

철도시스템 FMECA 수행 절차 및 분석 기법 개발에 관한 연구 (Development of the FMECA Process and Analysis Methodology for the Railroad System)

박권식* 김태웅* 정현용* 박준서**
Park, Kwon Shik Kim, Tae Woong Jeong, Hyun yong, Park. Jun Seo

ABSTRACT

FMEA(Failure Mode and Effects) is a procedure for the analysis of a system to identify the potential failure modes, and their effects and causes to reduce or mitigate the critical effects of the system. Recently, FMEA is used in various industries and it is specialized in each industry. For instance, MIL-1629a in Military industry, SAE-J1739 in Automotive industry and other industry are using specialized FMEA method. Though Railroad industry requires the high reliability system, it does not have the FMEA method which is specialized to them. So in this paper, we examined the MIL-1629a, SAE-J1739, IEC-60812 and compared those standards. Furthermore, we propose the FMEA method that is specialized to the railroad system.

(국문요약)

FMEA(Failure Mode and Effects)분석 기법이란 제품의 신뢰성을 높이기 위해, 잠재적 고장 모드를 선별하고 이의 고장 원인과 영향을 분석하여 고장이 제품에 미치는 영향을 최소화하기 위한 분석기법이다. 최근 FMEA기법이 많은 산업 분야에서 널리 쓰이고 있으며, 각 분야별로 그에 알맞게 특화된 FMEA기법이 제안되어 있다. 대표적으로 방산 분야의 MIL-1629a, 자동차 분야의 SAE-J1739 등을 들 수 있으며, 그 외의 많은 산업분야에서도 특화된 FMEA규격을 사용하고 있다. 하지만 높은 신뢰성이 요구되는 철도 산업의 경우에는 아직까지 특화된 FMEA규격은 제시되어 있지 못한 실정이다. 본 논문에서는 SAE-J1739, MIL-1629a, IEC-60812의 규격을 비교 분석함으로써 철도 시스템에 특화된 FMEA규격을 제안하였다.

* 정현용, 서강대학교, 기계공학과

E-mail : jeonghy@sogang.ac.kr

TEL : (02)705-8640 FAX : (02)712-0799

** 회원, 한국철도기술연구원, 철도시스템 안전연구본부

철도시스템 FMECA 수행 절차 및 분석 기법 개발에 관한 연구 (Development of the FMECA Process and Analysis Methodology for the Railroad System)

박권식* 김태웅* 정현용* 박준서**
Park, Kwon Shik Kim, Tae Woong Jeong, Hyun yong, Park. Jun Seo

ABSTRACT

FMEA(Failure Mode and Effects) is a procedure for the analysis of a system to identify the potential failure modes, and their effects and causes to reduce or mitigate the critical effects of the system. Recently, FMEA is used in various industries and it is specialized in each industry. For instance, MIL-1629a in Military industry, SAE-J1739 in Automotive industry and other industry are using specialized FMEA method. Though Railroad industry requires the high reliability system, it does not have the FMEA method which is specialized to them. So in this paper, we examined the MIL-1629a, SAE-J1739, IEC-60812 and compared those standards. Furthermore, we propose the FMEA method that is specialized to the railroad system.

