

## 유지관리업무 시스템(CMMS) 구축에 따른 수력발전 및 수도설비를 위한 신뢰도 기반 유지보수(RCM) 적용

이성훈\*, 이종범\*, 김정락\*  
한국수자원공사\*

### Application of Reliability Centered Maintenance for Waterworks after Constructing CMMS (Computerized Maintenance Management System)

Sung-Hoon Lee\*, Jong-Bum Lee\*, Jeong-Rak Kim\*  
K water \*

**Abstract** - This paper presents application of RCM(Reliability Centered Maintenance) in waterworks system. The reliability-based probability model for predicting the failure probability is established and FTA(Fault Tree Analysis) is proposed to considering RCM. To calculate failure probability, Weibull distribution is usually used due to age related reliability. FTA is an engineering analysis which is using logic symbols. The real historical data of CMMS(Computerized Maintenance Management System) make full use of case study for waterworks system.

Consequently, the RCM would be likely to permit utilities to reduce overall costs in maintenance and improve the total benefit.

#### 1. 서 론

최근 산업기술의 발전으로 시스템 구성이 복잡하고 거대화 되고 있으며, 이는 설비의 노화나 예기치 못한 고장 발생시에는 전체시스템에 막대한 영향을 미치는 결과를 초래할 것이다. 따라서 시스템을 구성하는 각 설비들에 대한 유지보수 종류, 시간 및 비용등을 결정짓는 유지보수 정책결정의 중요성이 점점 강조되고 있다.

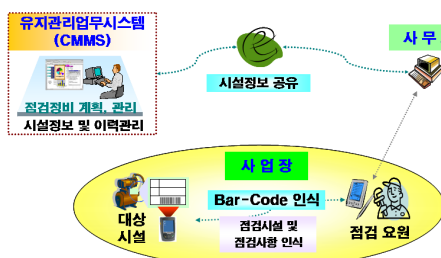
기존에 설비에 적용되었던 유지보수(Maintenance)는 설비 자체의 보존에 초점을 두고 설비의 구조적인 접근이 미흡한 실정에서 시간단위의 정비계획을 수립함에 따라, 불필요한 정비업무가 포함되거나 설비 특성에 맞지 않는 부적절한 정비업무로 과도한 비용이 지출되고 효율성이 감소되는 결과를 낳았다. 그러나 최근 유지보수의 방향은 운영자는 유지보수에 대한 비용을 감소시키면서 설비를 안정적으로 운영하는 방향으로 설비에 대한 운영계획을 수립하는 것을 목표로 하고 있으며, 이에 적용되는 유지보수 기법으로 신뢰도 기반 유지보수(RCM : Reliability Centered Maintenance)가 연구되고 있다. RCM은 설비의 기능유지에 초점을 두고 계획을 수립함으로써 설비의 제 기능을 안정적으로 유지시키는데 초점을 맞추고 있으며, 이에 따라 불필요한 정비업무를 제거하게 되고 설비의 수명과 시스템 전체의 구조의 이해와 수명을 계획수립 단계에서 적절히 반영하면서 유지보수의 효율성과 경제성을 높인다.

본 논문에서는 다양한 산업분야에 적용되고 있는 RCM을 안정적이면 경제적으로 설비를 운영해야하는 수자원관련 수력발전 및 수도설비 유지보수 업무계획 수립에 이용하여 경제성과 신뢰성을 고려한 균형있는 유지보수 업무계획 수립에 적용하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 CMMS개요

CMMS(Computerized Maintenance Management System)는 과거에 주로 데이터 저장도구로 사용하던 파일 시스템에서 u-IT Maintenance 체계로 전환하기 위하여, 수자원관련 약 12만개 세부설비에 대하여 설비현황 및 고장이력등을 DB화 하기 위해 개발된 시스템으로 신뢰도 기반 유지보수(RCM) 계획수립을 위한 기초자료로서의 충분한 가치를 지니고 있다. 그림1은 CMMS에 대한 개략적인 구성도 이다.



