사고예방 원리

朴 武 一
건설안전기술사
한국건설안전기술협회 교수

목 차

1. 안전의 의의
2. 재해발생의 연쇄성 이론
(1) 용어의 정의
(2) 사고예방원칙
3. 도미노 연쇄이론의 발전
4. 사고예방원리
(1) 산업안전의 기본원칙
(2) 사고예방 기본원리 5단계

1. 안전의 의의

안전의 궁극적인 목적은 산업현장에서 인간존중의 실천 즉 인도주의의 구현에 있고 이를 위한 노력은 근로자의 근로의욕 증진으로 생산성 향상이란 결과를 가져오게 한다. 그러므로 안전관리란 사고예방을 위한 수단으로써 효율적인 안전관리를 통하여 사고를 예방하여 인적 물적 손실을 막을 수 있고, 밝고 건전한 작업환경을 조성하여 기업의 신뢰성을 가져다 주는 효과도 얻게 된다. 따라서 안전의 의의는 인도주의의 실천, 경제적 손실의 예방, 생산능률의 향상 및 대외 신뢰성 확보에 있다고 할 수 있다.

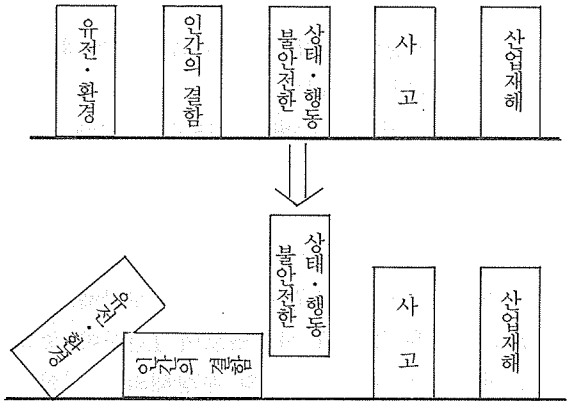
1906년 미국의 U. S. STEEL CO.의 "게리(Gary)"회장은 "안전제일"(Safety First)란 구호 아래 자기 회사내에서 인간존중의 실천을 위해 사고예방 활동을 적극 전개한 결과 사고예방은 물론 생산성과 품질도 크게 향상되어 기업으로서 대성공을 거둔 바 안전의 투자는 경영상으로도 유리한 결과를 가져다 준다는 사실이 확인되었다. "게리" 회장의 "안전제일"은 열악한 작업환경속에서 일하는 근로자들에게 안전하고 안락한 작업환경을 조성해 주어야겠다는 순수한 인도주의의 발로에 의거 막대한 비용을 투자하여 안전상의 조치를 한 것이었으나 그 결과는 기업의 성장이란 성과도 함께 가져다 준 것이다.

이러한 성공을 거둔 "게리"는 참된 기업인은 진정한 仁者라야 하며 진정한 仁者라야 참된 기업인이 될 수 있다는 말을 남기고 있다. 그러므로 안전이란 생산현장에서의 인간존중의 실천이라고 결론을 내릴 수가 있을 것이다.

2. 재해발생의 연쇄성 이론

1926년도에 미국의 "하인리히(H. W Heinrich)"는 재해발생의 연쇄성 이론 일명 재해의 도미노(Domino Sequence)이론을 제시하였다. 이는 (1) 산업재해는 사고로 부터 발생한다. (2) 사고는 인간의 불안전한 행동과 불안전한 상태의 접촉에서 일어나고 (3) 불안전한 행동과 불안전한 상태는 인간의 결함에서 발생하고 (4) 인간의 결함은 유전이나 환경요인에서 이루어진다는 것이다. 여기서 (1) 유전이나 환경에 잘못이 있을 때 (2) 인간의 결함이 생기고 이로 인하여 (3) 불안전한 행동과 불안전한 상태가 접촉됐을 때 (4) 사고가 발생하고 우연의 원칙에 따라 (5) 산업재해가 된다고 하였다.

이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.



여기서 비록 인간에게 결함이 있다고 하더라도 현실적으로 불안전한 상태와 불안전한 행동을 제거하면 사고는 일어나지 않게 된다. 이것이 연쇄성(도미노) 이론이다. 따라서 하인리히의 안전관리는 불안전한 상태와 불안전한 행동의 제거로 사고를 예방하는 것으로 이의 통제방법으로 궤도를 벗어난 에너지의 광란을 막기 위한 수단으로 사고예방 기본원리 5단계를 제시하였다.

여기서 용어를 정의해 보자.

