

# 로봇 시스템의 FMECA

## An application of FMECA to an industrial robot system

장주수 김성락\* 이용국\* 송준엽\*\*

JooSoo Chang SungRak Kim Yongkuk Lee JunYeob Song

(주)모아소프트 신뢰성기술연구소장

\*현대중공업(주) 기계전기연구소 로봇개발실

\*\*한국기계연구원 지능생산시스템그룹장

### ABSTRACT

A robot system in most industries has a complicated structure, which includes electric and electronic components, and mechanical parts. For this reason, building a robot system also has a very complicated design and maintenance processes. Especially to predict or assess the system's maintainability and safety is important for both designer and operator before it's production or installation of the system. This paper presents an application methodology of FMECA focused on safety in design process of a robot system with point of view of reliability engineering.

### I. 서 론

고장형태 및 영향분석(Failure Mode and Effect Analysis) 그리고 보다 더 계량화된 방법으로서 치명도 해석(Criticality Analysis)기법 등은 그 목적에 따라 분석과정에 차이가 있을 수 있다. 일반적으로 군수산업분야에서는 미국방성에서 제시한 MIL-STD-1629 계열의 규격서를 근간으로 FMECA 작업을 진행하며, 민수산업의 경우 이론바 빅-3 라 불리는 자동차제조 회사들 그리고 미국자동차협회(Society for Automotive Engineers) 등에서 제시한 방법 등을 따르고 있다. 따라서 FMEA 또는 FMECA는 하나이지만 분석의 목적에 따라 과정은 여러 가지가 있을 수 있다는 것이다.

본 논문은 이러한 FMECA 분석기법을 현재 제작중인 로봇시스템에 적용하여 설계과정에서 미리 고려하지 못했던 잠재적 고장형태 그리고 시스템운용과정에서 발생할 수 있는 위험 요소들을 발견하고 다시 그 것을 설계과정에 반영하여 로봇이라는 시스템의 완성도를 높일 수 있었다는 것을 보일 것이다. 한편 FMECA 분석과정으로 다음과 같은 절차를 거쳤다.

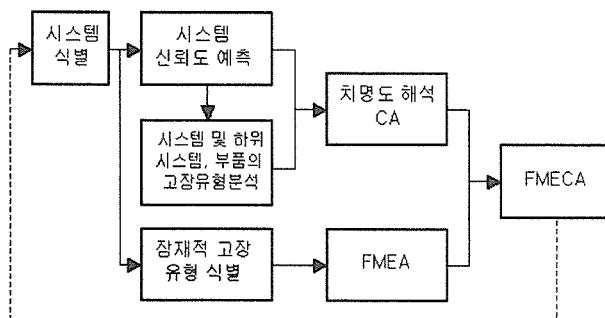


그림 1. FMECA 분석 절차

전기전자부품 또는 하위시스템의 경우의 신뢰도예측

방법은 MIL-HDBK-217F 와 EPRD97 데이터를 사용하였고, 기계류의 경우 예측방법은 미 해군의 NSWC-98 LE1 규격과 NRPD95 데이터를 활용하였다. 한편 고장 형태에 관한 정보는 전기전자의 경우 FMD97, 기계류는 NRPD3 및 OREDA97 자료를 활용하였다. 마지막으로 FMECA 분석절차는 방대한 고장형태의 라이브러리 그리고 고장률에 관한 데이터가 필요하다. 따라서 분석을 위한 도구가 필요하다. 이를 위해서는 미국 Relex Software 사의 Relex 7.6 을 이용하였다는 것을 밝혀둔다.

### II. 로봇 시스템

현재 현대중공업에서 제작 및 운영중인 로봇 시스템은 다음과 같다.

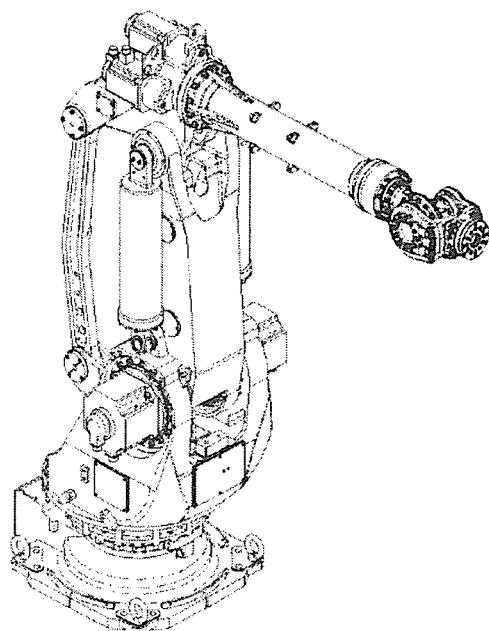


그림 2. 로봇 시스템의 본체

Name	Level	Number of Parts	
		Category	Total
H-Robot	System	573	1,890
Control Units	Sub-System	453	1,771
	Back Plane Board	Assembly	6 32
	Main Board	Assembly	78 92
	Digital I/O Board	Assembly	49 321
	Servo Board	Assembly	51 135
	Sequence Board	Assembly	43 135
	Analog I/O Board	Assembly	52 152
	EE equips	Assembly	27 43
	Motor Drive equips	Assembly	84 676
Mechanical Units	Sub-System	80	119
	Wrist-Part	Assembly	20 33
	Upper Arm-Part	Assembly	22 27
	Lower Arm-Part	Assembly	26 44
	Rotary-Part	Assembly	12 15

