化学プラントの大型化について*

玉置明善**

1. 緒言

化学プラント大型化の経済面についての効果は、製品の販路が十分である場合において、歴然としている。わが国でも、日産1,000トン級のアンモニア・プラントや、年産300,000トン級のエチレン・プラントが建設されつつある。

わが国は、国土が狭く、工場用地が高価であるから、集中合理化された大型化学プラントの必要性は、他国の場合よりも大である。また、輸入原料の輸送費節減効果が大型輸送で可能になり、製品価格の低下に対する寄与が大である。

元来生産性の高い、建設費のやすい化学プラントは、処理量や生産量に対して、小型であることが最大の要件である。したがって、化学反応については接触効果の大きい触媒の開発や、より高温高圧のプロセスに耐える材質や構造の開発がなされねばならない。このような技術開発の方向と成果がひいては、今日のプラントの大型化を可能にしたということもできる。ということは、今日実現しつつある大型プラントは、単なる規模の拡大、大きさの増大といった、いわゆる、単純大型化ではないということである。もちろん、規模のみの拡大によって、プラントの建設単価はその拡大率の0.6~0.7乗に比例して低下するということは、一般にいわれるところであるが、このことのみでは大型化のメリットは少ない。すなわち、単に建設費の低減をはかるのみでなく、原料、原単位などの節減による製造費の低下が達成され、両々相まって真の大型化のメリットが得られる。後者の製造費を低減させるためには、それなりの技術進歩を必要とした。そしてそれは、関連する広範囲の工学分野にわたるバランスのとれた技術進歩であることは、いうまでもない。しかし、大型化によって、新しく提起されてきた大型化固有の技術的問題もあって、それらの解決、改善のための今後の技術開発に期待するところが少くない。

一方、大型化によって、はじめてその技術的效果が明

らかになったり、新技術の適用が可能となったケースもかなりある。これらは、従来の小型プラントにおいては、潜在的な効果であったものが、大型化によってあらわれてきて、技術的に、さらには経済的に寄与するところとなった事例である。

以上のように、今日急速に進められているプラントの大型化は、単なる規模の拡大という量的な変化のみでなく、技術的にも従来の水準をこえた質的向上を伴って実現されたものであるだけに、従来とられてきた生産の拡大の方法としてのプラントの増設多系列化によるものにくらべて、大型単系列プラントの経済性はかなりポテンシャルの高いものであり、コスト・ダウンが大幅に期待されるということは、その反面、もしもプラントの操業率が著しく低下したときのコスト・アップの影響の大きいことを意味している。

一般に、新設の化学プラントが、その建設をおわって、試運転に入り、その全生産能力を安定して発揮するに至るまでには、思わぬ困難に遭遇したりして、容易ならぬ苦心と努力が払われるものであることは、多くの実際例が示すところである。ましてやプラントが大型化してくると、そのむづかしさは、倍加されるものと覚悟しなければならぬ。したがって、トラブル対策を十分に練っておくことが肝要である。

プラントの大型化のブームに入ってから、すでにかんりの時日を経てきたので、大型プラントについての論説や報告が数多く発表されているが、これらの多くは、主として個々の大型プラントの経済性と技術的問題について論じたものであり、プラントの操業、運転について述べられたものは少ない。

そこで、本稿においては、主として、大型プラントのオペラビリティ（操縦性）を中心的課題として、それに関連するプラントの始動、運転上の問題点を述べてみたいと思う。

なお、本稿は昨年10月に開催された秋季大会の特別講演において、筆者が述べた内容について、その後、時日もたったので、かなりに取捨、加筆して改稿したものであることをお断りしておく。

* 昭和43年5月14日受理
化学工学協会第1回秋季大会（昭和42年10月12日、於大阪）における特別講演

** Akiyoshi Tamaki 千代田化工建設（株）取締役社長（化学工学協会会長）

2. 大型プラントへの要求条件

一般的にいて、化学プラントに要求される質的、機能的条件を列挙すれば、

- i) 生産性
- ii) 信頼性
- iii) 安全性
- iv) 操縦性

などが項目として挙げられる。ただ、大型プラントに対しては、その要求度がきわめて切実であり、きびしいものであるということが指摘される。

以下、上記の各項目に関連して解説を加えつつ述べることにする。

1. プラントの生産性が高いこと

企業における生産性を支配する重要な生産要素が、生産設備であることはいうまでもない。生産性の向上は、従来とも、生産設備の拡大と生産技術の近代化によって遂げられてきたが、今日のいわゆる大型プラントは、これら二つの面で画期的な改善によって、もっとも生産性の高い生産設備として、広く是認されるにいたっている。このことは、最新の大型プラントが単なる規模の拡大によるメリットのほかに、最近の技術的進歩をとり入れた多くの改善が加えられた所産であるだけに、格段の優位性を持っていることは事実である。

