

本題について述べるに当り、煮繭に関する一般的な重要問題と思われるものを念頭において述べ、今まで研究してきた各種煮繭方法について解説を進め皆様の御参考に供したい。

煮繭は繭層セリシシが水を吸つて膨潤軟化する自然現象を合理的に助長するため、湯煮または蒸煮の水蒸気凝縮水とその潜熱エネルギーを作用させて、繭糸相互の膠着を減じて繰糸を可能にする方法がとられている。従つてこの膨潤現象に関連する事柄を繭層セリシシと繭層構造、水の物性と水質および煮繭方法などの観点からじゅうぶん吟味する必要があるので、次にその概要を紹介する。

1. 繭層セリシシおよび繭層構造

(1) 膠質状態 (colloidal state)

膨潤¹⁾というのは膠質に特有の現象である。この膠質については最初英国の化学者グラハム(T. Graham)によつて研究された。溶液中に溶けあるいは浮遊している溶質は硫酸紙などの薄膜を通つて拡散する速度に大きいものと小さいものに分けられ、前者は結晶させることができるが後者はできないことを知り、前者を晶質 (crystalloid) と呼び、後者を膠質 (colloid) と命名した。膠質が拡散速度が小さいのは液中の粒子の直径が大きい (1~100 m μ) ため、晶質の溶液では粒子が分子あるいはイオンになつていて、粒子の直径は小さく (1 m μ 以下) 拡散速度が大きい。膠質溶液のことを簡単にゾル (sol) ともいう。この膠質溶液から水分を取り除いてから再び水を加えたとき、簡単な取り扱いでもとの膠質溶液にもどるものとそうでないものがある。このことは膠質と水との親和力の大小によつて起こるものと見られるので、前者の例えばたん白質 (繭層セリシシ) や石けんのようなものを親水膠質 (hydrophilic colloid) と呼び、後者の例えば硫黄や銀を非常に細かに砕いたようなものを疎水膠質 (hydrophobic colloid) という名を使う。親水膠質から水分を除こうとするとき粒子が沈殿して上澄液と分離するものや親水膠質全体が凝結して弾力ある塊となるようなものを凝膠体またはゲル (gel) と呼び、後者を特にゼリー (jelly) ともいう。

凝膠体がさらに水分を失ない乾燥した固体となつたものを乾膠体 (xerogel) というが、綿、絹、羊毛等は高分子の結晶構造をした乾膠体と見ることができる。従つて膨潤を膠質状態から見れば、繭層セリシシのような親水乾膠体が水その他の液体に接すると自然にそれを吸つて膨脹軟化する現象と理解できる。

(2) 両性電解質 (ampholyte)

繭層セリシシのようなたん白質やそれを構成するアミノ酸は化学的にはカルボキシル基 COOH とアミノ基 NH₂ を持つので、簡単に NH₂-R-COOH と書かれ、液中でこれらの基からできた陽イオン濃度 (H⁺) や陰イオン濃度 (OH⁻) の電離は微弱であるので、(H⁺) (OH⁻) = Kw すなわちそのイオン積 Kw は一定という関係が成り立つ。この関係の平衡は溶液の pH の影響を受け、pH が大きいアルカリ性液中では液の陰イオン濃度 (OH⁻) が大きいので、平衡はアミノ酸が NH₂ · R · COO⁻ + H⁺ のような方向すなわち H⁺ を生じる方向に移動して酸として行動し、また NH₂ · R · COO⁻ 自身は負に帯電して陰性膠質 (negative colloid) のように働き、

溶液の pH が小さい酸性液中では反対に液の陽イオン濃度 (H^+) が大きいので、平衡はアミノ酸が $NH_3^+ \cdot R \cdot COOH + OH^-$ のような方向すなわち OH^- を生じる方向に移動して塩基として行動し、また $NH_3^+ \cdot R \cdot COOH$ 自身は正に帯電して陽性膠質 (positive colloid) のように働く。このように一つの化合物がその溶液がアルカリ性の場合には酸のように行動し、溶液が酸性の場合には塩基として行動するものを両性電解質という。例えば繭層セリシンの主な構成アミノ酸として知られているセリン $HO-CH_2-CH \begin{matrix} \swarrow COOH \\ \searrow NH_2 \end{matrix}$ の電離定数 ($25^\circ C$) は酸として 7.1×10^{-10} 塩基として 1.6×10^{-12} が与えられ、酸としての電離は塩基の場合よりも大きく膨潤度も大きい。

繭層セリシンのような親水乾膠体で両性電解質である膠質の性質は、光学的・X線的に特異性を示すほか、電氣的には前述のようにアルカリ性液中ではセリシン粒子は負に帯電する場合と酸性液中では正に帯電する場合があるので、液中に直流電圧をかけると膠質粒子自身の帯電と反対の電極に向かつて集まつてゆく電気泳動現象 (cataphoresis) が見られ、また液中に電圧をかけない場合でも粒子は正か負に帯電しているので粒子と液との接触面に電気対層 (electric double layer) を生じて、粒子の面が負ならば液の接触面は反対の正に帯電して両者の間に電位差 (zeta) を生じるのが常である。金丸は水中におけるセリシン層の電位は pH 6.3 ~ 6.4 で -7 ~ -8mV、フィブロイン層のそれは -17 ~ -20mV と推定した。水中に OH^- が多い場合は電位は増大し、膨潤度も増大する。

また電気泳動は前述のような液のイオン濃度によつて泳動速度が変わるので、液の pH によつては帯電の符号が負から正へ逆転して液中の電極への泳動方向が変化する。このような泳動方向の変る液の pH をその両性電解質の等電点 (isoelectric point) といい、等電点の場合は繭層セリシン粒子の泳動速度および膨潤度は極小となる。渡辺、金丸等の研究によれば、繭層セリシンの等電点は pH 4.0 ~ 4.5 程度の酸性側にあると推定されている。

なお両性電解質分子の構造中に含まれ特に水分子 (直径 3.8 Å) と作用してそれと親和性をもつもので、水酸基 OH 、カルボキシル基 $COOH$ 、アミノ基 NH_2 、ケトン基 CO などを親水性基 (hydrophilic radical) という。

(3) 親水膠質の特性

繭層セリシンは膠質状態の項で述べたように、水との親和力が大きい親水膠質であり、その特性は水の pH に従つて水中のセリシン粒子は電気対層を生じてすべて同種の帯電をしていることと、その結果としてセリシン粒子の周囲は水分子と強く結合 (吸着) してそれらに包まれていることとのために、セリシン粒子と粒子とは水を介して直接に触れ合うことができないと見られることである。従つて例えばアルコールのような溶剤をセリシン溶液に加えると、セリシン粒子に強く結合していた水分子が非常に水と強く結合するアルコールに奪われて、セリシン粒子は疎水膠質のようにはだかに近い状態になり、凝析しやすくなることである。

