

첨단산업에서의 안전 사고 분석 패턴 추출 모델 연구

윤용구* · 박범**

*아주대학교 산업공학과

**아주대학교 산업정보시스템공학부

<http://hci.ajou.ac.kr>

Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab.

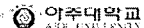


Abstract

□ 안전사고 원인에 대하여 Near-Miss Report 분석을 근거로 하여, 제재원인에 대하여 접근해 보고, 이 Data를 참고로 첨단산업에서의 제재 유형을 분석해보고, 유형에 따른 기어인자를 기준 Human-ware, Hard-ware, System-ware를 구성요소로 해서, 첨단산업에서의 각각의 수행인자의 비율 분석을 통한 판단한 결과는 Human-ware와 Hard-ware 비율은 4:1로 나타났고, 첨단사업장에서의 5년간의 사고전수를 근거로 원인에 대한 수행인자의 ANOVA로 분석하여 4개인자에 대한 분산 분석을 도출하였고 이에 따른 Loss와 Time과 Accident 관계와 Effect of Intervention 관계의 Reason's Accident Causation Model과 Perrow's Normal Accident Theory Model를 연관시켜서 첨단산업에서의 사고이론 Model를 추출해서 첨단산업에서의 안전사고에 대한 유형을 분석해서 사고를 사전에 제거키 위한 새로운 모델을 제시하고자 한다.

<http://hci.ajou.ac.kr>

Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab.



2

서론

- 1) 사고 분석의 분야에는 Failure, Accident, Incident, Occurrence, unsafe, unact, lack, unperformance, Adverse 용어 등이 다양한 분야에서 다르게 사용하고 있으나,
- 2) 국내에서는 원인분류를 인적부분과 장치부분으로 나누고 해당분야에 대하여 업무특화별 안전에 대한 운영을 하고 있고 (예: 인적:덕일,진소,교통연구소,항공기 관련 분석기관) 특히 우리나라의 공적기관인 산업안전보건공단에서는 재해분석을 불안정한 상태, 불안정한 행동으로 사고 분석으로 연구를 하고 있으며
 - Safety Critical한 분야에서의 사고에 대한 성향과 경향과 인간공학관련 역할을 언급하고 의도된 기능을 시스템의 기능, 특정한 환경상태의 바람직한 상태의 경향유지가 필요가 시급.
- 3) 집단산업(즉, 반도체)에 서의 안전사고유형을 보고 집중 강화해야 할 Pattern을 연구하고 사고분석을 통해 대책의 일환으로 경의를 제정법에서 인적 인자, 인적 오류에 대한 향후 계획 수립이 필요함.

<http://hci.ajou.ac.kr>

Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab.



3

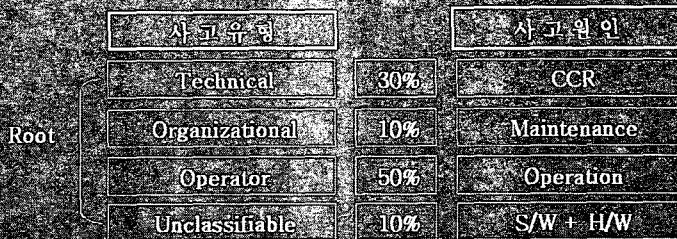
안전사고 원인분석

집단산업에서의 Accident의 Factor들은 Gas, Chemical, 전기, 각종 Utility 및 Human, Equipment 등에 의한 잠재요소등 이루어져 있는 상태에서 이 Factor들에 의해 가동 중지, set-up등이 되고 있으며 이의 Human, Hard, System적인 구성요소들로 24시간 가동되고 있으며, 안전의 중요요소들이 농축되고 있음

사고요인들을 분석한 결과

Rotterdam의 화학공장에 Near-Miss Management System의 설계하는 보고서에서

>참고 European Commission에 의해 수립되는 Near-Miss-Reporting



<그림 1> 발생빈도

* CCR (Central Control Room) : 중앙통제실

<http://hci.ajou.ac.kr>

Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab.



