

# 도시철도 차량의 지식기반 유지보수 방안

## Knowledge-based maintenance system for EMU

안 태 기\*                      신정렬\*\*                      박기준\*\*                      정종덕\*\*  
Ahn, Tae Ki      Shin, Jeong Ryol      Park, Kee Jun      Chung, Jong Deok

---

### ABSTRACT

Since the most part of maintenance work for EMU depends on the worker's know-how, the quality of maintenance is different according to the worker's skill and experience. Especially EMU is composed of the various parts such as electrics, electronics, communication, signal, and machinery, etc., and performs its function by their organic work. Therefore it is very difficult to improve the quality of maintenance for EMU. In this paper we purpose how to change the know-how-based maintenance method to knowledge-based maintenance method. Consequently we can ensure the quality of maintenance for EMU, and improve the quality by continuous maintaining the knowledge.

---

### 1. 서론

지능형 시스템에 대한 연구는 오래 전부터 실시되어 오던 분야이며 다양한 접근 방식에 따른 연구가 진행되어 왔다. 지능형 시스템에 대한 초기 연구는 문제영역의 지식을 술어논리형태로 표현하고, 이러한 지식으로부터 논리적인 추론을 수행하여 결론을 연역하는 방식에 대한 연구가 활발하게 진행되었다. 그러나, 1970년대에 들어 실제 현장에서 적용하기 위해서는 문제영역의 방대한 지식을 활용하는 지식기반 시스템을 구축하고 특정 도메인에 한정하여 개발하는 것이 가능하다는 인식이 널리 퍼지기 시작하였다. 많은 연구를 통하여 지식기반 시스템은 추론엔진 보다는 시스템에 적재된 지식에 의하여 시스템의 성능이 결정되는 경우가 많다는 것이 입증되었다. 이러한 지식기반 시스템은 전문가 시스템이라는 이름으로 많이 인식되어져 왔다. 전문가 시스템에 대한 정의는 다양하지만 일반적으로 특정한 영역에서 복잡한 문제를 해결하기 위하여 전문가가 수행하는 절차를 묘사하는 컴퓨터 프로그램이라고 할 수 있으며, 이러한 정의에 의하면 전문지식은 인간에서 컴퓨터로 이동될 수 있으며, 컴퓨터 내에 적절한 형태로 저장될 수 있다. 또한 사용자가 필요한 경우 이러한 지식과 관련된 내용을 컴퓨터에 언제든지 요구할 수 있다. 컴퓨터는 이러한 요구에 따라 컴퓨터 저장소에 저장된 내용을 기반으로 현재 요구사항에 가장 적합한 결론을 추론하여 사용자에게 제공한다.

그동안 전문가 시스템과 같은 지식기반시스템은 의학분야의 MYCIN에서부터 컴퓨터 설계분야의 XCON에 이르기까지 다양한 분야에서 성공적으로 적용되고 있으며, 컴퓨터의 발전과 더불어 그 적용분야가 점점 더 넓어질 것으로 보인다. 지식기반 시스템의 응용분야는 설계, 진단, 평가, 의사결정 등 다양한 분야가 될 수 있으며, 특정한 영역별로 해당 시스템을 구축하고 있다.

---

\* 책임저자, 정회원, 한국철도기술연구원

E-mail : tkahn@krri.re.kr

TEL : (031)460-5714 FAX : (031)460-5749

\*\* 한국철도기술연구원

도시철도차량 분야의 지식기반 시스템은 매우 제한적으로 개발이 진행 중이다. 도시철도차량은 한꺼번에 많은 사람을 수송하는 대형 시스템으로 운행 중 고장이 발생하는 경우 사회적으로 많은 비용 손실을 발생하게 된다. 그러므로 고장시 신속한 복구가 요구되고 있으며, 정확한 고장원인을 밝혀 유사 고장의 반복을 최소화 하여야 한다. 그러나, 도시철도차량 시스템은 복잡한 대형 시스템으로 고장 발생시 원인을 밝히기가 쉽지 않다. 도시철도차량의 신속한 고장 복구와 정확한 고장원인 파악을 위해서는 숙련된 전문가의 노하우가 절대적으로 필요하다. 현재 도시철도 차량의 유지보수 작업은 많은 부분을 작업자의 노하우에 의존하고 있으며, 유지보수의 품질은 작업자의 숙련도와 경험에 따라 많은 차이를 보이게 된다. 특히 도시철도 차량은 전기, 전자, 통신, 신호, 기계 등 다양한 분야의 장치들로 이루어져 있으며 서로 유기적인 작용으로 정해진 기능을 수행하고 있으므로, 유지보수의 품질을 향상시키기가 힘들다[1,2].