また塩類のような電解質は液中でそれ自身からできるイオンの周囲に多数の水分子を引きつけるので、若干の脱水作用がある。それゆえ、親水膠質溶液でも電解質を多量に加えるとセリシン粒子の周囲の水分子が奪われてセリシン粒子は凝結する。このような現象を塩析 (salting out) という。

塩析を起こす液中の電解質の能力はその種類によつて異なる。これは電解質の成分となつているイオンの異なるためと考えられる。例えば同じ陽イオンを持つ電解質について調べれば、その陰イオンの能力がわかり、同じ陰イオンを持つ電解質について調べればその陽イオンの能力がわかる。陰イオンの順序は $SO_4^{--} > F^- > Cl^- > Br^- > NO_3^- > I^- > CNS^-$ となり、陽イオンの順序は

1価イオンでは $\text{Li}^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Rb}^+ > \text{Cs}^+$, 2価イオンでは $\text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{Sr}^{++} > \text{Ba}^{++}$ となる。この順序を離液順列 (lyotropic series) またはホフマイスター系列 (Hofmeister's series) という。さらにハーディ・シュルツェの法則 (Hardy-Schulze's law) により、膠質粒子の帯電と反対の符号を持つイオンが凝析に関係し、イオン価の大きいものほど凝結が著しい。繭層セリシンは水中では液の pH が等電点より大きい場合は前述のように負に帯電するので、溶存電解質の陰イオンについては同種の帯電で吸着は微弱であるが、 CNS^- のように離液順列で低位の陰イオンは水分子との結合力が弱くて、より繭層セリシンに接近して存在するので、それのもつ水をより多く繭層セリシンに与え (salting in), 親水膠質の膨潤あるいは溶解を促し、 SO_4^{--} のように高位のものはその強大な水分子との結合力によつて繭層セリシンから比較的遠くはなれて存在し、繭層セリシンに結合する水を強く奪い (salting out), 親水膠質の脱水・凝結を誘う。陽イオンについては離液順列よりもイオンの価数の影響が顕著である。尾崎は水中の各種塩類の繭層セリシンへの吸着による膨潤度 (塩類が低濃度の場合は凝析でなく逆に膨潤する) を調べ、この作用は製糸用水の pH によつて支配され、この pH の変化は各種塩類の電離によつて生ずるとし、 $\text{pH} >$ 等電点においては陰性膠質として働くので、陽イオンの金属類の異極性吸着は強く、その価数の増加とともに増大し、その順序は $\text{Fe}^{+++} > \text{Al}^{+++} > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ であり、陰イオンの影響は微弱で同極性吸着の量は僅少であるが、その順序は $\text{SO}_4^{--} > \text{HPO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SCN}^- > \text{OH}^-$ であると述べ、大体離液順列に従うことを示した。また金丸等は絹糸の膨潤について実験し、同じ陽イオンを持つ塩類の陰イオンが低濃度の場合は尾崎が示したように離液順列は正転しているが、高濃度 (塩析の場合のような) では逆転することを示した。

繭層セリシンを水に漬ければ前述のような影響の下に自然現象として水を吸つて著しく体積を増し、ついには柔らかい凝膠体 (ゲル) になるが、この変化は熱 (50°C 以上) を与えれば一層早く進むので、熱軟化 として知られている。そして膨脹するためにはほかのものを押しつけねばならないので、そのような力を膨潤圧 という。繭層セリシンの膨潤軟化の主な要因は前述により繭層セリシンの膨脹、水分子や溶存イオンの吸着、繭層セリシン内部への浸透および熱エネルギーの作用などが考えられている。そして膨潤は常に溶解・分散に先だつて起きるものであり、膨潤度は直接解じょに影響するものである。

従つて繭層セリシンという観点からの煮繭技術としては、膨潤軟化という物理変化や化学反応はそれ自身人為的に左右し得ない自然現象であるので、ただ人がなうことは基礎理論から合理的に遂行できる煮繭方法に基づき煮繭機や水質調整装置を設計・製作することと、原料繭の性質や変動を管理するとともに、その運転に際しては必要な熱エネルギーの加除とその環境条件 (温度、圧力、濃度、pH、流速、速度等) を維持するため制御 (自動制御) 管理を行なうことだけである点に留意すべきである。

さて塩析によつて生じた沈殿物または固体が再び液中に分散して膠質溶液となる変化を解膠 (peptisation) といい、このとき加えられるアルカリを解膠剤 (peptiser) という。アルカリとしては NaOH , NH_4OH , Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 , NaHCO_3 , Na_2SO_3 などが知られているが、これらは OH^- を生じて溶液の pH を増大し、膠質粒子が負に帯電して水分子をより多く吸着することによる。解じょ不良繭に対して人為的に解膠剤を用いる場合は煮繭湯よりも繰糸湯に使う方が安全に解じょを改善することができる。

かように、乾膠体としての繭層セリシンの解膠の場合 (沈殿の場合でなく、例えば蒸煮の繭層への凝縮水量と繭層セリシン量との場合を考えてよい)、水中の膠質の最大濃度は水と共存する液

底体（乾膠体）の量に関係し、液底体の量が多い程水中の膠質の最大濃度は連続的に増大するというドイツのコロイド化学者オストヴァルト（W. Ostwald）の液底体の法則（rule of dispersed amount）が知られている。しかし通常物質の溶解度は飽和溶液中に固体として共存する物質（液底体）の量には関係しない。従つて蒸煮の場合繭層への凝縮水量が繭層セリシン量より少ないときは水中のセリシン濃度は大きくなるが、同一濃度では凝縮水量が多ければセリシン溶解量はふえる。湯煮の場合は水量がきわめて多いので同じことがいえる。

なお親水膠質のゲル化によつてできた弾力ある柔らかい固体を空气中に放置すれば、次第に水分を失なつて体積が小さくなり、ついには乾いた状態になることを膨潤（swelling）と逆の現象として縮化（shrinkage）といい、繰糸・揚返工程における生糸の乾燥の際に起きる。

(4) 繭層構造

原料繭の性状や変動は繭層構造に原因し、蚕品種、蚕期、飼育地および飼育・営繭環境等の解じょへの影響が大きい。まず第1に蚕品種特性によつては自動繰糸の際に繭層構造が不均質なため、平野・今井も示したように薄皮に至つて繭層に穴があくものが多く、蛹が脱落して薄皮が飛び付き糸故障を多発するものがあり、煮繭繰糸では薄皮が飛び付かないように蛹しんを厚くして糸歩を減少させなければ繰糸できないので、かような蚕品種はなるべくさけた方が賢明と思う。その他繰糸に適さないほか繭、はふぬけ繭、薄皮繭、死ごもり繭等は適度に選繭するのがよいだろう。