(1) 용어의 정의

1) 산업재해(Industrial accident)

산업재해란 사고의 최종 결과인 인명의 상해나 재산상의 손해를 가져온 것을 말한다. 산업안전보건법에서는 "산업재해란 근로자가 업무에 관계되는 건설물, 설비, 원재료, 가스, 증기, 분진 등에 의하거나 작업 기타 업무에 기인하여 사망 또는 부상하거나, 질병에 이환되는 것을 말한다"라고 규정되어 있으며 국제 노동기구(ILO)에서는 "재해란 사람이 물질 또는 사람과의 접촉 또는 그 작업 방법 등에 의해서 상해를 입는 것"이라고 규정하고 있고, 미국의 산업 안전보건법(OSHA)에는 "재해란 작업으로 인한 상해 또는 작업환경에 노출된 결과에 의해 발생된 절상, 골절, 염좌, 절단 등의 모든 상해를 말한다"라고 정의하고 있다.

산업재해중 그 피해 정도가 심하여 국가적 차원에서 특별관리하고 있는 재해를 중대재해라고 하며, 우리의 산업안전보건법에는

① 사망자 1인 이상 발생한 재해

② 3월 이상의 요양을 요하는 부상자가 동시에 2인 이상 발생한 재해

③ 부상자 또는 질병자가 동시에 10인 이상 발생한 재해를 중대재해라 정의하고 있다.

2) 사고(Trouble Event)

사고 또는 안전사고란 고의성이 없이 작업에 지장을 주거나 능률의 저하를 가져오며 직·간접으로 인명이나 재산상의 손실을 줄 수 있는 일을 말하며 다음과 같이 정의되기도 한다.

① 원하지 않은 사상(undesired event)

구미에서는 사고를 "원하지 않는 사상(undesired event)"이란 용어를 사용하고 있는데, 사업체에서 일어나는 사망, 상해, 화재 및 폭발, 산업적 낭비(industrial waste, loss), 조업 시간의

상실, 각종 에너지 혹은 원자재의 감손, 기계 또는 장비의 과도한 마모등과 오염 물질 및 유해 물질의 방출등을 바로 사고로 보고 액시던트(accident) 대신 언디자이어드 이벤트라는 합리적인 말로 사용한다.

② 비능률적 사상(unefficient event)

뉴욕 대학의 안전관리학 과장으로 있던 "카터(Cutter)"박사는 1950년대에 이미 비능률적인 사상(unefficient evnet)은 전부 사고의 범주에 속한다고 사고의 핵심개념을 지적하고 있다.

③ 변형된 사상(strained event)

인간이 외부로부터 과도한 압력을 받으면 육체적으로나 심리적으로 긴장이 높아지고 견디기 어려운 한계에까지 도달되면 이성을 잃거나 과오를 범하기 쉽고 위험에 여유있게 대처할 수 없게 되는, 스트레인 상태에 빠지게 된다. 따라서 심리적으로 인간이 견딜 수 있는 스트레스의 한계를 넘어선 스트레인드 이벤트(strained event)를 모두 사고라고 할 수 있다.

3) 불안전한 상태와 불안전한 행동(unsafe act or mechanical & Physical hazard)

매달린 짐의 밑에 선다. 경보없이 기계를 움직인다. 무단작업을 한다. 그리고 안전장치를 제거하는 것과 같은 인간의 불안전행동, 또 방호되어 있지 않은 회전체, 방호되어 있지 않은 작업점, 난간대의 미설치, 불충분한 조명 등과 같은 기계적 또는 물질적 위험성은 직접적인 사고의 원인이 된다.

4) 개인적 결함(Fault of person)

무모, 포악한 품성, 신경질, 흥분성, 무분별, 안전조치에 대한 무지 등과 같은 선천적 또는 후천적인 인적결함은 불안전행동을 일으키고, 또는 기계적·물질적 위험성이 유발시키는 원인이 된다.

5) 유전 및 환경(Ancestry & Social environment)

무모, 완고, 탐욕, 기타 성격상의 바람직스럽지 못한 특징은 유전에 의해서 물려받았는지도 모른다. 환경은 성격상의 바람직스럽지 못한 특징을 조장하고, 교육을 방해할 수 있다. 유전 및 환경은 함께 인적결함의 원인으로 된다.

(2) 사고예방 원칙

"하인리히"의 재해발생 연쇄성 이론에서 사고예방 4원칙이 제시되는데 이는

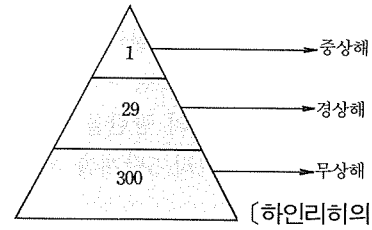
① 손실 우연의 원칙 : 손실의 크기는 우연하게 일어난다.

② 원인 계기의 원칙 : 사고 발생은 반드시 필연적인 원인이 있다.

