公害と化学技術

太田 暢 人*

Chemical Technology for Pollution Control

Nobuto OHTA*

I. ま え が き

1. 化学工業は転換期にはいった 化学工業は今大きな質的転換期にはいつている。戦争直後の疲弊と食糧にも事欠いた国を救うために肥料製造に全力をそそいだ期間。ついで昭和30年頃より始まる、石油化学の台頭とそれに伴う化学工業系体の変貌、巨大設備稼動によるマスプロ化の期間。この期においては石油精製、鉄鋼等々他の重化学工業の量的拡大と相まってわが国の GNP は世界第2位を占めるに至った。

成長の裏に伴っていた暗い影——公害——にはっきり気付き始めたのは昭和40年代にはいつてからであった。従来の生産技術の多くは公害認識が十分でなかった時期に開発されてきたこと、生産活動の巨大化があまりに急激に進んだことなどのため公害問題が大きくクローズアップしてきた。わが国は人口密度と生産密度が大きく文明国の中で特に公害問題が顕在化する素地をもっている。従来のパターンでの産業発展ではいたずらに資源、エネルギー消費量が多く（文明国中では製品単位価格当りのこれらの消費量がずば抜けて大きい）、その割に利潤率が低く、このままでは公害や資源入手難から行きづまってくるものが予測される。今後の産業は、資源やエネルギーの消費量が低く、付加価値の大きい製品を公害を伴うことなく社会に供給して行くことが期待され、またそうしなければ繁栄した存在を続けえないと考えられるに至った。化学工業は特にそのことが明白な代表的産業であり、ここに質的な大きな転換期を迎えたのである。

2. 公害への対策 ローマクラブは最近「成長の限界」という本を出した。この本は無限の発展をめざす人

* 通商産業省工業技術院（ ）

* Agency of Industrial Science and Technology, MITI. ( )

類の活動と有限の地球の諸条件は両立するかどうかという問題にとりくんでいるが、人口増加による食糧不足、経済の発展に伴う資源不足と公害の増大が今の調子で進めば遠からず地球の均衡は破れ、人類の多くは死滅せねばならない。このためあらゆる予防手段を急いで取るべきであると強く警告している。この報告は文明とは何か、人間の幸福とは何か、進歩とは何かを改めて考えさせるのであるが、化学工業のあり方についても考えさせる多くのものを含んでいる。化学工業にとって現在公害防止技術、公害を出さないプロセスの開発ほど緊急を要するものはない。

公害物質は、もちろん化学工業以外からも多量排出される。その発生源の如何を問わずそれらの無害化や除去に対して役立つ技術の多くは広義の化学工業技術に属している。化学工業自体および化学工業の研究者や技術者の多くのエネルギーがこの分野に集中されることが望まれる。

化学技術の進歩は今後もしも引き続いて多くの新製品を社会に送りこむであろうが、特に開放システムにおいて用いられる製品については人体に対し、あるいは自然環境に対し有害な働きをしないことが、物質自身の性質、製品の用い方、排棄のし方等に関連し、予め確められておく必要がある。このことはかなりの経費と時間を喰うであろうがこれからの製品開発では避けることはできないだろう。BHC、DDT等の農薬がまわりまわって人体内に蓄積されることが明らかにされた事例、今春の国会で大きくとりあげられたPCB問題等はこのことに対する貴重な教訓であった。

このようにして生産工程での排出物や製品そのものの毒性による公害は減少し、遂には自然界の許容限界以下にならなければならないが、こうなってもわれわれの日常生活に伴って多量の排棄物が出てくることをとめることはできない。これらの排棄物の単位量当りの毒性、有害性は小さいであろうがその量はきわめて大きいので、特に大都市においてはその処理が大きな公害問題となっている。松島湾等で養殖ガキが自らの排出物による汚染で死滅しかかっているというが、われわれ人間の生活でも似たような事態が徐々に起こりつつある。しかしこれらの排棄物を見かたを変えたと大きな潜在的資源である。これを有効に再資源化することは究極的には地球上の資源を有効に利用したことになるのであるから、資源は減少し、排棄物は増える傾向から見て今後大いに研究開発せねばならない課題となるだろう。

