

# 가스정제플랜트의 MRU 시스템 공정개선

김영수 / 대림산업주식회사  
youngsoo@daelim.co.kr

## 1. 프로젝트 개요

### 1.1 SPGD-Phase 1 프로젝트

이란의 South Pars Gas Development (SPGD)-Phase 1 프로젝트는 페르시아 걸프만 (Persian Gulf) 해상에서 인접 국가인 카타르와 공유하고 있는 South Pars라는 세계 최대 단일 가스전에서 생산된 가스를 육상 정제하는 설비로서 국가적 개발의 제 1단계 사업이다. 당사가 수행한 SPGD-Phase 1 프로젝트 중 육상(On-Shore) 정제플랜트(refinery plant)는 1,000 MMSCFD (500 MMSCFD/train × 2 train)의 가스 정제시설로서 내수용으로 청정 연료인 판매용 가스를 생산 공급하고, 부산물인 40,000 BPSD 콘덴세이트(condensate)와 하루 생산량 200 톤 규모의 유황과립(granule sulfur)은 수출용으로 생산한다.

SPGD Phase-1은 이란이 첫번째로 계획한 설비이나 프로젝트 수행을 자국 기술로 추진하려고 시도하다가 늦어져서 다음 phase보다 10개월 이상 지연 발주된 공장이며, 이란 역사상 최초로 계약서상 자국 부담율(local content) 50% 이상을 요구한 대형 프로젝트이다. 당사는 이란 굴지의 공기업인 IDRO (Iranian Development and Renovation Organization)사와 컨소시엄을 구성하여 EPC Lump Sum 턴키 프로젝트인 SPGD-Phase 1의 육상 가스정제 프로젝트를 수주하였다. 당사는 컨소시엄 리더로서 프로젝트 관리, 설계, 주요 기자재 구매, 공사관리, 커미셔닝 및 시운전을 수행하였으며, IDRO사는 이란 자재, 전기

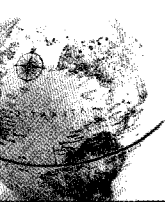
자재 및 일부 배관자재 공급, 건설 시공 및 프리 커미셔닝(pre-commissioning)을 담당하여 상호 협조 하에 성공적으로 사업을 수행하여 이란 정부로부터 자국기업과 효과적으로 공조한 최고의 성공 프로젝트로 평가를 받았다.

이란은 South Pars 가스전에서 생산되는 천연 가스를 정제하는 설비를 현재 24개 phase(phase 당 설비능력은 1000 MMSCFD)까지 계획하고 있으며 이중 5개 phase는 가동 중, 5개 phase는 건설 중, 5개 phase는 발주 중, 나머지는 발주 준비 중이다.

### 1.2 SPGD-Phase 1 현장위치

현장이 위치한 아살루에(Assaluyeh)시는 이란 남부 페르시아해 연안에 위치해 있으며 한여름 기온은 섭씨 50℃를 넘나드는 중동 특유의 열대 지역으로 수도인 테헤란에서 남쪽으로 1200 km, 비행시간 한시간 반의 거리이다. 아살루에서는 이란 정부가 South Pars 가스전의 지상 개발기지로 가스 정제 및 다운스트림(down stream) 석유화학 단지를 건설 중이며 이 지역을 경제 및 에너지 지역(Economy & Energy Zone)으로 지정하여 관세 면제를 받는 경제특구 지역이다.

이란 정부는 이 경제특구 지역에 세계 최대 매장량의 South Pars 가스 전으로부터 105 km 해저 가스관을 통하여 천연상태의 가스(raw feed gas)를 공급 받아 세계 최대의 가스정제 단지 및 석유화학 단지를 조성코자 미화 300억불 이상을 투자하는 거대한 산업단지이다. 특히 가스정제분야는 한국업체가 기술력을 인정받아 phase 1부터



phase 10까지 대립산업, 현대건설, GS건설이 모두 수주하여 수행하는 쾌거를 이룩했으며 당사는 Phase 1부터 수주(기 준공)하였고 현재 Phase 6,7&8을 수행하고 있어 더욱 의미가 크다.

## 2. MRU 시스템의 오작동과 시스템 수정 보완

전체 공정 중의 MRU(Mercaptan Removal Unit, 메르캡텐 제거설비) 시스템 기능과 문제점 발견 경위 및 개선에 관하여 기술하면 다음과 같다.

