

## 반도체산업에서의 안전사고 분석 패턴 추출 모델 연구

- A study for safety-accident analysis pattern extract model  
in semiconductor industry -

윤 용 구 \*

Yoon Yong Gu

박 범\*\*

Park Peom

### Abstract

The present study has investigated the patterns and the causes of safety-accidents on the accident-data in semiconductor industries through near miss report the cases in the advanced companies. The ratio of incomplete actions to incomplete state was 4 to 6 as the cases of accidents in semiconductor industries in the respect of Human-ware, Hard-ware, Environment-ware and System-ware. The ratio of Human to machine in the attributes of semiconductor accident was 4 to 1. The study also investigated co- rrelation among the system related to production, accident, losses and time. In semiconductor industry, we found that pattern of safety-accident analysis is organized potential, interaction, complexity, medium. Therefore, this study find out that semiconductor model consists of organization, individual, task, machine, environment and system.

**KeyWords : Accident, Near-Miss, Reason's Accident Causation, Perrow's Normal Accident Theory Model, ANOVA, Extract Model of Semiconductor Industry**

---

\* 아주대학교 산업공학과 박사과정 수료

\*\* 아주대학교 산업정보시스템 공학부

2006년 2월 접수 2006년 3월 수정본 접수 2006년 4월 게재 확정

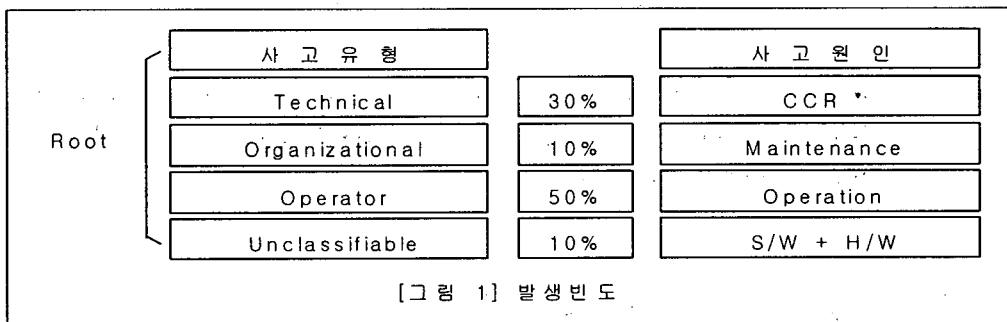
## 1. 연구의 배경

안전사고 분석의 분야에는 Failure, Accident, Incident, Occurrence, Unsafe, Unact, Lack, Unperformance, Adverse 용어 등이 다양한 분야에서 다르게 사용하고 있으나, 국내에서는 원인분류를 인적부분과 물적부분으로 나누고 해당부분에 대하여 업무특화 영역별에 따라 안전에 대한 운영을 하고 있고(예,원자력, 발전소, 교통연구소, 항공기관관련 분석기관) 특히 우리나라의 공식기관인 산업안전공단에서는 재해분석을 불안정한 상태, 불안정한 행동으로 사고 분석으로 연구를 하고 있으며 안전의 결정적인 중요한 분야에서의 인적사고에 대한 원인과 경향과 인간공학 관련 역할을 언급하고 의도된 기능을 시스템의 기능, 특정한 환경상태의 바람직한 상태의 경향유지가 시급히 필요하며 이전 관점에서의 반도체산업에서의 이에 따른 인적오류 측면에서 안전사고 유형에 따른 인적오류부분을 집중분석 및 대책이 필요하고 병행해 안전사고 Pattern을 연구하고 사고분석을 통해 대책을 세움으로 정의를 재정립해서 인적요인, 인적오류에 적용키 위해 연구가 필요하게 되었다.

