01 issue

사고와 로또의 공통점

- 사고의 예측 불가능성, 새로운 패러다임으로 접근하기

산업안전보건연구원
고재철 원장

들어가며

많은 사람들이 '로또는 맞을 것 같고, 사고는 잘 일어나지 않을 것 같다'고 생각한다. 두 사건 다 실제로는 낮은 확률로 일어나는 것들이지만, 사람들의 기대라는 마음의 필터가 사건을 달리 생각하게 한다. 복권이 당첨될 확률은 높을 것이라 기대하는 반면, 사고는 잘 일어나지 않을 것이라는 기대다. 하지만 로또와 사고는 둘 다 매우 비인과적이자 예측 불가능한 사건이다.

세월호 사고를 되돌아보자. 2014년 4월 16일 일어난 세월호 침몰사고는 대한민국 안전수준의 민낯을 보여줬다. 어이없이 일어난 이 허망한 사고는 국민 전체를 경악하게 만들었고, 오랫동안 모든 국민을 허탈함과 슬픔 속에 빠뜨렸다. 사고 이후 원인 조사를 위한 대책위원회가 꾸려지고 대대적인 인력이 투입되었다. 많은 국민들이 알고 있는 사고의 원인들을 열거해보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 4월 15일 저녁 인천항 지역의 안개로 출항지연에 따른 항로 변경과 과속
2. 사고 당시 사고 지점의 해류
3. 화물의 과적
4. 화물의 고박 불량
5. 평형수 부족
6. Stabilizer 미작동
7. 선장의 근무 이탈
8. 조타기 조작 시 일시적 정전으로 방향타의 과작동 등

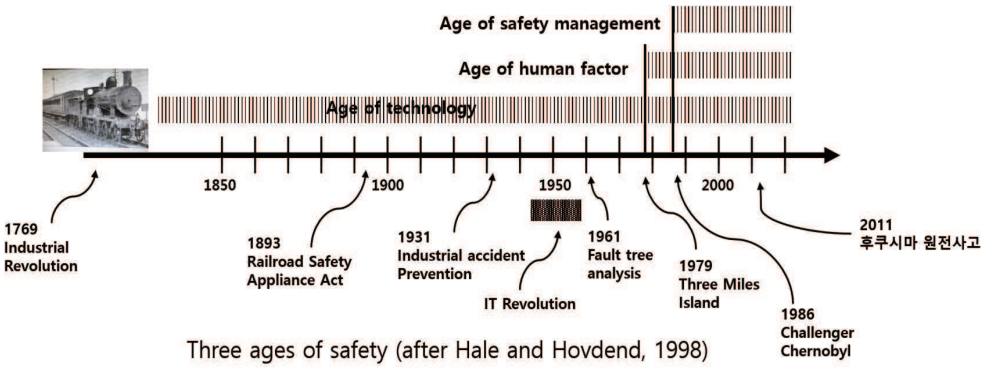
그 밖에도 여러 가지 사고원인들이 지적되었는데, 차분히 사고원인들의 공통점을 생각해보면 그 중 하나만 없었더라도 사고는 일어나지 않았을 가능성이 있다는 점이다. 그렇다! 이것이 많은 사고의 발생 메커니즘이다.

사고는 다양한 위험요인들이 특정 시간, 특정 장소에서 알 수 없는 조합에 의해서 일어나게 된다. 로또 당첨 번호가 특정 시간, 특정 장소에서 어쩌다 생긴 조합에 의해 발표되는 것처럼 말이다. 따라서 사고예방을 위해서는 사고가 발생하는 기제에 관한 정확한 이해가 필수적이고, 효율적인 예방을 위한 전략, 설계, 실행은 이를 바탕으로 해야 한다. 안전이론과 기법에 관해 서구에서는 대형 사고들을 계기로 세대를 달리하는 혁신적 진화가 있었으나, 우리의 경우는 아직 초기 세대에 머물러 있는 상황이다. 특히, 복잡성과 결합 밀도가 높은 현대 생산현장의 사고를 예방하기 위해서는 사고를 바라보는 관점을 달리하는 새로운 접근이 필요하다. 마치 로또처럼 사고는 예측 불가능하다는 점을 염두에 두어야 한다.

