

저장소에 독립적인 SPARQL-to-SQL 변환 시스템 모델에 대한 비용 평가

손지성*, 정동원**1), 백두권*1)

*고려대학교 컴퓨터전파통신공학과

**군산대학교 정보통계학과

e-mail: {redfunky07, baikdk}@korea.ac.kr*

djeong@kunsan.ac.kr**

Cost Evaluation of the SPARQL-to-SQL Translation System Model Independent on Storages

Jiseong Son*, Dongwon Jeong**, Doo-Kwon Baik*

*Dept. of Computer and Radio Communications Engineering, Korea University

**Dept. of Informatics and Statistics, Kunsan National University

요 약

이 논문에서는 저장소에 독립적인 SPARQL-to-SQL 변환 시스템 모델의 비용 평가를 수행한다. 시맨틱 웹이 발전하면서 이를 기술하기 위한 다양한 웹 온톨로지 언어들이 제안되었고 이를 저장 및 검색하기 위한 관계형 데이터베이스 기반의 저장소와 SPARQL과 같은 질의 언어가 개발되었다. SPARQL의 활용도가 높아짐에 따라 관계형 데이터베이스에 저장된 웹 온톨로지 데이터를 질의하기 위해서는 SPARQL을 SQL로 변환하기 위한 알고리즘이 필요하다. 그러나 기존에 제안된 변환 알고리즘들은 몇 가지 해결해야 할 문제점을 가지고 있는데 그 중 변환 알고리즘이 저장소에 종속적이라는 문제점 때문에 변환 알고리즘의 활용도가 떨어진다. 이를 해결하기 위하여 기존 논문에서는 저장소에 독립적으로 변환 알고리즘을 활용할 수 있는 시스템 모델을 제안하였으며 프로토타입을 구현하여 제안 모델을 통한 질의 결과의 정확성을 측정하였다. 또한, 저장소의 종속적인 모델과 독립적인 모델간의 정성적 평가를 통하여 저장소에 독립적인 모델이 여러 측면에서 활용도가 높다는 것을 평가하였다. 그러나 기존 논문에서는 제안한 시스템 모델에 대한 명확한 정량적 평가가 이루어지지 않았다. 따라서 이 논문에서는 비용 평가 모델을 정의하여 제안한 시스템 모델의 효율성을 정량적으로 평가한다.

키워드 : 시맨틱 웹, 웹 온톨로지, SPARQL, 변환 알고리즘, 관계형 데이터베이스, 비용평가

1. 서론

차세대 웹으로써 시맨틱 웹[1]이 발전해나감에 따라 시맨틱 웹을 위한 여러 기술들이 제안되고 있다. 그 중 시맨틱 웹의 기술 언어로써, RDF[2], RDF-S[3], OWL[4] 등이 제안되었고, 이를 검색 및 저장하기 위한 질의 언어와 저장소에

대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

제안된 질의 언어로 RQL[5], RDQL[6], SPARQL[7] 등이 있으며 이 중 SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language)은 W3C에서 권고안으로 채택한 질의 언어로써 이를 지원하는 다양한 시스템이 개발되고 있다.

이러한 질의 언어 개발과 더불어 웹 온톨로지 데이터를 저장 및 관리하기 위하여 대부분 관계형 데이터베이스를 기반으로 한 다양한 저장소가 개발되고 있다[8, 9, 10, 11, 12, 13].

* 이 연구에 참여한 연구자는 'BK 21 2단계 사업'의 지원을 받았으며 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-2008-314-D00485)임.

** 교신저자

SPARQL의 활용도가 점차 높아지고 관계형 데이터베이스 기반의 저장소 개발이 활발해짐에 따라, SPARQL을 이용하여 관계형 데이터베이스 안에 저장된 데이터를 검색하기 위해서는 SPARQL을 SQL로 변환해야하는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해, 기존에 다양한 SPARQL-to-SQL 변환 알고리즘이 제안되었다.

