상황을 기술하고 3장은 웹 온톨로지 지식 표현의 일반화 방법과 모델링 단계를 제시하고 제시된 단계에 따라 지식 표현과 추론을 위한 웹 온톨로지 모델링 방법을 제시한다. 4장은 제시된 웹 온톨로지 모델링 방법에 따라 실험 온톨로지를 구축하고 구축된 온톨로지의 성능 검증하고 다른 연구 결과와 비교 분석한다. 5장은

연구 결과의 분석과 앞으로의 연구 방향에 대해 제시한다.

2. 관련연구

2.1 기존 온톨로지 모델링 방법

온톨로지 모델링에 대한 연구는 소프트웨어 공학이나 인공지능 분야 또는 데이터베이스를 중심으로 많은 연구가 진행되었다. 특히 소프트웨어 공학에서 제안되었던 각종 모델링 방법론들을 온톨로지 구축을 위한 모델링 방법으로 적용하는 연구가 많이 제안되었다.

먼저, Stephan Cranefield의 연구는 UML을 기반으로 온톨로지를 모델링하는 방법을 제안하였다. 그러나 웹 온톨로지에의 지식 표현을 위해 꼭 필요한 요소인 온톨로지의 속성 간 지식 추론에 대한 모델링 방법의 제시는 미약한 실정이다(Stephan Cranefield, Stefan Haustein, Martin Purvis 2001).

그리고 온톨로지 모델링과 시맨틱 웹과의 연결을 위해 MDA(Model Driven Architecture)를 기반으로 ODM(Ontology Definition Meta-model)을 제공하는 Dragan Djuric의 연구가 있다(Dragan Djuric, Dragan Gasevic, Vladan Devedzic 2005). 이는 온톨로지 모델링을 위해 4 단계를 제시하였고 각 단계에서 지식을 매핑하는 구조로 이뤄진다. 각 단계는 meta-metamodel 단계, metamodel 단계, model 단계와 가장 하위 단계로 instance 단계가 있다. 온톨로지의 지식 표현을 위해 meta-metamodel 단계와 model 단계에서 UML을 이용하여 지식을 표

현하고 이를 ODM을 통해 OWL의 지식과 매핑하는 구조이다. 그러나 Dragan 는 Stephan 과 마찬가지로 실제 지식 표현에 있어 UML을 중심으로 표현하기 때문에 속성간 지식 추론을 위한 제시가 부족하며, 지식 표현을 위해 ODM 과 같은 언어를 재적용해야 하는 번거로움이 있다.

Jorge Posada의 연구는 온톨로지 편집 틀인 프로테제를 이용하여 대규모 모델 가시화를 위한 산업 표준의 온톨로지 모델링을 위한 설계안을 제시하였으나 실제 온톨로지 구축을 위한 모델링 방법을 제시한 것이 아니라 온톨로지 적용에 따른 대규모 모델 가시화의 편리함을 제시하였다(Jorge Posada et al. 2005).

Juntao Cui는 웹 서비스의 시맨틱 합성에 대한 온톨로지 모델링 방법을 제시하였으나 온톨로지에 대한 모델링 방법을 제시하였다기 보다 웹 서비스를 제공하기 위해 필요한 전체적인 과정을 모델링 방법으로 제시하였다(Juntao et al. 2004).

국내 연구는 국외 연구에 비해 온톨로지 모델링에 대한 연구와 개발이 턱없이 부족한 상황이다. 이현자의 연구는 서술논리를 이용한 전자카타로그 온톨로지 모델링을 제시하였다. 그 연구는 기본적인 모델링 구성요소 집합을 확장 개체 관계(EER: Extended Entity Relationship)를 이용하여 개념적으로 나타내고 부가적 의미의 지식만 기술논리로 표현하는 방법을 제안하였으나, 온톨로지 모델링을 위한 형식적이고 명시적인 정형화된 과정 제시가 부족하여 지식 표현에 대한 이해와 공유의 어려움이 있다(이현자, 심준호 2005).

오현목의 연구는 국내 온톨로지와 시맨틱 웹

의 발전을 위해 다양한 온톨로지 모델링 방법에 대한 연구 필요성을 강조하였으나 온톨로지 모델링 방법의 제시는 이뤄지지 않았다(오현목 2005).

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.

$$\text{antecedent} \Rightarrow \text{consequent}$$

전제와 결과는 $a_1 \wedge \dots \wedge a_n$ 으로 쓰인 원소

들의 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 부모와 형제 속성들의 조합을 전제로 두고 삼촌 속성을 결과로 나타낼 수 있으며 다음과 같이 정의된다.

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

여기에서 ?x, ?y, ?z는 변수를 나타내고 변수명 앞에 있는 hasParent, hasBrother, hasUncle는 속성이다.

SWRL은 속성간의 추론에 대한 표현이 부족한 OWL의 제약사항을 극복한 언어로 볼 수 있다[5]. 아래 XML 구문은 RuleML XML 구문과 OWL 웹 온톨로지 언어 XML 표현 구문과 결합된 지식 표현이고 <표 1>은 각 추론 엔진에서 SWRL 기능 지원을 요약한 것이다.

<표 1> 추론엔진별 SWRL 기능 제공 분류

	Bossam	Hoolet	Pellet
SWRL/OWLX Parser	Yes	?	?
SWRL/RDF Parser	Yes	?	?
Math Built-Ins	Partial	?	No
String Built-Ins	Partial	?	No
Comparison Built-Ins	?	?	Yes
Boolean Built-Ins	?	?	No
Date, Time and Duration Built-Ins	?	?	No
URI Built-Ins	?	?	No
Lists Built-Ins	?	?	No
Licencing	Free/closed-source	Free/open-source	Free/open-source

```

<ruleml:imp>
  <ruleml:__rlab ruleml:href="#example1"/>
  <ruleml:__body>
    <swrlx:individualPropertyAtom
      swrlx:property="hasParent">
      <ruleml:var>x1</ruleml:var>
      <ruleml:var>x2</ruleml:var>
    </swrlx:individualPropertyAtom>
    <swrlx:individualPropertyAtom
      swrlx:property="hasBrother">
      <ruleml:var>x2</ruleml:var>
      <ruleml:var>x3</ruleml:var>
    </swrlx:individualPropertyAtom>
  </ruleml:__body>
  <ruleml:__head>
    <swrlx:individualPropertyAtom
      swrlx:property="hasUncle">
      <ruleml:var>x1</ruleml:var>
      <ruleml:var>x3</ruleml:var>
    </swrlx:individualPropertyAtom>
  </ruleml:__head>
</ruleml:imp>
  
```

<그림 1> SWRL의 XML 구문표현

분석한 결과 용어정의 → 동의어와 관련된
추출 → 개념 정의 → 개념 계층화 → 관계 정의
→ 규칙 정의의 과정을 갖는다. 각 과정에 대한
이해를 위해 <그림 2>는 의류에 대해 백과사
전에 정의된 내용이다. 이 내용을 기준으로
“옷-의류”에 대한 지식 표현과정의 설명은 다
음과 같다.

의류: 인간이 몸에 입는것. 피복(被服)·의류·의장(衣
裝)·복장이라고도 한다. 이 중에서 '의복'·'피복'이 가장
흔히 쓰이는 용어이다. 이들 2가지 표현의 구별이 자주
논의되는데, '의복'은 신체의 구간부(軀幹部)에 착용하
는 것을 가리키고 '피복'은 좀 더 넓은 범위의 모자·장
갑·신 등 섬유로 베를 짜기에 이르렀다. 의복의 재료
로 섬유를 이용하게 된 때부터 긴 세월이 흘렀다. 5000년
전의 이집트의 미라가 ...