안전 패러다임의 변화

산업혁명 이후 200여 년에 걸쳐 서구의 안전은 많은 시행착오를 거치면서 점진적으로 개선되어 왔다. 1979년에 일어난 미국 스리마일섬 원자력 발전소 사고, 1986년 발생한 체르노빌 원자력 발전소 사고, 1986년 챌린저호 폭발 사고 같은 큰 참사를 계기로 사고를 바라보는 관점을 바꾸게 되었고, 연구자들의 연구와 연구결과의 현장적용을 통해 안전 분야의 혁신적인 발전이 있었다. 그 중 주목해야 할 지점은 이들은 사회적 참사를 관련자 처벌을 위주로 하는 후속조치에 그치지 않고, 심도 있고 다각적인 조사를 바탕으로 사회적 학습으로 이어져 이론의 정립과 함께 관련 시스템의 실질적 변화를 이루어가고 있는 점이다.

서구 사회의 이런 흐름은 사회적으로 자유, 평등, 박애를 핵심 가치로 하는 시민혁명 이후의 민주정신의 발달, 직업의 귀천의식 붕괴, 공동체 정신의 팽창과 사회적 신뢰도의 상승과 같은 사회적 변화가 산업혁명과 같은 기술적 변화와 함께 진행된 것이다. 이런 병행적 사회변화로 사고와 산업재해를 '산업사회의 사회현상'으로 바라보며 사회 시스템에서의 해결 방안들이 모색되었다. 이러한 흐름 속에서 체르노빌 원전 사고조사 보고서에 '안전문화'라는 개념까지 등장했다.



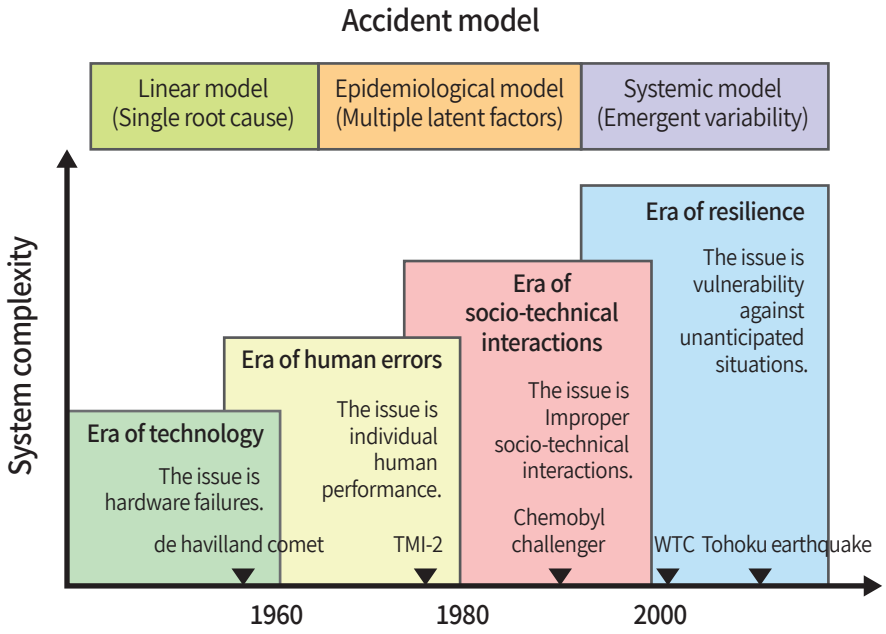
[그림 1] 안전의 3세대 흐름(Erik Hollnagel)

우리나라는 1960년경 시작된 과속 성장기에 범국가적인 성장에의 몰입으로 안전이 사회문화로 자리 잡지 못했다. 제도 면에서는 전태일로 상징되는 70년대 노동운동에 대한 정책적 대응으로 1981년에 일본의 노동안전위생법을 근간으로 하는 산업안전보건법이 제정되었고, 법에서 정한 안전관리자를 배출하기 위하여 1984년에 2개의 국립대학을 필두로 대학에 안전공학과가 개설되었다. 그 과정에 안전공학과 교수들이 공학 전공자 일색으로 편성되었고, 이후 1987년에 설립된 한국산업안전공단 역시 기술전문 집단이라는 정체성으로 설립 및 운영됨으로써, 사회적 관점에서 안전을 살펴보거나 사회현상으로서의 분석과 이해가 미진해 온 것이 현재까지 기술 중심의 산업안전에 머물러 있는 상황의 주요 배경이 되었던 것 같다.

