제 4 장

신뢰성공학

4.1 신뢰성 기초개념

신뢰성의 기본개념

01 "제품이 주어진 사용 조건하에서 의도하는 기간동안 정해진 기능을 성공적으로 수행할 확률"로 정의되는 개념은 무엇인가?

① 신뢰도 ② 품질관리 ③ 보전도 ④ 고장 ⑤ 신뢰성

해설 ① [○] 신뢰성(reliability)이란 일반적으로 "시스템이나 장치가 정해진 사용조건하에서 의도하는 기간동안 만족하게 동작하는 시간적 안정성"을 뜻하며, 신뢰도는 "제품이 주어진 사용 조건하에서 의도하는 기간 동안 정해진 기능을 성공적으로 수행할 확률"을 말한다.

③ 보전도는 "수리가능한 시스템, 기기, 부품 등이 규정의 조건에서 보전이 실시될 때 규정된 시간내에 보전을 완료할 확률"로 정의되며, $M(t)$로 나타낸다.

신뢰성 척도의 계산

01 100개의 샘플에 대한 6시간에 걸친 수명시험결과 다음 표와 같은 자료를 얻었다. 이때 시험시간 t=2인 경우의 신뢰도함수의 값, 즉 $R(t=2)$의 추정값을 계산하면 얼마인가? (단, Δt 를 1로 놓고 계산하시오.)

시간	고장개수	시간	고장개수
0~1	5	3~4	27
1~2	25	4~5	9
2~3	32	5~6	2

① 0.95 ② 0.70 ③ 0.62 ④ 0.30 ⑤ 0.35

해설 ② [○] $R(t) = \dfrac{n(t)}{N} = \dfrac{100-(5+25)}{100} = 0.7$

정답 01. ① | 01. ②

02 샘플 54개에 대한 수명시험결과 다음 표와 같은 데이터를 얻었다. t =5시간에서의 누적고장확률은 약 얼마인가?

시간간격	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8
고장개수	2	5	10	16	9	7	4	1

① 0.833 ② 0.778 ③ 0.222 ④ 0.167 ⑤ 0.842

해설 ② [○] $F(t=5)=\dfrac{t=5\text{까지의 누적고장개수}}{\text{총 샘플수}}=\dfrac{2+5+10+16+9}{54}=0.778$

03 전구 100개에 대한 수명시험을 한 결과 표와 같은 데이터를 얻었다. t =120시간에서의 누적고장확률 $F(t)$ 는 얼마인가?

시간(t)	생존개수(n)	시간(t)	생존개수(n)
0	100	120	35
30	95	150	10
60	85	180	0
90	65		

① 0.25 ② 0.45 ③ 0.55 ④ 0.65 ⑤ 0.85

해설 ④ [○] $F(t=120)=1-R(t=120)=1-\dfrac{n(t)}{N}=1-\dfrac{35}{100}=0.65$

04 표와 같은 수명테스트 자료에서 구간 20~30에서의 고장률은 얼마인가?

수명	고장대수	수명	고장대수
0~10	300	40~50	60
10~20	200	50~60	40
20~30	140	60 이상	70
30~40	90	계	900

① 0.33×10^{-1} ② 0.35×10^{-1} ③ 0.37×10^{-1} ④ 0.39×10^{-1}

⑤ 0.42×10^{-1}

정답 02. ② 03. ④ 04. ②

제 4 장

해설 ② [○] $\lambda(t=30) = \dfrac{n(t) - n(t+\Delta t)}{n(t)\cdot \Delta t}$

$$= \frac{(900-500)-(900-640)}{(900-500)\times 10} = \frac{400-260}{400\times 10} = \frac{140}{4,000} = 0.035$$

신뢰도 함수

01 Y부품의 고장률이 0.5×10^{-5}/hr이다. 하루 24시간 작동하고 1년 360일 작동한다고 할 때 이 부품이 일 년 이상 작동할 확률을 구하면?

① 0.998 ② 0.958 ③ 0.358 ④ 0.632 ⑤ 0.724

해설 ② [○] Y부품의 고장시간의 분포(수명분포)가 지수분포를 따를 때

$$R(t) = e^{-\lambda t} = \exp\left[-(0.5\times10^{-5})\times(24\times360)\right] = \exp(-0.0432) = 0.9577$$

02 지수분포의 수명을 갖는 어떤 부품 10개를 수명시험하여 100시간이 되었을 때 시험을 중단하였더니 고장난 부품의 수는 4개였고, 평균수명은 200시간으로 추정되었다. 이 부품을 100시간 사용한다면 누적고장확률은 약 얼마인가?

① 0.005 ② 0.393 ③ 0.500 ④ 0.607 ⑤ 0.703

해설 ② [○] $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - \exp[-\lambda t] = 1 - \exp\left(-\dfrac{t}{MTBF}\right)$

$$= 1 - \exp\left(-\frac{100}{200}\right) = 0.393$$

03 형광등의 고장확률밀도함수는 평균고장률이 5×10^{-4} 시간인 지수분포를 따르고 있다. 이 형광등 100개를 2,000시간 사용하였을 경우 기대누적고장개수는 약 몇 개인가?

① 36개 ② 50개 ③ 64개 ④ 100개 ⑤ 120개

정답 01. ② 02. ② 03. ③

해설 ③ [○] 누적고장확률 $F(t)=1-e^{-\lambda t}=1-e^{-5\times10^{-4}\times2,000}=1-e^{-1}=0.6321$

기대누적고장개수=총개수×누적고장확률=100×0.6321=63.21 → 64개

04 자동차 엔진의 수명은 지수분포를 따르는 경우 신뢰도를 95%를 유지시키면서 8000시간을 사용하기 위한 적합한 고장률은 약 얼마인가?

① 3.4×10^{-6}/시간 ② 6.4×10^{-6}/시간 ③ 7.2×10^{-6}/시간

④ 8.5×10^{-6}/시간 ⑤ 9.5×10^{-6}/시간

해설 ② [○] $R(t)=0.95=e^{-\lambda t}=e^{-\lambda\times8,000}$ → $\ln 0.95=-\lambda\times8,000$ →

$-0.0513=-\lambda\times8,000$ → $\lambda=6.4\times10^{-6}$ (/시간)

05 프레스에 설치된 안전장치의 수명은 지수분포를 따르며 평균수명은 100시간이다. 새로 구입한 안전장치가 50시간 동안 고장없이 작동할 확률(A)과 이미 100시간을 사용한 안전장치가 앞으로 100시간 이상 견딜 확률(B)은 약 얼마인가?

① A : 0.368, B : 0.368 ② A : 0.607, B : 0.368

③ A : 0.368, B : 0.607 ④ A : 0.607, B : 0.607

⑤ A : 0.707, B : 0.807

해설 ② [○] 지수분포의 무기억성 특성을 이용하여 계산이 가능하다.

1. $R(t)=e^{-\lambda t}=e^{-t/MTBF}=e^{-50/100}=e^{-0.5}=1/e^{0.5}=0.607$

2. $R(t)=e^{-\lambda t}=e^{-t/MTBF}=e^{-100/100}=e^{-1}=1/e=0.268$ ← 무기억성 특성

○ 지수분포의 무기억성 특성 : 이전까지 시행된 결과에 무관하게 다음 시행 확률에 영향을 주지 않는 것을 무기억성(memoryless)이라고 한다. 지수분포의 중요한 특성은 무기억성이다. 사건의 확률은 과거 시행에 종속되지 않는다. 따라서 발생률이 일정하게 유지된다는 점이다. 지수 분포의 활용도가 굉장히 높은 이유는 지수분포의 무기억성 성질 때문이다.

정답 04. ② 05. ②

4.5 시스템 신뢰도

직렬결합모델 신뢰도

01 n 개의 구성요소 수명이 모두 같은 직렬모형시스템의 고장률은 각 부품(구성요소)의 고장률에 비해서 얼마나 증가하는가?

① n 배 증가 ② $\frac{1}{n}$ 로 증가 ③ $2n$ 배 증가 ④ $3n$ 배 증가

⑤ n 승 증가

해설 ① [○] 직렬결합모델에서 전체 신뢰도 R_S 는 $R_S = e^{-(\lambda_1+\lambda_2+\cdots+\lambda_n)t} = e^{-\lambda_S \cdot t}$ 의 관계로부터 전체의 고장률 λ_S 는 $\lambda_S = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \cdots \lambda_n$ 식으로 구해진다.

02 부품 5개로 이루어진 시스템이 직렬로 연결되어 있을 때 이 시스템의 MTBF는 약 얼마인가? (단, 각 부품의 고장률은 0.02, 0.01, 0.02, 0.01, 0.01이다.)

① 9.4시간 ② 10.3시간 ③ 12.3시간 ④ 13.6시간 ⑤ 14.3시간

해설 ⑤ [○] n 개의 부품으로 결합된 직렬결합 시스템에서 $\lambda_S = \sum \lambda_i = 0.07/$시간이므로 $MTBF_S = \frac{1}{\lambda_S} = 14.29$ 시간

03 λ_1=0.001, λ_2=0.001인 두 부품으로 구성된 직렬시스템에 있어서 t = 100에서의 시스템의 신뢰도 R, 고장률 λ, MTTF를 구하면? (단, 고장은 지수분포를 따름)

정답 01. ① 02. ⑤ 03. ①

① R=0.8187, λ= 0.002, MTTF=500

② R= 0.8187, λ= 0.001, MTTF=1,000

③ R=0.9048, λ=0.002, MTTF=500

④ R=0.9048, λ=0.000001, MTTF=1,000

⑤ R=0.9243, λ=0.000002, MTTF=1,200

해설 ① [○] 고장이 지수분포를 따를 때

$$\lambda_S = \sum \lambda_i = 0.002,\quad R_S(t) = e^{-\lambda_S \cdot t} = e^{-0.002\times 100} = 0.8187$$ 이고,

$$MTTF = \frac{1}{\lambda_S} = \frac{1}{0.002} = 500$$

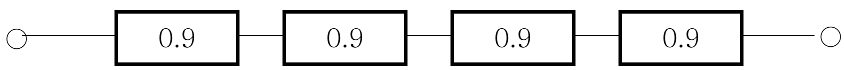
04 타이어의 평균고장률은 0.0001/km이다. 4개의 타이어를 부착한 승용차 타이어의 평균고장률은?

① 1.0×10^{-4}/km ② 1.5×10^{-4}/km ③ 2.5×10^{-4}/km ④ 3.2×10^{-4}/km

⑤ 4.0×10^{-4}/km

해설 ⑤ [○] 4개의 타이어는 하나라도 펑크나면 자동차가 운행이 중단되므로 사실상 직렬연결과 같다. $\lambda_S = \sum \lambda_i = 4\times 0.0001 = 4\times 10^{-4}$ (/km)

05 그림과 같은 직렬모형 시스템의 신뢰도는 약 얼마인가? (단, 각 부품의 신뢰도는 0.9)



① 0.6561 ② 0.6783 ③ 0.6891 ④ 0.6981 ⑤ 0.7235

해설 ① [○] $R_S = \prod_{i=1}^{4} R_i = {R_i}^4 = (0.9)^4 = 0.6561$

정답 04. ⑤ 05. ①

06 10개의 동일부품으로 구성되는 기기를 1,000시간 사용했을 때 이 기기의 신뢰도를 0.9로 하고 싶다. 10개의 부품 중 어느 하나라도 고장이 나면 이 기기의 기능은 상실된다. 구성부품의 평균고장률은? (단, 각 부품의 고장은 지수분포를 한다.)

① 1.0×10^{-4}/hr ② 1.0×10^{-5}/hr ③ 1.05×10^{-4}/hr ④ 1.05×10^{-5}/hr
⑤ 1.23×10^{-5}/hr

해설 ④ [○] $R_S(t=1{,}000)=e^{-\lambda_S t}=e^{-\lambda_S\times1{,}000}=0.9$ 에서 $-\lambda_S\times1{,}000=\ln 0.9$

→ $\lambda_S=\dfrac{-\ln 0.9}{1{,}000}=1.05\times10^{-4}$/hr이고, 어느 하나도 고장나면 안 되는 직렬시스템이므로 $\lambda_S=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i$ 에서 $1.05\times10^{-4}=10\lambda_i$ 이므로

$$\lambda_i=\frac{\lambda_S}{10}=1.05\times10^{-5}\,(/\mathrm{hr})$$

07 n 개의 부품이 직렬구조로 구성된 시스템이 있다. 각 부품의 수명분포가 지수분포를 따르며, 각 부품의 평균고장시간이 $MTTF_0$ 일 때 이 직렬구조 시스템의 평균고장시간은?

① $MTTF_0$ ② $\dfrac{MTTF_0}{2}$ ③ $n\times MTTF_0$ ④ $\dfrac{MTTF_0}{n}$ ⑤ $\dfrac{MTTF_0}{2n}$

해설 ④ [○] 직렬구조 모형은 $R_S=R_1\cdot R_2\cdots R_n=\prod_{i=1}^{n}R_i=e^{-(\lambda_1+\lambda_2+\cdots+\lambda_n)t}=e^{-\lambda_S t}$

가 되므로, $\lambda_S=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i=\lambda_1+\lambda_2+\cdots+\lambda_n$

λ_i 가 λ_0로서 모두 동일한 경우 $\lambda_S=n\lambda_0$이다.

따라서 $MTTF_S=\dfrac{1}{\lambda_S}=\dfrac{1}{n\lambda_0}=\dfrac{MTTF_0}{n}$

정답 06. ④ 07. ④

08 직렬시스템의 신뢰도에 대한 설명으로 가장 거리가 먼 것은?

① 시스템신뢰도는 구성컴포넌트 신뢰도의 곱으로 표현된다.
② 시스템신뢰도는 구성컴포넌트의 신뢰도보다 클 수 없다.
③ 최소절단집합(MCS)의 개수는 구성컴포넌트의 개수보다 작다.
④ 최소경로집합(MPS)의 개수는 항상 한 개다.
⑤ 시스템의 고장률은 구성컴포넌트 고장률의 합으로 표현된다.

해설 ③ [×] 최소절단집합의 개수는 구성컴포넌트의 개수와 같다.

⑤ 직렬시스템은 $\lambda_S = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_n$ 의 관계가 된다.

제 4 장

09 자동차는 타이어가 4개인 하나의 시스템으로 볼 수 있다. 타이어 1개가 파열될 확률이 0.01이라면, 이 자동차의 신뢰도는 약 얼마인가?

① 0.88 ② 0.91 ③ 0.93 ④ 0.96 ⑤ 0.99

해설 ④ 타이어는 어느 하나 이상 터져도 정지되므로 4개의 타이어가 직렬설계된 것으로 볼 수 있다. 다음 중 어느 한 가지 방법을 선택하여 풀이 가능하다.

