

## 교량 계측 정보 관리를 위한 데이터베이스 설계

### The Database Design for the Management of Bridge Measurement Information

황진하\*                      박종희\*\*                      조대현\*\*\*  
Hwang, Jin-Ha              Park, Jong-Hoi              Cho, Dae-Hyun

---

#### ABSTRACT

The database design for the management of bridge measurement information is presented in this paper. To express the associated data generated during the whole process of ambient measurement efficiently, requirements analysis for database construction is performed. And to define objects and organize schema conceptual and logical design are performed, which convert data model into logical schema. Finally, physical design is performed using DDL(data defined language). This database is based on the object-relational data modeling approach that has rich expressive power and good reusability in comparison with the traditional entity-relational modeling.

---

#### 1. 서론

교량의 구조적 건전성을 점점 진단하기 위해 주로 육안검사와 다양한 비파괴검사 및 재하시험 등이 사용되어 왔으나, 여기에는 전문 인력과 장비 및 비용이 많이 들고 특히 교통 통제의 문제가 발생한다. 그런 점에서 정상교통상태에서 상시계측을 통해 교량의 거동과 특성의 변화를 측정하고 손상을 탐지하려는 움직임은 주목할 만하다.

교량의 상시계측시스템과 관련된 국내외의 연구<sup>(1~4)</sup>는 아직 충분치 않으며, 시스템 구축 사례 또한 근래에 건설된 장대교량을 중심으로 설치 운용되고 있으나 많지 않고 운용기간이 일천하다. 상시계측을 통한 교량의 거동이력 관리는 장기간 교량에 축적됐거나 진행되는 손상의 징후를 알려주어 손상여부 및 보수요소에 대한 적절한 판단의 근거를 제공한다. 따라서 상시계측을 위한 시스템의 구축 및 효율적 운용이 요구되고, 이것은 관련 이론 뿐 아니라 실제 현장에 적용할 수 있는 장비와 소프트웨어 등의 개발을 통해 구현될 수 있다. 센서와 데이터로거를 통해 계속 수집되는 방대한 실시간 신호정보는 시스템 구축의 실제 목적을 달성하기 위해 세밀한 처리와 분석이 필요하고, 이를 위해서는 단계 별로 생성 전달되는 다양한 정보를 체계적으로 관리할 필요가 있다.

이러한 점은 데이터 수집 및 처리를 위한 특정 독립 장비나 PC기반 시스템에 공히 해당되는 것으로, 관리수단은 산업 전반의 발전추세에 맞춰 기존의 파일시스템으로부터 데이터베이스시스템<sup>(5)</sup>으로의 이행이 바람직하다. 특히 전자의 경우 전용 장비와 프로그램으로 짧은 시간대의 현장 계측신호를 분석하고 관리소나 사무

---

\* 정회원 · 충북대학교 구조시스템공학과 교수  
\*\* 정회원 · 충북대학교 구조시스템공학과 강사  
\*\*\* 정회원 · 충북대학교 구조시스템공학과 박사과정

실로 이동 후 컴퓨터에 저장하는 것이 일반적이며, 후자의 경우에도 장비 종속으로부터 PC로 일반화했을 뿐 실제 절차는 유사한 파일시스템을 활용한다. 여기서 데이터베이스는 형식적이며 수동적 저장매체에 머물게 되고 데이터는 쉽게 사장된다. 그런 경우 고가의 비용으로 구축된 시스템은 수집과 통신 처리 분석 등이 유기적으로 연계되지 못하고 단순 기능의 조합에 불과하게 된다.