표 1. 로봇 시스템 구성표

위의 그림 2는 로봇 시스템의 본체를 나타낸 것이다. 표 1은 전기전자적인 요소 그리고 기계적인 요소로 구분하여 시스템의 계층도를 작성한 것이다. 한편 시스템의 수명 또는 안전 등에 미치는 영향이 미미하거나 거의 없다고 판단할 수 있는 하위시스템 같은 분석의 대상에서 제외하였다.

### III. FMEA 및 CA

FMEA 분석절차에서 가장 중요한 부분은 고장형태(Failure Modes)를 체계적으로 정리하고 분류하는 작업이다. 일반적으로 잘 알려진 부품 또는 어셈블리의 경우 고장형태에 관한 정보를 얻을 수 있지만 대개의 경우 시스템을 설계하는 과정에 참여하는 엔지니어들이 경험적 내용을 토대로 추론하거나 또는 예측할 수 있어야 한다. 뿐만 아니라 언어로 기술된 고장형태의 범주를 코드화하여 분석과정의 일관성을 가져야 한다. 따라서 이러한 과정을 혼돈 없이 수행하기 위해서는 설계를 담당하는 엔지니어들 사이의 의사소통이 원활해야 한다.

#### 1. FMEA

FMEA 분석절차는 최하위의 부품부터 시작하여 시스템 레벨까지의 고장형태 그리고 영향 등을 다루는 것이다. 따라서 시스템의 구성요소인 하위시스템, 부품단위의 기능과 역할에 대한 이해가 선행되어야 한다. 이러한 것들을 이해하기 쉽게 도식화한 것을 시스템의 기능도(Functional Block Diagram)라 하는데, 본 논문에서 다루고자 하는 로봇 시스템의 기능도는 다음과 같다.

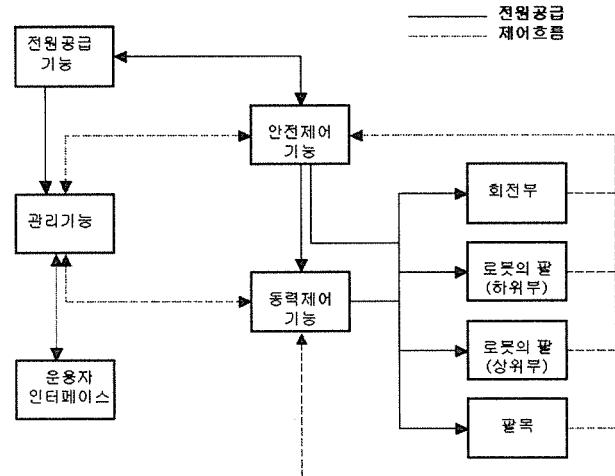


그림 3. 로봇 시스템의 기능도

한편 분석의 목적이 고장에 따른 위험요소를 식별하여 시스템을 재구성하는 것에 있으므로 각각의 고장형태에 대한 계량화된 평가방법이 있어야 한다. 즉 많은 수의 고장형태 중에 어느 것이 더 심각한가를 평가해야 한다. 일반적인 평가방법 중 하나는 위험우선순위수치(Risk Priority Number)라 하여 하나의 고장형태에 대하여 심각도(Severity), 발생빈도(Occurrence), 그리고 고장형태를 식별 또는 탐지할 수 있는 정도(Detection) 등을 수치로 환산하여 계산하는 방식이다. 즉 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection$$

본 논문에서는 SAE에서 제시하는 기준을 따랐고, RPN 값의 범위는  $1 \leq RPN \leq 1000$ 의 값을 갖도록 평점 하였다. 다음 그림 4와 그림 5는 RPN 값을 기준으로 위험도를 계산할 때 기준보다 높은 값을 갖는 고장형태를 도시한 것이다.

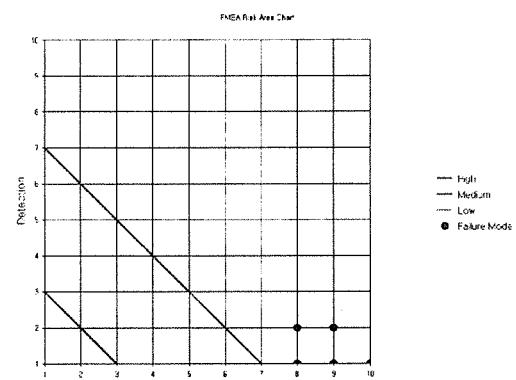


그림 4. 위험도 채트(Severity-Detection)

그림 4는 Severity-Detection의 관계에서 높은 값을 가지는 경우이고 그림 5는 Severity-Occurrence 관계에서 높은 값을 갖는 경우를 각각 점으로 표시한 것이다.

