

# 근본원인분석을 이용한 신뢰성 문제 해결

정해성<sup>†</sup>

서원대학교 멀티미디어학과

---

## Reliability Problem Solving Through Root Cause Analysis

Hai Sung Jeong<sup>†</sup>

Department of Multimedia Engineering, Seowon University

**Purpose:** Root cause analysis (RCA) refers to any systematic process that identifies the causes that contribute to a focus event. The immediate cause of a focus event is often a symptom of underlying causes and may not truly identify the root causes that should be identified and addressed. Currently many RCA tools are available. Different investigators use different RCA tools on different issues. No standardized or commonly agreed way to analyse root causes exists. The purpose of this study is to propose the methodology of RCA process commonly useable for various issues.

**Methods:** The methodology of RCA process is produced based on the hybrid RCA tools. The effectiveness assessment matrix of actions through the root cause candidates is presented.

**Results:** No single RCA technique proposed has so far covered all necessary aspects. A hybrid approach which combines the best features of various techniques is proposed. The effectiveness assessment matrix helps us to identify the root cause to correct or eliminate system vulnerabilities effectively.

**Conclusion:** This hybrid approach and effectiveness assessment matrix can provide guidance of RCA process across many industries and situations.

**Keywords:** Root Cause Analysis, Hybrid Approach, Effectiveness Assessment Matrix

### 1. 서론

고장원인파악은 신뢰성 분석을 위해 선행되어야 할 필수 과정이다. 고장원인이란 관심있는 신뢰성 문제 또는 고장모드를 불러일으킨다고 추정되는 원인들을 말한다. 이때, 근본원인(root cause)을 찾는 것이 중요하다. 중간 단계의 원인 보다는 근본원인에 대한 조치를 통해 가장 효율적인 대책과 설계 개선책을 마

련할 수 있기 때문이다.

근본원인분석(Root Cause Analysis 이하 RCA) 수행시 일반적인 어려움은 다음과 같다. 첫째, 발생한 문제에 대한 증상(symptom)과 원인(cause)을 혼동하기 쉽다. 이로 인해 근본원인을 해결하지 않고 증상을 취급하거나 중간원인을 근본원인으로 잘못 식별하여 비효율적인 대책을 적용하게 될 수 있다. 둘째, 문제를 일으키는 원인은 매우 다양하게 존재하며 복잡하

---

<sup>†</sup> 교신저자 hsjeong@seowon.ac.kr

2016년 3월 9일 접수; 2016년 3월 18일 수정본 접수; 2016년 3월 23일 게재 확정.

게 얽혀 있기 때문에 문제의 근본원인을 정확하게 파악해 내기가 어렵다. 셋째, RCA의 체계적인(systematic) 절차가 명확하지 않아 도출된 근본원인이 가장 효율적으로 문제를 해결할 수 있는 근본원인지지를 판단하기 어렵다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 RCA의 체계적인 절차와 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 일반적인 RCA 도구

RCA를 위한 도구는 Whys 기법, 결함나무분석, 로직트리, Why-because 분석, 방벽분석, 특성요인도 등이 있다.

### a. Whys 기법

Whys 기법(The Why Method)은 문제의 원인을 쉽게 파악할 수 있는 방법이다. Whys 기법은 주어진 문제 상황에 대하여 왜 발생했는지(why it occurred)를 묻고, 이에 대한 대답에 대해 다시 왜 발생했는지(why

it occurred)를 순차적으로 묻는 기법이다. <Table 1>은 세탁기(washing machine) 고장에 관련된 Whys 기법 활용 예이다.

Whys 기법은 적용하기가 쉽지만, Whys 질문표 특성상 증상에 대한 질문에 대해 한 가지 원인만이 허용된다고 할 수 있다. 이러한 특성에 의해 Whys 기법은 잘못된 결과를 가져오는 경우가 종종 있다. 그러나 사건 및 증상은 여러 원인과 원인들의 조합으로부터 야기된다. 이런 문제점을 보완할 수 있는 기법이 결함나무분석이다.