4

사고 사례의 분석

미국의 정유공장을 대상으로 한 1989 ~ 1996년까지의 130건의 사고발생 분석결과

관리 System (39%),
공정진행 (52%),
Facility Design (9%)

➔

문제점
Design-Construction-
Maintenance의 연결

결국 작업자의 에러를 통제 못함으로 안전의 사고까지 발생하는 상황임.
인간의 부적절한 행동에 의한 결과는 사고원인 50 ~ 80%에 이르고 있음.
또한 국제 해사기구는 사고원인을 사고원인/내부원인/외부요인/원인미상 구분.

□ 첨단 반도체에서의 안전사고 유형을 보면 사고분석의 필수 요건 조차이나 산업에서 안전관리에 주요 부분이어서

- 잠재력이 있는 요소에 대한 사고들을 관련 있게 관리하고,
- 안전관리에 있어 경제 Impact들을 감안하고 최악의 상황까지 가는 것을 막기 위한 과정들이 표준과 기준에 의해 정립되도록 사고 분석이 되어야 함.

<http://hci.ajou.ac.kr> Ajou University Industrial Engineering Human Factors Lab. 아주대학교 AJOU UNIVERSITY 5

원인 Tree

일반적인 견해

사고 분석은 자주 암암리에 만들어져 공유되고 자체적 적용되지만 인간 요인에 골격을 맞추어 시스템적으로 중심에 놓으려고 하는 실정임.
기여인자들은 Human, Hard, System-Ware들로 구성요소로 조사되고 있음.
사고는 고립에 의해 일어나고 그것은 연결고리로 이어지면 사고가 발생을 하게 하는 개념을 가지게 했던 Heinrich's Domino 이론은 이제는 참고가 될 뿐임.->내부적, 잠재적요소 미반영

새로운 관점 견해

- 새로운 관점에서 잠재요소 (잠재적인 인자), 환경 Factor, Hard, Soft-S/W (Perrow Model)을 반영하고 Matrix화 되어진 실정.
- 사고의 원인파 결과 산출에 반영 되어야 함.
- 그런 측면에서 보면 첨단산업의 최근 5년간의 사건/사고를 근거로 안전유형을 분석해 보면

<http://hci.ajou.ac.kr> Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab. 아주대학교 AJOU UNIVERSITY 6

첨단산업의 안전사고 유형



〈그림 2〉 안전사고 유형

Human-Ware 측면(Human), Hard-Ware 측면(설비, 환경), System-Ware 측면(System)

각각 42.9%, 45.8%, 11.3%로 사고의 비율로 나타남

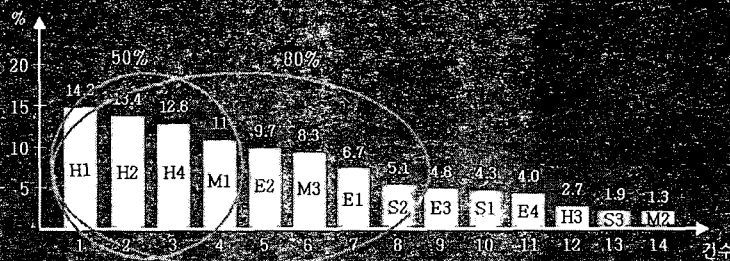
첨단산업의 안전사고 유형은 Human과 기계에 대한 비중이 63.5% 나타남

불안정한 행동과 불안정한 상태의 비율은 각각 42.0%, 57.1%로 나타남

→ 불안정한 행동: Human, 불안정한 상태: 설비, 환경, System

첨단 생산 시스템의 진제조건은 장치산업과 Timing산업으로 human과 설비 대한 비중이 큼

첨단산업의 안전사고 수행인자



〈그림 3〉 안전사고 수행인자의 비율

□ 전체 14개의 수행인자 중에 8개 항목이 80% 차지(H1, H2, H4, M1, E2, M3, E1, S2): 80:20원칙

→ Human 인자: 40.2%, 기계(설비)인자: 19.3%, 환경인자: 16.4%

□ 세부사항

전체의 50% → Human인자: 40.2%, 기계(설비)인자: 11% → 4:1비율을 가짐

→ Human 관련 부분이 중요한 인자로 분석됨

→ Human factor, Human Error에 대한연구 필요.

