

원전 비상직무에서의 주제어실 운전원의 의사소통 수행도 분석

정광섭 · 박진균 · 정원대

한국원자력연구소

1. 서론

원자력발전소의 설계는 다중방호의 개념에 의해 이루어져, 그 구조가 복잡하고 운전 형태도 다양하며, 이에 따라 사고의 전개 과정도 다양하게 나타난다. 이로 인해 원자력 발전소의 운전원들은 발전소의 유동적인 상황에 대처할 수 있는 고도의 능력이 요구된다. 특히 주제어실 운전원들은 발전소의 기동 및 전출력 운전, 정지, 그리고 비정상 및 비상 상황 시의 적절한 대처에 대한 책임을 지고 있다. 발전소의 사고 분석 결과에 의하면, 사고에 대한 운전원의 대응이 사고의 전개에 직접적인 영향을 미치게 되며, 결과적으로 사고에 대한 운전원들의 적절한 대응 능력은 발전소의 안전성에 중요한 부분임이 밝혀졌다.^{1,2}

원자력발전소의 주제어실과 같이 여러 명의 운전원이 팀을 이루어 직무를 수행하는 경우에는, 팀 수행도가 중요한 요소가 된다. 팀 수행도와 관련된 연구 결과에 의하면, 특히 유동적인 상황의 경우, 팀 내의 개인의 인식 과정뿐만 아니라 팀원들 간의 의사소통과 협력이 중요한 요소임이 밝혀졌다.³⁻⁴ 특히 비상 직무와 같은 긴박한 상황 속에서는 팀 내의 운전원들 사이의 보다 분명하고 원활한 의사소통이 적절한 사고 대응에 필수적임이 밝혀지고 있다.⁵⁻⁷

개별 운전원들의 행동 양식의 분석을 위한 시각적 관찰을 통해서, 계획, 의사결정, 문제해결 등의 결과만을 보게 된다. 그러나 이러한 문제를 어느 정도 해소하고 동시에 결과에 이르기까지의 과정을 파악하기 위해서, 언어 프로토콜을 수집하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이 방법은 비상 직무 같은 이상 상황에 대해서 대처 과정을 파악하는데에 큰 역할을 하게 된다.⁸

본 논문에서는 원자력발전소의 비상 직무에 대한 운전원들의 의사소통 수준을 정보의 전달 관점에서 분석하였다. 비상 직무에 대한 시뮬레이터 모의 실습 과정을 녹화하여, 운전원들 사이의 언어적 표현에 의한 프로토콜 분석을 수행하였다.

2. 언어 프로토콜 분석 (Verbal Protocol Analysis)

팀 내의 의사소통은 운전원 개개인의 정보의 공유는 물론, 서로에 대한 직무 수행의 감시, 수행 결과에 대한 평가 및 분석, 팀 자체에 대한 지적 정보의 축적 및 팀이 처한 상황에 대한 지식의 축적을 가능하게 한다.

운전원에 의해 취해지는 행위에 대한 분석은 운전원의 인식 과정의 최종적인 단계에서 이루어지게 되는 것이므로 제한되어질 수밖에 없다. 그렇다고 행위 도중에 운전원들의 인지 내용을 파악할 수도 없다. 이러한 운전원들의 행동을 낱게 하는 인식 과정을 파악하기 위한 방법으로 언어 프로토콜 분석이 사용된다.⁸⁻¹⁰

언어 프로토콜 분석 방법론은 운전원의 비상 직무의 수행으로 인한 부분과, 직무 완료 이후에 이루어지는 추가적인 대화 부분, 그리고 직무 중간 중간에 이루어지는 보완적 부분을 모두 대상으로 삼을 수 있다. 그러나 실제 비상 직무에 대한 운전원 훈련의 상황과 현실을 고려하여, 본 연구에서의 언어 프로토콜 분석은 운전원의 비상 직무의 직접 수행에 관한 부분만을 대상으로 한다.⁸

본 연구에서 사용된 언어 프로토콜 분석 절차는 다음과 같다.⁹

- a. Task specification : 대상 선정
- b. Data collection : 언어 자료 수집
- c. Data transcription : 언어 자료의 문서화
- d. Exploration : 사전 분석
- e. Construction of a theoretical framework : 이론적 분석 체계 구축
- f. Segmenting : 대화 단위 구분
- g. Encoding : 대화 분석
- h. Analysis : 프로토콜 분석 및 해석

