

한국원자력학회 2018 추계학술대회  
(워크숍 I) 안전문화 증진을 통한 원전 안전성 및 국민 수용성 제고  
여수 엑스포컨벤션, 여수, 2018년 10월 24~26일.

# 인간공학 관점의 원자력 안전문화 : 인적오류 3.0 개념의 적용

Human Factors Perspective on Nuclear Safety Culture  
: *An Introduction of Human Error 3.0 Concept*

2018. 10. 24[수]

이용희

[yhlee@kaeri.re.kr](mailto:yhlee@kaeri.re.kr)

원자력 ICT 연구부(Nuclear ICT Division)



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute

\* 본 논문은 저자 개인의 견해이며, 한국원자력연구원의 입장과는 무관함

## ❖ 원자력과 원자력 안전문화 현황

- 항공산업 비교 검토
- 우주왕복선 사업 비교검토
- 원자력 자체 경험 : TMI 사고 극복

## ❖ 인간공학 관점의 안전문화 검토

- 원자력의 안전 특성에 의한 안전문화
- 원자력 안전문화 실무의 검토

## ❖ 안전문화 증진을 위한 인간공학 제안

- 사건/사고 분석 개선 : 인적오류 3.0 기반의 교훈적 검토
- Data 기반의 안전문화 인프라 구축 : 빅데이터 기반의 모니터링 체계 등
- 안전소통을 위한 개방적 전환 : 행동과학 기반의 리스크(R') 개념 도입

## ❖ 결론 및 토의

# 원자력과 원자력 안전문화 현황

❖ Fukushima 불안감 + 안전(문화)연안 빈발 → 신뢰 상실 → 수용성/동력 상실



문화한계 : *Obedience or Compliance*



# 원자력과 원자력 안전문화의 현황(계속)

## ❖ 국내 원자력 현황 : **탈핵** -> 점진적 전환

- 국민 수용성 상실 현황 : cf. 원자력 '조강지처'론
- 신뢰감 상실 : '사고'는 피할 수 없으나 '손실'을 피할 수 있다
  - 자연 재해 : 일정수준 회피불가(unavoidable) cf. 태풍/홍수도 사고?
  - 위험 특성 : 제어불능/불가해/초장기...
  - 위험 대비능력 신뢰 상실 : 완벽한 운영 근원적 한계 -> **안전문화**

## ❖ 안전문화는 **불능문제**?

- 제어할 수 없다 (not control, but influence)
- 원자력만의 문제가 아님 (not in Nuclear but around Korea/World)

## ❖ 타분야의 경험 검토 : 자발적 도전과 응전의 역사!

- 참조사례(1) : 우주왕복선 사업의 타산지석 교훈
- 참조사례(2) : 항공산업의 역사적 교훈
- 원자력 분야 경험 : TMI 사고 이후 중흥!

## ❖ 한국 원자력 분야의 현재 : 내부의 인식 : 원자력 '조강지처' 論'

(안전문화 등) 근본적 '**결함**'으로  
곧 '**이혼**'하겠다는 통고를 받은 기혼자

오랜 고생 끝에 이제 먹고 살만해져서,  
같이 잘~ 살아보려니까...  
팔자 고쳐보겠다고,  
젊은 후처 만나고  
출산금지  
별거(?)

- 한국의 원자력 안전문화 : 원전<한수원<원자력계<한국사회 특성
  - 한국(사회)의 고유 특성
  - 원자력의 고유 특성 -> 인간공학 관점의 안전(safety)/위험의 고유 특성 검토
    - 첨단(이익)기술 & 첨단(안전)기술 : 구관이 명관이다 -> (앞으로) 더 잘하겠다!
    - 첨단(미래)기술 & 첨단(인기)기술 : 화문십일홍 -> 성형이라도 하겠다?



# 우주왕복선 사업의 검토 : 안전문화 경험의 他山之石

## ❖ NASA 의 우주왕복선 (Space Shuttle) 사업 실패

- ✓ 목적 : 미국의 주도권 구축 (레이건) -> 기술력 과시
- ✓ 목표 : 민간 우주여행의 꿈 실현 (새로운 산업으로 상용화)



Fig. 1. 1985년 발사된 디스커버리호로부터 회수된 추진기에 결함 발견



Fig. 2. 챌린저호 발사 73초 후 폭발

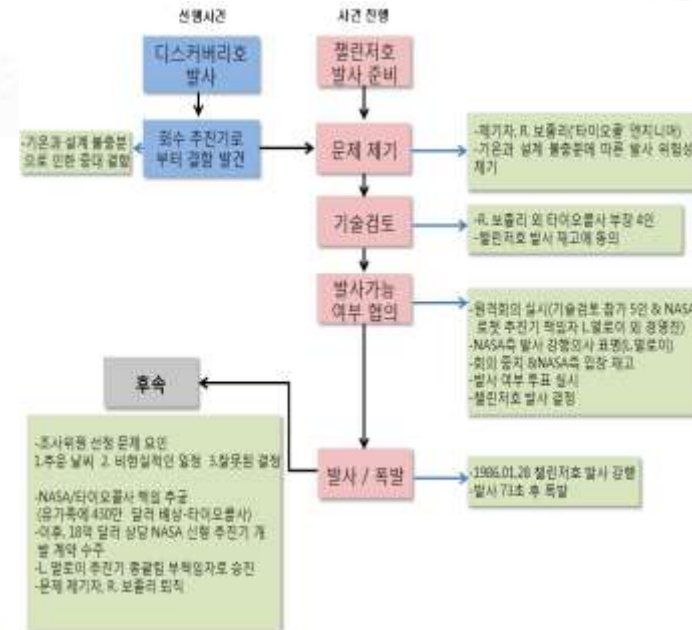


Fig. 3. 기술검토 회의(재연)



Fig. 4. 챌린저호 탑승 최초의 민간인 탑승자



Fig. 5. 2003년 콜롬비아호 귀환중 폭발

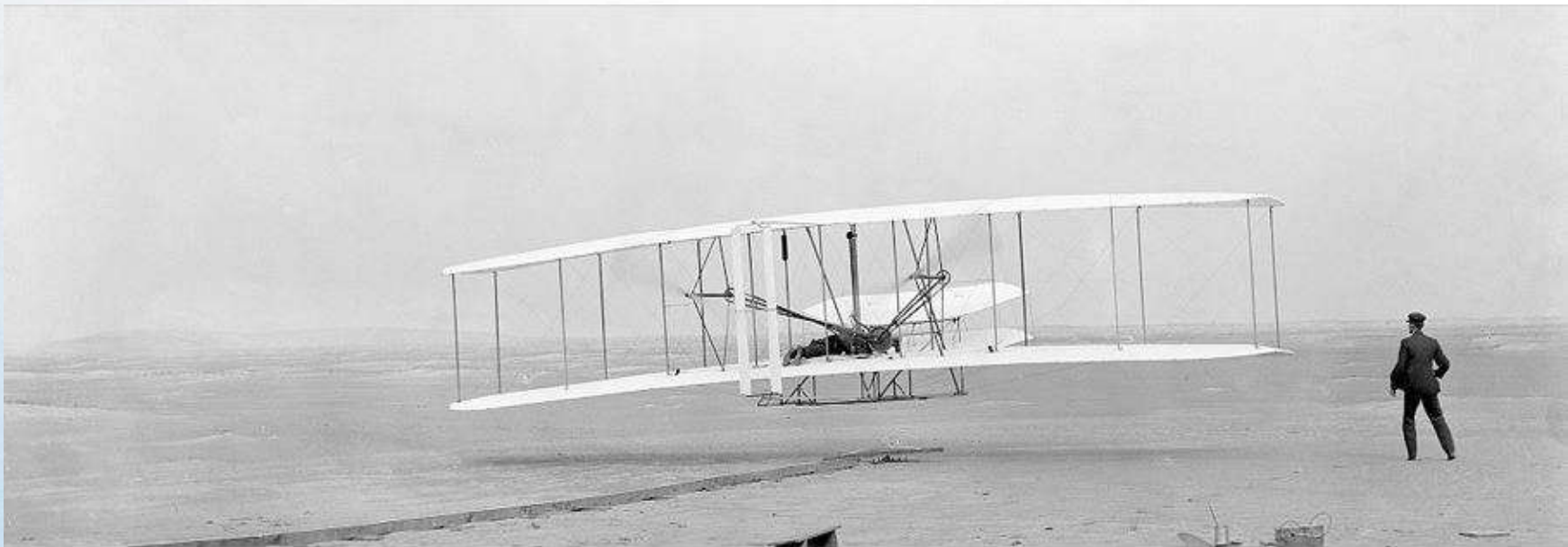
### [NASA 안전문화 실패 경험 분석 : 요약]

- (내부) 디스커버리호 결함 발견
- (내부) 챌린저호 의문 제기 -> 목살/강행 문화
- **챌린저호 발사중 폭발(1986)**
- (내부) 사업체계 Inertia 강화 -> 부실문화 고착
- **콜롬비아호 귀환중 폭발(2003) -> 사업 중단**

- ❖ 일본 후쿠시마 사태(2011) <- JCO 임계사고(1999), 동경전력 은폐사고(2002)
- ❖ 문제 => 국민 불안 => 부실한 안전문화 => 사고 재발 => 산업상실

# 원자력 산업의 미래 : 항공산업 비교

## ❖ 비행기의 시작 : 1903년 12월17일(목) - 라이트 형제



# 원자력 산업의 미래 : 항공산업 비교

- ❖ 1908년 대중 시연 -> 라이트 항공사 설립
- ❖ 1914년 1차대전 전투기로 적극 활용
- ❖ 1916년 한들리페이지 항공사, 보잉사 설립
- ❖ 1927년 린드버그 대서양 횡단(5809km, 33H55M)
- ❖ 1937년 제트기 개발 : 대형/고속/고성능...
- ❖ 1939년 2차대전 급격 발전 : 독일 공습
- ❖ 1945년 B-29 히로시마 원폭 투하(종전)
- ❖ 1950년 한국전쟁(초음속 전투기)
- ❖ 1960~70년 항공산업 경쟁(설계/운항)
- ❖ 1980~90년 대형/초음속 여객기
- ❖ 2000년~ 항공산업 세계적 재편
- ❖ 미래 ? 터키의 공항운영시스템 사업





# 원자력 산업의 미래 : 항공산업 비교

## ✎ 항공산업의 발전 : 군사용 -> 민간용

- 날개->엔진->동체/좌석->서비스
- 낙하산, 산소마스크, 점퍼, 헬멧
- 지원/보수시험 -> MRO
- 공항/관제 : 레이더, 운항S/W
- 설계->운영->서비스 프로그램



## ❖ 항공산업 100년

- 1916년 한들리페이지항공(영/프)
  - 1919년 로손항공 - 승객의자(목재)
  - 1924년 물/음료 제공
  - 1930년 경량좌석 설치
  - 1934년 팬암사-침대칸
  - 1949년 AA사-발받침 좌석
  - 1950년 오늘날의 항공기 구조
- [본격 항공산업 시대]
- 1960년 비즈니스석/일등석/라운지
  - 1989년 싱가포르 항공 - 180도 수평석
  - 1990년 영국항공 - 비디오 장착
  - 1998년 싱가포르항공-책상/컴 제공
  - 2010년 에어버스-샤워/화장실/식탁



# 원자력산업의 미래 : 항공산업 비교





# 원자력 산업의 미래 : 항공산업의 비교

## ❖ 경쟁영역



# 원자력 산업의 미래 : 항공산업 비교

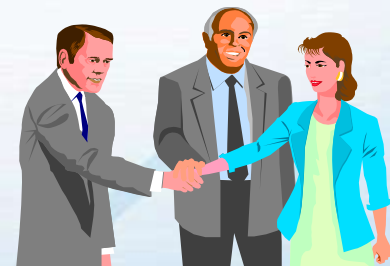
## ❖ 원자력 산업? : 항공산업 대비

- 설계/건설사업
- 원전 운영사업?
- 발전사업자 Cf. 엑셀론사?



