

수리 가능한 동적 신뢰도 모델의 가용도 척도

- Availability Measures for Repairable Dynamic Reliability Models -

최 성 운 *

Choi Sung Woon

Abstract

This paper is to derive three reliability and eight maintainability measures after organizing total time. I propose inherent availability, achieved availability and operational availability with the new and useful reliability and maintainability measures above. Especially, inherent availability measure extends the repairable system reliability models.

Keywords : System, Reliability, Maintainability, Availability, Repairable

1. 서 론

최근 설비가 정교화되고 첨단화되면서 TPM(Total Productive Maintenance)의 중요성이 더욱 강조되고 있다.

TPM 개선활동은 설비종합 효율(OEE: Overall Equipment Effectiveness) 척도에서 고장정지(breakdown) 및 준비조정(setup and adjustment)ロス 개선에 의한 시간가동률(availability) 향상, 순간정지(minor stoppage) 및 속도(speed)로스 개선에 의한 성능가동률(performance)향상, 품질결점과 재작업(quality defects and rework) 및 수율(yield)로스 개선에 의한 양품률(total yield)향상등으로 이루어진다.

개선목표로는 최저 90% 이상의 시간가동률, 95%이상의 성능가동률과 99% 이상의 수율로 하고 있다. [7]

* 경원대학교 산업공학과 교수

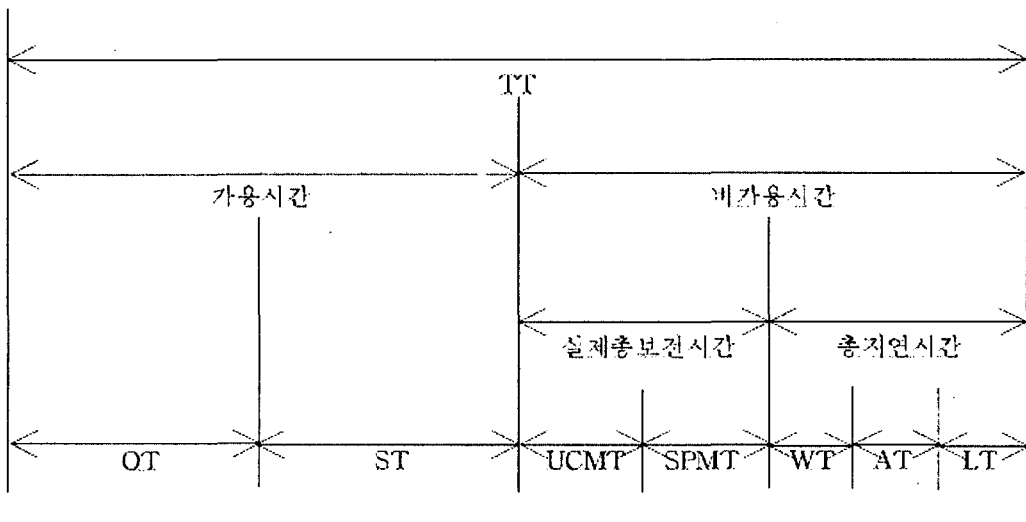
2006년 7월접수; 2006년 8월 수정본 접수; 2006년 10월 게재확정

설비종합효율의 세가지 척도 중 시간가동률은 설비의 신뢰성(reliability)과 보전성(maintainability)에 의해 결정되는 가용도(availability)로서 TPM업무 중 우선적으로 개선해야 하는 기본적인 활동이다. 특히 원자력발전소, 항공기 산업에서는 안전 및 환경에 영향을 미치는 중요기능의 설비나 유닛을 대상으로 계획예방보전(scheduled preventive maintenance)을 실시하여 고장제로를 달성하기 위한 RCM(Reliability Centered Maintenance) 활동을 강화하고 있다. 이러한 RCM 활동에서는 비계획 개량보전(unscheduled corrective maintenance)에 의한 고유가용도(inherent availability)와는 다르게 성취가용도(achieved availability)와 운용가용도(operational availability)척도를 사용하고 있다. [1,2,5,6]

따라서 본 연구에서는 고유가용도, 성취가용도, 운용가용도 척도 등의 새로운 유도 방법 및 공식을 제시한다. 더불어 직렬체인(series chain)모델, 병렬시스템(parallel system)모델, 완전하거나 불완전한 스위치 경우의 대기여유(standby redundancy)모델 등의 수리가능한 동적 신뢰도 모형[3,4] 등을 고려한 고유가용도 공식을 제시한다.