〈그림 1〉 CMMS 구성도

##### 2.2 신뢰도 모델

신뢰도는 시스템, 기기 및 부품등이 규정된 조건하에서 의도하는 기간 동안 목표한 기능을 발휘할 확률로서 정의할 수 있다. 수자원관련 정비업무에서 신뢰도는 규정된 운전조건하에서 안정적이고 경제적으로 설비를 운영하는 척도로 활용될 수 있다. 확률론적인 모델을 이용한 신뢰도 평가를 위해서는 기본적으로 정확한 설비 고장 데이터가 필요하며, 이를 이용한 고장확률(Failure Probability)은 어떠한 요소가 일정한 기간 내에 고장 날 확률로 정의되며, 생존확률(Survival Probability)은 고장확률과 반대의 개념으로 살아있을 확률로 정의된다. 식 (1),(2),(3)은 시간  $t$ 에 대한 확률밀도함수  $f(t)$ 에서 고장확률함수  $Q(t)$ 와 생존확률함수  $R(t)$ 의 관계를 보여준다. 고장확률함수  $Q(t)$ 는  $f(t)$ 의 누적 확률밀도함수로 정의되며, 식 (2)처럼 미분한 값은 확률밀도함수  $f(t)$ 가 된다. 생존확률함수  $R(t)$ 는 누적 확률밀도함수  $Q(t)$ 의 여함수로서 정의되며, 함수  $R(t)$ 와  $Q(t)$ 는 다음과 같은 관계가 있다[1].

$$R(t) = 1 - Q(t) \quad (1)$$

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (2)$$

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (3)$$

식 (1)부터 (3)에 의해  $R(t)$ 는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_0^\infty f(t) dt \quad (4)$$

##### 2.2.1 FTA(Fault Tree Analysis)

신뢰성 평가 척도에는 평균수명, 고장확률, 신뢰도 지수 및 고장률등이 있으며, 이들은 어느 하나만 알아도 나머지를 모두 구할 수 있다. 다양한 신뢰성 평가 척도를 바탕으로 RCM을 위한 신뢰성 분석 기법에는 FMEA, FTA, 신뢰성 시험 및 데이터를 이용한 확률등이 있으며, 이 중 시스템의 고장 메커니즘을 명확히 규명할 수 있는 FTA(Fault Tree Analysis)는 신뢰성 분석에서 많이 쓰이는 기법으로 신뢰성을 평가하고자 하는 설비나 시스템 구조를 파악하는데 필요한 정보를 제공한다. 이러한 정보는 전체시스템에서 평가하고자 하는 설비의 구조적인 정보를 담고 있으므로 구조를 파악할 때 주관적인 판단을 줄이고 정량적인 분석을 용이하게 한다. FTA를 이용한 분석은 시스템이나 하부시스템 또는 부품 등에서 고장을 발생시키는 사건과 그 원인과의 인과관계를 논리기호를 사용하여 트리(tree) 형태로 나타내어 고장원인을 Top-down 방식으로 조사하는 분석 기법이다. 이는 논리적인 방식으로 시스템내의 특정 단계에서의 고장모드가 상위 단계에 중요한 고장을 발생시키는지를 규명한다. FTA를 이용한 분석의 수행절차를 나타내면 다음과 같다[1,3].

- Step 1) 문제의 설정과 경제조건 설정
- Step 2) 제품 구성도를 참고로 고장의 원인을 전개한다.
- Step 3) 기능 신뢰성 블록도를 작성한다.
- Step 4) Fault Tree를 작성한다.
- Step 5) 최하위의 고장원인에 대한 고장확률을 정한다.
- Step 6) 전체 고장확률을 계산한다.
- Step 7) 각 단위별 고장확률을 기초로 의사결정 한다.

