

결함수분석 법

2018. 03. 00

CONTENTS

I 결함수분석법

II 예상문제

결함수분석법

- 결함수분석법 (FTA : Fault Tree Analysis) 의 정의 및 특징
 - FTA의 정의
 - ❖ 화학 플랜트, 핵 발전소, 대기 우주산업 및 전자공업에서 어떤 특정한 사고에 대하여 그 사고의 원인이 되는 장치 및 기기의 결함이나 작업자 오류 등을 연역적이며 정량적으로 평가하는 분석법이다.
 - FTA의 특징
 - ❖ 시스템고장을 발생시키는 사상과 원인과의 관계를 논리기호(AND와 OR)를 사용하여 나뭇가지 모양의 그림(Tree)으로 나타낸 FT(Fault Tree)를 만들고 이에 의거하여 시스템의 고장확률을 구함으로서 취약부분을 찾아내어 시스템의 신뢰도를 개선하는 **정량적 고장해석** 및 신뢰성 평가방법이다.

결함수분석법

- 결함수분석법 (FTA : Fault Tree Analysis) 의 정의 및 특징
 - FTA의 특징

[FTA의 장점 ★]

① 사고원인 규명의 간편화	사고의 세부적인 원인목록을 작성하여 전문지식이 부족한 사람도 목록만을 가지고 해당사고의 구조를 파악할 수 있다.
② 사고원인 분석의 일반화	재해발생의 모든 원인들의 연쇄를 한눈에 알기 쉽게 Tree상으로 표현할 수 있다.
③ 사고원인 분석의 정량화	FTA에 의한 재해발생 원인의 정량적 해석과 예측, 컴퓨터 처리 및 통계적인 처리가 가능하다.
④ 노력, 시간의 절감	FTA의 전산화를 통하여 사고발생에의 기여도가 높은 중요원인을 분석 파악하여 사고예방을 위한 노력과 시간을 절감할 수 있다.
⑤ 시스템의 결함 진단	복잡한 시스템 내의 결함을 최소시간과 최소비용으로 효과적인 교정을 통하여 재해발생 초기에 필요한 조치를 취할 수 있다.
⑥ 안전점검 Check List 작성	FTA에 의한 재해원인 분석을 토대로 안전점검상 중점을 두어야 할 부분 등을 체계적으로 정리한 안전점검 Check List를 만들 수 있다.

결함수분석법

- 결함수분석법 (FTA : Fault Tree Analysis) 의 정의 및 특징
 - FTA의 특징

[FTA의 단점]

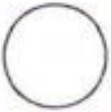

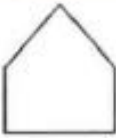
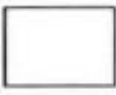


① 숙련된 전문가 필요	FTA를 수행하기 위하여는 이 분야에 전문지식을 가진 숙련자가 필요하다.
② 시간 및 경비의 소요	분석대상 시스템이나 공정의 크기에 따라 소요 시간과 경비는 차이가 있을 수 있으나 일반적으로 정성 평가에 비하여 막대한 시간과 경비가 소요된다.
③ 고장을 자료 확보	성공적인 FTA를 위하여 설비, 부품의 정확한 고장을 확보가 전제되어야 한다.
④ 단일 사고의 해석	FTA는 공정에서 발생 가능한 사고를 가정하여 그 발생 확률과 중요원인을 규명하는 방법으로서 예상치 못한 사고 또는 사소한 위험성은 간과하기 쉽다.
⑤ 논리게이트 선택의 신중	분석자의 의식 중에는 항상 사고확률의 감소라는 개념이 잠재되어 있다고 볼 수 있다. 따라서 특히 AND게이트 선택 시에는 논리적으로 타당한가를 신중히 검토하여야 정확한 FTA 결과를 도출할 수 있다.

결함수분석법

- 결함수분석법 (FTA : Fault Tree Analysis) 의 정의 및 특징
 - 결함수분석 기법의 적용시기
 - ❖ 공정개발단계
 - ❖ 설계 및 건설단계
 - ❖ 시운전단계
 - ❖ 운전단계
 - ❖ 공정 및 운전절차의 수정 또는 변경 시
 - ❖ 예상되는 사고나 사고원인 조사 시

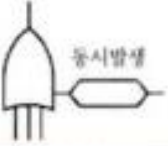

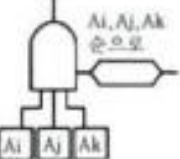
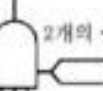

결함수분석법

- 논리기호 및 사상기호 (***)