1. 서론

산업이 발전함에 따라 제품의 품질에 관한 고객의 요구가 점점 더 커지고 있다.[1] 이에 따라 기업에서는 제품의 품질을 높이기 위해 많은 노력을 기울이고 있으며, 이와 함께 제품의 신뢰성 평가 방법론에 대한 요구가 점점 커지고 있는 실정이다. 과거에는 신뢰성 공학이 개발된 제품에 관한 시험과 생산 중인 제품의 불량률을 관리하는 방법으로 품질을 관리하는데 주력하였으나, 시간과 비용면에서 효율성을 가져오기 위해 제품 개발의 초기 단계에서부터 적용 시킬 수 있는 신뢰성 분석 기법에 대한 요구가 대두되었다.[2] 그 노력의 일환으로 1949년 미국 국방부에 의해 FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)라는 신뢰성 분석 기법이 개발되었다. FMEA란 제품의 개발 초기 단계에서부터 제품에서 발생할 수 있는 잠재적 고장 모드들을 선별하고 고장 모드의 영향과 원인을 분석함으로써, 제품에 치명적인 영향을 미치는 고장 모드를 선별하고 이를 줄이거나 없애기 위한 권고조치 등을 수행하는 분석기법을 의미한다.[2-5] 이런 FMEA의 내용 및 수행 절차에 관한 규격이 미국방성에 의해 MIL-1629a에 규격화되어 있으며, 추후 이를 응용한 자동차 산업 분야의 SAE-J1739와 SAE-ARP5580 등의 규격이 제정되었다.[2-4] 또한 현재에는 이를 응용하여 각 산업 분야별로 사용하기 알맞도록 응용된 FMEA 규격이 제시되어 있다.[5-6] FMEA에 관한 기본적인 개념은 각 산업 분야별로 동일하나, 그 적용과 수행절차 등에 관해서는 각 산업분야별로 응용되어 사용되어야만 한다. 철도 산업의 경우 높은 신뢰성을 요구하며, 유지 보수에 들어가는 비용이 굉장히 많기 때문에, 이런 FMEA기법의 적용이 절실하다.

* 정현용, 회원, 서강대학교, 기계공학과

E-mail : jeonghy@sogang.ac.kr

TEL : (02)705-8640 FAX : (02)712-0799

** 회원, 한국철도기술연구원, 철도시스템 안전연구본부

아직까지 철도 산업에 특화된 FMEA에 관한 규격은 재정되어 있지 못한 현실이며, 이에 관한 연구도 미비한 상태이다. 이 논문에서는 철도 산업의 특징을 고려하여 타 산업 분야의 규격들을 분석함으로써, 철도 산업에 특화된 FMEA 수행절차에 관한 규격을 제안하고자 한다.

2. 본문

2.1 철도 산업의 특징

철도 산업 분야에 특화된 FMEA기법을 개발하기 위해선 먼저 철도 산업의 특징에 관해 살펴볼 필요가 있다. 철도 산업의 가장 궁극적인 목적은 신속하고 안전하게 고객을 운송하는 데에 있다.[7] 따라서 철도 산업은 시스템의 신뢰성에 관한 요구가 매우 높으며, 동시에 시스템이 고객의 안전을 책임지는 데 초점을 맞추어야 한다. 또한 철도 산업은 철도 차량을 둘러싼 신호 시스템, 열차 제어 시스템 등 여러 시스템과 많은 상호작용을 이루고 있으며, 철도 차량만을 보더라도 시스템의 규모가 매우 크다는 것을 알 수 있다.[7] 다음으로 철도 시스템의 매우 중요한 특성은 유지 보수에 들어가는 비용이 매우 크다는 것이다. 철도 시스템은 사용기간이 매우 길고 이에 따라 개발 비용에 비해, 유지 보수에 드는 비용이 몇 배 크다고 알려져 있다. 따라서 철도 산업의 경우 유지 보수 방법의 효율성이 절실히 요구된다. 철도 차량은 운송 거리가 매우 길기 때문에, 하나의 환경조건이 아닌 여러 환경 조건을 겪게 된다는 특징을 지니고 있다. 마지막으로 철도 산업의 경우, 철도 차량의 개발자는 시행청의 요구 조건에 알맞도록 차량을 설계 개발하여 납품하여야 한다. 이런 시행청의 요구조건은 시행청마다 다르기 때문에, 개발자는 이에 관해 초점을 맞추어 차량을 개발하여야 한다.[8] 위와 같은 철도 산업의 특징에 관해 표.1에 정리를 하여 나타내었다.