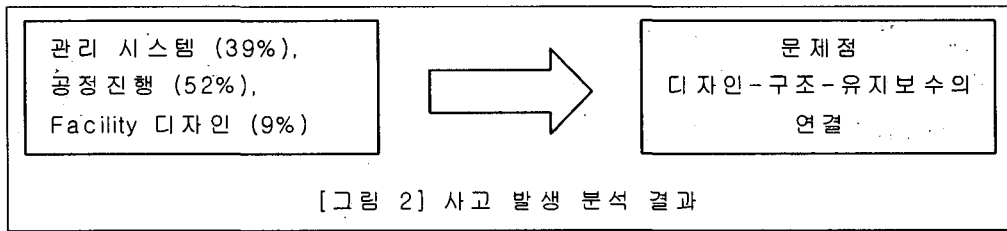
## 2. 안전사고 Pattern에 대한 고찰

### 2.1 선진사례연구 분석

Rotterdam의 화학공장에 Near Miss Management System의 실행하는 보고서에 의한 <그림1> 근거에 의하면 안전사고 유형은 4가지로 분류해 기술적인측면에서는 작업상의 오류가 발생하고,조직적인 측면에서는설비의 유지.보수로 인한 실수, 작업자측면에서는 불안정한 행동이 주류를 이루고 기타 분류되지 않는system과 hardware가 있으며 사고원인을 보면 불안정한 행동으로부터 인적 요인과 인적오류로 Reason's model에서 기술되어 있는 의도된 불안정한 행동과 의도되지 않는 행동으로 생략과 함정과 실수와 위협등으로 나타난다. 1)



1) CCR : Central Control Room(중앙감시실 혹은 중앙통제실)



또한 미국의 정유공장을 대상으로 한 1989 ~ 1996년까지의 130건의 사고발생 분석 결과 <그림 2>에서 언급한 내용처럼 인적오류의 부분이 각 요소에 내재됨을 알 수 있고 2) 미국의 정유공장의 분석결과 공정진행의 52%를 포함해서 일부 관리 System의 39%가 인적요소로 기인됨을 알 수 있으며 결국 그림의 화학공장과 정유공장의 분석은 작업자의 에러를 통제 못함으로 안전의 사고까지 발생하는 상황으로 인간의 부적절한 행동에 의한 결과는 사고원인 50 ~ 90%에 이르고 있고, 또한 국제 해사기구는 사고원인을 사고선박 내부원인/외부요인/원인미상 구분하고 있으나 반도체산업에서 의 안전사고유형은 반도체산업으로 장치산업으로 설비의 의존성이 큼으로서 설비의 운전은 사람과 설비의 주가되고 있다.그럼으로 운영상에서 발생하는 사고의 요인은 설비와 사람과 조직으로 항상 안전관리하고, 안전사고의 문제점을 사전예방키 위한 표준과 기준에 의해 정립되도록 사고 분석이 되어야 한다고 판단된다.

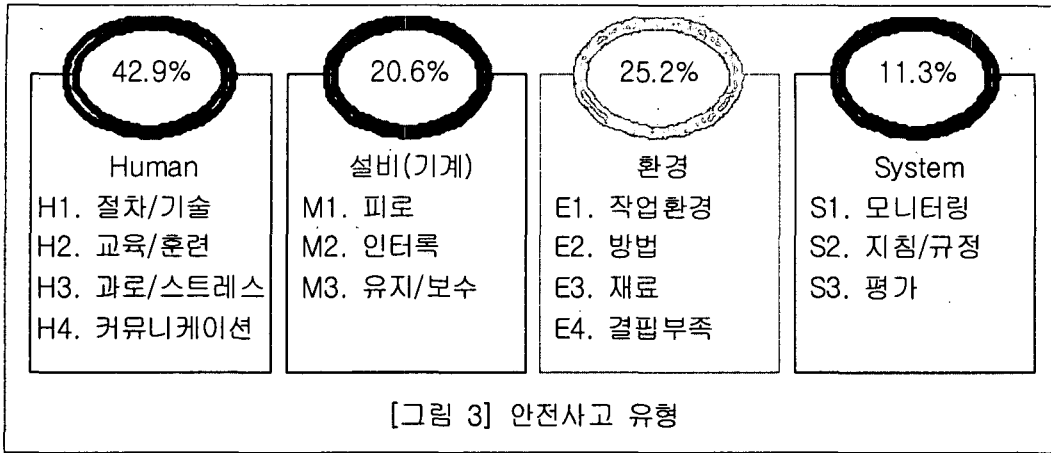
## 2.2 반도체산업에서의 안전사고 원인 분석

### 2.2.1 일반적인 견해

반도체산업에서의 사고의 요소들은 각종 가스, 케미칼, 전기, 각종 유틸리티 및 인간, 장비등에 의한 잠재요소등 이루어져 있는 상태에서 이 요소들에 의해 가동, 중지, set-up등이 되고 있으며 이런 Hard, System ware 구성요소 들로 24시간 가동되고 있으며, 안전의 중요요소들이 동작되고 있음으로 사고요인 들을 분석한 결과 일반적인 견해의 사고분석은 자주 암암리에 만들어져 공유되고 자체적 적용되지만 인간요인에 골격을 맞추어 시스템적으로 중심에 놓으려고 하는 실정이고 기여인자들은 Human-ware, Hard-ware, System-Ware들로 구성요소로 조사되고 있고, 안전사고는 고립에 의해 일어나고 그것은 연결고리로 이어지면 사고가 발생을 하게하는 개념을 가지게 했던 Heinrich's Domino 이론은 이제는 내부적, 잠재적요소 미반영으로 새로운 관점으로 분석이 되어야 한다고 판단된다.

