

원자력 안전 과 안전문화

(Nuclear Safety & Nuclear Safety Culture)



1. 원자력안전

❖ 위험 : 해로움이나 손실이 생길 우려가 있음. 또는 그런 상태.(출처: 네이버 국어사전)

** 리스크 : 위험이 현실화될 확률과 현실화되었을 때의 영향을 곱한 것

❖ 안전(安全) : 위험이 생기거나 사고가 날 염려가 없음. 또는 그런 상태.(출처: 네이버 국어사전)

: 잠재적 위험에 대해서는 그것이 현실화되는 것을 방지하고, 현실적 위험에 대해서는

이의 영향을 완화함으로써 인간의 생명과 건강 및 재산을 적절히 보호하는 것(출처:원자력 안전의 논리)



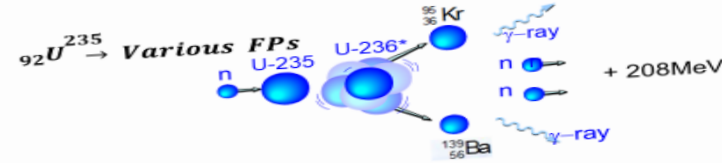
❖ 대중의 위험인식 : 언론에서 많이 다룬 항목의 위험수준이 높게 평가 된다

✓ 잘 알지 못하는 대상을 더 위험하다고 인식

✓ 일어날 가능성이 낮더라도 일단 발생하여 심각한 피해와 두려움을 유발하는 대상을 더 위험하다고 평가_{1),2)} 예:SARS(중증 급성호흡기증후군), 원전

✓ 통계에 근거한 객관적 위험과 사람들이 느끼는 주관적 위험인식은 차이 있음

1. 원자력 안전



❖ 원자력안전의 특수성 (원자력에너지의 위험성)

- 핵분열 과정에서 핵분열생성물(방사성물질) 생성 및 방사선 방출
- 핵분열 반응 및 방사성 붕괴 시 열에너지 발생

❖ 원자력 안전이란?

“Nuclear Safety” means

**“Protection of Human and Environment
from Potential Radiological Hazards”**



중앙대 정동욱교수 강의자료



■ Fundamental Safety Principles (IAEA SF-1)

- ✓ The fundamental safety objective is to protect people and the environment from harmful effects of ionizing radiation

❖ 원자력 안전목표 ? (How safe is safe enough?) = 안전 철학

● U.S.NRC 안전(성) 목표 정책성명(Safety **Goal** Policy Statement, 1986년)

- 정성적 안전성 목표(Qualitative Safety Goals)
 - 원전 운영의 결과로 개인의 생명과 건강에 중요한 추가 리스크(Significant additional risk)가 더해지지 않도록 방호 조치를 취해야 한다.
 - 원전 운영의 결과로 발생하는 생명과 건강에 대한 사회적 리스크는 현실적인 다른 경쟁수단과 비교하여 비슷하거나 작아야 하며, 다른 사회적 리스크들에 추가되는 리스크가 크지 않아야 한다.
- 정량적 안전성 목표(Quantitative Objectives): 발전소 인근 주민에 대한 건강 영향 관점
 - (조기 사망)원전 사고로 인한 원전 인근 주민의 조기(초기) 사망 리스크가 다른 사고들로 인한 미국인 총 사망 리스크의 **0.1%** 이하여야 한다.
 - (암 사망) 원전 운전으로 인한 원전 인근 주민의 암 사망 리스크가 모든 다른 요인들에 의한 총 암 사망 리스크의 **0.1%** 이하여야 한다.



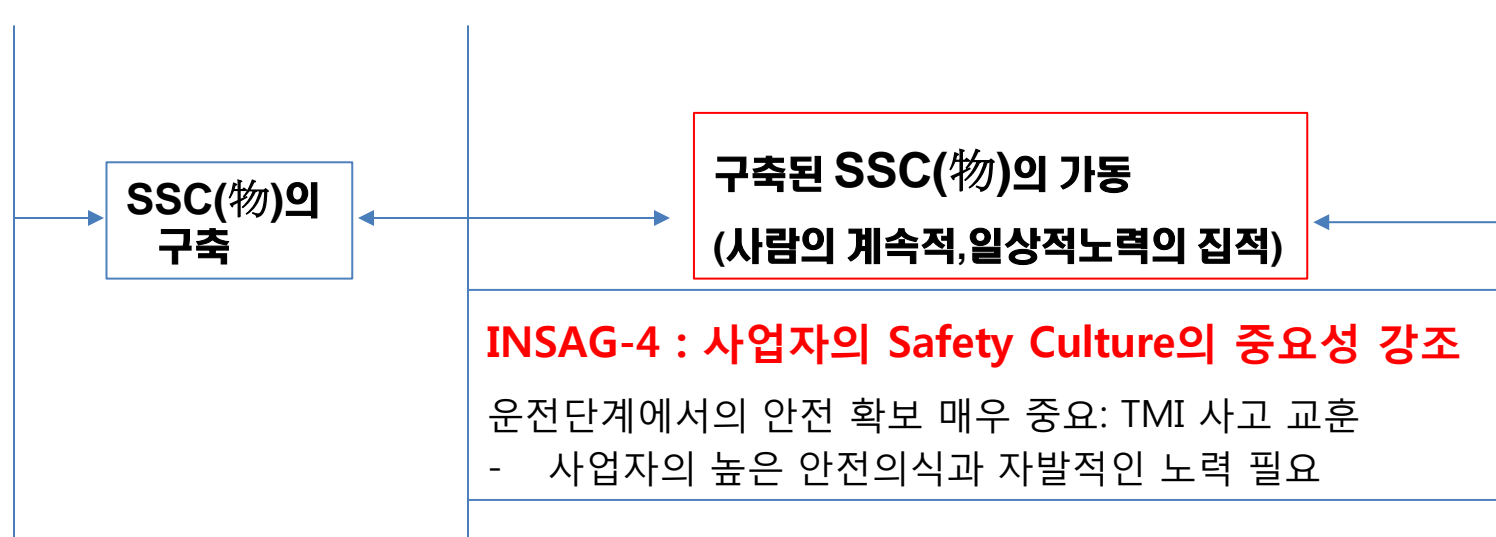
❖ 원자력 시설의 대책

● 원전 안전성 확보를 위한 기본 원칙(Fundamental Principles)[INSAG3,INSAG12(1999)]

- 1) 운영 책임(Management Responsibilities),
 - + 안전문화(Safety Culture)
 - + 운영조직 책임
 - + 규제 및 독립검증
- 2) 심층방어 전략(Strategy of Defense in Depth)
- 3) 일반 기술원칙(General Technical Principles).



