

철도경영혁신 ERP 분류체계에 따른 철도신호시스템의 신뢰성 분석

Reliability Analysis of the railway signalling system which applied to the KNR ERP(Enterprise Resource Planning) Classification System

조래혁* 박채영** 민영희*** 윤학선****
Cho, Rae-Hyuck Park, Chae-Young Min, Young Hee Yun, hak Sun

ABSTRACT

With the introduction of the RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety), the interest of the system assurance has been increased.
First of all, fast-growing electronic circuit requires analyzing the failure rates, by dividing the signalling system more specifically.
Since 2005, the K.N.R (Korean National Railway) has incorporated ERP(Enterprise Resource Planning) in order to establish the complete status as the top international comprise, therefore while ordering the project, it has established the classification system and then has been applying to ERP system in 2007.
Due to the complex of the classification system, the reliability analysis of the signalling system was assessed with the limit of IXL ATP with On-board and wayside equipment.
This paper assumed MTBF(Mean Time Between Failure), MTTR((Mean Time Between Repair) of total signalling system, by using the classification of ERP program

1. 서 론

최근 철도시스템의 RAMS 도입으로 시스템 보증에 대한 관심이 증폭되고 있다. 특히, 전자소자의 급속한 발전으로 신호시스템을 세부적으로 분류하여 고장율을 분석하는 것이 필요하게 되었다.

2005년 한국철도공사는 세계적인 철도회사로 거듭나기 위하여 전사적 사원관리 시스템인 ERP(Enterprise Resource Planning)를 도입하게 되었고, 이에 따라 용역을 발주하여 신호시스템에 대한 분류체계를 형성하고 2007년 현재 철도 경영혁신 ERP 시스템을 적용하고 있다.

현재까지 신호시스템 신뢰성 분석은 시스템 분류체계가 복잡함으로 전자연동장치(IXL)와 ATP의 차상 및 지상설비에 한정되어 분석되었다.

따라서, 본 논문에서는 ERP 프로그램 분류체계를 적용하여 전체 신호시스템의 MTBF, MTTR을 추정하였다.

2. 본 문

2.1. ERP 개요

2.1.1. 정의 [1]

Enterprise Resource Planning은 최신의 IT(Information Technology)기술을 활용해 수주에서 출하까지에 이르는 일련의 공급사슬(Supply Chain)과 관리회계, 재무회계, 인사관리를 포함한 기업의 기간

