

RSC GUIDE
N/A

차세대 위험도 분석, 평가 및 관리 도구용 BowTieXP 소개

An Introduction to BowtieXP for Advanced Risk Analysis, Assessment and Management Tool

2018.04.30.

(주)알에스씨(RSC)

This document may not be reproduced, in full or in part, without prior written permission.

목 차

1	개요	3
1.1	배경	3
1.2	목적	4
1.3	범위	4
1.4	참고 문헌	4
2	보타이 분석 방법	5
2.1	위험요인(Hazard)	5
2.2	정점사상(Top Event)	6
2.3	위협(Threats)	6
2.4	결과(Consequences)	7
2.5	장벽(Barriers)	8
2.6	악화요소(Escalation factors)	9
3	보타이 사례 라이브러리	10
3.1	개요	10
3.2	차량 분야 보타이 사례	12
3.3	철도 분야 보타이 사례	15
3.4	정유 및 가스 분야 보타이 사례	18
4	맺음말	21

1 개요

보타이(Bowtie) 방법은 위험도가 높은 사고 시나리오에서 인과 관계를 분석하고 입증하는 데 사용할 수 있는 위험도 평가 방법이다. 보타이라는 명칭은 남성용 나비넥타이처럼 생긴 다이어그램 모양에서 유래한 것이다. 우선, 보타이 다이어그램은 특정 위험요인 주위에 존재할 수 있는 모든 가능한 사고 시나리오를 한 눈에 보여준다. 둘째, 이러한 시나리오를 통제하기 위해 대책을 식별하여 기업에서 수행해야 하는 것을 보여준다.

보타이 방법에서는 일단 통제 대책을 식별하면 한 단계 더 나아가 통제 대책이 실패하는 방식을 식별한다. 이러한 요소 또는 조건을 단계적 악화요소(Escalation factor)라고 한다. 또한 악화요소에 대해 가능한 통제 대책도 있으므로 악화요소 통제라고 하는 특별한 통제 형태가 있다. 이는 주요 위험요인(Hazard)에 간접적이지만 결정적인 영향을 미치게 된다. 통제 대책과 악화요소 사이의 상호작용을 시각적으로 보여줌으로써 통제 대책에 악화요소가 있을 때 전체 시스템이 어떻게 악화되는 지를 확인할 수도 있다.

기본적인 보타이 다이어그램 외에도, 관리 시스템을 고려해야 하고, 어떤 활동이 통제 대책에 효과가 있고, 누가 통제를 책임지고 있는지에 대한 전반적인 상황을 제공하는 보타이와 통합해야 할 것이다. 보타이에 관리 시스템을 통합하면 기업에서 위험요인을 어떻게 관리하는 지를 알게 해준다. 또한 보타이는 위험요인을 허용 가능한 수준으로 관리하고 있다는 것을 보장하기 위해 효과적으로 사용될 수 있다.

보타이 다이어그램은 여러 가지 안전성 기법의 장점과 인적 요인 및 조직 요인으로 인한 영향을 결합함으로써 직원들에게 자신의 역할과 위험요인 관리에 대한 이해를 용이하게 한다. 또한 매우 시각적이며 직관적인 특성으로 인해 조직의 모든 계층에서 이해할 수 있는 방법이다.

1.1 배경

보타이 다이어그램은 1979년도에 호주 퀸즐랜드 대학에서 Imperial Chemistry Industry 강좌의 HAZAN (위험요인 분석)에 관한 강의 노트에 처음으로 나타났다고 하지만 정확한 출처는 명확하지 않다.

1988년 Piper Alpha 석유시추플랫폼에서 발생한 재난은 석유 및 가스 산업계를 각성하게 만들었다. 위험요인과 그에 수반되는 운영의 위험도에 대한 이해가 너무 부족하다고 결론을 내린 Lord Cullen의 보고서 이후 겉으로 보기에는 독립적인 사건 및 조건의 인과 관계에 대해 많은 통찰력을 얻고, 이러한 위험요인을 통제할 수 있는 체계적인 방법을 개발해야 한다는 생각이 커지게 되었다.

90년대 초 Royal Dutch / Shell Group은 보타이 방법을 위험도 분석 및 관리를 위한 회사 표준으로 채택했다. Shell은 보타이 방법의 적용에 대한 광범위한 연구를 촉진시키고, 모범 사례에 대한 아이디어를 기반으로 모든 부분의 정의를 위한 엄격한 규정을 개발했다. 그 이유는 전세계의 모든 운영에서 적절한 위험도 통제가 일관되게 유지되고 있다는 확신의 필요성 때문이었다.

Shell의 연구 이후 보타이 다이어그램은 일반적으로 사용되는 시스템 중 하나를 대체하는 것이 아니라 위험도 관리 업무를 간략하게 보여주기에 적합한 시각적 도구로 보였으므로 보타이 방법은 업계 전반에 걸쳐 급속하게 지원을 얻게 되었다.

지난 10년 동안 보타이 방법은 석유 및 가스 산업 외부인 항공, 광업, 해양, 화학 및 보건 등으로 확산되었다.

1.2 목적

이 문서는 위험도 분석, 평가 및 관리 도구로 사용되고 있는 보타이 분석 방법과 전용 소프트웨어인 BowTieXP를 이용한 일부 적용 사례를 소개하고, BowTieXP 개발사에서 여러 분야로부터 적용 사례를 취합하여 클라우드 기반으로 회원들을 대상으로 공유하고 있는 현황을 소개하기 위함이다.

1.3 범위

이 문서는 위험도 분석, 평가 및 관리 전용 소프트웨어인 BowTieXP 개발사가 제공하는 정보를 기반으로 차세대 위험도 분석, 평가 및 관리 도구로 진화하고 있는 보타이 분석에 대한 접근 방법, 적용사례 및 보타이 라이브러리 구축 현황을 포함한다. 보타이 분석 방법의 적용 분야는 안전과 관련된 거의 모든 분야가 되며, 예를 들면, 항공, 비즈니스 및 정보기술, 화학, 에너지, 식품, 의료, 해양, 광산, 정유 및 가스, 개인 안전, 철도, 도로 교통, 저장 탱크, 작업 환경, 보안 등이 해당된다.

1.4 참고 문헌

- [1] https://www.cgerisk.com/knowledgebase/The_bowtie_method, As of Apr 29, 2018
- [2] Software Manual For BowTieXP 9.0, Revision 36, 4th Oct, 2017, CGE Risk Management Solutions
- [3] 반정량적(Semi-quantitative) 보우타이(Bow-Tie) 리스크 평가 기법에 관한 지침, 2011, 한국산업안전보건공단

2 보타이 분석 방법

보타이(Bowtie)는 쉽게 이해할 수 있는 하나의 그림으로 위험도¹(Risk)를 시각적으로 다루는 도표로서 나비넥타이 모양을 하고 있다. 보타이 분석은 위험요인(Hazard)에서 출발하며, 정점사상을 기준으로 원인과 결과를 분석, 관리 및 평가하는 기법으로 사전 및 사후 위험도 관리 사이를 명확하게 구분해준다. 보타이 도표에 대한 예는 그림 2-1과 같으며, 각 항목에 대한 정의는 이하 절에 기술한다.