● 원전 생애 단계별 안전성 확보



2. 원자력안전 문화(Nuclear Safety Culture)

❖ 안전문화의 이해



- IAEA Safety Standard Series No.GS-3.5 , Safety Report seriesNo.11
- ✓ **안전문화**는 조직에 특성을 구성하는 공유된 행동가치, 행동양상, 행동패턴의 조합으로 이루어져 있는 **전체 조직문화의 부분 집합**임
- **INSAG-4** : 무엇이든 원자력발전소 안전문제가 그 중요성에 걸맞는 관심을 받을 수 있도록 하기 위한 조직과 개인의 특성 및 행동의 집합체
- NRC : NSC Policy Statement, 2011
 - 인간과 환경의 보호를 보장하기 위해 **다른 경쟁적인 목표들보다 안전을 우선적으로 강조**하는 경영진과 각 개인들의 집단적인 약속에 기인하는 **핵심가치와 행위**

❖ Safety – Management system – Safety Culture

Fundamental Safety Principles

- Principle 3 - Leadership and management for safety
 - Safety has to be achieved and maintained by means of an **effective management system**.
 - This system has to **integrate all elements** of the management system
 - The management system also has to ensure the promotion of a **safety culture**,
 - Recognition of interactions of individuals with technology and with organizations

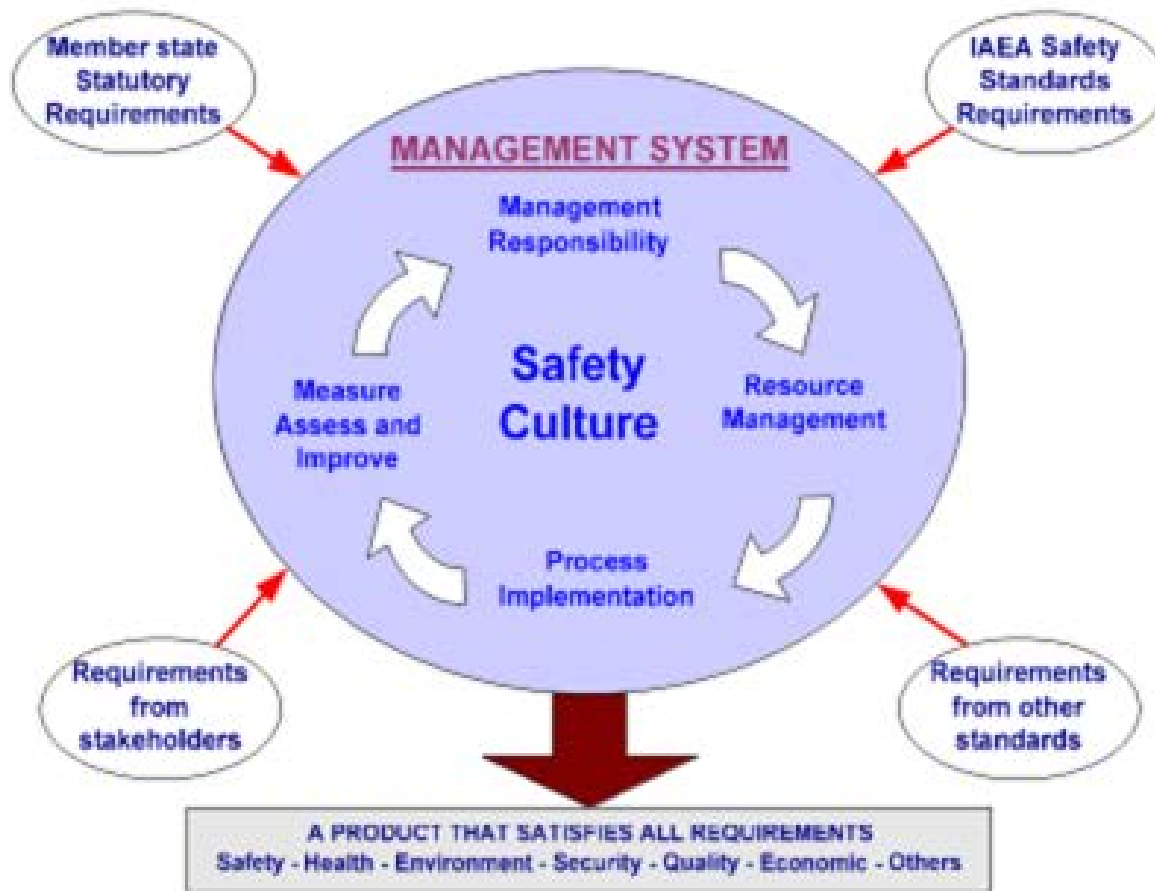


Management system

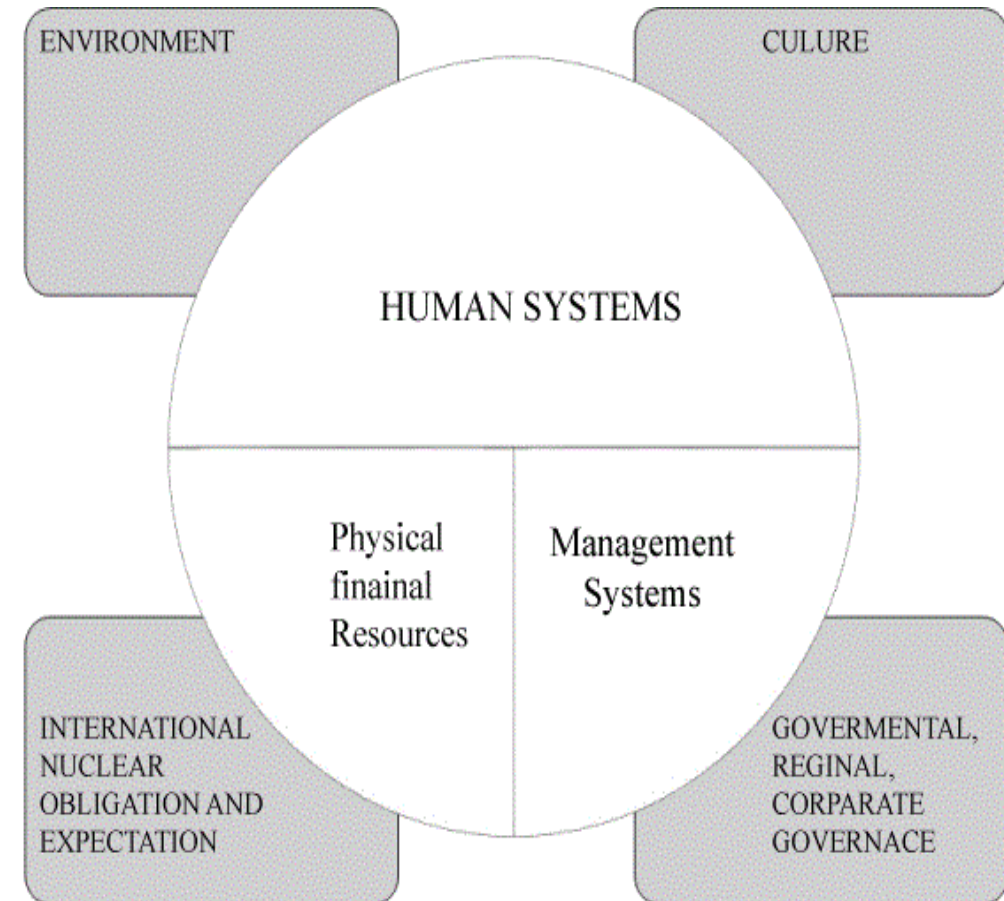
A PRODUCT THAT SATISFIES ALL REQUIREMENTS
Safety - Health Environment - Security Quality - Economic

- Responsibility
- **Safety culture**
- Responsibility of management
- Resource management
- Process implementation
- Measurement, assessment and improvement

Management system model



- Integrated framework segment for management systems



< Integrated framework segment for management systems >
- adapted from IAEA

❖ Safety culture 와 Business risk

- Safety culture - example from the industry
 - A good safety culture creates the necessary conditions for a high safety standard, which is a **prerequisite** for nuclear power operation.
 - A good safety culture is based on a **strong and committed leadership**.
 - A safety culture program has to involve everyone.
 - Safety culture is something that must constantly be worked for.
 - A good safety culture builds **confidence**.
 - A good safety culture is profitable.