* (주) 대우엔지니어링, 철도시스템 사업부, 신호팀 대리, 정회원
E-mail : jrh2005@dweng.co.kr

TEL : (031)738-0207 FAX : (031)738-0274/0267

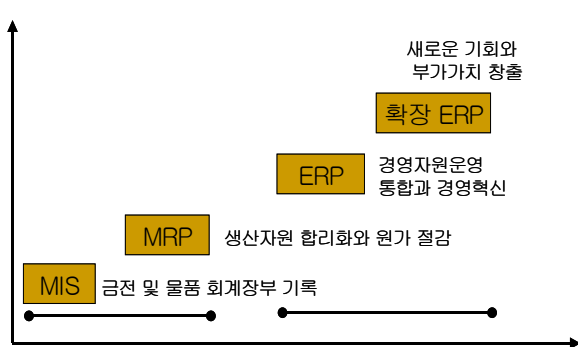
** (주) 대우엔지니어링, 철도시스템 사업부, 신호팀 부장, 정회원

*** (주) 대우엔지니어링, 철도시스템 사업부, 신호팀 상무보, 정회원

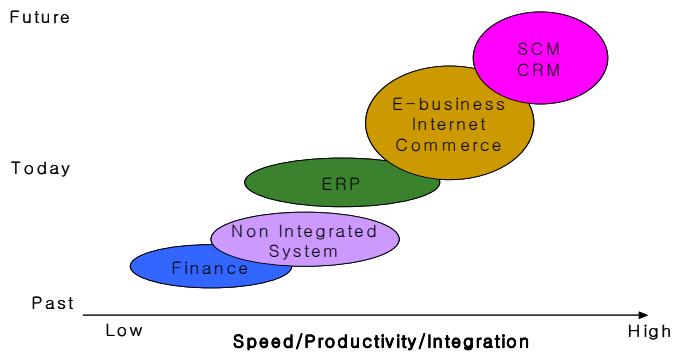
**** 한국철도시설공단, 자기부상열차 PM사업부, 차장, 비회원

업무를 지원하는 통합정보시스템을 말한다. ERP는 본래 생산관리의 주요한 개념인 MRP(Material Requirement Planning) 즉, 기준생산계획(MPS : Master Planning Schedule), 부품표(BOM : Bill of Materials), 재고정보를 기초로 순 소요량을 계산하여, 제품의 생산에 필요한 자재의 생산과 조달을 계획하는 생산관리 수법으로서, 이것은 1960년대에 Oliver White와 Joseph Orlicky에 의해서 제안된 방안이다.[1][2]

그 후 MRP는 70년대부터 80년대에 걸쳐 단순한 자재관리만이 아니라, 제조설비계획, 인원계획, 물류계획까지 다룰 수 있는 MRP II로 발전되었다. 이 시스템은 더욱 발전하여 인사관리를 포함해 조달에서 물류·판매까지의 공급 망 전반에 이르는 기간업무를 대상으로 하게 되고, 매일 매일의 업무를 리얼타임으로 통합해서 고도한 의사결정 지원을 가능하게 하는 ERP로 그 기능이 발전되었다
현재 세계적인 다국적 기업들은 E-business 나 SCM/CRM등을 사용하고 있다.



[그림 1] ERP 까지의 변천과정



[그림 2] 정보화 시스템의 변천과정

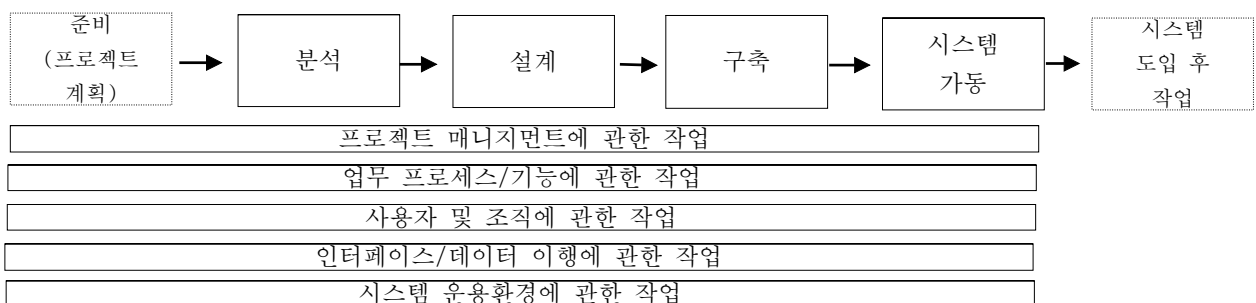
2.1.2. ERP 기능과 효과[2]

이 시스템의 기능과 효과는 다음표와 같이 설명할 수 있다.

| 기능 | 효과 |
|----------------|--|
| ① 통합업무 시스템 | ● 업무 스피드의 향상, 전체 최적의 추구 |
| ② 통합 데이터베이스 | ● 리얼타임처리, 데이터의 일원화 |
| ③ 비즈니스 프로세스 모델 | ● 최적안의 채택 |
| ④ 파라미터에 의한 개발 | ● 사용자 중심 개발, 개발기간 단축 개발·보수비용 삭감 |
| ⑤ 그룹웨어의 연휴 | ● 기간업무와 비정형업무의 연휴 |
| ⑥ 개방으로의 대응 | ● 저렴한 시스템 구축, 클라이언트·서버에서의 수직부하 분산으로의 확장성 |
| ⑦ 글로벌 대응 | ● 다언어 대응, 각 국 회계제도에 대응 |
| ⑧ EDI 대응 | ● 이중입력의 폐지, 처리의 정확화·신속화 |
| ⑨ EIS | ● 시험분석, 부분이익관리 |

2.1.3. ERP 도입과정

시스템 도입에 관련하는 작업은 프로젝트의 진행 단계를 기준으로 「분석」, 「설계」, 「구축」, 「시스템 가동」 등 4개의 단계로 나누어 관리하지만, 도입 프로젝트의 시작 전에 「준비(프로젝트계획)」의 단계 및 시스템 가동 후의 「시스템 도입 후의 작업」 단계가 존재한다



[그림 3] ERP 프로그램 도입과정

2.2. ERP 신호분류체계*

ERP 분류체계는 다음과 같이 분류하였다.

