

철도안전의 6시그마 기법 적용방안 연구

A Study on the Application of the Six Sigma Techniques to Railway Safety

송보영[†] · 김만웅* · 문대섭** · 이동훈***

Bo-Young Song · Man-Ung Kim · Dae-Seop Moon · Dong-hun Lee

Abstract Using transportations like railway, aviations and roads have been increasing continuously. Traffic accidents have been increasing as well. To prevent or lessen these accidents become a big issue to solve. Therefore, more enforced safety levels are being required to meet. In railway field, continuous efforts of railway safety are being executed to prevent traffic accidents. In present, railway accidents have been decreasing since subway accident happened in Daegu Subway in 2003. However, safety levels in railway field have not yet achieved as much as in advanced countries. Basic concept for enforced safety level in railway system is to prevent or minimize accidents by managing systems like related facilities, management method, organization, education. This is the same concept to minimize error rate in six sigma theory. In this paper, we are to apply six sigma techniques used in manufacturing industry to railway safety and go through ways to make more efficient railway safety system.

Keywords : System safety plan, Cause and effect diagram, Hazard, Safety target, Risk assessment

요 지 안전관리를 위해 정량화된 데이터를 바탕으로 통계기법을 통해 분석, 해석, 관리하는 기법은 제조업에서 수행하고 있는 6시그마 혁신운동과 거의 유사한 절차를 통해 수행되므로 철도안전관리에 있어서도 이러한 기법을 도입하여 정량화된 관리기법이 도입되어야 한다. 본 연구에서는 경영혁신운동인 6시그마와 철도안전관리의 차이점에도 불구하고 제조업에서 성공적으로 활용하고 있는 6시그마 기법들을 철도안전에 적용할 수 있는 방안을 모색함으로써 일부 안전관리 과정에서 해결하지 못하거나 많은 어려움이 존재하고 있는 부분에 대한 해결책을 찾아 효율적이고 체계적인 철도안전관리에 일조하고자 한다.

주 요 어 : 시스템안전관리계획, 특성요인도, 위험원, 안전목표, 위험도 분석

1. 서 론

철도는 다양한 기술요소가 복합된 선로를 통해 무거운 중량을 고속으로 이동하는 고에너지를 함유한 열차를 시간적, 공간적으로 고도로 정밀하게 제어하고 안전하게 관리해야 하는 시스템으로서 잠재된 위험요소가 매우 다양하여 체계적인 안전관리를 위해서는 다양한 전문지식이 요구된다[1]. 따라서 고장 또는 사고가 발생하면 원인규명이 어렵고 사고에 대한 영향이 매우 크기 때문에 안전관리는 매우

중요한 요소이다[2]. 이들 요소에 대한 관리를 위해서는 철도와 같은 복합시스템의 안전관리가 필요한 철도의 경우에는 선진 철도운영국이나 원자력 및 항공산업에서 활용중인 시스템안전관리계획(System Safety Management Plan) 등의 활용이 필요하다. 이를 위해서는 위험원분석, 위험도평가 및 안전개선 투자효과를 활용한 정량적인 목표수립이 필요하다[3].

그러나 국내의 철도산업에서는 “년간 사고발생 건수 혹은 피해자수”, “열차운행 100만 Km당 사고건수 혹은 피해자수”등과 같은 건수 위주의 단순 통계지표를 안전목표로 활용하고 있다. 철도사고율이 낮은 많은 철도선진국들은 위험도에 기반한 안전관리를 수행하고 있으나, 국내는 위험도 개념의 안전관리 연구가 아직 연구단계에 머무르고 있다[4].

[†] 책임저자 : 정회원, 교통안전공단, 과장, 철도전문대학원 박사과정
E-mail : smj6961@ts2020.kr

TEL : (031)362-3644 FAX : (031)362-3639

* 정회원, 교통안전공단, 철도안전본부장

** 정회원, 한국철도기술연구원, 책임연구원

*** 교신저자, 서울산업대학교 기계공학과, 교수

시스템의 안전을 확보하기 위해서는 다양한 방법들이 존재하지만, 기본적으로는 시스템 초기부터 시스템의 위험원(Hazard)을 식별하고 이에 대한 위험도를 평가하고 이를 경감시키는 활동이 중요하다[5]. 다시 말해 안전관리를 위해 모든 필요한 모든 과정에서 안전을 평가하고 이를 경감시키는 활동은 모든 내용들을 정량화하여 이를 데이터화하고, 통계기법 등을 활용하여 분석하고 해석함으로써 이루어진다.

이미 국내 제조관련 기법에서는 ISO 9000, 6시그마 경영혁신운동 등을 통해 품질경쟁력 확보체계를 구축하고 있으며, 최근에는 IEC 60300 종합신뢰성 경영시스템의 효과적 도입에 대한 관심을 보이고 있다[2].