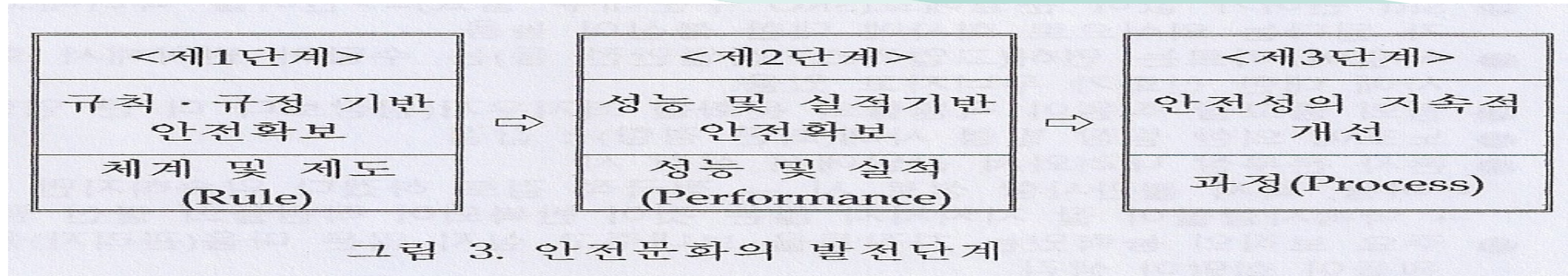


Patric Ramberg, *Former President OKG*

Weak safety culture – high business risk

❖ Strong Nuclear Safety Culture 의 모습

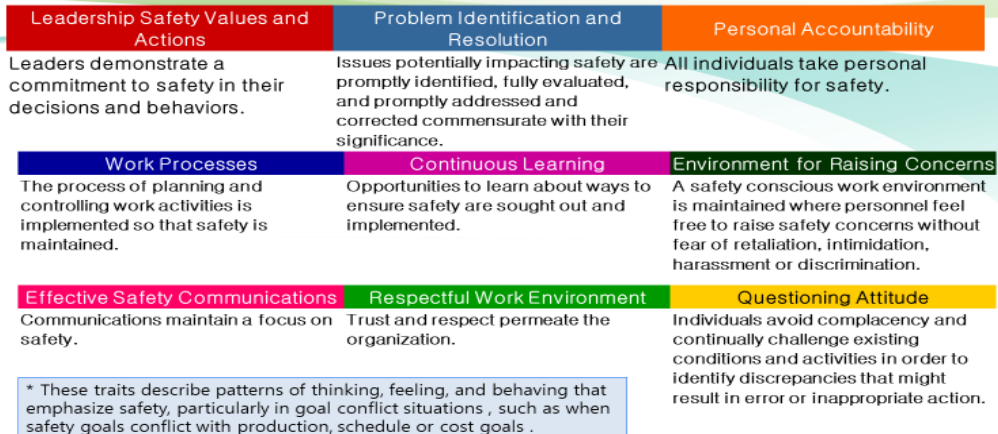
● 안전문화의 발전/강화단계 (Safety Report series No.11)



- 1 단계에서 안전성은 기술적인 문제로 인식되며, 제기된 규칙과 규정이 안전을 위해 적절하다고 여김.
(후쿠시마사고 보고서, IAEA 사무총장 p.68)

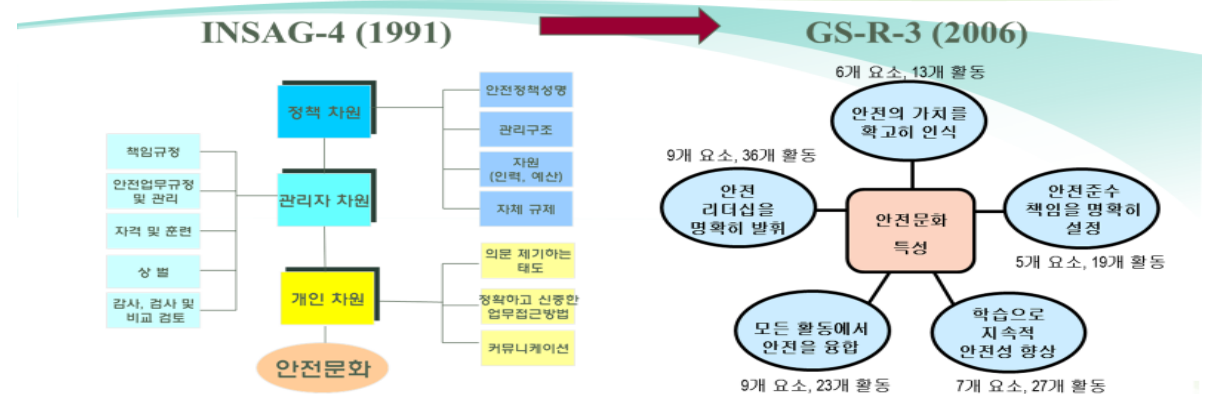
● NRC

- NRC : Traits of a Positive Safety Culture (SC Policy Statement, 2011)



