

## 가스배관 위험성평가 기술

홍성경\*

### 1. 서 론

에너지 수송용 배관은 초기설치 비용 문제만 해결 되면 생산 현장으로부터 에너지를 안정적으로 공급받을 수 있을 뿐 만 아니라 관리비용이 매우 저렴하기 때문에 가장 실용적인 에너지 운송시스템으로 평가받고 있다. 국내에는 이러한 에너지 수송의 장점을 살려 LNG 인수기지를 중심으로 하여 소비자를 연결하는 대규모 천연가스 주 배관망이 건설되어 있으며 배관길이는 계속 증가하는 추세에 있다. 그러나 배관길이의 증가와 함께 배관 파손에 의한 사고 사례도 증가하고 있는 실정이다. 실제 배관 파손사고로 천연가스가 누출하게 되면 사회적으로 엄청난 피해를 초래하는 대형 재난이 발생하게 되며, 환경오염 문제 또한 심각하게 되므로 그 대책을 마련하기 위해서 세계 각국에서는 지대한 노력을 기울이고 있다.

본 고에서는 사고의 원인이 되는 여러 요인과 사고의 결과로 발생하게 되는 여러 가지 영향을 고려하여 위험성을 평가하는 배관 위험성평가 방법을 소개하고, 사고의 원인이 되는 중요한 요소 중의 하나인 배관용 접부의 결함 평가에 대한 기술적 경향 등에 대하여 기술하고자 한다.

### 2. 배관 위험성평가 기술 개요

유류나 가스과 같은 에너지를 수송하는 배관을 소유하고 있는 해외 에너지회사에서는 배관의 위험도를 낮추고 효율적으로 배관을 관리하기 위해서 위험성평가 기술을 도입하여 사용하고 있다. 현재 많은 배관회사에서 도입하고 있는 배관 위험성평가 프로그램에서는 배관을 여러 구간으로 나누어 사고의 원인이 되는 요소와 사고의 결과로 나타나는 영향 등을 점수화하여

서열화하는 상대적 위험성평가 기술을 적용하고 있다. 장거리 가스배관을 운용하고 있는 국내 가스업계에서 외국에서 개발된 프로그램을 구매하여 사용할 경우, 외국의 배관설비 및 안전문화의 차이점 등으로 인하여 프로그램을 수정하지 않고 사용하는 것은 불가능하기 때문에 국내 설비와 실정에 맞는 위험성평가 프로그램의 개발이 필요한 상황이다.

이제까지 배관 위험성평가에서는 적절한 평가방법이 마련되어 있지 않았기 때문에 배관 단위 길이 당 위험도가 동일한 것으로 가정하고 평가를 수행해왔다. 그러나 가스배관은 두께, 직경 등과 같은 구조적 차이를 비롯하여 운전조건, 부식환경,

경과연수, 제 3자에 의한 손상가능성 등 주변환경이 다르기 때문에 구간별로 위험도가 다르게 된다. 따라서 배관을 특성에 따라 구간으로 나누고 각 구간의 여러 가지 요인을 고려하여 위험성을 서열화하는 평가방법이 필요하다. 이러한 상대적 위험성평가 결과를 이용하면 위험도를 완화시키는 최대의 효과를 낼 수 있는 구간부터 투자를 하게 되므로 과학적인 배관 안전관리가 가능하게 된다. 배관 위험성평가 프로그램의 적용 과정은 대략 다음과 같다.

- 1) 배관설비 데이터베이스 작성
- 2) 배관 위험성평가 기준 및 Algorithm 결정
- 3) 구간별 배관 위험성 계산
- 4) 위험성을 완화시키기 위한 활동 평가

불완전하고 부정확한 데이터로부터 배관 파손 확률을 추정하는데 있어서 적절하고 실제적인 대안은 Index에 기초하는 상대적 위험성 방법론을 이용하는 것이다. 배관 위험성평가의 서열화 결과를 이용하면 누출빈도가 높은 곳은 순찰횟수를 늘리고 누출빈도가 상대적으로 낮은 구간은 순찰횟수를 줄임으로써 주어진 예산, 인력 조건에서 효과적인 배관 관리를 할 수 있다. 예를 들어, 주어진 예산으로 방식장치를 최신 시스템으

