パルスジェット式汚泥瞬間乾燥システム

—SONO-DRI—

森

勇*

1. ま え が き

下水その他の汚水処理にともない発生する汚泥を、最後処分または再利用するに際して、乾燥工程が必要となるケースがしばしばある。汚泥の乾燥装置として通常使用されるのは、ロータリッドライヤや気流乾燥機などが一般的である。この乾燥装置に供給される汚泥は、ベルトフィルターや遠心分離機などで脱水されたいわゆるケーキの状態である。またこのケーキを如にして細かく砕いて表面積を増大させケーキの乾燥速度を上げるかが、装置の効率と経済性に大きく影響する。ところが難脱水性の汚泥ケーキは、搬送の途中で混練してしまって粉状にはぐすどころかベタつきその上に操作条件によっては造粒することすらある誠に厄介な代物である。言い換えれば、材料予熱期間と恒率乾燥期間を極限まで短縮するための汚泥性状改善が非常に重要な問題となってくる。

これから紹介しようとするSONO-DRIシステムは、従来の汚泥乾燥法とは趣きを異にしたパルスジェットによる温度と圧力の脈動現象を応用した高速高率乾燥技術である。

汚泥ケーキ内に保有される水分の形態として、間隙水、毛管結合水、表面付着水および内部水に分けられるが、前二者は機械脱水の工程ではば分離されていると考えてよく、乾燥工程では後二者が対象となり、特に生物処理法から発生する汚泥をポリマーで調質し加圧脱水するケースが近年増加しているの、在来技術での処理をますます困難なものとしている。

そこで、このパルスジェット燃焼によって激しい温度と圧力との周期的変化を汚泥粒子に与え、いわゆる膨化乾燥効果によって組織内の水分を瞬間的に排除しようというのがこのプロセスの眼目でありユニークなところである。

2. パルスジェットとは

圧縮機、燃焼器およびタービンから構成される一般の航空機用ジェットエンジンよりもずっと簡単な構造である。図-1のように、吸気口部分にシャッター弁がありその後部に燃焼室があるだけで、スタート時にスターターがブースターによって動圧を与え空気を圧縮し、この圧力で弁は押し開かれ空気が燃焼室に流入し燃料

図-1 パルスジェット

と混合し燃焼を起すとそのガス圧力で弁は閉じ燃焼ガスは後部ノズルから噴出して推力となるのである。圧力が下がると再び前のシャッター弁が開いて燃焼をくり返す。このように燃焼が脈動状態であるため、パルスジェットエンジンと呼ばれており、構造が極めて簡単であり燃料もかなり粗悪のものも使える反面、燃料効率は悪く爆音が激しい。パルスエンジンと類似のラムジェットエンジンもあるが、空気吸入口に自動吸入逆止弁がないので静止推力が出ぬため、この用途に採用しなかったことは妥当であったと考えてよからう。

第二次大戦の末期に、ドイツがイギリス本土攻撃に用いた巡航ミサイルの元祖V-1号に装備されていたことでつとに有名であるが、近年は用途も狭まくなり主に標的機や特殊ヘリコプターブレード端駆動用に使われている程度である。

ところで、このパルスジェット燃焼は、一旦起動すると、燃料と空気を供給する限りスパーク点火を待たずに燃焼室の器壁が赤熱して自己着火を継続するところの、一種のデトネーションといつてよからう。この

* 欄在原製作所開発企画部担当部長
Isamu MORI

脈動燃焼により発生する圧力波が音速を超えると衝撃波となりスラストチューブ内に大きなエネルギーが生じる。このエネルギーを、汚泥粒子組織からの水分の分離と蒸発に利用しようという訳で、ここで一役買うのが膨化乾燥現象である。

3. 膨化乾燥とは

物体組織内の保有水分の瞬間的な蒸発による組織の膨張現象を膨化 (explosion puffing) と呼んでいるが、この膨化を乾燥に利用するのが膨化乾燥 (puff drying) で、食品加工、調理に広く用いられるプロセスである。

ある程度以上の水分 (例えば生物体細胞質内保有水) をもつ物体を高圧下で高温加熱した後、急に圧力を解放すると水分は瞬間蒸発が起こり沸点まで温度降下する。例えば $10 \text{ kgf/cm}^2 \text{ abs.}$ の圧力下で飽和蒸気は 180°C を示すが、一挙に大気圧まで減圧すると瞬間蒸発する水の潜熱で 100°C まで減温する。この瞬間蒸発により発生する水蒸気の膨張力によって物体 (例えば細胞質) は急激に膨らみ組織が破壊され、水分の拡散移動は容易となって乾燥が急速に進行することが認められている。

