

## 석유화학 플랜트 배관의 건전성 향상을 위한 데드레그 안전관리 기술

이현창, 이서희, 임동호, 김태옥\*  
 디엔브이 지엘 코리아, 명지대학교 화학공학과\*

### Technical Risk Management for Deadleg to improve Integrity of Piping for Refinery and Petrochemical Plant

Hern Chang Lee, Seo Hee Lee, Dong Ho Lim, Tae Ok Kim\*  
 Risk Management Advisory of DNV GL Korea, Dept. of Chem. Eng. for Myongji University\*

#### 1. 서론

석유화학 플랜트는 누출이 발생할 경우 플랜트 내 뿐만 아니라 인근 주민에게 까지 영향을 줄 수 있는 잠재적인 위험을 가지고 있다. 그에 따라 석유화학 플랜트는 사고를 줄이기 위해 많은 노력을 기울임에도 불구하고 크고 작은 사고가 계속 이어지고 있다.

석유화학 플랜트는 설비의 노후화, 많은 열화 메커니즘, 대규모 및 복잡성 등의 문제로 인해 유지보수비용이 점차 늘어나고 있다. 그리고 부식성 유체가 포함된 서비스의 경우 부식성 물질로 인하여 배관의 내부에서 두께가 얇아지는 현상이 발생하게 되고, 특히 유체가 정체되는 구간에서는 고형화된 물질의 퇴적(deposits)과 같은 문제로 인해 부식이 더욱 촉진되는 경향이 있다. 즉, 데드레그(deadleg) 구간에서 부식으로 인한 문제는 증가하고 있는 추세이다.

그러나 국내의 경우 데드레그에서 발생하는 부식에 대해서는 부식으로 인한 위험을 정량적으로 평가하는 기준이 없을 뿐만 아니라 데드레그를 관리하기 위한 기준이 없는 실정이다. 또한 데드레그가 존재할 경우 데드레그로 인한 위험을 방지하기 위한 방지기술이 적절하게 이루어지지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 데드레그가 발생할 수 있는 부위를 선정하는 기법과 데드레그에 대한 최적화된 검사 및 위험을 완화하기 위한 관리기준을 제시하고자 하였다.

#### 2. 데드레그 관리 절차 수립

API[1]에서는 데드레그를 “일반적으로 흐름이 낮거나 중요한 흐름이 없는 배관 시스템의 컴포넌트(Components of a piping system that normally have little or no significant flow)”로 정의하고 있다.

Figure 1은 대표적인 데드레그를 나타낸 것으로서, 끝단이 막힌 가지 배관(blanked branches), 상시 닫힌 밸브 구간(normally closed block valves), 제어밸브의 우회구간(bypassing piping), 예비펌프 연결배관, 액위 브리들(level bridles), PRD 연결구간, 벤트(high point vents), 샘플링 구간(sample point), 드레인(drains), 블리더(bleeders), 그리고 계장 연결 구간 등이 대표적인 데드레그 구간이다.

데드레그를 관리하기 위해서는 다음의 절차에 의해 관리하여야 한다.

- 1) 데드레그의 확인 (Identification of deadleg)
- 2) 데드레그의 등록 (Record location of deadleg)
- 3) 데드레그의 분류 (Categorization of deadleg)
- 4) 위험등급 분류(Risk ranking)
- 5) 완화계획 수립(Mitigation Plan)
- 6) 완화계획의 적용(Implementation of mitigation plan)
- 7) 검사 및 리뷰(Inspection and Review)

