



## 추론 기술 연구 동향

이승우\* 정한민\*\* 김평\*\*\* 서동민\*\*\*\*

현재 웹은 사용자 참여를 중시하는 웹 2.0 인 소셜 웹에서 의미를 중시하는 시맨틱 웹으로 진화하고 있다. 시맨틱 웹에서 의미(semantics)는 사람과 함께 기계(컴퓨터)가 이해할 수 있음을 가리키는데, 이를 위해 고안된 것이 지식을 표현하는 수단인 온톨로지와 지식을 자동으로 처리하는 수단인 추론 기술이다. RDF와 RDFS, OWL, OWL2 등 온톨로지에 대한 정의가 진화해 가고 그 규모 또한 대용량화되면서 그에 맞게 추론 기술 또한 발전해 가고 있다. 본 고에서는 최근 개최된 시맨틱 웹 관련 국제 학술대회에서 발표된 추론 관련 연구 성과들을 분석하여 최근의 추론 기술이 어떤 방향으로 발전해 가고 있는지를 살펴봄으로써 향후 관련 연구의 방향을 제시하고자 한다. ☐

목	차
---	---

- I. 서 론
- II. 온톨로지 기반 추론
- III. 추론 기술 연구 동향
- IV. 결 론

### I. 서 론

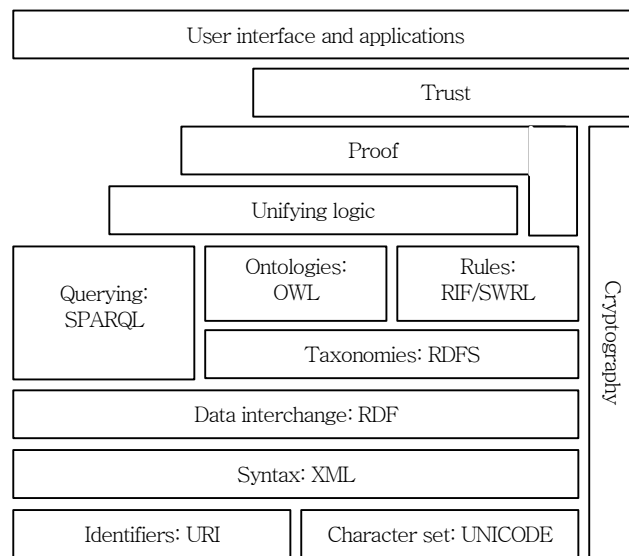
기존 웹은 HTML(Hyper Text Markup Language) 기반으로 문서와 문서를 단순히 연결하는 하이퍼링크로 구성되어 있다. 이러한 웹을 구성하는 각각의 문서들은 사람이 읽고 이해하기에는 충분하지만 컴퓨터가 스스로 이해하기에는 부적합하다. 또한, 하이퍼링크에 의한 연결이 어떤 의미를 갖는지에 대해 컴퓨터가 이해할 수 있는 수단을 제공하지 못한다. 다시 말해, 웹 상에 상호 연결되어 존재하는 문서들에 대한 자동화된 연계 처리에는 근본적인 한계를 갖는다. 이 같은 한계를 극복하기 위해서는 미리 정의된 구조와 의미에 따라 문서의 정보를 기술하고 이를 처리, 가공할 수 있어야 한다. 이러한 목적 하에 출현하게 된 것이 시맨틱 웹[1]이다.

기존의 웹을 ‘문서의 웹(Web of Documents)’이

\* KISTI 정보기술연구실/선임연구원  
 \*\* KISTI 정보기술연구실/책임연구원  
 \*\*\* KISTI 정보기술연구실/선임연구원, 교신저자  
 \*\*\*\* KISTI 정보기술연구실/선임연구원

라 부르는 반면, 시맨틱 웹은 ‘데이터의 웹(Web of Data)’이라 부른다. 이는 기존의 웹에서는 연결 대상이 문서인<sup>1)</sup> 반면, 시맨틱 웹에서는 연결 대상이 개별 데이터(자원, 객체)임을 가리킨다. 여기서 개별 데이터는 임의의 것(thing)이 될 수 있다. 사람이 될 수도 있고, 사물이 될 수도 있으며, 특정 사건이 될 수도 있다. 세계 웹 표준화 기구인 W3C 에서는 개별 데이터를 기술하기 위한 표준 언어로서 RDF(Resource Description Framework)를 채택하고 있다. RDF 는 주어와 술어, 목적어의 트리플(triple)로 구성된 그래프 구조를 갖기 때문에 객체와 객체 간의 관계를 기술하기에 용이하다. 뿐만 아니라, RDF 는 XML 표준과 결합되어 시맨틱 웹 상에서 데이터를 주고 받기 위한 표준으로서 시맨틱 웹 계층 구조 (그림 1)의 한 층을 담당한다.