### b. 결함나무분석

결함나무분석(Fault Tree Analysis 이하 FTA)은 관심있는 문제 또는 사건을 불러일으킨다고 추정되는 원인들을 전개하는 기법이다[1]. Whys 기법과는 달리 발생 가능한 사건들과 원인들의 논리적 관계를 나타낼 수 있다. 단점은 관련 분야에 경험이 있는 참가자에 의존된다는 것과 원인을 전개하는 방법에 대한 지침이 없다는 것이다. <Fig. 1>은 세탁기(washing machine) 고장에 관련된 FTA 활용 예이다.

Table 1 Whys question table

Problem Description : Washing machine is a month old. When doing the third load of clothes, I heard a loud noise and the machine stopped! It wouldn't re-start.	
Why Questions	3W2H Answers (what, when, where, how, how much)
Why doesn't machine work?	Because the power goes off.
Why doesn't the power go off?	Because the fuse is blown.
Why is the fuse blown?	Because the motor is overheated.
Why is the motor overheated?	Because the shaft is damaged.
Why is the shaft damaged?	Because the bearing is destroyed.
Why is the bearing destroyed?	Because the seal is omitted.
Why is the seal omitted?	Because the work instructions are inadequate.
Why?	...

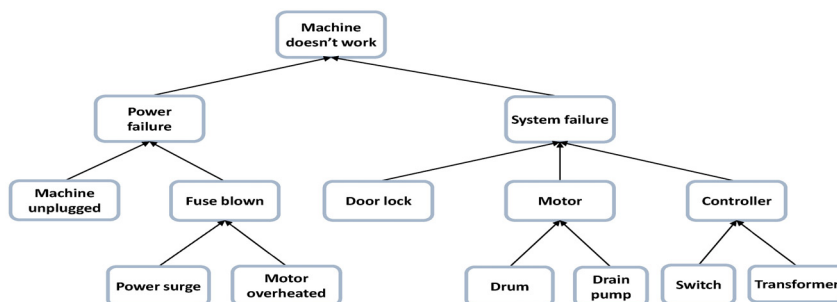


Fig. 1 Example of FTA

**c. 로직트리**

로직트리(Logic Tree)는 주어진 문제 또는 과제에 대하여 서로 논리적 연관성이 있는 하부 요소들을 나무 모양으로 전개한 것이다. 로직트리를 통해 주어진 문제를 해결하기 위해 어떤 하부 요소들을 고려해야 하는지, 어떤 수단들을 고려해야 하는지 등 주요 이슈들을 빠짐없이 시각적으로 일목요연하게 파악할 수 있다[2]. 로직트리를 적용할 때 가장 중요한 원칙은 MECE(Mutually Exclusive Collectively Exhaustive) 방식의 사고 전개이다. 즉, 서로 중복되지 않고 전체적으로 빠뜨리는 것이 없이 상위 사건의 발생에 관계되는 요소와 원인들을 나열해야 한다는 것이다[3].

**d. Why-because 분석**

Why-because 분석(Why-because Analysis 이하 WBA)은 관심있는 사건 또는 상황들 간의 필요원인(Necessary Causal Factor 이하 NCF)들과 충분원인(sufficient causal factor)을 규명하는 기법이다. WBA에서는 NCF, 조건법적 서술 검증(Counterfactual Test), 충분원인이 다음과 같이 정의된다[4].

[정의 1] 사건 C가 사건 E에 대한 조건법적 서술 검증을 통과한다면, C를 필요원인이라 한다.(Cause C is a NCF for effect E if C passes the Counterfactual Test for E.)

[정의 2] 조건법적 서술 검증은 사건 C가 발생하지 않는다면, 사건 E 또한 발생하지 않는지 여부를 묻는 검증이다.(Counterfactual Test asks whether, had C not occurred, E would also not have occurred.)