この技術は食品の加工や調理に応用されており、インスタントクッキング用に人参やジャガイモを乾燥加工したり、米や豆を材料としたアラレ菓子を製造するのに用いられている。器具として一般に用いられるのは、60ℓ位の円筒形のステンレス鋼容器の側部にワンタッチで外れる蝶番付耐圧蓋が付いており、容器に材料を容積の数分の一入れてゆっくりと回転しながら全体

をバーナーで加熱して、附属の圧力ケージで内部の圧力が所定値に達したのを確かめたら、ラッチを解除して一挙に爆発的に内容物を大気に解放し膨化乾燥をおこなうものである。この器具をパフガン (puffing gun) と呼び、小型のものは構造が簡単である反面、回分式作業であって能率も良くないので、最近では圧力容器内に搬送装置を有し出入口にはバルブを備えて連続式膨化装置も開発され実用に供されている。

なお、この原理をベースにして反応圧力差を高めて物質に対する破壊力の激烈化を図ったものが爆砕処理と呼ばれる反応操作で、植物などの長繊維の切断に効果が認められているところから、バイオマス利用におけるセルロースやリグニンを大量に含有する炭水化物類のアルコール発酵やメタン発酵における前処理として将来有望な技術である。

4. パルスジェット乾燥の原理

この乾燥装置全体は、空気取入口、燃料注入口、原料供給口、ディフューザー、燃焼室などから構成されていて、形状は図-2の如くU字形をなしている。

乾燥操作は次の三工程が反復して連続的に進行する。

- ① 燃焼室内に燃料が注入され点火燃焼する。
- ② 原料スラリーがディフューザー内に供給され、燃焼排気ガスにより瞬間的に加熱されてから器外へ放出され減圧冷却する。排気ガスの一部は前部にも放出される。
- ③ 燃焼排気ガスの掃気による慣性モーメントで燃焼室内に負圧を生じるのでサイドホールから空気が吸い込まれる。

図-2 SONO-DRI作動原理図

以上の三工程が組み合って連続的に進行し約150ヘルツの周期を保つ、このパルスジェットによる瞬間乾燥により目標脱水率の90%が達成され、残りの10%は排ガス気流からの製品回収工程で約90°Cの余熱により蒸発する。パルスジェットの1サイクルは5ミリ秒という短い時間であり、高熱により物質が化学変化を受けることはない。

使用する燃料は液体、気体のいずれでもよいが、燃焼速度の大きい天然ガスや汚泥消化ガスなどが膨化乾燥の目的に適合していると言えるだろう。

写真1 パルスジェット乾燥機全景

写真1は、汚泥消化ガス（CH₄ 65%、CO₂ 35%）を燃料として下水污泥ケーキの乾燥用に設計されたSONO-DRIのユニットの全景であり、図-2の概念図と対照して見れば構造が容易に理解できるはずである。

5. 乾燥システム全体の構成

システムの構成としては、図-3のように、パルスジェット部、乾燥物回収部、排ガス処理部の3部分に分けられよう。これは汚泥焼却施設の排ガス処理と基本的には同じものであり、特に留意する点は爆音対策であろうか。図-4は、160ton/日の消化汚泥をベルトプレスフィルターで固形物濃度20%に脱水し、これを瞬間乾燥することを目標とした装置の外形寸法図である。

写真2はあまり鮮明ではないが、装置の近景で手前が汚泥フィーダーやFDFなどの補機で、奥の円筒形のものがSONO-DRIである。所要面積は約60m²で、全高は5mと表示されている。

6. 実施事例紹介

(1) オレゴン州ポートランド市下水処理場の場合

ベルトプレスフィルターにより全体で乾燥固形物量40ton/日の濃度35%までに脱水して、これをSONO-DRIシステムにかけて75%まで乾燥する計画に基いて試験をした結果の紹介である。

水分 419t/日	水分 61t/日	
原汚泥スラリー→ベルトプレス→SONO-DRI		
脱水ケーキ (SS 7.5%)	乾燥ケーキ (SS 35%)	乾燥ケーキ (SS 75%)
594.3 t/日	175.3 t/日	114.3 t/日

図-3 SONO-DRIシステム概念図

図-4 下水汚泥脱水ケーキ乾燥システム外形図

固形分と水分の収支は、上記に示すとおりであり、最終的に水分25%のサラサラしたパウダー状の製品となる。

SONO-DRI エンジン（乾燥機）は、水分蒸発能力1215kg/時を6台据付け8時間/日運転でまかなう計画であり、これに要するエネルギーについては次の如く試算されている。

