

웹 기반의 도시철도 전문가시스템 개발에 관한 연구

이호용 · 박기준 · 안태기 · 이안호 · 하천수

한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단

A Study on the Development of Web based Expert System for Urban Transit

Hoyong Lee · Kijun Park · Taiki Ahn · Ahnho Lee · Chensoo Ha

Korea Railroad Research Institute

Abstract-Urban transit is a complex system that is combined electrically and mechanically, it is necessary to construct maintenance system for securing safety accompanying high-speed driving and maintaining promptly. Expert system is a computer program which uses numerical or non-numerical domain-specific knowledge to solve problems.

1. 서 론

미국, 일본, EU 등 선진국을 중심으로 한 세계의 철도산업은 정보 기술(information technology) 적용에 의한 표준부품의 공동개발 및 조달, 차량개발 단계, 부품의 품질향상 도모 및 중복투자 방지 등 전략적 제휴를 통한 공조, 공생 체계를 구축하고 있다. 반면 국내 도시철도 분야는 일부 전산화가 이루어져 있으나 체계적이고 통합관리 운영되는 정보화 수준에는 도달하지 못한 실정이다.¹⁾ 따라서 고장 원인을 신속히 진단하고 체계적인 대처방안을 제시할 수 있는 논리체계를 정립하여 작업자에게 전달해 줄 수 있는 방법을 찾을 필요가 있다. 현재의 고장진단 전문가는 도시철도에서 발생하는 다양한 고장 증상에 대해 시행착오(trial and error)를 통한 경험적 추론과 겸중을 바탕으로 문제를 해결하고 있다. 이러한 경험적 지식(heuristic)을 지식 베이스(knowledge base)로 체계화하여 전문가시스템을 구축한다면, 보다 효과적이고 신속한 문제해결이 가능할 것이다. 전문가시스템은 1965년 DENDRAL²⁾이라는 물질의 화학 구조식을 추정하는 전문가시스템, 1976년 MYCIN³⁾이라는 의료용 진단 전문가시스템을 시초로 발전되었다. 이러한 전문가 시스템을 기계분야에 적용, 경험적지식을 체계화하여 기계의 결함을 유발시키는 고장부위나 고장원인 탐색을 위한 진단절차 및 유지보수 절차에 대한 선행 연구가 필요하다. 전문가 시스템을 개발하기 위해서는 고장영향분석(FMEA: Failure Mode and Effect Analysis), 고장트리분석(FTA: Failure Tree Analysis)과 결정테이블(DT : Decision Table)이 구축되어야 한다.³⁾ 서동규 등⁴⁾은 공작기계의 고장을 FTA를 기반으로 고장을 체계화 하여 규칙기반의 전문가시스템을 개발하였으나, 적용대상이 공작기계라는 단일 시스템에 한정 되었다. 이제식 등⁵⁾은 복사기의 유지보수 과정에 대하여 규칙기반 전문가시스템과 사례기반 전문가시스템을 혼합한 하이브리드 전문가시스템을 개발하고 그 성능을 비교 평가하는 연구를 수행하였다. 그러나 개발된 시스템은 CS(Client/Server)버전으로써 웹 기반을 이용한 시스템에 비해 지식축적의 한계가 있다.

본 연구에서는 도시철도라는 대형 복잡시스템의 보다 효과적인 유지보수 작업을 위하여 사고/고장분류 체계를 표준화하여, 이를 지식베이스로 구축한 데이터베이스를 통해 규칙기반 시스템과 사례기반시스템을 웹 기반으로 개발하고자 한다.

2. 도시철도 사고/고장 분류 체계 표준화

현재 도시철도 유지보수체계의 표준화에 대한 연구가 진행 중에 있으며 이는 유지보수를 위한 BOM(Bill Of Materials), 자재코드, 사고/고장코드 및 전자문서에 대한 표준화로 크게 나누어서 수행하고 있다. 표준화된 결과는 정보화 시스템에 반영되어 각종 정보의 데이터베이스화, 전문가시스템 등에 활용된다.