<그림 2> 사전에 기술된 의류정보

3. 웹 온톨로지 지식과 추론 표현

3.1 지식 표현의 일반화

본 연구는 기존에 제시된 웹 온톨로지 모델링 방법과 실제 구축된 OWL이나 RDF 기반의 웹 온톨로지들의 제약요소인 온톨로지에 표현될 지식의 개념적 모델을 묵시적으로 표현함으로써 인해 발생하는 시맨틱 웹의 응용 코드와 지식 표현의 차이점을 극복하기 위해 개념과 추론에 대한 표현이 형식적이고 명시적인 기술논리와 규칙언어를 이용하여 웹상에 존재하는 단어나 용어들로부터 추론 규칙에 이르는 지식 표현 과정을 연구 분석하였다.

① 용어 정의: 온톨로지가 구축될 지식 도메인 영역에 있는 명사와 같은 용어들을 나열한다. <그림 2>에 존재하는 명사들을 <그림 3>과 같이 추출한다. 추출된 명사들은 다시 구축될 지식에 직·간접적으로 관계가 있는 높은 순으로 나열한다.

피복·의류·의장·복장·의복·마포·방직기계·직물기계·나일론털가죽·.....합성섬유·공업화·염색·가공·모자·장갑·신·상의·하의·저고리·건피.....



피복·의류·의장·복장·의복·털가죽·식물의잎·섬유·양털·재료·합성섬유·나일론·가죽·피혁·건피·모피...

<그림 3> 내용에 따른 용어 정의

② 동의어와 관련어 추출: <그림 4>에 나열된 용어들에 대한 동의어와 관련어를 정의한다. 필요한 경우 다른 지식 영역의 내용을 재 참조한다.

의류 = {피복·의복·의장·복장}
 가죽 = {털가죽, 피혁, 건피, 모피}
 의복재료, 섬유, 합성섬유, 천연섬유

<그림 4> 대표 용어와 동의어

③ 개념 정의: <그림 5>에 나열된 동의어와 각 용어들에 따라 대표 개념을 정의한다.

의류: = <상의, 하의, {피복·의복·의장·복장}·
 가죽 = {털가죽, 피혁, 건피, 모피}

<그림 5> 대표 개념 정의

④ 개념 계층화: 정의된 개념들의 상하 관계를 정리한다. 예를 들어 가죽의 상위 개념은 의복재료이고 가죽의 하위 개념으로 피혁과 모피 등으로 상하 관계를 정리한다.

⑤ 관계 정의: 각 개념들 간의 특정 관계에 대해 정의한다. 위 조사에서 의복과 섬유의 관계는 "madeMaterial"와 같이 정의할 수 있다.

⑥ 규칙 정의: 구축할 도메인에서 획득하고자 하는 지식들의 규칙을 정의한다. 예를 들어 "모피를 의복재료로 만들어진 상의를 무엇이라 하는가?"와 같은 질의에 대한 규칙이 정의 된다.

지금까지 온톨로지에 표현될 지식과 추론에 대한 일반적인 과정을 기술하였다. 다음절은 본 절의 과정을 기술논리와 SWRL을 이용하여 모델링 하는 과정을 좀 더 구체적으로 제안

한다.

3.2 웹 온톨로지 모델링 방법 제안

본 절은 3.1절에서 일반적으로 제시된 도메인 영역 내 지식에 대한 표현 과정을 시맨틱 웹에서 웹 온톨로지의 추론 제공을 위한 기술적 특징을 만족하기 위해 기술논리와 SWRL의 명시적인 표현 방법을 바탕으로 각 단계별도 형식적 표현과 문서화의 방법을 제안한다.

3.2.1 용어 정의 단계

용어 정의 단계는 온톨로지 구축 목적에 의해 분류된 도메인이 갖고 있는 자료나 정보들을 조사 분석하여 <표 2>와 같은 형식화된 문서를 작성한다. <표 2>는 구축될 지식 영역에 나타난 명사 등을 단어명(용어), 동의어, 약어, 설명과 일차적으로 단어명을 클래스나 속성으로 구분하여 표에 기술한다. <표 2> 하단의 용어 표현 란에는 용어의 구성자를 기술 논리에 근거하여 정의한다.

<표 2>에서 조사된 용어들은 아래와 같은 표현식을 통해 정의된다.

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

위 정의에서 domain:term(x)은 지식이 표현된 도메인명을 의미하며 <표 2>의 용어 표현은 sheep 도메인에 대한 구성자들의 정의이다. 구성용어조사표가 완료되면 구성용어조사서에서 클래스 유형으로 분류된 용어들을 재조사하여 도메인 개념사전을 작성한다. <표 3>은 <표 2>에서 정의한 유형들 중 클래스를 더욱 형식

〈표 2〉 도메인 구성 용어 조사표

도메인온톨로지명		양 온톨로지		
용어명	동의어	약어	설 명	유형
sheep			양(가축의 양)	class
lamp	slink...		어린양	class
wool	fur		양모	class
mutton			양고기	class
habitat	location, home, haunt		양의 서식지	property
....
용어 표현		$sheep:term(x) = \{sheep, lamb, \dots\}$		

적으로 구체화한 문서로 도메인 개념사전이다. 이 문서의 작성을 위해 먼저 개념으로 추출된 용어를 구성하는 속성이나 명사들을 일차적으로 기술한다. 다음, 개념에 소속될 수 있는 인스턴스들을 조사하여 개념 인스턴스로 추가한다. 〈표 3〉에 표기한 내용들을 기본으로 기술논리 구문을 표현한다. 기술논리 구문은 속성구문과 인스턴스 구문으로 구분되며 다음과 같은 지식 표현식을 통해 정의될 수 있다.

데이터속성:	속성명.개념명(값1, 값2...) $P(A_1, V_2, \dots, V_n)$
오브젝트속성:	속성명(개념명, 개념명) $R(C_1, C_2)$
인스턴스:	개념명(값1, 값2...) $A(V_1, V_2, \dots, V_n)$

위에 정의된 표현식에 따라 〈표 3〉의 예처럼 속성과 인스턴스에 대한 형식적인 표현 구문이 작성된다. 〈표 2〉와 〈표 3〉의 작성 결과는 다른 도메인 온톨로지에서도 사용될 수 있다. 조사된 용어나 개념이 다른 도메인 온톨로지의 용

어와 같은 의미를 갖게 된다면 동의어 관계를 이용해 개념을 줄일 수 있고 만약 다른 의미를 갖게 된다면 이는 동음이의어의 관계를 의미할 수 있다.

3.2.2 동의어와 관련어 추출 단계

〈표 2〉와 〈표 3〉의 조사 결과를 바탕으로 정의된 용어들 중에서 같은 의미를 가진 용어들이나 관련된 용어들을 다음과 같은 기술 구문 표현식에 의해 정의한다. 먼저 동의어에 대한 구문 표현은 다음과 같다.

$$domain:synonyms(x_1) = \{x_{1_1}, x_{1_2}, x_{1_3}, \dots, x_{1_n}\}$$

위 표현 $domain:synonyms(x)$ 에서 $domain$ 은 용어가 표현된 지식영역 온톨로지이며 x 는 같은 의미를 갖는 용어들 중에서 대표하는 용어이다.