다시 말해 안전관리를 위해 정량화된 데이터를 바탕으로 통계기법을 통해 분석, 해석, 관리하는 기법은 제조업에서 수행하고 있는 6시그마 혁신운동과 거의 유사한 절차를 통해 수행되므로 철도안전관리에 있어서도 이러한 기법을 도입하여 정량화된 관리기법이 도입되어야 한다.

본 논문에서는 더욱 복잡해지는 철도시스템의 안전관리 프로세스에 제조업의 경영혁신 운동인 6시그마에 대한 도입방안을 연구함으로써 철도시스템에 체계적인 안전관리를 효율적으로 수행할 수 있는 방안을 찾고자 한다. 6시그마는 제조업에서 불량을 최소한으로 줄이거나 수율을 최대한 높이기 위해 필요한 모든 절차들을 관리하는 기법이고, 철도안전관리는 사고나 고장을 최소한으로 줄이기 위해 필요한 모든 절차에서 관련된 요인들을 제거하거나 관리하는 내용으로서 근본적인 차이점은 존재하지만 일부 내용은 거의 동일한 개념이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 차이점에도 불구하고 제조업에서 성공적으로 활용하고 있는 이런 기법들을 철도안전에 적용할 수 있는 방안을 모색함으로써 일부 안전관리 과정에서 해결하지 못하거나 많은 어려움이 존재하고 있는 부분에 대한 해결책을 찾아 효율적이고 체계적인 철도안전관리시스템을 구축하고자 한다.

2. 6시그마 기법

2.1 개념

모든 프로세스에는 인간의 실수라든지 다른 환경요인으로 인해 그 측정값이 조금씩 다르기 마련이다. 시그마란 측정값들이 평균으로부터 대략 얼마나 벗어났는지를 나타내는 통계적인 측정단위로 "표준편차"라고 한다. 따라서 6시그마란 품질특성치에 대해 관리가 잘 되어있어서 결점이 100만개 중에서 많아야 3.4개 이하인 상태를 말한다. 이는 장기적으로 다름 아닌 99.99966%의 완전성을 의미 한다[6].

6시그마에서 결함은 프로세스나 서비스를 방해하는 모든 요인을 포함한다. 따라서 생산 현장의 불량을 최소화하거나 특정 부문의 문제 해결에 초점을 두었던 전통적인 혁신 방법론과 달리, 6시그마는 회사 내 어떤 부문에서든 경영이나 고객 관점에서 보았을 때 문제가 되는 것을 결함으로 정의하고 그 원인을 철저히 규명하여 근본적으로 제거하는 방법론이다.

2.2 프로세스

6시그마의 프로세스는 목적에 맞추어 설계되고(기획), 운용되며(관리) 때때로 개선된다. 프로세스의 개선이란 조직의 프로세스 안에 이미 존재하고 있는 성과를 둘러싼 문제점들의 근본원인을 제거하기 위한 해결방안을 모색하는 전략을 일컫는다. 6시그마에서 프로세스의 개선은 프로세스에 의해 발생하는 원치 않는 Y(결함)를 만들어내는 결정적인 X(원인들)를 찾는 것이다.

이를 위해서 흔히 사용되는 절차는 정의(Define), 측정(Measure), 분석(Analyze), 개선(Improve), 관리(Control)의 다섯 단계로 나누는 DMAIC 방법론이다.

2.2.1 정의(Define)

정의(Define)단계에서는 고객이 누구이며, 그 고객이 중요시 하는 품질요소가 무엇인지를 파악하는 단계이다. 여기에서 고객이란 제품이나 서비스 정도를 나타내고 있어, 정의를 다른 말로 표현하면 어떤 제품에 대하여 관리하고자 하는 품질요소(불량, 수율 등)를 정의하는 단계라고 할 수 있다.

6시그마에서는 각 제품의 전체 공정 혹은 관리하고자 하는 대상을 선정하고 그 대상에 대한 목표 수준을 달성할 수 있도록 하는 것이다. 따라서 철도안전에서의 본 단계는 전체 철도안전을 관리(Control)하기 위한 위험도(품질요소)를 최소로 하거나 지수나 지표를 최소 혹은 최대로 하는 것으로 정의할 수 있다.

2.2.2 측정(Measure)

6시그마에서 가장 중요한 특징 중 하나가 데이터를 근거로 판단한다는 것이고 데이터는 측정을 통해 얻어진다. 측정이라는 것은 전체과정에서 필요한 정보를 얻기 위한 데이터를 수집하는 단계를 말한다. 측정(Measure)단계에서는 CTQ(Critical to Quality)를 세분화하여 분석하고자 하는 Y와 Y에 대한 성과기준을 정하고, 이에 대한 데이터를 수집하여 현재 수준을 확인하는 작업을 한다.