3. 원자력발전소 주제어실 모의 자료의 분석

이를 위해 주제어실에는 발전과장(Senior Reactor Operator:SRO)을 책임자로 하여, 원자로 담당(Reactor Operator:RO), 증기/급수 담당(Turbine Operator:TO), 그리고 전기 담당(Electrical Operator:EO) 운전원이 한 팀으로 구성된다. 그리고 발생 가능한 비상 사고에 대비하여, 운전원들의 적절한 대응을 돕기 위한 비상운전절차서(Emergency Operating Procedure:EOP)가 주제어실 내에 마련되어 있다. 발전소의 설계부터 고려되는 사고에 대한 절차가 단계별로 기술되어 있으며, 사고로 인한 발전소의 증상에 기초하여 발전소의 안전 기능 회복에 관한 절차들이 포함되어 있다.¹¹

비상 훈련에 포함되는 사고의 종류는 냉각수 누출 사고, 급수 상실 사고 등 다양한 사고들을 포함하고 있으며, 사고의 발생원인인 초기사건을 기준으로 모의 훈련을 실시하고 있다. 운전원들의 행동 양식에 대한 연구를 위해 운전원들의 모의 훈련 과정을 녹화하였으며, 이 과정에서 언어로 표현되어진 부분의 대화 내용에 대하여 위에 언급된 절차를 따라 프로토콜 분석을 수행하였다.

본 연구에서는 원자력발전소의 비상 직무의 특성인 비상운전절차서가 분석 과정에서 고려되어, 언어 프로토콜 분석 시에 절차서에 기록된 내용을 분석의 기준으로 삼는다. 이는 원자력발전소의 비상 직무의 수행 기준이 비상운전절차서이기 때문이다.

1) 대상 모의 사건

2건의 모의 훈련에 대한 녹화자료를 분석하였으며, ‘증기과잉방출(Excess Steam Dump Event:ESDE)’이라는 동일한 사고에 대한 두 팀의 모의 훈련과정을 녹화한 VTR 자료로부터 운전원들의 의사소통 유형을 분석하였다. 분석 대상인 두 팀의 대화 지속 시간은 각각 28분15초와 36분28초이다.

2) 분석 과정

계속적인 양방향의 대화의 경우에는 대화 단위를 구별해야 하며, 역시 비상운전절차서를 기준으로 구분하였다. 우선 대화 상대에 따라 구분하였으며, 비상운전절차서의 항목을 기준으로 구분하였다. 그러나 개별 항목에 대한 재질문이나 부연 설명 등은 동일한 대화 단위로 포함시켰다.

그리고 녹취된 자료로부터 프로토콜 분석의 기준치들을 설정하였는데, 본 연구에서는 정보의 전달 과정에서 문장의 완성도에 초점을 맞추고 기준치들을 설정하였다. 주어, 목적어, 동사의 개념으로 구분하였으며, 주어에는 행위의 주체인 운전원, 목적어에는 해당 기기, 그리고 동사에는 해당 기기에 대한 속성이나 구체적인 조작 상태를 설정하였다.

이들 각각의 기준들에 대한 완성도를 다음의 세 가지 등급으로 구분하여 프로토콜 분석을 수행하였다.

- A등급 : 대상이 문장에 명확하게 표시된 경우
- B등급 : 표현이 명확하지 않고 애매한 경우
- C등급 : 표현이 없거나 혼동의 가능성이 있는 경우

예를 들어, “RCS Tavg 값이 얼마입니까?” 라는 질문에서, 주어는 생략되어 있지만 Tavg 값은 RO 담당이므로 B등급, 목적어는 RCS Tavg로 명확하므로 A등급, 동사 곧 상태에 대한 것은 현재 계기판에 지시되고 있는 값을 질문하는 것이므로 A등급이 되어, 문장 전체의 완성도는 ‘BAA’가 된다.

세 기준에 따라 분석을 수행하였으며, 분석 과정에서 나타난 몇 가지 특징들은 다음과 같다:

- 대개의 경우 비상 직무의 특성상, SRO 중심의 대화로 분석되었다. 즉 SRO와 RO, SRO와 TO, SRO와 EO 간의 대화가 주류를 이루고 있으며, RO, TO, 그리고 EO 사이의 대화는 거의 나타나지 않았다.
- 한 운전원과 계속 대화 중에는, 대화 단위가 바뀌어진다고 하더라도 주어인 해당 운전원을 다시금 언어의 형태로 표현하지는 않는다. 이미 대화가 계속되고 있기 때문이며, 이로 인해 대화에 있어서 어떤 특별한 장애가 발견되지 않았다. 본 연구는 프로토콜 유형 분석이 주목적이므로 주어가 있는 경우와 없는 경우를 일단 분리하여 구분하였으며, 정보의 전달 관점에서는 동일하게 취급하였다.
- 목적어의 경우 여러 기기 중 특정 기기를 명시하지 않는 SRO의 질문의 경우라도 하더라도, 해당 운전원이 평소의 훈련과 지식 등의 주변적 상황으로 미루어 보아

SRO가 원하는 정확한 응답을 하는 경우가 있다. 그러나 비상운전절차서와 비교하여 정보의 전달 관점에서는 완전성이 결여된 경우이므로 B등급을 부여하였다.