ただし、ここで注意しなければならないことは、いかに効率のよい大型プラントが建設されたとしても、その操業度が高水準を保たなければ、生産性の向上を望むことはできないということである。

したがって、プラントの生産性と操業度は不可分の関係にあるという認識の上にたって、プラントの計画、設計、建設、運転が行なわれなければならない。そのためには、経済的側面からは、市場の確保が、技術的側面からは、以下の各項に述べるような、大型プラントとして具備すべき諸条件が要求されるわけである。

2. プラントの信頼性の高いこと

プラントを構成するすべての機器、機械およびその部品類に至るまで、高度の信頼性が要求される。その裏付けとしての設計上、性能上要求される厳密さは、むしろ小型プラントよりは大きいということができる。なぜならば、大型プラントにおいては、その処理量がきわめて大きいために、燃料消費量にしろ、圧力損失にもとづく動力費にしても、ほんのわずかな比率の上下によって生ずる損失あるいは利得の差違は、非常に大きいだけに、設計計算上の厳密さが要求される。

また、流量測定用の計器についても、とくに製品の入出荷時の計量の誤差の影響が大型プラントにおいては大きい。そのために、計測器に要求される精度と信頼性は、むしろ小型プラントの場合より高いということがで

きる。

このプラントの信頼性の高いということは、他の要因とも関連してプラントの操業度、すなわち長期連続安定運転の確保に直接つながるものであるから重要である。

3. プラントの安全性の高いこと

プラントの安全性を確保するためには、そのプラントの計画からはじまって、設計、製作、建設および運転に至るまでのすべての段階を通じて、関係法規の遵守はもちろんのこと、一貫して、安全という観点からの綿密な検討と周到な対策、配慮がなされなければならない。警報、緊急遮断などの緊急時の処置設備、対策の充実が肝要であり、これらの保安設備の徹底的な検査と保守、管理もまたきわめて重要である。

4. プラントの操縦性のよいこと

プラントの操縦性とは、運転のし易さ、運転の安定性の高いことを意味し、したがって、稼働率の高いことにもつながる。また、これらの要素は相互に密接な関連を持っている。

大型プラントはインテグレートされていて、構成する各ユニットが相互に影響し合っている。とくにアンモニア・プラントにおいては、合成ガス発生工程、ガス精製工程およびアンモニア合成工程で構成されており、プロセスの全系統を通じて、6~7種の接触反応工程を含んでいる。したがって、これらの反応工程にはそれぞれ異なった触媒が使われているわけで、触媒の活性の高い間は、比較的低い温度で運転できるが、その後の活性の低下や各ユニット間に存在する熱交のファウリングなどによる伝熱効率の低下、さらには、原料組成の変動などの諸変化に対応して、その都度最適条件を保持するためには、かなりの幅をもった運転条件を許容するだけのフレキシビリティを持った設計であることが要求される。

したがって、実際の運転は、許容される最高および最低値の範囲内で、その時点における最適値を求めて行なわれることになるので、各ユニット間のバランスのとれた設計であることがプラントの操縦性をよくするための重要な条件である。

このように、操縦性のよいプラントを設計するための他の一つの要件としては、設計者がプラントの運転の経験を持っていること、すなわち、運転上の苦勞を身をもって体験し、そして得られた貴重な経験が設計上の細部にまでも反映されて、はじめてよいプラントができるといっても過言ではない。

3. 大型プラントに見られる類似性

化学プラントの大型化は、まず化学製品の原料を供給する基幹化学工業の分野においてスタートをきったとい

うことができる。その動機として、これら基礎原料の急激な需要の増大もさることながら、装置工業の内でもきわめて直截に大規模生産のメリットが期待できるようなプロセス・プラントの構成を持っていたからであろう。

