

RBI 기법을 이용한 NCC플랜트의 분해공정에 대한 위험도 평가

이재훈^{1,2}, 최송천^{1,*}, 한상인¹, 이창헌¹, 박교식¹, 김효²
¹한국가스안전공사 가스안전연구개발원, ²서울시립대학교 화학공학과
 (scchoi@kgs.or.kr*)

Risk Assessment of Cracking Process in NCC Plant using RBI Methodology

Jae-Hun Lee^{1,2}, Song-Chun Choi^{1,*}, Sang-In Han¹, Chang-Huon Lee¹, Kyo-Shik Park¹, Hyo Kim²
¹Institute of Gas Safety R & D., Korea Gas Safety Corporation
²Department of Chemical Engineering, The University of Seoul
 (scchoi@kgs.or.kr*)

1. 서론

API(American Petroleum Institute) 581 BRD에서 제시하는 RBI(Risk-Based Inspection)는 파손 확률(Likelihood Of Failure: LOF)과 파손피해(Consequence Of Failure: COF)를 고려하여 설비의 위험도를 평가하고, 이에 근거한 검사대상의 우선 순위를 결정하는 진단 기법이다. 본 연구에서는 KGS-RBI™ 프로그램을 이용하여 석유화학플랜트 중에서 주요한 원료를 생산하는 NCC(Naphtha Cracking Center) 플랜트의 분해공정(Cracking Heater Process)에 대한 위험도를 정량적으로 평가하였다.

2. 이론

RBI는 크게 정성적 평가와 정량적 평가로 나뉘며 평가 절차를 그림 1에 나타내었다.

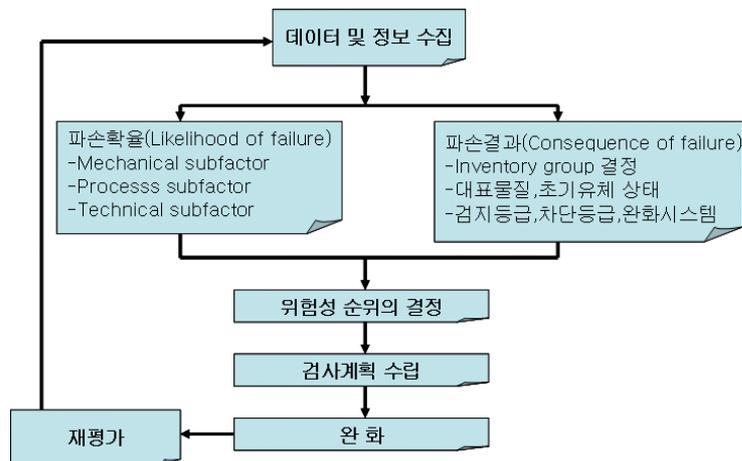


Figure 1. Schematic diagram of RBI procedure

정성적 평가인 파손확률 분석(likelihood analysis)을 위한 주요 고려 대상 인자로는 mechanical subfactor, process subfactor, technical module subfactor가 있다. Mechanical subfactor에는 배관에서 밸브, 가지(branch), 사출점, 연결라인 등의 수가 있으며, 압력용기는 노즐의 수를 기준으로 장치의 설계코드와 진동감시 장치의 유무를 선택하게 된다. 공정에 관한 사항

인 Process subfactor에는 계획적 또는 비계획인 운전의 정지와 관련된 내용과 stability 등급, fouling 경향 등과 부식성 운전 유무에 대한 내용들을 반영하여 분석한다.

Technical module subfactor는 검사이력과 손상기구가 관련이 있다. 손상기구에는 감육(thinning), 응력부식균열(SCC), 고온수소침투손상(HTHA), 가열로 튜브(furnace tube), 배관피로(piping fatigue), 취성파괴(brittle fracture), 라이닝(lining), 외부손상(external damage)으로 나뉜다.

