

천연가스 공급관리소 운전 판넬 개선에 관한 연구

윤익근, 오신규, 고재필, 한정민

한국가스공사 연구개발원

A study on improving the operation panel of natural gas valve station

Ik Keun Yoon, Shin Kyu Oh, Jae Phil Ko, Jung Min Han

Korea Gas Corporation R&D Center

1. 서론

천연가스 공급관리소는 LNG인수기지에서 고압으로 기화된 천연가스를 저압으로 감압하여 지역 도시 가스 사업자 또는 발전소로 공급하는 매우 중요한 설비이다. 따라서 가스 누출로 인하여 화재가 발생하거나 또는 고장에 의하여 운영 중단이 발생하게 되면 지역 기업 및 주민들에게 인적, 물질적으로 큰 피해를 줄 수 있다. 이에 공급관리소 사업자는 항상 안전 관리를 가장 중요한 표어로 설정하고 관련 활동으로 지속적인 위험성 평가를 통해 안전성과 공급 안정성 향상에 기여하고 있다. 그러나 최근까지 이루어진 HAZOP, QRA와 같은 위험성 평가에서 다루는 사고 시나리오는 주로 기기적 고장으로 인한 것이며 인적 오류에 관한 것은 다소 미흡하였다. 특히 공급관리소의 운전원 기능이 시스템 모니터링 및 이상 진단, 비상 대응과 같은 감시 기능으로 이루어진 점을 고려했을 때, 운전원들이 다루는 제어 및 표시 판넬에 대한 인간공학적 평가가 이루어지지 않았다. 즉 운전판넬의 인간공학적 관점에서 잘못되거나 부족한 설계가 인적오류를 낼 수 있는 가능성이 있는지에 대한 검토와 개선이 필요한 시점이 되었다.

이러한 연구 배경에 의해 본 논문에서는 공급관리소 운전원의 인적오류 방지를 목적으로 운전판넬에 대한 인간공학적 평가를 수행하고 개선한 연구를 보였다. 평가 대상에 대한 인간공학적 적합성 기준으로는 원자력 산업의 제어반 설계 검토 가이드라인을 활용하였고 공급관리소 표시 및 제어 판넬에 대해서만 평가를 수행하였다. 여기서 평가 대상이 된 판넬 요소의 중요도는 기존 정성적 위험성 평가를 통해 준 정량적으로 평가된 위험도와 연계하여 결정하였다. 평가 결과 후 중요성이 높은 요소에 대해서는 개선안을 도출하고 적용하였다.

2. 공급관리소 운전판넬 및 평가 방법에 대한 개요

2.1 공급관리소 제어반 판넬 개요

공급관리소 제어반의 판넬은 크게 3가지로서 MOV 판넬, INSTRUMENT 판넬, 가스 누설 감지기 판넬이다. MOV 판넬은 관리소에 설치된 전동밸브를 제어하고 공급계통을 한눈에 파악하기 위한 판넬로서 운전에 있어 INSTRUMENT 판넬과 더불어 가장 중요한 판넬이다. INSTRUMENT 판넬은 관리소에 설치된 설비의 이상상태 및 데이터의 현재 값을 한눈에 파악하기 위하여 설치된 것이다. 가스 감지기 판넬은 현장의 가스 누설 감지 센서에서 측정된 대기중의 가스 농도 및 경보를 알려주는 판넬이다

2.2 인간공학적 평가 및 절차

(1) NUREG-0700 활용

NUREG-0700은 1981년에 미국의 원자력 규제 기관(NRC)에서 발간한 전통적 형식의 원자력 발전소 제어실에 대한 인간공학적 설계 가이드라인이다. NRC에서는 1979년 미국에서 발생한 Three Mile Island(TMI)사고의 주요 원인을 제어실의 설계 잘못에 의한 인적오류로

판단하였고 그 이후로 원자력 산업에서 제어실에 대한 평가를 엄격히 수행할 것을 요구하고 있으며 NUREG-0700은 그러한 가운데 생겨난 제어실 설계 검토 가이드라인이다. 이 가이드라인은 점차 개선되어 현재 NUREG-0700 Rev.2가 공표되어 있다. 특히 NUREG-0700 Rev.1부터는 컴퓨터 방식으로 이루어진 제어반에 대한 인간공학적 검토 사항을 다루고 있다. 본 연구에서는 공급기지 제어반이 전통적 판넬 방식으로 이루어진 것을 감안하여 검토 가이드라인으로서 NUREG-0700만을 참고하였다. 또한 운전 판넬만이 평가 범위였기 때문에 NUREG-0700 여러 검토 항목들 가운데 경보 시스템, 제어기, 표시기, 라벨, 판넬 배열에 대한 사항들만을 참고하였다.

(2) 평가 절차

공급관리소 제어실 운전 판넬에 대한 평가 절차를 다음과 같이 구성하였다.