2.1 사고/고장 코드 구성

현재 도시철도 운영기관에서 사용하고 있는 고장 및 조치내역의 예이다. Table 1에서 볼 수 있는 고장 및 조치내역은 다음과 같은 문제점이 있다. 첫째, 용어가 통일되지 않았다. 둘째, 분류가 제대로 이루어지지 않았다. 셋째, 전체가 세 항목으로만 분류되어 있는데 이는 사고/고장에 대한 모든 정보를 담아내기

에 부족하다. 넷째, 각 호선별 혹은 각 기지별 고장 데이터의 형식이 다르다. 따라서 본 연구에서 구현한 고장코드는 Fig. 1과 같이 현재 각 차량 기지에서 작업자들이 하고 있는 사고/고장 분류 항목을 종합하여 구성하였다. 따라서 사고/고장코드는 14개의 대분류, 중분류, 고장현상, 고장원인, 치명도로 총 8자리로 구성된다.

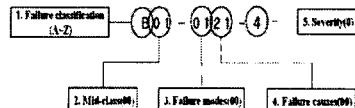


Fig.1 Failure code indexing order

2.2 전동차의 BOM 구성

전동차의 BOM은 특정 제품이 어떤 부품들로 구성되는가에 대한 계층데이터로 기본적으로 부품고장이 발생한 경우 혹은 정기적인 유지보수를 수행하는 경우 교체되는 최소 단위인 LRU(Line Replaceable Unit)로 구성된다.

본 연구에서는 기존의 수직적인 구조를 가지는 BOM 데이터 대신, Fig. 2와 같은 컴포넌트(component) 개념을 도입하여 전동차의 마스터 BOM 설계를 선행하고, 룰셋(ruleset)에 따라 기능별 BOM을 구성하는 컴포넌트 기반의 BOM 관리시스템을 구축하였다. 이를 통해 Fig. 3과 같이 환경 변화나 데이터 변환 시에는 룰셋의 변경만으로 구조가 변화하도록 하여, 설계 시 적용된 내용의 변경이 있어도 통합적으로 관리되어 반영될 수 있도록 하였다.⁶⁾

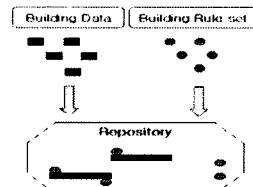


Fig.2 Generation of function BOM based on component from master BOM

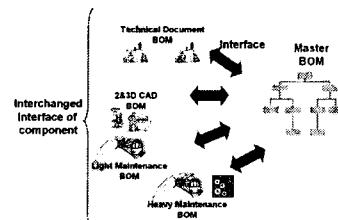


Fig.3 Construction of function BOM

3. 도시철도의 전문가시스템 개발

본 논문에서 구축한 전문가시스템은 Fig. 4에서와 같이 지식 베이스, 추론 엔진, 작업자 인터페이스(UI)의 기본 요소와 DBMS(DataBase Management System), 지식획득의 지원 요소로 구성된다.

3.1 데이터베이스 설계

본 연구에서 구축한 데이터베이스는 빠른 처리속도, 안정성, 유지보수 용이성, 확장성을 고려하여 구축하였다. 이를 위해 데이터 모델링을 통한 정규화, 비정규화로 최적의 데이터베이스 구조로 설계하였고, 업무처리유형 분석을 물리적 데이터베이스로 설계하였다. 또한, 데이터의 네트워크 이동성을 최소화하고 단순화 할 수 있도록 설계단계에 반영하고, 대용량 데이터의 빠른 처리를 보장하기 위해 DBMS(Data Base Management System) 설정을 최적화 하였다.