대표적인 알고리즘으로는 Chebotko 알고리즘[14], Jena의 sparql2sql[15], Harris 알고리즘[10] 등이 있다. 그러나 이 알고리즘들은 다음과 같이 몇 가지 해결되어야 할 문제점을 가지고 있다.

- **기능성 결여:** 기존에 제안된 변환 알고리즘은 SPARQL의 UNION이나 FILTER를 완벽하게 지원하지 못하고, 중첩 OPTIONAL절의 변환에서도 한계를 나타낸다.
- **저장소 구조에 종속적:** 제안된 변환 알고리즘은 각각 특정한 구조의 저장소를 사용한다. 따라서 저장소의 구조가 변경될 경우 알고리즘 또한 변경된 구조에 맞게 수정되어야 한다. 이러한 경우, 알고리즘의 수정 및 검증에 대한 많은 비용이 요구된다.

기존 논문에서는 알고리즘이 저장소에 종속적인 문제점을 해결하기 위하여 SPARQL-to-SQL 변환 알고리즘을 저장소 구조에 독립적으로 활용할 수 있는 시스템 모델을 제안하였다[16]. 또한, 프로토타입의 구현을 통하여 질의 결과의 정확성 측면에서 제안 모델을 평가하였고 종속적 모델과의 정성적 평가를 통하여 제안 모델의 활용성을 평가하였다.

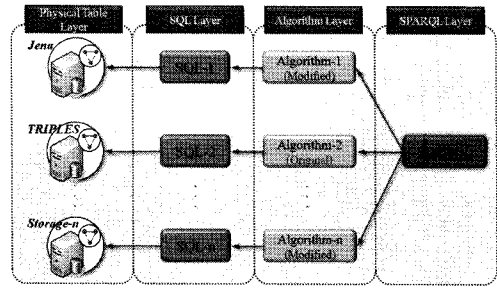
하지만 기존 논문에서는 제안 모델에 대한 정성적 평가를 실행하였을 뿐 제안 모델의 효율성을 명확하게 나타낼 수 있는 정량적 평가가 이루어지지 않았다.

따라서 이 논문에서는 기존 논문에서 제안한 시스템 모델의 효율성을 정량적으로 평가하기 위하여 비용 평가 모델을 제안한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존에 제안된 시스템 모델에 대하여 기술한다. 제 3장에서는 시스템 모델을 평가하기 위한 비용 평가 모델에 대하여 정의한다. 제 4장에서는 정의한 비용 평가 모델을 기반으로 시스템 모델을 평가 및 검증한다. 제 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대하여 기술한다.

II. 저장소에 독립적인 시스템 모델

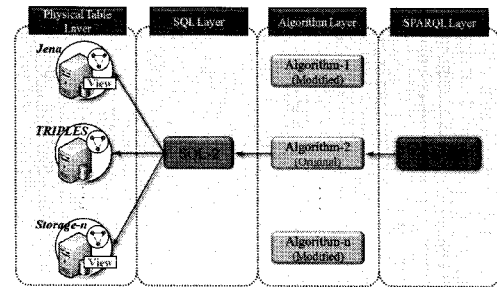
〈그림 1〉은 SPARQL-to-SQL 변환 알고리즘이 저장소 구조에 종속적인 시스템 모델을 보여준다. 종속적인 시스템 모델은 SPARQL 계층, SPARQL-to-SQL 변환 알고리즘으로 이루어진 Algorithm 계층, 알고리즘을 통해 생성된 SQL 계층, 그리고 웹 온톨로지 데이터가 저장되어 있는 물리적 테이블 계층으로 이루어진다.