### 2.2.2 새로운 관점 견해

<그림3> 안전사고 유형은 Perrow의 모델을 근간으로 잠재적인 요소인 인적인자를 반영하고 Human-ware, Hard-ware, Environment-ware, System-ware을 매트릭스화 되어진 실정을 사고의 원인과 결과산출에 반영을 해서 반도체의 최근 5년간의 사건/사고를 근거로 안전사고 유형을 분석해 보면 아래와 같음을 알수 있다.3)



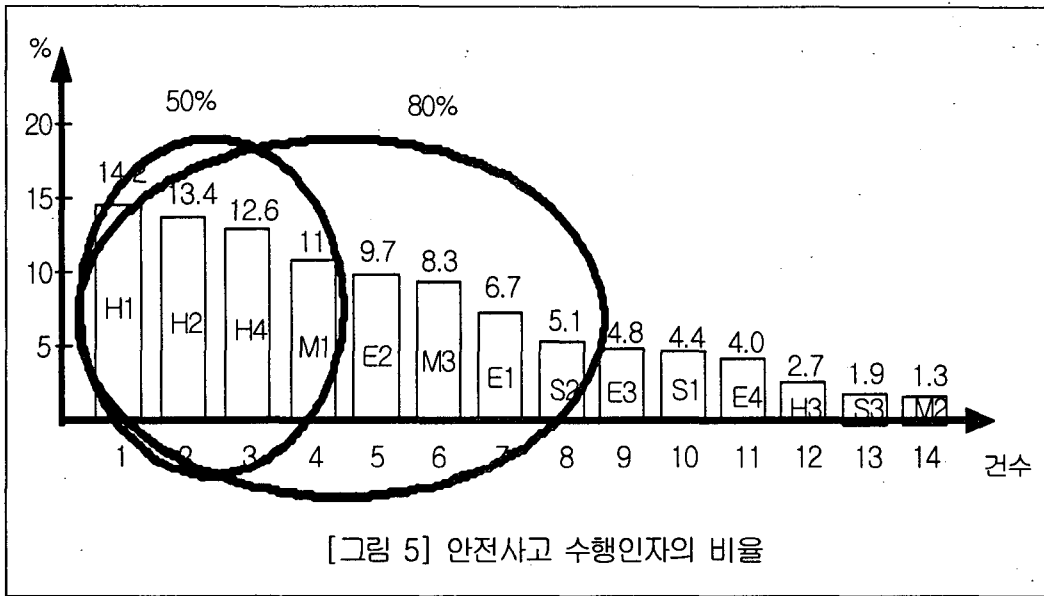
특히 Human-Ware(Human), Hard-Ware(설비, 기계), Environment-ware(환경) System-Ware측면(System)에 각각 42.9%, 20.6%, 25.2%, 11.3%로 사고의 비율로 나타나고 있으며 반도체산업의 안전사고 유형은 인간과 기계(설비)에 대한 사고비율은 63.5% 나타나고 있고, 인적요소의 불안정한 행동의 원인은 사람이고 거기에 따른 비율은 42.9%이고, 불안정한 상태는 설비(기계)와 환경,시스템을 합한 비율은 57.1%로 나타남을 알수 있으며 반도체산업의 생산 시스템의 전제 조건은 장비의 비중이 큰 장치 산업과 고객의 요구에 맞추기 위한 타이밍 산업으로 인간과 설비 대한 비중이 크다고 볼 수 있다.

Human	설비(기계)	환경	시스템
42.9	20.6	25.2	11.3
Human + 설비			
63.5			
불안정한 행동	불안정한 상태		
42.9	57.1		

[그림 4] 안전사고의 비율 비율(%)