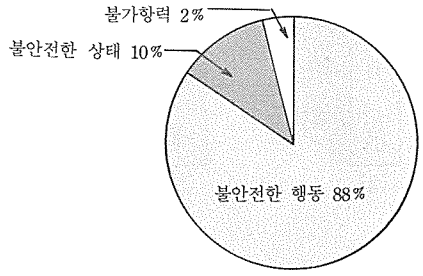
③ 예방 가능의 원칙 : 원인만 제거되면 반드시 예방이 가능하다.

④ 대책 선정의 원칙 : 안전사고는 예방대책 수립 및 선정이 가능하다.

하인리히는 상해를 수반한 재해를 조사해 본 결과 상해가 뒤따르지 않는 유사한 사고가 상해를 수반한 사고보다 더 많이 일어난다는 사실을 알았다. 같은 사람이 거의 비슷한 종류의 330건의 사고를 낸 가운데 300건은 무상해 사고였고 29건은 경상해 사고였으며 1건만이 중상해 사고였다. 여기서 300의 무상해의 제거의 중요성이 강조되고 안전은 자율(생산부서)에서 이루어져야 한다는 것을 말해주며 또한 불가항력적인 원인(2%)에 의한 사고외 98%의 사고는 예방이 가능하다.

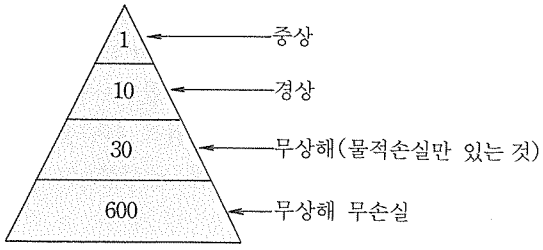


〔하인리히의 상해 분포도〕

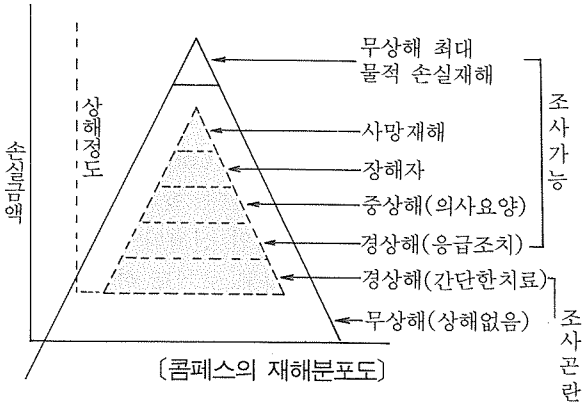


〔사고발생원인〕

한편 "하인리히"이후 "버드(Bird)"는 중상 : 경상 : 무상해(물적손실만 있는 것) : 무상해 무손실의 비율을 1 : 10 : 30 : 600으로 제시하면서 여기서도 30의 무상해와 600의 무상해 무손실의 관리를 강조하고 있다.



그후 "콤페스(Compes)"는 상해사고와 손실사고 관계를 나타내고 있는데 상해사고는 "하인리히"의 1 : 28 : 300의 이론과 같으나 손실사고는 한사람의 상해가 없는 경우에도 중대손실사고는 발생할 수 있다는 것을 제시하고 사고예방을 위해서는 고장사고의 예방에 노력해야 한다는 결론을 내리고 있다.



〔콤페스의 재해분포도〕

즉 상해나 물적손실 없는 기계 · 설비의 고장에 대한 예방관리를 안전관리의 최우선 원칙으로 하고 또한 안전관리자는 무상해 최대의 물적손실 재해를 막기 위해서는 기술적 측면에 깊이 관여할 필요성을 강조하고 있다.

이의 기본적인 정의는 다음과 같다.

① 어떤 일이든지 위험은 따르며 그 위험을 완전히 제거하기는 어려우나 효율적인 통제를 사고로 이르지 않도록 위험을 최소화시킬 수 있다. 즉 필연성과 우연성은 현실에 혼재하여 완전 분리는 곤란하므로 우연성을 최대한 배제하고 잔존 위험은 안전율로서 상쇄한다.

② 사고는 인명이나 재산상의 손실을 입힐 가능성이 있는 계획되지 않은 사상으로서 비우발적인 사건이라고 보아 대처해야 한다.

③ 작업의 능률향상과 사고예방의 관계는 밀접하여 사고원인과 사고를 유발하는 비능률성은 이론적으로 차이가 없다.

④ 사고예방 책임은 위임하거나 양도되지 않는다. 그러므로 본인, 상사, 부하의 안전은 각자 책임져야 한다.