HMI 요소 확인

평가를 위한 대상을 확인하는 단계이다. 표시기 또는 제어기 등 평가가 되어야 할 요소에 대하여 서술하는 것이다.

가이드라인에 근거한 검토 사항 확인

평가 요소와 관련하여 검토 사항을 확인하는 절차이다. 즉 대상 요소가 검토 사항에 비추어 어떤 점이 잘못되었는지를 확인하는 것이다.

발생 가능한 인적오류모드 확인 및 설명

대상 요소와 관련하여 발생할 수 있는 인적오류유형이 무엇이고 그와 관련한 위험 경위를 대략적으로 파악하는 단계이다. 여기서 분석시 고려해야할 인적오류모드는 다음 표1와 같이 정리하였다.

표1 검토 인적오류모드

인적오류모드	설명
작업대상오류	대상 요소와 관련하여 잘못된 작업 대상 선택할 오류
작업시간상오류	대상 요소와 관련한 행동이 일정한 작업시간내 실패할 오류
작업순서오류	대상 요소와 관련한 행동이 순서가 잘못될 오류
작업누락오류	행동이 평가 요소를 누락하고 수행할 오류
기타작업수행오류	위 사항 외 일반적인 수행방식 오류

회복 또는 피드백 확인

대상 요소와 관련하여 인적오류를 했을 때, 그에 대한 피드백 정보를 주는 시스템에 대한 검토나 회복과 관련한 사항을 확인하는 단계이다.

중요도 산출

이 단계에서는 도출된 인적오류모드와 관련하여 중요도를 산출하는 것이다. 일반적으로 장치 산업에 있어 인적오류도 사고에 이르는 경위의 한 요인이다. 따라서 어떤 인적오류 하나에 대한 중요도는 연관된 사고 시나리오의 위험도와 관련하여 평가해야 하며 본 연구에서는 기존 QRA에서 한 기기의 중요도 척도로 쓰이는 Fussel-Vesely(FV) 중요도 개념을 응용하였다. 이를 위해 기존 공급관리소에 대한 HAZOP 분석 결과를 활용하는 방안을 세웠고 여기서 중요도는 판넬 요소와 연관한 인적오류 또는 행위가 사고 유발인자 또는 보호책(Safeguard)으로 포함된 상위 등급 HAZOP 시나리오 개수가 전체 상위 등급 위험 시나리오 개수 가운데 차지하는 비율을 말한다. 이것을 통해 개선을 해야 하는 필요성의 근거로 참고하였다.

Comments

이 단계에서는 중요성이 높은 요소에 대하여 브레인스토밍 또는 가이드라인에 근거하여 개선안을 제안하는 것이다. 다음 표2는 제어실 운전판넬에 대한 인간공학적 평가 기록지 형태이다.

표2 공급관리소 운전판넬 인간공학적 평가 기록지 형태

Interface Element	Review Point	Human Error Mode	Description	Feedback or Recovery	Importance	Comments

3. 공급관리소 운전 판넬에 대한 평가 결과 및 적용

정립한 방법에 따라서 정압기지의 운전 판넬에 대하여 평가를 수행하였으며 개선안을 D 기지에 시범적으로 적용하였다. 평가 대상 요소는 언급한 MOV, INSTRUMENT, 가시 감지기 판넬에 포함된 세부 요소이다. MOV 판넬에 대한 평가 결과중 중요하게 고려된 요소는 MOV 선택 스위치 위치이다. 현재 MOV 선택 스위치는 공정 맵 보드 아래에 정해진 배치 규정없이 배열되어 있다. 일상 직무 수행 때와 비상직무 수행시 잘못 밸브를 작동할 수 있는 가능성이 있으며 중요도도 높아 개선이 필요하다고 평가되었다. 이에 MOV 선택 버튼을 맵보드 PFD의 MOV 순서와 동일하게 아래에 배치되는 안과 MOV 선택 스위치를 PFD 안으로 올리는 안이 고안되었으며 시범적으로 D 기지에 적용할 때는 후자가 선택되어 적용되었다. 표3은 중요하게 도출된 MOV 판넬에 대한 평가 기록 사항 예이다.