なお公害物質の分析技術は公害物質の規制や防止技術、公害管理技術開発の基盤に必要であり、現在依然として解決を迫まられている多くの技術的問題をかかえているけれども、ここでは触れないこととする。

II. 産業廃水処理技術

1. 微生物法 下水処理技術として発達した本法は今日多くの産業廃水の処理プロセス（特にBOD除去）にとり入れられている。自然界に存在する物質を消化する微生物は必ずいるという考え方は、地球には物質の自然平衡が存在してきたことによって支持され、事実水銀化合物でさえ無機水銀と有機水銀の間の変換を行なう微生物も見出され、水中油分の浄化、フェノールやシアンイオンを含むコークス工業廃水の無害化も可能となっている。

これまで自然界になかった汚染物質ではそれらを分解する微生物が見出されたり（例PCB分解菌）、あるいはそのような性質を新しく微生物に与えて行くことも可能性はあるが、それを浄化プロセスとして実際にとり入

れて行くには相当の困難がある。かりに実験室で分解能をもつ微生物が見出されても浄化速度があまりに遅かったり、実験室での浄化処理条件が自然界の条件と著しく異なっていたりしていたのでは意味がない。

活性汚泥法で現在一般的に問題となっているのはまず廃液組成の変動に関するものである。組成が変り微生物の活性が一度失われるとその回復に長時間を要する。微生物の活性維持のための工程自動管理技術の一層の研究が必要である。余剰汚泥は多量の水分をふくんでおり、乾燥、焼却しにくく厄介ものとなっている。この面での技術開発が期待される。さらに乾燥余剰汚泥は肥料や飼料に利用することもやられているが利用法についての広い努力が望まれている。

2. 物理的処理法 沈殿法；ろ過法；浮遊攪鉋法を応用した浮上法；起泡分離法；硫酸アルミニウムや硫酸鉄等を用いる凝集法；蒸発、濃縮、乾燥法；活性炭、水酸化アルミニウム、水酸化鉄、白土等による吸着法等化学工業の単位操作としておなじみの物理的分離法がいろいろ採用されておる。処理剤を用いているものが少なくないが、そこに用いられる処理剤はまず安価なものでなければならないので自ら大きな制約がある。たとえば活性炭は汎用的な吸着剤として用いうるが、従来の製法のものでは高価で実用に耐えない。石炭等を原料とする高性能で安価な活性炭を製造する技術が最近工業化されたが一層の開発が望まれる。

3. 化学的処理法 廃液を中性にしたり、重金属イオンを沈殿させたりする中和法、酸化法、燃焼法、イオン交換法等がこれに属している。酸化法としては塩素、オゾン、酸素、空気等を酸化剤とするもの、電解酸化法等がある。塩素では残留塩素による2次汚染の問題がある。オゾン法は最近オゾン発生装置が発達しオゾンが比較的安価に得られるようになったため注目され、シアンやフェノール廃水、染色廃水の脱色等により実験成績をあげている。酸素や空気による酸化は酸化剤コストや2次汚染の点で理想的であるので大いに伸ばたい技術であり、これまでに得られている石油化学の液相酸化の知見が役立てられよう。すでにコークス工業廃水のフェノール、シアン除去にかなりの成績(100°C以上で空気酸化)があげられている。

廃水中の水溶性塩(N、P等)の除去はまだあまり実際には行なわれていないが水の用水化、赤潮防止には絶対必要であり、その処理技術としてはイオン交換、電気透析、II.2に属する逆浸透法、微生物法等が研究されている。特殊な重金属イオンを水溶液から撰択的に捕捉するのにキレート剤が用いられる。安価であること、過

剥捕捉剤による2次公害がないことが必要である。捕捉基を固体表面に結合させ、水銀法食塩電解廃水から痕跡の水銀を除く方法の提案等々興味あるものが多く出されている。この種の技術は海水から溶存する重金属を回収する技術と近縁である。

