

# An Integrative Method of Fault Tree Analysis and Fault Modes and Effect Analysis for Security Evaluation of e-Teaching and Learning System

Eun-Ji Jin<sup>†</sup> · Myong-Hee Kim<sup>\*\*</sup> · Man-Gon Park<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

These days, the teaching and learning system has been increasing for the rapid advancement of the information technologies. We can access education systems of good quality anytime, anywhere and we can use the individually personalized teaching and learning system depending on developing the wireless communication technology and the multimedia processing technology. The more the various systems develop, the more software security systems become important. There are a lot kind of fault analysis methods to evaluate software security systems. However, the only assessment method to evaluate software security system is not enough to analysis properly on account of the various types and characteristic of software systems by progressing information technology. Therefore, this paper proposes an integrative method of Fault Tree Analysis (FTA) and Fault Modes and Effect Analysis(FMEA) to evaluate the security of e-teaching and learning system as an illustration.

**Keywords :** Fault Tree Analysis, Fault Modes and Effect Analysis, e-Teaching and Learning System, Security Quality Assurance

## 전자 교수학습 시스템의 보안성 평가를 위한 결함트리분석과 고장유형에 대한 영향분석의 통합적 방법

진 은 지<sup>†</sup> · 김 명 희<sup>\*\*</sup> · 박 만 곤<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

최근 정보통신기술의 발전으로 교육훈련 현장에는 전자 교수학습 시스템(e-teaching and learning system)에 대한 사용이 급증하고 있다. 또한 무선 이동통신기술과 멀티미디어 처리 기술의 발전에 따라 언제 어디서나 양질의 교육 및 훈련 콘텐츠에 쉽게 접근할 수 있게 되었고, 개인 맞춤형의 교수학습 서비스 시스템도 등장하고 있다. 많은 전자 교수학습 시스템들이 개발됨에 따라 이의 보안성(security) 역시 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 전자 교수학습 시스템들과 같은 정보 서비스 시스템의 보안성을 평가하기 위한 여러 가지 결함 분석 기법들이 있다. 그러나 융합IT 기술이 확대 발전함에 따라 정보 서비스 시스템의 종류와 특성이 다양해지면서 단지 하나의 시스템 보안성 평가 방법으로는 적절한 분석이 이루어 질 수 없다. 따라서 본 논문에서는 정보 서비스 시스템의 보안성을 평가하기 위해서 결함 트리 분석(Fault Tree Analysis; FTA) 기법과 고장모드별 영향 분석(Fault Modes and Effect Analysis; FMEA)기법의 두 가지의 분석 기법을 통합하여 사용함으로써 전자 교수학습 시스템의 결함 분석을 수행하고 보안성을 개선하는 방법을 제안한다.

**키워드 :** 결함트리분석, 고장유형과 영향분석, 전자 교수학습 시스템, 보안성 품질 보증

## 1. 서 론

IT 기술의 발달에 따라 보안성의 확보를 위한 많은 분야

에서 감시와 통제 기능을 수행되고 있다. 이에 따라 소프트웨어 시스템이 정상적으로 동작 하는지에 관심이 커지게 되었고, 보안성에 핵심을 둔 시스템에서 하드웨어 또는 소프트웨어의 결함으로 재난이 발생하기 시작하자 현재의 시스템이 보안을 보장해 줄 것인가에 대한 사람들의 신뢰는 낮아지고, 공학자들은 이런 시스템이 보안성이 있는가에 대하여 평가를 시도 하게 되었다. 오늘날 컴퓨터, 전기, 전자 부품 또는 장치들이 복합적으로 포함된 보안 및 안전 필수시

<sup>†</sup> 준 회 원: 부경대학교 첨단정보과학 및 정보기술학과 석사과정

<sup>\*\*</sup> 준 회 원: 부경대학교 교육대학원 전산교육전공 강의전담교수

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원: 부경대학교 IT융합응용공학과 교수

논문접수: 2011년 11월 15일

수정일: 1차 2012년 7월 31일, 2차 2012년 9월 7일

심사완료: 2012년 9월 21일

\* Corresponding Author: Man-Gon Park(mpark@pknu.ac.kr)

스텝(Security and Safety-Critical System)은 시스템의 고장(Failure)이 치명적인 재난의 원인이 되어 사람의 생명과 밀접한 관계가 있거나, 심각한 손실 또는 재난을 주거나, 환경 파괴를 가능하게 하는 시스템들을 말한다. 보안성이란 데이터나 프로그램을 권한이 없는 이용자가 사용할 수 없도록 하는 것이다[3][5-7][11].

시스템의 보안성을 평가하기 위한 결함 분석 기법으로는 상태 기반 접근법의 Markov 분석, 표 기반 접근법의 고장 모드별 영향 분석(Fault Modes and Effect Analysis; FMEA), 매개변수 기반 접근법의 결함 및 운영가능성 분석(Hazard and Operability Studies; HAZOP) 그리고 트리 기반 접근법의 결함 트리 분석(Fault Tree Analysis; FTA)이 있다. 본 논문에서는 시스템의 보안성 평가를 위한 결함 분석 기법인 FTA와 FMEA에 대해 초점을 둔다. Myonghee Kim and Man-Gon Park의 소프트웨어 안전성 평가를 위한 소프트웨어 고장모드별 영향 분석에 관한 연구에 의하면 유비쿼터스 헬스케어 시스템에 FTA와 FMEA를 결합한 소프트웨어의 결함분석 방안을 제안하여 소프트웨어 시스템의 안전성 사례연구를 수행하였다. M. Warren과 W. Hutchinson의 연구 Information Security - An E-learning Problem에서는 전자 교수학습 시스템에서 종종 무시되고 있는 보안성 관련 문제를 전자 교수학습 환경의 총체적 기준선 정보 보호 표준을 중심으로 취급하여 연구하였다. 또한 Edgar R. Weippl의 저서인 Security in e-Learning에서는 전자 교수학습 시스템에서 보안성이 저작자에게 아주 중요한 문제임을 깨닫게 하고 보안성을 조직화하고 관리하는 기법을 소개하였다. Najwa Hayaati Mohd Alwi와 Ip-Shing Fan은 Information Security Management in E-Learning에서 전자 교수학습은 배움의 하나의 새로운 방법이며 인터넷을 통하여 확장되고 있다고 본다. 그러한 인터넷은 점차 불법 활동의 새로운 영역으로 보고 전자 교수학습 시스템 또한 위협에 처해 있다고 보고 있다. 이에 Najwa Hayaati Mohd Alwi와 Ip-Shing Fan은 전자 교수학습 시스템에서 필요한 보안성 요소들에 관해서 설명하고 안전한 전자 교수학습 환경에 대해 기여하는 정보 보안 관리 방법을 제안하였다. Sigrid Schubert, Andreas Schwill 그리고 Christian Josef Eibl은 Discussion of Information Security in E-Learning의 연구에서 FTA를 사용하여 전자 교수학습 시스템의 고장 분석을 하고 있다. 이러한 기존 연구에서는 시스템의 보안성을 평가하기 위한 결함 분석 기법을 통합하여 사용하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구에서와 달리 시스템의 보안성을 평가하기 위한 결함 분석 기법 중 FTA와 FMEA를 통합하여 더욱 효율적인 보안성을 평가하고자 한다[5-7][13][18-19][21][26].

오늘날 IT기술의 비약적인 발전으로 교육훈련 서비스인 전자 교수학습 시스템(e-Teaching and Learning)의 수요가 높아지고 있다. 또한 유비쿼터스 컴퓨팅 환경이 점차 확대되면서 언제 어디서나 양질의 교육에 접근할 수 있게 되었고 멀티미디어 처리 기술로 인해서 개인 맞춤형의 전자 교

수학습 시스템으로까지 개발되고 있다. 전자 교수학습 시스템들은 가르치고 배우는 서비스를 다루는 것이다. 이는 학습자와 강사 즉, 인간 사이에서의 각종 자료, 정보와 연구 등의 결과물이 움직이는 서비스이기 때문에 무엇보다도 시스템의 보안성과 신뢰도가 매우 중요하다. 따라서 전자 교수학습 시스템의 보안성과 신뢰도가 향상되어야 효율적인 학습을 도모할 수 있다.