다시 말해 우리는 현 상황을 평가하고 판단할 수 있는 특성인 Y를 정의하고 여기에 영향을 미치는 X들을 찾아

$Y=f(X)$ 라는 함수 관계를 찾는 과정이라고 할 수 있다.

철도안전에서는 이러한 과정에서 Y를 하나의 지수나 지표 또는 위험도로 정의할 수 있으며, X들로서는 지표나 지수 계산을 위해 포함되는 요소들 혹은 위험도 계산에 포함되는 요소들과 같은 내용으로 구성될 수 있다. 그러나 어떤 사고에 미치는 위험원이나 원인이 무엇인지를 표현하기 위하여 특정 사고를 Y로, 사고원인을 X들로 두고 사고에 영향을 가장 많이 주는 원인들이 무엇인지를 파악하고자 하는 목적이라면 본 내용을 활용하기는 곤란할 것이다. 이는 6시그마의 모든 척도들은 정량화된 척도를 사용하고 있으나 위에서 언급된 내용은 사고나 원인들의 대부분이 분류체계 등의 명문화된 데이터들이기 때문이다.

따라서 안전지표나 지수를 산출하여 철도안전도에 영향을 미치는 요소(운영실적, 철도사고, 안전관리, 안전문화정보 등)들의 관계를 규명하는 것으로 활용할 수 있다[7].

2.2.3 분석(Analyze)

분석(Analyze)단계는 앞서 기술한 $Y=f(X)$ 라는 수식에서 X가 무엇인지 찾고 X가 Y에 어느 정도 영향을 주고 있는지를 규명하는 단계이다. 분석단계에서는 6시그마의 문제 접근법인 Open-Narrow-Close 단계에 따라 근본원인을 찾아간다. 우선 Y에 영향을 미칠 수 있는 가능한 인자 X들이 무엇인지 최대한 폭넓게 도출한 다음(Open), 합리적인 방법으로 꼭 검증할 필요가 있는 X들이 무엇인지 범위를 좁히고(Narrow), 데이터를 수집하고 분석하여 핵심인자 X들을 확정한다(Close).

Y에 영향을 주는 X들을 도출하는 방법으로는 가능한 모든 아이디어를 내놓고 이를 나중에 평가하는 절차를 거치는 Brain-Storming 방법과 사건 발생 프로세스를 상세히 기술하여 각 단계별로 발생할 수 있는 문제를 파악하고 영향을 주는 요소들을 찾아 대응 방안을 마련하는 특성요인도(Cause and Effect Diagram)를 그려서 문제의 해결방안을 찾아내는 방법들을 활용하고 있다.

철도안전의 경우 사고 및 장애와 사고원인, 위험원등의 관계를 보기 위한 분석과 위험도 분석 절차의 내용에 해당된다. 철도사고 데이터의 특성은 제조업에서와 달리 대부분의 데이터들이 범주형 데이터이며, 연간 약 1,000건 미만으로 발생건수가 작은 특징이 있다. 따라서 본 과정에서 사고와 사고원인, 위험원 등의 관계를 규명하기 보다는 특성요인도와 같이 철도사고도 시간의 흐름에 따라 사고까지의 시나리오 분석을 통한 방법의 활용이 가능하며, 이러한 내용은 심각도가 높거나 위험도가 높은 사건에 대하여 Fault Tree 및 Event Tree 분석방법이 용이하다. 그러나 이러한 방법들은 사고발생에 대한 충분한 정보와 사고발생

Mechanism에 대한 충분한 이해가 선행되어야 한다. 또한 본 분석과정의 대부분은 위험도 분석 절차와 유사하며 이 과정의 내용은 위험도 분석절차를 소개하는 별도의 절에서 언급하도록 한다.

2.2.4 개선(Improve)

개선(Improve)단계는 Y가 원하는 목표를 달성할 수 있도록 핵심인자 X의 최적 개선안을 도출하는 단계이다. 개선(Improve)단계는 가능한 대안의 도출, 비용-효과분석, 개선결과 검증으로 이루어진다.

가능한 대안을 도출하는 데는 실험계획법 등 통계적인 방법을 쓸 수도 있지만, 개인에게 적용하기에는 어려움이 있으므로 전문가 인터뷰, 경쟁자 분석, 문헌조사 등을 통해서 개선안을 도출한다.

개선안이 도출되면 개선효과와 개선에 드는 비용(또는 위험)을 고려하여 비용은 적게 들고 효과가 큰 개선안을 선택하도록 한다. 또한 성공적인 변화를 위해서는 목적하는 변화의 기술적인 품질이 달성되는지 주요 관련자들이 변화를 수용하려 하는지를 고려해야 한다.