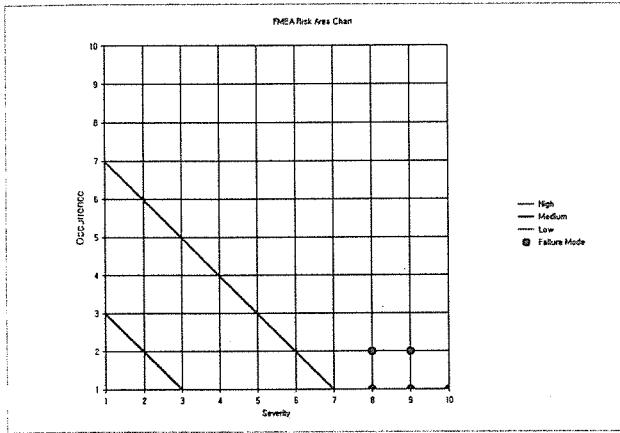


그림 5. 위험도 차트(Severity-Occurrence)

FMEA 분석결과 안전에 심각한 수준의 RPN 값은 대부분 Sequence 보드와 이 것을 통해 제어되는 스위치부분에서 산출되었다.

## 2. CA

앞의 FMEA를 통해 산출한 RPN 값은 다소 주관적이고 분석자의 경험에 의해 결정된다는 단점이 있다. 이것을 보완하여 보다 객관적인 위험도를 산출하기 위해 치명도(Criticality)분석방법을 적용하였다. 즉 신뢰도예측을 통해 산출된 개별 부품 및 하위시스템의 고장율을 앞서 계산한 RPN 값과 결합하여 개별 고장형태가 발생할 경우의 시스템의 치명도를 산출한 것이다. 산출방법은 다음과 같다.

$$C_m = \beta \alpha \lambda_p t$$

$C_m$  : 고장형태의 치명도

$\beta$  : 고장영향 확률

$\alpha$  : 고장형태의 비율

$\lambda_p$  : 개별 부품의 고장율

$t$  : 시스템의 운용시간

로봇시스템의 스위치의 경우 다음과 같다.

부품의 고장형태	$\alpha$	$\lambda_p$	$\lambda_m$
Open	0.5	$\times$ 0.04672	= 0.02336
Close	0.5	$\times$ 0.04672	= 0.02336
Total	1.0		0.04672

표 2. 스위치의 고장형태별 고장율

표 2의  $\lambda_m$ 는 개별 고장형태에 따른 부품의 고장율을 의미한다. 한편  $\alpha$ 는 개별 부품이 가지는 고장형태의 비율이다. 표 2의 스위치경우 Open, Close 두개의 고장형태를 갖는데, 각각이 발생할 수 있는 비율을 의미한다. 한편 고장형태의 치명도는 다음 표 3과 같다.

부품의 고장형태	$\beta$	$\lambda_p$	$C_m$
Open	1.0	$\times$ 0.02336	= 0.02336
Close	0.8	$\times$ 0.02336	= 0.01868

표 3. 스위치의 고장형태별 치명도

여기서  $\beta$  값이 의미하는 것은 개별 고장형태가 발생한 경우 그 영향의 정도를 확률 값으로 나타낸 것이다. 한편 개별 고장형태의 치명도를 합하면 하나의 부품에 대한 치명도가 정의되는데 다음과 같다.

$$C_r = \sum_{n=1}^k (\beta \alpha \lambda_p t)_k = \sum_{n=1}^k (C_m)_k, n=1,2,3\dots k$$

$C_r$  : 개별 부품에 대한 치명도

n : 개별부품의 고장형태의 수

로봇시스템의 경우 표 3을 통해  $C_r = 0.04204$ 임을 알 수 있다. 이러한 계산방법을 시스템 전체로 확대하여 평가하는 방법을 치명도행렬(Criticality Matrix)이라 하는데 앞선 RPN 평점법에 대비하여 스위치의 치명도 행렬을 도시하면 다음과 같다.