III. 生産工程の見直しと無公害プロセス

これからの化学技術は排棄物に伴う公害をなくした形で開発されて行かねばならぬ。特に廃水処理コストの大小が生産プロセスの優劣に大きく影響する場合が多くなってくる。

廃水に化学的あるいは物理的处理法を適用する場合汚染物質の濃度が大きいほど除去し易いのであるから、生産工程での廃水量はなるべく小さくしたい。洗浄法の合理化が徹底されねばならぬ。溶媒を水から蒸発潜熱の小さい有機溶剤に変えることにより廃液の蒸留による溶媒と溶存物質の回収が可能になれば廃液による公害防止につながる。フタロシアニンの顔料化は多量の硫酸中で行なわれ廃硫酸の処理が問題となっているが、硫酸の大部分を石油系溶剤でおきかえる新井氏の発明は公害防止の点から注目される。

溶媒と溶存物質が完全に回収され循環使用されればプロセス系外に公害物質は出なくなるので無公害技術(クローズド プロセス)が成立することになる。染色廃水の公害問題の対策として提唱されている非水系染色はその一例である。化学パルプ工業の廃液は蒸解剤やリグニン、ペントザン等に由来する種々の物質を含み大きな公害をおこしている。この廃液を蒸発燃焼させれば水と蒸解剤の変化した無機薬剤が回収される。後者を再び蒸解剤に変え再使用すれば、クローズド プロセスとなるのだが現在用いられているイオウ系蒸解剤(Na_2S , Na_2SO_3 等)ではその再生が困難であるのでクラフト法以外ではほとんど回収は行なわれていない。クローズド プロセスとしての技術評価をすると従来法にくらべ二酸化塩素・カセイソーダ法(蒸解と晒が同時に行なわれる。廃液は濃縮燃焼し、無機薬品を NaCl として回収し、 NaCl は電解法により ClO_2 と NaOH に変え再使用)が経済的に有利である事が推測され、わが国で工業化試験が開始されている。

無公害技術確立の方向で進められている他の技術改変の例をあげておこう。

酸化チタンの製法が硫酸法から塩素法に変わってきたのは前者では廃硫酸処理に大きな費用がかかるからである。食塩電解はわが国では専ら水銀法が採用されてきた。この方法による廃水、廃マッド中の水銀を減らす技術が

いろいろ研究されているが、水銀を用いない電解法が当然今後重要性をもってくる。古くからある隔膜法では製品カセイソーダの純度がわるいということで、海水濃縮法で発達してきたイオン交換膜を応用するよりすぐれた非水銀電解法が開発されつつある。有機合成でも廃硫酸、廃混酸の処理は厄介な問題となっており、そのためスルホン化やニトロ化を経ないフェノール類や芳香族アミン類の合成法が開発されている。触媒を用いる有機合成の経済的な適用範囲が一層拡大されるだろう。

IV. 固体廃棄物処理技術

固体廃棄物について大きな問題が2つある。プラスチック廃棄物と都市廃棄物の絶対量が増大してきたことである。これらを単に公害のないように焼却したり埋立てに用いたりするだけでなく、重要な資源として有効に用いるべきだとの考えが高まっている。

1. 都市廃棄物 都市廃棄物は厨芥、プラスチック、紙類、布類、無機固体、金属類等よりなりその組成はきわめて複雑である。

i. 焼却法 都市廃棄物におけるプラスチック含有率は表1の如く大きな値を示しており、そのため焼却処理でいろいろのトラブルが起っている。

表1 大都市における乾燥ゴミ中のプラスチック%

年 次	東 京	大 阪	横 浜
昭 38	3.3	4.3	—
40	6.5	3.3	4.5
42	6.7	—	5.7
43	13.0	—	8.7

プラスチックが融けて炉のめづまりを起し易く、さらに空気必要量が大きいため混在量が多くなるほど不完全燃焼を起し易く、ススを発生させる。発熱量は生ゴミの800~2000 kcal/kg に対しプラスチックは6000~10,000 kcal/kg と大きいので炉の寿命を低下させる。塩ビが混在すれば HCl を発生させ炉をいためたり、付近住民に被害を与える。これらは炉の改造、プラスチックの選別専焼等により解決されるが、いずれの場合も予め脱塩化水素工程(200℃ 辺での熱分解)を入れて塩ビの塩素を除去しておく事が望ましい。