이에 따라 본 논문에서는 보안 및 안전 필수 시스템의 보안 평가를 위한 결함 분석 기법인 FTA 기법과 FMEA 기법을 설명하고 각 기법을 통합한 통합한 한 방법인 FTA에 FMEA를 전방으로 통합한 방법, FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 방법을 제시한다. 특히 FTA에 FMEA를 전방으로 통합한 방법, FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 방법 중에서 FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 방법을 전자 교수학습 시스템에 적용을 하여 FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 방법이 효율적임을 설명하고 전자 교수학습 시스템의 보안성을 평가한다. 이는 전자 교수학습 시스템의 보안성 평가와 개선에 도움을 주고자 하며, 이를 활용하는데 있다[7][8].

## 2. 보안성 평가를 위한 결함 분석 기법

소프트웨어 보안 및 안전성의 관점에서 볼 때 소프트웨어가 동작하는 시스템 내에서 입력된 정보를 분석하여 하드웨어의 동작에 이르기까지 소프트웨어는 하드웨어의 전체 과정을 제어한다고 볼 때, 소프트웨어의 결함은 곧 재난의 발생이라고까지 확대할 수 있다. 따라서 소프트웨어 시스템의 보안성 평가를 위한 기법의 연구가 필요하다[7].

### 2.1 결함 트리 분석 (Fault Tree Analysis; FTA)

결함 트리 분석(Fault Tree Analysis; FTA)기법은 안전 운영을 위한 까다로운 한 시스템에서 각 영역들의 위험을 식별하기 위해서 정성적인 방법과 정량적인 방법 모두에 사용될 수 있다. 정성적이든 정량적이든 FTA는 효과적인 방법을 제시하며, 결과물은 고장과 위험을 나타내는 논리적 도식 표현의 결함 트리 다이어그램으로 나타낸다. FTA는 시스템의 고장 원인을 top-down 식으로 추리해 가는 로직 다이어그램으로 안전성을 분석 실시하여 결함 트리의 형태를 만들어 시스템의 고장 확률을 구함으로써 취약 부분을 찾아내어 시스템의 신뢰도를 개선하는 정성적, 정량적인 신뢰성 평가 기법이다[5][7].

Myonghee Kim and Man-Gon Park의 소프트웨어 안전성 평가를 위한 소프트웨어 고장모드별 영향 분석에 관한 연구에 의하면 FTA는 유명하고 생산적인 위험 식별 도구이며 위험들을 평가하고 통제하기 위한 표준화된 훈련방식을 제공한다. FTA 프로세스는 안전성에서 경영 이슈들에 이르기까지 넓고 다양한 문제들을 해결하고 전문적인 안전성 및 신뢰성에 의해서 위험과 고장들을 예방하고 분해하는데 모두 사용된다고 본다[5][7].

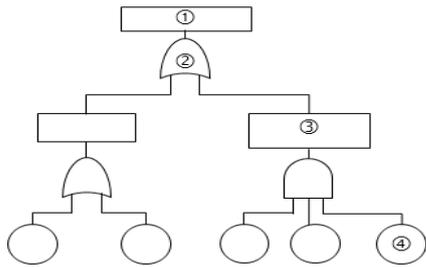


Fig. 1. An Example of Fault Tree Structure

Fig. 1은 결함 트리의 기호 구조에 대한 설명이다. 결함 트리는 논리 게이트를 기준으로 아래쪽이 원인이며 위쪽이 결과이다. 가장 위쪽 사상(Event)이 정상 사상인 ①은 Top Event이다. ②는 정상 사상과 1차 원인과의 관계를 논리 게이트로 연결하는 것이다. 그 다음의 ③의 Event는 정상사상과의 1차 원인을 분석한다. ④의 부분은 각 Event가 더 이상 분할 할 수 없는 ⑤와 같은 기본 사상이 나올 때까지 반복적으로 분석하여야 한다. FTA의 수행에 앞서 시스템의 보안성 평가를 위해서는 시스템의 기능도와 설계도를 미리 산출해보아야 한다[5][7].

2.2 고장모드별 영향 분석(Fault Modes and Effect Analysis; FMEA)

최근 경제의 급속한 발전과 많은 경쟁업체들의 출현 속에서 소비자들은 더욱 신뢰성이 보장된 보안성 있는 제품들을 요구한다. 이에 따라 보안성이 있는 제품을 개발하고 생산하기 위하여 고장모드별 영향 분석(Fault Modes and Effect Analysis; FMEA)이 많이 사용 된다. FMEA는 실패가 발생하기 이전에 실패들을 제거하고 위험을 최소화하기 위해서 잠재적 실패 요인들을 파악해서 제거해서 시스템의 신뢰도를 제고하는 기법으로 정성적 신뢰 예측 기법 또는 고장 해석 기법이다[9][10][17][20-22].

FMEA의 수행은 시스템의 모든 가능한 실패 모드를 알아내는 것으로 시작된다. 다음 Table 1은 FMEA의 수행 순서이다. FMEA는 결함 모드의 발견에 따라 원인과 결과, 각각의 실패 위험도를 파악하고 이후에 각각의 실패 모드의 위험 우선순위(Risk Priority Number; RPN)를 계산하며 이는 각각의 실패에 대한 치명도(Severity), 발생도(Occurrence) 그리고 검출도(Detection)의 곱이다. 이 계산에 따라 각각의 실패 모드를 평가하고 최종 선택된 실패 모드에 대해 적절한 후속 활동이 뒤따른다[7].

Table 1. Execution Process of FMEA

Stage	Perform content	Supplies
1	Ready to verify the functionality and safety-critical systems.	System functions.
2	Identify the types of potential failure.	Identify the potential failure.
3	Severity(S) 0 ≤ S < 1.0: none, 1.0 ≤ S < 3.0: Not Critical,	Severity values are presented according to the

	3.0 ≤ S < 6.0: A little serious, 6.0 ≤ S < 9.0: Serious, 9.0 ≤ S < 10.0: Fatal S = 10.0: Disaster eligibility	type of failure.
4	To evaluate the potential causes for failure mechanism (inaccurate materials, improper maintenance, wear, etc.).	Potential failure causes and mechanisms are presented.
5	Occurrence(OC) 0 ≤ OC <1.0: the possibility, almost no 1.0 ≤ OC <3.0: the possibility, almost no 3.0 ≤ OC <6.0: the possibility of occasional, 6.0 ≤ OC <9.0: the possibility is high, 9.0 ≤ OC <10.0: the likelihood is very high, OC = 10.0: the possibility that each time	Failure causes and likelihood score is proposed.
6	The adequacy of the design, warranty and failure to reduce or prevent the occurrence, prevention and detection create a list of activities.	List of design controls.
7	Ability to detect a failure Detection(DE) 0 ≤ DE <1.0: certainty, 1.0 ≤ DE <3.0: almost certainly, 3.0 ≤ DE <6.0: frequently, 6.0 ≤ DE <9.0: little, 9.0 ≤ DE <10.0: almost uncertain, Detection = 10.0: fault detection capability	Fault detection ability scores presented
8	Each step of the risk priority of the Risk Priority Number (RPN) calculation. RPN = Severity × Occurrence × Detection	Calculate each step of the risk priority
9	Actions to improve design for defect removal.	Design additional improvement direction
10	Performed to improve behavior and monitor the effectiveness of RPN values.	Monitoring defects to improve

3. FTA와 FMEA의 통합

FMEA는 bottom-up 기법으로 소프트웨어 실패 모드의 결과를 확인하는 기능인 반면에 FTA는 top-down 기법으로 원하지 않은 사건을 유발하는 요소를 찾아내는 기법이다. 두 가지 기법을 각각 따로 사용한다면 해당 기법의 단점 때문에 효율적인 결과를 도출할 수 없다. FMEA는 표 형식의 자료이기 때문에 소프트웨어 결함의 원인 사이의 논리 관계를 설명하기 어렵다는 단점이 있다. 그리고 FTA는 최상위 사건의 선택을 고려하는 것이 어렵다. 따라서 두 가지 기법을 통합하여 분석한다면 포괄적이고 효과적이 방법이 될 것이다[24].