〈그림 1〉 저장소에 종속적인 시스템 모델

그림에서 보는바와 같이, 물리적 테이블 계층의 저장소는 각각 다른 구조를 가지고 있고 그에 따라 Algorithm 계층의 변환 알고리즘 또한 각각 다른 형태를 지닌다. 그러므로 사용자에 의해 입력된 하나의 SPARQL은 각각 다른 변환 알고리즘을 거쳐 서로 다른 SQL로 생성된다. 생성된 SQL은 각 알고리즘이 사용하는 특정 저장소에서 실행된다. 이 시스템 모델의 경우 동일한 데이터 셋이 저장소에 저장되어 있다고 하더라도, 이를 검색하기 위한 SQL은 저장소 구조에 따라 다르게 생성되어야 한다.

따라서 〈그림 1〉에서의 TRIPLES 구조가 Jena의 구조로 변경될 경우 TRIPLES에 종속적인 Algorithm-2는 Jena의 종속적인 Algorithm-1으로 수정되어야 한다. 이 경우, 알고리즘을 수정하기 위한 개발 비용과 수정된 알고리즘의 검증 비용이 요구된다는 문제점이 있다.



〈그림 2〉 저장소에 독립적인 시스템 모델

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 기존 논문에서는 〈그림 2〉와 같이 관계형 뷰를 기반으로 한 저장소에 독립적인 시스템 모델을 제안하였다[16]. 〈그림 1〉과 계층구조는 동일하지만 물리적 테이블 구조와 SQL계층 사이에 뷰를 정의하여 변환 알고리즘이 저장소 구조에 독립적으로 유지시켜준다.

이 관계형 뷰는 알고리즘이 사용하는 특정 저장소 구조와 동일한 구조로 생성이 된다. 즉, 그림에서 보는 바와 같이, 변환 알고리즘으로 Algorithm-2를 선택하고 저장소의 구조가 TRIPLES라면 다른 구조의 저장소는 TRIPLES 구조의 뷰를 생성한다. 따라서 주어진 하나의 SPARQL은 Algorithm-2 변환 알고리즘을 통하여 하나의 SQL-2으로 변환되고 SQL-2는 TRIPLES 저장소와 뷰를 통하여 데이터를 검색하

게 된다.

이 모델은 저장소의 구조가 변경되어도 변환 알고리즘을 수정할 필요가 없기 때문에 알고리즘 수정 또는 개발에 드는 시간이나 비용이 적어 종속적인 모델과 비교할 때 더 활용성이 높다고 평가된다.

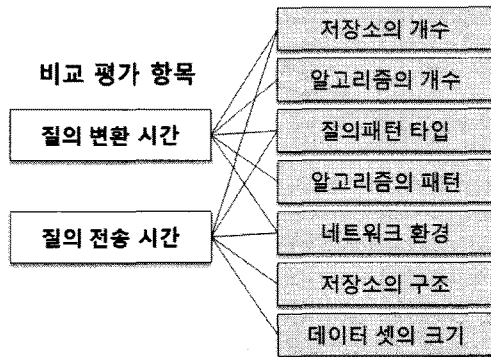
III. 비용 평가 모델

비용 평가 모델은 저장소에 독립적인 시스템 모델의 효율성을 정량적으로 평가하기 위하여 정의된다. 이 장에서는 비용 평가 모델 및 비교 항목, 표기와 Symbols, 가정에 대하여 기술한다.

1. 비교 평가 항목

기존의 저장소에 종속적인 모델과 저장소에 독립적인 모델의 비용은 두 가지 접근 방법으로 평가할 수 있다. 첫 번째 방법은 SPARQL-to-SQL 변환 알고리즘의 개발 시간과 뷰를 생성하는 시간을 비교하는 것이다. 두 번째 방법은 종속적 모델과 독립적 모델의 SPARQL-to-SQL의 질의 변환 시간, 질의 전송시간을 비교하는 것이다. 그러나 일반적으로 첫 번째 접근 방법의 경우, SPARQL-to-SQL 변환 알고리즘 개발이 간단한 SQL문을 이용한 뷰 생성보다 더 많은 시간을 요구한다.