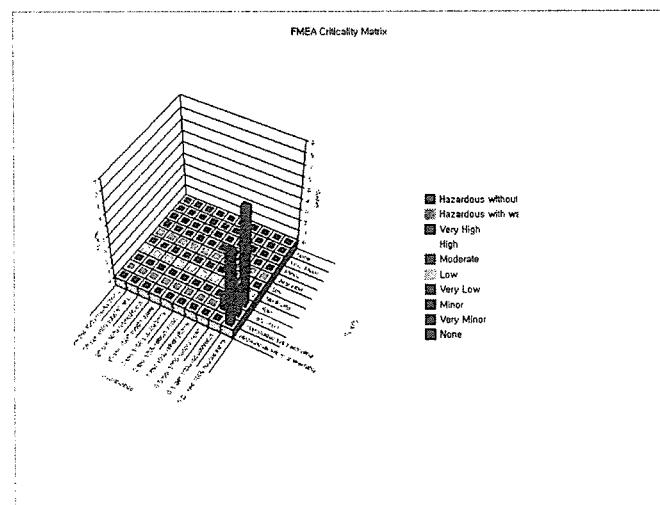


그림 6. 스위치의 치명도행렬

## 3. 시스템 재구성

FMEA 및 CA 분석결과 개별 부품 및 하위시스템에 대

한 고장형태 그리고 개선방안은 크게 두 가지로 요약된다. 하나는 하위 시스템들에 대한 고장을 낮추어 시스템의 수명을 늘리고 근본적인 고장요인을 낮추는 방안이고, 다른 하나는 중복설계 등 시스템의 재구성을 통해 시스템의 고장요인을 분산시키는 방법이다. 본 논문의 로봇시스템의 경우 치명도가 높은 스위치부분에 대해 중복구조(Redundancy)로 설계를 변경하므로 근본적인 고장요인을 분산시켰다. 고장요인에 대한 분산의 정도는 다음 그림 7 과 같다. 즉 시간이 길어질수록 분산의 효과는 더 커진다고 생각할 수 있다. 따라서 스위치개별과 전체에 대한 고장형태의 고장을 및 치명도 등도 같은 비율로 분산된다.

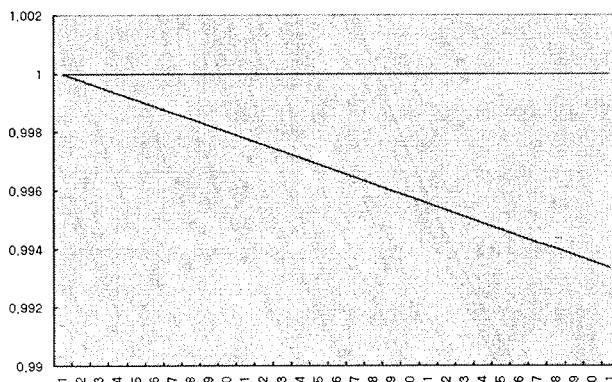


그림 7. 중복설계의 시간에 따른 신뢰도추이

그림 7 의 그래프 중 위는 중복설계 상태이고, 아래는 중복구조를 도입하기 전의 상태이다.

#### IV. 결론

하나의 시스템에 대한 신뢰성분석 및 안정성분석에는 FMEA 및 CA 뿐만 아니라 보다 복잡한 여러 가지 과정이 있다. 즉 분석의 목적을 어디에 두느냐에 따라 분석에 사용되는 방법론이 다를 수 있다는 것이다. 본 논문의 분석 대상인 로봇시스템 또한 마찬가지인데, 여기서의 분석 목적은 시스템의 안전에 보다 무게를 두었다. 이유는 산업현장에서 일반 사람과 같이 작업하는 기계인 로봇시스템은 자체의 수명보다는 로봇시스템이 가지는 오동작(malfunction) 또는 제어시스템의 고장이 경우에 따라서는 심각한 재난을 가져올 수 있다는 때문이다. 이에 대한 대처 방안으로는 로봇을 운용하는 현장의 엔지니어가 로봇시스템에 대해 잘 이해하고 관리한다면 최선의 방책이 될 수 있으나 이를 위한 경제적 비용은 커진다고 볼 수 있다. 따라서 설계시점부터 시스템에 대한 정확한 식별과 잠재적 고장형태 등을 미리 예상하여 반영하는 것이 보다 경제적인 결과를 갖는다고 볼 수 있기 때문이다.

로봇시스템에 대한 FMECA 분석을 통해 직접적으로 얻을 수 있는 효과는 첫째, 예상치 아니했던 고장형태

를 추론할 수 있었고 이를 통해 설계시점에서 미리 예방조치를 할 수 있었다는 것이다. 둘째는, 시스템차원의 고장-메커니즘(Failure Mechanism and Distribution)을 정립하여 고장과 고장에 따른 사후처리라는 과정이 보다 신속하게 진행될 수 있고 유지보수에 보다 효율을 기할 수 있었다는 점이다. 마지막으로 고장형태의 분류를 통해 시스템차원의 신뢰성향상 방안이 정의될 수 있었다는 점이다.

#### 참고문헌

- [1] 주모아소프트 신뢰성기술연구소, 신뢰성예측 가이드북, 교우사(2002).
- [2] Reliability Analysis Center, Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (1993).
- [3] Reliability Analysis Center, Mechanical Applications in Reliability Engineering(1993).