2.2.1. 시스템 분류

<표 1> 시스템 분류체계

| 번호 | 주 시스템 | 하부시스템 |
|----|----------|--|
| 1 | 신호기 | ● 신호기구, 신호기주, 기타 |
| 2 | 선로전환기 | ● 본체, 간류, 밀착검지기, 유도방지간, 연결간, 폴림방지장치, 전철표지, 쇄정장치, 철관장치 |
| 3 | 궤도회로 | ● 임펄스 궤도회로 - 송수신기, 전압안정기, 임피던스본드, 궤도계전기, 동조유닛, 튜닝유닛 - 공심유도자, 정합변성기, 블록유닛, 방향계전기, 매칭트랜스, AF본드 - 미니본드, 궤도정류기, 축전지 ● AF궤도회로 - 동조유닛, 튜닝유닛, SVpmm, 임피던스본드, 전원장치, 송수신유닛, 감시유닛, B1본드 |
| 4 | 연동장치 | ● 연동논리부 - 정류기, 전원모듈, CPU모듈, I/F모듈, 입력모듈, 출력모듈, 선로전환기 모듈, 확장모듈 ● 광통신부 : 광케이블 분배함, 전원모듈, 광변환모듈 ● 표시제어부 : 산업용컴퓨터, 전원모듈, 광변환 모듈 ● 유지보수부 : 산업용컴퓨터, 체류표시반, 계전기, 계전기랙, 분선반랙, 폐색랙, 궤도랙, 출입문쇄정장치, 전원장치, 배전반, UPS, 정전압장치, 정류기, 축전지 |
| 5 | 폐색장치 | ● 자동폐색제어유닛, 제어계전기, 주파수전송, 자동폐색분석장치, 분석장치, 송수신부, 전원장치 |
| 6 | ATS | ● 지상자, 제어계전기, 제어유닛, 고장표시반, 경광등, 표시장치, 비상버튼 |
| 7 | ATP | ● 가변발리스, 고정발리스, LEU랙, 전원보드, 램프검지보드, 발리스드라이보드 |
| 8 | ATC | ● 송신카드, 수신카드, 감시카드, 전원장치, 메인판넬, UPS, 배전반, 정류기, 축전지, 출입문쇄정장치 |
| 9 | MBS | ● 운행제어장치, 시스템서버, 데이터로거, 네트워크관리서버, 콘솔, 모니터, 중앙비상버튼, 라인컴퓨터, 레이저프린터, 지역제어장치, 지역제어기, 입출력신호처리랙, 입출력단자랙, 전원공급단자랙, 케이블단자랙, 지상보조장치, 트랜스폰더, 정위치정지판, 무선통신장치, 데이터통신장치, 지상무선장치, 전원장치 |
| 10 | CTC(일반) | ● 주운행컴퓨터, CDTS, 표시장치, 콘솔, 통신용/개발용 컴퓨터, 중앙표시장치, 유지보수컴퓨터, 유지보수콘솔, UPS |
| 11 | CTC(역설비) | ● LDTS, 전원모듈, CPU모듈, 입출력모듈, 통신모듈, LDTS중계기, 열차번호인식기 |
| 12 | 건널목보안장치 | ● 건널목제어유닛, 경보기, 경보등, 방향표시등, 고장표시등, 경광등, 전광판, 차단기, 고장감시장치 |
| 13 | 전선로장치 | ● 트러프, 케이블, 전선관, 접속함, 맨홀 |

* 철도경영혁신 ERP DB 구축용역 중 클래스 특성 2006에서 발췌

2.3. 신호시스템 신뢰성 추정

2.3.1. 지수분포 이론 [4]

일반적으로 고장이 일정한 분포를 지수분포라고 하며, $\lambda(t) = \lambda$ 로 하고, 지수분포의 신뢰도 함수가 다음 식에 의해 구해진다.

$$R(t) = \exp\left\{-\int_0^t \lambda(x) dx\right\} = e^{-\lambda t}, \quad t > 0$$

위의 식을 이용하여, 고장분포함수 $F(t)$ 및 확률밀도함수 $f(t)$ 는 각각 다음 식으로 주어진다.