\* 한국가스공사 연구개발원  
E-mail : hongsk@kogas.re.kr

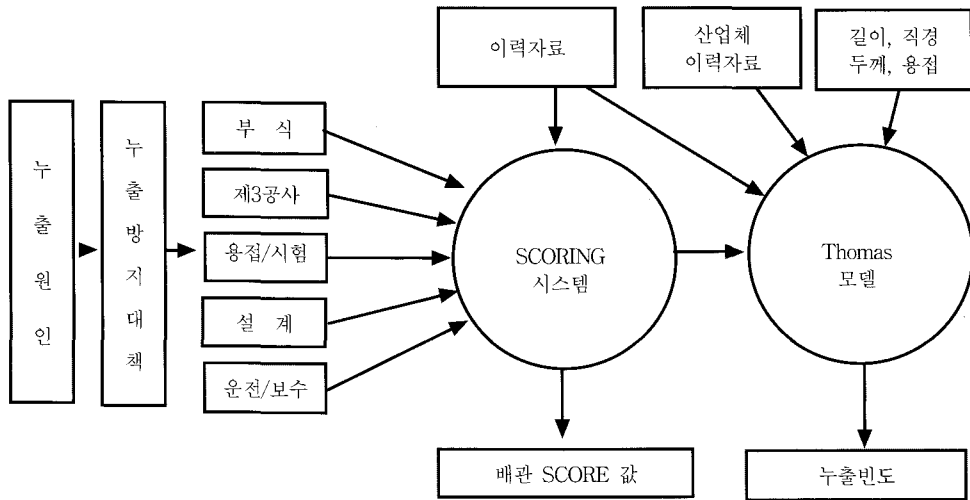


그림 1 SPC 시스템의 개략도

로 교체하고자 한다면 부식요인의 score값이 높은 배관구간부터 교체를 시작함으로써 부식에 의한 누출의 위험을 최소화 할 수 있다. 또한, 사고발생 외부요인에 속하는 세부항목 중 가장 영향력 있는 항목을 조절하는 것이 가능하다. 어떤 배관구간의 점수가 평균보다 특히 높아 이 배관을 회사가 관리하고자 하는 기준 이하로 낮추고자 한다면, 먼저 외부요인 중 다른 배관에 비해 특히 점수가 큰 세부항목을 찾는다. 만약 그 배관의 경우 부식 점수가 다른 배관보다 높다고 하면 부식의 세부항목 중에서 부식 점수에 기여하는 중요 요인이 무엇인가를 찾아낸다. 만약 부식 점수에 영향을 크게 미치는 중요 요인이 방식조건이라고 하면 그 구간에 대해서는 방식방법을 개선하는 조치를 취하여 원하는 점수로 조절할 수 있다.

### 3. SPC 시스템 개요

SPC (Scoring Pipeline Checklist) 시스템은 W. K. Muhlbauer가 "Pipeline Risk Management Manual" 에서 제안한 배관 위험요소 개념과 Thomas 모델을 결합하여 미국의 PLG에서 개발한 것을 한국가스안전공사에서 우리 실정에 맞도록 변형한 것이다. SPC 시스템은 Thomas 모델을 통해서 구한 배관의 기본 누출 빈도값에 대해 외부적인 누출유발 요인들의 효과를 점수로 환산하여 가중치를 부여한 것이다. Thomas 모델은 배관의 크기, 재질, 두께, 용접 부위의 개소, 용접 형식을 비롯하여 보수, 검사기록을 모델의 일부로 포함시

킨다. 이 모델은 고장확률에 직접적 관련이 있는 기하학적 균형도의 상관관계를 이용하여 누출빈도를 예측하고 주어진 누출빈도를 이용하여 대규모 누출빈도를 예측한다. Thomas 모델은 모든 종류의 배관에 수정없이 적용되지만 SPC 시스템은 분석대상이 되는 배관의 외부요인을 반영하여 위험도를 평가한다. 이 외부요인은 적용하고자 하는 배관 시스템의 특성에 따라 약간씩 달라질 수 있으나 일반적으로 표 1과 같이 분류할 수 있다. SPC 시스템은 도시가스 배관을 특성에 따라 여러 구간으로 나누고 각 구간의 여러 요인을 고려하여 구간별로 위험성을 서열화하는 방법이다.