3.1 FTA에 FMEA를 전방으로 통합하는 방법

본 논문의 FTA에 FMEA를 전방으로 통합하는 방법은 FMEA를 중심으로 하고 FTA가 보조하는 기법으로 Fig. 2와 같이 정의한다. 여기서 FTA는 FMEA의 결과로부터 고장 영향의 치명도에 따라 형성되고 고장 영향을 더욱 철저하게 확인하기 위해서 높은 치명도의 영향은 최상위 사건으로 사용된다. 고장 모드는 FMEA로 표현하기 어려운 고장 모드의 원인을 확인하기 위하여 FTA의 중간 사건으로 사용되고 원인은 FMEA만을 사용한 것보다는 FTA에 FMEA를 전방으로 통합하는 방법으로 더욱 포괄적으로 형성되어 진다.

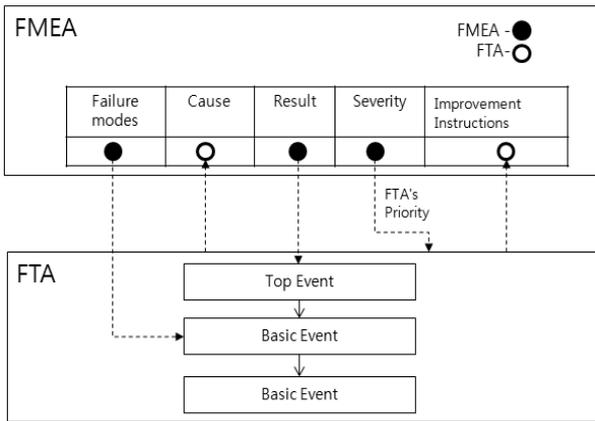


Fig. 2. Forward Integrating Method of FMEA to FTA

FTA에 FMEA를 전방으로 통합하는 방법은 (1) 기능적이거나 구조적인 분석 단계나 사항을 선택, (2) 영향과 각 고장 영향 평가, (3) FTA를 형성하기 위해서 최상위 사건에 해당하는 높은 치명도의 영향 선택 또는 중간 사건에 해당하는 고장 모드를 선택, (4) FTA의 결과로부터 고장 모드의 원인들과 논리 관계에 따른 개선지시 선택 순서이다 [5][7][22][29].

3.2 FTA에 FMEA를 후방으로 통합하는 방법

FTA에 FMEA를 후방으로 통합하는 방법은 FTA를 중심으로 하고 FMEA가 보조하는 기법으로 다음 Fig. 3과 같이 정의할 수 있다. 우선 결함 트리를 만들기 위한 최상위 사건을 선택한다. 만약 결함 트리에서 부정확성이 나타나거나 고장 영향의 치명도에 따라 새로운 최상위 사건이 나타난다면 결함 트리를 수정할 수 있다. 그리고 FMEA에 의해 치명도 분석이 이루어진 후에 최상위 사건의 발생 확률은 계산되어 질 수 있다. FTA에 FMEA를 후방으로 통합하는 방법은 (1) 소프트웨어 보안 요건이나 위험 분석에 따른 최상위 사건 선택과 결함 트리 제작, (2) Minimal Cutsets와 해당 사건들을 질적인 분석을 통해 확인, (3) 고장 모드에 의한 해당 사건의 소프트웨어 FMEA를 형성, (4) 결함트리와 개선 지시 수정하거나 새로운 결함 트리를 만들고 다음의 분석을 수행하기 위한 최상위 사건의 결함 모드 선택순서이다 [5][7][29].

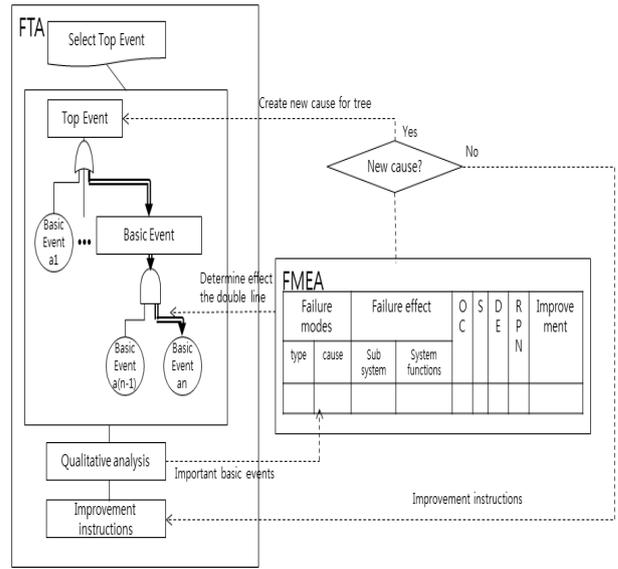


Fig. 3. Backward Integrating Method of FMEA to FTA

4. 전자 교수학습 시스템에서의 FTA에 FMEA를 통합한 보안성 평가

4.1 전자 교수학습 시스템의 보안성 평가

FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 방법을 적용하기 위한 시스템들 중에서 본 논문에서는 전자 교수학습 (e-Teaching and Learning) 시스템을 선택하여 FTA에 FMEA를 후방으로 통합 방법을 검증한다. 전자 교수학습 시스템은 e-비즈니스의 특수한 형태로 전자 교수학습 시스템의 디지털 콘텐츠가 분배, 유지, 업데이트되어 진다. 이런 디지털 콘텐츠들은 권한이 부여되지 않은 사용과 수정으로부터 적절하게 보호되어야 한다. 이에 전자 교수학습의 보안성이 낮으면 학습자와 강사 사이의 신뢰도 있는 정보가 위배된다. 따라서 본 논문의 목적은 개개의 학습자와 강사 사이에서의 보안을 확보하기 위해 전자 교수학습 시스템을 분석하여 보안성을 높이고자 한다 [5-7][12][13][16].

1) 전자 교수학습 시스템의 기능별 보안 설계

a) 전자 교수학습 시스템의 기능 설계  
우선 보안 필수 시스템 (Security-critical system)의 안전성을 분석하기 위해서는 시스템의 기능영역이 정의되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 전자 교수학습 시스템의 기능블록 다이어그램(Functional Block Diagram, FBD)을 다음 Fig. 4와 같이 나타내었다. 이는 사용자를 학습자(Learners)와 강사(Instructors)로 나누어 각각의 사항을 세분화 하였다 [6][7][27].

b) 기능별 보안성 분석

전자 교수학습 시스템의 소프트웨어에 포함되어야 할 보안성의 기능 요소들은 다음의 Table 2과 같다.

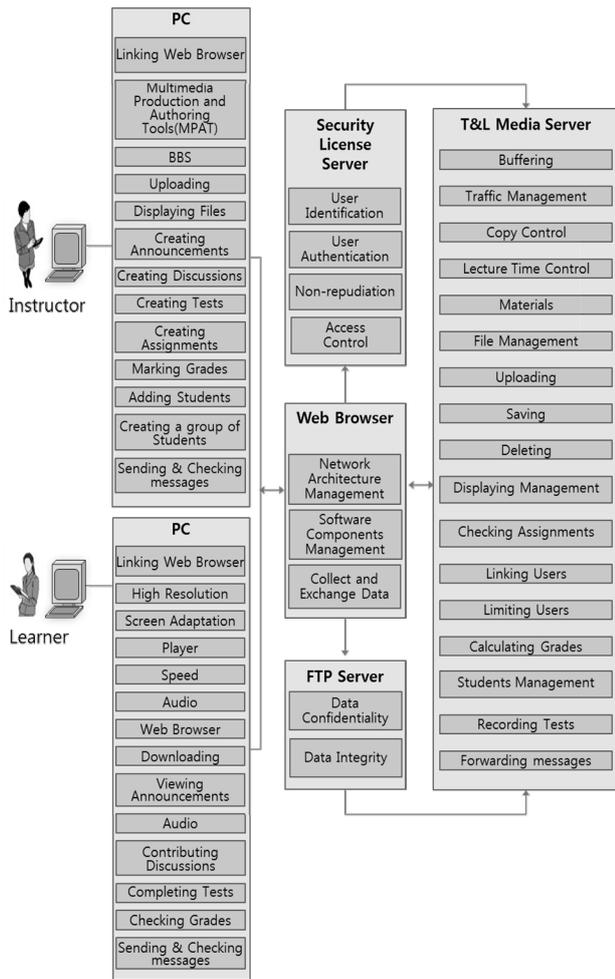


Fig. 4. Function Block Diagram of e-Teaching and Learning System

Table 2. Functional Elements of the Security Behavior of e-Teaching and Learning System Included with Software

