



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년10월16일
(11) 등록번호 10-2166116
(24) 등록일자 2020년10월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/26 (2012.01) G06Q 10/06 (2012.01)
G21D 3/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/26 (2013.01)
G06Q 10/0635 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0116260
(22) 출원일자 2018년09월28일
심사청구일자 2018년09월28일
(65) 공개번호 10-2020-0036516
(43) 공개일자 2020년04월07일
(56) 선행기술조사문헌
JP2016004452 A*
KR100856500 B1*
KR1020110001566 A*
KR1020120071598 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
정우식
경기도 남양주시 다산순환로 333, 2404동 804호
(74) 대리인
홍성욱, 심경식

전체 청구항 수 : 총 12 항

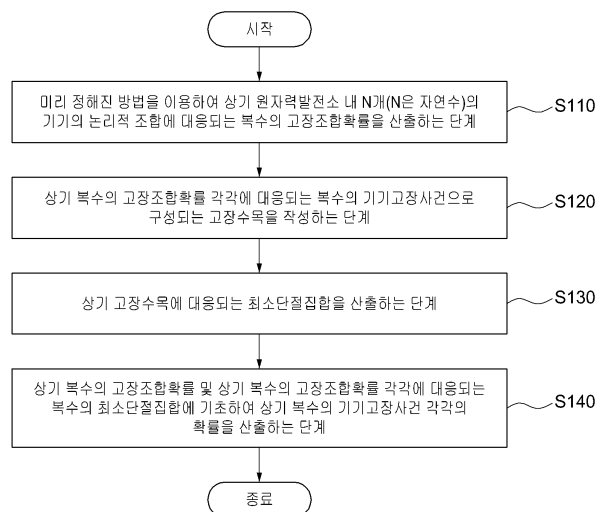
심사관 : 이정재

(54) 발명의 명칭 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 부분상관성을 갖는 기기들의 고장조합확률들로부터 기기고장사건들의 확률 산출 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법은, 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 고장조합확률 산출 방법에 있어서, 미리 정해진 방법을 이용하여 상기 원자력발전소 내 N개(N은 자연수)의 기기의 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률을 산출하는 단계, 상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 기기고장사건으로 구성되는 고장수목을 작성하는 단계, 상기 고장수목에 대응되는 최소단절집합을 산출하는 단계 및 상기 복수의 고장조합확률 및 상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 최소단절집합에 기초하여 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06Q 10/0637 (2013.01)
G21D 3/04 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1075000754
부처명	원자력안전위원회
과제관리(전문)기관명	한국원자력안전재단
연구사업명	원자력안전연구개발
연구과제명	SRA 모델 정량화 수행 및 방법론 개선
기여율	1/1
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2018.01.01 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법에 있어서,

미리 정해진 방법을 이용하여 상기 원자력발전소 내 N개(N은 자연수)의 기기의 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률을 산출하는 단계;

상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 기기고장사건으로 구성되는 고장수목을 산출하는 단계;

상기 고장수목에 대응되는 최소단절집합을 산출하는 단계; 및

상기 복수의 고장조합확률 및 상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 최소단절집합에 기초하여 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 단계를 포함하고,

상기 복수의 기기고장사건은,

상기 지진사건에 의한 단독 기기 고장인 독립고장 또는 상기 지진사건에 의한 복수의 기기 고장인 공통원인고장인 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률은,

AND 조건 또는 OR 조건에 대응되는 복수의 고장조합확률인 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 고장조합확률이 OR 조건 고장조합확률이면,

상기 복수의 고장조합확률을 산출하는 단계는,

NVN 적분을 이용하여 상기 논리적 조합에 대응되는 AND 조건의 복수의 고장조합확률을 산출하는 단계; 및

상기 AND 조건의 복수의 고장조합확률 및 포함배제의 원리(IEP)를 이용하여 OR 조건의 복수의 고장조합확률을 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 최소단절집합은,

상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 AND 조건 또는 OR 조건의 최소단절집합인 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 단계는,

상기 복수의 최소단절집합을 REA 확률 또는 MCUB 확률을 이용하여 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률로 표현하는 단계;

상기 복수의 고장조합확률 및 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률에 기초하여 복수의 관계식을 생성하는 단계; 및

상기 복수의 관계식을 연립하여 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 복수의 기기고장사건으로 구성되는 노심손상 고장수목을 산출하는 단계; 및

상기 노심손상 고장수목 및 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률에 기초하여, 노심손상빈도를 산출하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법.

청구항 8

원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 장치에 있어서,

미리 정해진 방법을 이용하여 상기 원자력발전소 내 N개(N은 자연수)의 기기의 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률을 산출하는 확률산출부; 및

상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 기기고장사건으로 구성되는 고장수목을 산출하고, 상기 고장수목에 대응되는 최소단절집합을 산출하는 생성부를 포함하고,

상기 확률산출부는 상기 복수의 고장조합확률 및 상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 최소단절집합에 기초하여 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률을 산출하고,

상기 기기고장사건은,

상기 지진사건에 의한 단독 기기 고장인 독립고장 또는 상기 지진사건에 의한 복수의 기기 고장인 공통원인고장인 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 장치.

청구항 9

삭제

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률은,

AND 조건 또는 OR 조건에 대응되는 복수의 고장조합확률인 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 고장조합확률이 OR 조건 고장사건이면,

상기 확률산출부는,

NVN 적분을 이용하여 상기 논리적 조합에 대응되는 AND 조건의 고장조합확률을 산출하고, 상기 AND 조건의 고장조합확률을 포함배제의 원리(IEP)를 이용하여 OR 조건의 고장조합확률을 산출하는 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 장치.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 최소단절집합은,

상기 고장조합확률의 AND 조건 또는 OR 조건에 대응되는 AND 조건 또는 OR 조건의 최소단절집합인 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 장치.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 생성부는,

상기 복수의 최소단절집합을 REA확률 또는 MCUB확률을 이용하여 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률로 표현하고, 상기 복수의 고장조합확률 및 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률에 기초하여 복수의 관계식을 생성하고, 상기 복수의 관계식을 연립하여 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 장치.

청구항 14

제8항에 있어서,

상기 복수의 기기고장사건으로 구성되는 노심손상 고장수목을 산출하고, 상기 노심손상 고장수목 및 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률에 기초하여, 노심손상빈도를 산출하는 손상빈도산출부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 부분상관성을 갖는 기기들의 고장조합확률들로부터 기기고장사건들의 확률 산출 방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 지진사건에 의한 부분상관성을 갖는 기기들의 고장조합확률로부터 기기고장사건들의 확률을 개별적으로 산출하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 원자력 발전소의 확률론적안전성평가(PSA: Probabilistic Safety Assessment)는 70년대에 최초로 개발되어 현재 전 세계적으로 원전 운영시 리스크를 확인하는 중요한 정보로 활용되고 있다.

[0003] 이러한 PSA 모델은 발전소 운전상태에 따라 전출력/정지저출력 모델, 재해유형에 따라 내부사건/외부사건(지진, 화재, 침수 등) 모델과 최종 리스크 결말에 따라 Level 1, 2, 3로 복잡하게 구성되어 있다.

[0004] 발전소의 고유정보를 반영한 데이터를 기반으로 개발된 모델을 활용하여 최종 리스크를 노심손상빈도(CDF), 대량조기방출빈도(LERF) 등으로 정량적인 수치로 도출하게 된다.

[0005] 특히, 내부사건 확률론적안전성평가는 비교적 간단한 방법에 의해 기기 민감도 분석을 수행하고, 기기 민감도 분석 결과를 이용하여 계통 신뢰도를 개선할 수 있다.

