

## 해외 안전사고 발생 모델이 국내 건설산업에 주는 시사점

KICEM



최수영 한국건설산업연구원 기술정책연구실 부연구위원

### I. 서론

20세기 이후 산업안전에 대한 관심이 높아짐에 따라 유럽, 미국 등 선진국을 중심으로 안전사고 발생 과정을 설명하는 안전사고 발생 모델(Accident Causation Model)이 활발히 소개되었다. 안전사고 발생 모델은 안전사고의 직·간접적인 원인들을 규명하고 원인들 간의 관계를 설명함으로써, 유사한 사고의 재발을 방지하는 데 그 주된 목적이 있으며, 이는 안전 교육 및 사고 조사 방법(Accident Investigation Technique)의 주요 자료로 활용된다.

본 연구에서는 해외에 널리 알려진 일반적인 안전사고 발생 모델과 건설산업에 특화된 안전사고 발생 모델들을 소개하고 국내 건설산업의 안전관리에 그 시사점을 제시하고자 한다.

### II. 본론

#### 1. 일반적인 안전사고 발생 모델

최근까지 소개된 안전사고 발생 모델은 크게 인적 과실 모델(Human Error Model), 연쇄적 사고발생 모델(Sequential Model), 역학(疫學) 모델(Epidemiological Model), 그리고 시스템 모델(Systemic Model)으로 구분할 수 있다. 인적 과실 모델은 개인의 불안정한 행동에 초점을, 연쇄적 사고발생 모델은 일련의 연쇄적 사고 발생 과정을 강조하며, 역학 모델은 안전사고 발생 과정을 질병 발생 과정과 연계하여 설명하며, 마지막으로 시스템 모델은 전반적인 안전 시스템의 중요성을 강조한다.

##### 1.1. 인적 과실 모델(Human Error Model)

인적 과실 모델은 안전사고가 개인의 불안정한 행동(Unsafe Act)에 의해 발생한다고 설명하며, 불안정한 행동을 야기하는

원인들을 집중적으로 분석하였다. 그린우드와 우즈(Greenwood and Woods)<sup>1)</sup>는 영국 군수품 공장에서 일어난 사고 사례들을 분석하여 안전사고가 소수의 특정한 성향을 가진 집단에서 일어난다고 주장하였다. 불안정한 행동의 원인이 되는 요소로는 나이, 경험, 피로도, 작업에 대한 만족도 등 다양한 것으로 알려져 있으며, 이 모델은 안전사고 저감을 위해서는 안전한 작업자를 선별하는 것이 핵심이라고 설명하였다. 개인의 불안정한 행동은 대부분의 안전사고 발생 모델에서 주요 사고 원인으로 소개되고 있으며, 인적 과실 모델은 특히 개인의 과실이 대규모 사고를 초래할 수 있는 항공, 원자력 및 화학 산업 등에서 최근에도 활발하게 연구되고 있다. 인적 과실 모델은 사고 발생의 전체 과정을 설명하기보다 개인의 불안정한 행동에 초점이 맞추어져 있어, 안전사고 발생에 기인하는 다른 요소들을 설명하기에 미흡하다.

##### 1.2. 연쇄적 사고발생 모델(Sequential Model)

연쇄적 사고발생 모델은 안전사고가 일련의 단계를 거쳐 연쇄적으로 일어난다고 설명한다. 이는 도미노가 연속적으로 넘어지는 현상과 유사하여 도미노 모델(Domino Model)로도 널리 알려져 있다. 대표적인 모델은 하인리히(Heinrich)의 도미노 모델<sup>2)</sup>이다. 하인리히는 안전사고가 사회적 환경과 유전적 요소(Social Environment and Ancestry) → 개인적 결함(Failure of the Person) → 불안정한 행동과 상태(Unsafe Act or

1) Greenwood, M. and Woods, H. M. (1919), "The Incidence of Industrial Accidents Upon Individuals: with Special Reference to Multiple Accidents", HM Stationery Office.