본 논문에서는 노하우에 의존하고 있는 유지보수체계를 지식기반의 유지보수체계로 변경하기 위한 방안에 대하여 제시한다. 도시철도차량의 특성을 분석하여, 소분야별로는 규칙기반의 시스템을 제안하였으며, 전체적인 시스템에 적용하거나 초기 지식획득과정에서는 사례기반의 시스템을 제안함으로써 단계별로 지식기반의 유지보수체계로 변환할 수 있는 방안을 제시하였다. 기존의 노하우 기반의 유지보수체계에서 지식기반의 유지보수 체계로 변경됨으로 인하여 일관된 유지보수 품질을 확보할 수 있으며, 지속적인 지식의 관리를 통하여 유지보수 품질을 향상시킬 수 있다.

## 2. 지식 관리 모델

### 2.1 지식의 종류

지식은 크게 두 가지 형태의 지식으로 나눌 수 있다. 하나는 암묵적 지식(tacit knowledge)이며, 또 다른 하나는 형식적 지식(explicit knowledge)이다[3]. 암묵적 지식은 오랜 기간 동안 업무를 통하여 체득한 지식으로 일반적으로 노하우라고 부르는 보이지 않는 무형의 지식이다. 반면에 형식적 지식은 정비 매뉴얼, 도면 등과 같이 일반적으로 문서로 표현되는 유형의 지식이다. 기업들은 형식적 지식에 대한 관리에 대하여 많은 노력을 기울이고 있으나, 암묵적 지식에 대해서는 많은 노력을 기울이지 못하고 있는 실정이다. 형식적 지식에 대해서는 자료의 디지털화 및 전산화 등을 통하여 지식의 저장, 조회 등을 수행하고 있어 다른 사람에게 쉽게 전달할 수 있도록 하였으나, 암묵적 지식은 각 개인에게 속해있는 지식으로 개인별로 습득하고 있는 정도가 틀리고 다른 사람에게 전달되기 어려운 지식이다. 현재 각 기업들은 형식적 지식과 더불어 암묵적 지식을 획득하기 위한 다양한 방안에 대하여 연구하고 있다. Nonaka는 형식적 지식과 암묵적 지식의 상호 변환을 네 가지 모드로 분류하여 설명하였다. 첫 번째 모드는 암묵적 지식에서 암묵적 지식으로의 변환이다. 이러한 변환은 개인간의 상호작용에 의하여 이루어지는 활동이며 이러한 암묵적 지식은 언어의 개입 없이도 이루어질 수 있다. 초보자들은 숙련자로부터 언어 보다는 관찰, 모방, 연습 등을 통하여 학습을 하게 되는 것이다. 암묵적 지식을 통하여 얻을 수 있는 것은 바로 경험인 것이다. 경험을 공유할 수 있는 어떠한 형태가 존재하지 않는 한 이러한 경험을 다른 사람과 공유하는 것은 아주 어려운 일이다. 경험을 공유함으로써 암묵적 지식을 창조하는 과정을 사회화(socialization)라고 한다. 지식 변환의 두 번째 모드는 개인에 의하여 보관되고 있는 형식적 지식을 서로 교환하고 종합함으로써 새로운 지식을 창조하는 것이다. 이러한 활동은 모임이나 전화 등을 통해서 이루어지며 기존 정보의 정리, 새로운 정보 추가, 재분류, 재배열 등의 재구성을 통하여 새로운 지식을 생산하는 것이다. 형식적 지식으로부터 형식적 지식을 창조하는 것을 조합(combination)이라고 한다. 지식변환의 세 번째와 네 번째 모드는 암묵적 지식과 형식적 지식의 상호 변환에 대한 것이다. 암묵적 지식으로부터 형식적 지식으로 변환하는 것을 형식화(externalization)라고 하며, 그 반대로 형식적 지식을 암묵적 지식으로 변환하는 것을 일반적으로는 학습(learning)이라고 하며 여기서의 암묵화(internalization)라고 한다. 사회화, 조합, 암묵화에 대해서는 조직적인 이론측면에서 분석할 수 있다. 그러나, 형식화에 대한 문제는 아직까지 많은 발전을 이루지 못하고 있다.