기호	명명	기호설명
	기본사상	더 이상 전개할 수 없는 사건의 원인
	생략사상	관련정보가 미비하여 계속 개발될 수 없는 특정 초기사상
	통상사상	발생이 예상되는 사상
	결합사상 (정상사상, 중간사상)	한 개 이상의 입력에 의해 발생된 고장사상
	OR게이트	한 개 이상의 입력이 발생하면 출력사상이 발생하는 논리게이트
	AND게이트	입력사상이 전부 발생하는 경우에만 출력사상이 발생하는 논리게이트





결함수분석법

- 논리기호 및 사상기호 (***)

 <p>또는</p> 	<p>배타적 OR게이트</p>	<p>입력사상 중 오직 한 개의 발생으로만 출력 사상이 생성되는 논리게이트</p>
 <p>또는</p> 	<p>우선적 AND게이트</p>	<p>입력사상이 특정 순서대로 발생한 경우에만 출력사상이 발생하는 논리게이트</p>
 	<p>조합 AND게이트</p>	<p>3개 이상의 입력 중 2개가 일어나면 출력이 생긴다.</p>

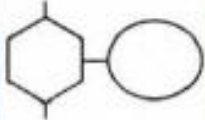



결함수분석법

- 논리기호 및 사상기호 (***)

	전이기호	다른 부분에 있는 게이트와의 연결 관계를 나타내기 위한 기호
	전이기호(IN)	삼각형 정상의 선은 정보의 전입루트를 나타낸다.
	전이기호(OUT)	삼각형 옆의 선은 정보의 전출루트를 나타낸다.
	전이기호 (수량이 다르다)	

결함수분석법

- 논리기호 및 사상기호 (***)

기호	명명	기호설명
	억제게이트	이 게이트의 출력사상은 한 개의 입력사상에 의해 발생하며, 입력사상이 출력사상을 생성하기 전에 특정조건을 만족하여야 하는 논리게이트
	조건부사상	논리게이트에 연결되어 사용되며, 논리에 적용되는 조건이나 제약 등을 명시한다.
	부정게이트	입력과 반대현상의 출력 생김
	위험지속 AND게이트	입력이 생겨서 일정시간이 지속될 때 출력이 생긴다.

결함수분석법

- FTA순서 및 작성방법

- 결함수 분석 (FTA) 순서

- ① 재해위험도를 검토하여 해석할 재해를 결정
- ② 재해 발생 확률의 목표치를 결정
- ③ 재해관련 불량상태, 결합원인과 그 영향조사
- ④ FT를 작성
- ⑤ 수학적 처리하여 간소화
- ⑥ 불량상태나 결합 상태를 FT에 표시
- ⑦ 재해의 발생 확률을 계산
- ⑧ 과거 재해의 발생률 비교
- ⑨ 결과가 너무 다르면 ③으로 돌아감
- ⑩ 안전 수단 및 재해방지 대책

- FTA에 의한 재해사례 연구 순서 (**)



결함수분석법

• 컷셋과 패스셋

- 컷셋(Cut Set) (**)
 - ❖ 정상사상을 발생시키는 기본사상의 집합
 - ❖ 모든 기본시장이 일어났을 때 정상사상을 일으키는 기본사상들의 집합이다.
- 미니멀 컷(Minimal Cut Set) (**)
 - ❖ 정상사상을 일으키기 위한 기본사상의 최소집합
 - ❖ 컷셋 중 타 컷셋을 포함하고 있는 것을 배제하고 남은 컷셋들을 의미 (최소한의 컷)
 - ❖ 시스템의 위험성을 나타낸다.
- 패스셋(Path Set) (**)
 - ❖ 시스템의 고장을 일으키지 않는 기본사상들의 집합
 - ❖ 포함된 기본사상이 일어나지 않을 때 처음으로 정상사상이 일어나지 않는 기본사상들의 집합이다.
- 미니멀 패스(Minimal Path Set) (**)
 - ❖ 최소한의 패스
 - ❖ 시스템의 신뢰성을 나타낸다.

결함수분석법

- 정성적, 정량적 분석

- 확률사상의 계산

- ❖ 논리곱의 확률 (독립사상)

- $A(B \cdot C \cdot D) = AB \cdot AC \cdot AD$

- ❖ 논리합의 확률 (독립사상)

- $A(B+C+D) = 1 - (1 - AB)(1 - AC)(1 - AD)$

- ❖ 불대수의 법칙

- 동정법칙 : $A + A = A, AA = A$

- 교환법칙 : $AB = BA, A + B = B + A$

- 흡수법칙 (*)

- ✓ $A(AB) = (AA)B = AB$

- $A + AB = A \cup (A \cap B) = (A \cup A) \cap (A \cup B) = A \cap (A \cup B) = A$