## ❖ 평가/선택 기준 : 수용성 기준

- 기능: 비행가능 여부(시간)
- 성능: 항속거리/속도...
- 안전: 신뢰도vs.고장율 vs.사고율
- 운영수준 : cf. 기내식 수준



## ❖ 원자력의 미래 비전 :

- 지향점
- 경쟁상대
- 해야할 일





# 안전문화의 경험 : 원자력 자체 경험

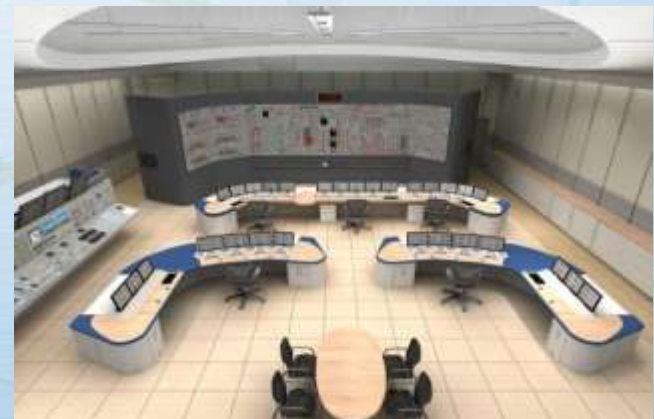
## ❖ TMI 원전 사고의 극복 경험

- 원자력 수용성 상실 -> 원자력 산업 급격 퇴조
  - 인적오류는 "**불능문제**" : 인간의 근원적 특성
  - 정량적 기초자료 및 평가기법(HRA)
- 인적요소(인적오류) 부각 -> TMI 후속조치
  - D-CRDR(제어실 개선),
  - ERF/SPDS 설치(기능보강),
  - EOP 개선(직무보완)
- 신개념 도입 : **MMIS** + 한국의 참여 의지
  - ALWR 요건(EPRI 주도 URD) 및 대안(APWR/Sys80+) 개발 :
  - 한국의 APR-1400 : MMIS분야 특징점 부각

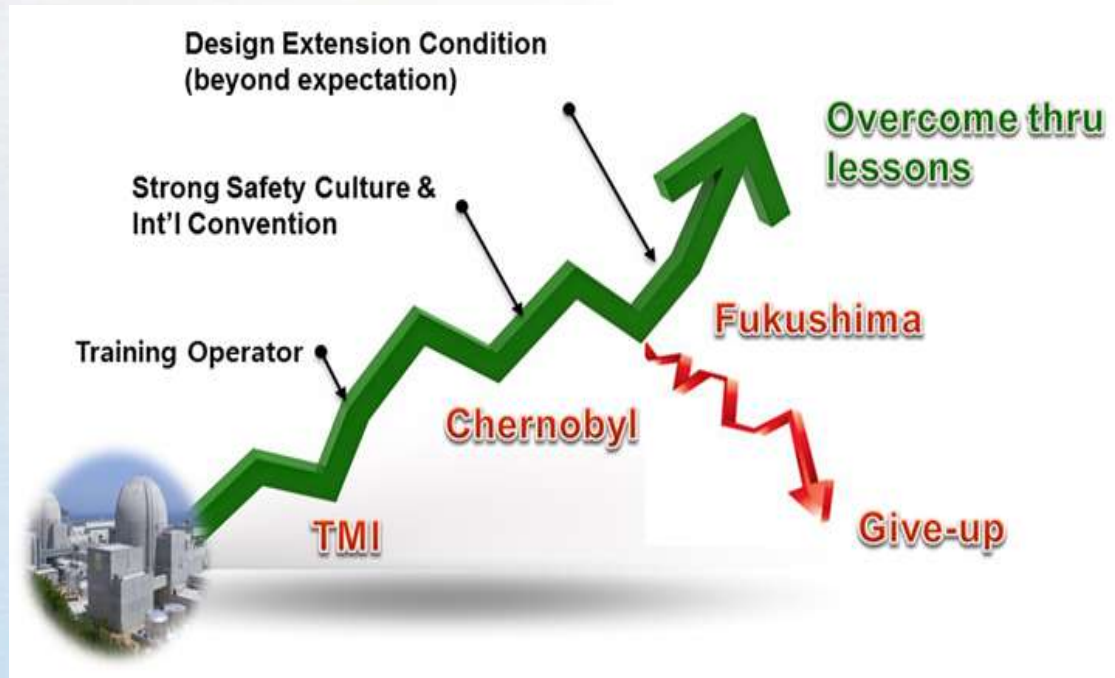


## ❖ 원자력 재도약 : 1990년대 이후

- TMI 현안 해결로 추가 개선 효과
  - 신뢰성 개선 + 첨단 기술 반영 -> 수용성 회복
  - 체르노빌 원전 사고에도 불구하고...
- 기후현안 대비 핵심 미래기술로 부각
  - 이산화탄소 문제 대처 주역
  - 수소경제의 기반

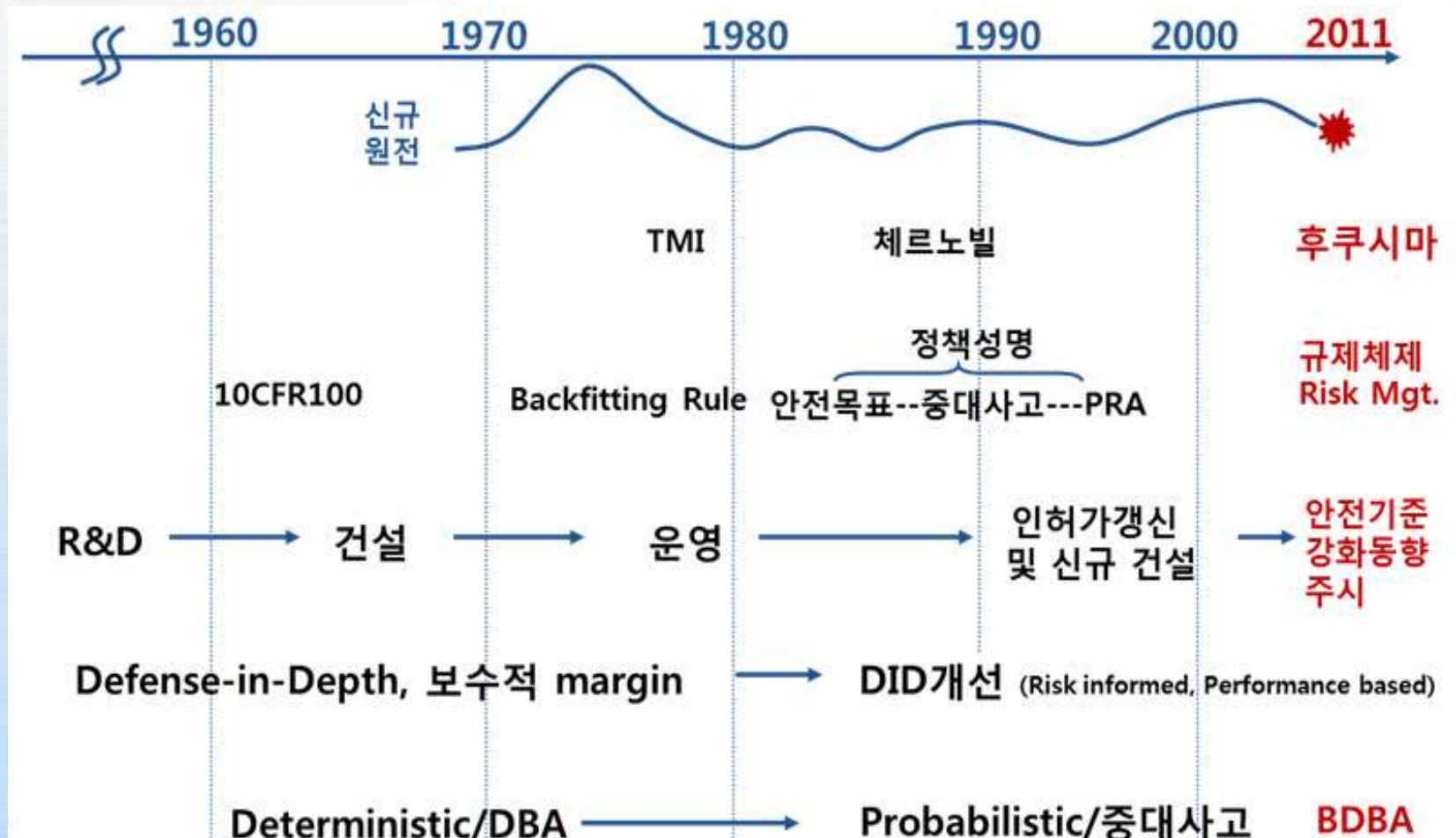


# 원자력산업 : 시련/도전의 기술에너지



# 원자력 산업의 역사 : 안전의 변천

## 시련과 극복 : 지속적/단계적/기술적 보완



\* 자료원 : 윤철호(전 KINS 원장 및 전 NSSC 부위원장)



# 원자력 안전문화의 실무 현황 및 검토

## ❖ 원자력 안전문화의 실무 현황 : 운영자, 규제자, 산업체, 국제기구...

- 안전문화 사건의 조사분석
- 안전문화 진단 평가
- 안전문화 기준 설정
- 안전문화 개선 활동

## ❖ 실무 현황 검토

- 조사 분석 : 인적오류 위반(violation)?
- 진단 평가 : 평가 기준/방법의 한계-> 결과 해석 -> 조치 선택
- 기준 설정 : 다양한/고유한 안전문화의 정의 -> 다양한 기준
- 개선활동 :
  - 제도추가 및 개선 : 감독 관리
  - 교육훈련 : 개념/정신 교육
  - 포스터
  - 캠페인



# 원자력의 특성에 따른 오해

## ❖ 원자력(원전 중심)의 안전 특성 : (2006, 2015 이용희 외)

### ● 대규모/복잡(large/complex) 체계 안전

- 규모의 경제 : 대규모 이득(최소 요구규모) -> 사회현안
- 초장기 & 초국가적 : 공유지의 비극
- 접근 곤란 안전 -> 비밀주의/마피아 오해

### ● 체계 손실 (system loss) 안전 : cf. 산업안전의 자발성

- 비상해(non-injury) 손실 -> 비인간적 기술로 오해

### ● 희귀사고(rare accident) 안전 : 고신뢰도 기술의 역풍

- 과학(경험/data/통계) 기반 -> 상식/인식 기반
- 과학적 접근 한계 : 자발적 안전기준/목표

### ● 3不 위험 안전 :

- 불가역(irreversible), 불가해(unknown), 불가측(invisible)
- 공포(fear)형 위험 인식

### ● 밀착(tightly-coupled) 체계 :

- 공학적 인과구조 밀착 : 확실+예외없음
- '사소'함의 '심각'함 : 3백만부품/2천업무의 품질/인적오류

# 원자력의 안전 특성 : 안전문화의 기반

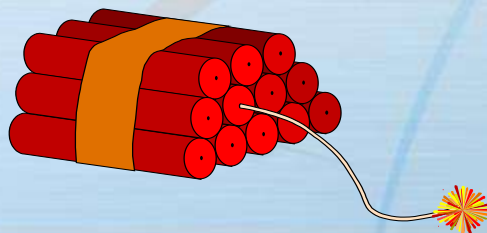
## ❖ 원자력의 기술 특성 : 자발적인 기술 에너지

- 원자력 기술적 특성 : 초대형/복잡 시스템(system) 특성
- 산업 특성 : 발전(發電) 등 기간/공공 산업

◆ <b>Rare event</b> 특성	✓위험/안전 정보의 확보 곤란 -> 통계보다 상식
◆ <b>Tightly-coupled</b> 특성	✓단순한 조치도 전체에 영향 -> 사소함의 심각함
◆ <b>Latency</b> 문제	✓다중/심층방어 -> 사건발생 억제 및 인식 지연.
◆ <b>Irreversible</b> 문제	✓방사능 피해는 원상 복귀가 어렵다. -> 공포/거부감
◆ <b>Non-injury</b> 특성	✓자발적이고 적극적 동기 곤란 -> 타율적 안전
◆ <b>Large System</b> 특성	✓대규모 영향 -> 공학적 현안이 사회 현안으로 확산
◆ <b>Complex System</b> 특성	✓분명한 원인 규명이나 대중 설득이 어렵다.