(그림 1)에서 계층의 의미는 상위 계층이 하위 계층을 기반으로 한다는 것을 의미한다. 이 계층 구조의 하위 계층들을 보면, 시맨틱 웹이 기존의 웹을 대체하는 것이 아니라 기존의 웹을 확장하는 것임을 알 수 있다. 즉, 기존의 하이퍼텍스트 웹에서 정의된 URI 와 UNICODE, XML 은 수정 없이 그대로 시맨틱 웹의 기반이 된다. 시맨틱 웹에서는 이 기반 위에 RDF 와 RDFS, OWL 등의 언어를 사용하여 온톨로지(ontology)를 표현할 수 있게 한다. RDFS(RDF Schema) 는 개념(concept 혹은 class)과 관계(relation 혹은 property, role)를 계층적으로 표현할 수 있



<자료>: <http://obitko.com/tutorials/ontologies-semantic-web/semantic-web-architecture.html>

(그림 1) 시맨틱 웹 계층 구조

1) 하나의 문서는 무수히 많은 정보(데이터)를 포함할 수 있다

는 수단을 제공한다. OWL(Web Ontology Language)은 RDFS의 확장으로, 대응수(cardinality) 제약이나 속성의 값 제약, 이행성(transitivity)과 같은 관계의 특성 제약 등을 사용하여 개념과 관계를 보다 정교하게 기술할 수 있는 수단을 제공한다. 특히, OWL은 기술 논리(Description Logic: DL)[2]를 따르고 있는데, 이런 특성으로 인해 시맨틱 웹의 온톨로지는 추론(reasoning 혹은 inference)을 통해 온톨로지 지식을 확장할 수 있는 논리적 근거를 갖는다. RIF(Rule Interchange Format)와 SWRL(Semantic Web Rule Language)은 기술 논리로 직접 표현될 수 없는 관계를 규칙으로 기술하여 추론을 수행할 수 있도록 하기 위한 확장이다. 이상에서 알 수 있듯이, 시맨틱 웹에서 온톨로지 기반의 추론은 시맨틱 웹의 중추적인 역할을 담당한다고 말할 수 있다.

## II. 온톨로지 기반 추론

시맨틱 웹에서의 온톨로지는 RDF를 사용해서 구조적인 틀을 정의하고, 그 위에 RDFS와 OWL을 사용하여 의미(semantics)를 정의함으로써 표현된다. 여기서 의미는 개념(concept)과 개념 간의 관계(relation), 개념에 속하는 개체(individual)로 표현된다. 온톨로지 기반의 추론은 온톨로지에 명시적으로 표현된 사실로부터 암묵적으로 내재된 사실을 이끌어 내는 과정이다. 이러한 과정은 내재된 사실의 유형에 따라 다음과 같이 네 가지로 나뉘 볼 수 있다.

- 개념 사이의 포함관계(concept subsumption)에 대한 추론
- 관계 사이의 포함관계(relation subsumption)에 대한 추론
- 개체의 개념에 대한 소속(concept membership)에 대한 추론
- 개체와 개체 사이의 관계(relation membership)에 대한 추론

첫 번째와 두 번째는 온톨로지의 구조(schema)에 대한 추론이며,<sup>2)</sup> 세 번째와 네 번째는 온톨로지의 개체에 대한 추론이다.<sup>3)</sup> 이와 같은 추론을 컴퓨터 상에서 수행하는 방법은 크게 두 가지 유형이 있다. 하나는 기술 논리 기반의 Tableaux 알고리즘을 사용하는 추론 기법[2]이고, 다른 하나는 규칙 기반의 레이트 알고리즘을 사용하는 추론 기법[3],[4]이다. 전자는 온톨로지 기술 언어인 OWL이 기술 논리를 따르고 있다는 점에서 추론 결과에 대한 정확성(soundness)과 완전성(completeness)을 보장한다. 그러나, 온톨로지 상의 모든 개념과 관계, 개체들 쌍에 대한 충족성 검사(satisfiability check)를 통해서 추론이 이루어지기 때문에 수 천만~수 십억 RDF 트리플 규모의 대용량 온톨로지에 대한 추론에 있어서는 효율성 측면에서 단점을 갖고 있

