KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE
기술지원규정

회분식공정의 인적오류 사고 방지에 관한 기술지원규정
C-C-25-2026

한국산업안전보건공단

기술지원규정은 산업안전보건기준에 관한 규칙 등 산업안전보건법령의 요구사항을 이행하는데 참고하거나 사업장 안전·보건 수준향상에 필요한 기술적 권고 규정임

기술지원규정의 개요

○ 개정자 : 한국산업안전보건공단 전문기술실

○ 제・개정경과

- 2010년 6월 화학안전분야 제정위원회 심의(제정)
- 2012년 7월 총괄 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)
- 2025년 11월 화학안전분야 전문위원회 심의(개정)
- 2026년 1월 표준제정위원회 본위원회 심의(개정)

○ 관련규격 및 자료

- 산업안전보건용어사전, 한국산업안전보건공단 (2006).
- Nick W. Hurst, Risk assessment : the human dimension, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K. (1998).
- 黑田勳, ヒュ-マンファクタ-を探る, 中央勞働災害防止協會 (1988).
- 高壓ガス保安協會, 石油精製及び石油化學裝置事故事例集 (1996).
- 高壓ガス保安協會, コンビナ-ト事故事例集 (1991).

○ 기술지원규정의 적용 및 문의

- 이 기술지원규정에 대한 의견 또는 문의는 산업안전포털 홈페이지(portal.kosha.or.kr)의 기술지원규정(KOSHA GUIDE) 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 규정 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2026년 1월 30일
제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

목 차

1. 목적 ····· 1

2. 적용범위 ····· 1

3. 용어의 정의 ····· 1

4. 주요 인적원인과 인적오류 ····· 2

5. 일반적 예방 사항 ····· 3

5.1 작업표준 ····· 3

5.2 작업순서의 확인 ····· 3

5.3 설비의 점검 ····· 3

5.4 비정상작업 ····· 4

6. 회분식공정 사고의 인적오류 대책 ····· 4

6.1 원료 투입 ····· 5

6.2 적하 작업 ····· 5

6..3 시료 채취 작업 ····· 6

6.4 수거 작업 ····· 6

6.5 반응기 사고의 인적오류 대책 ····· 6

6.5.1 폭주 및 이상 반응 ····· 6

6.5.2 온도조작 실패 ····· 7

6.5.3 온도 제어계의 고장 ····· 8

6.5.4 첨가제의 과다 투입 ····· 8

6.5.5 교반 불량 ····· 8

6.5.6 환류조작 ····· 9

회분식공정의 인적오류 사고 방지에 관한 기술지원규정

1. 목 적

이 규정은 화학물질을 취급하고 있는 회분식공정(Batch process), 반응기에의 원료투입 및 공정기기의 조작 시에 발생할 수 있는 인적오류에 의한 사고를 예방하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 규정은 화학공장의 회분식공정과 반응기 단위조작에서 작업자의 인적 오류에 의한 사고 예방 관리에 적용한다.

3. 용어의 정의

(가) “인적요인 (Human factor)”이라 함은 사고의 원인이 사람인 경우로서 불완전한 행동을 포함하여 기계설비의 설계, 작업방법과 교육훈련 등의 작업수행을 위해 사람이 관여한 모든 행위를 포함한다.

(나) “인적오류 (Human error)”라 함은 인적원인의 일부분으로서 부적절한 인간의 결정이나 행동으로 어떤 허용범위를 벗어난 바람직하지 못한 인간의 행위를 말한다.

(다) “과실 (Slip)”이라 함은 계획된 일을 수행함에 있어 원치 않은 행동을 자신도 모르게 수행하는 것으로서 부주의(Carelessness)라고도 하며 익숙한 작업환경에서 잘 훈련된 근로자에게서 나타나는 특징이 있다.

(라) “실패 (Mistakes)”라 함은 계획된 일을 수행함에 있어 부적절한 계획으로 인해 원래의 목적을 달성하지 못하는 경우를 말한다.

(마) “비정상작업 (Abnormal work)”이라 함은 작업의 조건, 방법, 관리 등이 일상적으로 반복되거나 계속하여 이루어지는 일이 적은 작업을 말한다.

(바) “회분식공정 (Batch process)″이라 함은 공정운전 초기에 원료, 촉매, 첨가제 등을 반응기에 유입시켜 일정한 온도, 압력 조건 하의 반응시간 후에 생성물과 미반응물을 모두 수거하는 공정을 말한다.