# 원전

# =



# 원자력의 특성에 따른 오해

## ❖ 한국 원자력의 역사적 특성 :

### ● 국가/사회주도형 :

- 연구개발문화 -> 설계건설 문화 -> 운영관리 문화
- 공공성 -> 도입을 넘어선 문화 변용(acculturation) 필요

### ● 중간진입(도입) 기술 :

- 미국형 -> 세계화 산업

### ● 대규모 (자본/인력) 투자 :

- 자본집약 -> 투자의 기회비용 경쟁을 위한 대중인식(PA) 필요

### ● 사회(경제)기반 기술 : 전력(에너지) 경제의 기초

### ● 시스템 기술 : (드물게 확보한) -> critical mass 개념

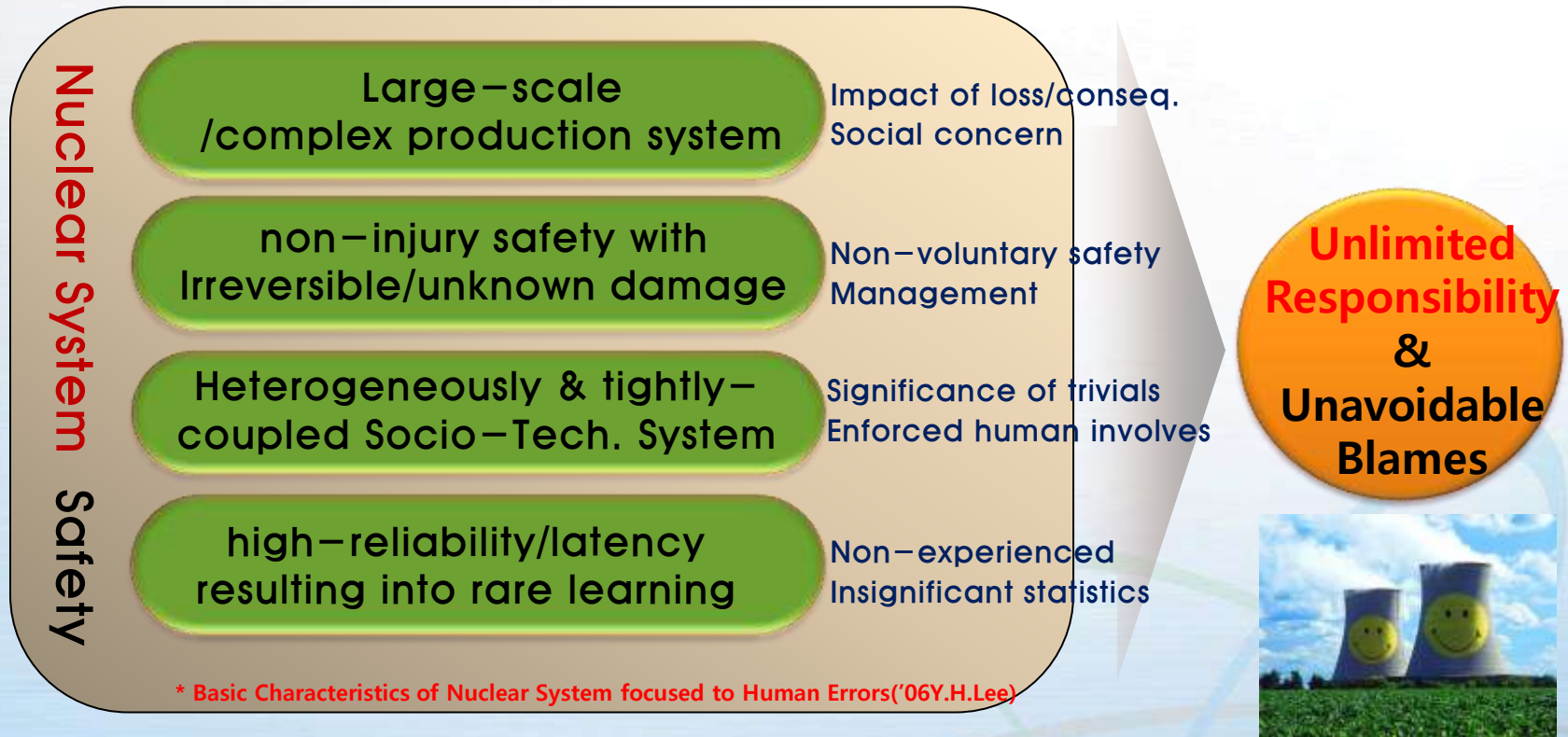
2019년 = 한국원자력연구원 60주년

## ❖ 한국 원자력 안전문화의 비판적 관점(예시)

- 태생적 문제 : 비현실성(초장기/초국가적 위험의 근원적 결함 불가피)
- 개념적 문제 : 비밀주의(문제인식 제한/편협)
- 기술적 문제 : 엘리트 주의(전문가 무책임)
- 역사적 결함 : 친권력(대중적 보편성 결여)

# 원자력의 안전 특성 검토 : 현황과 변화

## ❖ Safety, System Safety, and Human Error in Nuclear



### Acceptance Vulnerable to the Triple Challenges from the Recent Advances in

- Technology : digital, s/w, ICT (smart-Phone), Iot,
- Public Needs : preparedness for the unexpected
- Experiences : variety/uniqueness in Globalization



# 안전문화 활동 : 정의 및 기준 문제

- ❖ 안전문화의 정의(operational def'n) 및 요건/기준 개발
  - 이상적인 속성, 특성, 요건... : IAEA(5), NRC(9+3), OECD/NEA(8), INPO(8)...
  - 안전문화 고유한 요건/기준 : 기관별 안전(문화) 정책 선언
  - ISO/IEC 31000 시리즈 : 품질/안전보건/환경/지속/윤리... 경영...
- ❖ 안전문화 사건 평가
  - 새로운 '원인'요소 : 추가된 문제점?
  - 사건 '등급 평가'의 상향조건으로 고려
- ❖ 안전문화 수준/현황 평가
- ❖ 안전문화 실행 조치
  - 운동
  - 캠페인
  - 교육훈련
  - 관리감독

문화는 (서로 다른) **고유**한 것이다.

문화는 **평가(evaluate)/제어(control)**할 수 없다.

문화는 **틀린(wrong)** 것이 아니라 **다른(different)** 것이다.

# 안전문화의 개념적 한계

## ❖ 안전문화 현안의 발생과 인식

### ● 인식(1) : 무엇을 위한 안전문화인가?

- 안전(安全), 보전(保全), 신뢰(信賴), 보안(保安), 안보(安保)
- 안심(安心), 편안(便安), 안녕(安寧), 만족(滿足) -> 행복(幸福)

### ● 경험의 현안 :

- TMI -> Chernobyl -> JCO -> (GE) -> Fukushima
- 후견지명(hind sight effect)
  - Prepare Unpreparedness
  - Fundamental Surprise

### ● 인식(2) : 어떻게 문제를 인식하는가?

- 안전문화 문제는 (대부분) 인적오류 사건으로 인식
- 보이지 않는 것의 문제가 보이는 문제로 발현
  - 외형 : (직무상) 위반, 은폐, 태만, 지연, 왜곡, 방임, 침해, 누락...
  - 중간 : 정책, 기준/원칙, 절차...
  - 내부 : 가치, 철학, 개념, 태도...

**구체적인 대상과 애쓴 보람이 있어야...**

# 안전문화 실무 활동 비판적 검토

## ❖ 안전문화 현안의 확대에 대한 비판적 관점

- 당연성 : 안전문화는 모든 오류의 배경 -> 제기시 당연한 것으로 수용
- 포괄성 : 안전문화의 의미 다양/유연 -> 정의/포함범위 마음대로
- 모호성 : 제기/대책의 임의성 부여 -> 책임/종결 부담 회피

## 안전문화는 문제의 **원인**인가 **결과**인가?

## ❖ 평가(NSC Assessment) 중심 안전문화 실무의 한계

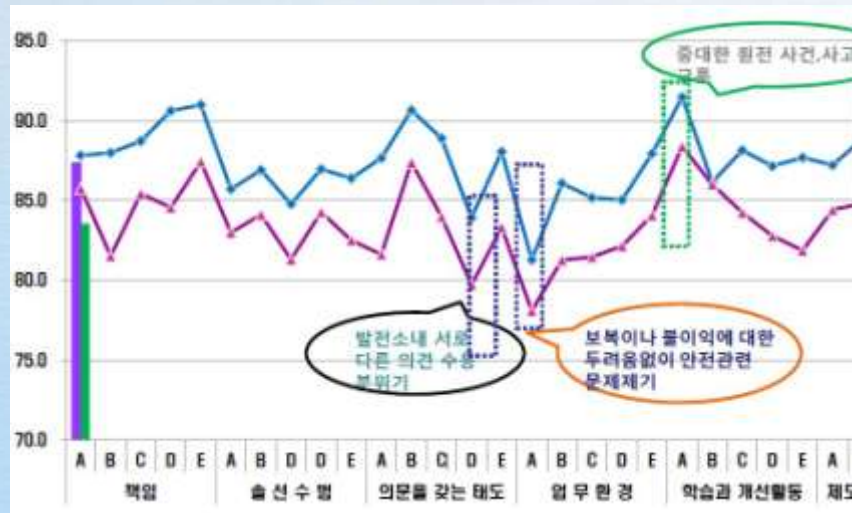
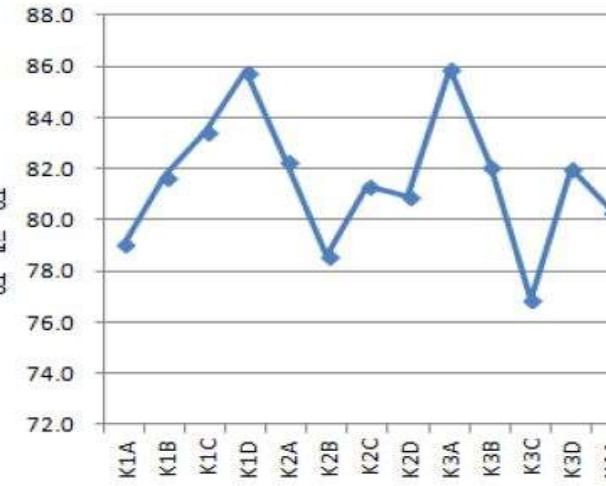
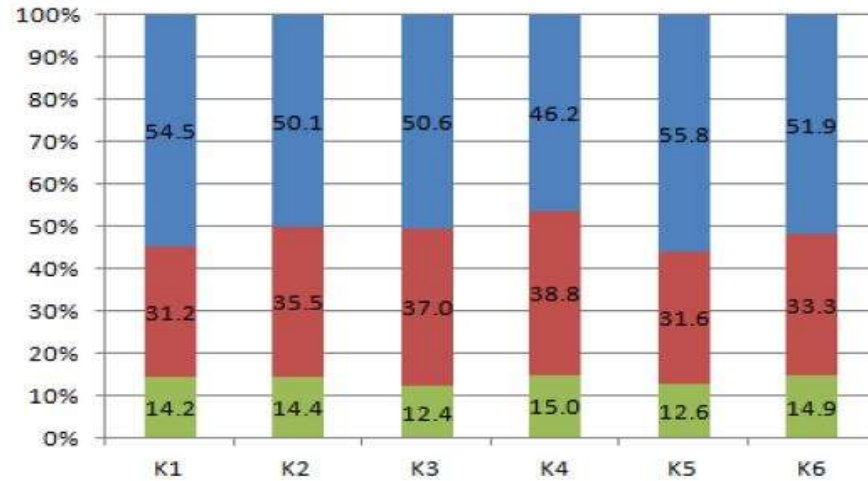
- 고유한 기준 부재 : 문화의 현황/방향
  - 이상적 안전문화 ≠ 완벽한 안전문화
- 평가의 한계(2016 이용희)
  - ❖ 평가의 정밀도/정확도 부족
  - ❖ 정량적 평가 부적합 : 평점화 기법
  - ❖ 현재 평가 -> 미래적용
- 원인 분석 및 조치 선택의 구체적인 근거 부족 : **낙인효과**
- 조치의 결과/효과 불확실 : **풍선효과**