철도안전의 경우 대부분의 분석이 위험도를 기반으로 분석하는 단계를 거치게 된다. 위험도를 정의하고(Define, Measure단계) 위험도에 영향을 미치는 요소들을 찾아(Analyze단계) 위험도를 줄일 수 있는 방법을 찾는 단계로 전개된다. 위험도를 줄이기 위해서는 각 위험원별 저감방안을 수립하고 이에 대한 비용 및 효과분석을 통해 각 저감방안별로 어느 정도의 비용으로 어느 정도의 위험도가 저감되는지를 분석하게 된다. 또한 각 위험도의 저감방안들은 전문가 인터뷰, 문헌조사, 현장조사 및 기존의 예방대책들을 분석하여 정리하도록 한다.

2.2.5 관리(Control)

정의(Define)부터 개선(Improve)에 이르기까지 $Y=f(X)$ 의 관계를 정립하였고, Y의 최적(또는 바람직한) 성과 수준을 달성하기 위해 필요한 X의 운영범위도 구했다. 그런데 많은 경우에 개선안이 도입되어 문제가 해결되어도 개선된 상태가 유지되지 않고 개선 전 상태로 되돌아가는 경우가 많다. 바로 관리가 제대로 되지 않았기 때문이다. 관리(Control)단계에서는 X의 바람직한 범위가 프로젝트 완료 후에도 일상적으로 운영될 수 있도록 확실히 하여 얻은 성과를 유지해 나갈 수 있도록 하는데 초점을 맞춘다.

철도안전의 경우 개선(Improve)단계에서 수립된 저감방안별로 전체 철도안전의 수준을 결정할 수 있는 별도의 단계를 거쳐 각 위험원별로 어느 저감방안을 선택할 것인지를 보유하고 있는 비용, 정책적 문제, 환경적 문제 등 다양

한 요소들을 고려해서 결정하고, 이에 따르는 철도안전 수준이 목표 수준에 부합되는지를 결정한다. 만약 부합되지 않은 수준이라면 선정된 저감방안을 재수정하고 분석하는 과정을 거쳐 최종적으로 원하는 수준까지 관리하도록 한다.

3. 철도안전을 위한 위험도 분석

일반적으로 위험도 분석(Risk Assessment)은 법률적인 안전의무사항을 준수하거나 요건에 부합됨을 증명하는데 중점을 두고 있으며, 인간에 대한 피해의 관점으로 표현된다. 시스템의 고장과 같은 부적합한 사건들의 고장률 또는 빈도(Frequency)의 추정에 중점을 두는 것이 신뢰성 공학(Reliability Engineering)인 반면, 위험도 분석은 고장이 유발할 수 있는 결과(Consequence)까지 고려한다. 여기에서는 위험도 분석에 필요한 일반적인 과정을 기술한다.

3.1 위험도 분석 개념

3.1.1 위험도 분석의 목적

위험도 분석의 목적은 다음 세 가지로 분류할 수 있다.

① Risk 평가모델 개발을 위한 위험 분석

기존 시스템에 대한 잠재적 위험을 규명하고 사고의 전개 과정을 분석하여 위험도(Risk)를 분석하기 위한 모델을 개발한다.

② 운영관리를 위한 위험 분석

안전수준 향상 및 안전관리정책을 수립하고, 인적자원을 훈련시키며 효율성과 안전운영에 대한 동기를 부여하기 위해 기존의 시스템에 대하여 위험을 규명하고 분석한다.

③ 안전수준의 파악 및 인증

기존 시스템의 위험분석을 통하여 현 철도운영의 안전수준을 평가하여 추후 제시할 안전 프로그램 구축의 기반 정보로 사용한다.

3.1.2 정성적 분석과 정량적 분석

안전성(Safety) 분석은 상대적으로 단순한 정성적 방법에서 위험(Risk)에 대해 유추하는 정성적인 방법에 이르기까지 다양하다. 정확한 분석 및 해석을 위한 정량적인 방법이 사용될지라도 정성적인 분석이 선행되어야 한다. 그 이유는 수치적인 값을 할당하기에 앞서 해저드(Hazard)와 그 원인이 되는 요인들을 확인해야만 하기 때문이다. 따라서 정량적 분석의 타당성은 정성적인 분석의 깊이와 내용의 충실성에 달려 있다.

신뢰도를 평가하고 안전성에 영향을 미치는 요인을 확인하기 위해서는 작동중인 시스템에서 획득하는 운영상의 데

이터를 사용하면 가장 효율적이고 정량적인 분석이 된다. 이를 위한 방법으로 Probabilistic Risk Assessment의 사용은 널리 적용되어 왔다. 이 방법은 해저드(Hazard)에 대하여 이를 파악하고 규명하는 것이 최종적인 목표가 아니며, 해저드(Hazard)에 대한 최적의 저감방안을 수립하기 위한 의사결정 과정에 필요한 자료를 제공하는 기술적 기반을 확립하는 것으로서 해저드(Hazard)를 식별하는 것만으로는 해저드(Hazard)를 저감하기 위해 자원을 얼마나 할당해야 하는지를 결정하지는 못하기 때문에 상대적인 확률 추정 결과가 유용하게 사용된다.