표 1 SPC 시스템 중 외부요인

외부요인	세 부 항 목
1. 부식	환경요소(계면, 대기환경, 유체 및 도양부식성, 배관 경과년수 등) 방지조치(코팅조건, 코팅검사, 음극방식, Smart Pigs, 순찰간격)
2. 제3자 공사	환경요소(제3자 공사빈도, 지상시설물 등) 방지조치(매설깊이, 지상표면조건, 파손방지조치, 배관위치표시, 순찰빈도 등)
3. 용접/시험	환경요소(원주 및 길이방향 용접) 방지조치(방사선검사, 수압시험)
4. 설계	배관안전율, 시스템안전율, 도양유직임
5. 운전/보수	원격감시시스템, 교육/훈련, 보수, 절차서

\* 환경요소 : 배관의 건전성을 파괴하여 누출을 유발하는 원인

\* 방지조치 : 누출을 일으키는 환경요소에 대하여 누출 발생 방지조치

배관은 행로를 따라 위험요소가 달라질 수 있기 때문에 다른 설비와 달리 전체 배관 길이에 대해 동일한 위험도를 갖지 않는 경우가 많다. 따라서 배관의 위험도를 평가하기 위해서는 배관의 구간을 나누는 일이 대단히 중요하다. 배관의 구간을 짧게 하여 여러 구간으로 나누면 평가는 정확하나 자료의 수집과 분석에 많은 시간과 자원이 필요하다. 반면 배관 구간을 길게 하면 적은 비용으로 쉽게 처리할 수 있지만 특성이 다른 부분이 섞여 있는 경우 최악의 조건에 있는 것을 기준으로 판정해야 하므로 결과의 정확도가 떨어진다. 그러므로 배관 구간을 나누는 최선의 방법은 중요한 변화가 생기는 곳에서 구간을 나누는 것이다. 평가담당자는 자료 수집에 필요한 경비와 원하는 정확도를 고려하여 중요한 변화에 대한 정의와 우선순위를 결정해야 하며, 반드시 배관을 운영, 관리하는 담당자의 의견을 반영해야 한다. 예를 들면 배관 위험성에 영향을 미치는 조건으로는 다음과 같은 것이 있다.

- 1) 인구밀도
- 2) 토양의 조건(진흙, 모래, 매립지 등) 혹은 전철과 같은 교란 요인
- 3) 코팅의 종류, 상태
- 4) 배관의 경과연수
- 5) 운전압력

평가담당자는 위에 열거한 요인들을 각 회사의 상황에 맞게 찾아내어 나열한 뒤 각 항목의 우선순위를 정한다. 우선 순위가 결정되면 우선 순위 1번의 조건에 근거하여 전체 배관의 구간을 나누고, 더 작은 구간으로 나눌 수 있다고 판단되면 우선 순위 2번에 해당하는 기준에 따라 더 작은 구간으로 나누고, 같은 방법으로 모든 우선 순위에 따라 허용하는 한도 내에서 작은 구간으로 나눈다. 가스배관 안전성평가 절차를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 자료수집을 통해 각 배관 구간에 대해 평가에 필요한 자료를 구한다. 배관의 평균 누출사고 발생 빈도를 계산한다.
- 2) 평가대상 배관을 특성별로 여러 개의 구간으로 나눈다.
- 3) 누출사고 이력자료와 배관담당자의 기술적 판단에 근거하여 외부요인의 가중치를 결정한다.
- 4) 5가지 외부요인의 세부평가 항목과 그 가중치를

표 2 항목별 가중치의 예

외부요인	가중치(±편차)	최대 평가값
1. 부식	25%(±15)	40점
2. 제3자	50%(±20)	70점
3. 용접/시험	12%(±8)	20점
4. 설계	5%(±3)	8점
5. 운전/보수	8%(±4)	12점
총 계	100%	150점

결정한다.