そこで、ここに大型プラントの代表的なものとして、エチレン・プラントとアンモニア・プラントをとり上げて、その類似性を述べることにする。

1. ナフサ分解炉とナフサ改質炉

この両者の運転条件について比較すると、エチレン・プラントのナフサ分解炉の最近の傾向としての、高苛酷度分解方式がとられるようになってきて、その温度条件が、アンモニア・プラントにおけるナフサ改質炉の場合の条件とほとんど同一水準になってきたため、

- i) 炉の型式、構造；垂直箱型であること。
- ii) 加熱管の配列支持方法；垂直管、縦型懸垂の方式が主として採用されていること。
- iii) 加熱管の材料；遠心鑄造の 25~20 合金鋼 (HK-40) が多く使用されていること。
- iv) バーナー；ラジアント・バーナーおよび長炎バーナーが使用されていること。

のように、原理的に設計が近似してきたことが認められる。

2. ガス圧縮機

プラントの大型化に伴って、信頼性の高い遠心圧縮機の要求がたかまり、その方面の技術的進歩には著しいものがある。これらは、主として、使用材料と工作技術の進歩にもとづく軸シール方法の改善などによる、合理的な設計法の確立によって、その高速化と効率の向上が達成された。

また一方、エネルギー源として、プラント自体の中から発生される高压で高度に過熱されたスチームの有効利用が可能となったために、回転機械の駆動用として、好適なスチーム・タービンの技術的進歩も同時に遂げられた。

以上のように、大型遠心圧縮機とその駆動用としてのスチーム・タービンの実現によって、たとえば、アンモニア・プラントにおいては、ガスの圧縮を必要とするところにはすべて適用されるようになった。すなわち、空気および合成ガスの圧縮はもちろんのこと、合成系の循環ガスおよび冷凍系アンモニアの圧縮にも使用することができる。このような予備機なしの遠心圧縮機の広汎な利用によって、プラントの大型化にとって重要な技術的、経済的条件の一つが確立されたといっても過言ではあるまい。

3. 廃熱回収設備

高温のプロセス流体や加熱炉燃焼ガスなどよりの廃熱を廃熱ボイラー、急冷システム、熱交換器などを設けて、極度に回収して、大量の高压スチームを発生させ、これを駆動用スチーム・タービンに供給利用して、エネ

ルギー回収の合理化をはかっている。

4. プロセス条件の高压化

アンモニア・プラントにおけるスチーム・リフォーミング条件の高压化によって、合成ガスの発生系内と精製系の装置設備はコンパクトになり、アンモニア合成系への昇圧動力費の節減をもたらしている。また、エチレン・プラントにおいては、分解ガスの分離精製系の高压化によって、精留塔、吸収塔などの塔類、熱交換器などの単位機器および配管の大きさの減少が可能になって、多系列化を抑えている。また、冷媒、冷却用水などのユーティリティの節約にも寄与している。

以上が、エチレン・プラントとアンモニア・プラントにおける主要な類似点であるが、これらは、いづれも大型化によって、はじめて実際に利用可能となって効果を発揮している事項である。また、このような類似点を持っていることは、技術上の問題点においても共通したものが少なくない。

4. 大型プラント固有の問題

3.章において述べた事項と一部重複するところもあるが、プラントの設計上重要と考えるので、述べることにする。

1. 廃熱回収

プラントが大型化して、処理量が増大すると、その燃料消費量も大量となる。したがって、もし設計上の合理化によって節減することができたとしたならば、そのもたらす経済的效果は大きい。

たとえば、年産 300,000 トンのエチレン・プラントにおける 2% の燃料消費量の節減は、年産 15,000 トンのプラントの場合の約 150 万円とくらべて、約 30,000 万円の年間節約となるといわれている。