2) 기술 논리(Description Logic)에서 사용하는 용어로는 T-box 추론이라 하며, T는 Terminology를 가리킨다

3) 기술 논리에서 사용하는 용어로는 A-box 추론이라 하며, A는 Assertion을 가리킨다

다. 반면에, 후자는 레이트 알고리즘 같은 효율적인 규칙 적용 기법으로 대용량의 온톨로지에 대한 추론을 처리하는데 있어서 유리하다. 본래의 레이트 알고리즘은 메모리 의존도가 높지만, [4]에서처럼 하이브리드 레이트 알고리즘을 적용하여 메모리 의존성을 줄일 수 있다. 그러나, 기술 논리와는 표현력의 범위가 다르기 때문에 OWL로 표현된 온톨로지에 대한 완전한 추론을 지원하지 못하는 단점이 있다. 다시 말해, 규칙 기반 추론 기법은 OWL-DL 수준의 온톨로지 추론 결과에 대한 정확성은 보장하지만 완전성은 보장하지 못한다.

여기서, 잠시 온톨로지 기반의 추론과 논리학에서 다루는 추론과의 연관성을 살펴 보자. 추론은 논리학에서 연역적 추론(deductive reasoning)과 귀납적 추론(inductive reasoning), 귀추적 추론(abductive reasoning) 등 크게 세 가지로 분류된다.

- P: 모든 사람은 죽는다.
- F: 소크라테스는 사람이다.
- C: 소크라테스는 죽는다.

위와 같은 전제(P: premise)와 <sup>4)</sup> 사실(F: fact), 결론(C: conclusion)을 예로 설명하자면, 연역적 추론은 전제(P)에 사실(F)을 적용하여 결론(C)을 유도(추론)하는 과정을 말한다. 즉,  $P + F \rightarrow C$ 이다. 다음으로, 귀추적 추론은 전제(P)에 결론(C)을 적용하여 사실(F)을 유도(추론)하는 과정이다. 즉,  $P + C \rightarrow F$ 이다. 이 두 가지 추론은 사실(F)과 결론(C)의 위치가 다른 점을 알 수 있다. 즉, 추론의 방향이 서로 반대인 셈이다. 이런 점에서 온톨로지 기반의 추론 관점에서 볼 때, 연역적 추론은 전방 추론(forward reasoning)에 해당되며, 귀추적 추론은 후방 추론(backward reasoning)에 해당된다고 볼 수 있다. 그러나 귀추적 추론 자체는 논리적으로 볼 때, 결론(C)를 유도할 수 있는 또 다른 전제와 사실이 가능하기 때문에 논리적 추론 오류를 범할 수 있지만, 후방 추론은 결론(C)의 진위 여부를 판별하기 위해 사실(F)이 참인지를 확인하는 백트래킹(backtracking)을 의미하는 점에서 차이가 있다. 마지막으로, 귀납적 추론은 여러 개의 사실(F)과 결론(C)으로부터 전제(P)를 유도(추론)하는 과정으로, 경험으로부터 얻게 되는 일종의 학습(learning)에 해당한다. 이러한 귀납적 추론은 온톨로지 기반의 추론에서는 군집화(clustering) 기법이나 분류(classification) 기법을 통해 온톨로지 개체의 개념에 대한 소속(concept membership)을 추론하는데 활용된다.

이상에서 설명한 바와 같이 온톨로지에 대한 전형적인 추론 기술은 기술 논리를 따르는 온톨로지의 표현력과 기술 논리 기반의 효율적인 추론 기법, 규칙 기반의 추론 기법, 전방 추론과 후

4) 전제는 규칙(rule)으로 볼 수 있다. 즉, '모든 사람은 죽는다'는 'X가 사람이면 X는 죽는다'와 같이 규칙으로 표현될 수 있다.

방 추론 등의 주제를 다룬다. 이러한 주제들의 목적은 최대한 많은 온톨로지 표현력을 지원하면서 최대한 효율적으로 추론을 수행하고자 하는 것이다.

### III. 추론 기술 연구 동향

시맨틱 웹의 초기인 2000년대 초반에서 중반까지 추론 기술 연구는 온톨로지에 대한 전형적인 추론 태스크(standard reasoning task)에 집중되었다. 기술 논리 수준의 온톨로지 표현력을 최대한 지원하면서 대규모 온톨로지에 대해서도 효율적으로 추론을 수행하는 기법을 개발하기 위해 많은 연구가 있어 왔다. 그러나 최근 들어서는 시맨틱 웹이 다양한 실제 환경에 적용되기 시작하면서 추론 기술에 대한 연구도 비전형적인 추론 태스크(non-standard reasoning task)로 점차 다변화되는 경향을 보이고 있다.