## 2.2 지식 표현방법

지식을 시스템 내부에 표현하기 위해서 많은 연구가 진행되었으나, 크게 형식적 표현방식과 비형식적 표현방식으로 나눈다. 형식적 표현방식은 논리에 근거를 둔 표현 방식으로 논리학을 그대로 받아들일 수 있어 초기의 인공지능 분야에서 많이 사용되어 온 방식이다. 이 방식은 공학자들이 이해하기 쉽고 모든 지식을 논리적으로 표현하기 용이하여 시스템으로 구현하기가 비교적 쉽다. 그러나, 모든 지식을 논리식에 의해 표현하는 것이 어려우며, 추론과정 또한 기계적인 논리학에 의해서만 이루어지는 것이 아니므로 형식적 표현방식은 한계를 가지고 있다. 반면에 비형식적 표현방식은 지식을 프레임 단위로 표현하거나 의미망으로 지식을 표현함으로써 표현 방식에 있어서 보다 유연성을 제공해 준다. 프레임은 엔티티를 표현하기 위한 속성들의 값들의 집합이라고 할 수 있다. 실질적으로 이러한 프레임은 하나의 프레임만으로 지식을 표현하는 경우는 드물고, 한 프레임의 속성값이 다른 프레임이 될 수 있도록 구성되는 경우가 많다. 의미망은 한 개념의 의미를 다른 개념과의 연결 방식에 의하여 결정짓는 것으로 의미망에서 정보는 레이블이 붙여진 아크에 의해 연결된 노드의 집합으로 표현된다. 그림 1은 이러한 의미망에 대한 예를 나타낸 것이다.



그림 1. 의미망 구성 예

## 2.3 지식 검색방법

지식 검색 방법은 추론엔진에 따라 크게 규칙기반 추론 방법과 사례기반 추론 방법으로 나누어지며, 최근에는 이러한 두 방법을 혼합한 혼합형 방법도 제안되고 있다[4].

규칙기반 추론(RBR; Rule-Based Reasoning) 방법은 규칙으로 표현되는 지식을 이용하여 새로운 문제에 대한 해결책을 찾아내는 방법으로서, 전문가의 경험적인 지식들을 규칙화하여 지식표현 기법에 따라 표현하고, 발생한 문제에 대해 적용 가능한 규칙을 추출하여 추론과정을 진행한다. 규칙기반추론시스템은 일반적으로 규칙을 보관하고 있는 생성메모리(production memory), 추론과정 중에 필요한 사실들에 대한 내용을 임시로 기억하는 작업메모리(working memory), 지식베이스를 바탕으로 추론을 수행하는 추론엔진으로 구성된다. 새로운 문제가 들어오는 경우 그 문제는 작업메모리에 저장되며, 생성메모리 내의 규칙과 패턴 매칭되는 규칙들을 찾아내어 최적의 규칙을 찾아내고, 선택된 규칙을 이용하여 얻은 새로운 사실들을 작업메모리에 저장하여 다시 패턴 매칭을 실시하는 절차를 수행하게 된다. 그러나, 지식에 대해서 일반화된 규칙을 정의하기 힘든 상황에서는 이러한 방식을 적용하기가 힘들며, 전문가로부터 지식을 획득해야 하므로 지식의 확장성에 한계를 나타내고 있다. 이러한 규칙기반 시스템의 한계를 극복하기 위하여 전문가들의 실제 사례를 이용하여 추론시스템을 구축하는 사례기반 전문가 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되었다.

사례기반 추론(CBR; Case-Based Reasoning) 시스템은 규칙기반의 한계를 극복하기 위하여 개발되었다. 전문지식을 If-then 으로만 표현하던 이전의 규칙기반 접근 방법과는 달리 사례기반 시스템은 지식

들이 사례들로 그룹화되고 저장될 수 있도록 한다. 즉, 사례기반 시스템은 주어진 새로운 문제를 과거의 유사한 사례를 바탕으로 주어진 문제의 상황에 맞게 응용하여 해결해 가는 기법이라고 할 수 있다[3]. 그림 2는 사례기반 시스템의 구성도를 나타낸 것이다.