철도 산업의 특징	
1	정시성 및 신속성에 따른 높은 신뢰성을 요구함
2	높은 안정성을 필요로 함
3	많은 인터페이스가 존재함
4	시스템 규모가 매우 큼
5	유지 보수에 많은 비용이 들어감
6	다양한 사용 환경 조건
7	다양한 시행청 요구조건

표.1 철도 산업의 특징

2.2 각 FMEA규격의 특징

FMEA기법의 기본적인 개념과 이를 수행하기 위한 사전 준비 작업 등에 관한 내용은 각 규격마다 큰 차이를 보이지 않는다. FMEA의 수행 절차는 크게 FMEA를 수행하는 데 필요한 정보를 수집하는 사전 준비 작업과 본격적인 FMEA를 수행하는 작업표 작성 그리고 보고서 작성 단계로 나뉜다.[4-5] 각 산업 분야별 FMEA의 특징은 FMEA기법의 핵심이라고 할 수 있는 FMEA작업표를 분석함으로써 파악할 수 있다. 본 논문에서는 자동차 산업 분야의 SAE-J1739 규격, 방위 산업 분야의 MIL-1629a규격과 전자산업분야의 IEC-60812 규격에 관한 분석을 수행하였다.

2.2.1 SAE-J1739

SAE-J1739 규격의 작업표를 그림.1에 나타내었다. SAE규격의 가장 큰 특징은 FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)기법과 CA(Criticality Analysis)기법을 합하여 FMEA라는 이름으로 수행하고 있다는 것이다. 그림.1에서 볼 수 있듯이, SAE-J1739규격에서는 한 번의 분석에서 심각도를 구하는 FMEA분석과 발생도와 검출도를 고려해 치명도를 나타내는 개념인 RPN(Risk Priority Number)을 구하는 CA분석을 함께 수행하게 된다. SAE와 같이 FMEA와 CA를 함께 수행하게 되면, 한번의 분석으로 두 가지 분석을 간편히 수행할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 반면에 이와 같은 방식은 하나의

고장원인에 대해 치명도가 결정되게 된다는 특징에서 단점을 지닌다. 보통 고장률은 하나의 아이টে에 대해 주어지게 되기 때문에, 각 고장 모드의 각 고장원인에 대한 고장률까지 예측하여 이를 기반으로 발생 빈도 등급을 나누기에는 분석자의 주관이 많이 개입된다는 단점이 존재한다.

또한 SAE-J1739규격의 가장 큰 문제점은 치명도를 나타내는 RPN(Risk Priority Number)에 있다. RPN이란 제품의 심각도(S)와 발생도(O) 검출도(D)를 이용해 다음과 같은 식(1)을 사용해 구하게 된다.

$$RPN = S \times O \times D \tag{1}$$

치명도를 나타내는 개념인 RPN에 관해 많은 문제점들이 지적되고 있으며[5,9], 문제점은 표.2 에 나타내었다. 이런 RPN의 한계점을 인식하고 이를 보완하기 위한 분석 기법들에 관한 연구가 활발히 진행 중이다.[10-13]

SAE-J1739의 경우, FMEA를 Design FMEA(설계 FMEA), Process FMEA, Machinery FMEA(머신 FMEA)로 나누고 있으며, 종류별로 설명을 모두 제시하고 있다. 이에 따라 많은 사람들이 FMEA의 종류를 위와 같이 나누고 있는 실정이다.[2,9] 하지만 세 가지의 FMEA모두 분석 기법은 동일하며, 단지 적용되는 시점이 언제냐에 따라서만 이름이 변경된다. 따라서 본 연구에서는 FMEA의 종류를 위와 같이 나누어 판단하지 않았다.

