

환자안전사건 조사용 근본원인분석 소프트웨어의 비교

Comparison of Root Cause Analysis Software for Investigating Patient Safety Incidents

■ 최은영¹, 이현정¹, 옥민수², 조민우¹, 이상일¹

Eun-Young Choi¹, Hyeon-Jeong Lee¹, Min-Su Ock², Min-Woo Jo¹, Sang-Il Lee¹

■ 울산대학교 의과대학 예방의학교실¹, 울산대학교 의과대학 울산대학교병원 예방의학교실²

Department of Preventive Medicine, College of Medicine, University of Ulsan¹

Department of Preventive Medicine, Ulsan University Hospital, College of Medicine, University of Ulsan²

■ 교신저자 : 이 상 일

주소 : 05505, 서울 송파구 올림픽로 43길 88 울산대학교 의과대학 예방의학교실

전화 : 02-3010-4284

팩스번호 : 02-477-2898

전자우편주소 : sleemd@amc.seoul.kr

Correspondence : Sang-Il Lee

Address : Department of Preventive Medicine, University of Ulsan College of Medicine, 88 Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu, Seoul 05505, Korea

Tel : +82-2-3010-4284

FAX : +82-2-477-2898

E-mail : sleemd@amc.seoul.kr

Funding : 한국보건산업진흥원 (HI16C0173)

Conflict of Interest : None

Received : Mar.31.2017

Revised : May.18.2017

Accepted : Jun.01.2017

Abstract

Root Cause Analysis (RCA) has been widely used as a structured approach to investigate patient safety incidents. RCA helps identify what, how, and why something happened, therefore preventing recurrence of incidents. Since many quality tools can be used during RCA, various formats of RCA exist. If RCAs are performed incorrectly or incompletely, they are likely to produce unusable results. To address this issue, RCA software has been developed. The use of RCA software in investigating patient safety incidents may offer several advantages, such as potential reduction in learning time, shortening of the analytic process, facilitation of collection, analysis, and presentation of data and production of meaningful RCA reports. We introduced six healthcare RCA software and compared characteristics. Results from this study will enable the RCA team to choose proper RCA software.

Key words

Root cause analysis, Software, Patient safety

I. 서론

근본원인분석(root cause analysis, 이하 RCA)은 환자안전사건을 분석하는 방법 중의 하나로 널리 사용되고 있다[1]. RCA는 화학, 항공, 원자력 등 산업 및 공업 분야에서 기계적인 생산 프로세스의 설계상의 문제 혹은 좋은 성과를 내지 못하게 하는 잠재적인 시스템상의 문제들을 확인하기 위하여 개발되어 여러 분야로 확산되었다[2]. 의료 분야에서는 1990년대 중반 조직학습을 촉진하기 위하여 미국에서 이를 처음으로 도입하였으며[3], 현재는 영국[4], 캐나다[5], 호주[6] 등 여러 나라에서 환자안전사건에 대하여 RCA를 수행하도록 하고 있다.

RCA는 환자안전사건이 발생하였을 때 ① 무슨 일이 일어났는가, ② 그 일이 왜 일어났는가, ③ 유사한 일이 발생하는 것을 예방하기 위해 무엇을 해야 하는가에 대한 답을 찾는 일련의 과정을 말한다. RCA를 수행함으로써 사건 발생에 직접적으로 기여한 원인(가시적 원인)이 아닌 내재되어 있는 근본원인을 알 수 있다. RCA는 단순히 특정 사건의 발생을 막기 위해서 하는 일이 아니라 앞으로 유사한 사건의 재발을 방지하기 위해서 해야 할 일을 강조하여 의료기관들이 프로세스의 취약점과 위험성, 내재적이거나 시스템적인 원인, 그리고 이를 개선하기 위한 조치를 찾아내는 데 도움을 준다[7].

일반적으로 RCA는 하나의 단일한 방법론이라고 보다는 분석을 위한 도구들을 활용하는 단계별 접근법이라고 볼 수 있다. RCA를 수행하기 위해 구성된 팀은 분석 과정에서 브레인스토밍(brainstorming), 5-whys, 물고기뼈 그림(fishbone diagram), 인과관계도(cause and effect diagram) 등 다양한 질 개선 도구들을 이용한다[8]. 그렇기 때문에 RCA 관련 자료들마다 각각 RCA의 단계 수도 다르고 권고하는 도구들에도 차이가 있다[4-6]. RCA의 이러

한 특성은 다양한 사건 혹은 상황에 대한 유연성을 보여주지만, 방법론이 다양하고 복잡하여 사용자들이 RCA의 수행을 어렵게 느낄 수도 있다. 많은 의료기관에서 RCA를 잘못 수행하거나 불완전한 RCA를 수행하여 개선 방안으로 사용할 수 없는 부적절한 결과물을 산출하거나[9], 시간의 부족, 팀원들의 지식 부족, 전문가들의 의견 차이 등의 어려움을 겪고 있다고 보고하고 있다[10].