[정의 3] C1, C2, ... 과 Cn이 발생할 때 사건 E가 필연적으로 발생할 경우, C1, C2, ... 과 Cn을 충분원인이라고 한다.(Causes C1, C2, ... and Cn are causally sufficient for effect E to happen, if and only if E inevitably happens when C1, C2, ... and Cn happen.)

WBA에서는 원인의 충분성을 만족할 때까지, 원인을 추가하며 분석을 해야 한다. WBA는 관심 문제에 관련된 사건들 간의 관계를 파악하고, 상위 사건을 발생시키는 And 조건의 원인들을 규명하는 데 강점을 갖고 있다.

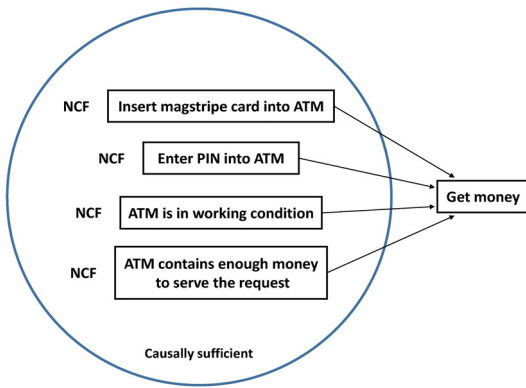


Fig. 2 Necessary and sufficient causes in WBA

**e. 방벽분석**

방벽분석(Barrier Analysis)은 사건의 발생을 방지했어야 하는 모든 방벽 요인을 체계적으로 검토하여 발생원인을 발견하기 위한 분석 기법이다. 방벽분석은 관심있는 문제 또는 사건의 발생은 손상요인(source of harm)과 이를 막는 방벽과의 상호작용의 결과라는 가정을 근거로 한다[5]. <Fig. 3>과 같이 바람직하지 않은 사건은 방벽이 빠졌던가(missing), 실패했던가(failed), 비효율적(ineffective)일 때 발생한다는 것이다.

방벽은 여러 가지 방식으로 전개될 수 있다. 예를 들어, Hollnagel[6]는 <Table 2>와 같이 물리적(physical)

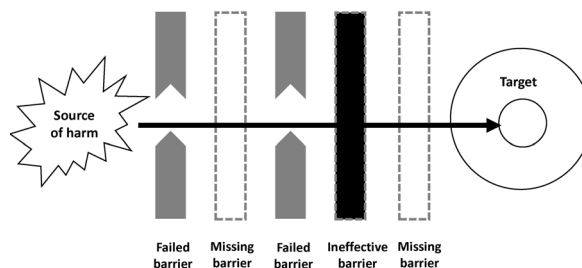


Fig. 3 Barrier analysis

Table 2 Examples of barriers

Physical barriers	Administrative barriers
Safety and relief devices redundant equipment Locked doors and valves Ground fault protection devices shielding and guards Alarms Automatic containment systems	operating and maintenance procedures Regulations, policies and practices Training and education Work permits Skilled people Methods of communication Supervisory practices

방벽과 관리적(administrative) 방벽으로 구분하였다.

방벽분석은 바람직하지 않은 현상에 대한 원인 뿐만 아니라 필요한 교정 작업을 확인하기 쉽다. 그러나 근본원인 보다는 직접적인 원인을 들어낸다는 단점이 있다.

#### f. 특성요인도

특성요인도(Cause and Effect Diagram)는 생선뼈(Fishbone) 또는 이시가와 그림(Ishikawa Diagram)으로도 불리며 관심 사건과 이에 영향을 미치는 요인들을 분석하는 도구로 활용된다[7]. 요인들의 영역으로 5Ms (methods, machinery, management, materials, manpower), 4Ps(place, procedures, people, policies), 4Ss(surroundings, suppliers, systems, skills) 등이 주로 사용된다.

기타 RCA 도구로 Monteau[8]가 연구한 원인나무 분석(Cause Tree Analysis), 사건보다는 제약조건(constraint) 중심으로 전개하는 Leveson[9]의 STAMP(Systems Theoretic Accident Model and Processes) 등이 있다.