(사) “폭주반응 (Runaway reaction)”이라 함은 반응속도가 지수 함수적으로 증대되어 반응용기 내부의 온도와 압력이 비정상적으로 상승하여 규정조건을 벗어나고 반응이 과격화되는 현상을 말한다.

(아) “이상반응 (Abnormal reaction)”이라 함은 정상적인 반응조건에서 벗어나 목적 이외의 예기치 못한 반응이 일어나거나 설계개발단계에서 예측하지 못한 물질이 생성, 축적, 혼입하여 원인불명의 반응을 일으키는 경우를 말한다.

(2) 그 밖에 용어의 정의는 이 규정에서 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 안전보건규칙에서 정하는 바에 따른다.

4. 주요 인적원인과 인적오류

(1) 화학공장의 숙련된 작업자에게서 나타나는 인적요인과 그에 따라 발생하기 쉬운 인적오류를 <표 1>에 나타냈다.

(2) 숙련 작업자의 인적원인은 오랜 작업 경험으로부터 얻어지는데, 장시간 몸에 익힌 조작은 무의식중에 전혀 다른 행동으로 나타나며 이러한 무의식적 행동이 인적오류로 나타날 수 있다.

<표 1> 화학공장 숙련 작업자의 주요 인적오류

인적 요인	발생하기 쉬운 인적오류
동일 작업을 오랜 기간 반복하고 있다.	작업에 익숙하여 복잡한 조작을 생략하는 경향이 있다.
작업 내용을 잘 알고 있다.	자만이나 자기 주장에 빠지기 쉽다.
작업에 실수가 거의 없다.	과실이 발생하여도 알아 차리기 어렵다.
작업을 단시간 내에 끝낼 수 있다.	조작의 순서를 빠트릴 수 있다.
장시간 작업이 가능하다.	의식수준이 낮아져 무의식적인 작업을 할 수 있다.
자신의 일에만 관심이 있다.	다른 일에는 흥미가 없고 시야가 좁아진다.

5. 일반적 예방 사항

5.1 작업표준

(1) 화학공장에서는 오조작과 같은 인적오류에 의한 화재폭발사고를 예방하기 위해서는 운전, 보수, 이상 시의 대처 등, 장치 및 설비에 관한 모든 작업을 표준화하여 작업표준에 따라 작업을 실시한다.

(2) 작업 표준화는 모든 작업을 순서에 따라 기재하기 때문에 많은 분량이 되기 쉬우므로, 작업표준을 준수하도록 하기 위해서는 이해가 쉽고 활용성이 높도록 작업 표준을 만든다.

(3) 작업 순서는 대상 작업의 전체적인 흐름도를 넣어 구체적이고 가급적 정량적으로 기재한다.

(4) 작업 표준화를 위한 작업 순서를 만드는 경우, 필요시 각 작업 단계에서 요구되는 보호구나 아차사고, 사고사례 등을 원인 및 대책으로 간단하고 명확하게 기재하도록 하여 작업 안전성을 높이도록 한다.

5.2 작업순서의 확인

(1) 화학공장에는 운전 개시나 정지, 기계설비의 교체, 운전조건의 변경, 유지보수작업 등과 같이 복잡한 작업이 많기 때문에 오조작과 같은 의식하지 못한 사고가 일어날 수 있다.

(2) 중요하거나 복잡한 작업은 작업순서 요약을 흐름도, 체크리스트 등을 사용하여 이해하기 쉽도록 작성한다.

(3) 작업을 실시하는 경우, 가급적 2인 이상의 공동작업을 실시하고 작업 전에 작업 책임자, 담당자, 확인자의 역할을 나누어 작업순서에 대한 상호체크가 가능하도록 한다.

(4) 작업표준서는 양이 많기 때문에 중요한 작업에 대해서는 휴대하기 편하도록 작업순서를 One-page sheet화 하여 작업현장에서 쉽게 사용하도록 한다.

5.3 설비의 점검

(1) 화학공장은 설비 및 기기의 미세한 이상 징후가 화재폭발사고로 이어지는 경우가 있으므로 설비와 기기의 이상 점검을 일상화하도록 한다.