안전 패러다임을 사고 모형론을 기준으로 보통 아래의 3세대로 구분한다.

- **제 1 세대** : 선형적 모형 (기계론적 모형)의 세대 (1930년 이후)
- **제 2 세대** : 역학적 모형 (사회-기술적 모형)의 세대 (1980년대 중반 이후)
- **제 3 세대** : 시스템적 모형의 세대 (2000년대 중반 이후)

각 세대는 아래의 그림은 'Safety-2'라는 명칭의 창안자인 Hollnagel에 의해서 정리된 것이며, 사고 모형론 기준의 3세대 각각의 아래 부분에 안전에 도입된 주요 개념 중심으로 구분된 네 시대와의 상호 관련을 보이고 있다.

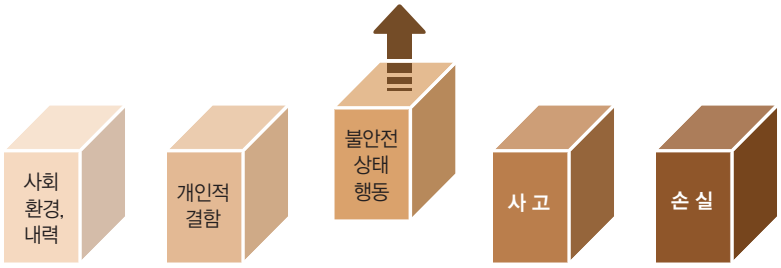


[그림 2] 시스템 안전의 변천(아래)과 사고모형의 발전(위)(Erik Hollnagel)

1 제 1 세대 : 선형적 모형(기계론적 모형)의 세대

산업혁명 이후 1881년 Taylor의 작업분석으로부터 촉발된 생산성혁명을 통한 대량생산 시대의 사고와 안전에 대한 관점 및 예방을 위해 제안된 접근법이다. 1970년대까지도 이어진 기계화 시대의 사고와 위험성 모형들은 대다수가 Heinrich의 도미노 이론의 영향 아래 있었다. 즉 '어떤 결과에는 반드시 알 수 있는 원인이 있다'라는 선형적 인과론이 사실이라는 전제로 정상적인 생산 프로세스와 사고발생 프로세스를 이원화시켜 생각했다.

대부분의 사고는 기계, 설비의 결함과 작업자의 실수에 의해 발생된다는 관점에서 설비 안전점검 등을 통한 위험의 발견과 제거, 작업자의 실수를 제어하기 위한 교육이 안전을 유지하는 주된 방법이었다. 대한민국의 산업은 현재 세계 선진국 수준으로 진입하였으나, 산업안전의 중심은 아직도 여기에 머물러 있다. 물론 세상은 도화지를 갈아 끼우는 것처럼 바뀌는 것이 아니어서 아직 대한민국에 1 세대의 안전기법이 유효한 지점이 매우 많지만, 이 방법으로는 예방하기 어려운 복잡한 상호작용과 변동성에 의한 사고들이 지속적으로 일어나고 있어서 이를 대응하기 위한 차세대 안전모형의 연구와 실용기법의 개발, 도입이 절실히 필요한 상황이다.



[그림 3] Heinrich의 사고발생 도미노

2 제 2 세대 : 역병적 모형(사회-기술적 모형)의 세대 (1980년대 중반 이후)

공학적 혁신이 이어진 6~70년대까지도 인간의 실수는 생산과정에서 신뢰도가 낮은 취약 부분으로 인식되었다. 2차 세계대전에서 하늘과 바다의 인지 실패로 인한 조종사의 오류문제로 인간공학 분야의 휴먼에러에 대한 관심이 커지게 된다. 많은 연구자들이 휴먼에러의 종류와 원인을 연구하고 인간의 신뢰도를 측정하여 기계설비의 설계와 배치에 반영하였다. 그럼에도 불구하고 위험의 원인을 추적해서 제거하는 것으로 안전을 유지 할 수 있다는 1세대의 기계론적 관점의 틀은 그대로 유지되어왔다.