System	Security player action	Functional elements
User support system	Function of instructor PC operation is associated with T & L system	- Web browser and connection capabilities - Multimedia Production & Authoring Tools (MPAT) function
	Function of learner PC operation is associated with T & L system	- Web browser and connection capabilities - Player action
	Web Browser player action	- Network structure management - Software component management - Data collection and exchange
Related server systems	Security License Server player action	- User confirmation - User Authentication - Non-repudiation - Access control - Authorization

FTP Server player action	- Data confidentiality - Data integrity
T&L Media Server player action	- Buffering function - Traffic management capabilities Unauthorized Copy Control feature - Lecture time control function - Material management functions - Screen placed Challenge inspection function - User connections Simultaneous disconnect feature - Student management capabilities - Screen recording feature - Message passing functions

소프트웨어 시스템에서 요구되는 기능들의 설계가 완성되면 다음 단계인 FTA를 위한 결함 트리를 작성 할 수 있다. Fig. 5는 전자 교수학습 시스템에서 정상 동작을 위한 최상위 수준에서의 시스템 기능이다[7][23].

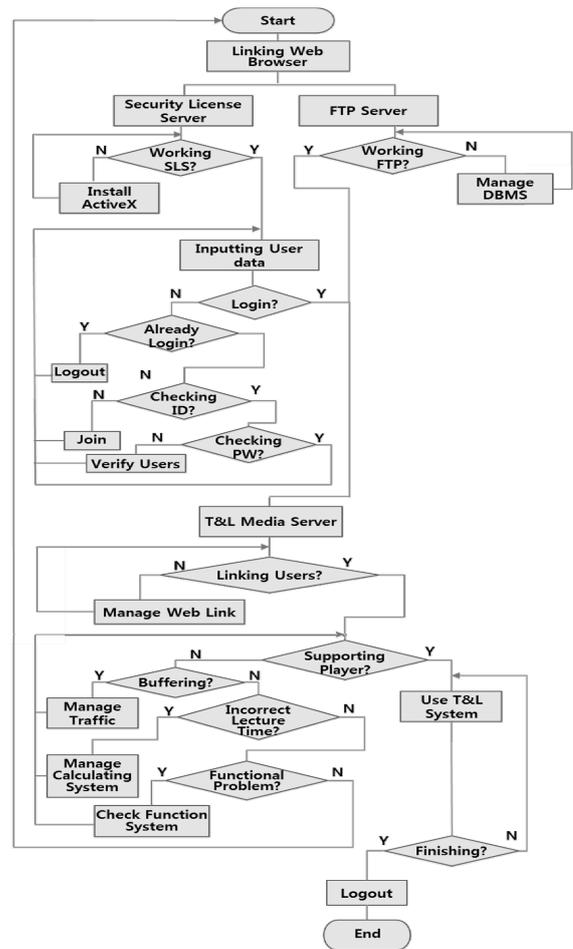


Fig. 5. Top Level System Function Model of e-Teaching and Learning System

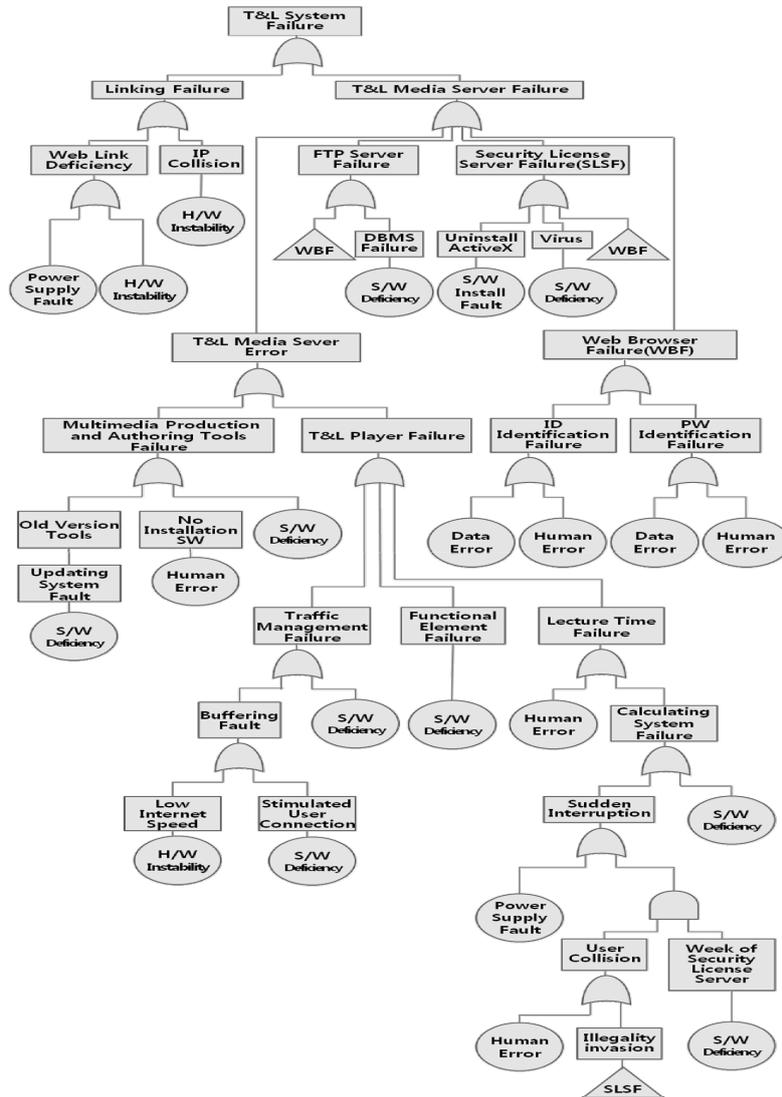


Fig. 6. Top Level Fault Tree in Consideration of All Faults

4.2 전자 교수학습 시스템의 FTA와 FMEA 후방 통합 기반 결함 분석

1) 전자 교수학습 시스템의 FTA 기반 결함 분석

FTA는 결함 발생의 모든 원인들의 연쇄를 한눈에 알기 쉽게 표현한 순차적인 그래프 모형이다. 3.2와 3.3에서 구한 전자 교수학습 시스템의 기능 블록 다이어그램과 전자 교수학습 시스템의 기능 모형에 의하여 Fig. 6과 같이 전자 교수학습 시스템의 FTA를 정의 할 수 있다. 이를 통해 전자 교수학습 시스템을 위한 기능과 전자 교수학습 시스템의 결함 원인이 파악되어 설계된 시스템을 정성적으로 분석 가능하다[5][7][25][26].

Fig. 6에서는 FTA 분석에 의하여 전자 교수학습 시스템이 고장이 나는 원인에 대하여 알 수 있다. 해당하는 값들을 보면 전력 결함, 하드웨어 불안정, 데이터 기밀성, 데이터 무결성, 소프트웨어 설치 결함, 소프트웨어 결함, 접근 제어

결함, 부인방지 결함, 권한 부여 결함, 인간의 실수, 낮은 신뢰성, 인터페이스 결함 데이터 구조 결함, 로그 데이터와 통계 데이터의 결함, 환경 설정 결함이 있다. Fig. 6에서 전반적인 모든 결함에 대한 전자 교수학습 시스템의 결함 트리를 나타내었지만 보안성 위주의 결함 트리를 위하여 Fig. 7과 같이 보안성에 해당하는 부분만 추출하여 최상위 수준의 결함 트리를 만들 수 있다[7].

2) 전자 교수학습 시스템의 FMEA 기반 결함 분석

FMEA에 의한 전자 교수학습 시스템의 결함 분석을 위해서는 적당한 워크시트가 필요하다. 아래의 Table 3는 기존의 FMEA를 위한 워크시트를 축약 및 변경하여 나타내었다.