- 5) 각 배관구간에 대해 5가지 외부요인의 평가기준에 따라 score 값을 구한다.
- 6) 누출빈도자료, 배관의 구조자료(두께, 직경, 용접개수) 등을 Thomas 모델에 도입하여 기본 누출빈도값을 구한다.
- 7) 지정된 배관구간에 대해 5가지 외부요인의 score 값을 합하여 총합을 구한 뒤 다음 식에 따라 그 구간의 누출빈도를 결정한다.

$$\begin{aligned} & \text{임의구간 누출빈도} \\ & = (\text{임의 구간의 기본누출빈도}) \\ & \times (\text{임의 구간의 총 평가값}) / 100 \end{aligned}$$

SPC 시스템에서 각 항목의 가중치는 외국의 자료와 해당 가스회사의 배관 담당기술자의 경험을 바탕으로 결정하여야 하며, 이들 각각의 가중치는 새로운 제도나 기술도입에 따라 변경될 수 있다. 표 2는 가스누출 이력자료의 분석결과로부터 결정한 가중치의 한 예이다.

#### 4. 한국가스공사 배관 위험성평가 프로그램 (RiskFree)

한국가스공사 연구개발원에서는 배관운영 부서의 협조와 배관 위험도평가 자료를 기본으로 배관 위험성평가 프로그램(RiskFree) 개발을 완료하였다. 배관 기초자료와 가중치는 배관 담당기술자들의 운용경험과 외국의 자료 등을 바탕으로 설정하였으며, 배관 기초자료 및 가중치는 운영자들이 결정하여 입력할 수 있도록 개발하였다.

프로그램 운영 중 가장 중요한 부분이 배관 구간의 설정 문제인데, 가장 좋은 방법은 중요한 변화가 생기는 곳에서 구간을 나누는 것이다. RiskFree는 배관의 유지·보수에 이용할 수 있도록 단관 별로 자료를 입력하게 되어 있으며, 평가대상 배관의 구간 설정과 같은

## 가스배관 위험성평가 기술

분류	평가항목	점수	평가항목	점수	평가항목	점수	평가항목	점수
관	소지용, 일반용, 오일용, 열수용, 역경도, 모래 등	100	1,600 미만	80	20% 이상	100	4 미만	100
		50	1,000 ~ 3,000 사이	80	20% 미만	0	4 ~ 5.5 사이	50
		0	3,000 ~ 8,000 사이	50		0	5 초과	0
계	9.5 미만	100	라디언스 없음	100	보호조치 없음	100	보호조치 없음	100
	9.5 ~ 11.9	80	한쪽 라디언스	50	보호조치	0	보호조치	0
	11.9 ~ 14.3	50	양방 라디언스	10	150m 이내 접촉	0	50m 이내 접촉	0
	14.3 ~ 17.9	30	계이성 있음	0				
	17.9 초과	0						
연	0.5m 미만	100	P25, 열수축대응, 열수축시트	100	열수축 슬라브	100	안전 차움	100
	0.5 ~ 9m 사이	70	분말분쇄, 용도대입	50	용도 대입	60	차움	0
	5 ~ 9m 사이	30	2층 밀폐	0				
연	8m 초과	0	3층 밀폐	0				
	관공사	100	최근 1년내 관공사	100	조사완료	100	점검 대상시	100
	상시안전 점검	50	-450mV 이상	100	관상안전	50	관상	50
	최근 7년내 실시	0	-5,000mV 이하	50	관상점검	0	관상점검	0
			-2,500 ~ -5,000mV 사이	20	관상점검	0	관상점검	0
보수	있음	100	-950 ~ -1,000mV 사이	10				
	없음	0	-1,000 ~ -2,500mV 사이	0				

그림 2 ROF 결정을 위한 세부항목 (부식 1)

분류	평가항목	점수	평가항목	점수	평가항목	점수	평가항목	점수
관	4 미만	100	150m 이내 있음	100	50m 이내 2차이상	100	150m 이내 2차이상	100
	4 ~ 5.5 사이	50	150m 이내 없음	0	50m 이내 있음	80	150m 이내 있음	80
	5 초과	0			50m 이내 없음	0	150m 이내 없음	0
계	보호조치 없음	100	보호조치 없음	100	보호조치	0	보호조치	0
	보호조치	0	보호조치	0	150m 이내 접촉	0	150m 이내 접촉	0
	50m 이내 접촉	0						
연	안전 차움	100						
	차움	0						
연	점검 대상시	100	조사완료	100	조사완료	100	조사완료	100
	관상	50	관상안전	80	관상안전	50	관상안전	50
	관상점검	0	관상점검	0	관상점검	0	관상점검	0
	관상점검	0	150m 이내 있음	0	관상점검	0	관상점검	0
	계이성 없음	0					150m 이내 없음	0
보수								

그림 3 ROF 결정을 위한 세부항목 (부식 2)

기능을 갖도록 일정구간 단관의 데이터를 동일하게 입력하는 기능을 첨가하였다. 또한 밸브 스테이션 사이를 1개 구간으로 하여 위험성평가를 수행하도록 개발되었고, 각 지역의 사정에 따라서 프로그램의 세부항목 중 일부를 가감할 수 있도록 하였다.