이를 기반으로 ERD(Entity Relationship Diagram)에서는 분석단계에서 도출한 객체모형인 개념적 데이터베이스를 근간으로 상세한 논리적 데이터베이스를 설계하였다. 이를 물리적(physical) 데이터베이스와 논리적(logical) 데이터베이스로 구분하여 각 테이블의 Primary Key 와 Foreign Key를 설정하고, 각각의 속성을 상세화 하였다. 개념적 데이터베이스로 도출한 분석단계 객체의 각 속성과 환면설계를 참조로 구체적인 논리데이터 엔티티(Entity)와 속성을 연결한 ERD를 설계하였다. 물리적 설계는 점진적 개발 단계에 구체적인 DAO(Data Access Object) 작성에 의한 SQL(Structured Query Language)문을 구체화 함으로써 필요한 물리적 모델을 구성하였다.

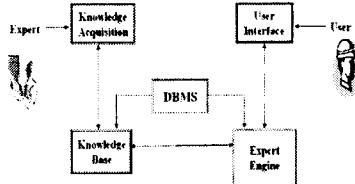


Fig.4 Structure of expert system

이와 같이 구성된 ERD는 각 어플리케이션 컴포넌트별 추출된 테이블의 개수가 8개인 전문가시스템으로 구성하였다. 설계된 ERD는 자동화 툴(tool)인 ER-Win에 의해 작성되고, ERD 이미지지만으로는 정의한 내용을 상세히 볼 수 없어 테이블 정의서(Table Specification)를 작성하였다. 테이블 정의서에서는 엔티티별로 테이블과 영문명을 정의하여, 물리적 데이터베이스 설계를 통해 각각의 테이블과 컬럼(Column)으로 정의할 수 있도록 하였다. 각 테이블 정의서에는 ERD에서 정의한 데이터를 테이블 ID, 테이블 명, 테이블 설명, 컬럼 ID, 컬럼 명, 컬럼 설명, PK(Primary Key), 타입(type)등으로 구성하였다. 본 연구를 통해 구축한 데이터베이스는 Fig. 5에 나타내었다.

3.2 추론엔진

본 연구에서 구축한 추론엔진 알고리즘은 전문가시스템의 두뇌 역할을 하는 가장 중요한 요소로서 사실상 추론 엔진의 성격에 따라 전제 시스템의 개념이 달라진다. 추론 엔진은 앞서의 지식베이스와의 연관성, 적용 대상에 대한 효율성을 고려하여 결정하여야 한다. 전문가시스템은 추론 엔진의 방식에 따라 규칙기반 전문가시스템과 사례기반 전문가시스템이 있다.⁸⁾

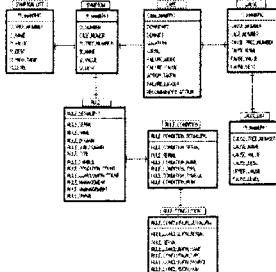


Fig.5 Expert system ERD

3.2.1 규칙기반 전문가시스템

규칙기반추론(Rule Based Reasoning, RBR)을 이용한 전문가시스템은 대상 영역의 유지보수 과정을 통한 전문가의 경험을 규칙화 하여 지식표현 기법에 따라 표현하고, 이를 데이터베이스에 저장하여 전방향추론(forward reasoning)으로 해를 찾아내는 시스템이다. 여기서 전방향추론이란 데이터베이스에 저장된 지식을 초기 상태부터 목표 상태로 이동하는 탐색 방법이다. 본 연구에서는 이러한 규칙기반 전문가 시스템을 구축하기 위해 도시철도 운영기관의 실제 유지보수 과정에서 축적된 지난 5년간의 고장데이터를 분석하여 메모리 상에 총 300 여개의 초기 규칙을 생성하였다.

