

# 오디세우스 객체지향 멀티미디어 DBMS 를 위한 ODMG-93 표준을 지원하는 질의 처리기의 설계 및 구현

이민재<sup>o</sup>, 유치현\*, 한옥신, 황규영  
한국과학기술원 전산학과/첨단정보기술 연구센터  
육군사관학교 전산학과\*

Design and Implementation of a Query Processor  
Supporting the ODMG-93 Standard  
for the ODYSSEUS Object-oriented Multimedia DBMS

Min-Jae Lee, Chi-Hun Yoo\*, Wook-Shin Han, Kyu-Young Whang  
Department of Computer Science and  
Advanced Information Technology Research Center  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

Department of Computer Science, Korea Military Academy\*

## 요 약

객체지향 데이터베이스 관리 시스템(OODBMS)을 위한 표준의 중요성이 증가함에 따라, Object Database Management Group(ODMG)에서 제안된 ODMG-93 명세는 사실상의 업계 표준으로 자리잡고 있다. 많은 OODBMS들이 ODMG-93을 채택하고 있지만, 일부 시스템만이 실제 명세를 따르고 있다. 특히, 대부분의 시스템은 OODBMS의 가장 중요한 부분 중 하나인 ODMG-93 객체 질의 언어(OQL)에 대한 지원이 미흡한 실정이다. 본 논문에서는 OQL을 지원하기 위한 질의 처리기를 설계하고 구현한다. 우선, OQL을 지원하기 위한 요구 사항을 분석한다. 다음으로 분석된 요구사항에 따라 질의 처리기를 구현한다. 구현된 질의 처리기는 OQL의 가장 중요한 기능인 경로식, 메소드 호출, 명시적 조인, 객체 생성, 다형성 등을 지원한다.

## I. 서 론

최근에는 객체지향 데이터베이스 관리 시스템(object-oriented database management system: OODBMS)에서의 표준화가 중요시 여겨지고 있다. 관계형 데이터베이스 관리 시스템에서는 관계형 질의어인 SQL[Me193]이 표준으로 잘 확립되어 있는데 반해, OODBMS에서는 아직까지 확고한 표준이 존재하지 않는 상태이다. 표준의 결여는 곧 응용 프로그램 간의 이식성(portability)과 상호 운용성(interoperability)의 결여로 직결된다.

한편, 최근에 ODMG에서 제안된 ODMG-93이 OODBMS를 위한 업계 표준으로 부각되고 있다. ODMG-93은 응용 프로그램의 이식성을 높이는 것을 기본적인 목적으로 한다[Cat96]. 현재 많은 OODBMS 업체들이 ODMG에 가입되어 있으며, ODMG-93을 지원하는 방향으로 제품들을 개발하고 있다. 이러한 OODBMS의 예로는 GemStone, MICRAM, O2, Objectivity/DB, POET, UnisQL[And96], Versant 등이 있다[Cat96]. 그러나, 대부분의 OODBMS들은 아직까지 ODMG-93의 일부 기능만을 지원하고 있으며, 실제 ODMG에서 명시한 것과 차이가 있어서 아직까지 ODMG-93을 제대로 지원하지 못하고 있다.

특히 질의어인 ODMG-93 OQL의 경우, 질의 언어가 OODBMS의 중요한 구성요소임에도 O2에서인 대부분의 기능을 지원하지 않으며, 이외의 시스템들은 OQL의 일부 또는 유사한 기능만을 제공하고 있다. 또한, O2에서도 OQL을 지원하는 질의 처리기의 구조를 아직 공개하고 있지 않으므로, OQL을 지원하고자 하는 시스템의 개발이 어려운 실정이다. 질의 언어의 경우에는 OODBMS의 다른 구성 요소와는 달리, OODBMS 사용자에게 의해 많이 사용되는 부분이므로 특히 표준화의 중요성이 큰 부분이다.