- $\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$

- 배분법칙 : $A(B + C) = AB + AC, A+(BC) = (A+B) \cdot (A+C)$

- 결합법칙 : $A(BC) = (AB)C, A + (B + C) = (A + B) + C$

- 항등법칙 : $A + 0 = A, A + 1 = 1, A \times 1 = A, A \times 0 = 0$ (*)

결함수분석법

- 정성적, 정량적 분석

- 확률사상의 계산

- ❖ 드 모르간의 법칙

- $\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$

- $A + \bar{A} \cdot B = A + B$

결함수분석법

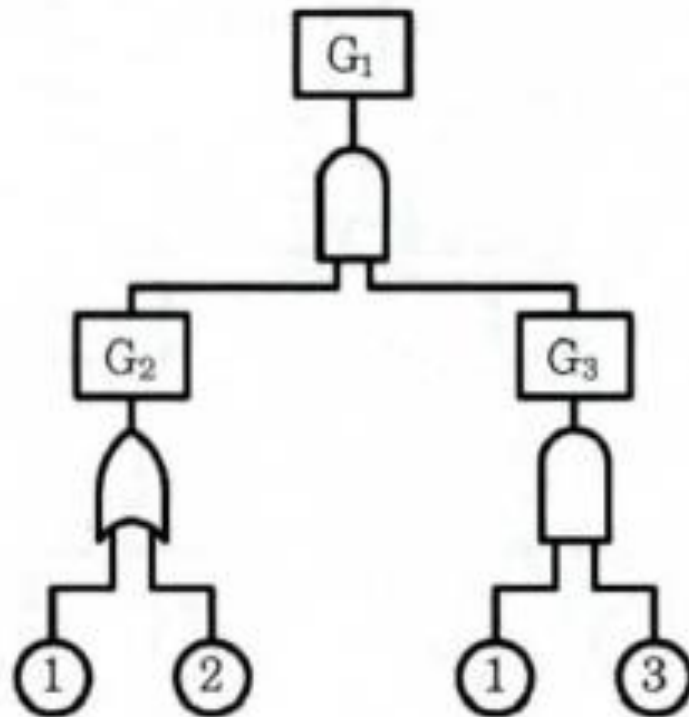
- 정성적, 정량적 분석

- **확률사상의 계산**

❖ 예제 1. ①, ②, ③의 발생확률이 각각 0.1, 0.2, 0.3 일 때

➢ G_1 의 발생확률(고장확률)을 계산하라.

➢ G_1 의 신뢰도를 계산하라.



결함수분석법

- 정성적, 정량적 분석

- 확률사상의 계산

- ❖ 예제 1. 해설

- ❖ 중복사상이 있을 경우 미니멀 컷을 구하여 미니멀 컷의 발생확률이 전체 시스템의 발생확률이 된다. (문제에서 중복사상 ①이 존재한다.)

- ❖ FT도에서 미니멀 컷을 구하면

$$\begin{pmatrix} ① \\ ② \end{pmatrix} (① \quad ③) = (① \quad ① \quad ③) (② \quad ① \quad ③) = (① \quad ③) (② \quad ① \quad ③)$$

- 미니멀 컷 (① ③)

- ❖ 미니멀 컷의 발생확률(G_1 의 발생확률) = $0.1 \times 0.3 = 0.03$

- ❖ G_1 의 신뢰도 = $1 - 0.03 = 0.97$

결함수분석법

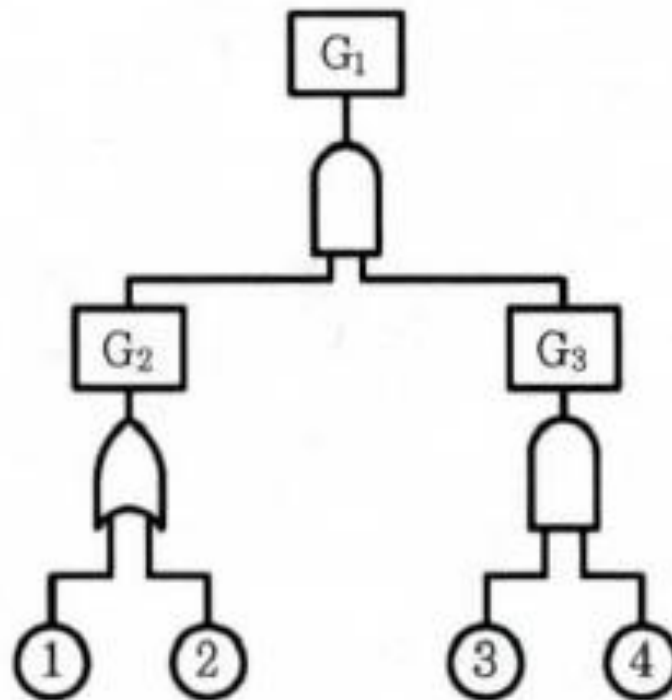
- 정성적, 정량적 분석

- **확률사상의 계산**

- ❖ 예제 2. ①, ②, ③, ④의 발생확률이 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 일 때

- G_1 의 발생확률(고장확률)을 계산하라.

