

자동차 안전성 설계에서 설계 추적성을 활용한 고장형태 영향분석에 관한 연구

임관택* · 이재천*
*아주대학교 시스템공학과

On the Development of an FMEA Method for Automotive Safety Utilizing Design Traceability

Gwan-Taik Lim* · Jae-Chon Lee*
*Dept. of Systems Engineering, Ajou University

Abstract

In modern systems design and development, one of the key issues is considered to be related with how to reflect faithfully the stakeholder requirements including customer requirements therein, thereby successfully implementing the system functions derived from the requirements. On the other hand, the issue of safety management is also becoming greatly important these days, particularly in the operational phase of the systems under development. An approach to safety management can be based on the use of the failure mode effect and analysis (FMEA), which has been a core method adopted in automotive industry to reduce the potential failure. The fact that a successful development of cars needs to consider both the complexity and failure throughout the whole life cycle calls for the necessity of applying the systems engineering (SE) process. To meet such a need, in this paper a method of FMEA is developed based on the SE concept. To do so, a process model is derived first in order to identify the required activities that must be satisfied in automotive design while reducing the possibility of failure. Specifically, the stakeholder requirements were analyzed first to derive a set of functions, which subsequently leads to the task of identifying necessary HW/SW components.

Then the derived functions were allocated to appropriate HW/SW components. During this design process, the traceability between the functions and HW/SW components were generated. The traceability can play a key role when FMEA is performed to predict the potential failure that can be described with the routes from the components through the linked functions. As a case study, the developed process model has been applied in a project carried out in practice. The results turned out to demonstrate the usefulness of the approach.

Keywords : FMEA, Failure Mode, FTA, Requirements Analysis, Functional Analysis, Design Traceability

† 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2012R1A1A2009193)

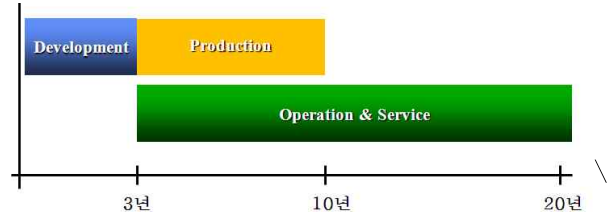
† Corresponding author: Prof. Jae-Chon Lee, Dept. of Systems Engineering, Ajou University, San 5, Woncheon-dong, Yeongtong-gu, Suwon, 443-749. Tel: 031-219-3941, E-mail: jaelee@ajou.ac.kr

Received January 18, 2013; Revision Received March 4, 2013; Accepted March 14, 2013.

1. 서론

현대의 모든 시스템들은 사용자가 원하는 기능의 명확한 수행을 위해 그 구성품들의 설계 및 개발에 다양한 방법을 적용하고 있고 또한 지속적인 발전을 이루고 있다. 기능의 명확한 수행을 위한 설계는 성공적인 시스템개발의 기본적인 요소이지만, 또 다른 요소로서 필히 고려해야할 부분이 시스템 운용 시의 위험에 대한 관리 그리고 위험예측 결과의 시스템 설계에의 반영이라고 할 수 있다. 예로 자동차 개발 시에 고장의 예측을 통해 운용 시에 고장이 발생할 가능성을 최대한 줄이고자 한다.

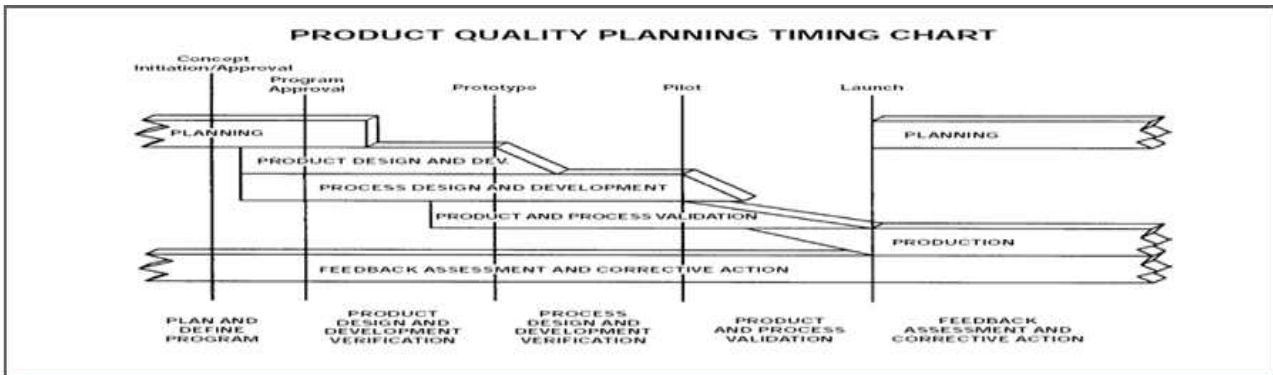
대표적인 위험 평가 방법으로 HAZOP (Hazard and Operability) 분석과 FMEA(Failure Mode Effect and Analysis; 고장형태 영향분석)을 들 수가 있는데, 전자는 시스템(또는 작업)에 대한 절차(또는 순차적인 작업)를 분석하는데 사용되며, 후자는 구조화된 평가를 통해 구성요소에 대한 고장유형의 평가를 통해 최적화를 하는 방법이다[1].



<Fig. 1> A model for the life cycle of automotive systems.[2]

여러 위험 평가 방법 중 본 논문에서는 자동차를 대상으로, 수명주기 내에서의 기능을 고려한 고장의 예측 영역이 주 관심 대상이다. 자동차의 라이프사이클은 <Fig. 1>과 같다. 자동차의 전 라이프사이클을 고려하여 제품을 다뤄야 하는 엔지니어에게는 제품이 폐기되기 전까지 원래의 기능을 수행할 수 있도록 해야 한다.