그러나 1979년 발생한 미국 스리마일섬 원자력 발전소 사고로 기존의 관점들이 와해되었다. 문제의 핵심은 인적요인이었다. 당시 인적오류(불안전한 행동)은 대형시스템 사고원인의 80% 정도를 차지하는 것으로 알려졌다. 인적오류(불안전한 행동)는 기계적인 방식의 해석 또는 대처와는 달라야 한다는 주장이 James Reason, Erik Hollnagel 같은 인지 시스템공학의 대가들에 의해 제기되었다.

1990년대 들어 인적요소에 기술과 조직을 결합하여 문제를 해결할 필요가 있다는 흐름은 James Reason의 스위스 치즈모형 등의 역학적 모형으로 개발되어 활용되기 시작했다. 이를 기반으로 시설, 생산조직, 생산관리, 경영적 판단 등의 요소들이 인적요인 분석 분류 시스템(HPES에 기반을 둔 MTO-Analysis, HFACS)등을 통해 사고분석에 다루어지게 되었다. 국내 산업안전 분야에서는 2018년 말 발생한 태안화력발전소의 故김용균씨 사고조사에 안전보건공단에서 국내 최초로 역학적 기법(D.O.E 기법)을 활용하였고, 향후 연구와 활용이 확대될 것으로 기대한다.

3 제 3 세대 : 시스템적 모형의 시대(2000년대 중반 이후)

'세상을 보는 관점이 바뀌면 세상이 달리 보인다'라는 말이 있다. 이 말은 패러다임 변화를 의미하는 매우 적절한 표현이라고 생각한다. 패러다임의 변화는 이전과 이후가 매우 달라서 이전 사람은 이후의 상황을 상상하기 어렵고, 이후 사람들은 이전을 매우 모자란 상태로 생각하는 경향이 있다. 교통수단으로는 인력으로 바퀴를 굴려 이동하던 상태에서 엔진을 얹은 자동차의 출현, 더 나아가 비행기의 출현 정도가 그런 변화라고 볼 수 있겠다. 이런 패러다임의 변화는 기존의 방식이 점진적 개선, 보완 및 추가를 거치며 변하다가 어느 지점에서는 전체에 대한 재해석을 통해 새로운 관점과 구조로 바뀌게 되는 것이 일반적이다.

1984년 Charles Perrow는 '현대의 대형시스템의 복잡성과 높은 결합밀도에 이미 사고가 내재되어 있으며 이는 Normal Accidents다'라는 놀라운 통찰을 발표했다. 이어 사고와 안전에 대한 새로운 시각으로 기존의 안전과는 다른 프레임의 시스템 안전(Hollnagel의 Safety-2, Sydney Dekker의 Safety Differently, STAMP, AcciMap)이 연구, 제안되었다. 이에 관해 산업안전보건연구원에서는 2019년부터 KAIST 윤완철 교수팀과 공동으로 산업안전분야에 시스템 안전의 도입 타당성과 방향성에 관한 실용기법을 연구개발 중에 있다.

사고의 직접원인으로서의 불안전 행동

종래의 산업안전 분야는 사고의 직접원인으로 불안전 상태(물적 원인)와 불안전 행동(인적 원인)을 꼽는다. 1964년 산업재해보상보험법 제정 이후에 산재보상 자료를 기초 자료로 고용노동부에서 산업재해 통계를 생산하기 시작했는데, 사고성 사망사고의 경우 1986년까지는 불안전 상태와 불안전 행동 중 한 가지를 원인을 골라 직접원인으로 집계했다.

그 결과 1986년 전체 사망사고 1,660건의 원인은 불안전 상태가 262건(15.8%), 불안전 행동이 1,398건(84.2%)으로 집계되었고, 1987년부터는 이런 분류 방식에 문제가 제기되어 불안전 상태, 불안전 행동 각각을 독립적 원인으로 분류하게 된다. 그럼에도 불구하고 아직도 사고의 직접원인의 약 80%가 불안전 행동(휴먼에러, 실수)이라는 인식이 산업안전 분야에 깊이 자리 잡고 있으며, 그 대안으로 교육이 강조되고 있다.

그렇다면 불안전한 행동이란 무엇인가? 특정 사고의 원인으로 불안전 행동은 사고 후에 조사자가 찾아내는 것이다. 조사자가 사고발생 경위를 역추적하는 과정에 관련자들의 사고로 연결된 행위(사망자의 경우는 대다수 추정) 중 다른 대안 행위가 있거나, 하지 않았으면 사고로 연결되지 않았을만한 행위를 불안전 행동으로 판정하게 되는 것이다. 그러나 그 판정에는 다음과 같은 불합리, 또는 오류의 가능성이 매우 높다.