본 논문에서는 ODMG-93 OQL을 지원하기 위해 질의 처리기를 설계 및 구현하는 것을 목적으로 한다. 본 논문에서 구현하고자 하는 질의 처리기는 한국과학기술원 데이터베이스 및 멀티미디어 연구실에서 1995년 7월에 발표한 객체지향 멀티미디어 DBMS인 오디세우스[Par94]의 질의 처리기를 ODMG-93을 지원하도록 확장 구현한 것이다. 이를 위해서 ODMG-93 OQL을 지원하기 위한 질의 처리기의

요구 사항을 분석하였고, 분석된 요구 사항을 기반으로 OQL을 효과적으로 지원하기 위한 자료 구조 및 알고리즘을 개발하였다. 특히, 본 논문에서는 OQL의 기능 중에서 암시적 조인(implicit join)[Kim90], 메소드 호출(method invocation), 명시적 조인(explicit join), 객체 생성(object construction), 다형성(polymorphism), 연산자의 조합(operator composition) 등을 지원하는 것에 중점을 두었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 ODMG-93을 지원하는 OODBMS들에서 표준을 지원하는 범위를 분석한다. 제 3장에서는 ODMG-93의 질의 언어인 OQL의 구체적인 명세에 대해 설명한다. 제 4장에서는 OQL 질의 처리기의 설계 및 구현을 기술하고, 마지막으로 제 5장에서는 결론을 내리고 향후 연구 방향을 제시한다.

## II. 관련 연구

본 장에서는 ODMG-93을 지원하는 OODBMS들에 대해 소개하고, 각 시스템이 ODMG-93을 지원하는 범위에 대해 분석한다. 본 장에서는 OODBMS가 실제로 ODMG-93을 지원하는 정도에 따라 세 개의 OODBMS를 분석하였다.

### 2.1 Versant

Versant는 분산된 이질(heterogeneous) 환경에서 확장성(scalability)을 제공하는 OODBMS로서[Ver93], ODMG-93과 비교하여 다음과 같은 기능들을 제공한다. 첫째, 객체 모델링 기능으로서 상속(inheritance), 다형성, 객체 식별자(object identifier), 복합 객체(complex object), 컬렉션(collection) 등을 지원한다. 둘째, 질의 기능으로서 순차적 질의(navigational query) 및 조건에 의한 질의를 제공한다. 셋째, 언어 바인딩으로 C++ 언어, Smalltalk 언어 바인딩을 제공한다.

Versant가 제공하는 기능을 ODMG-93 측면에서 다음과 같이 분석할 수 있다. 첫째, ODMG 객체 모델은 어느 정도 지원하지만, 아직 ODL은 지원하지 않는다. 둘째, 질의 언어는 자체적으로 제공하고 있지만, OQL은 아직 지원하지 못하고 있다. 셋째, 언어 바인딩 면에서 C++ 언어 바인딩은 ODMG-93을 지원하지만 Smalltalk 언어 바인딩은 아직 ODMG-93을 지원하지 않는다. 요약하면, Versant는 OODBMS가 갖추어야 할 많은 기능들을 제공하고 있지만, 아직까지 ODMG-93을 채택

\* 본 연구는 첨단정보기술 연구센터를 통하여 과학재단의 지원을 받았다.

로 지원하지 못하고 있으며 특히 OQL 지원이 미비한 상태이다

## 2.2 Objectivity/DB

Objectivity/DB는 이걸 환경에서 CAD, CAM, 사무 자동화 등의 응용에 적합한 OODBMS로서, OODBMS의 입계 표준을 기원하는 것과 응용 프로그램의 이식성을 높이는 네 초점을 두고 설계되었다[Rao94]. Objectivity/DB가 제공하는 기능을 ODMG-93과 비교하여 다음과 같이 분류할 수 있다. 첫째, 유연한 데이터 모델링 기능으로서, 캡슐화(encapsulation)와 상속 등을 지원하며 지속성 클래스(persistent class)를 사용한 지속성(persistence)을 제공한다. 둘째, 질의 기능으로서 SQL-92의 기능과 메소드 호출 기능을 지원한다. 셋째, 언어 바인딩 기능으로 C++ 언어 바인딩과 Smalltalk 언어 바인딩을 제공한다.