2. 가용도(availability) 척도

가용도 척도를 유도하기 위해 운영시간을 구성하는 요소에 대한 설명은 도표 1를 사용한다.



<그림 1>

<용 어>

TT: 운영시간 (Total Time)

OT: 작동시간 (Operating Time)

ST: 준비시간 (Standby or Setup Time)

UCMT: 비계획개량보전(고장정비)시간 (Unscheduled Corrective Maintenance Time)

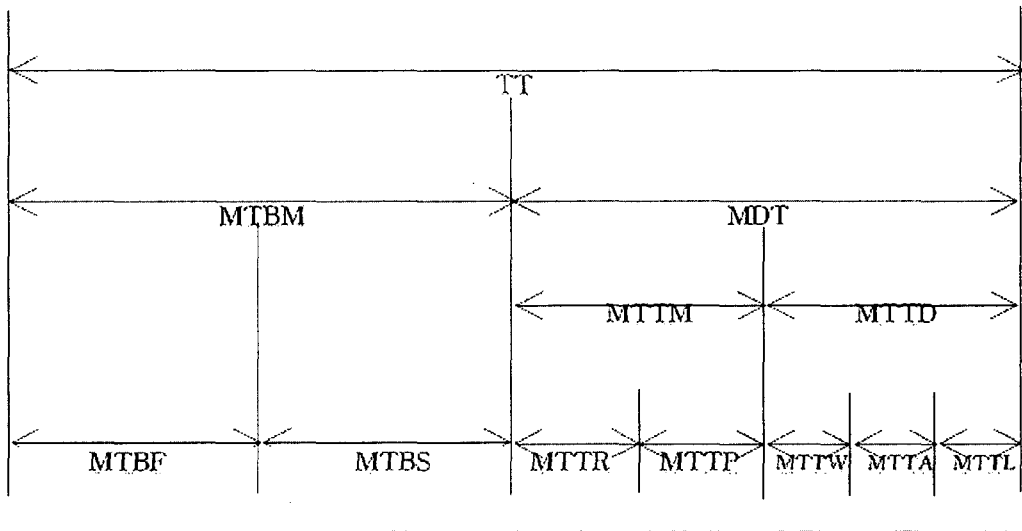
SPMT: 계획예방보전시간(Scheduled Preventive Maintenance Time)

WT: 대기지연시간 (Waiting Time)

AT: 행정지연시간(Administrative time)

LT: 조달지연시간(Logistic Time)

신뢰도와 보전도 척도에 의한 운영시간의 구성은 도표 2와 같다.



<그림 2>

2.1 신뢰도 척도

$$\textcircled{1} \text{ MTBF} = \frac{\text{운영시간}(TT)}{\text{고장횟수}} = \frac{1}{\lambda_F}$$

단, MTBF: Mean Time Between Failure

λ_F : MTBF의 고장률(FR: Failure Rate)

$$\textcircled{2} \text{ MTBS} = \frac{\text{운영시간}(TT)}{\text{준비횟수}} = \frac{1}{\lambda_S}$$

단, MTBS: Mean Time Between Standby(Setup)

λ_S : MTBS의 고장률

$$\textcircled{3} \text{ MTBM} = \frac{\text{운영시간}(TT)}{\text{총비가용횟수}} = \frac{1}{\lambda_M}$$

단, MTBM: Mean Time Between Maintenance

λ_M : MTBF의 고장률

총 비가용횟수: 실제총보전횟수 + 총지연횟수

실제총보전횟수: 개량보전횟수 + 예방보전횟수

총지연횟수: 대기횟수 + 행정횟수 + 조달횟수

2.2 보전도 척도

$$\textcircled{1} \text{ MTTR} = \frac{\text{비계획개량보전시간}(UCMT)}{\text{개량보전횟수}}$$

단, MTTR: Mean Time To Repair (Corrective Repair)