したがって、プラントが大型化すればするほど廃熱回収の問題は重要になってくる。

エチレン・プラントにおいて、ナフサ分解炉より的高温のプロセス・ストリームは、急冷システムでその大部分の熱回収を行ない、同時に過分解を防いでいる。まづ最初に輸送管系熱交中で高压蒸気の発生が行なわれ、つづいて、二段になっている油および水による急冷塔でさらに温度を下げられる。この後段の急冷システムからの廃熱は、原料ナフサおよびボイラー給水の予熱、希釈用スチームの発生、精留塔のリボイラーおよびタービン凝縮水の再熱にも使用される。また、分解炉およびスーパー・ヒーターからの燃焼ガスは高压ボイラー給水の予熱に使用される。高压スチームは主要圧縮機の駆動用として利用されるので、分解部におけるスチーム発生と圧縮機の運転とは密接にインテグレートされている点が特長であり、また需給のバランスの調整が重要である。

図1

図2

アンモニア・プラントにおいても熱回収システムがプロセス・プラントにインテグレートされている点では同様であって、プラントが大型化され、その廃熱量が大きくなり、在来、小型プラントでは量的に不十分であったために、回収するに値しないものとして見過がれていた系内のあらゆる高温の部分が、すべて廃熱回収の対象としてとり上げられるようになったことも、大型プラントの経済性に寄与している。この場合、熱回収の増大はそ

図3

のための設備の建設費の増大をまねくが、原単位の向上によって、十分にペイするようになった。

このように、最近のアンモニア・プラントは、スチーム・タービンの駆動用のスチームと、プロセス用として必要なスチームをすべて系内で発生して需要をまかなうような自己充足的な熱バランスのとれた、熱回収システムを構成していることが特長となっている。その反面、プロセス・プラントが全体のエネルギー・システムと一緒に運転されなければならないことが、インテグレートされた設備の運転のむづかしさを増していることは注意すべきことである。図1は、天然ガスを原料とする大型アンモニア・プラントから出入りするアンモニア1トン当りのエネルギー分布とプラント中で生産されたスチームの利用を示すものである。

2. 圧力損失

圧力損失を問題にするのは、代表例としてとりあげたアンモニア・プラントにしる、エチレン・プラントにしても、その運転費において占める圧縮機の動力費の割合が大きいためである。

したがって、合成ガスあるいは分解ガスの圧縮機吸入口における圧力水準を高く保つために圧縮機の入口までに至るプラントの全系統内の機器、配管中の圧力損失を少くするための設計上の厳密な配慮が必要である。

たとえば、年産200,000トンのエチレン・プラントにおいて、もしも分解ガス圧縮機の入口圧力をわずかに 0.1 kg/cm^2 だけ上げることができたとした場合、その動

力の節減は約 400 馬力に相当するといわれている。

つぎに、接触反応器としてアンモニア合成塔の例について述べると、塔内部のバスケットに触媒を充填したり、熱交部分を設けたりして相当複雑な内部構造物を内蔵しているのが普通であるが、この場合、合成塔の出入口の圧力差をできるだけ少くするために内部流路の抵抗を極力少くする工夫が重要である。

通常、合成塔における空間速度は、塔内を通過する流体の許容し得る圧力降下によって制約を受ける。そしてその圧力降下の大部分は触媒層を通過する際の流動抵抗であるので、触媒粒子の大きさが問題とされ、普通、大型プラントの合成塔においては、10mm 程度の粒子が使用されている。しかし、粒子径の大きな触媒を使用すると、所要触媒容積が大きくなって、ことに、大型合成塔の場合には寸法の増大をもたらすので好ましくない。

このような見地から、合成塔内の構造をできるだけ単純化して、触媒層を通過する反応流体の通過距離を短縮して、流路の抵抗をできるだけ少くした設計方式がとられているのが、デンマークのトプソー社のラジアル・フロー・コンバーターである。この合成塔は、図 2、図 3 に示すように、触媒層を通過する流れは、中央部の管から壁に向う流れと、あるいは、触媒層の外周をかこんだ環状部から中央管に向う流れである。最も簡単な型式は一つの触媒層があるのみであるが、二つあるいは数個の層を設けることができる。

触媒層内の所要の温度分布を与えるために、これらの層の間に急冷あるいは熱交換を適用することもできる。この型式の合成塔内の圧力降下はきわめて低いので、小さな粒子径の触媒を使用することができることと、非常に高い空間速度をとることができるという特長をもっている。たとえば、2mm の触媒粒子を使用しており、この触媒は、トプソー社で開発されたもので活性度が高く、速度恒数について 10mm 粒子とくらべて、2mm 粒子のものは 37% 高く、したがって、触媒の所要量は 27% 少くてすむことになり、大型合成塔に対して、きわめて好適なものといえることができる。すでに、日産 1,000 トン以上のアンモニア・プラントに採用されて好成績を挙げている。