Objectivity/DB가 제공하는 기능을 ODMG-93 측면에서 다음과 같이 분석할 수 있다. 첫째, ODMG 객체 모델과 ODL을 지원한다. 둘째, OQL은 메소드 호출 기능을 제외하고 SQL-92와 구별되는 기능들을 지원하지 못하고 있다. 셋째, C++ 언어 바인딩에서는 지속성 포인터와 릴레이선업 등을 지원하지지만, 릴레이선업 클래스는 지원하지 않는다. 결론적으로, Objectivity/DB도 ODMG-93 표준을 완벽히 지원하지 못하고 있으며, 특히 OQL과 C++ 언어 바인딩 부분의 지원이 미흡하다.

## 2.3 O<sub>2</sub>

O<sub>2</sub>는 ODMG-93을 대부분 지원하는 개방형 구조(open architecture)를 갖는 OODBMS로서 DBMS 엔진, 그래픽 사용자 인터페이스 툴, 컴퓨터 지원 소프트웨어 공학(computer aided software engineering: CASE) 툴 등과 쉽게 통합할 수 있는 특징이 있다.

ODMG-93과 비교하여 O<sub>2</sub>는 다음과 같은 기능을 제공한다. 첫째, 객체 모델링 기능으로서 ODMG-93을 완벽히 지원하지만[O2196a], ODL은 지원하지 않는다. 둘째, 질의 기능으로서 OQL을 완벽히 지원한다. 셋째, 언어 바인딩 기능으로서 C++ 언어 바인딩과 Smalltalk 언어 바인딩을 지원한다. C++ 언어 바인딩에서는 릴레이선업과 릴레이선업을 포함하여 ODMG-93을 거의 대부분 지원하며 Smalltalk 언어 바인딩도 ODMG-93을 거의 대부분 지원한다. O<sub>2</sub>는 ODMG의 참여 업체 중 현재로서는 ODMG-93을 가장 많이 지원하지만, 그 지원 방법에 대한 구체적인 내용을 공개하고 있지 않다.

## III. ODMG-93 표준

본 장에서는 ODMG-93을 소개하며, 특히 본 논문의 범위가 되는 OQL에 대해 기술한다. 제 3.1절에서는 OQL 명세에 대해 설명한다. 제 3.2절에서는 ODMG-93 OQL을 지원하기 위해 질의 처리기가 갖추어야 할 요구 사항을 분석한다.

### 3.1 OQL의 명세

본 절에서는 ODMG-93 OQL의 명세(specification)에 대해 설명한다. 우선 OQL의 특징을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ODMG 객체 모델을 지원하는 선언적 질의 언어이다.
- SQL-92의 SELECT 문[Mel93]의 기능을 모두 지원한다.
- SQL-92를 기반으로 경로식(path expression), 메소드 호출(method invocation), 다형성(polymorphism), 그리고 연산자의 자유로운 조합 등을 추가적으로 지원한다.

SQL과 구별되는 기능으로는 경로식, 메소드 호출, 객체 생성, 다형성, 연산자의 조합 등이 있다. OQL에서는 하나의 객체로부터 중첩 속성(nested attribute) 또는 릴레이선업(relationship)을 순환(navigation)하는 경로식을 지원하며, 경로식을 구성하는데 필요한 연산자인 "" 또는 ">"를 제공한다. 경로식은 타입 시스템이 허용하는 범위 내에서 질의문의 임의의 위치에 사용될 수 있다.

OQL 사용자는 질의문 내에서 임의의 객체에 대해 메소드를 적용할 수 있다. 단, 메소드를 사용할 때에는 메소드의 결과 값의 타입이 질의문의 식(expression) 내에서 요구하는 타입과 호환되어야 한다.