따라서 이 논문에서는 두 번째 방법을 사용하여 비용 평가 모델을 정의한다. <그림 3>은 두 번째 접근 방법에 따른 비교 평가 항목과 각 평가 항목에 영향을 미치는 요소들을 보여준다.



(그림 3) 비용 평가 모델을 위한 비교 평가 항목

2. 표기 및 기호

<표 1>은 평가 모델에 필요한 표기, 기호 및 각각에 대한 설명을 보여준다.

<표 1> 표기 및 Symbols

표기	설명
n(S)	저장소의 개수
t(STS)	SPARQL-to-SQL 질의 변환 시간
t(NTransM)	변환된 SQL이 저장소에 전송되는 시간
n(A)	변환 알고리즘의 개수
QP	조인연산 변화에 따른 질의 패턴
n(QP)	질의의 개수
V_Q	질의패턴에 따른 SPARQL-to-SQL 질의 변환 시간
V_T	질의 전송 시간
V_{RAN}	임의의 값 ($0 < V_{RAN} < 1$)

3. 가정

이 논문에서는 또한 비용 평가 모델을 정의하기 위해서는 몇 가지 다음과 같은 가정 및 정의가 필요하다.

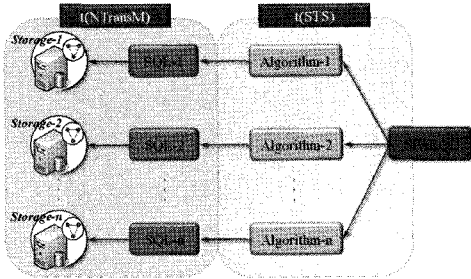
- 질의 변환 시간에 영향을 주는 저장소의 개수(n(S))와 알고리즘의 개수(n(A))는 동일하기 때문에 n(A)만이 영향을 미친다.
- 질의 변환 시간(t(STS))은 네트워크 환경에 영향을 받기 때문에 $V_Q * V_{RAN}$ 로 정의된다. V_Q 는 Lehigh University Benchmark [17]에서 사용한 질의 패턴의 실제 질의 변환 시간이다. V_{RAN} 은 임의의 값 생성기를 통해 $0 < V_{RAN} < 1$ 범위 내에서 생성된다.
- 질의 전송 시간(t(NTransM)) 또한, 네트워크 환경에 영향을 받기 때문에 $V_T * V_{RAN}$ 로 정의된다. V_T 는 변환 알고리즘을 통해 생성된 SQL이 저장소로 전송되는 시간이다.
- 변환 알고리즘을 통해 생성된 SQL 질의 패턴은 SPARQL 질의 패턴에 의해 영향을 받는다.
- 이 비용 평가 모델에서는 질의 변환 시간(t(STS))이 알고리즘에 따라 다르게 생성되지 않고 일정하다고 가정하여 알고리즘의 패턴은 고려되지 않는다.
- 이 비용 평가 모델에서는 또한, 저장소의 구조와 동일한 데이터 셋을 사용하여 데이터 셋의 크기는 고려하지 않는다.

4. 저장소에 독립적인 시스템 모델의 비용 평가 모델

<그림 4>와 <그림 5>는 저장소에 종속적인 모델과 독립적인 모델의 비용 평가 모델을 보여준다. 두 모델 평가의 중요한 요소는 t(STS), t(NTransM)이다. t(STS)와 t(NTransM)은 각각 알고리즘 개수(n(A))와 저장소의 개수(n(S))의 영향을 받고 동시에 질의 패턴 (n(QP))에 영향을 받는다.