이를 위한 필수적인 영역이, 제품에 어떤 고장이 발생할 수 있는지를 미리 예측하여 이러한 고장들이 발생하지 않도록, 설계 및 제조 시에 미리 조치토록 하는 고장예방 방법을 수행한다.



1단계 입력물	1단계 출력물	2단계 출력물	3단계 출력물	4단계 출력물	5단계 출력물
고객의 소리 사업계획/마케팅전략 제품/공정 B/M 자료 제품/공정 가정 제품 신뢰성 연구 고객 입력물	설계목표 신뢰성 및 품질목표 예비BOM 예비공정흐름도 특별제품 및 공정특성의 예비목록 제품보증계획 경영자지원	설계FMEA - DFM & DFA - 설계 검증 - 설계 검토 - 시제품 제작 - 엔지니어링 도면 - 기술 및 재료 사양 - 도면 및 사양 변경 장비/금형/설비 요건 - 특별 제품/공정 특성 - 시작 관리 계획 - 게이지/시험장비 - 팀 타당성 확인 및 경영자 지원	- 포장규격 - 양산 선행 관리계획 - 제품/공정 품질시스템 검토 - 공정지침서 - 공정흐름도 - 측정시스템 분석계획 - 특성 매트릭스 - 초기 공정능력 조사 계획 - 공정배치계획도 - 포장사양 - 공정FMEA - 경영자 지원	- 양산시험가동 - 측정시스템 평가 - 초기 공정능력 조사 - 양산부품 승인 - 양산 유효성 확인 시험 - 포장 평가 - 양산관리 계획 - 품질계획 완료 확인 및 경영자지원	감소된 산포 - 고객만족 - 인도 및 서비스

<Fig. 2> The role of FMEA in the AIAG (Automotive Industry Action Group) APQP(Advanced Product Quality Plan) Process.[5]

이러한 영역의 고장예방을 위한 방법이 고장형태 영향분석이며, 제품 및 공정의 잠재적인 고장형태를 규명하고, 이를 제거하기 위하여 사용하는 분석적 방법으로 정의된다[3]. FMEA는 자동차 개발 프로세스의 핵심 영역이며, <Fig. 2>와 같이 미국 AIAG APQP 프로세스 상의 1~3 단계에 걸친 영역에서의 주요 입/출력물에 광범위하게 연계되는 핵심 요구사항이다.

FMEA가 고객 요구사항(광의의 의미는 이해당사자 요구사항으로, 이해당사자는 고객(시스템 구매자 및 사용자), 개발자, 운용자, 정비자, 경영자 및 주주 등을 포함하는 광범위한 개념인데, 편의상 고객 요구사항으로 부르는 경우가 많다.)을 평가하고, 제품 및 공정 인력과 시스템 보안과 개인의 안전에 중점을 두며, 잠재 고장형태의 발생위험을 최소화하는 방식으로 개발된다[8].

하지만 실제 수행되는 고장예측의 방법은, 작성 매뉴얼[3]이나, 6시그마를 이용한 디자인[6], 심지어는 상기 두 자료들의 기준인 MIL-STD[4]에도, FMEA 고장형태를 다기능 팀이 모여 과거의 경험과 브레인스토밍을 통해 고장을 예측하도록 유도하는데, 이는 고장형태 누락의 큰 위험이 있었다.

따라서 자동차 시스템의 전 수명주기별 관점 그리고 동시에 계층적 관점에서 고장형태 영향분석 활동의 수행이 필요하다.

이러한 필요성에 바로 부합하는 것이 시스템 공학적 방법론이며, 이를 통해 자동차 시스템 전 수명주기에 걸쳐 안전도 향상을 추구할 수 있다.

구체적으로 본 논문에서는 고장형태의 도출을 위해 (개인들의 경험과 브레인스토밍을 통한 것이 아닌) 시스템공학 프로세스를 기반으로 모든 시스템 설계의 출발점인 고객 요구사항의 분석과 이에 기반 한 기능으로부터 고장형태가 분석될 수 있는 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본 서론에 이어 제2장에서는 관련 선행연구의 분석을 통해 문제정의 및 연구 목표를 기술하였다. 제3장에서는 시스템 공학 프로세스에 기반 한 FMEA 수행 단계들을 도출하였고, 각 단계에서의 상세활동에 대하여 정의하였다. 제4장에서는 사례연구로서 3장에서 개발된 FMEA 수행활동모델을 자동차시스템의 실제 설계에서의 적용을 통하여 연구결과의 검증을 시도하였다. 마지막 제5장에서는 본 연구에서의 주요 결과를 정리함으로써 결론을 맺었다.

2. 문제의 정의

2.1 시스템 공학적 접근을 통한 자동차 고장형태 도출 방법

자동차 시스템의 복잡성에 따른 결과, 보다 안전성이 중요해지고, 고장에 대한 예측을 통한 고장 발생위험의 축소를 위해 많은 연구가 진행 중이다. 이러한 노력의 효율성을 높이기 위해서는 시스템 공학의 체계에 따라, 고객 요구사항을 분석하고, 기능을 분석하며, 기능을 수행하지 못하는 고장을 연계하여, 목적하고자하는 고장형태를 도출하면, 엔지니어의 경험에 대부분 의존하여 도출되는 체계 없는 고장형태의 문제를 극복할 수 있다.

2.2 표준 상의 기존 고장형태 도출 방법

FMEA 표준의 핵심인 MIL-STD 1629A에는 FMEA 프로세스와 임무를 담고 있는데, 모든 잠재적 부품과 관계된 고장형태를 도출하고, 기능 또는 부품/시스템의 수행업무에 미치는 영향을 정의했다. 이 논문에서 다루고자하는 목표 개념인 고장형태의 정의와 관련하여, 고장 개별 아이템 기능의 고장형태는 시스템 정의 설명에 기술된 요구사항과 아이템 업계의 규칙에 따른 고장 정의를 기반으로 했다[4].