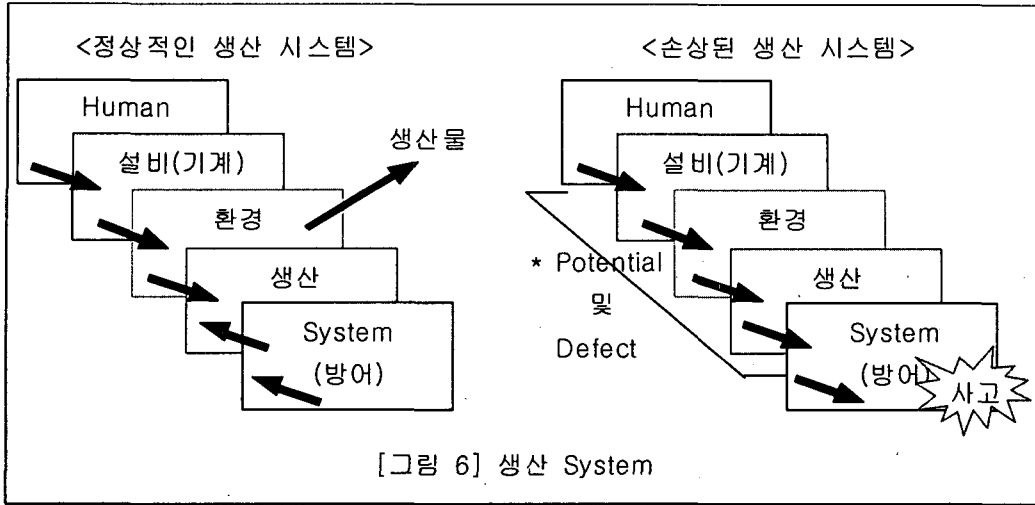
2.2.3 반도체산업에서의 수행인자 분석

[반도체산업의 안전사고 수행인자]



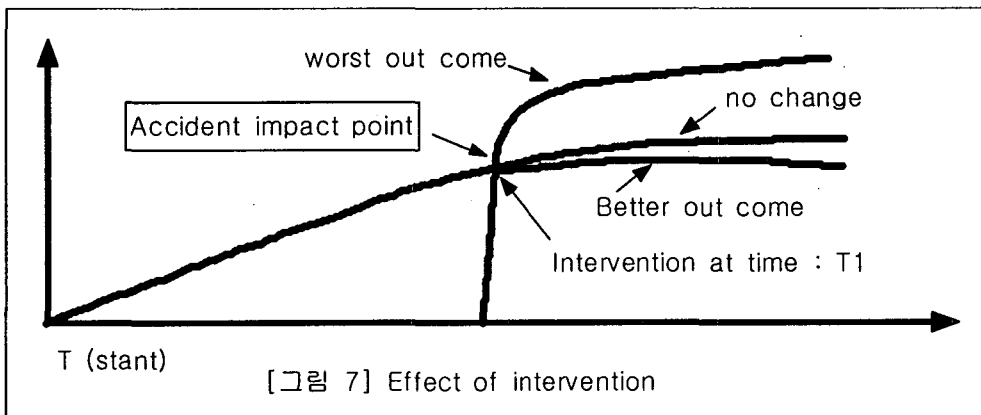
<그림 5>의 안전사고 수행인자의 비율을 보면 전체 14개의 수행인자를 나누고 백분율을 기준으로 하고 각개의 표식은 (그림3)을 참고로 나타나고 있으며 그중에 8개 항목이 80% 차지 (H1,H2,H4,M1,E2,M3,E1,S2)를 차지하고 있음을 분석하였고 이에 따른 80:20 원칙으로 볼 때 인적요소로 볼 때 Human(H1,H2,H4) 인자가 40.2%이고, 기계(장비) 인자(M1,M3)가 19.3%이고 환경인자(E1,E2) 16.4%으로 나타나고 있으며 비중이 큰요소는 전체의 50%가 인적인자(H1,H2,H4)가 40.2%로 기계 (설비) 인자가 11%로 4:1 비율을 나타남을 볼 때 인간관련 부분이 중요한 인자로 분석되고 이에 따른 인적요소, 인적오류에 대한연구가 반도체산업 에서도 필요함이 절실하고 Model의 분석은 Reason의 GEMS(generic error Monitoring System)과 Rasmussen의 S. R. K(Skill, Rule, knowledge) 이론과 Elwin-Edwards: SHEL(System, Hard, Environment, Live)모델로 접근해서 인적요소로인한 인적오류에 대한 분석을 해보는 것이 좀 더 이론적인 해석법에 타당하리라 판단된다.

2.2.4 생산과 연계된 System



사실 일반적인 생산 시스템은 <그림 6>에서 보여 주듯이 정상적인 연계 시스템으로 운영되고 있으며 특히 정상적인 생산 시스템은 Human+기계 활동에 On-Time으로 생산품을 들어내는 일치된 행동으로 인간+설비+환경+생산+시스템적으로 되어 있고 시스템적으로 방어 역할로 역방향의 진행이 되어야 안전사고의방어로 각개의 시스템은 안전판을 가지고 있어 Plate를 사고, 사건, 손상으로 생산 저하를 사전에 예방하고, 손상적인 생산시스템은 System적인 부분은 방어 역할을 못함으로 사고로 이어짐으로 반도체 산업의 생산특화 측면에서 볼 때 인간/설비(기계)의 중요성은 대두되고 손상된 생산시스템의 다섯가지 스텝에는 각각의잠재요소 및 결합이 있는 항에서 사고 발생이 된다고 본다.