3.2 위험도 분석 절차

일반적인 위험도 분석은 대체적으로 영국의 Yellow Book에서 제시된 안전성 평가절차를 준용하고 있다.

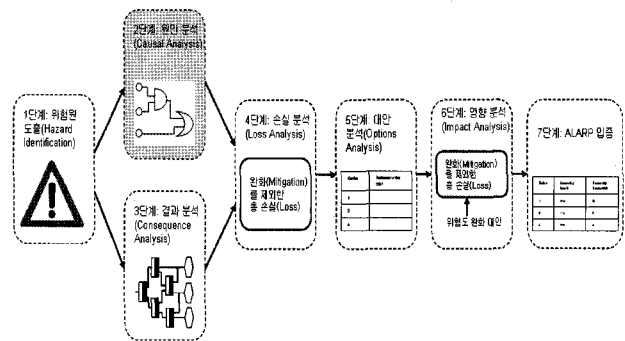


Fig. 1. Risk assessment process of yellow book in the UK [8]

그 내용을 살펴보면 시스템 안전관리는 위험원을 판별하고 해당 위험원이 야기하는 사고 또는 재난의 위험도를 평가하여 위험도가 허용가능한지의 여부를 조사하고 만약 허용가능하지 않으면 위험도 저감대책을 실시하여야 한다.

Yellow Book의 위험도 분석절차를 간략히 정리하고 이를 6시그마 단계와 비교하면 아래와 같다.

3.2.1 위험원 도출

위험원 도출은 위험원과 위험원을 구성하는 원인요인(Causal Factor)을 정의하기 위해서 위험원의 속성, 사고에 대한 그들의 관계 그리고 시스템에 미치는 영향 등을 이해하여야 한다. 위험원 도출은 전문지식 및 이전 경험을 바탕으로 예비위험분석(PHA : Preliminary Hazard Analysis), HAZOP(Hazard and Operability Studies) 등의 기법을 활용한다.

6시그마의 고객을 선정하고 CTQ를 결정하는 과정이다.

3.2.2 원인분석(Causal Analysis)

위험원 도출이 되면 각 위험원의 발생확률을 평가하고,

발생확률의 저감방법을 찾기 위해 각 위험원의 원인분석을 수행한다. 원인분석은 각 위험원들 간의 이해관계를 이해하고 표현하기 위하여 위험원을 초래하는 원인의 도식적인 표현을 사용한다.

6시그마의 Y(사고나 위험)에 영향을 미치는 X(위험원)를 찾고 이들의 관계를 품질요인도의 그림을 그려 도식화하기도 하며, 이를 위하여 특성요인도라는 도구를 활용한다.

특성요인도에서는 특성항목 중 하나에 대한 품질특성(결과)과 이에 영향을 미치는 요인(원인)과의 관계를 알기 쉽게 도표로 나타낸 것을 특성요인도라고 한다. 그 모양이 생선뼈의 모양을 닮았다고 점에서 생선뼈그림이라고도 한다.

Fig. 2에서 보듯이 품질특성, 즉 결과를 우측화살표 끝에 표시하고 그 원인들은 요인별로 계통적으로 나타낸다.

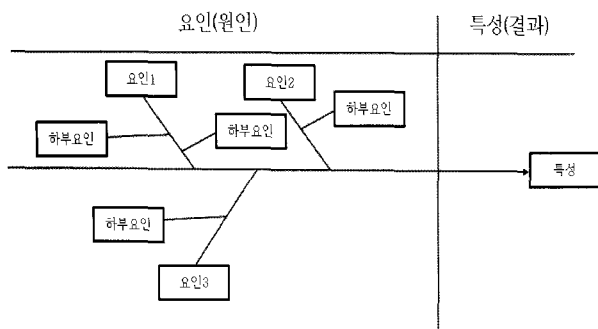


Fig. 2. Composition of cause and effect diagram

이 때 요인의 분류는 분석하려는 대상목적의 특성, 즉 문제점에 따라 다르지만 대개 4M(man, material, method, machine)을 토대로 계통적으로 가치를 쳐서 세부요인까지 추구하는 시스템적 접근방법을 적용한다.

특성요인도는 문제점을 정리하거나 개선할 때에 여러 사람의 의견을 한 장의 그림에 정리하여 나타낼 수 있어 구성원 전원의 참가가 가능할 뿐만 아니라, 결과나 원인을 계통적으로 나타낼 수 있어서 사고의 대책 및 불량제거, 작업이나 공정의 관리 및 개선 등에 매우 효과가 있다.