[0006] 하지만, 지진사건에 의한 경우에는 지진사건에 의한 부분상관성을 갖는 기기들의 고장조합확률을 적분으로 바로 계산하기 때문에, 내부사건 확률론적안전성평가와 달리 기기고장사건들로 이루어진 최소단절집합 생성이 불가능하여 기기 민감도 분석을 수행할 수 없으므로 이와 관련된 기술이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국공개특허공보 제10-2015-0032040호(2015.03.25)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 지진사건에 의한 부분상관성을 갖는 원자력발전소 내의 복수의 고장조합확률 및 기기고장사건 각각의 확률에 관한 관계식을 연립하여 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 방법 및 장치를 제공하고자 한다.

[0009] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제(들)로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제(들)은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법은, 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법에 있어서, 미리 정해진 방법을 이용하여 상기 원자력발전소 내 N개(N은 자연수)의 기기의 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률을 산출하는 단계, 상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 기기고장사건으로 구성되는 고장수목을 산출하는 단계, 상기 고장수목에 대응되는 최소단절집합을 산출하는 단계 및 상기 복수의 고장조합확률 및 상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 최소단절집합에 기초하여 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 단계를 포함한다.

[0011] 바람직하게는, 상기 복수의 기기고장사건은, 상기 지진사건에 의한 단독 기기 고장인 독립고장 또는 상기 지진사건에 의한 복수의 기기 고장인 공통원인고장일 수 있다.

[0012] 바람직하게는, 상기 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률은, AND 조건 또는 OR 조건에 대응되는 복수의 고장조합확률일 수 있다.

[0013] 바람직하게는, 상기 고장조합확률이 OR 조건 고장조합확률이면, 상기 복수의 고장조합확률을 산출하는 단계는, NVN 적분을 이용하여 상기 논리적 조합에 대응되는 AND 조건의 복수의 고장조합확률을 산출하는 단계 및 상기 AND 조건의 복수의 고장조합확률 및 포함배제의 원리(IEP)를 이용하여 OR 조건의 복수의 고장조합확률을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 바람직하게는, 상기 최소단절집합은, 상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 AND 조건 또는 OR 조건의 최소 단절집합일 수 있다.

[0015] 바람직하게는, 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 단계는, 상기 복수의 최소단절집합을 REA확률 또는 MCUB확률을 이용하여 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률로 표현하는 단계, 상기 복수의 고장조합확률 및 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률에 기초하여 복수의 관계식을 생성하는 단계 및 상기 복수의 관계식을 연립하여 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 바람직하게는, 상기 기기고장사건 각각의 확률을 이용하여 상기 N개의 기기의 논리적 조합에 대응되는 기기민감도를 분석하는 단계를 더 포함하고, 상기 기기민감도는 기기의 고장이 상기 원자력발전소의 계통고장확률에 미치는 영향일 수 있다.

[0017] 바람직하게는, 상기 복수의 기기고장사건으로 구성되는 노심손상 고장수목을 산출하는 단계 및 상기 노심손상 고장수목 및 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률에 기초하여, 노심손상빈도를 산출하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 장치는, 미리 정해진 방법을 이용하여 상기 원자력발전소 내 N개(N은 자연수)의 기기의 논리적 조합에 대응되는 지진사건의 부분상관성을 갖는 복수의 고장조합확률을 산출하는 확률산출부 및 상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 기기고장사건으로 구성되는 고장수목을 산출하고, 상기 고장수목에 대응되는 최소단절집합을 산출하는 생성부를 포함하고, 상기 확률산출부는 상기 복수의 고장조합확률 및 상기 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 최소단절집합에 기초하여 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률을 산출한다.

- [0019] 바람직하게는, 상기 기기고장사건은, 상기 지진사건에 의한 단독 기기 고장인 독립고장 또는 상기 지진사건에 의한 복수의 기기 고장인 공통원인고장일 수 있다.
- [0020] 바람직하게는, 상기 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률은, AND 조건 또는 OR 조건에 대응되는 복수의 고장조합확률일 수 있다.
- [0021] 바람직하게는, 상기 고장조합확률이 OR 조건 고장사건이면, 상기 확률산출부는, NVN 적분을 이용하여 상기 논리적 조합에 대응되는 AND 조건의 고장조합확률을 산출하고 상기 AND 조건의 고장조합확률을 포함배제의 원리(IEP)를 이용하여 OR 조건의 고장조합확률을 산출할 수 있다.
- [0022] 바람직하게는, 상기 최소단절집합은, 상기 고장조합확률의 AND 조건 또는 OR 조건에 대응되는 AND 조건 또는 OR 조건의 최소단절집합일 수 있다.
- [0023] 바람직하게는, 상기 생성부는, 상기 복수의 최소단절집합을 REA확률 또는 MCUB확률을 이용하여 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률로 표현하고, 상기 복수의 고장조합확률 및 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률에 기초하여 복수의 관계식을 생성하고, 상기 복수의 관계식을 연립하여 기기고장사건 각각의 확률을 산출할 수 있다.
- [0024] 바람직하게는, 상기 기기고장사건 각각의 확률을 이용하여 상기 N개의 기기의 논리적 조합에 대응되는 기기민감도를 분석하는 분석부를 더 포함하고, 상기 기기민감도는 기기의 고장이 상기 원자력발전소의 계통고장확률에 미치는 영향일 수 있다.
- [0025] 바람직하게는, 상기 복수의 기기고장사건으로 구성되는 노심손상 고장수목을 산출하고, 상기 노심손상 고장수목 및 상기 복수의 기기고장사건 각각의 확률에 기초하여, 노심손상빈도를 산출하는 손상빈도산출부를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0026] 본 발명은 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 부분상관성을 갖는 기기들의 고장조합확률로부터 기기고장사건들의 산출 방법 및 장치에 있어서, 지진사건에 의해 발생된 기기고장사건 각각의 확률을 산출하여, 기기민감도 분석에 활용할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 고장수목을 나타낸 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 고장조합확률을 산출하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 고장조합확률 및 복수의 최소단절집합에 기초하여 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건 확률 산출 장치를 나타낸 도면이다.
- 도 6 및 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건 확률 산출 방법을 나타낸 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [0029] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고

고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

- [0030] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0031] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0032] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0033] 원자력발전소는 다수의 기기로 구성된 복잡한 계통을 포함하고 있는데, 어느 한 기기의 고장이 단일고장으로 끝나는 것이 아니라, 다른 기기에 고장에 영향을 미칠 수 있는 특징이 있다.
- [0034] 위와 같은 다수의 기기는 원자력발전소 내부에서 발생하는 원인(내부사건)에 의해 고장이 발생할 수 있고, 지진 사건과 같은 외부에서 발생하는 원인(외부사건)에 의해 고장이 발생할 수 있다.
- [0035] 이와 같은 내부 또는 외부사건에 의해 기기의 고장이 발생하는 경우를 예측하고, 그 리스크를 줄이기 위해 원자력발전소 내의 기기에 대하여 확률론적안전성평가를 실시하게 된다.
- [0036] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건들의 확률 산출 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0037] 단계 S110에서는, 기기고장사건 확률 산출 장치가 미리 정해진 방법을 이용하여 원자력발전소 내 N개(N은 자연수)의 기기의 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률을 산출한다.
- [0038] 우선 논리적 조합이라 함은, AND조건 또는 OR조건에 따른 기기들의 조합에 대응되는 개념으로서 단일 기기를 포함하고 복수의 기기에 대해서는 각각 AND조건 또는 OR 조합으로 형성된 조합을 포함하는 개념일 수 있다.
- [0039] 예컨대, OR조건에 따른 복수의 고장조합확률은 N 이 3인 경우, 단일 기기의 고장조합확률은 P_1, P_2, P_3 으
로 표현될 수 있고, 복수의 기기에 대해서는 $P_{1+2}, P_{1+3}, P_{2+3}, P_{1+2+3}$ 으로 표현될 수 있다.
- [0040] 그리고, 복수의 고장조합확률은 기기의 개수 즉, N 이 3인 경우 위와 같이 총 7개의 값을 가질 수 있고, N 의 값에 따라 $2^N - 1$ 개의 값으로 표현될 수 있다.
- [0041] 또한, 기기고장사건 확률 산출 장치는 지진사건에 의한 고장조합확률을 미리 정해진 방법을 이용하여 산출할 수 있다.
- [0042] 여기서 미리 정해진 방법은 지진사건에 의한 고장조합확률을 산출하는 경우 MVN 적분 또는 Reed-McCann 적분을 이용하여 산출하는 방법을 의미할 수 있으나 본 발명은 이에 한정되지 않는다.
- [0043] NVN 적분 또는 Reed-McCann 적분은 기기고장사건 확률 산출 장치가 지진사건에 의해 상호 부분종속성을 갖는 기기의 고장들의 고장조합확률을 산출할 때 이용된다.
- [0044] 부분종속성은 어느 사건에 의해 기기 고장들이 동시에 영향을 받는 경우를 뜻하며, 본 발명에서는 지진사건에

의해 기기들이 부분종속성을 갖는 것으로 보는 것이 바람직하다.