## 안전문화 **실무현안**의 해소 시급/심각

인문사회과학적 접근 vs. 기술적 접근

# 원자력 안전문화의 실무 현황 및 검토

## ❖ 원전 사업자의 안전문화 활동(예시)





# 원자력 안전문화의 실무 현황 및 검토 : 한수원 사례

## ❖ 안전문화의 어긋난 현실

### LOVE + 365 의미

규정과 원칙(Law)을 준수(Obedience)하는 가치 모두가 참여(+)하는 활동으로써, 기 시행중인 인 특성화하여 1년 365일 시행, 효과를 극대화.

### 세부 활동

#### 일 [日]

##### 안전구호

- 아침회의 후 안전구호 제창 (방진소 특성화 및는 차재구호 신장)

##### 안전다짐

- 원전조종사 준수사항 10조 (인계 인수서)
- 정비원 기본수칙 10조 낭독 (작업 전)

##### 안전건의(ECP)

- 안전 위해 요소 적극 발굴 및 건의 (ICAP 활용)

#### 주 [週]

##### 안전문화 점검

- 주요 작업시 안전문화 준수 상태 점검 (원자력 안전문화 관찰표 활용)

##### 협력사 안전문화 활동

- 한수원-협력사 안전문화 주기적 정보 교류 : 아침 회의시 (협력사 안전문화메시지 전파 등)

##### 안전문화 메시지

- 안전문화 메시지 전파 및 교육자료 활용

##### 안전문

- 종사자 전 생애주기 맞춤형 교육 (신입직원~고위관리자)
- 안전문화 특강 시행 (강사 : 사내 및 외부, 실정)

##### 품질 안전보임조 활동

- 발전,운영,정비 등 분야별 운영 (안전관련 주제 선정 및 토의 등)

##### 안전 화상회의

- 분사, 사업소간 안전 현안 공유 (원자력 안전점검의 날)



- 위원장 선임을 둘러싼
- 노원구 월계동 아스팔트
- 일방적인 후쿠시마 후
- 원안위의 정보공개 문
- 고리/월성 IAEA 점검을



안전문화 포스터 개발(80종)



# 제안(1) 인적오류 3.0 개념 적용 안전문화 실무

## ❖ 인적오류 3.0 개념 : 안전문화의 현장 실무 전환

- 인간공학의 발전-> 인적오류 개념의 변화? (1999 Reason, 2015 이용희)
  - 인적오류 1.0 : 시간/동작 분석 -> 능력 한계 -> 실수 -> 직무설계(절차) + 교육훈련 & 관리감독
  - 인적오류 2.0 : 인터페이스(HMI,HCI, UI/UX 양립성) 부적합 부족 -> 과오 -> 설계/환경 개선
  - 인적오류 3.0 : 정의 안된 상황 -> 무과실 사고 -> 체계(구성/조건) 재 정립

## 대형(고신뢰도)체계 안전의 특성상 책임/원인규명과 **대책**은 별개!

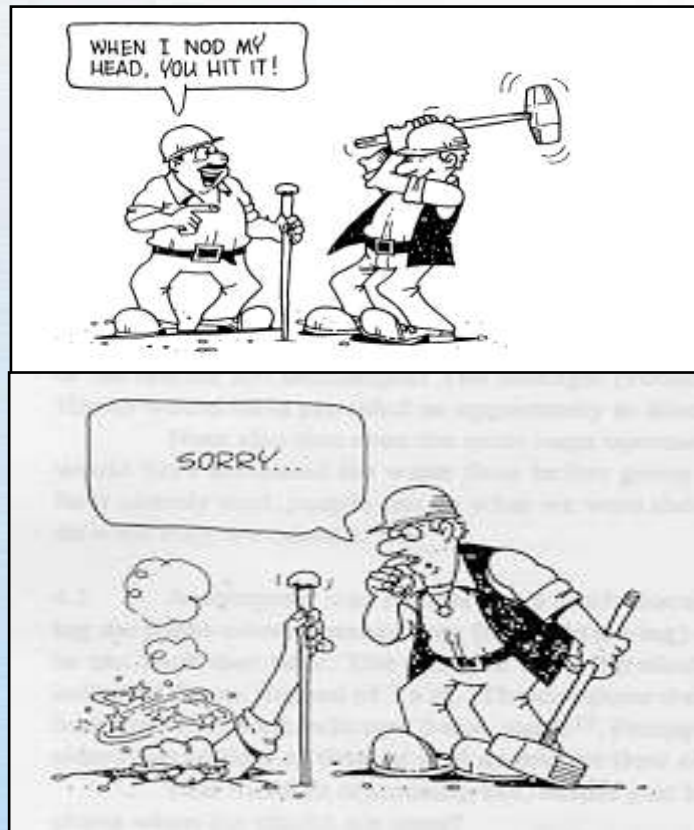
- 현장실무 전환 : 과학적 관점(scientific perspective)을 넘어~(2015 이용희)
  - 사건 조사 분석 : 인적오류는 과학적 규명이 아니라 해석의 문제(1991 Rasmussen)
    - 모든 문제는 (인적오류로) 해석/대처 가능하다. : (궁극적) 책임 & 함께 해결
    - 원인 제거가 최선이 아닐 수 있다. : 부작용(은폐/잠복-왜곡/변조-위축/억울)
    - 대책은 현실적 '선택' 문제다 : 가장 현실적(가능한/유효한) 대책이 우선적 교훈 정보
  - 교훈적 접근 : 교훈(Lesson Learned) 중심의 정보극대화 과제(2013, 2015 이용희)
    - 고유한 경험/이해의 **정보가치 극대화!**
      - ✓ 원인이 아니지만 영향이 큰 요소 :
      - ✓ 아쉬운/해볼만한 요소 : 후회 요소가 원인은 아니다

## **값비싼 경험의 교훈(정보) 가치 극대화!**

# 인적오류와 안전문화의 경험 Way of Work in NPPs

## ❖ 원전에서 안전문화의 실무 경험

- Procedures and Organizational Structure (e.g. STA in a shift team)
- Job Competence/Qualification Requirements : specialist vs. generalist
- Training and Communication : *Language, Obedience or Compliance*



*It's a trivial order!*



*Please, Rinse Tea-Pot and then Stand Upside-down in the Sink*

(ref. adopted from the Stanton's text)



# 인적오류, 안전문화의 귀인현상

## ❖ 안전문화 '귀인현상' 우려(2013, 이용희) : 모든 것이 안전문화 문제?

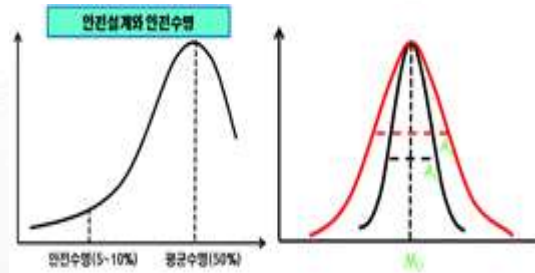
- 첫째, 모든 사고에서 안전문화가 배경으로 작용한다는 것은 대부분 자명하기 때문이다. 별도의 분석이나 사실관계에 대한 추가 규명이 없이도 제시할 수 있는 손쉬운 원인항목에 속하기 때문이다.
  - 그러나 안전문화의 관련 여부는 자명하지만 관련의 구체적인 내용은 사고마다 다르게 구체적으로 규명되어야 할 것이다. 안전문화는 단순히 배경원인(또는 기본원인)이 아닐 수 있기 때문이다.
- 둘째, 안전문화는 원인분석의 종결항목(termination criteria)으로 효과적이기 때문이다. 사고와 관련된 결함의 연쇄적인 고리를 서술하는데 안전문화는 원인의 복잡한 세분화를 마무리하는데 효과적이라는 생각이 있다.
  - 그 결과 안전문화라는 원인항목이 실제 의미하는 내용은 사례별로 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 경향은 안전문화를 하위 복잡한 문제의 실체를 가리는 가림막으로 사용하는 결과를 낳는다.
- 셋째, 안전문화의 개념적 포괄성과 모호성에 의존하여 대책 선정시 임의 또는 유연성을 손쉽게 확보할 수 있기 때문이다.
  - 아직 안전문화의 개념적 정의조차 불확실하고 그 주체와 객체가 아직 정해지지 않았으므로, 안전문화를 원인으로 제시했을 경우에는 대책이 포괄적이면서도 실체를 적시하는 대책구성의 부담을 줄일 수 있기 때문이다.