정량적 평가 방법 중 파손결과(Consequence analysis)에 의한 피해 영향을 분석하기 위해서는 대표물질, 초기 유체상태, 독성물질 유무, 검지등급, 차단등급, 완화시스템 등이 필요하다. 또한 누출되는 양을 기준으로 파손 결과에 따른 피해를 계산하기 위해서는 장치의 차단 밸브(isolation valve) 사이에 존재하는 총 유체량에 대한 상한 값인 인벤토리(Inventory)가 고려되어야 한다. 인벤토리를 그룹화 하는 방법은 모든 평가 대상 설비가 포함되도록 하고 누출되는 기기와 연결되어 유체가 흘러갈 가능성이 있는 주변 기기들까지 포함하여야 한다. 이때 누출되는 양은 인벤토리 그룹 내의 어느 곳에서 파손이 발생한 경우 인벤토리 그룹에 들어있는 모든 유체가 방출된다고 가정하여 계산한다. 그림 2는 인벤토리 그룹을 구성하는 방법에 대하여 설명하였다.

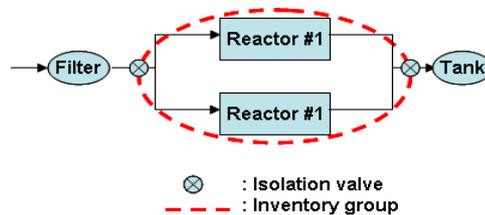


Figure 2. Constitution of inventory group

RBI에서 인벤토리 그룹에 대한 피해 범위의 정량적 평가를 위해서는 누출되는 최종 유체의 상(Phase), 누출 부위의 크기(Hole size), 누출 속도가 고려되어야 한다.

API 581에서는 모든 배관 및 압력용기에 대하여 표 1에서 나타낸 네 개의 표준 누출 부위의 크기를 갖는다고 가정한다. 본 연구에서는 NCC플랜트의 분해공정에 사용되는 파이프의 일반적인 크기가 2~6 inch이므로 누출 부위의 크기를 표 1의 대형(Large) 기준인 4inch를 적용하였다.

Table 1. Hole sizes used in quantitative RBI analysis

Hole size	Range(inch)	Representative value(inch)
Small	0 ~ 1/4	1/4
Medium	1/4 ~ 2	1
Large	2 ~ 6	4
Rupture	> 6	entire diameter of item, up to a maximum of 16inches

또한 누출 속도의 평가는 모든 누출을 두 가지 형태로 모델링하며 순간 누출인 경우 퍼프 모델(Puff release)을, 지속 누출인 경우 플럼모델(Plume release)을 사용한다. 누출 속도 및 모델식의 선택은 물질 초기 상태의 상(Phase), 공정 조건 및 물리적인 물성 값에 따라 달라진다. 따라서 누출되는 초기 상태를 결정하여야 하며 2상계(two-phase system)의 경우 다른 모델을 선택할 수 있으나 보수적으로 2상계의 경우 액체 상태로 가정한다. 누출에 의한 피해 범위의 결정은 가연성 유체의 경우 사건수목(Event tree)에 의해 이루어지며, 사업상의 피해 위험성은 가연성 피해 범위의 함수로 결정된다. 환경에 대한 피해 범위는 누출량 또는 누출 속도로 부터 직접 결정된다. 피해 범위의 계산은 대기 확산 및 피해 범위를 모델링하는

위험물해석 프로그램에 의해 결정되는 것이 일반적이다. KGS-RBI™ 프로그램은 가연성 가스의 피해범위 결정 방법을 API 581에서 정하는 모델을 따랐으며 API 581에서는 공정 온도가 자연발화 온도+80°F 미만이라면 자연발화 발생 가능성이 없다고 가정한다. NCC플랜트의 분해 공정에 사용되는 대표 물질로는 C1~C2, C3~C4, C5, C9~C12, C13~C16, H2 등이 있으며 표 2는 그 중에서 C9~C12 및 H2에 대하여 적용된 누출 모델을 나타내었다.