표3 MOV 판넬에 대한 분석 예

Interface Element	Review Point	Human Error Mode	Description	Feedback or Recovery	Importance	Comments
MOV 선택 스위치	맵보드 PFD의 밸브 위치와 양립성 없음	작업시간오류	비상 상황시 밸브 선택 지연		50%	스위치 재배열 또는 맵보드상에 MOV 선택 스위치 위치 이동
		작업대상오류	공급라인 변경시 잘못된 밸브 선택 작동	선택 밸브 견벽입	0%	
		작업대상오류	보수 작업중 절체 구간 전동 밸브 작동	"	7%	
		작업대상오류	비상 상황시 잘못된 밸브 선택 작동	"	57%	
HSS 스위치	MOV 작동모드 선택 스위치 판넬 위치	작업누락오류	잘못된 스위치 포지션 설정		43%	MOV 판넬로 이동, MOV 판넬에 HSS 스위치 포지션 표시

INSTRUMENT 판넬에서는 중요하게 고려된 것이 경보 타일의 배열로 인한 작업시간상의 오류이었다. 비상시 운전원이 빠르게 발생 장소 및 의미를 해석할 수 있어야 하지만 기존의 경보 판넬은 특정한 규칙이 없이 배열되었다. 이에 오랜 운전 경험을 가진 공급장 및 운전원들의 의견을 수렴하여 경보 타일에 대한 배열안을 표4와 수립하였으며 D기지 개선 공사시 적용하였다. 이외에도 경보의 의미가 아닌 시스템 상태를 점등하는 창이 있거나 중복 경보, 동시 경보 발생시 최초 경보에 대한 표시 기능이 없어 운전원이 상황 판단을 하는 데 어려움이 있는 것으로 확인되었다.

표4 수립한 경보 타일 배열 원칙

순서	설명
1	경보 타일은 영역별로 나누고 그 순서는 필터부, 히터부, 정압부, 계량부 순으로 한다.
2	각 영역내에서는 좌측 유량에서부터 유량, 온도, 압력 기능 순으로 한다.
3	중복열은 탭보드의 공정 라인과 동일하게 위에서 아래로 한다.
4	고저에 대한 경보는 좌측의 낮은 쪽에서 우측으로 점차 높은 쪽으로 배치한다.

INSTRUMENT 판넬내에서는 지시계의 배열 및 크기도 중요하게 고려되었다. 이에 대한 배열 원칙과 글자 크기를 제안하였으며 지시계에 있는 막대 스케일은 중요성이 없다고 판단하여 제거토록 제안하였다. 이 사항 또한 부분적으로 D기지에 적용되었다.

가스 감지 판넬에서는 현장 감지기 위치 확인을 위한 표시 체계가 필요함을 확인하여 이에 공급관리소 위치도와 해당 위치에 점멸등을 포함할 것을 제안하였다.

4. 결론

본 논문에서는 LNG 인수기지에서 송출된 천연가스를 정압하여 국내 각 지역에 공급하는 공급관리소의 제어실 운전 판넬에 대하여 인간공학적 평가 및 개선한 연구 결과를 보였다. 이 연구는 기존의 공정 설비 기능 중심적으로 이루어졌던 위험성 평가에서 다루지 않았던 인간 기능과 연계된 운전 판넬에 대한 정성적 평가와 개선에 관한 것이다. 운전 판넬에 관한 인간공학적 평가를 위하여 수행 절차를 수립하였다. 수행 절차는 평가 대상에 대한 결합 요인 확인 및 중요도 도출, 개선 사항 도출이다. 여기서 평가 대상의 인간공학적 적합성 여부에 관해서는 원자력 제어반 설계 가이드라인을 참고하였으며 중요도에 대해서는 기존 공급관리소에 대한 정성적 위험성 평가 결과와 연계하여 도출하였다.

적용 대상인 공급관리소 MOV 판넬, INSTRUMENT 판넬, 가스 감지 판넬을 평가하였으며 중요도가 높은 요소를 도출하고 가이드라인에 비추어 결합 사항이 있는 부분에 대해서는 개선안을 제시하였다. 제시된 개선안은 현장 담당자들과의 의견 협의를 통해 하나의 기지에 시범적으로 부분 적용되었다. 공사 완료된 판넬은 기존의 판넬에 비해 인적오류 방지에 크게 기여할 것으로 운전원들이 평가하였다.

앞으로 관련 부서의 좀 더 많은 의견을 통해 본 연구의 결과를 수정하고 궁극적으로 이를 공급관리소 운전 판넬 설계와 관련된 사내 표준에 반영하여 향후 신규설비 공사나 설비 노후화 및 증설로 인한 공사시 적용되도록 할 것이다. 또한 본 연구에서는 포함하지 않았던 제어실 작업공간, 통신, 제어 및 표시 통합 가이드라인을 참고하여 관련 대상을 평가하고 개선안을 수립할 것이다.

5. 참고문헌

1. Mark S. Sanders, Ernest J. McCormick, Human Factors in Engineering and Design, McGRAW-HILL, INC, (1994)
2. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Guidelines for Control Room Design Reviews, (1981)
3. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Human Factors Engineering Program Review Model, (2002)
4. 윤익근 외, "가스시설에서의 정성적 인적오류 평가", KIGAS, 2(3), 70-77, (1998)
5. 이용희 외, "원자력 발전소 주제어실 인터페이스 설계를 위한 인적오류 분석 기법의 보완", Journal of Ergonomics Society of Korea, 22(1), 31-42, (2003)