○ (방법 1) 신뢰성블록도를 이용한 신뢰도 계산 : 직렬시스템

$$R_S = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4$$

$$= (1 - F_1) \times (1 - F_2) \times (1 - F_3) \times (1 - F_4) = (1 - 0.01)^4 = 0.96$$

○ (방법 2) FT도를 이용한 신뢰도 계산 : OR게이트

$$R_S = 1 - F_T = 1 - 0.0394 = 0.96$$

$$F_T = 1 - (1 - F_1)(1 - F_2)(1 - F_3)(1 - F_4) = 1 - (1 - 0.01)^4$$

$$= 1 - 0.99^4 = 0.0394$$

10 평균고장시간이 4×10^8 시간인 요소 4개가 직렬체계를 이루었을 때 이 체계의 수명은 몇 시간인가?

① 1×10^8 ② 4×10^8 ③ 8×10^8 ④ 12×10^8 ⑤ 16×10^8

정답 08. ③ 09. ④ 10. ①

해설 ① [○] 요소 4개가 직렬체계를 이루었을 때 수명

$$MTBF_S = \frac{MTBF_0}{n} = \frac{4\times 10^8}{4} = 1\times 10^8$$

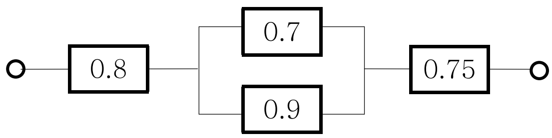
11 인간의 신뢰도가 70%, 기계의 신뢰도가 90%이면 인간과 기계가 직렬체계로 작업할 때의 신뢰도는 몇 %인가?

① 30% ② 54% ③ 63% ④ 85% ⑤ 97%

해설 ③ [○] $R_S = R_h \times R_m = 0.7\times 0.9 = 0.63\,(63\%)$

병렬결합모델 신뢰도

01 다음과 같은 직·병렬 모형의 신뢰도를 구하면? (단, □안의 값이 신뢰도임)



① 0.315 ② 0.413 ③ 0.453 ④ 0.478 ⑤ 0.582

해설 ⑤ [○] 시스템의 신뢰도 $R_S = \prod_{i=1}^{n} R_i = 0.8\times 0.97\times 0.75 = 0.582$

여기서, 병렬결합부분의 신뢰도 $R_p = 1-(1-0.7)(1-0.9) = 0.97$

02 MTTF 10,000시간을 갖는 세 개의 부품이 병렬로 연결된 시스템의 MTTF는 얼마인가?

① 1,333.333시간 ② 14,333.333시간 ③ 15,333.333시간
④ 1,733.333시간 ⑤ 18,333.333시간

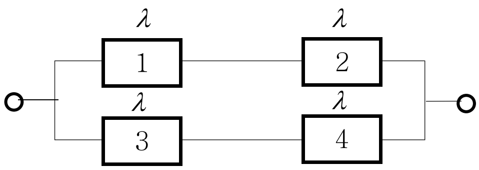
정답 11. ③ | 01. ⑤ 02. ⑤

해설 ⑤ [○] 개별부품의 수명 θ_0, 시스템의 평균수명 $\theta_S = MTTF_S = \dfrac{1}{\lambda_S}$ 이라면,

$$MTTF_S = \frac{1}{\lambda_S} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\theta_0}{i} = \theta_0 \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{i} = MTTF_0\left(\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right)$$

$$= 10{,}000 \times \frac{11}{6} = 18{,}333.33\ (\text{시간})$$

03 지수분포의 수명을 갖는 부품 4개를 그림과 같이 연결하였다. 시스템의 평균수명은 얼마인가? (단, 각 부품의 고장률은 λ 이다.)



① $\dfrac{1}{2\lambda}$ ② $\dfrac{2}{3\lambda}$ ③ $\dfrac{3}{4\lambda}$ ④ $\dfrac{1}{\lambda}$ ⑤ $\dfrac{4}{3\lambda}$

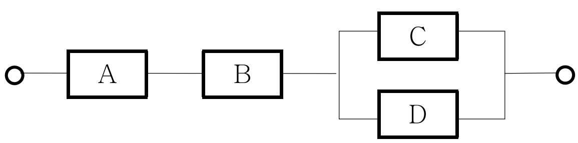
해설 ③ [○] 수명분포가 지수분포를 따르고, 직렬결합부분의 고장률이

$\lambda_S = \sum_{i=1}^{2} \lambda_i = \sum_{i=3}^{4} \lambda_i = 2\lambda$ 이므로, 2조의 λ_0 가 병렬결합된 형태가 된다.

$$\therefore\ \hat{\theta}_S = \frac{1}{\lambda_S} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{\lambda_0} = \frac{3}{2 \times 2\lambda} = \frac{3}{4\lambda}$$

04 고장밀도함수가 지수분포를 따를 때 그림과 같이 결합된 시스템의 전체 평균고장률은 얼마인가?

(단, λ_A =0.2×10^{-4}/시간, λ_B =0.7×10^{-4}/시간, $\lambda_C = \lambda_D$ =0.15×10^{-4}/시간)



정답 03. ③ 04. ⑤

① 0.15×10^{-4}/시간 ② 0.2×10^{-4}/시간 ③ 0.5×10^{-4}/시간

④ 0.7×10^{-4}/시간 ⑤ 1×10^{-4}/시간

해설 ⑤ [○] C, D가 병렬결합된 부분에서 $\frac{1}{\lambda_p}=\frac{3}{2}\cdot\frac{1}{\lambda_0}=\frac{3}{2\times(0.15\times10^{-4})}=100{,}000$

→ $\lambda_p=0.1\times10^{-4}$가 되고, 시스템을 직렬결합으로 되면

$\lambda_S=\lambda_A+\lambda_B+\lambda_p=(0.2+0.7+0.1)\times10^{-4}=1\times10^{-4}$ (/시간)

05 어떤 시스템이 6개의 서브시스템을 병렬로 결합되어 구성되었다. t=100 시간에서 각 서브시스템의 신뢰도는 0.90이라 한다. t=100시간에서 시스템의 신뢰도는?

① $(1-0.9)^6$ ② $1-(1-0.9)^6$ ③ $1-(0.9)^6$ ④ $(0.9)^6$

⑤ $1-[1-(0.9)^6]$

해설 ② [○] 병렬결합시스템에서 $R_S(t)=1-\prod_{i=1}^{n}(1-R_i)=1-(1-0.9)^6$

06 고장시간이 지수분포를 따르고, 평균수명이 100시간인 2개의 부품이 병렬결합모델로 구성되어 있을 때 150시간 후의 신뢰도는 약 얼마인가?

① 0.368 ② 0.487 ③ 0.513 ④ 0.632 ⑤ 0.724

해설 ① [○] 고장시간이 지수분포를 따르고 평균수명이 100시간인 2개 부품이 병렬결합되어 있을 때 $MTBF_S$는 $MTBF_S=\frac{1}{\lambda_S}=\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{\lambda_2}-\frac{1}{\lambda_1+\lambda_2}$ 이고,

이 식에서 $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_0$라면 $MTBF_S=\frac{3}{2}\cdot\frac{1}{\lambda_0}$ 이 된다.

$MTBF_S=\frac{1}{\lambda_S}=\frac{3}{2\lambda_0}=\frac{3}{2(1/100)}=150$ 에서 $\lambda_S=\frac{1}{150}$ 이므로

$R(t)=e^{-\lambda_S\cdot t}=e^{-(1/150)\times150}=0.368$

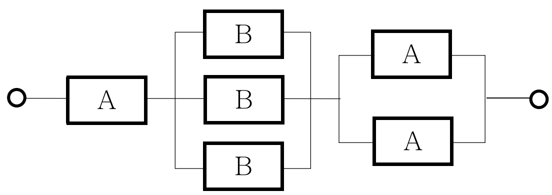
정답 05. ② 06. ①

07 2개의 부품 중 어느 하나만 작동하면 장치가 작동되는 경우 장치의 신뢰도를 0.96이상이 되게 하려면 각 부품의 신뢰도는 최소 얼마 이상이 되어야 하는가? (단, 각 부품의 신뢰도는 동일하다.)

① 0.76 ② 0.80 ③ 0.85 ④ 0.90 ⑤ 0.93

해설 ② [○] 지수분포를 따르는 2개 부품의 병렬결합 때 $R_S = 1-(1-R_i)^2 \geq 0.96$ 에서 $R_i \geq 0.80$

08 그림에서 시스템의 신뢰도는 약 얼마인가? (단, A와 B의 신뢰도는 각각 0.9와 0.8이다.)



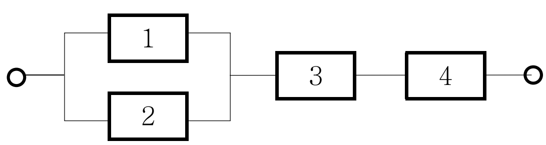
① 0.8624 ② 0.8839 ③ 0.9027 ④ 0.9245 ⑤ 0.9907

해설 ② [○] 부품 B의 병렬결합부분의 신뢰도 $R_{P_1} = 1-(1-0.8)^3 = 0.992$

부품 A의 병렬결합부분의 신뢰도 $R_{P_2} = 1-(1-0.9)^2 = 0.99$

시스템의 신뢰도 $R_S = R_A \times R_{P_1} \times R_{P_2} = 0.9 \times 0.992 \times 0.99 = 0.8839$

09 그림과 같은 신뢰성블록도의 MTTF는 얼마인가? (단, 이들 부품의 MTTF는 10^4 시간)



① 2×10^4 ② $\frac{1}{4}\times10^4$ ③ $\frac{12}{5}\times10^4$ ④ $\frac{3}{8}\times10^4$ ⑤ 3×10^4

정답 07. ② 08. ② 09. ④

해설 ④ [○] 각 부품의 MTTF는 동일하므로 고장률을 $\lambda_i = \lambda_0$ 라 두면 1개 부품의 $\mathrm{MTTF}_i = \frac{1}{\lambda_0} = 10^4$ 에서 1개 부품의 평균고장률 $\lambda_i = 10^{-4}$ 이고, 2개 부품의 병렬결합부분의 $\frac{1}{\lambda_p} = \frac{3}{2\lambda_0} = \frac{3}{2 \times 10^{-4}}$ 에서 $\lambda_p = \frac{1}{15{,}000}$ 이다.

시스템의 평균고장률 $\lambda_S = \lambda_p + \lambda_3 + \lambda_4 = \frac{1}{15{,}000} + 10^{-4} \times 2 = \frac{1}{3{,}750}$

∴ 시스템의 $\mathrm{MTTF}_S = \frac{1}{\lambda_S} = \frac{1}{1/3{,}750} = 3{,}750$ 시간

10 MTTF가 50,000시간인 3개 부품이 병렬로 연결된 시스템의 MTTF는 약 몇 시간인가?

① 43333.33 ② 58333.33 ③ 77666.47 ④ 74562.32 ⑤ 91666.67

해설 ⑤ [○] $MTTF = \frac{1}{\lambda}$ 의 관계식으로부터, 부품의 고장률을 λ_0 라 할 때

$$MTTF_S = \frac{1}{\lambda_0} + \frac{1}{2\lambda_0} + \frac{1}{3\lambda_0} = \frac{1}{\lambda_0}\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right) = MTTF_0 \times \frac{11}{6}$$

$$= 50{,}000 \times \frac{11}{6} = 91{,}666.67 \text{ (시간)}$$

11 시스템의 MTBF를 2배로 증가시키기 위해서는 몇 개 이상의 동일 부품을 병렬로 연결하여야 하는가? (단, 부품의 수명은 지수분포를 따른다.)

① 2 ② 3 ③ 4 ④ 6 ⑤ 7

해설 ③ [○] 병렬결합 모델의 시스템 신뢰도는 $MTBF_S = \sum_{i=1}^{n} \frac{\theta_0}{i}$ 의 관계로부터

$$MTBF_S = \sum_{i=1}^{4} \frac{\theta_0}{i} = \theta_0\left(\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4}\right) = \theta_0 \times \frac{25}{12} = 2.08\theta_0 \rightarrow n = 4 \text{ 개이상}$$

필요

정답 10. ⑤ 11. ③

12 평균고장률이 동일한 0.001/시간인 장치 2개가 둘 중 어느 하나만 작동하면 기능을 발휘하도록 만들어진 시스템이 있다. 평균수명은 몇 시간인가?

① 500 ② 1,000 ③ 1,500 ④ 2,000 ⑤ 2,500

해설 ③ [○] 2개 부품의 수명분포가 지수분포를 따르고, 2개 부품이 병렬결합인 경우 시스템의 θ_S 는 $\theta_S = MTBF_S = \frac{3}{2}\cdot\frac{1}{\lambda_0} = \frac{3}{2}\times\frac{1}{0.001} = 1{,}500$ (시간)

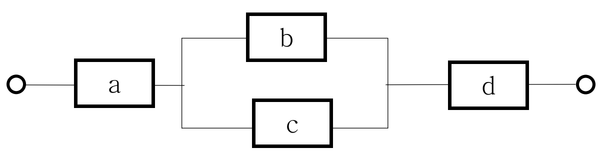
13 날개가 2개인 비행기의 양 날개에 엔진이 각각 2개씩 있다. 이 비행기는 양 날개에서 각각 최소한 1개의 엔진은 작동을 해야 추락하지 않고 비행할 수 있다. 각 엔진의 신뢰도가 각각 0.9이며, 각 엔진은 독립적으로 작동한다고 할 때 이 비행기가 정상적으로 비행할 신뢰도는 약 얼마인가?

① 0.82 ② 0.89 ③ 0.91 ④ 0.94 ⑤ 0.98

해설 ⑤ [○] 엔진 2개는 병렬 설계, 좌우 날개 2개는 직렬 설계로 볼 수 있다.

$$R_S = R_{S_1} \times R_{S_2} = \left[1-(1-R_1)(1-R_2)\right]^2 = \left[1-(1-0.9)(1-0.9)\right]^2$$
$$= 0.9801$$

14 다음 시스템의 신뢰도는 얼마인가? (단, 각 요소의 신뢰도는 a, b가 각 0.8, c, d 가 각 0.6이다.)



① 0.2245 ② 0.3754 ③ 0.4416 ④ 0.5756 ⑤ 0.6124

해설 ③ [○] $R_S = R_a \times \left[1-(1-R_b)(1-R_c)\right] \times R_d$

$$= 0.8 \times \left[1-(1-0.8)(1-0.6) \times 0.6\right] = 0.4416$$

정답 12. ③ 13. ⑤ 14. ③

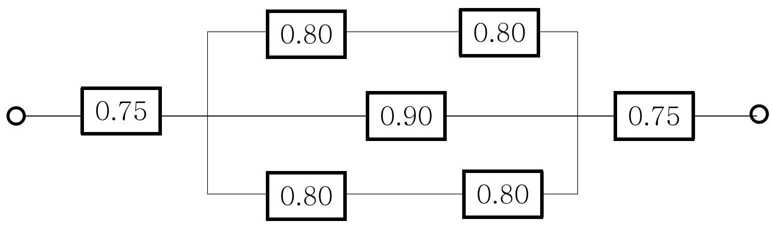
15 n 가지 병렬시스템에 있어 요소의 수명(MTTF)이 지수분포를 따를 경우 이 시스템의 수명을 구하는 식으로 맞는 것은?