### 3. RCA의 절차와 방법

RCA의 도구는 여러 가지가 있지만, 관심있는 분야나 이슈에 따라 다른 도구와 절차를 이용하여 사건과 원인과의 관계를 규명하고 있다. 또한 이런 RCA 도구들은 각각의 장단점이 있으며, 한 가지 도구로는 만족할만한 결과를 얻기 어렵다. 본 연구에서는 RCA 도구들의 장점을 결합한 복합적인(hybrid) RCA 방법론을 제시하여 다양한 분야에서 활용될 수 있는 표준을 제안하고자 한다. RCA의 일반적인 절차는 다음과 같다.

#### a. 문제의 정의

RCA의 목적과 범위를 기술한다.

#### b. 문제의 환경 파악

무엇이(what), 어디서(when), 언제(when), 누구에 의해(by whom) 문제가 발생했는지 등의 자료를 모은다.

#### c. 원인 분석

RCA 도구를 활용하여 어떻게, 왜 관심 문제 또는 사건이 일어났는지를 분석한다.

#### d. 확인 및 결과 도출

분석 내용을 확인하고, 평가(assessment)를 통해 분석의 깊이 결정 및 근본원인 도출을 한다

본 연구에서는 ‘c. 원인 분석’과 ‘d. 확인 및 결과 도출’ 중심으로 RCA 과정을 제안하고자 한다. 사건은 여러 원인과 원인들의 조합으로부터 야기된다. 결함나무(Fault Tree, 이하 FT)는 발생 가능한 사건들과 원인들의 논리적 관계를 나타낼 수 있다. FT를 전개할 때, FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)를 통한 고장모드를 활용한다는 지침이 주로 사용되고 있으나 이것만으로는 사건들과 원인들의 관계를 논리적으로 나타내기에는 부족한 면이 있다. 본 연구에서는 FT를 전개하는 방안을 다음과 같이 제시한다.

주어진 상위 사건에 대한 원인들을 Whys 기법과 로직트리기법을 이용하여 도출한다. 이 과정에서 MECE 적용 시, 방벽분석 또는 특성요인도가 활용될 수 있다. MECE에 따라 상위 사건을 야기하는 근접원인(immediate cause, 상위 사건과 해당 원인 사이에는 다른 원인이 존재하지 않는 원인이 나열되었다면, 나열된 원인들이 상위 사건을 충분히(sufficiently) 설명할 수 있는 지 검토해야 한다. 이때, WBA를 활용한다. 이제 근본원인에 접근하기 위해 나열된 원인 중에 하나를 선택하여야 한다. 선택된 원인은 이어지는 다음 Whys 기법의 질문 대상이 되는 것으로 충분한 증거

와 논리를 바탕으로 결정되어야 한다. 이제까지의 과정을 <Fig. 4>와 같이 도식화할 수 있다.

제안된 절차에 따라 세탁기의 문제 상황에 대해 RCA를 실행한 결과를 <Fig. 5>와 같이 표현할 수 있다. <Fig. 5>에서 근본원인의 후보로 ‘적절치 않은 작업지시서’를 도출할 수 있다.

Table 3 RCA effectiveness matrix

Sustainability \ Cost	Lowest	Low	High	Highest
	Longest	3	3	3
Long	3	2	2	2
Short	3	2	1	1
Shortest	2	1	1	1