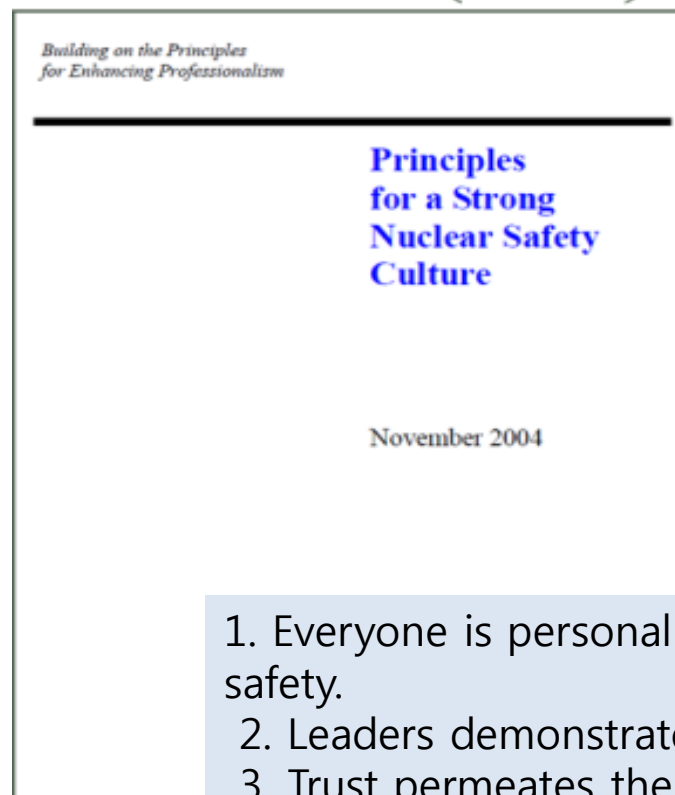
● IAEA

- IAEA 5 characteristics of strong safety culture



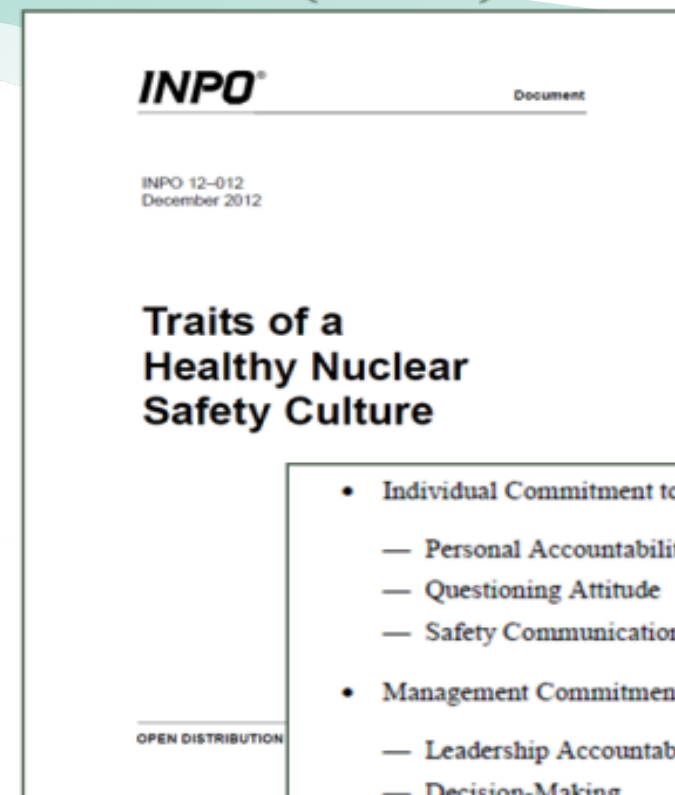
● INPO

INPO (2004)



1. Everyone is personally responsible for nuclear safety.
2. Leaders demonstrate commitment to safety.
3. Trust permeates the organization.
4. Decision-making reflects safety first.
5. Nuclear technology is recognized as special and unique.
6. A questioning attitude is cultivated.
7. Organizational learning is embraced.
8. Nuclear safety undergoes constant examination.

INPO (2012)



- Individual Commitment to Safety
 - Personal Accountability
 - Questioning Attitude
 - Safety Communication
- Management Commitment to Safety
 - Leadership Accountability
 - Decision-Making
 - Respectful Work Environment
- Management Systems
 - Continuous Learning
 - Problem Identification and Resolution
 - Environment for Raising Concerns
 - Work Processes

- INPO Trait Comparison for TMI, Chernobyl, Fukushima, and Onagawa
Adapted from (INPO, 2013)

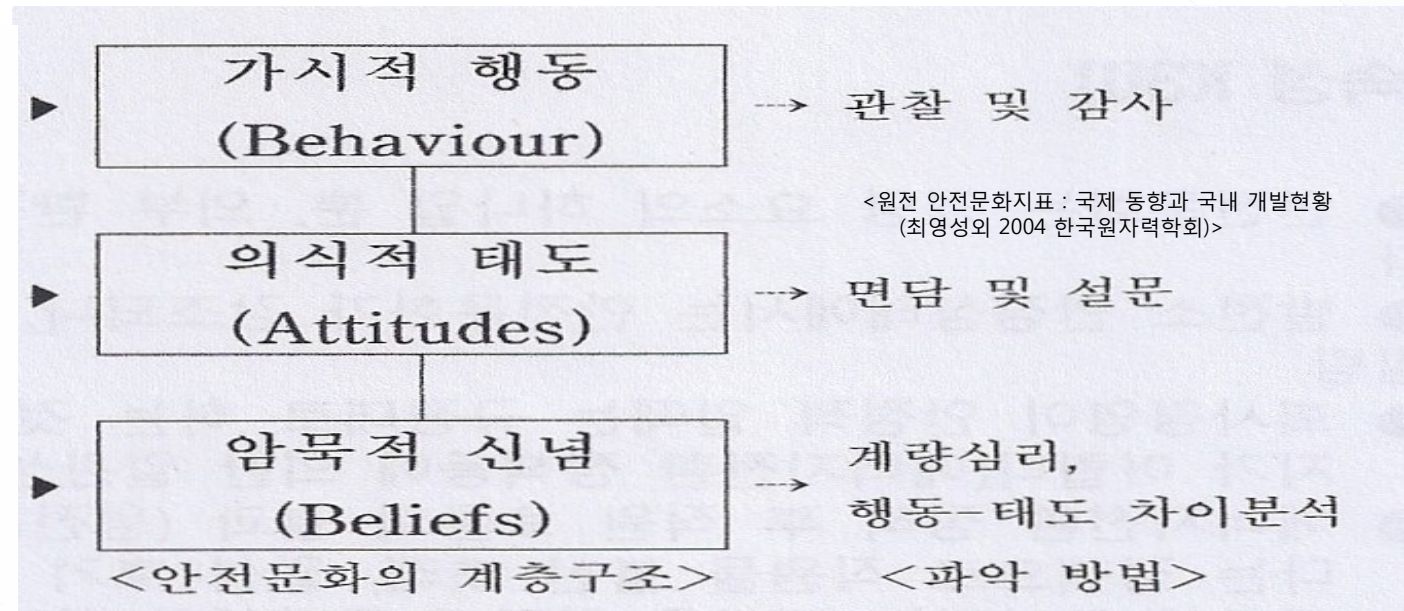
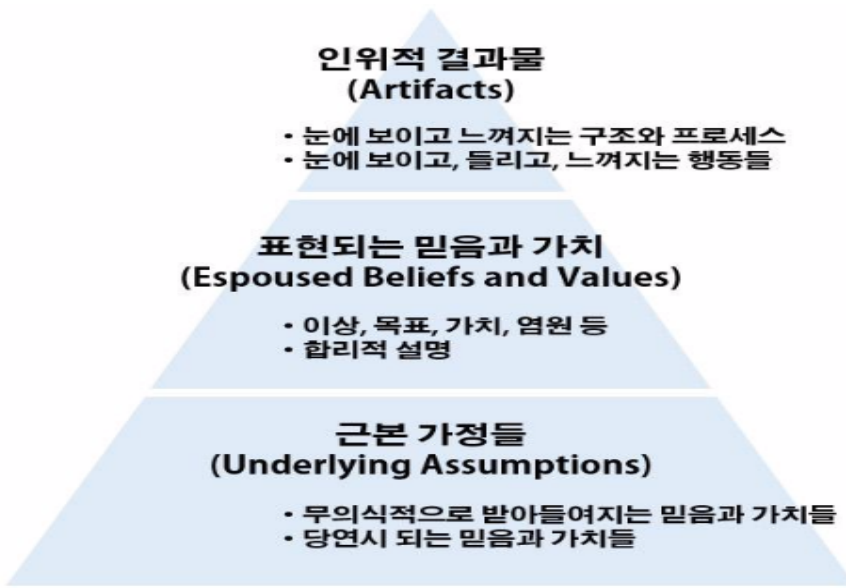
Khubrani et al. Int J At Nucl Phys 2017, 2:007

Safety Culture Traits	TMI (1979)	Chernobyl (1986)	Fukushima (2011)	Onagawa (2011)
Leadership Safety Values and Actions	No	No	No	Yes
Personal Accountability	No	No	No	Yes
Effective Safety Communication	Sort of	No	Sort of	Yes
Respectful Work Environment	Yes	No	Yes	Yes
Environment for Raising Concerns	Sort of	No	No	No
Decision-Making	Sort of	No	No	Yes
Questioning Attitude	Sort of	No	No	Sort of
Continuous Learning	Yes	No	Yes	Yes
Problem Identification and Resolution	Sort of	No	Sort of	Sort of
Work Processes	No	No	Yes	Yes