자동차 산업 표준으로 사용되는 FMEA 작성 방법을 다룬 것이 AIAG의 FMEA Manual [3]이다. 여기서는 구체적인 고장형태에 대한 도출방법에 대해서, 고장형태는 제품이 디자인 의도에 일치하지 않는 방법 또는 수단으로 정의 했으며, 고장이 발생할 수 있음을 전제로 했다.

고장예측의 핵심인 위 두 표준에서는 본 논문에서 다루는 고장형태의 분석 방법에 대해 구체적으로 명시하지 않았다.

명확한 고장형태에 대한 분석 방법을 다룬 것이 DFSS(Design for Six Sigma)[6]였다. DFSS에서는 고장형태는 구조의 각 계층 단위들이 초기 의도와는 다르게 고장 날 수 있는 방법에 대해 설명한 것으로 팀이 브레인스토밍을 통해 수행한다고 명시하고 있다.

결국은 명확한 시스템 공학적 방법론이라는 표현만 사용치 않았지 시스템 공학적 프로세스 및 계층의 분석을 다루고 있고, 이 기준으로 판단한다면 FMEA의 핵심 요소인 고장형태도 시스템 공학적 사고인 고객요구 및 분석기능과 연계된 사고를 통해 도출할 수 있다.

2.3 고장형태 도출의 선행 연구 분석

본 논문의 연구목표와 연계될 고장형태의 분석에 대해 선행 연구의 핵심은, FMEA를 독자적으로 수행하지 않고, HBD(Hardware Block Diagram), FBD (Function

-al Block Diagram), FTA(Fault Tree Analysis) 등의 분석도구를 사용하여 연계된 분석을 수행했다는 것이다[4][9]. 특히 FTA는 구성 요소 장애의 측면에서 특정 장애를 표현함으로써 시스템의 구조의 시각적 표현을 제공하고 시스템 신뢰성에 장점이 있으며, FMEA는 장비가 고장 날 수 있는 모든 가능한 경로와 그 고장이 시스템에 미치는 영향을 결정했다[10]. 고장형태는 사전 분석 단계 동안이나 FTA의 도움으로 수집된 정보를 사용하여 확인할 수 있다[8].

FMEA의 고장예측의 중요한 목적은 제품과 공정에 대한 실패가 성공적으로 제거되었는지를 확인하기 위한 개발 시험의 방법과 절차를 개발하는 것이다[11]. 복잡한 프로세스에 적용된 FMEA의 전통적인 결점을 보완하기 위해 FTA의 접근 방법을 포함한 FMEA와 FTA의 통합된 결과물을 제공한다[12].

위와 같은 개념적인 부분에서의 선행연구 결과는 실제 제품의 설계와 공정의 검토를 필요로 하는 상황에서는 개념 적용이 불가하며, 이를 기반으로 개발된 상용 소프트웨어들도 자동차 제조사를 기준으로 한 분석 내용이 전체 구성의 핵심이 되므로 하부 단계에서의 기능과 고장에 대한 연계성의 확보 및 고장을 예방하는 목적으로서의 FMEA 수행이 불가하다. 이는 대표적인 자동차 부품업체 중 하나인 델파이의 연구결과에서도 다뤄진다. PHA(Potential Hazard Analysis)를 수행하기 위한 기본 단계로 첫 번째는 시스템과 관련된 잠재적인 위험을 식별하기 위해 브레인스토밍이나 기존의 잠재적 위험 목록을 검토한다[13].

2.4 연구 목표 및 범위

이상과 같은 모든 선행 연구 자료에 언급된 FMEA 수행 프로세스는 시스템적 접근법을 주장하면서, 구체적인 수행을 위한 고장형태의 도출방법과 관련한 사항은 브레인스토밍이나 습득교훈(Lessons Learned)와 같은 과거 경험에 의존한 데이터 확보를 주장하고 있다. 이런 형태의 주관적이고 체계적이지 못한 고장에 대한 접근은 향후 제품을 시장에 내 놓고 난 후에 발생하게 되는 많은 문제점에 대해 개발 엔지니어들의 경험부족의 답변 밖에는 이유를 댈 수 없는 FMEA를 만들게 된다.

자동차와 관련된 많은 고장의 분석 자료 들은 그 유용성으로 대부분의 고장이 예방된다. 이 연구의 목적은 자동차 및 그 부품이 많은 고장이 발생되기 때문에 고장 분석의 방법을 바꿔야 한다는 것이 아니고, 무결함 차량 즉 완벽한 제품에 가까운 것을 만들기 위한 노력으로서의 방법을 다루고자 함이며, 이 방법을 <Fig.

3>과 같은 시스템 공학적 프로세스를 응용한 고장형태 분석의 방법을 제시한다.

3. 시스템 공학기반으로 개발된 고장형태 분석 프로세스

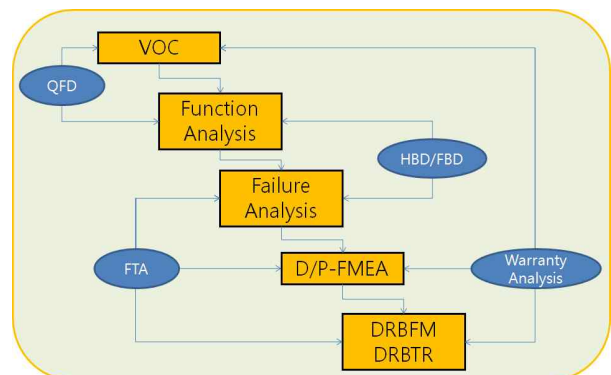
3.1 공학개발 단계에서 고장형태 분석 프로세스 모델의 도출

본 논문은 시스템 수명주기 모델[7]의 3단계 중 두 번째 공학개발 단계(Engineering Development stage)의, 선행개발기간(Advanced Development Phase)으로 위험 범위를 식별하고 분석/개발/시험 등을 통해 위험을 경감하는 시기와 공학설계기간(Engineering Design Phase)으로 예비와 최종 설계를 수행하며, 하드웨어와 소프트웨어 컴포넌트를 세우고 시험을 수행하는 기간을 포함하는 FMEA가 포함되는 시기이다.