3) 분석 결과

두 팀의 모의 훈련 과정에 대한 언어 프로토콜 분석 결과가 표 1에 나타나 있다. 두 팀에서 공통적으로 가장 많은 프로토콜 유형은 AAA, 즉 주어, 동사, 목적어 모두가 명확한 경우이다. 여기에는 대화 상대를 지목하는 표현이 없지만 이미 대화가 동일인파 계속 진행 중인 경우도 포함된다. 이 결과는 절차서를 기준하는 비상 직무이며 절차서가 운전원별로 명확히 구분되는 직무를 전제하고 있다는 사실을 뒷받침하는 결과이기도 하다.

두 번째로 2조의 경우를 보면, 유형 AAB 와 ABA가 많이 나타나고 있다. 이 유형들은, 해당 기기 혹은 기기의 속성과 상태의 표현에 약간의 문제가 있는 표현들이 포함된다. 그러나 많은 경우에 SRO의 부족한 질문에도 불구하고 실제 모의 과정에서는, RO 나 TO, EO들이 그 동안의 훈련과 사전 지식의 도움으로 EOP에서 요구하는 정보를 정확하게 파악하여 SRO에게 제대로 전달하고 있다. 이를 통해 평소 훈련의 중요성과 사전 지식이 정보의 전달에 기여한다는 사실이 입증되었다.

유형	AAA	AAB	AAC	ABA	ABB	ABC	ACA	ACB	ACC	
1조	71	7	2	6	1					
2조	49	25	8	14			3	1		
유형	BAA	BAB	BAC	BBA	BBB	BBC	BCA	BCB	BCC	
1조	4	2	0	2	0					
2조	8	2	1	1	3					
유형	CAA	CAB	CAC	CBA	CBB	CBC	CCA	CCB	CCC	합계
1조					1					96
2조										116

표 1. ESDE 모의 훈련 과정에 대한 언어 프로토콜 유형

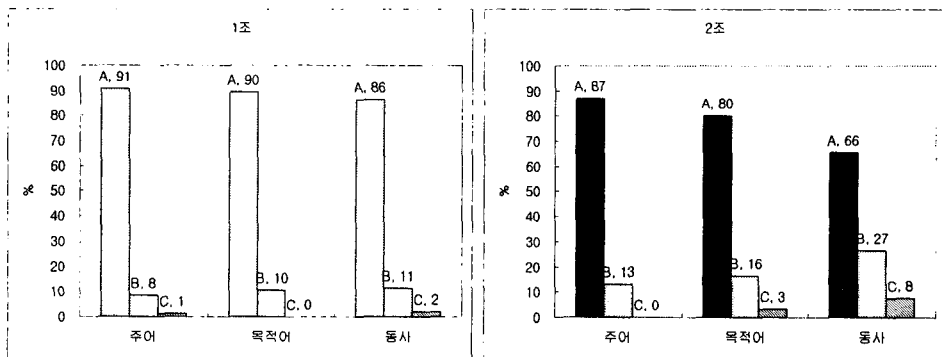


그림 1. 분석 결과

계속해서 다음으로 많이 파악되는 유형은 BAA이며, 1조와 2조 모두 대화 상대의 지적이 불충분한 경우가 각각 4건과 8건으로 나타나고 있다. 비상 직무의 성격상 해당 운전원은 명백하기 때문에 언급하지 않은 것으로 판단된다. 그러나, 보다 효율적인 정보의 전달을 위해서는 상대방을 지목함으로써 주의를 환기시켜, 결국 직무 수행도를 증가시키게 된다.

보다 상세한 정보의 전달 과정을 분석하기 위해, 위의 결과를 다시금 주어, 목적어, 동사를 기준으로 분석을 수행하였다. 이 결과가 그림 1에 각각의 비율로 나타나 있으며, 1조와 2조 모두 전체적인 경향은 비슷하게 나타나고 있지만, 1조의 정보 전달이 상대적으로 더 정확하게 이루어지고 있음을 한 눈에 알 수 있다.