❖ Fukushima 와 Onagawa의 Nuclear Safety Culture 차이 이유

● Basic Assumption

- 조직이 무의식적으로 받아들이고 있는 근본 신념으로 문화의 심층에 있으면서 기반을 형성
- 조직의 역사를 반영하고 조직의 지도자가 가졌던 가치, 신념을 반영하며 암묵적으로 작용되며 변화하기가 매우 어려움
- Culture is a pattern of basic assumptions
 - how to survive / how to stay together
 - have evolved over time and are handed down from one generation to the next



● 부적절한 Basic Assumption

➤ 기술설계가 견고하여 예상위험에 충분한 보호를 제공 할 것

- NISA 는 덜 통합적이고 덜 적극적인 방식으로 단기적인 검사 업무 수행
- 복잡한 비상훈련은 Basic Assumption과는 달리 원전이 안전하지 않다는 인식을 일반인에게 심어질 수 있다는 이유로 이행되지 않음
- 동경전력에도 영향을 미쳐 원전의 기술 기능으로 중대사고를 피할 수 있다는 자신감을 심어 줌.
· (후쿠시마사고 보고서, IAEA사무총장 p.68)



Fukushima Daiichi Accident Report 2015 by Director General FOREWORD

Director General Yukiya Amano

A major factor that contributed to the accident was *the widespread assumption in Japan* that its nuclear power plants were so safe that an accident of this magnitude was simply unthinkable. This assumption was accepted by nuclear power plant operators and was not challenged by regulators or by the Government. As a result, Japan was not sufficiently prepared for a severe nuclear accident in March 2011.

➡ In the main part of this report, the word of “**Basic Assumption**” is commonly used.

Unfortunately, a group is seldom aware of its shared basic assumptions because they are not directly visible. Although basic assumptions within an organization's culture can take several years to develop, we usually don't think about what basic assumptions we hold because we typically only reflect on the behaviors we see.



3

Fukushima Daiichi Accident Report 2015 by Director General

2.2.6. Assessment of human and organizational factor

*Before the accident, there was **a basic assumption** in Japan that the design of NPPs and the safety measures that had been put in place were sufficiently robust to withstand external events of low probability and high consequences.*

*Because of **the basic assumption** that NPPs in Japan were safe, there was a tendency for organizations and their staff not to challenge the level of safety. **The reinforced basic assumption** among the stakeholders about the robustness of the technical design of NPPs resulted in a situation where safety improvements were not introduced promptly.*

*The accident at the Fukushima Daiichi NPP showed that, in order to better identify plant vulnerabilities, it is necessary to take an integrated approach that takes account of **the complex interactions between people, organizations and technology.***

Fukushima Daiichi Accident Report 2015 by Director General

- Cont.

The same basic assumption that NPPs were safe also influenced TEPCO's actions, giving it confidence in the ability of the technical features of its plants to avoid severe nuclear accidents. This meant that TEPCO was not sufficiently prepared to mitigate the accident of March 2011. The risk of flooding triggering a nuclear accident was outside **the basic assumption**, so the latest international guidance on severe accident management was not always followed.

The basic assumption also excluded the possibility of a common cause failure which could lead to station blackout for multiple units.



Dr. Kiyoshi Kurokawa's "**Message from the Chairman**", The Official Report of the National Diet of Japan Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission (NAIIC, July 2012).]

- Fukushima 사고는 일본이 만든 참사다. 일본의 원자력산업계는 TMI와 Chernobyl사고에서 결정적인 교훈을 배우지 못하는 방향으로 운영해 왔다.
- 이러한 사고방식이 바로 Fukushima 참사를 초래한 원인이다.
Fukushima 원전에서의 근무태만 결과는 대 재앙을 초래했지만
이를 초래한 사고방식은 일본 전역에 걸쳐 만연해 있다."



- 타 원자력발전소 사건과 Basic Assumption

Significant Operating Experience which might lead to Serious Event
- Consideration in perspective of basic assumption-

the Experience at Davis-Besse

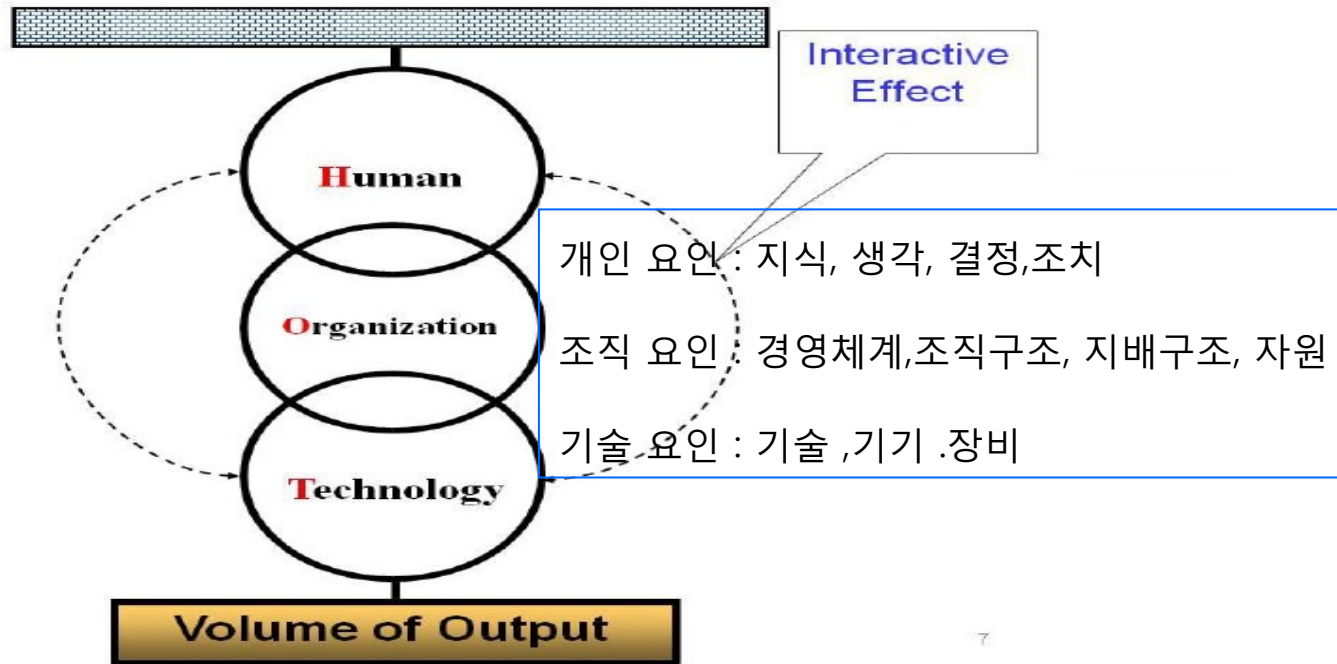
- I know because I looked myself.
- The firmly held, common view, can blind us to the actual situation.
- Safety culture is real and can be observed and evaluated. Safety culture is an industry obligation.