(2) 작업자는 매일 접하는 설비와 기기에 대한 익숙함으로 인하여 안이한 동작이나 작업 생략 행동을 하는 경우가 있다. 이러한 인간 특성이 인적오류로 작용하여 사고로 이어지지 않도록 하기 위해서는 설비 점검 시의 관찰 지점을 정하여 의식레벨과 경험 레벨에 의한 차이가 생기지 않도록 한다.

(3) 기계설비마다 점검장소, 항목, 주기, 방법, 합격 판정 여부 등을 정한 체크리스트를 작성하고 이것을 사용하여 점검을 실시한다.

(4) 사람은 행동 오류를 일으키기 쉬운 특성을 갖고 있으므로, 설비 안전점검을 위한 순찰 시에는 인간이 갖고 있는 시각, 청각, 후각, 촉각을 모두 활용할 수 있도록 안전 체크리스트를 만든다.

(5) 설비 점검 결과, 발견된 이상에 대해서는 개선방법과 함께 유사 설비나 기기에도 적용하도록 하는 것이 사고방지에 효과적이다.

5.4 비정상작업

(1) 비정상작업은 일상적으로 반복되는 경우가 적은 기계설비 수리나 청소 등과 같은 유지보수작업이 많기 때문에 작업자가 경험할 기회가 적고, 작업이 여러 가지 부문에 걸쳐 이루어지고 있으며, 과거에 발생한 아차사고에 대한 안전대책이 불완전한 경우가 많아 사고 위험성이 높다.

(2) 작업지시체계를 확립하고 작업순서를 정하는데, 작업순서는 경험 많은 작업자의 지식을 충분히 활용한다.

(3) 작업순서는 실시해야할 단위동작을 먼저 열거하여 발생할 수 있는 사고 가능성과 위험을 예측하여 안전대책을 세우고, 각 단위동작을 작업순서에 따라 나열하고 정리하여 이해하기 쉽게 작업순서를 작성한다.

(4) 작업순서를 작업자에게 주지시키고 준비, 안전대책을 충분히 강구한 후에 작업을 시작한다.

6. 회분식공정 사고의 인적오류 대책

최근의 회분식공정에서의 원료의 투입, 반응, 수거 등은 자동화되어 있지만 소량의 원료 첨가,

샘플링, 수거작업에서는 작업자가 직접 수동으로 작업해야만 하는데 이와 같은 작업에서는 인적오류에 의한 화재폭발사고 위험성이 있다.

6.1 원료 투입

(1) 반응용기에의 원료 투입은 작업지시서에 따른다.

(2) 원재료, 촉매 등의 계량 과실(Slip)이나 잘못된 투입은 이상 반응을 일으키고 폭발 위험성으로 이어지므로 작업자 상호간 체크를 통하여 방지하도록 한다.

(3) 정전기 착화 위험성을 예방하기 위하여 원재료의 형상은 분말이 아닌 플레이크(Flake)나 펠렛트(Pellet) 상태로 한다.

(4) 고체 형상물의 투입 시에는 일정량의 불활성가스로 반응기 내를 연속 퍼지한다.

(5) 원료가 분체인 경우에는 분진에 의한 폭발성분위기의 형성과 확산에 주의한다.

(6) 위험성이 높은 원료를 마지막에 넣는 등의 투입 순서를 변경한다.

6.2 적하 작업

(1) 고형물의 적하 배관은 한꺼번에 낙하하지 않도록 구경을 고려한다.

(2) 적하밸브 전에 이물질 혼입을 방지하기 위하여 스트레이너(strainer)를 설치한다.

(3) 배관에는 물질명, 구입처를 명기하고 밸브의 개폐방향 표시 태그를 부착한다.

(4) 배관 일부에 관찰용 유리창을 설치하여 적하 상황을 모니터링 할 수 있게 한다.

(5) 원료 투입 전에 작업자 간의 상호 확인 또는 이중 확인을 철저히 하도록 한다.

(6) 위험성이 높은 촉매의 적하에는 분할 적하를 실시한다.

(7) 이상 반응 시에 원료의 긴급 제거를 위하여 블로우 다운 탱크를 설치한다.

(8) 안전을 위하여 반응 억제제를 준비하고, 긴급용수 설비를 정기적으로 점검한다.

6.3 시료 채취 작업

(1) 반응용기 내에 유기용제 등의 인화성액체가 존재하는 분위기에서 샘플링하는 경우 샘플러의 접지불량이나 인체 대전 등에 의한 정전기의 방전으로 착화 위험성이 있다.

