

조직의 안전문화(Safety Culture)가 안전성에 미치는 영향연구

채무성

한성대학교 산업시스템공학부

1. 서론

지금까지 가장 널리 사용되는 원전 안전성의 평가는 설비고장이나 인간오류와 관련된 조직(Institution/Organization)의 질이 설비의 신뢰도와 인적오류에 영향을 주며 원전의 안전성에 전반적인 영향을 끼친다는 것을 고려하지 않고 있다. TMI 사고는 경미한 설비고장은 있었으나 중요한 사고원인은 운전원의 오류였다. 운전원 훈련량의 부족, 절차서의 불명확성, 주제어실의 설계상의 결함 등이 함께 어울어진 안전문화와 관련한 조직 실패(Organizational Failure)였다. Chernobyl 사고도 전반적인 관리조절(Management Control)의 부족과 운전원의 부적절한 실험 절차서의 검토, 안전 절차서의 위배 등이 함께 연루되어 바료생하였다.

설비의 안전성은 구조적 요인을 고려함으로써 개선되어야 하며 따라서, 구조적/조직적 인자가 원전안전성에 중요한 만큼 기존의 원전 안전성 평가방법은 구조적/조직적 인자 및 관리 인자를 정량적으로 포함시키기 위해서 모델링, 정보 수집 및 분석, 그리고 정량화 도구를 개발하여야 한다. 이와 관련하여 인적성능(Human Performance)이 사고를 예방하는 중요한 역할을 한다. 지난 수년간 Organizational Factors가 원전의 인적 성능과 나아가서 원전의 안전성에 어떻게 영향을 끼치는가에 대한 이슈가 세계적으로 관심있는 연구의 대상이 되고 있다.

2. 구조적 인자(Organizational Factors)

안전문화(Safety Culture)의 요소인 구조적 인자에 관한 연구는 위험성평가에 구조적(조직적)인자 및 관리인자를 정량적으로 포함시키기 위해서, 정보수집 및 정량화 도구를 개발하는 것, 각종 제도나 조직이 발전소 운영에 미치는 영향을 재는 정량적인 자의

개발, 그리고 조직 및 관리 분야의 검사를 할 때 그 합목적성, 일관성, 타당성 등을 파악하고 처방을 할 수 있는 방법론 개발로 요약 될 수 있다. 원전의 안전한 운전을 위한 안전문화(Safety Culture)조성에 중요한 구조적 인자는 조직과 운전원이 가지고 있는 안전 지식(Safety Knowledge), 운전에 대한 운전원의 자세(Attitude), 발전소 수행목표의 선정(Choice of plant performance goals), 책임라인과 의사소통라인의 확보(Establishment of lines of responsibility and communication) 등이다.

- 안전지식(Safety Knowledge)

운전원은 원전계통, 중대사고 결과 등에 대하여 주지하여야 하는바 원전 설비의 기능을 이해하여야 하고 중요한 Safety Limit, 초과시의 예상결과 등에 대하여 이해해야 한다. Chernobyl 사고는 안전 절차서의 반복적 위반이 어떤 결과를 초래할 수 있다는 운전원 인식의 부족이 중요한 사고원인이었다.

- 자세 (Attitude Toward Plant Operation)

1987년 미국의 Peach Bottom-3 원전에서는 NRC로부터 Cold Shutdown 명령을 받았다. 몇 번에 걸쳐 운전원이 운전 중에 취침을 하고 있었거나 Supervisor의 묵인 하에 자리를 지키지 않은 때가 있었기 때문이었다. 이처럼 원전 운전시에 Routine하고 지루한 환경이 조성됨으로써 느슨해지는 작업자세(Working Attitude)를 가질 수 있고 이러한 태만하고, 부주의한 자세를 가지는 운전 Team은 사고 시 원전을 정상 상태로 환원하기 힘든 상황을 초래할 가능성이 더욱 크다.