따라서 시스템 수명주기 모델을 기반으로 본 논문을 통해 개발된 <Fig. 3>의 모델은 언급한 영역에서 수행되는 자동차 시스템 및 서브시스템의 단위에서 수행되는 개발 활동들을 대상으로 한다. 고객요구사항으로부터 선행되는 개념설계 단계를 통해 시스템의 상위 기능, 성능, 인터페이스가 정의되면, 시스템 하위 구성품의 기능에 대한 베이스라인의 기준으로 활용 된다.

3.2 고장형태 분석 프로세스 모델의 상세 수행활동 정의

개념 설계 단계의 결과물인 시스템 기능적 사양들은 공학설계단계(Engineering Design Phase) 로 입력되어 선행개발단계로 입력되며, 이것이 자동차 영역에서는 <Fig. 2>를 통해 설명한 APQP 프로세스와 같다.



<Fig. 3> Proposed failure analysis combined with the analysis of customer requirement and its associated functions.

본 논문을 통해 개발하여 제시한 <Fig. 3>의 고장 분석 프로세스를 단계적으로 살펴본다.

1) 입력된 고객 요구사항을 기능분석을 통해 기능으로서 연계되도록 해야 한다. 이를 위해 사용되는 방법이 QFD(Quality Function Deployment)이며, QFD는 대상 시스템의 요구사항을 제품의 기능과 연계하는 방법론이다. 이 단계에서 중요한 사항은 모든 고객 요구사항에 대하여 제품의 기능과 연계하고, 고객 요구사항의 중요도를 파악하여 우선순위를 부여함에 따라 연계된 제품의 기능에 우선순위를 부여할 수 있게 되므로 제품 개발자로 하여금 어떤 기능이 더 중요한지를 파악할 수 있게 한다. 고장 분석 프로세스로서의 중요한 점은 고장의 영향에 대한 명확한 근거를 확보해 줌으로서 위험도의 수준을 판단할 수 있게 하며, 개발자의 입장에서는 개선을 위해 어떤 고장에 더 관심을 가져야 할지에 대해 기준을 제시한다.

2) 기능을 고장으로 연계하는 두 번째 루프의 첫 번째는 분석도(Block Diagram)를 통한 기능의 연계성을 다루는 부분이다. 분석도는 설계 영역 내의 부품과 서브 시스템 간의 연계성, 입/출력 요소와 시스템간의 연계성, 시스템에 영향을 주는 인자들의 관계를 표현하는 방법이다. 주요한 두 종류의 분석도는, 분석 대상의 기능에 대한 명확한 정의를 위해 부품분석도(HBD; Hardware Block Diagram)와 기능분석도(FBD; Functional Block Diagram)을 작성한다. 부품분석도는 구성품의 연계성을 다루고, 기능분석도는 제품의 기능을 중심으로 연계성을 다룬다. 강조되어야 할 사항은 이를 통해 연계성을 다루게 된다는 점이다. 왜냐하면 대부분의 고장분석의 자료들을 보면 개별 부품에 대한 고장의 데이터는 많지만, 부품간의 연계성을 누락하게 되는데, 제품의 고장은 결국 연계성의 문제로 발생하는 것이 훨씬 더 많기 때문이다. 두 개의 분석도의 관계도 중요한데, 결국 이후에 사용될 것은 기능분석도지만, 기능분석도가 잘 만들어지기 위해서는 부품분석도가 훌륭한 가이드 역할을 해야 한다. 중요사항은 부품분석도 상의 부품 고유의 기능은 물론 부품간의 관계된 기능이 기능분석도 상에 빠짐없이 나타나도록 해야 한다는 것이다. 때문에 두 개의 분석도는 서로 보완되며 두 개의 결과물을 함께 도출한다.

3) 기능을 고장으로 연계하는 두 번째 루프의 두 번째 과정이 본 논문에서 연구된 기능정의를 통해 고장이 연계되어 도출되도록 하는 중요 단계로, 기능분석도에서 도출된 연계된 기능을 FTA(Fault Tree Analysis;

고장나무분석)를 통해 고장으로 연계시키며, 고장의 수준을 체계화하는 것이다.

기능분석도에서 도출되는,

(1) 출력요소는 분석대상인 시스템의 기능으로 고장을 다루는 FTA에서는 첫 번째 수준의 고장으로 표기된다.

(2) 분석의 대상에 대한 연계된 기능들은 고장을 다루는 FTA의 두 번째 수준의 고장으로 표기된다.

(3) FTA의 세 번째 수준의 데이터는 두 종류로 구분될 수 있는데, 하나는 설계적인 고장원인을 도출하여 설계 FMEA의 데이터로 사용할 수 있고, 다른 하나는 제조적인 고장원인을 도출하여 공정 FMEA의 데이터로 사용할 수 있다. 즉, 설계와 공정에 대한 고장의 분석이 동일한 출발선인 고객 요구사항으로부터 기능의 분석을 수행하고, 그 기능을 수행하지 못할 가능성을 설계적인 원인과 제조적인 원인으로 구분하는 것이 두 FMEA의 수행 방법이다. 이와 같은 방법이 수행된 후에 공정에 대한 추가적인 분석을 통해 공정 FMEA가 완성될 수 있는 것이지, 공정의 데이터만 빠짐없이 반영한다고 해서, 공정에서 발생할 수 있는 문제의 원인을 제거할 수 있는 것이 아니다.