① $MTTF \times n$ ② $MTTF \times \frac{1}{n}$ ③ $MTTF\left(1+\frac{1}{2}+\cdots+\frac{1}{n}\right)$

④ $MTTF\left(1\times\frac{1}{2}\times\cdots\times\frac{1}{n}\right)$ ⑤ $MTTF\left(\frac{1+2+\cdots+n}{n(n-1)}\right)$

해설 ③ [○] 병렬인 경우 : $MTTF\left(1+\frac{1}{2}+\cdots+\frac{1}{n}\right)$, 직렬인 경우 : $MTTF \times \frac{1}{n}$

16 그림과 같이 7개의 부품으로 구성된 시스템의 신뢰도는 약 얼마인가? (단, 네모안의 숫자는 각 부품의 신뢰도이다.)



① 0.5552 ② 0.6427 ③ 0.7234 ④ 0.8740 ⑤ 0.9245

해설 ① [○] [○] 직병렬 혼합 시스템의 신뢰도를 구하는 문제이다.

$$R_S = 0.75\times\left[1-(1-0.80\times0.80)(1-0.90)(1-0.80\times0.80)\right]\times0.75$$
$$= 0.5552$$

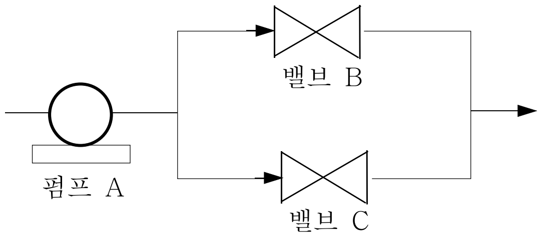
17 발생확률이 각각 0.05, 0.08 인 두 결함사상이 AND 조합으로 연결된 시스템을 FTA로 분석하였을 때 이 시스템의 신뢰도는 약 얼마인가?

① 0.004 ② 0.126 ③ 0.874 ④ 0.925 ⑤ 0.996

해설 ⑤ [○] 시스템 신뢰도 $R_S = 1-F_T = 1-F_1\times F_2 = 1-0.05\times0.08 = 0.996$

정답 15. ③ 16. ① 17. ⑤

18 그림과 같이 신뢰도가 95%인 펌프 A가 각각 신뢰도 90%인 밸브 B와 밸브 C의 병렬밸브계와 직렬계를 이룬 시스템의 실패확률은 약 얼마인가?



① 0.0091 ② 0.0595 ③ 0.6927 ④ 0.9405 ⑤ 0.9811

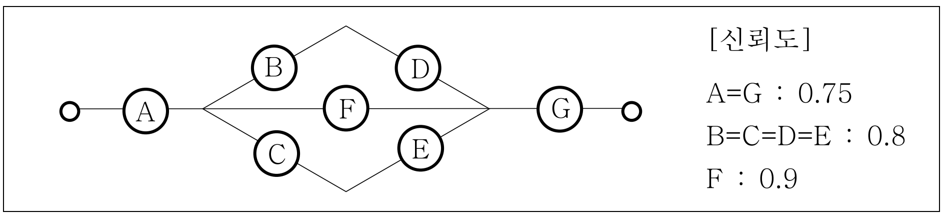
해설 ② [○] 신뢰성블록도에 의거하여 신뢰도 계산을 한 후 실패확률을 구한다.

실패확률(불신뢰도) $F(t) = 1 - R(t) = 1 - 0.9405 = 0.0595$

여기서, $R(t) = R_A \times \left[1-(1-R_B)(1-R_C)\right] = 0.95 \times \left[1-(1-0.9)(1-0.9)\right]$

$= 0.9405$

19 다음 그림과 같이 7개의 기기로 구성된 시스템의 신뢰도는 약 얼마인가?



① 0.4835 ② 0.5427 ③ 0.5552 ④ 0.6234 ⑤ 0.8423

해설 ③ [○] $R_S = R_A \times \left[1-(1-R_B R_D)(1-R_F)(1-R_C R_E)\right] \times R_G$

$= 0.75 \times \left[1-(1-0.8 \times 0.8)(1-0.9)(1-0.8 \times 0.8\right] \times 0.75 = 0.5552$

20 압력탱크 용기에 연결된 두 개의 안전밸브의 신뢰도를 구하고자 한다. 2개의 밸브 중 하나만 작동되어도 안전하다고 하고, 안전밸브 하나의 신뢰도를 r 이라 할 때 안전밸브 전체의 신뢰도는?

① r^2 ② $2r-r^2$ ③ $r(1-r)$ ④ $(1-r)^2$ ⑤ $r(2-r)^2$

정답 18. ② 19. ③ 20. ②

해설 ② [○] 2개의 밸브 중 어느 하나만 작동되어도 안전하다는 것은 신뢰성블록도에서 병렬설계를 의미한다.

$$R_S = 1-(1-r)(1-r) = 1-(1-2r+r^2) = 2r - r^2$$

21 다음 중 사용자가 잘못 조작하더라도 사고나 재해가 발생하지 않도록 하는 기계·기구의 안전장치가 아닌 것은?

① 회전부 덮개가 완전히 닫히면 정상 작동, 덮개가 열리면 작동이 멈추는 장치
② 양손으로 동시에 조작해야 정상 작동하는 프레스 기계
③ 양쪽의 비행기 엔진 중 하나가 고장 나더라도 정상적으로 비행할 수 있는 병렬 시스템
④ 작동이 중지되어도 일정 시간 동안 고열부 차단 덮개가 열리지 않는 기계
⑤ 일반 제품과 다른 고전압용 기계 설비의 플러그 모양

해설 ③ [×] 양쪽의 비행기 엔진중 하나가 고장 나더라도 정상적으로 비행할 수 있는 병렬시스템은 시스템 신뢰성을 크게 증가시키며, 안전확보 방법이다.

m route 시스템 신뢰도

01 규정시간을 사용하였을 때의 부품의 신뢰도가 0.45밖에 되지 않는다. 그런데 이 부품이 사용되는 곳의 신뢰도는 0.95가 되어야 한다. 따라서 병렬리던던시 설계에 의거 이 부품이 사용되는 곳의 신뢰도를 증대시키려고 한다. 신뢰성목표치의 달성을 위해서는 몇 개의 부품을 병렬로 연결하여야 하는가?

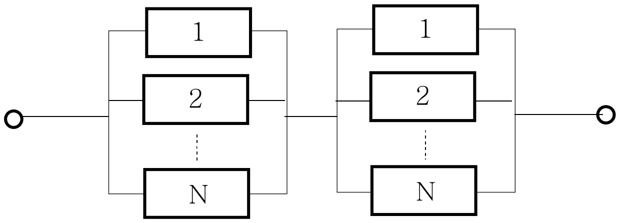
① 2　② 3　③ 4　④ 5　⑤ 6

해설 ④ [○] 부품중복의 m route 병렬리던던시 설계의 경우이며, $R_S = 1-(1-R)^m$의 관계식으로부터 $0.95 = 1-(1-0.45)^m \rightarrow m\log 0.55 = 0.05$

$$\therefore \ m = \frac{\log 0.05}{\log 0.55} = 5$$

정답 21. ③ | 01. ④

02 다음과 같은 신뢰성 블록도를 갖는 시스템의 신뢰성이 0.999이상이 되려면 N은 최소 얼마 이상이 되어야 하는가? (단, 모든 부품의 신뢰성은 0.9이다.)



① 2 ② 3 ③ 4 ④ 5 ⑤ 6

해설 ③ [○] $R_S = [1-(1-R_i)^N]^2 \ge 0.999 \rightarrow 1-(1-R_i)^N \ge \sqrt{0.999}$

$\rightarrow (1-R_i)^N \le 1-\sqrt{0.999} \rightarrow N\log(1-R_i) \le \log(1-\sqrt{0.999})$

$\rightarrow N\log(1-0.9) \le \log(1-\sqrt{0.999}) \rightarrow -N \le -3.3 \rightarrow N \ge 3.3$

$\rightarrow N = 4$개

n 중 k 시스템 신뢰도

01 m/n계 리던던시에 대한 설명으로 가장 올바른 것은?

① m=1일 때에는 병렬리던던시가 된다.
② m=2일 때에는 병렬리던던시가 된다. ③ $n-m$개의 병렬리던던시를 말한다.
④ $m=n$일 때 병렬리던던시가 된다. ⑤ $m \ne n$이면 직렬리던던시가 된다.

해설 ① [○] m/n계 리던던시는 n 중 m(m out of n) 리던던시와 같은 표현 방법이다. 즉, n 중 k(k out of n) 시스템 신뢰도는 n개 중 k개만 작동하면($1 \le k \le n$) 시스템이 작동하는 경우 각 구성품의 신뢰도를 R이라 하면 시스템 신뢰도는 $R_S = \sum_{i=k}^{n} \binom{n}{i} R^i (1-R)^{n-i}$이다. m=1일 때에는 병렬리던던시가 된다.

④ $m=n$이면 직렬리던던시가 된다.

⑤ $m \ne n$이면 m/n계 시스템 리던던시 일반형 모델이 된다.

정답 02. ③ | 01. ①

02 3 중 2 중복시스템에서 부품이 모두 고장률 λ인 지수분포를 따른다면, 시간 t에서 이 시스템의 신뢰도는?

① $e^{2\lambda t}(1+2e^{\lambda t})$ ② $e^{-2\lambda t}(3+2e^{-\lambda t})$ ③ $e^{-\lambda t}(3+2e^{-2\lambda t})$

④ $e^{-2\lambda t}(3-2e^{-\lambda t})$ ⑤ $e^{-2\lambda t}(2-3e^{-\lambda t})$

해설 ④ [○] $R_S = \sum_{i=2}^{3} {}_3C_i R^i (1-R)^{3-i} = {}_3C_2 R^2 (1-R)^1 + {}_3C_3 R^3 (1-R)^0$

$$= 3R^2(1-R) + R^3 = R^2(3-2R) = e^{-2\lambda t}(3-2e^{-\lambda t})$$

[참조] ${}_3C_2 = \dfrac{3!}{2!(3-2)!} = \dfrac{3\times 2\times 1}{(2\times 1)\times 1} = 3$, ${}_3C_3 = 1$

03 각 요소의 신뢰도가 0.9인 3 중 2(2 out of 3) 시스템의 신뢰도를 구하면?

① 0.783 ② 0.842 ③ 0.912 ④ 0.943 ⑤ 0.972

해설 ⑤ [○] $R_S = \sum_{i=2}^{3} \binom{3}{i} R^i (1-R)^{3-i} = \binom{3}{2} 0.9^2 (1-0.9)^{3-2} + \binom{3}{3} 0.9^3 (1-0.9)^{3-3}$

$$= 0.972$$

여기서, $\binom{3}{2} = {}_3C_2 = \dfrac{3!}{2!\times(3-2)!} = \dfrac{3\times 2\times 1}{(2\times 1)\times 1} = 3$, ${}_3C_3 = 1$

또는 $R_S = (3-2R)R^2 = (3-2\times 0.9)\times 0.9^2 = 0.972$

04 n 중 k 시스템에서 각 부품의 신뢰도가 $R(t) = e^{-\lambda t}$일 때 시스템의 평균수명은?

① $\lambda\left(\dfrac{1}{k} + \dfrac{1}{k+1} + \cdots + \dfrac{1}{n}\right)$ ② $\dfrac{1}{\lambda}\left(\dfrac{1}{k} + \dfrac{1}{k+1} + \cdots + \dfrac{1}{n}\right)$ ③ $\dfrac{\lambda}{kn}$

정답 02. ④ 03. ⑤ 04. ②

④ $\dfrac{1}{\dfrac{1}{\lambda}\left(\dfrac{1}{k}+\dfrac{1}{k+1}+\cdots+\dfrac{1}{n}\right)}$ ⑤ $\dfrac{n}{\dfrac{1}{\lambda}\left(\dfrac{1}{k}+\dfrac{1}{k+1}+\cdots+\dfrac{1}{n}\right)}$

해설 ② [○] 만일 $R(t)=e^{-\lambda t}=e^{-t/\theta}$의 지수분포에 따른다면 시스템의 $MTBF_S$는 다음과 같이 된다.

$$MTBF_S(=\theta_S)=\sum_{i=k}^{n}\frac{\theta}{i}=\theta_0\cdot\sum_{i=k}^{n}\frac{1}{i}=MTBF_0\left(\frac{1}{k}+\frac{1}{k+1}+\cdots+\frac{1}{n}\right)$$

05 각 부품의 신뢰도는 r로 동일한 경우, 5 중 4 시스템의 신뢰도는?

① $3r^2-2r^3$ ② $4r^4-3r^5$ ③ $4r^5-5r^4$ ④ $5r^4-4r^5$

⑤ $5r^5-4r^4$

해설 ④ [○] $R_S=\sum_{i=4}^{5}{}_nC_i r^i(1-r)^{n-i}={}_5C_4r^4(1-r)^1+{}_5C_5r^5(1-r)^0$

$$=5r^4(1-r)^1+r^5=5r^4-5r^5+r^5=5r^4-4r^5$$

06 아이템의 신뢰도가 모두 0.9인 3 out of 4 시스템의 신뢰도는 약 얼마인가?

① 0.996 ② 0.972 ③ 0.948 ④ 0.812 ⑤ 0.784

해설 ③ [○] $R_S=\sum_{i=3}^{4}\binom{4}{i}R^i(1-R)^{4-i}\left(=\text{또는}\ \sum_{i=3}^{4}{}_4C_iR^i(1-R)^{4-i}\right)$

$$=\binom{4}{3}0.9^3(1-0.9)^{4-3}+\binom{4}{4}0.9^4(1-0.9)^{4-4}=0.9477$$

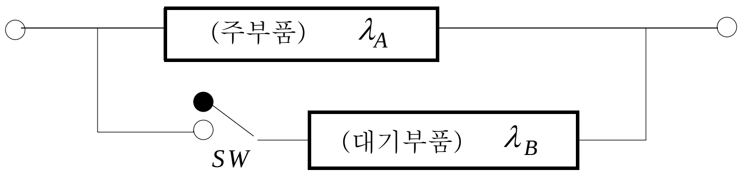
정답 05. ④ 06. ③

대기결합모델의 시스템 신뢰도

01 두 개의 부품 A와 B로 구성된 대기시스템이 있다. 두 부품의 고장률은 각각 $\lambda_A = 0.02$, $\lambda_B = 0.03$ 이다. 50시간까지 시스템이 작동할 확률은 약 얼마인가? (단, 스위치의 작동확률은 1.00으로 가정한다.)