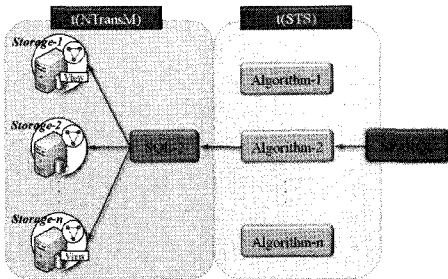
<그림 4>에서와 같이, 이 모델에서는 질의 패턴 (n(QP))에 따른 하나의 주어진 SPARQL이 저장소에 종속적인 알고

리즘의 개수(n(A))에 따라 각각 SQL로 변환되므로 질의 변환 시간(t(STS))는 알고리즘 개수(n(A))만큼 측정된다. 변환된 SQL은 서로 다른 구조의 저장소에 질의된다. 따라서 생성된 SQL이 전송되는 시간(t(NTransM))은 저장소의 개수(n(S))만큼 측정된다.



〈그림 4〉 저장소에 종속적인 모델의 비용 평가 모델

저장소에 독립적인 모델의 비용 평가 모델은 〈그림 5〉에서 보는 바와 같이, 질의 패턴 (n(QP))에 따라 하나의 주어진 SPARQL이 하나의 특정 변환 알고리즘을 통하여 하나의 SQL을 변환되기 때문에 질의 변환 시간(t(STS))에 영향을 주는 n(A)는 항상 1의 값으로 일정하다. 그러나 하나의 SQL은 저장소 개수(n(S))에 따라 전송되므로 질의 전송 시간(t(NTransM))은 저장소 개수(n(S))만큼 측정된다.



〈그림 5〉 저장소에 독립적인 모델의 비용 평가 모델

다음은 〈그림 4〉와 〈그림 5〉의 두 평가 모델의 비용을 측정하기 위해 여러 요소를 반영하여 결론적으로 얻어진 식이다.

$$\begin{aligned}
 Cost_{(Model)} &= \sum_{i=1}^{n(QP)} \left\{ \sum_{j=1}^{n(A)} t(STS)_i + \sum_{k=1}^{n(S)} t(NTransM) \right\} \\
 &= \sum_{i=1}^{n(QP)} \left\{ n(A) \cdot t(STS)_i + n(S) \cdot t(NTransM) \right\} \\
 &= \sum_{i=1}^{n(QP)} \left\{ n(A) \cdot (V_{Qi} \cdot V_{RAN}) + n(S) \cdot (V_T \cdot V_{RAN}) \right\}
 \end{aligned}$$

IV. 평가 및 분석

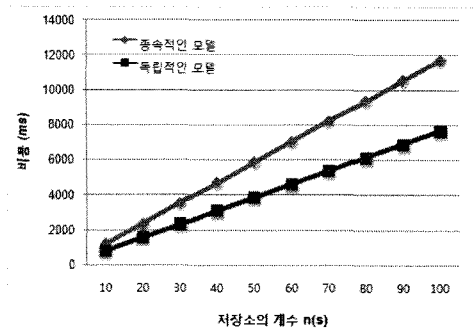
이 장에서는 3장에서 도출한 비용 평가 식을 적용하여 CASE 별로 나누어 저장소의 종속적인 모델과 독립적인 모델의 비용을 측정 후 모델의 효율성을 정량적으로 평가 및 분석하였다. 정량적 평가를 위한 CASE는 다음과 같다.

- CASE-I: 저장소의 개수가 증가할 경우
- CASE-II: 질의 패턴 변화

1. CASE-I: 저장소의 개수가 증가할 경우

〈표 2〉와 〈그림 6〉은 CASE-I의 결과를 보여준다.

CASE-I에서는 질의 패턴을 고려하지 않은 하나의 질의를 사용하여 저장소의 개수를 증가시켜 두 모델의 비용을 측정하였다. 표와 그림에서 보는 바와 같이, 저장소의 개수가 증가함에 따라 변환 알고리즘이 저장소에 독립적인 모델이 종속적인 모델과 비교하여 더 적은 비용을 요구한다는 것을 볼 수 있다. 저장소의 개수가 100일 경우, 종속적인 모델의 비용은 11759이고 독립적인 모델의 비용은 7638이다. 종속적인 모델이 독립적인 모델에 비해 약 1.5배의 비용이 요구된다. 따라서 저장소의 개수가 증가할 경우, 기존 논문에서 제안한 저장소에 독립적인 모델이 종속적인 모델과 비교하였을 때 비용적으로 더 효율성이 높다고 평가할 수 있다.