여기까지의 내용을 정리하여 FMEA로 만들면, (1)항은 FMEA의 고장의 영향이 되고, (2)항은 고장의 형태가 되며, (3)항은 고장의 원인이 된다. 다시 강조하면 본 논문의 주제인 고장의 형태를 브레인스토밍의 무작위적 경험의 형태가 아닌, 기능의 정의를 통한 고장의 형태 도출이 가능한 방법을 설명한 내용이다. 또한 FMEA의 분석의 목적인 고장의 세 형태(고장영향, 고장형태, 고장원인)를 FTA를 통해 체계적으로 정리 구분할 수 있고, 가장 중요한 고장의 원인(메카니즘)의 도출을 통해 이후 수행될(FMEA에 정리될) 설계의 검증이 가능한 상태가 된다.

(4) FTA의 세 번째 수준인 고장원인이 도출되면, 고장원인이 발생하지 않도록 어떻게 할 것인가가 현 설계(공정) 관리항목으로 기입되는데, 이것이 도면 및 TS(Technical Specification)의 내용이 된다. 공정에서는 공정에서의 예방과 검출을 위한 항목으로 나중에 공정관리의 기준인 관리계획서(Control Plan)와 연계되도록 한다.

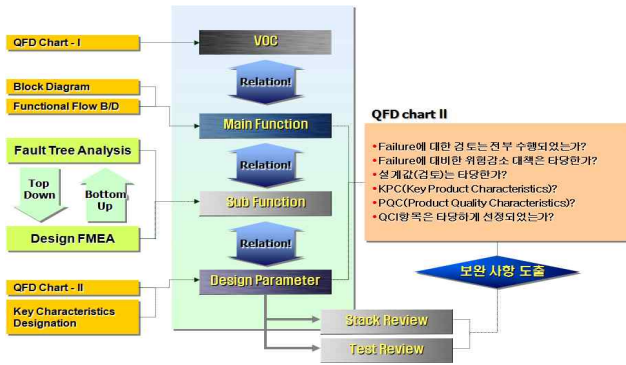
이와 같은 4단계의 업무를 통해 기능을 고장으로 연계하는 두 번째 루프의 과정이 수행된다.

4) FMEA의 고장 및 관리항목의 데이터가 확보되면, 설계 데이터 및 고장분석(Warranty) 데이터 들을 활용하여 점수화 하며, 이상의 과정을 통해 분석의 대상에 대한 FMEA가 만들어진다.

자동차 및 분석의 대상이 될 대부분의 시스템 들은,

없었던 개념의 것이 만들어지지 않으며, 앞서 개발된 제품의 개선을 통해 개발된다. 따라서 제대로 만들어진 고장이 데이터도 습득고훈으로서의 역할을 수행하며, 이후 개발될 제품의 고장 데이터의 베이스라인이 된다.

이상과 같이 설명한 본 논문에서 제시하는 고장형태 분석 프로세스와 구체적인 방법론들은 다음의 실제 자동차 개발 사례를 통해 검증했다.



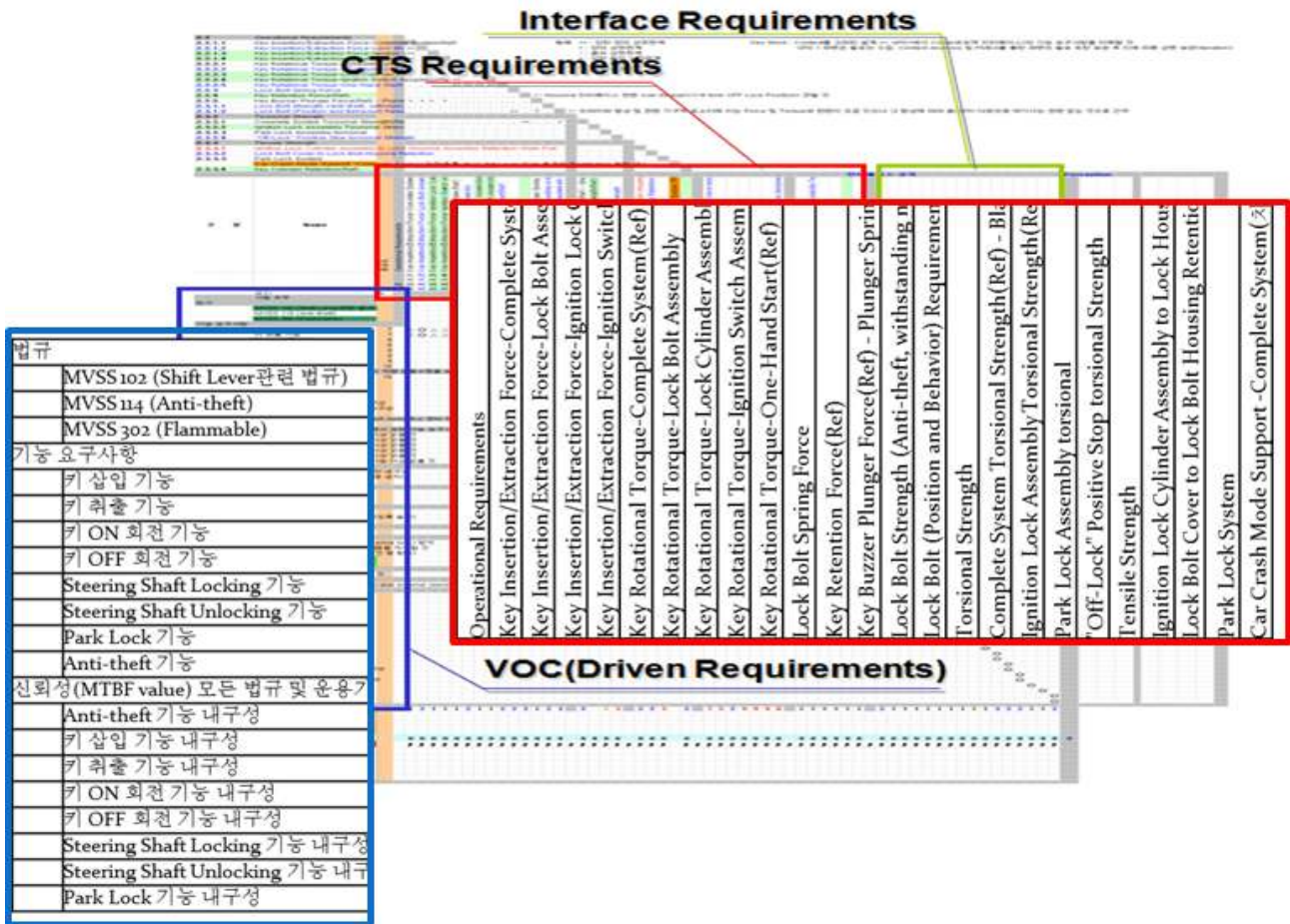
<Fig. 4> Application of the proposed method in the failure analysis of the start subsystem.