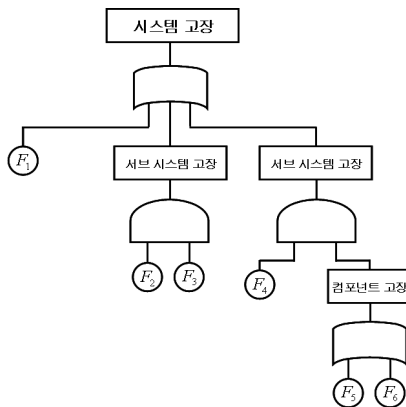
표 1은 FTA 분석에서 일반적으로 사용되는 논리게이트 심볼을 나타내었다. Fault Tree는 분석에 들어가기 전에 특정 시스템 고장이나 사고에 대한 과정을 논리게이트 심볼을 사용하여 그 사건을 일으키는 원인들을 논리적으로 연결하여 나타낸다. 즉, Top event를 정하여 최상위에 두고, OR와 AND 등의 논리게이트들을 이용하여 Top event를 야기하는

원인들을 연결해 내려간다. 이 때 최하위에 나열된 사건을 Basic Event라고 한다. 그림 3은 어느 시스템 고장의 Fault Tree의 예를 나타내었고, 이는 식 (5)와 같이 표현될 수 있다.

$$F = F_1 \times (F_2 + F_3)(F_4 + F_5 \times F_6) \quad (5)$$

<표 1> 논리게이트 심볼

심볼	명칭	로직
	OR	한 개 또는 그 이상의 입력이 발생될 때만 출력이 발생
	AND	모든 입력이 존재할 때에만 출력이 발생
	BASIC	가장 하위 수준에서의 고장을 나타내는 데 사용
	UNDEVELOPED	더 이상 존재하지 않는 사상
	EVENT	시스템 또는 부품의 사건을 기술
	TRANSFER	전개한 Tree의 한 부분과 다른 부분 사이의 연결을 나타내는데 사용



<그림 3> Fault Tree

### 2.2.2 Weibull 확률분포

FTA 이용한 신뢰도 평가를 위해 다양한 확률분포 함수중 모수값에 따라 Bath Tub Curve의 초기, 우발 및 마모고장기의 전구간 표현이 가능한 Weibull 확률분포 함수를 이용하였다. 복잡하고 이론적인 어려움이 있음에도 불구하고 수명과 관련된 수학적 모델링에 많이 사용된다. Weibull 분포의 확률밀도 함수는 식 (5)와 같이 정의된다. 또한, 생존확률함수와 고장률함수는 각각 식 (6), (7)과 같다[2,4].

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\alpha^\beta} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (5)$$

여기서,  $t \geq 0, \beta > 0$  이고,  $\alpha > 0$  이다.

$$R(t) = \int_t^\infty f(t) dt = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (6)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\alpha^\beta} \quad (7)$$

### 2.3 사례연구

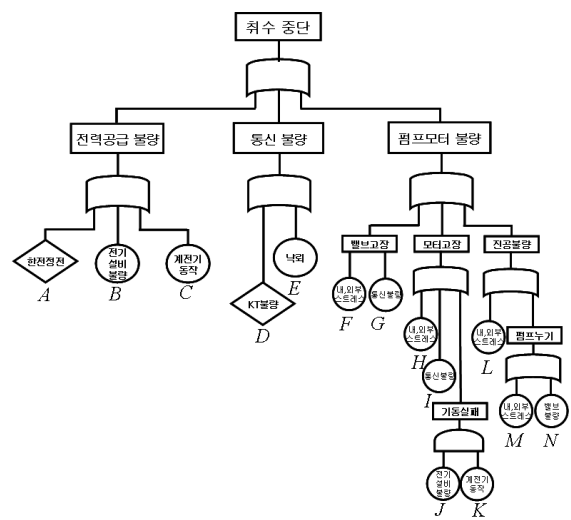
사례연구에서는 수자원관련 수도설비중 A취수장에 적용해 보았다. 취수장의 가장 중요한 사건인 취수중단 문제를 설정후 운영자의 운영패턴 및 판단을 바탕으로 각 구성 요소별 기능을 분석하여 그림 4처럼 Fault Tree를 작성하였다. 위에 언급하였듯이 FTA 분석은 운영자의 주관적인 판단에 따라 Fault Tree가 작성됨으로 운영자의 경험적인 판단 및 설비에 대한 지식을 토대로 작성되어야 정확한 FTA분석이 가능하며, 정량화된 FTA분석 결과를 토대로 운영자는 유지보수 계획수립 결정을 내릴 수 있다. 표 2에 처럼 각 구성 요소별 고장실적 데이터를 습득하여 Weibull 확률분포를 이용해 고장확률을 계산하였다. 그림 4에서 펌프모터 불량으로 취수중단 고장확률  $F_P$ 는 식 (8)과 같이 계산할 수 있다.