### 2.1 MRU 시스템 개요

가스전로부터 공급 받는 정제되지 않은 천연가스는 각종 공해물질 및 불순물을 제거해야 청정 연료인 판매용 가스와 정유 및 석유화학 플랜트 원료 등으로 사용될 콘덴세이트를 얻을 수 있다. 가스정제 프로세스 구성은 공급 가스의 조성 및 제거해야 할 각종 불순물(황화수소 : H<sub>2</sub>S, 메르캡텐 : mercaptan, 물 : H<sub>2</sub>O, 이산화탄소 : CO<sub>2</sub> 등) 및 원하는 제품(판매용 가스 : LPG, C1~C5)의 종류에 따라 프로세스 구성이 결정된다.

가스정제의 핵심 공정 중 하나인 MRU는 선행 공정인 스위트닝(sweetening) 시스템(MDEA 솔루션을 이용)에서 황화수소 및 이산화탄소를 제거하고, 탈수시스템(순수 글리콜을 이용)에서 황화수소를 제거한다. 수분이 제거된 탈수된 스위트가스는 불순물인 메르캡텐을 제거하기 위해 MRU에 공급된다. 메르캡텐은 황과 탄화수소의 화합물이며 MRU 시스템의 핵심 설비인 분자 체(molecular sieves)를 이용하여 상온에서 가스 상태로 흡착, 제거된다. MRU 시스템의 연속 가동을 위해 일정기간 흡착 운전 후 분자 체에 축적된 메르캡텐과 동반 흡착된 탄화수소 및 미량의 물을 탈착하여 분자 체의 활성을 재생시키는 공정이 필요하여 트레인 당 6개의 분자 체 베드(bed)가 설치되었다. 이 중 3개 베드는 항상 흡착 중인

상태이고 3개 베드는 재생 중인 상태에 있으며 재생은 흡착물의 물질적 특성에 따라 200℃와 300℃ 두 단계로 진행된다.

당 프로젝트의 MRU 프로세스는 전 세계적으로 아직 운전 중인 레퍼런스공장이 없는 프로세스로서 계약 당시 기본 패키지에 포함되었던 입찰초청서(ITB) 상의 시스템의 운전성도 불완전하였다. 상세설계 중 분자 체 전문 업체인 스위스의 Zeochem사와 해당 공정 설계 업체로서 Zeochem사의 하청 파트너인 영국 KCC사와 장기간 협의 결과 위와 같은 시스템 구성을 갖도록 수정 보완한 바 있다.

### 2.2 시스템 오작동

가스 최초 공급 후 기록적으로 70시간 이내에 시방서 상의 제품(on-spec product)을 생산하여 수출한 후 성능테스트 운전까지 성공적으로 마쳤으나 스타트 업(start-up) 1~2개월 만에 MRU 시스템 배출가스에서 설계치 10 ppm을 상회하는 메르캡텐 누출이 발생하여 시스템의 정상적인 운전이 되지 못하였다. 당시 동시에 발생한 사소한 데비에이션(deviation : 재생 열 불충분, 공급 가스량 부족, 재생 가스의 오염, 차단밸브의 기계적 문제 등)들과 연관되어 이들 데비에이션이 오작동의 근본 원인이 아님을 하나하나 가려내고 최종적으로 하기 원인에 기인하여 분자 체의 재생산 불량에 의한 시스템 오작동으로 판단하기까지는 다소 시간이 걸렸다. 분자 체가 재생되지 않는 시스템 오작동 발견 후 시스템을 수동작업으로 전환하여 플랜트 가동을 최대한 유지하면서 생산물 중 시방에 명시된 불순물율의 최소화를 기도하면서 단계적 조치로 임시적 조치와 영구적 해결방안 모색을 동시에 추진하였다.

- 임시적 조치 : 시스템 공급업체인 Zeochem사의 추천에 의해 오염된 분자 체를 운전 상태에서 스팀 세척하여 재생을 추진

- 영구적 해결 : 오염된 분자 체의 스팀 세척은 임시적 조치인 만큼 재생 불량률의 원인을 규명하여 이를 영구 제거하는 방안을 강구

그러나 추후 스팀 공급용 임시 배관 및 분석용 기기 장착 후 스팀 세척 시행결과 공급업체 실험실의 실험적 효과(80%이상 재생 가능)와 달리 운전 상태에서는 상업적 효과가 없는 것으로 판명되었다.

### 2.3 재생 오작동의 원인

그 동안의 시운전 결과와 각 유닛 공정상의 데비에이션을 분석하여 오작동의 원인과 기존 시스템의 개선 방안을 강구 하였다.

주요 오작동의 원인을 열거 하면 다음과 같다.

#### ① 공급 가스 중 방향족 탄화수소 요소의 과다 (계약서 대비 3~6배)

방향족 탄화수소는 원칙적으로 재생 요소이 아닌 물질이 재생 공정 중 액화되어 과다한 재생 열을 필요로 하고, 흡착 운전 시 동시 흡착 효과에 의해 흡착율을 간섭하여 메르캡텐 흡착 용량을 감소시키고, 연속 재생 운전 시 흡착율이 낮아 불충분한 재생을 야기하여 이 요소가 과다할 경우 시스템 운전이 부담이 된다.