① 0.264 ② 0.343 ③ 0.657 ④ 0.736 ⑤ 0.823

해설 ③ [○] 대기시스템의 신뢰도 계산 : λ_A, λ_B 가 서로 다를 경우

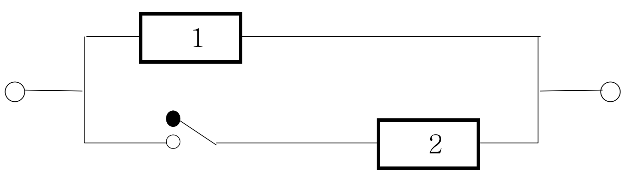


$$R_S = \frac{1}{\lambda_A - \lambda_B}\left(\lambda_A e^{-\lambda_B T} - \lambda_B e^{-\lambda_A T}\right)$$

$$= \frac{1}{0.02 - 0.03}(0.02 \times e^{-0.03 \times 50} - 0.03 \times e^{-0.02 \times 50})$$

$$= 3e^{-1} - 2e^{-1.5} = \frac{3}{e} - \frac{2}{e^{1.5}} = 0.657$$

02 동일한 고장률 λ 를 갖는 부품 2개를 그림과 같이 대기구조로 설계하였다. 각 부품의 고장분포는 지수분포이고 2번 부품이 대기부품이다. 시스템의 신뢰도함수는? (단, 스위치(switch) 신뢰도 $R_{SW} = 1$)



① $e^{-2\lambda t}$ ② $e^{-\lambda t} + e^{-2\lambda t}$ ③ $e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-2\lambda t}$ ④ $e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-\lambda t}$

⑤ $e^{-\lambda t} + \lambda t$

정답 01. ③ 02. ④

해설 ④ [○] $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ 이고, 전환스위치 신뢰도 R_{SW} 를 고려한 경우

$$R_S = (1 + R_{SW} \times \lambda t)e^{-\lambda t} = e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-\lambda t} \quad (\text{단, } R_{SW} = 1)$$

03 지수분포를 따르는 수명을 갖고 평균고장률이 0.0001회/시간인 발전기를 1,000시간 사용하면 신뢰도가 0.905가 된다. 만일 발전소의 신뢰도를 높이기 위해 동일한 발전기 한 대를 대기리던던시 설계로 설치하였다면 발전소의 1,000시간에서의 신뢰도는 얼마인가? (단, 전환스위치 신뢰도는 100%이다.)

① 0.8100 ② 0.87745 ③ 0.9050 ④ 0.9910 ⑤ 0.9955

해설 ⑤ [○] 스위치가 있는 대기리던던시 시스템의 신뢰도

$$R_S(t = 1{,}000) = (1 + R_{SW} \times \lambda t)R(t) = (1 + 0.0001 \times 1{,}000) \times 0.905$$
$$= 0.9955$$

04 2개 부품을 대기중복으로 설계하는 경우 전환스위치의 신뢰도가 100%라면 전체시스템의 평균수명은 몇 배로 증가하는가? (단 구성부품의 고장률은 λ 임)

① 1.5배 ② 2배 ③ $(1+\lambda t)$배 ④ λt 배 ⑤ $(1-\lambda t)$배

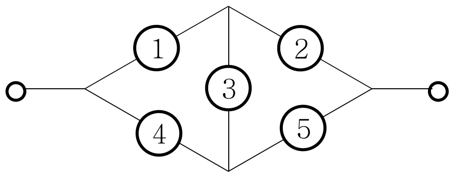
해설 ② [○] 주부품 1개를 포함한 총부품수가 n 개로 구성된 대기중복시스템에서 각 부품의 수명시간 t 가 평균고장률 λ_0 인 지수분포를 따른다고 할 때

$MTBF_S = \dfrac{1}{\lambda_0} \times n = MTBF_0 \times n$ 의 관계식으로부터 $n = 2$ 이면 $MTBF_S$ 는 2배로 증가한다.

정답 03. ⑤ 04. ②

브리지구조의 시스템 신뢰도

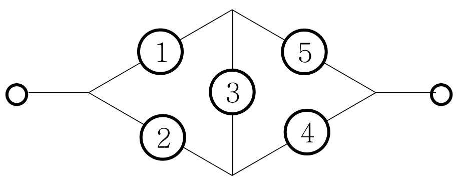
01 5개의 부품을 그림과 같이 연결하였다. 다음 부품의 집합 중 컷(cut)이 아닌 것은?



① {①, ②}　② {①, ④}　③ {②, ③, ⑤}　④ {②, ⑤}
⑤ {①, ③, ④}

해설 ① [○] {①, ②}를 끊어도 시스템은 작동된다. 따라서 {①, ②}는 pass이다.
cut인 경우 : {①, ④}, {②, ⑤}, {①, ③, ④}, {②, ③, ⑤}
pass인 경우 : {①, ②}, {④, ⑤}, {①, ③, ⑤}, {④, ③, ②}

02 다음의 브리지구조에서 극소패스(minimal Path)가 아닌 것은?



① {1, 5}　② {4, 5}　③ {1, 3, 4}　④ {2, 3, 5}　⑤ {2, 4}

해설 ② [×] pass는 시스템의 연결, cut은 시스템의 단절을 의미한다. 극소패스(minimal pass) 집합은 {1, 5}, {2, 4}이고, ②는 최소절단(minimal cut)에 해당한다.

정답 01. ①　02. ②

4.6 FMEA 및 FTA

고장해석

01 고장해석에 관한 설명으로 가장 관계가 먼 것은?

① FMEA와 FTA가 있다.
② FTA는 하향식(top-down) 전개방식을 취한다.
③ FMEA의 실시과정에는 고장메커니즘에 대한 많은 정보와 지식이 필요하다.
④ FMEA는 시스템의 고장을 발생시키는 사상과 그 원인과의 관계를 관문이나 사상기호를 사용하여 나뭇가지 모양의 그림으로 설명한다.
⑤ FMEA의 특징으로 상향식 전개방식이고, 귀납적인 기법이다.

해설 ④ [×] FTA에 대한 설명이다.

02 가속수명시험 설계시 고장메커니즘을 추론할 때 가장 효과적인 도구는?

① 산점도 ② 회귀분석 ③ 검·추정 ④ FMEA/FTA ⑤ 연관도

해설 ④ [○] FMEA나 FTA는 고장메커니즘을 추론할 때 쓰는 고장해석기법이다.
⑤ 연관도법(Relations diagram) : 문제가 되는 사상(결과)에 대하여 요인(원인)이 복잡하게 엉켜있을 경우에 그 인과관계나 요인상호관계를 명확하게 함으로써 문제해결의 실마리를 발견할 수 있는 방법이다.

FMEA : 의의 및 특징

01 설계의 불완전이나 잠재적인 결함을 찾아내기 위하여 구성요소의 고장모드와 그 상위 아이템에 대한 영향을 해석하는 기법은?

① FTA ② FMEA ③ 페일세이프설계(fail-safe design)
④ 풀프루프(fool-proof) ⑤ 세이프라이프설계(safety-life design)

정답 01. ④ 02. ④ | 01. ②

제 4 장

해설 ② [○] FMEA(Failure Mode & Effect Analysis)는 Bottom-up(상향식)에 의한 분석을 하는 것이 특징이다. FMEA는 "(기능, 품질)실패유형 및 영향분석"으로 불리고 있다.

02 FMEA방법에 대한 설명 중 가장 관계가 먼 것은?

① 정성적 고장분석방법이다.

② 상향식(bottom up)분석방법을 취하고 있다.

③ 기입용지 기입법에 의한 차트해석법이다.

④ 기본사상에 중복이 있는 경우에는 불린(Boolean)대수에 의해 결함수를 간소화하여야 한다.

⑤ 비교적 적은 비용으로 설계와 프로세스의 개선요인을 식별해 낼 수 있다.

해설 ④ [×] FTA에 의한 고장해석을 하는 경우에 대한 설명이다.

03 FMEA의 특징에 대한 설명으로 틀린 것은?

① 서브시스템 분석 시 FTA보다 효과적이다.

② 양식이 비교적 간단하고 적은 노력으로 특별한 훈련 없이 해석이 가능하다.

③ 시스템 해석기법은 정성적·귀납적 분석법 등에 사용된다.

④ 각 요소간 영향 해석이 어려워 2가지 이상 동시 고장은 해석이 곤란하다.

⑤ 해석영역이 물체에 한정되기 때문에 인적원인 해석이 곤란하다.

해설 ① [×] 시스템 분석 시 FMEA가 효과적이다. 서브시스템 분석 시에는 FTA가 더 효과적이다.

○ FMEA(고장유형 및 영향분석)

1. 각 요소가 물체로 한정되고 인적원인 분석이 곤란하며, 요소가 동시에 2가지 이상이 고장이 발생되면 분석이 어렵다.
2. 해석영역이 물체에 한정되기 때문에 인적원인 해석이 곤란하다.
3. 양식이 간단하여 특별한 훈련 없이 해석이 가능하다.
4. 시스템 해석의 기법은 정성적, 귀납적 분석법 등에 사용된다.

정답 02. ④ 03. ①

04 다음 중 FMEA의 장점이라 할 수 있는 것은?

① 두 가지 이상의 요소가 동시에 고장나는 경우에 분석이 용이하다.
② 물적, 인적요소 모두가 분석대상이 된다.
③ 서식이 간단하고 비교적 적은 노력으로 분석이 가능하다.
④ 분석방법에 대한 논리적 배경이 강하다.
⑤ 시스템의 고장에 영향을 미치는 확률을 명화하게 산출할 수 있다.

해설 ③ [○] 서식이 간단하고 FTA에 비해서 비교적 적은 노력으로 분석이 가능하다.

FMEA : 실시절차

01 FMEA용지에 반드시 들어가야 할 사항으로 가장 거리가 먼 것은?

① 고장모드 ② 부품의 기능 ③ 고장률 ④ 고장검지법
⑤ 고장원인/메커니즘

해설 ③ [×] 치명도해석법인 FMECA분석을 위해서는 기준고장률이 필요하다.

○ FMEA 양식은 MIL-STD-1629-101에 따라 실시된다. FMEA 양식(용지)는 ① 번호, ② 대상품목, ③ 기능, ④ 고장모드, ⑤ 추정원인, ⑥ 영향(서브시스템, 시스템), ⑦ 고장검지법, ⑧ 고장등급평가(C_S, 등급), ⑨ 대책 등으로 구성된다.

02 다음은 FMEA의 실시순서이다. 이들의 전후 순서가 가장 올바른 것은?

㉠ 시스템의 분해수준을 결정한다.	㉡ 블록별로 고장모드를 열거한다.
㉢ 효과적인 고장모드를 선정한다.	㉣ 신뢰성 블록도를 작성한다.
㉤ 고장등급을 결정한다.	

① ㉠-㉡-㉢-㉣-㉤ ② ㉠-㉣-㉡-㉢-㉤ ③ ㉣-㉤-㉡-㉠-㉢
④ ㉢-㉤-㉠-㉣-㉡ ⑤ ㉡-㉢-㉠-㉣-㉤

해설 ② [○] FMEA 실시절차는 제시된 항목 기준으로 ㉠-㉣-㉡-㉢-㉤ 순서와 같다.

정답 04. ③ | 01. ③ 02. ②

03 FMEA의 RPN(Risk Priority Number) 평가에서 빈도(occurrence)는 어느 항목에 관한 평가인가?

① 고장모드　② 고장영향　③ 고장 원인/메커니즘　④ 대책
⑤ 현재의 설계관리

해설 ③ [○] FMEA의 RPN(위험우선수) 평가에서 빈도는 추정원인에 대한 평가이다.

○ RPN(위험우선수) = 심각도×발생도×검출도
심각도(S : Severity, 영향도라고도 함)는 고장영향, 발생도(O : Occurrence, 발생빈도라고도 함)는 고장 원인・메카니즘, 검출도(D : Detection)는 현재의 설계관리(고장검출법)에 관하여 각각 평가하는 것이다.

04 FMEA의 장점이라 할 수 있는 것은?

① 분석방법에 대한 논리적 배경이 강하다.
② 물적, 인적요소 모두가 분석대상이 된다.
③ 서식이 간단하고 비교적 적은 노력으로 분석이 가능하다.
④ 두 가지 이상의 요소가 동시에 고장 나는 경우에도 분석이 용이하다.
⑤ 하향식(top-down) 분석이 특징이고, 원인 구조가 체계적으로 파악된다.

해설 ③ [○] 서식이 간단하고 비교적 적은 노력으로 분석이 가능하다.
① 분석방법에 대한 논리적 배경이 약하다.
② 영향인자 요소가 물체로 한정되어 있어서 인적 원인분석은 곤란하다.
④ 각 영향인자 간의 상호 영향에 대한 분석은 어려우므로 동시에 두 가지 이상의 요소 고장에서는 분석이 곤란하다.
⑤ 상향식 분석이며, 표에 의한 분석으로 시스템에 미치는 고장유형을 파악한다.

FMEA : 고장등급 결정

01 FMEA에서 고장 평점을 결정하는 5가지 평가요소에 해당하지 않는 것은?

① 생산능력의 범위　② 고장발생의 빈도　③ 고장방지의 가능성
④ 신규설계의 정도　⑤ 영향을 미치는 시스템의 범위

정답 03. ③　04. ③　|　01. ①

해설 ① [×] FMEA의 고장평점 $C_S = (C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5)^{1/5}$ 일 때 평가요소

1. C_1 : 기능적 고장영향의 중요도(고장영향의 크기)
2. C_2 : 시스템에 영향을 미치는 범위
3. C_3 : 고장발생의 빈도(시간 또는 회수)
4. C_4 : 고장방지기능성　5. C_5 : 신규설계의 정도

02 고장평점법에서 평점요소로 C_1 : 기능적 고장영향의 중요, C_2 : 영향을 미치는 시스템의 범위, C_3 : 고장발생빈도를 평가하여 C_1=8, C_2=4, C_3=6을 얻었다. 다음 중 고장평점 C_S 는?

① 5.8　② 6.0　③ 6.2　④ 6.4　⑤ 6.8

해설 ① [○] 고장평점 $C_S = (C_1 \times C_2 \times C_3)^{1/3} = (8 \times 4 \times 6)^{1/3} = 5.769$

03 고장결과에 따라 분류되는 고장형태가 아닌 것은?