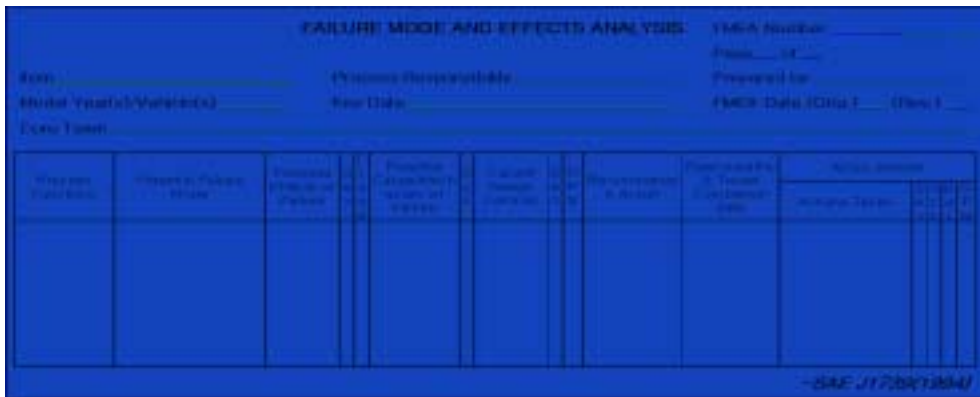


그림.1 SAE-J1739 작업표

표.2 RPN의 한계점

RPN의 한계점	
1	심각도, 치명도, 검출도가 모두 동일한 중요성을 두고 평가되고 있다.
2	모두 1000가지의 경우가 존재할 수 있지만 실제로는 120개의 경우밖에 나오지 못한다. (다른 경우에 대해, 같은 RPN 을 지니게 된다.)
3	작은 값에서 하나의 변수의 값의 변화보다 높은 값에서 변수 하나의 값의 변화가 훨씬 더 민감하다.(예 2*2*3=12, 2*2*4=16 과 5*5*3=75, 5*5*4=100)

2.2.1 MIL-1629a, IEC-60812

MIL-1629a와 IEC-60812는 거의 흡사한 FMEA기법을 사용하고 있으며, 그 작업표를 그림.2 와 그림.3 에 나타내었다. 첫째로, 이 두 가지 규격의 가장 큰 특징은 SAE-J1739와는 달리 FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)와 CA(Criticality Analysis) 분석을 나누어 수행하고 있다는 점이다. 다시 말해 FMEA분석을 통해 시스템에 치명적인 영향을 주는 고장 모드들을 먼저 선별한 후, 치명적인 고장 모드들에 대해 분석이 필요한 경우 추가적으로 CA분석을 수행하게 된다. MIL혹은 IEC규격과 같은 방법을 사용하게 되면 치명적인 고장 모드들을 우선적으로 선별한 후, 치명적인 고장모드에 대해서 추가적인 CA기법 등을 수행하게 되므로 시간 면에서 효율성을 지니며, 이는 규모가 큰 철도 시스템에 적합

하다고 판단된다. 또한 철도 차량의 경우 정시성과 신속성이 매우 중요한 목표이므로, 경미한 고장은 어느정도 허용될 수 있으나 운영 자체가 중단되는 경우는 발생해서는 안 된다. 따라서 발생 빈도보다는 심각도가 높은 고장모드에 대해 비중을 둘 필요가 있고, MIL-1629a 혹은 IEC-60812와 같이 FMEA와 CA단계를 나누게 되면 심각도에 우선적으로 초점을 맞추게 되기 때문에 철도 시스템에 적합한 방법이라고 판단된다.

The image shows a blue FMEA worksheet titled "FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS". It includes fields for SYSTEM, PRIORITY LEVEL, REFERENCE (DRAWING), and MODEL. On the right, there are fields for GATE, SHEET OF, COMPLETED BY, and APPROVED BY. The main table has columns for: Item Ref, Item Description and Function, Failure Mode, Failure Mode Code, Possible Failure Causes, Local Effect, Final Effect, Detection Method, Compensating Provision, Severity Class, Frequency or Probability of Occurrence, and Remarks.

그림.2 MIL-1629a FMEA작업표

The image shows a blue FMEA worksheet titled "FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS". It includes fields for Item Ref, Item Description and Function, Failure Mode, Failure Mode Code, Possible Failure Causes, Local Effect, Final Effect, Detection Method, Compensating Provision, Severity Class, Frequency or Probability of Occurrence, and Remarks. The top section includes fields for Item Ref, Operational Period, Item Reason, and Prepared by - Date.