- 운용 목표의 선정(Choice of Plant Performance Goals)

1985년 미국 Davis Besse 원전에서는 SG로 주입되는 모든 보충수가 공급 중단되어서 S/G가 Dryout되는 사고가 있었다. 비상운전 절차서 상으로는 운전원이 Feed-and-bleed를 수행하여 잠열을 제거시켜야 하는데 Supervisor는 장기적인 Clean-up과 이에 따르는 큰 경제적 손실을 고려하여 운전원이 아무런 조치없이 보조급수계통을 회복하기만을 기다렸고 급기야 노심 손상을 가져왔다. Supervisor는 언제라도 Feed-and-Bleed가 성공적으로 수행가능 하다고 생각하여 적기(Timing)를 놓치게 되었다. 이처럼 상위의 조직(Higher organizational level)이 원전 운용목표(Plant

performance goals)가 경제성이나 안전성이나에 따라 운전원의 Action에 직접 영향을 준다.

- 책임과 의사소통라인(Lines of Responsibility and Communication)

명확한 책임과 의사소통라인의 구성은 원전 안전 운전에 매우 중요하다. Peach Bottom Plant에서와 같이 운전원이 운전 중에 잠잘 때에 원전의 매니저는 그것을 알았어야 하고, 혹은 알았어도 어떤 Action도 취하지 않은 결과이다. 의사소통은 직접 face-to-face로 하는 것이 가장 효과적이지만 Engineer는 구두지시에 Uncomfortable한 경향이 있다. NRC보고에 의하면 Turkey Point Plant는 구두보다 문서로써 주로 의사소통을 하며 Supervisor는 직접 관찰하고 감독할 충분한 시간을 가지지 못하므로 의사소통에 취약한 원전으로 인식하게 되었다. 이러한 안전환경은 조직(Organization)에 의하여 그 특성이 결정된다.NOMAC(Nuclear Organization and Management Analysis Concept) 개념에 의하면 원전 조직은 4부분으로 구성되어진다.

- 1) Strategic Apex : Utility Vice President for Nuclear Operations, Plant Manager
- 2) middle Line : Operation Manager, Shift Supervisor, Department Manager
- 3) Operating Core : Operation Unit, Maintenance Unit, I&C Unit
- 4) Technostructure : Licensing, Training, QA, Health Physics, Shift Technical Advisor, Independent Safety and Engineering Groups
- 5) Support Staff : Record Management, payroll, Administration and Security

3. 인적오류와 구조적 오류

안전문화의 주요한 영향인자인 조직의 질(Quality of Organization)은 원전의 안전성에 영향을 끼친다. 안전 평가에 많이 사용되는 사건수목은 크게 운전원의 행위(Operator Actions), 안전설비의 작동(Safety System Responses), 초기사건(Initiating Events)의 세 가지 사건으로 구성되어 있다. 조직의 특성(Characteristics of Organization)은 안전환경(Safety Culture)을 결정하고, 안전환경은 인적오류, 설비오류, 초기사건에 영향을 미침으로 인하여 궁극적으로 원전의 안전성에 영향을 미친다. 조직 인자(Organization Factors)와 가장 밀접한 인적오류(Human Error)를 평가하는 여러 가지 방법론들 중에서 가장 많이 쓰이고 있는 THERP, SLIM 및 HCR 방법론이 있다.

3. 구조적 요인의 인적오류에 미치는 영향

구조적 요인은 의도형성(Intention Formation)과 의도수행(Intention Execution)의 두 측면으로 인적 오류에 영향을 미친다. 의도형성은 주어진 상황에서 어떤 행위가 적절한지를 진단하고 결정하는 인지행위(Cognitive Activities)를 말하며 의도수행은 결정된 Action을 수행하는 행위(Activities)를 의미한다. 의도형성의 인지행위는 지각장소(Conscious Workspace)와 Knowledge Base로 세분된다[Reason,1988]. 심리학자인 Reason은 저장된 정보를 선별하기 위하여 Similarity Matching(SM)과 Frequency Gambling Mechanism(FG)을 정의하였다.

