

K-PSR 기법을 활용한 회분식 폴리에스터 축합반응에서의 공정 위험성 평가 연구

박경민¹, 이동규¹, 이학일¹, 이준만², 안원솔^{1*}

¹계명대학교 화학공학과

²영남이공대학교 화장품화공계열

Process Risk Assessment for a Batch Condensation Reaction of Polyester Resin using K-PSR Technique

Kyung-Min Park¹, Dong-Kyu Lee¹, Haakil Lee¹, Joon-Man Lee², Won-Sool Ahn^{1*}

¹Department of Chemical Engineering, Keimyung University

²Division of Cosmetics Chemistry, Yeungnam University College, Daegu 705-703, Korea

요약 회분식 축합반응에 의하여 폴리에스터 수지를 제조하는 중·소규모 화학 공장에 대하여 공정안전관리제도 (PSM)의 시행에 활용되는 위험성평가 방법들 중의 하나인 K-PSR 기법을 이용하여 위험성 평가 및 분석을 진행하였다. K-PSR 기법은 중·소규모 화학공장에 대한 위험성 재평가 시에 나타나는 인프라 부족에 의한 어려운 점을 보완하기 위하여 KOSHA에서 개발한 위험성 평가 기법이다. K-PSR 기법을 적용하기 위하여 선택된 화학 공장의 전체 공정을 축합반응공정과 회석/여과 공정의 2 개의 검토구간을 설정하고, 이에 대한 4가지 가이드워드(누출, 화재·폭발, 공정 트러블, 및 상해)를 기초로 하여 공정상의 잠재위험을 찾아내어 분류하였다. 연구의 결과로서, 위험도 등급을 고려한 안전조치로는 첫째, 누출 및 화재·폭발의 잠재 위험성을 예방하기 위한 구체적인 조치로서는 노후설비에 대한 비파괴 검사 및 전기설비의 LOTO 절차서의 마련이 반드시 필요한 것으로 확인되었다. 둘째, 열매체 공급 배관에는 압력계 및 온도계를 설치하여 공정 트러블을 최소화하고, 마지막으로 국소배기장치를 설치하여 잠재적인 상해를 예방해야 함을 알 수 있었다.

Abstract Risk assessment and analysis for a medium-to-small sized chemical plant that manufactures a polyester resin by the process of batch-type condensation reaction was conducted using K-PSR technique which is one of the risk assessment methods used to implement the Process Safety Management System (PSM). K-PSR is a risk assessment technique developed by KOSHA to compensate for difficulties caused by the lack of infrastructure of medium-to-small sized chemical plants in the re-evaluation. To apply the K-PSR technique, the entire process of a selected chemical plant was classified in two review sections, i.e., the condensation reaction process and the dilution/filtration process, and the potential risks of the process about these review sections were identified and classified based on the four guide-words (release, fire.explosion, process trouble, and injury). As the results of the research, refer to recommend of risk rating has been confirmed that non-destructive testing of old facilities and the preparation of LOTO procedures for the electrical equipments are necessary as specific measures to prevent the risk of release and fire-explosion. It was also shown that pressure gauges and thermometers should be installed on the hot-oil supply piping to minimize the process trouble, and exhausting hood should be installed to prevent potential injury.

Keywords : Batch Process, Condensation Reaction, K-PSR, Polyester Resin, PSM

*Corresponding Author : Won-Sool Ahn(Keimyung Univ.)

Tel: +82-53-580-5358 email: wahn@kmu.ac.kr

Received December 31, 2018

Revised January 30, 2019

Accepted March 8, 2019

Published March 31, 2019

1. 서론

화학 공장에서의 화재·폭발 등의 중대 사고 예방을 위한 관심은 1980년 중반부터 미국 및 EU 연합에서 적극적으로 검토되어 1990년에 법제화되어 시행되고 있다. 국내에서도 1996년부터 공정안전관리 (Process Safety Management, PSM)제도를 시행하고 있으며, 관리 기준이 지속적으로 강화되어 4년 주기로 이행 실태 점검을 실시하고, 이를 통해서 공정 안전 문화의 정착에 많은 노력을 기울이고 있다[1]. 이 PSM 제도에서는 정성적 또는 정량적 방법을 이용하여 공장의 공정설비를 포함한 전체 공정에서의 위험성 평가 (Risk Assessment)를 반드시 실시하도록 하고 있으며, 이를 중하게 취급하고 있다.

