

## 웹 기반 RBD 구현 및 신뢰도 평가기술

송준엽\*, 이승우, 이후상(한국기계연구원 지능형정밀기계연구부), 조복기(충남대 대학원)

Embodying RBD and Reliability Analysis Technology base on Web

J.Y. Song\*, S.U. Lee, H. S. Lee (KIMM) and B.G. Cho(CNU)

### ABSTRACT

In this study, embodying reliability block diagram based on the web and reliability analysis technology are developed. RBD(reliability Block Diagram) represents the functional relation between elements in any product. Among relations between elements, there are serial, parallel, bridge, and stand by, etc. Advantages of developed system are integrated datum about reliability (NPRD, EPRD, MIL-HDBK 217F, NSWC, OREDA, Bellcore, and domestic institutes & companies datum), graphic user interface for convenience, and the various service analyzes the failure history data of parts.

**Key Words :** Reliability(신뢰성), Failure rate(고장률), Reliability block diagram(신뢰성 불린도), Integrated DB(통합 데이터베이스), Reliability Data Base(신뢰도 데이터베이스)

### 1. 서 론

여러 분야의 시스템들이 자원의 공유와 시스템 활용성의 향상을 위해 웹(Web) 환경으로 진화하고 있다. 사용자 접근성과 시스템 유지의 편리성을 강점으로 웹은 자원의 공유와 시스템 활용성 향상이란 문제를 해결하는 돌파구로서 제시되고 있다고 해도 과언이 아닐 것이다. 하지만 모든 솔루션을 웹 상에서 할 수는 없다. 다만, 자원의 공유와 활용이 얼마나 중요한 가를 보여주는 단적인 증거라 할 수 있을 것이다. 다수의 의사 결정 시스템인 ERP (Enterprise Resource Planning), SCM(Supply Chain Management), CRM(Client Relation Management) 등과 같은 시스템들이 back office 의 막강한 기능을 기반으로 front office 에 웹을 위치 시키는 것도 이와 같은 이유일 것이다. 웹은 그러한 강점 때문에 여러 분야, 즉 특정 엔지니어링 기술에도 응용이 시도된다고 볼 수 있다.

군사분야에서 시작된 신뢰성 연구는, 사회의 발전과 함께 최첨단의 신기술 사용이 증가함에 따라 기존의 단순한 안전 계수를 바탕으로 한 제품의 설계, 생산보다는 신뢰성 개념을 도입한 생산기술의 보증측면에서 꾸준히 발전하고 있다. 국내에서도 관련기관들을 중심으로 많은 연구가 진행되고 있으

며, 관련 데이터가 축적되어 있을 것으로 보인다. 하지만 축적된 데이터를 응용, 활용하는 측면에서의 연구는 미진한 상태이지만 On, Off 라인을 통해 부분적으로 정보교환이 이루어지고 있다. 방대한 양의 신뢰성 데이터 자원의 공유와 함께 신뢰성 응용 자원에 대한 공유 또한 중요한 측면이라 할 수 있다. 대표적으로 부품의 신뢰도 데이터, 고장이력 데이터의 평가/분석, 고장모드 분석 등 다양한 기반 및 응용자원이 요구되고 있다. 그 중에서 RBD (Reliability Block Diagram)는 평가코자 하는 시스템 혹은 서브시스템 레벨에서의 신뢰도 산출에 필수적으로 전개시켜야 하는 절차로서, 시스템을 구성하는 요소를 블록 단위로 표현하고, 그들의 결합구조를 가지고 전체 시스템의 신뢰도를 평가하는 기술이다. 하지만 지금까지는 별도의 고가 사용시스템 하에서만 가능했던 기술이다.

따라서 본 연구에서는 기존에 축적된 NPRD-95(Non-electronic Part Reliability Data), EPRD (Electronic Part Reliability Data), OREDA, Telcordia (Bellcore) 및 국내 기관에서 축적된 신뢰성 데이터를 수집하여 통합된 데이터 베이스로 구축하고, 이를 기반으로 다양한 시스템의 신뢰도를 온라인 상에서 예측, 평가할 수 있는 웹 기반 신뢰성 평가서비스시스템을 개발하였다.