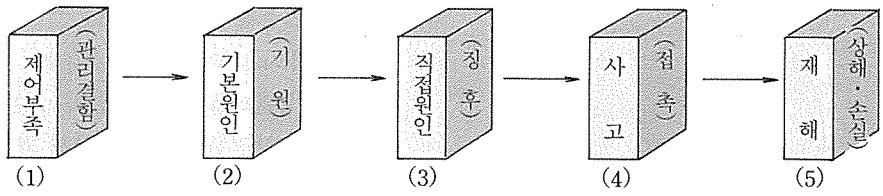
⑤ 사고예방은 사고발생의 잠재적 행동과 상태를 판단하고 그 소재를 발견하여 시정책을 강구하는 것이다.

⑥ 안전대책은 많은 비용이 소요될 수 있으므로 사고 현상에 대한 정량적, 확률적 방법을 통한 위험통제를 위한 안전공학이 활용된다.

이 원칙을 통하여 사고는 예방이 가능하다는 이론이 성립되게 되고 실천 방법이 제시된다.

3. 도미노 연쇄이론의 발전

도미노 연쇄이론은 하인리히 이후 계속 발전되면서 여러 개선된 이론이 제시된다. 그 주요 내용은



〔버드의 연쇄이론〕

(1) "버드(Frank E. Bird's Jr)"의 이론

"버드"는 자신의 "최신 도미노 연쇄이론"에서 5가지의 손실제어 요인(Loss control factor)이 연쇄반응을 일으키면서 재해가 발생된다고 하면서 재해(상해·손실) 발생전에 사고(접촉)가 일어나고 그 전에 직접원인(징후)이 나타나고 이는 기본원인(기인)에 의하여 일어나고 기본원인은 제어(또는 통제) 부족(관리적 결함)에 의하여 일어난다는 것이다. 이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

1) 제어(통제) 부족(관리적 결함) : Lack of Control(management)

안전관리가 원활하게 이루어지려면 전문적 관리 즉 계획(Planning)－조직(Organizing)－지도(Leading)－제어(통제)(Controlling)의 4기능 중에서 이중 제어의 부족이 기본원인을 일으키게 하는 요인이라 보고 이러한 바탕에서의 손실제어 관리(Loss control management) 주요사항은 다음과 같다.

① 계획 추진 단계에서 재해조사, 시설점검, 작업분석, 개인간의 의사소통, 감독자 훈련, 고용 및 선발, 설계기술 등에서 관리자가 갖추어야 할 직무활동의 규정

② 규정된 직무에 대한 관리자의 작업에 대한 기준의 설정

③ 직무활동에 대하여 설정된 기준에 의한 평가

④ 계획의 개선 및 확장 등의 수정

2) 기본원인(기원) : Basic cause(origins)

사고발생 원인은 개인적 및 작업에 관련된 요인이 존재하게 된다. 개인적 원인에는 지식 및 기능의 부족, 부적당한 동기부여 및 육체적 또는 정신적 문제가 포함되고 작업상의 원인에는 부적절한 작업기준, 부적당한 제품구매, 통상적인 손모 및 비정상적인 사용법 들이다. 전문적인 관리자는 이러한 기본적인 요인을 규정하지 않으면 효과적인 제어시스템을 확립할 수 없다.

기본원인은 바로 이와같은 근원적 원인을 발견하여야 더욱 효과적인 제어를 달성할 수 있다는 것이다.

3) 직접원인(징후) : Immediate cause Symptoms

직접원인은 불안전한 행동과 불안전한 상태를 말하며 이는 재해의 연쇄 가운데서 가장 중요한 것으로 취급된 요인이다. 그러나 이는 더 깊은 '근원적인' 문제의 징후에 지나지 않으므로 근저의 문제를 다루지 않으면 영속적인 사고예방은 어렵다. 먼저 징후를 효과적으로 발견하고 그 징후의 근본적 원인을 색출하여 조치하여야 한다.

4) 사고(접촉) : Accident(Contact)

사고는 신체 또는 구조물이 한계를 넘어선 에너지원과의 접촉, 정상적인 신체의 활동을 저해하는 물질과의 접촉이라고 보기도 한다. 또한 이 시점은 접촉의 단계(contact stage)라고 하며 편향, 희석, 보강, 외면수정, 격리, 장벽, 방호,

흡수, 차폐 등의 제원칙의 적용이 사용되는 대책이다.

