連続蒸解釜の最新技術開発

住重アールストローム株式会社 川 上 千 明

Recent Developments in the Technology
of Continuous Pulping System

W. Eric Wiley, Bruno S. Marcoccia, Masahiro Ohkubo
and ○Chiaki Kawakami
Ahlstrom Machinery Inc.

In the recent past there have been several major developments in the technology of continuous pulping systems. These developments encompass improvements in chip pre-steaming, in continuous chip feeding equipment, and in the process chemistry and process configuration of the cooking vessel itself. The Diamondback (TM) Chip Bin is a new atmospheric pre-steaming reactor capable of uniformly pretreating incoming wood chips without the use of any moving components. The Lo-Level (TM) Feed System is a new chip feeding system which provides for increased capacity enhanced flexibility in equipment layout, and decreased capital and operating costs. Lo-Solids (R) Pulping is new pulping process which results in improved pulp quality and improved digester operation. Combined, these developments represent a significant advancement in the technology of kraft pulping.

Keywords : Diamondback (TM) chip bin, Pre-steaming, Lo-Level (TM) Feed System, Lo-Solids (R) Cooking

1. はじめに

連続蒸解釜は、クラフト蒸解における主要な蒸解装置である。全世界のクラフトパルプ生産量の半分以上は、連続蒸解釜によるものである。この数年間に、Ahlstrom Machinery Inc. 社では連続蒸解釜におけるいくつかの最新技術の開発の商業化に成功した。

Diamondback (TM) チップビンの1号機は、1994年10月に稼動した¹⁾。従来のプレスチーミングシステムと異なり、Diamondback (TM) チップピンは、駆動部分を持つことなく、ビン内でのチップ全体の均

一な動きをもたらす。この結果、非常に良好なプレスチーミングと信頼度の高いかつメンテナンスフリーの操業が可能となった。これらの利点のため、このプレスチーミングシステムは全世界に急速に導入されて来ている。1号機の操業開始から2年間に、16基のDiamondback (TM) プレスチーミングシステムが稼動又は操業開始まで間もない状態である。

Lo-Level (TM) チップ供給システムは、連続蒸解法における最新の技術開発である。Lo-Level (TM) チップ供給システムの1号機は、1995年11月に操業開始した²⁾。この新しいチップ供給システムは、加圧

システムへのチップの連続供給法を簡略化したものである。機器数の減少並びに建屋の省スペース化ができる上、レイアウトも自由に設定できる。また、既存の高圧フィーダーの能力アップも期待できる。更に、第1号機の Lo-Level (TM) チップ供給システム操業経験から、蒸解温度の低下及びシステム全体のエネルギー消費の軽減などのメリットも期待できる。

Lo-Solids (R) 蒸解法は、1993年10月に1号機が稼動し、それ以降3年間で25基以上のシステムが稼動又は間もなく操業開始の状態である。このうち2基は国内で稼働している。他の蒸解法に比べ、この新しい蒸解法はパルプの強度及び粘度の向上、蒸解釜からの抽出量の増加、釜内洗浄の向上をもたらす。蒸解温度の低下、蒸解薬品及び漂白薬品の低減も確認されている。その他の利点としては、蒸解釜内での温度分布が改善されることで蒸解の均一性が増しリジェクトが減少すること、スケールが減少すること及び釜内でのチップコラムの安定したコントロールが可能となることである^{3)~9)}。

これら3つの新技術を併せたものは、連続蒸解法の大きな前進と言える。更に、これらの1つ1つの技術は既存の蒸解釜に適用でき、その結果は非常に良好である。

2. Diamondback (TM) プレスチーミングビン

2.1 背景

連続蒸解システムでの大気圧式プレスチーミングビンには3つの非常に重要な機能を果たしている。

- (1) チップヤードと蒸解釜供給システム間のクッション的役割
- (2) 蒸解システムの抽出液からのフラッシュ蒸気でチップを予熱する熱回収的役割
- (3) チップ中の空気の除去、系外への排出

これら3つの役割のうち、最適な蒸解釜運転上、空気の除去が最も重要である。混入空気の除去はチップ供給システムの円滑な運転の上で必要である。空気や他のガスの系内での蓄積は、ポンプのキャビテーションや供給ラインの過度の振動につながる。また、プレスチーミングは、浸透ゾーンでの木材チップへの蒸解薬液の均一な浸透を促進する。均一かつ急速な薬液浸透が次の2つの理由で必要である。その第1はチップ中での蒸解度の差を最少にすること、第2は木材チップ比重を増すことである。プレスチーミングが不十分、不均一であると浸透チップの比重が周囲の蒸解液と同じかそれより軽い状態を作り出すこともある。こうなると、蒸解釜内でチップがスムーズに沈降せず、チッ

プコラムの動きを阻害してしまう^{1),10)}。

大気圧式プレスチーミングがリジェクト量の低減、Kappa 値制御の改善、チップコラムの安定及び動きの改善につながるのは良く知られるところである。しかし、従来のチップビンにはいくつかの欠点、操業上の問題点があった。それは主としてビン底部のストーカー、バイブレーター等の駆動部分に起因している。メンテナンスの煩雑さ、エネルギー消費の増加に加え、このような機構では必ずフレキシブルジョイントが必要であった。このようなジョイント部からはガス漏れの可能性がある。更に、最大の欠点は従来のプレスチーミングビンではビン中央部のチップばかりが落下し、ビン内チップ全体が均一に排出されないことである。図1では、このようなシステムで見られる滞留時間分布の一例を示す。このように不均一な滞留時間では、チップ全体のプレスチーミングは均一に行われない。これらの問題を解決するため、Ahlstrom Machinery Inc. 社は、チップ全体の均一かつ十二分なプレスチーミング、安定した運転の出来る、駆動部及びフレキシブルジョイントを必要としないメンテナンス性の良い、そしてコスト的に競争力のあるプレスチーミングビンの開発を行った。