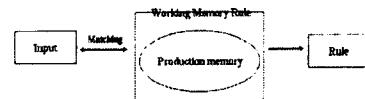


Fig.6 Pattern Matching

```

start:
  wait until user select a category
  FRL <- nil; /* failed rule list */
  SRL <- nil; /* succeeded rule list */
  STM <- nil; /* short term memory */

  /* select first rule in the category, which is not in FRL
   * if there is no rule remained then display "failed"
   * goto start
  endif

  c: if premise is "1" /* premise is in STM */
      then check the premise in STM
      if premise is true then goto a
      else goto b
    endif
    else ask user the premise
    store the answer in STM
    if answer is true then goto a
    else goto b
  endif
endif
  
```

Fig.7 Rule based Reasoning Algorithm

규칙기반 추론 시 규칙의 패턴 매칭(pattern matching)은 Fig. 6과 같이 입력값이 들어오면 워킹 메모리(working memory) 상에 생성된 규칙중에서 입력값에 적합한 규칙을 매칭한다. 따라서 입력값에 대한 적합한 규칙이 매칭되면 그 결과값으로 매칭된 규칙을 도출한다. 입력값에 따른 패턴 매칭은 워킹 메모리 상의 제일 앞선 규칙, 우선순위를 가진 규칙, 조건이 많은 규칙, 최근에 생성된 규칙의 순으로 이루어진다. 이에 관한 규칙기반 추론의 알고리즘은 Fig. 7과 같다.

본 연구에서 구성한 규칙기반 추론 알고리즘은 우선 3개의 카테고리로 나뉜다. FRL (Failed Rule List)은 입력값과 생성된 메모리상의 규칙과 패턴 매칭을 수행하여 매칭된 결과를 도출하지 못한 규칙 리스트이다. SRL (Succeeded Rule List)는 패턴 매칭을 통하여 작업자가 원하는 결과값을 얻어낼 수 있는 규칙 리스트이다. STM (Short Term Memory)은 규칙기반 추론 시 결과값을 도출하기 위한 추론과정을 일시적으로 저장한다. 추론과정은 우선 작업자로부터 입력값을 받으면 추론엔진은 조건을 통하여 FRL과 SRL으로 나뉘어서 추론을 한다. 이 과정에서 FRL에 들어온 규칙은 생성된 규칙을 통하여 반복적인 추론 과정을 통해 최종적으로 SRL인 규칙과 일치하게 되면 결과값을 출력한다. SRL의 규칙을 통해 얻어진 결과값은 STM을 통하여 추론이 끝난 후에 작업자에게 결론을 도출하는 동안 이용된 규칙을 보여준다. 예를 들면 Fig. 8과 같이 '밸브 플레이트 수리'라는 입력값을 받게 되면 메모리에서는 저장된 규칙과 매칭을 한다. 규칙기반 추론 엔진은 '고무 평면 평활도'라는 매칭된 규칙을 도출하고, 이를 다시 입력값으로 받아들여 이러한 루트(route)를 거쳐 종종적으로 패턴 매칭을 재수행한다.

```

function 밸브 플레이트 수리
  if (고무표면 평활도>0.2 mm)
    then (display,고무표면 연마)
  if (고무표면 평활도<0.2 mm)
    then (display,밸브 플레이트 교환)
  
```

Fig.8 Production rule

'고무평면 평활도'가 0.2mm이상일 경우 '고무평면 연마', '고무평면 평활도가 0.2mm이하일 경우 '밸브 플레이트 교환'이라는 결론을 도출한다. 결론적으로 도출된 규칙이 작업자가 원하는 값이면 추론을 마치고, 원하지 않는 값이면 상기한 추론과정을 반복 수행하여 그 결과값을 도출한다.

3.2.2 사례기반 전문가시스템

사례기반 추론은 전문가가 가지고 있는 경험 및 비 정형성 고장을 사례(case)로 기억하여 문제를 주어지면 데이터베이스에서 가장 유사한 사례를 주출하여 그 결과를 직접 또는 부분적으로 이용하는 문제 해결 방법이다. 본 연구에서 구성한 사례기반 추론의 알고리즘은 Fig. 9와 같다.

```

begin
  read new case,n
  extract records in the same category
  for each record,i
    global_sim[i] = 0
    for each feature,j
      local_sim[j] = local_similarity(case,n,record,i)
      % cell function
      local_sim[j] = weight[j] * local_sim[j]
    end;
    global_sim[i] = global_sim[i] + local_sim[i]
  end
  collect N records with largest global_sim
  % N nearest neighbor algorithm
  display N records with associated remedy
  register case,n with cause and remedy
end
  