본 논문에서는 전자 교수학습 시스템의 FMEA는 3.6 전자 교수학습 시스템의 FTA에 FMEA를 후방으로 통합 방법 부분에서 자세히 다루기 위해 Table 3에서 FMEA의 사례를 제시한다. 이는 치명도, 발생도, 검출도, RPN의 이해를

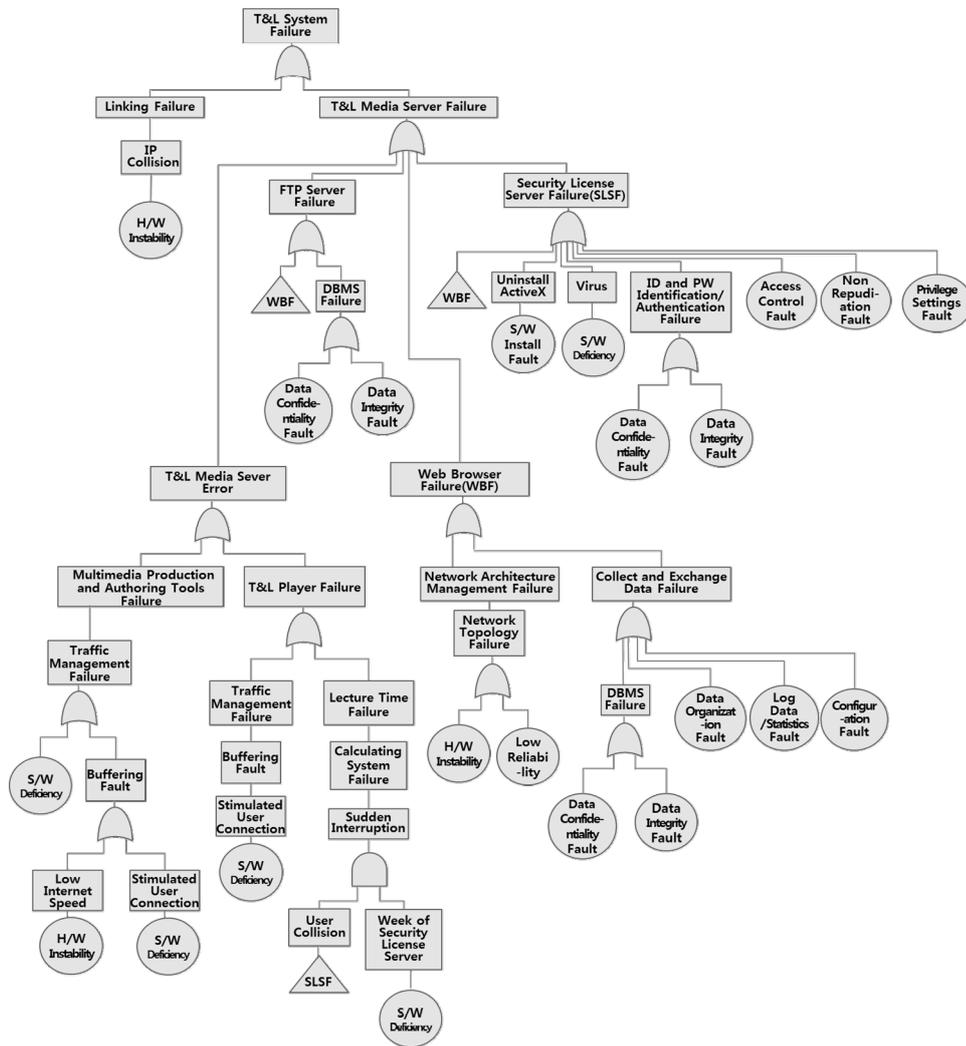


Fig. 7. Top Level Fault Tree in Consideration of the Security Related Faults

돕기 위한 개선 지시의 1차, 2차, 3차에 따른 RPN이 개선되는 가상적인 예를 나타낸 것이다. RPN은 치명도, 발생도, 검출도의 곱으로 표현할 수 있다. RPN이 개선된 것은 결함에 대한 치명도, 발생도, 검출도 등을 최대한 탐지하여 개선한 것으로 차수가 높아짐에 따라 결함이 감소되어 3차 개선에서는 RPN 개선율이 최고 83.4%까지 도달됨을 보여주고 있다. 또한 Table 3에서 치명도의 값이 1차, 2차, 3차에 있어서 동일한 이유는 치명도는 그 보안성의 위험은 시스템이나 소프트웨어가 개선됨에 있어서도 동일하기 때문에 본 논문에서는 각 소프트웨어 보안성 결함에 있어서 동일한 수치를 사용했다. 개선율은 (개선 전 RPN - 개선 후 RPN)/(개선 전 RPN)을 이용하여 구할 수 있다[7].

Table 3. Modified Calculated RPN Values by Improvement Instructions

	Improve before and after (IBA)	S	OC	DE	RPN	Improvement	
						Before improve ment(BI)	Before initial improve ment (BII)
first	before	7.5	9.3	10.0	697.5	20.9%	20.9%
	after	7.5	8.0	9.2	552.0		
second	before	7.5	8.0	9.2	552.0	46.1%	57.4%
	after	7.5	6.1	6.5	297.4		
third	before	7.5	6.1	6.5	297.4	61.2%	83.4%
	after	7.5	4.4	3.5	115.5		

한다. 그 이유는 FTA에 FMEA를 전방으로 통합한 방법은 FMEA를 중심으로 소프트웨어의 보안 결함을 분석하는 기법이기때 소프트웨어의 보안적인 수치 판단의 정량적 분석이 주를 이루고 또한 FMEA를 기준으로 하기 때문에 전자 교수학습 시스템의 모든 결함 원인을 하나하나 분석해야한다. 하지만 FTA에 FMEA를 후방으로 통합 방법을 통하여

3) 전자 교수학습 시스템의 FTA와 FMEA를 후방 통합 기반 결함 평가

본 절에서는 2.3 FTA와 FMEA의 통합 부분에서 설명한 FTA에 FMEA를 전방으로 통합한 방법과 FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 방법 중에서 후방으로 통합한 방법을 선택

전자 교수학습 시스템을 분석하면 FTA를 기준으로 하기에 최상위 사건인 전자 교수학습 시스템의 고장을 결과로 선정하여 top-down 방식으로 전자 교수학습 시스템의 고장 원인을 파악할 수 있다. 또한 FTA에 FMEA를 전방으로 통합한 방법은 보안적인 수치 판단의 정량적 분석이 주를 이루어 본 논문에서 접목하고자 하는 FTA에 FMEA를 후방으로 통합 방법보다 다소 효율이 떨어진다. 따라서 본 논문에서는 FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 방법을 전자 교수학습 시스템에 접목하여 FTA를 기준으로 전자 교수학습 시스템의 전체적 흐름을 알 수 있고 FMEA를 보조로 활용하여 그에 따른 보안성 수치를 적용하여 정량적이고 정성적인 분석을 제시한다.

본 논문의 3.4절에서 정의한 전자 교수학습 시스템의 보안성 위주의 결함 트리인 Fig. 7의 FTA를 FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 방법에 효율적으로 적용하기 위해 Fig. 8-12으로 다섯 가지 부분을 나누었다. 다섯 가지 부분은 사용자 지원, 웹 브라우저, 보안 라이선스 서버, FTP 서버 및 교수학습 미디어 서버별로 구성된다[7].

전자 교수학습 시스템의 다섯 가지 부분인 사용자 지원, 웹 브라우저, 보안 라이선스 서버, FTP 서버 및 교수학습 미디어 서버부분의 FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 결함 분석을 Fig. 8-12에서 알 수 있다. 각 그림에서 FTA에 의하여 전자교수 학습 시스템의 보안성에 연관된 고장 원인들 파악 할 수 있고 FMEA에 의해서 고장 원인의 1차와 2차에 걸쳐 개선 지시에 따라 전자 교수학습 시스템의 보안성이 개선된다는 것을 확인 할 수 있다. 즉 FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 방법을 통하여 FTA의 분석으로는 확인 할 수 없었던 RPN값을 구할 수 있어 더욱 효과적으로 시스템의 보안성을 확보 할 수 있음을 알 수 있다[7].

