

제5장 신뢰성 모델링 기법 요약

기능안전 및 위험성 평가 엔지니어링

August 26, 2026

Contents

1 용어 정리 (Terminology)	2
2 용어 간 관계 설명 (Relationships)	2
3 5.1 Failure Rate 분류	2
4 5.2 PFD 계산	2
5 5.3 Redundancy 구조	2
5.1 1oo2 시스템	2
5.2 2oo3 시스템	3
6 5.4 Common Cause Failure (CCF)	3
7 5.5 FTA ↔ RBD 변환	3
8 5.6 Proof Test 불완전성	3
9 5.7 Human Factor	3
10 핵심 요약	3

1 용어 정리 (Terminology)

- λ_{dd} : 발견된 위험 고장률 (revealed dangerous failure rate)
- λ_{du} : 발견되지 않은 위험 고장률 (unrevealed dangerous failure rate)
- λ_{sd} : 발견된 안전 고장률 (revealed safe failure rate)
- λ_{su} : 발견되지 않은 안전 고장률 (unrevealed safe failure rate)
- PFD : Probability of Failure on Demand, 시스템이 필요할 때 실패할 확률
- CCF : Common Cause Failure, 중복 시스템을 동시에 무력화하는 공통 원인 고장
- Proof Test : 잠복 고장을 찾아내는 정기적 시험
- Human Factor : 운영자 · 유지보수 인력의 실수나 절차적 문제로 인한 실패

2 용어 간 관계 설명 (Relationships)

$$\lambda_d = \lambda_{dd} + \lambda_{du}$$

PFD는 λ_{du} 와 Proof Test 주기 T 에 크게 의존하며, Redundancy(1oo2, 2oo3)는 PFD를 줄여주지만 CCF가 있으면 효과가 감소한다.

FTA와 RBD는 다음과 같이 대응된다:

$$\text{FTA AND} \quad \leftrightarrow \quad \text{RBD OR}$$

$$\text{FTA OR} \quad \leftrightarrow \quad \text{RBD 직렬}$$

Human Factor는 별도의 λ_h 로 모델에 추가된다.

3 5.1 Failure Rate 분류

$$\lambda_d = \lambda_{dd} + \lambda_{du}$$

예시: $\lambda_{dd} = 1 \times 10^{-6}/\text{hr}$, $\lambda_{du} = 2 \times 10^{-6}/\text{hr} \Rightarrow \lambda_d = 3 \times 10^{-6}/\text{hr}$

4 5.2 PFD 계산

$$PFD \approx \lambda \cdot T \quad (\lambda T \ll 1)$$

예시: $\lambda = 1 \times 10^{-6}/\text{hr}$, $T = 8760 \text{ hr}(1\text{년}) \Rightarrow PFD \approx 0.00876$

5 5.3 Redundancy 구조

5.1 1oo2 시스템

$$PFD \approx (\lambda T)^2$$

예시: $\lambda = 1 \times 10^{-6}/\text{hr}$, $T = 8760 \text{ hr} \Rightarrow (0.00876)^2 \approx 7.7 \times 10^{-5}$

5.2 2oo3 시스템

두 채널 이상이 동시에 실패하는 경우를 고려하여 조합 확률로 계산한다.

6 5.4 Common Cause Failure (CCF)

$$\lambda_{CCF} = \beta \cdot \lambda$$

예시: $\lambda = 1 \times 10^{-6}/\text{hr}$, $\beta = 0.1 \Rightarrow \lambda_{CCF} = 1 \times 10^{-7}/\text{hr}$
총 고장률 = 독립적 고장률 + CCF 고장률

7 5.5 FTA ↔ RBD 변환

FTA: $\bar{A} \wedge \bar{B} = \bar{C}$ RBD: $A \vee B = C$

동일 시스템을 실패 관점(FTA)과 성공 관점(RBD)으로 표현하면 수학적으로 동일한 결과를 얻는다.

8 5.6 Proof Test 불완전성

$$TE = T_1 \cdot \frac{X}{100} + T_2 \cdot \frac{100 - X}{100}$$

예시: $T_1 = 1\text{년}$, $T_2 = 10\text{년}$, $X = 90\% \Rightarrow TE = 1.9\text{년}$

9 5.7 Human Factor

$$\lambda_{total} = \lambda_d + \lambda_h$$

예시: $\lambda_d = 3 \times 10^{-6}/\text{hr}$, $\lambda_h = 5 \times 10^{-7}/\text{hr} \Rightarrow \lambda_{total} = 3.5 \times 10^{-6}/\text{hr}$

10 핵심 요약

- 고장 분류 ($\lambda_{dd}, \lambda_{du}, \lambda_{sd}, \lambda_{su}$)
- PFD 계산
- 중복 구조와 CCF
- FTA/RBD 논리적 등가성
- Proof Test 불완전성
- Human Factor 반영