第2にはかような繰糸不適繭を除いた正常繭層の籠（かご）目（直径約0.2~0.07 mm）構造の問題があり、古くから呼気による繭層の通気性を調べ解じょの判定が行なわれたが、同様に繭層の通水性によつて解じょへの影響が研究されている。土屋は多湿環境で営繭された繭層構造を調べ、多湿の場合は縮すうが著しく粗大で緊緩が剛硬であると指摘し、多湿の解じょ不良繭は適湿の良好繭に比べて、繭層の通水性は劣り、繭層間隙の毛管の径も細く、全繭層容積に対する繭層間隙容積も小さく（良好繭の70~75%に対して70%以下）、繭層水分率は多く、上蔭後の繭層収縮率が著しいので、逆に煮熟したときは繭層容積の膨脹率（回復率）が大きい、繭層無水量に対する煮熟繭層の遠心脱水後の膨潤度（小野その他によれば煮熟直後は100~110%と考られている）は小さいなどを示し、多湿の影響を受けた蚕児の吐糸した繭糸は繭層を構成する際に著しく縮化し、このため繭層間の繭糸相互に強い膠着が部分的に発生し、この部分への煮繭湯の浸潤を不可能にして解じょを悪化すると推定した。

第3には繭層を構成する成分や乾燥の問題があり、清水は繭層セリシンの繊維軸に対する断面的な構造は最外層の40%は水にきわめて溶けやすく（セリシンⅠ，準非晶質）、次の中間層の40~45%は水に溶けにくくなり（セリシンⅡ，結晶性の部分を含む）、フィブリン層に近い最内層の10~20%は最も水に溶けにくい状態（セリシンⅢ，結晶構造）の3層を形成するとし、繊維軸方向にはセリシンⅠは外層に多く内層に至るに従つて少なくなり、逆にセリシンⅢは外層に少なくて内層に多く、いずれのセリシンも一度膨潤溶解し再び乾燥・固化すると結晶化して溶解性を減少すると推定した。繭層部位別ではセリシン量（約19~28%）およびろう物質（約0.8~1.0%）は外層に最も多く、内層に至るに従つて減少し、その他色素や無機物（約1.0~1.4%、無機物は主として石灰分）が含まれていることは周知である。

奥は生繭繭層についてろう物質を研究し、グリセリンや窒素の定性試験により生繭繭層には脂肪は存在しないことを知り、また尾崎はエーテル浸出物中に認められる脂肪成分は殺蛹・乾燥・貯蔵中に蛹体脂肪が繭層に移行すると解すべきであると指摘している。これは理論的には乾燥の

際蛹体水分¹²⁾（生体重の 75~79%）の蒸発に伴つて、沸点の高い蛹体脂肪が比較的低温で水蒸気蒸溜されて繭層に移行するものと考えられる。さらに尾崎¹³⁾は生繭は各層の溶解度がほとんど平均して差は少ないのみならず、内層は相当溶解度が大きく、乾繭では内外層セリシン量を等しく採り溶解度減少を調べると、外層は中内層特に内層に比べてそれが著しく少ないことを知つた。そして乾燥による繭層水分の減少に比例して化学的変化（溶解度の減少など）が最大となるので、繭層水分が著減する乾燥後期は過乾にならぬようなるべく低温で行なうことが大切とした。

第 4 には繭層の防水性の脂肪やろう物質の問題があり、樺井は繭層間隙の毛管吸水現象を研究し、ろう物質で防水加工した繭層はその融点（40~70°C 付近）では温水との付着力を著増して、水をはじくどころか逆に水を吸収紙のように毛管吸収することを知り、さらに繭層セリシンの湿潤性についても究明し、湿潤性は加ろう繭層では全く現れられないが、生繭層では困難で、乾繭層がこれに次ぎ、脱ろう乾繭層が最も良好であつたとし、繭層を煮沸した場合は繭層セリシン層の表面疎水性は逆に親水性（長時間処理では繭層全体の溶解度は熱凝固により乾繭の場合のように減る）となつて湿潤性が顕著に現われることを示した。この煮沸は煮繭する際特に注意すべき点と思われる。そして樺井は、湿潤現象は繭層セリシン層面の極性基（COOH や NH₂ 基）の配向に関係があり、繭層が湯水にぬれにくい実状は繭層セリシン層面の構造が表面疎水性（NH₂ 基）内部親水性（COOH 基）であることによると推定した。

第 5 には繭糸相互の接着部や異形状態繭糸による落緒の問題があり、小河原・村山¹⁴⁾は落緒部の繭糸形態を調べ、細くなつたもの(A)、扁平状のもの(B、接着部に多い)、こぶ状になつたもの(C)、左右不均衡なもの(D)、正常なもの(E)、その他(F)の 6 種に分類し、一般に B 形態が最も多く現われ、これらの異形状態部分は強伸度が小さくぜい弱であつて切断しやすく、解じょを悪化する原因と推定した。また嶋崎¹⁵⁾は落緒の分布形態を最外最内層部分に多い U 型、主として外層部分に多い L 型、内層ほど多い J 型の 3 種に分類したが、一般に J 型分布が多いことが知られている。

(5) 蛹

蛹は蛹体水分の外はほとんど脂肪とたん白質からできているとしてもさしつかえないが、殺蛹後のように蛹体水分の多い状態あるいは乾繭の蛹体でも多湿の場合は、微生物の繁殖とともに蛹体成分はふ敗されやすく、脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解され酸価を増大し、はなはだしいときは種々の揮発性物質となつて蛹体重を減少し、たん白質は湿分と微生物の発生増殖のため加水分解されて種々の化学変化を受け分解してガスとなつて発散するが、煮繭・繰糸の際は特に脂肪酸は煮繭・繰糸湯に浸出して酸性を高めるので、解じょを著しく悪化するから注意が肝要である。陶山¹⁷⁾は生繭の取り扱い不良の蒸熱で蛹体を変質する場合や再乾法の中乾放置時間が長くなるほど（24 時間以上）、蛹体水分が多いほど（中乾程度 50% 以上）著しく煮繭湯などの酸性を増大して解じょを悪化することを知り、蛹を煮ないことを目的とする熟成煮繭法を開発した。また山本¹⁸⁾は普通の乾繭（繭層水分 9%、蛹体水分 8%）を常態（関係湿度 72%）に対して多湿状態（関係湿度 80%）で 2 か月貯蔵すれば、繭層および蛹体は水分を吸収して重量は増加（繭層水分 11.6%、蛹体水分 13.5%）し、かびの発生は盛んで脂肪は著しく分解して酸価を著増（11 倍程度）することを示した。なおかような点に注目した陶山¹⁹⁾の熟成煮繭法は昭和 29 年自動繰糸が普及される以前の多糸繰糸時代に研究・発表されたが、その方法は蒸気室を通つて浸透剤（ネカール B.X., 5 千~1 万分の 1）を添加した浸透部で繭こう内にほとんど吸水しないような軽浸透を行なつて繭層の通水をはかり、次の熟成部では最少限度の水蒸気で蒸煮（温度 100°C、水頭圧 3~5 mm H₂O、蒸煮時間限度 2 分）し、調整部（湯温 88~93°C、繭層の脂肪やろう物質から生成した石