첫째 사후 확증 편향 편향(Hindsight Bias)의 발생 가능성이다. 1972년 바루크 피쇼프(Baruch Fischhoff)의 실험에 따르면 어떤 일이 발생할 것인가를 물었을 때 발생하지 않을 것 같다고 대답한 사람들 중 약 67% 정도가 그 일이 실제 일어난 것을 확인 한 이후에 자신은 그 일이 일어날 것으로 예측했었다라고 답변한 것으로 나타났다. 사고 조사자의 경우에도 사고 전에는 자신이 한 행동을 자신도 모르게 그렇게 하지 않았을 것이라 판단할 가능성이 높다.

둘째 'What you look for is what you find'즉, 찾고자 하는 대로 보게 된다. Hollnagel의 저서에 제시된 이 글은 사고조사자는 사전에 자신이 원인으로 추측한 증거를 찾으려는 경향이 있다는 뜻으로, 주장을 뒷받침할만한 증거가 발견되면 다른 원인들의 발굴에 소극적으로 대처해 실제 영향을 끼쳤을지도 모를 원인들을 발견해내지 못할 수 있다는 것이다.

셋째 행위자와 조사자의 지식과 정보량의 차이 때문에 오류가 발생할 수 있다. 사고조사자는 대부분 안전 분야의 지식과 정보량이 일반 작업자(행위자)에 비해 월등하기 때문에 행위자는 지식과 정보량이 부족한 상태에서의 판단을 오해할 가능성이 매우 높다.

넷째 인간의 감각, 인지, 판단, 행동에 관한 이해 부족으로 인한 오류다. 행위자의 증언을 들을 수 없는 상당수 사고들은 당시 상황의 정확한 재현이 어려운 경우가 많다. 그런데 인간의 감각, 판단, 인지 능력은 상황에 따라 큰 차이가 있을 수 있어서 사고 후의 추정으로는 행위자의 행동이나 인지에 대해 오해할 가능성이 많다.

다섯째 현장의 실질적 규범적 위험 감수 경향이다. 위험한 상태나 위험한 행위의 의미는 그 결과 반드시 사고로 이어진다가 아니라 될 가능성이 있다는 것이다. 그러나 현장에서는 경제적 이익을 전제로 하는 노동자 개인적 경험에 의한 위험감수 의지와 관리자들의 묵인이 불안전한 상태와 행위의 강력한 배경으로 작용하는 경우가 드물지 않게 발생하고 있다.

이러한 이유로 불안전 행동은 사고의 원인으로 판정하기에 부적절한 면이 많기에 J. Reason은 자신의 저서에 “Human errors are consequences not causes”라는 통찰을 제시하기도 하였다.

사고원인으로서 불안전 행동을 교육으로 제어하는 것이 어느 정도의 효과와 효율성이 있을지는 매우 신중히 살펴봐야 한다. 교육의 행동화는 바람직한 행동을 지속적이고 반복적인 훈련을 통해 마치 무술처럼 규범적이고 무의식화된 행동으로 바뀌어야 일정한 효과를 기대할 수 있고, 무의식화 되더라도 잘못 디디거나, 깜박 잊는 문제는 해결할 수 없다. 일상에서도 주차장에 있는 차 옆에서 차 열쇠를 깜박 집 안에 두고 온 것을 깨닫는 경험은 운전하는 사람 대다수가 경험하는 일이다. 생산현장에서의 이런 깜박 잊음은 사고로 이어질 수도 있다. 사고라는 것이 매일 일어나는 일이 아니고 매우 드물게 일어나는 일인 점을 감안하면 불안전 행동을 교육만으로 해결하는 것은 불가능하다. 따라서 체계적인 교육과 함께 인간의 인지, 행동 특성이 잘 고려된 생산 환경의 조성을 우선으로 해야 한다.

Safety Ⅰ, Safety Ⅱ

ISO, KOSHA 안전보건경영시스템 등은 큰 틀에서 Safety-1에 속하는 도구이다. Hollnagel에 의해 ‘Safety-2’로 명명된 3 세대의 시스템 안전은 기존의 안전이론과 동떨어진 것이 아니라 사고와 안전에 대한 기존의 비합리적인 관점과 생각을 걷어낸 합리적인 구조의 새 틀을 의미한다. Safety-2와 Safety-1의 차이점은 다음과 같다.