配管関係においては、大型プラントになると通過量が大きくなるので、当然、管径も巨大になってくるが、管自体のみでなくバルブその他のフィッティング類、さらにはサポートまで考え合せた場合、管径がいちじるしく大きくなれば、流れを分割して、配管系を並列化した方が安くなる場合がある。

一方、管径をできるだけ小さくおさえるために通常の基準よりも管内流速を大きくとって、動力消費を犠牲にするような場合もあり得るが、いづれにしても、圧力損失の増加による動力費の増大と設備費の低減とのかねあ

いであって、経済最適の条件を求めなければならない。

流量の測定と調節のために管路に通常、差圧式流量計の検出端をおき、調節弁を取付けるが、いづれも、流体の圧力損失を生じ、それがひいては、動力損失として原単位を悪化させるものとなるので好ましくない。ましてや、大型プラントにおいては、大流量となるからその損失は金額に換算してかなり多額なものとなることが予想されるので、調節弁の圧力降下の計算はもちろんのこと配管系の圧力降下の計算は厳密に行ない、慎重なチェックと決定が重要である。

3. 熱膨張

まず、加熱炉について述べることにする。ナフサ分解炉およびナフサ改質炉は、いずれもきわめて高温で操作されるため、加熱管自体の熱膨張の計算と、その逃げをどのようにとるか、管の支持方法などについての検討と慎重な設計が重要である。そのほか、とくに加熱管と集合ヘッダーへの連結管の膨張収縮の処理のための熱応力の厳密な計算などについての設計上の綿密な検討は、きわめて重要である。

つぎに配管系について述べるが、大型プラントにおいては、熱バランスから見てそのエネルギーは巨大であるから、熱膨張によって生ずる応力の算定とその支持法についての設計を厳密に行なわなければならない。

とくに、高温高压スチームが通るスチーム・タービン回りの配管の設計については、熱膨張に対する厳密な検討が必要である。このような配慮が足りなかったために膨張を吸収しきれなくて、タービン本体の位置を移動させたというような事故例もあったと聞く。また、ポンプ回りの配管についても熱応力による配管荷重を過大にかけないような配慮が必要である。

なお、大型プラントにおける特別の配慮として、機器のレイアウトと配管との関係について述べる。一般に大口径の配管となるのでその熱膨張を吸収するための膨張ループは、かなり大きな寸法となり、したがって、その占めるスペースも意外に大きなものとなることを考慮して、機器のレイアウトをきめなければならない。

4. 信頼性

大型プラントの理想の姿は、予備機が存在を必要としないで、長期間にわたって、安定した連続運転が保証されるような完全な単系列プラントである。そのためには、当然、プラントを構成するすべての機器、機械類の信頼性が最も重要な条件となる。

大型プラントの運転の面から考察するとき、まづ計装設備の信頼性が重要視されなければならない。同程度の計装設計にとどめるかぎり、大型化による計装費の値上りはかなり低い割合である。このことは、逆に計装を高度化するための予算上の配分に余裕をのこしているということである。したがって、グレードの高い高価な計

器を用い、あるいは、重要な部分にはスペアを用意するとかして、信頼性を高めることが得策である。なかんづく、緊急停止機構の信頼性が重要である。とにかく、プラントの計装関係の故障は、プラントの運転停止にもつながって、大きな損害を与えることになるので、とくに重要視しなければならない。したがって、計装設備の保守保全にも重点をおかなければならない。

5. 大型プラントの始動・運転について

一般に、新しい化学プラントを生産運転にまでもってゆくには、十分に練られた綿密な準備計画をたてることが肝要である。

とくに、単系列大型プラントの場合は、生産運転に入って、製品が所期の仕様に合致するまでの始動期間において、消費される原料とエネルギーの所要量は、プラントの容量が大きいために、非常に大量にのぼり、いかにいえば、多額の費用を要するものである。それ故に、始動に入るまでのテストや諸準備についての計画と、始動に入ってから行なわれるべきすべての作業の内容と方法、手順について確立しておくことが、きわめて重要である。