4) FTA와 FMEA를 후방 통합 기반 결함 평가

FTA와 FMEA를 후방으로 통합한 Fig. 8-12를 살펴보면 1차 개선과 2차 개선이 진행됨에 따라 개선율이 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 예로 Fig. 12의 [22]번 S/W Deficiency 부분을 Fig. 13과 같이 확대 하였다. Fig. 13을 보면 치명도, 발생도, 검출도가 1차 개선 전에 7.2, 8.3, 4.6으

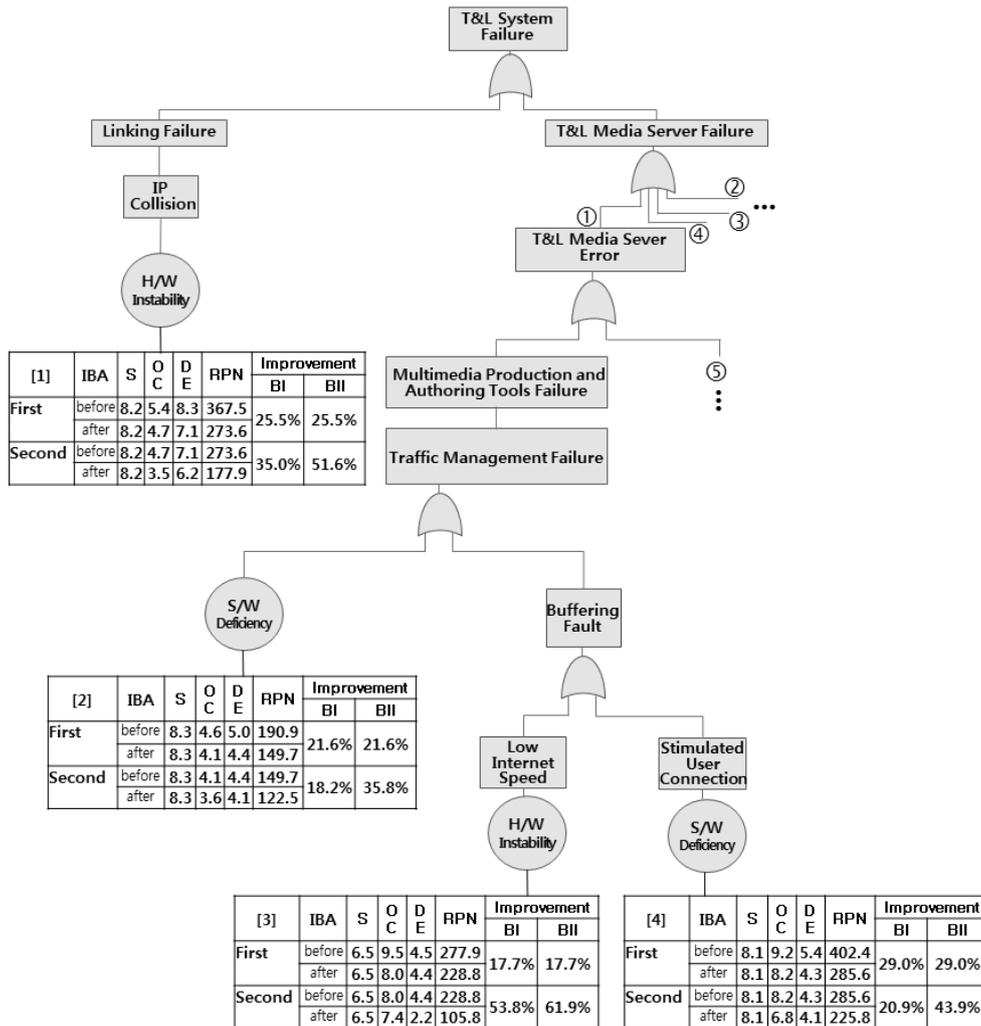


Fig. 8. Backward Integrated FMEA on FTA in the User Support Subsystem

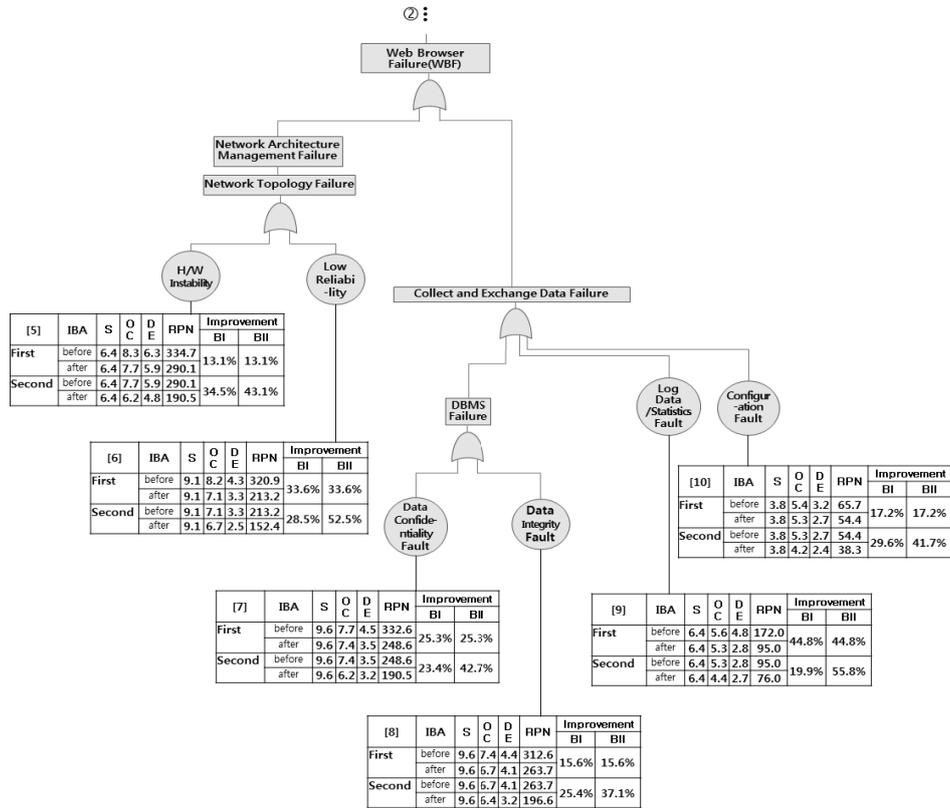


Fig. 9. Backward Integrated FMEA on FTA in the Web Browser Subsystem

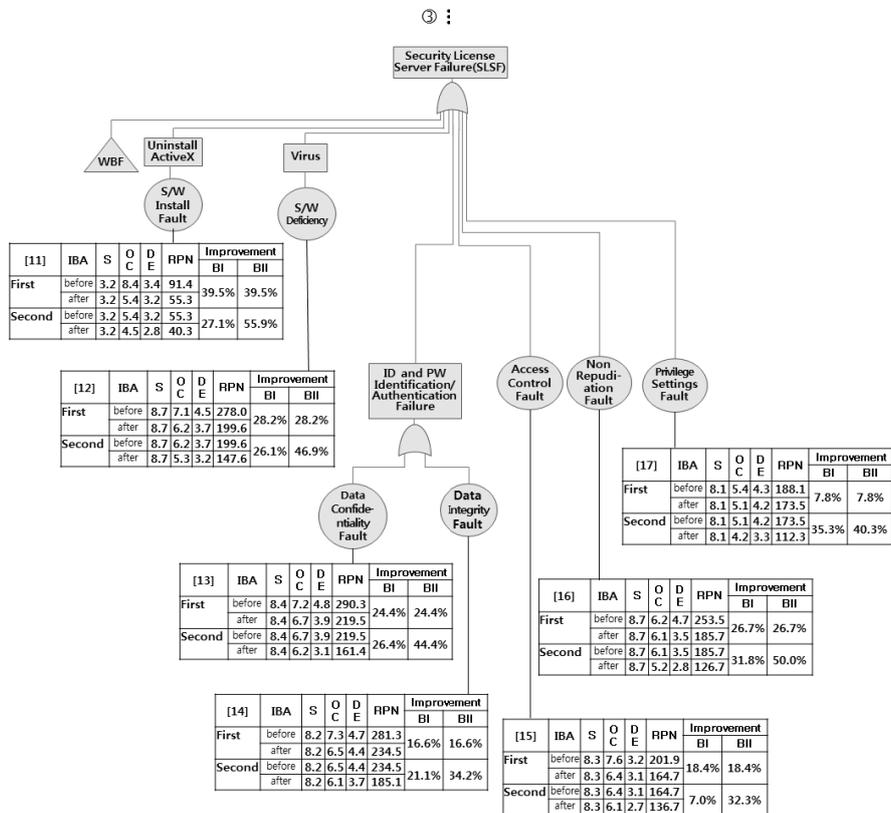


Fig. 10. Backward Integrated FMEA on FTA in the Security License Server Subsystem