관련어에 대한 구문 표현은 동의어 구문 표현과 유사하다. 관련어에 대한 정의는 온톨로지의 지식으로 표현되는 용어들의 의미를 더욱

〈표 3〉 도메인 개념 사전

도메인온톨로지명: 양온톨로지				
개념명	Sheep			
	항목	조사값	유형	크기
속성	location	America, Canada, ..	data	n
	color	gray, white, brown	data	1
	speciesName	Domestic Wild	Object	1
	genusName,...	Ovis	Object	1

인스턴스	merino	메리노 양	-	-
	dall sheep	돌산양	-	-
	mouflon sheep	무플런 양	-	-
	bighorn sheep	큰뿔양	-	-

기술논리 구문표현	속성	location.Sheep(America, canada...) genusName(Sheep, Ovis)		
	인스턴스	Sheep(domestic, wild)		

명확하게 표현하며 다른 지식 도메인과의 확장이나 이입을 위한 기초 지식으로 활용될 수 있다. 다음은 관련어에 대한 구문 표현이다.

$$domain : relation(x_i) = \{x_{i_1}, x_{i_2}, x_{i_3}, \dots, x_{i_n}\}$$

이러한 구문 표현 방법을 기반으로 이 단계는 용어 동의어/관련어 목록표를 〈표 4〉와 같이 작성한다. 용어와 관련된 동의어들은 기술논리의 선언적 공리 형식으로 표현된다. sheep은 {ram, wether, ewe..}등과 관련되어 있으며 이를 기술 구문을 통해 표현하면 다음과 같다.

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

3.2.3 개념 정의 단계

개념 정의 단계에서는 먼저, 3.2.1절과 3.2.2절에서 작성된 문서와 기술논리 표현 구문을 바탕으로 온톨로지로부터 획득하고자 하는 질의들을 기술하여 이를 목록화한다. 이 작업은 온톨로지가 제공하는 지식들의 범위와 결과를 명확하게 정의하여 온톨로지의 성능과 타당성을 높일 수 있으며, 이같이 문서화된 질의 표현은 다른 온톨로지 구축 시 동일하거나 유사한 질의를 재사용할 수 있는 잇점을 제공한다.

온톨로지로부터 얻고자 하는 지식들에 대한 질의를 적격질의(Competition Query)라 칭하며, 온톨로지가 답할 수 없는 질의 또한 이 단계를 거쳐 걸러지게 되므로 적합한 적격질의의 작성은 온톨로지의 성능 검증에 있어 중요한 요인이다. 적격질의 목록의 정의와 표현 방법

〈표 4〉 용어 동의어/관련어 목록표

도메인온톨로지명: 양온톨로지			
용어	sheep		
의미	양, 면양, 양가죽, 순종적인 사람		
동의어/관련어	의미	적용 의미	비고
ram	거세하지 않은 수컷	수컷 양	
wether	거세한 수컷	수컷 양	
ewe	암컷	암 양	
lamb	새끼	어린 양	하위개념
....
기술논리구문	sheep:relation(sheep) = {ram, wether, ewe...}		
용어	lamb		
의미	새끼 양, 양고기, 순진한 사람, 신자		
동의어/관련어	의미	적용 의미	비고
sick	태어난지 1-2주 새끼	어린 양	
sucker	태어난지 1달 미만	어린 양
....
기술논리구문	sheep:synonyms(lamb) = {sick, sucker ...}		
용어		

은 〈표 5〉와 같다. 〈표 5〉에서 질의 적합도는 '상', '중', '하'로 구분하였다. 해당 온톨로지에서 제공 가능한 경우 '상', 2-3개 정도의 온톨로지로부터 제공 가능한 경우는 '중', 많은 지식 온톨로지가 필요한 경우는 '하'로 일단 구분된다. 그러나 '하'로 평가된 질의는 추후 다른 온톨로지의 결합이나 이입으로 제공될 수 있으므로 온톨로지 지식 제공의 단계화를 위해 남겨 두며, 적격질의 목록표의 질의는 온톨로지 구축 정도에 따라 달라진다.

적격질의 목록표 작성 후 질의에 대한 답을 제공하기 위해 개념과 속성 들을 기술 논리의 용어적 공리와 선언적 공리 표현 방법에 따라 정의한다. 이는 〈표 6〉의 용어적/선언적 개념 정의표에 정리된다. 각 개념에 대한 기술 논리 표현은 〈표 3〉과 〈표 4〉에서 조사되고 표

현된 방법을 이용하여 기술 논리의 구성자에서 개념 기호인 C는 $C = \{x/C(x)\}$ 의 의미에 의해 다음과 같이 확장되며, 여기에서 x는 원자 개념 (atomic concept)이다.

$$C(x) \rightarrow x \top C \cup D \ C \cap D \ \forall R.C \ \exists R.C \ (\geq nR) \ (\leq nR)$$

sheep에서 면양을 나타내는 개념 domestic sheep은 조사된 정보와 정의된 표현에 의해 다음과 같이 정의된다.

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

〈표 5〉 적격질의 목록표

도메인온톨로지명: 양온톨로지				
번호	질의내용	예상 답	관련 도메인	질의 적합도
1	양(sheep)과 관련된 개념으로 암양의 호칭은?	ewe		상
2	양으로부터 얻을 수 있는 섬유는 어떤 것들이 있나?	fur, wool, alpaca, ..	의류, 양	중
3	bighorn의 학명은 무엇인가?	Ovis candensis	동물분류, 양	중
4	lamb과 같은 양육 정도를 나타내는 단어는?	slink, suck	양	상
5	양고기로 요리 음식과 적당한 와인은?	mutton ...	양, 음식, 와인, 용어	하
..

〈표 6〉 용어적/선언적 개념 정의표

도메인온톨로지명: 양온톨로지	
개념명	Domestic sheep
구성자 표현	$C(\text{Domestic sheep}) \rightarrow \text{Domestic sheep} \mid$ $\top \text{Domestic sheep} \mid \text{Domestic sheep} \mid$ $\text{Domestic sheep} \sqcap \text{Wild sheep} \mid$ $\text{Domestic sheep} \sqcup \text{Wild sheep} \mid$ $\forall \text{hasLocation.Domestic sheep} \mid$ $\exists \text{hasGenusName.Domestic sheep} \mid$ $(\geq 3 \text{hasHabitat})$
용어적 공리	$\text{Domestic sheep} \equiv \text{Sheep} \sqcap \neg \text{Wild Sheep} \sqcap$ $\text{hasLocation.Farm} \sqcap \geq 3 \text{hasHabitat}$
선언적 공리	$\text{Domestic sheep}(\text{Merino})$
개념명	Wild sheep
구성자 표현	$C(\text{Wild sheep}) \rightarrow \text{Wild sheep} \mid \top \text{Wild sheep} \mid$ $\text{Wild sheep} \sqcap \text{Domestic sheep} \mid$
용어적 공리	$\text{Wild sheep} \equiv \text{Sheep} \sqcap \neg \text{Domestic Sheep} \sqcap$ $\text{hasLocation.Wildness} \sqcap \geq 3 \text{hasHabitat}$
선언적 공리	$\text{Wild sheep}(\text{Bighorn})$
.....