여기서 신뢰도 척도를 구하면 다음과 같다.

$$\text{MTBM}_1 = \frac{\text{운영시간}(TT)}{\text{개량보전횟수}} = \frac{1}{\lambda_1}$$

단, MTBM_1 : 개량보전간 평균가용시간

λ_1 : MTBM_1 의 고장률

$$\textcircled{2} \text{ MTTP} = \frac{\text{계획예방보전시간}(SPMT)}{\text{예방보전횟수}}$$

단, MTTP: Mean Time To Prevention(Preventive Repair)

여기서 신뢰도 척도를 구하면 다음과 같다.

$$MTBM_2 = \frac{\text{운영시간}(IT)}{\text{예방보전횟수}} = \frac{1}{\lambda_2}$$

단, $MTBM_2$: 예방보전간 평균가용시간

λ_2 : $MTBM_2$ 의 고장률

$$\textcircled{3} MTTW = \frac{\text{대기지연시간}(WT)}{\text{대기횟수}}$$

단, MTTW: Mean Time To Waiting

여기서 신뢰도 척도를 구하면 다음과 같다.

$$MTBM_3 = \frac{\text{운영시간}(IT)}{\text{대기횟수}}$$

단, $MTBM_3$: 대기간 평균가용시간

λ_3 : $MTBM_3$ 의 고장률

$$\textcircled{4} MTTA = \frac{\text{행정지연시간}(AT)}{\text{행정횟수}}$$

단, MTTA: Mean Time To Administration

여기서 신뢰도 척도를 구하면 다음과 같다.

$$MTBM_4 = \frac{\text{운영시간}(IT)}{\text{행정횟수}}$$

단, $MTBM_4$: 행정간 평균가용시간

λ_4 : $MTBM_4$ 의 고장률

$$\textcircled{5} \text{ MTTL} = \frac{\text{조달지연시간}(LT)}{\text{조달횟수}}$$

단, MTTL: Mean Time To Logistics

여기서 신뢰도 척도를 구하면 다음과 같다.

$$MTBM_5 = \frac{\text{운영시간}(TT)}{\text{조달횟수}}$$

단, $MTBM_5$: 조달간 평균 가용시간

λ_5 : $MTBM_5$ 의 고장률

$$\begin{aligned} \textcircled{6} \text{ MTTM} &= \frac{\text{실제충보전시간}}{\text{실제충보전횟수}} \\ &= \frac{\text{비계획개량보전시간} + \text{계획예방보전시간}}{\text{개량보전횟수} + \text{예방보전횟수}} \\ &= \frac{\lambda_1 \text{MTTR} + \lambda_2 \text{MTTP}}{\lambda_1 + \lambda_2} \end{aligned}$$

단, MTTM: Mean Time To Maintenance

여기서 신뢰도 척도를 구하면 다음과 같다.

$$MTBM_6 = \frac{\text{운영시간}(TT)}{\text{실제충보전횟수}} = \frac{1}{\lambda_6}$$

단, $MTBM_6$: 실제충보전간 평균가용시간

λ_6 : $MTBM_6$ 의 고장률

$$\textcircled{7} \text{ MTTD} = \frac{\text{총지연시간}}{\text{총지연횟수}}$$

$$= \frac{\text{대기지연시간} + \text{행정지연시간} + \text{조달지연시간}}{\text{대기횟수} + \text{행정횟수} + \text{조달횟수}}$$

$$= \frac{\lambda_3 MTTW + \lambda_4 MTTA + \lambda_5 M TTL}{\lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5}$$

단, MTTD: Mean Time To Delay

여기서 신뢰도 척도를 구하면 다음과 같다.

$$MTBM_7 = \frac{\text{운영시간}(TT)}{\text{총지연횟수}} = \frac{1}{\lambda_7}$$

단, $MTBM_6$: 실제총보전간 평균가용시간

λ_7 : $MTBM_7$ 의 고장률

$$\textcircled{8} \text{ MDT} = \frac{\text{비가용시간}}{\text{총비가용횟수}}$$

$$= \frac{\text{실제총보전시간} + \text{총지연시간}}{\text{실제총보전횟수} + \text{총지연횟수}}$$

$$= \frac{\lambda_6 MTTM + \lambda_7 MTTD}{\lambda_6 + \lambda_7}$$

2.3 가용도 척도

① 가용도(A: Availability)