2.2 設計原理

重力によるプラグフロー（均一なチップの動き）は、2つの条件が揃ったときに安定したホッパーの運転に見られる。その第1は、ホッパー壁面に対してチップが自由に動くことができる事であり、第2にはチップが安定またはそれに近い状態のブリッジを形成するような塊を作らない事である。壁面に沿ったチップの動きが阻害される場合、中心部だけが落下するようなパターンとなり、その結果短い滞留時間と不十分なプレスチーミングとなる。塊またはブリッジの形成は、一定でない滞留時間と、最悪の場合にはコラムが完全に

Fig. 1 プレスチーミング滞留時間分布例

閉塞してしまう。

このうち最初の問題は、壁面の摩擦力がチップコラムの下降力を越えない事で満足できる。これは、ビン底部でのコーン形状部等、特に壁面が傾斜を持つ場合に重要となる。傾斜角 θ (垂直よりの角度) を持つビンでは、そこでの壁面での重力方向の力は、

$$F_w = F_g \cdot \cos \theta \quad \dots(1)$$

ここで F_g は重力方向の力である。したがって、傾斜角が増すに従って、壁に沿った動きを作り出す力は減少する。そのため、傾斜角はある臨界角度 θ_c 以下でなければならない。この臨界値はプレスチーミング後の木材チップ特性、ビンの形状及び高さ及び壁表面の状態に依存する。これら3つの要素は、Johanson¹¹⁾によって示された、動きが生じる限界の角度である表面摩擦角 (ϕ) に影響する。

プレスチーミング後のチップは、ブリッジを支持する部分での力 (ブリッジの形成力) がチップの凝集力を越えない限り、安定したブリッジを形成しない。ブリッジの形成力とチップの凝集力は、ビンの形状とビン内での位置によって変る。例えば、プレスチーミング後のチップの凝集力は、トータルの圧に伴って変化する。同様にこの統合圧力は、チップコラムの寸法に依存する。この事は、コラムのある高さにおける垂直方向の統合圧力 σ_v として、Jansen の式¹²⁾ で表される。

$$\sigma_v = \frac{\gamma D (1 - \exp(-4 K \tan \phi \cdot h/D))}{4 K \tan \phi} \quad \dots(2)$$

ここで、 γ =チップかさ比重、 D =ビン直径、 K =実際の圧力に対する比 (壁面角度に依存する定数)、 ϕ =表面摩擦角及び h =コラム垂直高さである。かさ比重、通気度、表面摩擦角及びプレスチーミング後の凝集力は、全て統合圧力に伴って変化する。

プラグフローを得る大気圧式プレスチーミングビンの設計の第一歩は、統合圧力、排出部の形状及び壁面材料によって変化するこれらのファクターの測定であった。この結果は、あらゆる状態での臨界角度の特定に用いられた。世界中の様々な工場からチップサンプルを集め、このテストが行われた。データの集計は現在も継続中である。その結果、臨界角度はそのコーン部の形状に大きく依存する事がわかった。通常のコーン形状では、 θ_c は 30° 以下であった。 0° – 180° 方向が収束形状で、 90° – 270° が垂直またはほぼ垂直である楕円形状では、 θ_c は 30° 以上であった。プレスチーミング後のチップの凝集力はチップの向きによって一定ではない。水平に位置したチップは、不規則に位置したチップの2倍の凝集力を持つこともわかった¹⁾。

2.3 木材チップのスチーミングでの特別な配慮

凝集力特性の不均一性に加えて、チップにはその弾性による変形とその戻りの効果があり、圧縮力が開放される際に、弾性による圧縮によって圧縮されていない体積部の部分的な戻りを生じる。この戻りが生じる空間が十分でない場合、蓄積した力は開放されない。こうなると、凝集力は劇的に増加し、安定したブリッジを形成してしまう¹³⁾。木材チップでのテストでは、閉じこめられた弾性力による反発によって、凝集力が10倍にもなることがわかった。

大気圧式プレスチーミングでは、チップ及び蒸気は向流の状態で接触する (チップは垂直方向に移動する)。チップの下降に対抗するビン内での液流は、重力による力に対抗する力となって現れる。厳しい条件下では、非常に急な角度を持ったホッパーにおいても、これが壁面での流れを阻害する。そのため、向流の蒸気存在は臨界角度を変えてしまう。この変化する臨界角度 θ_{cf} は、無次元数である流体圧力勾配に依存することもわかった。

$$\theta_{cf} = f(\theta_c, (dP/dx)/g) \quad \dots(3)$$

ここで、 P は蒸気圧力である¹⁴⁾。蒸気流量の増加又はチップコラムの通気性の減少につれ、この圧力勾配は増加する。もし向流の蒸気流速がチップコラムの動きを妨げる程大きければ、コラムの下降、上昇の力が拮抗してしまう。

2.4 Diamondback (TM) チップビン

テスト結果及び上述の設計基準に基づき、円/長円状の断面形状のものをいくつか組み合わせたタイプの新しいチップビンをカナダの Weyerhaeuser 社 Kamloops 工場に納入する事になった。この形状が、Diamondback (TM) ホッパーである¹⁵⁾。

前述の長円形状はプレスチーミング後のチップに対して大きな傾斜角を許容し、それはビン底部のスペース減につながる。同時に、蒸気はビン垂直壁部から向流として供給され、垂直壁際でのチップ流れのできるだけ阻害しないようにしている。円形、長円形の収束形状の部分の配置を交互にする事で、チップの壁際から中心部への動きを作り出す。これにより、水平方向の力を減じブリッジの形成が連続的に防止される¹⁶⁾。図2は、大気圧式プレスチーミングに用いられた Diamondback (TM) ビンの概略図である。ビン直胴部からチップ排出部への収束は4段階で行われている。各段では一方向だけが収束し、他方向では垂直またはそれに近い角度を保っている。直径4.8mのビンを例にとると、最初の段で4.8mの直径が長さ4.8mの細長い長円状に収束する。第2段では、この細