기술논리 구성자를 이용하여 개념에 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.

$$\text{Domestic sheep} \equiv \text{Sheep} \sqcup \neg \text{Wild.Sheep} \sqcup \text{hasLocation.Farm} \sqcup \geq 3 \text{hasHabitat}$$

위 용어적 공리 표현은 "Domestic sheep(면양)은 Sheep이며, 야생양이 아니고 hasLocation

은 Farm(농장)이며 서식지는 3군데 이상이다”로 설명된다.

3.2.4 개념 계층화 단계

개념 계층화는 앞 절에서 정의된 개념들 중 추상화나 상세화를 통해 상·하위 관계를 정리한다. 예를 들어 면양과 야생양의 상위 개념은 양(Sheep)로 추상화될 수 있으며 면양은 다시 각 양의 종으로 세분화 될 수 있다. 이 과정에 따라 대략적인 상·하위 개념 그래프를 작성한다. <그림 6>은 동물계에 대한 일반적인 개념을 표현한 계층 그래프이다.

이같이 작성된 개념그래프를 기반으로 개념들 간의 계층을 용어적 공리의 포함(Subsumption)을 의미하는 “ \subseteq ” 기호로 표현한다. 이를 이용해 개념 C와 개념 D의 하위 관계를 나타내는 용어적 공리 표현은 다음과 같으며 개념C는 개념 D의 하위 개념이다.

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

위 계층 표현에 대한 선언적 공리 표현은

subClassOf를 이용하며 아래와 같이 표현한다.

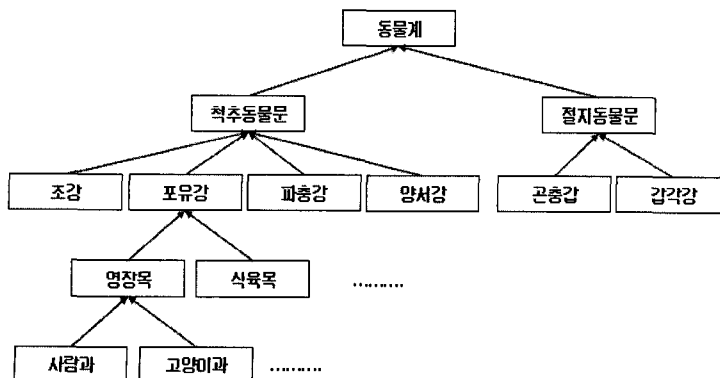
$$R(C, D) \equiv \text{subClassOf}(C, D)$$

<그림 6>의 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 분류 학명을 이용하였다.

용어적 공리:
 $Order(Artiodactyla) \subseteq Class(Mammalia)$
 선언적 공리:
 $\text{subClassOf}(Order, Class)$

이때 subClassOf(Order, Class) 표현은 용어적 선언 관계에 의해 인스턴스 간의 포함 관계로 추론할 수 있다.

$\text{subClassOf}(Order, Class) \dots \textcircled{1}$
 $Order(Artiodactyla) \subseteq Class(Mammalia) \dots \textcircled{2}$



<그림 6> 개념 그래프

①과 ②를 기술논리의 구성자로 정의하면 ③과 같은 정의로 유도된다.

$$\begin{aligned} & subClassOf(Order, Class) \sqcap Order(Artiodactyla) \\ & \sqsubseteq Class(Mammalia) \\ \Rightarrow & subFamily(Artiodactyla, Mammalia) \dots \textcircled{3} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} & subClassOf(?x, ?y) \sqcap C(?x) \sqsubseteq D(?y) \\ \Rightarrow & subRole(?x, ?y) \dots \textcircled{4} \end{aligned}$$

3.2.5 관계 정의 단계

온톨로지에서 관계 표현은 서로 다른 개념간의 연관성을 정의하는 것이다. 온톨로지가 지식에 대한 추론 기능을 제대로 제공하기 위해서는 개념이나 속성간의 관계 정의는 매우 중요하다. 기술 논리에서 관계 정의는 선언적 공리 표현 형식의 역할(Role)을 선언하는 것으로 속성을 정의하는 것과 유사하다. 이 단계는 <표 2>와 <표 3>의 분석에 따라 관계에 대한 정의를 표현한다. 일반적인 역할의 선언은 다음과 같다. 이때 $R(a,b)$ 에서 R 은 속성명, a 와 b 는 개념명이며 a 는 domain 개념이고, b 는 range 개념이다.

$$\begin{aligned} R(a, b) & \rightarrow hasLocation(Domestic_sheep, xsl:String) \\ R(a, b) & \rightarrow hasGenusName(Domestic_sheep, Ovis) \end{aligned}$$

위에 표현된 역할 $hasGenusName$ 은 면양과

Ovis의 연관성이 Genus Name의 관계에 놓여 있음을 표현한 것으로 만약 개념 Domestic Sheep과 Ovis가 속한 온톨로지가 서로 다르더라도 다음과 같은 표현으로 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} R(\text{온톨로지명}, a, \text{온톨로지명}, b) & \rightarrow \\ & hasGenusName(Sheep.Domestic_sheep, \\ & Zoological.Ovis) \end{aligned}$$

이같은 표현은 서로 다른 지식 영역의 지식도 관계의 정의를 통하면 서로 추출할 수 있다는 의미이다. 위 표현에서 $hasLocation$ 역할은 지식 영역 중 range가 개념이 아닌 domain 개념이 취할 수 있는 데이터 유형이다. 이러한 개념을 웹 온톨로지 언어인 OWL은 데이터 속성(data property)으로 정하고 $hasGenusName$ 과 같은 관계 정의는 오브젝트 속성(object property)으로 정하였다.

온톨로지에 정의될 관계들은 <표 7>로 요약된다. <표 7>의 관계 중 $hasColor$ 의 range는 만약 색상에 대한 온톨로지가 정의되었을 경우, 색상 표기의 표준화를 위해 색상 온톨로지로 변경될 수도 있다.

3.2.6 규칙 정의 단계

기술 논리를 통해 표현되는 추론은 개념과 개념들 간의 관계에 대한 지식 추론은 지원하나 속성과 속성들 간의 관계에 대한 지식 추론에 대한 표현은 지원하지 못한다. 이는 온톨로지의 지식 기술에 있어 중요한 요소인 속성들의 지식에 대한 추론 능력의 부족은 온톨로지가 제공하는 잇점을 완전히 이용할 수 없다. 이를 보완하는 방법은 규칙 언어 중 하나인 SWRL을 이용

〈표 7〉 온톨로지 관계 정의표

온톨로지명: Sheep			
관계명	관련 개념		기술논리표현
	domain	range	
hasGenusName	Sheep	Zoological	hasGenusName(Domestic_Sheep, Zoological.Ovis)
hasHabitat	Sheep	Map	hasHabitat(Wild_Sheep, Map.Country)
hasColor	Sheep	xsd:String	hasColor(xsd:String)
.....

〈표 8〉 온톨로지 규칙 정의표

온톨로지명: Terminology	
규칙명	sameLifeStage
설명	동물의 성장 단계를 표현하는 용어들 중 동일한 성장 단계에 해당하는 인스턴스를 추론하라.
SWRL 표현식	$\text{sameLifeStage}(?x, ?y) \wedge \text{sameLifeStage}(?y, ?z) \\ \wedge \text{differentFrom}(?x, ?z) \Rightarrow \\ \text{sameLifeStage}(?x, ?z)$
연관 온톨로지	Terminology, Sheep
관련 개념	domestic sheep, Actor, LifeStage
관련 속성	sameLifeStage, differentFrom, subClassOf...
규칙명

하여 속성 간의 지식 추론 방법을 표현하는 것이다.