## 2. 신뢰성 평가시스템 설계

### 2.1 시스템 구조 및 기능설계

웹 시스템의 장점은 사용자측에 별도의 프로그램이 없어도 서버측에서 제공하는 정보를 활용할 수 있다는 것이다. 이러한 환경적 장점을 본 연구에서 개발하는 신뢰성 평가시스템(Reliability Service System : RSS)에 도입시키고자 한다. 개발시스템의 주요 기능은 데이터베이스를 기반으로 하는 신뢰도 정보서비스와 신뢰성 시험 등 필드정보를 기반으로 한 평가, 분석서비스의 두 부분으로 크게 기능구조를 설계하였다. 또한 기능별(필드데이터 수집, DB 서비스, 웹 서버 등)로 별도의 하드웨어의 구성과 소프트웨어적인 서비스기능을 모듈화하였다. 그러한 이유는 서비스 모듈과 데이터 모듈을 구분함으로써 외부의 악의적인 침입(해킹)으로부터 데이터를 보호하기 위한 방안이라고 할 수 있다. 또한 네트워크로 시스템간을 연결하거나, 프로그램 단위로 모듈화한 시스템 구성으로 시스템 구축비용을 상대적으로 절약하고, 시스템의 유지 보수를 쉽게 지원할 수 있을 것으로 사료된다.

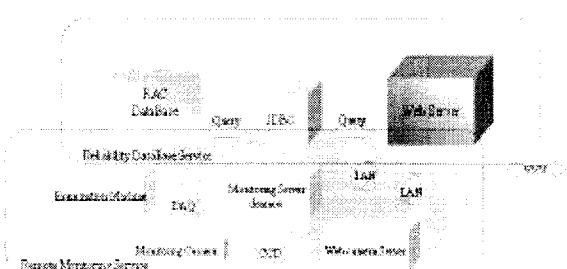


Fig. 1 Designed paradigm of RSS

개발시스템에서 구성한 핵심모듈 중 신뢰도 정보서비스는 신뢰도 데이터를 기반으로 제공되는 서비스로 각 품목(Part or Item)별 신뢰도 검색, 관련 규격(MIL, KS, JIS 등)검색, RDB 구현 및 신뢰도 산출, 고장모드 검색 등의 기능이 제공된다. 또한 평가, 분석서비스에서는 온라인 상에서 신뢰성 시험상의 필드데이터를 수집, 분석하고, 최종적으로 신뢰도 예측정보로 연계시키는 기술을 지원한다.

개발시스템의 기능도는 Fig. 2 와 같으며, RBD 구현 서비스는 신뢰성 평가분석지원 기능의 RBD/FMEA 에서 별도로 구성하였지만 RDB service 와 연계될 수 있도록 고안하였다.

RDB service 모듈은 Reliability Data 를 카테고리와 키워드 검색을 통해 NRPD-95, EPRD, GFR, FMP 등 의 데이터와 함께 본 연구팀에서 축적한 데이터를

검색할 수 있도록 서비스한다.

Failure Mode 모듈에서는 고장 이력데이터를 Weibull, Log-normal, Exponential 등의 분포함수에 매칭(matching), 즉 Kolmogorov-Smirnov 테스트, 신뢰도 함수오차, 확률밀도함수 오차 결과분석 과정을 통해 확률분포 적합도 검정을 실시할 수 있다.

Reliability Standard 모듈은 신뢰성 평가와 관련된 MIL-STANDARD, NSWC/가속수명모델, KS, JIS, ISO 규격 문서를 확보하여 서비스하고, 신뢰성 평가분석지원 모듈에서는 RBD 구현기능을 포함한 원격 신뢰성 시험의 모니터링, 필드데이터의 수집, 분석 등의 서비스를 제공한다.