#### 부록

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)												Page #
POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (DESIGN FMEA)												Page #
Item Function	Potential Failure Mode	Consequence of Failure	Failure Mode Description	Failure Cause	Effect Prob.	Mode Ratio	Failure Rate	Oper. Time	Mode Off	Run Off	Remarks	
High Level Function	High Level Failure Mode	Consequence of Failure	Failure Mode Description	Failure Cause	Effect Prob.	Mode Ratio	Failure Rate	Oper. Time	Mode Off	Run Off	Remarks	
Low Level Function	Low Level Failure Mode	Consequence of Failure	Failure Mode Description	Failure Cause	Effect Prob.	Mode Ratio	Failure Rate	Oper. Time	Mode Off	Run Off	Remarks	
Process Function	Process Failure Mode	Consequence of Failure	Failure Mode Description	Failure Cause	Effect Prob.	Mode Ratio	Failure Rate	Oper. Time	Mode Off	Run Off	Remarks	
Component Function	Component Failure Mode	Consequence of Failure	Failure Mode Description	Failure Cause	Effect Prob.	Mode Ratio	Failure Rate	Oper. Time	Mode Off	Run Off	Remarks	
Subsystem Function	Subsystem Failure Mode	Consequence of Failure	Failure Mode Description	Failure Cause	Effect Prob.	Mode Ratio	Failure Rate	Oper. Time	Mode Off	Run Off	Remarks	
System Function	System Failure Mode	Consequence of Failure	Failure Mode Description	Failure Cause	Effect Prob.	Mode Ratio	Failure Rate	Oper. Time	Mode Off	Run Off	Remarks	