2.2.5 Accident와 Loss와 Time 관계

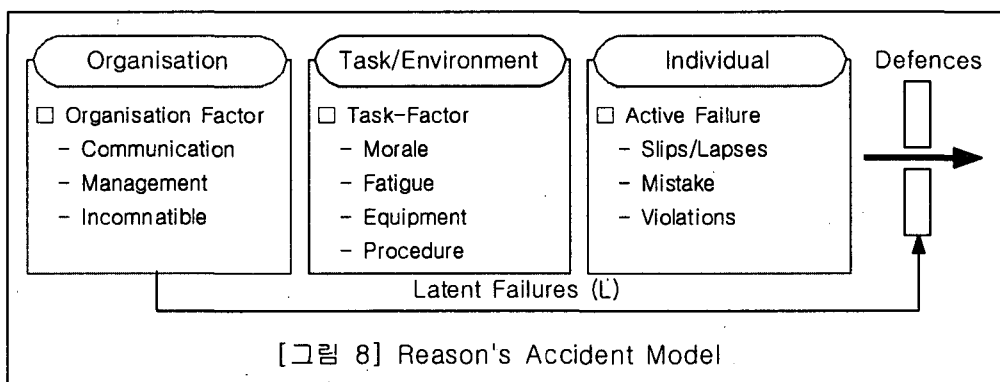


<그림 7>에서 생산과 밀접한 연관이 있는 Loss는 반도체산업에서 생산, 안전운영, 관리운영, 설비운영 모든 것이 상호 관련성을 가지나 안전과 연관된 Loss는 중개의 영향이 상당히 중요한 위치를 가지고 있다고 본다. 위 그림은 사고내에 인간과 시스템 간섭으로 로스에 대한 증가나 감소를 가져올 수 있고 T1의 중계Point 로 자체의 로스의 범위를 자연적인 변함에서 더 좋은 결과를 얻을 수 있다는 것과 더 악화로 결과를 초래할 수 있다는 것을 나타내는 것으로 안전사고의 수행인자 측면에서 볼 때 인간, 조직, 개인의 로스는 불안정한 행동을 보완키 위해 정신과 인식 부분 업그레이드 시키면 Skill-up 가능이 판단되고 기계(설비) 측면은 Bath's Tub 곡선과 설비의 유지 및 보수와 신뢰성 부분이 중요인자의 해결책에 큰 비중을 가져올 수 있다고 판단된다. 이처럼 반도체산업에서의 안전 운영의 기본적인 체계는 생산과 연계된 System과 사고와 Loss와는 절대적인 상호관계를 가지고 있다고 본다.

### 3. 기존 Model과 반도체산업의 Model 추출

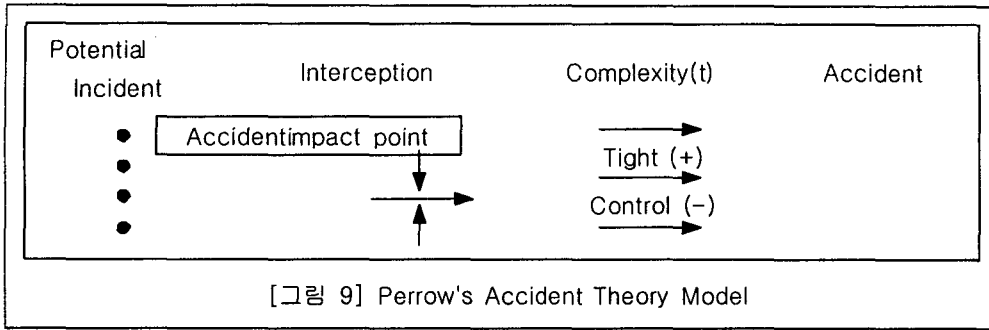
#### 3.1 Reason's Accident Causation Model 분석

사고분석으로부터 효과적인 결과를 만들기 위하여 Design과 특성과 각 개별 동작 Factor들이 수립되었고, 이런 폭 넓은 시스템 분석을 위해 본 모델로 발전되었고 특히 ICAO(1993)에 의해 Reason의 Accident-Model이 표준이 되고 사고원인에서의 조직부분을 강하게 대두시킨 것도 상기 할만한 것이어서 <그림 8>에서 나타나고 있다. 4)



또한 모델은 조직적인 측면에서 잠재성 실패를 두었고, 개인적인 측면에서는 GEMS 모델을 적용함으로 조직, 임무/환경, 개인으로 원인 분석한 결과 반도체산업에서는 Human, 기계(설비)와의 잠재성 실패에 보강을 하고 인간, 기계(설비), 환경, 시스템 원인분석시 개인, 조직에 대한 부분이 취약 것으로 판단된다.