2) Heinrich, H.W. (1931), Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach.

Condition) → 사고(Accident) → 부상(Injury)의 5가지 연쇄적 과정을 거쳐 일어난다고 설명하며, 안전사고 예방의 핵심은 모델의 3번째 요소인 개인의 불안정한 행동과 작업장의 불안정한 상태를 최소화하는 것이라고 주장하였다.

또한 연쇄적 사고발생 모델에서는 상대적으로 경미한 사고들의 빈번한 발생은 사망사고와 같은 중대 안전사고 발생의 징후임을 강조하며, 사고 피라미드 모델(Accident Pyramid Model)을 제시하였다. 하인리히의 법칙 혹은 아이스버그(Iceberg) 모델로 보다 널리 알려진 사고 피라미드 모델은 중대 사고(Major Injury), 경미한 사고(Minor Injury), 사고로 일어날 뻔한 상황(Near Miss)의 빈도가 1:29:300의 비율로 발생한다고 설명하였다. 사고 피라미드 모델에서 제시하는 인적 피해 정도에 따른 비율은 모델들마다 다르나, 이 모델의 중요한 시사점은 피라미드의 하부, 즉 사고로 일어날 뻔한 상황들을 관리함으로써 경미한 사고, 그리고 결론적으로 피라미드 최상부의 중대 사고를 예방할 수 있다는 점이다.

연쇄적 사고발생 모델은 사고 발생 과정을 이해하기 쉽게 설명함으로써 상대적으로 많이 알려져 있으며, 하인리히의 도미노 모델 외에도 안전사고 발생에 있어 관리(Management)의 중요성을 강조한 버드(Bird)의 도미노 모델<sup>3)</sup> 등 많은 모델들이 소개되었다.

### 13. 역학 모델(Epidemiological Model)

역학 모델은 안전사고 메커니즘이 다수의 요인들에 의해 일어나는 질병 발생 과정과 유사하다고 주장한다. 고든(Gordon)<sup>4)</sup>은 사고 발생 과정을 피해자, 사고 원인, 사고 발생 환경의 관련성을 통하여 분석하였으며, 이는 역학에서 질병의 발생 과정으로 설명하는 숙주(Victim), 병인(Agent), 환경(Environment)의 3가지 요인과 유사하다.

리즌(Reason)은 스위스 치즈 모델(Swiss Cheese Model)<sup>5)</sup>을 통하여 사고 발생 과정에 있어 잠재적 요인(Latent Failure)과 사고를 예방할 수 있는 장치(Layer)의 중요성을 강조하였다. 이 모델에 따르면, 개인의 불안정한 행동 등 직접적인 원인(Active Failure)은 현장 안전관리 체계와 같은 잠재적 요인(Latent Failure)에 크게 영향을 받으며, 여러 개의 안전장치들(Layers)

3) Bird, F. E. (1984), Management Guide to Loss Control, Industrial Accident Prevention Association, Ontario.

4) Gordon, J. E. (1949), "The Epidemiology of Accidents", American Journal of Public Health and the Nations Health.

5) Reason, J. (1990), Human Error, Cambridge University Press.

을 마련하여 하나의 장치에 결함이 생기더라도 다른 장치들이 사고를 예방할 수 있는 시스템을 마련해야 한다고 설명하였다.

### 14. 시스템 모델(Systemic Model)

기존의 안전사고 발생 모델들은 영국의 파이프 알파(Piper Alpha)나 미국의 챌린저 우주왕복선(Space Shuttle Challenger) 사고와 같은 복잡한 사회기술 시스템(Sociotechnical System)에서 일어난 사고들을 설명하지 못하였다. 이러한 기존 모델들의 대안으로 제시된 시스템 모델은 안전사고를 각 사고 요인들의 인과 관계보다 전체적인 시스템의 문제로 접근하였다. 시스템 모델에 따르면 사고의 원인은 단순히 사고 내 요소들의 복합적인 관계에 의하여 발생한다고 주장한다.<sup>6)</sup> 이에 따라 사고 예방을 위해서는 일련의 사고 원인들을 제거하는 것보다 전체적인 시스템의 문제점을 파악하고 보완하는 것이 필요하다고 강조한다.