Fig. 2 Diamondback (TM) チップビン

長い長円が、その幅とほぼ同じ直径の円になるまで収束する。これを第3、4段で同様に繰り返して、チップメーターに供給するシュートの径まで収束する。加温蒸気は、ビン直胴部へヘッダーより供給される。

2.5 Diamondback (TM) プレスチーミングシステムの適用例

本稿作成時において、11基のシステムが稼動しており、5基が建設中である。今までに稼動したどのシステムも、何等問題なくスタートアップし、数回にわたる滞留時間測定でも、均一なチップの動きが確認されている。どの場合も、チップメーターのサイトグラスにおいて5分以内の時間差で排出されている。図3は、Weyerhaeuser 社 Kamloops 工場で実測された滞留時間分布の一例である¹⁾。平均滞留時間は、チップコラムの圧縮によりかさ比重が増すため、チップかさ比重から計算されたものよりも若干長い。

本稿作成時点で、延べ90,000時間のDiamondback (TM) プレスチーミングビンでの運転実績がある。シ

Fig. 3 プレスチーミング滞留時間分布改善例

ステムの操作安定性は99.5%以上に達し、この数値は更に上昇する事が予想されている。従来のチップピンとは異なり、排出機構を止めたままのチップ供給、急速なレベル変動やスチーミングを行ったチップの貯蔵が可能である。従って、チップがほぼ充満した状態での供給システムの緊急停止の場合でも、Diamondback (TM) ビンでは再スタート後アーチングを起こすことなく、均一でスムーズなチップの動き、払い出しができる。今までのプレスチーミングビンに比較して、Diamondback (TM) システムは極めて信頼性の高いものである。

3. Lo-Level (TM) 供給システム

3.1 背景：連続蒸解釜での従来のチップ供給システム

連続蒸解釜には1ベッセルまたは2ベッセル、気相または液相という異なった型式があるが、どの型式の連釜にも同様のチップ供給システムが使用されている。これは、チップ供給ホッパーまたはチップビン、チップメーター、低压フィーダー、スチーミングベッセル、高压フィーダー及びチップシュートとチップシュートポンプで構成されてきた。

3.2 Lo-Level (TM) 供給システム開発の契機

木材チップへの薬液浸透を適切に行なわれるよう、従来のチップ供給ラインでは、スチーミングベッセルにより短時間の加圧プレスチーミングを行なってきた。しかし、ラボでの結果が示す様に、チップビンで十分な時間、均一なプレスチーミングが行われれば良好な浸透を得るための前処理（均一加温、十分な脱気）が可能である。大気圧式プレスチーミングがコスト的にもより効果的・現実的である。プラグフローを持つDiamondback (TM) チップピンはスチーミングベッセル及び低压フィーダーなどの中間での加圧段を必要とせず大気圧下で最適なチップ前処理が可能である。

従来の供給システムでは、高圧フィーダーの入口圧力はスチーミングベッセルでの蒸気圧とチップシュートの液レベルによるヘッドで決まる。チップはスラリーとなって高圧フィーダーのポケットに供給される。チップシュートポンプは高圧フィーダーの低圧側で連続的にチップスラリーをポケットに吸引し、液を高圧フィーダー入口に戻す。チップシュートポンプのNPSHは、チップシュートの液レベルとスチーミングベッセルの圧力による。チップシュートは高圧フィーダー上部に位置しているため、このNPSHは供給システムの配置高さの影響も受ける。

理論的には、高圧フィーダー入口での必要圧力と液の再循環を、チップスラリーを吸込むのではなく、逆にチップスラリーを高圧フィーダーに圧送する事で行なう事が可能である。あるパルプ工場では、木材チップと液の混合物をポンプによって圧送する試みがなされている^{17),18)}。機械パルプ工場では、チップの移送にスクリー遠心ポンプが用いられている。チップを高圧フィーダーに圧送することで低圧フィーダー、チップシュートポンプをなくすこと、及び高圧フィーダーの高さを低くすることができる。この場合には、チップやファイバーへのポンプによる損傷が心配された。我々も機械パルプ工場で使われているポンプの前後のチップ及びパルプの品質を調べた。その結果、チップのサイズ分布の変化や、ポンプ後のチップのラボ蒸解パルプの品質への影響は見られなかった。

3.3 Lo-Level (TM) フィードシステムの開発

上述のDiamondback (TM) チップピン及び高圧フィーダーへの新技術を併せることで、新しいチップ供給システム、Lo-Level (TM) フィードシステムは、チップを高圧フィーダーに供給するチップポンプを使用する。従来のチップ供給システムに比べて、新しいLo-Level (TM) フィードシステムでは以下の様な利点がある。

- (1) スチーミングベッセル、低圧フィーダー、その他の加圧機器、及びチップシュートポンプをなくす事ができる。連釜建屋内の設置設備が少なくなり、メンテナンス及び作業コストの低減につながる。
- (2) 機器配置に必要な高さ及び建屋スペースが大きく減少する。
- (3) 省設備、省建屋スペースにより初期投資が低減する。
- (4) チップ供給機器レイアウトの自由度が高まる。チップチューブから配管により高圧フィーダーにつなげるため、高圧フィーダーは高さも位置も自由

に設定できる。

- (5) 高圧フィーダーの能力が増加する。
- (6) 既設連釜のチップ供給ラインの能力アップ改造がシャットダウンを要せず較的安価でできる。
- (7) Lo-Solids (R) 蒸解法と共に用いる事で、浸透温度を下げる事が可能となる。この事は、蒸解反応プロセス及びパルプ品質を向上させる可能性がある。