William E. Webster Jr.
(2017.4.17@JANSI)

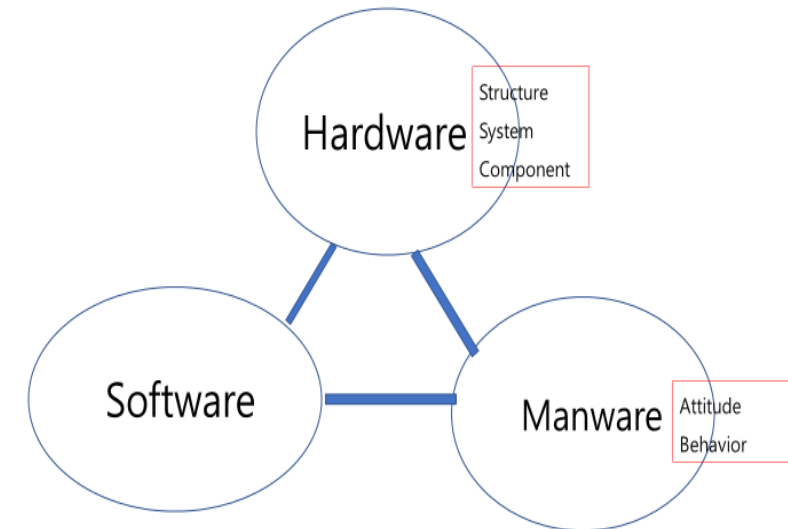


● Systemic approach to safety 미흡

- 안전에 대한 체계적인 접근은 복잡한 시스템의 전체적인 상호작용을 다루는 방식으로 이루어 짐.
- 안전문화는 아래의 3개 서브시스템(HOT)의 건전한 상호작용 결과 또는 가시적 성과
(Meshkati, 1999: Gelfand, Frese, and Salmon, 2011)
- 복잡하고 또 대규모 기술복합시스템에서의 대형사고들은 바로 이 연쇄사슬에서 가장 약한 고리들이 깨짐으로써 발생하였는데 이들이 대부분의 경우 인간 또는 조직 서브 시스템들이었음



✓ Plant 구성 요소



Major subsystems of a large-scale, complex technological system

■ 인적실수 발생율 및 구분

(Managing Human Performance to Improve Nuclear Facility Operation" IAEA, 2014)



- ✓ 사건사고의 80%는 인적 실수가 그 원인이고 20%만이 기기고장이나 결함에 의해 유발되고 있음
- ✓ 인적 실수 대부분은 기술이나 지식의 부족보다는 잠재되어 있던 **조직의 취약한 시스템**으로 부터 70%가 유발되고 30% 만이 개인의 문제로 발생하고 있음

◆ 후쿠시마 원전사고는 발전소의 취약성을 분명하게 확인하기 위하여 인간, 조직, 기술 사이의 복잡한 상호 관계를 고려한 통합적 접근(Integral Approach)의 필요성을 보여줌

● Systemic Approach proposed by IAEA to find the basic assumption

Quoted from IAEA document

With a **systemic approach** to safety that analyses the human, organizational and technical factors, an organization can be better prepared for an unexpected event. Nuclear safety will also depend on people's attitudes and behavior ... It is important to be mindful of such basic assumptions and work to understand their impact on nuclear safety.

(IAEA Report by Director General 2015.9 P.70)

We can identify these (basic assumptions) by **interpreting the behaviors and expressed norms of people in the organization.** IAEA

Document "Culture for Safety"

IAEA Document 16-2483 "Culture for Safety"

Organization Factor Technical Factor

Human Factor



【Note】

It emphasizes that leadership for safety, management for safety, an integrated management system and a **systemic approach** are essential to the specification and application of adequate safety measures and the fostering of a strong safety culture.

IAEA Standards: [GSR Part II](#) 2016.6 1.2

Fundamental Safety Principles

- Principle 3 - Leadership and management for safety
 - Safety has to be achieved and maintained by means of an **effective management system**.
 - This system has to **integrate all elements** of the management system
 - The management system also has to ensure the promotion of a **safety culture**,
 - Recognition of interactions of individuals with technology and with organizations



Performance Objectives and Criteria, WANO 2013

Organizational Effectiveness
Nuclear Safety Culture (SC.1)



Performance Objective

The organization's core values and behaviors reflect a collective commitment by all nuclear professionals to make nuclear safety the overriding priority.

Criteria (Partial quotation)

...

- Individuals avoid complacency and **continuously challenge** existing conditions, **assumptions**, anomalies and activities in order to identify discrepancies that might result in error or inappropriate action.

...

❖ 타 사건과 Systemic approach to safety

● JCO 핵임계사고(1999.9.30)



사고 당시 생존자인 요코카와 유타카(60)의 마이니치 신문과의 단독 인터뷰: 사고 당시의 상황과 심경

- 1999년 9월 30일, 이바라키현 도카이무라의 JCO 도카이 사업소의 전환 시험동에서 **침전조에 작업원이 우라늄 용액을 대량으로 투입**하여 핵분열이 연쇄적으로 계속되는 임계가 발생하여 JCO 사원과 주변 주민 666명이 피폭됐고, 2명이 **사망**했다.
- 미토 지방 법원은 2003년 3월 업무상 과실치사죄 등으로 동 사업소원 간부 6명과 법인인 JCO에 대해 **유죄판결**을 내렸다.

동 사고는 JCO의 도덕적 해이(**Moral Hazard**)에 있었다고 평가

- 그는 사고 약 1년 전 스페셜 크루(crew:공동 작업조)의 부장으로 연료용 우라늄 용액의 제조에 종사하게 됐다. 이미 **물통의 사용 등에 관한 '메뉴얼'에 대해 위법한 작업이 일상화**되어 있었다.
- **사고 원인은 「무지」**였다"고 그는 잘라 말했다.
- 사고 전에는 그때까지 경험이 없는 고농도 우라늄 용액을 취급하게 됐지만 **회사로부터 임계 위험성에 대한 지도는 없었다.**
- "우라늄이 액상이라면 대량으로 침전조에 넣어도 괜찮다고 믿고 있었다"고 그는 말했다.

原爆と同じ東海村臨界事故

被災したJCO労働者・篠原隆人さん(40歳)の治療経過の写真
(第3回日本臨床放射線学会での公表写真)



9月30日	臨界事故で顔や両腕に10シーベルトの中性子を浴びて被ばく。
10月10日	外傷はないが紅斑、あうと、下痢、意識障害などがあらわれる。
11月10日	皮膚が次々にはがれ、70%がはがれ落ちる。
12月20日	両腕腕部に皮膚移植をまこなす。
1月4日	顔面へも皮膚移植がまこなわれたが、DNAの損傷で皮膚の再生能力は失われていた。

- JCO 임계사고는 방사성 물질을 취급하는 기관 또는 **사업체가 작업자에 대해 교육 및 훈련을 철저히 실시하는 것과 작업자들이 이를 준수하는 것이 얼마나 중요한 것인지를 일깨워주었다.**

❖ 그러면 우리의 모습은?

● 한국인의 사회 심리

✓ Does the person in the middle look happy? .



✓ Does the person in the middle look happy? .



