

가스시설에서의 정성적 인적오류 평가

윤익근, 하종만, 오신규
한국가스공사 연구개발원 안전방재연구실

Qualitative Human Error Assessment for Gas Facility

Ik-Keun Yoon, Jong-Mann Ha, Shin-kyu Oh
Dept of Safety & Anti-Disaster Research, Korea Gas Corporation

1. 서론

대규모의 장치산업인 화학산업이나 가스산업은 유사시 발생할 수 있는 사고로 인해 국가 경제 및 귀중한 인명에 막대한 손실을 일으킬 수 있는 위험성을 항상 내포하고 있다. 따라서 최근 국내의 여러 장치산업에서 수행되어지고 있는 위험성 평가(Risk Assessment)는 설비 또는 관리적인 측면에 잠재되어 있는 위험성을 밝혀내고 완화하는 방안을 마련하는 중요한 안전관리도구가 되고 있다. 특히 기기 신뢰도와 같은 통계적 자료가 요구되는 정량적 위험성 평가보다는 대상 시스템에 대한 경험, 지식 그리고 한정된 자원을 가진 전문가들이 자유토론을 통하여 위험을 확인하는 정성적 평가가 보다 현실적으로 적용되고 있다. 하지만 일반적으로 정성적 위험성 평가시 위험 발생 원인을 대부분 기계 고장과 같은 설비 이상에 초점을 맞추고 있는 실정이어서 인적오류에 대한 평가는 아직 미약한 형편이다. 이런 상황은 화학산업과 같은 시설물에서 발생하는 산업사고의 요인중 인적오류가 직,간접적으로 기여하는 비율이 80%이상이라는 점[5]과 기계가 노후화 되거나 열악하지 않는 한 기계적인 면보다는 운전원의 실수가 더 현실적인 문제라는 것을 고려했을 때 매우 주시해야 할 사항이다. 그러므로 각 회사별로 안전성 향상 방안을 실제적으로 수립하기 위해서는 인적오류분석에 보다 많은 투자를 해야 하나 기존의 기법들을 활용하여서는 만족할만한 결과를 얻기가 힘들다. 이것은 기존의 기법들이 대부분 기계적 오류를 확인하는 데는 적합하나 인적오류를 확인하는 데 있어서는 적절치 못한 면이 있기 때문이다. 예를 들어 최근에 가장 널리 적용되는 정성적 기법인 HAZOP(Hazard and Operability)같은 경우는 기본 개념이 P&ID와 같은 도면 정보를 통하여 정상적인 운전상태에서 벗어나게 하는 설비상의 결함을 찾는 것이기 때문에 보수시의 운전원의 잠재적인 실수를 확인하거나 비상사태시 잘못된 대처 행위와 같은 인적오류를 고려하는 것은 어렵다. 사례로 최근 특정 가스 설비에 대하여 전통적인 HAZOP 기법을 적용한 안전성 평가서를 검토한 결과 전체 이탈현상에서 고려된 발생 가능 원인들중에서 인적오류가 차지하는 비율은 시나리오 개수상으로 약 19%에 지나지 않았다[1]. 또한 인적오류원인에 대한 기술도 밸브 조작 실수와 같은 대부분 포괄적인 의미를 가진 용어만 사용함으로써 분석적 한계를 보이고 있다.

따라서 본 연구에서는 인적오류를 중점으로 한 방법을 제안하므로써 가스산업과 같은 장치산업에 대한 다각적인 인적오류평가의 기틀을 마련하는 것을 목표로 설정하였다. 제안된 분석 방법은 기본적으로 귀납적 분석체계를 바탕으로 하여 분석자료의 제안과 필요 요소를 설계하여 인적오류분석에 적합하도록 고안하는 것이라 말할 수 있다. 그리고 본 연구에서는 제안된 방법을 실제 시스템에 적용하여 다양하고 정밀하게 인적오류를 분석하였으며 그 타당성을 검증하여 보았다.