#### ② 글리콜의 문제

탈수 시 탈수기에서 공급 가스와 글리콜이 접촉 후 배출 가스 중의 포화 글리콜과 입자 형태의 글리콜도 설계 당시 공급업체의 예상과 달리 분자체의 재생 능력을 저해 한다.

#### ③ 재생 가스의 소스(source)

최초 주어진 설계에서는 sour 가스를 재생가스로 이용함으로 흡착 단계에서 비록 사소하지만 다시 오염물질을 공급하는 문제점이 있다.

### 2.4 시스템 수정

시스템 오작동의 원인을 근본적으로 제거하기

위해 프로세스 유닛의 재구성을 실시하여 다음의 그림 1과 같이 가스 스위트닝 → 탈수 → MRU → Dew pointing 유닛을 가스 스위트닝 → 탈수 → Dew pointing 유닛 → MRU로 구성하였다. 이는 방향족 탄화수소를 최대한 방지하고 글리콜 입자가 MRU 베드로 넘어가는 것을 최소화하기 위해서이다. 또한 재생 가스 소스를 MRU 업스트림의 sour 가스에서 다운스트림의 스위트가스로 교체하여 재생 시 미량이라도 오염물의 공급을 차단토록 하였다.

프로세스 재구성 검토 시의 여러 가지 사항 중 냉동력에 의해 운전되는 dew pointing 유닛에서의 수화물(hydrate) 생성 가능 여부는 가장 고심한 부분이었으나 운전 매개변수를 설계대로 유지하는 한 수화물 생성은 방지할 수 있고 운전 실수에 의한 비상 상황 발발 시는 퍼지 아웃(purge out) 운전으로 다시 건조시킬 수 있으며 이 상황이 빈번할 경우 메탄올 주입기기를 설치하기로 결정하였다.

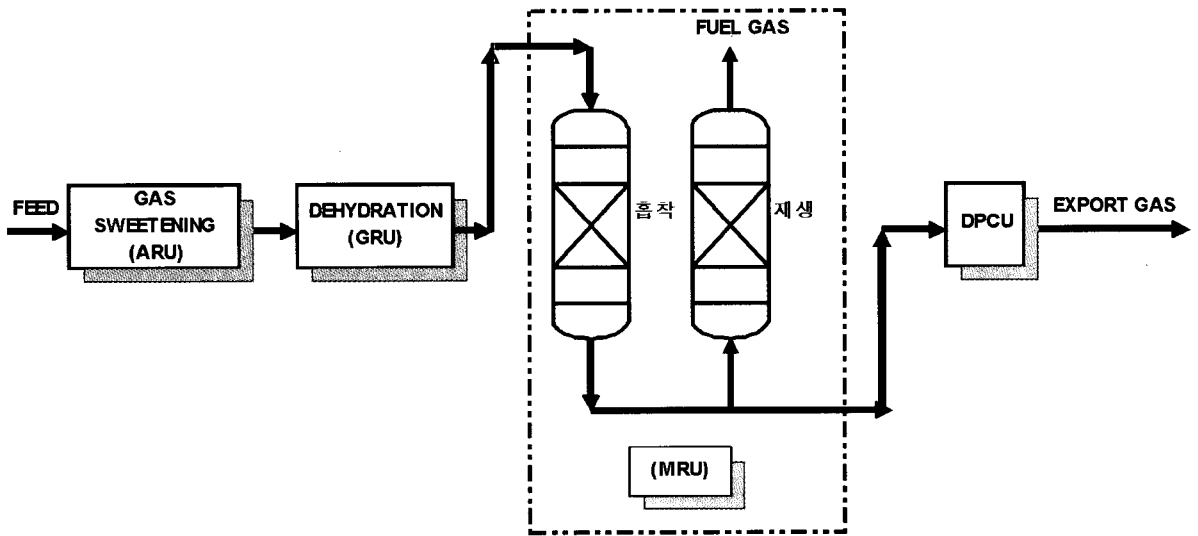
### 2.5 프로세스 유닛 재구성 후의 운전

예상 했던 바와 같이 유닛 재구성 후 새로운 분자 체를 사용한 상태에서의 운전은 문제점 없이 완벽하게 진행되었다. 시운전시의 운전 경험을 살려 재생 단계별 상황을 면밀히 관찰, 분자 체의 흡착 및 재생 정도, 생산 가스의 품질등을 지속 모니터링 하였으나 전혀 문제가 없었다. 오히려 완벽한 흡착 운전(생산물 중 메르캡텐 1 ppm 이하 유지)과 재생력 성능향상을 달성하여 MRU 운전 사이클을 36시간에서 54시간으로 연장 조업할 수 있게 되었다. 이로써 분자 체의 수명도 보장기간인 2년에서 3년으로 연장 사용이 가능하게 되었다. 설계 시 우려했던 수화물 생성도 없었으나 운전 실수에 의한 생성 가능성은 상존함으로 지속적인 주의를 운전부서에 당부 하였다.