4. 개발된 고장형태 분석 프로세스의 실제 적용 사례연구 - F사 T차량 시동 시스템

자동차를 운전해 본 경험이 있다면 누구나 차량의 시동을 걸고 차량을 출발 시키는 작동은 해 보았을 것이므로, 시동 시스템은 구축된 고장 프로세스를 다른 시스템 보다는 쉽게 이해할 수 있는 사례이다.

<Fig. 3>의 고장 분석 프로세스 모델의 각 단계를 따라 자동차 시동 시스템의 고장분석을 적용한 실제 자동차 부품 개발 사례이다. <Fig. 4>는 시동 시스템의 고장 분석 프로세스이며, 고객의 요구사항이 제품의 기능과 연계되고 고장으로 분석되며 설계 인자들과 연계되는 사항을 전체적으로 볼 수 있다. 이를 위한 QFD, 각 분석도, FMEA, FTA의 분석 도구들의 연계성도 확인할 수 있다.

<Fig. 4>에 따른 세부적인 항목들을 3.2 고장분석 프로세스의 세부적인 단계에 따라 살펴본다.

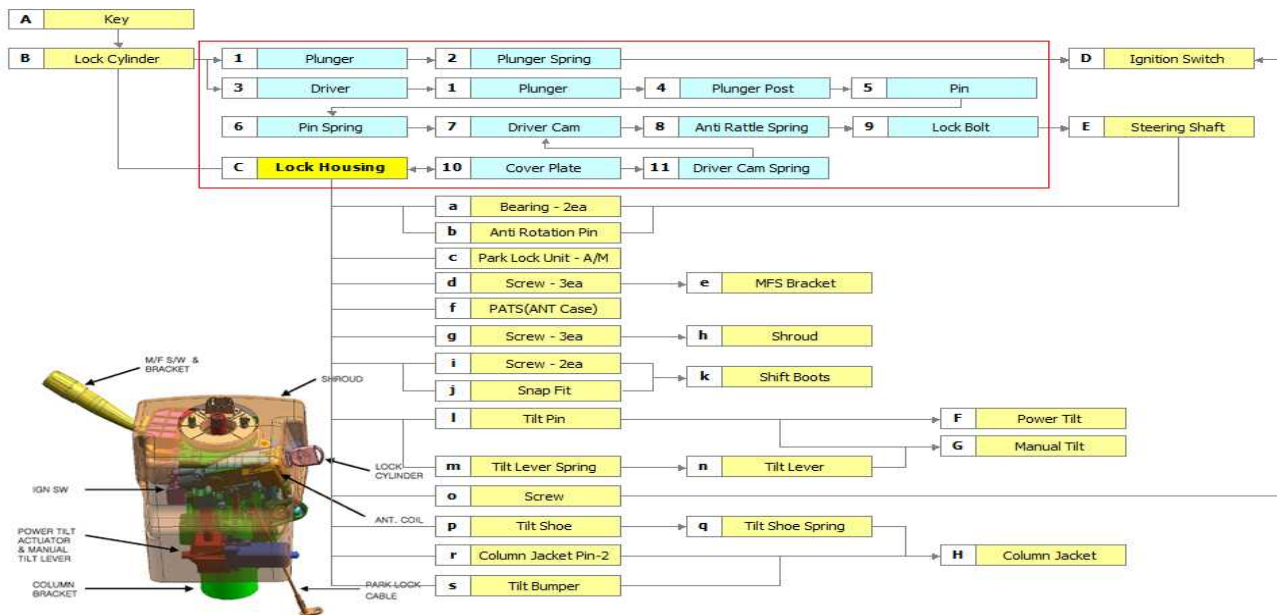


<Fig. 5> Traceability between the VOC and the functions.