けん成分の気泡が消えないすなわち湯を酸性としないようにする)で初めて吸水調整させ、煮上部(湯温 27~52°C)で繰解部と関連して処理(煮繭時間 13分)を終り、蛹を煮ないようにじゅうぶん浸透しないので繭層は空気泡が残つて白く見え内層でも白味が残るよう煮繭(当時の湯煮繭の1/3程度の蒸気使用量)すると述べている。この軽浸透煮繭は現在では全国的に普及して自動繰糸用煮繭の基礎問題の第1歩を解明したことは大きな貢献といわねばならぬが、陶山は解じょ程度以上(解じょ率 74~88%程度)の繭について実験を行なつたのではないかと思われるので、常習的多湿地域での解じょ不良繭(陶山は解じょの悪い繭は時間をかけて若だきにせよと奨めている)については問題(後述)があるのではないかと考える。

2. 水の物性と水質

(1) 水(水蒸気)の物性²⁰⁾

水はその温度において一定の飽和蒸気圧(0°C, 4.579 mmHg~100°C, 760 mmHg)を示すことは周知であるので、煮繭の浸漬部、浸透低温部および調整部などの温湯中に空気を含む繭層を漬けたとすれば、その繭層間隙の毛管中の空気湿度に相当する湿分を含んだ空気泡中にはその飽和蒸気圧を示す水蒸気が作用する。従つて触蒸部(浸透高温部)や蒸蒸部(熟成部)のように水蒸気を用いる部分ばかりでなく、煮繭としては温湯を用いる場合も同様にまず水蒸気の物性を知る必要がある。

水蒸気の粘度(viscosity)は空気の粘度(1気圧, 100°Cで0.07834 kg/m·hr)の59%程度と小さく、1気圧, 100°Cで0.04608 kg/m·hrであり、液状水の粘度(1気圧, 100°Cで1.013 kg/m·hr)は水蒸気のその22倍程度の大きな値を示して前述の樺井の研究のように繭層は実に湯水にはぬれにくく、水蒸気は空気や水よりもきわめて容易に繭層毛管内に浸入して湿潤現象が行なわれ、湯水の粘度でも浸入することが可能となれば初めて繭層の通水性が現われる。浸入する水蒸気はその温度における飽和蒸気圧以上を示す場合は、水蒸気は繭層毛管内に拡散・膨脹して断熱的に冷却・凝縮され、粒子半径 $0.63 \times 10^{-7} \text{cm}$ (0.63 μm) 程度の水滴となり、繭層繊維の冷却面に凝結・吸着されるはずである。水蒸気水滴となる場合に空気中に負の帯電粒子(陰イオン)が存在すれば、それが水滴の核となつて凝縮して水滴となりやすいことは知られている。

繭層繊維面のごく近くでは流体(例えば水蒸気, 空気等)の乱流(turbulent flow, 混流ともいう)による流線の乱れ運動が制約されて、流体の粘性の影響が大きく現われ摩擦抵抗を増大して、整然とした流線をもつ層流(laminar flow)状態をなしている。この部分を境膜あるいは層流底層(laminar film)とよぶ。境膜の厚さ δ [m] はきわめて薄く、流速の増加とともに減少する。例えば平板にそつて空気が乱流する場合その境膜あるいは層流底層の厚さ δ を求めると $\delta = 0.3 \text{ mm}$ (繭層の厚さ約 0.12~0.70 mm 程度)の位置における流速は 0.4 m/scc と測定された。なお流速がレイノルズ数(Reynolds number) $Re > 10^3$ 以上では流体内にある物体の形状抵抗を受けて渦(vortex)を生じ乱れ運動を増大する。

したがつて繭層繊維面(境膜部分)では流線に垂直方向の乱れ運動による対流は起きないので、水蒸気の伝熱抵抗は大きくその拡散・膨脹によつて伝わらなければならない。この移動速度を拡散係数(diffusion coefficient)という。これに関する水蒸気の濃度傾斜(推進力)は工業的には分圧基準の拡散係数が用いられ、空気中への水蒸気の拡散係数 D は 1気圧, 0°C で $0.220 \text{ cm}^2/\text{sec}$, 同じく 25°C で $0.256 \text{ cm}^2/\text{sec}$ であり、 D は一定温度では圧力[atm]に逆比例して減少し、

一定圧力では温度〔°K〕の 1.75 乗に比例して増大する。

さらに境膜における水蒸気の移動速度すなわち拡散係数に支配される水蒸気の伝熱量は境膜伝熱係数によつて決められる。水蒸気が繭層繊維面へ凝縮する場合の単位時間内の伝熱量を q 〔kcal/hr〕, 全伝熱面積を A 〔m²〕, 水蒸気本体の温度を t 〔°C〕, 繭層繊維面の（凝縮水）温度を t_w 〔°C〕, A に対する平均の境膜伝熱係数を h 〔kcal/m²・hr・°C〕 とすれば $q = h A (t - t_w)$ で与えられ、水蒸気が凝縮するときの h の実測値は 5,000~15,000〔kcal/m²・hr・°C〕程度が多く、繊維面での水蒸気の凝縮温度（冷却面温度）の低下に伴う凝縮水量増加などによつて h の値を低下させ、水蒸気に非凝縮性気体の窒素や空気が混入する割合の増加によつても h の値が低下することが知られている。

かように煮繭において水→水蒸気→繭層への凝縮水とする操作によつて初めて繭層セリシンに水を接触させることができ、自然現象として繭層セリシンを膨潤軟化させる場合の重要な問題は理解されたことと思う。前記で注意すべき点の 1つは水蒸気の流速の増大によつて境膜の厚さが減少して境膜伝熱係数を高め得ること、2つは拡散係数は一定圧力では、絶対温度の 1.75 乗に比例して増大するので、赤外線照射などによつて水蒸気温度の上昇を計つて次第に低下する繭層への伝熱量および凝縮水量を多くできることである。しかし高温の過熱蒸気の場合は飽和蒸気より伝熱量は大きい、繭層への凝縮水量は逆に少ないことは注意すべきである。従つて煮繭方法は湯か蒸気かの処理いかにかわらず、操作の大部分の熱エネルギーは水→水蒸気→繭層への凝縮水という状態変化に用いられていることは注意を要する。

そこで水の状態変化が簡単で直接的に行なわれる場合、すなわち浸透処理を行なわない無浸透で実際の工程のように繭を 30°C の浸透低温部に 1 分間漬けたのち沸点で蒸煮して見れば、その繭層セリシンの水分重量は 1 分間で繭層無水重量の約 80%, 2 分間で約 100%, 3 分間で約 110%, 4 分間で約 90% とそれぞれ増加し、蒸煮時間 2~3 分間で最大となりそれ以上ではかえつて減少することがわかる。この時繭層間隙の付着水は脱水したので、時間的に増加した水分は繭層セリシンの吸収量であり、両性電解質の項でも述べたように水分は内部までも浸透して膨潤したことおよび熱軟化の結果であることは明らかであり、逆に 4 分間で水分が減少したのは凝縮水の蒸発や凝縮に伴い発生する大きな潜熱（latent heat, 1 気圧, 50°C で 569.0 kcal/kg, 100°C で 538.9 kcal/kg）による熱作用のために、内部に浸透した水分が再び蒸発・脱水したものと考えられる。もちろんかような場合、煮繭のための過剰な熱作用は脱水ばかりではなくセリシンの熱凝固を伴うものであるから陶山の指適したように蒸煮限度に注意すべきである。