이러한 문제점들의 해결 방안의 하나로, 일정 수준 이상의 비용-효과적인 RCA의 수행을 촉진하기 위하여 RCA 소프트웨어의 필요성이 대두되었다. RCA 소프트웨어는 학습 시간을 단축시키고, RCA 수행 과정을 도와주며, 전문 지식을 제공할 수 있고, RCA 단계를 표준화시킴으로써 타당성을 높일 수 있다는 장점이 있다. 또한 자료의 수집 및 분석과 보고서의 작성 및 출력을 편리하게 만들어 준다[11]. 다른 산업분야에서는 약 20년 전부터 이러한 RCA 소프트웨어를 개발하려는 노력이 시작되었고, 최근에는 다양한 RCA 소프트웨어들을 개발하여 사용하고 있다[12].

이 논문은 현재 개발되어 있는 여러 가지 RCA 소프트웨어의 특징과 장단점을 체계적으로 정리하여, 의료기관들이 RCA 소프트웨어를 선택하거나 RCA 수행에 도움이 되는 정보를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

II. 의료용 RCA 소프트웨어

근본원인을 확인하는 것을 도와주는 RCA 소프트웨어들이 다양하게 개발되어 있다. 이 논문에서는 의료 분야에 적용할 수 있고, 사용언어가 영어로 되어 있으며, 체험판(trial) 등을 통해 접근이 용이한 RCA 소프트웨어 6가지를 검토하였다. 이 중 5개의 소프

1 Review

환자안전사건 조사용 근본원인분석 소프트웨어의 비교

트웨어는 별도의 소프트웨어를 이용하며, 1개는 별도의 소프트웨어가 없이 다른 응용 소프트웨어를 이용하여 RCA를 수행한다. 사용하고 있는 RCA 단계와 분석 도구를 중심으로 각 소프트웨어의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

1. TapRoot®

TapRoot®는 인적 요인을 중심으로 사건을 분석하여 문제의 근본원인을 찾기 위한 체계적인 프로세스이자 소프트웨어로 System Improvement, Inc.에서 개발하였다[13-17]. TapRoot®의 RCA 단계는 우리나라에도 소개되어 일부 의료기관에서 투약 오류에 대한 RCA를 수행할 때 이를 사용하기도 하였다[17]. TapRoot®는 다음과 같은 7단계 프로세스를 따라 사건을 분석한다.

- ① 조사 계획 세우기
- ② 사건의 순서 결정하기
- ③ 인과요인(causal factor) 확인하기
- ④ 각 인과요인의 근본원인(root cause) 분석하기
- ⑤ 각 근본원인의 일반원인(generic cause) 분석하기
- ⑥ 개선 활동(corrective action) 개발 및 평가하기
- ⑦ 개선 활동 보고 및 실행하기

TapRoot®에서는 각 단계를 수행하기 위하여 SnapCharT®와 Root Cause Tree® 등의 도구를 이용한다. SnapCharT®는 RCA 전 과정에서 사용하는 도구로, 사건과 관련 있는 정보들을 수집하고 정리하는 도구이다. 사건을 시간 순서대로 재구성하는 측면에서 순서도(flow chart)와 비슷하지만, 사건과 관련된 모든 정보들을 함께 표시하고 차트를 통해 인과요인들을 발견하는 것이 특징이다. SnapCharT®를 통해 사건 발생에 기여하는 인과요인들을 확인한 다음, Root Cause Tree®를 이용하여 각 인과요인에 대한 근본원인을 확인한다. Root Cause Tree®는

상위 범주에서 하위 범주로 내려가면서 숨겨져 있는 근본원인을 확인하는 것을 도와준다. 상위 범주는 크게 인적 요인, 장비 요인, 재난 관련 요인, 기타 요인으로 구분되며, 인과요인과 관련된 범주를 O, X 표시로 가려낸다. 특히, 인적 요인의 경우는 문제 해결을 위한 15가지의 질문(troubleshooting guide)을 통하여 해당되는 하위 범주로 안내하며, 하위 범주 안에서 근본원인을 확인할 수 있다(Figure 1-A). 이 외에도 각 근본원인별 개선활동에 대한 자료를 제공하는 Corrective Action Helper®, 장비 요인 분석을 위한 Equifactor®, 원인 분석에 도움이 되는 Change Analysis, Critical Human Action Profile (CHAP), Safeguard Analysis와 같은 도구들도 활용할 수 있다.

TapRoot® 소프트웨어는 많은 데이터 분석을 통하여 근본원인들을 범주화하고 사용자가 근본원인을 찾을 수 있도록 안내하며, 확인한 근본원인을 효과적으로 개선할 수 있도록 개선활동에 대한 참고자료도 함께 제시하여 사용자가 RCA를 성공적으로 수행할 수 있도록 도와준다. 또한 사건을 보고 받는 기능과 분석한 사건에 대한 정보들을 관리하고 이를 보고서로 출력할 수 있는 기능도 포함되어 있어 하나의 소프트웨어로 사건 접수부터 보고까지 수행이 가능하다. 하지만 이미 범주화되어 있는 근본원인들을 수정할 수 없다는 제한점이 있다. 최근에 출시된 TapRoot® VI는 여러 명의 사용자가 이용할 수 있는 형태로 연간 사용료(2017년 기준 695달러)를 지불해야 하며, 체험판은 제공하지 않는다. TapRoot® 소프트웨어는 <http://www.taproot.com/products-services/software> 에서 구입할 수 있다.