## ❖ 문화의 기본특성 : 공유성, 학습성, 축적성, 총체성, 변동성 등 고려 필요(이용희, 2016)

# 인적오류 3.0 : 고신뢰도 체계를 위한 전향적 제안

## ❖ 인적오류 1.0 : 행위 (실수) 예방 for **작업자 안전**

- Failure of Human Functional Behavior
- 전통적 산업안전 : 상해 방지
- 기능적 완수 : 직무설계
- 시간동작 연구, 절차서, 교육 훈련(1) 등



## ❖ 인적오류 2.0 : 원인의 위험성 관리 for **체계 안전관리**

- Human Caused/Induced System Failure
- TMI 사고의 인적요소 관련 오류
- 수행도요인(Performance Shaping Factors) -> 인적오류 유발 요인
- 위험요소 대처 : 설계(인터페이스, 기능) 개선, 교육훈련(2) 등



## ❖ 인적오류 3.0 : **위험요소(Hazard)** 관리 for 대처 포착

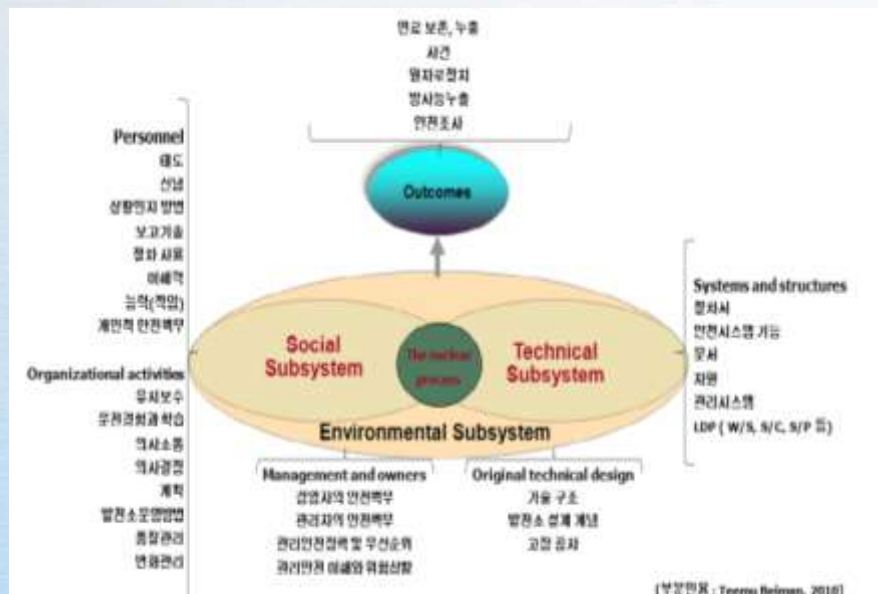
- System Failure including Human Factors
- 체르노빌/후쿠시마 사건에서의 인적요소
- 선행적 대처 : 사고/고장에 대한 대처 능력
- Resilience Engineering, 구조적 오류, 안전문화



# 인적오류 3.0 A New Approach to Human Errors

## ❖ Human Error 3.0 : Directions of Complementary Human Error Study

- Paradigm of Socio-Technical System
- Hazard Identification rather than Causal Investigation
- Integrated Management System for Systemic Approach
- Maximize the Lessons learned from the cases by identifying hazards than causes
- Emphasis on the human himself by Competence Enhancement Tech

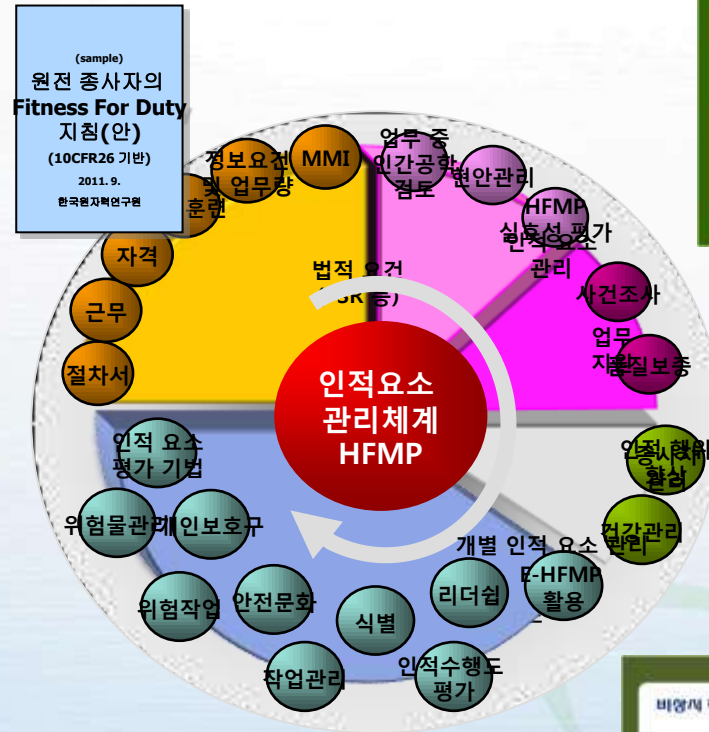


***Facilitate Human More Capable in A System, at First and Last!***

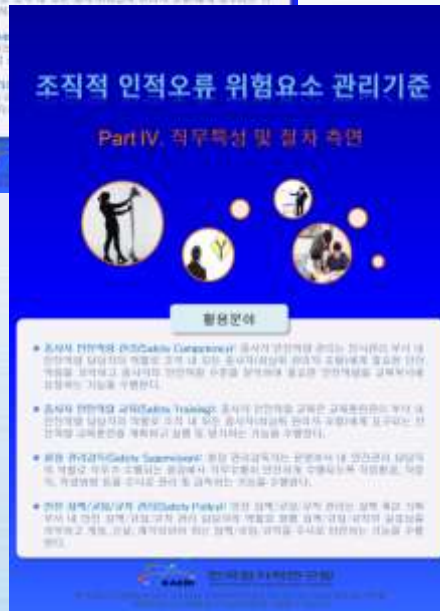
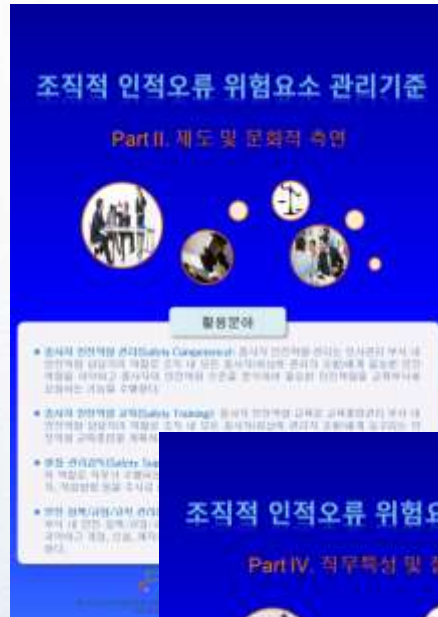


# 인적요소 관리 HFMP : Human Factors Management Program

## ❖ HFMP (A Customized Set of Guidelines & Procedures)



## 기술기반 (Guides proposed) 제공 : 위험요소별(sample)



## Individual Factors Guides(7)

## Managerial Factors Guides(4)

## Environment and Health Factors(9)

## 제안(2) 자료기반의 안전문화 관리기반 구축

### ❖ 안전문화의 자료 기반 확보 가능성

- **인구분석학(People Analytics)** 및 생체모니터링 기술의 발전
- **종사자 (직무/조직거동/운영) 모니터링:**
  - BPM(business process modeling) 기술 확산 -> 업무 관리의 정보화, **롤모델/페르소나** 개발
  - 빅데이터 분석 -> 인공지능 기법
  - 상용 도구 확산 : IT분야의 UBA 솔루션(IBM Quick Insight, 애니몰 보안 솔루션, 현대 G-Post 등)
- **자료 기반의 지속적 (안전문화) 관리**
  - 원전 운영의 CI (continuous Improvement) 분야
  - 고유한 안전문화 현황 및 변동 모니터링 : Role Model 형성
  - 자료 기반의 문제 진단 : CERT(카네기 멜런 대학)
  - 전략적 개입 가능성 포착 및 시뮬레이션 : 상관변수/대용변수(surrogate)

### ❖ 안전문화 자료기반의 접근 노력

- 원전 종사자 만족도/스트레스 관리(2009 김대호 외, 2012 이용희 외)
- 원전 안전문화 모니터링 체계 개념설계 (2013, 2015 이용희&장통일)
- 생체신호 기반의 인적오류 위험성 검출 (2003 임현교, 2015 오연주&이용희)
- 피로 및 직무적합성(FFD: Fitness-For-Duty) 관리(2015 장통일, 2017 서영아&임만성)
- 안전문화 위해요인 분석기(Safety Culture Hazard Analyzer) (2013, 2018 신상문&이용희)
- 내부자 위협(insider threat) 및 인적오류 위험 검출 시스템 (2017 임만성 외, 2018 이용희)

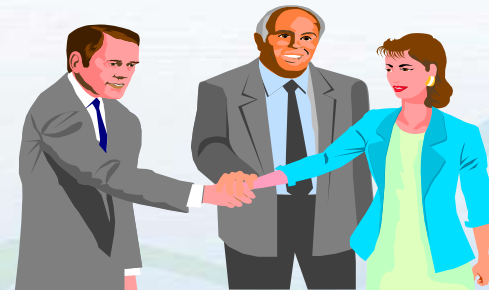


# 안전문화 인프라 체계 구축?

***Culture is Stronger than the Technical factors in ITO.  
We easily get “blind” and get “socially confirmed”.***



***Therefore, it is of key importance to Create a  
Good Shared Space which Support the Basic  
Assumptions to Surface  
and periodically Perform Assessments.***



## **IMT (Integrated Management System)**

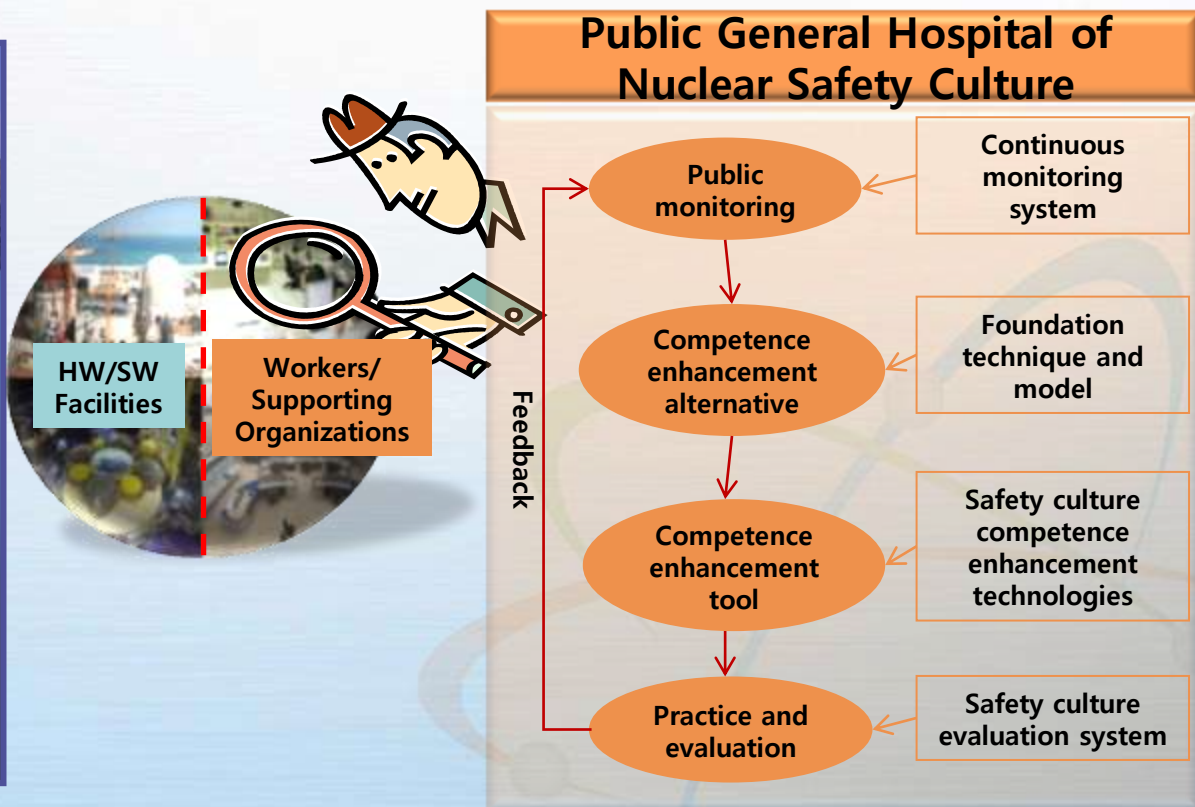
**"The management system shall be used to promote and support a strong safety culture (IAEA Safety Culture Requirement GS-R-3)"**