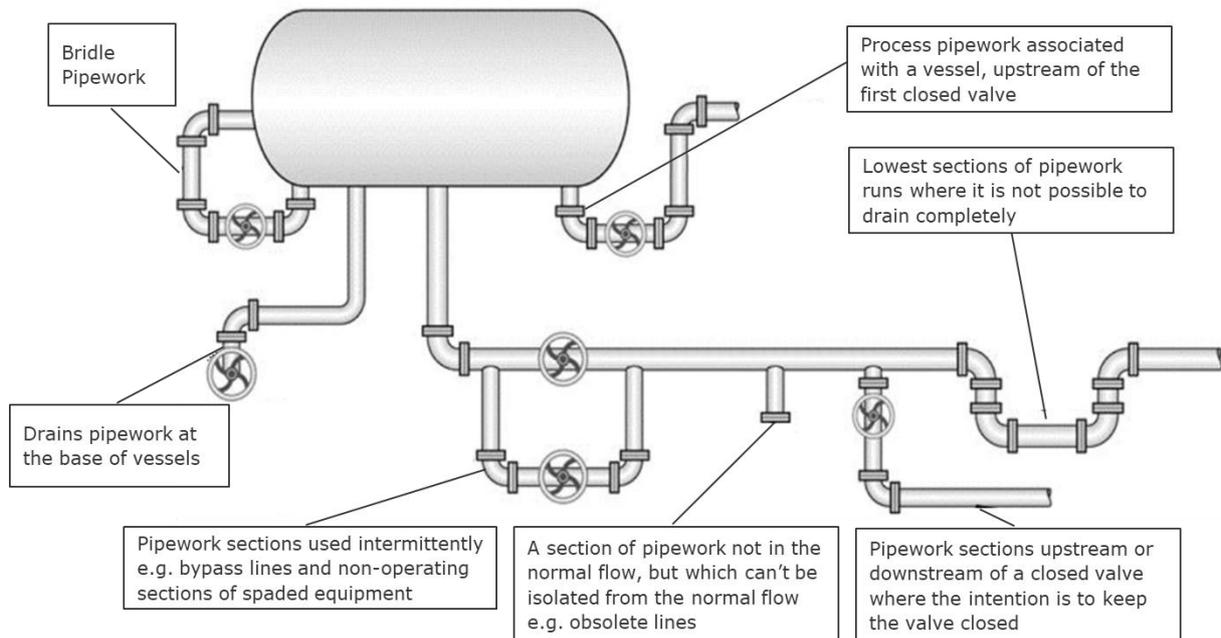


Figure 1. Typical deadleg from process flow

## 2.1 데드레그 확인

잠재적(potential) 데드레그는 공정엔지니어(process engineer)에 의해 확인되어야 한다. 즉, 공정 엔지니어는 P&ID와 ISO DWG(Isomeric drawing)을 기준으로 데드레그로 의심되는 구간을 P&ID와 ISO DWG에 표기한다. 그리고 공정엔지니어와 함께 설비보전엔지니어(Integrity Engineer)는 잠재적 데드레그를 검토하여 관리가 필요한 데드레그로 최종 결정한다.

## 2.2 데드레그 위치 등록

데드레그를 효율적으로 관리하기 위해서는 데드레그의 목록을 작성하여 데드레그가 표시된 P&ID와 ISO DWG를 함께 관리하는 것이 효율적이다. 데드레그의 목록은 사업장 특성에 따라 작성하는 것이 바람직하나 기본적으로 데드레그 번호, P&ID No., Line No., ISO DWG No., 데드레그 형태, 서비스 등은 포함하고 있어야 한다.

## 2.3 데드레그 분류

데드레그가 공정의 배관 및 설비와 함께 관리되고, RBI와 같은 기법을 이용하여 배관 및 설비의 POF (Probability of Failure)와 COF (Consequence of Failure)를 산출하였다면, 데드레그의 POF와 COF는 배관 및 설비와 동일하게 고려하여 사용할 수 있다.

그러나 배관 및 설비의 POF와 COF가 존재하지 않은 경우 데드레그의 POF와 COF는 별도로 여러가지 기법을 이용하여 산출하게 된다. POF를 평가하기 위하여 시스템의 잔여수명(remaining life), 데드레그의 검사효율(Inspection Efficacy), 데드레그 배관의 직경과 깊이의 비, 유속, 데드레그 방향 등을 고려하여 결정하여야 하고, COF를 평가하기 위해서는 생산손실(production loss), 화재/폭발에 의한 피해범위, 독성누출에 의한 피해범위, 환경피해영향 범위 등을 고려하여야 한다.

## 2.4 위험등급 분류

위험등급은 발생가능성(probability of failure)와 결과크기(consequence of failure)의 곱으로 결정한다. 위험등급을 판단하는 위험도행렬(risk matrix)은 API 580[2] 또는 API 581[3]에서 제공되는 위험도 행렬(5X5)을 일반적으로 사용하게 된다.