→ Reason: GEMS, Rasmussen: SR K이론, Elwin-Edwards: SHEL모델

생산과 연계된 안전 System

〈정상적인 생산 시스템〉

정상적인 생산시스템

- 생산은 Human + 기계의 활동에 On-Time으로 생산품을 만들어 내는 일치된 행동
- Human + 설비 + 환경 + 생산 + System적으로 되어 있고 System적으로 방어역할로 역방향의 진행
- 각개의 System은 안전판을 가지고 있어 5 Plate를 사고 + 사건 + 손상으로 생산 지하를 가져옴.

〈손상된 생산 시스템〉

손상된 생산시스템

- System적인 부분은 방어역할을 못함으로 사고로 이어짐.
- 첨단 산업의 생산특화 측면에서 볼 때 Human / 설비(기계)의 중요성은 대두됨
- 손상된 생산시스템의 5plate에는 각각의 잠재요소 및 결합이 있는 상황에서 사고 발생

http://hci.ajou.ac.kr Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab. 9

Accident와 Loss와 Time 관계

〈그림4〉 Effect of intervention

위 그림은 사고내에 Human과 System 간섭으로 Loss에 대한 증가나 감소를 가져올 수 있고 간섭 자체의 Loss의 범위를 변할 수 없는 것을 나타내는 것임

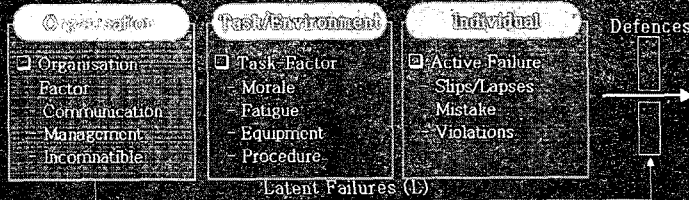
□ 안전사고의 수행인자 측면

- Human, 조직, Individual의 Loss는 불안정한 행동을 보이기 위해 Mental과 Cognitive 부분 up-Grade 시키면 Skill-up 가능성이 판단됨.
- 기계 (설비) 측면은 Bath's Tub' 파손과 설비의 유지/보수와 Reliability 부분지중 Main 인자의 해결책에 큰비중을 가져올 수 있다고 판단됨.

http://hci.ajou.ac.kr Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab. 10

Reason's Accident Causation Model 분석

사고 분석으로부터 효과적인 결과를 만들기 위하여 Design과 특성과 각 개별 동작 Factor들이 수립되었고, 이런 폭 넓은 시스템 분석을 위해 본 model 발전됨.
 특히 ICAO(1993)에 의해 Reason의 Accident-Model이 표준이 되고 전공 분야에서의 조직 개념을 강하게 대두시킨 것도 상기한 것이지만 이 모델로 분석을 실시



<그림5> Reason's Accident Model

- 본 model은
 - Organization에 잠재성 failure을 두었고, Individual에서는 GEMS모형을 적용함.
 - Organization, Task/Environment, Individual로 원인분석
 - 집단산업에서는 Human, 설비(기계)와의 잠재성 Failure에 보강을 하고 Human, 기계(설비), 환경, System 원인분석시 개인, 조직에 대한 부분이 취약함.

* ICAO(International Civil Association Organization)

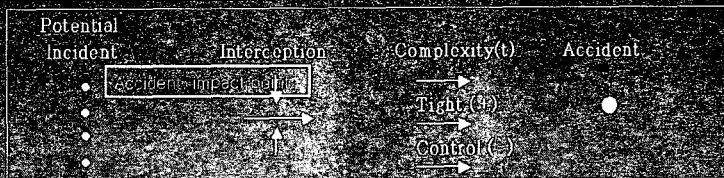
<http://hci.ajou.ac.kr>

Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab.