SM은 저장된 정보구조의 속성과 현실의 상태사이에서 유사성을 결부시키는 메카니즘이고 FG는 과거에 자주 이용되었던 것을 선호해서 부분적으로 결부되는 조직들 사이에서 모순을 해결하는 메카니즘이라고 정의한다. 구조적 요인은 Similarity Matching과 Frequency Gambling에 근거한 속성과 저장된 정보(Knowledge Base)에 크게 영향을 미칠 수 있다. 가령, 안전정보(Safety Knowledge)에 역점을 두는 조직은 비상시에 충분한 정보(Solid Knowledge)를 가지는 운전원을 양성하기 원한다. 덜 훈련된, 지식이 충분치 못한 운전원은 Similarity Matching을 위한 적은 Standard Pattern을 가지므로 사고시에 주어진 상황에 대해서 Similar Module을 발견하기가 어려우므로 Matching이 가능할때 까지 Similarity Matching을 연기하다가 보면 Frequency Gambling을 이행하게 된다. 만약 운전원이 Frequency Gambling을 하게 되면 자기에게 가장 친숙한 추론을 하게 되는데 unsafe 추론을 할 수도 있는 것이다. 예를들면 원전의 정책이 안전성보다 경제성에 역점을 둘 때 Frequency Gambling의 결과는 Davis Besse Plant에서의 경우처럼 원전의 안전성을 선호하지 않으려고 할 것이다. 또한 운전원이 사고경위에 대하여 더 많은 정보가 모여지고 사고 경위가 파악될 때까지 기다리다가 Similarity matching을 연기할 수 있으며 이 경우에 적절한 시간(Timing)과 수단(Resource)을 놓치고 회복할 수 없는 중대한 사고를 초래할 수 있다. 의도수행(Intention Execution)시에도 절차서가 명확하고 쉽게 씌여 졌는가, 운전원이 잘 훈련 받아졌는가 하는 등의 구조적 요인에 당연히 영향을 받는다.

4. 구조적 요인이 시스템 이용 불능도(Unavailability)에 미치는 영향

비상시 사용되는 공학적 안전 설비는 주로 대기상태(Stand-By)이다. 필요시 제대로 작

동하기 위해서는 주기적인 검사(Periodic Test)를 받아야 하고 필요하면 보수(Repair)도 해야한다.

시스템 이용 불능도 $q_{,av}$ 는 다음과 같다.

$$q_{,av} = \frac{1}{T} \int_0^T q(t) dt \quad (1)$$

단일 품목시스템(A Single Component System)의 평균 이용 불능도는 다음과 같다.

$$q_{,av} = \frac{\tau_r}{\tau} + \gamma_0 + Q_0 + \frac{1}{2} \lambda_n \tau \quad (2)$$

: 실험기여도+인적오류기여도+Demand기여도+Random기여도

t : 실험간의 시간간격

t_r : 실험 지속시간

γ_0 : 실험 때문에 발생한 실패확률

Q_0 : Demand시 실패확률

λ_n : 고장률

그림 10에서 보는바와 같이 구조적 요인은 평균 이용 불능도에 영향을 준다. $q_{,av}$ 는 공통적으로 절차서의 질(Quality of Procedures), 운전의 질(Quality of Plant Operation) 과 보수의 질(Quality of Maintenance)에 영향을 받으며 또한 전체적으로 조직/관리에 의하여 결정된다. 보수의 질은 $t, t_r, \gamma_0, Q_0, \lambda_n$ 에 동시에 영향을 끼치며 Q_0 와 γ_0 는 운전팀의 질 (Quality of Operation Team)에 영향을 받는다. 마찬가지로 Multi-component Redundant System 에도 동일하게 적용된다.