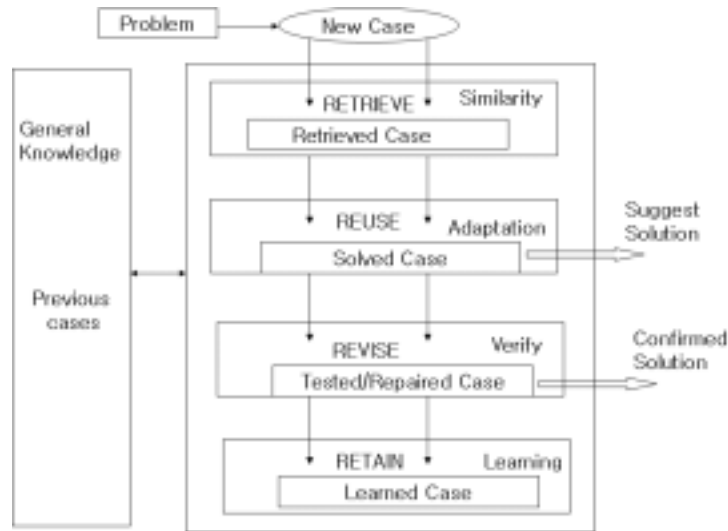


그림 2. 사례기반 시스템 구성도

그림 2에서 검색부(Retrieval)는 새로운 문제에 대해 기존의 사례와 비교하여 동일하거나 유사한 사례를 찾아내서 이용할 수 있도록 하는 일을 한다. 사례집에 있는 사례를 빠르게 검색하기 위해서는 색인화가 필수적이다. 재사용부(Reuse)는 검색된 유사한 사례들을 이용하여 문제 해결에 적용하는 일을 한다. 수정부(Revise)는 검색된 사례가 현재 입력된 문제에 그대로 적용할 수 없는 경우에 가장 유사한 사례를 이용하여 수정하는 일을 한다. 저장부(Retain)는 확인된 해결안이 사례집에 저장되는 단계로 지식을 습득하는 일을 한다.

### 3. 도시철도 차량 지식기반 유지보수 시스템

#### 3.1 도시철도 차량 유지보수 특성

도시철도차량은 일반적으로 각 고유의 기능을 수행하는 몇 개의 차량들이 모여 하나의 편성을 이루어 도시철도차량의 종합적인 기능을 수행하는 대형 시스템이다. 도시철도차량의 종류를 크게 나누면 제어차(Tc), 동력차(M; M1, M2), 부수차(T; T1, T2)로 구분할 수 있다. Tc차는 운전실이 있고 동력을 갖지 않는 차량이고, M차는 운전실이 없고 동력을 가진 차량이며, T차는 운전실과 동력을 모두 갖지 않은 차량이다. 이러한 차량들은 각각 기능을 수행하기도 하지만 일반적으로 1편성 단위로 이루어져 완벽한 기능을 수행하게 된다. 즉, 도시철도차량은 상호 통신 및 제어신호를 통하여 종합적인 기능을 수행하고 있으므로 그 중 어느 하나의 기능에 이상이 발생하더라도 제대로 된 기능을 수행하기 어렵다. 이러한 문제를 분석하고 해결하기 위하여 지난 수 년 동안 고장영향분석(FMEA; Failure Mode and Effect Analysis), 고장트리분석(FTA; Failure Tree Analysis) 등에 대한 연구를 진행하고 있으나, 현재까지 현장에서 적용할 만큼의 결과는 나오지 못하고 있다[5]. 또한 도시철도차량에 대한 구조를 파악하기 위하여 가장 기본적인 정보로 사용할 수 있는 BOM(Bill of Material)에 대한 연구도 진행 중에 있으며, 유지보수를 위한 BOM 구축이 활발하게 진행 중이다[6].

현재 국내 도시철도 운영기관에서는 도시철도차량을 유지보수하기 위하여 계획을 수립하고, 수립된 계획에 따라 일반적인 절차에 의하여 유지보수 작업을 수행한다. 만약 도시철도차량 고장이 발생한 경우

실제적으로 고장원인을 밝히는 것이 매우 어려우며, 고장원인을 밝히기 위해서는 많은 분야의 전문가와 상당한 기간의 시간이 필요하다. 그 원인은 위에서 설명한 바와 같이 도시철도차량이 기계, 전기, 전자, 컴퓨터, 통신, 제어 등 다양한 분야와 수많은 부품으로 이루어져 있어 상호 연관 관계를 파악하는 것이 매우 어렵기 때문이다. 그러나, 근래에 도입되는 도시철도차량은 모두 전자화, 컴퓨터화 되어 운행 중에 발생하는 다양한 데이터를 수집하여 작업자에게 제공하고 있다. 그러나, 이러한 정보는 수집하는데 불편한 점이 많으며, 정보의 가공을 통하여 새로운 지식의 창출이 사실상 어려운 실정이다.