속성간의 지식 추론 표현은 혼(Horn) 논리의 구조에 의한 SWRL의 표현 구조에 따라 표현된다. 이를 위해서 〈표 3〉의 적격 질의 목록과 〈표 4〉의 개념 속성표에서 기술된 확장 개념 등을 적용하여 〈표 8〉의 규칙 정의표를 작성한다.

〈표 8〉에 표현된 규칙들을 SWRL 표현을 기반으로 한 정의는 다음과 같다. $hasProperty_1()$ 과 $hasProperty_2()$, $hasProperty_n()$ 는 앞의 역할(속성) 정의로 기술된 표현들로서, 추론에 있어 전제 조건에 해당하고 $hasFinal$ 은 추론의 결과로 새롭게 생성되는 관계(속성)이며 결론

의 역할을 제공한다. 변수 $?x, ?y, ?z$ 는 개념, 인스턴스 관계 정의에 표현된 개념이나 인스턴스로 대체된다.

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

이같이 일반화된 표현은 다시 특정 도메인에서 요구하는 규칙에 적합하게 변경된다. 〈표 4〉에 선언된 공리 $sameLifeStage$ 는 규칙에 의해 추론될 결과 속성이다.

$$\begin{aligned}
 & sameLifeStage(?x, ?y) \wedge sameLifeStage(?y, ?z) \\
 & \wedge differentFrom(?x, y) \\
 & \Rightarrow sameLifeStage(?x, ?z)
 \end{aligned}$$

위 규칙의 의미는 “인스턴스 x 와 인스턴스 y 가 $sameLifeStage$ 관계이고 인스턴스 y 와 인스턴스 z 가 $sameLifeStage$ 관계이며, 인스턴스 x 와 인스턴스 y 가 다른 인스턴스라면, 인스턴스 x 와 인스턴스 z 는 $sameLifeStage$ 의 관계”이다. 이러한 지식표현 방법은 3.2.5절에 정의된 오브젝트 속성에 대한 관계를 통해 구체적인 지식 추론을 제공할 수 있다.

지금까지 시맨틱 웹의 기반 기술인 웹 온톨로지의 기술적 특징을 만족할 수 있는 웹 온톨로지 모델링을 위해 모델링 단계에 작성될 기술 논리와 SWRL 기반의 명시적이고 형식적인 문서의 작성 방법을 제시하였다. 각 단계에서 작성될 문서와 특징은 <표 9>에 요약 정리하

였다. 이러한 문서의 작성은 웹 온톨로지의 특징 중 지식의 분산과 공유 그리고 이해를 높일 수 있다. 4장은 제안된 모델링 방법에 따라 웹 온톨로지들을 구축하여 제안된 모델링 방법의 효용성을 증명한다.

4. 실험 및 분석

4.1 실험 온톨로지 구축

본 연구에서 제안된 모델링 방법의 검증을 위해 제안된 모델링 방법에 따라 2006년도에 발표된 온톨로지 편집 툴인 TopBraidComposer 온톨로지 편집 툴을 사용하여 실험 온톨로지를 구축하였다.

실험 온톨로지는 지식의 추론과 공유에 대한 검증을 위해 각각 다른 지식 영역을 표현하고

<표 9> 단계별 작성 문서

단 계	작성 문서	설 명	비 고
용어 정의 단계	- 도메인 구성 용어 조사표	- 구축될 지식 영역에 나타난 명사 등을 기술	
	- 개념 사전표	- 지식 영역에 나타난 클래스들의 정보를 더욱 구체적이고 형식적으로 기술	
동의어/관련어 추론 관계	- 용어 동의어/관련어 목록표	- 정의된 용어들 중에서 같은 의미를 가진 용어들이나 관련된 용어들에 대한 정보 표현	
개념 정의 단계	- 적격 질의 목록표	- 온톨로지로부터 획득하고자 하는 질의에 대한 명세를 기술	
	- 용어적/선언적 개념 정의표	- 질의에 대한 답을 제공하기 위해 개념과 속성들에 대한 기술 논리에 기반한 표현	
개념 계층화 단계	- 개념 그래프	- 개념들의 추상화와 구체화 정보를 통해 개념간 상.하위 그래프 작성	
관계 정의 단계	- 온톨로지 관계 정의표	- 개념과 개념들 간의 관계(역할)에 구체적 정의와 기술 논리 표현	
규칙 정의 단계	- 규칙 정의표	- Horn 논리 구조에 따라 SWRL 표현 방법에 따라 속성들 간의 관계 정보 기술	

온톨로지간 지식의 연관이 중요한 주제로 선정하여 구축하였다. 3장의 모델링 과정에서 주제로 제시하였던 양(Sheep)을 중심으로 양과 관련된 다양한 용어와 양의 기본적인 지식을 제공하기 위한 동물분류학 정보 그리고 각 온톨로지간 지식 추론을 위한 지식 표현의 골격을 담당하는 온톨로지를 설계하여 구축하고자 한다. 이에 따른 전체 온톨로지 구조는 <그림 7>과 같으며, 그림 내 화살표는 각 온톨로지간 지식의 교환 관계를 표현한다.

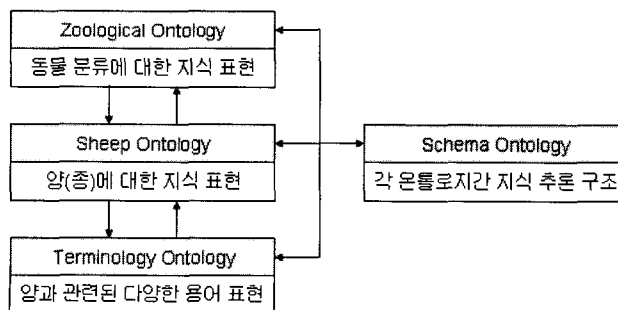
<그림 7>에서 Sheep Ontology는 Zoological Ontology의 지식 중 양(Sheep)의 학명(Zoological Name)에 대한 지식을 추론하며 Terminology Ontology는 Sheep Ontology에 표현된 양에 대한 다양한 용어(Terminology)와 동사(verb)와 목적어(Object) 등을 추가 표현하여 Sheep Ontology의 지식을 참조하거나 Sheep Ontology에 지식을 제공한다. Schema Ontology는 Terminology Ontology와 Sheep Ontology의 지식들을 [정의1]과 [정의2] 같은 서술논리의 용어적 공리와 선언적 공리 표현에 의해 지식을 추론하여 생성된다. [정의1], [정의2]는 Schema Ontology를 생성하기 위한 지식 표현의 일부이다.

<그림 8>은 [정의1]과 [정의3]을 기반으로 각 온톨로지간에 지식이 연결되어 추론되는 과정을 표현한 그림이다. Schema Ontology에 표현된 hasActor 속성에 의해 Schema Ontology의 ContentDescription 개념과 Terminology Ontology의 개념 Actor에 연결되고 Actor 개념의 인스턴스들 간에 sameGender 속성이 선언된 인스턴스들이 규칙에 의해 추론된다.