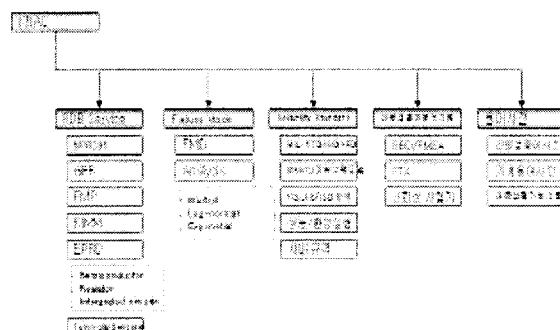


Fig. 2 Representative functions of RSS

### 2.2 통합 RDB 설계

시스템 신뢰도를 산출하는 RDB 에 사용되는 데이터 베이스에는 본 연구에서 확보한 NRPD, EPRD, OREDA 등이 있으며, 향후 Telcordia (Bellcore), MIL-STD 및 국내 연구소, 업체 축적 데이터가 추가로 활용할 계획이다. 하지만 상기의 DB 는 지금까지 개별적으로 단품정보 차원에서 제공되었기 때문에 시스템 레벨의 신뢰도 평가에 활용되기 위해서는 데이터 베이스를 통합 DB화하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 Table 1 에 제시된 각 RDB 필드정보를 토대로 통합 DB 를 설계하여 시스템에 활용할 수 있도록 하였다.

통합 RDB 생성에 활용되는 필드는 분류(Machinery, Eletric equipment, Mechanical equipment 등), 부품종류, Type(plate, contactor, main power, essential power 등), 환경변수(GB : Ground Benign, AI : Airborne inhibited 등), 품질(commercial, MIL spec 등), 고장률 등이 사용되며, 향후 축적될 기계류품의 신뢰도 데이터에서도 최소 종류, Type, 환경변수, 고장률 필드의 구조를 갖고 Upgrade 할 수 있도록 준비하였다.

또한, 개개의 RDB 명칭을 통합 RDB 의 1 차적

인 Common index(구분자)로 구성하고, 필드명칭의 통일성을 부여함으로써 데이터 검색의 편리성 및 DB 탐색시간을 최소화할 수 있도록 하였다.

Table 1. Fields of reliability database

	NPRD	EPRD	OREDA
분류			✓
종류	✓	✓	✓
Type 1	✓	✓	✓
Type 2			✓
고장률	✓	✓	✓
환경변수	✓	✓	
품질	✓	✓	
정밀도			✓

### 3. RBD 구현 알고리즘

시스템을 구성하는 요소의 연결구조에는 대표적으로 직렬, 병렬 결합구조가 있으며, 시스템이 복잡해짐에 따라 이를 두 가지로 구분할 수 없는 결합구조도 있다. 직렬/병렬 구조의 시스템 신뢰도는 시스템이 A, B, C, 3 개의 요소를 갖을 경우, 직렬 결합구조는 수식 (1), 병렬 결합 구조는 수식 (2)와 같이 표현된다.

$$R = R_A \times R_B \times R_C \quad (1)$$

$$R = 1 - (1 - R_A) \times (1 - R_B) \times (1 - R_C) \quad (2)$$

시스템의 신뢰도를 산출하는 방법으로는 사상공간법(event space method), 경로 추적법(path tracing method), 분해법(decomposition), 최소 절단집합(minimal cut set), 최소 패스집합(minimal path set) 등이 있다.

상기 방법 중 사상 공간법은 요소의 개수가 증가할수록 연산량이 2 배로 증가하여, 복잡한 시스템의 신뢰도를 산출하는데 어려움이 있으며, 분해법은 분해할 요소를 선택하여, 단순한 구조로 시스템을 분해하면서 신뢰도를 산출하여야 하는 방법으로 분해 요소를 적절히 선정할 수 있는 방법이 없는 것으로 파악되었다. 또한 최소 패스집합(minimal pass set)은 시스템이 동작하는 최소의 경로를 검색하여, 이들의 신뢰도의 합으로 시스템의 신뢰도를 나타내는 방법이기 때문에 모든 구성부품들의 신뢰도를 감안하지 못하는 최소의 신뢰도로서만 제시될 수 있다.