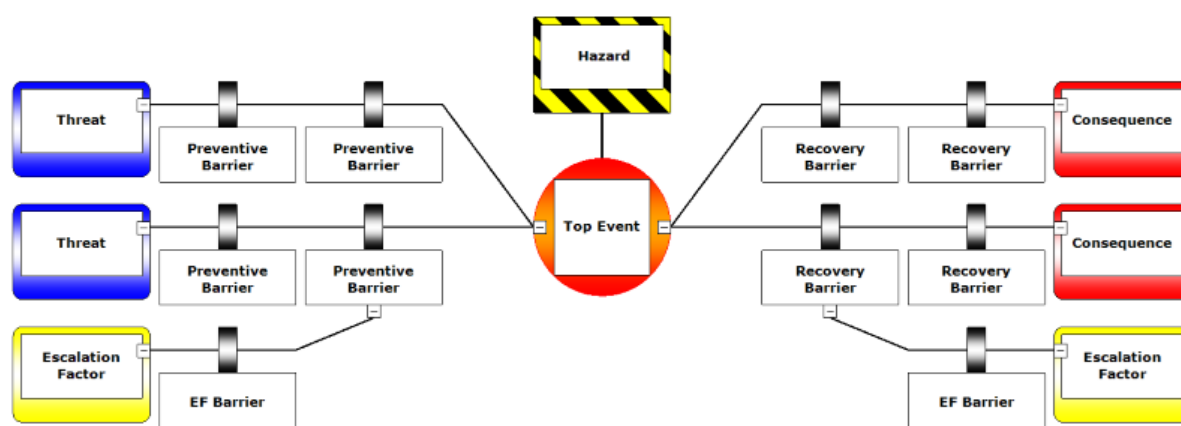


그림 2-1. 보타이 도표

2.1 위험요인(Hazard)

보타이는 위험요인에서 출발한다. 위험요인은 조직을 손상시킬 가능성이 있는 것으로 조직의 내부, 주변 또는 일부에 있는 것이다. 예를 들어, 유해 물질로 작업하는 것이나 자동차 운전 또는 중요한 데이터를 저장하는 것은 조직에 위험한 측면에 해당하나 컴퓨터로 어떤 기사를 읽는 것은 이에 해당되지 않는다. 위험요인에 대한 개념은 조직의 일부분으로 위험한 측면에 대한 통제가 되지 않아 부정적인 영향을 미칠 수 있는 것을 찾는 것이다. 그 결과는 조직의 정상적인 측면으로 정형화되어야 할 것이다. 보타이의 나머지 부분은 정상적이지만 위험한 측면을 원하지 않는 것으로 바뀌지 않도록 하는데 노력을 기울이게 된다. 위험요인은 보통 HAZID²로 출발하는 것이 모든 가능한 위험요인을 얻는 좋은 방법이다. 그런 다음, 보타이는

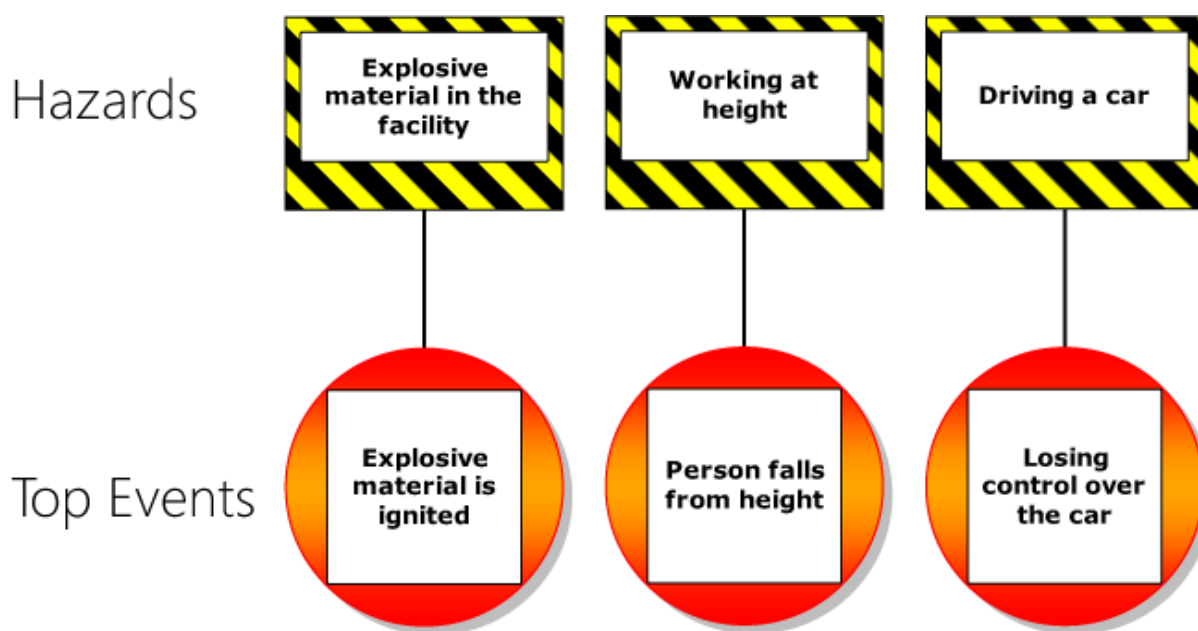
¹ IEC 61508에 의하면, 위험도(Risk)는 위해의 발생빈도와 심각도의 조합으로 정의된다. 안전성의 정량적인 척도에 해당된다.

² Hazard Identification의 약어

광범위한 위해를 초래할 가능성이 높은 위험요인에 대해서만 수행하게 된다. 보통 5개에서 10개의 위험요인이 적절한 출발점이 된다.

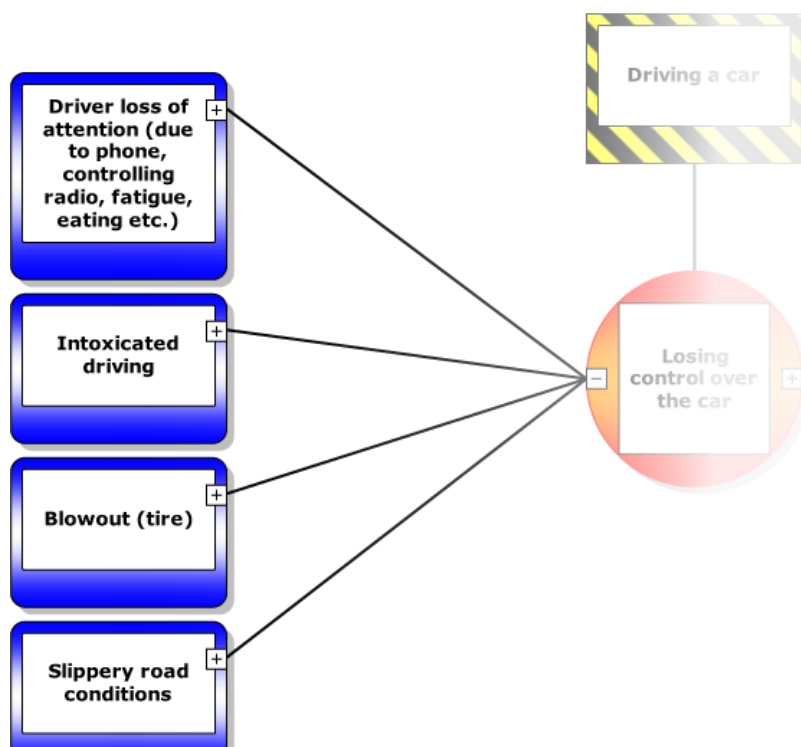
2.2 정점사상(Top Event)

위험요인이 선정되면 다음 단계는 정점사상을 정의하는 것이다. 이는 위험요인에 대한 통제를 상실한 순간이 된다. 아직 손실이나 부정적인 영향이 없으나 임박한 상황이다. 다시 말해, 이것은 실제 손실을 초래하기 바로 전에 정점사상을 선정한 것을 의미한다. 정점사상은 선택이지만 통제를 상실하는 정확한 순간은 무엇인가? 이것은 상당히 주관적이고 현실적인 선택이다. 흔히 정점사상은 보타이의 나머지 부분이 완료된 후에 다시 명확하게 표현한다. 초기에 명확하게 표현하는 것에 대해 걱정하지 않아도 된다. 일반적인 ‘통제 상실’로 출발하고 명확하게 표현하기 위해 보타이 분석 과정에서 여러 번 다시 논의하게 된다.



