

木材人工乾燥装置の技術動向について

技術部 生産技術グループ 中 畷 厚

■はじめに

木製品製造業者にとって、乾燥材の品質と生産効率は経営に少なからず影響を及ぼすため、品質の向上と低コスト化を図る上で最適な乾燥工程を確立することは極めて重要です。製材の割れや曲がりや歩留まりを低下させ、乾燥材出荷後に生じる変形がクレームとなるケースもあるでしょう。乾燥に投入するエネルギーは生産工程の中で最も大きく¹⁾、化石燃料を使用している場合は燃料費負担も少なくありません。一方、住宅産業においては、プレカットの普及や住宅の高断熱・高气密化により、寸法変化の少ない乾燥材の使用が必須となっています。近年は、国産材自給率の向上のため、輸入材の品質・性能に対抗できる道産製材を供給していくことも重要な行政課題となるなど、木材加工の基本技術とも言える木材乾燥の意義・役割が益々重要になっています。

ここでは人工乾燥に関する情報提供を目的に、現在、国内で稼働している人工乾燥装置について概観しました。

■乾燥装置の種類と特徴

表1に人工乾燥装置の種類と主な特徴を示します²⁾⁴⁾。

・蒸気式乾燥装置

道内の人工乾燥材生産の実態調査⁵⁾によると、乾燥機420基の内、378基(90%)が蒸気式乾燥装置であり、国内でも最も普及しているタイプとなります。この装置の特徴は、40℃前後から100℃以上の高温まで広範囲の温度域を持つとともに、常圧下での湿度制御が容易な点です。このため、古くから様々な樹種・材種に対し乾燥試験が実施され、落ち込みやすい広葉樹材や割れやすい針葉樹心持ち正角・平角材などの難易度の高い製材を含め、樹種・材種を問わず適応性の広い装置と言えます。また、製材用途に応じて高温ないし中温タイプが選択でき、価格は中温タイプが廉価です。大きさは収容材積20m³前後が一般的ですが、近年は集成材ラミナや羽柄材の乾燥に特化して、100m³以上収容できる大型の中温乾燥装置も普及しています。製造メーカーも多く、機能性・メンテナンス性で各社独自の工夫・相違はありますが、

が、温度・湿度・風速制御といった基本性能で大きな違いはありません。

・除湿式乾燥装置

次いで多いのが除湿式乾燥装置です。針葉樹建築用材の乾燥が意識され始めた昭和50年代から急速に導入され、当初は構造材や羽柄材の乾燥を主体に用いられてきました。加熱と除湿をヒートポンプ式除湿機で行います。加熱によって発生する水蒸気を除湿機の蒸発器によって冷却・結露させ排出し、除湿機の冷媒(フロンガス)が凝縮器で液化する際に放熱し室内が加温され乾燥が進みます。しかし、乾燥後半に室内が低湿状態になると凝縮器からの放熱が少なくなるため、含水率をより下げたい場合には補助ヒーターによる加熱が必要です。温度は除湿機の種類によって低温型(40~50℃)と高温型(60~85℃)に分けられ、乾燥材の種類に応じて選択します。この方法は、一般に温度が低く無理な乾燥にならないので、材色がきれいで安全で操作も容易に行える反面、低温型は乾燥時間が長くなり、寒冷地では冬季の熱消費量が多く、特に低含水率域での乾燥効率が落ちるためヒートポンプによる省エネ効果が思ったほど期待できないことがあります。最近では、乾燥時間の短縮をねらった電熱式の高温型装置が導入される傾向にあるようです。

・木製乾燥装置

除湿式乾燥に類似の方法として、木製乾燥機があります。これは乾燥機躯体をスギ・カラマツなどの板材等で構成したまったく新しい発想の乾燥機です⁶⁾。低温乾燥のため木材本来の色艶・成分を保つなどの利点が強調されています。前述のような除湿機は用いていませんが、電熱ヒーター等で40℃前後に室内を加温し、水分蒸発により高湿度となった空気を木製内壁等に吸着させ、室内の湿度を徐々に下げながら乾燥を進める方法は、仕組みこそ異なりますが、除湿効果による乾燥方法と推測されます。加温は簡易な電熱ヒーター(＋簡易送風機)等によるもので、ヒートポンプ式と同様に省エネ効果が期待できますが、装置規模と除湿能力の関係や材種毎の仕上がり含水率、乾燥時間、割れ等の品質確認、データ収集が必要と思われる。

