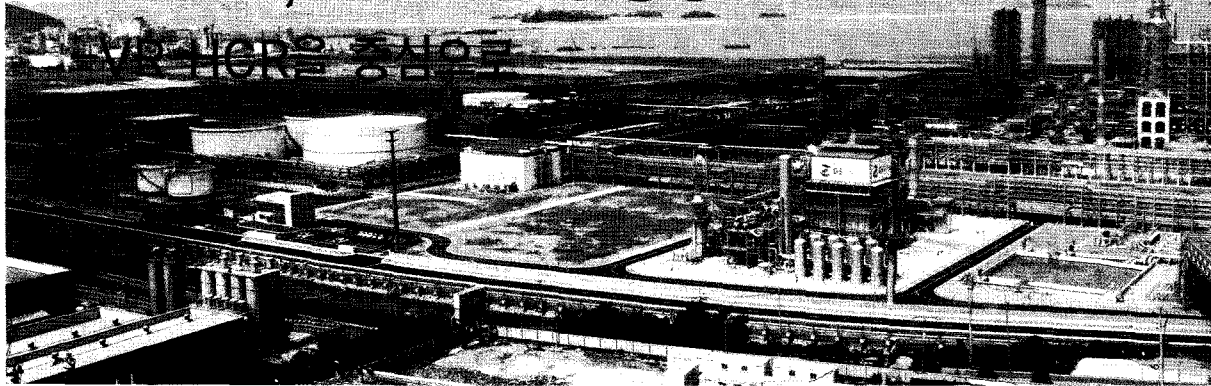


지상유전, 고도화설비 공정



임찬수 과장
GS칼텍스 업무팀

시작하며

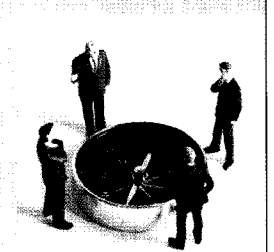
고유가 및 그에 따른 단순 정제마진 약화는 국내 정유사들에게 “고도화”는 이미 선택이 아닌 필수로 여겨지고 있다. 특히 정유사(GS칼텍스)가 작년에 완공한 VR HCR(Vacuum Residue Hydrocracker, 감압잔사유 수첨탈황분해시설)는 수조원이 투입되었으며, 세계적으로 7번째 지어진 최첨단 고도화 설비로 관련 업계 및 석유 전문가들로부터 큰 주목을 받고 있다.

GS칼텍스의 VR HCR은 지난 2008년 10월부터 본격적인 공사에 들어가, 총 투자비 2조 6천억원, 부지면적 615,000㎡(약 18만6천평), 공사기간 21개월이 소요된 대규모 프로젝트로 GS칼텍스 창사이래 최대규모는 물론 국내 석유업계에서 단일 규모로는 최대규모를 자랑한다. 이에 최신 고도화 설비중의 하나의 VR HCR의 이해를 위해, VR HCR에 대한 간단한 소개 및 기술적인 특징들에 대해서 간단히 이야기 하고자 한다.

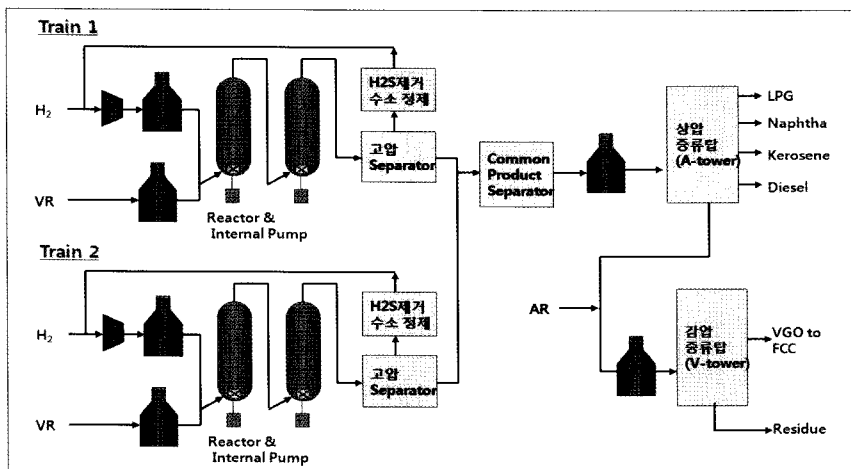
VR HCR 공정이란?

VR HCR은 앞서 언급한 바와 같이, 석유정제 고도화 설비중의 하나로 Vacuum Residue Hydrocracker의 약자로서 감압 잔사유 수첨 분해공정이라 불리운다. 대표적인 VR HCR의 라이선서는 CLG(Chevron Lummus Global)사와 Axens시를 들 수 있는데, CLG사의 "LC-FINING 공정"이 높은 Conversion을 특징으로 하고 있고, '96년 이후, 전세계적으로 VR HCR를 검토한 대부분의 정유사들이 LC-FINING 공정을 채택하였다. 이 글에서는 CLG사의 "LC-FINING 공정"을 중심으로 VR HCR의 특징을 살펴보기로 하겠다.