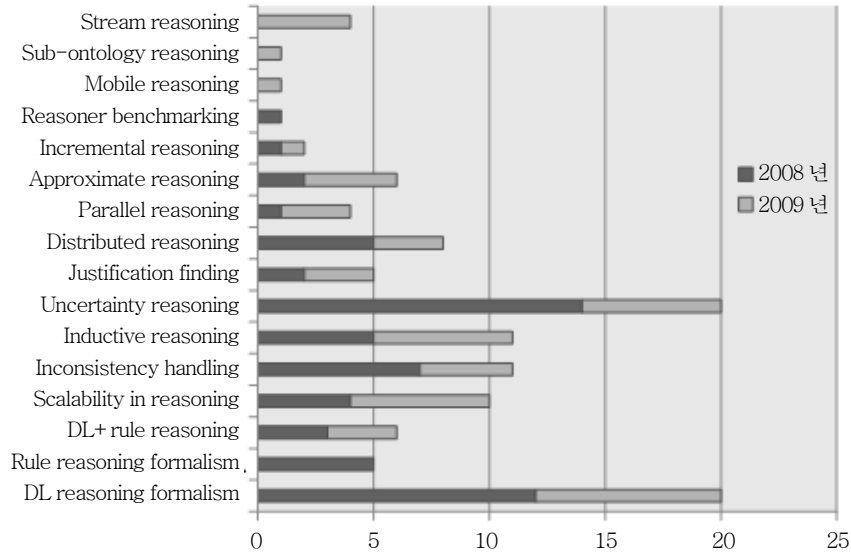
<표 1> 조사대상 논문의 규모

IWSC08	ESWC08	ISWC09	ESWC09	합계
32	13	20	12	77
(9+2+0+1+20)	(6+0+1+0+6)	(8+2+0+0+10)	(5+3+0+0+4)	(28+7+1+1+40)

주) 괄호 안의 숫자는 순서대로 주요학술대회 논문, 포스터, 데모, 박사학위 논문, 워크숍 논문들의 건수를 가리킨다.

이러한 추론 기술의 최근 연구 동향을 보다 구체적으로 파악하기 위해 시맨틱 웹을 다루는 대표적인 국제 학술 대회인 ISWC(International Semantic Web Conference)와 ESWC(European Semantic Web Conference)에서<sup>5)</sup> 최근 2년간(2008~2009년) 발표된 논문을 조사하였다. 조사 대상을 넓히기 위해 이 학술대회 주요 발표 논문 외에 포스터와 데모, 박사학위 발표 논문들도 포함시켰으며, ISWC 및 ESWC와 함께 개최된 워크숍 및 다른 학술대회 발표 논문들도 조사 대상에 포함시켰다. 조사 대상 논문들 중에서 추론 관련 기술을 주제로 다루고 있는 논문들을 선정하였으며, 그 규모는 <표 1>과 같다. <표 1>과 같이, 전반적으로 ESWC 보다 ISWC에서 추론 관련 주제를 다루는 논문이 더 많이 발표된 것으로 나타났다. 이러한 논문들이 구체적으로 어떠한 추론 관련 주제들을 다루고 있는지를 분석하기 위해 우선 각 논문의 초록과 도입부, 결론부를 읽고 추론 관련 주제를 각 논문 당 5개 이내로 선정하였다. 다음으로 유사한 주제들을 군집화하고 각 군집에 대표 주제를 할당하였다. 이 과정을 통해 (그림 2)와 같이 14개의 추론 관련 주제 군집을 얻었고, 각 주제의 연구 활성화 정도를 파악하기 위해 각 군집 별로 대상 논문의 출현 빈도를 조사하였다. (그림 2)는 이렇게 얻은 주제 빈도를 연도별로 구분하여 분석한 결

5) ESWC는 2010년 학술대회부터는 지역적 제약을 없애기 위해 Extended Semantic Web Conference로 명칭을 변경하였다.



(그림 2) 추론 기술 주제 빈도

과이다.

2008 년에는 전형적인 추론 태스크를 다루는 기술 논리 기반의 추론 방법론(DL reasoning formalism)과 규칙 기반의 추론 방법론(rule reasoning formalism)에 대한 주제가 규모성(scalability)과 함께 여전히 다수로 연구되었다. 한 가지 특이한 점은 추론의 효율성을 위해 기술 논리와 규칙을 결합하는 방법(DL+ rule reasoning)에 대한 연구가 출현하였다는 점이다. 또한, 이미 다양한 주제의 비전형적인 추론 태스크를 다루는 연구가 상당히 많이 나타나고 있다. 특히, 실제 응용 환경에서 발생하는 불확실성을 다루는 추론(uncertainty reasoning)과 귀납적 추론, 비일관성 처리(inconsistency handling), 다중 온톨로지 환경을 다루는 분산 추론(distributed reasoning) 등의 주제가 두드러지게 출현하고 있음을 알 수 있다. 그 외에도, 온톨로지 디버깅이나 추론 결과에 대한 설명을 다루는 정당성 검증(justification finding)과 추론의 정확성이나 완전성을 일부 희생하여 추론의 효율성을 높이는 근사 추론(approximate reasoning), 온톨로지 데이터의 지속적인 추가와 삭제를 효율적으로 처리하기 위한 점증적 추론(incremental reasoning), 병렬 처리 기법을 활용하여 추론의 효율성을 높이기 위한 병렬 추론(parallel reasoning) 등을 다루는 연구도 진행되고 있는 것으로 나타났다.