2. 인적오류분석을 위한 요소 설계

가동중인 공정 시스템에 대하여 수행되는 대표적인 정성적 위험성 평가 기법으로는 HAZOP이 있으며 이 외에도 FMEA(Failure Mode Effective Analysis) 등을 들 수 있다. 이런 분석들은 일반적으로 분석 준비 단계와 검토 단계로 나누어지며 구조화된 분석 절차를 따르고 있다. 특히 검토단계에서는 기법마다 해당되는 자료를 바탕으로 특정한 가이드워드나 도표화된 분석기록지(Worksheet)를 제공하여 분석자들로 하여금 귀납적 사고로 분석을 체계적으로 수행토록 한다. 따라서 이러한 귀납적 접근론을 바탕으로 하여 본 연구에서는 먼저 인적오류분석에 적합한 대상 자료로서 작업절차서를 선정하였으며 그것을 이용한 분석수행시 필요한 가이드워드와 분석기록지를 설계하였다.

작업절차서의 활용

본 연구는 설비의 기능면에 초점을 두지 않고 인간의 기능에 관심을 두고 있기 때문에 P&ID 나 기기 목록 등과 같은 공정관련 정보가 아닌 다른 분석 자료가 필요하다. 즉 전체 공정에 참여하는 작업자들이 다양한 작업여건아래서 어떤 행위를 하는 지에 대한 확실한 근거 자료가 필요하다. 이를 위한 자료로서 가장 타당한 것은 정형화된 작업절차서라고 볼 수 있는 데 이것은 해당되는 업무를 수행하는 작업자들과의 면담을 통하여 생성할 수도 있지만 보다 적절히 적용될 수 있는 것이 각종 운전 및 보수절차서이다. 이것은 정상적인 운전뿐만 아니라 계획된 보수작업 그리고 예상되는 문제 발생시에 대응절차를 체계적으로 나타낸 매우 유용한 자료이다. 따라서 본 연구에서는 작업절차서를 바탕으로 하며 거기서 확인된 모든 행위에 대하여 다음 절에서 설명하는 인적오류모드별로 그 발생가능성과 영향을 평가하게 된다. 일반적으로 가스 시설과 같은 대형 설비에서의 운전절차서는 다음과 같은 것들이 있을 수 있다.

- 정상운전 절차서(Normal Operating Procedure)
- 임시운전 절차서(Temporary Operating Procedure)
- 비상정지 절차서(Emergency Shutdown Procedure)
- 비상운전 절차서(Emergency Operating Procedure)
- 보수 절차서(Maintenance Procedure)
- 정상 정지 절차서(Normal Shutdown Procedure)

인적오류모드(Human Error Mode)

HAZOP이나 FMEA처럼 구조화된 기법은 원인과 결과를 나열하기에 앞서 먼저 시스템의 정상적인 상태에서 벗어난 것을 표기하는 가이드체계가 있다. 일반적으로 HAZOP에서는 공정변수와 가이드워드를 조합하여 이탈현상(Deviation)이라고 표기하며 분석자는 지정한 공정 지점에서 이러한 이탈현상을 일으키는 원인을 찾아나가게 된다. FMEA인 경우에는 최종 분해된 서브 시스템의 여러 고장 모드를 열거하도록 되어 있다. 따라서 이러한 접근론을 참고하여 본 연구에서는 기기적 관점의 오류보다 인적오류에 집중적인 가이드워드를 다음과 같이 제시하고자 한다. 이는 작업자들이 기대되는 행위에서 벗어난 일련의 형태를 표기한 것으로서 인적오류모드라고 정의하며 Swain이 제시한 인적오류분류체계를 바탕으로 하였다[6]. 이 분류체계는 기대된 시스템의 상태로부터 벗어나게 하는 작업자의 행위를 특징적으로 구분하려는 목적으로 설계된 것이다. 요약하면 위에서 말한 작업절차서를 통해 하나의 행위가 확인되었다면 그 행위의 다양한 이탈적 현

상을 분석자가 쉽게 도출할 수 있도록 인적오류모드를 제안한 것이다. 그 내용은 표1과 같으며 일반적인 인간공학문헌과 인적오류관련 논문을 참고하여 선정하였다[4][8][9].