ii. 資源化再利用 都市ゴミを資源化再利用する事は米国でとくに盛に研究され、わが国でも資源化技術協会の調査、通産省での資源化システム研究開発計画等で検討され始めている。

① 最もとり上げ易いプロセスとしてゴミ焼却炉残査からの鉄、アルミニウム、銅、鉛、亜鉛、ガラス等の分別利用をあげうる。ガラスは光学的性質の差を用いさら

に透明ガラスと着色ガラスに分別できる。

② 生ゴミをミルで粗く破碎し、次いで空気分級、磁気選別、スクリーニング、光学的分級、重力選別、等を組合せ繊維類、プラスチック、鉄金属、非鉄金属、透明ガラス、色ガラス、砂等を分別し、同時に燃焼工程でスチームを回収する。破碎、粉碎はむずかしい工程であるが、米国オハイオ州で開発中の「パルパー」という装置は一種のジューサーのようなものでこの内にゴミを水と一しょに入れ底部にそなえたプロペラ式カッターで金属やガラスも粉碎できるという。極低温ではプラスチックや金属も破碎され易くなるのでこれを利用するアイデアも出されている。

③ ゴミを分別して得た有機性ゴミを熱分解して燃料ガス、油、炭を製造する米国のオキシデンタル社の技術やCOと水蒸気を加え 260°C, 100 atm で石油に変える米国鉱山局の技術も注目される。

2. プラスチック廃棄物 わが国のプラスチック生産量は昭和45年に500万t。昭和50年には1000万tに達すると予想されその1/2はプラスチック製品の廃品として排棄されてくるから、大きな資源と考える。

廃プラスチックの利用技術としては、それがどのような組成であるかにより異なるが、現在盛に行なわれている研究開発は熱可塑性プラスチック製造工程からでる廃プラスチックであり、組成が比較的単純なものを対象としている。その熱可塑性を利用し、建築材料、土木材料に用途を開きつつあるがまだ耐久性等について改善すべき点が少ない。

廃ポリオレフィンをそのまま燃料として用いるとか、液状またはガス状炭化水素に変えることはそれほど困難とは思われない。塩ビを含む時は予め脱塩化水素工程を必要とすることはいうまでもない。

しかしこのような工場からの廃プラスチックの量は微々たるものであり、資源化技術としては都市廃棄物中の廃プラスチック（非高濃度、不均質）を対象にしたものが開発されて行かねばならぬ。

プラスチック廃棄物が公害となる他の大きな理由は、使い捨てられるプラスチック（特にフィルム状のものや瓶等）が自然界であまりに安定であり、そのままの形でいつまでも存在し、土壌や水への酸素の流通や溶解を妨げ好気性微生物の活動をさまたげ、あるいは魚貝を死滅させることである。そこでプラスチック自体に自然崩壊性を与えたらよいというので主として光分解性（光自動酸化性）を与える方向の研究がこの3～4年来盛に行なわれている。光増感剤を既存ポリマーに添加するとか、-CO-のような易酸化分解性の基をポリマーに挿入する

方法等が研究されている。CO₂を主原料とするポリマーの出現等はこの面からきわめて望ましい。光分解性を与えるとプラスチックは一般にバラバラに崩壊するが、さらに分解生成物の公害がないことも十分確められねばならぬ。もっとも望ましいのはそれが微生物に喰われCO₂とH₂Oになってしまうことである。このようなプラスチックの開発も進められている。