$$F_P = F \times G \times H \times I \times (J + K) \times L \times M \times N \quad (8)$$

신뢰도 평가는 과거 고장실적이 얼마나 정확하고 충실하게 기록되어져 있느냐에 따라 그 정확성을 논할 수 있을 것이다. 따라서 설비에 대한 정확하고 신뢰성 있는 D/B구축은 반드시 선행되어야할 과제임에는 틀림이 없다. 앞으로 CMMS를 통하여 축적되는 정확한 고장실적을 바탕으로 신뢰도 기반 유지보수(RCM) 계획수립을 위한 다양한 연구가 활발히 진행될 수 있을 것이다.

<표 2> 펌프모터 불량 고장실적(2003년~현재)

구성요소	고장실적	구성요소	고장실적
A	12	H	20
B	20	I	3
C	23	J	15
D	6	K	7
E	8	L	15
F	25	M	5
G	5	N	3



<그림 4> 취수중단 Fault Tree

### 3. 결 론

본 논문에서는 수자원 관련 수력발전 및 수도설비에 관하여 신뢰도 기반 유지보수(RCM) 계획 수립을 위하여 최근 구축된 CMMS(Computerized Maintenance Management System)데이터를 이용하여 FTA기법을 적용해 보았다. FTA의 고장확률은 수명과 관련된 신뢰도 평가에서 비교적 많이 쓰이는 Weibull 확률분포를 이용하여 계산하였다.

설비를 운영하는데 있어서 적절한 유지보수 계획은 생산원가 절감에 많은 영향을 미친다. 따라서, 유지보수 계획과 관련된 정책결정은 매우 중요하며, 기존의 유지보수 업무는 시간중심의 설비 자체 보존에 지나친 초점을 두어 유지업무의 경제성과 효율성을 떨어뜨리는 결과를 낳았다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 것은 신뢰도 기반 유지보수(RCM)이며, 이를 위하여 수자원관련 실제 고장데이터를 가지고 FTA 평가를 해보았다. 본 연구를 시작으로 향후 CMMS를 통해 축적될 데이터를 바탕으로 수자원관련 유지보수업무에 신뢰도 기반 유지보수(RCM)를 도입해 보고자 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] R. Billinton and R. N. Allan, "Reliability evaluating of engineering system", Plenum Press, 1992.
- [2] Wenyuan Li, "Incorporating aging failures in power system reliability evaluation", IEEE Trans. on Power System, Vol.17, pp.918-923, August. 2002.
- [3] Cheng Yun, T. S. Chung, C. W. Yu, C. Y. Chung, Zeng Ming, and Sun Xin, "Application of Reliability-Centered Stochastic Approach and FMECA to Conditional Maintenance of Electric Power Plants in China", IEEE International Conference on Electric DRPT, April 2004.
- [4] 이성훈, 이승희, 김진오, "통계적 분석방법을 이용한 복합화력 발전설비의 평균수명 계산 및 고장확률 예측", 전기학회논문지, 제 54A권, 제 10호, pp. 480-486, 2005, 10.