시스템이 수명 주기 동안 지속적으로 동작할 때 시스템을 구성하는 각각의 모듈에서 생성되고 전달되는 정보는 필요시 갱신되고 재사용될 필요가 있다. 계측시스템은 현재까지의 이력을 관리하거나 점검하는데 머무르지 않고 차후 손상 추정이나 예측 관리 및 관련 이론이나 기술개발에 기여될 필요가 있고, 그러한 점에서 데이터베이스의 능동적 기능의 활용이 중요하다. 현재 다양한 산업 분야에서 데이터베이스의 도입 및 활용이 정착되어 가고 있으며, 여기에 쓰이는 상용데이터베이스는 관계형<sup>(6)</sup>이 주류를 이루고 있다. 그러나 관계형 데이터베이스로 복잡한 실시간 계측자료를 관리할 때 데이터구성, 접근방법, 질의처리를 위한 디스크접근 등 여러 면에서 효과적 운용을 기대하기 어렵다. 더욱이 계측은 진단을 위한 선행과정이고 진단은 구조계의 수명주기 동안의 여러 활동들과 연관되어 있다는 점을 고려한다면 상속, 다형성, 사용자정의 타입 등 차후 확장 및 재사용에 용이한 객체지향개념<sup>(7)</sup>에 근거한 데이터모델링이 효과적이다. 여기에 실시간 개념<sup>(8)</sup>을 사용할 수 있다면 상시계측시스템의 효율성을 보다 제고시킬 수 있을 것이다.

본 연구는 상시계측시스템을 대상으로 현재의 주요 상용 데이터베이스 형식인 관계형 데이터베이스에 객체지향개념을 결합한 객체관계모델링을 통하여 교량의 실시간 계측자료를 저장, 관리할 수 있는 데이터베이스의 원형을 설계하였다.

## 2. 요구 분석

모드 시험 등을 통해 각종 센서로부터 측정된 신호는 공학적 분석을 위해 처짐, 변위, 중력가속도 등의 물리량으로 변환되거나 다음 단계를 위해 전달 저장되어야 한다. 이러한 계측데이터를 효과적으로 관리하기 위해서는 수집된 자료가 일정한 형식을 갖추고 향후 거동 이력분석에도 활용될 수 있도록 정보기술을 이용하여 데이터베이스 형태로 관리하는 것이 가장 효과적이며, 사용성 및 확장성을 고려하여 자료의 저장, 검증, 분석, 또는 수정이 효율적으로 이루어질 수 있도록 구성하여야 한다. 따라서 설계될 데이터베이스는 대용량 자료를 관리하는 과정에서 계측정보의 효율성, 안정성, 완결성 등을 확보하기 위해 발생하는 계측자료를 실시간으로 처리하고 연동되는 구성모듈을 효과적으로 지원할 수 있도록 다음과 같은 요구사항을 만족해야 한다.

- 계측시스템과의 H/W, S/W적 연계성.
- 데이터의 무결성.
- 구성모듈간의 인터페이스.
- 실시간 트랜잭션.
- Database 다중화.
- 대용량 데이터 처리지원 및 관리.
- 데이터의 보안성.
- 객체 관계형 모델지원.

구조물의 동적특성<sup>9)</sup>은 부착된 가속도계로부터 파악되는데 각 센서로부터 측정된 신호를 기반으로 교량 전체의 대표 스펙트럼 및 해당 스펙트럼 산출과 고유진동수 추출, 그리고 각 모드별 모드형상화 작업과 감쇠비 산출작업이 이루어진다. 그림 1은 측정자료의 흐름도를 나타내고 있다.