프로그램 운용시 가스배관을 운영하고 있는 현장 담당자들의 의견을 반영해서 세부항목을 결정하고 그 평가기준을 결정하는 것이 매우 중요하다. 아울러 프

로그램을 성공적으로 운용하기 위해서는 현장의 측정결과와 보수 이력의 정확한 입력이 필수조건이다. 그림 2~7은 한국가스공사의 배관 운용경험과 선진국의 사고조사 분석결과를 바탕으로 결정한 사고원인(Risk of Failure; ROF)이 되는 부식, 기계적 건전성, 타공사, 외부환경에 대한 세부항목과 판단기준 및 가중치, 사고결과(Consequence of Failure; COF)의 항목을 정리해 놓은 것이다. 이 프로그램은 ROF 항목 4개에 세부

분류	평가항목	점수	평가항목	점수	평가항목	점수	평가항목	점수
관	단열 → 가급 상향	100	음(건물, 양기적재물, 차량하중 등)	100	있음	100		
	단열 → 가급 상향	80	있음(임시적재물 등)	30	있음	0		
	단열 → 1차 상향	60	없음	0	없음	0		
	가급 → 가급 동일	20						
	단열 → 1차 동일	10						
	단열 → 2차 동일	0						
설	50% 초과	100	설계 미반영	100				
	50 ~ 60% 사이	80	설계 반영	0				
	40 ~ 50% 사이	40						
	40% 이하	0						
견	0.5m 이하	100	미 실시	100	2급	100	미 실시	100
	0.5 ~ 5m 사이	70	실시	0	1급	0	실시	0
	5 ~ 8m 사이	30						
	8m 이상	0						
운	30년 이상	100	문진입력 > Psafe	100	보수 필요	100	미 실시	100
	20 ~ 30년 사이	80	문진입력 < Psafe	0	검정관리	60	검정관리 필요	90
	10 ~ 20년 사이	50			관리필요	30	문진입력 적정	0
	5 ~ 10년 사이	20			양호	0		
	5년 이하	0						
보	있음	100	미보수	100	미 조치	100	있음	100
	없음	0	복합용접	100	검정관리	30	있음	0
			SPLIT SLEEVE	80	배관교체	0		
			HOT TAPPING	70				
			EPOXY-FILLED SPLIT SLEEVE	50				
			CLOCK SPRING	50				
			배관교체	0				
				0				

그림 4 ROF 결정을 위한 세부항목 (기계적 건전성)

분류	평가항목	점수	평가항목	점수	평가항목	점수	평가항목	점수
관	단열 → 가급 상향	100	음(건물, 양기적재물, 차량하중 등)	100	있음	100		
	단열 → 가급 상향	80	있음(임시적재물 등)	30	있음	0		
	단열 → 1차 상향	60	없음	0	없음	0		
	가급 → 가급 동일	20						
	단열 → 1차 동일	10						
	단열 → 2차 동일	0						
설	50% 초과	100	설계 미반영	100				
	50 ~ 60% 사이	80	설계 반영	0				
	40 ~ 50% 사이	40						
	40% 이하	0						
견	0.5m 이하	100	미 실시	100	2급	100	미 실시	100
	0.5 ~ 5m 사이	70	실시	0	1급	0	실시	0
	5 ~ 8m 사이	30						
	8m 이상	0						
운	30년 이상	100	문진입력 > Psafe	100	보수 필요	100	미 실시	100
	20 ~ 30년 사이	80	문진입력 < Psafe	0	검정관리	60	검정관리 필요	90
	10 ~ 20년 사이	50			관리필요	30	문진입력 적정	0
	5 ~ 10년 사이	20			양호	0		
	5년 이하	0						
보	있음	100	미보수	100	미 조치	100	있음	100
	없음	0	복합용접	100	검정관리	30	있음	0
			SPLIT SLEEVE	80	배관교체	0		
			HOT TAPPING	70				
			EPOXY-FILLED SPLIT SLEEVE	50				
			CLOCK SPRING	50				
			배관교체	0				
				0				