1 정상적인 생산과 사고는 같은 과정에서 비롯되는 다른 결과이다.

Safety-1(기존의 안전)에서 사고는 정상적인 생산과정과는 별개로 비정상적인 요소의 비정상적 전개에 의해서 발생된다. 즉 생산과정을 이원화하는 관점에서 생산과정의 비정상 요소의 점검을 통해 문제를 발견하고 개선하는 것이 주된 방식이나, 이원화는 실제가 아닌 가정이며, 생산이 단순하고, 기계설비의 신뢰도가 낮은 상황에서나 유효한 접근이다. 현대의 대형 생산현장에는 안전점검으로 드러나지 않는 근사조정(설계나 매뉴얼로 해결하기 어렵거나 누락되어 현장에서의 즉흥적인 의사결정에 의한 조정)과 개인, 팀 간의 상호간섭 등에 의한 변동성이 상존하고 있고, 그 변동성들은 대개 정상적인 결과를 만들어 가지만 드물게는 부정적인 결과를 초래하기도 한다. 따라서 Safety-2는 대규모 생산현장에서 있을 수밖에 없는 변동성을 시스템 전체 수준에서 파악하여 변동성이 부정적인 결과로 이어질 가능성을 줄이는 접근방식을 추구하는 것이다.

2 휴먼에러는 대개 사고의 원인이 아니라 결과적 실패이다.

통상 사고 후에 사고를 인과적으로 역추적하는 과정에서 정의하게 되는 휴먼에러(불안전한 행동, 실수)의 대다수는 인간의 감각-인지-판단-행동을 기계적 관점으로 바라보는데서 오는 오해이다. 특히, 사고조사에서 조사자에 의해 정의되는 휴먼에러(불안전한 행동)를 제거하기 위한 작업자에 대한 교육과 감독이라는 접근은 근본적인 처방이 될 수 없고, 인간의 특성이 잘 반영된 생산 환경을 조성하는 것이 중요하다.

3 사고는 선형적이기 보다 발현적인 결과이다.

Safety-1의 사고발생 과정에 대한 관점은 Heinrich의 도미노 이론처럼 사고원인들의 단순 또는 복합 선형적 연결로 발생되는 것으로 이해하고 있지만, 실제 대다수의 사고는 세월호 사고처럼 예측하기 쉽지 않은 요인들의 알 수 없는 조합에 의해 일어나는 것이다. 따라서 예방에 있어서도 복잡성과 결합밀도가 높은 생산현장은 이미 선형적 인과론의 유용한계를 벗어난 것으로 판단된다.

4 사후확증 편향과 비난 본능 탈피 추구

인과이해욕구! 즉, 인간은 본성적으로 어떤 결과의 원인을 알고자하는 욕구가 있는 것 같다. 앞서 살펴본 사후확증 편향(Hindsight Bias)이나 Hollnagel이 제시한 'What you look for is what you find'같은 것이다. 언론이나 일반시민들의 여론은 인과이해욕구의 연장선상에서 사고의 원인 행위자나 제공자로 어떤 사람을 지명하여 그 사람을 비난하고 책임을 물음으로써 그 사고로 인한 사회적 관심과 소요를 무마시켜 온 면이 있었다. 마치 중세에 있었던 마녀사냥과 같은.

때문에 사고를 통한 사회적 학습과 시스템의 개선이 이루어지지 않았고 유사한 기제의 사고들은 여전히 발생되고 있는 상황이어서 Safety-2에서는 이 편향을 깊이 인식하여 사고의 교훈을 새기며 조직 내 학습과 시스템적 개선을 추구한다.

5 안전탄력성(Resilience)

안전탄력성은 조직의 시스템적 안전 역량을 평가하여 안전 유지 역량을 향상시키고자 하는 Safety-2의 도구이다. 윤완철 교수의 표현을 빌면, Resilience는 사망(사고)에 이를 수 있는 심근경색(위험)과 같은 증상을 진단(위험 발견) 받기 전에 혈압, 콜레스테롤 등을 지표로 설정하고 적절한 주기로 체크하여 그 지표에 적절한 운동, 식이요법 등을 실천함으로써 심근경색의 상태에 이르지 않도록 관리하자는 것이 Resilience의 지향점 이라고 한다.