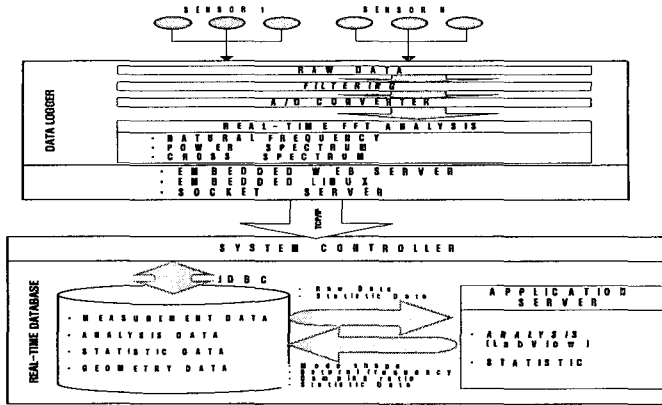


그림 1. 측정자료의 흐름도

### 3. 데이터 모델링 및 설계

#### 3.1 개념적 설계

개념적 설계는 측정정보에 대한 요구사항 분석을 토대로 객체들간의 관계를 상세하게 분석 모델링하여 효율적인 정보 접근을 지원토록 한다.

측정정보들은 객체들간 상호 연관성을 갖고 있으며, Sensor\_Measurement\_Data를 기준으로 각각의 클래스인 Signal\_Data, Natural\_Frequency, Displacement, Strain, FFT\_Data들로 관계를 구분할 수 있다.

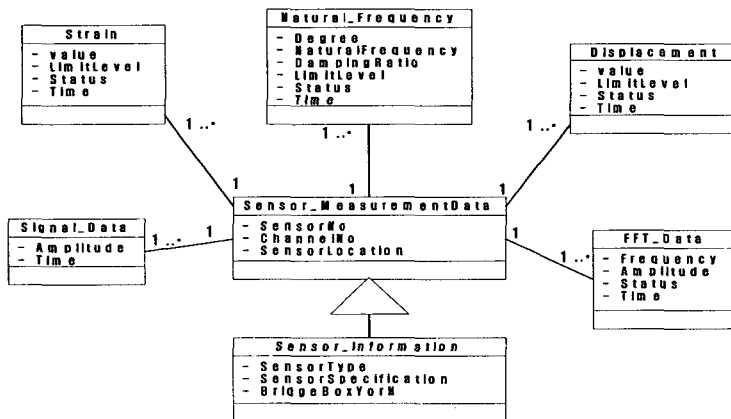


그림 2. Class diagram

각 객체들의 속성과 그들 간의 관계 분석을 통해 클래스를 구성하고 그림 2와 같이 다이어그램으로 표현하였다. Sensor\_Measurement\_Data, Natural\_Frequency, Displacement, Strain, FFT\_Data 그리고 Signal\_Data는 일대다의 연관관계를 이용하여 나타내었으며, Sensor\_Information은 일반화, 상속관계를 이용하여 하위클래스가 상위클래스의 고유한 특성을 상속받도록 하였다.

### 3.2 논리적 설계

클래스 다이어그램을 바탕으로 구성되는 논리적 데이터 모델은 각 클래스 내의 객체 속성이 어떤 특성을 지니고 어떤 역할을 수행하는지 파악하여 객체 속성 테이블을 작성한다.

가속도 센서로부터 취득된 신호 데이터는 먼저 Signal\_Data 클래스에 저장한 다음 분석모듈과의 연동을 통해 교량 동특성 값들로 Natural\_Frequency 클래스에 저장되며 데이터모델에 대한 속성은 고유진동수의 차수, 고유진동수, 감쇠비, 관리한계치, 교량의 정상 또는 이상상태 그리고 측정시간으로 구성한다. 여기서 고유진동수의 차수와 고유진동수 값은 Not Null로 정의하여 다른 객체들과 구별하였다.

### 3.3 물리적 설계

물리적 설계는 논리적 설계 단계에서 제시한 각 클래스별 데이터 모델을 기반으로 응용프로그램의 실행 빈도수, 데이터 양, 데이터베이스 관리시스템 및 OS의 제한성, 그리고 기억장치 및 기타 하드웨어의 특성을 고려하여 실시간 객체 관계형 데이터베이스에 적합한 물리적 구조로 구성하는 단계이다.