따라서 본 개발시스템에서는 경로 추적법으로 시스템의 가능한 모든 경로를 검색하고, 그 검색된 경로마다의 직렬결합 신뢰도를 구한 후, 이를 합하

여 전체 시스템의 신뢰도를 산출하는 방법을 채택하여 알고리즘으로 구현도록 하였다.

본 연구에서 구현한 경로 추적법에 대해 Fig. 3에 제시된 것처럼 6 개의 부품으로 구성된 대상시스템을 토대로 단계별 진행과정을 상세히 설명하면 다음과 같다.

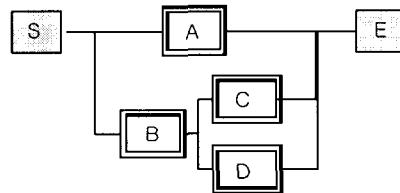


Fig. 3 RBD of example system

#### Phase 1 : 시스템 트리 작성

시스템의 모든 가능한 경로를 검색하기 위해서, 시스템의 구조를 트리(tree)로 작성한다. 트리를 작성할 때에 원쪽에서 들어 온 경로는 반드시 오른쪽으로 전개되는 것을 원칙으로 한다.

Fig. 4는 Fig. 3의 대상시스템의 가능경로를 트리형태(branch and bound type)로 나타낸 것이다.

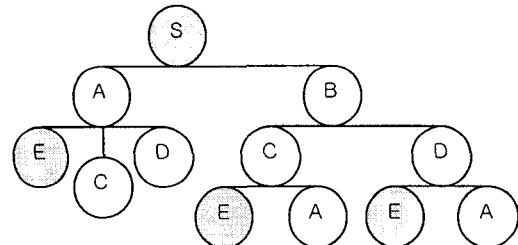


Fig. 4 Alternative paths of target system

#### Phase 2 : 대안경로 검색

S(루트)에서 시작하여 순회하면서 E 까지 도달할 수 있는 모든 경로를 검색한다. 검색 중에 이전에 지나온 요소가 검색되면 검색을 중단한다.

이와 같은 방법으로 Fig3 의 모든 경로를 구하면, S-A-E, S-A-C-B, S-A-D-B, S-B-C-E, S-B-C-A, S-B-C-E, S-B-D-A 로 총 7 개가 존재할 수 있으며, 이중 S에서 시작하여 E로 끝나는 경로는 S-A-E, S-B-C-E, S-B-C-E로 3 개의 최종 대안경로가 존재한다.

#### Phase 3 : 시스템 신뢰도 산출

Phase 2에서 검색된 최종 대안경로에 대해서는 시스템 래벨에서의 병렬구조로 인식시키고, 경로별 신뢰도를 병렬 계산식에 적용하여 시스템

신뢰도를 얻는다. 대상 시스템의 전체 신뢰도는 식(3)과 같다.

$$R = P(P_1 \cup P_2 \cup P_3) \quad (3)$$

$$R = P(P_1) + P(P_2) + P(P_3)$$

$$- [P(P_1P_2) + P(P_1P_3) + P(P_2P_3)] - P(P_1P_2P_3)$$

#### 4. 웹 기반 신뢰성 평가시스템 구현

구현된 시스템은 위자드(Wizard) 형식으로 사용자의 입력을 받아 단품 검색, 조건입력, 블록도 작성, 신뢰도 산출의 4 단계로서 평가가 이루어진다.

단품 검색단계는 시스템을 구성하는 요소를 검색하는 단계로 사용되는 데이터는 NRPD-95, EPRD, OREDA 가 사용된다. 조건 입력단계에서는 시스템이 활용되는 환경을 나타내는 변수로, 공중 또는 지상 고정, 외부 온도 등이 입력된다. 이상의 과정을 거쳐 검색할 대상품의 신뢰도 관련정보의 탐색 결과가 Fig. 5 이다.