```

Fig.9 Case based Reasoning Algorithm

사례시반 추론의 알고리즘은 유사도 검색을 통해 결론을 도출한다. 지식베이스로 구성된 사례를 작업자가 키워드를 통해 검색을 하면 Fig. 10과 같이 추론엔진은 입력된 키워드에 따라 우선 지역적 유사도(Local Similarity) 검색을 하여 각 음절을 비교하여 가장 유사한 값을 추론한다. 또한 고장현상, 고장원인 등의 검색창을 두어 지역적 유사도 검색의 조합으로 다중 키워드 검색인 전역적 유사도(Global Similarity) 검색을 통해 가장 유사한 값을 추론한다. 추론 시 유사도를 1, 0으로 나누어 각 음절마다의 키워드를 인식한다. 유사도가 1일 경우 일치하는 키워드를 사례로 도출하고, 유사도가 0일 경우 검색을 재수행하여 유사도 1을 만족할 때 결과값으로 인식하여 사례를 도출한다.

4. 웹기반의 도시철도 전문가시스템

웹기반의 전문가시스템은 고장으로 발전할 수 있는 정후를 인지하였을 때 고장의 원인을 진단하는 절차, 고장의 원인이 규명되었을 때 정비 절차를 웹기반으로 제공하는 것과 같은 사후 조치의 측면이 시스템이다. 현재의 도시철도 유지보수는 각 호선별, 기지별 독립된 차량 기지에서 이루어지므로 유지보수 정보 역시 산재되어 있다. 따라서 본 연구에서는 산재된 유지보수 정보를 통합 관리하기 위해 웹기반으로 유지보수 전문가 시스템을 구축하였다. 작업자들은 웹페이지에 접속해서 전문가시스템에게 질문하고 해당을 연도록 구성하였으며, 또한 작업자의 해결 사항은 다시 피드백 되도록 하여 전문가시스템의 지식베이스 확장 및 신뢰도를 향상 시키고자 하였다.

```

Local Similarity
sim_k(Sym_i, Sym_j)
: similarity between
Sym_i & Sym_j based on k-th attribute
: (K nearest neighbor)

Global Similarity
sim (Sym_i, Sym_j)
= Sum w_k * sim_k(Sym_i, Sym_j)

```

Fig.10 Similarity Searching

본 연구에서의 전문가시스템 개발 도구로는 가장 효과적인 웹개발 언어라고 알려져 있는 JAVA⁹⁾, JSP¹⁰⁾를 사용하였다. 이는 전문가시스템 웹이나 인공지능 언어가 아니더라도 JAVA, JSP를 통해 본 연구에서 구현하고자 하는 수준의 지식 표현과 추론이 가능하다고 판단하였기 때문이다. 지식베이스 관리를 위한 데이터베이스(Database)는 오라클9i(ORACLE9i)¹¹⁾를 사용하였다.

시스템 구현을 위한 전체적인 구성도를 Fig. 11에, 시스템 흐름도를 Fig. 12에 나타내었다. 프레임의 구성 내용은 사고/고장 분류체계를 기반으로 유지보수 작업 내용 입력부와 연계하였다. 입력부에서는 고장 내역을 입력하고 유지보수 작업 후 상세 내용을 입력함으로써 하나의 사례가 등록된다.



Fig.11 Structure of expert system

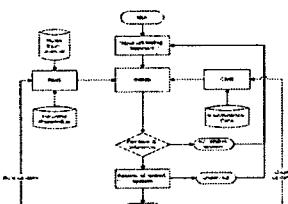


Fig.12 Flow chart of expert system

차량을 구별할 수 있는 기본 정보와 사고/고장 분류 체계에 따른 내용, 그리고 상세 입력을 위한 고장현상개요, 고장원인개요 등으로 이루어져 있다.