[0045] 기기고장사건 확률 산출 장치가 NVN 적분 또는 Reed-McCann 적분을 이용하여 N개의 기기의 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률을 산출하는 구체적인 방법은 다음과 같다.

[0046] 우선, 설명에 앞서 아래 사용될 기호 및 정의에 대해 설명한다.

[0047] X_i = 기기 i의 고장사건

[0048] $X_{ij} = X_i X_j$ = 기기 i와 j의 동시 고장사건, 고장사건의 교집합(AND)

[0049] $X_{i+j} = X_i + X_j$ = 기기 i 혹은 j의 고장사건, 고장사건의 합집합(OR)

[0050] $P_i = P(X_i)$ = 기기 i의 고장조합확률

[0051] $P_j = P(X_j)$ = 기기 j의 고장조합확률

[0052] $P_{ij} = P(X_{ij}) = P_{ij} = P(X_i X_j)$ = 기기 i 및 j의 고장조합확률(AND 조건)

[0053] $P_{i+j} = P(X_{i+j}) = P(X_i + X_j)$ = 기기 i 및 j의 고장조합확률(OR 조건)

[0054] C_i = 기기 i의 독립 기기고장사건

[0055] C_{ij} = 기기 i와 j의 공통원인 기기고장사건

[0056] C_{ijk} = 기기 i, j 및 k의 공통원인 기기고장사건

[0057] $Q_i = P(C_i)$ = 기기 i의 기기고장사건 확률

[0058] $Q_{ij} = P(C_{ij})$ = 기기 i 및 j의 기기고장사건 확률(AND 조건)

[0059] $Q_{ijk} = P(C_{ijk})$ = 기기 i, j 및 k의 기기고장사건 확률(AND 조건)

[0060] 다음은 기기고장사건 확률 산출 장치가 기기의 고장조합확률을 산출하기 위하여 공분산과 상관계수에 대하여 설명한다.

[0061] 확률변수인 두 고장사건의 X_i 와 X_j 의 값이 같은 방향으로 변화하는지(양의 값) 반대 방향으로 변화하는

지(음의 값), 서로 무관한지(0의 값)를 판단하기 위하여, X_i 와 X_j 의 결합확률분포(Joint probability distribution)를 이용하여 산출한 산포도(Measures of dispersion)를 공분산(Covariance)이라고 한다.

[0062] 공분산 β 는 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.

[0063] [수학식 1]

[0064]
$$\beta_{ij}^2 = E[(X_i - \mu_i)(X_j - \mu_j)] = E[X_i X_j] - \mu_i \mu_j$$

$$\beta_i^2 = \beta_{ii}^2 = E[X_i^2] - \mu_i^2$$

[0065] 여기서 μ_i 는 $E(X_i)$ 이고 μ_j 는 $E(X_j)$ 이다.

[0066] 또한, 이들을 모아 행렬로 표현한 것이 공분산 행렬(Covariance matrix)이다.

[0067] 본 발명에서는 대칭인 양의 정부호 행렬(Symmetric positive definite matrix) 를 다음과 같이 가정한다.

[0068]
$$\Sigma = \begin{bmatrix} \beta_1^2 & \beta_{12}^2 & \beta_{13}^2 \\ \beta_{21}^2 & \beta_2^2 & \beta_{23}^2 \\ \beta_{31}^2 & \beta_{32}^2 & \beta_3^2 \end{bmatrix}$$

[0069] Σ 의 모든 i와 j에서 $\beta_{ij} = \beta_{ji} (j \neq i)$ 이면 대칭행렬(Symmetric matrix)이라고, Σ 의 모든 고윳값(Eigen value)이 양수인 경우 Σ 를 양의 정부호 행렬(Positive definite matrix)이라 한다.

[0070] 두 고장사건 X_i 와 X_j 의 공분산은 확률변수에 따라 그 단위나 크기가 달라 공분산으로 두 자료의 산포도를 비교하기 어려운 경우가 발생한다. 따라서 단위와 무관하게 두 자료를 비교하기 위해 상관계수(Correlation coefficient)를 사용한다. 상관계수는 수학적 식 2와 같이 표현될 수 있다.

[0071] [수학적 식 2]

[0072]
$$\rho_{ij} = \frac{\beta_{ij}^2}{\beta_i \beta_j}$$

[0073] 또한, 이들을 모아 행렬로 표현한 것이 상관계수 행렬(Correlation coefficient matrix)이다. 본 발명에서는 대칭인 양의 정부호 행렬(Symmetric positive definite matrix) Σ_ρ 를 다음과 같이 가정한다

[0074]
$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{13} \\ \rho_{21} & 1 & \rho_{23} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

[0075] 역시, Σ_ρ 의 모든 i와 j에서 $\rho_{ij} = \rho_{ji} (j \neq i)$ 이면 대칭행렬(Symmetric matrix)이라고, Σ_ρ 의 모든 고윳값(Eigen value)이 양수인 경우 Σ_ρ 를 양의 정부호 행렬(Positive definite matrix)이라한다.

[0076] 이하, 위 설명에 기초하여 고장조합확률을 산출한다.

[0077] 기기고장사건 확률 산출 장치가 단일기기의 고장조합확률을 산출한다.

[0078] 기기가 지진사건에 견디는 지진가속도내력(Ground acceleration capacity) A 를 수학적 식 3과 같이 중앙값(Median)과 두 개의 불확실성(Uncertainty)으로 표현할 수 있다.

[0079] [수학적 식 3]

[0080]
$$A = A_m \epsilon_R \epsilon_U$$

[0081] 여기서, A_m 은 지진가속도내력(Median ground acceleration capacity)의 중앙값 이고, ϵ_R 은 A_m 의 확률적인 변동성을 반영한 내재적 불확실성(Aleatory uncertainty, randomness uncertainty)이다.

[0082] 그리고, ϵ_U 는 A_m 의 정보부족을 반영한 불확실성(Epistemic uncertainty, modelling uncertainty)이다.

[0083] 두 불확실성 ϵ_R 과 ϵ_U 는 수학적 식 4과 같이 로그노말 분포(중앙값 1)를 가정할 수 있다.

[0084] [수학식 4]

$$\ln(\epsilon_R) \sim N(0, \beta_R^2)$$

$$\ln(\epsilon_U) \sim N(0, \beta_U^2)$$

[0085]

[0086] 따라서, 기기고장사건 확률 산출 장치가 지진가속도 a에서 단일기기 고장조합확률 P(a)을 수학식 5와 같이 산출할 수 있다.