(2) 샘플링 시에는 인체대전에 의한 착화 위험성이 있으므로 대전방지 작업복과 작업화를 착용하고 제전봉으로 제전을 실시한다.

(3) 샘플링 전에 교반기를 정지시키고 액을 유동이 없는 상태에서 샘플링을 한다.

(4) 폭발성 혼합기의 형성을 방지하기 위하여 불활성가스로 치환하고, 이 때 불활성 가스 치환으로 인한 살소결핍에 주의한다.

(5) 국소배기장치를 설치한다.

(6) 샘플러의 도구는 금속재로 하고 사용 전에 반드시 접지한다.

(7) 샘플링 시의 반응 원료는 고온인 경우가 많으므로 화상에 주의한다.

6.4 수거 작업

(1) 반응용기 내에 폭발성혼합기가 발생할 가능성이 있는 경우, 개방상태로 수거작업을 하면 정전기에 의한 착화 위험성이 있다.

(2) 작업장 바닥의 누설저항과 작업화의 전기저항이 기준값 이하인 것을 확인한다.

(3) 온도, 습도 등의 작업환경에 따라서 정전기의 발생상황이 변화하므로 주의한다.

(4) 유독가스가 발생할 위험성이 있는 경우에는 환기를 배려한 설비와 보호구 착용이 필요하다.

(5) 국소배기장치를 설치한다.

6.5 반응기 사고의 인적오류 대책

6.5.1 폭주 및 이상 반응

(1) 공정 내에서의 폭주 및 이상반응 발생을 방지하기 위해서는 공정 조건에 따른 이하의 안전대책을 사전에 수립하는 것이 필요하다.

- 공정 반응 중에 진행하는 화학반응은 부반응을 포함하여 충분히 파악한다.

- 안전한 반응조건(온도, 압력, 농도)을 확인한다.

- 반응에 영향을 미치는 미량 물질의 혼입, 온도 상승, 투입 미스, 교반기 정지 등의 예기치 못한 상황이 발생하였을 때의 영향에 대하여 충분히 검토한다.

(2) 합성법에 의한 안전대책으로서 원료, 중간생성물, 부생성물이 위험한 경우에는 보다 안전한 합성 루트나 안전한 용매가 사용가능한가를 검토한다.

(3) 반응조건의 안전대책으로서 가급적 희석하고 보다 저온에서 조작하며, 적절한 교반이나 냉각방법을 검토하고 과열과 축열을 피한다.

(4) 신뢰성 있는 경보 시스템과 긴급 냉각 시스템을 채용한다.

6.5.2 온도조작 실패

(1) 폭주반응 개시온도를 조사하여 운전 중의 관리한계온도를 사전에 정하고 운전온도의 연속적 감시를 통하여 이상 승온을 조기 발견하도록 한다.

(2) 반응기의 운전개시 조작에 있어서 승온온도는 미리 작업표준을 정한 승온 곡선에 따라 서서히 진행하고 부분 가열을 방지하기 위하여 교반을 실시한다.

(3) 운전중에는 온도, 압력의 감시와 함께 원료 공급속도의 조정, 냉각수량의 확보, 외부순환냉각기의 순환량에 주의하는 등의 운전조건을 유지한다.

(4) 반응조작을 중단 또는 종료하는 경우에는 원료공급을 정지한 뒤에도 반응이 완전히 종료하기까지 냉각과 교반조작을 계속한다.

(5) 운전온도가 관리 한계온도에 접근하거나 도달한 경우와 교반기의 정지로 인한 이상사태를 가정한 위험회피조작을 작업표준사항으로 정한다.

(6) 위험회피 조작에 대해서는 반복적인 교육과 훈련을 통하여 오퍼레이터에게 대처능력을 확보하도록 한다.

6.5.3 온도 제어계의 고장

(1) 반응기의 온도제어계가 고장나는 경우 폭주반응으로 발전할 위험성이 있으므로 온도 제어계의 정기검사를 확실히 실시한다.

(2) 반응기에는 국부 가열, 온도분포의 불균일을 고려하여 적정한 위치에 필요 수량의 온도계를 설치하고 온도상승의 연속감시를 위해 연속식 기록계를 설치한다.