FMEA sheet : Relex

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)												Page #
Criticality Analysis Report												Page #
Part Number	Reference Date	Description	Fix Name	RunOff EDI								
Part Number	Reference Date	Description	Fix Name	RunOff EDI								
Part Description	Name Function	Failure Mode	Mission Phase	Severity	Fic Data Source	Effect Prob.	Mode Ratio	Failure Rate	Oper. Time	Mode Off	Run Off	Remarks
Line 1	Line 1 Function	Line 1 Failure Mode	Line 1 Mission Phase	Line 1 Severity	Line 1 Fic Data Source	Line 1 Effect Prob.	Line 1 Mode Ratio	Line 1 Failure Rate	Line 1 Oper. Time	Line 1 Mode Off	Line 1 Run Off	Line 1 Remarks
Line 2	Line 2 Function	Line 2 Failure Mode	Line 2 Mission Phase	Line 2 Severity	Line 2 Fic Data Source	Line 2 Effect Prob.	Line 2 Mode Ratio	Line 2 Failure Rate	Line 2 Oper. Time	Line 2 Mode Off	Line 2 Run Off	Line 2 Remarks
Line 3	Line 3 Function	Line 3 Failure Mode	Line 3 Mission Phase	Line 3 Severity	Line 3 Fic Data Source	Line 3 Effect Prob.	Line 3 Mode Ratio	Line 3 Failure Rate	Line 3 Oper. Time	Line 3 Mode Off	Line 3 Run Off	Line 3 Remarks
Line 4	Line 4 Function	Line 4 Failure Mode	Line 4 Mission Phase	Line 4 Severity	Line 4 Fic Data Source	Line 4 Effect Prob.	Line 4 Mode Ratio	Line 4 Failure Rate	Line 4 Oper. Time	Line 4 Mode Off	Line 4 Run Off	Line 4 Remarks
Line 5	Line 5 Function	Line 5 Failure Mode	Line 5 Mission Phase	Line 5 Severity	Line 5 Fic Data Source	Line 5 Effect Prob.	Line 5 Mode Ratio	Line 5 Failure Rate	Line 5 Oper. Time	Line 5 Mode Off	Line 5 Run Off	Line 5 Remarks
Line 6	Line 6 Function	Line 6 Failure Mode	Line 6 Mission Phase	Line 6 Severity	Line 6 Fic Data Source	Line 6 Effect Prob.	Line 6 Mode Ratio	Line 6 Failure Rate	Line 6 Oper. Time	Line 6 Mode Off	Line 6 Run Off	Line 6 Remarks
Line 7	Line 7 Function	Line 7 Failure Mode	Line 7 Mission Phase	Line 7 Severity	Line 7 Fic Data Source	Line 7 Effect Prob.	Line 7 Mode Ratio	Line 7 Failure Rate	Line 7 Oper. Time	Line 7 Mode Off	Line 7 Run Off	Line 7 Remarks
Line 8	Line 8 Function	Line 8 Failure Mode	Line 8 Mission Phase	Line 8 Severity	Line 8 Fic Data Source	Line 8 Effect Prob.	Line 8 Mode Ratio	Line 8 Failure Rate	Line 8 Oper. Time	Line 8 Mode Off	Line 8 Run Off	Line 8 Remarks
Line 9	Line 9 Function	Line 9 Failure Mode	Line 9 Mission Phase	Line 9 Severity	Line 9 Fic Data Source	Line 9 Effect Prob.	Line 9 Mode Ratio	Line 9 Failure Rate	Line 9 Oper. Time	Line 9 Mode Off	Line 9 Run Off	Line 9 Remarks
Line 10	Line 10 Function	Line 10 Failure Mode	Line 10 Mission Phase	Line 10 Severity	Line 10 Fic Data Source	Line 10 Effect Prob.	Line 10 Mode Ratio	Line 10 Failure Rate	Line 10 Oper. Time	Line 10 Mode Off	Line 10 Run Off	Line 10 Remarks
Line 11	Line 11 Function	Line 11 Failure Mode	Line 11 Mission Phase	Line 11 Severity	Line 11 Fic Data Source	Line 11 Effect Prob.	Line 11 Mode Ratio	Line 11 Failure Rate	Line 11 Oper. Time	Line 11 Mode Off	Line 11 Run Off	Line 11 Remarks
Line 12	Line 12 Function	Line 12 Failure Mode	Line 12 Mission Phase	Line 12 Severity	Line 12 Fic Data Source	Line 12 Effect Prob.	Line 12 Mode Ratio	Line 12 Failure Rate	Line 12 Oper. Time	Line 12 Mode Off	Line 12 Run Off	Line 12 Remarks
Line 13	Line 13 Function	Line 13 Failure Mode	Line 13 Mission Phase	Line 13 Severity	Line 13 Fic Data Source	Line 13 Effect Prob.	Line 13 Mode Ratio	Line 13 Failure Rate	Line 13 Oper. Time	Line 13 Mode Off	Line 13 Run Off	Line 13 Remarks
Line 14	Line 14 Function	Line 14 Failure Mode	Line 14 Mission Phase	Line 14 Severity	Line 14 Fic Data Source	Line 14 Effect Prob.	Line 14 Mode Ratio	Line 14 Failure Rate	Line 14 Oper. Time	Line 14 Mode Off	Line 14 Run Off	Line 14 Remarks
Line 15	Line 15 Function	Line 15 Failure Mode	Line 15 Mission Phase	Line 15 Severity	Line 15 Fic Data Source	Line 15 Effect Prob.	Line 15 Mode Ratio	Line 15 Failure Rate	Line 15 Oper. Time	Line 15 Mode Off	Line 15 Run Off	Line 15 Remarks
Line 16	Line 16 Function	Line 16 Failure Mode	Line 16 Mission Phase	Line 16 Severity	Line 16 Fic Data Source	Line 16 Effect Prob.	Line 16 Mode Ratio	Line 16 Failure Rate	Line 16 Oper. Time	Line 16 Mode Off	Line 16 Run Off	Line 16 Remarks
Line 17	Line 17 Function	Line 17 Failure Mode	Line 17 Mission Phase	Line 17 Severity	Line 17 Fic Data Source	Line 17 Effect Prob.	Line 17 Mode Ratio	Line 17 Failure Rate	Line 17 Oper. Time	Line 17 Mode Off	Line 17 Run Off	Line 17 Remarks