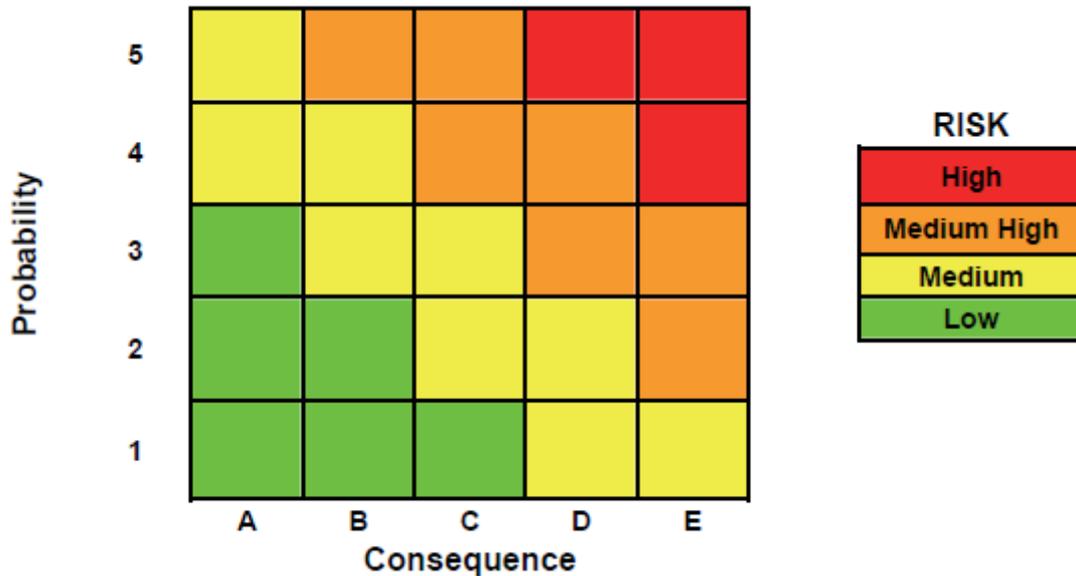


Figure 2. Typical risk matrix

### 2.5 완화계획 수립

데드레그에 대한 위험등급이 높은 경우 위험도(risk)를 낮추기 위하여 완화계획(mitigation plan)이 마련되어야 한다. 완화계획은 데드레그의 위험도와 우선순위에 근거하여 작성되어야 한다. 일반적으로 데드레그의 위험을 제거 및 완화하기 위하여 1) 데드레그의 제거, 2) 공정 설계의 변경, 3) 플러싱(flushing) 등의 방법을 사용하게 된다.

데드레그로 인한 위험을 제거하는 것이 가장 좋지만 공정 또는 유지보수를 위해 반드시 필요한 배관인 경우 제거는 사실상 불가능하다. 이 경우 데드레그의 길이를 최소화하여 변경하거나 부식에 내성이 있는 재질로 변경하거나, 또는 주기적으로 데드레그 구간 내에 존재하는 유체를 제거하여 퇴적물이 생성되는 것을 방지하여야 한다.

데드레그 구간에 대한 플러싱 주기는 공정의 특성을 고려하여야 하며, 서비스가 오염물을 많이 포함하고 있을 수록 주기는 플러싱 주기는 짧게 관리하여야 한다.

### 2.6 검사 및 검토

데드레그로 인한 위험을 완화하기 위해 적용되는 플러싱의 효율을 확인하기 위하여, 데드레그 구간의 부식 정도를 확인하기 위하여 데드레그 구간에 대해 비파괴검사(NDT)를 수행하여야 한다.

데드레그 구간의 비파괴검사 방법으로는 100% UT Scanning 또는 RT(Radiographic Examination) 등이 권장된다[4].

## 3. 사례분석

데드레그의 관리를 위하여 설비의 드레인 라인, 제어밸브 우회(bypass line), 배관의 드레인 라인, DBB연결 구간, PSV 구간, BDV 구간 등의 데드레그에 대하여 분석하였다. 각 데드레그의 위험 등급은 연결된 배관 및 설비의 위험등급으로 고려하였으며, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 불필요한 데드레그의 제거
- 2) 제거하지 못하는 데드레그에 대해서는 데드레그 구간을 최소화 또는 부식에 대해 내성이 있는 재질로 교체
- 3) 플러싱 주기 설정

Table 1은 배관의 Drain 구간에서 데드레그의 위험을 완화하기 위한 기준을 수립한 예이

다. 즉, 데드레그의 분석 결과를 Table 1과 비교하여 제거 또는 최소화가 필요한 데드레그 구간을 설정하여 설계에 반영할 수 있었으며, 각 데드레그 별 플러싱 주기를 최적화할 수 있었다.

Table 1. Mitigation plan for deadleg risk of drain line.

	Mitigation Plan	Remarks
High Risk	1. Confirm the requirement of drain at that location of main pipe. If not required drain line to be removed. 2. Move the 1st isolation valve close to main process pipe to remove deadleg 3. Replace drain piping up to first isolation valve with CRA. 4. Flush the deadleg during equipment shutdown	
Medium High Risk	1. Move the 1st isolation valve close to main process pipe to remove deadleg 2. Flush the deadleg during equipment shutdown	
Medium Risk	1. Flush the deadleg during equipment shutdown	
Low Risk	1. If risk is not ignorable, flush the deadleg during equipment shutdown	

#### 4. 데드레그 관리절차 개발에 따른 기대

국내 정유 및 석유화학 플랜트에서는 데드레그가 중요 사고원인 중의 하나임에도 불구하고 이를 관리하기 위한 절차 및 기준이 없었으며, 이로 인하여 데드레그 구간에서는 적절한 검사 및 관리가 이루어지지 못하였다. 이를 위해 데드레그의 관리를 위한 절차를 개발하였으며, 개발된 관리 절차를 통해 데드레그를 관리함으로써 플랜트 내에 존재하는 누출의 위험을 감소시킬 뿐만 아니라, 데드레그가 발생할 수 있는 부위를 선정하는 기법과 최적화된 검사 및 위험을 완화하기 위한 관리기준을 제시할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. API RP 570, Piping Inspection Code: In-service Inspection, Repair, and Alteration of Piping Systems, 4th Ed., February 2018
2. API RP 580, RP 580, Risk-based Inspection, 3rd Ed., February 2016.
3. API RP 581, Risk-based Inspection Methodology, 3rd Ed., April 2016.
4. API RP 574, Inspection Practices for Piping System Components, 4th Ed., November 2016