2. RealityCharting®

RealityCharting®은 원자력 산업 분야에서 개발되

어 거의 모든 분야에서 사용되고 있는 Apollo Root Cause Analysis™ 방법론을 소프트웨어로 구현한 것이다[19-20]. 이 방법론은 인과 관계를 명확하게 정의하는 것이 핵심인데, 원인을 이해함으로써 통제할 수 있는 것들을 찾아내고 개선할 수 있기 때문이다.

RealityCharting®의 RCA 단계는 다음의 5단계로 구성된다. 이전 단계를 완료해야 다음 단계로 넘어갈 수 있으며, 모든 단계가 RealityChart로 표현된다.

- ① 문제 정의하기
- ② RealityChart 만들기
- ③ 효과적인 해결책 확인하기
- ④ 최선의 해결책 실행하기
- ⑤ 보고서 완료하기

RealityChart는 일종의 인과관계도로써, 맨 왼쪽에 문제를 적은 후 오른쪽으로 원인들을 분석해나간다. 사건의 원인을 분석해나가는 방법은 5-why와 비슷하지만, 차트가 일직선으로만 뻗어나가는 것이 아니라 원인들을 서로 연결할 수 있어 원인들 간의 관련성을 보여준다는 것이 특징이다. RealityChart에서는 원인을 2가지 유형으로 구분하는데, 상황(condition)은 '사건이 발생하기 이전부터 존재하고 있던 환경' 등을 말하며, 행동(action)은 '사건이 발생한 상황에서의 동작이나 변화'를 말한다. 각각의 원인 박스에는 원인의 유형과 내용, 관련된 근거, 개선활동을 함께 작성할 수 있다(Figure 1-B). 또한 각 단계마다 수행해야 하는 항목을 모두 수행하였는지 확인하는 기능이 있어 사용자가 RCA를 수행하는 것을 도와준다.

RealityCharting®는 하나의 차트를 이용하여 RCA를 수행하기 때문에 관련된 정보를 확인하기 용이하지만, 정보들이 아이콘으로 표현되기 때문에 사용 전에 기능들을 잘 숙지하여야 한다. RealityCharting® V7.9는 사용자가 유료(2017년 기준 849달러)로 구입

하여 사용하는 형태이며, 구입 전에 사용해 볼 수 있는 30일 체험판을 <http://www.realitycharting.com/downloads/demo>에서 제공하고 있다.

3. PROACT®

Reliability Center Inc.는 기계 고장, 사고, 위해 사건 등의 재발을 예방하기 위해 RCA, 고장 유형 및 영향 분석(failure mode and effect analysis, FMEA)과 인적 오류 감소(Human Error Reduction) 전략을 전 세계적으로 제공하고 있다[21-23].

PROACT®는 Reliability Center Inc.에서 개발한 RCA 소프트웨어로, RCA 단계인 PReserve, Order, Analyze, Communicate & Track의 줄임말이다.

- ① PReserve 단계는 사건과 관련 있는 정보를 수집, 관리한다.
- ② Order 단계는 팀을 구성하고 분석을 준비한다.
- ③ Analyze 단계는 원인을 분석한다.
- ④ Communicate 단계에서는 분석 결과를 보고서로 정리한다.
- ⑤ Track 단계는 실행한 개선활동을 모니터링하고 평가한다.

각 단계에서는 미리 구성되어 있는 화면에 내용을 작성하게 되는데, 가장 핵심적인 도구가 Analyze 단계에서 사용하는 Logic Tree이다(Figure 1-C). Logic Tree는 위에서부터 아래로 내려가면서 원인을 분석하게 되는데, 우선 사건(event)을 정의한 후 관련된 요인들의 범주(mode)를 정한다. 각 범주별로 사건이 어떻게 일어났는지에 대한 가설을 세운 후, 그 가설을 확인하면서 원인을 분석한다. 근본원인을 물리적인 원인(physical root), 사람과 관련된 원인(human root), 시스템적인 원인(latent root)으로 분류하고 있다. 각각의 박스에는 범주, 가설, 원인의 유형이 아이콘으로 표시된다. 분석을 수행하면