そのため、下記のような各種の要領書を作成、整備しておくことが必要である。

- i) 予備作業
- ii) 始動操作要領
- iii) 正常運転操作要領
- iv) 運転停止操作要領
- v) 緊急時処置要領
- vi) 各種分析試験方法

これらの内容については、すべて、その操作ステップの順序にしたがって記述されなければならない。したがって、操作は各ステップの順序を守って着実に実施してゆき、各操作ごとにその変化を注視、確認をしながら進めなければならない。

プラントの始動・運転までの、諸準備作業と各種のテスト、試験の内容については、通常のプラントのそれとはほとんど差異はないので省略するが、大型プラントにおいては、とくに操作条件を急激に変化させないことが肝要である。また高温または低温で操作される機器、配管類は、急激に温度変化を与えると、熱膨張あるいは収縮によって、異常な応力の発生によるひずみを生じて重大な事故に至ることもあるので、予熱あるいは予冷を行なうことが必要である。いずれの場合でも、昇温あるいは冷却速度をあらかじめ規定しておかなければならない。

しかしながら、熱的にインテグレートされている大型プラントにおいては、初期段階において反応熱あるいは廃熱が利用できないので、ユーティリティ設備などの

外部熱源を多量に消費しながら運転しなければならないなどの理由から、できるだけ早く整定条件にまでもって行くことがコスト的に考えて望ましいことではあるが、一方、プラント装置の保護、保全のためには、所定以上の条件変化を与えないよう注意しなければならない。

その他、振動発生の子想される箇所はすべてチェックし、要すれば、振動の測定を行なって、その振幅が許容値以内にあるかどうかを確かめ、さらに支持方法、防震対策が適切であるかどうかを確認しておくことが重要である。

プラントの安全操作に関連して、前記した緊急時処置要領については、まづこのような事態が発生する原因であるところの事故あるいは故障について、大別して、プラントのオンサイトとオフサイトに分けて考えると、前者については装置あるいは配管からの漏洩、引火、爆発などであり、また、個々の機器、機械類の機械的故障もこの内に入る。つぎに、オフサイト関係では、電力、スチーム、冷却用水、圧縮空気などのユーティリティの供給停止あるいは、供給不足であり、そのほかには、自然災害の発生が挙げられる。

前にも度々述べたように、エネルギー効率と単位能力の増大と、そして、インテグレートされたエネルギー的に自給自足のプラントであることが、最新の大型プラントの特長である。このように、高度にインテグレートされているために、プラント中のどこかの部分の運転条件が変化すると、多くの他の部分に変化が生ずるといったような波及的な影響を与える。このことは、主としてプロセス変数の相互干渉によるもので、プロセスの自由度が減って、プラントの操縦性を悪くするが、これを補うためには計装を高度化してやらなければならない。

とはいえ、新設の大型プラントの始動に至るまでの、計画、設計、建設、始動前予備作業の諸段階を通じて、いかに慎重、綿密に検討を加え、テストも十分に行なったとしても、なお潜在的な欠陥が残されているのが通例であって、プラントの始動後のトラブルの発生は、まづその大小を問わず避けられないものと考えておかなければならない。

現在までに、すでに多くの大型アンモニア・プラントが操業に入っているが、これらのプラントの始動時に経験されたトラブルの報告によると、その原因あるいは理由として挙げられている項目を大別すれば下記の通りである。

- i) 設計上の欠陥によるもの
- ii) 据付、建設時における過失によるもの
- iii) 機器、機械類の欠陥によるもの
- iv) 運転上の人為的過失によるもの

事故例の統計によると、これらの原因のうち、機器、機械類の欠陥によるものが、過半数で圧倒的に大きな割

合を占め、次いで、ミス・オペレーションの順となっている。このことは、購入機器、機械類に対する仕様と、その検査の重要であることと、運転員の教育訓練と、完全な運転要領書などによる指導の重要であることを示している。

上記の分類とは別の観点から、とくにアンモニア・プラントにおいては、触媒に関連したトラブルも少ない。ここでは、最も苛酷な反応条件で運転されるリフォーミング触媒について述べる。