OQL에서는 객체가 질의문 내에서 새로 생성될 수도 있고, 데이터베이스로부터 검색될 수도 있다. 객체 생성은 어떤 클래스에 속한 객체 생성, 구조체 리터럴 생성, 그리고 컬렉션 리터럴 생성 등이 가능하다. 객체의 검색은 SQL의 SELECT 문을 사용할 수도 있고, 이름을 가진 객체(named object)를 직접 사용할 수도 있다.

OQL은 다형성을 제공하는데, 클래스 지시자(class indicator)와 늦은 바인딩(late binding)으로 구분할 수 있다. 클래스 지시자는 검색할 클래스 계층구조를 제한하여 보다 정교한 질의를 수행할 수 있게 하며, 도

메인 대체(domain substitution)[Kaf92]와 같은 의미를 갖는다. 늦은 바인딩은 질의문 내의 어떤 식을 실제로 처리하는 시점에서 메소드의 바인딩이 일어나게 한다.

OQL은 함수적 언어(functional language)이므로, OQL이 지원하는 연산자는 타입 시스템이 허용하는 범위 내에서 자유롭게 조합될 수 있다[Cat96]. OQL에서 제공하는 연산자로는 집합 연산자, 범용 정량자(universal quantifier) 및 존재 정량자(existential quantifier), ORDER BY 연산자, GROUP BY 연산자, 집계 연산자(aggregate operator) 등이 있다.

### 3.2 OQL을 지원하기 위한 요구 사항

제 3.1절에서 살펴 본 ODMG-93 OQL의 특성과 기능을 고려할 때, ODMG-93 OQL을 지원하기 위해서 질의 처리기가 제공해야 할 기능은 다음과 같다.

- 클래스 계층구조를 검색하는 기능: OQL 질의문에서 질의의 대상으로 사용된 클래스를 루트로 하는 클래스 계층구조(class hierarchy)[Kim90]를 검색할 수 있어야 한다. 그리고 클래스 계층구조에서 검색하고자 하는 클래스의 범위를 제한하는 기능도 제공해야 한다.
- 암시적 조인: OQL 질의문에서는 경로식을 사용하여 클래스 구성 계층구조(class-composition hierarchy)[Kim90]를 순환할 수 있으므로, 암시적 조인을 처리할 수 있어야 한다.
- 명시적 조인: OQL에서는 SQL-92에서와 같이 임의의 두 클래스 간의 명시적 조인을 처리할 수 있어야 한다. 또한 경로식과 명시적 조인이 함께 사용될 수 있으므로, 암시적 조인과 명시적 조인을 질의 처리에서 모두 고려해야 한다.
- 메소드 호출 기능: OQL 질의문에서는 경로식 내에 메소드를 자유롭게 사용할 수 있으므로, 질의 실행 시에 메소드를 동적으로 호출할 수 있어야 한다. 또한 객체가 속한 클래스에 중복 정의된 메소드를 호출할 수 있어야 한다.
- 객체 생성 기능: 질의문을 실행할 때 생성하고자 하는 객체의 타입에 따라 지속성 객체 또는 리터럴을 생성할 수 있어야 한다.
- 연산자의 자유로운 조합을 처리하는 기능: OQL은 SQL-92와 달리 함수적 언어이므로 질의 처리에서 그 특성이 반영되어야 한다.

## IV. 질의 처리기의 설계 및 구현

본 장에서는 ODMG-93 OQL을 지원하는 질의 처리기의 설계 및 구현에 대해 설명한다. 제 4.1절에서는 질의 처리의 전반적인 과정을 설명한다. 제 4.2절에서는 의미 분석 및 내부 자료 구조로의 변환 과정을 설명한다. 제 4.3절에서는 실행 계획의 구조 및 생성 방법을 설명한다. 제 4.4절에서는 실행 알고리즘을 설명한다.