VR HCR의 피드는 말 그대로 Vacuum Residue, 감압잔사유를 사용하는데, 투입된 VR은 Ebullated 촉매 반응기로 수소와 함께 투입되어 고온(418oC) 고압(180 Bar)에서 분해 및 탈황/탈질소/탈금속하여, 휘발유, 등유, 경유 등 고품질 제품을 생산한다. 투입되는 VR의 특징은 매우 Heavy하고 Metal/Sulfur가 높은 Feed로써 상압증류공정에서 나오는 AR(Atmospheric Residue)과 감압증류공정의 VR (Vacuum Residue) 모두 사용할 수 있다. VR HCR의 전체적인 공정은 동일한 2개의 Train으로 분리되어 있으며, 이렇게 2개 Train으로 분리된 고압공정에 분해된 유체는 Common Separator, 상압증류탑, 감압증류탑을 통해 제품으로 분리된다.



[그림 1] VR HCR 공정 흐름도

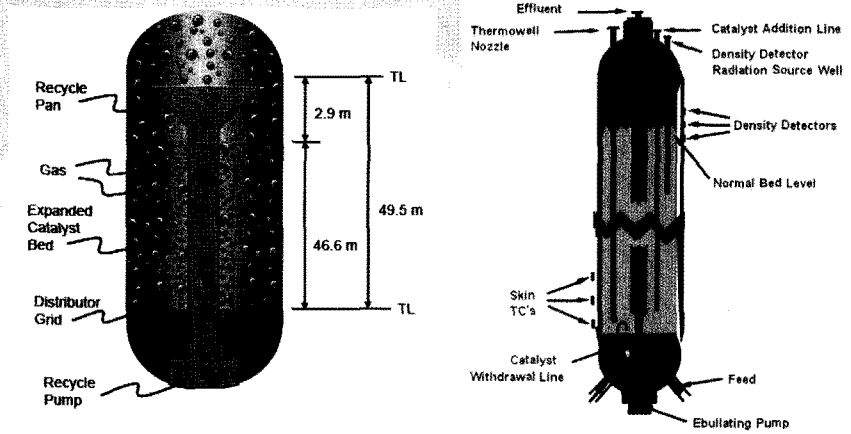


Ebullated Bed Reactor

VR HCR의 핵심은 Ebullated(팽윤 또는 부상을 의미함) Bed Reactor로 이 반응기에서 매우 무거운 VR은 수소와 반응하여 가벼운 유분으로 분해된다. Ebullated Bed Reactor의 반응 조건 및 특징을 간단히 요약하면, 등온 반응(Isothermal Reactor Operation), 차압 형성 없음(No pressure drop build-up), 연속적인 촉매 주입 및 제거, Fixed Bed 대비 Run-length 증가, 4가지로 규정지을 수 있다.

이러한 Ebullating Bed Reactor는 Recycle 및 Feed Flow를 이용하여 촉매를 유동화시킨 반응기로, 피드되는 VR의 온도 조정, 분산된 촉매의 레벨 조절과 유입/회수되는 촉매 양 조절을 통해 반응 조건을 조절할 수 있다.

[그림 2] Ebullated Bed Reactor 모식도



Ebullated Bed Reactor는 대략 50m 정도의 크기의 반응온도는 섭씨 400도, 반응압력은 180KG 정도의 고온고압 반응기이다. 반응기의 하부에 위치하는 Ebullating Pump는 시

VR HCR의 피드는 말 그대로 Vacuum Residue, 감압잔사유를 사용하는데, 투입된 VR은 Ebullated 촉매 반응기로 수소와 함께 투입되어 고온 (418oC) 고압 (180 Bar)에서 분해 및 탈황/탈질소/탈금속하여, 휘발유, 등유, 경유 등 고품질 제품을 생산한다.

간당 약 3000m³ 정도의 유량을 회송하며, 이 회송되는 유량을 조절하여, 반응기 내부의 촉매 수위를 유지시킨다. 이때 VFD(Variable Frequency Drive)에 의해 회송되는 유량의 RPM을 미세하게 조절한다. 반응기의 상부에 위치하는 Recycle Pan은 크래킹된 유분의 액체/기체를 분리하고, 분리된 액체는 내부 Pipe를 통하여 Ebullated Pump로 이송되고, 분리된 기체는 반응기 위로 이송된다. 반응기 내부에 있는 촉매는 총 4개의 Cat Handling Nozzle을 이용하여 주입/회수되고, 촉매의 레벨은 Nuclear Detector를 이용하여 측정한다.