- G_1 의 신뢰도를 계산하라.



결함수분석법

- 정성적, 정량적 분석

- 확률사상의 계산

- ❖ 예제 2. 해설

- ❖ 중복사상이 없을 경우 공식에 의하여 계산한다

- G_1 의 발생확률(고장확률)의 계산

$$\begin{aligned} G_1 &= G_2 \times G_3 \\ &= \{1 - (1 - \textcircled{1})(1 - \textcircled{2})\} \times (\textcircled{3} \times \textcircled{4}) \\ &= \{1 - (1 - 0.1)(1 - 0.2)\} \times (0.3 \times 0.4) \\ &= 0.0336 \end{aligned}$$

- G_1 의 신뢰도의 계산

- G_1 의 발생확률(고장확률)이 0.0336이므로 고장나지 않을 확률(신뢰도)은

- $1 - 0.0336 = 0.9664$

결함수분석법

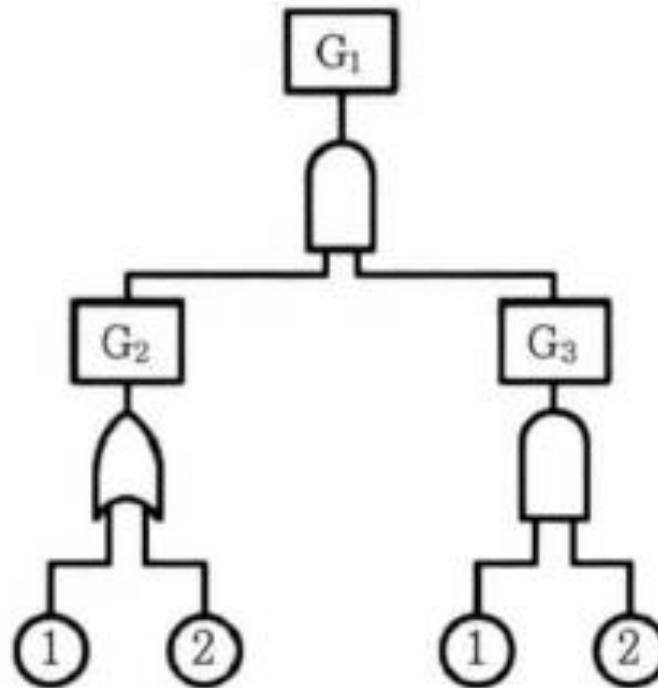
- 정성적, 정량적 분석

- 확률사상의 계산

❖ 예제 3. ①, ②의 발생확률이 각각 0.1, 0.2 일 때

➢ G_1 의 발생확률(고장확률)을 계산하라.

➢ G_1 의 신뢰도를 계산하라.



결함수분석법

- 정성적, 정량적 분석

- 확률사상의 계산

- ❖ 예제 3. 해설

- ❖ 중복사상 ①, ②가 있으므로 미니멀 컷의 발생확률이 시스템의 발생확률이 된다.

- ❖ FT도에서 미니멀 컷을 구하면

$$G_1 = G_2 \cdot G_3$$

$$= \begin{pmatrix} ① \\ ② \end{pmatrix} (① \quad ②) = (① \quad ① \quad ②) (② \quad ① \quad ②) = (① \quad ②) (① \quad ②)$$

- 미니멀 컷 (① ②)

- ❖ 미니멀 컷의 발생확률(G_1 의 발생확률) = $0.1 \times 0.2 = 0.02$

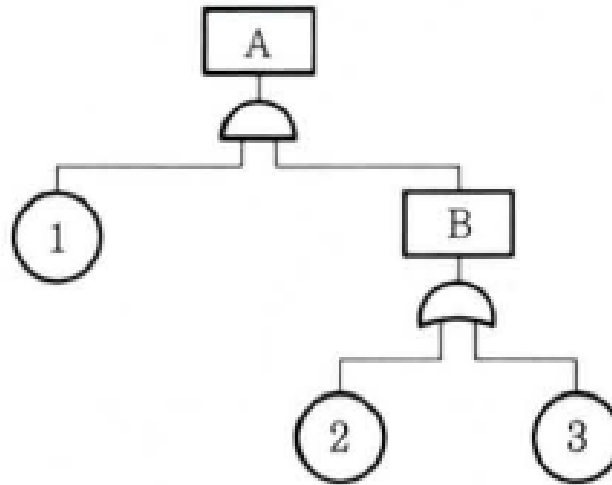
- ❖ G_1 의 신뢰도 = $1 - 0.02 = 0.98$

결함수분석법

- 정성적, 정량적 분석

- 확률사상의 계산

❖ 예제 4. 그림과 같은 기초사건이 반복되지 않은 결함나무가 있다. 독립인 기초 사건들의 확률은 ①=0.3, ②=0.2, ③=0.1 일 때 정상사건의 발생확률은?