표 1. 인적오류모드

Human Error Mode	설 명
작업수행 방식 Error	주어진 직무를 올바르게 행하지 못하는 인적오류
작업대상 Error	잘못된 작업대상을 선정하여 직무를 수행하는 인적오류
작업시간상 Error	직무를 주어진 시간내에 못하는 인적오류
작업순서 Error	직무를 수행하는 데 있어 잘못된 순서로 진행시키는 인적오류
작업누락 Error	직무의 전부 또는 일부를 수행하지 못하는 인적오류
과잉작업 Error	직무를 수행하는데 불필요한 행위나 과도한 행위를 하는 인적오류

분석기록지(Worksheet)

절차서를 통해 작업 행위가 확인된 후 그 행위가 속할 수 있는 인적오류모드를 확인하고 검토하는 작업을 보다 체계적으로 진행시키기 위해서 본 연구에서는 표2와 같은 분석기록지를 설계하였다. 이것은 전형적인 FMEA 기록지의 수정된 형태를 지니고 있다. 일반적으로 FMEA의 정의는 설계된 시스템이나 기기의 잠재적인 고장모드를 찾아내고 시스템이나 기기가 가동중에 이와 같은 고장이 발생하였을 경우 임무달성에 미치는 영향을 검토, 평가하고, 영향이 큰 고장모드에 대해서는 적절한 대책을 세워 고장의 미연방지를 꾀하는 분석 기법이다[3]. 이 기법은 1950년대 초에 제트 엔진의 항공기의 신뢰성 설계를 위하여 개발된 분석기법이며 그 후 제조공정의 신뢰성 평가나 안전성 평가에도 적용되기 시작했다. 특징으로는 가장 대표적인 귀납적 분석 형태로서 시스템의 가장 초기적인 이상상태부터 전파되는 영향을 평가해나간다는 점과 분석의 범위에 따라 어느 정도 정량적인 분석이 가능하다는 것이다.

따라서 본 연구에서는 이런 분석체계를 바탕으로 하며 전형적인 FMEA의 분석기록지를 다음과 같은 관점에서 수정하여 인적오류 분석기록지를 설계하였다. 첫째 시스템이 의도대로 작동하지 않는 것과 인간이 원하지 않은 행위를 수행하는 것은 전체 시스템 관점에서는 고장이라는 것이다. 따라서 기록지내에 시스템의 기능을 서술하는 것 대신 확인된 작업행위를 서술하는 것으로 대체한다. 둘째 기기의 다양한 이탈적 현상을 고장모드를 통해 검토하듯이 위에서 제시한 인적오류모드를 통해 확인된 작업 행위의 이탈을 하나씩 고려해 본다는 것이다. 정리하면 본 연구에서는 FMEA에서의 고장모드를 인적오류모드로 대체하여 가이드워드로 활용코자 하며 그 분석기록지를 수정하여 다음과 같이 제안하였다.

표 2. 인적오류평가를 위해 수정된 기록지의 기본 형태

절차서 : _____						
작업	인적오류모드	설명	추정원인	영향	보완책	추가적보완책

3. 분석 절차(Analysis Procedure)

위와 같은 체계를 바탕으로 가스시설에서 운전 및 보수 등에 발생하는 다양한 인적오류를 확인하고 평가하기 위한 분석 절차는 다음과 같이 크게 분석의 대상설정 및 준비 단계와 검토 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 대상공정과 절차서의 선정, 그리고 관련된 운전 전문가의 참여가 대표적인 요소가 될 수 있으며 둘째는 제안된 절차서의 순서대로 분석을 수행하여 검토 정리하는 것이라 말할 수 있다.