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad t > 0$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t > 0$$

이 분포의 평균치를 구하면

$$\int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \text{로 된다.}$$

즉 $\left. \begin{array}{l} \text{수리계에서는} \\ \text{비수리계에서는} \end{array} \right\} MTBF = \frac{1}{\lambda}$ 로 표기된다.

2.3.2. MTBF 계산 이론[5]

어떤 시스템이 정시중단 및 정수 중단을 이용하여 n 개의 시스템을 가지고 r 개가 고장이 발생하였을 경우에 MTBF를 구할 수 있다.

$$\widehat{MTBF} = \frac{(\text{아이템의 총동작시간}; T)}{(\text{고장수}; r)} = \frac{T}{r}$$

(1) 정시중단의 \widehat{MTBF} 의 계산

$$\widehat{MTBF} = \frac{\sum_{i=1}^r T_i + (n-r)T_s}{r}$$

T_s : 시스템의 가동시간

r : T_s 시간동안 고장난 시스템 수

T_i : i 번째 시스템의 고장시간

(2) 정수중단의 \widehat{MTBF} 의 계산

$$\widehat{MTBF} = \frac{\sum_{i=1}^d T_i + (n-r)T_s}{d}$$

d : 미리 정해진 고장 수

T_i : i 번째 시스템의 고장시간 ($i \leq r$)

T_d : r 번째 시스템의 고장까지의 시간

2.3.3. MTBF 예측[4][5][6][7]

<표 2> MTBF 분류 1/2

| 분류 | 하부시스템 | 구성요소 | 고장률(1E-06) | MTBF(Hour) | | |
|--------|----------|--------|------------|------------|---------|---------|
| 신호기 | | 주신호기 | 7.6103 | 131,400 | | |
| | | 보조신호기 | 5.7077 | 175,200 | | |
| | | 표지 | 1.0000 | 100,000 | | |
| 선로전환기 | 전기 | 본체 | 5.7077 | 175,200 | | |
| | | 간류 | 1.1415 | 87,600 | | |
| | | 밀착검지기 | 1.1415 | 87,600 | | |
| | | 유동방지간 | 1.1415 | 87,600 | | |
| | | 연결간 | 1.1415 | 87,600 | | |
| | | 폴립방지장치 | 3.8051 | 262,800 | | |
| | | 전철표지 | 3.8051 | 262,800 | | |
| | | 쇄정장치 | 7.6103 | 131,400 | | |
| | | 철관장치 | 5.7077 | 175,200 | | |
| | | 궤도회로 | 임펄스궤도 | 송수신기 | 3.7453 | 267,000 |
| | | | | 전압안정기 | 5.7077 | 175,200 |
| 임피던스본드 | 5.7077 | | | 175,200 | | |
| 궤도계전기 | 7.6103 | | | 131,400 | | |
| 동조유니트 | 10.0000 | | | 100,000 | | |
| 튜닝유니트 | 10.0000 | | | 100,000 | | |
| 공심유도자 | 7.6103 | | | 131,400 | | |
| 정합변성기 | 7.6103 | | | 131,400 | | |
| 블록유니트 | 7.6103 | | | 131,400 | | |
| 방향계전기 | 7.6103 | | | 131,400 | | |
| 매칭트랜스 | 5.7077 | | | 175,200 | | |
| AF본드 | 10.0000 | | | 100,000 | | |
| 미니본드 | 10.0000 | | | 100,000 | | |
| 궤도정류기 | 5.7077 | | | 175,200 | | |
| 축전지 | 5.7077 | | | 175,200 | | |
| AF궤도 | 동조유니트 | | | 2.7531 | 363,219 | |
| | 튜닝유니트 | | 3.2232 | 310,250 | | |
| | SVpmm | | 5.0000 | 200,000 | | |
| | 임피던스본드 | | 5.0000 | 200,000 | | |
| | 전원장치 | | 1.1415 | 87,600 | | |
| | 송수신유닛 | | 3.7453 | 267,000 | | |
| | 감시유닛 | | 3.7453 | 267,000 | | |
| ATS | ATS | | B1본드 | 7.6103 | 131,400 | |
| | | 지상자 | 7.6103 | 131,400 | | |
| | | 제어계전기 | 7.6103 | 131,400 | | |
| | | 제어유니트 | 7.6103 | 131,400 | | |
| | | 고장표시반 | 5.7077 | 175,200 | | |
| | | 경광등 | 5.7077 | 175,200 | | |
| | | 표시장치 | 5.7077 | 175,200 | | |
| CTC | CTC(일반) | 비상버튼 | 5.7077 | 175,200 | | |
| | | 컴퓨터 | 20.0000 | 50,000 | | |
| | | CDTS | 1.6800 | 595,235 | | |
| | | 표시장치 | 5.7077 | 175,200 | | |
| | | 콘솔 | 9.2592 | 108,000 | | |
| | | 중앙표시장치 | 5.7077 | 175,200 | | |
| | CTC(역구내) | 유지보수콘솔 | 9.2592 | 108,000 | | |
| | | UPS | 1.1415 | 87,600 | | |
| | | LDTS | 9.5680 | 104,515 | | |
| | | 전원모듈 | 2.4390 | 410,000 | | |