결국 특성요인도는 특정 특성에 미치는 요인들이 무엇이고, 중요 요인들이 특성에 미치는 정도가 어느 정도인지를 다변량분석이나 회귀분석, 데이터마이닝 등의 기법을 활용하여 분석하게 된다. 철도안전의 경우 이런 특성요인도의 활용은 안전지표 해석 및 사고에 대한 원인분석에 활용할 수 있다. 그러나 특성요인도에서는 영향을 미치는 X(위험원) 변수들이 대부분 측정값과 같은 정량화된 척도로 사용하고 있으나, 현재 철도사고에 관련된 데이터들은 대부분 사고유형(탈선, 화재, 충돌 등), 사고원인(규정위반, 주행장치 결함, 궤도결함 등) 등과 같은 명목형 변수로 관리되고

있다. 따라서 원인분석을 통한 사고요인을 해석하기 위해서는 이런 특성요인도와 같은 방법을 활용할 수 없으며, 단순한 빈도 중심의 분석만이 가능하다. 결국 원인분석을 통한 체계적인 요인 관리를 위해서는 데이터의 정량화를 통한 관리가 우선되어야 한다. 그래서 특성요인도와 같은 방법으로 활용할 수 있는 방법은 안전지표를 산출함에 있어서 각 항목들이 지표에 어느 정도 영향을 미치는지 활용하는 방법이 가능하다.

Table 1. Evaluation items of railway transportation culture index

구분	일반철도	도시철도
공급성	혼잡도	혼잡도
신뢰성	정시성(배차간격)	정시성(배차간격)
	예약불이행율	무단 승차율
편리성	역사의 편리성	역사의 접근성
	교통약자를 위한 시설 설치율	교통약자를 위한 시설 설치율
	매표 대기시간	
쾌적성	역사청결도	역사청결도
		소음도
	휴대폰 사용매너	휴대폰 사용매너
	흡연율(플랫폼)	흡연율
안전성	열차 100만km당 사고건수	열차사고건수
	역의 안전시설 설치율	역의 안전시설 설치율
	위기대처법 인지도	위기대처법 인지도
질서 의식	이용객 100만명당 불만수	승하차 질서지킴이

예를 들어 교통안전공단의 철도 교통문화지수 조사보고서[9]에 의하면 교통문화지수를 산정하기 위한 항목으로 Table 1과 같이 공급성, 신뢰성, 편리성, 쾌적성, 안전성, 질서 의식의 6개 항목을 선정하고, 각 항목별로 별도의 세부 항목을 두어 설문조사를 통해 각 항목에 대한 가중치를 계산하는 방식으로 지수를 산정하였다.

3.2.3 결과분석(Consequence Analysis)

결과분석은 각각의 위험 요인으로부터 발생할 수 있는 사건들을 결정하기 위하여 수행한다. 수행하는 해석의 깊이는 각 위험요인의 원인분석과 유사한 방법으로 상대적인 순위에 따라 다르다. 위험을 야기하는 요인을 판단하는 것이 목적인 원인 분석과는 대조적으로, 결과 분석은 각 위험으로 인해 발생할 수 있는 영향을 판단하는 것이다.

이를 위해서 위험도를 정의하고 각 위험원 혹은 분석 항목별로 위험도 순위를 결정하여 우선적으로 하여야 하는 항목들을 선정하도록 한다.

6시그마 과정에서는 분석(Analyze)과정으로 각 X들의 Y에 미치는 정도를 판단하는 과정이다. 이를 위해서는 주성분분석, 회귀분석, 분산분석 등 통계적 분석방법을 활용하고 있다.

박종선[10]은 교통문화지수 산정을 위해 주성분분석을 이용하여 항목별 가중치를 산정하고 이를 바탕으로 문화지수를 산정하였다. 동일한 방법으로 안전지표 산정을 위하여 주성분분석을 활용한 가중치 산정을 수행하여야 한다.

3.2.4 손실분석(Loss Analysis)

손실분석은 각 위험요인에 관련된 잠재적인 안전 손실의 정도를 결정하기 위하여 수행하며, 결과 분석을 통하여 규명된 모든 사건 및 사고와 연계된 안전 손실에 대한 체계적인 조사로 구성된다. 손실 분석은 리스크 감소 대책 및 이후 단계에서 이들 대책의 효과를 고려하기 이전의 업무 위험과 관련된 손실 평가를 포함한다. 시스템과 연관된 손실은 모든 시스템 위험을 포함하여야 하며, 서로 다른 그룹의 사람들이 경험한 안전 손실은 각 그룹에 따라 별도로 포함되어야 한다.