그림.3 IEC-60812 FMEA작업표

둘째로, MIL-1629a의 경우 CA분석 뿐 아니라, FMEA결과를 활용하여 MA(Maintainability Analysis) 분석을 수행할 수 있도록, 추가적인 MA분석에 관한 내용을 언급하고 있다. MA분석에서는 유지보수자가 실제 현장에서 활용 가능하도록, 각 고장원인 별로 개발자가 생각하는 고장 지표, 고장 감지 방법과 권고조치의 내용이 담겨있다. 이를 활용하게 되면 개발자가 생각하는 유지 보수 방법이 실제 현장에서 유지보수를 수행하는 기술자에게 직접 전달될 수 있기 때문에 유지보수를 효율적으로 수행할 수 있을 것이다. 이는 철도 산업의 경우 유지 보수에 드는 비용이 매우 큰 것을 감안할 때, 철도 산업에서 FMEA를 수행할 때 반드시 필요로 하는 분석 기법임을 알 수 있다. 참고로 CA와 MA분석은 FMEA를 수행한 후 이를 기반으로 추가적인 작업표에 작성을 하게 되며, 이에 관한 작업표는 그림.4 와 그림.5에 각각 나타내었다.

The image shows a blue Criticality Analysis (CA) worksheet titled "CRITICALITY ANALYSIS". It includes fields for SYSTEM, PRIORITY LEVEL, REFERENCE (DRAWING), and MODEL. On the right, there are fields for GATE, SHEET OF, COMPLETED BY, and APPROVED BY. The main table has columns for: Item Ref, Item Description and Function, Failure Mode, Failure Mode Code, Possible Failure Causes, Local Effect, Final Effect, Detection Method, Compensating Provision, Severity Class, Frequency or Probability of Occurrence, and Remarks.

그림.4 MIL-1629a CA작업표

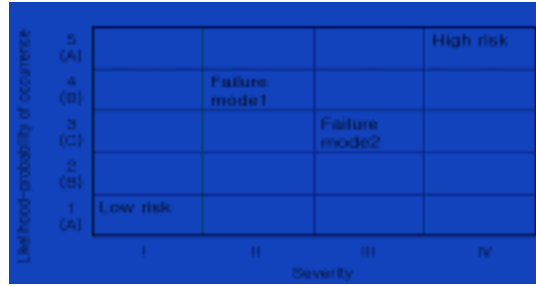


그림.7 IEC-60812 CA 행렬

표.3 IEC-60812 발생빈도 변환 기준

Criticality number	Probability of occurrence
1 or E	$0 \leq P_i < 0.001$
2 or D	$0.001 \leq P_i < 0.01$
3 or C	$0.01 \leq P_i < 0.1$
4 or B	$0.1 \leq P_i < 0.2$
5 or A	$P_i > 0.2$

MIL-1629a과 IEC-60812규격의 경우 고장의 영향을 local effect, next level effect, end effect로 세분화 시켜 기술하도록 하였다. Local effect란 고장 모드가 같은 계층 구조에 미치는 영향을 의미하며, next level effect는 다음 계층구조에 미치는 영향을 end effect는 시스템의 최종 계층 구조에 미치는 영향을 의미한다. 이렇게 세분화 시켜 고장의 영향을 자세히 기술함으로써, 각 계층 구조별 고장의 원인과 영향의 관계를 좀 더 상세히 살펴볼 수 있으며, 철도 시스템과 같이 많은 인터페이스를 지니고 규모가 큰 산업에 대해서는 필요하다고 판단된다.