***Infra for Acculturation***

# 안전문화의 정보적 근거 확보 : 종사자(조직거동) 모니터링 체계

안전문화 정보체계 : IMT (Integrated Management System) cf. *IAEA's Req' on Safety Culture*

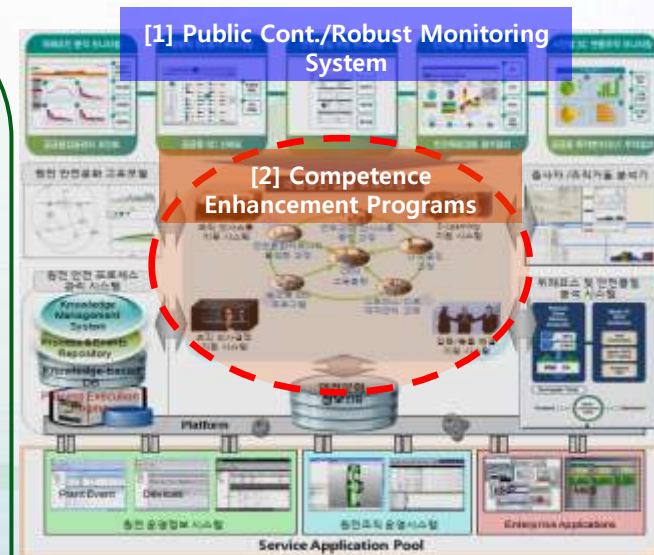
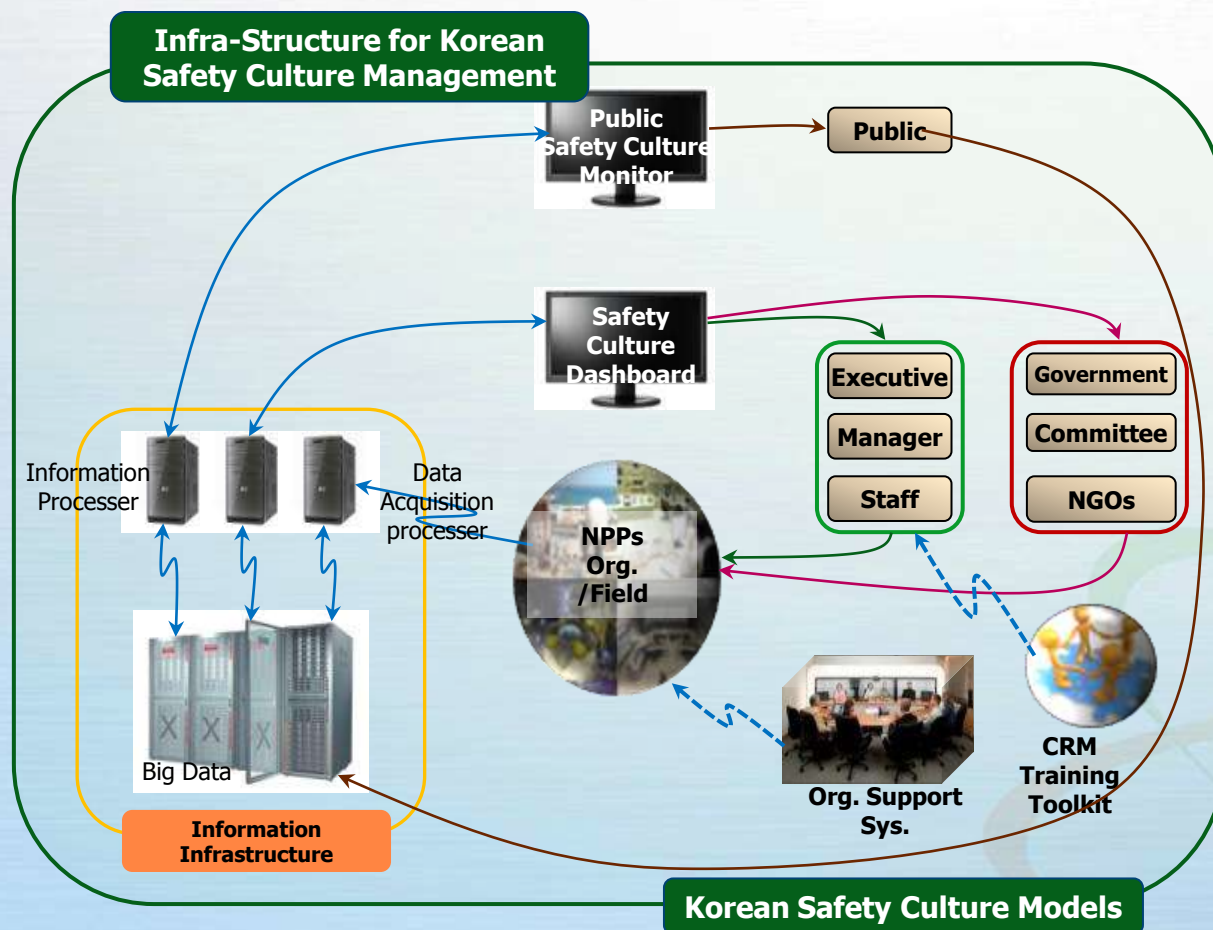
A Good Shared Space : *to Support the Underlying of NPP system to Surface Continuously.*  
*The management system shall be used to promote and support a strong safety culture by~*