### 4.1 질의 처리 과정

본 논문에서 구현한 질의 처리기는 다음과 같은 단계를 거쳐 질의를 처리한다. 먼저, 질의 처리기는 OQL 사용자로부터 OQL 질의문을 입력 받아서 어휘 분석(lexical analysis) 및 구문 분석(syntactic analysis)을 수행하여 구문 오류를 검사한다. 구문 오류가 없으면 의미 분석(semantic analysis)을 수행하여 의미 오류를 검사하고, 질의 최적화와 실행 계획 생성에 필요한 내부 자료 구조를 생성한다. 내부 자료 구조가 생성되면 질의 최적화를 수행한 뒤, 실행 계획(access plan)[Wha90]을 생성한다. 그리고 실행 계획에 따라 질의를 실행하고 질의 결과를 OQL 사용자에게 반환한다.

제 3.2절에서 설명한 ODMG-93 OQL을 지원하기 위한 요구 사항이 전체 질의 처리 과정에 어떻게 반영되었는지를 설명한다. 내부 자료 구조와 실행 계획은 분석된 요구 사항에 따라 OQL 질의문에 대한 정보를 표현할 수 있게 설계되었다. 질의 최적화 및 실행 계획 생성 모듈에서는 암시적 조인과 명시적 조인을 함께 고려하여 질의 최적화 유리적으로 적용하고 실행 계획을 생성한다. 실행 모듈에서는 메소드를 동적으로 호출하는 기능을 제공한다.

### 4.2 의미 분석 및 내부 자료 구조로의 변환

의미 분석 단계에서는 입력된 질의문에 의미 오류가 없는지 검사하고, 의미 오류가 없을 경우 요약 구문 트리로부터 내부 자료 구조(internal data structures)를 생성한다. 본 절에서는 의미 분석 과정, 요약 구문 트리를 내부 자료 구조로 변환하는 과정, 그리고 질의 그래프 생성에 대해 설명한다.

의미 분석은 구문 오류가 없는 질의문이 ODMG-93 OQL의 의미에

맞는자를 검사하는 것이다. 의미 분석기는 구문 오류가 없는 질의문을 요약 구문 트리 형태로 입력 받아서 카탈로그를 참조하여 의미 오류를 검사한다

내부 자료 구조는 질의 최적화와 실행 계획 생성에 필요한 정보를 저장하는 자료 구조이다. 내부 자료 구조는 요인 구문 트리를 탐색하여 생성되므로 입력된 질의문의 구조를 그대로 반영한다. OQL 질의문을 내부 자료 구조로 표현하기 위해서는 OQL에 정의된 각각의 연산자를 표현하기 위한 기본적인 구조체가 필요하다. 이러한 기본적인 구조체에는 경로식을 위한 구조체, 식을 위한 구조체, 집계합수를 위한 구조체, 상수를 위한 구조체, 객체 생성을 위한 구조체 등이 있다.

질의 그래프(query graph)는 스키마 그래프(schema graph)의 서브 그래프로서 질의 처리에 참여하는 클래스들로 구성된 방향성 그래프(directed graph)이다[Kim90] 질의 그래프는 클래스를 나타내는 노드, 클래스/서브 클래스 링크, 복합 속성/도메인 링크, 명시적 조인 링크로 구성된다.

OQL 질의 처리 기법은 확장된 경로식(extended path expression)[Kim92]을 지원하며, 질의문의 임의의 위치에 경로식이 나타날 수 있으므로 질의문에 나타난 모든 경로식은 질의 그래프에 포함시켜야 한다. 그러나 여러 경로식에 공동으로 나타난 서브-경로식(subpath expression)[Cho96]들은 질의 그래프에 한 번만 표시된다 그리고 확장된 경로식에서 도메인 대치(domain substitution)[Kaf92]가 일어난 경우 대치된 클래스를 루트로 하는 클래스 개층구조가 질의 그래프에 표시된다.

#### 4.3 질의 최적화 및 실행 계획 생성

실행 계획은 질의 최적화를 수행한 결과로 생성되는 자료 구조로서, 질의 실행(query evaluation)에 필요한 정보를 저장한다 실행 계획은 실행 계획 원소(access plan element)의 배열로 구성되는데, 실행 계획 원소는 실행 계획을 표현하는 기본적인 자료 구조이다.