・蒸気加熱式減圧乾燥装置

蒸気加熱式減圧乾燥装置は、名称のとおり蒸気加熱と減圧乾燥を組み合わせた装置です。減圧することで沸点が下がるので比較的低い温度で乾燥が可能です。しかし、減圧状態では熱媒体が少なく効率が低下するため、常圧で加熱してから減圧して乾燥を促進し、温度が下がればまた常圧に戻し加熱することを繰り返すのが通常です。熱源と風速の確保が重要で、熱気（蒸気式）乾燥のみに比べ時間短縮が期待できるほか、比較的低い温度が適用できるため材色変化の少ない仕上がりが期待できます。装置躯体は、蒸気式乾燥装置に減圧機能が付加され、頑丈で気密性が重要となります。

・高周波加熱式減圧乾燥装置

この装置は、蒸気加熱式減圧乾燥とともに減圧法であることで同類ですが、加熱に高周波を用いるため、それぞれの特長を活かした急速乾燥を得意とします。減圧状態での乾燥は前述のとおりですが、高周波による加熱は誘電率の大きい水分子により多く作用するので含水率が高いほど発熱しやすく、内部加熱が可能です。このため水分傾斜や割れ・細胞のつぶれなどのない仕上がりが期待され、極めて大きい断面の構造材や価値の高い無垢厚板材などの乾燥に適しています。しかし、電力によるエネルギーコストと設備費が高く、コスト重視の針葉樹乾燥には不向きとされ、導入の際は採算性を十分検討する必要があります。ただし、今後は高品質な針葉樹構造用材（現し梁・桁材等）が要求されることも大いに考えられることから、適用の可能性がないとは言えません。なお、本法は熱効率を上げるため栈木を用いた栈積みが不要で、べた積み状態で円筒型真空缶体に収容し乾燥します。

・蒸気・高周波加熱式乾燥装置

同じく高周波加熱の利用と同時に蒸気加熱を併用する装置が、蒸気・高周波加熱式乾燥装置（熱気・高周波複合）です。前者との違いは、減圧加熱式ではなく熱風加熱のため栈積みが必要なことや、円筒型缶体に対し蒸気式乾燥装置を基本とするため収容材積も十分確保されます。蒸気による外周加熱と高周波による内部加熱が同時に行えるため、内部水分の拡散が促進されるとともに表面からの水分蒸発が効率的で、乾燥時間の短縮が可能となります。操作方法は、蒸気単独による蒸煮・高温処理の後、温度を100℃以下にして高周波加熱を3～5日程度併用する方法が一般的で、表面割れの抑制と水分傾斜の少な

い仕上がりが比較的短時間で得られるとの報告があります⁷⁾。さらに、初期含水率のバラツキの大きい樹種においては、仕上がり含水率の均一化を図るため、重量区分等によりグループ分けした栈積み（ロット）を乾燥装置に同時に入れ、ロット毎に高周波強度や加熱時間を変えることで全体を均一に乾燥することが提案されています。エネルギーコスト（電気・燃料）は時間に比例しますので、いかに時間短縮を図るかがポイントですが、内部水分の均一化と短時間でしかも比較的 low コストで達成できる可能性があり、他の乾燥方法にない特長を有しています。

・燻煙乾燥装置

本装置は、燻煙処理室と製材端材や未利用除伐材等の廃材を燃やす燃焼室で構成され、燃焼室は処理室と隔壁を介す並列タイプならびに処理室の地下部に設けたオンドルタイプがあります。いずれも木質燃料を燃焼室で燻し、燃焼ガス（煙）を直接処理室に導きながら、丸太の熱処理や製材の乾燥を行う方法です。すなわち丸太の燻煙熱処理と製材の燻煙乾燥を目的とする2種類の方法に分けられ、室内の最高温度は、丸太処理の場合は120℃以上が一般的で、温度を降下させる冷却期間を含め2週間程度かけるのに対し、製材乾燥では100℃を超えない温度で、製材サイズによって3日から2週間程度の時間を要します。装置規模は数十から百数十m³と容量が大きく、通常はファンを使わずに自然対流式が主流のため温度むらの問題が指摘されています。丸太処理で明らかにされていることは、成長応力（樹木の成長に伴い発生する材内ストレス）の低減であり、製材時の挽き曲がりや反りが生じにくいことが利点です。また、含水率低下は辺材部の高含水率領域が主体となるため、丸太内含水率の分布が均一化する特徴があります。しかし、湿度の制御機能がなく高温処理のため繊維飽和点（含水率約30%）以下になれば表面割れが生じやすいので、繊維飽和点以上での熱処理が得策と見られています。一方、製材が対象の場合は十分な含水率まで乾燥が可能です。前述のとおり温度むらが大いの場合、含水率のバラツキに注意が必要です。板類は割れ等の損傷が少なく含水率のバラツキも小さいと思われませんが、柱など断面の大きい製材は品質の確認が必要です。いずれにしても安価な廃材燃料と複雑な操作を必要とせず大量処理が可能な装置ですが、設備コストは高めであることから製品用途や品質とともに考慮する必要があります。