도시철도 차량 유지보수를 위해 사용되는 지식 중 형식적 지식에는 정비매뉴얼, 도면, 교육자료, 사례집, 고장이력, 검수/정비이력 등이 있다. 이 중에서 고정된 지식은 정비매뉴얼, 도면, 교육자료 등이 있으며, 고정되지 않고 계속 변화하는 것은 고장이력, 검수/정비이력 등이 있다. 또한 사례집처럼 일정한 기간내에서 고정되어 있는 지식도 있다. 암묵적 지식으로는 검수/정비 작업자의 노하우 및 작업의 결과에 대한 사항이다. 도시철도 차량의 유지보수 분야에서도 암묵적 지식은 숙련자로부터 초보자로 전달되기 어려운 지식이며, 이러한 암묵적 지식을 형식화하기 위한 작업들이 많이 진행 중이다. 유지보수에 필요한 이러한 지식을 표현하기 위해서는 형식적인 표현방식으로 표현하여 일반화된 규칙을 생성할 수 있으면 좋겠지만, 앞에서 기술하였듯이 도시철도 차량 시스템은 대형복잡한 시스템으로 수많은 부품들의 연결에 의하여 기능이 수행되어 일반화된 규칙을 밝히는 것은 매우 힘들다. 또한 고장 및 사고사례 등에 대한 구조화가 어려우며, 사례기반의 추론시스템을 그대로 적용하기가 상당히 힘들다. 그러므로, 유지보수를 위한 지식의 표현방식 및 추론방식에 대한 많은 고려가 있어야 한다.

### 3.2 도시철도차량 지식기반 유지보수 방안

지식기반의 효율적인 도시철도 차량 유지보수체계를 구축하기 위해서는 유지보수에 필요한 많은 전문 지식을 획득하고, 정제하여 지식베이스를 구축하는 것이 필요하다. 그러나 위에서 설명한 바와 같이 도시철도차량의 지식기반 유지보수시스템은 그 범위가 너무 방대하여 쉽게 구축할 수 있는 문제는 아니다. 일반적으로 이러한 시스템은 전문가로부터 지식과 그 문제를 풀기 위한 방법을 추출하고, 지식수집과 지식표현이라고 불리는 지식의 체계화 작업을 수행하는 과정을 거쳐야 한다.

그러나, 국내 도시철도 운영기관에서 보유하고 있는 정제된 지식의 양이 거의 없으며, 작업 현장의 특성상 사례를 수집하기가 어렵다. 또한 고장원인이 원인불명으로 나타나는 경우가 많으며, 고장이 난 후 자동으로 복구되는 경우도 생긴다. 고장이 발생한 경우 운영기관의 분야별 종사자에 따라서 신속한 복구를 최우선으로 생각할 수도 있고, 시간이 소요되더라도 정확한 고장원인을 찾아내는 것을 최우선으로 생각할 수도 있다. 이러한 특성상 도시철도차량 유지보수를 위한 일반적인 규칙을 생성하여 작업자에게 해결책을 제시하는 것에는 한계가 있다.

도시철도 차량을 유지보수하기 위해 필요한 지식은 크게 형식적 지식과 암묵적 지식으로 존재하고 있다고 하였다. 지식의 사회화, 조합, 암묵화, 형식화 과정을 모두 적절하게 실시하여야 효율적인 유지보수를 수행할 수 있다. 형식화를 제외한 나머지 과정들은 연구모임, 세미나, 교육 등으로 해결할 수 있다. 그러나, 형식화를 위해서는 일정한 부분 정보화시스템의 도움이 있어야만 가능하다. 정보화시스템을 통하여 축적된 정보를 바탕으로 새로운 지식을 창출하여야만 지식기반의 유지보수가 가능해지는 것이다. 지식의 표현방식 중 형식적 지식 표현방법은 사용자들이 직관적으로 판단하는데 많은 도움을 줄 수 있으나, 앞에서 살펴본 바와 같이 모든 시스템에 적용하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러므로, 추진제어장치, 제동제어장치, 집전장치 등 세부적인 장치들에 대하여 국부적으로 형식적 지식을 구축함으로써, 분야별 사용자들이 사용할 수 있도록 시스템을 구현해나가고, 이러한 국부적인 지식을 연계할 수 있는 방안이 필요하다. 또한 형식적이지 않은 형태의 비구조적인 지식 또한 충분한 양을 획득하여 이러한 지식을 통하여 문제를 해결할 수 있는 해결책을 추출하고 일반화된 규칙을 수립하여야 한다. 유지보수 작업자에게 새로운 문제에 대한 해결책을 제시하기 위하여 국부적인 분야에 대해서는 형식적 지식을 바탕으로 규칙기반의 추론엔진을 사용하는 것이 바람직하며, 비형식적 지식에 대해서는 새로운 지식을 추론할 수 있도록 사례기반 추론엔진을 수정하여 적용하는 것이 바람직하다.