### 3.2 Perrow's Normal Accident Theory Model



<그림8>에서의 Perrow의 모델의 장점은 인적오류에 역점을 두고 기술적인 설비의 오류로 사고로 이어지며 또한 관리적인와 조직의 취약점까지 취급하고 있으며 에러를 대신해 잘못된 조직의 잠재적 Failure을 도출시켰다는 것이 특이점이있으며 5) 또한 단점으로는 Risk 이해를 위한 이론적인 인자의 모델로 작게는Base & Incident 크게는 Business Wide Impact 범위까지 Hard-ware 부분과Soft-ware적인 부분에 적용 가능한 것으로 복잡성과 Matrix의 인자에 미비점을내재하고 있다. 6)

### 3.3 반도체산업에서의 수행인자 분석

:Perrow's Normal Accident Theory Model과 분석

	Potential Incident	Interaction	Interception	Compress Complexity	Accident	
Human	-작업동작 기능,인간공학 -정보공유 -기능 -판단,인지,행동 -job의 명확성	작업동선, 인지공학 사고의 개념, 행동반경	-이해,인지,판단부족 -기능/역할부족 -인증미실시 -직무분석미비 -인간관계	각 요소 마다 가중을 시키는 factor	+개념으로 -속지, -활용,보완, -inter-lock,개선, -개념의 적용, -업무 분장 -교육,홍보 이해 -개념의 -미비,해체및 해제 -이활용,미적용 -업무 미분장 -shift에 대한 미공유 -이해부족 -책임과 의무에 인식부족 -신뢰성에 대한 미적용	사건, 사고, 이상발생
Machine	-입력/출력요소 -인간과의 inter face -설비의 조정과 디자인 -부품에 대한 신뢰성	Feed/back Hmi 동참목/동목 형,표식장치	-안전장치미비 -PSM반영미비 -양립성미비 -논관리 부족			
Environ-ment	-작업/작업장 환경 -조직(근무,회사분위기) -회사의 정책과 방향	작업환경 의 부수적요 소 인간관계	-업무 집중화 부족 -업무 과중,shift -생산에 맞춰진 현장 -관련부서간의 마찰			
System	-생산,품질,납기,안전, cost,물류에 대한 미비 -각종 system의 양립성 부족	생산제일 scm 미적용	-각종system 이해부족 -Top-Down과 Bottom -Up과의 Gap발생 -부품의 기준 미정립			