Table 2. Release consequence equations

Material & Auto ignition		Continuous release(ft ²)				Instantaneous release(ft ²)			
		Final phase gas		Final phase liquid		Final phase gas		Final phase liquid	
		Area of equipment damage	Area of fatalities	Area of equipment damage	Area of fatalities	Area of equipment damage	Area of fatalities	Area of equipment damage	Area of fatalities
C ₉ ~C ₁₂	Likely	A=12.0x ^{0.98}	A=29.0x ^{0.96}	A=130x ^{0.90}	A=373x ^{0.89}	A=7.1x ^{0.66}	A=13x ^{0.66}	A=3.3x ^{0.76}	A=9.5x ^{0.76}
	Not likely	A=391x ^{0.95}	A=981x ^{0.92}	A=560x ^{0.95}	A=1401x ^{0.92}	A=281x ^{0.61}	A=988x ^{0.63}	A=6.0x ^{0.53}	A=20x ^{0.54}
H ₂	Likely	A=198x ^{0.992}	A=614x ^{0.933}			A=545x ^{0.657}	A=982x ^{0.652}		
	Not likely	A=198x ^{0.992}	A=614x ^{0.933}			A=1430x ^{0.618}	A=982x ^{0.652}		

주) x는 전체 누출속도[lb/sec], A는 면적[ft²]

3. 실험

NCC플랜트는 분해, 급냉, 압축, 정제공정으로 이루어져 있으며 공정도를 그림 3에 나타내었다. 본 연구에서는 배관을 포함한 514개 기기로 이루어진 분해공정에 대한 파손확률 및 피해 영향을 계산하였다. 분해공정은 원료인 탄화수소에 DS(Dilution steam)를 주입하고 고온으로 가열하여 수소, 메탄, 에틸렌, 프로필렌 등으로 열분해 하는 장치로 운전 온도는 840℃, 압력은 125kg/cm²이며 다른 공정에 비해서 운전 온도 및 압력이 상대적으로 가혹하기 때문이다. KGS-RBI™을 이용한 정량적 피해범위 분석 절차는 API 581에서 제시한 대로 그림 4와 같다.