온톨로지 기반 추론 관련 연구 주제가 2009 년에는 좀더 다양해지는 양상을 보였다. 전형적인 추론 태스크 측면에서는 규칙 기반 추론 방법론에 대한 연구는 뜸해진 반면, 기술 논리 기반의 추론 방법론과 기술 논리에 규칙을 결합하는 방법, 대용량 온톨로지를 다루는 추론의 규모성

등에 대한 연구는 여전히 많이 연구되고 있다. 또한, 비전형적인 추론 태스크 측면에서는, 2008 년에 비해 온톨로지 데이터가 지속적으로 입력되는 상황을 고려한 스트림 추론(stream reasoning)이나 온톨로지 재사용 상황을 고려한 하위 온톨로지 추론(sub-ontology reasoning), 모바일 환경을 고려한 모바일 추론(mobile reasoning) 등 보다 다양한 추론 관련 연구 주제가 출현하고 있음을 확인할 수 있다.

특히, 비전형적인 추론 태스크에 대한 연구 주제의 비율이 2008 년에 비해 상대적으로 늘어난 것이 확인된다. 2008 년에는 전형적인 추론 태스크 주제와 비전형적인 추론 태스크 주제의 출현 비율이 24:38 인 반면, 2009 년에는 17:36 으로 변화를 보이는데, 이는 시맨틱 웹 기술이 실세계 환경에 적용되는 시도가 점차 증가함에 따라 온톨로지 기반 추론에 관한 연구가 점차 전형적인 추론 태스크에서 비전형적인 추론 태스크로 전이·확산되고 있음을 말해준다.

이제, 최근에 주로 나타나고 있는 기술 논리와 규칙의 결합 및 비전형적인 추론 태스크 관련 연구 주제들이 어떤 내용을 다루는지 대표적 사례와 함께 살펴 보자.

## 1. 기술 논리와 규칙의 결합

지금까지 기술 논리에 대한 연구와 규칙에 대한 연구는 서로 별개로 진행되어 왔지만, 시맨틱 웹 환경에서는 개별적으로 여러 실질적인 사례들을 다루는데 한계가 있음이 드러났다[6]. OWL 이 기술 논리를 따르고 있기 때문에 기술 논리 기반의 추론 방식은 추론 결과에 대한 정확성과 완전성을 확보할 수 있다. 반면, 규칙 기반의 추론은 완전성을 확보하지는 못하지만, 기술 논리 기반의 추론 방식에 비해 보다 효율적으로 추론을 수행할 수 있다. 그러나, 기술 논리와 규칙의 의미적 기반이 서로 다르기 때문에 이 둘의 통합에는 기술적으로 해결해야 할 부분들이 존재한다. 한 예로, 기술 논리는 열린 세계 가정(open-world assumption)을 따르는 반면, 규칙은 닫힌 세계 가정(closed-world assumption)을 따른다. 이러한 기술적 이슈를 해결하여 기술 논리와 규칙을 결합하려는 연구가 최근의 온톨로지 기반 추론 기술 연구의 한 특징으로 나타나고 있다. 한 예로, [5]에서는 T-Box 추론에서의 기술 논리 기반 추론 알고리즘의 장점과 특정 도메인의 대용량 A-Box 추론에서의 규칙 기반 규모성 측면의 장점을 취하는 방식으로 기술 논리와 규칙을 결합하는 추론 방법을 제시하였다.

## 2. 비일관성 처리

이론적으로 온톨로지의 지식은 일관성을 가져야 하지만, 시맨틱 웹의 실제 환경에서는 시간에 따른 지식의 변화와 온톨로지의 재사용, 다중 온톨로지 결합 등으로 인해 비일관성 문제가

종종 발생한다. 때로는 온톨로지의 명시적인 지식에서는 비일관성이 나타나지 않더라도 추론을 통해 얻어지는 묵시적인 지식이 명시화될 때 비일관성이 드러나기도 한다. 최근 들어, 시맨틱 웹이 실제 환경에 적용되는 사례가 점차 늘어남에 따라, 비일관성이 존재하는 온톨로지에 대한 추론을 어떻게 처리할 지에 대한 연구가 중요해졌고 다양한 방법들이 제시되고 있다. 기술 논리 기반의 OWL 은 그 자체로는 비일관성 문제를 처리할 수 없기 때문에 유사 정통 논리(quasi-classical logic)나 개념 무시 기법(concept forgetting)을 도입하여 OWL 온톨로지에 제한을 가하는 방식으로 비일관성 문제를 다루고 있다[8],[9]. 그 외에 구문적/의미적 관련성을 계산하거나 우선 순위를 부여하는 방식으로 비일관성 문제를 해결하려는 시도도 있다[7].