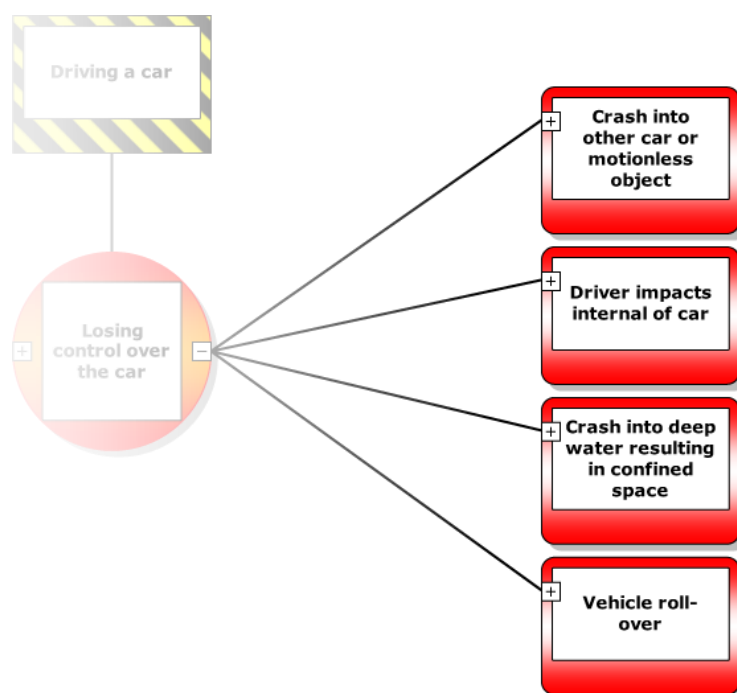
2.3 위협(Threats)

위협은 정점사상을 초래하는 모든 것을 의미하며, 여러 개의 위협이 있을 수 있다. 인적 오류, 장비 고장 또는 기상 조건과 같은 일반적인 형태는 피하도록 한다. 사람이 정점사상을 일으키게 하는 것은 무엇인가? 어떤 장비? 어떤 종류의 날씨 또는 날씨가 어떤 영향을 미치는가? 너무 구체적일 수 있지만 사람들은 너무 일반적인 경향이 있다.



2.4 결과(Consequences)

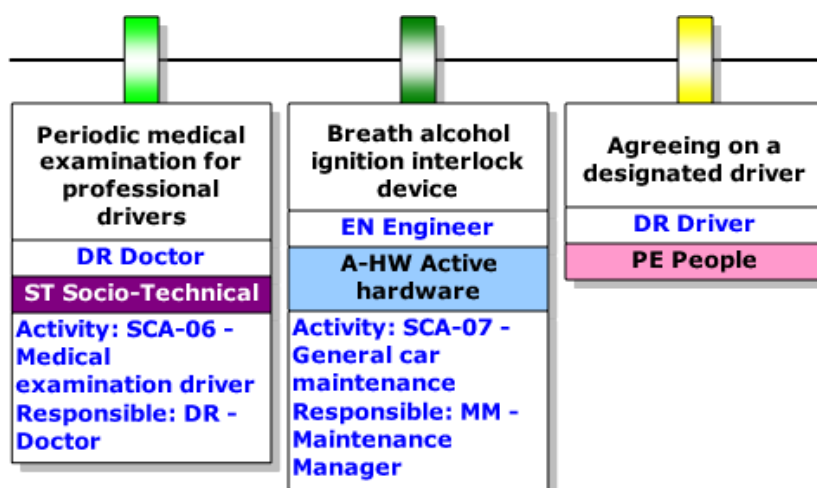
‘결과’는 정점사상으로부터 유발된 결과이다. 모든 정점사상은 하나 이상의 결과가 있을 수 있다. 위험과 마찬가지로 사람들은 구체적인 사상을 설명하는 대신 일반적인 범주에 집중하는 경향이 있다. 부상, 사망, 자산 손실, 환경 손실, 평판 훼손 또는 재정적 손실에 집중하지 않도록 한다. 그것들은 특정한 결과의 사상에 대한 설명보다는 폭 넓은 범주의 손실에 해당한다. 자동차 전복, 바다로 기름 유출 또는 유독 구름 형태와 같은 사상으로 설명하도록 한다. 보다 구체적인 정보를 담고 있을 뿐만 아니라 대책이 생길 때 더욱 구체적으로 생각할 수 있도록 해준다. ‘환경 손실’ 대 ‘바다로 기름 유출’을 어떻게 방지하고 싶은지를 생각한다. 두 번째는 구체적인 대책을 쉽게 찾아 낼 수 있는 실제 시나리오이다.



2.5 장벽(Barriers)

Barrier은 다른 말로 Control로 대체할 수 있으며, 모두 ‘방지대책’의 의미를 갖는다. 여기서는 Barrier을 의미 그대로 “장벽”이란 용어로 통일하여 사용한다. 보타이에서 장벽은 정점사상의 양쪽에 나타난다. 장벽은 위협 요소가 정점사상에 대한 통제를 상실하지 않도록 하거나 실제 영향(결과)이 악화되지 않도록 차단하는 역할을 한다.

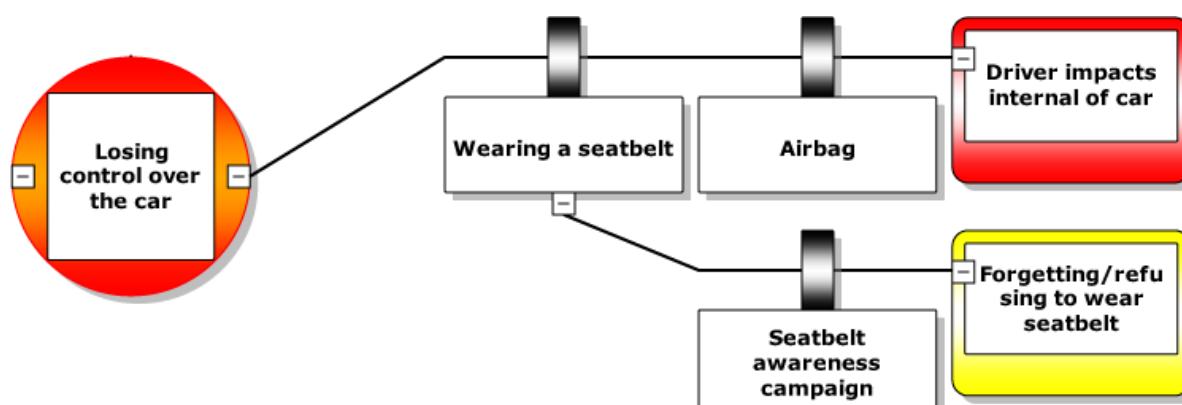
장벽은 주로 인간 행동이나 하드웨어/기술의 다양한 조합으로 수립할 수 있다. 장벽이 규명되면 위험도 관리 방법에 대한 기본적인 이해를 하게 된다. 이 기본적인 장벽 구조를 기반으로 약점이 어디에 있는지 더 깊이 이해할 수 있다. 장벽의 효율성을 나타내기 위해 장벽 종류 옆으로 확장시킬 수 있다. 이를 통해 장벽이 얼마나 잘 수행되는 지를 평가할 수 있다. 그런 다음, 구현해야 할 활동을 살펴보고 장벽을 유지할 수 있게 된다. 이것은 기본적으로 안전 관리 시스템을 장벽에 매핑하는 것을 의미한다. 또한 장벽에 대한 책임자를 결정하고 장벽의 중요성을 평가하는 것은 장벽에 대한 이해를 높이기 위해 할 수 있는 일이다.



2.6 악화요소(Escalation factors)

장벽은 결코 완벽하지 않다. 가장 좋은 하드웨어 장벽도 실패할 수 있다. 이러한 사실을 감안할 때 어떠한 장벽이 실패하는 이유를 알아야 한다. 이것은 ‘악화요소’를 사용해서 처리하게 된다. 장벽이 실패하게 되는 것을 악화요소로 서술할 수 있다. 예를 들면, 정전이 발생하면 전기 메커니즘을 사용하여 자동으로 열고 닫히는 문은 고장 날 수 있다.