❖ 해설

$$\begin{aligned} A &= ① \times B \\ &= ① \times \{1 - (1 - ②)(1 - ③)\} \\ &= 0.3 \times \{1 - (1 - 0.2)(1 - 0.1)\} \\ &= 0.084 \end{aligned}$$

기출 문제

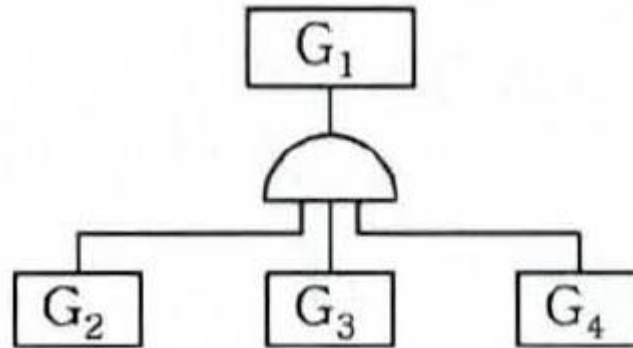
1. 부울 대수를 이용하여 FT(결함수)를 수식화 할 때 논리곱의 관계로 표시되는 게이트는? (05.03.20)

- ① AND 게이트
- ② OR 게이트
- ③ 억제게이트
- ④ 부정게이트

기출 문제

2. 그림에서 G_1 의 발생 확률은? (단, $G_2 : 0.1$, $G_3 : 0.2$, $G_4 : 0.3$ 의 발생확률을 갖는다.) (05.03.20)

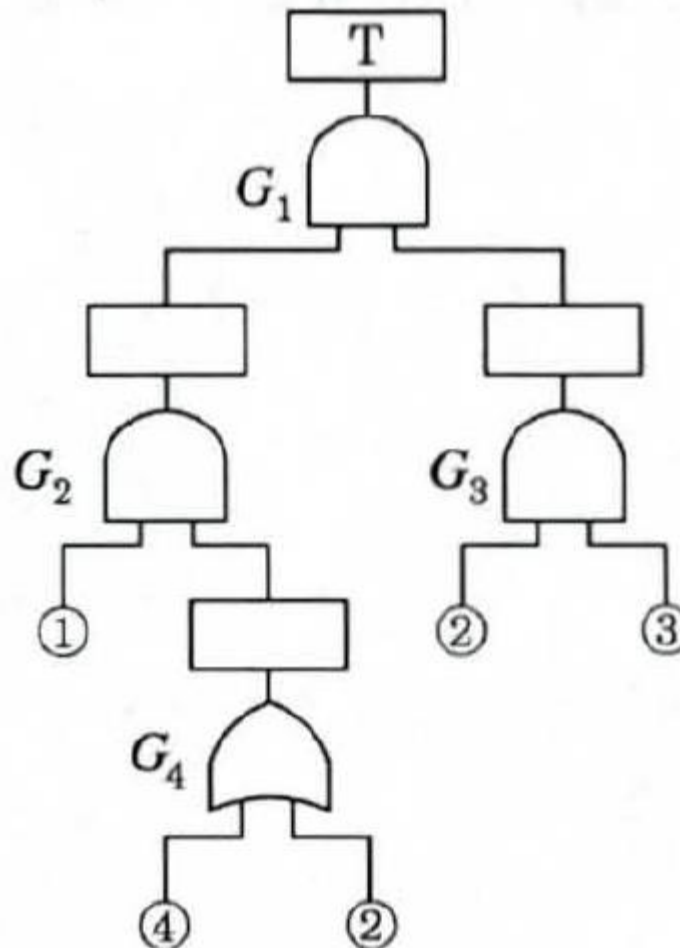
- ① 0.6
- ② 0.496
- ③ 0.006
- ④ 0.3



기출 문제

3. 결함수 그림에 해당하는 minimal cut set을 구하면?
(05.05.29)

- ① [2,3]
- ② [1,2,3]
- ③ [1,2,3][2,3,4]
- ④ [1,2,3][1,3,4]