しかし元々プラスチックは安定であることを大きな特徴として用途開発されて来たのだから、それぞれの用途により、また同じ製品でも使用者により使用期間の長さは異なる。その製品が不要になり捨てられる時に初めて自然崩壊を始めてくれねば困る。したがって製品に初めから自然崩壊性を与えておくことは自ら範囲が限定されるよう。

3. 土壌汚染 鉱山や工場等の廃棄物により土壌が汚染され、直接的に、あるいは米や作物を通して住民に害を与える事例がある。Cd汚染がその代表例である。このような汚染土壌から汚染物質をとり除く方法や無毒化する方法の開発は困難ではあるが強く要望されている。

V. 大気汚染防止技術

燃料特に重油の燃焼により生じるSO₂、窒素酸化物、自動車排出ガス中の一酸化炭素、窒素酸化物、炭化水素、パルプや畜産・水産加工工業からの悪臭、製鉄工業、セメント工業、鉱石焙焼、石炭燃焼等からの煤塵除去が主な対象である。

1. SO₂問題 石油は各種の有機イオウ化合物を含み、特に沸点の高い部分にその量が多く、イオウの60～90%は重油中に存在する。石油中のイオウ含有率は東南アジア(0.12%)、アフリカ(0.17%)、ソ連(0.3～0.8%)、米国(0.8～1.6%)、イラン・ヘビー(1.66%)、中東クエート(2.5%)、カフジ(2.9%)の如く産地により大幅に異なる。わが国の輸入の主体は中東クエート、カフジ、イラン・ヘビー等高イオウものが多い。石油の輸入は1969年197百万kl、1980年(予想)567百万klであるからS1.7および1.5%、比重0.9とすればおのおのイオウ300万t、および765万tに達する。石油を燃焼すればその中のイオウは95～99%はSO₂になり、残りはSO₃となるから、それらによる大気汚染が如何に大きいかがわかる。

この公害を減らす手段として、①低イオウ原油の輸入量を増やす、②原油をそのまま発電用燃料として用いる。③イオウがほとんど存在しないナフサやLNG(液化天然ガス)を用いることがまずとり上げられる。しか

し①③は世界的に資源が乏しく大きくは依存できない。
②では低イオウ原油でないのであればS%を十分下げる
ことにはならないし、ナフサ等の価値ある留分も一しょ
に燃料としてしまうのはもったいない。そこで重油の脱
硫および燃焼後の廃ガスからSO₂を除くことが重要と
なってきた。

2. 脱硫技術

i. 湿式排煙脱硫 SO₂は水に溶けるし、アルカリ性
物質とは容易に反応し亜硫酸塩を生成する。したがって
煙を水やアルカリ性物質の水溶液や乳濁液で洗浄すれば
SO₂は速かに除かれる。この湿式法は反応速度が一般
に大きいので装置が小型ですみ安価である。そこで従来
中小規模の脱硫に実用化されてきた。脱硫率は比較的高
く90~95%位だが100%ではない。ところが湿式法で
は処理後の煙は温度が40~70°Cと低くなり水蒸気で飽
和している。このため煙突から出る煙は白煙となり、温
度が低いため煙の上昇速度が小さく拡散が悪く、煙突か
らの近距離地域でSO₂公害が起ることも考えられる。
そこで処理後のガスをもう1回昇温(100°C以上)し排
出させる必要がある。このような欠点があるのでしばら
く前までは大規模排煙脱硫には適さないと考えられてい
た。ところが最近になり乾式法が意外にコストが嵩むこ
とがわかり電力業界等の大手でも湿式法の再検討が始め
られている。ウェルマン・ロード法(濃硫酸副生)、ク
レハ法(Na₂SO₃副生)、サラブレッド法(千代田化工、
石膏副生)、神奈川工試法(煙と吸収液の接触を傾斜さ
せた金網群で行う)等が知られている。