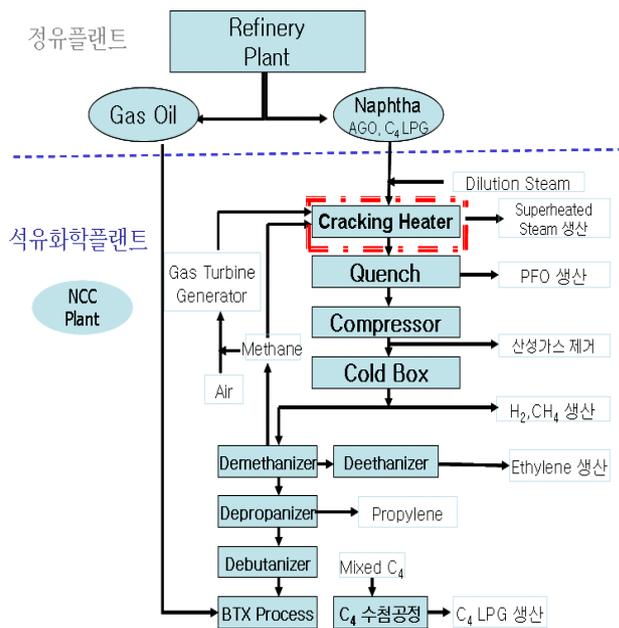


Figure 3. Schematic diagram of NCC plant

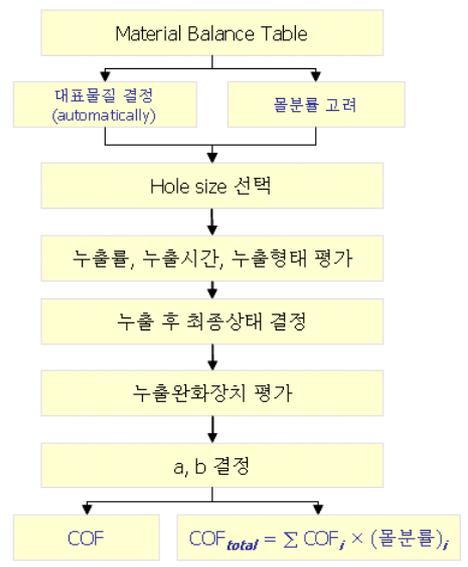


Figure 4. Consequence of Failure procedure

4. 결과 및 토론

분해 공정 전체에 대한 위험 순위 및 분포를 그림 5에 나타내었다. 대상 플랜트의 위험 순위는 High의 경우 3%로 나타났으며 Medium High는 36%로서 이는 분해 공정이 상대적으로 가혹한 운전 조건임에도 불구하고 밸브, 가지(branch), 사출점, 연결라인 등의 수가 적고 반응기, 열교환기, 드럼 등의 장치 위주로 구성된 결과로 보인다.

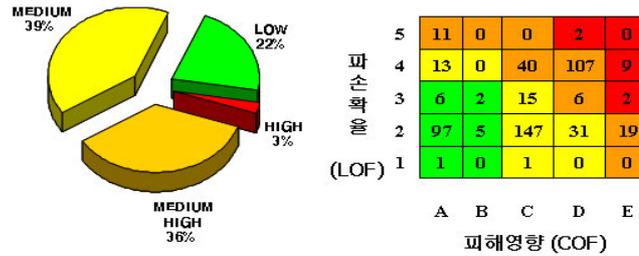


Figure 5. 5x5 Risk matrix and risk ranking

누출을 지배하는 누출 부위의 크기를 대형인 4 inch로 가정하였을 때 API 581에서 제시하는 모델링식을 적용하였을 경우 누출량이 증가할수록 누출 범위가 증가함을 확인 할 수 있었다. 그림 6은 누출되는 유체의 속도와 누출량에 따른 위험 범위를 NCC플랜트에 적용하여 나타낸 것으로 누출속도 및 누출량이 많을수록 위험 범위가 넓어짐을 알 수 있었다

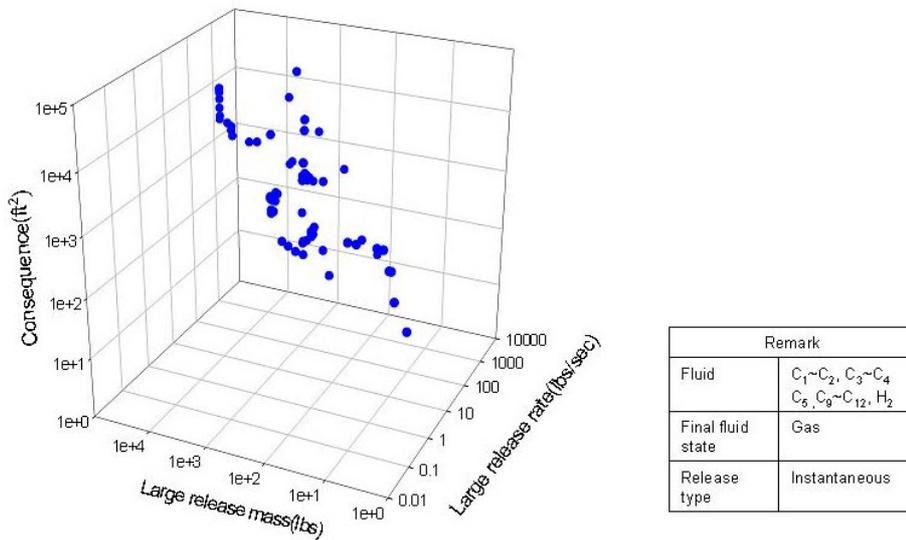


Figure 6. Consequence of release rate and mass

5. 참고문헌

1. API, 2000, "Risk-Based Inspection Base Resource Document", *API Publication 581*, 1st edition.