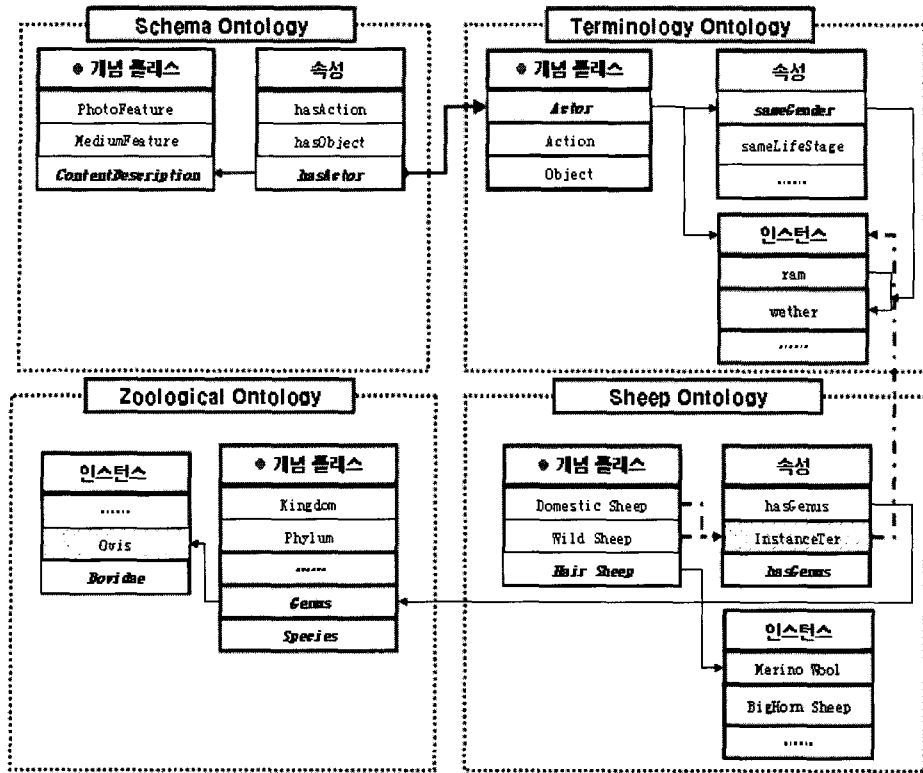
[정의1]
 $rdfs:domain \equiv \top \sqsubseteq \forall hasActor . ContentDescription$
 $rdfs:range \equiv \top \sqsubseteq \forall hasActor . Terminology:Actor$
 $hasActor(ContentDescription, Terminology:Actor)$

[정의2]
 $actorModifier \sqsubseteq hasActor$ 이므로
 $rdfs:domain \equiv$
 $\top \sqsubseteq \forall actorModifier . ContentDescription$
 $rdfs:range \equiv \top \sqsubseteq \forall actorModifier . xsd:string$
 $actorModifier(ContentDescription, xsd:string)$

[정의3]
 $rdfs:domain \equiv \top \sqsubseteq \forall sameGender . Gender$
 $rdfs:range \equiv \top \sqsubseteq \forall sameGender . Gender$
 $owl:maxCardinality \equiv 4 \leq sameGender . Gender$
 $sameGender(Terminology:Actor, Terminology:Gender)$



<그림 7> 온톨로지간 개념 그래프



〈그림 8〉 기술 논리와 규칙언어에 의한 전체 온톨로지간 지식 연결과 추론 과정

또한 Terminology Ontology의 Actor 인스턴스 들은 Sheep Ontology의 Domestic Sheep 과 Wild Sheep 개념들과 InstanceTerminology 속성으로 연결되어 양이 내포하고 있는 다양한 용어들을 추론하며 마지막으로 Sheep Ontology 의 hasGenus 속성은 Zoological Ontology의 Genus 개념에 해당하는 인스턴스를 추론할 수 있다.

〈그림 9〉는 제안된 모델링 방법에 의해 실제 구축된 온톨로지의 OWL 파일들 중 Terminology Ontology의 개념들 중 hasSameMean과 hasMean을 표현한 지식들 일부를 제시하였다. 이 부분의 지식이 〈그림 10〉의 Schema Ontology 의 SWRL을 이용하여 표현한 지식과 추론을 통

해 새로운 지식파일인 〈그림 11〉을 생성한다.

〈그림 11〉은 각 온톨로지들에 정의된 지식 추론 규칙에 의해 새롭게 생성되는 Schema 온톨로지이다. 이같이 기술 논리와 SWRL을 이용하여 지식에 대한 완전한 정의와 추론 규칙의 정의가 이뤄지면 구축된 온톨로지들의 지식을 재사용할 수 있으며 이는 온톨로지가 구축되어 야할 목적을 만족시켜주는 요소 중 하나이다.

4.2 온톨로지 성능 평가

현재 온톨로지 성능 평가를 위한 방법은 완전히 제안되지 않은 상황이다. 이는 온톨로지의 구축이 인간이 갖고 있는 존재에 대한 개념


```

<?xml version = "1.0"?>
<rdf:RDF
.....
  xmlns = "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#"
  xml:base = "http://www.unknown.com/Terminology.owl"
  <owl:Ontology rdf:about = ""/>
  <owl:Ontology rdf:about = "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl">
    <owl:versionInfo rdf:datatype = "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
      Created by Km Su Kyoungr</owl:versionInfo>
  </owl:Ontology>
.....
  <Male rdf:about = "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#wether">
    <hasSameMean>
      <Male rdf:about = "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#cryptrochid">
        <hasSameMean rdf:resource =
          "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#wether"/>
        <hasMean rdf:datatype =
          "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string" >Male</hasMean>
      </Male>
    </hasSameMean>
  </Male>
  <LifeStage rdf:about = "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#teg"/>
  <Object rdf:about = "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#glass">
    <hasMean rdf:datatype = "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string" >풀</hasMean>
  </Object>
.....
  <Group rdf:about = "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#pack"/>
  <Object rdf:about = "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#farm">
    <hasMean rdf:datatype = "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string" >농장</hasMean>
  </Object>
</rdf:RDF>

```

<그림 9> 용어온톨로지의 지식 표현 일부(hasSameMean 속성 중심)

```

<?xml version = "1.0"?>
<rdf:RDF
  xmlns:Zoological = "http://www.owl-ontologies.com/Zoological.owl#"
  xmlns:swrlb = "http://www.w3.org/2003/11/swrlb#"
.....
  xmlns = "http://www.owl-ontologies.com/Schema.owl#"
  xmlns:Terminology = "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#"
  <owl:Ontology rdf:about = "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl">
    <owl:versionInfo rdf:datatype = "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
      Created by Km Su Kyoungr</owl:versionInfo>
  </owl:Ontology>
.....
  <swrl:Imp rdf:ID = "CQ_4">
    <rdfs:label rdf:datatype = "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">동일 hasActor 추론
  </rdfs:label>
  <swrl:body>
    <swrl:AtomList>
      <rdf:first>
        <swrl:ClassAtom>
          <swrl:classPredicate rdf:resource = "http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl# Actor"/>
          <swrl:argument1 rdf:resource = "#x"/>
.....
        <swrl:IndividualPropertyAtom>
          <swrl:propertyPredicate rdf:resource =

```

(계속)

```

"http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#hasSameMean"/>
  <swrl:argument1 rdf:resource="#x"/>
  <swrl:argument2
    <swrl:Variable rdf:ID="y"/>
  </swrl:argument2>
  </swrl:IndividualPropertyAtom>
</rdf:first>

.....

<swrl:head>
  <swrl:AtomList>
    <rdf:first>
      <swrl:ClassAtom>
        <swrl:classPredicate rdf:resource="http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#Actor"/>
        <swrl:argument1 rdf:resource="#y"/>
      </swrl:ClassAtom>
    .....
```