[0087] [수학식 5]

$$P(a) = P(A < a) = P(\ln(A/A_m) < \ln(a/A_m)) = \Phi\left(\frac{\ln(a/A_m) + \beta_U \Phi^{-1}(Q)}{\beta_R}\right)$$

[0088]

[0089] 여기서, $\Phi(\cdot)$ 는 표준정규누적분포 함수(Standard normal cumulative distribution function)이고, $\Phi(\cdot)^{-1}$ 는 표준정규누적분포 역함수(Standard normal cumulative distribution function)이다.

[0090] Q는 0에서 1사이의 연속균등분포(Uniform distribution)를 갖는다.

[0091] 또한, 기기고장사건 확률 산출 장치가 수학식 6과 같이 필요에 따라 위의 식에서 β_U 를 0으로 이용하여 고장조합확률을 산출하거나, 복합된 $\beta = \sqrt{\beta_R^2 + \beta_U^2}$ 를 이용하여 고장조합확률을 산출할 수 있다.

[0092] [수학식 6]

$$P(a) = P(A < a) = P(\ln(A/A_m) < \ln(a/A_m)) = \Phi\left(\frac{\ln(a/A_m)}{\beta_R}\right)$$

[0093]

$$P(a) = P(A < a) = P(\ln(A/A_m) < \ln(a/A_m)) = \Phi\left(\frac{\ln(a/A_m)}{\beta}\right)$$

[0094]

[0095] 또한, $\Phi(\cdot)$ 을 정규분포함수의 적분식으로 표현하면 수학식 7과 같다.

[0096] [수학식 7]

$$P(a) = P(A < a) = P(x < \ln(a/A_m)) = \int_{-\infty}^{\ln(a/A_m)} \frac{1}{\sqrt{2\pi\beta}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{x}{\beta^2}\right) dx$$

[0097]

[0098] 다른 실시예에서는, 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률은, AND 조건 또는 OR 조건에 대응되는 복수의 고장조합확률일 수 있다.

[0099] 구체적으로, 기기고장사건 확률 산출 장치는 NVN 적분 또는 Reed-McCann 적분을 이용하여 AND 조건 또는 OR 조건의 고장조합확률을 산출할 수 있다.

[0100] 먼저, 기기고장사건 확률 산출 장치가 NVN 적분을 이용하여 복수의 기기의 논리적 조합에 대응되는 고장조합확률을 산출하는 방법은 다음과 같다.

[0101] 기기고장사건 확률 산출 장치는 지진사건에서 N개의 기기들이 서로 부분상관성을 갖는 경우 수학식 8과 같이 다변량정규분포(Multivariate Normal Distribution)를 이용하여 AND 조건의 고장조합확률을 산출할 수 있다.

[0102] [수학식 8]

$$P_{1,2,\dots,n}(a) = \int_{-\infty}^{\ln(a/A_{1m})} \int_{-\infty}^{\ln(a/A_{2m})} \dots \int_{-\infty}^{\ln(a/A_{nm})} \frac{1}{\sqrt{|\Sigma|} (2\pi)^n} \exp\left(-\frac{1}{2} x^t \Sigma^{-1} x\right) dx_1 dx_2 \dots dx_n$$

[0103]

[0104] 여기서 $x' = [x_1, x_2, \dots, x_n]$, $\Sigma = \begin{bmatrix} \beta_1^2 & \beta_{12}^2 & \dots & \beta_{1n}^2 \\ \beta_{21}^2 & \beta_2^2 & \dots & \beta_{2n}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{n1}^2 & \beta_{n2}^2 & \dots & \beta_n^2 \end{bmatrix}$ 이다.

[0105] 또한, 또한, $|\Sigma|$ 는 Σ 의 행렬식이고, Σ^{-1} 은 Σ 의 역행렬이다. Σ 는 대칭인 양의 정부호 행렬(Symmetric Positive Definite Matrix)이다.

[0106] 또한, 기기고장사건 확률 산출 장치는 NVN 적분을 이용하여 OR 조건의 복수의 고장조합확률을 산출할 수 있는데, 이와 관련하여서는 도 3을 참조하여 후술하도록 한다.

[0107] 따라서, 기기고장사건 확률 산출 장치가 후술하는 OR 조건의 복수의 고장조합확률을 포함하여 N이 2인 경우 NVN 적분을 이용하여 수학적 식 9과 같이 모든 기기의 고장조합확률을 산출할 수 있다.

[0108] [수학적 식 9]

$$P_1(a) = \int_{-\infty}^{\ln(a/A_{1m})} \frac{1}{2\pi\beta_1} \exp\left(-\frac{x_1^2}{2\beta_1^2}\right) dx_1$$

$$P_2(a) = \int_{-\infty}^{\ln(a/A_{2m})} \frac{1}{2\pi\beta_2} \exp\left(-\frac{x_2^2}{2\beta_2^2}\right) dx_2$$

$$P_{12}(a) = \int_{-\infty}^{\ln(a/A_{1m})} \int_{-\infty}^{\ln(a/A_{2m})} \frac{1}{\sqrt{|\Sigma|} (2\pi)^2} \exp\left(-\frac{1}{2} x' \Sigma^{-1} x\right) dx_1 dx_2$$

$$P_{1+2}(a) = P_1(a) + P_2(a) - P_{12}(a)$$

[0110] 여기서, $x' = [x_1, x_2]$ 이고, $\Sigma = \begin{bmatrix} \beta_1^2 & \beta_{12}^2 \\ \beta_{21}^2 & \beta_2^2 \end{bmatrix}$, $\beta_{12} = \beta_{21}$ 이다.

[0111] 또한, $|\Sigma| = \beta_1^2 \beta_2^2 - \beta_{12}^4$ 이다.

[0112] 추가적으로, $x_i = \beta_i z_i$ 로 치환하면 수학적 식 8을 수학적 식 10과 같이 표현할 수도 있다.

[0113] [수학적 식 10]

[0114]
$$P_{1,2,\dots,n}(a) = \int_{-\infty}^{\ln(a/A_{1m})} \int_{-\infty}^{\ln(a/A_{2m})} \dots \int_{-\infty}^{\ln(a/A_{nm})} \frac{1}{\sqrt{|\Sigma_\rho|} (2\pi)^n} \exp\left(-\frac{1}{2} z' \Sigma_\rho^{-1} z\right) dz_1 dz_2 \dots dz_n$$

[0115] 여기서, $z' = [z_1, z_2, \dots, z_n]$ 이고, $\Sigma_\rho = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \dots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & 1 & \dots & \rho_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$, $\rho_{ij} = \frac{\beta_{ij}^2}{\beta_i \beta_j}$ 이다.

[0116] 또한, 기기고장사건 확률 산출 장치가 Reed-McCann 적분을 이용하여 복수의 기기의 논리적 조합에 대응되는 고장조합확률을 산출하는 방법은 다음과 같다.

[0117] 지진사건에서 N개의 기기들이 서로 부분중속성을 갖는 경우 기기고장사건 확률 산출 장치는 AND 조건의 고장조합확률은 수학적 식 11를 통해 그리고 OR 조건의 고장조합확률은 수학적 식 12을 이용해 산출할 수 있다.

[0118] [수학적 식 11]

[0119]
$$P_{1,2,\dots,n}(a) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} \left(\prod_{i=1}^n \Phi \left(\frac{\ln \left(\frac{a}{A_{im} \prod_{j=i}^n \prod_{k=i}^n x_{jk}} \right)}{\beta_i} \right) \right) dx_{12} dx_{13} dx_{23} \dots dx_{(n-1)n}$$

[0120] [수학적 식 12]

[0121]
$$P_{1+2+\dots+n}(a) = 1 - \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} \left(\prod_{i=1}^n \left(1 - \Phi \left(\frac{\ln \left(\frac{a}{A_{im} \prod_{j=i}^n \prod_{k=i}^n x_{jk}} \right)}{\beta_i} \right) \right) \right) dx_{12} dx_{13} dx_{23} \dots dx_{(n-1)n}$$

$$\beta_i = \sqrt{\beta_i^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^n \beta_j^2}$$

[0122] 여기서 $\Phi(\cdot)$ 는 표준정규누적분포 함수이고, $\beta_j = \beta_j$ 이다.