위험도 분석의 경우 리스크 저감 방안 l 개에 대하여 각 방안별 세부항목을 별도로 선정하고 선정된 항목별로 비용 및 기대손실을 계산하는 방법을 활용한다. 즉 m_k 를 $k(k=1,2,\dots,l)$ 번째 저감방안에 대하여 투입되는 비용 $m = \sum_{k=1}^l m_k$ 이라 하고 k 번째 방안에서 n_k 개의 세부항목에 대한 기대손실 $E_{ki} = F_{ki} \times C_{ki}$ 라고 한다면 각 저감방안에 대한 기대손실은

$$\min \sum_{i=1}^n \frac{dE_{ki}}{dm_k} \times m_{ki}$$

$$s.t \quad i) m_{ki} = m_k \times w_{ki}$$

$$ii) \sum_{i=1}^n w_{ki} = 1$$

$$iii) \frac{dE_{ki}}{dm_k} = \frac{dC_{ki}}{dm_k} \times F_{ki} + \frac{dF_{ki}}{dm_k} \times C_k$$

을 만족시키는 w_{ki} , $i=1,2,\dots,n_k$ 를 찾는 방법이다. 여기에서 dC_{ki}/dm_k 은 단위 투입비용 손실의 변화량, dF_{ki}/dm_k 은 리스크 저감을 위해 투입되는 단위 투입 대비 사건 발생 확률의 변화량, dE_{ki}/dm_k 은 단위 투입 대비 기대손실의 변화량을 나타낸다

각 위험원별로 리스크 저감방안을 수립하고 이에 대한 비용 및 저감효과 분석 내용도 포함된다.

본 내용은 6시그마 과정에서의 개선(Improve)단계의 일부분으로서 기본적인 아이디어는 동일하며, 위험도 분석에 맞게 일부 수정함으로써 개선안에 대한 개선효과와 개선에 드는 비용(또는 위험)을 고려하여 비용은 적게 들고 효과가 큰 개선안을 선택하는 단계와 동일한 개념으로 활용할 수 있다.

3.2.5 대안분석(Options Analysis)

대안분석에서는 손실분석에서 나타난 손실을 감소하기 위한 대책이 결정된다. 각 위험원에 대한 위험도 완화 대책을 도출하기 위해 브레인스토밍(Brainstorming)과 체크리스트(Checklist)가 사용되며 대책분석을 할 때는 관련 비용으로 평가하고 기록하여야 한다. ALARP원칙에 따르고 있다는 것을 보이기 위하여 가능한 한 광범위한 분석이 이루어져야 한다.

6시그마 과정에서는 개선(Improve) 단계의 일부분으로서 개선안을 도출하고 개선효과와 개선에 드는 비용(또는 위험)을 고려하여 비용은 적게 들고 효과가 큰 개선안을 선택하는 단계와 동일한 개념이다.

3.2.6 영향분석(Impact Analysis)

영향분석은 각각의 대책을 적용하였을 경우의 발생 가능한 영향을 파악하는 분석 작업이다. 영향분석에서는 대책을 적용하였을 경우와 적용하지 않았을 경우에 대하여 안전손실의 차이점을 계산하여 그 효과를 제시한다. 영향분석은 손실분석에서와 마찬가지로 각각의 사건에 대해 개별적으로 수행하여야 하며, 정량적 분석을 수행할 때에는 민감도분석을 통하여 손실감소를 위한 가장 효과적인 대책을 결정하여야 한다.

3.2.7 ALARP(As Low As Reasonably Practicable) 입증

일반적으로 위험도의 수용여부를 결정하기 위한 절차는 아래와 같다.

- ① 위험도가 수용 불가능한 영역에 있는지 확인하고, 만약 수용불가능에 있다면 이를 수용하지 않는다.
- ② 위험도가 대체적으로 수용할 수 있는 영역에 있는지를 확인하고, 합리적인 비용으로 위험도를 감소시킬 수 없다면 위험도를 감소시킬 필요는 없다, 그러나 해당영역에 계속 남아있는지 확인하기 위하여 감시해야만 한다.
- ③ 만약 위험도가 이들 두 영역사이에 걸쳐 있는 경우, 위험도를 감소시키기 위해 합리적으로 실행 가능한 모든 방안을 수행한 후 이를 수용한다.

대체적으로 영향분석과 ALARP의 입증은 6시그마와 직

접적인 관련을 찾기는 어렵지만 관리(Control)과정의 일부로 해석이 가능하다.

이상에서 살펴본 내용과 같이 6시그마의 각 단계 및 안전관리를 위한 위험도 분석의 절차는 각 단계별로 약간의 차이는 있으나 기본적인 내용은 거의 유사한 관계를 보이고 있다. 이를 종합적으로 비교하면 아래 그림과 같다.