그림 5 ROF 결정을 위한 세부항목 (타공사)

항목 65개, COF 항목 4개에 세부항목 13개로 구성되어 있다. 그림 8~9는 RiskFree 위험성평가 결과 화면으로 결과 리포트와 그래프를 각각 나타내고 있다. 프로그램 개발 과정에서 시험구간을 선정(11km 구간)하

여 데이터를 입력하여 성공적인 평가결과를 얻을 수 있었다. 이 프로그램은 인텔리전트 피그 탐측결과를 입력하여 배관 기초데이터를 작성하도록 되어 있으며, 단관별로 자료를 입력하여 배관의 이력을 저장, 관리

## 가스배관 위험성평가 기술

ROF 평가항목 설정

분식: 20.0%    기계적건전성: 30.0%    타공사: 30.0%    인부관리: 20.0%    가중치합: 100%

제갈

분류	평가항목	점수	평가항목	점수	평가항목	점수	평가항목	점수
관	인사기록 불양호(직업 자격 없음)	100	인사기록 불양호(법정, 연막지반 없음)	50	있음	100	있음	100
	인사기록 불양호(법정, 연막지반 없음)	50		0	없음	0	없음	0
		0		0		0		0
방	누설검출기 설치	100	누설검출기 설치	100	누설검출기 설치	100	누설검출기 설치	100
	누설검출기 고장	0	누설검출기 고장	0	누설검출기 고장	0	누설검출기 고장	0
지	설계시 고려안됨	100	4층/층 이하	100	대형시	100	대형시	100
	설계시 고려	0	4층/층 이상	0	대형시 지역감시원 설치	100	대형시 설치	100
치	없음	100	대형시	100	없음	100	없음	100
	있음	0	대형시 시행	0	있음	0	있음	0
			도강구간없음	0	도강구간없음	0	도강구간없음	0

ROF 평가항목 설정    가중치: mab    비연대이더DB 선택안됨    00-06-30    오후 8:08

그림 6 ROF 결정을 위한 세부항목 (외부환경)

COF 평가항목 설정

99    중변안구 · 사고유형 · 누출크기    제갈

100.0%    완화 및 방지조치

위험항목	점수	완화 및 방지조치	가중치	
가	3.3	누설검지	25.0%	
나	2.2	간접저압	25.0%	
다	1.7	환기	25.0%	
사	2.0	비상시태 대비훈련	3.5%	
사	2.0	Confined Space Explosion	중급조치 계획	3.5%
사	2.0	Flame Jet	불진체계	3.5%
사	2.0	중급조치 실시의 적절운영 여부	3.5%	
나	1.5	전화번호의 업데이트	3.5%	
나	1.3	대규모 중환	3.5%	
나	1.2	소방소와의 협조체계	3.5%	
나	1.1			

COF 평가기준

COF 계산방식  
COF = ( 중변안구 · 사고유형 · 누출크기 )  
· 완화 및 방지조치

완화 및 방지조치 평가항목

완화 및 방지조치 (%)

- 누설검지 (%)
- 간접저압 (%)
- 환기 (%)
- 비상시태 대비훈련
- 중급조치 계획
- 불진체계 (%)
- 중급조치 실시의 적절운영 여부 (%)
- 전화번호의 업데이트 (%)
- 대규모 중환 (%)
- 소방소와의 협조체계 (%)

완화 및 방지조치 (%)	가중치
98% 이상	0.87
90 ~ 98% 사이	0.77
80 ~ 90% 사이	0.87
80% 미만	1

COF 평가항목 설정    가중치: mab    비연대이더DB 선택안됨    00-06-21    오후 4:55

그림 7 COF 결정을 위한 세부항목

할 수 있도록 구성되어 있다. 따라서 이 프로그램을 도입할 경우, 각 구간별로 가스배관 유지·보수 관리가 가능하며, 단관별 위험성평가 결과로 안전관리 투

자금액 중 최소의 비용으로 최대의 효과를 낼 수 있는 구간을 결정함으로써 최적의 의사결정 도구로써 활용이 가능할 것이다.