前述の境膜伝熱係数 h について述べたように水蒸気中に空気が混入する場合は h は低下するが、水蒸気を湿分とし、空気を乾き空気とすれば両者の混合気体は大気のような湿り空気であるので、湿り空気の飽和湿度（絶対湿度）は容易に計算することができる。次に飽和水蒸気の物性として湿り空気の飽和湿度（90~100°C および 90.4~94.4°C）その他を第 1, 2 表に示す。これは乾き空気 1 kg 中の水蒸気量すなわち濃度を示すもので、拡散する場合の水蒸気の推進力の指標とも見られる。

第 1 表 飽 和 水 蒸 気 表 (90~100°C)

温 度	飽和蒸気 圧	乾燥空気 分圧	空気混入 割合	湿り空気 飽和湿度	湿り空気 飽和比容	湿り空気 飽和密度	飽和蒸気 密 度	乾燥空気 密度
t[°C]	Ps	π-Ps	W	Hs	Vs	ρs	ρv	ρa
T[°K]	[mmHg]	[mmHg]	(100kg/kg%)	($\frac{kg-H_2O}{kg-dry\ air}$)	($\frac{m^3}{kg-dry\ air}$)	[kg/m³]	[kg/m³]	[kg/m³]
90.0	525.76	234.24						
363.16	0.69179	0.30821	41.73	1.3961	3.3371	0.718	0.424	0.973
91.0	546.05	213.95						
364.16	0.71849	0.28151	38.65	1.5875	3.6638	0.706	0.439	0.970
92.0	566.99	193.01						
365.16	0.74604	0.25396	35.37	1.8272	4.0725	0.694	0.454	0.967
93.0	588.60	171.40						
366.16	0.77447	0.22553	31.89	2.1360	4.5989	0.682	0.471	0.965
94.0	610.90	149.10						
367.16	0.80382	0.19618	28.18	2.5485	5.3010	0.669	0.488	0.962
95.0	633.90	126.10						
368.16	0.83408	0.16592	24.23	3.1268	6.2853	0.657	0.505	0.959
96.0	657.62	102.38						
369.16	0.86529	0.13471	20.02	3.9953	7.7625	0.644	0.522	0.957
97.0	682.07	77.93						
370.16	0.89746	0.10254	15.52	5.4440	10.226	0.630	0.540	0.954
98.0	707.27	52.73						
371.16	0.93062	0.06938	1.184	8.3429	15.156	0.616	0.559	0.952
99.0	733.24	26.76						
372.16	0.96479	0.03521	0.5833	17.043	29.942	0.603	0.578	0.949
100.0	760.00	0.00						
373.16		0.00000	0.0000				0.598	0.946

第 2 表 岡谷に於ける飽和水蒸気表 (90.4~97.4°C)

温 度	飽和蒸気圧	乾燥空気分 圧	空気混入割 合	湿り空気飽 和湿度	湿り空気飽 和比容	湿り空気飽 和密度
t[°C]	Ps	π-Ps	W	Hs	Vs	ρs
T[°K]	[mmHg]	[mmHg]	(100kg/kg%)	($\frac{kg-H_2O}{kg-dry\ air}$)	($\frac{m^3}{kg-dry\ air}$)	[kg/m³]
90.4	533.80	158.25				
363.56	0.70237	0.20822	32.28	2.0981	4.5031	0.688
91.4	554.35	137.70				
364.56	0.72941	0.18118	28.54	2.5040	5.1897	0.675
92.4	575.55	116.50				
365.56	0.75730	0.15329	24.55	3.0729	6.1513	0.662
93.4	597.43	94.62				
366.56	0.78609	0.12450	20.29	3.9273	7.5944	0.649
94.4	620.01	72.04				
367.56	0.81580	0.09479	15.74	5.3532	10.003	0.635
95.4	643.30	48.75				
368.56	0.84645	0.06414	10.86	8.2078	14.823	0.621
96.4	667.31	24.74				
369.56	0.87804	0.03255	5.625	16.777	29.286	0.607
97.4	692.05	0.00				
370.56	0.91059	0.00000	0.000			

ただし第 1, 2 表は乾飽和水蒸気の温度 T に基づいて Ps, π を全圧として π-Ps は化学便覧より, また W, Hs, Vs, ρs, ρv, ρa 等は化学工学便覧記載の次式から推算した。

$$W = (18.02 \cdot Ps \cdot 100) / [18.02 Ps + 28.97(\pi - Ps)] \quad [100kg/kg \cdot \text{重量}\%]$$

$$Hs = (0.622 \cdot Ps) / (\pi - Ps) \quad [kg-H_2O/kg-dry\ air]$$

$$Vs = (0.773 + 1.244 \cdot Hs) T / (273 \cdot 16) \quad [m^3/kg-dry-air]$$

$$\rho_s = (1 + Hs) / Vs \quad [kg/m^3]$$

PV = RT (V は比容積 [m³/kg], R は分子気体定数とすれば, 90~100°C の簡圍では概略 R = 0.0045 [m³ · atm/kg · °K] であるので, R を消去して P₁V₁/T₁ = P₂V₂/T₂ が成立つから V を推算して

$$\rho_v = 1/V \quad [kg/m^3] \quad \rho_a = (28.97 \cdot 273.16) / (22.41) T \quad [kg/m^3]$$

なお、第1表中 90℃の空気混入割合は 41.73%となるので h はかなり低下するものと推定されるが、110および 160℃の場合の空気混入割合によつて h が低下する様子を第1図に示した。

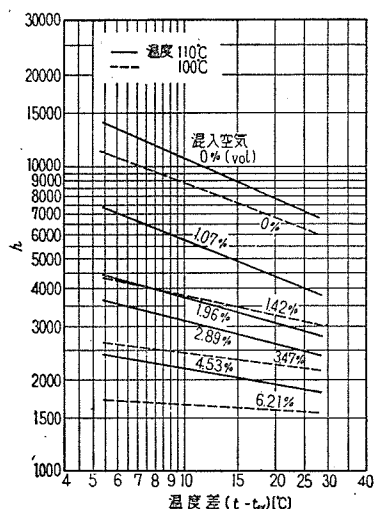
(2) 煮繭における含水率

樺井は繭層間隙に自然に毛管吸水(23℃)することが可能となる繭層含水率範囲を研究し、乾繭層で毛管吸水可能最低限界含水率域は 50~80%であり、一方湿度 100%中で繭層に吸着される吸湿最大平衡含水率は 31~35%の範囲であるので、これ以上の水分が繭層面に自由水として連続的に付着して 50~80%以上に達する場合は自然に毛管吸水現象が現われると述べている。ただし繭層含水率とは繭層無水量に対して繭層に含まれた水分量の百分率(以下同様)である。