✓ Categorization: Relationship vs Property



A



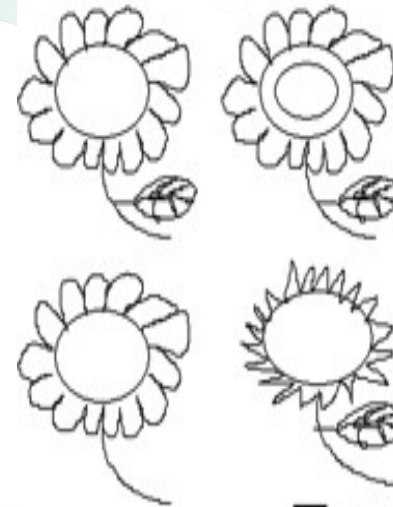
B



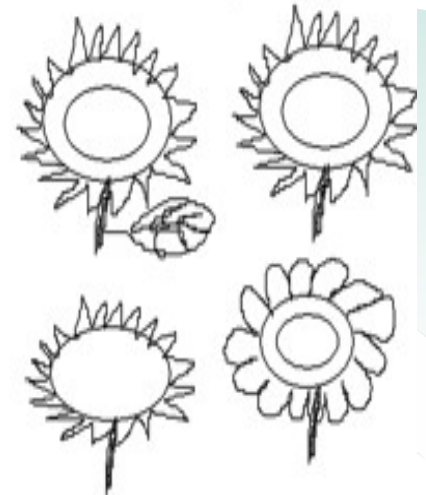
What goes with this? A or B

Which two of the three are most closely related?

Group 1



Group 2



Target Object



To which group does the flower on the bottom belong?

✓ 튼는 것에 대한 부담감: 외모의 경우
Choi & Choi (2005)

집합주의자



개인주의자



● 한국인의 사회 심리

- 관계 중심적 가치& 행동
- 집합주의 사회
- 종합적 사고 방식



집합주의 사회

- 정체감: 사회적 그물망
- 조화유지, 대립회피
- 규칙위반: 수치감, 체면
- 고용주-종업원: 가족
- 인간관계가 일보다 우선

개인주의 사회

- 정체감: 개인
- 자신의 생각 직접 표현
- 규칙위반: 죄책, 자존감
- 고용주-종업원: 계약
- 일이 인간관계보다 우선

✓ 홈스테드

- 권력 거리 지수(Power Distance Index)가 큰 나라
 - 특정문화가 위계질서와 권위를 얼마나 존중하는지를 나타냄.
 - 대한항공 비행기 참 추락 사고(1997.8.5)
 - 가장 큰 사고원인 의사소통 (출처: 아웃라이어 (말콤그래드웰))



✓ 에드워드 홀

- 고 맥락 문화의 나라
 - 의사소통에 필요한 정보가 대부분 비 언어적인 배경 또는 개인에 내부화되어 명백한 부호나 메시지로 옮겨지지 않음 즉, 한마디에 여러 의미가 내포되어 있음 (예: 거시기)



● 고리 1호기 SBO (2012. 2. 9 발생)

- 관리자의 지시에 의해 사건이 은폐
 - 안전문화에서 가장 기초적인 법률·규정의 준수를 **관리자가 주도적으로 위반하여** 사고를 은폐하는 의사결정을 내림
 - 규제기관 보고도 타의에 의해 이루어진 안전문화 결여 사건이 발생
- 회사의 **경직된 조직문화**로 자유롭고 수평적인 양방향 의사소통에 제약이 있음
- 인적 실수 누적, 사고·고장등급 상향 등 **회사 경영평가에 악영향을 초래**할 수 있는 부정적인 사안이 **집단적 두려움**을 야기하고 건전한 문제의식의 확산을 방해



Energy & Environment | New Nuclear | Regulation & Safety | Nuclear Policies | Corporate | Explore

Safety culture questions after loss of power at Kori 1

22 March 2012

The manager of the Kori 1 nuclear power reactor in South Korea has been sacked for covering up a safety-related incident at the plant last month. The plant owner now faces prosecution by safety regulators.

A report yesterday by the Nuclear Safety and Security Commission (NSSC) said the incident came about during Kori 1's month-long maintenance outage in February.

Placed in a cold shutdown state, the reactor had been receiving power from one of its three grid connections while the other two were undergoing maintenance. One of the two diesel generators was also under maintenance while the other was on standby and a third was available for manual start.

The incident began when a worker made a mistake that led to the disconnection of grid power supply and then the standby diesel failed to start automatically. This resulted in a period when the reactor had no power for safety-related functions including cooling of the core and used fuel pond.

WNA Links

- Nuclear Power in Korea

Related Links

- Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP)

세계 원자력 신문에 게재된 사고 내용(2012.3.22)
(안전문화 관점에서의 보도자료)

● 월성 1호기 예비디젤발전기 기동 (2012)

- 안전모선의 계통병입차단기(BUE/18) 대신 모선 인입차단기(BUE/02)의 계기용변성기(PT)를 인출
 - 불명확한 지시, 불확실한 정보 전달, 의문을 갖는 태도가 없는 인적 행위
- 기기에 대한 기본적인 원리, 이론 및 기기 설계에 대한 **지식 결여 상태**에서 지시사항 이행을 위해 중단 없이 행위를 수행
- ‘만일 이렇게 하면 어떤 일이 생길까’ 라는 의문을 가지거나 불확실한 내용을 다른 사람에게 물어보거나 도움을 요청하지 않음



❖ 우리는 무엇을 해야 하나?

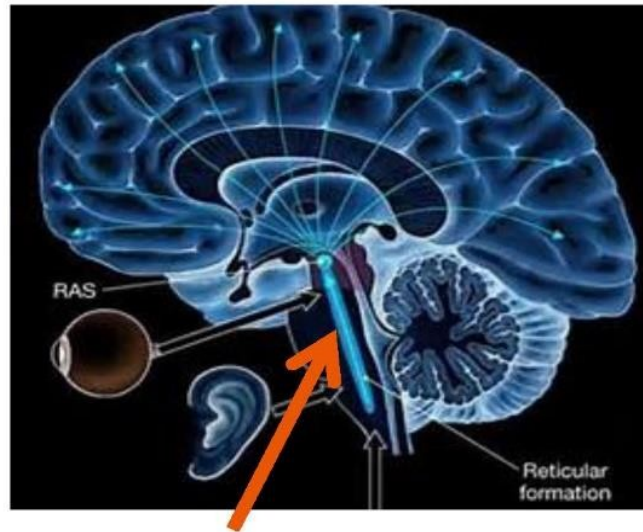
● 개인(종사자)차원

- 의문을 갖는 태도를 갖자!
- 질문을 하자
- 과학적 사고방식 함양
- Knowledge Base 행동을 하자
- 공동체 의식을 갖자
(Your Life is my business)

Brain Activity when Basic Assumption has been active

Human being is likely to select the necessary information for his/her convenience. On the other hand, if human being diverts his/her attention from the issue, he/her cannot realize it even when it appears in front of him/her.

This is generally attributed to the function of Reticular Activating System in Brain.



Reticular Activating System

When basic assumption or mindset has functioned, filtering effect will be actuated.

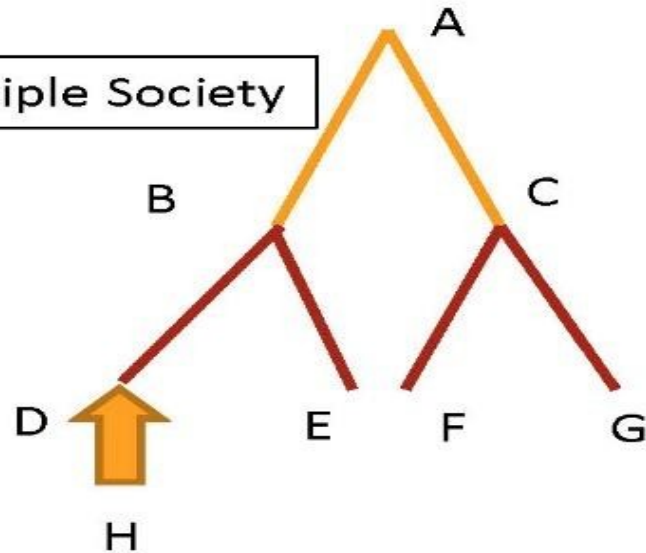
If so in the field of nuclear energy, significant factors for nuclear safety might be missed at nuclear industry.