가용도는 가용시간과 운영시간의 비율이다.

$$A = \frac{\text{가용시간}(OT)}{\text{운영시간}(TT)} \quad \langle \text{그림1 참고} \rangle$$

$$= \frac{\text{가용시간}(OT)}{\text{가용시간} + \text{비가용시간}} \quad \langle \text{그림2 참고} \rangle$$

② 고유가용도 (A_I : Inherent Availability)

고유가용도는 가용시간에서 작동시간과 비계획 개량보전시간의 비율로서 비가용시간 중 계획예방보전시간과 대기, 조달, 행정 등의 총지연시간을 제외한다.

$$A_I = \frac{\text{작동시간}(OT)}{\text{비계획개량보전시간}(UCMT)} \quad \langle \text{그림1 참고} \rangle$$

$$= \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \langle \text{그림2 참고} \rangle$$

③ 성취가용도 (A_A : Achieved Availability)

성취가용도는 가용시간과 비계획 개량보전시간과 계획예방보전시간의 합인 실제 총보전시간의 비율로서 대기, 조달, 행정 등의 총지연시간을 제외한다.

$$A_A = \frac{\text{가용시간}}{\text{실제총보전시간}} \quad \langle \text{그림1 참고} \rangle$$

$$= \frac{MTBM}{MTBM + MTTM} \quad \langle \text{그림2 참고} \rangle$$

$$= \frac{MTBM}{MTBM + MTTR + MTTP}$$

여기서 $MTBM = \frac{1}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{MTBM_i}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^5 \lambda_i}$ 로 구할 수도 있다.

④ 운용가용도 (A_o : Operational Availability)

운용가용도는 가용시간과 비가용의 시간의 비율로 실제 총보전시간과 총지연시간을 모두 포함하는 실제적인 척도이다.

$$A_o = \frac{\text{가용시간}}{\text{가용시간} + \text{비가용시간}} \quad \langle \text{그림1 참고} \rangle$$

$$= \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad \langle \text{그림2 참고} \rangle$$

$$= \frac{MTBM}{MTBM + MTTM + MTTD}$$

$$= \frac{MTBM}{MTBM + MTTR + MTTP + MTTW + MTTA + M TTL}$$

3. 동적 신뢰도 모델에서의 고유가용도

용어:

$R_s(t)$: t 시간에서의 시스템 신뢰도

a_i : 각 부품 고장률

n : 부품 개수

a : 동일 부품 고장률 ($= \frac{1}{MTBF}$)

$MTBF_s$: 시스템의 $MTBF = \int_0^{\infty} R_s(t) dt$

a_s : 스위치 고장률

3.1 직렬체인모델의 고유가용도

직렬체인 모델에서 시스템 신뢰도 $R_s(t) = \exp[-t \sum_{i=1}^n a_i]$ 이다. $MTBF_s = \int_0^{\infty} R_s(t) dt$ 에

의해 $MTBF_s$ 를 구하면 $\frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i}$ 이다.

따라서 고유가용도는 다음과 같다.

$$A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$= \frac{\frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i}}{\frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i} + MTTR}$$

3.2 병렬시스템 모델에서 고유가용도

병렬 시스템 모델에서 시스템 신뢰도 $R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-ta_i})$ 이다.