煮熟前処理としての浸漬においては、乾繭層の場合温度 50℃(湿り空気の飽和湿度 $H_s = 0.08620 \text{ kg} \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{kg} \cdot \text{dry air}$)で2分間処理すれば繭層含水率は約 50~60%となり毛管吸水可能最低限界含水率の下限に達し、温度 70℃($H_s = 0.27620 \text{ kg} \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{kg} \cdot \text{dry air}$)で2分処理すれば繭層含水率は約 80~90%に達して同様の上限に到達する。これは水蒸気の物性の項で述べたようにまず浸漬湯温度に相当する飽和水蒸気圧を示す水蒸気が繭層毛管内に浸入して繭層面に吸着され、その吸湿最大平衡含水率まで増湿を続け、さらに毛管吸水可能最低限界含水率に達して初めて自然に浸漬湯が毛管吸水されることによるものであり、この時の浸漬温度と大気温度との差によつて繭こう内の空気は膨脹して約数十%の空気は繭外に排出される。浸漬温度が 80~90℃に上昇すれば、湿り空気の飽和湿度 $H_s = 0.54550 \sim 1.3961 \text{ kg} \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{kg} \cdot \text{dry air}$ (水蒸気濃度が急増して水蒸気の拡散推進力が増強される)となつて繭層含水率も急増して約 100~150%となるが、このような毛管吸水可能最低限界含水率以上では自然に毛管吸水した自由水も含んだ数値であるのは当然であつて場合によつては相当の変動が見られる、これらの場合自由水を脱水すれば約 25~75%程度になるので、相当多量の自由水を繭層毛管に含むことが理解される。そしてこれを沸騰温度に近づければ、繭層に毛管吸水した浸漬湯はきわめて緩慢に繭層セリシンを溶解しながら浸潤部分を拡張(浸潤速度 約 $32 \text{ m} \mu / \text{sec}$)するので、繭層毛管には部分的に浸潤むらが発生する。

次に煮熟前処理としての浸透においては、含水率は減圧浸透のような機械的方法によれば比較的変動は少ないが、蒸気浸透では触蒸および低温浸透条件によつて相当な変動があるので、概略の含水率について述べる。触蒸部と低温部との温度に相当する飽和蒸気圧力差によつて、浸透は強制的に通過しやすい繭層毛管を選んで通水され、触蒸温度が 90および 80℃でその浸透圧力差が 500および 300 mmHg では繭層と繭こう内に全部吸水されたものを 100%として吸水量は約 50および 30%程度で、その繭層含水率は約 300および 250%程度のものであり、繭層間隙の自由水を脱水すれば約 110および 90%程度のものであつて、浸漬の場合よりも自由水はさらに増加する傾向が明らかにかがえる。

蒸煮および調整・煮上りにおいては、蒸煮では前述のように繭層間隙の自由水を脱水した繭層含水率は蒸煮1分間で約 80%，2分間で約 100%，3分間で約 110%程度であつた。これが続



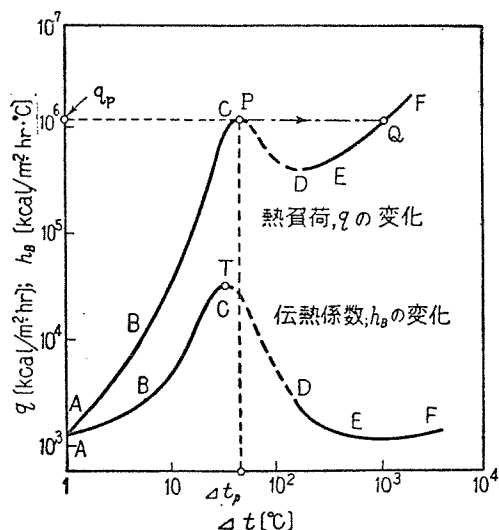
第1図 水蒸気凝縮の場合の h におよぼす空気混入の影響

いて調整部と煮上部を通過した場合の煮熟繭は沈緑の場合の概略の繭吸水量は 100%であつて、その繭含水率では約 1000%程度（乾繭重の約 10 倍）、繭層含水率では約 600~700%程度（無水繭層でなく正量繭層の時はいずれも約 80~100%減）、繭層間隙の自由水を脱水した繭層含水率では約 150~200%程度（無水繭層でなく正量繭層の時はいずれも約 30~50%減）であり、蒸煮の場合に比すれば一種の膨潤率ともみなせる脱水繭層含水率は約 40~90%程度の増加にとどまり、これらの部位では繭層セリシン量に比べて多量の熱湯による浸潤・溶解作用（煮繭の数%のセリシン溶解作用）が主として行なわれるものと考えられる。そして繭層毛管の自由水は繭層含水率で約 450~500%程度含まれることとなり、沈緑の場合調整部と煮上部では繭層毛管に無水繭層の約 4~5 倍の水を含むことが可能である。

調整部や煮上部の沸騰伝熱²²⁾については、最近大気圧下の水中に漬けた白金線を電流で加熱する研究によれば第 2 図のように A B 間を自然対流域、B 点は沸点、B C 間を核沸騰域、C D 間を過渡沸騰域、D F を膜沸騰域、点 P を極大熱負荷点、そして伝熱線の温度がその材料の融点以上の高温に達すれば伝熱線は溶融して焼き切れるので、P 点をバーンアウト点 (burn out point) という。煮繭のように熱源が飽和蒸気による加熱の場合は、伝熱面の温度上昇が P 点をこえることができないので、バーンアウトは起こらない。そして水温が沸点以下の場合の沸騰伝熱を表面沸騰 (surface boiling or subcooled boiling) といい、伝熱面から蒸気泡が発生し始めても伝熱面

からわずかに離れると、低温の水面に凝結して急に消滅するが、水温が沸点の場合に比べて伝熱係数は大きく熱源から除去し得る多量の熱量も増大するとされている。

前述の陶山の軽浸透煮繭では、蛹を煮ないため調整部温度は 88~93°C、煮上部は 27~52°C という沸点以下の標準を示しているのは、多量の熱水による浸潤・溶解むらを助長させぬためにも注意すべき点と思われる。しかし沸点以上の場合の核沸騰域では高熱源の伝熱面での蒸気泡発生が著しくなり、その伝熱温度差 Δt [°C] とともに蒸気泡のかく乱作用のため沸騰伝熱係数 h_B [kcal/m²·hr·°C] は急に増大する。この沸騰伝熱係数への影響は主として蒸気泡発生点の増大によつて増し、他の条件を一定とした第 2 図のような高熱源の場合は伝熱温度差 Δt の 2.5 乗に比例して増すとされている。