홍성경

RiskFree 결과표 (단관-위험도순)

**Comparison Report ( 단관-위험도순 )** 한국가스공사 배관망 위험성평가 Program (RiskFree)

홍성경사 | 열풍 ~ 김천B/V | 00-05-25

단관 번호	부식	기계적 건전성	타공사	외부환경	ROF	주변 인구	사고 유형	누출 크기	완화 방지	COF	전체 위험도	순위
1061	0.86	0.35	0.24	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	4.38	1
475	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	2
823	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	3
259	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	4
621	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	5
637	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	6
639	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	7
504	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	8
505	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	9
549	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	10
501	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	11
825	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	12
472	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	13
638	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	14
474	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	15
475	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	16
722	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	17
546	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	18
801	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	19
727	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	20
532	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	21
286	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	22
500	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	23
710	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	24
339	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	25
705	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	26
341	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	27
343	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	28
640	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	29
345	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	30
280	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	31
288	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	32
711	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	33
712	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	34
261	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	35
713	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	36
718	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	37
714	0.78	0.41	0.00	0.20	1.39	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.68	38
702	0.74	0.34	0.00	0.20	1.29	2.20	1.50	1.20	0.67	2.65	3.41	39

그림 8 RiskFree 결과 리포트

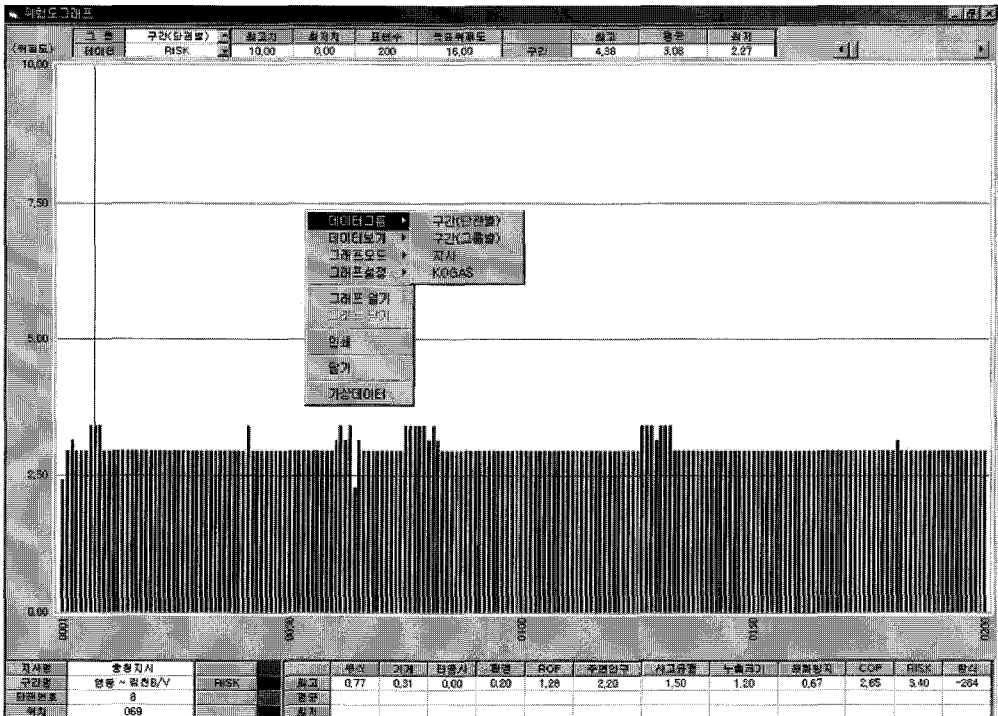


그림 9 RiskFree 결과 그래프

## 5. 배관 용접부의 안전성평가 방법

천연가스 수송용 배관은 경제성과 제작의 용이성을 고려하여 저합금 탄소강을 사용하여 제작되며 수송경로를 따라 용접한 후 매설된다. 이렇게 매설된 강관은 부식이나 매설지역 지반의 침하, 지하구조물과의 접촉, 지속적인 피로하중 등으로 인하여 결함이 발생하거나 함몰부위가 발생하는 사례가 빈번하다. 특히 배관용접부에 존재하는 균열은 그 선단에서의 특이성으로 인해 가스배관을 파손시킬 가능성을 가지고 있으므로, 가스 누출사고의 주범으로 인식되고 있다.