환자안전사건 조사용 근본원인분석 소프트웨어의 비교

서 근거들을 종합하여 해당되거나 해당되지 않은 내용들은 O, X로 표시할 수 있다. 분석이 완료되면 사건 발생에 기여한 원인들을 하나의 경로로 표시하여 보여준다. 또한 PROACT[®]에는 Template library가 있는데, 이를 통해 이전에 유사한 사건에 대해 수행하였던 RCA 자료들을 현재 분석에 활용할 수 있다. PROACT[®]는 사건이 어떻게 발생하였는지에 대한 가설을 세우고, 가설에 대한 자료를 수집하고 검증해나가면서 원인을 분석하게 도와준다. 또한 유사한 사건에 대한 분석 자료를 제공함으로써 사용자가 참고할 수 있도록 한다. 하지만 원인들 간의 관련성을 확인하기는 어려우며, 각 원인박스과 아이콘의 모양과 색깔이 비슷하여 한 눈에 구분하기는 어렵다. PROACT[®] 소프트웨어는 산업 분야와 의료 분야가 구분되어 있으며, 의료기관용은 연간사용료(2017년 기준 790달러)를 지불하여 갱신하는 형태이며, <http://www.reliability.com/proact-online.html> 에서 30일 체험판을 무료로 사용해볼 수 있다.

4. Causelink[®]

Sologic[®]의 RCA는 조건부 논리에 기반을 둔 보편적이고 확장 가능한 문제 해결 방법으로, 이를 그래픽으로 구현한 소프트웨어가 Causelink[®]이다[24]. Sologic[®]의 RCA는 다음과 같이 5단계로 구성되어 있다.

- ① 정보의 수집 및 관리
- ② 문제 진술
- ③ 원인과 영향 분석
- ④ 해결책 계획
- ⑤ 최종 보고서 작성

Causelink[®]의 기능은 크게 보고서와 차트로 구분할 수 있다. 원인과 영향을 분석할 때 차트를 사용하

며, 나머지 단계에서는 모두 보고서를 이용한다. 차트는 인과관계도로 왼쪽에 문제를 적은 후, 오른쪽으로 분석해 나간다. 각각의 원인 박스에는 근거, 해결책, 위험도 평가 등의 세부 정보를 입력할 수 있다(Figure 1-D).

Causelink[®]에서 RCA를 수행하는 단계와 방법은 앞에서 설명하였던 RealityCharting[®]과 유사하다. Causelink[®]의 장점은 화면 구성이 단순하여 익히기가 쉬우며 기능들이 상세하지만, 근거를 바탕으로 사용자가 스스로 분석을 수행하도록 되어 있어 초보자들에게는 다소 어려울 수 있다. Causelink[®] 소프트웨어는 웹 기반 형태와 실행 파일 형태 모두 개발되어 있으며, 실행 파일 형태는 1인만 사용이 가능하며 유료(2017년 기준 695달러)이다. 30일 체험판은 <http://www.sologic.com/root-cause-analysis-software> 에서 다운로드 받을 수 있다.

5. CDT (Causal Diagramming Tool)

Outcome Engenuity, LLC는 항공 분야의 안전 문제와 인적 요인을 다루는 데서 시작하여 현재는 시스템 공학과 인적 요인들을 조합하여 인간의 실수를 효과적으로 관리할 수 있는 공정 문화(Just Culture)를 전파하고 있다[25]. 이 회사에서는 공정 문화 알고리즘과 RCA에 대한 소프트웨어를 무료로 제공하고 있다.

CDT는 공정 문화 알고리즘을 적용한 RCA 소프트웨어로, 별도의 RCA 단계를 따르지 않고 인과관계도를 이용하여 분석을 수행한다. CDT의 화면은 크게 왼쪽, 가운데, 오른쪽 3개의 창으로 구분되는데, 오른쪽 창에서 분석을 위한 각종 정보들을 입력하면, 가운데 창에서 인과관계도로 표현되고, 왼쪽 창에는 원인 분석에 대한 내용이 나타난다(Figure

1-E). CDT에서는 각각의 원인별로 인적 요인에 대하여 분석하도록 되어있는데, 사람이 의무를 위반하게 된 경위와 그에 대한 대응 방안, 인적 오류의 유형, 그렇게 행동하도록 기여한 요인 등을 분석하도록 되어 있다. 또한 심각성, 발생 가능성, 변화가능성으로 위험 완화 지수(Risk Mitigation Index)를 산출하여 인과 요인의 개선이 자원의 지출을 고려하여 얼마나 위험을 감소시킬 수 있는지 이해할 수 있도록 한다. CDT의 또 하나의 특징은 인과 요인들 간의 관련성(dependency)을 인과관계도에서 선으로 연결하여 나타낼 수 있다는 것이다.