第 2 図 沸騰伝熱

例えば大気圧下の水の核沸騰開始点の沸騰伝熱係数 h_B は、蒸気泡発生点の個数が 0~2 個/cm² の場合約 4,000 kcal/m²·hr·°C (温度差約 10°C)、16 個/cm² の場合約 5,000 kcal/m²·hr·°C (温度差約 8°C)、32 個/cm² の場合約 8,000 kcal/m²·hr·°C (温度差約 7°C)、64 個/cm² の場合約 11,000 kcal/m²·hr·°C (温度差約 5°C) であり、大気圧下の水の核沸騰の上限点の沸騰伝熱係数は約 50,000 kcal/m²·hr·°C 程度であり、加圧すればさらに増大すると推定されており、沸騰伝熱は他の場合に比べて例えばボイラーのように狭い伝熱面積から多量の熱量を除去することができる。

なお前述によつて煮熟前処理の浸漬や浸透は繭層の増湿や通水性を与える操作で調整・煮上りは繭こう内に適当に吸水させて繭の浮沈を決める操作であることは理解されたと思うが、一般に煮熟前処理は繭層にあらかじめ必要な水分を与える工程であり、煮熟部（蒸煮）は適当な水分を含んだ繭層に熱を与える工程であると解釈しているようであるので、特にこの問題点について触れておきたい。周知の煮熟の基礎原理によれば、乾いた繭層は気体（水蒸気）を通しやすいが液体は通しがたく、逆に湿つた繭層は液体を通しやすいが気体は通しがたいということからすれば、煮熟前処理で適当な水分を含んだ湿つた繭層は水蒸気（気体）は浸入しがたいので、前述の解釈では煮熟部で蒸煮を行なうには適当ではない。すなわち、前述の繭層セリシンに水を接触させる水→水蒸気→繭層への凝縮水（凝縮に伴ない潜熱の熱作用が同時に随伴して熱軟化する）の状態変化を考えれば、熱を利用する煮熟の増湿と熱作用は不可分の現象であることは明らかであるからであり、また煮熟前処理で水分を与える操作は熱水による浸潤・溶解むらや強制吸水による通水むらを助長しやすく、調整・煮上りでの熱水の浸潤・溶解むらとともに実際の自動繰糸用煮熟の際には繭層を不均一に浸潤・溶解させて糸故障を増加させるからである。

(3) 水 質

製糸用水は生糸 1 t 当りの使用量は 585~1,000 t と推定されているように多量の水を使用しており、多く加温状態で使用されているので、冷水（原水）の分析のみにとどめず加温（煮沸）した場合どのように変化するかを知らねばならぬ。周知のように加温すれば CO₂ ガスを放出しさらに加熱を続ければ加水分解してアルカリ性を増すのが一般である。

水は溶解作用が大きい、酸性やアルカリ性については水はきわめてわずかに H⁺ と OH⁻ とに電離している。これらの (H⁺) と (OH⁻) とのイオン濃度の間には (H⁺) (OH⁻) = Kw すなわちイオン積は一定という関係があり、25°C で、Kw = 1.02 × 10⁻¹⁴ ≒ 1 × 10⁻¹⁴ で Kw は温度に伴つて増大する。従つて 25°C では $\sqrt{Kw} = (H^+) = (OH^-) = 10^{-7}$ となつて、これらの関係は H⁺ や OH⁻ を出す他の電解質が存在すると否とにかかわらずほぼ一定である。それゆゑ水に酸を少しずつ溶かして行つて H⁺ の濃度が 10⁻⁶ → 10⁻⁵ → 10⁻⁴ のように次第に大きくなれば、OH⁻ の濃度は 10⁻⁸ → 10⁻⁹ → 10⁻¹⁰ のように次第に小さくなつて (H⁺) (OH⁻) = 10⁻¹⁴ という関係は常に保持される。アルカリを溶かして行く場合も同じようなことがいわれる。

pH は水の水素イオン濃度の尺度であつて、 $pH = \log 1/(H^+) = -\log (H^+)$ で表わされ、pH が 7.0 のとき中性であつて、これより数値が大きいときはアルカリ性で小さいときは酸性である。周知のように原水や煮沸時の用水の pH その他の標準および限界は第 3 表のようである。

		標準値	限界値
pH	原水時	7.0	6.6 ~ 7.6
	煮沸時	8.6	8.4 ~ 9.2
アルカリ度		27	15 ~ 80
電導度		70	35 ~ 350
硬度		1.1	0.5 ~ 5.0
鉄 Fe ⁺⁺		0.1	0 ~ 0.3

第 3 表 製糸用水標準数値表
(小川幸男, 1958)

製糸工場の用水の実状は蚕糸局の工務実態調査報告書²³⁾によれば、271 工場の用水源の種別は井水が最も多く大半を占め、次には河水、水道水の順序となつており、用水改良として気ばく・ろ過しているものは約 2/3 に過ぎない。しかし最近はいオン交換樹脂による水質改良が次第に増加している。

そして繭検定技術研究会の報告書²⁴⁾によれば、102 工場の pH は 5.7~7.8 で、小川の限界値外は低いもの 8 工場、高いもの 1 工場、平均値は 6.90 で硬度は 0.6~8.0、小川の限界値外は高いもの 14 工場、平均値は 3.05 であり、pH はやや低いものも多く、硬度はやや高いものが多い。

周知のように用水の pH や硬度などは溶存成分の気体 (CO₂, O₂ 等) や塩類のイオンあるいは膠質などによるもので、塩類は一般にナトリウム塩、カリウム塩、カルシウム塩、マグネシウム塩、鉄塩、アルミニウム、硫酸塩、塩化物、ケイ酸塩 (一部は膠質状態) などであつて、いずれも微量で水 1 ℓ 中の mg 量すなわち百万分中の量 p. p. m の単位で表わされる。

かような用水水質およびそれが製糸に及ぼす影響は、もちろん前述のような親水膠質の特性、水の物性および特に溶存成分などに関連して変るが、製糸用水については尾藤²⁵⁾、小川²⁶⁾、山田²⁷⁾等により詳述されているので、それ等の専門書に譲ることにして省略したい。しかしこれらのうちから注意すべき点を挙げれば、製糸用水は多く加熱して用いられるので、まず水質試験によつて得られた数値から煮沸時の pH、イオンの挙動、硬度とアルカリ度との関連などから水質の型が推定でき、例えば小川のしめる力と煮る力による 4 つの型、中条の酸およびアルカリ添加の場合の pH・電導度の緩衝曲線判定による 6 つの型があり、また山田は CO₂ あるいは硬度 (しめる力) とアルカリ度 (煮る力) とを座標にとつて水質型の傾向を推定している。そして小川はイオンの挙動を繭層セリシン (親水膠質) の化学作用 (特性) として前述の尾崎の離液順列とは多少異なるが、繭層セリシンの膨潤・溶解を純水より促進または増大させる力は NO₃⁻ < Cl⁻ < NH₄⁺ < Na⁺ < K⁺ であり、逆に膨潤・溶解を阻止する力は SO₄⁻ < Ca⁺⁺ < Mg⁺⁺ < Mn⁺⁺ < Cu⁺⁺ < Al⁺⁺ < Fe⁺⁺ であり、凝固・吸着力の大きなものは NO₃⁻ < Cl⁻ < SO₄⁻ < Mn⁺⁺ < Cu⁺⁺ < Al⁺⁺ < Fe⁺⁺ であると述べているが、この傾向は親水膠質の特性の項でも述べたと同様に、陰イオンよりも pH > 等電点では吸着されやすい金属陽イオンの方が作用が強いので、Fe, Cu, Mn などは微量あつても留意すべきである。