분석 대상 설정 및 준비 단계

분석 절차상 먼저 결정되어야 하는 것은 분석 대상과 작업절차서를 선정하는 작업이다. 이것을 선정하는 기준으로는 인간이 시스템에 관여하는 정도가 크거나 또는 만일 작업자들이 실수를 범했을 경우 위험을 초래할 확률이 높은 공정이 될 수 있다. 예를 들면 보수 및 주기적인 점검이 많이 이루어지는 시스템이라던가 비상사태시 작업자가 시스템을 자주 제어해야 하는 공정이 될 수 있다. 운전절차서 외에 유용한 자료로는 P&ID 등과 같은 도면정보와 작업자가 어떤 실수를 하였을 경우 시스템의 반응 또는 기능 변화에 대한 경험과 지식이 필요하다. 분석 팀원으로서 인적오류에 대한 일반적 지식이 있는 리더가 있어야 하며 선정된 절차서와 관련된 여러 운전원들이 참석할 필요성이 있다. 대상과 자료가 선정되고 수집되면 다음과 같이 분석이 진행된다

검토단계

선정된 절차서의 순서대로 하나의 작업이 선정되면 위에서 제시한 인적오류모드별로 타당성을 점검한다. 여기서 각 작업행위가 모든 인적오류모드를 포함할 수도 있으며 전혀 포함하지 않을 수 있다는 점을 상기한다. 만일 인적오류가 검토되면 인적오류모드와 관련하여 그 내용을 기술한다. 다음 절차로서는 추정되는 원인에 대하여 기술한다. 여기서 원인에 대한 기술 사항은 비중 있게 고려되는 요소가 아니라는 점을 강조한다. 일반적으로 인적오류의 유형은 작업자의 행위 관점에서 몇 가지 유형으로 구분 지을 수는 있으나 그 발생원인이 너무 복잡하여 정성적인 분석에서는 한계가 있다고 판단하기 때문이다. 따라서 현장의 오랜 경험을 통해서 명확하게 확인되거나 관찰된 것만을 기술하는 것으로 본 연구에서는 그 유용성을 결정하였다. 원인이 추정된 후에는 시스템에 미치는 영향에 대하여 기술한다. 여기서 해당되는 오류가 얼마만큼 시스템에 영향을 주는가 하는 위험도 평가가 이루어 질 수도 있는데 이것은 일반적으로 HAZOP에서 쓰이는 빈도와 심각도로 구성된 매트릭스(Matrix)를 그대로 적용할 수 있다. 따라서 위험도 순위가 설정된 기준보다 높을 경우에는 새로운 보완책을 제시하여 위험도를 완화시키는 방안을 마련하여야 할 것이다. 이러한 일련의 사이클(Cycle)이 끝나면 선정된 행위에 대해 또 다른 인적오류모드를 검토하며 위 작업을 수행하게 되며 이것이 종료되면 다음 작업에 대해 동일한 절차로 진행하게 된다. 모든 작업에 대해 검토가 되면 분석이 종료 된다. 이상과 같이 모든 분석 절차는 그림1과 같은 흐름도로 요약할 수 있다.