배관의 용접부 결함평가를 위한 기준은 크게 배관 파손방지를 위한 기본기준(Workmanship Standard; WMS)과 공학적 해석기법(Engineering Critical Analysis; ECA)에 기초한 사용적합성 형식기준(Fitness For Purpose; FFP)의 두 가지로 분류할 수 있다. WMS는 수십 년간의 현장경험과 전통적인 해석기법을 기초로 작성한 기준으로써 균열길이를 가장 중요한 인자로 평가하며, 배관의 안전에 대한 높은 신뢰성을 보장해 왔다. 특히 해석이 어려운 불확실한 부분에 높은 안전계수를 적용함으로써 안전성확보를 추구하는 매우 보수적인 기준으로 알려져 있다. WMS는 사고 위험도가 높은 지역에 배관을 설치하는 경우, 엄격하게 적용되는 신뢰성 높은 기준으로써 파괴역학 해석 없이 경험에 의존하여 배관의 허용 결함길이를 규정하여 보수 또는 사용 허용 여부를 결정한다. 이 기준은 배관에 작용하는 응력이나 파괴인성치 등을 고려하지 않고 검출된 결함 길이만으로 안전성을 판정함으로써 지나치게 보수적이다. 따라서 허용할 수 있는 결함의 크기나 종류는 안전성 확보 측면에서 매우 제한적으로 설정되었다. 대표적인 WMS 기준으로는 미국의 API 1104 (Welding of Pipelines and Related Facilities) Section VI와 한국의 KS B 0845에 기초한 산업자원부 고시 “배관의 용접 및 비파괴 시험기준” 등이 있다.

WMS의 보수적인 결함평가 기준은 매우 높은 신뢰도를 보장해 주는 반면, 기준 자체에 내포된 지나치게 높은 안전계수로 인하여 비경제적인 뿐 만 아니라 오

허려 불필요한 보수로 인한 재료의 강도저하 및 수명 단축 등을 야기할 수도 있는 것으로 알려져 있다. 이에 선진 각국에서는 결함평가를 보다 현실화하고 발견되는 결함의 길이 뿐 아니라 높이를 함께 고려하여 파괴역학적 해석을 수행하는 FFP형식의 ECA 평가법 개발에 주력하고 있다. ECA는 WMS의 지나친 보수성을 보완하기 위해 제정되었으며 배관에 작용하는 응력, 재료의 파괴인성치, 결함의 형상을 기초로 파괴역학적 해석을 수행하여 결함을 평가하는 방법이다. 또한 결함의 발생이 빈번한 특정부위에 대한 구체적인 해석기법을 개발하여 FFP형식으로 적용하는 것이 일반적이다. 가스배관의 경우 배관을 연결하는 원주방향 용접부에서의 균열발생이 빈번하여 이를 고려한 ECA 기준이 각국 별로 제시되고 있다. 원주방향 용접부 결함평가를 위한 대표적인 FFP형식의 ECA로는 영국의 BS 4515 App. H(1986), 미국의 API 1104 App. A(1994), 캐나다의 CSA Z662 App. K(1996) 등이 있다. ECA를 결함평가 기준으로 적용하기 위해서는 용접절차 인증 시험, 응력해석, 검사 등 복잡한 공학적인 해석절차가 필요하며, 결함의 허용기준을 설정하기 위해서는 많은 실험과 해석기술이 뒷받침되어야 한다.

## 6. 결론

2,000km가 넘는 한국가스공사 고압 주배관을 비롯하여 100,000km가 넘는 도시가스 매설배관에 대해서 본 고에서 소개한 위험성평가 절차를 적용하여 관리하면 서열화된 위험성평가 결과를 이용하여 효과적인 배관 안전관리와 안전관련 투자가 가능하게 된다. 한국가스공사 연구개발원에서 개발한 배관위험성평가 프로그램인 RiskFree를 소개하였다. 이 프로그램은 가스배관의 상대적 위험성평가 뿐 아니라 단관별 배관 관리가 가능하도록 구성되어 있으며, 선정구간에 적용하여 성공적인 평가결과를 얻을 수 있었다. 뒷부분에 사고의 원인이 되는 중요한 요소 중 하나인 배관용접부 결함에 대한 안전성평가의 기술적 경향에 대하여 기술하였다.