5) 재해(상해 · 손실) : Injury-damage(loss)

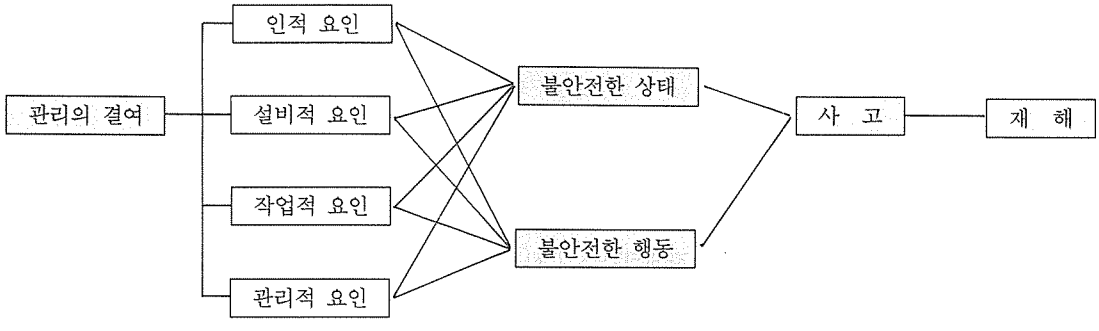
육체적 상해 및 물적의 손실을 포함하는 손실을 막기 위한 대책을 적용하면 손실을 최소한으로 할 수 있다는 것이 입증되고 있다. 인원과 자재에 대한 교육, 육체적 상해의 경우의 신속한 구급조치와 사회복귀 시설의 손해는 신속한 복구활동과 구출 및 훈련된 직원에 의한 소방활동 등이다.

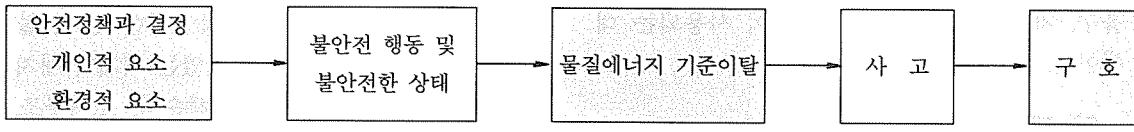
이상의 "버드"이론에서 가장 중요한 요소는 2)기본원인(기원)과 3)직접원인으로서 직접원인을 제거하는 것만으로는 재해가 완벽히 예방되지 않으므로 기본원인을 제거해야 한다는 주장이다. 즉 다음의 4M 즉 인적요인(Man), 설비적 요인(Machine), 작업적 요인(Media), 관리적 요인(Management)이 주요대상이다.

"버드" 이론 외에도 "아담스(Edward Adams)"의 "사고연쇄 반응이론(사교요인과 관리시스템)"에서는 관리의 잘못으로 사고가 일어난다고 보아 관리를 도입한 바 오늘날 대부분의 안전대책에 관리가 포함되게 되었다. 또한 "웨버(D. A. Weaver)"는 아담스 이론을 개선시킨 것으로 사고를 일으키는 불안전한 상태, 불안전항 행동, 잘못된 장비, 결함있는 기계나 배치 등, 사고의 원인의 뒤에는 정책순서, 조직구조, 의사결정, 평가, 관리, 행정 등의 작전적 에러가 있으며 안전기술의 활용 및 시정조치의 이행은 불안전한 행동과 상태를 명확히 함으로써 달성되고 "어떤 것이 불안전한 행동 및 상태인가?"를 통해 기술적 차원에서의 답을 얻을 수 있으며 또한 "왜 불안전한 행동이나 상태가 허용되었는지, 관리감독자가 사고예방을 위한 지식을 가지고 있었는지"의 의문을 해결 작전적 에러를 명백하게 한다.