위에서 살펴본 바와 같이 도시철도차량 시스템은 복잡하고 지식을 수집하기 어려운 환경이므로 초기에는 지식베이스를 구축하기 위한 지식의 획득에 초점을 맞추어야 하며, 충분한 양의 지식베이스를 구축한 후 소분야별 규칙기반 전문가 시스템, 사례 중심의 사례기반 전문가시스템 등의 개발이 요구된다. 특히 사례기반 시스템은 규칙기반 시스템에 비하여 현장에 적용하기가 용이하여 지식이 형식화되지 않은 초기에 사용하기에 적당하다. 이것은 사례기반 시스템이 다음과 같은 특징을 가지고 있기 때문이다. 사례기반 시스템은 추론자가 해답을 수집하는 데 필요한 시간을 줄여줌으로써 문제에 대한 해답을 즉시 도출해 줄 수 있고, 추론자가 완전히 이해하지 못한 분야에 대해서도 해답을 제시해 줄 수 있다. 또한 해답을 평가할 수 있는 적절한 알고리즘이 존재하지 않을 때에도 평가의 수단을 제시해줄 수 있으며, 사례는 제대로 정의되지 않은 개념을 정의하는데 있어서도 유용하다.

도시철도차량의 지식기반 유지보수를 위해서는 지식의 획득, 지식의 변환, 지식의 정제, 적절한 추론시스템의 선정과 더불어 정보화시스템의 개발방안에 대하여 고려하여야 하며, 형식적인 지식을 보유하고 있지 않은 초기에는 비교적 이용하기가 용이한 사례기반의 시스템을 구축하여 사용하고, 지속적인 지식의 획득과 정제를 통하여 보다 지능화된 시스템을 구축하여야 한다. 일반화된 규칙을 사용하기 위한 규칙기반의 시스템을 구축하기 위해서는 소분야별로 시스템을 구축하고, 시스템 간 연계를 통하여 시스템을 확장해나가야 한다. 또한, 운영기관별로 유지보수 환경과 현재 지식의 보유 상태에 따라 적절한 지식의 이용방법을 설정해야 할 것이다.

### 3. 결론

본 논문에서는 도시철도차량의 특성을 분석하여, 소분야별로는 규칙기반의 시스템을 제안하였으며, 전체적인 시스템에 적용하거나 초기 지식획득과정에서는 사례기반의 시스템을 제안함으로써 단계별로 지식기반의 유지보수체계로 변환할 수 있는 방안을 제시하였다. 이러한 방안에 의하여 현재 작업자의 노하우에 많은 부분을 의존하고 있는 도시철도 차량의 유지보수 작업을 지식기반의 유지보수체계로 변경함으로써 일관된 유지보수 품질을 확보할 수 있고, 지속적인 지식의 관리를 통하여 유지보수 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

### 참고문헌

1. 한국철도기술연구원 (2005), “도시철도 유지보수체계 표준화/정보화 연구개발 보고서”
2. 박기준 외 3명 (2002), “도시철도 유지보수체계 정보화시스템 구축에 관한 연구”, 한국철도학회 2002 춘계학술대회논문집, 한국철도학회, pp.922-928.
3. 김성희 (1999), “지식관리시스템의 단계별 분석 및 구축방안에 관한 연구”, 정보관리학회지, 제 16권, 제 2호, 한국정보관리학회, pp.165-182.
4. 김진평 외 2명 (2005), “진단시스템을 위한 혼합형 추론엔진”, 한국인지과학회 2005년 춘계학술대회 논문집, 한국인지과학회, pp.171-176.
5. 이호용 외 4명 (2003), “도시철도유지보수체계 시스템의 RAMS에 대한 연구”, 한국철도학회 2003 춘계 학술대회 논문집, 한국철도학회, pp.145-150.
6. 안태기 외 2명 (2005), “확장된 Generic BOM을 이용한 도시철도차량 BOM 구성”, 한국철도학회 논문집, 제 8권, 제 6호, pp.539-543.