[0123] 다른 실시예에서는, 기기고장사건은, 지진사건에 의한 단독 기기 고장인 독립고장 또는 지진사건에 의한 복수의 기기 고장인 공통원인고장일 수 있다.

[0124] 구체적으로, 지진사건에 의해 원자력발전소 내의 기기들 중 어느 한 기기에서 단독으로 고장이 발생할 수 있고, 같은 지진사건에 의해 원자력발전소 내의 복수의 기기들 중 2개 이상의 기기에서 동시에 고장이 발생할 수 있다.

[0125] 예컨대, 기기의 고장은 C 로 표현될 수 있고 기기가 복수인 경우 C_1, C_2, C_{12} 등으로 표현될 수 있는데 C_1 은 기기 1의 기기의 단독고장인 독립고장이고, C_{12} 는 공통된 원인에 의해 발생된 기기 1 및 2의 공통원인고장을 나타낸다.

[0126] 그리고, 기기고장 사건은 기기의 개수 즉, N이 2인 경우 위와 같이 총 3개의 값을 가질 수 있고, N의 값에 따라 $2^N - 1$ 개의 값으로 표현될 수 있다.

[0127] 이때, 독립고장은 C_1, C_2 이므로 N개이고 공통원인고장은 C_{12} 이므로 $2^N - N - 1$ 개가 된다.

[0128] 단계 S120에서는, 기기고장사건 확률 산출 장치가 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 기기고장사건으로 구성되는 고장수목을 산출한다.

[0129] 도 2에 도시된 바와 같이 고장수목은 기기고장사건의 논리적 조합을 수목으로 표현한 것이다.

[0130] 구체적으로, 고장수목은 기기고장사건을 의미하는 기본사건, 기본사건들의 AND/OR 논리적 조합 및 계통고장을 의미하는 정점사건으로 구성될 수 있다.

[0131] 또한, 기기고장사건 확률 산출 장치가 다수의 기기로 구성된 복잡한 계통의 신뢰도를 평가하는 경우 다음과 같이 고장수목을 순차적으로 산출할 수 있는데, 기기고장사건의 논리적 조합으로 구성되는 계통 고장수목을 산출하고, 고장수목으로부터 최소단절집합을 산출하고 나아가 최소단절집합을 기기고장사건의 확률로 표현하는 단계를 거쳐 산출될 수 있다.

[0132] 단계 S130에서는, 기기고장사건 확률 산출 장치가 고장수목에 대응되는 최소단절집합을 산출한다.

[0133] 고장수목을 평가하면서 제일 먼저 얻어지는 결과는 해당 고장수목의 최소단절집합(Minimal Cut Set)이다. 부울린식(Boolean Equation)으로 표현되는 최소단절집합이란 그 집합을 구성하는 모든 기본사건이 동시에 발생하면 정점사건(Top Event)이 유발되는 최소한의 집합을 의미한다.

[0134] 다시 말해, 최소단절집합이란 고장수목 정점사건의 하위 사건에 관한 집합으로서 고장수목을 통해 하위 사건 각각에 대한 집합인 최소단절집합을 얻을 수 있다.

[0135] 따라서, 기기고장사건 확률 산출 장치는 복수의 정점사건에 기초하여 최소단절집합을 산출할 수 있다.

[0136] 다른 실시예에서는, 최소단절집합은 복수의 고장조합확률에 각각에 대응되는 AND 조건 또는 OR 조건의 최소단절집합일 수 있다.

[0137] 구체적으로, 최소단절집합은 산출되는 고장수목에 따라 AND 조건 또는 OR 조건의 논리적 조합으로 구성될 수 있으며, 각각의 최소단절집합은 산출된 AND 조건 또는 OR 조건의 고장조합확률 각각에 대응된다.

[0138] 예컨대, N이 3이 경우, AND 조건의 고장조합확률은 수학적 13의 좌변에 대응되는 $2^3 - 1$ 개의 고장조합확률로 산출될 수 있고, AND 조건의 최소단절집합은 수학적 13의 우변에 대응되는 $2^3 - 1$ 개의 $C_1, C_2, C_3, C_{12}, C_{13}, C_{23}, C_{123}$ 로 나타낼 수 있다. 마찬가지로 OR 조건의 최소단절집합은 수학적 14의 우변에 대응되는 $2^3 - 1$ 개 $C_1, C_2, C_3, C_{12}, C_{13}, C_{23}, C_{123}$ 등으로 나타낼 수 있다.

[0139] [수학식 13]

$$\begin{aligned}
 X_1 &= C_1 + C_{12} + C_{13} + C_{123} \\
 X_2 &= C_2 + C_{12} + C_{23} + C_{123} \\
 X_3 &= C_3 + C_{13} + C_{23} + C_{123} \\
 X_{12} &= C_1C_2 + C_{12} + C_{123} + C_1C_{23} + C_2C_{13} + C_{13}C_{23} \\
 X_{13} &= C_1C_3 + C_{13} + C_{123} + C_1C_{23} + C_3C_{12} + C_{12}C_{23} \\
 X_{23} &= C_2C_3 + C_{23} + C_{123} + C_2C_{13} + C_3C_{12} + C_{12}C_{13} \\
 X_{123} &= C_1C_2C_3 + C_{123} + C_1C_{23} + C_2C_{13} + C_3C_{12} + C_{12}C_{13} + C_{13}C_{23} + C_{12}C_{23}
 \end{aligned}$$

[0140]

[0141] [수학식 14]

$$\begin{aligned}
 X_1 &= C_1 + C_{12} + C_{13} + C_{123} \\
 X_2 &= C_2 + C_{12} + C_{23} + C_{123} \\
 X_3 &= C_3 + C_{13} + C_{23} + C_{123} \\
 X_{1+2} &= C_1 + C_2 + C_{12} + C_{13} + C_{23} + C_{123} \\
 X_{1+3} &= C_1 + C_3 + C_{12} + C_{13} + C_{23} + C_{123} \\
 X_{2+3} &= C_2 + C_3 + C_{12} + C_{13} + C_{23} + C_{123} \\
 X_{1+2+3} &= C_1 + C_2 + C_3 + C_{12} + C_{13} + C_{23} + C_{123}
 \end{aligned}$$

[0142]

[0143] 단계 S140에서는, 기기고장사건 확률 산출 장치가 복수의 고장조합확률 및 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 최소단절집합에 기초하여 복수의 기기고장사건 각각의 확률을 산출한다.

[0144] 즉, 기기고장사건 확률 산출 장치가 최소단절집합을 REA 확률 또는 MCUB 확률을 기기고장사건 각각의 확률로 표현하여야 하는데 이와 관련하여서는 도 4를 참조하여 후술하도록 한다.

[0145] 다른 실시예에서는, 기기고장사건 확률 산출 장치가 기기고장사건 각각의 확률을 이용하여 N개의 기기의 논리적 조합에 대응되는 기기민감도를 분석하는 단계를 더 포함하고, 기기민감도는 기기의 고장이 원자력발전소의 계통 고장확률에 미치는 영향일 수 있다.

[0146] 본 발명에서는 위와 같이 기기고장사건 확률 산출 장치가 지진사건에 의한 기기고장사건 각각의 확률을 산출할 수 있으므로 $\partial P_{123} / \partial Q_i$, $\partial P_{123} / \partial Q_j$, $\partial P_{123} / \partial Q_{123}$, $\partial P_{1+2+3} / \partial Q_i$, $\partial P_{1+2+3} / \partial Q_j$, $\partial P_{1+2+3} / \partial Q_{123}$ 등 과 같이 기기민감도 분석을 수행할 수 있다.