참고로 악화요소에 유의하라. 모든 잠재적인 고장모드를 설명하지는 않는다. 통제 체계의 실제 약점과 이를 관리하는 방법만을 설명해라. 악화요소를 관리하는 논리적인 다음 단계는 ‘악화요소 장벽’이라고 하는 악화요소에 대한 장벽을 만드는 것이다. 이 경우, 백업 생성기가 될 수 있다.



3 보타이 사례 라이브러리

3.1 개요

위험도 분석, 평가 및 관리 전용 소프트웨어인 BowTieXP 개발사인 CGE Risk Management Solutions는 2015년도에 “CGE Joint Industries Project”를 시작하였으며, 그 당시 UK Civil Aviation Authority, Across Safety Development, Centrica Energy, TATA Steel, E.On, Shell 및 Transocean으로부터 제공받은 보타이 사례를 상호 공유하도록 데이터베이스를 구축했다. 그 이후 여러 산업분야에서 동참하면서 현재 400여개 이상의 보타이 사례가 수집되었으며 여러 산업 분야의 안전성을 제고하면서 정보 교류를 위해 클라우드 기반으로 웹상에서 공유하고 있다. 현재 보타이 서버의 라이브러리에 기여하고 있는 산업분야는 다음과 같다.

- | | |
|---------------|-----------|
| • 항공 | • 정유 및 가스 |
| • 비즈니스 및 정보기술 | • 개인 안전 |
| • 화학 | • 철도 |
| • 에너지 | • 도로 교통 |
| • 식품 | • 저장 탱크 |
| • 의료 | • 작업 환경 |
| • 해양 | • 보안 등 |
| • 광산 | |

보타이 서버의 라이브러리는 웹사이트 <https://www.cgerisk.com/bowtie-examples-library/>에서 회원가입 후 승인을 받으면 자유롭게 관련 자료를 이용할 수 있을 뿐만 아니라 자신이 작업한 보타이 사례를 추후 공유할 수도 있다. Figure 3-1은 보타이 사례 라이브러리 서버에 접속한 화면으로 해당 보타이를 그림파일이나 BowTieXP 파일로 저장해서 사용할 수 있다.

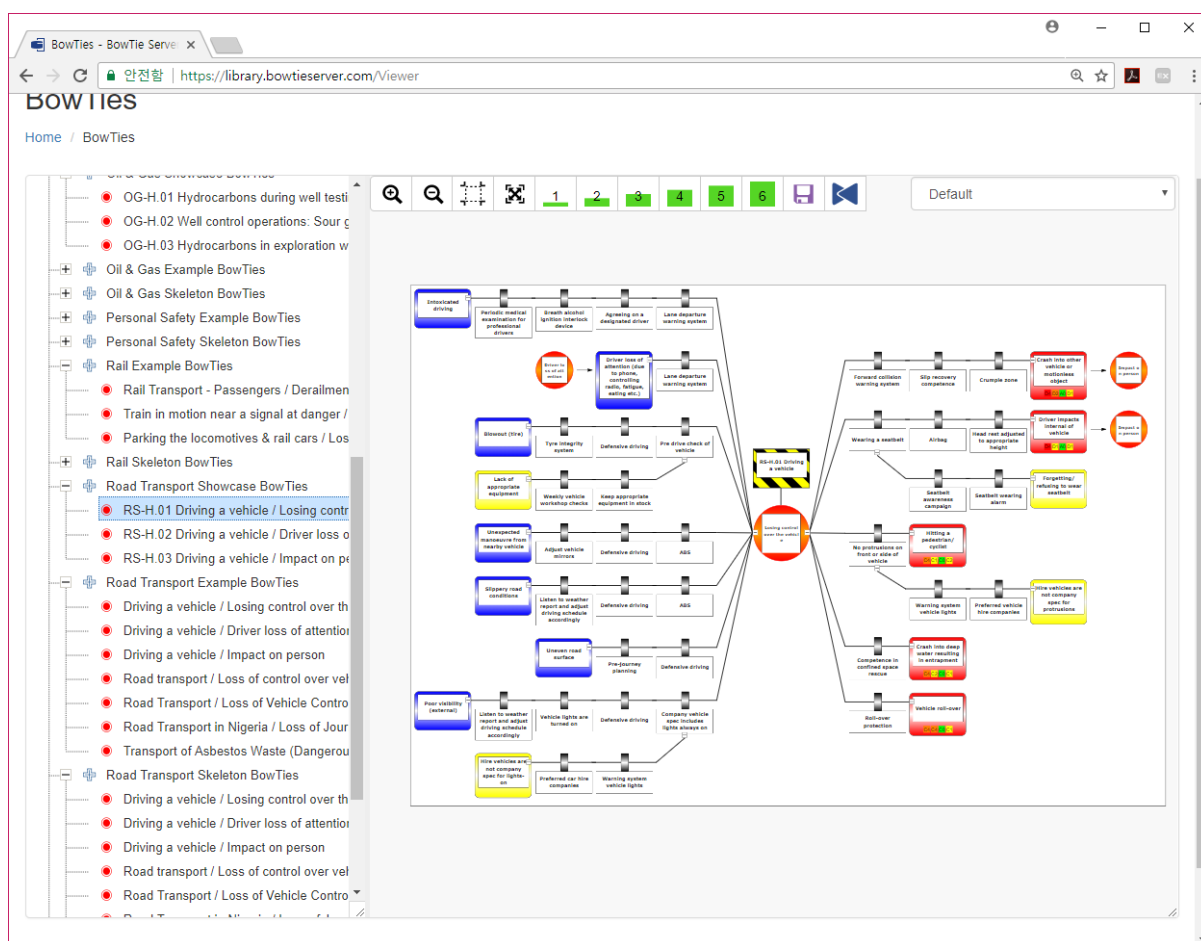
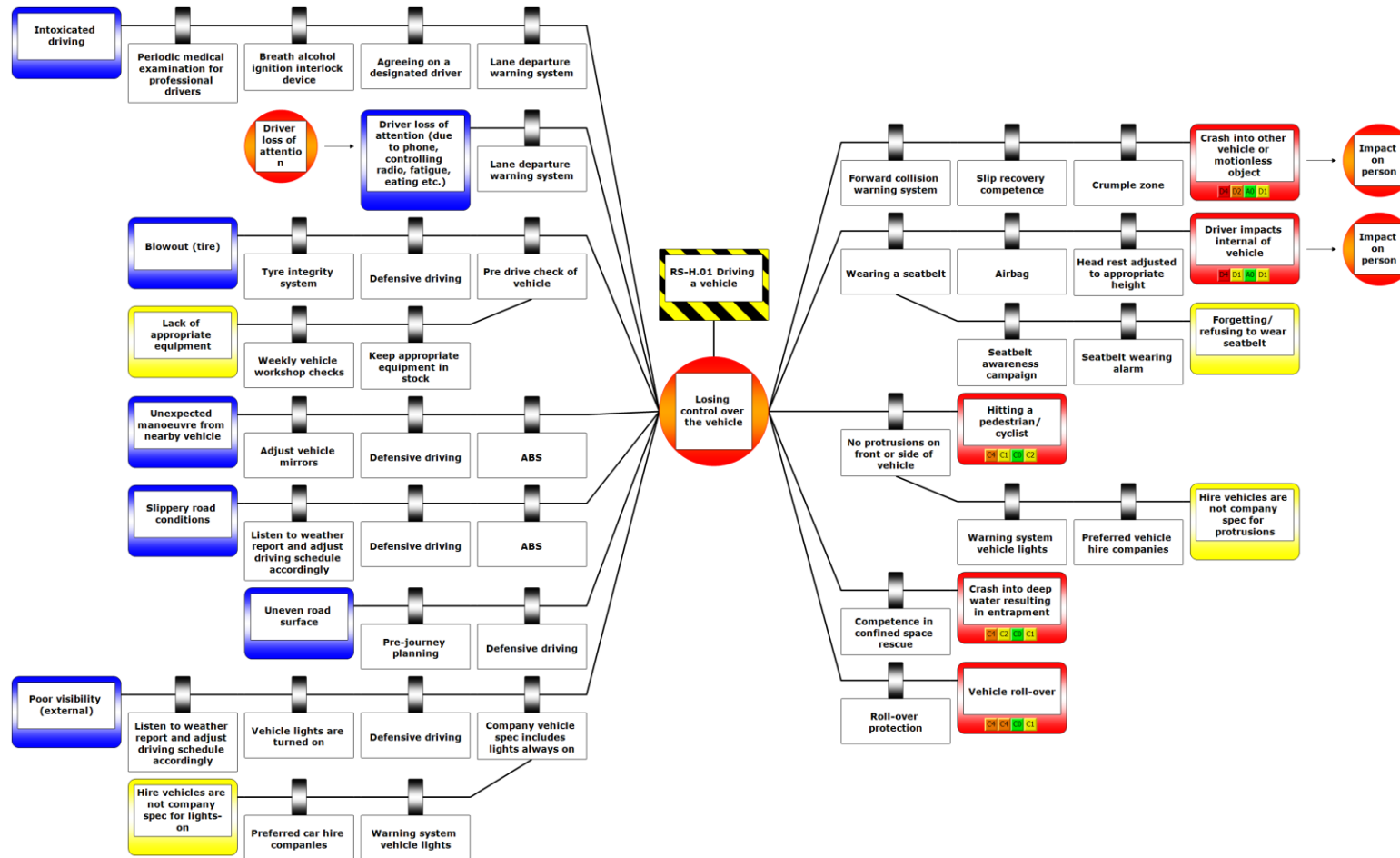