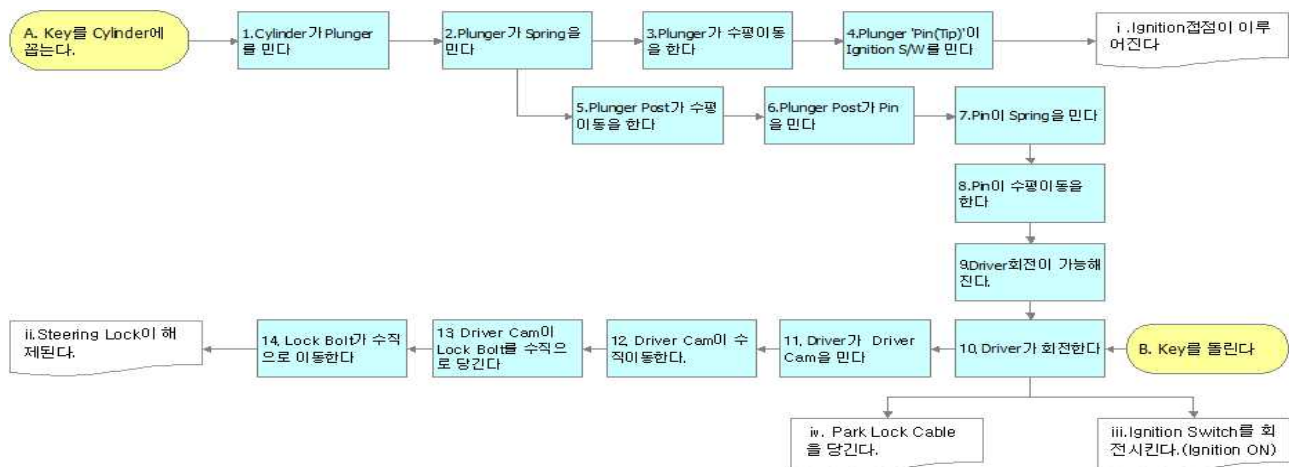
1) QFD를 통한 고객요구사항의 기능연계성을 <Fig. 5>에서 다루었다. QFD 우측 영역이 고객으로부터 요구된 차량 상태에서의 요구사항이고, 상부에 CTS (Component Technical Specification)와 Interface 요구사항이 있어 부품 상태의 요구사항이 연계되어 상/하 레벨의 요구사항이 연계되며, 그 내용을 중간부 매트릭스에 나타냈다. <Fig. 5>에는 언급한 두 영역을 확대하여 표현했는데, 고객 요구사항으로서의 항목은 FMVSS302 등의 법규사항과 자동차 키의 삽입기능과 같은 기능적 요구사항, 내구성을 포함한 신뢰성의 영역으로 구분하여 도출하였다. 여기에 CTS 요구사항으로서의 키 삽입/취출력, 키 회전력, 부품 강도 등을 입력하여, 고객요구사항과 기능적 요구사항의 관계를 중간부 매트릭스에 가중치를 두어 표기했으며, 이를 통해

고객 요구사항과 제품의 기술적 요구사항의 관계 및 중요도를 산출하였다.

2) 제품의 기술적 요구사항을 시스템 분석의 기준인 입/출력과 분석 대상 시스템의 기준으로 체계화하고, <Fig. 6-1,2>과 같은 자동차 시동 시스템의 부품분석도와 기능분석도를 통해 본 논문의 핵심인 고장형태를 도출해 낼 수 있는 기능들과 연계성을 찾아 낸 사례이다. <Fig. 6-1>은 부품 분석도이고, 분석의 대상인 시동시스템의 모든 부품을 나열하는데, 중요한 점은 기능을 중심으로 연계되도록 부품을 나열하는 것이다. 한 가지 기능인 D Ignition Switch의 기능이 수행되기 위해서, A Key → B Lock Cylinder → 1 Plunger → 2 Plunger Spring → D Ignition Switch로 연계되는 부품의 연관관계를 표현했다.



<Fig. 6-1> Diagram obtained from the component structure analysis of the start subsystem.



<Fig. 6-2> Diagram obtained from the functional analysis of the start subsystem.

<Fig. 6-2>는 기능 분석도이며, 부품 분석도에서 표기된 부품들의 연계성을 기능으로서 표현한 것이다. 위에서 사레로 표현한 Ignition Switch의 기능을 위해서, A. Key를 Cylinder에 꼽는다. 는 입력기능으로부터, 1. Cylinder가 Plunger를 민다. → 2. Plunger가 Spring,을 민다. → 3. Plunger가 수평이동 한다. → 4. Plunger 끝단이 Ignition Switch를 민다., 그래서 Ignition Switch 접점이 이루어진다. 인 출력기능으로 연계된다. 다음 단계로 나아가기 위한 핵심사항이 연계된 기능을 서술식으로 하나씩 빠짐없이 나열하는 것이다.

3) 기능 분석도의 출력기능이 <Fig. 7> FTA에 나타내진 첫 번째 레벨이고, 구성품의 기능이 FTA의 두 번째 레벨이 된다. 예로 출력기능인 Ignition Switch 접점이 이루어진다. 라는 출력기능이 FTA의 첫 번째 레벨에서 P1 Ignition 접점 'ON'기능이 되지 않는다. 라는 고장형태로 변환되고, 1. Cylinder가 Plunger를 민다. 라는 부품의 기능이 FTA의 두 번째 레벨인 P11 Cylinder가 Plunger를 밀지 못한다. 는 부품의 고장형태로 변환된다.

즉, 브레인스토밍이나 과거 기술적 경험을 통한 고장형태의 분석이 아닌, 이 변환과정에서 고장형태가 기능으로부터 직접 도출되며, 고장형태의 누락이 없게 된다.

4) 이렇게 기능분석도의 연계된 기능을 각 고장의 단계들로 전환한 FTA가 완성되면, 세 번째 단계의 원인이 두 원인 영역으로 구분되어 분석될 수 있는데, 제품 고장형태에 대한 한 가지는 설계원인이고 이는 설계의 오류로 인한 제품의 고장을 다루는 것이고, 다른 한 가지는 공정원인으로 제품을 설계한대로 만들지 못한 것으로 인한 제품의 고장을 다루는 것이 된다. 두 원인에 따라 전자를 설계 FMEA, 후자를 공정 FMEA라고 하며, 두 종류의 고장예측의 결과물이 만들어지게 된다. <Fig. 8>의 결과물이 그중 하나인 설계FMEA이다.

FMEA를 통한 고장예측의 핵심 데이터인 기능, 고장영향, 고장형태, 고장원인 등이 FTA의 각 레벨로부터 연계되며, 예로 <Fig. 8>의 내용과 같이, Ignition 접점 'ON' 기능으로부터 FTA의 P1이 고장영향으로, P11이 고장형태로, P111이 고장원인으로 도출되어 FMEA에 사용된다.