[0147] 기기민감도란, 특정 기기가 해당 설비의 신뢰도에 미치는 영향이며, 신뢰도분석 분야에서는 기본사건 즉 기기고장이 계통고장 확률에 미치는 영향으로 정의한다.

[0148] 원자력발전소 등의 시설의 신뢰도 분석에서 다음 네 가지 기기중요도들이 많이 사용된다. 1. Birnbaum(BB) 기기중요도, 2. Fussel-Vesely(FV) 기기중요도, 3. 위험도달성가치(Risk Achievement Worth, RAW), 4. 위험도감소가치(Risk Reduction Worth, RRW)로 나타낼 수 있으나 본 발명은 이에 한정되지 않는다.

[0149] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 고장조합확률을 산출하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0150] 단계 S310에서는, 고장조합확률이 OR 조건 고장조합확률이면 기기고장사건 확률 산출 장치가 NVN 적분을 이용하여 논리적 조합에 대응되는 AND 조건의 복수의 고장조합확률을 산출할 수 있다.

[0151] 기기고장사건 확률 산출 장치는 NVN 적분을 이용하여 AND 조건의 고장조합확률을 바로 산출할 수 있지만, OR 조건의 고장조합확률을 얻고자 하는 경우에는 AND 조건의 고장조합확률을 수학식 8을 사용하여 우선적으로 산출하여야 한다.

[0152] 단계 S320에서는, 기기고장사건 확률 산출 장치가 AND 조건의 복수의 고장조합확률을 포함배제의 원리(IEP)를 이용하여 OR 조건의 복수의 고장조합확률로 산출할 수 있다.

[0153] 여기서 포함배제의 원리란, 유한 집합들의 합집합의 원소를 세는 기법으로서, 각 집합의 원소들을 모두 더한 집합에서 각 집합의 교집합을 빼어 합집합을 산출하는 원리이다.

[0154] 따라서, 기기고장사건 확률 산출 장치는 AND 조건의 고장조합확률에 대한 값이 존재하면 이 값을 수학식 15에 대입하여 OR 조건의 고장조합확률 즉, P_{IEP} 을 산출할 수 있다.

[0155] [수학식 15]

[0156]
$$P_{REP} = \sum_{i=1}^n P_i + (-1)^{2^i-1} \sum_{i<j} P_{ij} + (-1)^{3^i-1} \sum_{i<j<k} P_{ijk} + \dots + (-1)^{n^i-1} P_{123\dots n}$$

[0157] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 고장조합확률 및 복수의 최소단절집합에 기초하여 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0158] 단계 S410에서는, 기기고장사건 확률 산출 장치가 복수의 기기고장사건 각각의 확률을 산출하는 단계는 복수의 최소단절집합을 REA확률 또는 MCUB확률을 이용하여 복수의 기기고장사건 각각의 확률로 표현 할 수 있다.

[0159] 즉, 수학식 16과 같이 좌변에는 고장조합확률인 P₁, P₂, P₃, P₁₂, P₁₃, P₂₃, P₁₂₃이 배치되고, 우변은 기기고장사건의 각각의 확률인 Q₁, Q₂, Q₃, Q₁₂, Q₁₃, Q₂₃, Q₁₂₃으로 이루어진다.

[0160] 또한, 기기고장사건 확률 산출 장치가 우변을 기기고장사건 각각의 확률로 표현하기 위하여는 최소단절집합 각각을 REA확률 또는 MCUB확률을 이용하여 표현할 수 있다.

[0161] MCUB확률은 수학식 16의 우변의 식으로 이루어진 확률이고, REA확률은 수학식 17의 우변의 식으로 이루어진 확률이다.

[0162] 일반적으로, MCUB확률로 산출되는 값이 REA확률로 산출되는 값보다 작으므로, MCUB확률로 산출하는 것이 정확도 측면에서 유리하나, 본 발명은 이에 제한되지 않는다.

[0163] 단계 S420에서는 기기고장사건 확률 산출 장치가 복수의 고장조합확률 및 복수의 기기고장사건 각각의 확률에 기초하여 복수의 관계식을 생성할 수 있다.

[0164] 예컨대, 기기고장사건 확률 산출 장치가 수학식 16은 좌변을 복수의 고장조합확률로 우변을 AND 조건의 기기고장사건 각각을 MCUB확률로 표현(N이 3인 경우)한 것이고, 수학식 17은 좌변을 복수의 고장조합확률로 우변을 AND 조건의 기기고장사건 각각을 REA확률로 표현 (N이 3인 경우)한 것이다.

[0165] 그리고 수학식 18은 기기고장사건 확률 산출 장치가 좌변을 복수의 고장조합확률로 우변을 OR 조건의 기기고장사건 각각을 MCUB확률로 표현 (N이 3인 경우)한 것이고, 수학식 19는 좌변에는 복수의 고장조합확률을 우변에는 OR 조건의 기기고장사건 각각을 REA확률로 표현 (N이 3인 경우)한 것이다.

[0166] [수학식 16]

$$\begin{aligned} P_1 &= 1 - (1 - Q_1)(1 - Q_{12})(1 - Q_{13})(1 - Q_{123}) \\ P_2 &= 1 - (1 - Q_2)(1 - Q_{12})(1 - Q_{23})(1 - Q_{123}) \\ P_3 &= 1 - (1 - Q_3)(1 - Q_{13})(1 - Q_{23})(1 - Q_{123}) \\ P_{12} &= 1 - (1 - Q_1Q_2)(1 - Q_{12})(1 - Q_{123})(1 - Q_1Q_{23})(1 - Q_2Q_{13})(1 - Q_{13}Q_{23}) \\ P_{13} &= 1 - (1 - Q_1Q_3)(1 - Q_{13})(1 - Q_{123})(1 - Q_1Q_{23})(1 - Q_3Q_{12})(1 - Q_{12}Q_{23}) \\ P_{23} &= 1 - (1 - Q_2Q_3)(1 - Q_{23})(1 - Q_{123})(1 - Q_2Q_{13})(1 - Q_3Q_{12})(1 - Q_{12}Q_{13}) \\ P_{123} &= 1 - (1 - Q_1Q_2Q_3)(1 - Q_{123})(1 - Q_1Q_{23})(1 - Q_2Q_{13}) \\ &\quad (1 - Q_3Q_{12})(1 - Q_{12}Q_{13})(1 - Q_{13}Q_{23})(1 - Q_{12}Q_{23}) \end{aligned}$$

[0167]

[0168] [수학식 17]

$$\begin{aligned} P_1 &= Q_1 + Q_{12} + Q_{13} + Q_{123} \\ P_2 &= Q_2 + Q_{12} + Q_{23} + Q_{123} \\ P_3 &= Q_3 + Q_{13} + Q_{23} + Q_{123} \\ P_{1+2} &= Q_1 + Q_2 + Q_{12} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{123} \\ P_{1+3} &= Q_1 + Q_3 + Q_{12} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{123} \\ P_{2+3} &= Q_2 + Q_3 + Q_{12} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{123} \\ P_{1+2+3} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{12} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{123} \end{aligned}$$

[0169]

[0170] [수학식 18]

$$\begin{aligned} P_1 &= 1 - (1 - Q_1)(1 - Q_{12})(1 - Q_{13})(1 - Q_{123}) \\ P_2 &= 1 - (1 - Q_2)(1 - Q_{12})(1 - Q_{23})(1 - Q_{123}) \\ P_3 &= 1 - (1 - Q_3)(1 - Q_{13})(1 - Q_{23})(1 - Q_{123}) \\ P_{1+2} &= 1 - (1 - Q_1)(1 - Q_2)(1 - Q_{12})(1 - Q_{13})(1 - Q_{23})(1 - Q_{123}) \\ P_{1+3} &= 1 - (1 - Q_1)(1 - Q_3)(1 - Q_{12})(1 - Q_{13})(1 - Q_{23})(1 - Q_{123}) \\ P_{2+3} &= 1 - (1 - Q_2)(1 - Q_3)(1 - Q_{12})(1 - Q_{13})(1 - Q_{23})(1 - Q_{123}) \\ P_{1+2+3} &= 1 - (1 - Q_1)(1 - Q_2)(1 - Q_3)(1 - Q_{12})(1 - Q_{13})(1 - Q_{23})(1 - Q_{123}) \end{aligned}$$