Figure 3-1. 보타이 사례 라이브러리

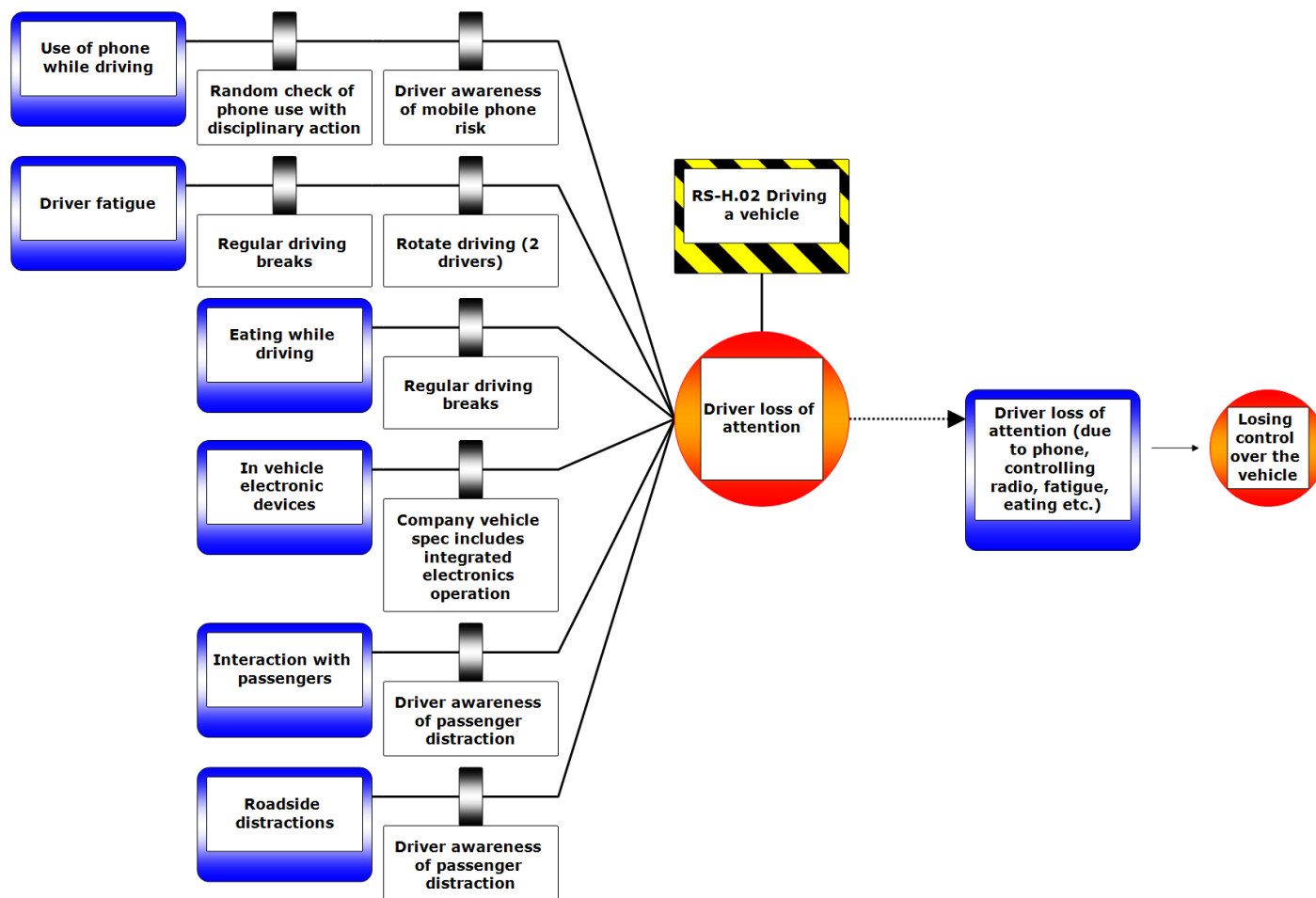
다음 절부터 보타이 사례 라이브러리 중 차량, 철도, 정유 및 가스 분야에 대한 몇 가지 사례를 소개한다.