米国Alabama州DemopolisにあるGulf States Paper CorporationのK-1蒸解釜は、この新システム開発の理想的な設置対象であった。この釜は2つの供給ラインを持っており、通常はそのうちの1ラインを使用している。そして、1年以上にわたってLo-Solids (R) 蒸解法で運転しており⁶⁾、既設供給システム機器の更新が必要な状態であった。開発プログラムでは、2つの供給ラインの内一方をLo-Level (TM) フィードシステムとし、他方は従来のまま運転できるようにした。このようにして、新供給システムの運転を可能とし、一方で工場の生産上のリスクを回避しつつ実機開発が行われた(図4)。

3.4 Gulf StateでのLo-Level (TM) フィードシステム

Demopolis工場での新供給システムの機器概要は、図5の通りである。システムは、次のように構成されている。

- ・既設チップ供給ラインの供給ホッパー頂部のゲート。このゲートの切替で新・旧システムの選択が可能である。

Fig. 4 K-1 蒸解釜

Fig. 5 Lo-Level (TM) フィードシステム

- ・チップ供給ベルトコンベアーからのチップを移送する移送用スクリーコンベアー。このスクリーコンベアーはエアロックを兼ねている。
- ・生産量 180 ADMT/D での設計滞留時間 30 分の Diamondback (TM) チップピン。

NCG ガスはピンからスチームエジェクターで取り除かれている。計量ゲートによって、加圧及び真空から保護している。蒸気は主に Diamondback (TM) 収束部中間部に供給される。蒸気量はピン排気温度に基づいて調節される。

- ・チップピンからのチップ量をコントロールする計量スクリー。
- ・計量スクリーとチップポンプをつなぐチップチューブ。
- ・チップチューブの液レベルを安定化し、そのコントロールを助けるためのリカーチューブ。このリカーチューブはチップピン底部に到達する高さを持ち、液が充満した状態での Diamondback (TM) ピンの運転に使用できる。通常の運転では、チップピン及び計量スクリーとも液が充満していない状態である。液が充満した状態での運転（すなわち大気圧浸透）は将来の技術開発のためのものである。
- ・高圧フィーダーにチップを圧送するチップポンプ
- ・インラインドレーナーと調節弁を持つ、高圧フィーダーからリカーチューブ及びチップチューブへの戻りライン。

3.4 Lo-Level (TM) フィードシステムの運転

Demopolis 工場の Lo-Level (TM) フィードシステムは、1995 年 11 月にスタートアップした。まず、チ

ップポンプの徹底的なテストが最初に行われた。その結果、このポンプの特性が非常に優れている事がわかった。その 1 つは、流量や圧力の大きな損失無しに、沸点に近い黒液を圧送できた事である。更に、チップチューブ及びリカーチューブでの液レベルが 1.5 m 以下でこれが達成できた。チップポンプは、950 rpm で 4.2 m³/min のスラリー流量、2 kg/cm² 以上の吐出圧で運転している。チップ供給ラインは 360 ADMT/D の生産量で設計されている。

高圧フィーダー運転上の重要な事は、高圧フィーダーのポケットに流入するチップスラリーが余計な圧縮性ガスを持たないということである。高圧フィーダーの高圧側にポケットが移動した時に、このガスが圧縮する事で蒸解釜のトップ循環ラインに衝撃を生じてしまう。この衝撃が大きいと、トップ循環ラインにひどいハンマリングを生じ、供給ラインの運転ができなくなってしまう。チップスラリー中に存在する圧縮性ガスは、外部から持ち込まれた空気や気泡、または水蒸気である。プレスチーミングが不十分だと、多量の空気の混入が生じる。この循環での圧力損失により、圧力がその運転温度での蒸気圧以下になるとボイリングを生じる。圧力損失は、配管及び高圧フィーダーによって生じる。

既存の古い供給システムの最低圧力点はチップシュートポンプ入口である。この圧力は、スチーミングベッセルの蒸気圧力（通常 1.0~1.2 kg/cm²）、チップシュートの液レベル及び高圧フィーダーとチップシュートへの配管での圧力損失によって決まる。ポンプへ至る圧力損失が、ポンプに必要な NPSH より低い値となると、キャビテーションを生じる。チップシュートポンプのキャビテーションはチップシュートのレベルコントロールに悪影響を及ぼし、チップシュートレベルの減少は高圧フィーダーのキャビテーションを起こし、配管のハンマリングを引き起こす。ボイリングを生じる程圧力損失が大きいと、低圧での循環部に気泡を生じ、やはり高圧フィーダーのキャビテーションによる配管のハンマリングを引き起こす。最悪の場合には、高圧フィーダーでの圧力損失によって、ポケットの中での液のフラッシュが生じる。

既設の古いチップ供給システムでは、高圧フィーダーでの圧力損失は 0.3~0.5 kg/cm² の範囲で測定されている。これらの圧力損失は生産量 180 ADMT/D、回転数 8 rpm、チップシュート循環量約 1.9 m³/min のものである。高圧フィーダーでの圧力損失が 0.6 kg/cm² を越えると、チップがシステムに供給されなくなってしまう。この圧力損失は、チップシュート循

環流量及び高圧フィーダー回転数と共に、チップ品質（チップサイズ分布及びファイン含有量）に依存している。既設供給ラインの片方だけでの針葉樹の最大生産量は 200 ADMT/D に届いておらず、材種によっては 180 ADMT/D 以下だった。