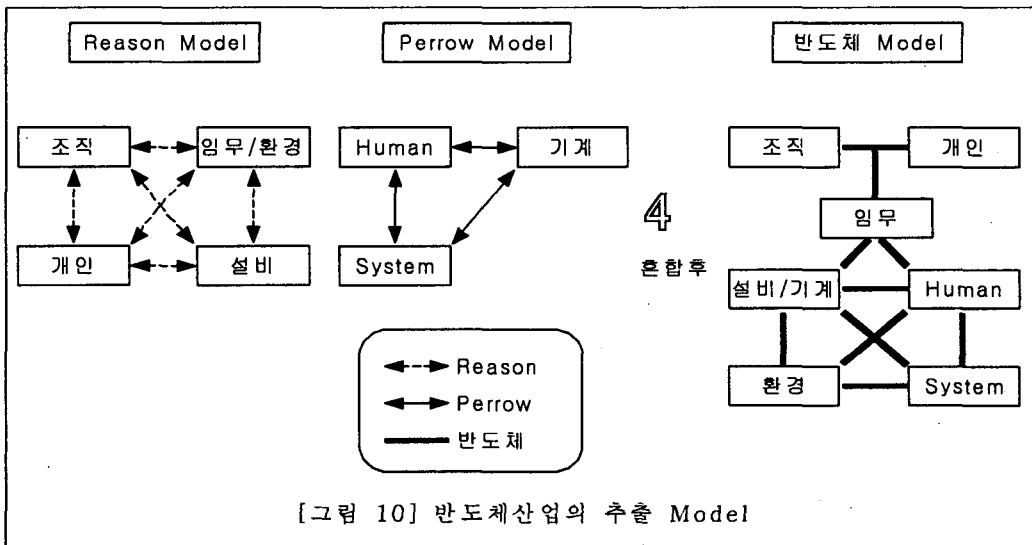
[표 1] 수행인자 분석표



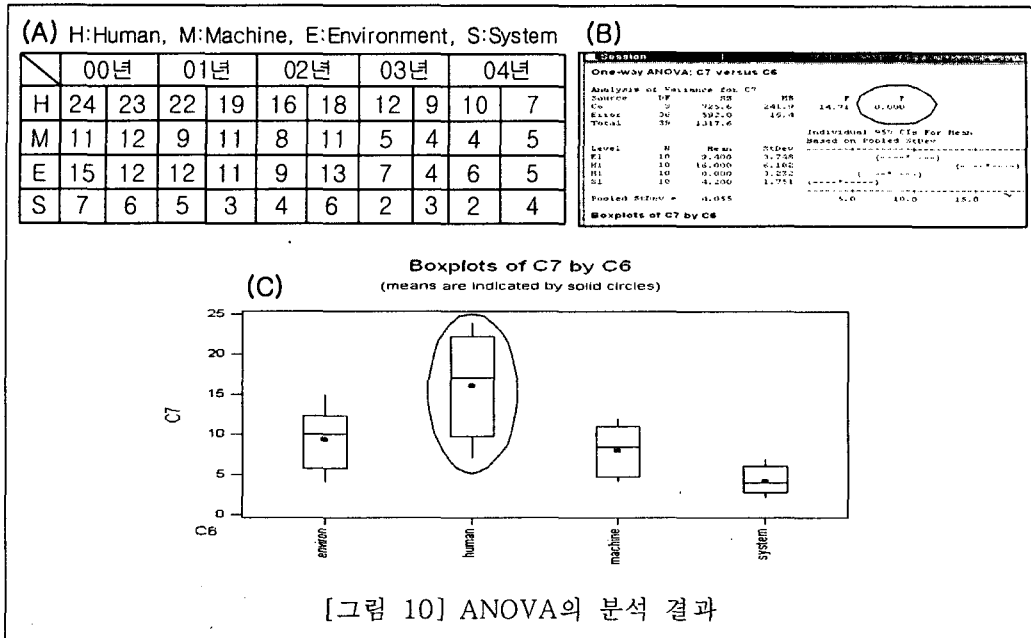
분석은 인적측면에서 개인, 조직과 업무 부분이 병합으로 잠재요소의 많은 부분이 내재되어있고, 설비/기계측면에서는 인간과 기계의 통합적인 요소에 대한 체계미흡(수동,기계, 자동, 지능체계에 대한 유형 미흡 : 미래공학적인 부분 보완 필요하고), 시스템운영은 많으나 활용에 대한 기준 및 사영성 평가와 적용에 대한 다각성이 미비점이 발생하고, 중개역활은 유사성의 반작용으로 압축은 가중을 더하는 요소로 내재 되어 있다고 본다. <표 1>에서는 Perrow's의 Normal Accid-ent Model을 잠재요소, 인식, 복잡성, 사고흐름 연속도에서 반도체산업에 맞게 적용 개선한 결과 반도체산업에서 본 모델을 현실에 맞게 개선 적용해 보면 잠재 요소와 인식 사이에는 중개역활을 추가하고 중개역활과 복잡성 사이에는 압축을삽입해 반도체 산업에서의 상호작용에 대한 반영과 복잡성에 대한 압축부분을 반영함으로 절차부분은 잠재요소 → 중개역활 → 인식 → 압축 → 복잡성 → 사고를 표현하고자 한다.

### 3.4 반도체산업에서의 사고이론 추출 Model

Reason의 Accident Model과 Perrow's Accident Theory Model를 혼합한 Model이론을 반도체 산업의 수행인자를 혼합결과의 분석해보면 공통은 잠재인자를 반영하고 Reason 모델에서는 조직, 임무, 개인/설비 부분을 근간으로 하고 Perrow모델에서는 인식과 복잡성을 반영해서 System으로 인간에 대한 개인과 조직에 대한 부분과 임무에 대한 연결이 미비한 부분을 보완하고, 환경에 대한 비중이 편중됨을 보완해 반도체산업의 추출모델을 제시해 본다. 결국 Reason Model에 대한 부족한 부분을 Perrow Model에서 Perrow Model에 대한 약점을 Reason Model에서 보완해 반도체 Model을 제시함으로 인간에 대한 조직과 개인과 임무를 보완하고 설비/기계적인 부분과 환경, 시스템, 인간에 대한 부분을 Matrix화 한 것에 대한 장,단점을 검토해 본다.