<표 3> MTBF 분류 2/2

| 분류 | 하부시스템 | 구성요소 | 고장률(1E-06) | MTBF(Hour) |
|---------|----------|-----------|------------|------------|
| CTC | CTC(역구내) | CPU모듈 | 2.5194 | 396,916 |
| | | 입출력모듈 | 2.5103 | 398,347 |
| | | 통신모듈 | 2.5194 | 396,916 |
| | | LDTS 중계기 | 10.0000 | 100,000 |
| | | 열차번호인식기 | 10.0000 | 100,000 |
| ATP | 지상설비 | 가변발리스 | 7.6103 | 131,400 |
| | | 고정발리스 | 7.6103 | 131,400 |
| | | LEU 랙 | 5.7077 | 175,200 |
| | | 전원보드 | 3.8051 | 262,800 |
| | | 램프검지보드 | 3.805 | 262,800 |
| | | 발리스드라이브보드 | 3.805 | 262,800 |
| | 차상설비 | MMI | 3.805 | 262,800 |
| | | 타코미터 | 3.805 | 262,800 |
| | | 레이더 | 3.805 | 262,800 |
| | | 차상컴퓨터 | 9.6091 | 104,067 |
| ATC | ATC | 자료저장장치 | 5.7077 | 175,200 |
| | | 송신카드 | 7.3363 | 136,308 |
| | | 수신카드 | 4.8290 | 207,079 |
| | | 감시카드 | 5.2490 | 190,509 |
| | | 전원장치 | 1.1415 | 87,600 |
| | | 메인판넬 | 7.6103 | 131,400 |
| | | UPS | 1.1415 | 87,600 |
| | | 배전반 | 1.1415 | 87,600 |
| | | 정류기 | 7.6103 | 131,400 |
| | | 축전지 | 2.2831 | 43,800 |
| 폐색장치 | 자동 | 출입문쇄정장치 | 3.8051 | 262,800 |
| | | 폐색제어유니트 | 8.0726 | 123,875 |
| | | 제어계전기 | 7.6103 | 131,400 |
| | | 주파수전송유니트 | 5.7077 | 175,200 |
| | | 자동폐색분석장치 | 5.7077 | 175,200 |
| | | 분석장치 | 5.7077 | 175,200 |
| | | 송수신부 | 1.1415 | 87,600 |
| | | 전원장치 | 1.1415 | 87,600 |
| 건널목보안장치 | | 건널목제어유니트 | 8.7930 | 113,726 |
| | | 경보기 | 7.0427 | 141,989 |
| | | 경보등 | 7.6103 | 131,400 |
| | | 방향표시등 | 7.6103 | 131,400 |
| | | 고장표시등 | 7.6103 | 131,400 |
| | | 경광등 | 7.6103 | 131,400 |
| | | 전광판 | 7.6103 | 131,400 |
| | | 차단기 | 7.6103 | 131,400 |
| | | 고장감시장치 | 7.6103 | 131,400 |
| 전선로장치 | 트러프 | 각종 | 5.7077 | 175,200 |
| | 케이블 | 각종 | 5.7077 | 175,200 |
| | 전선관 | 각종 | 7.6103 | 131,400 |
| | 접속함 | 각종 | 5.7077 | 175,200 |
| | 맨홀 | 각종 | 5.7077 | 175,200 |