그리고 그림에서 보듯이 2조의 경우, 동사 부분이 주어나 목적어 부분에 비해 취약함을 보이고 있으며, 이는 주로 SRO가 비상운전절차서를 수행하는 과정에서 기기의 속성이나 상태에 대한 정확한 정보를 표현하고 있지 않음이 밝혀졌다. 예를 들면 2조의 경우, SRO가 계기판의 값을 요구하는 과정에서 값의 현재값을 의미하는지 아니면 추이를 원하는지에 대한 언급이 거의 나타나지 않았다. 다만 해당 운전원이 자신의 판단에 의해 현재값과 추이에 관한 정보를 적절히 제공하고 있었다. 반면 1조의 SRO는 비상 직무의 단계마다 비상운전절차서의 내용을 정확하게 표현함으로써 정보의 전달은 정확하게 이루어졌다. 그러나 너무 상세한 내용을 언급함으로 인해 해당 운전원들이 부담을 느끼는 단점도 있을 수 있지만, 본 연구의 관점에는 포함시키지 않았다.

4. 논의 및 결론

팀으로 이루어지는 비상 직무에 대한 의사소통 수준을 파악하기 위해, 언어 프로토콜 분석 방법을 적용하여 프로토콜 유형을 분석하였다. SRO 중심의 의사소통이 이루어지는 주체어실에서의 모의 훈련 과정을 분석하였으며, 그 결과 대표적인 유형의 확보가 가능했다.

많은 비율로 나타나고 있는 유형들이 현재의 의사소통 수준을 반영하고 있으며, 현재의 의사소통 수준이 언어학적 측면에서는 부족하다 하더라도, 암시적으로 추정가능한 요소들이 존재하기 때문에 실제 의사소통에는 문제가 없는 것으로 보인다. 많은 경우 짐작 가능한 부분을 누락시킴으로 대화가 더욱 효과적으로 진행되는 경우도 나타난다.

그러나 분석의 관심은 문제를 야기시킬 수 있는 낮은 등급에 맞추어지며, 실제 잘못 표현된 언어 프로토콜로 인해 대화 상에 문제가 발생하는 경우를 파악할 수 있었다. 이러한 경우 언어 프로토콜 분석에 의해 구체적인 원인을 발견하였고, 이에 해당 팀에게 구체적인 개선책의 도출이 가능했다.

이와 같이 본 연구를 통하여 정보의 전달 관점에서 운전원 간의 의사소통 수준을 파악할 수 있었으며, 비상 직무에서의 의사소통의 유형 및 취약점 파악이 가능했다. 이러한 연구는, 현행 정보 전달 방식과 절차서의 개선안을 제시하는 정도까지 확장되어질

수 있다. 궁극적으로는 비상 직무에 대한 팀 의사소통 능력이 개선되어, 운전원들의 비상 대응 능력이 향상될 것이다.

참고문헌

1. E.M. Dougherty, Jr., J.R. Fragola, "Human Reliability Analysis", John Wiley & Sons, 1988.
2. "Final Level 1 PSA Update for Yonggwang Nuclear Units 3&4", KAERI, July 1993.
3. 민대환, 구상희, 정운형, 김복렬, "지원시스템을 활용한 DGOMS HMI 평가기법의 적용", 한국원자력학회, 99 춘계 한국원자력학회 논문집, 1999.
4. H. Ujita, et al., "Evaluating operator performance in the control room", *ANS 1992 Annual Meeting*, 1992.
5. 천세우, 서상문, 이용희, 이정운, "모의 비상운전 시나리오 수행에 따른 운전원들의 인지적 직무특성 분석", 한국원자력학회, 95 추계 학술발표회 논문집, 1995.
6. K. Sasou, et al., "A study on the operating team activity of a nuclear power plant under abnormal operating conditions", *Safety Science*, Vol.81, pp.143-156, 1993.
7. H. Ujita, et al., "An Approach for evaluating expert performance in emergency situations", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.47, pp.163-173, 1995.
8. S.J. Reinartz, et al., "Verbal communication in collective control of simulated nuclear power plant incidents", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.36, pp.245-251, 1992.
9. A. Green, "Verbal protocol analysis", *The Psychologist*, Vol.8, No.3, pp.126-129, March 1995.
10. B. Kirwan, et al., "See no evil, hear no evil, speak no evil: verbal protocol analysis, eye movement analysis, and nuclear power plant diagnosis", *Contemporary ergonomics, Proceedings of the Ergonomics Society's Annual Conf.*, pp.249-254, 1995.
11. 영광제2발전소 운영절차서, Vol.1, 한국전력공사 영광원자력본부. 1998.