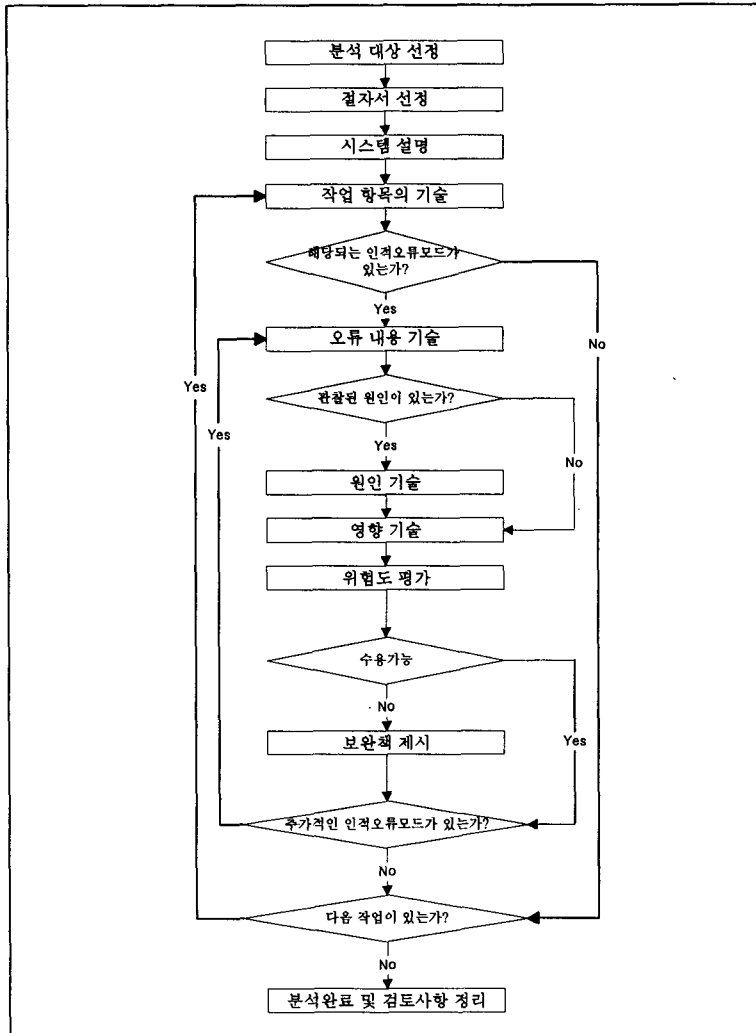


그림 1. 인적오류 분석 절차

4. 적용 사례 및 고찰

본 연구는 제안된 방법을 실제 시스템에 적용하여 보았다. 적용된 시스템은 가스 공급을 맡고 있는 밸브기지내에서 가장 중요한 역할을 하고 있는 정압기이다. 정압기는 상단부로 공급받는 고압측 압력 및 부하 유량의 변동에 관계없이 수요자에게 일정 압력 상태로 공급하여야 한다. 이 시스템은 구성품에 비틀림이나 먼지 등에 의하여 손상이 있으면 비정상적인 압력상승이나 가스 누설의 위험이 항상 존재하며 이러한 비정상적인 기능은 곧 가동률에 영향을 줄뿐만 아니라 과도한 압력 상승에 의한 사고의 원인이 될 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 정압기의 정상적인 기능을 유지하기 위한 주정압기와 파이롯트 정압기의 보수절차에 대하여 인적오류평가를 수행하였다. 주정압기와 파이롯트 정압기에 대한 작업은 표3과 같이 각각 4단계와 2단계로 이루어져 있으며 각 단계별로는 세부적인 보수절차가 순서화되어 있다. 분석시 확인된 인적오류위험 요소가 미치는 위험도 평가 매트릭스는 기존에 HAZOP수행에서 적용되었던 매트릭스를 그대로

적용하였다[1].

표 3. 보수 절차의 단계 및 세부절차개수

단계	단계	작업	세부작업개수
주정압기	1	정압기의 주배관에서의 분리	11
	2	정압기 Tube와 Metal Core 분리	15
	3	정압기 조립	19
	4	정압기 본체 설치	11
파이롯트 정압기	1	파이롯트 정압기 분해	10
	2	파이롯트 정압기 조립	9