이러한 공정 안전 위험성을 평가하는 방법으로서 대개의 화학 공장에서는 정성적 평가 방법을 사용하고 있으며, 대표적인 예로서 위험과 운전성 분석 (Hazard and Operability study, HAZOP) 기법이 있으며 기초 설계·설치 단계를 평가할 때나 재평가를 실시할 때에도 많이 활용되고 있다. 이 기법은 공정 배관 계장도 (Pipe&Instrument diagram, P&ID)를 바탕으로 각 검토 구간에 대한 공정 위험성에 대하여 평가자의 오랜 경험과 전문 지식을 바탕으로 분석하게 된다. 따라서 대규모 화학공장일 경우에는 이 기법을 적용할 수 있는 인적 자원이나 환경, 교육 시스템 등의 여건이 마련되어 있으므로 가능하지만, 중·소규모 화학 공장의 경우에는 현실적으로 많은 어려움이 있을 뿐만 아니라 평가 시간이 오래 걸리는 문제점이 있다[2]. 이러한 현실적인 문제점은 국내 중·소규모 화학 공장의 PSM 평가 등급 결과에서 63%가 M+ 또는 M- 등급에 속하는 경우가 대부분인 것을 살펴보면 잘 알 수 있다[3]. 한국산업안전공단 (Korean Occupational Safety & Health Agency, KOSHA)에서는 이러한 점을 개선하기 위하여 1차 (설계·설치 단계) 위험성 평가는 HAZOP 기법을 이용한 평

가로 진행하고, 공정상의 안전성에 대한 재평가 또는 분석을 진행하는 경우에는 공정 안정성 분석 기법 (KOSHA Process Safety Review, K-PSR)을 활용할 수 있도록 평가 방법을 마련하여 권장하고 있다[4].

한편, 국내의 많은 중·소규모 화학 공장에서는 소량 다품종 제품을 제조하는 회분식 반응공정 (Batch reaction process)을 적용하는 경우가 대부분이고, 이 반응공정은 동일한 반응기를 사용하여 취급 물질과 작업 공정이 자주 변경되기 때문에 잠재적인 사고 발생 위험성이 높다[5]. 본 연구에서는 이와 같은 점에 주목하여, 경남지역의 중·소규모의 화학 공장 중에서 회분식 축합 반응공정 (Batch Condensation Reaction Process)에 의하여 만들어지는 폴리에스터 (Polyester) 수지 제조 공장을 선정하여 위험성 평가를 진행하였다. 공장의 현실적 사항들을 고려하여 위험성 평가 시의 평가 인원, 시간, 보고서 분량 및 교육 등을 줄일 수 있는 K-PSR 기법을 적용하기로 하고, 실제 사고와 연관될 수 있는 현장 조업 사항을 고려하여 설계적인 측면보다는 현실적인 측면에서의 잠재적 위험성을 평가하여 개선 계획을 제시하고자 하였다.

2. 본론

2.1 K-PSR 위험성 평가

K-PSR 기법은 정성적 위험성 평가 방법 중의 하나로써 영국 ICI사에서 제시한 PHR (Process Hazard Review) 기법을 기초로 하여 KOSHA의 주도하에 국내에서 2006년 자체 개발한 방법이다. 이 기법은 설치가 동 중인 기존 화학 공장의 공정 안정성을 재검토 (Review) 시에 활용되며 위험성 분석의 결과를 간단한 워크시트의 형태로 나타낼 수 있는 장점이 있다. 또한, 실제 현장에서 많이 발생하고 있는 화재·폭발 및 누출 사