3.2 차량 분야 보타이 사례

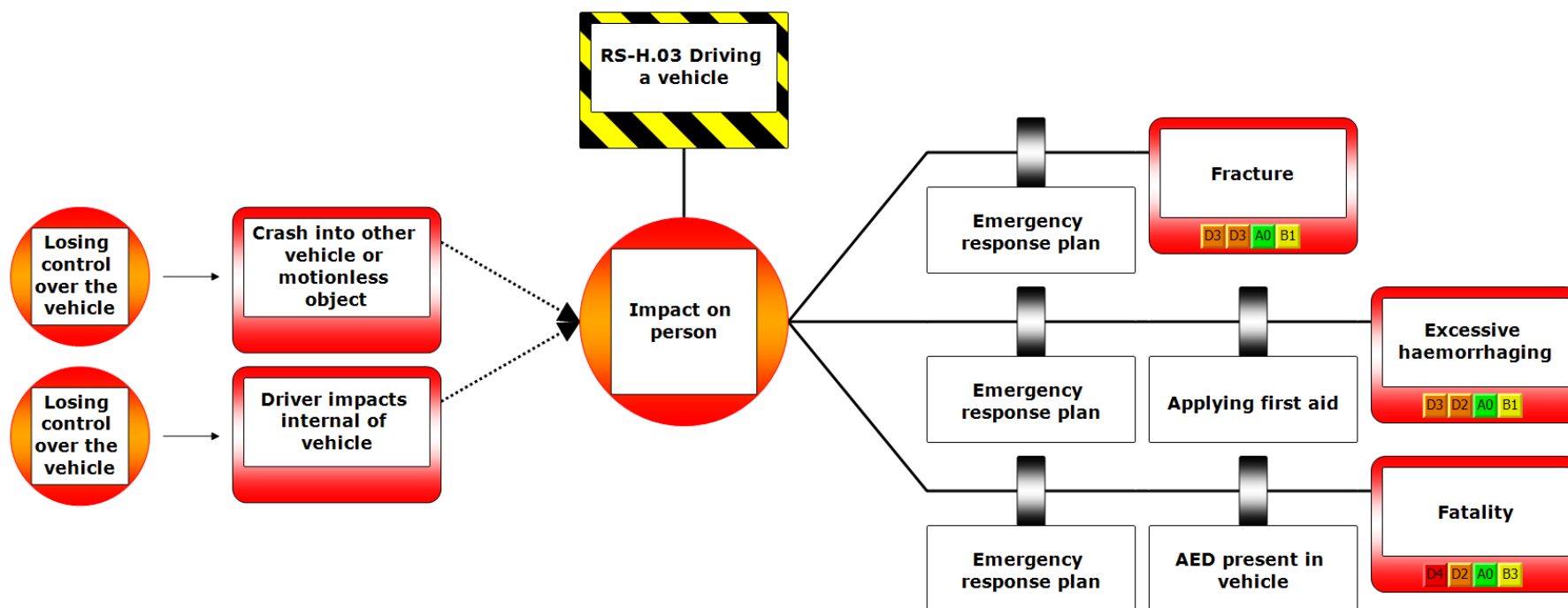
1) 위험요인: 차량 운전, 정점사상: 차량에 대한 통제 상실



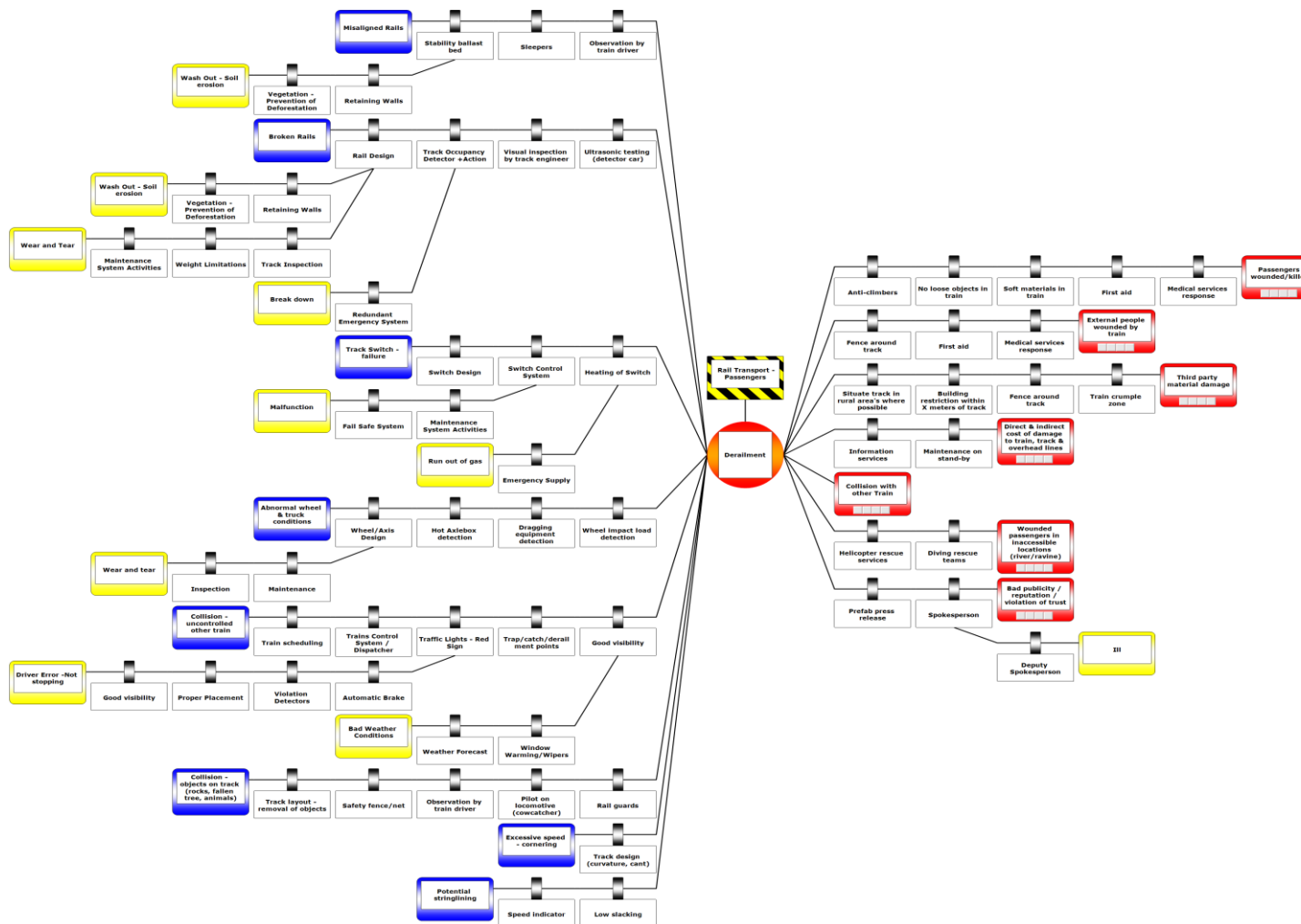
2) 위험요인: 차량 운전, 정점사상: 운전자 부주의



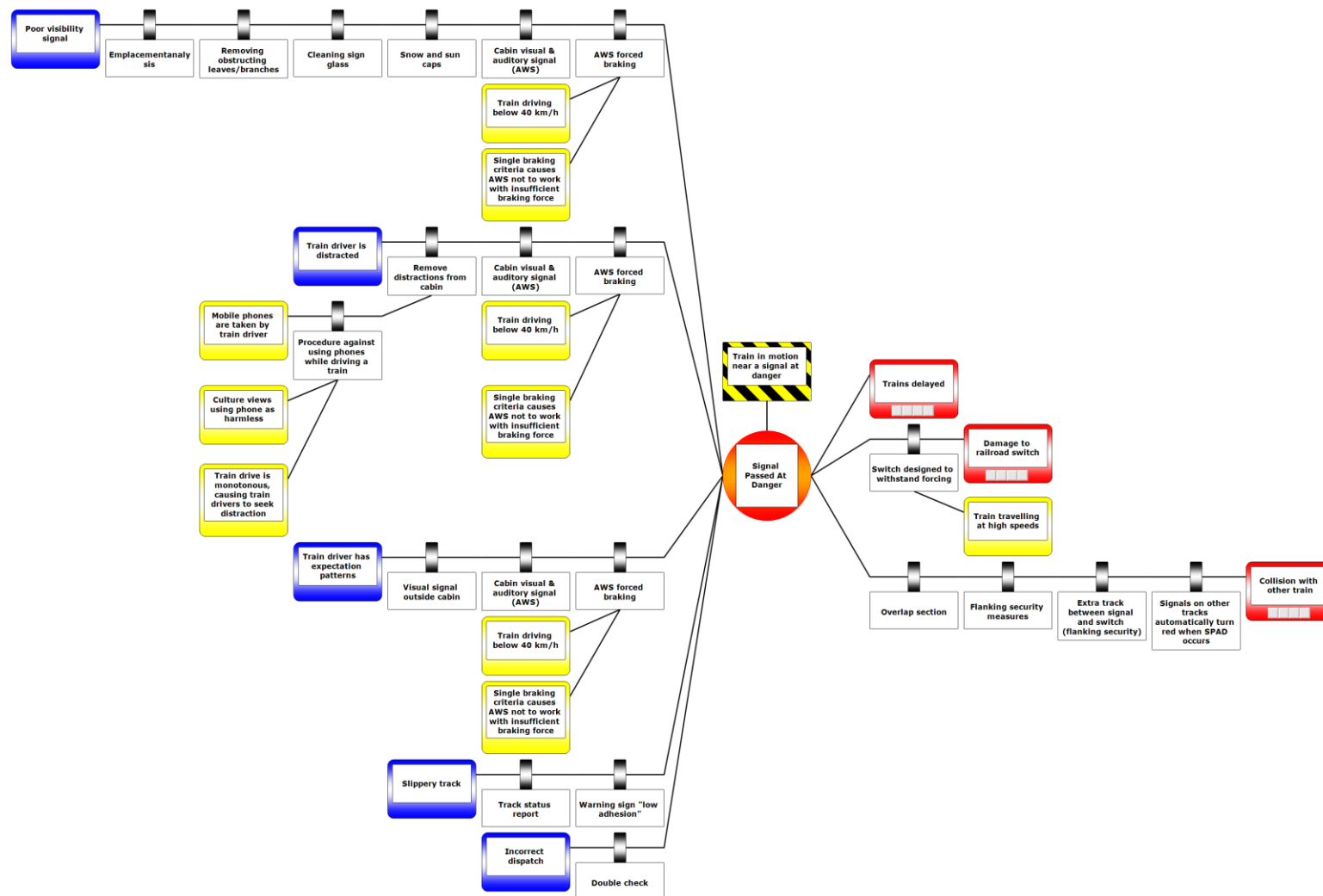
3) 위험요인: 차량 운전, 정점사상: 사람과 충돌



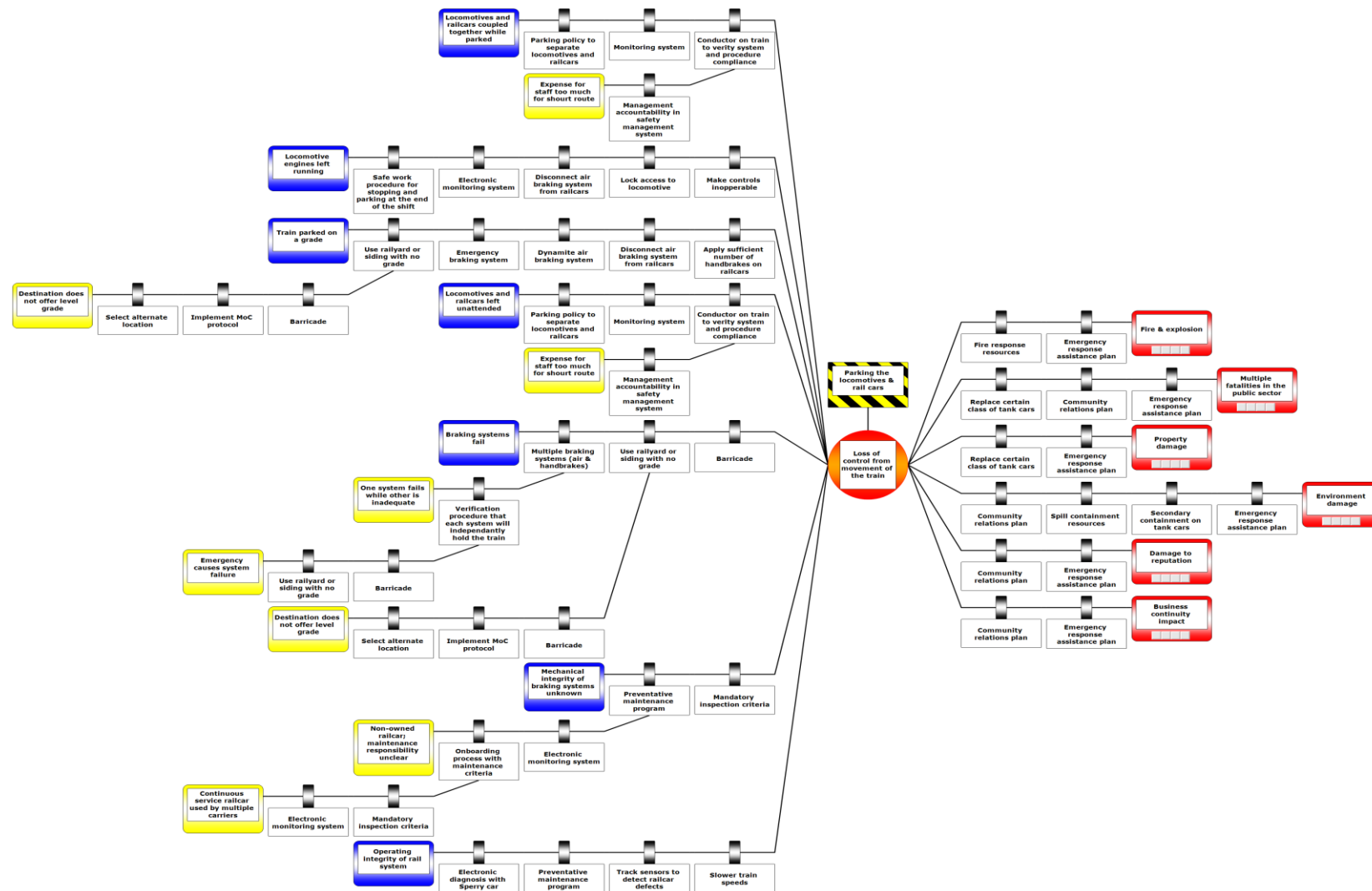
1) 위험요인: 철도교통-승객, 정점사상: 탈선



2) 위험요인: 위험신호 근처에서 이동하는 열차, 정점사상: 열차통과 위험신호

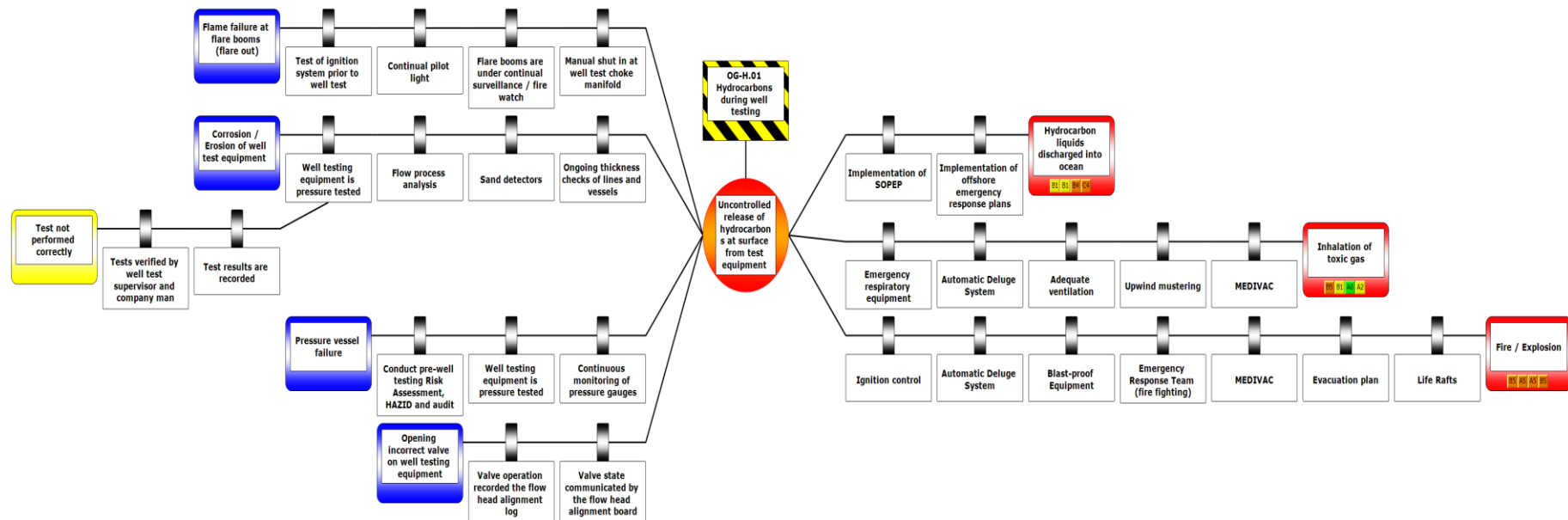


3) 위험요인: 기관차 및 철도차량 주차, 정점사상: 열차의 움직임에 대한 통제 상실

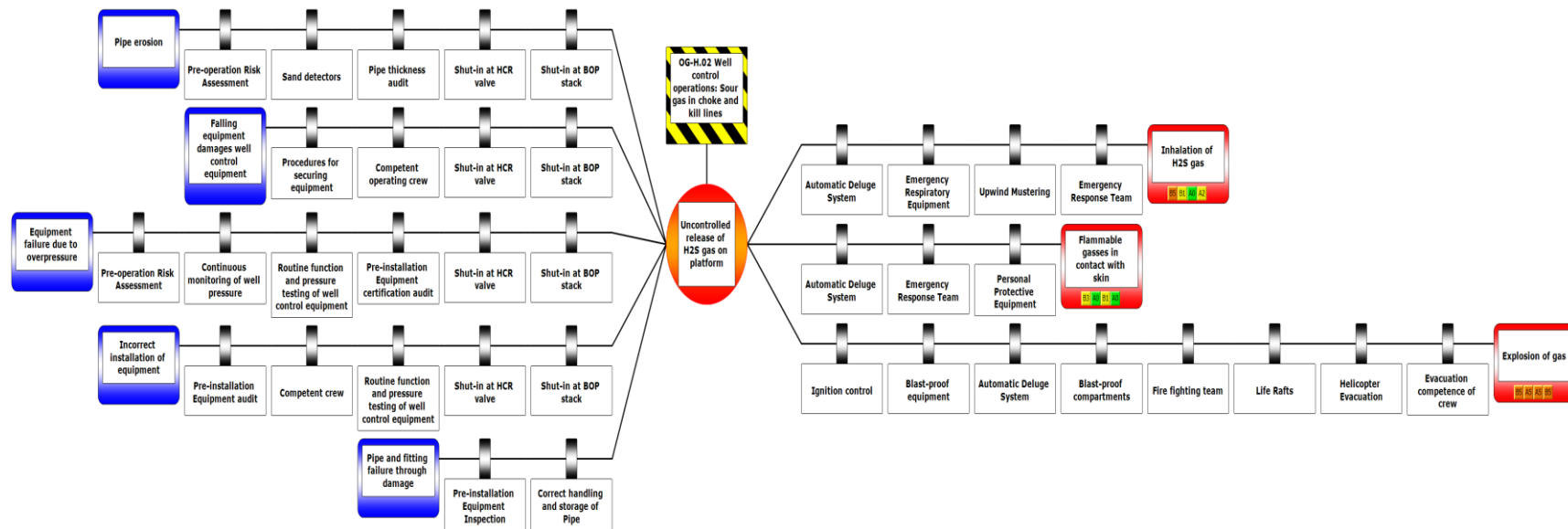


3.4 정유 및 가스 분야 보타이 사례