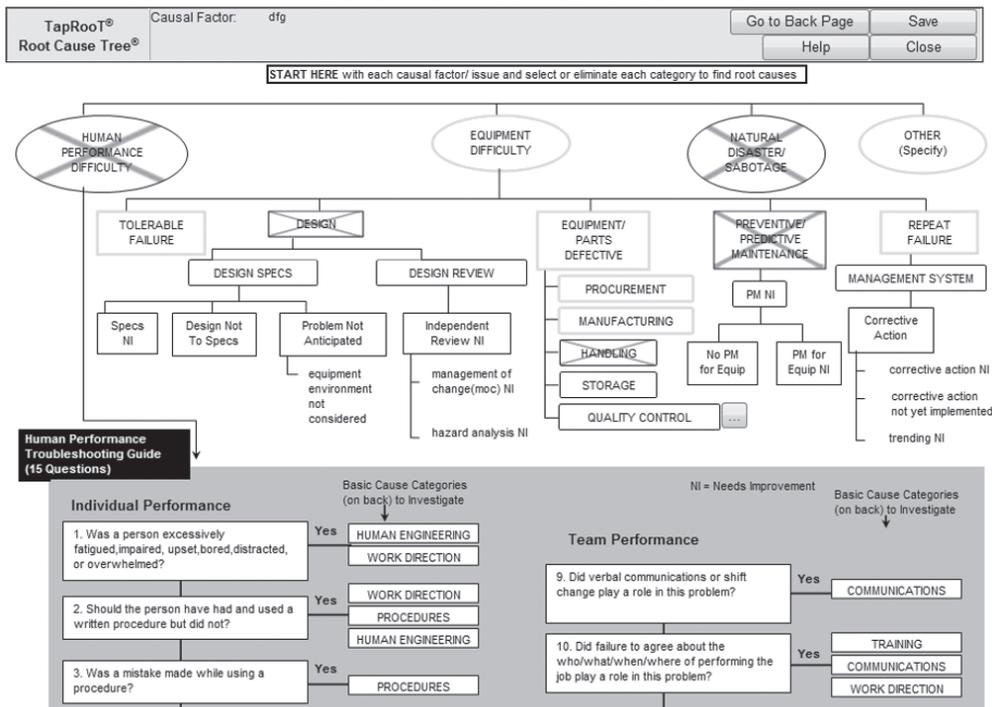
6. Cause Mapping

Cause Mapping은 다양한 산업 분야의 오류, 결

점, 실패 등을 조사하고 분석하는 ThinkReliability에서 개발한 RCA 방법이다[26-27]. 별도의 소프트웨어를 사용하지 않고, Microsoft Excel 또는 다른 응용 소프트웨어를 사용하여 분석을 수행할 수 있다. Cause Mapping은 다음의 3단계로 구성되어 있다.

- ① 문제 정의하기
- ② 원인 분석하기
- ③ 해결책 선정하기

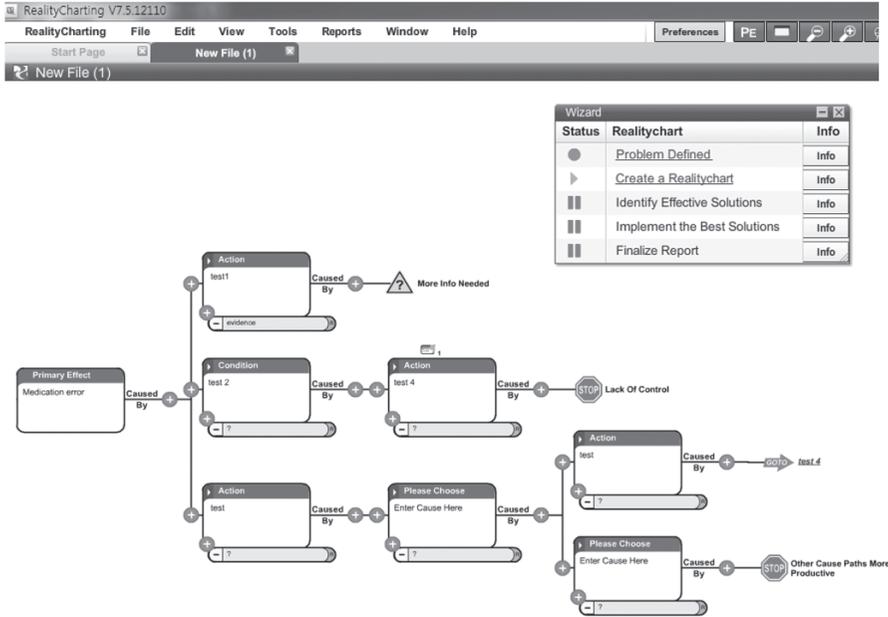
Cause Map은 사건이 발생한 이유를 시각적으로 설명하며, 개별 인과 관계를 연결하여 문제 내에서 시스템 원인을 찾아낸다. 왼쪽에 문제를 적은 후, 왜 그 문제가 발생하였는지 질문하며 오른쪽으로 분석해 나간다. 또한 무엇이 필요한지에 대한 질문을 통해 실제 문제를 보다 완벽하게 표현할 수 있다. 일부 원인들은 서로 연결되기도 한다(Figure 1-F).