분석에는 해당 분야에 10년이상 운전 경험을 가진 전문가가 참여하였다. 평가에 들어가기 앞서 접근 방법론에 대한 설명이 이루어졌으며 운전원의 경험에 의하여 두 시스템중 보다 중요하게 고려되는 파이롯트 정압기에 대해 분석이 먼저 수행되었다. 분석 보충 자료로는 정압기가 위치한 P&ID와 기계 단면도가 활용되었다. 분석 결과로서는 주정압기에서는 7개, 파이롯트 정압기에서는 10개의 인적오류가 도출되었다. 여기서 주정압기는 파이롯트 정압기에 비해 상대적으로 세부작업이 많음에도 불구하고 고려된 오류가 적었다. 이것은 주정압기의 구성부품이 너무 간단하고 각 작업마다 해당되는 인적오류모드가 적었기 때문이다. 주정압기 보수절차서에서 가장 많이 고려된 인적오류모드로는 과잉작업오류로서 3개가 도출되었다. 밸브 조작시에 과도한 힘을 줌으로써 기능을 저하시키거나 또는 이것이 잠재적인 원인이 되어 가스의 누설과 같은 사고가 발생할 가능성이 확인됐다. 대부분 위험등급은 3등급이하로서 크게 고려될 사항은 아니었으나 발생빈도 면에서 몇 가지 고려되어야 할 것이 있었다. 파이롯트 정압기에서 중요하게 고려된 오류로는 과잉작업오류와 수행방식오류가 각 3개씩 도출되었다. 여기서는 주정압기에 비해 위험도 순위가 다소 높게 도출되었다. 특히 조립단계시는 2이상의 등급을 갖는 상위위험도가 3개가 되어 추가적인 안전책을 세우는 것이 필요하였으며 제안된 보완책을 현장에 반영토록 노력하였다. 이에 대한 상세한 내용은 첨부자료의 표4와 표5에서 참고할 수 있다.

이상과 같은 결과를 종합적으로 고찰하면 먼저 시나리오 개수와 위험도 면에서 제안된 방법의 타당성이 입증된다. 특히 제안된 방법을 통해 고려된 위험도 수준이 비교적 높게 나온 것은 공정에 잠재되어 있는 인적오류 위험요인을 확인하는데 있어서도 보다 깊이 있는 방법이라 볼 수 있다. 또한 표6과 같이 기존에 수행되었던 HAZOP결과와 비교하여 단편적이지만 다음과 같은 사항이 구별된다. HAZOP을 통해서도 도출되기 어려운 발생 가능한 인적오류 시나리오를 많이 검출하였다. 특히 HAZOP에서는 정압기 전체에서 인적오류를 단 2개밖에 고려하지 못하였으나 이 분석을 통해서 정압기에 대한 보수절차서만을 가지고도 17개를 도출하였다. 결론적으로 이것은 기존의 방법과는 다른 인적오류에 대한 접근 방법을 마련함으로써 공정의 안전성을 향상시키는 데 일조하였다고 볼 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구 계획

가스산업과 화학산업과 같은 장치산업이 점차 자동화, 대형화됨에 따라 인간이 시스템에 관여하는 작업은 보다 복잡해지고 있다. 이것은 기계적 오류보다는 인적오류로 인한 치명적인 인명사고와 같은 대형 사고를 유발할 확률이 점차 높아짐을 의미한다. 따라서 인적오류에 대한 다각적인 분석을 수행하여 사고발생 억제에 최선을 다하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 인적오류분석에 적합한 방법을 마련하였으며 이것은 절차서를 통해 확인된 각 작업자 행위에 대하여 준비된 인적오류 가이드워드를 검토해나가는 일련의 순서를 따르고 있다. 그리고 본 연구에서는

준비된 인적오류 가이드워드를 검토해나가는 일련의 순서를 따르고 있다. 그리고 본 연구에서는 가스시설의 정압기 부분의 보수절차서에 대하여 제안한 방법을 적용하여 보았다. 적용 결과 기존에는 보수시 확인되지 않았던 많은 문제점들이 도출됨으로써 이 방법의 타당성을 입증하였다. 결론적으로 이것은 기존의 설비 중심의 분석방법에서 고려치 못한 인적오류분석을 보완함으로써 궁극적인 안전성 향상과 함께 기업의 경쟁력을 높이는 데 기여할 수 있다고 볼 수 있다

향후 연구로는 가스 설비 전반의 운전절차서에 대하여 분석을 수행할 것이며 특히 비상사태시 가장 중요한 현장 및 제어실에서 운전원들의 대처 행위에 대하여 집중적인 분석을 수행하여 안전성 향상 방안에 반영할 계획이다.