消化汚泥ガス	147×10 ⁶ BTU	(6,200 m ³)
天然ガス	23	(600 m ³)
電力	4	(1,200 kWh)

174×10⁶BTU

さらに脱水と乾燥に要するコスト試算もなされている。

減価償却費（脱水乾燥設備）	USドル38
エネルギー費（ガス電力）	3
人件費	9
ベルトプレス運転費	34
その他の諸経費	9
合計	USドル93

(2) 鉱工業廃棄物の場合

ここで紹介する処理試験の対象となった産業廃棄物の物質組成は次のとおりである。

水酸化アルミニウム	23%
水酸化鉄	19%
水酸化カルシウム	25%
カルシュームフェライト	12%
その他	21%

乾燥機操作条件

含水率85～90%にてケーキ量13.6t/日～31.7t/日で供給され、SONO-DRIにて水分10%まで乾燥される。

パルジェット仕様

台数	2台
気流温度	1000～1200℃

写真2 SONO-DRI システム近景

設備電力 50kW 440V 3ph 60Hz
 騒音レベル 70 dB
 燃料消費量 760,000kcal/時 1台
 使用燃料 天然ガス
 占有スペース 巾5m×長さ11m×高さ5.5m

(3) 魚油精製の場合

ワシントン州レイモンドの水産物加工業において、11t/日の魚腸骨類(主にタラとカレイ)を乾燥して肥料などに再利用するため、グラインダーですりつぶして4.5mmのスクリーンで汙した後に、90℃の加熱ジャケット付二重管内を7～12分間流して加熱し、遠心分離機で油分を分離してから、パルスジェット乾燥装置にかける。これまでの実績では、水分10%はコンスタントにキープできるとのことである。

1.4t/時の乾燥機の動力は50kWで、油分抽出のための加熱ボイラの消費する燃料はブタンガスかプロパンガスで12～30l/時であり、さらにパルスジェット用に150l/時を消費する。今のところエコノマイザーは設けられておらず、これがあれば少なくとも10%～20%は燃料節約が期待できるという。

7. パルスジェット乾燥対象物

前にも述べたように、パルスジェットによる膨化乾燥現象は、低空気率下での瞬間的高温反応であり、乾燥対象物質が化学反応を起す度合は極めて低いので、例えば食品工業などにも広く応用可能であると、このシステムの開発者はコメントしている。表1は、このシステムが適用し得る物質として挙げられているものの例である。

8. あとがき

ここに紹介したSONO-DRIパルスジェット式乾燥システムは、ソフトな連続的爆発により生ずる温度と圧力の脈動現象を応用した高速高率乾燥システムである。これは一見熱風式気流乾燥装置のような印象を与えるが、それとは本質的に異なるものであり、パルス燃焼による膨化乾燥装置である。

客観的に見てこのシステムの利点も多い反面実用化に当たって解決せねばならぬ問題点もいくつかある。

- ・ 脱水してケーキ状もしくはフレック状になった原料を、いかにして解砕して細粒化し器内に連続的に定量供給するか。
- ・ 運転にともなう連続的爆音を、乾燥機能に影響を与えずに減衰させるにはどうするか。

表1 パルスジェット乾燥対象物

農産物加工用
でん粉
脱脂ミルク
ポテト
フィッシュミール
ブラッドミール
イースト菌
プロセスインダストリー用
肥料
化学薬品
鉍石スラリー
廃棄物処理用
都市下水汚泥
紙パルプ汚泥
缶詰工場汚泥
養鶏場廃棄物
と畜場廃棄物

- ・ U字型パルスジェットの曲管部を、固形物を多量に含んだ高温高压ガスによる腐食と摩耗から保護する方法はどうか。
- ・ 原料物質が可燃物である場合に、乾燥で止めて燃焼に至るのを抑制する操作方法は確立しているか。

このような技術上の問題を解決して安定した連続運転が可能になって、初めて燃料消費率やコスト検討が意味をもつのであり、当分は種々のケースについての実績を待つのが至当であろう。

いずれにしても、他にあまり例を見ない特異な技術であるので注目したい。

引用文献

- 1) Sonodyne Industrie 技術説明資料 Feb.1981
- 2) Frank Burnham "Pulse Jet Gains Headways as Dehydration Device" RENDER Apr.1982
- 3) "Innovation in the 1980s: A winning trio" CEMICAL ENGINEERING Jan. 1983
- 4) Bob Olmos "City to try sewage dehydration system" The Oregonian may 7 1981