마지막으로 MIL-1629a의 경우, 그림.2 와 같이 mission phase/operational mode의 열이 존재한다. 제품의 임무 수행 조건 혹은 작동 모드에 따라 그 기능이 달라질 수 있기 때문에, 각 조건 별로 기능을 모두 열거해 분석을 수행하게 된다. 철도 시스템의 경우도 작동 모드에 따라 기능이 달라질 수 있고 다양한 사용 환경 조건을 겪기 때문에, 이를 응용할 필요성이 있다.

2.3 철도 산업에 특화된 FMEA

앞의 MIL-1629a, IEC-60812, SAE-J1739규격의 특징들을 분석한 것을 바탕으로 철도 시스템에 특화된 FMEA기법을 제안하였다. 철도 산업 FMEA의 작업표는 그림.8 에 제시하였다. 먼저 MIL과 IEC규격과 같이 FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)와 CA(Criticality Analysis)단계를 나누는 분석 방법을 택하였다. 철도 산업의 CA작업표는 그림.9 에 제시하였다. 철도 시스템의 경우 규모가 매우 크기 때문에, 분석 시간의 효율성이 중요하다. 또한 철도 차량의 경우 경미한 잦은 고장이 일어난다 하더라도, 철도 시스템이 정지해버리는 경우가 일어나지 않도록 하는 것이 더 중요하기 때문에, 고장의 발생 빈도보다는 심각도에 비중을 두어야 한다. 이렇게 두 분석을 나누게 되면, 심각한 고장 모드들을 우선적으로 선별할 수 있기 때문에 분석의 들어가는 시간적 비용을 줄일 수 있다는 측면과 심각도에 초점을 맞출 수 있다는 측면에서 철도 산업에 적합한 방법이라고 판단된다.

철도 산업 FMEA의 경우 MIL-1629a혹은 IEC-60812규격과 같이 하나의 고장모드에 대해 치명도를 결정하는 방법을 택하여 객관적인 분석을 수행할 수 있도록 하였으며, 계산된 치명도는 IEC-60812규격과 같이 정량적인 값을 정성적인 기준으로 나누어 적용하도록 하였다. 철도 RAMS 관련 규격인 IEC-62278에 따르면 시스템의 치명도를 그림.10 과 같이 나누는 것을 알 수 있다.[8] 발생빈도 등의 등급 분류 기준은 이미 널리 사용하고 있는 규격을 따르는 것이 효율적이므로, 이와 같은 규격을 따르기 위해선 정량적인 양을 정성적인 기준으로 변환시킬 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 IEC와 같이 식(3)을 이용해 정량적인 기준을 정성적인 기준으로 바꾸는 방법을 택하였다.

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

SYSTEM _____ DATE _____
 INDENTURE LEVEL _____ SHEET ___ OF _____
 REFERENCE DRAWING _____ COMPILED BY _____
 APPROVED BY _____

Part ID	Rev. ID	Function	Failure Mode	Operating conditions/operating parameters/condition	Failure effects				Failure cause	Failure detection method	Correction/prevention	Remarks
					Local	Next	Final	Administrative				

그림8. 철도 산업 FMEA작업표

CRITICALITY ANALYSIS

SYSTEM _____ DATE _____
 INDENTURE LEVEL _____ SHEET ___ OF _____
 REFERENCE DRAWING _____ COMPILED BY _____
 APPROVED BY _____

Part ID	Rev. ID	Function	Failure Mode	Operating conditions/operating parameters/condition	Failure effects				Failure cause	Failure detection method	Correction/prevention	Risk priority number	Remarks
					Local	Next	Final	Administrative					