Ebullated Bed Reactor에서는 가장 중요한 Cracking 반응, Hydrogenation 반응, 탈황/탈질소/CCR제거/메탈제거 반응이 이루어지며, 이러한 반응은 Hydrogen partial pressure (압력 및 H2순도), Temperature (반응기 온도), Catalyst Activity (촉매 주입량), Space velocity (Feed Rate)와 같은 주요 운전변수들의 조절을 통해 제어된다.

고온고압의 Cracking 반응에서는 열분해 반응이 발생하여 Radical이 생성되고, 촉매는 Hydrogenation 반응에 의해 Radical에 수소를 첨가하여 안정한 상태로 전환시키며, 반응성이 높은 Radical은 연쇄 반응에 의해 Asphaltne/Coke Precursor으로 전환될 수 있어, Ebullating Bed 사용하여 고압의 수소 분압 유지 및 촉매 조절, Slurry Oil 주입 등이 매우

[표 1] Ebullated Bed Reactor의 주요변수에 따른 운전조건

변수	조건
반응기 온도	섭씨 410~440 도
반응기 압력	110~180 atm
Conversion	55~80 %
수소 분압	75~125 atm
Chemical 수소 소모량	135~300 Nm ³ /m ³
황 제거율	60~85%
질소 제거율	30~40%
CCR 제거율	40~70%
Metal 제거율	65~90%

중요하다. 이때 일반적인 Ebullated Bed Reactor의 주요변수에 따른 운전 조건은 [표 1]과 같다.

VR HCR 반응 특징

VR HCR 반응에서는 Coke 생성량이 증가하면 Conversion을 낮추어야 하며, Coke 생성의 주요 영향 인자 및 대응방안은 [표 2]와 같다.

[표 2] VR HCR에서의 Coke 생성 영향 인자

항목	영향	대응방안
Feed Quality	Feed Quality에 따라 Coke 생성량 변동	Monitoring/분석 강화필요
촉매 Activity	활성 저하시 Sediment/Coke 경향성 증가	정상운전 시 관리가능
수소 분압	Hydrogenation 반응 저하되어 Coke 발생	정상운전 시 관리가능

VR HCR공정의 Conversion은 Feed에 포함된 579℃+이상의 성분 중 제거된 양의 비율로 정의한다. 일반적으로 고도화시설에서는 Feed Quality를 종합적으로 평가하는 지표로 SARA라고 불리는 Colloid Instability Index(CII)를 사용한다.

이때 VR HCR에서는 이 SARA 지표가 값이 낮을 수록 Conversion을 높여서 운전 가능하다. 피드의 Asphaltene 함량이 높으면 Sediment Control이 어려우며, 동일한 Asphaltene 함량이라도 분자량이 높은 Asphaltene 함량이 높으면 Conversion을 높일 수 없다.

$$CII(\text{Colloid Instability Index}) = \frac{\text{Saturate} + \text{Asphaltene}}{\text{Resin} + \text{Aromatics}}$$

따라서, 위의 SARA 지표에 따른 VR HCR의 Good Feed가 되는 원유는 Arabian, Kuwaiti, Iranian, 및 Canadian heavy가 있다.

VR HCR Emergency 대응

VR HCR 공정 Emergency 대응의 핵심은 반응기의 Coke 생성을 방지하는 것이며, 이를 위해 반응기의 Ebullation은 유지하면서 반응기의 압력 및 온도를 자동으로 낮추도록 구성되어 있다. 이때 VR HCR 공정의 특징적인 Emergency로는 반응기의 Ebullation 상실, 반응기 온도 이상거동 등이며 공정에 심각한 영향을 미치는 Emergency는 정전, H2 Failure, Feed Failure 등이 있다.

VR HCR 공정의 모든 Emergency는 Cut Back 이라고 하는 자동화된 DCS Logic에 의해 운전원의 개입없이 1차적으로 대응된다. Emergency 대응이 자동화된 이유는 초기 대응이 늦거나 정확하지 않을 경우 Coke 생성 등으로 공정에 심각한 영향을 미치기 때문이다.

그러나 즉, Cut Back은 공정 보호를 위한 최소한의 안전장치이므로, 빈번한 Cut Back은 공정의 Run Length나 Conversion의 제약으로 작용한다. 따라서 Cut Back 자체가 발생하지 않도록 운전해야 한다.

마무리

VR HCR은 현재까지 석유정제기술 중 가장 고도화된 기술이며, 그 운전도 매우 까다로운 것으로 평가되고 있다. 각 정유사의 실정에 따라 달라지겠지만, 일반적인 경우 그만큼 복합정제마진도 타 고도화시설 보다 매우 높다. 계속되는 고유가 및 단순정제마진의 악화는 정유사들로 하여금 지속적인 설비투자를 요구하고 있으며, 이러한 상황에서 VR HCR은 정유들에게 매력적인 옵션으로 지속적인 관심을 받을 것으로 기대된다. ◆