5. 결 론

자동차 시스템 및 구성부품의 수명주기를 고려한 고장예측을 위한 노력들이 수행되고 있지만, 하드웨어 자

제도 복잡해지고 있으며, 시스템이 점차 하드웨어 중심에서 소프트웨어 중심으로 이동함에 따라 보이지 않는 시스템 구성요소에 대한 고장을 예측하는 것이, 엔지니어의 경험과 지식에 의존한 브레인스토밍만으로는 어렵게 되었다.

따라서 본 연구 수행을 통해서 자동차 시스템 개발 사업에 있어서 보다 체계적으로 설계와 제조 공정을 검증하는 FMEA에 시스템공학 프로세스에 의한 설계 접근과 체계적인 시스템 계층관점에서의 접근의 설계 방식을 통한 개발활동으로 향후 보다 개선된 설계 신뢰도를 갖추도록 하는 것이다. 자동차의 고장예측의 누락이란 바로 인명과 연계되는 사고를 발생시킬 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 시스템 공학적 개념에서 고객의 요구사항을 파악하여 기능을 정의하고, 기능정의를 연계한 고장분석을 수행함으로써, 고장형태가 기능을 통해 도출되도록 하여 누락의 실수를 최소화하고자 함이 목적이다.

이를 위해 표준 및 선행연구에서 수행되지 않은 고장예측의 프로세스를 <Fig. 3>으로 제시하였고, 고장을 기능이 되지 않는 모든 것으로 정의하는 방법을 사용함으로써 누락되는 고장이 없도록 한 <Fig. 6-2>와 <Fig. 7>의 연계성을 통한 <Fig. 8>의 도출이 이 논문의 핵심 내용이다.

향후에는 본 연구에 기초하고 시스템 공학의 추적성 관리를 연계한 DRBFM(Design Review Based Failure Mode; 제품의 변경사항에 설계검증을 통한 위험관리 및 문제의 사전예방 방법)과 DRBTR(Design Review Based Test Report; 제품의 변경사항에 대한 검증 및 테스트에 초점을 맞춘 접근 방법)을 시스템 공학적으로 사용하는 고장분석 방법의 추가적인 연구를 수행할 필요가 있다.

6. 참 고 문 헌

- [1] Silvanita, M. F. Khamidi, and K. V. John, "Critical review of a risk assessment method and its applications," in Proc. International Conference on Financial Management and Economics, Singapore, 2011, pp. 83-87.
- [2] J. Schauffle and T. Zurawka, Automotive Software Engineering : Principles, Processes, Methods, and Tools. Warrendale, PA: SAE International, 2005.
- [3] Potential Failure Mode and Effects Analysis

(FMEA), Automotive Industry Action Group (AIAG), 4th ed., 2008.

- [4] MILITARY STANDARD: PROCEDURES FOR PERFORMING A FAILURE MODE, EFFECTS, AND CRITICALITY ANALYSIS, Department of Defense Standard, MIL-STD-1629A, 1980.
- [5] Automotive Industry Action Group (AIAG), Advanced Product Quality Planning and Control Plan (APQP), 1995.
- [6] K. Yang and B. El-Haik, Design for Six Sigma. New York, NY: McGraw-Hill Professional, 2003.
- [7] A. Kossiakoff and W. N. Sweet, Systems Engineering Principles and Practice. New Jersey, NY: Wiley, 2003.
- [8] B. S. Neagoe and I. Martinescu, "The specifics of the application of the failure mode and effects analysis (FMEA) in the automotive industry," in Proc. Proceedings of the 3rd WSEAS international conference on Engineering mechanics, structures, engineering geology, Corfu Island, Greece, 2010, pp. 442-447.
- [9] J-D. Piques and Andrianarison, E, "SysML for embedded automotive Systems: lessons learned," in Proc. ERTS 2012, Toulouse, France, 2012.
- [10] M. Singh, M.D. Jaybhaye, G. S. Lathkar, and S.K. Basu, "Reliability analysis of electro-hydraulic based auto-leveling system for mobile platform," International Journal of Engineering and Innovative Technology, vol. 1, no. 2, pp. 103-108, Feb 2012.
- [11] B. POPOVIĆ, D. MILČIĆ, and M. MIJAJLOVIĆ, "Failure Modes and Effects Analysis of The Auto Cooling Fan Motor," University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia, CEEPUS CII-RS-0304, May 18, 2010, pp. 69-74.
- [12] D. Wang, J. Pan, G. S. Avrunin, L. A. Clarke, and B. Chen, "An automatic failure mode and effect analysis technique for processes defined in the little-jil process definition language," in Proc. International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, Redwood, CA, Jul 1-3, 2010, pp. 765-770.
- [13] B. J. Czerny, J. G. D'Ambrosio, B. T. Murrar, and P. Sundaram, "Effective application of software safety techniques for automotive embedded control systems," Delphi Corporation, Detroit, MI, Tech. Rep., 2005-01-0785, Apr 2005.

저자 소개

임 관택



현 아주대학교 시스템공학과 박사과정. 관심분야는 시스템 안전 설계, 요구사항 관리, 모델기반 시스템공학, Modeling & Simulation 등.

주소: 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 성호관 243호

이 재천



현 아주대학교 시스템공학과 정교수. 서울대학교 전자공학과에서 공학사, KAIST 전기 및 전자공학과에서 공학석사 및 박사학위를 취득. 미국 MIT에서 Post-Doc을 수행하였으며, Univ. of California (Santa Barbara)에서 초빙연구원, 캐나다 Univ. of Victoria (BC)에서 방문교수, KIST에서 책임연구원 재직. 이후 미국 Stanford Univ. 방문교수 역임. 현재 연구 및 교육 관심분야는 시스템공학 및 Systems Safety에의 응용 등.

주소: 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 서관 309호