여기서 각 부품고장률 α_i 를 동일 부품 고장률 a 로 가정하여 $MTBF_s$ 를 구하면

$$\sum_{i=1}^n \frac{MTBF}{i} \text{ 이다.}$$

따라서 고유가용도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A_I &= \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n MTBF/i}{\sum_{i=1}^n MTBF/i + MTTR} \end{aligned}$$

3.3 완전한 스위치인 대기 여유 모델의 고유가용도

완전한 스위치인 대기 여유 모델에서 시스템 신뢰도 $R_s(t) = e^{-at} \sum_{i=0}^{n-1} (at)^i / i!$ 이다.

$$MTBF_s = \int_0^{\infty} R_s(t) dt \text{를 이용하여 } MTBF_s \text{를 구하면 } \sum_{i=1}^n \frac{1}{a} \text{ 이다.}$$

따라서 고유가용도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A_I &= \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{a}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{a} + MTTR} \end{aligned}$$

3.4 불완전한 스위치인 대기 여유 모델의 고유가용도

불완전한 스위치인 대기 여유 모델에서 시스템 신뢰도 $R_s(t) = e^{-at} [1 + \frac{a}{a_s} (1 - e^{-t})]$ 이다.

$$MTBF_s = \int_0^{\infty} R_s(t) dt \text{를 이용하여 } MTBF_s \text{를 구하면 } [\frac{1}{a} - \frac{1}{a_s} - (\frac{a}{a_s}) (\frac{1}{a+a_s})] \text{ 이다.}$$

따라서 고유가용도는 다음과 같다.

$$A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$= \frac{\left[\frac{1}{a} - \frac{1}{a_s} - \left(\frac{a}{a_s} \right) \left(\frac{1}{a + a_s} \right) \right]}{\left[\frac{1}{a} - \frac{1}{a_s} - \left(\frac{a}{a_s} \right) \left(\frac{1}{a + a_s} \right) \right] + MTTR}$$

4. 결 론

본 연구는 새로운 운영시간을 구성요소로 하여 3가지 신뢰도 척도 MTBF, MTBS, MTBM과 8가지 보전성척도 MTTR, MTTP, MTTW, MTTA, MTTL, MTTM, MTTD, MDT를 유도하였다. 이 두가지 유형의 척도를 이용하여 고유가용도, 성취가용도, 운용가용도 공식등을 제시하였으며 이중 고유가용도는 수리가능한 시스템 신뢰도 모델까지 확장, 적용하였다.

향후 연구로는 단일 부품의 고유가용도 신뢰한계[8]를 응용하여 수리가능한 동적 시스템 신뢰도 모형에 대한 고유, 성취, 운용 가용도의 구간추정식을 유도하는 것이다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 신주환, "수중유도 무기의 운용가용도 향상을 위한 통합 정비 체계에 관한 연구", 부산대학교 박사학위 논문, (2006)
- [2] 이상용, 신뢰성 공학, 형설 출판사. (1999)
- [3] Kapur K.C., Lamberson, L.R. , Reliability in Engineering Design, New York : John Wiley & Sons, (1977)
- [4] Mitchell B.F. , Murry R.J. , "Predicting Operational Availability for Systems with Redundant, Repairable Components and Multiple Sparing Levels", 1996 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, (1996) 301-316.
- [5] Oliveto F.E. , "An Algorithm to Partition the Operational Availability Parts of an Optimal Provisioning Strategy", 1999 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, (1999) 310-316.
- [6] Oliveto F.E. , "An Optimal Sparing Model for the Operational Availability to Approach the Inherent Availability," 2001 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, (2001) 252-257.
- [7] Tajiri M. , Gotoh F. , TPM Implementation : A Japanese Approach, New York

: McGraw-Hill, (1992)

- [8] Wang W., Kececioglu D.B., "Confidence Limits on the Inherent Availability of Equipment", 2000 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, (2000) 162-168.

저 자 소 개

최 성 운 : 현 경원대학교 산업공학과 교수 재직 중. 한양 대학교 산업공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득하고, 1994년 한국과학재단 지원으로 University of Minnesota에서 1년간 Post-Doc을 수행하였으며, 2002년부터 1년 8개월 동안 University of Washington에서 Visiting Professor를 역임하였음. 주요 관심분야는 경영품질시스템, 서비스 사이언스, 자동화 생산 및 장치 산업에서의 품질관리이며, 컴퓨터·정보통신시스템의 신뢰성 설계 및 분석, RFID시스템에도 관심을 가지고 있음.

저 자 주 소

최 성 운 : 경기도 성남시 수정구 복정동 산65번지 경원대학교 산업정보시스템 공학과