그림9. 철도 산업 CA작업표

발생도 등급	치명도 등급			
발생가능	배관적하지 않은	허용할 수 없는	허용할 수 없는	허용할 수 없는
가능성이 있는	허용할 수 있는	배관적하지 않은	허용할 수 없는	허용할 수 없는
확실히	허용할 수 있는	배관적하지 않은	배관적하지 않은	허용할 수 없는
가능성이 희박한	무시할 만한	허용할 수 있는	배관적하지 않은	배관적하지 않은
가능성이 없는	무시할 만한	무시할 만한	허용할 수 있는	허용할 수 있는
존재할 수 없는	무시할 만한	무시할 만한	무시할 만한	무시할 만한
	미검은	연계적	일계적	치명적
심격도 등급				
Risk evaluation	Risk reduction/control			
1-허용할 수 없는	제거되어야 한다			
2-배관적하지 않은	난사 위험도 감소가 실현될 때까지 적절히 설도가견의 동의를 거쳐야 한다			
3-허용할 수 있는	설도가견의 적절한 통제 및 동의 하에 수용할 수 있는			
4-무시할 만한	이따간 동의 없이 수용할 수 있는			

그림10. IEC-62278 치명도 분류 등급

또한 철도 산업의 경우 유지 보수에 들어가는 비용이 매우 많기 때문에, 유지 보수성이 매우 중요한 인자로 작용한다. FMEA결과를 활용하여 MA분석을 수행하게 되면, 개발자의 의견이 실제 유지 보수자에게 유용하게 전달될 수 있기 때문에, 유지 보수를 보다 효율적으로 수행할 수 있게 된다. 따라서 MIL 규격과 같이 MA분석을 추가적으로 수행할 수 있도록 하였다. 철도 MA의 작업표는 그림.11 에 나타내었다.

Part ID	Description	Part No.	Failure Mode	Environmental condition	Failure effects			Failure probability	Failure detection method	Item Maintenance time
					local	next	end			

그림11. 철도 산업 MA작업표

철도 차량의 경우 각 작동 모드 별로 부품의 기능이 다를 수 있고, 또한 운행거리와 사용시간이 길기 때문에 사용 환경 조건이 많이 변화하게 된다. 예를 들어 상온에서는 고장이 일어날 가능성이 없지만 고온에서는 고장이 일어날 가능성이 있다면, 이에 대한 고려를 해주어야 한다. 따라서 MIL-1629a규격의 operational mode을 응용하여 그림8.과 같이 operational mode와 environmental condition(사용 환경)을 적는 열을 구성하였다.

철도 산업의 경우 철도 차량과 다른 신호 및 제어 시스템 간의 인터페이스 등 다른 시스템 간의 많은 상호 연관 관계를 지니고 있으므로, 계층 구조별로 연결 관계를 명확히 이해할 필요가 있다. 이를 위해 MIL-1629a혹은 IEC-60812규격과 같이 고장의 영향을 그림.8 과 같이 local effect, next level effect, end effect로 상세히 나누는 방법을 택하였다.

철도 산업은 앞서도 언급하였듯이, 고객의 안전을 보장할 수 있는 시스템을 요구한다. 따라서 각 고장모드의 심각도를 고려할 때, 시스템의 신뢰도 측면만이 아닌 안전성 측면에서 그림.8 과 같이 심각도를 기입할 수 있는 열을 추가적으로 제안하였다. 이를 응용한다면, 시스템의 안전도 측면에서 치명적인 고장모드를 선별할 수 있기 때문에, 이 결과를 활용하면 안전도 분석을 수행할 때 활용 가능할 것이다.

마지막으로 철도 차량이 갖추어야 할 요구조건은 각 시행청의 요구조건 마다 다르며, 특히 철도 차량의 서브 시스템 별로 요구되는 조건이 상이하다. 따라서 각 서브시스템 혹은 시스템에 모두 같은 발생 빈도 등급 기준을 사용할 수는 없다. 예를 들어 철도 차량의 도어 서브시스템의 경우 100만 km를 달렸을 때 5번 이하의 고장을 요구하고 있고, 제동 서브시스템의 경우 2번 이하의 고장을 요구하고 있다고 가정하자. 이럴 경우 같은 고장 발생 빈도 등급 분류 기준을 사용한다면, 실제 요구 조건에 따른 치명도를 제대로 반영할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 다음 식(4)에 따라 치명도를 나누는 방법을 제안하였다.