この触媒について、その本質的な特性は一応、別に考えずとして、触媒によるトラブルは、大きくわけて、下記の三項目になると思う。

- i) 触媒の破損、粉化、圧力損失の増大
- ii) 活性の急激な低下
- iii) 触媒成分の流出によって生ずるトラブル

これらの原因について考察すると、i) 項に関係するものとしては、まづ充填作業中の触媒の取扱い上の過失によるものと、始動、運転、停止などの運転中における過失に起因するものが大半である。充填作業においては、垂直管への充填であるから、高所よりの落下投入は禁物であることはもちろんであるが、全ての取扱いを乱暴にしないことが大切である。また、多数の触媒管への反応流体の均等分配を確保するためには、パイプレーターなどを使って均一充填を行ない、各管の充填容積と圧力降下を測定するなどして極力これらの条件の均等化をはからなければならない。

つぎに運転に関係する事項として、まづ第一に重要なことは運転条件を変化させる場合にその変動の幅を規定値を越えないようにできるだけ少くすることである。すなわち、処理量、温度、圧力条件などである。とくに始動、停止時において注意しなければならない。急激な条件変化によるサーマル・ショックやスチームの凝縮水の流入などによる触媒の破損、粉化が生じ易い。また、正常運転時においても、硫黄などの被毒物質の侵入に起因するカーボンの生成、析出またはガム状物質の生成などによっても究極的には触媒の破壊、粉化を生じて圧力損失を増し、ひいては活性の低下、ホット・チューブの発生につながる。

つぎに、触媒成分の流出によるトラブルであるが、助触媒として、あるいは担体成分として、アルカリ、シリカを含んでいる触媒を使用する場合には、これらの成分の流出が問題になる。ストレス・コロージョンの原因になったり、リフォーマーの後流の廃熱ボイラーや熱交換チューブのファウリングを起こして伝熱効率を低下し、発生スチーム量の減少となり、さらにはつぎの工程のCO転化炉の入口温度の上昇を来し転化効率を低下させるなど、波及的トラブルを起こすことになる。

以上に述べた種々のトラブルを防止するためには、触

媒の特性として、まづ、活性の高いことはもちろんのこと、物理的強度の向上、触媒毒に対する耐性の向上などが望まれる。さらに、重要な問題である、システムの不均衡をもたらし、プラントの操縦性を悪化させる原因となる因子としての触媒成分ならびに担体成分の流出の対策としては、まづアルカリ成分やシリカを含まない触媒を使用することが、根本的なことで、さらに、上記の問題成分の触媒本体以外の発生源も考えられるので、これらを除き、かつ厳重に管理すれば、この厄介なトラブルは未然に防止することができる。

つぎに大型プラントの運転に関連して、最も重要な主要機械類の検査、試験について述べることにする。

何といっても、大型プラントにおけるクリティカル・マシンは、アンモニア・プラントにしる、エチレン・プラントにしても、大型遠心圧縮機であろう。なぜならば、これらの圧縮機は予備機なしで、長期間正常な連続運転が保証されるだけの信頼性の高いものでなければならぬからである。

そのためには、圧縮機メーカーの工場における厳密な検査から始められることが望ましく、ユーザー側の専門エンジニアおよび運転担当者（とくにフォアマンになる人）とコントラクター側からも、機械のスペシャリストがともに参加して行なわれることが望ましい。作業としては、各種の試験を行なうのであるが、まず空運転から始めて、低負荷運転、過速度運転などが行なわれるべきである。これらの試験運転中に、圧縮機本体についてはもちろんのこと、駆動機とのカップリング部分、ギャーボックス、ベアリング部分などについて、徹底的に綿密な検査と試験が行なわれるべきである。その結果として、発見された欠陥は、現場搬入以前に、すべて取り除かれて改修されなければならない。さらに、ユーザー側の担当技術者は、機械各部の構造と組立てについて、完全に精通しておくことが望ましい。このようにして、現場に搬入され、据付けられた以後の事故発生を未然に防ぎ、かつ、始動時の運転にも習熟しておくことが大切である。もちろん、このために圧縮機の運転、保守についての詳細な指導書が作成、用意されていることが必要である。