煙の公害でもう一つ大きいのは窒素酸化物であり、窒
素酸化物の65%は工場から、残り35%は自動車から
出ているといわれるが、排煙脱硫プロセスで同時に窒素
酸化物を除くことも可能である。中川氏〔ケミカルエン
ジニアリング 17 521(1972)〕によると吸収塔の反応条
件を適当に撰び酸性亜硫酸塩が生成するようにすると、
窒素酸化物と酸性亜硫酸塩が反応し、たとえば次式のよ
うに窒素酸化物はN₂となり無害化される。右辺のSO₂
は再び亜硫酸塩になって行く。

ii. 乾式排煙脱硫 水を用いない方法であり、固体
のアルカリ物質を反応させるアルカライズドアルミナ
法(米国では吸収剤が硬く固化し装置を磨耗するという
理由でこの方法は放棄された)、石灰吹きこみ法や、SO₂
を硫酸として回収する活性酸化マンガン法、活性炭法、
接触酸化法等がある。

通産省の大型プロジェクトでは昭和41~44年にわた
り活性酸化マンガン法と活性炭法を取りあげ研究開発し
た。これらの成果による実用規模の装置が動き出してい
る。脱硫率は80~90%で湿式法より低い。脱硫コスト
は初期の予想を上廻っており。活性炭法についていえば
活性炭の性能向上、低廉化が今後の問題となろう。

iii. 重油の直接脱硫 昭和44年12月の総合エネ
ルギー調査会低イオウ化対策部会答申によるとわが国の
人口過密地帯での使用重油のS%は昭和48年までに平均
1%に、53年までには0.55%までに下げる事になって
いる。外国でもこの種の規制は進んでおりスウェーデン
では1975年までに国有の火力発電所はすべてS 1.0%以
下の重油を用いることになりそうであり、米国では1971
年8月17日以降稼働開始の新設発電所はS 0.7%以下
の燃料を用いることが決められた。重油の直接脱硫を今
後大規模に行なわざるをえないことが予測される。

石油類の脱硫は主として接触水素化により有機イオウ
化合物(>C-S-C< , >C-SH)のSをH₂Sとして取り
除くものであり、沸点の低い留分では容易に行なわれ
ずに広く工業化されている。ところが重油では触媒毒と
なる重金属や炭素質物を供給し易いアスファルテンが存
在するため脱硫は著しく難しい。黒いドロドロした重油
を見ただけでも触媒はすぐ駄目になってしまうかも知れ
ぬという気がする。通産省の大型プロジェクトでは昭和
42年にこの問題を取り上げたが当初識者の内にも悲観的
な見方がかなり強かった。しかし反応条件をうまく撰べ
ば触媒寿命も十分長く維持されることがわかり、種々の
成果を得て500パーレル/日のテストプラントによる試
験(懸濁床方式)を成功裡に今春完了した。外国では米
国がわが国より技術的に先行し、H-Oil法(沸とう床方
式)、RCD-Isomax法、Gulf HDS法(固定床方式)が
知られている。

直接脱硫コストは石油連盟によると5万パーレルの装
置でカフジ、クエート重油(S 4%)を用い脱硫率70%
、製品S 1.2%とすると、重油1kl当り2000~1800
円である。重油の脱硫は脱硫率が高くなるほど脱硫され
にくいイオウ化合物が残るので脱硫速度は小さくなりコ
ストが高くなる。これまでは大体S 1%位までとされて
いたが、最近ではS 0.5%の製品を製造することが開発
目標にされている。装置費、水素費を下げることが重要
であり、低圧低温で高活性な触媒の発明、安い水素源の
開発が進められねばならない。排煙脱硫にくらべれば相
当難しい技術に属するがまだ歴史が若いのだからこれか
ら大きく進歩することも予想される。