센서계측데이터 클래스를 중심으로 구성된 고유진동수, 변위, 변형률, 원시데이터, FFT데이터 클래스는 하나의 객체가 여러 객체와 관계를 맺고 있으며 이들을 물리적 구조로 저장하기 위해서는 객체 타입의 DDL (Data Definition Language) 언어로 작성하여야 한다. 그림 3은 센서\_계측\_데이터 클래스와 고유진동수 클래스 객체간의 관계를 DDL을 이용하여 나타낸 것이다.

```

create class Sensor_Measurement_Data(
    Sensor_No          int PRIMARY KEY,
    Channel_No        int,
    Sensor_Location    int,
    Signal_DataRef     db_set Signal_Data,
    Natural_FrequencyRef db_set Natural_Frequency,
    DisplacementRef   db_set Displacement,
    StrainRef         db_set Strain,
    FFT_DataRef       db_set FFT_Data);

create class Natural_Frequency(
    Degree int,
    Frequency real,
    Damping_Ratio real,
    Limit_Level int,
    Status int,
    Time real,
    Sensor_MeasurementData db_ref inverse SensorMeasurementData.NaturalFrequencyRef);

```

그림 3. Class relation

상속성에 따른 물리적 구조로 상위 클래스가 센서\_계측\_데이터이고 하위 클래스가 센서\_정보인 경우에 대해 그림 4에 나타내었으며 하위 클래스가 상위클래스를 참조하는 경우이다.

```

create class Sensor_Information under Sensor_Measurement_Data(
    Sensor_Type          varchar(10),
    Sensor_Specification varchar(100),
    Bridge_Box YorN      boolean);
    
```

그림 4. Inheritance relation

#### 4. 적용 및 구현

설계된 데이터베이스의 실제 적용을 위해 실시간 지원시스템인 RtPlus에 탑재, 실험실에서의 가상 및 모형 실험을 통해 시험 검증하였다. 그림 5와 6은 RtPlus GQL을 통한 Natural\_Frequency class와 Sensor\_Information class의 Query를 나타내고 있다.

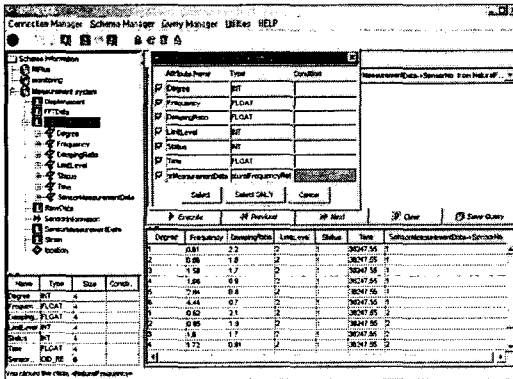


그림 5. Natural\_Frequency class Query

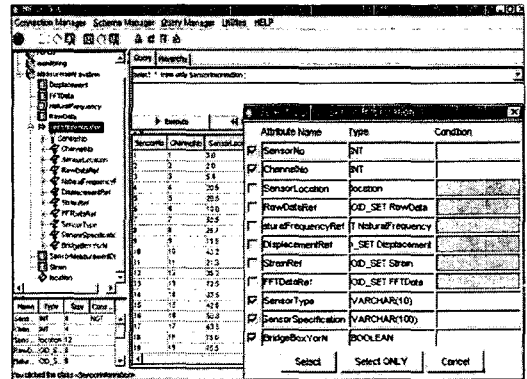


그림 6. Sensor\_Information class Query

데이터베이스는 연동되는 시스템 구성모듈과의 질의 응답과정을 통해 필요한 계측정보를 제공하고 해당 분석모듈을 통해 전달되는 결과를 데이터베이스에 구성된 해당 클래스에 저장한다.

그림 7은 경북 대구시 소재 칠성고가교를 대상으로 한 현장 시험에서 실시간으로 전달되어 데이터베이스의 Signal\_Data 클래스에 저장되어있는 가속도 데이터를 연동되는 분석모듈에서 시간영역으로 표현한 것이고, 그림 8은 분석모듈에서 주파수영역으로 분석된 PSD를 그래프로 나타낸 것이며 이것은 데이터베이스의 FFT\_Data 클래스에 객체로 저장된다.