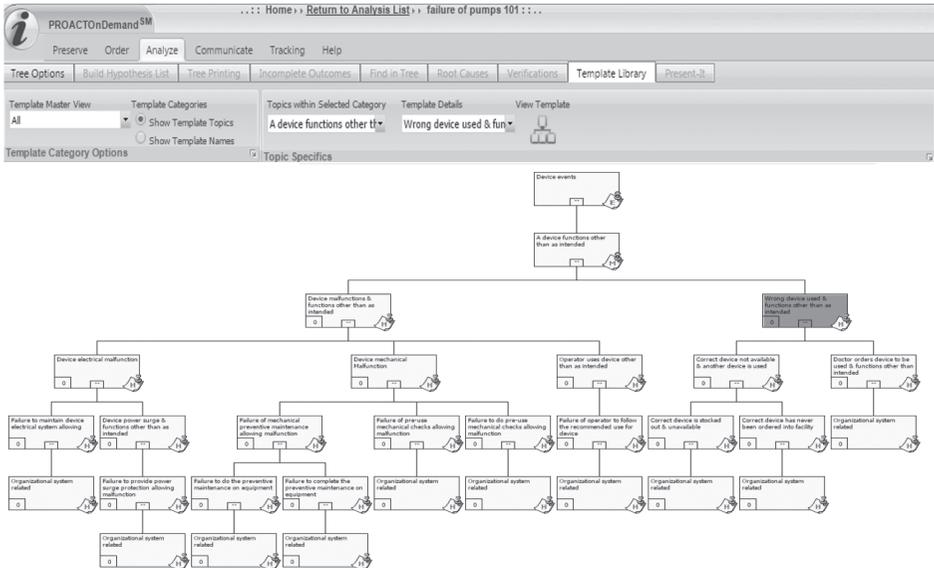
(A) Example of TapRoot® Root Cause Tree®