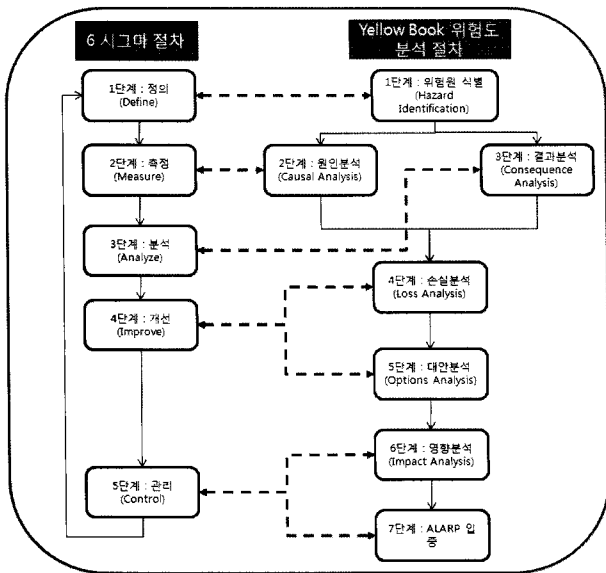


Fig. 3. A comparison of risk assessment process between 6 sigma and yellow book

4. 결론

본 논문에서는 고도의 산업화 시대를 맞아 더욱 복잡해지는 철도시스템의 안전관리 프로세스를 제조업의 경영혁신 운동인 6시그마에 대한 도입방안을 연구하고자 각 부분에 대한 단계별 내용들을 비교하고 위험도 분석의 각 단계별로 6시그마 방법의 활용도를 제안하였다.

철도안전 분야에서는 관련 데이터 수집의 문제점이나 고도의 통계분석의 한계점 및 현실적인 여러 가지 문제점 때문에 이제까지 깊이 있고 과학적인 분석을 통한 안전관리 시스템이 부족하였다. 그러나 제조업에서는 단순히 제조과정에서의 문제점뿐만 아니라 관련된 인사조직, 교육훈련, 경영체계 등 제품에 미칠 수 있는 모든 영향을 고려하

여 분석함으로써 최대한 좋은 제품 및 최고의 고객 만족도를 달성하기 위하여 6시그마 기법을 도입하고 안정화 단계에 이르고 있다. 최근 들어 이러한 6시그마 기법은 제조업에서 금융, 통신, 서비스 등 모든 산업에서 도입하거나 도입을 준비 중인 단계에 이르게 되었다.

본 논문에서는 이러한 훌륭한 기법을 도입하기 위한 제언을 하는 단계이며, 이제 한 단계 나아가 이러한 각 단계별 내용들을 정리하고 구체적인 내용까지 정리하여 철도안전 혹은 위험도 분석 과정에 6시그마의 세부적인 기법뿐만 아니라 이제까지 축적된 Know-How를 반영함으로써 보다 안전한 철도시스템이 될 수 있는 기틀을 마련하여야 할 것이다.

참고 문헌

1. 이영순(2005), "안전공학과 철도안전관리 향상 방안", 한국철도학회지 특별기고, 제8권 제2호, pp.34-37.
2. 한석운, 하천수, 홍순기, 이호용(2005), "도시철도운영기관의 종합신뢰성 경영시스템 적용방안 연구," 한국철도학회논문집, 제8권 제3호, pp.286-292.
3. 왕종배 외(2003), "철도사고방지 및 안전확보를 위한 핵심기술개발 연구," 철도안전성능평가기술개발사업 2차년도.
4. 광상록, 왕종배, 조연옥(2005), "위험도기반의 철도안전관리체계구성을 위한 연구," 한국안전학회 춘계학술발표회, pp.310-315.
5. 윤재한, 이재천, 홍선호(2007), "철도시스템 개발에서 시스템공학 프로세스와 안전성 평가를 동시에 고려한 통합 프로세스에 관한 연구," 한국철도학회논문집, 제10권 제4호, pp.438-443.
6. 백재욱, "6시그마 경영-허와실 그리고 우리의 나아갈 바," 자유아카데미.
7. 송보영, 문대섭, 이동훈(2009), "철도안전도 평가지표 개발에 관한 연구," 한국철도학회 논문집, 제12권 4호, pp.443-449.
8. 왕종배 외 11(2006), "철도사고 위험도분석 및 평가체계 구축," 철도종합안전기술개발사업 제2차년도 중간보고서.
9. 이흥로 외 4(2004), "2004년 철도 교통문화지수 조사보고서," 교통안전공단.
10. 박종선 외(2000), "2000년 교통문화지수 조사보고서," 교통안전공단.

접수일(2009년 9월 2일), 수정일(2009년 10월 2일), 게재확정일(2009년 10월 16일)