## 2. 건설 안전사고 발생 모델

건설산업에 특화된 사고 발생 모델은 타 산업에 비해 상대적으로 최근에 소개되기 시작하였으며, 대부분 기존의 일반적인 사고 발생 모델에 이론적 근거를 두고 건설산업의 특수성과 결합하여 만들어졌다. 이러한 모델들은 학술적으로 소개되기는 하였으나 실질적으로 건설현장에서 활용되고 있는 것은 확인되지 않았다. 그럼에도 불구하고 소개할 건설 안전사고 발생 모델들은 건설 안전사고 과정 및 원인들을 이해하는 데 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

### 2.1. Distraction Model.<sup>7)</sup>

미국 건설안전 분야의 대표적 학자인 힌제(Hinze)에 의하여 소개된 Distraction Model은 건설현장의 안전사고는 현장 위험 요소가 근로자의 작업에 대한 집중을 방해하여 일어난다고 주장한다. 현장 근로자는 작업 중 위험 요소를 인식할 경우, 위험 요소와 주어진 업무 가운데 무엇에 집중할 것인지에 대한 선택의 딜레마에 처하게 된다. 위험 요소와 업무 완성은 반비례의 관계를 가지며, 근로자가 업무 완성에 보다 집중할 경우 작업의 위험도는 올라가며, 결과적으로 안전사고가 일어날 확률이 높아진다고 설명하고 있다. Distraction Model은 위험 요소의 사전 조치와 적정 공기 확보 등을 통한 업무 완성에 대한 부담감

6) Rasmussen, J. (1997), "Risk Management in a Dynamic Society: A Modelling Problem", Safety Science, 27(2-3), 183-213.

7) Hinze, J. (1997), Construction Safety. Prentice Hall.

을 줄임으로써, 안전사고가 일어날 확률을 줄일 수 있음을 강조하고 있다.

## 2.2. Accident Root Causes Tracing Model(ARCTM)<sup>8)</sup>

ARCTM은 건설 안전사고의 근본적인 원인을 다음과 같이 세 가지로 분류하였다.

- 작업장의 불안정한 상태(Unsafe Condition)의 발생 시기 : 작업장의 불안정한 상태는 작업 전에 이미 존재하거나 혹은 작업 도중에 발생할 수 있음. 전자의 경우 매니저의 관리 소홀이 사고의 주요 원인이며, 후자의 경우 다음 단계의 원인으로 분석됨.

- 근로자의 작업장 불안정한 상태의 인식 유무 : 근로자가 작업 중 발생한 불안정한 상태를 인지함에도 작업을 진행하였을 경우, 근로자에게도 사고에 대한 책임이 있으며, 근로자가 불안정한 상태를 인지하지 못한 경우는 현장 안전교육에 문제점이 있는 것으로 간주

- 근로자의 불안정한 행동 : 근로자가 작업장의 불안정한 상태와 관계없이 의도적으로 불안정한 행동을 하였을 경우, 사고의 책임은 근로자에게 있음.

ARCTM을 요약하면 건설 안전사고 저감을 위해서는 안전교육, 작업자의 태도, 그리고 작업장의 위험 요소를 예방할 수 있는 관리 체계의 마련이 핵심이다. 안전사고의 근본적인 원인은 현장 안전관리의 주체인 시공자에게 있음을 강조하지만, 근로자의 불안정한 행동에 의한 사고에 대한 책임은 근로자에게도 물어야 함을 암시하고 있다.