2.3.4. MTTR 예측*

<표 5> MTTR 예측

| 파라미터 | 시스템 종류 | 현장(Field) | 검수고(Shop) | 공장(Factory) |
|------|----------|-----------|-----------|-------------|
| MTTR | 신호기 | 2 ~ 1시간 | 1시간 | 1시간 |
| | 궤도회로 | 3 ~ 2시간 | 1시간 30분 | 1시간 30분 |
| | CTC /ATC | 5 ~ 3시간 | 2시간 | 2시간 |
| | ATP | 5 ~ 3시간 | 2시간 | 2시간 |
| | 전선관 | 5 ~ 3시간 | 2시간 | 2시간 |

3. 결론

본 논문에서는 철도경영혁신 ERP 분류체계를 이용하여 신호시스템의 MTBF, MTTR을 추정하였다. 이상의 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 신호부품의 전자모듈화로 인하여 수명주기(175,200 ~ 262,800시간)가 점차적으로 증대되고 있으며, 이에 따른 유지보수비용의 감소가 예상된다.
2. 기존시스템(신호기, 궤도회로, 선로전환기, 폐색장치, CTC, ATC, 전선로)은 내구연한 및 신뢰성 연구센터(RAC)에 의해 추정하였으나, 신 시스템(ATP, MBS)의 분석은 자료의 미비로 인해 예측하기가 어려워 수명주기를 발리스는 10년, LEU 랙은 20년, 각종 보드는 30년으로 계산하였다.
3. 적용된 고장율 분포는 지수분포를 이용한 것으로 시스템의 고장이 일정하다는 가정아래 분석한 것으로 실제 시스템 수명과는 오차가 발생한다.
4. 이상의 연구를 통해 신호제품의 신뢰성 확보를 위해 필요한 고장율 해석의 초기 모델을 제시하였다고 생각되며, 향후 좀더 세분화된 고장율 해석기법과 신뢰성 결과와의 비교 연구가 필요하다.

후기

본 논문은 2006년도 한국철도공사의 철도경영혁신 ERP 구축사업 용역 중 크리피스 데이터의 일부를 토대로 작성되었다.

4. 참고문헌

1. 신경철(2002), “ERP 시스템 도입에 관한 연구”, 석사학위논문, 경남대학교.
2. 권순범(2001), “ERP시스템 構築方法論 및構築事例分析에 관한 研究,” 석사학위논문, 단국대학교
3. 임태진(2004), “시스템 신뢰도 공학”, 숭실대학교 출판부
4. 경봉기술(2002), “통신을 이용한 열차제어 시스템의 기존 도시철도 적용 방안 연구”, pp 100~103
5. 한국철도기술연구원(2005), “철도시스템 RAM 관리체계 구축을 위한 기반연구”
6. RAC(2006), " Reliability Toolkit : Commercial Practices Edition, pp 54-55
7. 신덕호(2006), 한국형고속철도 열차제어시스템 하부구성요소 신뢰도예측에 관한 연구, 한국철도학회 논문집, pp 419-424

* RAC, "Reliability Toolkit" , pp 55