① 치명고장　② 중고장　③ 경고장　④ 오용고장　⑤ 미소고장

해설 ④ [×] 임무달성에 중점을 둔 고장등급

고장등급	고장구분	판단기준	대책내용
Ⅰ	치명고장	임무수행불능, 인명손실	설계변경이 필요
Ⅱ	중대고장	임무의 중대부분 달성불가	설계의 재검토가 필요
Ⅲ	경미고장	임무의 일부 달성불가	설계변경은 불필요
Ⅳ	미소고장	영향이 전혀 없음	설계변경은 전혀 불필요

04 고장의 영향을 평가하는 방법 중의 하나인 치명도평점법에서 치명도평점 C_E 를 구하는 식은? (단, F_1 : 고장영향의 크기, F_2 : 시스템에 주는 영향의 범위, F_3 : 고장발생빈도, F_4 : 고장방지 가능성, F_5 : 신규설계의 여부)

정답 02. ①　03. ④　04. ①

제 4 장

① $C_E = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5$　　② $C_E = \sqrt{F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5}$

③ $C_E = (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5)^{1/5}$　　④ $C_E = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$

⑤ $C_E = (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5)^5$

해설 ① [○] 치명도 평점법은 '고장영향 크기'에 따라 평점을 구하고, 아래 식에 의해 치명도평점(C_E)를 계산한 후에 이 점수에 대응하여 고장등급을 결정하는 방법이다. 치명도 평점 $C_E = F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4 \times F_5$

05 고장등급의 결정방법 중 치명도 평정법의 항목에 해당되지 않는 것은?

① 고장 발생시간　② 고장 영향의 크기　③ 신규설계 여부
④ 고장 방지의 가능성　⑤ 고장 발생빈도

해설 ① [○] 치명도 평정법은 '고장영향의 크기'에 따라 평점을 구하고, 다음 식에 의해 치명도평점(C_E)를 계산한 후에 이 점수에 대응하여 고장등급을 결정하는 방법이다.

치명도 평점 $C_E = F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4 \times F_5$

여기서, F_1 : 고장영향의 크기

F_2 : 시스템에 미치는 영향의 정도・범위

F_3 : 발생빈도 (0.7~1.5점)

F_4 : 방지의 가능성, F_5 : 신규설계 여부

06 FMEA에서 고장의 발생확률 β가 다음 값의 범위일 경우 고장의 영향으로 옳은 것은?

$$0.10 \le \beta < 1.00$$

① 손실의 영향이 없음　② 실제 손실이 예상됨　③ 손실이 가능함
④ 실제 손실이 발생됨　⑤ 손실 발생의 가능성이 있음

정답 05. ①　06. ②

해설 고장의 영향 구분

영향	실제의 손실	예상되는 손실	가능한 손실	영향없음
발생확률(β)	β=1.00	0.10≤β<1.00	0≤β<0.10	β=0

FTA : 발전과 의의

01 시스템 고장을 발생시키는 사상과 그 원인과의 인과관계를 논리기호를 사용하여 나뭇가지 모양의 그림으로 나타낸 고장나무를 만들고, 이에 의거 시스템의 고장확률을 구함으로써 문제되는 부분을 찾아내어 시스템의 신뢰성을 개선하는 계량적 고장해석 기법은?

① FTA ② PLD ③ FMEA ④ FMECA ⑤ OAT

해설 ① [○] FTA(Fault Tree Analysis, 고장나무분석, 고장木분석, 고장樹분석)
② PLD(Product Liability Defence, 제품책임방어)
③ FMEA(Failure Mode and Effect Analysis, 고장 유형 및 영향 분석)
④ FMECA(고장 유형, 영향 및 치명도 분석, Failure Mode, Effect & Criticality Analysis)
⑤ OAT(Operator Action Tree, 운전원행동나무) 또는 OAET(Operator Action Event Tree, 조작자행동사건나무) 분석은 제어실 운전원을 대상으로 사고를 유발할 수 있는 직무 연쇄를 도출하고 인지에러확률을 추정하는 기법이며, THERP(Technique for Human Error Rate Prediction, 인간실수율예측기법) 기법의 문제점을 극복하기 위하여, J. Wreathall 등에 의하여 개발되었다.

02 다음은 고장나무분석(FTA)에 대한 설명이다. 틀린 것은?

① 시스템 고장에 잠재원인을 추적할 수 있다.
② 분석방법은 귀납적인 해석방법을 취하고 있다.
③ 정성적 분석과 정량적 분석을 병행할 수 있다.
④ 시스템을 하위시스템이나 구성품 등으로 분해할 수 있는 경우에 적합하다.

정답 01. ① 02. ③

제 4 장

⑤ 분석에는 게이트, 이벤트, 부호 등의 그래픽 기호를 사용하여 결함 단계를 표현한다.

해설 ③ [×] FTA는 고장확률계산을 바탕으로 하는 정량적 분석방법이다. 참고사항으로서 FMEA는 정성적 분석방법이다.

03 결함수분석법(FTA)의 특징으로 볼 수 없는 것은?

① 특정사상에 대한 해석 ② 논리기호를 사용한 해석
③ Top Down 형식 ④ 정성적 해석의 불가능
⑤ 복잡하고 대형화된 시스템의 신뢰도 분석에 사용

해설 ④ [×] 정성적 해석도 일부 가능하다.

○ FTA 분석의 특징
1. 연역적(Top down) 방식 분석 2. 정량적(확률적)인 분석기법
3. 논리기호를 이용한 해석 4. 기능적인 결함을 분석하는데 용이
5. 잠재위험에 대한 효율적인 분석
6. 복잡하고 대형화된 시스템의 신뢰도 분석에 사용

04 결함수분석의 기대효과와 가장 관계가 먼 것은?

① 시스템의 결함 진단 ② 시간에 따른 원인 분석
③ 사고원인 규명의 간편화 ④ 사고원인 분석의 정량화
⑤ 노력, 시간의 절감

해설 ② [×] 시간에 따른 원인 분석은 FTA가 아닌 신뢰도가 이용된다.

○ 결함수분석(FTA)의 기대효과
1. 사고원인 규명의 간편화 2. 사고원인 분석의 일반화
3. 사고원인 분석의 정량화 4. 노력, 시간의 절감
5. 시스템의 결함 진단 6. 안전점검 check list 작성

05 결함수분석(FTA)에 관한 설명으로 틀린 것은?

① 연역적 방법이다. ② 보텀-업(Bottom-Up)방식이다.

정답 03. ④ 04. ② 05. ②

③ 정량적 분석이 가능하다.　　④ 기능적 결함의 원인을 분석하는데 용이하다.
⑤ 인적요인 분석이 가능하다.

해설 ② [×] 결함수분석(FTA)은 톱-다운(Top-Down)방식의 연역식 분석법이다.

06 다음 중 결함수분석법(FTA)의 특징으로 볼 수 없는 것은?

① Top Down 형식　　② 특정사상에 대한 해석
③ 정성적 해석의 불가능　　④ 논리기호를 사용한 해석
⑤ 소프트웨어나 인간의 과오까지도 포함한 고장해석 가능

해설 ③ [×] 결함수분석법(FTA)은 정성적 해석이 일부 가능하다.

제 4 장

07 다음 중 결함수분석의 기대효과와 가장 관계가 먼 것은?

① 사고원인 규명의 간편화　　② 시간에 따른 원인 분석
③ 사고원인 분석의 정량화　　④ 시스템의 결함 진단
⑤ 사고원인 분석의 일반화

해설 ② [×] 시간에 따른 원인 분석 방법은 신뢰도 파악이 해당사항이다.

○ 결함수분석의 기대효과
1. 사고원인 규명의 간편화　2. 사고원인 분석의 일반화
3. 사고원인 분석의 정량화　4. 노력 시간의 절감
5. 시스템의 결함 진단　6. 안전점검 체크리스트 작성

08 다음 중 FTA(Fault Tree Analysis)에 관한 설명으로 가장 적절한 것은?

① 복잡하고, 대형화된 시스템의 신뢰성 분석에는 적절하지 않다.
② 시스템 각 구성요소의 기능이 정상인가, 고장인가로 점진적으로 구분짓는다.
③ "그것이 발생하기 위해서는 무엇이 필요한가?"라는 것은 연역적이다.
④ 사건들을 일련의 이분(binary) 의사 결정분기들로 모형화한다.
⑤ 기본사상을 중시하며, 상향식(bottom-up) 분석 방법을 사용한다.

해설 ③ [○] "그것이 발생하기 위해서는 무엇이 필요한가?"라는 것은 연역적이다.

정답 06. ③　07. ②　08. ③

○ 결함수분석법 (FTA)

1. 연역적 방법이다.
2. 하향식 방법(top-down)을 사용한다.
3. 복잡하고 대형화된 시스템을 논리기호를 사용하여 해석한다.
4. 짧은 시간에 특정 사상에 대한 해석이 가능하다.
5. 재해의 정량적 예측이 가능한 분석법이다.
6. 비전문가도 잠재위험을 효율적으로 분석할 수 있다.

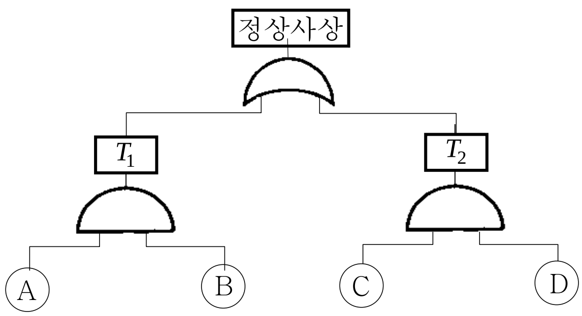
FTA : FT도 작성

01 다음 중 FT의 작성방법에 관한 설명으로 틀린 것은?

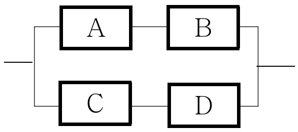
① 정성·정량적으로 해석·평가하기 전에는 FT를 간소화해야 한다.
② 정상(Top)사상과 기본사상과의 관계는 논리게이트를 이용해 도해한다.
③ FT를 작성하려면, 먼저 분석대상 시스템을 완전히 이해하여야 한다.
④ FT 작성을 쉽게 하기 위해서는 정상(Top)사상을 최대한 광범위하게 정의한다.
⑤ FT를 작성하고 수식화하여 기본사상에서 중복이 있는 경우에는 불대수를 이용하여 간소화한다.

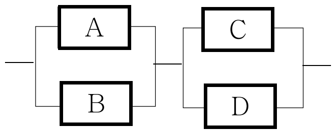
해설 ④ [×] FT 작성을 쉽게 하기 위해서는 정상(Top)사상은 단순화되어야 하고, 가능한 한 다수의 하위레벨사상을 포함해야 된다.

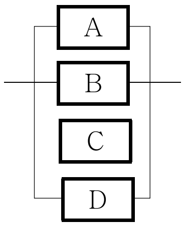
02 시스템의 FT도가 그림과 같을 때 이 시스템의 블록도로 옳은 것은?

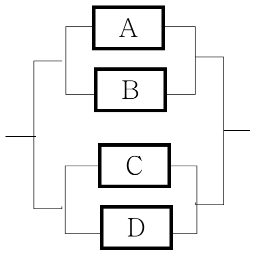


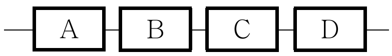
정답 01. ④ 02. ②

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

해설 ② [○] FT도에서 OR gate는 신뢰성 블록도에서는 직렬결합모델로, AND gate는 병렬결합모델로 구성되어야 한다. 즉, A와 B 모두 고장이 나면 T_1이 고장이 되며(AND Gate), C와 D 모두 고장이 나면 T_2가 고장이 된다(AND Gate). 그리고 T_1, T_2 중 어느 하나라도 고장이 나면 Top(정상)사상이 고장이 된다(OR Gate).

FTA : 논리게이트

01 FT 작성에 사용되는 사상 중 시스템의 정상적인 가동상태에서 일어날 것이 기대되는 사상은?

① 통상사상 ② 기본사상 ③ 생략사상 ④ 결함사상 ⑤ 전이기호

해설 ① [○] 제시문에 해당하는 것은 '통상사상'이다. 통상사상은 발생이 예상되는 사상이다.

② 기본사상 : 더 이상 전개할 수 없는 사건의 원인
③ 생략사상 : 관련 정보가 미비하여 계속 개발될 수 없는 특정 초기사상
④ 결함사상 : 한 개 이상의 입력에 의해 발생된 고장사상
⑤ 전이기호 : FT도에서 다른 부분에의 연결, 이행을 나타내는 기호

정답 01. ①

02 FTA에서 사용하는 수정게이트의 종류에서 3개의 입력현상 중 2개가 발생할 경우 출력이 생기는 것은?

① 우선적 AND 게이트 ② 조합 AND 게이트 ③ 위험지속기호
④ 배타적 OR 게이트 ⑤ 억제 게이트

해설 ② [○] 제시문은 '조합 AND 게이트'에 대한 내용이다.
① 우선 AND 게이트 : 특정 순서대로 발생한 경우 출력사상이 발생
② 조합 AND게이트 : 3개 이상 입력 중 2개 발생시 출력
④ 배타적 OR게이트 : 오직 한 개 발생으로만 출력사상 발생

03 FTA에 사용되는 논리 게이트 중 여러 개의 입력 사항이 정해진 순서에 따라 순차적으로 발생해야만 결과가 출력되는 것은?

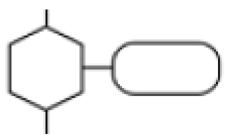
① 억제 게이트 ② 배타적 OR 게이트 ③ 조합 AND 게이트
④ 우선적 AND 게이트 ⑤ 위험지속기호

해설 ④ [○] 제시문은 '우선적 AND 게이트'에 대한 내용이다.
① 억제 게이트 : 수정기호를 병용해서 게이트 역할
② 배타적 OR 게이트 : OR게이트인데 2개 또는 그 이상의 입력이 존재하는 경우에는 출력이 발생하지 않음
③ 조합 AND 게이트 : 3개 중 2개의 입력신호가 들어오면 출력이 생김

04 FTA에 사용되는 논리게이트 중 조건부 사건이 발생하는 상황 하에서 입력현상이 발생할 때 출력현상이 발생하는 것은?

① 억제 게이트 ② AND 게이트 ③ 배타적 OR 게이트
④ 우선적 AND 게이트 ⑤ 조합 AND 게이트

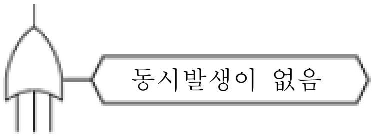
해설 ① [○] 제시문은 '억제 게이트'에 대한 내용이다. 억제게이트는 수정기호를 병용해서 게이트 역할을 하는 것이다. 입력이 있을 때 주어진 조건을 만족시키는 경우 출력이 생기는 것을 의미한다. 다음 기호는 억제게이트를 나타낸다.



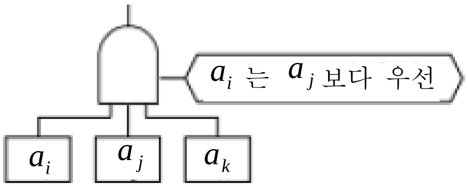
정답 02. ② 03. ④ 04. ①

② AND 게이트 : 모든 입력사상이 공존할 때만 출력사상이 발생

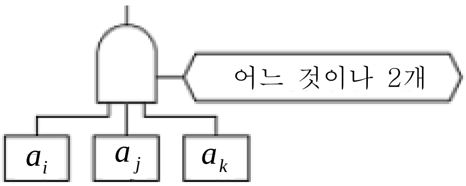
③ 배타적 OR 게이트 : OR 게이트 2개 이상의 입력이 동시에 존재할 때에는 출력사상이 생기지 않는다.