$$C_m = \lambda \times \alpha \times \beta \times t^{\delta} \tag{4}$$

위의 식에서 δ 는 시행청의 요구조건에 따라 결정되는 변수이다. 이는 식(5)와 같이 각 서브시스템 별로 주어진 요구조건의 평균을 취한 뒤, 그 값으로 각 요구조건을 나누어 얻게 되는 값이다. 이 식에서

ω 는 시행청 요구 조건을 의미하며, n는 총 서버 시스템의 개수를 의미한다.

$$\delta_m = \frac{\omega}{(\sum^n \omega)/n} \quad (5)$$

이와 같은 개념을 사용한다면, 시행청 요구 조건이 가혹한 서버시스템에 대해서는 그만큼 치명도가 높아지게 되며, 요구 조건이 낮은 서버시스템에 대해서는 치명도가 낮아지는 효과를 가져오므로써, 시행청의 요구조건이 CA단계에서 반영할 수 있다.

3.결론

본 연구에서는 기존에 제시되어온 타 산업분야의 FMEA규격, 특히 방위 산업 분야의 MIL-1629a, 자동차 산업 분야의 SAE-J1739, 전자산업 분야의 IEC-60812의 규격을 비교 분석함으로써, 각 규격의 특징과 장단점에 대해 분석하였다. 이를 바탕으로 철도 시스템에 특화된 FMEA규격을 철도 시스템의 특징에 맞추어 제안하였다. 전체적으로 SAE-J1739의 규격보다는 MIL-1629a와 IEC-60812규격이 철도 시스템에 더 적합함을 알 수 있었고, 이를 적용해 철도 FMEA규격을 제안하였다. 마지막으로, 제안된 철도 FMEA의 특징을 표.4 에 나타내었다.

표.4 제안된 철도 FMEA규격의 특징

특징	
1	FMEA와 CA 분석 단계를 나누었음
2	추가적인 MA 분석을 수행함
3	치명도 값을 정성적으로 변환하여 사용함으로써, IEC62278기준을 적용 가능하도록 함
4	작동 모드 및 사용환경에 관한 열을 작성하도록 함
5	고장의 영향을 상세히 기술하도록 함
6	심각도의 경우 안전도와 가용도 측면에서 모두 기입하도록 함
7	시행청 요구 조건에 따라 치명도의 기준이 달라질 수 있는 방법을 제시함

4.참고문헌

- [1] R. Ramakumar, 1993, *Engineering Reliability : Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall, New Jersey
- [2] SAE-J1739 : 2000, *Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design(Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Process (Process FMEA), and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery*, SAE
- [3] SAE-ARP5580 : 2001, *Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis Procedures*, SAE
- [4] MIL-1629a : 1980, *Procedures for Performing a Failure Mode and, Effects and Criticality Analysis*, DOD
- [5] IEC-60812 : 2001, *Analysis techniques for system reliability-Procedure for failure mode and effects analysis(FMEA)*, IEC
- [6] STUK-YTO-TR 190 : 2002, *Failure mode and effects analysis of software-based automation systems*, STUK
- [7] 서사범, 2000, *철도공학의 이해*, 열과알
- [8] IEC-62278 : 2001, *Railway Applications-Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety(RAMS)*, IEC
- [9] D.H. Stamatics, 2003, *Failure Mode Effect Analysis : FMEA from Theory to Execution*, ASQ, Milwaukee

- [10] Seung J. Rhee, 2003, *Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability*, Advanced Engineering Informatics, Vol.17, pp 179-188
- [11] Steven Kmenta, 2004, *Scenario-Based Failure Modes and Effects Analysis Using Expected Cost*, Journal of Mechanical Design, Vol.126, pp 1027-1035
- [12] Anand Pillay, 2003, *Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning*, Reliability Engineering and System Safety, Vol.79, pp69-35
- [13] Javier Puente, 2002, *A decision support system for applying failure mode and effects analysis*, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol.19, pp137-150
- [14] FMD97 : *Failure Mode/Mechanism Distribution*, RAC