### 3. 귀납적 추론

분산된 소스로부터 데이터가 입력되는 경우처럼 연역적 추론 방식보다는 귀납적 방식이 더 적합한 경우도 있다. 입력된 온톨로지 개체에 대한 정보(예를 들면, 어느 클래스에 속하는지)가 부족한 경우, 통계적 방식으로 이를 판단할 수 있는 분류기(classifier) 혹은 군집화기(cluster)를 학습하여 온톨로지 개체에 대한 부족한 정보를 추론할 수 있다. 이러한 귀납적 추론은 온톨로지 개체를 발굴하거나 어떤 개념에 속하는 개체를 요구하는 질의 응답에 활용될 수 있다[10],[11].

### 4. 불확실성 추론

시맨틱 웹을 실제 환경에 적용하는 데 있어서 발생하는 중요한 문제로, 비일관성 문제 외에 불확실성 문제도 있다. 온톨로지 데이터의 불확실성을 다루기 위한 방법으로 주로 제시되는 것이 확률 개념을 온톨로지에 도입하는 것이다[12]-[14]. OWL 기반인 전통적 기술 논리에 확률 개념을 추가한 확률적 기술 논리(probabilistic DL 혹은 fuzzy DL)를 정의하고 이를 기반으로 추론을 수행하는 확률적 추론 알고리즘들이 다양하게 고안되어 왔다. 또한 확률적 추론이 대규모 A-Box 를 대상으로 실용적으로 적용 가능한지에 대한 연구[15]와 LOD(Linked Open Data)에 확률적 온톨로지 개념을 도입하려는 시도[16], 확률적 개념과 관계를 학습하려는 연구[17]도 나타났다.

### 5. 정당성 검증

온톨로지에 오류가 있을 때 일반적인 추론을 통해서도 오류가 있는 추론 결과를 집어낼 수는 있지만, 그런 오류를 해결하기 위해서는 잘못된 추론 결과가 왜, 어떤 과정을 통해 발생했는지를



사용자가 이해할 수 있어야 할 텐데 일반적인 추론 엔진에서는 이에 필요한 정보를 제대로 제공하지 못한다. 이런 이슈를 해결하기 위한 목적으로 추론 결과를 설명하기 위한 여러 방법들이 제시되었다[18],[19].

## 6. 분산 추론

시맨틱 웹이 대용량화됨에 따라 추론의 규모성과 성능이 매우 중요한 요소가 되었는데 분산 추론은 바로 이런 요구를 충족시키기 위해 도입되었다. 또한, 시맨틱 웹 환경에서는 많은 온톨로지들이 존재하며 이들은 상호 독립적으로 개발되는 경우가 많다. 따라서, 분산 추론은 이런 환경에서 발생할 수 있는 온톨로지 정렬(ontology alignments) 및 비일관성 문제와 함께 최근에 점차 활발히 연구되는 추세를 보이고 있다[20],[21].

## 7. 병렬 추론

병렬 추론은 시맨틱 웹 데이터의 대용량화에 따른 추론의 규모성 및 성능 문제 해결을 위한 또 하나의 방안으로 제시되고 있다[22],[23]. 병렬 추론 방법은 크게 두 가지로 나뉘 볼 수 있는데, 하나는 기존의 추론 알고리즘을 그대로 사용하는 대신 온톨로지를 상호 독립적인 모듈로 나누어 각각을 병렬로 추론하는 방법이고, 다른 하나는 추론 알고리즘 자체를 병렬 구조로 고안하는 것이다. 그 외에 여러 추론 방법의 결과를 앙상블하는 방법도 제시되고 있는데, 이는 속도 향상이 목적이 아니라, 추론 결과가 너무 많을 때 중요한 것을 고르는 것이 목적이다.

## 8. 근사 추론

근사 추론 또한 시맨틱 웹 데이터의 대용량화에 따른 추론의 효율성을 위해 고안된 추론 방법이다. 다시 말해, 추론의 정확성 혹은 완전성을 일부 희생하여 추론 속도를 향상시키는 것이 목적이다[24],[25]. 따라서, 근사 추론을 적용할 때에는 추론의 정확성 혹은 완전성의 훼손이 덜 중요한 도메인인지와 사용하는 근사 추론 방법의 질적인 측면을 중요하게 고려해야 한다.