## 2.3. Constraint-Response Model<sup>9)</sup>

Constraint-Response Model에서는 안전사고에 영향을 주는 요소를 크게 직접적인 요소(Proximal Factors)와 간접적인 요소(Distal Factors)로 구분하였다. 간접적인 요소(Distal Factors)는 건설공사 이전에 결정되는 요소들로서 관련 제도, 사업의 특성, 디자인, 사업 예산 등 상위 레벨에서 이루어지는 의사결정과 사업 대지의 환경 등이 주를 이룬다. 직접적인 요소(Proximal Factors)는 시공 단계에서 안전에 영향을 주는 요소

들로 시공 관리, 시공 계획, 현장 조건 등이 있다. 간접적인 요소들은 직접적인 요소들의 상태에 근본적인 원인을 제공하며, 직접적인 요소들이 복합적으로 연계되어 안전사고로 이어진다.

이 모델은 건설 안전사고의 근본적인 원인을 거시적 관점에서 바라보고, 현장 안전관리 문제가 기획 단계의 예산 결정 단계와 부적절한 설계로 인한 현장 위험요소 증가 등에서부터 기인할 수 있다고 주장하고 있다. 또한, 건설 안전사고의 원인을 사업 전생애주기 관점에서 바라봄으로써, 건설 안전사고의 책임이 시공자뿐만 아니라, 사업 초기 단계의 의사결정자(발주자 및 설계자)에게도 있음을 주장하고 있다.

## 2.4. Demand-Capability Model<sup>10)</sup>

Demand-Capability Model은 작업에 대한 요구와 작업 수행자의 역량 관계를 가지고 안전사고 발생 과정을 설명하였다. 작업에 대한 요구는 발주자의 시공자에 대한, 원도급자의 하도급자에 대한, 그리고 근로자에 대한 직접적인 관련 작업에 대한 요구 등이 있다. 작업 수행자의 역량은 주어진 작업을 수행할 수 있는 능력을 의미하며, 작업 수행을 위한 경험 및 숙련도뿐만 아니라 주어진 예산 및 작업 시간 등이 포함된다. 이 모델에 따르면 작업에 대한 요구가 높아질수록, 그리고 작업을 이행하는 작업자의 역량이 낮을수록 안전사고가 일어날 확률이 증가한다. 이는 안전사고를 줄이기 위해서는 갑의 위치에 있는 주체들의 일에 대한 적절한 업무 요구, 일의 역량 파악, 그리고 역량을 충분히 발휘할 수 있는 사업 및 작업 여건을 마련해주는 것이 중요함을 시사한다.

## III. 시사점

본고에서 소개된 4가지 유형의 일반적인 사고 발생 모델들은 사고의 발생 과정을 다양한 관점에서 설명하고 있으며, 국내 건설 안전관리 체계가 나아가야 할 거시적 관점에서의 방향을 제시해준다. 역학(疫學) 모델 중 하나로 소개된 리즌의 스위스 치즈 모델은 다양한 안전장치들의 상호 보완작용의 중요성을 강조하였다. 하나의 안전장치에 결함이 생기더라도 다른 장치들이 사고를 예방할 수 있는 이중 삼중의 안전 보호 체계를 갖추어야 한다는 것이다. 예를 들어 국내 건설 안전사고 중 가장 높

8) Abdelhamid, T. and Everett, J. (2000). "Identifying Root Causes of Construction Accidents", *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(1), 52-60.

9) Haslam, R. A., Hide, S. A., Gibb, A. G. F., Gyi, D. E., Pavitt, T., Atkinson, S., and Duff, A. R. (2005). "Contributing Factors in Construction Accidents", *Applied Ergonomics*, 36(4), 401-415.

10) Mitropoulos, P., Cupido, G., and Namboodiri, M. (2009). "Cognitive Approach to Construction Safety: Task Demand-Capability Model", *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(9), 881-889.

은 비중을 차지하는 떨어짐에 의한 사고 저감을 위해서 추락 방지를 위한 안전교육, 현장 점검 등의 예방적 안전장치를 마련하고, 안전벨트 착용 및 추락 방지망 설치 등의 대응적 장치들도 다중으로 설치함으로써 사고의 가능성을 낮추어야 할 것이다.