[0171]

[0172] [수학식 19]

$$\begin{aligned}
 P_1 &= Q_1 + Q_{12} + Q_{13} + Q_{123} \\
 P_2 &= Q_2 + Q_{12} + Q_{23} + Q_{123} \\
 P_3 &= Q_3 + Q_{13} + Q_{23} + Q_{123} \\
 P_{1+2} &= Q_1 + Q_2 + Q_{12} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{123} \\
 P_{1+3} &= Q_1 + Q_3 + Q_{12} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{123} \\
 P_{2+3} &= Q_2 + Q_3 + Q_{12} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{123} \\
 P_{1+2+3} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{12} + Q_{13} + Q_{23} + Q_{123}
 \end{aligned}$$

[0173]

[0174] 단계 S430에서는, 기기고장사건 확률 산출 장치가 복수의 관계식을 연립하여 기기고장사건 각각의 확률을 산출할 수 있다.

[0175] 예컨대, 수학식 19는 총 7개의 관계식을 포함하고, 총 7개의 미지수가 존재한다. 기기고장사건 확률 산출 장치는 위 7개의 관계식을 연립하여, 미지수 7개 즉, 기기고장사건 확률 각각의 값을 산출할 수 있다.

[0176] 다른 실시예에서는, 기기고장사건 확률 산출 장치가 복수의 기기고장사건으로 구성되는 노심손상 고장수목을 산출하고, 노심손상 고장수목 및 복수의 기기고장사건 각각의 확률에 기초하여 노심손상빈도를 산출할 수 있다.

[0177] 구체적으로, 기기고장사건 확률 산출 장치는 노심손상을 정점사건으로 하는 복수의 기기고장사건의 논리적 조합으로 구성되는 노심손상 고장수목을 산출할 수 있다.

[0178] 그리고, 기기고장사건 확률 산출 장치가 노심손상 고장수목을 이용하여 복수의 기기고장사건의 논리적 조합으로 구성된 최소단절집합을 산출한 후, 단계 S430에서 산출한 복수의 기기고장사건 각각의 확률을 최소단절집합에 대입하여 정점사건인 노심손상의 빈도를 산출할 수 있다.

[0179] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건 확률 산출 장치를 나타낸 도면이다.

[0180] 본 발명의 일 실시예에 따른 기기고장사건들의 확률 산출 장치는 확률산출부(510) 및 생성부(520)를 포함한다.

[0181] 확률산출부(510)는 미리 정해진 방법을 이용하여 원자력발전소 내 N개(N은 자연수)의 기기의 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률을 산출한다.

[0182] 생성부(520)는 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 기기고장사건으로 구성되는 고장수목을 산출하고, 고장수목에 대응되는 최소단절집합을 산출한다.

[0183] 또한, 확률산출부(510)는, 복수의 고장조합확률 및 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 최소단절집합에 기초하여 복수의 기기고장사건 각각의 확률을 산출한다.

[0184] 다른 실시예에서는, 기기고장사건은 지진사건에 의한 단독 기기 고장인 독립고장 또는 지진사건에 의한 복수의 기기 고장인 공통원인고장일 수 있다.

[0185] 다른 실시예에서는, 논리적 조합에 대응되는 복수의 고장조합확률은 AND 조건 또는 OR 조건에 대응되는 복수의 고장조합확률일 수 있다.

[0186] 또 다른 실시예에서는, 고장조합확률이 OR 조건 고장사건이면, 확률산출부(510)는, NVN 적분을 이용하여 논리적 조합에 대응되는 AND 조건의 고장조합확률을 산출하고 AND 조건의 고장조합확률을 포함배제의 원리(IEP)를 이용하여 OR 조건의 고장조합확률을 산출할 수 있다.

[0187] 다른 실시예에서는, 최소단절집합은 고장조합확률의 AND 조건 또는 OR 조건에 대응되는 AND 조건 또는 OR 조건의 최소단절집합일 수 있다.

[0188] 다른 실시예에서는, 생성부(520)는 복수의 최소단절집합을 REA확률 또는 MCUB확률을 이용하여 복수의 기기고장사건 각각의 확률로 표현하고, 복수의 고장조합확률 각각에 대응되는 복수의 최소단절집합에 기초하여 복수의 관계식을 생성하고, 복수의 관계식을 연립하여 기기고장사건 각각의 확률을 산출할 수 있다.

[0189] 다른 실시예에서는, 기기고장사건 각각의 확률을 이용하여 N개의 기기의 논리적 조합에 대응되는 기기민감도를 분석하는 분석부(미도시)를 더 포함하고, 기기민감도는 기기의 고장이 원자력발전소의 계통고장확률에 미치는 영향일 수 있다.

[0190] 다른 실시예에서는, 손상빈도산출부(미도시)는 복수의 기기고장사건으로 구성되는 노심손상 고장수목을 산출하고, 노심손상 고장수목 및 복수의 기기고장사건 각각의 확률에 기초하여 노심손상빈도를 산출할 수 있다.

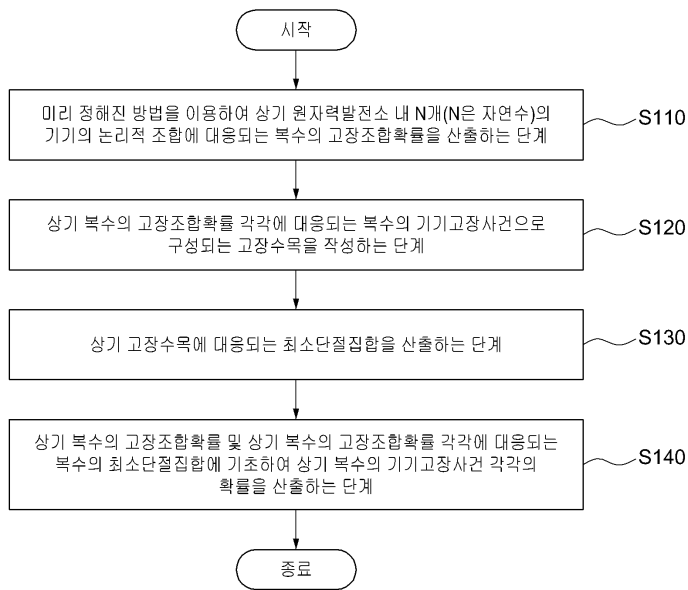
- [0191] 도 6 및 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 원자력발전소의 지진사건 확률론적안전성평가를 위한 기기고장사건 확률 산출 방법을 나타낸 흐름도이다.
- [0192] 도 6에는 지금까지 설명한 방법 및 장치를 이용하여 AND 조건의 기기고장사건의 각각의 확률을 산출하는 방법이 도시되어 있다.
- [0193] 구체적으로, 기기고장사건 확률 산출 장치가 임의로 MVN 적분 또는 Reed-McCann 적분을 선택하여 부분상관성을 갖는 고장조합확률들을 산출한다.
- [0194] 그리고 기기고장사건 확률 산출 장치가 AND 조건으로 이루어진 기기고장사건들의 고장수목을 산출하고, 산출된 고장수목에 기초하여 AND 조건의 최소단절집합을 산출한다.
- [0195] 위와 같이 기기고장사건 확률 산출 장치가 산출된 고장조합확률 및 최소단절집합에 기초하여 관계식을 생성하고, 최소단절집합은 기기고장사건들의 MCUB확률 또는 REA확률들로 표현하여 관계식에서 고장조합확률에 대응되도록 한다.
- [0196] 마지막으로, 기기고장사건 확률 산출 장치가 관계식을 연립하여 AND 조건 또는 OR 조건에 기기고장사건 각각의 확률을 산출하고 산출된 기기고장사건 각각의 확률을 이용하여 고장수목분석에 사용한다.
- [0197] 도 7에는 OR 조건의 기기고장사건의 각각의 확률을 산출하는 방법이 도시되어 있다.
- [0198] 구체적으로, 기기고장사건 확률 산출 장치가 임의로 MVN 적분 또는 Reed-McCann 적분을 선택하여 부분상관성을 갖는 고장조합확률들을 산출한다.
- [0199] 그리고 기기고장사건 확률 산출 장치가 MVN 적분을 이용하는 경우에는 AND 조건으로 이루어진 고장조합확률은 우선적으로 산출하고, 산출된 AND 조건의 고장조합확률에 기초하여 OR 조건의 최소단절집합을 산출한다.
- [0200] Reed-McCann 적분을 이용하는 경우에는 바로 OR 조건의 최소단절집합을 산출할 수 있다.
- [0201] 위와 같이 기기고장사건 확률 산출 장치가 산출된 고장조합확률 및 최소단절집합에 기초하여 관계식을 생성하고, 최소단절집합은 기기고장사건들의 MCUB확률 또는 REA확률들로 표현하여 관계식에서 고장조합확률에 대응되도록 한다.
- [0202] 마지막으로, 기기고장사건 확률 산출 장치가 관계식을 연립하여 AND 조건 또는 OR 조건에 대응되는 기기고장사건 각각의 확률을 산출하고 산출된 기기고장사건 각각의 확률을 이용하여 고장수목분석에 사용한다.
- [0203] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