新しい Lo-Level (TM) フィードシステムでは、最低圧力点はチップチューブの液面である (Figure 5 参照)。ここでは大気圧となっている。気泡の形成を防止するため、供給システムの温度は 100°C 以下に保つ必要がある。新供給システムでは、チップシュート蒸気圧 1~1.2 kg/cm² に対して、チップ移送ラインの圧力は 2 kg/cm² である。新システムでの高い供給圧力は、ハンマリングを起こさずに供給システムでの高い流量を持つ事ができる。最初での圧力が高いので、ボイリングが生じる迄の許容される圧力損失が大きい。230 ADMT/D において、新システムでは液流量約 3.4 m³/min で高圧フィーダーでの圧力損失は 0.5 kg/cm² であった。高圧フィーダーの運転は良好であり、キャビテーションは全く生じていない。チップポンプ吐出圧力のロスによるハンマリングを防ぐため、この移送ラインの圧力低によるインターロックを高圧フィーダーの運転に取り入れている。

3.6 高圧フィーダー能力の増加

チップスラリーの流量を増やし、液のフラッシュをなくすことで、高圧フィーダーの回転数を上げることができる。運転可能な回転数は、8 rpm から 12 rpm に上昇した。1996 年 2 月に、供給スクリュウ最大能力の 80% での生産量テストが実施され、良好な結果を得た。260 L の高圧フィーダーでの生産量は 330 ADMT/D に相当し、これは連釜本来の設計生産量の 60% 増に相当する。このことから、高圧フィーダーからの供給量を増加できることがわかった。既設チップコンペアー能力が足りないため、最大生産能力は確認されていないが、運転経験から、供給ラインは 360 ADMT/D (元米の実最大処理能力の 100% 増) での運転が可能であると予測されている。その根拠としては、インラインドレーナーへの圧力が 330 ADMT/D 生産時で 0.8 kg/cm² だったことである。これは、液のボイリングを生じることなく、より大きな圧力損失とスラリー流量を許容できることを示している。チップポンプ吐出圧を高め、高圧フィーダーの回転数を上げて、更に最大能力を引き上げることも可能である。生産量の上限については、将来のテストで確認する予定である。

Demopolis 工場のレイアウトでは、チップポンプにより高圧フィーダーまでチップを水平方向に 18 m、

垂直に 4.5 m 圧送している。チップスラリーの配管には、90° のエルボーが 5ヶ所含まれている。これら配管での詰まりの問題は全く生じていない。

3.7 低温浸透

Demopolis 工場でも Diamondback (TM) チップビンでのより良いチップのプレスチーミングが予想通り達成され、スチーミングベッセル無しで十二分の脱気処理が行われた。結果として、木釜内のチップレベルのコントロールが大きく改善され、蒸気必要量もより安定した。

Lo-Level (TM) フィードシステムの場合、トップ循環と浸透ゾーンでの温度は従来よりも 8~11°C 低い。しかし、Lo-Solids (R) 蒸解法による向流加熱のため、蒸解ゾーンでの木釜半径方向での温度勾配は極めて小さく 3°C 以下であった。このように、浸透ゾーンでの温度が大きく下がっているにも拘らず、蒸解ゾーンの温度の均一性は全く問題なく維持された。更に注目すべき事実として、浸透後の薬液中のアルカリの残留濃度は増加し、目標 Kappa への蒸解に必要な蒸解温度が約 3°C 減少し、H ファクターが減少した。

浸透温度の影響を調べるため短期的なテストとして、浸透ゾーン温度を上下させてみた。この結果、浸透ゾーン温度を下げるとブローラインの Kappa 値が減少し、浸透温度を上げるとブロー Kappa が上昇する事がわかった(この間、他の運転条件はほぼ一定)。この現象は、低温浸透が蒸解プロセス反応に対して重要な影響を持つ事を示唆している。長期間にわたる低温での浸透が蒸解の均一性を改善し、歩留及びパルプ強度を向上させるとの報告が以前になされている¹⁹⁾。Gulf State の Demopolis 工場 Lo-Level (TM) フィードシステムで我々が得た結果は、この報告に一致している。スポット的にサンプルのパルプ強度のテストが行われ、今までの結果では低温浸透によりパルプの引裂及び引張強度が向上していることを示している。これらのテストは現在進行中であり、結果が揃い次第報告する予定である。

4. Lo-Solids (R) 蒸解法

4.1 背景

蒸解薬液中の蒸解反応によって生じる木材溶解固形分が、パルプ強度及び粘度の低下、蒸解薬品消費量の増加及びパルプ漂白性の低下を招くことが、ラボでの研究によって示されている^{20,21)}。この現象は、蒸解釜が EMCC 法で運転されている場合でも見られた。また、浸透ゾーンで生成する副生成物も大きく影響していることがわかった。更に、これらの現象は、副生成

物の濃度に比例する。これらの結果に基づき、蒸解釜内での木材溶解固形分の濃度を減らすことで、蒸解プロセス及びパルプ品質の両方の改善を達成することが可能となる。これがLo-Solids(R)蒸解法の基礎となっている。

4.2 Lo-Solids (R) 蒸解法の目的

Lo-Solids(R)蒸解法は、改良蒸解法の1つである。改良蒸解法とは、白液の多段添加、可能な向流蒸解を行なうことによって、以下の目的を達成するものである。

- (1) 温度及び蒸解薬品の均一な分布
- (2) 均一なアルカリ濃度分布
- (3) 蒸解温度ピークを最小とする
- (4) 蒸解終了時での溶解リグニン濃度を最少とする

この新しいLo-Solids(R)蒸解法ではこれらに加えて多段抽出及び多段洗浄ろ液添加を行なうことで、蒸解初期と蒸解後期の両方において、“全体の”木材溶解固形分濃度を最少とするものである。

4.3 Lo-Solids (R) 蒸解法の基本原理

これらの目的を達成するために、蒸解釜（浸透ベッセルを含む）の数点から蒸解廃液を抽出することで、木材溶解固形分が除去される。蒸解廃液中には、高濃度の溶解固形分と低濃度の残留蒸解薬品が存在する。これらの蒸解廃液の抽出によって系内から溶解固形分を排出し、続く蒸解ゾーンへの侵入を防ぐ。その結果、蒸解初期と蒸解最終段での副生成物の“量”が減少する。