11

Perrow's Normal Accident Theory Model



<그림6> Perrow's Accident Theory Model

- Model의 장점
 - Human Error에 의한 기술적인 Failure에 관리와 조직의 취약점까지 취급
 - 에러를 대신해 잘못된 조직의 잠재적 Failure을 도출시켰다는 것이 특이점
- 단점
 - (IT)의 Risk 이해를 위한 이론적인 인식의 모범
 - 각계는 Base & Incident, 크기는 Business Wide Impact 범위
 - Hard-ware 부분과 Soft-ware적인 부분에 적용가능. → 복잡성과 Matrix의 인자에 미비점대제
- 집단산업에서의 본model은
 - potential incident와 interception사이에는 interaction
 - interaction과 complexity사이에는 compress가 관중
 - Potential incident -> interaction -> interception -> compress -> complexity -> accident

<http://hci.ajou.ac.kr>

Ajou University Industrial Engineering Human Factors Lab.



12

첨단산업에서의 4수행인자 대한 분석

: Perrow's Normal Accident Theory Model과 분석

	Potential Incident	Interaction	Interception	Compress	Complexity	Accident
Human	- 작업 동작 기능인공학 - 상호공유 - 기능 관련 인지 행동 - job의 명확성	작업동선, 인지공백 사고의 개념, 행동반경	- 이해, 인지, 판단부족 - 기능/역할부족 - 인증미실시 - 격 부분석미비 - 인건관계	각 요소마다 가중을 시키는 factor	- 개념으로 - 추적 - inter-lock, 개선 - 개념의 적용 - 업무 불장 - 교육, 훈련 이해	사건, 사고, 이상발생
Machine	입력/출력요소 인간과의 inter face 설비의 조정과 디자인 부품에 대한 신뢰성	Feed/back Hand 동작목적 작업 목적 중지	- 안전장치미비 - PSM(안전미비) - 양검성미비 - 눈관리부족		개념의 미비, 해결책 미흡함, 미적용 업무 미분공 shift에 대한 미흡함 이해부족 결함(개)의 무에 인식부족 신뢰성에 대한 미적용	
Environment	작업/작업장 환경 조직(근무 외사분위기) 회사의 정책과 방향	작업환경의 우수적 요소 인간관계	- 업무 집중화 부족 - 업무 과중, shift - 생산에 맞춰진 현장 - 관련부서간의 마찰			
System	생산, 품질, 내기 안전, cost, 물류에 대한 미비 기술 system의 안정성부족	생산제어 system 미적용	- 기술 system 이해 부족 - Top-Down과 Bottom-Up의 Gap - 부품의 기술 미검립			

분석:

- Human : 개인 조직과 task 부분이 병합으로 잠재요소의 많은 부분이 내재
- Machine : 인간과 기계의 통합적인 요소에 대한 체계미흡
- > 수동, 기계, 자동, 지능체계에 대한 유형, 미흡, 미래공학적인 부분 보완 필요
- System 운영은 많으나 미흡함/ 미적용에 따른 발생
- Interaction은 유사성의 반작용으로 compress는 가중을 더하는 요소로 내재 되어 있음

<http://hci.ajou.ac.kr>
Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab.

13

첨단산업에서의 사고이론 추출 Model

Reason의 Accident Model과 Perrow's Accident Theory Model를 혼합한 Model 이론을 첨단 산업의 수행인자를 혼합결과

- human 에 대한 개인과 조직에 대한 부분과 task에 대한 link가 미비
- 환경에 대한 비준이 편중

Reason model과 Perrow model과 첨단산업

노출된 point

첨단 산업의 model

<그림 7> 7개 인자의 관계모델

Classification

1. 설비
2. 환경
3. System
4. Human
5. 조직
6. Task
7. Individual

→ 첨단산업

..... Reason

● Perrow : P(Potential 요소)

<혼합 후 보완 후 결과>

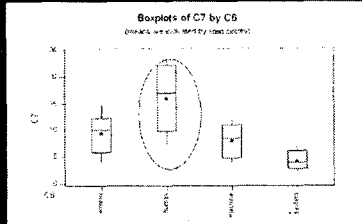
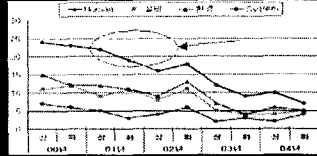
<http://hci.ajou.ac.kr>
Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab.