1 Review

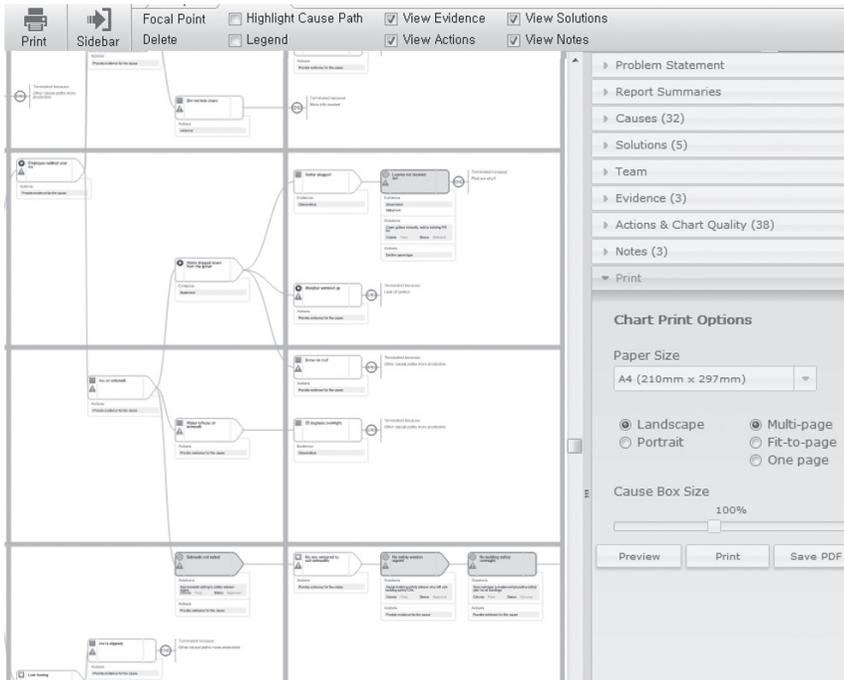
환자안전사건 조사용 근본원인분석 소프트웨어의 비교



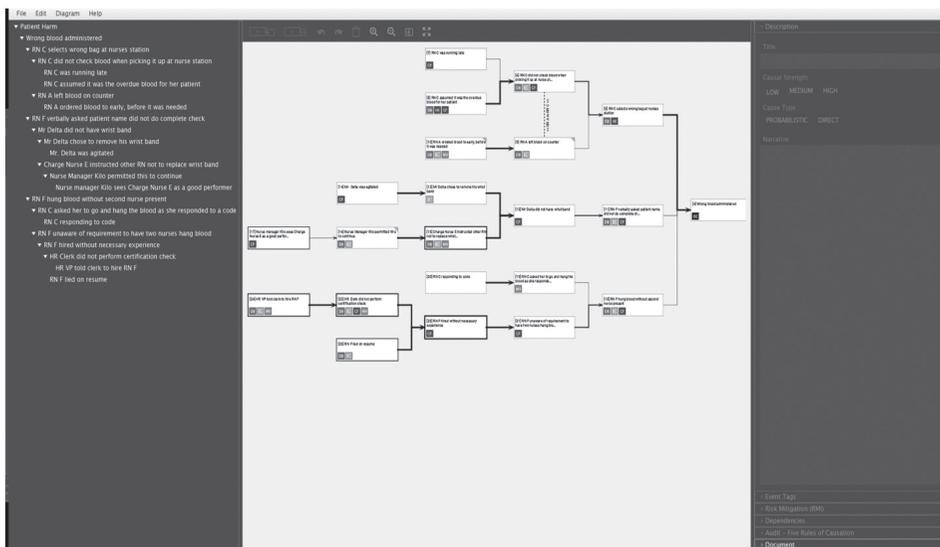
(B) Screenshot of RealityCharting®



(C) Screenshot of PROACT® Logic Tree

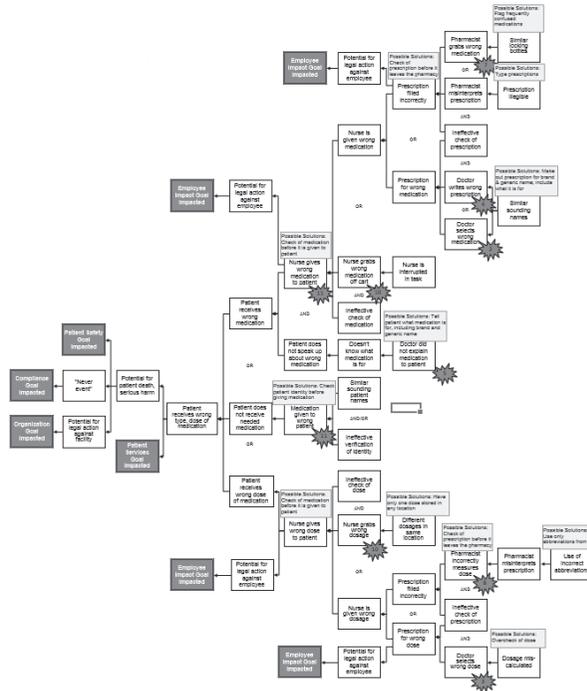


(D) Screenshot of Causelink®



(E) Screenshot of Casual Diagramming Tool

환자안전사건 조사용 근본원인분석 소프트웨어의 비교



(F) Example of Cause Map

Figure 1. Comparison of Root Cause Analysis softwares

Table 1. Summary of RCA softwares functions

Criteria	TapRoot®	RealityCharting®	PROACT®	Causelink®	CDT	Cause Mapping
Report incidents	V					
Compose RCA team	V	V	V	V		
Define problem	V	V	V	V		V
Analyze causes	SnapCharT® Root Cause Tree®	Cause and effect diagram	Logic Tree	Cause and effect diagram	Cause and effect diagram	Cause Map
Develop & evaluate Corrective action	Corrective Action Helper®	V	V	V		V
Create final report	V	V	V	V		
Provide database facility	V	V	V	V	V	
Track solutions	V	V	V	V		
Difficulty to Use	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Low
Type of purchase	Annual fee (TapRoot® VI)	Charged per person (Version 7.9)	Annual fee (Healthcare)	Charged per person (Desktop)	Free	No software to purchase
Provide 30-day trial		V	V	V		

RCA, Root Cause Analysis; CDT, Casual Diagramming Tool

Cause Mapping은 별도의 소프트웨어를 이용하지 않고 RCA를 수행할 수 있으며, Cause Map을 통해 RCA 분석 결과를 시각적으로 표현할 수 있다. 하지만 사건을 관리하고, 보고서를 출력하는 기능이 없다는 제한점이 있다. Cause Map 템플릿은 <https://www.thinkreliability.com/cause-mapping-method/> 에서 다운받아 이용할 수 있다.

지금까지 소개한 소프트웨어들의 특성들을 요약하면 표 1과 같다(Table 1).

III. 결론

전 세계적으로 환자안전의 현황을 파악하고 개선하려는 노력이 계속되고 있다. 유사한 환자안전 사건의 재발을 예방하기 위해서는 이미 발생한 사건을 분석하여 안전한 시스템을 구축하는 것이 필요하다. RCA는 시스템적인 취약성을 찾고 개선하기 위한 방법으로 의료기관에서 환자안전사건 분석에 많이 사용하고 있다. 그러나 여전히 많은 의료기관에서는 RCA 방법론에 익숙하지 않아 RCA를 수행하지 못하거나 잘못된 방향으로 RCA를 수행하기도 한다. 이 글에서 소개한 RCA 소프트웨어들은 표준화된 RCA 단계와 분석 도구를 제공함으로써 RCA를 처음 수행하거나, 능숙하지 않은 사용자들도 쉽게 이용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 사건과 분석 자료들을 관리하고 보고서를 출력하는 데에도 용이하다. 따라서 이러한 소프트웨어들의 기능을 참고하여 향후 우리나라 의료 환경에 맞는 한글 RCA 소프트웨어가 개발되면 의료기관들의 환자안전 개선 활동의 활성화에 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

