

# 고장수목에서 공통원인고장에 대한 근사적 접근법

## Approximate Approach for Common Cause Failure in a Fault Tree

임태진\* · 변시섭\*

\* 숭실대학교 산업·정보시스템공학과

### Abstract

안전 관련 시스템에 대한 고장수목분석(fault tree analysis)에 있어서 공통원인고장(common cause failure, CCF)의 존재는 복잡한 문제를 일으킨다. 특히 시스템의 상태를 수시로 점검하여 시스템 이용 불가능도(unavailability)를 동적으로 보여주는 재해도 모니터(risk monitor)의 개발에 있어서 이 문제는 더욱 심각하다. 하부 시스템의 정비 및 사고로 인한 상태 변화, 또는 동일 시스템이 여러 가지의 역할을 담당할 경우의 성공기준(success criteria) 변화에 따라 공통원인고장 기본 사상이 자주 바뀌게 되는데, 기존의 접근 방법으로는 이러한 변화를 효율적으로 반영할 수 없다. 본 연구는 시스템의 상태 변화에 따른 공통원인고장 사상의 발생 확률을 효율적으로 계산하기 위한 방법을 개발하는 것을 목적으로 한다.

공통원인고장에 대한 대다수의 기존 연구는 외형적(explicit) 접근법에 기초하고 있기 때문에 시스템의 상태 변화를 실시간(real time) 내에 반영하기 어렵다. 외형적 접근법은 다수의 공통원인 기본사상을 요구하며, 이들이 고장수목에 중복적으로 포함되기 때문에 고장수목의 규모가 비대해지고, 하나의 시스템이라 할지라도 성공기준에 따라 다수의 고장수목이 요구되므로 시스템의 상태 변화를 반영하기가 곤란하다. 이에 대한 대안으로는 함축적(implicit) 모형을 들 수 있는데, Chae와 Clark(86)이 공통원인고장 하에서의 시스템 신뢰도를 함축적 방법으로 접근하였다. 함축적 모형은 독립성 가정 하에서 시스템 신뢰도의 식을 먼저 유도하고, 적절한 치환 과정을 통하여 공통원인고장의 효과를 반영하는 방법이다. 따라서 이 모형은 외형적 모형과는 달리 별도의 공통원인고장 사상을 고려할 필요가 없다는 장

점을 갖는다. 그러나 다음과 같은 단점으로 인하여 많이 사용되지 않아 왔다. 첫째, 비교적 작은 규모의 시스템에 적합하다. 둘째, 시스템의 성공 상태를 표현하는데 효과적이다. 셋째, 공통원인고장에 영향을 받는 기기들이 동일한 경우에만 적용 가능하다.

최근에 Vaurio(98)는 이러한 단점에 대한 해결 방안을 제시하였으나, 시스템 신뢰도 식이 정확히 표현되지 않는 상황에서는 함축적 모형의 사용이 부정확한 결과를 초래할 수 있다는 사실이 본 연구를 통하여 밝혀졌다. 대형 시스템의 분석에는 고장수목이 많이 사용되는데, 기기(component)의 수가 많기 때문에 대부분의 상용 코드에서는 두 가지 유형의 근사적 계산을 사용한다. 먼저 대형 시스템에서 절단집합을 모두 계산하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 적절한 절단값(cut off value)을 기준으로 절단집합(cut set) 중에서 유의하지 않은 것들은 제거한다. 다음으로 희소사상근사(rare event approximation) 원칙 하에 절단집합 간의 상호배반(mutually exclusive) 가정을 전제로 절단집합의 중복 효과는 계산하지 않는다. 이러한 현실적 상황 하에서 함축적 방법의 사용은 매우 부정확한 결과를 초래할 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 간단하면서도 정확하고 시스템의 상태 변화에 민감하게 반응할 수 있는 모형화 방안을 제시한다. 본 연구에서 제시된 근사적 모형은 기본모수 모형에 근거한 것으로서, MGL 모형, Alpha-Factor 모형, BFR 모형 등 기존에 많이 사용되는 확률모수 모형에 적용이 가능하므로, 기존의 고장수목 분석 코드에 쉽게 접목할 수 있다. 또한 희소사상근사 방법 하에서는 본 근사식이 함축적 계산식보다 높은 정확도를 갖는다.

근사적 모형의 착안점은 고장수목 작성 시 중요하지 않은 CCF 기본사상을 제거하여 전체 기본사상의 개수와 절단집합의 개수를 줄이는 동시에 CCF 기본사상을 트레인의 독립고장 밖으로 분리하여 처리함으로써 시스템 상태의 변화를 쉽게 반영할 수 있도록 한 것이다. 상세모형에 비하여 근사적 모형은 기본사상의 개수, 절단집합의 개수 등에서 높은 효율성을 갖으며, 현재 국내 PSA에서 사용되는 자료에 대해서는 높은 정확도를 갖는 것으로 나타났다. 또한 근사적 모형은 시스템의 다중도가 증가할수록 높은 효율을 보인다.