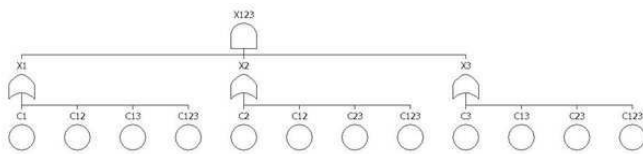
- [0204] 500: 기기고장사건 확률 산출 장치
- 510: 확률산출부
- 520: 생성부

도면

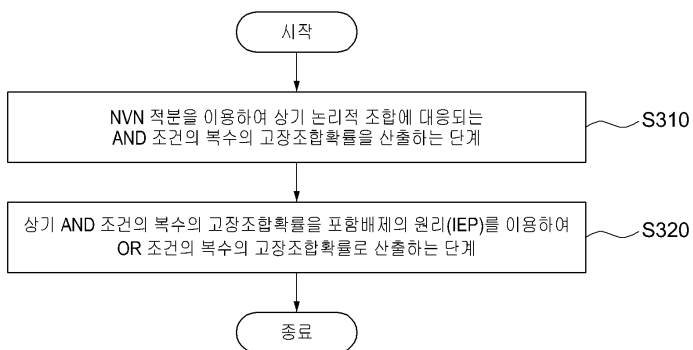
도면1



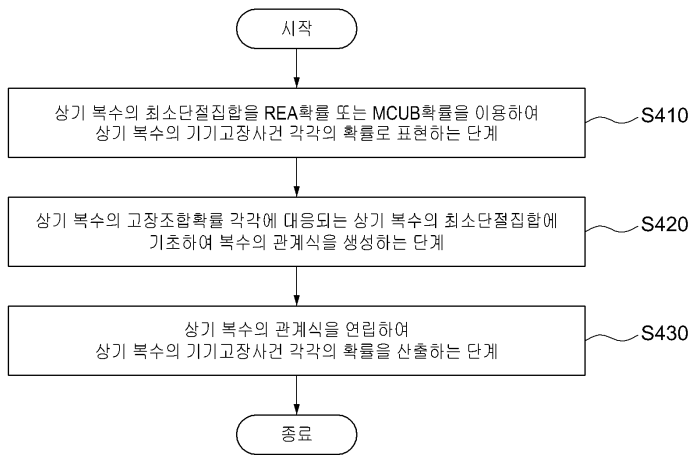
도면2



도면3

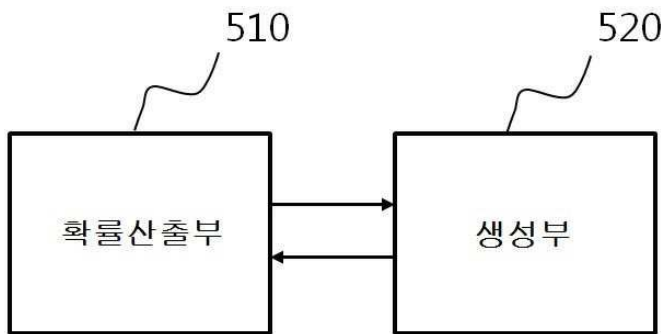


도면4

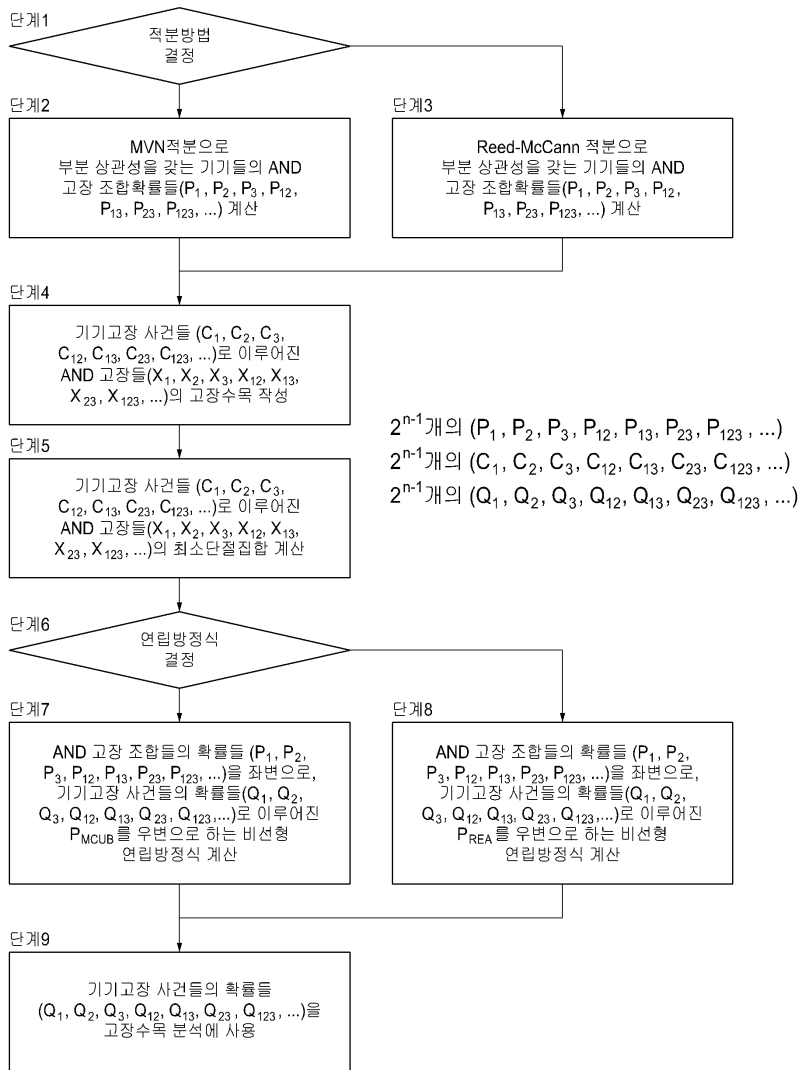


도면5

500



도면6



도면7