실행 계획에 표현되는 정보는 클래스 접근 순서, 클래스 접근 방법, 조인 정보, 술어(predicate) 정보, 프로젝트 정보 등이다. 클래스 접근 순서는 질의 최적화에 의해 결정된 조인 순서와 조인 방법을 표현한다. 클래스 접근 방법에는 순차 스캔(sequential scan)과 인덱스 스캔(index scan)이 있다. 조인 정보에는 명시적 조인 정보와 암시적 조인 정보가 있다. 술어 정보에는 조인 술어(join predicate)와 선택 술어(selection predicate)가 표현된다 프로젝트 정보는 질의 처리 결과로 생성되는 결과 튜플을 구성할 속성들에 대한 정보를 저장한다.

질의 최적화에서는 질의 그래프와 내부 자료 구조를 참조하여 최소 비용을 갖는 실행 계획을 생성한다 본 논문에서는 참고 문헌 [Sel79]와 [Kim90]에서 제안된 다음의 질의 최적화 휴리스틱을 사용한다.

- 카디션 좁 지면 휴리스틱[Sel79].
- 단순 술어 우선 휴리스틱[Kim90].
- 깊이 우선 사레화 휴리스틱[Kim90].
- 정방향 탐색 휴리스틱[Kim90].

#### 4.4 실행 알고리즘

실행 모듈은 실행 계획에 따라 질의를 실행하고 질의 결과를 반환한다. 실행 알고리즘의 기본적인 원리는 실행 계획에 따라 객체를 읽어서 그 객체에 부과된 조건을 검사하는 것이다 실행 알고리즘은 다음과 같다.

##### 알고리즘 1 실행 알고리즘

1. 질의 대상이 되는 모든 객체를 검색할 때까지 실행 계획에 따라 다음을 수행한다. 더 이상 검색할 객체가 없으면 단계 4를 수행한다.
2. 실행 계획에 따라 객체를 읽는다. 이때 명시적 조인 및 암시적 조인이 있으면 조인 알고리즘에 따라 객체를 읽는다.
3. 현재 읽은 객체에 부과된 술어가 있으면 객체의 결과가 참이면, 다음 접근할 클래스에 대해 단계 2를 수행한다 술어의 결과가 거짓이면, 단계 1을 수행한다.
4. GROUP BY, HAVING, ORDER BY 절을 처리한다
5. 질의 결과를 반환한다

#### 4.5 구현 환경

본 논문에서 설계한 질의 처리기는 한국과학기술원 데이터베이스 및 멀티미디어 연구실에서 개발한 UNIX용 다사용자 OODBMS인 ODYSSEUS(Object-oriented Database sYSTEM for the URux System)[Par94]

에 구현되었다 ODYSSEUS는 ODMG-93을 지원하며, 객체 모델은 ODMG 객체 모델을 지원한다 질의 언어 기능으로 ODYSSEUS의 질의 언어인 OOSQL(ODYSSEUS Object SQL)과 ODMG-93 OQL을 모두 지원한다 언어 바인딩은 C++ 언어 바인딩을 지원한다

#### V. 결론

본 논문에서는 ODMG-93 OQL을 지원하는 질의 처리기의 설계와 구현을 기술하였다. 본 논문의 공헌은 다음과 같이 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째, ODMG-93 OQL을 지원하기 위한 요구 사항을 분석하였다 ODMG-93 OQL을 지원하기 위해서는 클래스 개층 구조를 검색하는 기능, 명시적 조인 및 암시적 조인을 처리하는 기능, 메소드 호출 기능, 그리고 연산자의 자유로운 조합을 처리하는 기능이 필요하다. 둘째, 분석된 요구 사항에 따라 ODMG-93 OQL을 지원하는 질의 처리기를 설계하고 구현하였다 본 논문에서 구현한 질의 처리기는 메소드 호출, 경로식, 명시적 조인, 객체 생성, 다형성, 그리고 연산자의 조합 등 OQL의 중요한 기능을 대부분 지원한다.