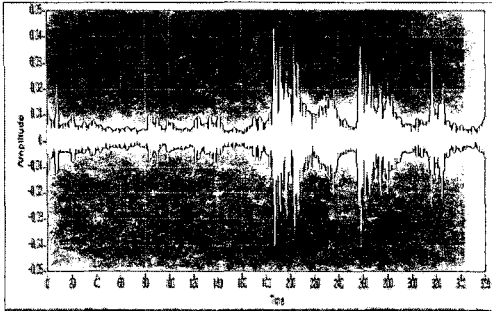


그림 7. Time domain data graph

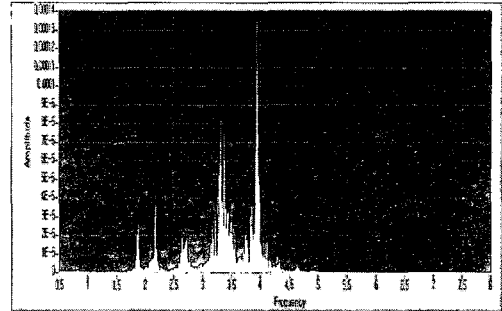


그림 8. Frequency domain data graph

## 5. 결론

본 연구는 구조계의 상시계측시스템 운용에 필요한 데이터베이스를 설계하고 가상 및 모형실험과 현장시험을 통해 시험 검증하였다. 시스템의 요구사항에 대한 분석과 객체 관계 모델링을 통해 데이터의 속성, 관계 및 구조를 표현하고 개념적, 논리적 및 물리적 관점에서 단계적 설계를 수행하였다. 구조 진단은 계획, 설계, 시공, 관리 등 구조시스템의 수명 주기 동안의 여러 활동과 연관되어 있다는 점에서 시스템 구성에는 개별 프로세스들을 연계 통합할 수 있는 환경이 바람직하다. 이러한 점을 고려하여 차후 확장 및 재사용이 용이한 객체지향개념에 기초한 실시간 객체 관계형 데이터베이스를 구현하였다.

## 감사의 글

본 연구는 2002년 한국과학재단 목적기초연구 R01-2002-000-00588-0 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 박민석, 김성곤, "고속도로상 교량계측 모니터링시스템의 통합", 대한토목학회 학술발표논문집, 제20권 제7호, 2000, pp.503-506
2. 조효남, 임종권, 민대홍, 박경훈, "대형교량의 유지관리를 위한 전산화 모니터링분석평가시스템", 한국강구조학회논문집, 제10권 제3호, 1998, pp.369-38.
3. Moss, R. M. and Matthews, S. L., "In service Structural Monitoring a state-of-the-art review", the Structural Engineer, Vol.73, No.2, 1995, pp.23-31
4. Van der Auweraer, Herman., Peeters, Bart., "Sensors and systems for structural health monitoring", Journal of Structural Control, Vol.10, No.2, 2003, pp.117-125
5. Coronel, C. and Rob, P. "Database Systems", Wadsworth, 1993
6. Batini, C., Ceri, S., and Navathe, S. B., "Conceptual Database Design: An Entity-Relationship Approach", Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1997

7. Bennett, S., McRobb, S. and Farmer, R. "Object-Oriented Systems Analysis and Design", 2nd. ed., McGraw-Hill, 2002
8. Ben Kao and Hector Garcia-Molina, "An overview of Real-Time Database Systems", Prentice Hall, 1995
9. Inman, D., "Engineering Vibration", Prentice-Hall, 1994
10. Lynn, P. A. and Fuerst, W., "Introductory Digital Signal Processing", 2nd. ed. Wiley, 1998
11. Glover, I. A. and Grant, P. M., "Digital Communications", Prentice-Hall, 1998