木材溶解固形分に加え、各抽出点から水及び有効アルカリも系内から取り除かれることになる。系内での水バランスを満足させるために、補給水の添加が必要となる。続く蒸解ゾーンでの必要な薬品を維持するため、補給蒸解薬品の添加も必要である。そのため、予熱された洗浄ろ液及び白液が抽出点の下流側に添加される。これらの添加液中の溶解固形分濃度は非常に低いので、蒸解廃液抽出後に釜内に残留している有機固形分を希釈することになる。同時に、抽出により低下した液比を高め、続く蒸解ゾーンで発生する副生成物を希釈することになる。この補給液による希釈によって、蒸解初期及び最終段での木材溶解固形分濃度が減少する。

Lo-Solids(R)蒸解法の基本原理は、蒸解廃液の多段抽出及びそれに続く予熱された洗浄ろ液と白液の添加による液補給と希釈ということになる。抽出量と希釈量の相対比を調節することで、反応時間の関数である副生成物の濃度、有効アルカリ量そして硫化度の全てが適切な範囲に調節される。連続蒸解釜のコンピュ

ーターシミュレーションによるモデルでは、この新技術を用いることで蒸解初期及びその他のゾーンでの副生成物濃度を従来の連釜（単一の抽出と釜ボトムからの単一の希釈）というプロセスに比較し、30%程度低減できると予想されている。

4.4 プロセス機器の構成

蒸解廃液は蒸解釜のスクリーンからフラッシュタンクへ抽出され、予熱された洗浄ろ液と白液は循環ラインから系内に供給される。そのため、Lo-Solids(R)蒸解法の原理は、液循環システムを備えているどのような連続蒸解釜にも適用することが可能である。抽出、補給そして希釈というシーケンスは、1回あるいは2回繰り返されるが、これは各システムの構成によって異なる。既設釜への適用における最終的なプロセス構成は、その既設機器がどのように設計されているか（各スクリーン及びセントラルパイプの数と位置）で異なる。例として、図6に示されるような1ベッセル液相釜の場合を示す。

既設釜への適用に伴う必要な改造は、主として外部配管及びバルブである。

4.5 木材溶解固形分の減少

図7では、EMCC法とLo-Solids(R)蒸解法における、反応時間に対する副生成物（木材溶解固形分）のプロファイルを比較している。これらの結果は種々の北方針葉樹によってECF漂白マーケットパルプを

Fig. 6 プロセス機器の構成

Fig. 7 副生成物比較

生産している工場から得られたものである³⁾。Lo-Solids (R) 蒸解法へ変わったことで、蒸解初期及び残りの脱リグニン反応において有機分濃度が10～30%減少したことが分かる。同様の結果は既に報告されており^{4)～9)}、報告を行っていない工場でも同様の結果が観察されている。プロファイルの形状とその変動については、蒸解条件や蒸解プロセスの構成によって、各工場間で異なる。どの測定結果からも、蒸解釜のコンピューターシミュレーションに基づくモデルで予想されたものと一致した。

4.6 パルプ強度、有効アルカリ消費及び漂白性の改善

以前に示されたラボでの結果^{20),21)}から、他の条件を一定として副生成物濃度（木材溶解固形分濃度）を10～30%減らすことで、5～10%のパルプ強度の上昇、2～5%のアルカリ消費量の減少及び1～3%の漂白性の向上が予想された。蒸解の選択性の向上も予想された。Lo-Solids (R) 蒸解法によって運転されているいくつかの実機において、これらの結果と比較を行なった。ラボで得られた結果から予想された効果が実機でもほとんど同様のものであり、その効果は副生成物濃度プロファイルの減少に比例した。

ある工場において作成されたデータを図8に示す。ここで強調しておきたいのは、パルプ強度に対する効果の度合は、Lo-Solids (R) 蒸解法に変換することによって得られた低い副生成物濃度に関連していることである。広葉樹蒸解では、漂白後のパルプ粘度の2～10 cp (Tappi 標準法) の上昇が報告されている⁶⁾。

木材溶解固形分は、生産に寄与しない2次反応でアルカリを消費し、蒸解の選択性を低下させる。すなわ

Relative Pulp Strength (%)

Fig. 8 Lo-Solids パルピングによるパルプ強度改善

ち、木材溶解固形分を減らすことは有効アルカリ消費量を減らすことになり、白液添加量の減少につながる。または、白液添加量を一定としたまま、蒸解温度を下げることも可能である。Lo-Solids (R) 蒸解法に変換することで得られる副生成物濃度の10～30%の減少は、5～10%の白液添加量の減少、または2～5℃の蒸解温度の低下、または5～10%のプロローインでのKappa 値の減少をもたらす^{3)～9)}。しかしながら、この副生成物濃度低下による効果は、これらの効果の全てを同時に実現できるほど大きいものではない。蒸解温度を下げることを選んだ工場では、最も大きなパルプ粘度の改善が見られた。

従来法による蒸解からLo-Solids (R) 蒸解法に変換した場合には、漂白性の大幅な向上が報告されている。あるケースでは、洗浄ゾーンでの向流洗浄を持たない蒸解釜で、トータルでのKappa ファクターの20%の向上が報告されている⁶⁾。Lo-Solids (R) 蒸解法の原理を適用することで、洗浄ゾーンで少量もしくは全く向流を持たない蒸解釜に、蒸解の選択性や漂白性の向上などの利点を、パルプ強度の改善と共に得ることができた。