로 각각의 곱인 RPN 값이 274.9가 나왔다. 이에 1차 개선 후에는 7.2, 7.5, 4.2로 RPN이 226.8이 나오므로써 17.5%의 개선율이 나올 수 있다. 2차 개선 후에는 각 값이 7.2, 6.4 3.7로 RPN이 170.5가 나왔다. 이는 1차 개선 대비 24.8% 개선효과를 보이고 있고 최초 개선 대비 38.0% 개선율을 보인다. 이처럼 FTA와 FMEA를 후방 통합한 기법을 사용함으로써 FTA의 장점인 결함들을 한 눈에 알기 쉽고 결함 흐름을 쉽게 파악할 수 있다. 또한 FMEA를 사용함으로써 결함이 1, 2차가 진행됨에 따라 개선되고 있는 것을 알 수 있다.

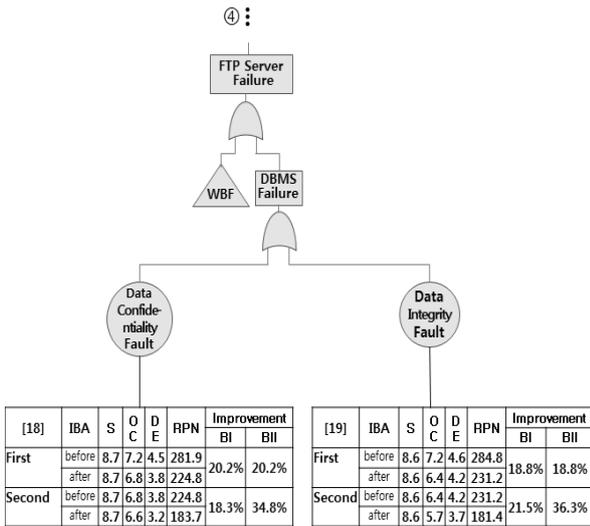


Fig. 11. Backward Integrated FMEA on FTA in the FTP Server Subsystem

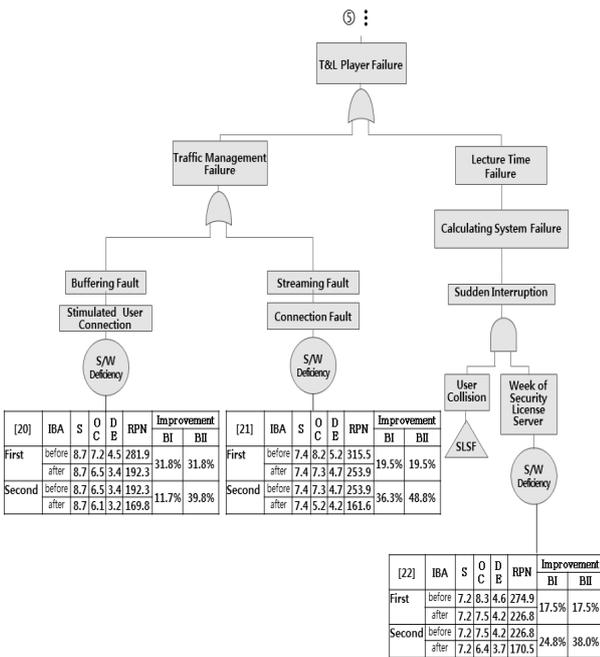
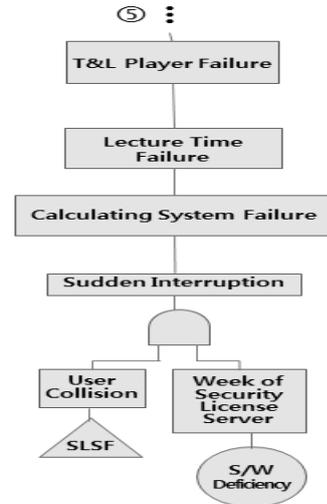


Fig. 12. Backward Integrated FMEA on FTA in the Teaching and Learning Media Server Subsystem



[23]	IBA	S	O C	D E	RPN	Improvement	
First	before	7.2	8.3	4.6	274.9	17.5%	17.5%
	after	7.2	7.5	4.2	226.8		
Second	before	7.2	7.5	4.2	226.8	24.8%	38.0%
	after	7.2	6.4	3.7	170.5		

Fig. 13. An Example of Security Evaluation Based on Backward Integration for e-Teaching and Learning System

### 5. 결론 및 향후 과제

소프트웨어 시스템의 보안성을 평가하는 많은 결함 분석 기법 중 하나 또는 둘 이상을 사용하여 시스템을 평가 할 수 있지만 IT와 멀티미디어 처리 기술 등이 발전하면서 시스템의 종류와 특성이 다양해져 하나만의 결함 분석 기법은 다소 부정확하다. 따라서 본 논문에서는 여러 가지 소프트웨어 시스템의 보안성 평가 방법 중에서 FTA와 FMEA 기법을 통합하여 시스템의 보안성을 평가하였다.

FTA는 결함 발생의 모든 원인들의 연쇄를 한눈에 알기 쉽고 FMEA는 시스템의 고장 모드가 어떠한 영향을 미치는가를 파악하고 시스템의 고장에 대한 대책 수업을 통해 개선할 수 있다. 각 기법의 통합 방법에는 FTA에 FMEA를 전방으로 통합한 방법과 FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 방법이 있다. 전자 방법은 FMEA를 중심으로 보안 결함을 분석하는 기법으로 소프트웨어의 보안적인 수치 판단의 정량적 분석이 주를 이루고 또한 FMEA를 기준으로 하기 때문에 전자 교수학습 시스템의 모든 결함 원인을 하나하나 분석해야만 한다. 하지만 후자 방법은 통하여 전자 교수학습 시스템을 분석하면 FTA를 기준으로 하기 위해 최상위 사건인 전자 교수학습 시스템의 고장을 결과로 선정하여 top-down 방식으로 전자 교수학습 시스템의 고장 원인을 파악할 수 있다. 또한 FTA에 FMEA를 전방으로 통합한 방법은 보안적인 수치 판단의 정량적 분석이 주를 이루어 다소 효율이 떨어진다. 따라서 본 논문에서는 FTA에 FMEA를 후방으로 통합한 방법을 사용하여 소프트웨어에 보안성을 판단하는 FTA를

먼저 사용하여 소프트웨어를 분석하고 모든 원인을 알고 FMEA를 보조로 활용하여 그에 따른 보안성 수치를 적용하여 정량적이고 정성적인 분석을 제시한다.