### 3.5 반도체산업의 수행인자의 ANOVA분석



<그림10>의 A는 5년간의 안전사고를 4가지 유형으로 분석한 결과 인간이 전체의 42%, 설비가 21.3%, 환경이 25%,시스템이 11.1%로 나타났고, B)사람, 설비, 환경, 시스템의 각요인이 사고요인이동일한것인지 나타낸것이며, C)의 BOX-PLOT으로 ANOVA의 결과는 평균간의 차이를 찾아내는 방법으로 분석을 실시하고 정규성 검정결과 4개 인자가 0.05보다 크므로 정규성을 갖고 Box-plot에서는 평균에 대한 중심치가 인적요소가 벗어나 있고 분산측면에서도 편차 크음을 알 수 있고(가설설정시 귀무가설(H0):H1=M1=E1=S1, 대립가설(H1);적어도 하나는 다르다 인테 P=0.05보다 작음으로 귀무가설을 기각 → 대립가설을 채택함으로 실질적인 결론은 사람, 설비, 환경, 시스템의 사고요인이 각 요인마다 적어도 하나는 다르다)는 것을 알 수 있다.

## 4 결론

- 1) 반도체산업의 안전사고 유형은 Human-ware, Hard-ware, System-ware의 비율은 4:4:2였고, 여기에 따른 안전사고의 인적요소는 불안정한 행동과 상태의 비율은 4:6으로 반도체산업에서의 비중은 Human-ware과 Hard-ware는 각각의Human과 설비임을 보였고,
- 2) 로스와 시간과 사고 관계는 중개의 역할을 분석해보면 인간에서의 조직과 개인측면에서의 정신과 인지의 업그레이드가 필요함의 대두가 되었고,
- 3) 리이즌 모델에서의 반도체산업의 안전사고유형은 human과 설비의 잠재성은취약한

것으로 나타났고 개인과 조직에 대한 혼합평가가 되어야 하고 환경측면에서는 Task가 보완필요로 나타났으며 Perrow 모델에서는 상호작용의 요소 평가에 대한 잠정적 요소로 추가됨을 보였고,

- 4) 반도체산업의 사고이론 추출 모델로 인간이 조직과 개인을 보강하고 Human에 Task까지 보완할 Model를 가시화시킴으로서 종전의 반도체산업에서의 안전사고유형에 대한 분석으로 모형을 제시하고 이에 따른 4개요소(인간, 설비/기계(Equipment), 환경, 시스템)를 ANOVA로 분석시 대립가설을 채택함으로 적어도하나 인자는 다르다는 것을 도출시킴으로 Human에 대한 인적요소의 중요성인자에 대하여 검토하는 계기가 되었고 중요성과 여기에 따른 인적요소와 인적오류에 대한 연구가 지속되어야 한다고 판단된다.

## 5. 참 고 문 헌

- [1] Tjerkw, Vander Schaaf "Near Miss Reporting in the Chemical Process Industry an Overview Microelectron Reliab, Vol 35, Nos 9~10, pp 1233~1243, 1995
- [2] [www.kgs.re.kr](http://www.kgs.re.kr)
- [3] 환경안전사고사례집, 삼성전자, 2004
- [4] Laura Lally "Extending Normal Accident Theory to Encompass the Challenges of Technology" pp 2, 2002
- [5] Daniela karin Busse, "Cognitive Error Analysis in Accident and Incident Investigation in Safety-Critical Domain" Glasgow University pp 23, September 2002
- [6] Daniela Karin Busse, "Cognitive Error Analysis in Accident and Incident Investigation in Safety-Critical Domain" Glasgow University pp 34, September 2002
- [7] Joe Stephenson "System Safety 2002" Van Nostrann Reinhold, pp272, 1991

## 저 자 소 개

**윤 용 구** : 아주대학교에서 공학 석사 학위를 취득하고(2002), 아주대학교 산업공학과 박사과정을 수료하였다. 삼성전자(반도체) System LSI 환경안전그룹에 재직 중이며 주요 관심분야는 산업안전, HCI, 감성공학 등이다.

**박 범** : 아주대학교 산업공학과를 졸업하고 미국 Ohio Univ. 산업공학 석사, Iowa State Univ.에서 산업공학 박사학위를 취득하였고, 한국 전자통신연구소에서 Human-machine Interface 업무에 선임 연구원('93-'95)을 역임하였으며, 현재 아주대학교 산업공학과 부교수로 재직 중이다. 주요 관심 분야는 인간공학, 감성공학, HCI, 설비안전이다.