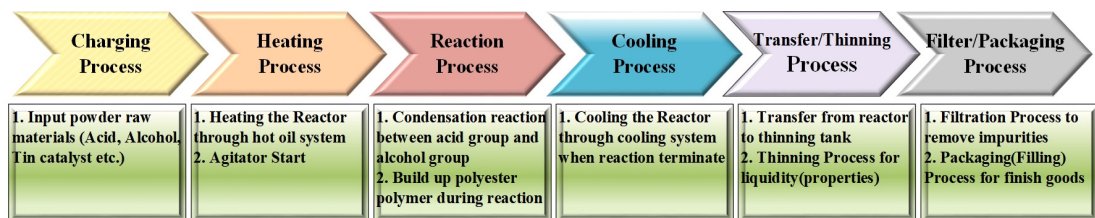


Fig. 1. Typical condensation process flow diagram for polyester resin

고와 공정 변수들의 오조작에 의한 공정 트리플 및 상해 메커니즘을 중점적으로 분석하여 잠재적 위험의 원인을 분류하고 이에 대한 가이드워드 (Guide words)를 제시하고 있다[4].

K-PSR 기법은 HAZOP 기법과는 달리 검토구간 (Study Node)의 이탈 (Deviation)에 대한 평가가 아니라 큰 공정의 단위로 묶어서 위험성을 평가하기 때문에 평가 시 복잡하지 않은 장점이 있으며, 기존의 정성적 위험성 평가 절차와도 유사할 뿐 아니라 중·소규모 화학 공장 에서 평가하기에 가장 적합하다.

2.2 대상공정 선정 및 K-PSR 위험성 평가

2.2.1 폴리에스터 수지 제조공정

폴리에스터 수지는 산-알콜의 반응에 금속 촉매를 원료 사용하여 상압, 고온(180 ~ 230℃)에서의 축합 반응에 의하여 이루어진다. 실제 공정에서는 만들어진 고분자를 용도에 맞도록 용제로 희석하는 공정과 반응 중에 생성되는 물과 일부 미반응된 알콜류 모노머를 디켄

터 (Decantor)로 받아서 제거하는 공정도 포함된다.

이러한 폴리에스터 수지 주요 제조 공정은 몇 개의 단위 공정으로 구분할 수 있으며, Fig. 1의 공정 흐름도에서 보는 바와 같이 사입 (Charge), 승온 (Heating), 반응 (Reaction), 냉각(Cooling), 이송/희석 (Transfer/ Thinning) 및 여과/포장 (Filtration/Packaging) 공정으로 구분할 수 있다.

한편 축합 반응공정에서의 중요한 위험 특성을 살펴 보면, 고온에서 작업하는 공정이 대부분이므로 원료 및 열매체유가 누출될 경우의 안전 조치 지연으로 인한 화재위험이나, 이상 반응 등으로 반응기 내부의 젤화 (Gelation)가 되어 교반기 과부하로 발생할 수 있는 화재 등을 예상할 수 있다.

2.2.2 폴리에스터 수지 제조공정의 K-PSR 평가

Fig. 2에는 K-PSR 평가를 진행하기 위해서 선정된 국내 소재의 폴리에스터 수지 제조회사 ((주) **화학)에서의 회분식 제조공정 설비계장도 (Utility Flow diagram,