<그림 10> Schema Ontology 지식 표현 일부(Terminology Ontology와 SWRL 추론 규칙 중심)

```

<InferenceData rdf:ID="InferenceData_1">
  <hasObject rdf:resource="http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#glass"/>
  <hasActor rdf:resource="http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#lamb"/>
  <hasAction rdf:resource="http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#eat"/>
  <setting rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">at farm</setting>
  <exactlocation rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">korea</exactlocation>
  <rdfs:label rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">(name)</rdfs:label>
</InferenceData>

.....

<InferenceData rdf:ID="InferenceData_3">
  <hasObject rdf:resource="http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#farm"/>
  <hasActor rdf:resource="http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#flock"/>
  <hasAction rdf:resource="http://www.owl-ontologies.com/Terminology.owl#run"/>
  <rdfs:label rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">(name)</rdfs:label>
</InferenceData>

.....
```

<그림 11> 기술된 추론 규칙들에 의해 새롭게 생성된 InferenceData 온톨로지 파일 일부

을 보편적으로 인정할 수 있도록 일반화하는 과정이기 때문에 온톨로지 구축 목적이나 종류 그리고 환경에 따라 다양하게 나타날 수 있기 때문에 구축된 온톨로지의 평가 방법이나 성능 검증 방법을 완전히 제시하지 못하고 있다.

그러나 현재 W3C를 비롯한 많은 온톨로지 연구가 들이 온톨로지 성능 평가의 중요성을 강조하고 있다. 특히 온톨로지를 기반으로 하는 시맨틱 웹이나 기타 응용시스템에 있어 미리 구축된 온톨로지의 추론 성능이나 구축 지식에 대한 정

확성을 완전히 보장하지 못할 때, 최악의 경우 온톨로지의 분석·설계·구축을 다시 해야 하는 문제가 발생할 수 있다(Asunción et al. 2005).

따라서 현재 온톨로지 평가에 대한 다양한 방법을 연구 제안하고 있는 실정이나 워낙 온톨로지에 표현되는 지식의 영역이나 구축 방법 등이 다양한 이유로 인해 온톨로지 평가 방법 또한 표준화되어 있지 않은 실정이다. 본 연구는 웹 온톨로지 구축 모델링을 위해 기술 논리와 SWRL의 지식 표현 방법을 이용하였다. 이는 구축된

웹 온톨로지의 성능 평가를 기술 논리에서 제시하는 세 가지 검증 과정에 따라 추론 기능의 제공 유무로 평가할 수 있게 된다. 구축된 웹 온톨로지는 상위 개념과 하위 개념 간의 관계 결정을 위한 subsumption check와 특정 개체가 특정 개념의 사례로 추론되는지를 검사하는 instance check, 마지막으로 용어적 공리와 선언적 공리로 표현된 개념들이 지식 추론 결과에 모순이 있는지를 검사하는 consistency check 등을 검사한다(Mike Dean 2004).

위 같은 검증 방법에 따라 본 연구는 각 도메인 온톨로지 별로 추론을 실행하여 <표 3>에서 정의한 적격 질의에 적합한 결과들을 획득하였다. 다음은 SPARQL을 통해 구축된 온톨로지 들을 검증한 구문들의 일부로 다음 구문은 개념과 개념 간의 상·하위 포함 관계에 대한 질의 검증 구문으로 Zoological 온톨로지의 rdfs:subClassOf 속성을 이용하여 검증한 결과로 Order의 상위 개념이 Class이고 Class의 상위 개념이 Phylum이며, Phylum의 상위 개념이 Kingdom임을 추출하였다.

[질의1] Zoological 온톨로지내 모든 클래스들의 서브 클래스들을 검색하라.
 SELECT ?subject ?object
 WHERE {?subject rdfs:subClassOf ?object}

[결과]

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

[질의2] 인스턴스 Ovis_aries와 다른 개체 중(species) 들을 검색하라.
 SELECT ?subject ?object
 WHERE{?Ovis_aries owl:differentFrom ?object}

[결과]

[subject]	object
	Ovis_dalli
	Ovis_vignei
	Ovis_ammun
	Ovis_candensis
	Ovis_orientalis
	Ovis_nivicola
	Ovis_musimon
	Ovis_orientalis

[질의3] 인스턴스 Ovis와 같은 속(Genus)이지만 다른 인스턴스들을 검색하라.
 SELECT ?subject
 WHERE {?Ovis:hasSameGenus ?object.
 ?Ovis owl:differentFrom ?object}

[결과]

I	object
	Bos
	Panthera
	Felis
	Canis

[질의4] 인스턴스 Merino의 속(Genus) 명은?
 SELECT ?subject ?object
 WHERE {?Merino:hasGenus ?object}

[결과]

object
Zoological:Ovis

[질의2], [질의3], [질의4]는 인스턴스 검사의 일부 예로, Species의 인스턴스들 중 'sheep'의 종명인 Ovis aries와는 다른 종들의 이름을 출력하는 구문으로 이 검증 또한 온톨로지내 표현된 지식이 유효함을 보여준다.

특히 [질의4]는 hasGenus라는 관계규칙을 이용하여 Sheep 온톨로지의 개념인 면양(Domestic Sheep)의 인스턴스인 'Merino'에 관계된 속(屬)명을 Zoological 온톨로지에서 추출하여 'Ovis'라는 속명을 보여준다. 이는 본 연구에서 제시한 방법에 따라 구축된 온톨로지가 instance check에서도 정확한 추론 결과를 제

시함을 보여준다.

다음 질의 [질의5], [질의6], [질의7]은 일관성 검사인 consistency check에 해당하는 구문들이다.