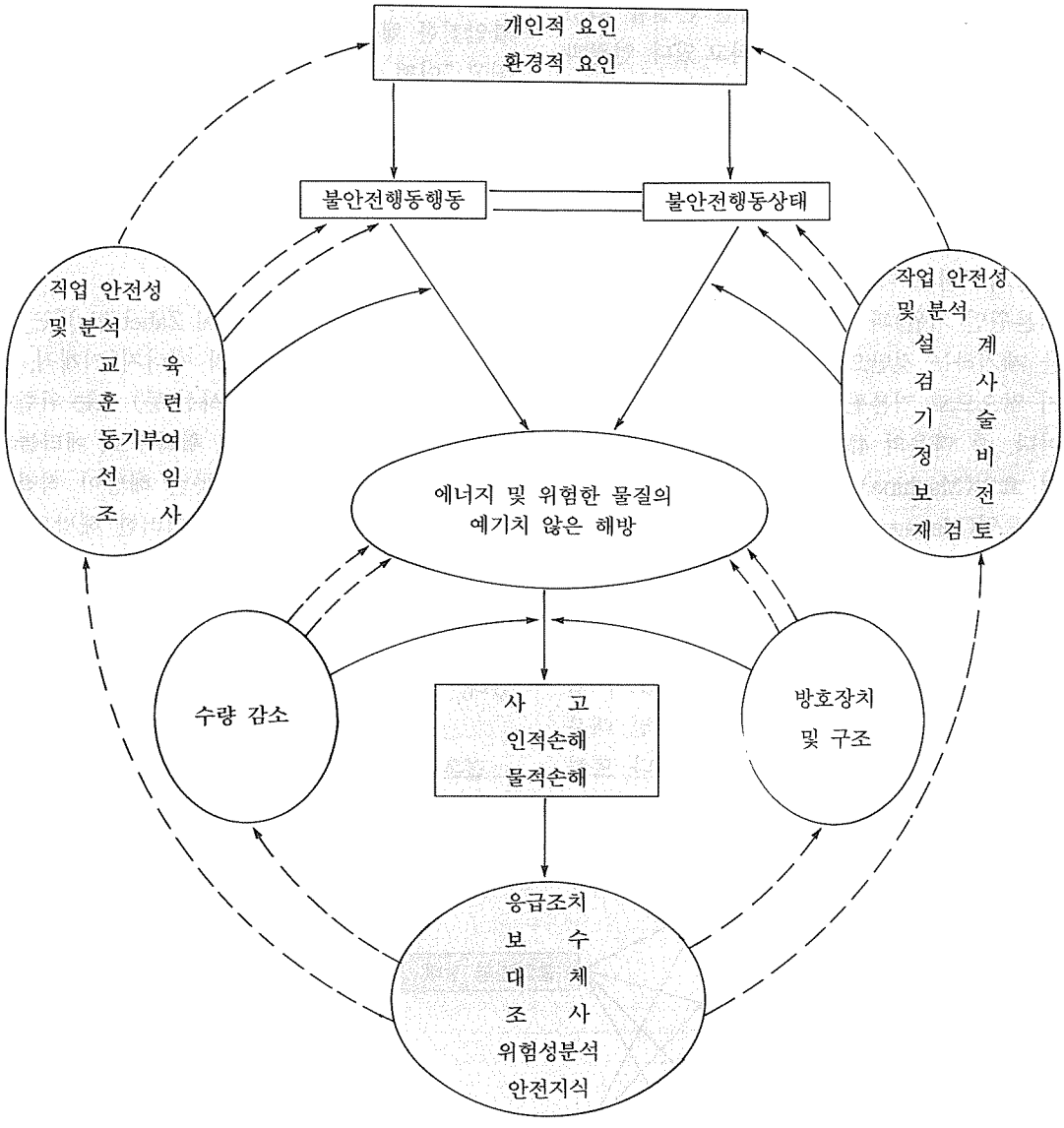
또한 "자베타키스(Micheal Zabetakis)"는 대부분의 사고는 과도한 양의 에너지(기계적, 전기적, 화학적, 열적, 전리 방사선 등) 또는 위험한 물질(일산화탄소, 탄산가스, 황화수소, 에타놀과 같은 메타놀등)의 예기치 못한 해방이 직접원인이 되어 발생한다. 그러나 이러한 해방은 또 불안전행동이나 불안전 상태에 의해서 생긴다. 사고의 근본 원인은 안전정책과 결정, 개인적 요소, 환경적 요소의 세개의 범주로 구분할 수 있다.

결론적으로 도미노 연쇄이론에 따라서 사고예방원리가 제시되었다.





〔자베타키스의 도미노 이론 체계도〕



〔자베타키스의 사고연쇄이론〕

4. 사고예방 원리

(1) 산업안전의 기본원칙

1) 상해의 발생은 당연히 일련의 요소로부터 나타난다－이러한 것의 마지막 것이 사고이다. 반대로 사고는 사람과 기계의 불안전한 행동이나 물리적 위험이 당연한 원인이 되고 직접적으로 인정된다.

2) 사람의 불안전한 행동은 사고의 대부분에 대해 책임이 있다.

3) 불안전한 행위에 의해 야기된 치명적 상해를 입은 자는 평균적으로 그와 같은 불안전한 행위를 함으로써 생길 수 있는 심각한 상태로부터 300회 이상을 벗어났었다. 비슷하게 상해를 받기 전 수백번의 기계적 위험에 노출되어 있다.

4) 사고로 인한 손실은 대부분 우연적이다－상해를 만드는 사고의 발생은 대부분 방지할 수 있다.

5) 불안전한 행동의 발생에 대한 네가지 기본동기와 이유는 적절하고 올바른 조치의 선택에 지침을 제공한다.

6) 이 네가지 기본적인 방법은 사고를 예방하는 데 사용할 수 있다－기술혁신, 설득과 호소, 개인조정, 훈련 등

7) 사고예방에 있어서 가장 가치있는 방법은 품질, 비용, 생산량의 관리에 요구되는 방법과 유사하다.

8) 관리는 예방지작업을 실시하기 위한 가장 좋은 기회와 능력을 가지고 있다. 그러므로 책임을 져야만 한다.