본 논문의 결과를 바탕으로 향후 연구되어야 할 방향은 다음과 같다. 첫째, 질의 최적화 모듈을 확장하여 대안이 되는 실행 계획에 대한 실행 비용을 보다 정교하게 계산할 수 있게 한다. 둘째, OQL을 지원하는 OODBMS들에 대한 성능 비교를 수행하는 것이다. 현재, ODMG-93을 지원하는 OODBMS들에 대해 OQL의 각 기능에 대한 지원 여부는 분석되어 있지만, 각 기능 별로 어느 정도 효율적으로 지원하는지는 분석되어 있지 않다. 따라서 다른 OODBMS들과 성능 비교를 수행하여 OQL 지원에 대한 효율성을 분석해야 할 것이다

#### 참고 문헌

[And96] D'Andrea, A. and Janus, P., "UnuSQL's Next-Generation Object-Relational Database Management System," *ACM SIGMOD Record*, Vol. 25, No. 3, pp. 70-76, Sept 1996.

[Cat96] Cattell, R.G.G., *The Object Database Standard: ODMG-93 release 1.2*, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1996.

[Cho96] 조완섭, 객체지향 데이터베이스 시스템에서 질의 최적화 기법, 박사 학위 논문, 한국과학기술원, 1996.

[DeW90] DeWitt, D. J. and Maier, D., "A Study of Three Alternative Workstation-Server Architectures for Object Oriented Database Systems," *In Proc. Int. Conf. on Very Large Data Bases*, pp. 107-121, Brisbane, Australia, 1990.

[Kaf92] Kifer, M., Kim, W., and Sagiv, Y., "Querying Object-Oriented Databases," *In Proc. Intl. Conf. on Management of Data*, ACM SIGMOD, pp. 393-402, San Diego, CA, 1992

[Kim90] Kim, W., *Introduction to Object-Oriented Databases*, The MIT Press, 1990

[Kim95] Kim, W., *Modern Database Systems*, ACM Press, 1995.

[Kim90] Kim, K.-C., *Query Performance Enhancement Techniques in Object-Oriented Databases*, Ph.D. Dissertation, University of Texas, Austin, 1990.

[Mel93] Melton, J. and Simon, A. R., *SQL: A Complete Guide*, Morgan Kaufmann Publishers, 1993.

[O2T96a] O2 Technology, O2 ODMG Database System Tutorial, O2 Technology, Jan. 1996

[O2T96b] O2 Technology, ODMG C++ Binding Reference Manual, O2 Technology, Jan. 1996.

[Par94] 박종복, 심재균, 이종학, 우준호, 조완섭, 황규영, "ODYSSEUS. UNIX용 다사용자 객체지향 데이터베이스 시스템," 1994년도 국제 정보과학회 학술발표 논문집, 제 21권 제 2호, pp. 31-34, 1994년.

[Rao94] Rao, B. R., *Object-Oriented Databases*, McGraw-Hill, Inc. 1994

[Sel79] Selinger, P. G., et al., "Access Path Selection in a Relational Database Management System," *In Proc. Intl. Conf. on Management of Data*, ACM SIGMOD, pp. 23-34, Boston, Mass., May 1979.

[Ver93] Versant Object Technology, Versant ODBMS System Manual, Versant Object Technology, July 1993

[Wha90] Whang, K.-Y., Krishnamurthy, R., "Query Optimization in a Memory-Resident Domain Relational Calculus Database System," *ACM Trans. on Database Systems*, Vol. 15, No. 1, pp. 67-95, Mar. 1990

[Yu96] 유치현, ODMG-93 표준을 지원하는 오디세우스 객체지향 데이터베이스 관리 시스템을 위한 질의처리기의 설계 및 구현, 석사학위논문, 한국과학기술원, 1996