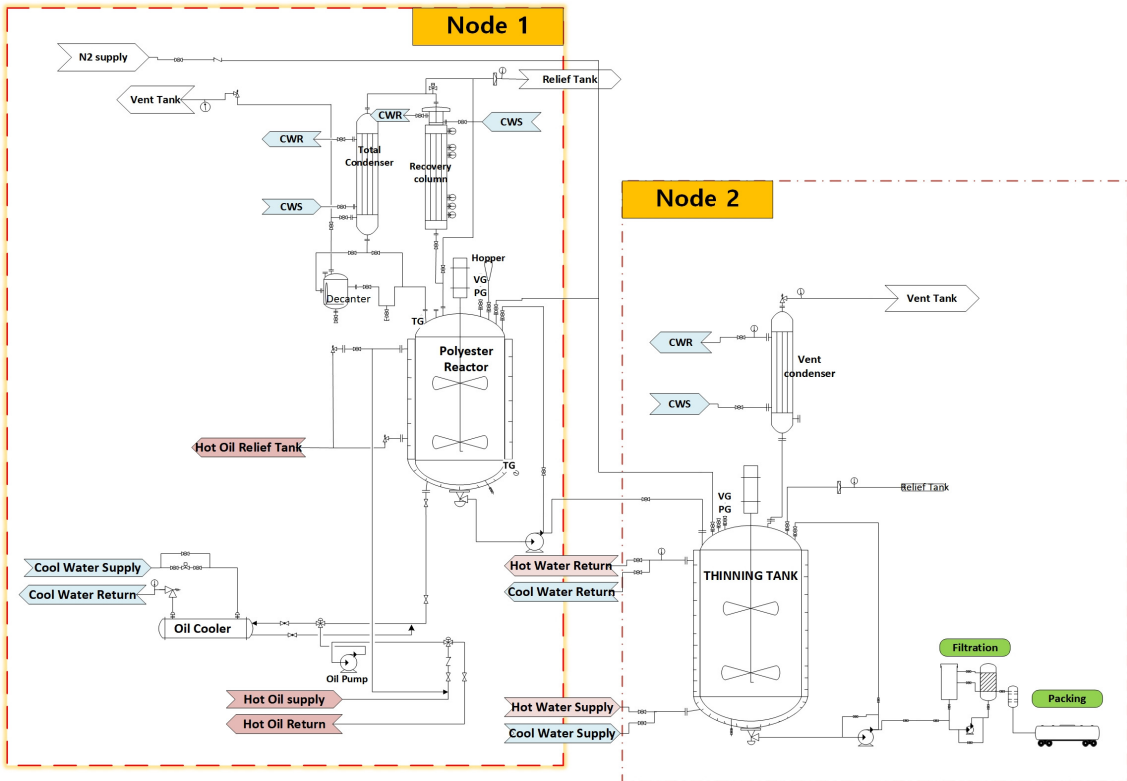


Fig. 2. Utility flow diagram of condensation reaction process for polyester resin

UFD)를 나타내었다. Fig. 2의 그림에서 보이는 Node 1 및 Node 2는 평가를 진행하기 위하여 검토구간 (Study Node)을 구분하여 설정한 것이며, Node 1은 축합 반응 공정, Node 2는 회석/여과 공정을 각각 설정한 것이다.

한편 K-PSR 평가를 진행하기 위하여서는 먼저 위험 형태와 원인을 바탕으로 하여 만들어진 누출, 화재·폭발, 공정 트러블, 및 상해의 4가지로 표현되는 가이드워드 (Guidewords)를 기초로 하여 각 위험형태와 원인에 대하여 공정상의 잠재위험을 찾아내어 분류하여야 한다. Table 1에는 4가지 위험형태와 원인에 대하여 평가·분석한 잠재위험 요소를 분류한 것으로, 누출(Release)의 원인은 부식(Corrosion), 침식(Erosion), 누설(Leak) 등으로, 화재·폭발(Fire & explosion)의 원인은 물리적 과압(physical overpressure), 취급제한 화학물질 사용과 분진(Handling limit chemical material and dust) 및 점화원(Ignition source) 등으로 분류하였다. 또한, 공정 트러블(Process trouble)은 조업상의 문제(Operation trouble), 원료물질의 이상 (Raw material trouble) 등으로, 상해(Injury)는 물리적인 불안전한 상태 (Unsaftey condition), 사람의 불안전한 행동 (Unsaftey behavior of human error) 등으로 분류하였다. 공정에서 일어날 수 있는 이들 각각의 잠재위험 요소들에 대한 세부 위험요소들도 표에 함께 나타내었다.

Table 1의 분류를 기반으로 하여 위험성 평가를 완성하기 위한 다음 단계에서는, 각 공정 검토구간에 대하여 4가지 위험형태로부터 발생할 수 있는 잠재위험요소들로부터 예측되는 사고를 원인-결과 (Cause-Consequence)로 도출하게 된다.

또한, 해당 잠재위험요소 및 원인-결과에 대한 주요 쟁점 사항이 회사에 있는 경우에는 관련 문제 사항 (Problem & Concern)으로 도출하게 된다. 마지막 단계로는 사고 예방을 위하여 공장에서 현재 설치되어 있는 안전장치 또는 그 역할을 하고 있는 안전조치사항 (Safeguards)을 분석하여, 이러한 안전조치 사항에도 불구하고 미흡하다고 판단되는 부분은 개선권고 사항 (Recommendations)으로 도출하게 된다.