다중 안전장치의 개념은 건설산업 전 생애주기로 확대 해석할 수도 있다. 현 시공 단계에서만 안전 조치를 취하는 것을 하나의 안전장치로 보았을 때, 기획 그리고 설계 단계에서도 예방적 안전장치를 고려한다면 여러 단계의 안전 저감 활동을 통한 건설 안전사고 저감에 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

시스템 모델은 사고의 근본적인 원인을 직접적인 원인을 제 공한 주체에게서만 찾은 것이 아니라, 시스템 전체 관점에서 검토해야 한다고 설명한다. 이는 관련 법규를 준수하지 않아 일어난 사고의 책임을 관련 주체에게 묻는 것은 당연하나, 이러한 상황이 반복된다면 관련 제도에 문제가 있을 수도 있음을 확인해볼 필요가 있다는 것이다. 국내 소규모 건설현장은 대규모 건설현장보다 재해율이 상당히 높은 편이며, 이는 소규모 현장의 안전에 대한 전반적인 역량이 많이 부족한 결과라고 해석된다. 시스템 모델 관점에서는 사업 규모별 역량을 고려한 맞춤형 제도가 마련되거나, 소규모 현장의 부족한 역량을 끌어올릴 수 있는 정부의 지원이 필요할 것으로 생각된다.

건설 안전사고 발생 모델에서 언급하는 건설산업의 특성을 살펴보면, 첫째, 상대적으로 큰 작업 불확실성에 따른 업무 완성에 대한 부담감을 들 수 있다. 유사한 작업이 동일한 작업 공간에서 반복되는 제조업의 근로자와 달리 건설현장의 근로자는 주어진 기한 내에 맡은 업무를 완성하는 데 있어서 많은 불확실성이 존재하며, 이는 무리한 업무 완성을 위한 불안정한 행동으로 이어질 가능성을 높인다. 업무 완성에 대한 부담감을 줄이기 위해서는 적절한 공기와 예산을 확보하여, 근로자가 안전하게 역량을 발휘할 수 있는 지원이 뒷받침되어야 할 것이다. 둘째, 사업 초기의 기획 및 설계 단계의 결정들이 건설현장 안전사고에 큰 영향을 미친다. 따라서 시공 단계의 안전사고 예방을 위해서는 기획 및 설계 단계에서 현장 안전에 대한 고려가 필요하다.

## 참고문헌

Abdelhamid, T. and Everett, J. (2000). "Identifying Root Causes of Construction Accidents", *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(1), 52-60.

Bird, F. E. (1984), *Management Guide to Loss Control*,

*Industrial Accident Prevention Association*, Ontario.

Gordon, J. E. (1949), "The Epidemiology of Accidents", *American Journal of Public Health and the Nations Health*,

Haslam, R. A., Hide, S. A., Gibb, A. G. F., Gyi, D. E., Pavitt, T., Atkinson, S., and Duff, A. R. (2005). "Contributing Factors in Construction Accidents", *Applied Ergonomics*, 36(4), 401-415.

Heinrich, H.W. (1931), *Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach*,

Hinze, J. (1997), *Construction Safety*. Prentice Hall.

Greenwood, M. and Woods, H. M. (1919), "The Incidence of Industrial Accidents Upon Individuals: with Special Reference to Multiple Accidents", HM Stationery Office.

Mitropoulos, P., Cupido, G., and Namboodiri, M. (2009). "Cognitive Approach to Construction Safety: Task Demand-Capability Model", *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(9), 881-889.

Rasmussen, J. (1997), "Risk Management in a Dynamic Society: A Modelling Problem", *Safety Science*, 27(2-3), 183-213.

Reason, J. (1990), *Human Error*, Cambridge University Press.

■ 최수영 E-mail : sooyoung.choe@cerik.re.kr