6. 참고문헌

- [1] 안전성 평가서, 한국가스공사, 1997
- [2] 이내우, 이진우, "산업안전 관리자를 위한 안전성 평가", 동화기술, pp37-76, 1997
- [3] 이상용, "신뢰성 공학", 형설출판사, pp179-202, 1993
- [4] 이정운, 박근욱, "국내 원자력 발전소 인적오류사례의 추이분석", 98대한인간공학회는문집, pp63-75, 1998
- [5] 임현태, 정원진, 김연중, "정성적 정량적 위험성 평가시 인적오류 고려의 필요성 및 인적오류 분석을 위한 접근방법", 화학공업과 기술, 제14권, 제1호, 1996
- [6] Barry Kirwan, "Human Error Identification in Human Error reliability assessment. Part 1: Overview of approaches", Applied Ergonomics, 23(5), 1992
- [7] Douglas H. Harris, "Human Error in Complex System", international high level radioactive waste management (IHLRWM) conference. Las Vegas, 1992
- [8] Gavriel Salvendy, "Handbook of Human Factorw", John Wiley & Sons, canada, 1987, pp219-223
- [9] Mark S. Sanders, Ernest J. McCormick, "Human Factors in Engineering and Decisgn: Seventh Edition", McGRAS-HILL, Singapore, pp614-625
- [10] SP. Whalley, "Minimising the cause of human error", 10th Advanced in Reliability Technology Symposium Elsevier, 1988

표 4. 주정압기의 보수절차서에 대한 인적오류 분석 기록지

운전절차서 : <u>주 정압기 보수절차서</u> 단계 1: 정압기의 주배관에서의 분리									
작업	인적오류모드	설명	추정원인	영향	빈도	결과	위험도 순위	보완책	추가적보완책
정압기의 전.후단 블록밸브 차단 확인	작업대상오류	다른 블록 밸브 차단	충분한 TBM이 부족할 경우	공급중단 수요측 물적피해	5	2	5	충분한 TBM(Tool Box Meeting)	
	과잉작업오류	밸브포지션 Over	밸브시트에 이물질이 끼어 동작이 불량일 경우 과도하게 밸브돌림	밸브기능 저하	2	4	4	배관건설시 현장감독철저, 작업후 intelligence pig로 내부청소 철저	
배출지점(Vent Point)에 배출호스(Vent Hose)연결	과잉작업오류	과도한 PV 조작	시간에 구애를 받을 경우	가스대기 방출 화재 및 폭발 가능 운전원 부상	4	1	3	직원휴식 충분한 작업시간 할당	
본체에 아(Eye Bolt) 볼트 고정	수행방식오류	아이 볼트를 무스하게 조립		PCV 추락 운전원 부상	4	3	4	볼트 조립후 확인철저	

운전절차서 : <u>주 정압기 보수절차서</u> 단계 2: 정압기 Tube와 Metal Core 분리									
작업	인적오류모드	설명	추정원인	영향	빈도	결과	위험도 순위	보완책	추가적보완책
Tube Removal and Assembly Press의 유압펌프를 작동하여 Core를 위에서 아래로 누른다.	수행방식오류	받침대를 불안정하게 하고 위에서 압을 가할 경우	심리적 불안, 숙취, 휴식이 없을 경우	러버 및 코어 손상	2	4	4	충분한 휴식	