한편, 본 연구에서는 정성적 위험성평가에 대하여 정량적인 요소를 추가하고, 잠재적 사고에 대한 인식을 높이고 개선사항에 대한 빠른 검토가 이루어질 수 있도록 HAZOP 평가에서 사용되는 위험성 등급표를 활용하여 K-PSR 위험성 평가 결과표에 별도로 추가하였다.

Table 1. Hazard guide words for K-PSR

Hazard Guidewords	Causes/ Problem	Detail cause/problems
Release	Corrosion	In/Out or stress corrosion, Creep, Thermal repetition
	Erosion	Metal fatigue, crack, quake
	Leak	release out of flange, valve, pump, spill, house, tank
	Etc.	Missile effect, Sightglass rupture, etc.
Fire & Explosion	Physical overpressure	Inlet/Outlet valve close, relief system failure
	Limit chemical and dust	Fire of flammable mixture, runaway reaction, catalyst failure, composition change by pollutant
	Ignition source	Static, Spark, welding, friction heat, radiation, vehicles, flare
	Etc.	Air contact, fuel trouble, etc.
Process trouble	Operation	Failure of temperature, pressure, concentration, pH, stir, In-process, sequence, cooling, operator error
	Material	Raw material and catalyst
	Etc.	Otherwise
Injury	Unsaftey condition (physical)	Defect from Oneself, safety guard, operating condition
	Unsaftey behavior (human error)	Hazard area access, unsaftey condition/position, material handling, communication failure etc.
	Etc.	Otherwise that can't classify

HAZOP 평가에서의 위험도등급(R) 분석을 위한 등급 대조표 설정은 각 사업장의 실정에 맞도록 규정하고 있으므로[6], 여기서는 위험도 등급 기준은 KOSHA의 위험과 운전분석[7,8] 및 위험성평가 실시를 위한 우선순위 결정 기술지침[9]을 참고하여 위험도 순위를 결정하였다.

사고 발생 빈도 (Likelihood)는 Table 2에서 나타낸 바와 같이 사고 발생 횟수와 기간을 기준으로 빈도 수준을 4등급으로 구분하였고, 위험강도(Severity)는 Table 3과 같이 인적, 물적, 조업 중지 등을 고려하여 ‘경미 (Low)’, ‘보통 (Intermediate)’, ‘중대함 (Extremely)’ 및 ‘치명적 (Extremely High)’의 4등급으로 구분하였다.

Table 2. Likelihood (L) Criteria

Like hood (L)	Description
4	Very likely : could happen frequently (1 time/month)
3	Likely : could happen occasionally (1 time/year)
2	Unlikely : could happen, but rarely (1 time/5 year)
1	Very unlikely : could happen, but probably never will (1 time/10 year)

Table 3. Severity (S) Criteria

Severity (S)	Description
4 (Extremely High)	Victims: Deaths - more than 1 person Injuries - more than 2 person (Loss day - More than 101 days) Facilities damage : More than 100 million won Decommission : More than 20 days
3 (Extremely)	Victims: Injuries more than 1 person (Loss day - Below 31 ~ 100 days) Facilities damage : More than 10 million won and less than 100 million won Decommission : More than 1 and less than 20 days
2 (Inter-mediate)	Victims: None (Loss day - Below 30 days) Facilities damage : Less than 10 million won Decommission : Less than 1 day
1 (Low)	Victims: None (No loss day) No damage of operability and safety

Table 4. Risk (Severity and frequency matrix) Criteria (R)

Section	Severity			
	1	2	3	4
Likelihood	1	2	3	4
4	2	3	4	5
3	2	3	4	4
2	1	2	3	3
1	1	1	2	2

사고 발생 빈도(L)를 나타낸 Table 2와 위험강도(S)를 나타낸 Table 3을 조합하여 Table 4에서 나타낸 바와 같이 5 단계의 위험도 등급으로 설정하였다. 위험등급 1 및 2 등급은 허용가능한 위험 등급으로서 특별한 완화 및 제거 조치가 필요 없는 것으로 가정한다. 위험등급 3과 4 등급은 As Low as Reasonably Practicable (ALARP) 원칙에 따라 운전 및 관리 측면에서의 위험을 완화하거나 제거하기 위한 권고 사항 내용 등으로 위험 감소 활동을 실시하는 것으로 설정하였고, 위험 등급이