4.7 蒸解釜からの抽出量の増加と未晒洗浄の向上

今日までの全てのLo-Solids (R) 蒸解法の適用において、蒸解釜の抽出能力の大きな向上が見られた。多段抽出と共に適正な補充液添加を行なうことで、チップコラムの動きを妨げることなく、木釜からの全抽出量を増加することになる。全抽出量が増加すると同時に、従来の主抽出スクリーンからの抽出液量もまた減少する。その結果、蒸解釜の主抽出スクリーンでの負荷が減少し、ハンギング問題は解消した^{3)～7)}。

抽出量の増加は、蒸解釜への洗浄ろ液添加量、つまり希釈係数の増加ということでもある。それはすなわち、釜内洗浄の改善を意味する。釜内での洗浄の状態

は、ブローラインでのパルプ中に含まれる木材溶解固形分濃度の測定によってわかる。図8の場合では、Lo-Solids (R) 蒸解法に変換したことによって、ブローラインでの溶解有機固形分濃度が30%以上減少した。同様の結果は、この測定を行なっているどの工場でも見られた。Volk と Young⁷⁾ はブローラインのパルプサンプルでの COD 量の 15~25% の減少、未晒洗浄における消泡剤使用量の 18% の減少を報告している。ブローラインで見られた COD 量の減少は、未晒洗浄全体での COD 値が低くなったことにも関連する。その後の Young, Volk 等²²⁾ は、a) ブローラインでの COD 値とパルプ強度、酸素脱リグニン装置での滞留時間の関係及び、b) ブローラインでの COD 値と漂白第1段での薬品使用量の関係について報告している。同様に、Martin 等⁸⁾ は、Lo-Solids (TM) 蒸解法を採用したことで未晒洗浄でのパルプ及び液中の金属が 11~23% 減少したと報告した。この工場での未晒洗浄後でのパルプ中のマンガン量の減少は 20% 以上にも及んだ。この事は TCF 漂白を行なう工場においては非常に重要である。

4.8 スケールの減少

Lo-Solids (R) 蒸解法では、浸透ゾーン後の液を蒸解温度まで加熱する以前に系外へ抽出する。抽出液は最高でも 145℃ 以下、有機的に結合したカルシウムが分離・析出し、スケールを生成する温度である 150℃ よりも低い温度である²³⁾。従って、木材と共に木釜内に入って来たカルシウムの大部分は、プロセス機器上にスケールを形成する前に系外へ取出されることになる。現実には、ヒーター及びスクリーンでの大幅なスケール減少となっている。スケール成長の速い工場では Lo-Solids (R) 蒸解法を導入したところでは、蒸解ヒーターのスケール除去作業の頻度は 1/10 またはそれ以下になった。

4.9 温度プロファイルの改善

Lo-Solids (R) 蒸解法におけるその他の大きな利点は、蒸解釜の断面における温度分布の改善である。均一な蒸解を得るためには、断面方向での良好な温度と蒸解薬品の分布が必要である。図6に示されるような蒸解釜の場合、従来法、MCC 及び EMCC では初めの2つの蒸解循環で蒸解温度まで加温する。蒸解循環では、スクリーンからチップコラム中の蒸解液を取出し、この液を外部のヒーターで加温し、セントラルパイプを介してチップコラム中央部に戻す。断面方向における均一な温度の分布を得るため、この抽出・循環流量を十分高くとらなければならない。しかしながらこのようなシステムでは、常に中心部の温度が高く、

外周部が低いという温度勾配が生じるのは明白である。この温度勾配が大きくなると、均一蒸解が得られず、ブローカッパ価が安定せずリジェクト量も大幅に増えてしまう。

Lo-Solids (R) 蒸解法では、これらの断面方向の温度勾配を極少できる。これはまず第1に、蒸解温度へのチップの加温が昇温された液に「向流」で行われることによる。一般に、チップコラムでの向流による液分散は、単なる分散に比べてより均一である。したがって、上部及び下部蒸解スクリーン間の向流ゾーンでの温度分布は大きく改善される。第2に、浸透ゾーンからの浸透に使われた多量の蒸解廃液は、加温されることなく系外に抽出される。この抽出廃液は、その一部を白液及び洗浄ろ液と置換された上でヒーターにより設定温度まで予熱され、セントラルパイプを通じて木釜へ戻される。したがって、Lo-Solids (R) 蒸解法では、抽出外部での予熱を行わなければならないチップコラム中の液量が非常に少ないのである。言い換えれば、循環単位流量当りでのチップコラム液の循環回数が非常に大きくなる。第3に、向流蒸解ゾーンでの液比を、従来法及び改良蒸解法に比べて低く調節することができる。その結果、反応熱によるチップコラム温度上昇がより顕著となる。蒸解薬品が良好に分布されている場合、反応熱は非常に均一である。

実際には、蒸解循環での断面方向の温度勾配は、蒸解ヒーター出口温度とスクリーン抽出温度の比較で行われる。全ての場合で、Lo-Solids (R) 蒸解法の適用によって、この温度勾配の減少が見られた。具体例としては、7~10℃ あった勾配が 2~3℃ に下がっている。更に、全ての1ベッセル蒸解釜で上部蒸解循環を完全に止めることが可能であることがわかった（従来法及び改良蒸解法ではこの循環でヒーターを用いて昇温をおこなっている）。このようにして、少ないプロセス機器で温度分布の改善を図ることができる。

4.10 Lo-Solids (R) 蒸解法の気相釜への応用

最近、気相シングルベッセル連続蒸解釜に Lo-Solids (R) 蒸解法が応用された。その結果、注目すべき効果が得られた。

気相釜は木釜内に入って来た木材チップを直接蒸気で加温する。換言すれば十分な薬液浸透を行わずに蒸解反応が開始される。薬液がチップ内部まで完全に浸透していないため、均一な蒸解度が得られずブローラインの Kappa 価の変動、多量のリジェクトが発生していた。Lo-Solids (R) 蒸解法の導入により、木釜上部スクリーンからの抽出後補充薬液、洗浄ろ液を加えてヒーターを経由して向流加熱を行った結果、効果的で