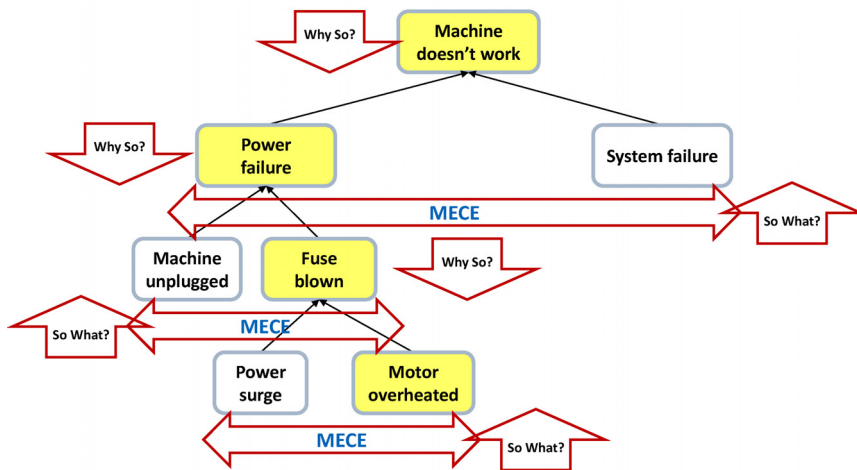


Fig. 4 Process of concluding for the root cause

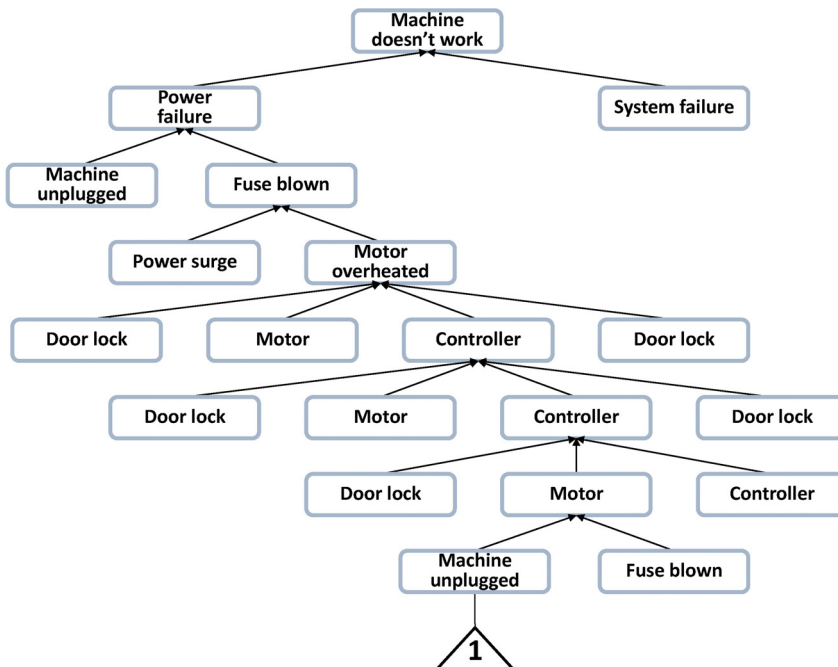


Fig. 5 RCA of washing machine failure

RCA에서 가장 어려운 부분이 Whys 기법을 몇 단계까지 진행해야 하는가를 결정하는 것이다. 이는 근본원인의 조치에 따른 효율성 평가를 근간으로 할 것을 제안하고자 한다. 효율성은 <Table 3>과 같이 해당 근본원인에 대한 조치로 바람직하지 않은 사건의 발생을 얼마나 지속적으로 막아줄 수 있는가에 해당하는 지속가능성(sustainability)과 근본원인에 대한 조치 비용(cost)으로 나누었다. <Table 3>에서 3은 높은 효율성, 2는 중간 효율성, 1은 낮은 효율성을 나타내며, 3, 2, 1의 배치 및 지속가능성과 비용의 계급구간 설정은 관심 문제에 따라 적절히 조정할 수 있다

세탁기가 작동하지 않는 문제 상황에 대해 <Fig. 5>에서 근본원인의 후보로 도출된 ‘적절치 않은 작업지시서’에 대한 조치로 다음을 고려할 수 있다.