기출 문제

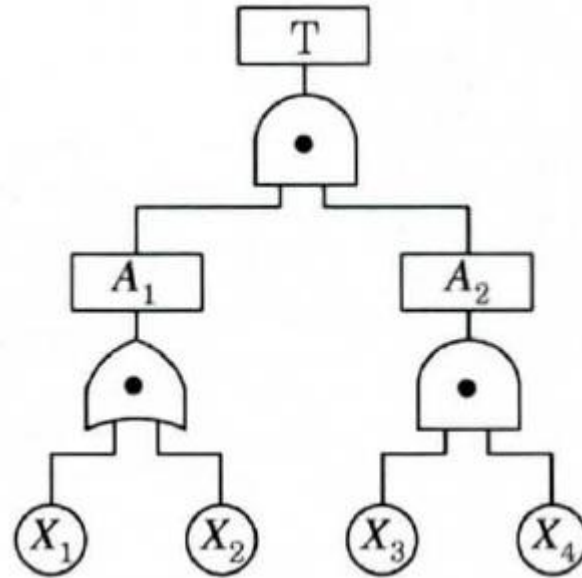
4. 다음의 결함수에서 정상사상의 재해발생 확률을 구하면 얼마인가? (단, 기본사상 1 과 2는 AND게이트로 연결되어 있고, 기본사상 1 과 2의 발생확률은 각각 $2 \times 10^{-3}h$, $4 \times 10^{-2}h$ 이다) (05.08.07)

- ① $5 \times 10^{-5}h$
- ② $6 \times 10^{-5}h$
- ③ $7 \times 10^{-5}h$
- ④ $8 \times 10^{-5}h$

기출 문제

5. 그림의 결함수에서 컷셋을 구한 것이다. 올바른 것은?
(06.03.05)

- ① $(X_1, X_2, X_3)(X_2, X_3, X_4)$
- ② $(X_1, X_3, X_4)(X_2, X_3, X_4)$
- ③ $(X_1, X_2, X_3)(X_1, X_3, X_4)$
- ④ $(X_2, X_3, X_4)(X_1, X_2)$



기출 문제

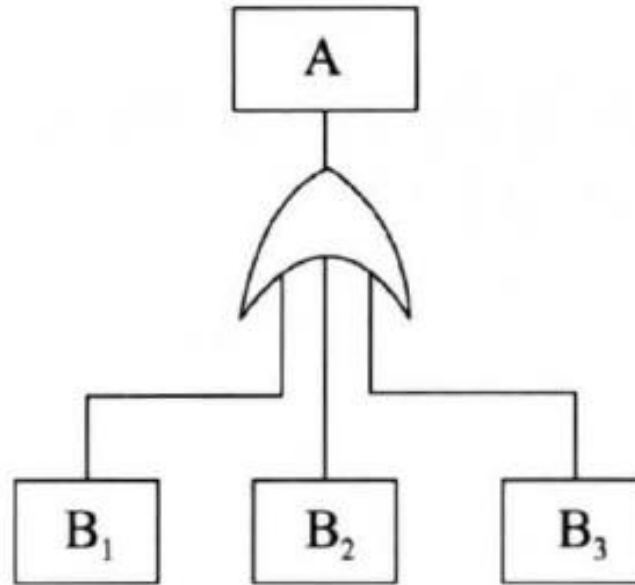
6. FT(Fault Tree)도를 작성할 때 일반적으로 최하단에 사용되지 않는 사상은? (07.03.04)

- ① 결함사상
- ② 통상사상
- ③ 기본사상
- ④ 생략사상

기출 문제

7. 다음 FT도에서 사상 A가 발생할 확률은? (단, 각 사상의 발생 확률은 B_1 은 0.1, B_2 는 0.2, B_3 는 0.3 으로 계산한다)
(07.03.04)

- ① 0.006
- ② 0.496
- ③ 0.604
- ④ 0.804



기출 문제

8. 성공수(success tree)의 정상사상을 발생시키는 기본사상들의 최고집합을 시스템 신뢰도 측면에서는 무엇이라고 하는가? (07.05.13)
- ① cut set
 - ② true set
 - ③ path set
 - ④ module set

기출 문제

9. 다음의 FTA에 사용되는 기호 중 “생략사상”을 나타내는 기호는? (07.08.05)