5.구조적 요인이 초기사건 규정에 미치는 영향

사고경위의 Completeness문제는 지금도 중요한 Issue중의 하나이다. 현재의 안전성평가방법론은 Chernobyl과 같은 사고경위를 포함하지 못하고 있다. 이러한 초기사건 사고는 기타 초기사건(Other Initiating Event)으로 분류하여 건전한 조직(High Quality of Organization)은 기타초기사건의 발생 빈도를 낮추어 반영하고 취약한 조직의 원전에서는 구조적 오류와 관련한 초기사건에 대한 자세한 분석을 수행함으로써 구조적 인자가 초기사건 규정에 미치는 영향을 반영하여야 할 것이다.

6. 결론

각종 제도나 조직이 발전소의 안전한 운영에 미친다는 것과 위험성평가(Risk Assessment)에 구조적(조직적)인자 및 관리 인자를 정량적으로 포함시켜야 하는 필요성에 관하여 기술하였다. 지속적으로 활발히 수행되어야하는 발전소단계(Plant Level)에서 1) 위험성평가에 구조적(조직적)인자 및 관리 인자를 정량적으로 포함시키기 위해서 Model개발, 정보수집 및 정량화 도구를 개발하는 것, 2)각종 제도나 조직이 발전소 운영에 미치는 영향을 재는 정량적인 자의 개발, 그리고 3)조직 및 관리 분야의 검사를 할 때 그 합목적성, 일관성, 타당성 등을 파악하고 처방을 할 수 있는 방법론 개발이 수행되어 져야하고, 뿐만 아니라 Utility Level, National Level 및 International Level에서의 구조적 인자 연구가 활발히 진행되어질 것이다.

참고문헌

1. S.Haber, etc., "Influence of Organizational Factors on Performance Reliability," BNL, NUREG/CR5538, 1991.
2. J.Reason, "Human Errors," Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1990.
3. J.Reson, "Types, Tokens and Indicators," Proceedings of the Human Factors Society 34th Annual Meeting, 1990.
4. G.Apostolakis, etc., "Inclusion of Organizational Factors into Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants," 5th Conference on Human Factors and Power Plants, Montrey, CA, 1992.
5. G.Apostolakis, etc., "On the inclusion of Organizational and Managerial inferences in Pribabukustuc safety Assessnebts of Nuclear Power Plants,"Unpublished Paper.

6. J.Wreathall, tec., "An Observation on the Human Performance and Safety: The Onion Model of Human Performance Influence Factors, "Proceedings of PSAM '91, Beverly Hills, CA, 1991.
7. JRasmussen, "Then Definition of Human Error and a Taxonomy for Technical System Design", New Tecgbikigt abd Human Error, John Wiley & Sons Inc., 1987.
8. J.Reasan "Modelling the Basic Error tendencies of Human Operators", Reliability Engineering and System Safety, Vol 22, 1988.
9. D.Wood and E.Roth, "Modelling Human Intention Formation for Human Reliability Assessment" , Reliability Engineering and System Safety, Vol.22, 1988.
10. A.D.Swain and H.E.guttman, "Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Application, "NUREG/(R-K)8, 1984.
11. D.E.Embery, "SLIM-MUD; An Approach to Assessing Human Error Probabilities Using Structured Expert Judgement, "NUREG/CR-3518, 1984.
12. E.M.Dougherty, Jr, Human Reliability Analysis-where should you trun?", Reliability Engineering and System Safety 29, 1990.
13. G.E, Apostolakis, V.M.Bier, and A.Mosleh, "A Critiqye of Recent Models for Human Error Rate Assessment," Reliability Engineering and System Safety, Vol.22, 1988.
14. G.W.Hannaman, "Human Cognitive Reliability Model for PRA Analysis, "NUS-4531, Nuclear Utility Service Crop., 1984.
15. P.C.Cacciabue, "Cognitive Modelling; A Fundamental Issue for Human Reliability Assessment Medodology", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 38, 1992.