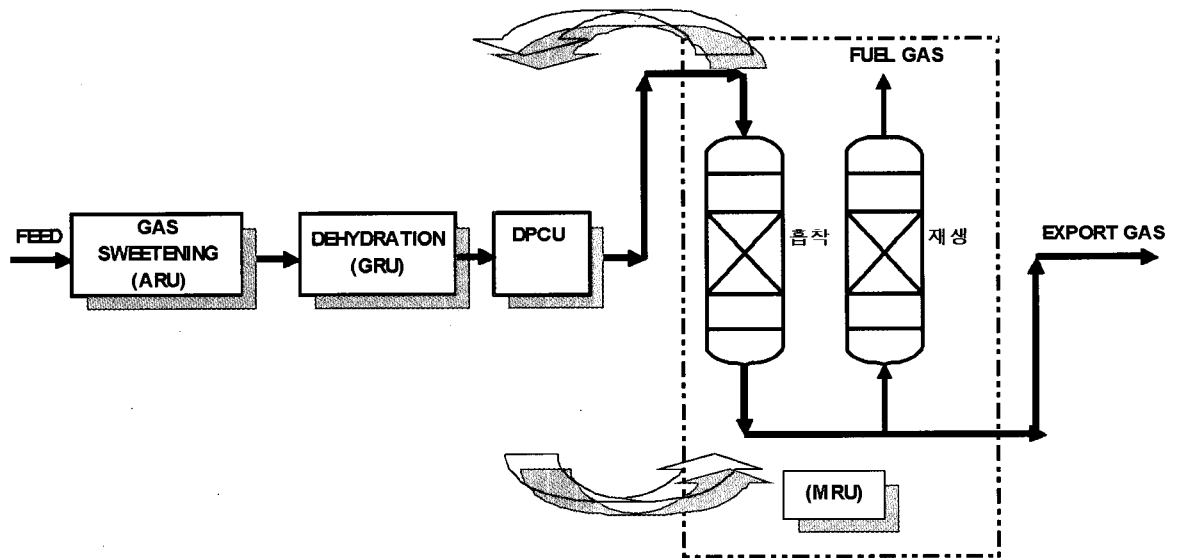
### 3. 결론

당사는 컨소시엄로서 아직은 대형 프로젝트 수행 능력이 미흡한 IDRO사를 주도하여 이끌었음은 물론 SPGD-Phase 1 프로젝트의 유틸리티

시설 현지 계약자 등 서로 다른 7개 주요 계약자들과의 이해관계 조정을 하여야 하는 구도에서 리더 역할을 성공적으로 수행했다는 좋은 평가를 받았다. 또한 시운전이 성공한 후 예기치 못했던 MRU의 오작동으로 문제가 심각해졌을 시 세계



(a) 변경전



(b) 변경후

[그림 1] 프로세스 순서 변경 전, 후의 MRU 공정 배치 개략도



유수의 회사들(BP사, TOTAL사, SHELL사 등)이 가스상태에서 분자 체로 공급 가스의 메르캡텐을 제거하는 것은 불가능하다고 하는 의견에 맞서 사업주를 설득하여 자체 기술로 시스템을 변경하고 성공적으로 모든 문제점을 해결하여 세계 최초의 분자 체를 사용한 공급 가스 상의 메르캡텐을 제거하는 상용화된 공장으로서 그 기술력에 대해 극도의 찬사를 받았다. 분자 체를 이용하여 기체 상태에서 메르캡텐을 제거하는 기술은 기존의 부식솔루션을 이용한 메르캡텐 탈황 설비

에 비하여, 소요 부지가 적고, 투자비가 저렴하며, 운전이 용이하고, 운전비 및 정비비가 저렴한 매우 우수한 공정이다.

문제점을 해결한 뒤에는 4개월 이상 문제점 상존여부를 검증하기 위해 상업운전을 하였으며 2004년 11월 20일 이란 대통령, 석유성 장관 등 정관계 고위 인사와 관련 회사 대표들 모두가 모여 성대한 준공식을 가졌으며, 당사도 이란 대통령으로부터 감사 표창을 받고 현재까지 공장은 순조롭게 상업운전을 계속하고 있다. (KIPES)