## 9. 스트림 추론

모바일 환경과 같은 현대의 많은 응용 환경에서 데이터 스트림이 발생한다. 그런데, 기존의 추론 기법들은 대부분 정적인 온톨로지 데이터를 대상으로 하기 때문에 데이터 스트림처럼 빈번히 바뀌는 동적인 데이터에 대한 추론을 지원하지 못한다. 이에 따라, 데이터 스트림을 시맨틱

웹에 적용하기 위해 빈번히 바뀌는 동적인 데이터에 대한 추론을 수행하는 방법에 대한 연구가 최근 들어 제시되기 시작하였다[26],[27]. 스트림 추론은 본질적으로 추론 결과를 점증적으로 유지하는 점증적 추론을 포함하고 있다.

#### IV. 결 론

현재 웹은 사용자 참여를 중시하는 웹 2.0 인 소셜 웹에서 의미를 중시하는 시맨틱 웹으로 진화하고 있다. 시맨틱 웹에서 의미는 사람과 함께 기계(컴퓨터)가 이해할 수 있음을 가리키는데, 이를 위해 고안된 것이 지식을 표현하는 수단인 온톨로지와 지식을 자동으로 처리하는 수단인 추론 기술이다. RDF 와 RDFS, OWL, OWL2 등 온톨로지에 대한 정의가 진화해 가고, 그 규모 또한 대용량화되면서 그에 맞게 추론 기술 또한 발전해 가고 있다. 본 고에서는 최근 개최된 시맨틱 웹 관련 국제 학술대회에서 발표된 추론 관련 연구 성과들을 분석하여 최근의 추론 기술이 어떤 방향으로 발전해 가고 있는지를 살펴보았다.

시맨틱 웹의 초기인 2000 년대 초반에서 중반까지 추론 기술 연구는 기술 논리 수준의 온톨로지 표현력을 최대한 지원하면서 대규모의 온톨로지에 대해서도 효율적으로 추론을 수행하는 전형적인 추론 태스크에 집중되었다. 그러나, 최근 들어서는 시맨틱 웹이 다양한 실제 환경에 적용되기 시작하면서 추론 기술에 대한 연구도 비전형적인 추론 태스크로 점차 다변화되는 경향을 보이고 있다.

2008 년에는 추론의 효율성을 위해 기술논리와 규칙을 결합하는 방법에 대한 연구가 출현하였고 다양한 주제의 비전형적인 추론 태스크를 다루는 연구가 상당히 많이 나타났으며, 2009 년에는 출현하는 주제가 좀더 다양해지는 양상을 보였다. 특히, 실제 응용 환경에서 발생하는 불확실성을 다루는 추론과 귀납적 추론, 비일관성 처리, 다중 온톨로지 환경을 다루는 분산 추론 등의 주제가 두드러지게 출현하고 있음을 알 수 있었다. 그 외에도 정당성 검증과 근사 추론, 병렬 추론, 스트림 추론 등을 다루는 연구도 진행되고 있는 것으로 나타났다. 또한, 2008 년에 비해 2009 년에는 비전형적인 추론 태스크에 대한 연구 주제의 비율이 상대적으로 늘어난 것이 확인되었다. 이는 시맨틱 웹 기술이 실세계 환경에 적용되는 시도가 점차 증가함에 따라 온톨로지 기반 추론에 관한 연구가 점차 전형적인 추론 태스크에서 비전형적인 추론 태스크로 전이·확산되고 있음을 말해준다.