기출 문제

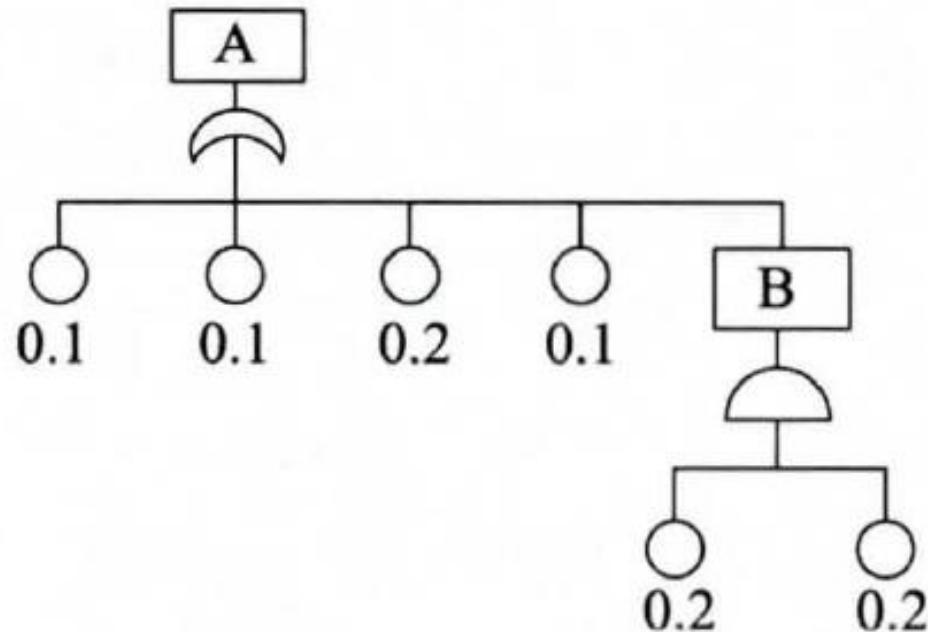
10. FTA(Fault Tree Analysis)에 사용되는 논리 중에서 입력사상 중 어느 하나만이라도 발생하게 되면 출력사상이 발생하는 것은? (08.03.02)

- ① AND GATE
- ② OR GATE
- ③ 기본사상
- ④ 통상사상

기출 문제

11. 다음과 같은 FT도에서 정상사상 "A"의 발생 확률은 약 얼마인가? (단, 원 아래의 수치는 각 사상에 대한 발생확률이다.) (08.07.27)

- ① 0.04
- ② 0.44
- ③ 0.63
- ④ 0.99



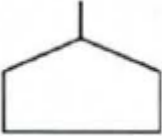
기출 문제


12. 다음 중 path set에 관한 설명으로 옳은 것은? (09.03.01)


- ① 시스템의 위험성을 표시한다.
- ② FT도에서 Top 사상을 일으키기 위한 필요 최소한의 조합이다.
- ③ 시스템이 고장나지 않도록 하는 사상의 조합이다.
- ④ 일반적으로 Fussell Algorithm을 이용하여 구한다.

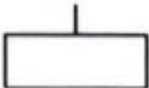
기출 문제

13. FT에서 사용되는 논리 기호와 명칭이 맞지 않는 것은?
(09.03.01)

①  : 통상사상

②  : 전이기호

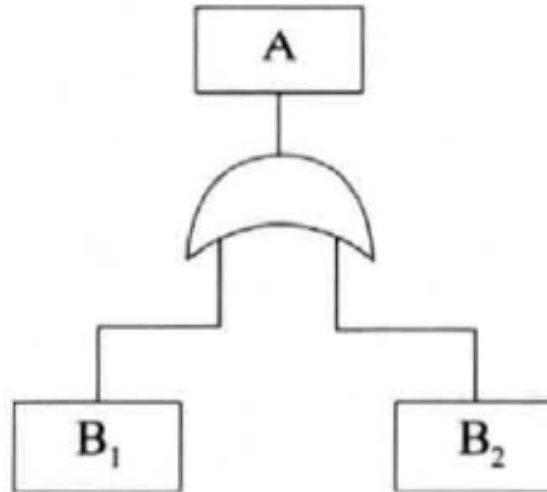
③  : 기본사상

④  : 이하 생략의 결합사상

기출 문제

14. 다음 FT도에서 사상 A의 발생 확률은? (단, 사상 B_1 의 발생 확률은 0.3이고, B_2 의 발생 확률은 0.2이다.) (09.03.01)

- ① 0.06
- ② 0.44
- ③ 0.56
- ④ 0.94



기출 문제

15. 다음 중 불대수의 관계식으로 옳은 것은? (09.05.10)

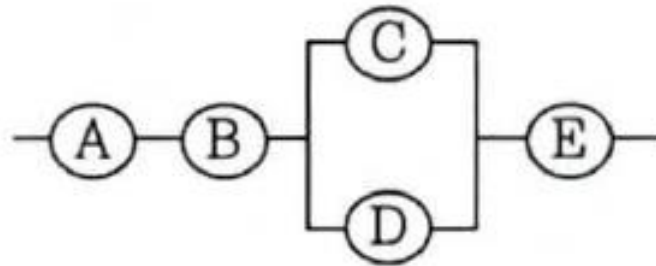
- ① $A(A \cdot B) = B$
- ② $A+B = A \cdot B$
- ③ $A+A \cdot B = A \cdot B$
- ④ $(A+B)(A+C) = A+B \cdot C$