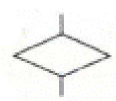
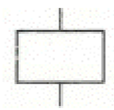
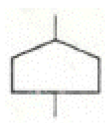
④ 우선적 AND 게이트 : 입력사상 중에 어떤 현상이 다른 현상보다 먼저 일어날 때에 출력사항이 생긴다.

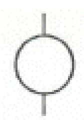
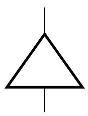


⑤ 조합 AND 게이트 : 예를 들어 3개 중 어느 것이나 2개가 입력이 되는 출력이 나가는 경우이다.



05 FTA에 사용되는 논리 기호와 명칭이 올바르게 연결된 것은?

①  : 전이기호 ②  : 기본사상 ③  : 통상사상

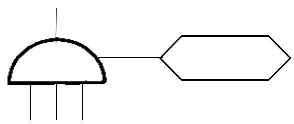
④  : 결함사상 ⑤  : 생략사상

해설 ③ [○] 통상사상이다. 이는 시스템이 정상적인 가동상태에서 일어날 것이 기대되는 사상

정답 05. ③

① 생략사상 - 더 이상 전개할 수 없는 사상
② 결함사상 - 시스템 분석에 있어서 조금 더 발전시켜야 하는 사상
③ 통상사상 - 발생이 예상되는 사상
④ 기본사상 - 더 이상 분석할 필요가 없는 사상
⑤ 전이기호 - 다른 부분에 있는 게이트와의 연결관계를 나타내기 위한 기호 전입과 전출기호가 있음

06 FT도에 사용되는 다음 기호의 명칭으로 옳은 것은?



① 배타적 AND게이트 ② 조합 AND게이트 ③ 부정게이트
④ 배타적 OR게이트 ⑤ 부정게이트

해설 ② [○] 제시 기호는 '조합 AND게이트'나 혹은 '우선적 AND게이트'이다. '조합 AND게이트'의 경우 3개의 입력현상 중에 2개가 일어나면 출력이 생긴다. '우선적 AND게이트'의 경우 3개의 입력 중에 우선적인 입력 조건이 만족할 때에만 출력이 생긴다. 선택 항에서는 조합 AND게이트만 있으므로 이것이 답이 된다.
① 배타적 AND게이트는 입력사상 3개가 동시에 입력이 되면 출력이 나가지 않은 것을 의미하는데 일반적으로는 잘 쓰이지 않는다.

07 FT 작성에 사용되는 사상 중 시스템의 정상적인 가동상태에서 일어날 것이 기대되는 사상은?

① 통상사상 ② 기본사상 ③ 생략사상 ④ 결함사상 ⑤ 전이사상

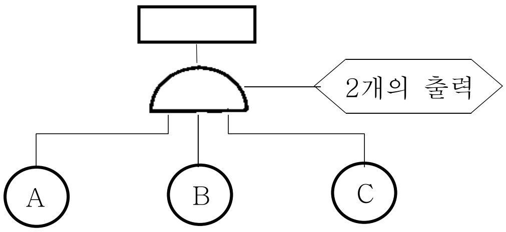
해설 ① [○] 제시문은 통상사상에 대한 내용이다.

08 FTA에서 사용하는 수정게이트의 종류 중 3개의 입력현상 중 2개가 발생한 경우에 출력이 생기는 것은?

정답 06. ② 07. ① 08. ②

① 위험지속기호　② 조합 AND 게이트　③ 배타적 OR 게이트
④ 억제 게이트　⑤ 조합 OR 게이트

해설 ② [○] 조합 AND 게이트는 3개의 입력현상 중 2개가 발생한 경우에 출력이 생기는 것이다.



09 FTA에서 사용하는 수정게이트의 종류에서 3개의 입력현상 중 2개가 발생할 경우 출력이 생기는 것은?

① 위험지속기호　② 조합 AND 게이트　③ 배타적 OR 게이트
④ 우선적 AND 게이트　⑤ 억제 게이트

해설 ② [○] 제시문에 해당하는 것은 '조합 AND 게이트'이다.

③ 배타적 OR 게이트 : OR 게이트와 동일하게 작동하지만 입력값이 동일한 경우에는 1을 출력하지 않는다는 의미이다. 배타적이라 함은 서로 같음 대신에 서로 다름을 택한다는 의미로 해석된다.

④ 우선적 AND 게이트 : 입력사상이 특정 순서대로 발생한 경우에만

⑤ 억제 게이트 : 한 개의 입력사상에 의해 발생

10 FTA에 사용되는 논리 게이트 중 여러 개의 입력 사상이 정해진 순서에 따라 순차적으로 발생해야만 결과가 출력되는 것은?

① 억제 게이트　② 조합 AND 게이트　③ 배타적 OR 게이트
④ 우선적 AND 게이트　⑤ 조합 OR 게이트

해설 ④ [○] 제시문에 해당하는 것은 '우선적 AND 게이트'이다.

정답 09. ②　10. ④

11 FT도에 사용하는 기호에서 3개의 입력현상 중 임의의 시간에 2개가 발생하면 출력이 생기는 기호의 명칭은?

① 억제 게이트 ② 조합 AND 게이트 ③ 배타적 OR 게이트
④ 우선적 AND 게이트 ⑤ 조합 OR 게이트

해설 ② [○] 조합 AND 게이트는 3개의 입력 현상 중 임의의 시간에 2개가 발생하면 출력이 생긴다.

FTA : 고장목 간소화

01 다음 중 불(Boole) 대수의 정리를 나타낸 관계식으로 틀린 것은?

① A・0=0 ② A+1=1 ③ A・A' = 1 ④ A(A+B)=A ⑤ A+A・B=A

해설 ③ [×] A・A' = 0

○ Boole 대수(Boolean Algebra)의 기본 정리

① 항등법칙 A+0=A, A+1=1, A・1=A, A・0=0
② 동일법칙 A+A=A, A・A=A
③ 보원법칙 A+A'=1, A・A'=0
④ 교환법칙 A+B=B+A, A・B=B・A
⑤ 결합법칙 A+(B+C)=(A+B)+C, A・(B・C)=(A・B)・C
⑥ 분배법칙 A+(B・C)=(A+B)·(A+C), A·(B+C)=A・B +A・C
⑦ 흡수법칙 A+A・B=A, A・(A+B)=A
⑧ DeMorgan's law (A+B)'=A'・B', (A・B)' =A' +B'
⑨ 다중부정 (A')'=A

[참고] ③ A+A'=1는 A+$\overline{A}$=1, A・A'=0은 A×$\overline{A}$=0으로도 표기 가능

⑨ (A')'=A은 $\overline{\overline{A}}$=A로도 표기 가능.

02 불(Boole) 대수의 정리를 나타낸 관계식으로 틀린 것은?

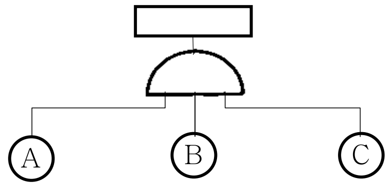
① A・A=A ② $A+\overline{A}=0$ ③ A+AB=A ④ A+A=A ⑤ A+B)'=A'・B'

해설 ② [×] $A+\overline{A}=1$

정답 11. ② | 01. ③ 02. ②

FTA : 고장확률 계산

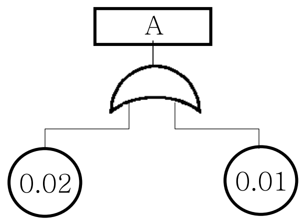
01 그림과 같은 시스템에서 A, B, C의 고장나는 확률이 각각 F_A=0.1, F_B=0.05, F_C=0.02로 하여 정상사상의 고장확률을 구하면?



① 0.00001 ② 0.0001 ③ 0.001 ④ 0.01 ⑤ 0.1

해설 ② [○] FT도가 AND gate이므로 사상 A, B, C가 동시에 고장이 일어나야 정상사상(T)이 고장난다. $F_T = F_A \times F_B \times F_C = 0.1 \times 0.05 \times 0.02 = 1 \times 10^{-4}$

02 FT도에서 기본사상의 고장이 발생하는 확률이 각각 0.02, 0.01 일 때 정상사상 A의 고장이 발생하는 확률은?



① 0.002 ② 0.0298 ③ 0.5642 ④ 0.9702 ⑤ 0.9998

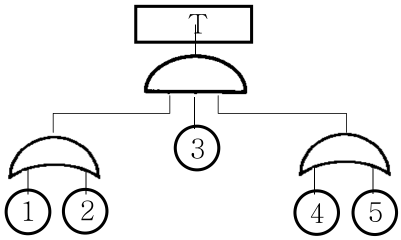
해설 ② [○] $F_A = 1-(1-F_1)(1-F_2) = 1-(1-0.02)(1-0.01) = 0.0298$

여기서, $F_1 = 0.02$, $F_2 = 0.01$

또는 $F_A = F_1 + F_2 - F_1 \times F_2 = 0.02 + 0.01 - 0.02 \times 0.01 = 0.0298$

03 그림과 같은 고장수목에서 정상사상의 발생확률은 얼마인가? (단, 모든 사상의 발생확률은 0.1이다.)

정답 01. ② 02. ② 03. ①

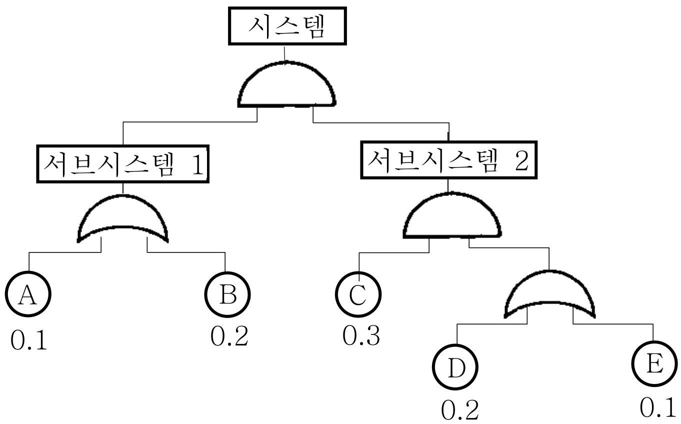


① 0.0036 ② 0.0087 ③ 0.0324 ④ 0.0987 ⑤ 0.8821

해설 ① [○] $F_T = \left[1-(1-F_1)(1-F_2)\right] \times F_3 \times \left[1-(1-F_4)(1-F_5)\right]$

$$= \left[1-(1-0.1)^2\right] \times 0.1 \times \left[1-(1-0.1)^2\right] = 0.00361$$

04 다음 FT도에서 시스템이 고장날 확률은? (단, 주어진 수치는 각 구성품의 고장확률이며, 각 구성품의 고장은 서로 독립이다.)



① 0.02352 ② 0.02552 ③ 0.02752 ④ 0.02952 ⑤ 0.03212

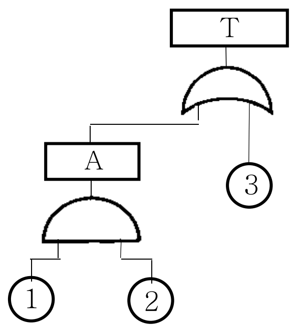
해설 ① [○] $F_T = F_{S_1} \times F_{S_2} = 0.02352$

여기서, $F_{S_1} = 1-(1-0.1)(1-0.2) = 0.28$

$$F_{S_2} = F_c[1-(1-0.2)(1-0.1)] = 0.084$$

정답 04. ①

05 그림과 같은 FT도에서 F_1= 0.015, F_2= 0.02, F_3= 0.050이면, 정상사상 T가 발생할 확률은 약 얼마인가?

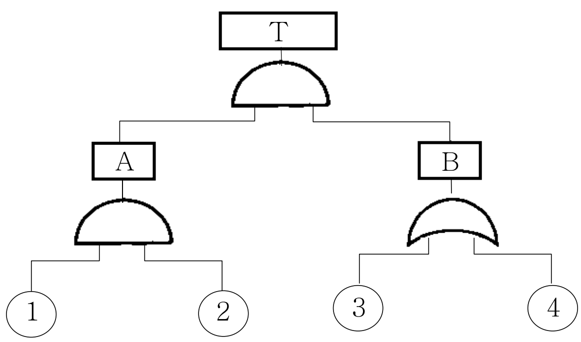


① 0.0002　② 0.0283　③ 0.0503　④ 0.0786　⑤ 0.0867

해설 ③ [○] $F_T = 1-(1-F_A)(1-F_3) = 1-(1-F_1 \times F_2)(1-F_3)$

$$= 1-(1-0.015\times 0.02)(1-0.05) = 0.0503$$

06 FT도에서 시스템의 신뢰도는 얼마인가? (단, 모든 부품의 발생확률은 0.1 이다.)



① 0.0033　② 0.0062　③ 0.0094　④ 0.9936　⑤ 0.9981

해설 ⑤ [○] 신뢰도 R_T는 불신뢰도(누적고장확률) F_T를 이용하여 계산 가능하다.

$$R_T = 1-F_T = 1-0.0019 = 0.9981$$

여기서, $F_T = F_A \times F_B = (0.1\times 0.1)\times\left[1-(1-F_3)(1-F_4)\right]$

$$= 0.01\times 0.19 = 0.0019$$

정답 05. ③　06. ⑤

제 4 장

07 어떤 결함수를 분석하여 minimal cut set을 구한 결과 다음과 같았다. 각 기본사상의 발생확률을 q_i $i=1,2,3$이라 할 때, 정상사상의 발생확률함수로 맞는 것은?

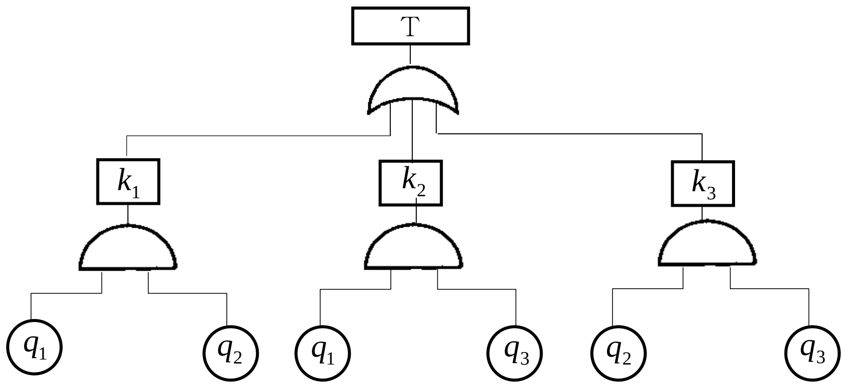
k_1=[1,2] k_2=[1, 3] k_3=[2, 3]

① $q_1 q_2 + q_1 q_2 - q_2 q_3$　　② $q_1 q_2 + q_1 q_3 - q_1 q_2$

③ $q_1 q_2 + q_1 q_3 + q_2 q_3 - q_1 q_3 q_3$　　④ $q_1 q_2 + q_1 q_3 + q_2 q_3 - 2 q_1 q_3 q_3$

⑤ $q_1 q_2 + q_1 q_3 + q_2 q_3 - 3 q_1 q_3 q_3$

해설 ④ [○] $F_T = 1-(1-q_1q_2)(1-q_1q_3)(1-q_2q_3)$ 를 정리하여 구한다.