5등급인 경우 위험작업을 즉시 중단하는 허용 불가한 위험등급으로서 즉시 개선 활동을 실행하는 것으로 설정하였다. 따라서 Table 4의 위험 등급표에 따라 위험 등급이 3 ~ 5 등급으로 판정된 항목은 2등급 이하로 반드시 낮추어야 하며, 이러한 점을 고려하여 위험등급 3 이상의 항목들에 대해서만 우선적으로 위험성에 대한 개선권고사항을 제시하도록 하였다.

2.3 K-PSR 위험성 평가 결과

Table 1을 기반으로 하여 Node 1 및 Node 2에 대한 K-PSR 평가 분석 절차에 따라 검토 분석 결과를 정리하여 Table 5에 나타내었다. 또한, 최종적인 결과에 따른 안전조치를 결과표로 정리하였다[10]. 표에서 보듯이, Fig. 1에서 공정별로 나는 2개의 검토구간에서 발생할 수 있는 사고 위험요소를 원인-결과로 도출하였고, 해당 잠재위험 및 원인-결과 사항에 대한 주요쟁점 사항을 관련 문제 사항으로 도출하였다. 또, 사고 예방을 위하여 공장에서 현재 설치된 안전장치 또는 안전장치 역할을 하는 안전조치 사항을 파악하여, HAZOP 평가 기법의 위험도 등급 분류방법을 별도로 적용하여, 3등급 이상으로 판정된 위험등급에 대하여서만 개선권고사항을 우선적으로 마련하였다.

4가지 위험형태에 대하여 원인-결과로 도출된 각각의 사항에 대하여 개선권고사항, 안전조치사항을 도출할 수 있고, 위험등급에 따른 개선권고사항이 일목요연하게 정리되어 있음을 알 수 있다. 예를 들어 Node 1에서의 누출에 의한 위험요소들에 대한 원인-결과 항목은, ‘교반기 내의 기계적 씰 (Mechanical seal)의 파손 시에는 반응기 내부의 증기가 누출되어 환경오염 및 작업자 건강 장애가 발생할 수 있다’와 ‘반코일 재킷(half coil jacket)의 용접 부위 크랙으로 인한 고온의 오일 누출 시에는 작업장 오염의 위험이 발생할 수 있다’의 두 가지 항목이 도출되며, 이에 대한 각각의 개선권고사항, 안전조치사항, 및 위험도 등급 4에 따른 개선권고사항이 구분되어 도출되어 있다. 또한, Node 2에서의 누출에 의한 위험요소들에 대한 원인-결과 항목은, ‘수지/용제 이송 파이프의 차단 밸브가 닫혀있는 상태에서의 이송 시 압력 펌핑에 따른 압력 증가로 파이프 파열로 인한 누출’로 도출되며 이에 대한 개선권고사항, 안전조치사항, 및 위험도 등급 4에 따른 개선권고사항이 도출되어 있다.