[질의5] 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"}}
```

[subject]	object
Male	..

[결과]

[질의6] "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
lamb	slink

[결과]

[질의7] 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:ram
PhotoAnnotation_3	Terminology:lamb
PhotoAnnotation_3	Terminology:sleep
PhotoAnnotation_3	Terminology:tree

[결과]

일관성 검증은 온톨로지에 표현된 지식들이

기술 논리와 규칙으로 표현된 각 문장에 의해 지식으로 추출되어도 정확한 값이 나오는지를 확인하는 것으로 구축된 온톨로지의 지식표현의 정확성을 판단하는 중요 검증 항목이다.

[정의4]

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

[정의5]

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

마지막으로 본 논문의 <표 8> 온톨로지 규칙 정의표에서 제시한 SWRL 규칙 표현 방법에 따라 지식 추론의 정확성을 확인하기 위한 검증을 실행하였다. 정의된 규칙 언어 표현의 일부를 [정의4], [정의5]에 제시하였다

<그림 12>는 'sameLifeStage'와 'sameMean'의 규칙이 표현된 온톨로지 들을 TopBraidComposer의 추론 엔진을 통해 검증하였다. <그림 12>의 결과를 살펴보면 [정의5]의 규칙인 "hasSameMean"에 의해 Terminology 온톨로지의 인스턴스인 "cryptochid"와 "ram"만이 직접적으로 관련되어 있으나 규칙 추론에 의해 "wether"까지 같은 의미로 추출됨을 통해 본 논문의 모델링 방법이 규칙 표현에도 우수함을 보여주었다.

4.3 실험 결과 비교 분석

2.1절에서 살펴본 기존 온톨로지 모델링 방법들과 본 논문에서 제안한 방법들을 비교한 결과는 <표 10>과 같다. 본 제안 방법은 시맨틱 웹을 위한 도메인 온톨로지 구축을 위해 기술

[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:wether	Terminology:hasSameMean	Terminology:wether
Zoological:Bos	owl:differentFrom	Zoological:Ovis
Zoological:Canis	owl:differentFrom	Zoological:Ovis
Zoological:Felis	owl:differentFrom	Zoological:Ovis
Zoological:Ovis_ammom	owl:differentFrom	Zoological:Ovis_aries
Zoological:Ovis_candensis	owl:differentFrom	Zoological:Ovis_aries

<그림 12> SWRL 기반의 임의 추론

<표 10> 기존 온톨로지 모델링 방법과 제안 연구 비교 분석

구분	기존 온톨로지 모델링 방법					제안된 온톨로지 모델링 방법
	Stephan Cranefield	Dragan Djuric	Jorge Posada	Juntao Cui	이현자	
기본 방법	UML	MDA	Protege	웹서비스	서술논리	DL+SWRL
추론 범위	개체간 관계	개체	제시 없음	제시 없음	개체간 관계	개체+속성 추론
지식표현방법	RDF	UML	설계 기반	-	EER	DL, OWL
모델링 목적	UML을 이용한 자원 모델링	ODM과 OWL의 매핑	산업표준의 온톨로지 모델링	웹서비스를 위한 전 체적인 모델링 과정	데이터베이스의 개체 표현 방법인 EER을 재사용하는 방안 제시	시맨틱웹을 위해 기술 논리 패러다임을 이용한 온톨로지 구축 과정 정형화와 명시화
제약사항	속성간 지식 관계 표현 어려움	속성간의 지식 추론이 어려우며, ODM을 다시 OWL로 변환하는 과정 필요	시맨틱웹을 위한 실제 온톨로지 구축을 위한 모델링 적용이 아님.	실제 온톨로지 구축을 위한 모델링 과정 제시가 아님	개념의 부가적인 의미만을 서술논리를 이용해 기술 명시적이고 정형화된 과정 미제시	기술논리 표현 패러다임에 대한 이해 필요
온톨로지 검증	없음	없음	없음	없음	전자가달로그 일부 제시	기술논리의 온톨로지 검증 조건 만족

논리와 SWRL의 지식 표현 패러다임을 이용해 온톨로지를 구축하는 전 과정을 정형화된 문서와 표현법을 이용해 제공하는 특징이 있다. 이에 따라 본 연구의 잇점을 나열하면 다음과 같다.

- ① 시맨틱 웹의 특징을 만족하는 온톨로지의 구축 방법을 제공한다.
- ② 일반화된 지식표현과 추론 단계에 따라

웹 온톨로지 모델링 단계를 제시하였기 때문에 온톨로지 구축을 쉽게 할 수 있다.

- ③ 정형화된 문서를 제공함으로써 다른 온톨로지 공학자가 기구축된 온톨로지를 재사용하거나 수정하기 용이하다.
- ④ 기술논리와 SWRL 기반의 지식표현 패러다임 방법을 제공하여 온톨로지 지식의 명시적 표현 방법을 제공하여 지식의

이해를 도울 수 있다.

- ⑤ 온톨로지의 자동 또는 반자동 구축이나 온톨로지 학습(Ontology Learning)을 위한 기본 자료로 활용될 수 있다.
- ⑥ 온톨로지 모델링 방법을 적용하였을 때의 온톨로지 검증 방법과 성능을 제시하였다.

5. 결론

본 연구는 시맨틱웹을 위해 지식 표현과 추론 규칙을 중심으로 웹 온톨로지 모델링의 방법을 제안하였으며, 제안된 모델링 과정에 따라 실제 웹 온톨로지들을 구축하고 구축된 온톨로지들을 추론 엔진을 통해 검증 실험하였다. 실험된 결과 모델링 과정 내 기술된 적격질의 표와 공리규칙표의 예상 결과에 부합하는 추론 결과를 보여주어 제안된 웹 온톨로지 모델링

방법이 지식 표현과 추론규칙의 표현에 있어 우수함을 나타냈다. 또한 이는 웹 온톨로지가 시맨틱 웹 응용에서 추구하는 역할을 제대로 보여주는 결과이기도 하다.

그리고 본 연구는 서술논리와 SWRL의 표현 규칙을 기반으로 하였기 때문에 단지 OWL이나 RDF와 같은 웹 온톨로지 언어로만 지식 표현을 제시한 웹 온톨로지들에 비해 온톨로지 내 지식에 기계의 가독성을 높이고 지식의 공유를 용이하게 하는 방법으로 활용될 수 있으리라 사료된다.

앞으로의 연구 방향은 시맨틱 웹 응용과 웹 온톨로지의 연결을 통해 기존 웹 환경에서 시맨틱 웹의 향상된 서비스를 제공하고 특히 본 연구가 제안한 웹 온톨로지 모델링을 기반으로 온톨로지 학습(Ontology Learning)의 다양한 기법의 적용을 통해 더욱 자동화된 웹 온톨로지 모델링 방법의 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

노상규, 박진수. 2007. "인터넷 진화의 열쇠, 온톨로지." gods Toy business, 94-104.

박영택, 최중민. 2006. 온톨로지 추론 개요와 연구동향. 『한국정보과학회지』, 24(4): 17-23.

오현목. 2005. 『시맨틱 웹 발전 방향 및 표준화 개발전략 연구』. 한국전산원.

이현자, 심준호. 2005. Description Logic을 이용한 전자카타로그 온톨로지 모델링. 『한국정보과학회지』, 32(2).

한국전산원 2004. 『웹 환경에서의 지식교환/유통을 위한 지식표현 및 추론기술 연구』, 65-80.

Asunción, Gómez-Pérez, Evaluating Ontology Evaluation, IEEE INTELLIGENT SYSTEMS, 2-4, 2004. 7-8.

Dragan Djuric, Dragan Gasevic, Vladan Devedzic. 2005. "Ontology Modeling and MDA."

- Journal of Object Technology*, Vol.4, No.1, January-February.
- Eric Prud'hommeaux and Andy Seaborne. 2006. "SPARQL Query Language for RDF", Editors working draft. <http://www.w3.org/2001/sw/DataAccess/rq23/>.
- Ian Horrocks, Peter F. Patel-Schneider, Harold Boley, Said Tabet, Benjamin Grosf and Mike Dean. 2003. "SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML."
- Jorge Posada et al. 2005. "Ontology Modelling of Industry Standards for Large Model Visualization and Design Review using Protege." 8th Intl. Protege Conference, July.
- Juntao Cui, Jiamao Liu, Yujin Wu, Ning Gu. 2004. "An Ontology Modeling Method in Semantic Composition of Web Services." Proceedings of the IEEE International Conference on E-Commerce Technology for Dynamic E-Business.
- Michel Klein, Ubbo Visser. 2004. "Semantic Web Challenge 2003." IEEE Computer Society, IEEE INTELLIGENT SYSTEM, pp.31-33.
- Mike Dean. 2004. "Semantic Web Rules: Covering the Use Case." *Third International Workshop, RuleML, Proceedings*, 1-5.
- Stephan Cranefield, Stefan Haustein, Martin Purvis. 2001. "UML-Based Ontology Modeling for Agent." The Information Science Discussion Paper Series.