기출 문제

16. [그림]과 같은 시스템에서 각 부품의 신뢰도가 다음과 같을 때 전체 시스템의 신뢰도는 약 얼마인가? (09.05.10)

- ① 0.4104
- ② 0.4617
- ③ 0.6314
- ④ 0.6804

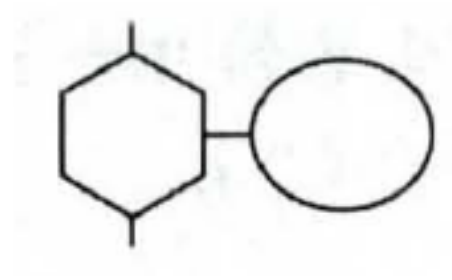
- A : 0.6	- B : 0.9
- C : 0.5	- D : 0.9
- E : 0.9	



기출 문제

17. 다음 중 FT도에 사용되는 기호의 명칭으로 옳은 것은?
(09.07.26)

- ① 억제 게이트
- ② 부정게이트
- ③ 배타적 OR 게이트
- ④ 우선적 AND 게이트



기출 문제

18. 다음 중 결함수분석법(FTA)에 관한 설명으로 틀린 것은?
(10.03.07)

- ① 최초 watson이 군용으로 고안하였다.
- ② 미니멀 패스(minimal path sets)를 구하기 위해서는 미니멀 컷(minimal cut set)의 상대성을 이용 한다.
- ③ 정상사상의 발생확률을 구한 다음 FT를 작성한다
- ④ AND 게이트의 확률 계산은 입력사상의 곱으로 한다.

기출 문제

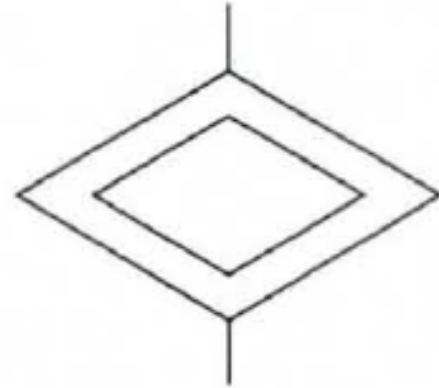
19. 다음 중 결함수분석법(FTA)에 관한 설명으로 틀린 것은?
(10.03.07)

- ① 최초 watson이 군용으로 고안하였다.
- ② 미니멀 패스(minimal path sets)를 구하기 위해서는 미니멀 컷(minimal cut set)의 상대성을 이용 한다.
- ③ 정상사상의 발생확률을 구한 다음 FT를 작성한다
- ④ AND 게이트의 확률 계산은 입력사상의 곱으로 한다.

기출 문제

20. FT도에 사용되는 다음의 기호가 의미하는 내용으로 옳은 것은? (10.03.07)

- ① 생략사상으로서 간소화
- ② 생략사상으로서 인간의 실수
- ③ 생략사상으로서 조직자의 간과
- ④ 생략사상으로서 시스템의 고장



기출 문제

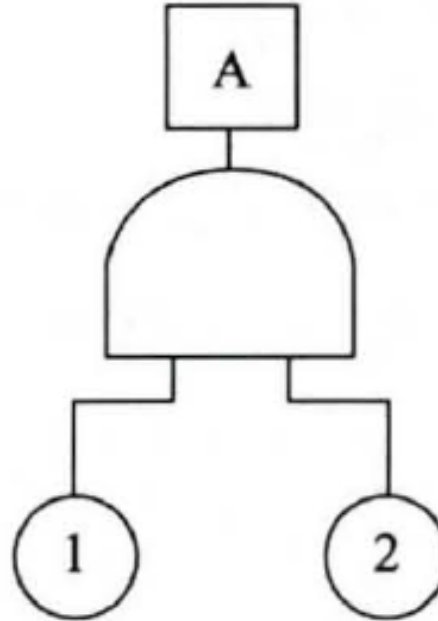
21. FT에 사용되는 기호 중 입력현상이 생긴 후 일정시간이 지
속된 때에 출력이 생기는 것을 나타내는 것은? (10.07.25)

- ① 위험지속기호
- ② 억제 게이트
- ③ OR 게이트
- ④ 배타적 OR 게이트

기출 문제

22. 다음 FT도에서 정상사상 A의 발생확률은 약 얼마인가? (단, 기본 사상 ①, ②의 발생확률은 각각 $2 \times 10^{-3}/h$, $3 \times 10^{-2}/h$ 이다.) (10.07.25)

- ① $6 \times 10^{-5}/h$
- ② $5 \times 10^{-5}/h$
- ③ $5 \times 10^{-6}/h$
- ④ $6 \times 10^{-6}/h$



Thank you