(3) 온도계에는 주의, 경계 단계별로 경보장치를 설치한다.

(4) 온도계는 이상 승온의 긴급사태 발생 시에도 계측이 가능한 것을 사용한다.

(5) 외부에 순환냉각기를 설치하고 있는 경우에는 정기적 청소를 실시하고 막힘에 의한 순환량의 저하를 방지한다.

(6) 반응기에 쟈켓을 설치하고 있는 경우에는 정기적으로 화학적 처리를 통한 스케일을 제거하여 전열 효율의 저하를 방지한다.

6.5.4 첨가제의 과다 투입

(1) 첨가제 투입량이 과다한 경우, 활성화 반응에 따른 이상 반응으로 이어질 수 있으므로 적정량을 넣는 것이 중요하다.

(2) 첨가제를 구매 시에는 품명, 중량, 품질에 대한 사전 안전성평가를 확인한다.

(3) 투입량 또는 첨가량의 적정량을 확인한다.

(4) 유량계는 적정량을 정확하게 측정 가능한 것을 사용한다.

(5) 유량계가 없는 경우에는 첨가제 탱크의 액면 변동에 따라 시간 당 적정량을 관리한다.

(6) 적정량을 넘어선 경우의 반응성과 대응방법에 대해서 오퍼레이터에 대한 교육을 실시한다.

6.5.5 교반 불량

(1) 반응 중의 교반은 제품의 품질과 냉각 효과에 중요한 역할을 하고 있는데 교반이 충분하지 않으면 폭주 또는 이상 반응으로 진행할 수 있다.

(2) 원료와 반응 생성물의 물성을 사전에 충분이 검토한다.

(3) 교반 불량을 발견하기 위하여 반응기 내에 여러 개의 온도계를 설치하여 모니터링 한다.

(4) 반응조의 액면계에 상한값과 하한값의 경보를 설정한다.

(5) 반응조의 내용물이 고착하기 쉬운 물질이면 액면계는 차압식으로 하고, 액면계를 2중화하여 계측기능의 신뢰성을 높인다.

(6) 무단변속기 기능이 있는 교반기는 일정한 회전수의 상태로 장시간 운전하지 않도록 한다.

(7) 중합반응의 경우 반응액의 점도는 반응이 진행함에 따라 증가하여 교반기의 과부하 운전의 원인이 될 수 있으므로, 교반 시에는 물질의 화학적 특성만이 아닌 물리적 특성도 고려하도록 한다.

6.5.6 환류조작

(1) 증류탑 내에서는 불안정불질의 농축이 일어나는 경우가 있으므로 주의한다.

(2) 증류탑 내 성분과 증류잔유물의 위험성에 대해서는 사전조사를 실시한다.

(3) 관리 한계온도에 도달하는 경우에 증류탑을 안전하게 정지할 수 있도록 열원공급장치 인터록, 긴급이송장치, 불활성가스 투입설비 등을 검토한다.

(4) 증류탑 내 온도감시를 위해 적정한 위치에 경보장치 기능의 온도계를 설치한다.

(5) 온도, 압력 및 농도의 관리 한계치를 정하고 작업표준에 명기하여 지켜지도록 한다.

(6) 불안정물질의 농축 감시를 위하여 적정한 위치에 연속분석계를 설치하거나 정기적으로 증류탑 내 조성의 분석을 실시한다.

(7) 증류 종료후에 열을 가지고 있는 잔유물을 꺼내는 경우에는 산화 발열성을 나타내는 것도 있으므로 물을 뿌려 냉각을 실시한다.

(8) 증류 조작에서는 가열 조작이 동반되므로 온도관리에는 주의가 필요하며, 증류되는 위험물의 인화점 이상으로 조작하거나 가열할 열매체의 온도가 증류하는 위험물의 분해온도나 발화점보다 높은 경우에는 경보와 인터록의 설정치에 주의가 요구된다.

기술지원규정 개정 이력

□ 개정일 : 2026. 1. 30.

○ 개정자 : 한국산업안전보건공단 전문기술실

○ 개정사유 : 확인(체계정비)

○ 주요 개정내용

- 국문 명칭(기술지침→기술지원규정) 개정

KOSHA GUIDE
기술지원규정

·규정번호 : C-C-25-2026
·심　　의 : 산업안전보건표준제정위원회
·공 표 일 : 2026. 1. 30.