운전절차서 : <u>주 정압기 보수절차서</u> 단계 4: 정압기의 본체 설치									
작업	인적오류모드	설명	추정원인	영향	빈도	결과	위험도 순위	보완책	추가적보완책
정압기의 본체에 파이프릿 Tube Line 을 재연결	과잉작업오류	과도한 힘으로 인한 나사산 파손으로 체결(Connect) 불량	무리한 작업	Full-open시 정압기 컨트롤 불량으로 인한 후단 압상승, PSV방출, 공급중단발생	2	3	3	가스누설 check	
General	작업수행방식	완료후 Inlet-Outlet 방향을 잘못 맞춤	착각	PCV 자체 기능 down	2	5	5	조립시 방향 표시 확인	

표 5. 파이롯트 정압기의 보수절차서에 대한 인적오류 분석지

운전절차서 : 파이롯트 정압기 보수절차서		단계 : 1-파이롯트 정압기 분해								
작업	인적오류모드	설명	추정원인	영향	빈도	결과	위험도 순위	보완책	추가적보완책	
Inlet, Outlet Control Port의 Block 밸브 차단	작업누락오류	밸브차단 안함	착각, 타 운전원 믿음	분해 불가, 분해되었을 시 가스누설 화재 및 폭발 운전원 부상	2	2	2	밸브 포지션 확인	각 라인 밸브 Tab 부착 (Open-Close)	
Inlet, Outlet Control Port의 Tubing Line을 분리시키면서 감압실시	과잉작업오류	잘못된 공구선택	안전 불감증	스파크로 인한 사고발생	3	3	3	정상공구사용 교육필저	적절한 공구 비치	
파이롯트 정압기를 떨어뜨리지 않도록 주의하면서 분리	수행방식오류	정압기를 떨어뜨림	작업부주의	파이롯트 정압기 파손, 운전원 부상	2	4	4	안전자세확립		
스프링 Button, 스프링 Set를 파이롯트로부터 분리시킨다.	작업순서오류	4볼트를 균일하게 빼지 못함	무지	스프링 뒤틀림으로 인한 운전원 부상	3	5	5	교육필저		
"	수행방식오류	오른 나사를 왼 나사로 착각하여 반대로 뺨	무지	부품 파손	4	5	5	교육		

운전절차서 : 파이롯트 정압기 보수절차서		단계 : 1-파이롯트 정압기 조립								
작업	인적오류모드	설명	추정원인	영향	빈도	결과	위험도 순위	보완책	추가적보완책	
부품의 손상여부, 청소, 손상부품을 교환한다.	작업누락오류	손상부품을 방지하고 조립	착각	정압기 컨트롤 불량으로 인한 운전 불가	2	2	2	정상부품과 손상부품의 대조	두명이 1조로 작업	
"	과잉작업오류	스크류 오링에 스크류 파다 체결 파손		운전불가	2	2	2	적절한 상태로 유지	작업에만 전념토록 함	
본체에 Piston Head를 설치한다. 격막이 본체를 향하도록 상-하에 정지한다.	수행방식오류	격막 비정상 조립	무지	컨트롤 불량	3	2	3	반복 교육		
Inlet, 자켓, Control Port Tubing을 연결한다.	과잉작업오류	볼트의 스티나사와 암나사가 나사상이 안 맞아 꺾다 한 나사 조임	무지	컨트롤 불량 운전 불가	2	2	2	By-pass로 둘려 교체	작업후 라인 가동하여 가스 Leak 체크	

표 6. 기존의 정압기 부분에 대한 HAZOP결과중 인적오류로 인한 이탈 시나리오

이탈현상	시나리오	사건결과	기존보완책	빈도	결과	위험도 순위	추가적보완책	비고
less pressure	PCV작업과 관련하여 Root Valve Close 상태일 때 C/R에서 Line 절체	일시적 공급압력 저하	PAL경보발생 라인 절체시 후단압력 감시	3	5	5		
no flow	긴급차단밸브 압력 설정잘못	공급중단 또는 공급장애 발생	보수점검 후 동적 시험 실시	3	3	4		