To prevent or recover from this brain function, questioning attitude/critical thinking can be helpful.
Brain begins to search the answer for this question or critical thinking.

Questioning Attitude

Analysis on the structure of Vertical principle society vs. Horizontal principle society

Vertical Principle Society

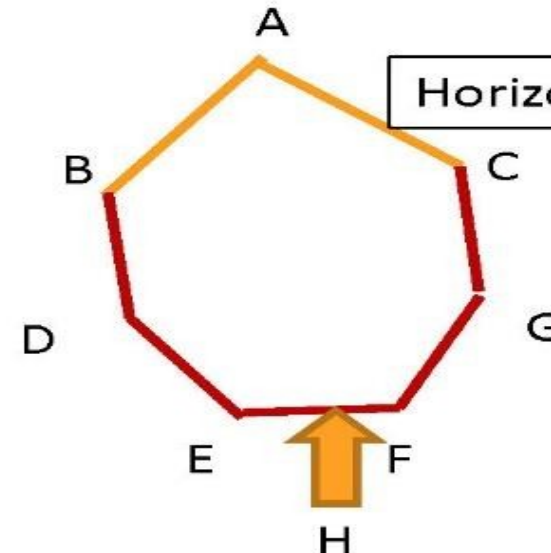


Affect on the partial members

Accept not on the attribute but human relation based on the designated person's responsibility

Organization is composed of man to man relation. It will likely introduce emotional factor. Strong coherence but no interest in others.

Horizontal Principle Society



Affect on all members

Accept automatically by applying the rule of attributes

Organization is maintained based on the shared attributes without any human relations. Strong interest in others.

● 관리자 차원 (Leadership)

• 확고한 정체성 확립 및 전파

• 스스로 질문하자 (안전목표, 비전, 자원 투입, 보수적 의사결정)

- define reality: where are we today?
- define the vision: where do we want to be?
- define how to get there.

• 열려진 의사소통 채널 마련(관찰, 칭찬)

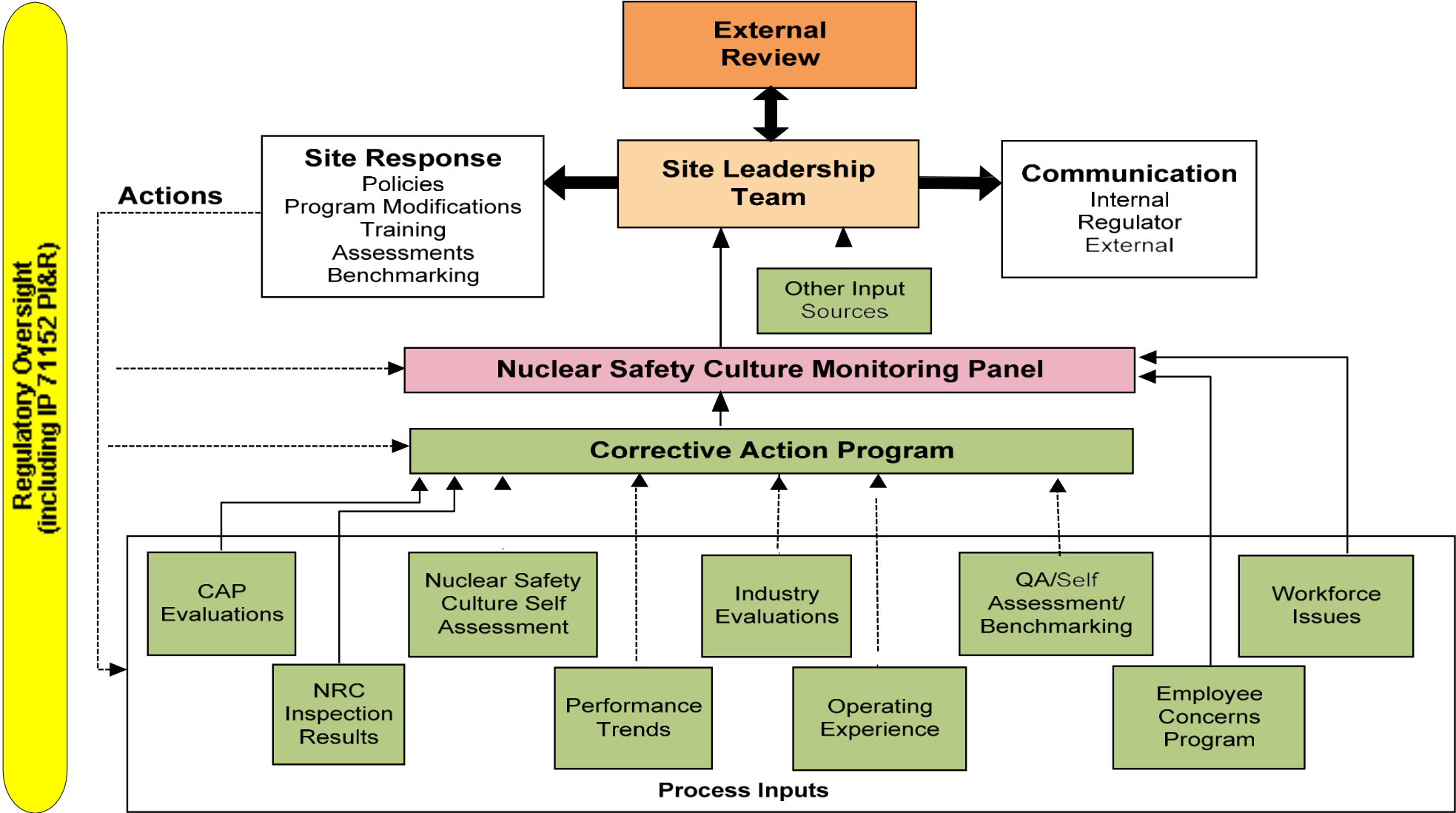
• 따라하기의 모델이 되자

• 협력업체를 선도하자



< Edgar H. Schein : “리더가 해야 할 가장 중요한 것은 문화를 창출하고 관리하는 것” >

Site Nuclear Safety Culture Process



❖ 원자력안전과 원자력안전문화(nuclear Safety Culture)

- Nuclear safety will also depend on **people's attitudes and behavior**

(IAEA Report on Human and Organizational Factors in Nuclear Safety in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2014).)

- "우리는 Fukushima 원전사고로부터 많은 교훈을 배워야 한다. 그러나 가장 중요한 교훈들은 기술적인 측면을 넘어서 우리 **인간 및 조직의 행위** 속에 내재되어 있는 것들이다. 그들 중에 **안전문화**가 자리잡고 있다."

(USNRC의 Macfarlane의장, 2012년 9월 17일, IAEA INSAG (International Nuclear Safety Group)회의 발표문, 2012.9.17)

감사합니다