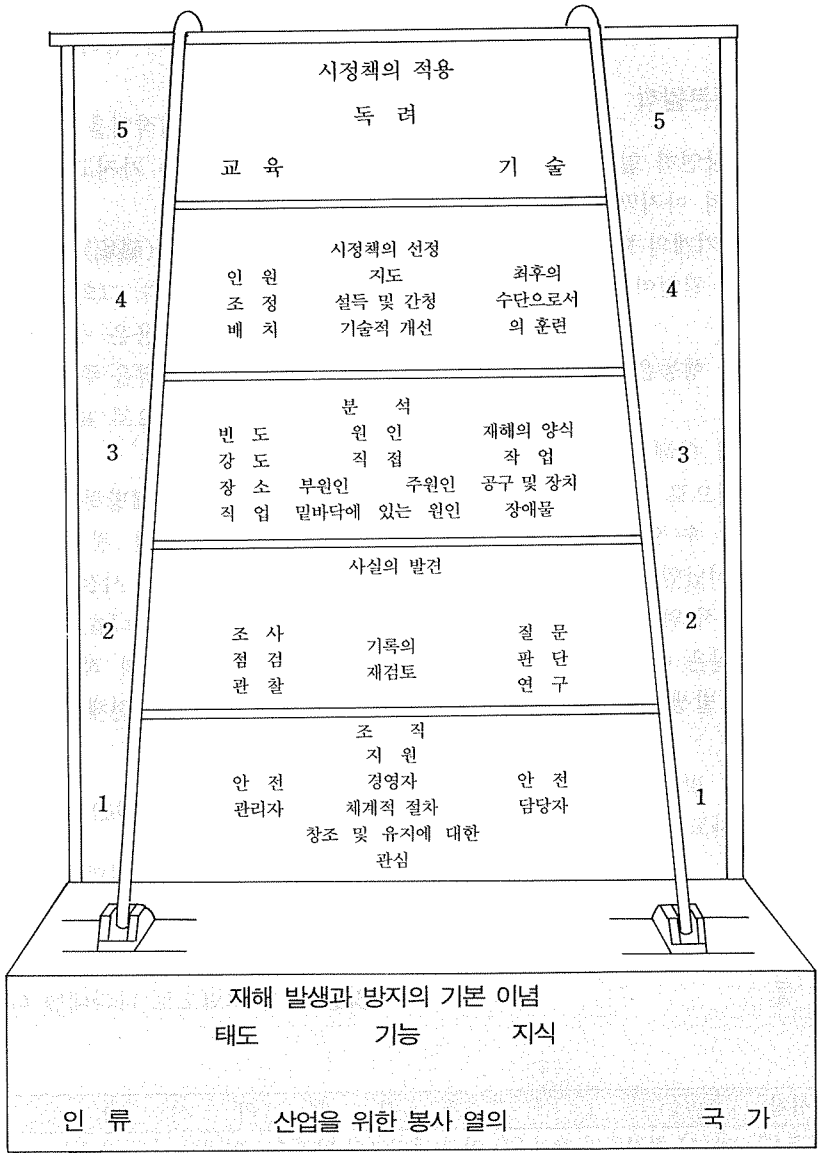
9) 감독자나 직장(職場)은 사고예방에 있어 가장 중요한 요소이다. 그의 작업수행의 관리에 대한 감독기술의 적용은 성공적인 사고예방에 있어 가장 중요한 영향을 주는 요소이다. 그것은 간단한 네 단계 공식으로 표현되고 가르쳐질 수 있다.

10) 사고, 상해를 예방하기 위한 인도주의적 자극은 두가지 강력한 경제적인 인자에 의해 뒷받침된다. ① 안전한 시설은 생산적으로 유용하고 불안전한 시설은 비효율적이다. ② 보상과 치료에 대한 산업상해의 직접적인 비용은 고용주가 지불해야만하는 전체 비용의 5분의 1에 불과하다.

(2) 사고예방 기본원리 5단계

사고예방을 위한 조치의 기본원리 5단계는 다음과 같고, 이러한 원칙이 이루어져야만 사고예방이 가능하다.
이것을 다시 그림으로 나타내면 다음과 같다.