\*BPM : Business Process Modeling

# 안전문화의 정보적 근거 확보 : 종사자(조직거동) 모니터링 체계 (2)

## ❖빅 데이터 적용 기반 : A Conceptual Scheme of Org. Culture Monitoring

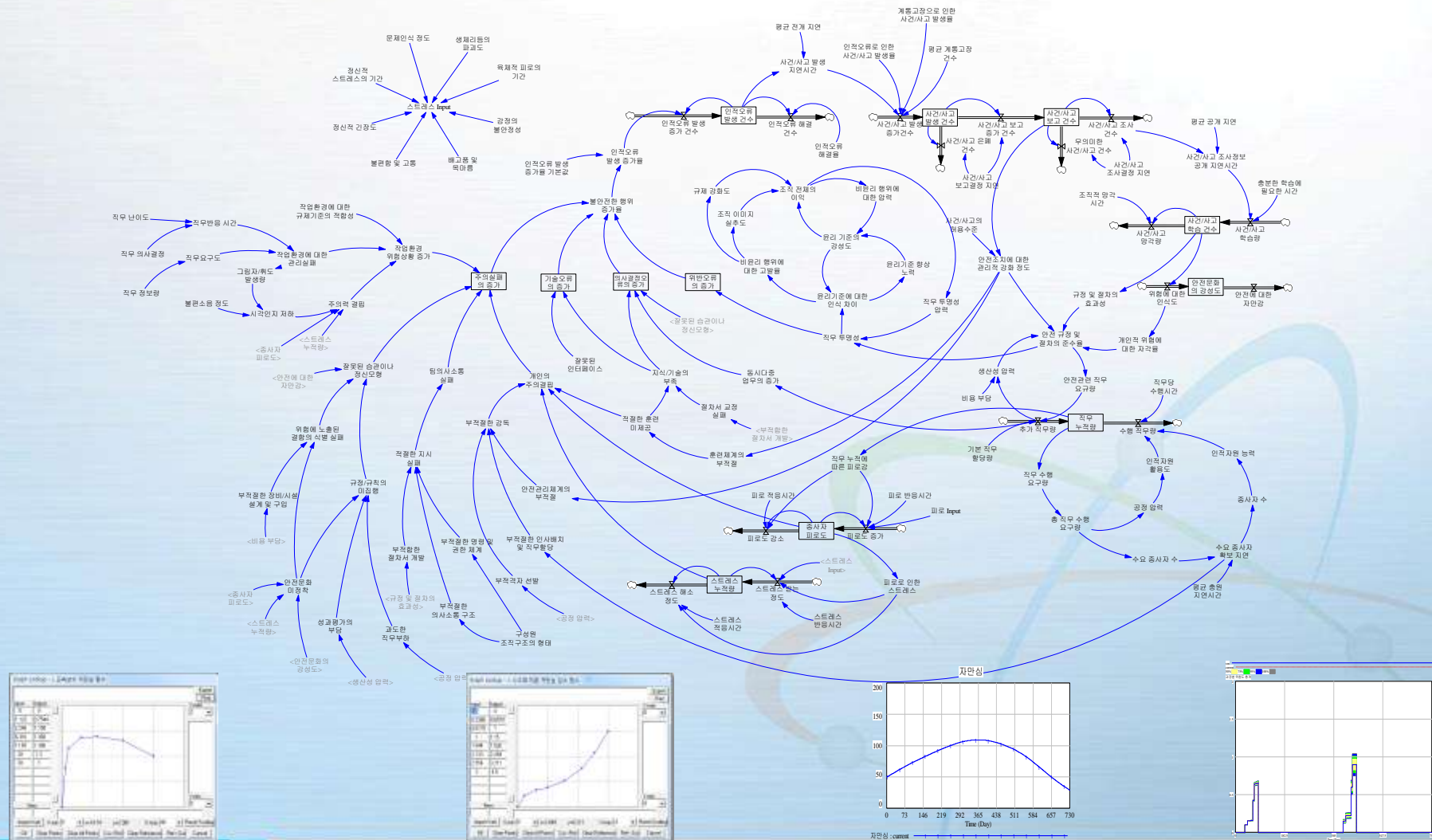


**Prototypes and Trials to O/H period**



# 안전문화 시뮬레이션 Simulation of NSC Hazards by System Dynamics

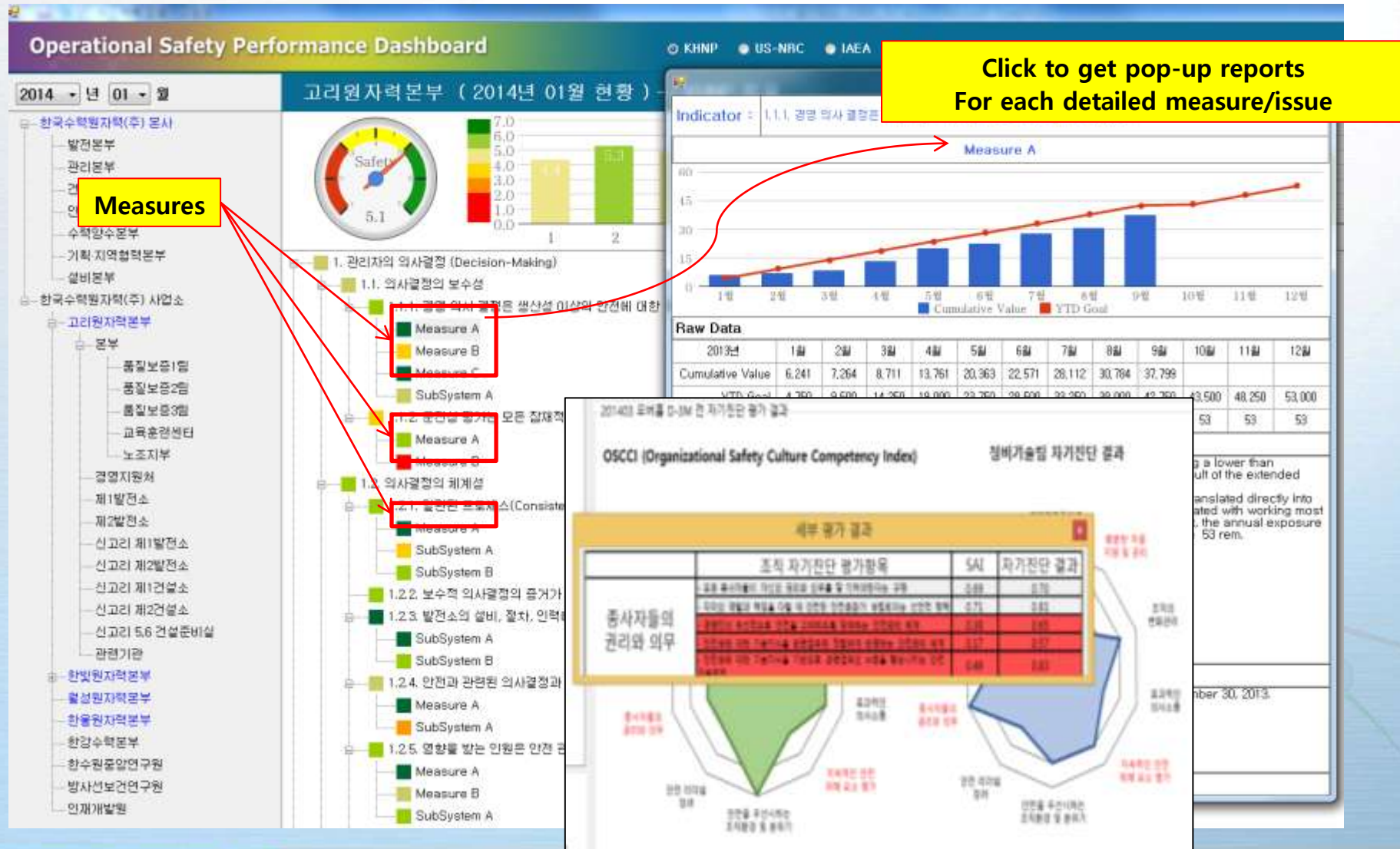
- ❖ Simulation Study of the Experienced NSC Events using System Dynamics
- ❖ Hazards Models of Causal-Loop-Diagram(CLD)/Stock-and-Flow Diagram(SFD)





# Safety Performance Monitoring/Management System

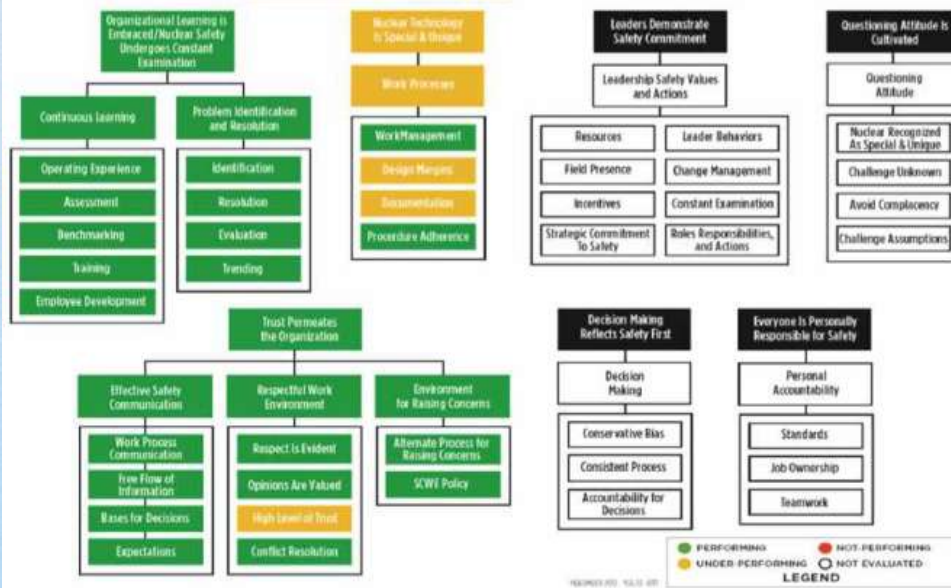
- Dash-Board(D/B) Link to Detailed Measures and Analysis Report(sample)



# Safety Performance Monitoring/Management System



## Y12 nuclear safety culture dashboard



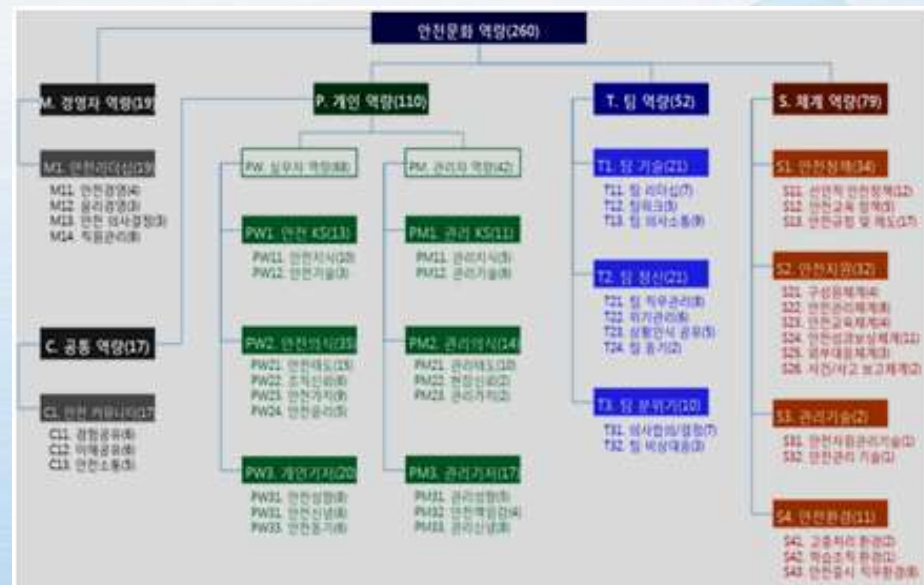
## YPO Nuclear Safety Culture Dashboard







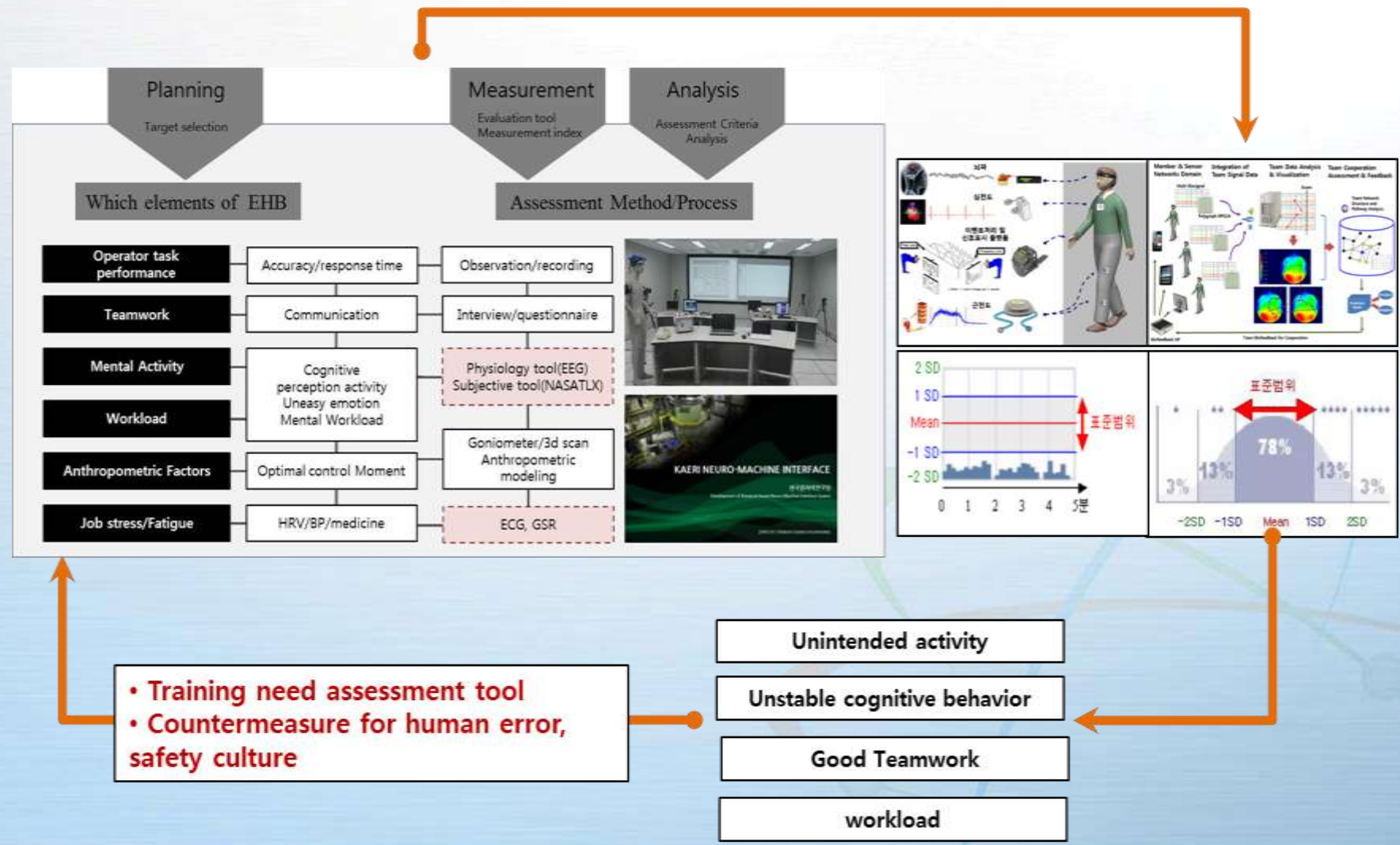
# 안전문화와 역량 : 관리 항목 (사례)