IV. 참고문헌

1. Dhillon BS. Methods for performing human reliability and error analysis in health care. *International Journal of Health Care Quality Assurance*. 2003;16(6):306-317.
2. Carroll JS, Rudolph JW, Hatakenaka S. Lessons learned from non-medical industries: root cause analysis as culture change at a chemical plant. *Quality & Safety in Health Care*. 2002;11(3):266-269.
3. Bagian JP, Lee C, Gosbee J, DeRosier J, Stalhandske E, Eldridge N, et al. Developing and deploying a patient safety program in a large health care delivery system: you can't fix what you don't know about. *Joint Commission Journal on Quality Improvement*. 2001;27(10):522-532.
4. National Health Service. Root Cause Analysis (RCA) investigation [Internet]. [cited on 2017 Mar 27]. Available from: <http://www.nrls.npsa.nhs.uk/resources/collections/root-cause-analysis>.
5. Incident Analysis Collaborating Parties. Canadian Incident Analysis Framework. Edmonton, AB: Canadian Patient Safety Institute; 2012 [Internet]. [cited on 2017 Mar 27]. Available from: <http://www.patientsafetyinstitute.ca/en/toolsResources/IncidentAnalysis/Documents/Canadian%20Incident%20Analysis%20Framework.PDF>.
6. Taitz J, Genn K, Brooks V, Ross D, Ryan K, Shumack B, et al. System-wide learning from root cause analysis: a report from the New South Wales Root Cause Anal-

1 Review

환자안전사건 조사용 근본원인분석 소프트웨어의 비교

- ysis Reveiw Committee. Quality & Safety in Health Care. 2010;19(6):e63.
7. The Joint Commission. Root cause analysis in health care: tools and techniques. 5th edition. Oak Brook, IL: The Joint Commission Resources; 2015.
 8. Rooney JJ, Heuvel LNV. Root cause analysis for beginners. Quality Progress. 2004;37(7):46-53.
 9. Wu AW, Lipshutz AK, Pronovost PJ. Effectiveness and efficiency of root cause analysis in medicine. The Journal of the American Medical Association. 2008;13(6):685-687.
 10. Braithwaite J, Westbrook MT, Mallock NA, Travaglia JF, Iedema RA. Experiences of health professionals who conducted root cause analyses after undergoing a safety improvement program. Quality & Safety in Health Care. 2006;15(6):393-399.
 11. Hirsch KA, Wallace DT. Software facilitation of root cause analysis in healthcare organizations. Journal of Healthcare Risk Management. 2000;20(1):32-35.
 12. Hussin H, Ahmed U, Muhammad M. Critical success factors of root cause failure analysis. Indian Journal of Science and Technology. 2016;9(48):1-10.
 13. TapRoot[®] homepage [Internet]. [cited 2017 Mar 24]. Available from: <http://www.taproot.com>.
 14. TapRoot[®]. Using the TapRoot[®] system for chemical industry incident investigation [Internet]. [cited 2017 Mar 24]. Available from: http://www.taproot.com/content/wp-content/uploads/2006/09/Using_the_TapRootTR_System.pdf.
 15. Paradise M, Linda U. Using the essential TapRoot[®] techniques to investigate low-to-medium risk incidents. Knoxville, Tennessee: System Improvements, Inc.; 2015.
 16. Paradise M, Linda U. TapRoot[®] Root Cause Tree[®] dictionary 8th edition. Knoxville, Tennessee: System Improvements, Inc.; 2015.
 17. Paradise M, Linda U. TapRoot[®] Corrective Action Helper[®] guide 2nd edition. Knoxville, Tennessee: System Improvements, Inc.; 2015.
 18. Song MH, Chun JH, Koh H, Kim KJ. Root cause analysis: a medication error. Quality Improvement in Health Care. 2012;18(1):79-87.
 19. Apollo Root Cause Analysis[™] homepage [Internet]. [cited 2017 Mar 24]. Available from: <http://www.realitycharting.com>.
 20. Gano DL. RealityCharting seven steps to effective problem-solving and strategies for personal success [Internet]. [cited 2017 Mar 24]. Available from: <http://www.realitycharting.com/methodology/7-steps-to-effective-problem-solving/download-free-chapters>.
 21. Reliability Center Inc. PROACT[®] Root Cause Analysis homepage [Internet]. [cited 2017 Mar 24]. Available from: <http://www.reliability.com/index.html>.
 22. Latino RJ, Latino KC, Latino MA. Root cause analysis: improving performance for bottom-line results. 4th edition. Boca Raton, FL: CRC press; 2011.
 23. PROACT Root Cause Analysis (RCA) Over-

view [Internet]. [cited 2017 Mar 27]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=IK-SiI8zRoik>.

24. Sologic® Root cause analysis homepage [Internet]. [cited 2017 Mar 27]. Available from: <http://www.sologic.com>.
25. Outcome Engenuity homepage [Internet]. [cited on 2017 Mar 28]. Available from: <https://www.outcome-eng.com>.
26. Think Reliability homepage [Internet]. [cited on 2017 Mar 28]. Available from: <https://www.thinkreliability.com>.
27. York D, Jin K, Song Q, Li H. Practical root cause analysis using cause mapping. Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists: 2014.