〈그림 6〉 CASE-I의 비용 평가 그래프

2. CASE-II: 질의 패턴 변화

CASE-II는 질의 패턴 변화에 따른 비용 평가이다. 여기서 질의 패턴의 변화는 SPARQL의 조인 연산의 횟수로 측정하였다. 사용한 질의는 Lehigh University Benchmark에서 사용한 14가지 질의문[17]으로써 그 질의문들 중 조인연산 횟수의 차이를 보이는 질의문들을 선택하여 비용을 측정하고 평가하였다. 이 CASE의 경우, 질의 패턴만을 비용 평가에 미치는 요소로 사용하기 때문에 이 CASE에서의 알고리즘의 개수와 저장소의 개수는 일정하다.

〈표 3〉은 14가지의 질의문 중에서 선택한 질의문을 보여준다.

〈표 3〉의 5개의 질의문을 사용하여 두 모델의 비용을 평

〈표 2〉 CASE-I의 평가 결과

저장소의 개수 (n(S))	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
종속적인 모델	1172	2340	3513	4681	5854	7024	8190	9361	10532	11759
독립적인 모델	802	1562	2320	3084	3843	4601	5360	6129	6880	7638

가한 결과는 〈그림 7〉과 같다.

〈그림 7〉에서와 같이, SPARQL의 조인 연산의 횟수가 증가할 경우, 저장소에 종속적인 모델이 독립적인 모델보다 더 많은 비용을 요구한다는 것을 알 수 있다. 따라서 CASE-II를 통하여 질의 패턴이 복잡해짐에 따라 종속적인 모델보다 독립적인 모델의 비용이 더 적게 요구됨으로 효율성이 더 높다고 평가할 수 있다.

V. 결론

이 논문에서는 기존 논문에서 제안한 SPARQL-to-SQL 변환 알고리즘의 독립적 활용을 위한 관계형 뷰 기반 시스템 모델의 효율성 평가를 위하여 비용적 측면에서의 정량적 평가를 실행하였다.

정량적 평가를 위하여 종속적 모델과 독립적 모델을 비교

〈표 3〉 CASE-II에 사용된 SPARQL 질의문

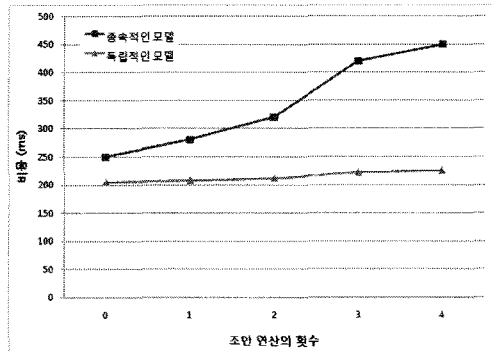
	SPARQL 질의	조인회수
Q1	select ?X where {?X Uv::http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#UndergraduateStudent}	0
Q2	select ?X where {?X Uv::http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#GraduateStudent . ?X Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#takesCourse Uv::http://www.Department0.University0.edu/GraduateCourse0}	1
Q3	select ?X, ?Y where {?X Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#headOf ?Y . ?Y Uv::http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#Department . ?X Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#worksFor ?Y . ?Y Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#subOrganizationOf Uv::http://www.University0.edu}	2
Q4	select ?X, ?Y, ?Z where {?X Uv::http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#GraduateStudent . ?Y Uv::http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#University . ?Z Uv::http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#Department . ?X Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#memberOf ?Z . ?Z Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#subOrganizationOf ?Y . ?X Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#undergraduateDegreeFrom ?Y}	3
Q5	select ?X, ?Y1, ?Y2, ?Y3 where {?X Uv::http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#AssistantProfessor . ?X Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#worksFor Uv::http://www.Department0.University0.edu . ?X Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#name ?Y1 . ?X Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#emailAddress ?Y2 . ?X Uv::http://www.lehigh.edu/~zhp2/2004/0401/univ-bench.owl#telephone ?Y3}	4

할 수 있는 비용 평가 모델을 정의하였다. 또한, 비용 평가 모델로부터 도출해낸 식을 이용하여 CASE 별로 평가를 실행하였다.