# 안전문화의 기준 : Nu-TEB for Nuclear People Database

## ❖ Test-Bed, Characteristics DB and its Applications





## Self learning-based CBT



Video clips, auditory materials

## Simulation-based CBT



Team Simulations

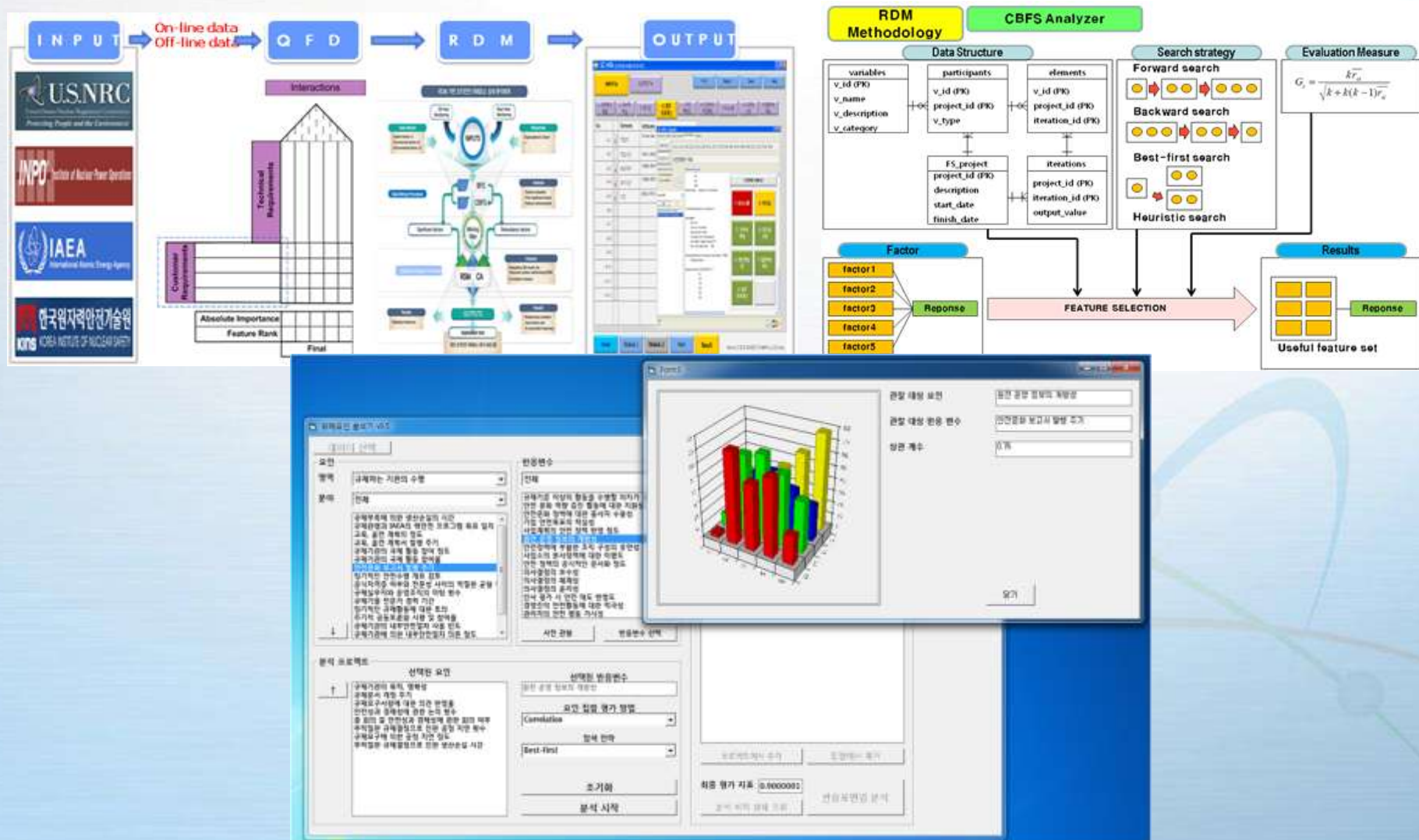
## Project-based CBT



Team projects



# 원전 안전문화 위해요인 검출기 (Safety Culture/Human Error Hazard Analyzer\*)

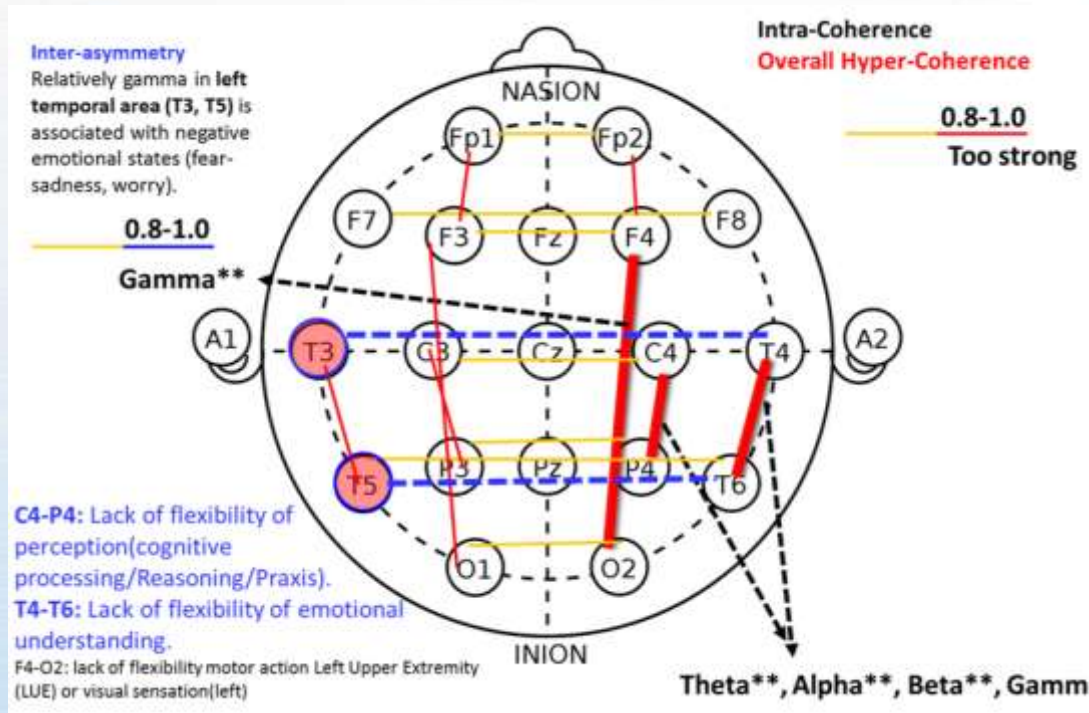


\* Ref. : 신상문 & 이용희, Study on a Robust Data Mining (RDM) Methodology for Safety Culture Analysis in NPPs, 대한인간공학회 2013 추계



# 안전문화 모니터 : 생체신호 기반의 인적오류 위험 검출

## ❖ 뇌파(EEG) 기반의 인적오류/내부자 위험 검출\* (2018, 서영아 & 임만성)



# 제안(3) 행동과학 기반 리스크 재평가 : 안전문화 인식차 극복

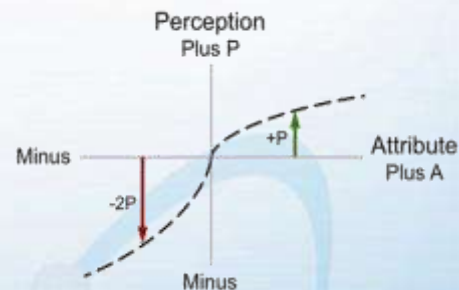
## ❖ 안전문화를 위한 인지 안전 도입 : 안전은 과학적/객관적인가?

- 공학적 안전 : 규범주의 : 과학적=객관적=보편적=현실적=행동?

$$\text{위험: 기대손실(R)} = \sum [(\text{예상})\text{손실(Loss)} \times (\text{예상})\text{확률(Prob.)}]_i$$

## ● 행동주의 관점의 새로운 안전문화 기준 :

- 의사결정/행동에 반영되는 가치 : (1974, Kahneman & Tversky, 1983 Wickens 등)
- 위험(가치)의 변화\* : 5가지 현실적 인식변화 수용
  - 시간차 : 미래의 가치 < 현재의 가치
  - 주체차 : 나의 가치 > 공공 가치 > 남의 가치
  - 손익차 : 손실의 가치 > 이익의 가치
  - 확률차 : 확실한 가치 > 불확실한 가치
  - 상황차 : 상황A에서의 가치 ≠ 상황B에서의 가치
- 리스크 인식차 해결 : 실제 (선택) 행동에 반영되는 인지 안전(리스크) 반영(2018, 이용희)
  - 외부의 안전기준 수용 의사결정 : 리스크 프리미엄, 한계리스크, 시뮬레이션/민감도 분석
  - R' 기반의 통합적 안전 의사결정 -> 대중인식/위험소통 개선 -> 공론화 준비



$$\text{위험'}: \text{인지 리스크(R')} = f\{u(\text{예상손실}_i) \times \pi(\text{예상확률}_j)\}$$

- $u(\text{손실}_i)$  = 손실<sub>i</sub>의 (실감) 효용값
- $\pi(\text{확률}_j)$  = 확률<sub>j</sub>의 (실감) 지각값
- $f(\text{위험}_k)$  = 위험<sub>k</sub>의 (실감) 결합값

# 안전문화의 인식차이 극복 시급/심각

## ❖ 원자력의 (공학적) 안전 기준 :

### ● 자본투자 위험

- 공학적 확률 목표 : 운명적 수용 예상치 (파머 곡선) =  $10E-6$  (벼락맞아 죽을 확률)
- 다양한 기준 : cdf (노심손상 확률), 환경방사능 누출량/수준 및 복구비용 등

### ● 개인/집단 위험

- 개인/환경 방사능 오염/피폭 확률/피폭량 : 보수적 피폭한계 -> 암 발생확률(?)

## ❖ 대중의 다양한 안전 인식 기준 :

### ● 안전의 사회적 비용/위험

- 사고로 인한 소개/이주 부담, 산업 및 재산상 손실 등
- 사회적 혼란 위험 : 테러, 북한의 공격 ...
- 역사적 비용 -> 에너지 대안의 기회비용, 후손의 부담
- 불확실성/불안, 귀찮음/번거로움의 위험

### ● [예시] NGO의 중대사고 확률 인식

- 실적 기반 확률 : 총 10,000 Rx-yr 중 중대사고 3건 ->  $3.0 \times 10E-4$
- (국내 40년내) 중대사고 발생 가능성 : 25호기 x 40년 x (중대사고) 발생확률 = **30%**

Cf. 비교 : 항공 분야(>120세)의 안전문화 기준 및 대처

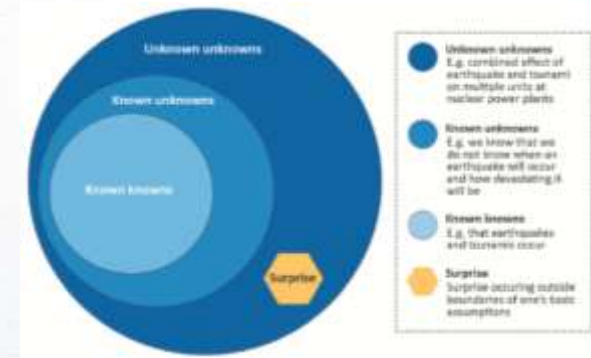


# 결론 및 토의

❖ 원자력과 원자력 안전문화의 과제 : 현 상황을 어떻게 극복할까?

- 원자력의 역사적 자세 : (인류의 미래를 위한 도전과 응전)
- 자발적 기술 에너지 -> 지속적 발전 :

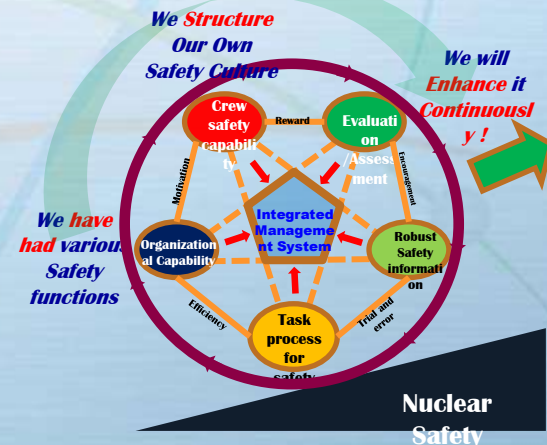
**필요는 사회적이었지만,  
해결은 언제나 기술적으로...**



● 기술적 접근을 위한 과제 제안 : 인간공학 관점

- 인적오류 3.0 개념 기반 현장실무 : 사건/사고의 교훈(학습) 극대화
- 자료(data)기반의 안전문화 기반 : 안전문화 모니터링 체계, 분석기 등
- 개방적 안전 개념 수용 : 인지 리스크 기반의 안전(문화) 기준 전환 :

**한국형 원자력 안전문화(K-NSC) 구축**



# 경청해주셔서 감사합니다!



이용희  
042-868-2941  
[yhlee@kaeri.re.kr](mailto:yhlee@kaeri.re.kr)