## <참 고 문 헌>

- [1] T. Berners-Lee, J. Hendler, and O. Lassila, “The Semantic Web”, Scientific American Magazine May, 2001.
- [2] F. Baader, D. Calvanese, D. L. McGuinness, D. Nardi, and P. F. Patel-Schneider, “The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Application(second edition)”, Cambridge University Press, 2007.
- [3] C. L. Forgy, “Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem”, Artificial Intelligence 19(1), 17—37, 1982.
- [4] 이승우, 류범중, “메모리 및 DBMS 기반의 하이브리드 Rete 추론”, 한국컴퓨터종합학술대회 발표논문집, KCC2009, 2009.
- [5] G. Meditskos and N. Bassiliades, “Combining a DL Reasoner and a Rule Engine for Improving Entailment-Based OWL Reasoning”, In Proceedings of ISWC2008, Germany, October 2008.
- [6] B. Motik, “Semantics and Reasoning Algorithms for Faithful Integration of Description Logics and Rules”, In Proceedings of Web Reasoning and Rule Systems(RR2008), Germany, October 2008.
- [7] Z. Huang and F. van Harmelen, “Using Semantic Distances for Reasoning with Inconsistent Ontologies”, In Proceedings of ISWC2008, Germany, October 2008.
- [8] G. Qi, Y. Wang, P. Haase, and P. Hitzler, “A Forgetting-based Approach for Reasoning with Inconsistent Distributed Ontologies”, In Proceedings of the Workshop on Ontologies: Reasoning and Modularity, Spain, June 2008.
- [9] X. Zhang, G. Xiao, and Z. Lin, “A Tableau Algorithm for Handling Inconsistency in OWL”, In Proceedings of ESWC2009, Greece, June 2009.
- [10] N. Fanizzi, C. d’Amato, and F. Esposito, “Statistical Learning for Inductive Query Answering on OWL Ontologies”, In Proceedings of ISWC2008, Germany, October 2008.
- [11] G.A. Grimnes, P. Edwards, and Alun Preece, “Instance Based clustering of Semantic Web Resources”, In Proceedings of ESWC2008, Spain, June 2008.
- [12] F. Bobillo, M. Delgado, and J. Gomez-Romero, “DeLorean: A Reasoner for Fuzzy OWL 1.1”, In Proceedings of the Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web, Germany, October 2008.
- [13] G. Qi and J. Z. Pan, “Tableau Algorithm for Possibilistic Description Logic ALC”, In Proceedings of Web Reasoning and Rule Systems(RR2008), Germany, October 2008.
- [14] P. Klinov, “Pronto: a Non-Monotonic Probabilistic Description Logic Reasoner”, In Proceedings of ESWC2008, Spain, June 2008.
- [15] P. Cimiano, P. Haase, Q. Ji, T. Mailis, G. Stamou, G. Stoilos, T. Tran, and V. Tzouvaras, “Reasoning with Large A-Boxes in Fuzzy Description Logics using DL reasoners: An

- experimental evaluation”, In Proceedings of the Workshop on Advancing Reasoning on the Web: Scalability and Commonsense, Spain, June 2008.
- [16] D. Reynolds, “Uncertainty reasoning for linked data”, In Proceedings of the Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web, VA, USA, October 2009.
- [17] J. E. O. Luna and F. G. Cozman, “An Algorithm for Learning with Probabilistic Description Logics”, In Proceedings of the Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web, VA, USA, October 2009.
- [18] M. Horridge, B. Parsia, U. Sattler, and T. Schneider, “Working with Explanations of OWL Entailments”, ISWC2009 tutorial, VA, USA, October 2009.
- [19] J. Du, G. Qi, and Q. Ji, “Goal-Directed Module Extraction for Explaining OWL DL Entailments”, In Proceedings of ISWC2009, VA, USA, October 2009.
- [20] A. Schlicht and H. Stuckenschmidt, “Distributed Resolution for ALC-First Results”, In Proceedings of the Workshop on Advancing Reasoning on the Web: Scalability and Commonsense, Spain, June 2008.
- [21] J. Urbani, S. Kotoulas, E. Oren, and F. van Harmelen, “Scalable Distributed Reasoning Using MapReduce”, In Proceedings of ISWC2009, VA, USA, October 2009.
- [22] J. Bock, “Parallel Computation Techniques for Ontology Reasoning”, In Proceedings of ISWC2008, Germany, October 2008.
- [23] J. Weaver and J. A. Hendler, “Parallel Materialization of the Finite RDFS Closure for Hundreds of Millions of Triples”, In Proceedings of ISWC2009, VA, USA, October 2009.
- [24] S. Rudolph, T. Tserendorj, and P. Hitzler, “What Is Approximate Reasoning?”, In Proceedings of Web Reasoning and Rule Systems(RR2008), Germany, October 2008.
- [25] T. Tserendorj, S. Rudolph, M. Krötzsch, and P. Hitzler, “Approximate OWL-Reasoning with Screech”, In Proceedings of Web Reasoning and Rule Systems(RR2008), Germany, October 2008.
- [26] E. D. Valle, S. Ceri, D. Braga, I. Celino, D. Frensel, F. van Harmelen, and G. Unel, “Research Chapters in the area of Stream Reasoning”, In Proceedings of the Workshop on Stream Reasoning, Greece, June 2009.
- [27] F. Heintz, J. Kvarnström, and P. Doherty, “Stream Reasoning in DyKnow: A Knowledge Processing Middleware System”, In Proceedings of the Workshop on Stream Reasoning, Greece, June 2009.

---

\* 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 NIPA의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.