14

첨단산업의 수행인자의 ANOVA분석

HUMAN-MACHINE-ENVIRONMENT SYSTEM

	00년	01년	02년	03년	04년
H	24	23	22	19	18
M	11	12	9	11	8
E	15	12	12	11	9
S	7	6	5	3	4



One-way ANOVA: C7 versus C6

Analysis of Variance for C7

Source	DF	SS	MS	F	P
C6	3	725.6	241.9	14.71	0.000
Error	36	592.0	16.4		
Total	39	1317.6			

Level N Mean StDev

H	10	0.400	3.758
M	10	16.000	6.182
E	10	8.000	2.222
S	10	4.200	1.751

Fooled StDev = 4.055

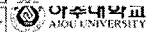
Individual 95% CIs For Mean Based on Fooled StDev

Level	Mean	StDev
H	0.400	3.758
M	16.000	6.182
E	8.000	2.222
S	4.200	1.751

□ 분석결과 : ANOVA는 평균간의 차이를 찾아내는 방법으로 분석을 실시하고, 정규성 검정결과 4개인자가 0.05보다 크므로 정규성을 갖고 Box-plot에서는 평균에 대한 중심치가 Human요소가 벗어나 있고 분산축면에서도 편차가 큼. 가설설정시 귀무가설 (H0):H1=MI=E1=S1, 대립가설(H1); 적어도 하나는 다르다인데 P=0.05보다 작음으로 귀무가설을 기각 → 대립가설을 채택. 실질적인 결론은 적어도 하나는 다르다.

<http://hci.ajou.ac.kr>

Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab.



15

결론

1. 첨단산업의 안전사고의 유형은 human-ware, hard-ware, system-ware의 비율은 4:4:2 였고 여기에 따른 불안정한 행동과 상태의 비율은 4:6으로 첨단산업에서의 비중은 human 과 hard는 human과 설비임을 보임.
2. Loss와 time과 accident관계는 effect of intervensjon를 분석해보면 human 과 조직과 individual에서의 mental과 cognitive의 up-grad가 필요 대두.
3. Reason model에서의 첨단산업의 안전유형은 human과 설비의 잠재성은 취약한 것으로 나타났고 개인과 조직에 대한 혼합평가가 되어야 하고 환경축면에서는 task가 보완필요. Perrow model 에서는 interaction과 compress의 요소 평가에 대한 잠정적 요소가 필요.
4. 첨단산업의 사고이론 추출 model로 human에 조직과 개인을 보강하고 human에 task까지 보완할 model를 가시화시켰고 이에 따른 4개인자 (human, machine(equipment), environment, system)을 ANOVA로 분석시 대립가설을 채택함으로 적어도 하나인자는 다르다는 것을 도출시킴으로 Human에 대한 중요성과 여기에 따른 human factor과 human error에 대한 연구가 지속되어야 한다고 판단됨.

<http://hci.ajou.ac.kr>

Ajou University Industrial Engineering - Human Factors Lab.



16

참고문헌

1. Daniela Larin Busse, "Cognitive Error Analysis in Accident and Incident Investigation in Safety-Critical Domain" Glasgow University pp 23, September 2002
2. Tjerkw. Vander Schaaf "Near Miss Reporting in the Chemical Process Industry an Overview Microelectron Reliab. Vol 35, Nos 9~10, pp 1233~1243, 1995
3. www.kgs.re.kr
4. Daniela Larin Busse, "Cognitive Error Analysis in Accident and Incident Investigation in Safety-Critical Domain" Glasgow University pp 34, September 2002
5. 삼성전자 사고사례집
6. Joe Stephenson "System Safety 2002" Van Nostrann Reinhold, pp272, 1991
7. Laura Lally "Extending Normal Accident Theory to Encompass The Challenges of Technology" pp 2.