- a. 밀봉이 빠질 수 없게 작업지시서를 개정한다
- b. 밀봉이 빠질 수 없게 디자인을 변경한다
- c. 밀봉이 필요 없게 디자인을 변경한다

최종적인 근본원인 도출 과정에서 잠재적인(latent) 원인까지 전개하는 것이 의미가 있을 수 있다. 잠재원인까지 전개할 것인가는 RCA의 첫 번째 절차인 ‘a. 문제의 정의’에서 정하여야 한다. ‘작업지시서가 적절하다고 작업자의 실수를 막을 수 있을 것인가?’ 잠재원인을 검토해보자. <Fig. 5>에서 중단되었던 현상에 대해 Whys 기법을 좀 더 전개한 결과가 <Fig. 6>이다. 여기서  $\wedge$ 은 And 관문(gate)을 나타낸다.

<Fig. 6>에서 작업자가 잠을 못 잔 것은 잠재원인이라고 할 수 있다. 이에 대한 조치로 작업자의 임금을 올리거나 친구들과 어울리는 것을 통제하기 위해서 기숙사에 목도록 강제할 수 있다.

이제까지 도출된 근본원인 후보에 대한 조치들을 정리하면 다음과 같다.

- a. 밀봉이 빠질 수 없게 작업지시서를 개정한다

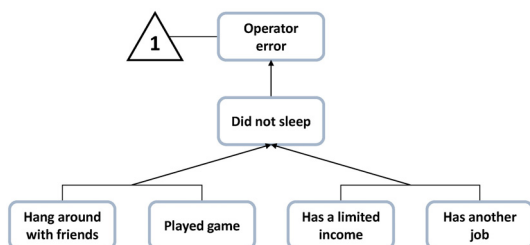


Fig. 6 Progression for latent causes

- b. 밀봉이 빠질 수 없게 디자인을 변경한다
- c. 밀봉이 필요 없게 디자인을 변경한다
- d. 작업자의 임금을 인상한다
- e. 기숙사를 활용한다.

위의 조치에 대해 <Table 3> RCA 효율성 매트릭스를 적용하여 최종적인 근본원인을 선정한다

#### 4. 결 론

이제까지 RCA의 중요성은 강조되어 왔음에도 불구하고 실제로 이를 적용하지 못하고 있었다. 이는 RCA 도구의 구체적인 적용법과 절차에 대한 연구가 부족했기 때문이다. 기존의 RCA의 도구는 여러 가지가 있지만, 각각의 도구들은 각각의 장단점이 있으며, 한 가지 도구로는 만족할만한 결과를 얻기 어렵다. 본 연구에서는 RCA 도구들의 장점을 결합한 복합적인(hybrid) RCA 방법론을 제시하였으며 이를 통해 관심 있는 신뢰성 문제에 대해 고장에 대한 물리적 요소로부터 환경과 관련된 정확적 요소까지 전개하여 근본원인을 탐색하는 과정을 보였다. 또한 근본원인 후보군들에 대한 조치의 지속가능성과 비즈니스 측면에서 비용을 고려하여 근본원인을 선정하기를 제안하였다.

#### References

- [1] Jeong, H. S., Kwon, Y. I. and Park, D. H. (2005). "Analysis and evaluation of the reliability test". Youngji publishers.
- [2] Cho, N. T., Kim, Y. T., Kim, N. R., Yeom, A. Y. and Im, M. S. (2014). "Logical errors and overcome a scheme that can commit in the persuasion process". Persuasion for adjustment and Materials of the investigation, Vol. 13, No. 12, pp. 21-35.
- [3] Teruya, H. (2007). "Logical Writing". leadersbook.
- [4] Sanders, D. I. J. (2012). "Introduction to Why-Because Analysis".
- [5] Haddon, W. (1973). "Energy damage and the ten countermeasure strategies". Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Vol. 15, No. 4,

- pp. 355-366.
- [6] Hollnagel, E. (2004). "Barriers and Accident Prevention". Ashgate Publishing Limited.
- [7] Ishikawa, K. (1982). "Guide to quality control". Asia Productivity Organization.
- [8] Monteau, M. (1997). "Analysis and reporting: accident investigation". Encyclopaedia of occupational health and safety, Vol. 2, pp. 57-22.
- [9] Leveson, N. (2011). "Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety". Mit Press.