iv. 重油の間接脱硫 重油を蒸留し留出重油と残査

油にわけ、前者のみを水素化脱硫しそれを再び残査油に混ぜて低イオウ重油として用いる方法である。留出重油にはアスファルテンが含まれないので脱硫は容易でしかも相当完全に行なわれる。しかし重油中のSの多くは残査油に含まれるので製品重油のSを、直接脱硫の場合ほど低くすることはできない。したがって将来規則が厳しくなるとこの方法はあまり重要でなくなる。ただし残査油に大きな用途があれば脱硫留出重油だけをS%のきわめて小さい燃料油として用いるメリットを生じる。最近宗像氏とチッソエンジニアリング社は熱水抽出法(250~270°C, 100 atm)という新しい脱硫法を提案している。詳しくは不明であるが高温ではイオウ化合物の水への溶解度が大きくなることを利用したものである。脱硫重油の得率、S%等のデータはどのようなものであろうか。

v. 重油から無イオウ燃料ガスの製造 (ガス化脱硫)

重油を部分燃焼法等の無触媒高温処理でガス化すると燃料ガスが得られ、イオウ分は H_2S となり分離される。この方法はほとんどイオウを含まない燃料ガスが供給できるので燃焼時の SO_2 発生問題は起らない。そこでコンビナート等への経済的な無公害燃料ガス供給システムとして最近注目された。間接脱硫の残査油を本法にかけることも魅力がある。

vi. 脱硫副産物の利用 排煙脱硫により硫酸、亜硫酸塩、硫酸、 Na_2SO_4 、 $CaSO_4$ 、重油脱硫やガス化脱硫により H_2S が副産される。 H_2S は容易にSや H_2SO_4 に変えるからそれらも副産物と考えうる。石油中のイオウ量は上述のように巨大であるが、一方イオウ誘導体の需要は最大の H_2SO_4 でもS換算で、昭和44年227万t、46年255万t、48年297万t(予想)であり伸び率も低く、しかもこれらは現在硫化鉄鉱焙焼、非鉄金属精製の副生物として主に得られまかなわれている。 Na_2SO_4 では44年9.5万t (S換算)、46年13.1万tに過ぎない。脱硫コストを下げるためには副産物の新用途開発が強く要望されているが、まだ十分大きな用途が見出されておらず憂慮されている。

有望なものとして石膏がある。これはボード、土壁代用品のプラスター、セメント等の建材関係に向けられ、住宅産業の大きな将来性から相当な期待がかけられている。現在石膏の80数%はリン酸肥料工業の副産物であり、国際的に脆弱なわが国リン酸肥料工業の競争力強化のため昭和30年代後半から開発されて来たもので、昭和46年度約400万tに達しているが、今後脱硫からの回収石膏が盛んに出まわるとなるとリン酸肥料工業にも大きな影響をもたらすことになる。

イオウを道路アスファルトに用いる Shell Canada 社の研究も注目される。アスファルトのかかなりの部分をイオウに替え、たとえばS 12~13%、アスファルト 8%、残り砂の組成で用いる。イオウは架橋剤になるので弱い路盤にも用いられ、砂としても砕石(山砂)のみならず海砂も用いられるようになるといわれる。イオウの他の利用法としては高速道路を霜の害から防ぐこと等に役立つ多泡性イオウ、道路用および工業用塗装および被覆、イオウコンクリート(酸、塩、溶剤、海水に強い)等が考えられている。このような需要があってもなかなかイオウおよびイオウ化合物の副生の方が需要を大幅に上回る可能性が強いので、将来の資源としてイオウとか石膏の形で地下等に貯蔵しておくことも検討されている。

重油の間接脱硫では残査油(アスファルト)の需要があればよいことを述べたが、そのような大きな需要として世界の陸地の1/3に達する砂漠の地下60~70cmの所にアスファルトの層を造り耐水層とすれば渇水により砂漠を緑地化することが可能になるというので、わが国でこの計画に必要な調査、技術的研究が進められている。この計画は具体的にはアラビヤ等の石油産地で間接脱硫を行ない、残査油は現地の緑地化に役立てようとするものでなかなかおもしろい。