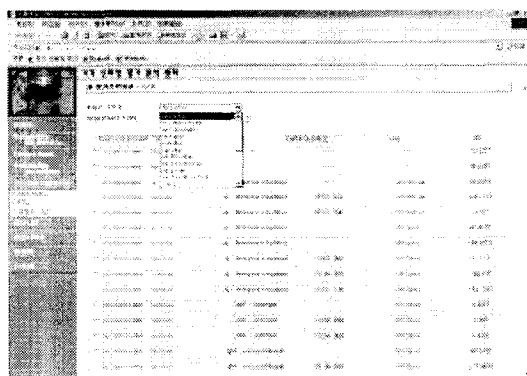


Fig. 5 Searching output of related reliability data

시스템 레벨의 신뢰성 평가는 3 장에 기술한 것처럼 시스템을 구성하는 요소들의 연결구조를 인식시키는 기능이 구현되어야 한다. 이러한 기능은 Fig. 6에 제시된 것처럼 요소들은 기능 블록단위(box)로 표현하고, 비전문가도 편리하게 선과 블록 간의 연결관계를 통해 결합구조를 구성시킬 수 있게 Java Applet 을 사용하여 GUI (Graphic User Interface) 방식으로 시스템을 개발하였다. 이러한 방식으로 RBD 가 구현되면 3 장에 기술된 RBD 구현 알고리즘의 처리과정을 거치면서 평가시스템의 신뢰도를 산출하게 된다. 이 과정에서 부품의 신뢰도는 통합 DB 에 구축된 NRPD, EPRD 등의 신뢰도 데이터를 활용하게 되며, 데이터가 확보되지 못한 부품이나 시스템에 결합관계가 부적절할 경우에는 추가적인 사용자 입력을 통해 대상시스템의 신뢰도

산출에 부가적으로 지원 받을 수 있게 하였다.

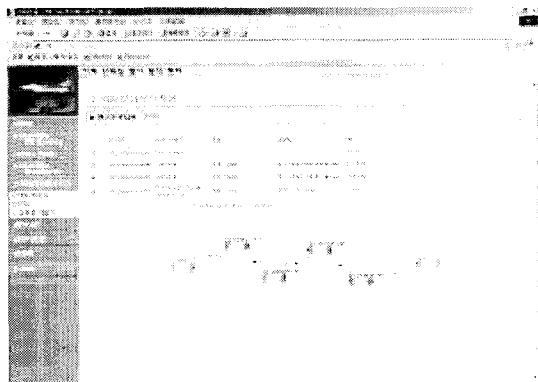


Fig. 6 Implementing process of RBD

#### 5. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 제품의 개발단계에서부터 제품의 신뢰성을 평가, 예측하고, 신뢰성 향상에 필요한 분석 데이터를 Feedback 하여 제품생산에 반영, 지원 할 수 있는 신뢰성 평가시스템을 개발하였다. 자원의 공유와 활용성 측면에서 개발시스템은 기존의 stand alone 형태의 상용 시스템보다 웹 환경에서 다양한 통합된 정보를 활용할 수 있으며, 비전문가들도 편리하게 접근하여 자체적으로 구현할 수 있는 기능을 보유하고 있다. 한편 국산품에 대한 지속적인 신뢰성 데이터의 축적으로 신뢰성 자원의 공유에 많은 기여를 할 것으로 기대하고 있다.

향후에는 최소 절단집합(minimal cut set)과 최소 패스집합(minimal path set)을 사용하여 시스템의 상하한 신뢰치를 제공하고, MIL-STD 217F 와 같은 신뢰도 산출 데이터를 추가하여, 환경 변수에 따른 시스템 신뢰도 산출을 추가로 구축하여 나갈 계획이다.

#### 참고문헌

1. 김봉석, 김종수, 이수훈, 송준엽, 외, "머시닝센터의 고장모드 해석에 관한 연구", 한국정밀공학회지 Vol.18, No.6, pp.74-79, 2001
2. 송준엽, 이승우, 강재훈, 외, "공작기계 핵심부품의 QFD 기술", 한국정밀공학회 2001 춘계학술대회 논문집, pp.59-62, 2001
3. 송준엽, 이후상, "신뢰성 평가네트워크 구축기술", 첨단기계류.부품 신뢰성 기술 workshop, pp.133-144, 2002
4. Reliability analysis center, Nonelectronic Parts Reliability Data, 1995