Table 5. Risk assessment results by using K-PSR

Hazard Guide words	Cause-Consequence	Problem-Concern	Safeguards	S	L	R	Recommendation
Release (Node 1)	Risk of environmental contamination and operator health due to release of solvent vapor on mechanical seal in agitator	None	1) Periodic patrol of operator 2) Installed explosion proof type of agitator motor 3) Installed of LS & LAL on seal port	3	3	4	Reflect emergency action scenarios, such as safety measures, in the event of steam leakage in the reactor when mechanical seal breakage
	Risk of environmental workshop from release of hot oil system due to crack of weld zone on half coil jacket	Obsolete equipment for 20 years	Periodic patrol of operator	4	3	4	Non-Destructive Test(NDT) & Corrosion under insulation(CUI) test of half coil jacket on reactor
Fire-Explosion (Node 1)	Fire&Explosion due to nitrogen gas supply interruption or over oxygen concentration for purge in reactor	Obsolete of N2 pipe line and leak of connect line	1) Leak test 2) Periodic patrol of operator 3) Installed pressure gauge on reactor	3	2	3	Installation flow meter and pressure indicator gauge on pipe line of nitrogen gas supply
	Fire&Explosion due to increased vent pressure or gelation due to increased temperature by TCV malfunction	PSE pressure check	1) Temperature indicator gauge on reactor 2) Pressure indicator gauge on reactor	4	1	3	Installation temperture indicator gauge In-line and Out-line of TCV
Process trouble (Node 1)	Process delay due to heating/cooling supply problem with failure of hot oil boiler or oil cooler system	None	1) Operator training 2) Installed temperature indicator on reactor	2	3	3	Installation pressure & temperature indicator gauge on pipe line of hot oil/oil cooler system
Injury (Node 1)	Suffocation accident due to lack of oxygen in reactor when entering an confined space for inspection and repair in the reactor	None	1) Measurement of oxygen concentration in confined space prior to operation 2) Groups of two when entering or exiting wok in confined space	4	2	4	All reactors connected to nitrogen gas supply piping are subject to confined space safety permit, and work permit procedure and instruction are provided
Release (Node 2)	Leak due to pipe ruptre due to pressure increase during pressure pumping while shutoff valve on pipe during resin / solvent transfer to vessel	- pump type : Gear pump	1) Installed relife valve on Pump 2) Installed pressure gauge on pumping booth	4	2	4	Installation of Trench (Release prevent facility) to consider vessel capacity in workshop
Fire-Explosion (Node 2)	Fire&Explosion by static due to failure to ground the solvent handling contain	200 KG Drum handling	1) Do bonding/grounding when drum handling 2) Wear anti-static shoe and clothes	3	4	4	1) Add anti-static agent in solvent
	Fire&Explosion caused by ignition source when replacing electrical equipment such as tank light outside the reactor with flammable steam leaking from the tank forming an explosion atmosphere	None	1) Measure the combustible gas concentration before electrical operation 2) operator safety training	4	3	3	1) Installation of gas detector in explosion area 2) Add light replacement procedure on reactor by LOTO procedure
Process trouble (Node 2)	Product problem due to poor cleanup of thinning tank caused by mixed other products	None	1) Prepare Standard process procedure 2) Operator verification according to process	2	4	3	Prepare the compatibility matrix table by each products
Injury (Node 2)	Risk of respiratory disease du to dispenser scattering in packaging container openings	Packing product temp. : Below 70C	1) Wear respiratory protection 2) Regular measurement of local exhaust flow	2	3	3	Installation of canopy type local exhaust system on top of opening

3. 결론

폴리에스터 수지 제조를 위하여 회분식 축합 반응공정을 이용하는 국내 중·소규모 화학 공장 중에서 잠재적인 사고 발생 위험성이 높은 반응공정을 선정하여, 공정 위험성 재평가 시에 발생할 수 있는 위험성을 최소화하기 위한 위험성 평가 연구를 진행하였다.

K-PSR 기법을 적용함으로써 기존의 HAZOP 평가보다는 다른 시각에서 좀 더 용이하게 위험성 평가 및 개선 사항들을 도출할 수 있었으며, 연구의 결과로부터 다음의 사항들을 도출할 수 있었다.

- 1) 공장 내의 누출 방지 시설을 확보하고 노후 설비에 대한 비파괴검사를 시행하여 사전에 누출을 예방하고, 비상상태 시나리오를 보완하도록 하였다.
- 2) 반응기 및 저장 탱크 내부가 불활성화되지 않을 경우에는 화재·폭발에 대한 잠재적 사고가 발생할 수 있으므로 반드시 불활성화해야 하며, 용제 내에 대전방지제를 투입하고, 모든 설비는 접지가 잘 될 수 있도록 하는 것이 필요하다. 특히, 전기 기구 교체 시에는 LOTO 절차를 마련하고 가스 감지기를 설치하여 화재·폭발 사고를 최소화하여야 한다.
- 3) 공정 지연 및 제품 불량을 예방하기 위하여 열매체 공급 배관에 압력계와 온도계를 설치하고, 제품별 상용성 결과표를 마련하여 공정 트러블을 최소화하도록 한다.
- 4) 밀폐 용기 출입 시에는 작업허가 절차서 및 지침을 강화하고, 포장 공정에 캐노피형 국소배기장치를 설치함으로써 작업자의 상해를 예방하도록 하였다.