3. 自動車廃ガス対策

i. 無鉛ガソリン 自動車廃ガスの不完全燃焼を防ぐ有効な手段の一つに触媒による廃ガスの完全酸化がある。この際ガソリン中に四エチル鉛が含まれていると触媒に鉛が沈積して被毒が起る。現在のところ鉛被毒を受けない触媒の開発は相当にむずかしいと見なされている。自動車用ガソリンから鉛を除くか、大幅に減少されることが米国ではこの理由から進められている。わが国では人畜に対し鉛の毒性があるとの可能性から無鉛化が進められ、昭和49年4月以降完全無鉛化されることになっている。鉛を入れなくなると当然ガソリンのオクタン価がさがるので、低いオクタン価のガソリンでもよいようなエンジン(例ロータリーエンジン)の開発や、オクタン価の高い無鉛ガソリンを製造することが問題となってくる。芳香族を増せばオクタン価は増すが光化学スモッグを増大する危険性があるので使用割合に限界がありイソパラフィン系成分を増すのが望ましくなる。そこで炭化水素の異性化等イソパラフィンを製造するプロセスが今後より広く採用される可能性がある。

ii. CO, 炭化水素の浄化 もっぱら不完全燃焼やガソリンの洩れによりCOや炭化水素や含酸素有機化合物が出る。不完全燃焼はアイドリング時に特に多いので大都市内で問題となる。2次空気噴射方式、ガソリンを

シリンダーに噴射する方式（空燃比を変えうるので減速時の不完全燃焼生成物排出を減らしうる）、火災式アフターバーナー、触媒式マフラー、ロータリーエンジン、スチームエンジン、ガスタービン等の多数の考案が出され大規模な研究が進められている。触媒式マフラーでは触媒の性能が問題になる。広い反応温度領域で活性を保ち、しかも激しい振動に耐えねばならないので触媒屋としては相当厄介なテーマである。現在1台当たり2~3万円ですりつけられ走行距離2.5~5.0万km位の寿命があるものが発明されている。特に優れたものは白金系であるので今後需要量が大きくなった時白金が不足してることが考えられる。それ故非白金系触媒も併行して研究して行く必要がある。

iii. 電気自動車 通産省では大都市内の大気汚染防止に関連し、大型プロジェクトとして都市内専用自動車向け電気自動車の開発を昭和46~50年の5年計画で進めている。現在見られる電気自動車にくらべ格段すぐれた本格的なものを目標にしている。最も重要なのは蓄電池の性能アップである。蓄電池の歴史は古い新しい大きな需要がなかったためその性能は技術革新の波に乗り遅れた感がある。今電気自動車という大きな社会的ニーズが生れたので蓄電池もこれから急速に進歩して行く。すでに鉄-空気、ナトリウム-イオウ型のような新しい蓄電池が開発され始めている。

4. 光化学スモッグ 光化学スモッグは窒素酸化物とオレフィン、アルデヒド等と日光により生成するオキシダント（オゾン、 NO_2 、peroxy acetyl nitrate 等のペルオキシ化合物の総称）により起るといわれる。さらに東京ではアクロレイン、 SO_2 や粉塵が関与しているらしい。

窒素酸化物は燃焼時の温度が 1000°C 以上になると空気中の N_2 と O_2 の反応で生じるのであるから、完全燃焼させCO等を減らそうとすると窒素酸化物の方は逆に増加する。燃料比を上げたり、水蒸気を加えたり給気側に不活性ガス（廃ガス）を混合したりして燃焼温度を下げることにより窒素酸化物の生成を防ぎ、あるいは触媒を用い窒素酸化物を N_2 に変えることが研究されているが、ガソリンエンジンの場合まだ満足すべき対策は確立されていない。今のところCOや炭化水素をなくすのにくらべ困難であるといわれている。NOの光酸化による NO_2 の生成には炭化水素の共存が強い促進作用をもっており、有機ペルオキシ化合物生成には炭化水素やアルデヒド等が必要である。それ故不完全燃焼生成物や未反応化水素がなくなれば光化学スモッグは大いに減るだろう。

ともあれ光化学大気汚染の原因究明を急ぎ本格的対策を講じなければならない。

(昭和47年7月21日受理)