단계별 조치사항	세 부 조 치 사 항
제1단계 〔안전 조직〕	(1) 경영층의 참여 (2) 안전 관리자의 임명 (3) 안전의 라인 및 참모 조직 구성 (4) 안전활동 방침 및 계획 수립 (5) 조직을 통한 안전활동
제2단계 〔사실의 발견〕	(1) 사고 및 활동기록의 검토 (2) 작업 분석 (3) 안전 점검 및 진단 (4) 사고 조사 (5) 각종 안전 회의 및 토의회 (6) 종업원의 건의 및 여론 조사
제3단계 〔분석〕	(1) 사건 보고서 및 현장 조사 (2) 사고 기록 (3) 인적, 물적 조건 (4) 작업 공정 (5) 교육 및 훈련 (6) 안전 수칙
제4단계 〔대책의 선정〕	(1) 기술의 개선 (2) 인사 조정 (3) 교육 및 훈련 개선 (4) 안전 행정의 개선 (5) 규정 및 수칙 개선 (6) 확인 및 통제 체제 개선
제5단계 〔대책의 적용〕	(1) 기술(Engineering) (2) 교육(Education) (3) 독려(Enforcement) ※ 3E



〔재해예방의 단계〕

5단계를 다시 각단계별로 살펴보면

제 1 단계 조직(Organization)

경영자는 안전 목표를 설정하여 안전 관리를 함에 있어 맨 먼저 안전 관리 조직을 구성하여, 안전 활동 방침 및 계획을 수립하고 전문적 기술을 가진 조직을 통한 안전 활동을 전개함으로써 전종업원의 참여하에 집단의 목표를 달성하도록 한다.

제 2 단계 사실의 발견(Fact Finding)

조직편성을 완료하면 각종 안전 사고 및 안전활동에 대한 기록을 검토하고 작업을 분석하여 불안전 요소를 발견한다. 불안전요소를 발견하는 방법은 안전점검, 사고조사, 관찰 및 보고서의 연구, 안전토의 또는 안전회의 등이다.

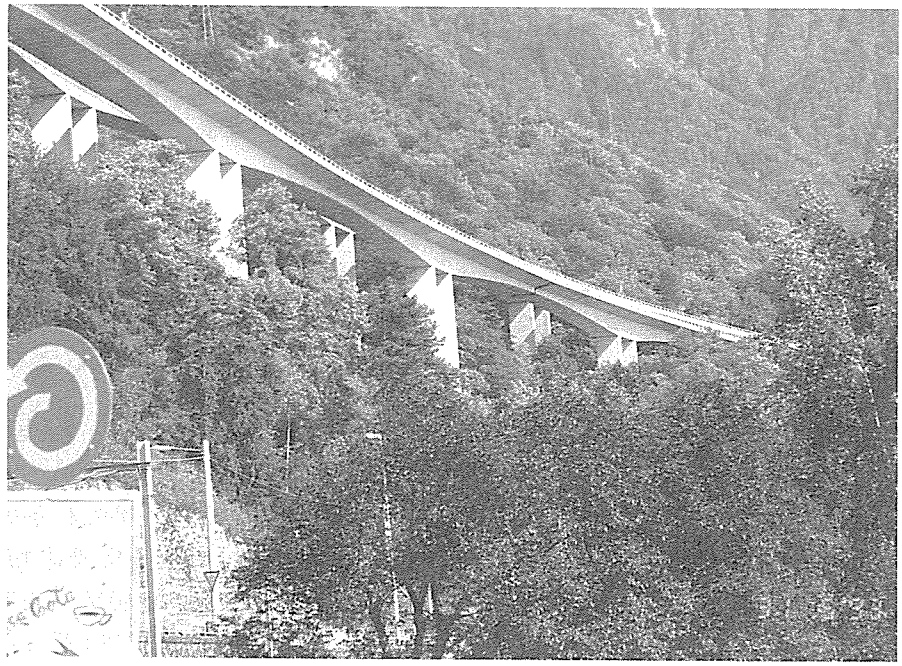
제 3 단계 분석(Analysis)

발견된 사실, 즉 안전사고의 원인분석은 불안전요소를 토대로 사고를 발생시킨 직접 및 간접적 원인을 찾아내는 것으로 분석은 현장조사 결과의 분석, 사고보고, 사고기록, 환경조건의 분석 및 작업공정의 분석, 교육과 훈련의 분석 등이다.

제 4 단계 시정책의 선정(Selection of Remedy)

분석을 통하여 색출된 원인을 토대로 효과적인 개선방법을 선정해야 한다. 개선 방안에는 기술적 개선, 인사조정, 교육 및 훈련의 개선, 규정 및 수칙의 개선과 이행독려의 체제강화 등이 있다.

제 5 단계 시정책의 적용(Adaption of Remedy)

시정 방법이 선정된 것만으로 문제가 해결되는 것이 아니고 반드시 적용되어야 하며, 목표를 설정하여 실시하고 실시 결과를 재평가하여 불합리한 점은 재조정되어 실시되어야 한다. 시정책은 기술(Engineering), 교육(Education), 독려(Enforcement)가 균형있게 적용되어야 한다.

이러한 활동을 계속하여야만 사고예방을 달성할 수 있다.