CASE-I의 결과로 저장소의 개수가 증가함에 따라 독립적 모델이 더 적은 비용을 요구한다는 것을 평가할 수 있었고, CASE-II를 통하여 질의 패턴의 변화 중 조인의 횟수가 증가함에 따라 종속적 모델이 독립적 모델보다 더 많은 시간이 소요되면서 더 많은 비용을 요구한다는 것을 평가할 수 있었다.

결론적으로 기존에 제안한 저장소에 독립적인 모델은 종속적인 모델과 비교하여 비용적인 측면에서 더 효율성이 좋다는 것을 알 수 있다.

향후 연구로는 더 다양한 평가 항목 및 요소들을 추가하여 여러 측면에서의 비용 평가 모델 검증이 요구된다.



〈그림 7〉 CASE-II의 비용 평가 그래프

참고문헌

- [1] T. Berners-Lee, J. Hendler, and O. Lassila, "The Semantic Web", Scientific American, Vol. 284, No. 5, pp. 34-43, May 2001.
- [2] W3C, Resource Description Framework, <http://www.w3.org/RDF/>, 2004.
- [3] W3C, RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema, <http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>, 2004.
- [4] W3C, Web Ontology Language, <http://www.w3.org/2004/OWL/>, 2004.
- [5] The RDF Query Language (RQL), <http://139.91.183.30:9090/RDF/RQL/>
- [6] RDQL - A Query Language for RDF, W3C Member Submission, <http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-RDQL-20040109/>, 9 January 2004.
- [7] SPARQL Query Language for RDF, W3C Working

Draft,

<http://www.w3.org/TR/2006/WD-rdf-sparql-query-20061004/>, 4 October 2006.

- [8] Sesame: RDF schema querying and storage, <http://www.openrdf.org/>.
- [9] Z. Pan and J. Heflin, "DLDB: Extending relational databases to support Semantic Web queries", In Workshop on Practical and Scalable Semantic Web Systems, 2nd International Semantic Web Conference (ISWC2003), Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2870, Sundial Resort, Sanibel Island, Florida, USA, October20-23, pp. 109-113, 2003.
- [10] S. Harris, "SPARQL query processing with conventional relational database systems", Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3807, pp.235-244, 2005.
- [11] OWLJessKB: A Semantic Web Reasoning Tool, <http://edge.cs.drexel.edu/assemblies/software/owljesskb/>.
- [12] Jena Semantic Web Framework, <http://jena.sourceforge.net/>.
- [13] D. Jeong, M. Choi, Y.-S. Jeon, Y.-H. Han, L.T. Yang, Y.-S. Jeong, and S.-K. Han, "Persistent Storage System for Efficient Management of OWL Web Ontology", Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4611, pp. 1089-1097, July 2007.
- [14] A. Chebotko, S. Lu, H.M. Jamil, and F. Fotouhi, "Semantics Preserving SPARQL-to-SQL Query Translation for Optional Graph Patterns", Technical Report TR-DB-052006-CLJF, May 2006, Revised November 2006.
- [15] sparql2sql - a query engine for SPARQL over Jena triple stores, <http://jena.sourceforge.net/>
- [16] J. Son, D. Jeong, D. Baik, "Practical Approach: Independently Using SPARQL-to-SQL Translation Algorithms on Storage", NCM2008: the 4th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management, September 2008.
- [17] Y. Guo, Z. Pan, and J. Heflin, "LUBM: A Benchmark for OWL Knowledge Base Systems", Journal of Web Semantics, Vol. 3, No. 2, pp. 158-182, July 2005.