以上、とくに主要機械として、遠心圧縮機についてのみ述べたが、その他の各種ポンプについても、等閑視してはならない。たとえそれが価格の上では問題にならないような安いものであっても、もしそれが軽視されて、十分な検査、試験もされずに欠陥を内蔵していたとすれば、それがプラントの全系運転に入った後に、故障を起こせば、たった一つのポンプのために、全プラントの完全運転停止に至ることも起こりうることであり、また、ポンプに限らずその他の小さな欠陥、過失でも、数日間あるいは数週間の間、大型プラントを停止に至らしめる

ことができるということを銘記しなければならない。

そこで、ここに、大型プラントの運転停止と再始動の問題について述べることにする。

たとえば、アンモニア・プラントの改質炉を停止することが必要となった場合について考えて見ると、正常では高温で運転されているから、修理を行なうためには、まず、それを冷さなければならない。そして、それを再加熱して、運転を再開するには、燃料、原料ともに、非常に高価につくものである。さらに運転停止中は、その後の急速なスタート・アップを確保するために、ユーティリティ設備は運転をとめないで、そのまま運転を継続して、生産の損失を最少にとどめる必要がある。したがって、この費用を合わせて考えなければならない。

このように、大型プラントの運転停止は、きわめて高いコストがかかることは重要な問題点であり、ましてや、シャット・ダウンが頻繁に起こるとすれば、その損失は莫大になることは明らかであって、大型プラントのメリットが全くなくなることになる危険を包蔵していることを慎重に考慮する必要がある。

結 言

以上、大型プラントに対して要求される諸条件につい

て、種々の観点から考察を試みたが、要約すると、大型プラントの計画、設計、建設、運転などの全ての局面において、小型プラントにおけるよりも、より精緻な厳密さがつよく要求されることが指摘される。したがって、それらの条件が充足されて、はじめて、生産性の高い、高性能のプラントが実現し、プラントの長期安定操業の確保、すなわち、高い操業率を維持することが可能となるといっても過言ではあるまい。

また、プラントの大型化は、単なる規模の拡大のみでなく、インテグレーションなどによってエネルギー効率の向上をはかり、大型化によるメリットを高めることの必要なることを述べたが、その反面、装置的には複雑化されて、運転操業がむづかくなる傾向を増すために、計装の高度化などによって、“プラントのオペラビリティ”（操縦性）を改善することの重要性についても述べた。

そのほか、公害問題とか、原料問題など、大型プラントなるが故にその影響するところが大であるから看過することはできない。また、原料事情の今後の帰趨とも関連して、新技術の出現の可能性が予想されるので、それに伴って、プロセスの陳腐化の問題も考慮しなければならないと思う。

委員会報告

研究調査委員会第一小委員会報告*

水 科 篤 郎**

昭和40年4月より42年3月に至る2ケ年間研究調査委員会第一小委員会を下記のメンバーで構成し、化学工学の将来の発展の方向につき研究した。

まず初めに諸外国の学者のこの問題に関する論文を集め、分担して抄訳文を作り資料を印刷、ついで各委員の意見を求め、これも資料として印刷、各委員に配布した。また長老の諸先生にもお集り戴き御意見を伺い、その後数回の討論を経て、報告書作成の段階に入った。

まず小委員長水科が起草し、文書により各委員の意見を細部にわたって求め、これを全部印刷して各委員に送付、最後の会合においてこれを逐条審議して報告書原案を作成、再度各委員

に送付して意見を求め、この報告書として児玉委員長を経て理事會に提出した。

必ずしも全委員の意見が一致しているわけではないが、水科の起草したフィロソフィーはなるべく変えずに全員の意見を入れて加筆訂正するという方式をとったものである。

したがって本報告は絶対的なものではない。しかし、各委員の努力により作成したものであるし、またこの問題に関する討議は継続的に行うべき性格のものであるから、一つの中間報告として全会員に読んでもいただき、今後この問題に関する討論の一資料に供し得れば委員一同望外の喜びである。さらにこの報告書に対する御批判ならびに御意見をお寄せ下されば幸である。

研究調査委員会第一小委員会

青木隆一（横大）伊藤龍象（京大）井上博愛（東大）
上羽創（同大）遠藤一夫（北大）片山俊（阪大）樺田

* 昭和43年4月20日受理

** Tokuro Mizushima 京都大学工学部化学工学科 研究調査委員会第1小委員会委員長