따라서 본 논문에서는 FTA에 FMEA를 후방으로 통합 방법으로 제시하여 전자 교수학습 시스템을 예로 적용하였다. 이는 각 결함 분석 기법의 단점을 보완하여 전자 교수학습 시스템의 보안성 문제를 포괄적이고 효과적으로 해결한다. 먼저 FTA를 통하여 모든 결함의 원인을 알 수 있었고, 전자 교수학습 시스템의 FMEA를 통해서 소프트웨어 보안성 결함 수치와 원인 및 영향을 분석했다. 이를 통해 전자 교수학습 시스템의 각 기본 사건의 치명도, 발생도, 검출도의 곱인 RPN 값을 구함으로써 개선 지시에 따라 1차, 2차의 결함이 감소됨을 쉽게 알 수 있었다. 현재에는 여러 가지 결함 분석 방법들이 존재하지만 본 논문에서 선보인 두 가지 이상의 기법을 통한 시스템 결함 분석을 통해 더욱 효과적인 분석을 할 수 있었다. FTA와 FMEA가 시스템의 보안성을 평가하는 데는 상호 보완적인 최적 결함 분석 기법이라고 할 수 있다. 따라서 우리는 계속해서 시스템의 보안성을 평가하기 위해 효율적인 결함 분석 기법들과 그 상호 보완적인 결함 분석 기법들의 조합을 연구하고 그 조합들의 방법이 더욱 보안성을 강화할 수 있도록 연구해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Doo-Hyun Kim and Jong-Ho Lee, "Qualitative Assessment for Hazard on the Electric Power Installations of a Construction Field using FMEA," *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol.19, No.14, pp.36-41, 2004,
- [2] S.Y. Kim, W.Y. Yun, and H.G. kim, "Reestablishment of RPN Evaluation Method in FMEA Procedure for Motors in Household Appliances," *Journal of the Korean Society for Quality Management*, Vol.35, No.1, pp.1-9, 2007.
- [3] Eun-Mi Kim, "Safety Verification Method Based on Fault Tree Analysis," *Proceedings of the Korean Information Science Society*, Vol.25, No.2, pp.582-584, 1998.
- [4] Hyo Young Kim and Hyuk Soo Han, "A Defect Prevention Model based on SW-FMEA," *Journal of Korean Information Science Society*, Vol.33, No.7, pp.605-614, 2006.
- [5] Myonghee Kim and Man-Gon Park, "A Study on the Software Fault Modes and Effect Analysis for Software Safety Evaluation," *Journal of the Korean Multimedia Society*, Vol.15, No.1, pp.113-130, 2012.
- [6] Man-Gon Park and Su-Do Kim, "The Architecture of e-Teaching and Learning System based on the CBD," *Proceedings of the Korean Multimedia Society*, Vol.7, No.2, pp.113-116, 2004.
- [7] Hyun Ki Park, "A Study on Methods of Fault Analysis and the Failure Effect Analysis for Security Improvement of e-Teaching and Learning System", Ph.D Dissertation of the PuKyong National University, 2012.
- [8] S.W. Lee, Y.H. Kim, H.J. Seo, J.H. Kim, and K.A. Moon, "Next Generation e-Learning Service: Focused on e-Learning System," *ETRI Electronics and Communication Trend Analysis*, Vol.20, No.4, pp.155-166, 2005.
- [9] Ik-Sung Lee, "A Study for Quality Improvement of Convention by Failure Mode and Effects Analysis," *Journal of the Korean Convention Society*, Vol.5, No.1, pp.101-107, 2005.
- [10] Joong-Soon Jang, "A Study on Performing FMEA Effectively," *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, Vol.4, No.4, pp.69-77, 1999.
- [11] Joong-Soon Jang and Dong-Geun An, "How to Perform FMEA Effectively," *Journal of the Korean Society of Quality Management*, Vol.25, No.1, pp.156-172, 1997.
- [12] Adem Sabic and Jasmin Azemovic, "Model of Efficient Assessment System with Accent on Privacy, Security and Integration with e-University Components," *Second International Conference on Education Technology and Computer(ICETC)*, Vol.3, pp.128-131, 2010.
- [13] Edgar R. Weippl, "Security in e-Learning," Springer, 2005.
- [14] Galyna Akmayeva, Charles Shoniregun, "Ontology of e-Learning Security," *International Conference on Information Society (i-Society)*, pp.652-655, 2010.
- [15] Jeffy Mwakalinga, Stewart Kowalski, and Louise Yngstrom, "Secure E-learning Using a Holistic and Immune Security Framework," *International Conference for Internet Technology and Secured Transactions(ICITST)*, pp.1-6, 2009.
- [16] Jianming Yong, "Security Modelling for e-Learning," *First IEEE International Symposium on Information Technologies and Applications in Education(ISITAE)*, pp.1-5, 2007.
- [17] M. Ben-Daya and Abdul Raouf, "A Revised Failure Mode and Effects Analysis Model," *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.13, No.1, pp.43-47, 1996.
- [18] M. Warren and W. Hutchinson, "Information Security-An E-learning Problem," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.2783, pp.21-26, 2003.
- [19] Najwa Hayaati Mohd Alwi and Ip-Shing Fan, "Information Security Management in E-Learning," *International Journal of Technology Enhanced Learning*, Vol.3, pp.358-371, 2010.
- [20] N. Snooke and C. Price, "Model-driven automated software FMEA," *Proceedings of Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, pp.1-6, 2011.
- [21] Najwa Hayaati Mohd Alwi and Ip-Shing Fan, "Information Security Management in E-Learning," *International Conference for Internet Technology and Secured Transactions(ICITST)*, pp.1-6, 2009.
- [22] Pascal Bou Nassar and Youakim Badr, "Towards Integrating Security Services in e-learning Platforms," *International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications(ACTEA)*, pp.573-577, 2009.

[23] Prveen Kumar, Shefalika Ghoch Samaddar, Arun B. Samaddar, and Arun Kumar Misra, "Extending IEEE LTSA e-Learning Framework in Secured SOA Environment," Second International Conference on Education Technology and Computer(ICETC), Vol.2, pp.136-140, 2010.

[24] Rodrigo de Queiroz Souza and Alberto José Álvares, "FMEA and FTA Analysis for Application of the Reliability Centered Maintenance Methodology: Case Study on Hydraulic Turbines," ABCM Symposium Series in Mechatronic, Vol.3, pp.803-812, 2008.

[25] Ruth Raitman, Leanne Ngo, Naomi Augar, and Wanlei Zhou, "Security in the Online e-learning Environment," Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies(ICALT), pp.702-706, 2005.

[26] Sigrid Schubert, Andreas Schwill (Advisors) and Christian Josef Eibl (Recipient), "Discussion of Information Security in E-Learning," Ph. D Thesis, Dept. of Computer Science, University of Siegen, Germany, pp.1-193, 2010. Retrieved on 16th November 2011 from <http://dokumentix.uni-siegen.de/opus/volltexte/2010/444/>

[27] Taiwo Ayodele, Charles A. Shoniregun, and Galyna Akmayeva, "Towards e-Learning Security: A Machine Learning Approach," International Conference on Information Society (i-Society), pp.490-492, 2011.

[28] Zhang Hong and Liu Binbin, "Integrated Analysis of Software FMEA and FTA," Proceedings of International Conference on Information Technology and Computer Science, pp.184-187, 2009.



### 진 은 지

e-mail : melissaly@naver.com

2011년 부경대학교 전자컴퓨터정보통신 공학부(공학사)

2013년 부경대학교 첨단정보과학 및 정보 기술전공 공학석사

관심분야: 소프트웨어 공학 및 재공학,

멀티미디어정보처리기술, 소프트웨어 안전성 및 보안성 공학, e-Learning and u-Learning 콘텐츠 개발



### 김 명 희

e-mail : mhgold@naver.com

동서대학교 정보통신공학과(공학사)

부경대학교 전자계산학과(이학석사)

부경대학교 정보시스템학과(공학박사)

2004년~2007년 정부간 국제기구 CPSC (콜롬보플랜기술교육대학)

Assistant Faculty, 정보기술 및 통신학처장

2011년~현 재 부경대학교 교육대학원 전자계산교육전공 강의 전담교수

관심분야: 소프트웨어 공학 및 재공학, 멀티미디어정보처리기술, 네트워크성능평가, e-Learning and u-Learning



### 박 만 곤

e-mail : mpark@pknu.ac.kr

경북대학교 수학교육(이학사)

경북대학교 수학교육(교육학석사)

경북대학교 전산통계학(이학박사)

Philippine Women's University

(국제행정학석사)

University of Rizal System, Philippines(명예 기술학박사)

Dept. of Electrical & Computer Engineering, University of Kansas (Post Doc.)

1981년~현 재 부경대학교 IT융합응용공학과 교수

2008년~현 재 한국멀티미디어학회(KMMS) 회장 및 명예회장

2002년~2007년 정부간 국제기구 CPSC (콜롬보플랜기술교육대학) 총재 (Director General and CEO)

2004년~2007년 Asia Pacific Accreditation and Certification

Commission 아태지역 인증 및 검증위원회 위원장

2005년~2007년 유네스코 (UNESCO-UNEVOC) 자문위원,

아시아개발은행 자문관

관심분야: 소프트웨어신뢰성공학, 비즈니스 프로세스 재공학

(BPR), 소프트웨어 공학 및 재공학, 멀티미디어정보

처리기술, 정보시스템성능평가, ICT-based HRD

System