Line 18	Line 18 Function	Line 18 Failure Mode	Line 18 Mission Phase	Line 18 Severity	Line 18 Fic Data Source	Line 18 Effect Prob.	Line 18 Mode Ratio	Line 18 Failure Rate	Line 18 Oper. Time	Line 18 Mode Off	Line 18 Run Off	Line 18 Remarks
Line 19	Line 19 Function	Line 19 Failure Mode	Line 19 Mission Phase	Line 19 Severity	Line 19 Fic Data Source	Line 19 Effect Prob.	Line 19 Mode Ratio	Line 19 Failure Rate	Line 19 Oper. Time	Line 19 Mode Off	Line 19 Run Off	Line 19 Remarks
Line 20	Line 20 Function	Line 20 Failure Mode	Line 20 Mission Phase	Line 20 Severity	Line 20 Fic Data Source	Line 20 Effect Prob.	Line 20 Mode Ratio	Line 20 Failure Rate	Line 20 Oper. Time	Line 20 Mode Off	Line 20 Run Off	Line 20 Remarks
Line 21	Line 21 Function	Line 21 Failure Mode	Line 21 Mission Phase	Line 21 Severity	Line 21 Fic Data Source	Line 21 Effect Prob.	Line 21 Mode Ratio	Line 21 Failure Rate	Line 21 Oper. Time	Line 21 Mode Off	Line 21 Run Off	Line 21 Remarks
Line 22	Line 22 Function	Line 22 Failure Mode	Line 22 Mission Phase	Line 22 Severity	Line 22 Fic Data Source	Line 22 Effect Prob.	Line 22 Mode Ratio	Line 22 Failure Rate	Line 22 Oper. Time	Line 22 Mode Off	Line 22 Run Off	Line 22 Remarks
Line 23	Line 23 Function	Line 23 Failure Mode	Line 23 Mission Phase	Line 23 Severity	Line 23 Fic Data Source	Line 23 Effect Prob.	Line 23 Mode Ratio	Line 23 Failure Rate	Line 23 Oper. Time	Line 23 Mode Off	Line 23 Run Off	Line 23 Remarks
Line 24	Line 24 Function	Line 24 Failure Mode	Line 24 Mission Phase	Line 24 Severity	Line 24 Fic Data Source	Line 24 Effect Prob.	Line 24 Mode Ratio	Line 24 Failure Rate	Line 24 Oper. Time	Line 24 Mode Off	Line 24 Run Off	Line 24 Remarks
Line 25	Line 25 Function	Line 25 Failure Mode	Line 25 Mission Phase	Line 25 Severity	Line 25 Fic Data Source	Line 25 Effect Prob.	Line 25 Mode Ratio	Line 25 Failure Rate	Line 25 Oper. Time	Line 25 Mode Off	Line 25 Run Off	Line 25 Remarks
Line 26	Line 26 Function	Line 26 Failure Mode	Line 26 Mission Phase	Line 26 Severity	Line 26 Fic Data Source	Line 26 Effect Prob.	Line 26 Mode Ratio	Line 26 Failure Rate	Line 26 Oper. Time	Line 26 Mode Off	Line 26 Run Off	Line 26 Remarks
Line 27	Line 27 Function	Line 27 Failure Mode	Line 27 Mission Phase	Line 27 Severity	Line 27 Fic Data Source	Line 27 Effect Prob.	Line 27 Mode Ratio	Line 27 Failure Rate	Line 27 Oper. Time	Line 27 Mode Off	Line 27 Run Off	Line 27 Remarks
Line 28	Line 28 Function	Line 28 Failure Mode	Line 28 Mission Phase	Line 28 Severity	Line 28 Fic Data Source	Line 28 Effect Prob.	Line 28 Mode Ratio	Line 28 Failure Rate	Line 28 Oper. Time	Line 28 Mode Off	Line 28 Run Off	Line 28 Remarks
Line 29	Line 29 Function	Line 29 Failure Mode	Line 29 Mission Phase	Line 29 Severity	Line 29 Fic Data Source	Line 29 Effect Prob.	Line 29 Mode Ratio	Line 29 Failure Rate	Line 29 Oper. Time	Line 29 Mode Off	Line 29 Run Off	Line 29 Remarks
Line 30	Line 30 Function	Line 30 Failure Mode	Line 30 Mission Phase	Line 30 Severity	Line 30 Fic Data Source	Line 30 Effect Prob.	Line 30 Mode Ratio	Line 30 Failure Rate	Line 30 Oper. Time	Line 30 Mode Off	Line 30 Run Off	Line 30 Remarks
Line 31	Line 31 Function	Line 31 Failure Mode	Line 31 Mission Phase	Line 31 Severity	Line 31 Fic Data Source	Line 31 Effect Prob.	Line 31 Mode Ratio	Line 31 Failure Rate	Line 31 Oper. Time	Line 31 Mode Off	Line 31 Run Off	Line 31 Remarks
Line 32	Line 32 Function	Line 32 Failure Mode	Line 32 Mission Phase	Line 32 Severity	Line 32 Fic Data Source	Line 32 Effect Prob.	Line 32 Mode Ratio	Line 32 Failure Rate	Line 32 Oper. Time	Line 32 Mode Off	Line 32 Run Off	Line 32 Remarks
Line 33	Line 33 Function	Line 33 Failure Mode	Line 33 Mission Phase	Line 33 Severity	Line 33 Fic Data Source	Line 33 Effect Prob.	Line 33 Mode Ratio	Line 33 Failure Rate	Line 33 Oper. Time	Line 33 Mode Off	Line 33 Run Off	Line 33 Remarks
Line 34	Line 34 Function	Line 34 Failure Mode	Line 34 Mission Phase	Line 34 Severity	Line 34 Fic Data Source	Line 34 Effect Prob.	Line 34 Mode Ratio	Line 34 Failure Rate	Line 34 Oper. Time	Line 34 Mode Off	Line 34 Run Off	Line 34 Remarks
Line 35	Line 35 Function	Line 35 Failure Mode	Line 35 Mission Phase	Line 35 Severity	Line 35 Fic Data Source	Line 35 Effect Prob.	Line 35 Mode Ratio	Line 35 Failure Rate	Line 35 Oper. Time	Line 35 Mode Off	Line 35 Run Off	Line 35 Remarks
Line 36	Line 36 Function	Line 36 Failure Mode	Line 36 Mission Phase	Line 36 Severity	Line 36 Fic Data Source	Line 36 Effect Prob.	Line 36 Mode Ratio	Line 36 Failure Rate	Line 36 Oper. Time	Line 36 Mode Off	Line 36 Run Off	Line 36 Remarks