그렇다 ! 안전을 유지하기 위해서는 근본적으로 사고 전, 아니 위험의 발견 전에 상황이 위험에 이르지 않도록 안전활동을 설계, 실천해야한다. 산업안전보건연구원은 KAIST 윤완철 교수 연구팀을 통해 산업현장에 활용하기 위한 Resilience template을 연구, 개발 중에 있다.

대한민국 산업안전을 위한 제언

산업안전 분야에 34년 간 일한 경험과 얇게나마 Safety-2를 포함한 선진 안전이론을 훑어본 관점으로 대한민국의 산업안전의 발전을 위해 몇 가지를 제언해본다.

1 통계의 전환

통계는 각 분야의 상황을 종합적으로 나타내고 문제점을 발견해 국가의 정책과 사업 방향 설정, 사업대상을 설정하는데 도움을 주는 중요한 자료이다. 그러나 현재의 산업재해 통계는 산재보상보험금 지급의 타당성을 판단하는 것이 주 목적으로 요양신청서 상의 내용을 기초자료로 하고 있다. 따라서 산재 예방 정책과 사업의 설계 자료로서는 한계가 있다.

산업안전의 수준을 현재 보다 속도감 있게 올리려면 보상통계와는 별도로 사고의 직접 원인인 불안전 상태와 행동이 조성되는 배경요인의 구조와 분포를 보여줄 수 있는 예방 목적의 사고통계를 설계, 생산해야 한다.

2 산업재해 예방을 위한 정책과 규제방식의 조정

몇 해 전 대형 조선소에서 발생한 사망사고에 대한 조치로 고용노동부 주관의 대대적인 감독(점검)결과 2천 건 이상의 산업안전 법규 위반(주로 불안전 상태)사항이 지적되었다. 물론, 산업안전보건법의 준수가 산재예방에 매우 중요하고, 감독은 강력하고 중요한 법 집행 수단임은 분명하다. 그러나 그 집행은 집행자 관점을 넘어 현장 상황에 적합해야 한다. 그런 관점으로 보면 대형 사업장에 대한 법규 중심 감독은 위반사항을 적발할 수는 있지만 실질적인 산재예방에는 가성비가 매우 낮을 것 같다.

2세대 안전이론으로 등장한 Blunt end to Sharp end 라는 개념을 살펴보면, 사고의 직접원인이라고 하는 불안전 행동과 불안전 상태(주로 법규 미준수에 연결되는 안전조치 미이행)는 그것들의 배경요인인 인적, 물적 자원의 투입, 생산과정과 보전관리, 그 요인들의 실행을 위한 내규와 실행 수준들에 의해 형성되는 일종의 현상이라고 간주할 수 있다.

따라서 법규 준수를 목적으로 하는 규제는 안전 조치를 제대로 할 의지도, 능력도 없는 사업장을 대상으로 사업주의 실행의지를 높이는 것을 목표로 하는 전략적 추진이 필요하고, 충분한 의지와 능력을 갖춘 대형 사업장은 법규를 통해 규제하기 어렵지만, 예방의 효과를 올릴 수 있는 시스템 안전이 실행되도록 자율성을 부여하고, 결과에 책임을 묻는 방식으로 현장 상황이 반영된 정책 추진이 필요하다. 또한, 사고성 사망재해의 약 1/2를 차지하는 건설업의 경우는 정책과 기술, 기법이 어느 정도의 효과는 있겠지만, 일용직이라는 고용구조가 해결되지 않는 한 매우 어려운 문제라고 생각된다.

3 생산현장의 안전과 생산 통합

최근 대형 생산현장에서는 생산관리와 분리된 단순한 점검, 감시를 통한 위험의 발굴과 제거라는 1세대 안전기법으로는 예방할 수 없는 사고들이 다수 발생하고 있다. 이러한 사고들은 복잡성과 결합밀도가 높은 생산현장에서 발생한 것으로, 생산 참여자들의 상호 간섭과 의사결정 과정에서 발생한 다양한 변동성에 의한 것이다. 이러한 사고를 예방하기 위해서는 변동성 관리를 통해 사고 발생 가능성을 낮추어야 한다. 즉, 생산 전략에 안전 기능을 통합하는 방식으로 현장을 바꾸어 가야한다.