사례 검색단은 Fig. 13과 같이 고장현상개요, 고장현상 등 5개 항목으로 검색하도록 하였다. 각 항목간의 연계를 통한 다중 검색도 가능하도록 구성하였다. 문제가 해결되었을 경우, 작업자는 해당 사례에 성공 사례로 기록할 수 있으며, 이는 추후 동일 키워드 검색 시 작업자에게 우선 제시되도록 하여 탐색 시간을 줄이고자 하였다. Fig. 14는 사례기반 전문가시스템의

결과 화면이다.

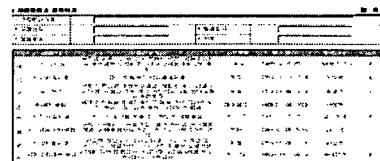


Fig.13 Retrieval window of case-based expert system

사례검색 결과 목록	
선택번호	선택
사례ID	74499
사례명	고장현상
설명	고장현상
작업자	1000000000000000000
작업일자	2008-07-27
작업내용	고장현상
작업상태	작업 완료
작업결과	성공
작업자	1000000000000000000
작업일자	2008-07-27
작업내용	고장현상
작업상태	작업 완료
작업결과	성공

Fig.14 Result window of case-based expert system

5. 결 론

도시철도 유지보수 전문가시스템의 프로토타입 구축으로 얻을 수 있었던 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 사고/고장 분류체계의 구성으로 그 활용성의 기반이 마련되었다고 할 수 있다.
- 2) 사고/고장 분류체계를 기반으로 통일된 입력 형태인 사례기반 전문가시스템의 프레임을 이용하고 이를 웹 환경으로 구현함으로써 정보공유의 기초를 마련하였다.
- 3) 표준전동차 정비지침서 등의 관련서적에서 제공하는 정비절차를 부품을 기준으로 조건과 결론으로 객체화시켜 모델링하고 대화식으로 추론 과정을 거친으로써 고장원인의 진단 및 정비절차를 제공 할 수 있었다.
- 4) 과거의 사례가 새로운 문제 해결에 도움이 된다는 사실에 근거하여 사례기반 전문가시스템을 구현하였으며, 따라서 할 후 데이터가 적 충될수록 유지보수 작업의 효율성 및 신뢰성을 높일 수 있는 근거를 마련하였다.

References

- 1) Lee, H. Y., and etc, "A Study on the RAMS for Maintenance CALS system for Urban transit", Korean Society for Railway, Vol. 6 No. 2, pp.108~113, 2003.
- 2) Patterson, Dan W, Introduction to Artificial intelligence and expert systems, 1995.
- 3) Bae, Y. H, Lee, H. K, and etc, "Fault diagnosis of walking beam roller bearing by FTA", Korean Society of Precision Engineering, Vol. 11, No.5, pp.110-123, 1994.
- 4) Suh, D. K, Kang, M. J, "Development of an Expert System for Machine Tool Diagnosis ", Korean Society of Precision Engineering, Vol.16, No.10, pp. 217-224, 1999.
- 5) Lee, J. S, Kim Y. G, "A Hybrid Malfunction Diagnosis System using Customer-Reported Symptoms", Korea Expert System Society, Vol.4, No.1, pp.115-131, 1998
- 6) Mason-Jones, R, Towill, D. R, 1997, "Information enrichment : designing the supply chain for the supply chain for competitive advantage," Supply chain management, Vol. 2, No. 4.
- 7) Orfali, R, Harkey, D, Edwards, J, 1998, "Instant CORBA", John wiley & sons.
- 8) Lee, J. S, Kim Y. G, "A Hybrid Malfunction Diagnostic System using Rules and Cases", Korea Expert System Society, Vol.4, No.1, pp.115-131, 1998
- 9) J2EE(tm) Developer's guide.
- 10) JSSE for the Java 2 SDK Standard edition, v1.4.
- 11) Oracle 9i user's guide.