Line 37	Line 37 Function	Line 37 Failure Mode	Line 37 Mission Phase	Line 37 Severity	Line 37 Fic Data Source	Line 37 Effect Prob.	Line 37 Mode Ratio	Line 37 Failure Rate	Line 37 Oper. Time	Line 37 Mode Off	Line 37 Run Off	Line 37 Remarks
Line 38	Line 38 Function	Line 38 Failure Mode	Line 38 Mission Phase	Line 38 Severity	Line 38 Fic Data Source	Line 38 Effect Prob.	Line 38 Mode Ratio	Line 38 Failure Rate	Line 38 Oper. Time	Line 38 Mode Off	Line 38 Run Off	Line 38 Remarks
Line 39	Line 39 Function	Line 39 Failure Mode	Line 39 Mission Phase	Line 39 Severity	Line 39 Fic Data Source	Line 39 Effect Prob.	Line 39 Mode Ratio	Line 39 Failure Rate	Line 39 Oper. Time	Line 39 Mode Off	Line 39 Run Off	Line 39 Remarks
Line 40	Line 40 Function	Line 40 Failure Mode	Line 40 Mission Phase	Line 40 Severity	Line 40 Fic Data Source	Line 40 Effect Prob.	Line 40 Mode Ratio	Line 40 Failure Rate	Line 40 Oper. Time	Line 40 Mode Off	Line 40 Run Off	Line 40 Remarks
Line 41	Line 41 Function	Line 41 Failure Mode	Line 41 Mission Phase	Line 41 Severity	Line 41 Fic Data Source	Line 41 Effect Prob.	Line 41 Mode Ratio	Line 41 Failure Rate	Line 41 Oper. Time	Line 41 Mode Off	Line 41 Run Off	Line 41 Remarks
Line 42	Line 42 Function	Line 42 Failure Mode	Line 42 Mission Phase	Line 42 Severity	Line 42 Fic Data Source	Line 42 Effect Prob.	Line 42 Mode Ratio	Line 42 Failure Rate	Line 42 Oper. Time	Line 42 Mode Off	Line 42 Run Off	Line 42 Remarks
Line 43	Line 43 Function	Line 43 Failure Mode	Line 43 Mission Phase	Line 43 Severity	Line 43 Fic Data Source	Line 43 Effect Prob.	Line 43 Mode Ratio	Line 43 Failure Rate	Line 43 Oper. Time	Line 43 Mode Off	Line 43 Run Off	Line 43 Remarks
Line 44	Line 44 Function	Line 44 Failure Mode	Line 44 Mission Phase	Line 44 Severity	Line 44 Fic Data Source	Line 44 Effect Prob.	Line 44 Mode Ratio	Line 44 Failure Rate	Line 44 Oper. Time	Line 44 Mode Off	Line 44 Run Off	Line 44 Remarks
Line 45	Line 45 Function	Line 45 Failure Mode	Line 45 Mission Phase	Line 45 Severity	Line 45 Fic Data Source	Line 45 Effect Prob.	Line 45 Mode Ratio	Line 45 Failure Rate	Line 45 Oper. Time	Line 45 Mode Off	Line 45 Run Off	Line 45 Remarks
Line 46	Line 46 Function	Line 46 Failure Mode	Line 46 Mission Phase	Line 46 Severity	Line 46 Fic Data Source	Line 46 Effect Prob.	Line 46 Mode Ratio	Line 46 Failure Rate	Line 46 Oper. Time	Line 46 Mode Off	Line 46 Run Off	Line 46 Remarks
Line 47	Line 47 Function	Line 47 Failure Mode	Line 47 Mission Phase	Line 47 Severity	Line 47 Fic Data Source	Line 47 Effect Prob.	Line 47 Mode Ratio	Line 47 Failure Rate	Line 47 Oper. Time	Line 47 Mode Off	Line 47 Run Off	Line 47 Remarks
Line 48	Line 48 Function	Line 48 Failure Mode	Line 48 Mission Phase	Line 48 Severity	Line 48 Fic Data Source	Line 48 Effect Prob.	Line 48 Mode Ratio	Line 48 Failure Rate	Line 48 Oper. Time	Line 48 Mode Off	Line 48 Run Off	Line 48 Remarks
Line 49	Line 49 Function	Line 49 Failure Mode	Line 49 Mission Phase	Line 49 Severity	Line 49 Fic Data Source	Line 49 Effect Prob.	Line 49 Mode Ratio	Line 49 Failure Rate	Line 49 Oper. Time	Line 49 Mode Off	Line 49 Run Off	Line 49 Remarks
Line 50	Line 50 Function	Line 50 Failure Mode	Line 50 Mission Phase	Line 50 Severity	Line 50 Fic Data Source	Line 50 Effect Prob.	Line 50 Mode Ratio	Line 50 Failure Rate	Line 50 Oper. Time	Line 50 Mode Off	Line 50 Run Off	Line 50 Remarks
Line 51	Line 51 Function	Line 51 Failure Mode	Line 51 Mission Phase	Line 51 Severity	Line 51 Fic Data Source	Line 51 Effect Prob.	Line 51 Mode Ratio	Line 51 Failure Rate	Line 51 Oper. Time	Line 51 Mode Off	Line 51 Run Off	Line 51 Remarks
Line 52	Line 52 Function	Line 52 Failure Mode	Line 52 Mission Phase	Line 52 Severity	Line 52 Fic Data Source	Line 52 Effect Prob.	Line 52 Mode Ratio	Line 52 Failure Rate	Line 52 Oper. Time	Line 52 Mode Off	Line 52 Run Off	Line 52 Remarks
Line 53	Line 53 Function	Line 53 Failure Mode	Line 53 Mission Phase	Line 53 Severity	Line 53 Fic Data Source	Line 53 Effect Prob.	Line 53 Mode Ratio	Line 53 Failure Rate	Line 53 Oper. Time	Line 53 Mode Off	Line 53 Run Off	Line 53 Remarks
Line 54	Line 54 Function	Line 54 Failure Mode	Line 54 Mission Phase	Line 54 Severity	Line 54 Fic Data Source	Line 54 Effect Prob.	Line 54 Mode Ratio	Line 54 Failure Rate	Line 54 Oper. Time	Line 54 Mode Off	Line 54 Run Off	Line 54 Remarks
Line 55	Line 55 Function</td											