FTA : 컷셋 및 최소 컷셋

01 FTA에서 활용하는 최소 컷셋(Minimal cut sets)에 관한 설명으로 맞는 것은?

① 해당 시스템에 대한 신뢰도를 나타낸다.

② 컷셋의 집합 중에서 정상사상을 일으키기 위하여 필요한 최소한의 컷셋을 의미한다.

③ 어느 고장이나 에러를 일으키지 않으면 재해가 일어나지 않는 시스템의 신뢰성이다.

정답 07. ④ | 01. ②

④ 기본사상이 일어나지 않을 때 정상사상(Top event)이 일어나지 않는 기본사상의 집합이다.

⑤ 정상사상을 발생시키는 기본사상의 집합으로 그 안에 포함되는 모든 기본사상이 발생할 때 정상사상을 발생시킬 수 있는 기본사상의 집합이다.

해설 ② [○] 최소 컷셋(Minimal cut sets)은 컷셋의 집합 중에서 정상사상을 일으키기 위하여 필요한 최소한의 컷셋을 의미한다.

○ 컷셋 및 패스셋

1. 컷셋 : 정상사상을 발생시키는 기본사상의 집합으로 그 안에 포함되는 모든 기본사상이 발생할 때 정상사상을 발생시킬 수 있는 기본사상의 집합
2. 패스셋 : 그 안에 포함되는 모든 기본사상이 일어나지 않을 때 처음으로 정상사상이 일어나지 않는 기본사상의 집합
3. 미니멀 컷셋 : 컷셋의 집합 중에서 정상사상을 일으키기 위하여 필요한 최소한의 컷셋을 미니멀 컷셋이라 한다(시스템의 위험성 또는 안전성을 나타냄).
4. 미니멀 패스셋 : 그 안에 포함되는 모든 기본사상이 일어나지 않을 때 처음으로 정상사상이 일어나지 않는 기본사상의 집합인 패스셋에서 필요 최소한의 것을 미니멀 패스셋이라 한다(시스템의 신뢰성을 나타냄).

02 다음 중 FTA에서 사용되는 minimal cut set에 관한 설명으로 틀린 것은?

① 사고에 대한 시스템의 약점을 표현한다.

② 정상사상(Top 사상)을 일으키는 최소한의 집합이다.

③ 시스템에 고장이 발생하지 않도록 하는 모든 사상의 집합이다.

④ 일반적으로 Fussell Algorithm을 이용한다.

⑤ 컷셋의 집합 중에서 정상사상을 일으키기 위하여 필요한 최소한의 컷셋을 미니멀 컷셋이라 한다.

해설 ③ [×] 미니멀 컷셋은 컷셋의 집합 중에서 정상사상(고장발생, 기능정지)을 일으키기 위하여 필요한 최소한의 컷셋을 미니멀 컷셋이라 한다. 미니멀 컷셋은 시스템의 기능을 마비시키는 사고요인의 최소집합이다.

정답 02. ③

제 4 장

03 **컷셋과 패스셋에 관한 설명으로 맞는 것은?**

① 동일한 시스템에서 패스셋의 개수와 컷셋의 개수는 같다.

② 패스셋은 동시에 발생했을 때 정상사상을 유발하는 사상들의 집합이다.

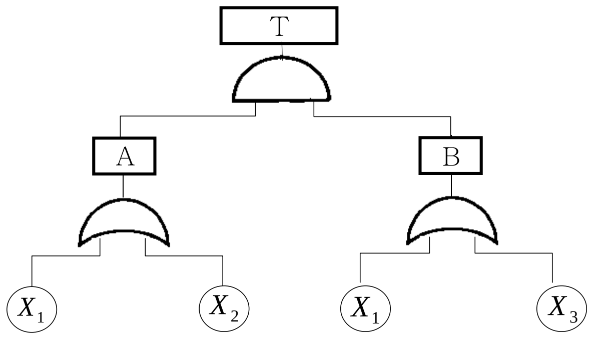
③ 일반적으로 시스템에서 최소 컷셋의 개수가 늘어나면 위험 수준이 높아진다.

④ 최소 컷셋은 어떤 고장이나 실수를 일으키지 않으면 재해는 일어나지 않는다고 하는 것이다.

⑤ 미니멀 컷셋은 시스템의 신뢰성을 나타내고, 미니멀 패스셋은 시스템의 위험성 또는 안전성을 나타낸다.

해설 ③ [○] 일반적으로 컷셋은 정상사상(고장발생)을 발생시키는 기본사상의 집합이므로 시스템에서 최소 컷셋의 개수가 늘어나면 위험 수준이 높아진다.

04 **다음 FT도에서 최소 컷셋(Minimal cut set)으로만 올바르게 나열한 것은?**



① $\{X_1\}, \{X_2\}$　② $\{X_1, X_2\}, \{X_1, X_3\}$　③ $\{X_1\}, \{X_2, X_3\}$

④ $\{X_1, X_2, X_3\}$　⑤ $\{X_1\}, \{X_1, X_2\}, \{X_1, X_3\}$

해설 ③ [○] 최소 컷셋을 Fussell 알고리즘으로 구할 수 있고, 다음과 같다.

$$T = A \times B = \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_3 \end{Bmatrix}$$

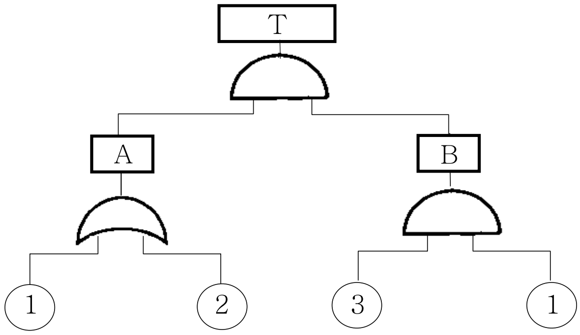
$$= \{X_1, X_1\}, \{X_1, X_3\}, \{X_2, X_1\}, \{X_2, X_3\}$$

$$= \{X_1\}, \{X_1, X_3\}, \{X_1, X_2\}, \{X_2, X_3\} = \{X_1\}, \{X_2, X_3\}$$

○ 최소 컷셋 적용한 Top사상 고장확률은 $F_T = F_{X_1} \times \left[1-(1-F_{X_2})(1-F_{X_3})\right]$

정답 03. ③　04. ③

05 [그림]과 같은 FT도에 대한 미니멀 컷셋(minimal cut sets)으로 옳은 것은? (단, Fussell의 알고리즘을 따른다.)

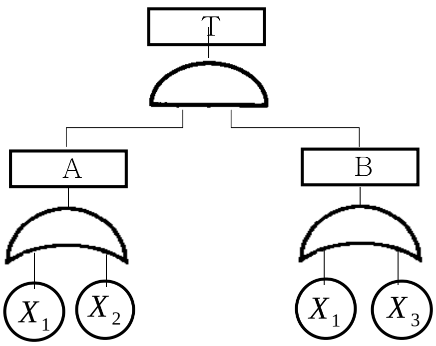


① {1, 2}　② {1, 3}　③ {2. 3}　④ {1, 2, 3}　⑤ {1, 2}, {1, 3}

해설 ② [○] 기본사상 1이 중복되므로 고장목 간소화 후에 고장확률을 구해야 한다. 미니멀 컷셋을 Fussell의 알고리즘을 이용하여 구할 수 있다.

$$T = A \times B = \begin{Bmatrix} 1 \\ 2 \end{Bmatrix} \times \{3, 1\} = \{1, 3, 1\}, \{2, 3, 1\} = \{1, 3\}, \{1, 2, 3\} = \{1, 3\}$$

06 다음 FT도에서 최소 컷셋(Minimal cut set)으로만 올바르게 나열한 것은?



① $\{X_1\}, \{X_2, X_3\}$　② $\{X_1\}, \{X_2\}$　③ $\{X_1, X_2, X_3\}$

④ $\{X_2\}, \{X_3\}$　⑤ $\{X_1, X_2\}, \{X_1, X_3\}$

해설 ① [○] 최소 컷셋(Minimal cut set)은 Fussell 알고리즘으로 구하면 편리하다.

정답 05. ②　06. ①

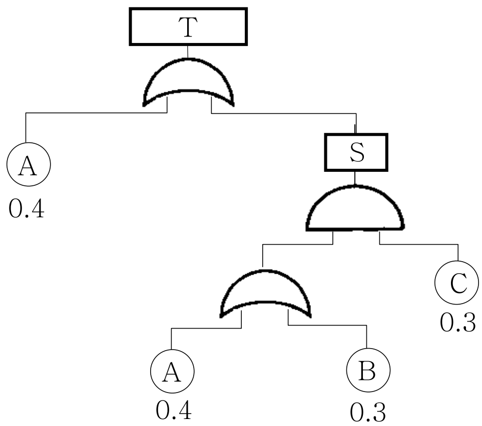
$$T = A \times B = \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_3 \end{Bmatrix}$$

$$= \{X_1, X_1\}, \{X_1, X_3\}, \{X_1, X_2\}, \{X_2, X_3\}$$

$$= \{X_1\}, \{X_1, X_3\}, \{X_1, X_2\}, \{X_2, X_3\} = \{X_1\}, \{X_2, X_3\}$$

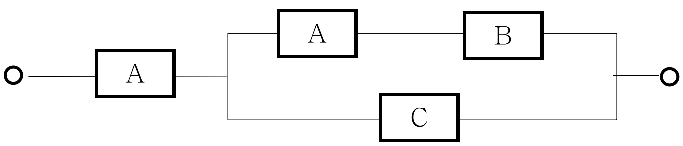
따라서, 마지막 식으로부터 최소 컷셋은 $\{X_1\}, \{X_2, X_3\}$이다

07 다음 FT도에서 정상사상(Top event)이 발생하는 최소 컷셋의 $P(T)$는 약 얼마인가? (단, 원 안의 수치는 각 사상의 발생확률이다.)



① 0.311 ② 0.454 ③ 0.204 ④ 0.928 ⑤ 0.490

해설 ② [○] 기본사상 A가 중복되므로 톱사상의 고장확률은 고장목 간소화를 실시후 최소 컷셋의 확률로 구해야 한다. 제시된 FT도의 신뢰성 블록도는 아래 그림과 같고, 여기서 최소 컷셋은 {A}, {B, C}이 된다.

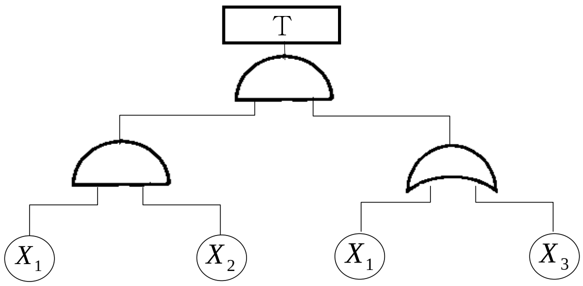


$$P(T) = F_T = 1-(1-F_A)(1-F_S) = 1-(1-F_A)(1-F_B \times F_C)$$

$$= 1-(1-0.4)(1-0.3 \times 0.3) = 0.454$$

정답 07. ②

08 다음의 FT도에서 정상 사상 T의 발생확률은 얼마인가? (단, X_1, X_2, X_3의 발생확률은 모두 0.1 이다.)



① 0.001 ② 0.0019 ③ 0.01 ④ 0.019 ⑤ 0.0361

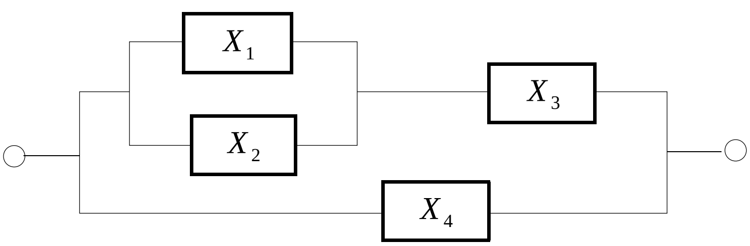
해설 ③ [○] 기본사상 X_1이 중복되므로 고장목 단순화를 시킨 후에 고장확률을 구해야 한다. 고장확률은 Fussell 알고리즘에 의한 최소 컷셋에서 구한다.

1. 최소 컷셋 : $T = \{X_1, X_2\} \times \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_3 \end{Bmatrix} = \{X_1, X_2, X_1\}, \{X_1, X_2, X_3\}$

$= \{X_1, X_2\}, \{X_1, X_2, X_3\} = \{X_1, X_2\}$

2. Top사상 고장확률 : $F_T = F_{X_1} \times F_{X_2} = 0.1 \times 0.1 = 0.01$

09 다음 시스템에 대하여 톱사상(top event)에 도달할 수 있는 최소 컷셋(minimal cutsets)을 구할 때 올바른 집합은? (단, X_1, X_2, X_3, X_4는 각 부품의 고장확률을 의미하며 집합 {X_1, X_2}는 X_1부품과 X_2부품이 동시에 고장나는 경우를 의미한다.