■おわりに

人工乾燥装置は多種多様であり、それぞれに品質・時間・コスト面で得意・不得意が混在するため、導入の際は知識と見聞をもって判断する必要があります。総合的に見ると、これからは蒸気式乾燥装置が主流であることに変わりはないと思いますが、今後は国産材による建築材・内装材供給の要望が益々増加することも予想され、製材用途に合った乾燥方法の選択が重要となってきます。特に、大径化する国産針葉樹を平角材（梁・桁）に、未利用広葉樹を内装材に利用するなど、乾燥技術に大きく依存するような用途開発が既に求められてきています。乾燥技術は日々進化しており、装置メーカーや研究者の努力により新たな手法も提案され、今回ご紹介できなかった方法もいくつか挙げられます。また、人工乾燥以外にも、時間を要しますが天然乾燥（養生）も活用の仕方によっては有効な乾燥方法の一つです。これらの選択は乾燥技術者の理解取得にかかっており、扱う材種・用途に合った最良な乾燥工程の確立を目指してほしいと思います。

■引用文献

- (1) 中島史郎・大熊幹章：木材工業46(3)，127-131，1991
- (2) 社団法人全国木材組合連合会：乾燥材生産の技術マニュアル改訂新版，2006
- (3) 石川県林業試験場 石川ウッドセンター：安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル，5-9，2012
- (4) 社団法人北海道林産技術普及協会：テクニカルノート木材乾燥(改訂新版)，2010
- (5) 北海道水産林務部林務局林業木材課：人工乾燥材生産実態調査結果平成24年度版，2013(12月)
- (6) 例えば
http://www.sorachitanpan.com/product/bio.html
- (7) 寺西康浩ほか：奈良県森林技術センター研究報告，No. 28，29-40，1998

表1 木材乾燥装置の主な特徴

装置名	タイプ	主な特徴	設備費 ²⁾
蒸気式乾燥装置	高温型	<ul style="list-style-type: none"> ・中温乾燥装置を高温仕様として、加熱能力・性能等を高めた ・表面割れを抑制しつつ、乾燥時間の短縮が可能 ・長時間の高温処理は、内部割れが生じたり材質変性が起きやすい 	25,000千円/材積25m ³ ・1室
	中温型	<ul style="list-style-type: none"> ・研究蓄積も多く、樹種材種を問わず適用範囲が広い ・蒸煮ができ、応力除去やヤニ処理等が可能 ・適用温度は100℃以下で、断面の大きい材は、長い乾燥時間を要する ・ボイラー1基で多室の熱源供給ができ、大型化も可能 	40,000千円/材積30m ³ ・2室
除湿式乾燥装置	高温型	<ul style="list-style-type: none"> ・約60～85℃の温度範囲で、低温型に対し乾燥時間の短縮が可能 ・割れ抑制に有効な高温セットができない ・ヒートポンプを用いるため、省エネ化が期待できる 	12,000千円/材積14m ³ ・1室
	低温型	<ul style="list-style-type: none"> ・40～50℃の温度範囲で、材色がきれいに仕上がる ・電気使用のため、操作が容易で無理な温度上昇もなく安全である ・乾燥後期に湿度低下すると除湿効率が下がるため、低含水率の乾燥には不向き 	—
蒸気加熱式減圧乾燥装置		<ul style="list-style-type: none"> ・減圧下での乾燥のため、低温でも乾燥時間の短縮が可能 ・温度を低く設定できるため、材色変化が少ない ・蒸気式装置に減圧機能が付加されるため、設備費が高価 	—
高周波加熱式減圧乾燥装置		<ul style="list-style-type: none"> ・低温でも急速乾燥が可能 ・材内の含水率傾斜が少なく、割れ・落ち込み・変色等の損傷も少ない ・大きな断面の付加価値化製品の乾燥に適している ・設備費およびランニングコストが高い 	40,000千円/材積14m ³ ・1室
蒸気・高周波加熱式乾燥装置		<ul style="list-style-type: none"> ・内部加熱により、断面の大きな材も効率的な乾燥が期待できる ・断面全体の含水率傾斜を少なく乾燥できる ・設備費が高く、積込みの時の電極配置作業の手間がある 	65,000千円/材積20m ³ ・2室
燻煙乾燥装置		<ul style="list-style-type: none"> ・ボイラー等の加熱機器が必要なく、製材端材や除伐木等が燃料利用できる ・丸太処理の場合、成長応力の除去効果がある ・燃料の種類や量によって加熱時間が異なるなど、操作には十分な経験を要する 	100,000千円/材積200m ³ ・1室