K-PSR 기법은 화학 공장에서 발생 가능한 위험요소를 공정 단위별로 나누어 평가함으로써 현장 직원들의 경험요소들을 적절히 적용할 수 있는 방법이며 평가 시간을 줄일 수 있으므로 국내 중·소규모 화학회사의 현재 실정에 맞춘 평가 기법이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서와 같이 향후 지속적으로 안전 설비 및 절차서를 연구하고 개선해 나아가면 잠재적 위험요소들로부터의 안전성 확보가 이루어질 것으로 판단된다.

References

- [1] H. S. Lee, W. T. Kim, "A Study on Settlement Planning of PSM system in the Small and Medium Sites", Korean Journal of Hazardous Materials, Vol. 5, No.1, pp. 90-97, June, 2017.
- [2] J. M. Lee, J. H. Yoo, J. W. Ko, "A Study on Hazard Identification Method for Small and Medium Chemical Industries", Korea Chem. Eng. Res., Vol. 45, No.1, pp. 103-108, February, 2007.
- [3] Ministry of Employment and Labor (MOEL) & Korea Occupational Safety&Health Agency (KOSHA), "Distribution of PSM site's degree in 2016", 2016.
- [4] Korean Occupational Safety&Health Agency, "K-PSR Method Application", Technical Guide, pp. 111-2012, 2012.
- [5] CCPS, "Guideline for Process Safety in Batch Reaction System", AIChE, New York, 1999.
- [6] Korean Occupational Safety&Health Agency, "An Introduction to the Petrochemical Process Evaluation Technology", 2008.
- [7] Korean Occupational Safety&Health Agency, "Technical guidelines for Hazard and Operability (HAZOP) of batch process", KOSHA GUIDE, P-86-2017, 2017.
- [8] Korean Occupational Safety&Health Agency, "Technical guidelines for Hazard and Operability (HAZOP) of continuous process", 2012.
- [9] Korean Occupational Safety&Health Agency, "Technical guideline for priority decision on Risk assessment", 2012
- [10] J. M. Lee, J. H. Yoo, J. W. Ko, "Qualitative Hazard Analysis for LNG Gas Stations Using K-PSR Method", KIGAS, Vol. 45, No. 4, December, 2006.

박 경 민(Kyung-Min Park)

[정회원]



- 2003년 2월 : 계명대학교 화학공학과 (공학석사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 유한회사 피피지코리아 공정엔지니어
- 2015년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 화학공학과 (박사 과정)

<관심분야>

공정안전관리, 공정위험성평가, 고분자합성 등

이 동 규(Dong-Kyu Lee)

[정회원]



- 2006년 10월 ~ 2017년 8월 : 쉐스 코(주) 기술연구소 PCB 연구팀장
- 2017년 2월 ~ 현재 : 계명대학교 화학공학과 (박사과정)

<관심분야>

고분자 복합 재료, 표면처리, 공정 안전 관리 등

안 원 술(Won-Sool Ahn)

[정회원]



- 1979년 2월 : 서울대학교 화학공학과(학사)
- 1981년 2월 : 서울대학교 화학공학과(석사)
- 1992년 8월 : KAIST 화학공학과(공학박사)
- 1995년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 화학공학과 교수

<관심분야>

고분자 기능화, 고분자복합재료, 고무재료 등

이 학 일(Haakil Lee)

[정회원]



- 1982년 2월 : 서울대학교 화학과(학사)
- 1984년 2월 : 서울대학교 화학과(석사)
- 1990년 5월 : 일리노이 어바나-삼페인주립대 (박사)
- 1991년 3월 : 테네시 주 내쉬빌 밴더빌트대 교수

- 2012년 ~ 현재 : 계명대학교 화학공학과 교수

<관심분야>

고분자 화학, 고분자 분석, 분광학 등

이 준 만(Joon-Man Lee)

[정회원]



- 2004년 8월 : 계명대학교 화학공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 : 나고야공대 화학공학과 (Post Doc)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 영남이공대학교

<관심분야>

분리공정, 고분자복합재료, 환경재료 등