① {X_1, X_2}, {X_3, X_4} ② {X_1, X_3}, {X_2, X_4}

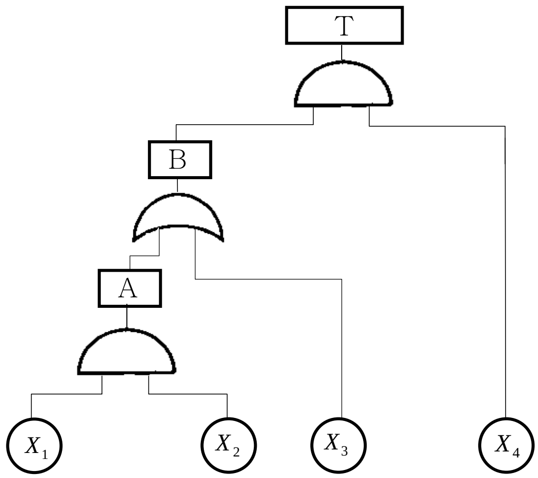
정답 08. ③ 09. ③

제 4 장

③ { X_1, X_2, X_4}, { X_3, X_4}　　④ { X_1, X_3, X_4}, { X_2, X_3, X_4}

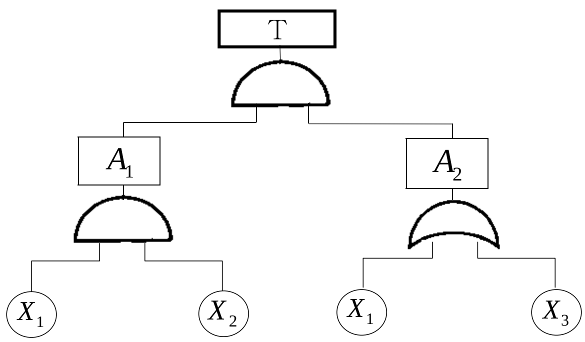
⑤ { X_1, X_2, X_3, X_4}

해설 ③ [○] 병렬계 신뢰성 블록은 AND게이트, 직렬계 신뢰성블록은 OR게이트로 FT도 작성에 표현되며, 지시된 신뢰성블록도를 작성하여, Fussell 알고리즘을 이용하여 최소 컷셋을 구하면 다음과 같다.



$$T = B \times X_4 = \begin{matrix} \{X_1, X_2\} \\ \{X_3\} \end{matrix} \times \{X_4\} = \{X_1, X_2, X_4\}, \{X_3, X_4\}$$

10 FT도에서 최소 컷셋을 올바르게 구한 것은?



① { X_1, X_2}　　② { X_1, X_3}　　③ { X_2, X_3}

④ { X_1, X_2, X_3}　　⑤ { X_1, X_2}, { X_1, X_2, X_3}

정답 10. ①

해설 ① [○] Fussell 알고리즘을 이용하여 최소 컷셋을 구하면 다음과 같다.

$$T = A_1 \times A_2 = \{X_1, X_2\} \times \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_3 \end{Bmatrix} = \{X_1, X_1, X_2\}, \{X_1, X_2, X_3\}$$

$$= \{X_1, X_2\}, \{X_1, X_2, X_3\}$$

공통인 요소만을 포함한 집합이 최소 컷셋으로서, 최소컷셋= $\{X_1, X_2\}$

FTA : 패스셋 및 최소 패스셋

01 컷셋(Cut Sets)과 최소 패스셋(Minimal Path Sets)의 정의로 옳은 것은?

① 컷셋은 시스템 고장을 유발시키는 필요 최소한의 고장들의 집합이며, 최소 패스셋은 시스템의 신뢰성을 표시한다.

② 컷셋은 시스템 고장을 유발시키는 기본고장들의 집합이며, 최소 패스셋은 시스템의 불신뢰도를 표시한다.

③ 컷셋은 그 속에 포함되어 있는 모든 기본사상이 일어났을 때 정상사상을 일으키는 기본사상의 집합이며, 최소 패스셋은 시스템의 신뢰성을 표시한다.

④ 컷셋은 그 속에 포함되어 있는 모든 기본사상이 일어났을 때 정상사상을 일으키는 기본사상의 집합이며, 최소 패스셋은 시스템의 성공을 유발하는 기본사상의 집합이다.

⑤ 패스셋은 그 안에 포함되는 일부 기본사상이 일어나지 않을 때 처음으로 정상사상이 일어나지 않는 기본사상의 집합이다.

해설 ③ [○] 컷셋은 그 속에 포함되어 있는 모든 기본사상이 일어났을 때 정상사상을 일으키는 기본사상의 집합이며, 최소 패스셋은 시스템의 신뢰성을 표시한다.

① 최소 컷셋(미니멀 컷셋)은 시스템 고장을 유발시키는 필요 최소한의 고장들의 집합이며, 최소 패스셋은 시스템의 신뢰성을 표시한다.

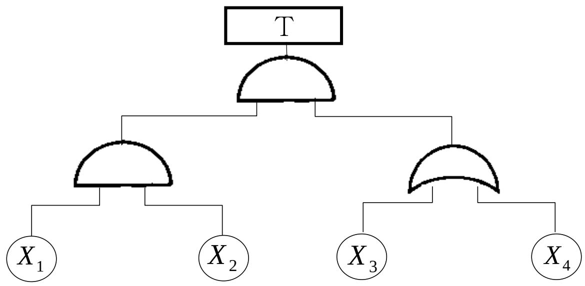
② 컷셋은 시스템 고장을 유발시키는 기본고장들의 집합이며, 최소 컷셋은 시스템의 불신뢰도를 표시한다.

정답 01. ③

④ 컷셋은 그 속에 포함되어 있는 기본사상이 일어났을 때 정상사상을 일으키는 기본사상의 집합이며, 패스셋은 시스템의 성공을 유발하는 기본사상의 집합이다.

⑤ 패스셋은 그 안에 포함되는 모든 기본사상이 일어나지 않을 때 처음으로 정상사상이 일어나지 않는 기본사상의 집합이다.

02 다음 그림의 결함수에서 최소 패스셋(minmal path sets)과 그 신뢰도 $R(t)$는? (단, 각각의 부품 신뢰도는 0.9이다.)



① 최소 패스셋 : {1}, {2}, {3, 4}, $R(t)$=0.9081

② 최소 패스셋 : {1}, {2}, {3, 4}, $R(t)$=0.9981

③ 최소 패스셋 : {1, 2, 3}, {1, 2, 4}, $R(t)$=0.9081

④ 최소 패스셋 : {1, 2, 3}, {1, 2, 4}, $R(t)$=0.9981

⑤ 최소 패스셋 : {1, 2, 3, 4}, $R(t)$=0.9981

해설 ② [○] 이 문제는 FT도를 이용하여 미니멀 패스 셋을 구하는 문제이므로, 일반적인 방법인 컷셋을 구하는 방법에서 변형된 방법을 이용하여 구한다

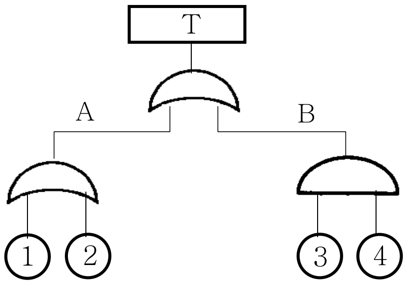
Fussell 알고리즘에 의한 신뢰도 계산

1. 패스셋 도출

FT도를 패스셋으로 구하기 위해서는 논리기호를 바꾸어서 FT도를 작성한다. 바꾸어 준 FT도를 이용하여 아래의 방법으로 컷셋을 구하면 {1}, {2}, {3, 4}가 된다. $T = A + B = \begin{Bmatrix} 1 \\ 2 \end{Bmatrix} + \{3, 4\} = \{1\}, \{2\}, \{3, 4\}$

이 컷셋 {1}, {2}, {3, 4} 집합들이 FT도 바꾸기 전의 패스셋이 된다.

정답 02. ②



2. 신뢰도 계산

$$R_T = 1-(1-R_A)(1-R_B) = 1-(1-0.99)(1-0.81) = 0.9981$$

여기서, $R_A = 1-(1-0.9)(1-0.9) = 0.99$

$R_B = 0.9 \times 0.9 = 0.81$

03 결함수분석(FTA) 결과 다음과 같은 패스셋을 구하였다. X_4가 중복사상인 경우 다음 중 최소 패스셋(minimal pass set)으로 옳은 것은?

$\{X_2, X_3, X_4\}$, $\{X_1, X_3, X_4\}$, $\{X_3, X_4\}$

① $\{X_3, X_4\}$　　② $\{X_1, X_3, X_4\}$

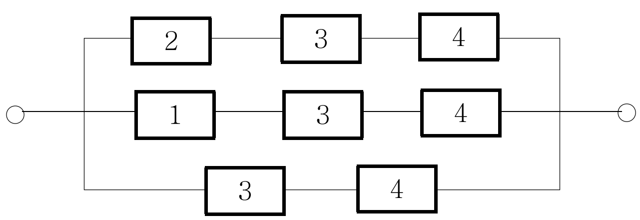
④ $\{X_2, X_3, X_4\}$　　③ $\{X_1, X_3, X_4\}$, $\{X_2, X_3, X_4\}$

⑤ $\{X_2, X_3, X_4\}$, $\{X_3, X_4\}$

해설 ① [○] 패스셋 : $\{X_1, X_3, X_4\}$, $\{X_2, X_3, X_4\}$

최소 패스셋 : $\{X_3, X_4\}$

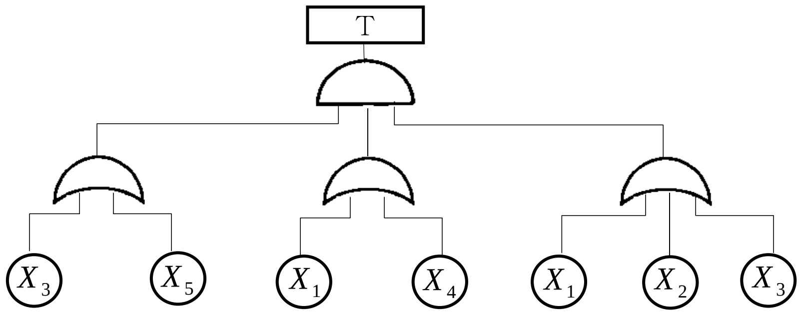
○ 조건의 패스셋이 $\{X_2, X_3, X_4\}$, $\{X_1, X_3, X_4\}$, $\{X_3, X_4\}$인 경우의 신뢰성 블록도는 다음과 같고 패스셋을 파악하기에 이해가 쉽게 된다.



정답 03. ①

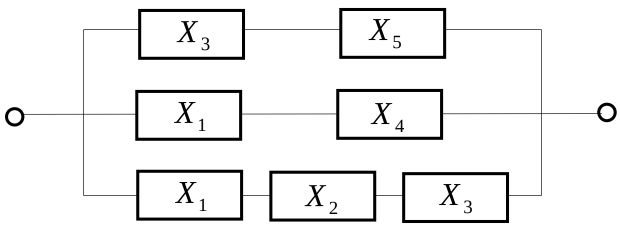
FTA : 관련 분석

04 그림과 같이 FTA로 분석된 시스템에서 현재 모든 기본사상에 대한 부품이 고장난 상태이다. 부품 X_1부터 부품 X_5까지 순서대로 복구한다면 어느 부품을 수리 완료하는 시점에서 시스템이 정상가동 되는가?



① 부품 X_1 ② 부품 X_2 ③ 부품 X_3 ④ 부품 X_4 ⑤ 부품 X_5

해설 ③ [○] FT도를 신뢰성 블록도도 바꾸어 놓고 확인하면 빠른 이해가 가능하다.



부품 X_1부터 부품 순서대로 복구한다면 X_3복구 시점에서 정상가동 된다.

05 각 기본사상의 발생확률이 증감하는 경우 정상사상의 발생확률에 어느 정도 영향을 미치는가를 반영하는 지표로서 수리적으로는 편미분계수와 같은 의미를 갖는 FTA의 중요도 지수는?

① 확률 중요도 ② 구조 중요도 ③ 치명 중요도 ④ 비구조 중요도
⑤ Fussell-Vesely 중요도

해설 ① [○] 제시문은 중요도 중에서 기여도를 의미하는 확률 중요도에 대한 내용이다.

정답 04. ③ 05. ①

○ 중요도란 기본사상의 발생이 정상사상의 발생에 어느 정도 영향을 미치는지 정량적으로 나타낸 지표이다. 재해예방 선정에서 우선순위를 제시한다.
1. 확률중요도 3. 치명중요도 3. 구조중요도

⑤ Fussell-Vesely(FV) 중요도는 최소절단집합에 의한 분석 대상 시스템에 미치는 위험도의 비율을 나타내는 지표로서, 안전성 분석에 최근 자주 사용되고 있다.

06 **FTA를 수행함에 있어 기본사상들의 발생이 서로 독립인가 아닌가의 여부를 파악하기 위해서는 어느 값을 계산해 보는 것이 가장 적합한가?**

① 공분산 ② 분산 ③ 고장률 ④ 발생확률 ⑤ 변이계수

해설 ① [○] 공분산은 기본사상들의 발생이 서로 독립인가 아닌가의 여부를 파악하기 위해 사용되는 산포 척도이다.

○ 공분산(covariance)의 의미

1. 두 확률변수 X, Y의 기대치와 분산을 각각 μ_x, μ_y 및 σ_x^2, σ_y^2이라고 하고, 다음과 같은 기대치를 구하면, $E[(X-\mu_x)(Y-\mu_y)]$와 같은 기대치를 X, Y의 공분산(covariance)이라고 하며, $Cov(X,Y)$ 혹은 σ_{xy}로써 표시한다.

$$E[(X-\mu_x)(Y-\mu_y)] = E(XY-\mu_y X-\mu_x Y+\mu_x\mu_y)$$
$$= E(XY)-\mu_x\mu_y \quad (\because\ E(X)=\mu_x,\ E(Y)=\mu_y)$$

2. 만약 X, Y가 서로 독립이면 $E(XY)=E(X)\cdot E(Y)=\mu_x\cdot\mu_y$ 식과 같이 되므로 공분산은 영(0)이 된다.

3. 여기서 공분산의 추정치로서 $\hat{\sigma}_{xy}=V_{xy}$로 표기되기도 하며,

$V_{xy}=S_{(xy)}/(n-1)$로 계산된다.

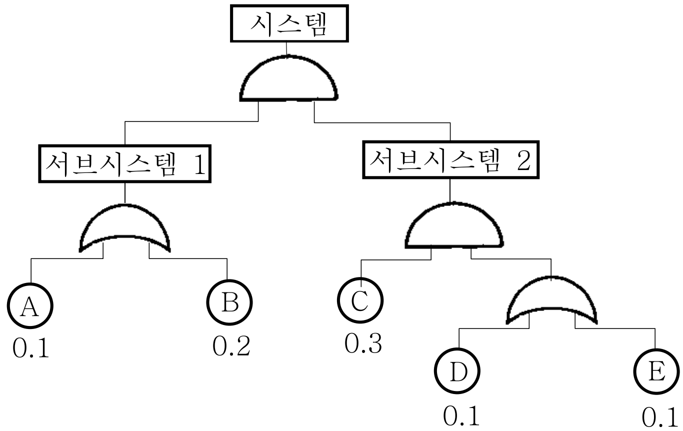
여기서, $S_{(xy)}=\sum(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})=\sum x_i y_i-\dfrac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}$

[참고] $S_{(xy)}$는 산포 척도인 편차제곱합 또는 변동이라고 한다.

제 4 장

정답 06. ①

07 다음 고장목(FT도)의 시스템의 신뢰도는?



① 0.94567 ② 0.95674 ③ 0.96543 ④ 0.97654 ⑤ 0.98404

해설 ⑤ [○] 고장목(木)에서 시스템의 신뢰도 $R_S = 1 - F_S = 1 - 0.01596 = 0.98404$

여기서, $F_S = F(S_1) \times F(S_2) = [1-(1-F_A)(1-F_B)] \times F_C \times [1-(1-F_D)(1-F_E)]$

$$= \left[1-(1-0.1)(1-0.2)\right] \times 0.3 \times \left[1-(1-0.1)(1-0.1)\right]$$

$$= 0.28 \times 0.057 = 0.01596$$