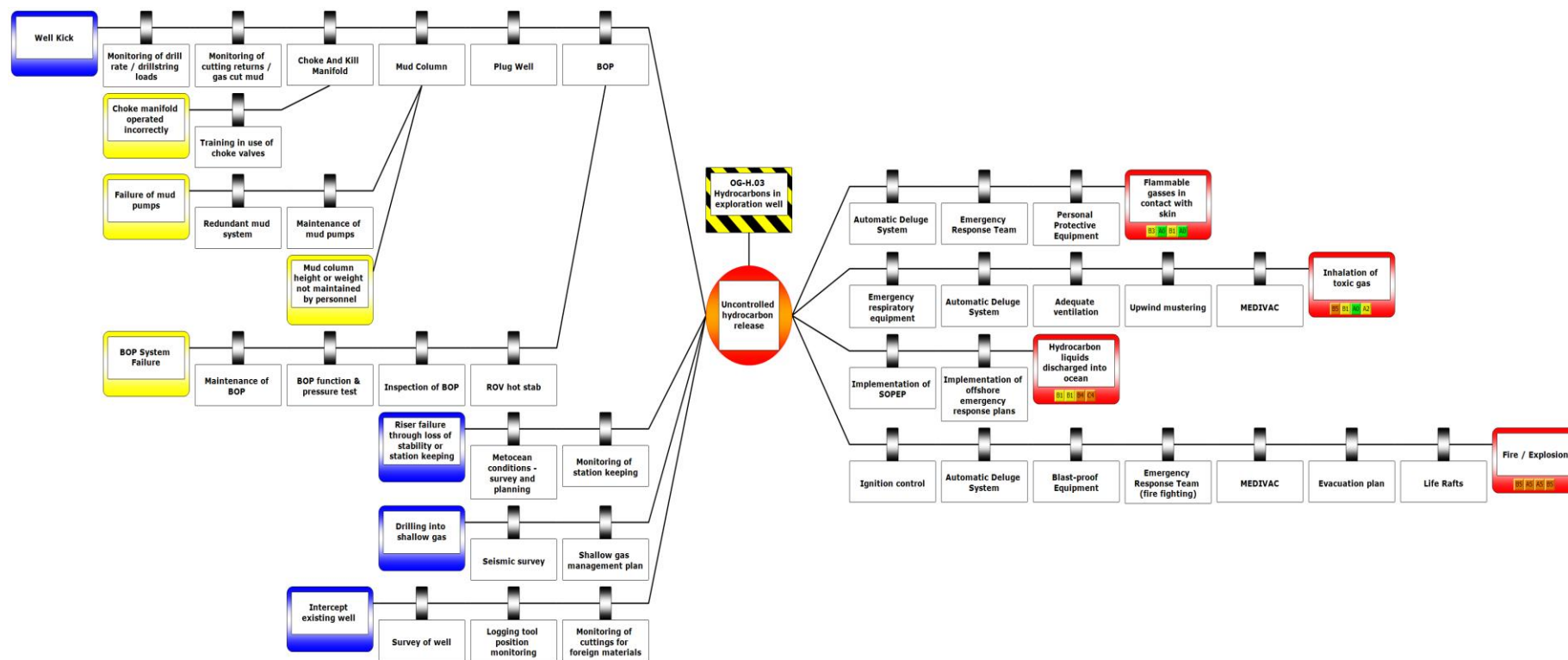
1) 위험요인: 유정시험 동안 탄화수소, 정점사상: 시험기기로부터 표면으로 통제되지 않는 탄화수소의 유출



2) 위험요인: 유정 제어 작동 - 초크 및 킬 라인의 사워 가스(Well control operations - Sour gas in choke and kill lines), 정점사상: 플랫폼에 통제되지 않는 황화수소 가스의 유출



3) 위험요인: 탐사 유정 내에 있는 탄화수소, 정점사상: 통제되지 않는 탄화수소 유출



4 맺음말

지금까지 차세대 위험도 분석, 평가 및 관리 방법으로 진화하고 있는 보타이 분석 방법, 보타이 사례 라이브러리 구축 현황을 살펴보았다. 보타이 분석 방법은 일련의 사상(Event)이나 사고 시나리오를 분석하는 데 사용할 수 있을 뿐만 아니라 조직이 보유하고 있는 통제 조치를 확인하고 관리하는 데 사용할 수 있다. 보타이 도표는 결함수목(Fault Tree)과 사상수목(Event Tree) 분석 방법을 결합한 형태이다. 다시 말해, 보타이 도표에서 정점사상을 기준으로 볼 때 좌측은 결함수목 분석 형태이고, 우측은 사상수목 분석 형태가 된다.

제품 개발 수명주기 단계 중 설계 및 개발 단계에서 보통 신뢰성이나 안전성 분석 활동을 수행하게 된다. 안전성 분석 활동 중에서 위험도 분석을 수행하는 단계에서는 위험요인을 도출하고, 원인과 결과를 분석한 후 정량적인 위험도 순위를 매긴 다음, 위험도가 높은 항목에 대해 저감 대책을 수립하여 설계에 반영하게 된다. 위험도 분석 단계에서 사용되는 PHA, SHA, SSHA, IHA, O&SHA 등과 같은 방법들은 대부분 엑셀 표나 기타 도구를 이용하게 된다. 이러한 표 형태의 분석 결과는 운영 및 유지보수 단계에서 안전관리를 위한 기반 자료로 활용하게 되지만 대체적으로 현장에서의 활용도는 다소 떨어진다. 이러한 측면에서 보타이 도표는 여러 이해관계자들이 정점사상을 기준으로 원인과 결과뿐만 아니라 대책을 직관적으로 한눈에 식별이 가능하므로 현장의 안전관리 활동에 기여할 수 있는 좋은 대안이 될 것이다.