均一な蒸解温度プロファイルが得られた。このため釜頂部への直接蒸気を全く必要としなくなり、釜頂部温度は約 30℃ も低下し、木釜上部は効果的な浸透ゾーンとして機能し、ブローライン Kappa の安定化、リジェクトの減少というパルプ品質の向上をもたらした。この他、操業性の向上、蒸解薬品の節減、蒸解温度の低減、パルプ強度及び漂白性の向上などの効果が得られているが、この気相釜に於ける Lo-Solids (R) 蒸解法の応用については別途報告される予定である。

5. ま と め

新しい大気圧式プレスチーミングシステムが開発された。Diamondback (TM) プレスチーミングシステムは現時点で 11 工場で良好に運転中である。この新システムによって、より均一かつ十分なチップのプレスチーミングと信頼性の高い、メンテナンスフリーの操業が可能となった。

米国 Gulf State の Demopolis 工場での Lo-Level (TM) 供給システムは良好に運転されている。このシステムは 1996 年 2 月以降連続的に使用されている。期待通りのより良いスチーミングが得られた。低温での浸透による操業は安定している。高圧フィーダーの能力増も確認された。その他のテストが計画されているが、この新システムは旧式のチップ供給システムに取って代わるものと思われる。

従来法又は改良蒸解法によるプロセスと比べて、Lo-Solids (R) 蒸解法でのいくつもの蒸解釜全体の改善が可能である。パルプ強度の向上、蒸解薬品と漂白薬品の低減、蒸解釜からの抽出量の増加、未晒洗浄の改善、蒸解釜でのスケール形成の減少及びより均一な蒸解温度分布がこれにあたる。改造の場合、向流が小さい又は全くない蒸解釜に対して、Lo-Solids (R) 蒸解法は改良蒸解法で得られる利点を提供する。その多くの利点のため、既設釜のアップグレード及び新しい蒸解釜への標準法として Lo-Solids (R) 蒸解法は世界中に急速に採用されて来ている。

Ahlstrom Machinery Inc. 社で開発されたこれら 3 つの新技術を併せたものは、連続蒸解釜技術における大きな進歩をもたらした。

最後に、多くの方がこれら新技術開発の成功に貢献した事を述べておきたい。特に、Richard Laakso, Wayne Chamblee, Jerry Johanson, Geoffrey McClain, Jimmy Edmonds, Joanne Volke, John Allen 及び Gerry Williams の各氏、及びこれら全ての考案・開発の中心的役割を果たした James Robert Prough 氏に厚く感謝したい。

参 考 文 献

- 1) B. Marcoccia, J. R. Johanson, G. Williams, and P. Bruce: Proc. Pacific Paper '95, pp 8-14, Vancouver B. C. (Oct 1995).
- 2) W. Chamblee, E. Funk, B. Marcoccia, J. R. Prough, and G. McClain: Proc. 1996 Tappi Pulping Conf., Nashville TN (Oct 1996).
- 3) B. Marcoccia: Proc. Ahlstrom Japan Technology Seminar, pp 1-18, Tokyo (March 1994).
- 4) K. Gosh: Proc. 1995 TAPPI Emerging Pulp. and Bleach. Tech. Workshop, No. 3, Durham NC, (May 1995).
- 5) L. Sammartino-Pulp Paper Canda 97(3): 61 (March 1996)
- 6) B. Marcoccia, R. Laakso, G. McClain, : Tappi J. 79(6): 179 (June 1996)
- 7) J. Volk and J. Young: Proc. 82nd Annual Mtg. Tech. Sect. CPPA, pp B 37-B 42, Montreal PQ, (Jan 1996).
- 8) F. Martin, J. Nepote, K. Girard, A. Jaegel, Y. Gu and L. Edwards-Proc. Tappi Min. Effluent Mill Symp., Atlanta GA, (Jan 1996).
- 9) Edwards et al.: "Toward Mill Closure: Lessons Learned", presented at 1996 Tappi Con, Atlanta, GA
- 10) J. R. Phillips: Kamy, Inc. Tech. Bulletin No. KGD 1790-W 85, (1985).
- 11) J. R. Johanson: Trans. SEM, 232: 69, (March 1965).
- 12) A. W. Jenike, and J. R. Johanson: CIM Trans. 73: 141, (1970).
- 13) J. R. Johanson: Proc. Powder and Bulk Solids Conf., Chicago Ill, (1988).
- 14) J. R. Johanson: Chem. Eng., pp 77-86, (Jan 1979).
- 15) J. R. Johanson, : Binside Scoop 7(1), (1994).
- 16) J. R. Johanson, : Binside Scoop 6(1), (1993).
- 17) D. R. Elliot: Pulp and Paper 38(26): 27 (1964).
- 18) W. A. Hunt: Forest Products Journal 13 (19): 365 (1963).
- 19) J. Gullichsen, J. and H. Sundvist, H.: Proc. 1995 Tappi Pulping Conf., pp 227-234, Chicago Ill., (Oct 1995).

- 20) B. Marcoccia : Proc. 82nd Annual Mtg. Tech. Sect. CPPA, pp B 265-B 274, Montreal PQ, (Jan 1996).
- 21) B. Marcoccia, Proc. 50th Annual APPITA Conf., Auckland NZ, (March 1996).
- 22) J. Young, J. Volk, G. Start, H. Klaver, J. Cushner, R. Baczynski, T. Calaiezzi, K. Brown, R. Ellis, "Physical : Chemical Interactions Affecting Control in the Modern Fibreline", preprint from the 82nd Annual Meeting Technical Section CPPA, Montreal, January 1996.
- 23) N. Hartler and J. Libert : Svensk Papperstidning, nr 12, 454 (1973).
-