煮繭湯の pH の概略は前述の報告書²⁸⁾によれば、浸透部は 6.5~7.2 で調整部は 6.7~8.0 程度のものであり、工場の軟化調整水使用の pH は繭の解じょによつて異なるが、煮熟前処理は低目に調整部はやや高目の目標で行なわれており、工場の水質に基づいて繰糸状態から適度を判断すべきだと思われる。

そして煮繭湯の繭層セリシン、脂肪、ろう物質、その他無機物、糖類などを溶解した複雑な膠質液は pH を一定に保持してセリシンの過溶を調節し、金属陽イオンなどの繭糸への吸着を防ぐような緩衝作用があつて、煮繭工程を円滑に推進するのに役立つている。なお繭層セリシンの膨潤・溶解をはかる解膠剤 (膨潤剤) の煮繭湯への使用は前述のような浸潤・溶解むらをかえつて助長しやすいので、繰解部に用いる方が良好であり、一方表面活性剤の煮熟前処理工程への使用は前述のような繭繊維セリシン層内への水の浸透をはかるためには、煮繭湯へ用いるべきだと思われる。

3. 煮繭方法

煮繭については嶋崎²⁹⁾、荻原³⁰⁾、小林・新田³¹⁾、陶山³²⁾等が詳述しているので本項では省略したい。しかし親水膠質の特性の項でも述べたように、煮繭技術の膨潤軟化という物理変化や化学反応は自然現象であるので、ただ人がなし得ることは合理的な煮繭方法による煮繭機や水質調整装置を設計・製作することと、原料繭の性質や変動を管理するとともに、その運転に必要な熱エネルギーの加除とそれらの最適環境条件を維持するため制御や管理を加えてやるだけであると述べたことを再び想起してほしい。これまでに煮繭に関連する事項は一応述べてきたが、ここでは特にこのように新しい観点に立脚して問題点を述べてみたい。

(1) 無浸透煮繭^{33) 35)}

嶋崎の研究によれば、原料繭荷口の特性が落緒歩合に対しては約 80%、生糸量歩合に対しては約 90%という大きな影響を持つており、生糸量歩合の変動はほとんど煮繭工程の影響で、落緒歩合の変動は煮繭工程の約 5%に対して繰糸工程は約 15%と繰糸の影響が大きく、そして煮繭工程では蒸煮温度次に調整温度が大きく影響すると述べている。かように原料繭荷口の特性の大きな影響を除いては蒸煮の影響は重要であつて、ここでは前述の水の物性の項のように煮繭の熱エネルギーは水→水蒸気→繭層への凝縮水という状態変化が理論通りに行なわれ、また煮熟前処理工程であつてもこれと同様に推論できることは前述の煮繭における含水率の項からも推察される。

しかし最近の自動繰糸機の普及に伴つて生産性増強の面から糸故障が重大な障害となり、これを減少させるためには均等煮熟が強く要求され、この目的のためには煮熟前処理であらかじめ繭層を湿潤しようとすればするほど、前述のような浸潤むらあるいは強制操作による通水むらを助長して不均一な煮熟となる。しかるに蒸煮のみでは数 mm 程度の水頭圧を示すよう常に必要量（沸点の飽和蒸気圧以上）の水蒸気の濃度を保つことができ、その湿り空氣の飽和湿度も急激に増加して水蒸気拡散の場合にじゅうぶんな推進力を維持することが可能で、しかもあらかじめ湿潤させないで乾いた膨潤不十分な状態であるので繭層毛管は太く、繭層への凝縮水となる直前の拡散水蒸気の粒子半径 $0.63 \text{ m}\mu$ 程度の水滴は容易に繭層間隙の内層部毛管や繭糸接着部に多い扁平状部分付近までも浸入して繭層の均等な膨潤が行なわれやすく、沸点の飽和蒸気圧以上では蒸煮水頭圧を高めるに従つて糸故障を減少させる傾向があるので、樺井の指摘したように蒸煮は繭層繊維の表面疎水性を親水性化しやすく、無浸透煮繭は煮繭の理想の方法ではないかと考え、蒸煮と繭こう内へ吸水する調整とを行なう方法について研究した。

この簡単で直接的な方法によれば、蒸煮工程で繭層含水率をきわめて容易に増加させ、しかも内外繭層の均等膨潤作用が実現され、自動繰糸において軽浸透煮繭（100%）に比べて無浸透煮繭の糸故障は約 43%程度に著減し、無浸透のためセリシン溶解量、緒糸量、蛹しん量も減少して生糸量歩合は約 1%程度増加し、繰糸能率も約 11%程度向上することができた。かように無浸透の場合は均等煮熟ができたので、浸潤むらを作りやすい解膠剤（膨潤剤、特許第 227804 号）をあえて揚湯に用いて見たところ糸故障はあまり増加しないで解じょ率を約 8%程度増すことができた。

しかし無浸透煮繭の欠点と思われるのは、前述のように煮熟繭は蒸煮部後部では相当膨潤軟化されるので、繭層間隙の毛管が狭められ調整部における繭こう内への通水性が減少して、原料繭荷口の特性による繭層構造不良の繭あるいは薄皮繭などは調整部の温度傾斜が適当でないつづれ繭となりやすいことである。しかしつづれ繭は調整部で生じたものであつて、すでに蒸煮部でじゅうぶん煮熟されているので、繰解にはあまりさしつかえないが、自動繰糸機のすき間からの遺失繭となつたり、分離の際蛹しん中に混入する場合などは、きわめて軽く浸透（繭層含水率を毛管吸水可能の限界約 50~100%程度とする）して、あらかじめ糸故障にわずかに影響する最小限程度の繭層の通水性を与えて、つづれ繭が生じないようにする必要がある。

(2) 赤外線煮繭

水（水蒸気）の物性の項で第 1 図に示したように、水蒸気が凝縮する場合の境膜伝熱係数 h は温度 100°C の場合よりも温度 110°C と 10°C 増すことによつて、 h は数千 $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ 増加して凝縮伝熱の場合の最高値 $15,000 \text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ に達する。これは温度の増大によつて水蒸気拡散や吸着の接触（表面）反応速度を増し、この反応速度いいかえれば膨潤・溶解速度は温度上昇によつて水蒸気濃度の増大すなわちその拡散係数を増大して、境膜を通過して繭層セリシ

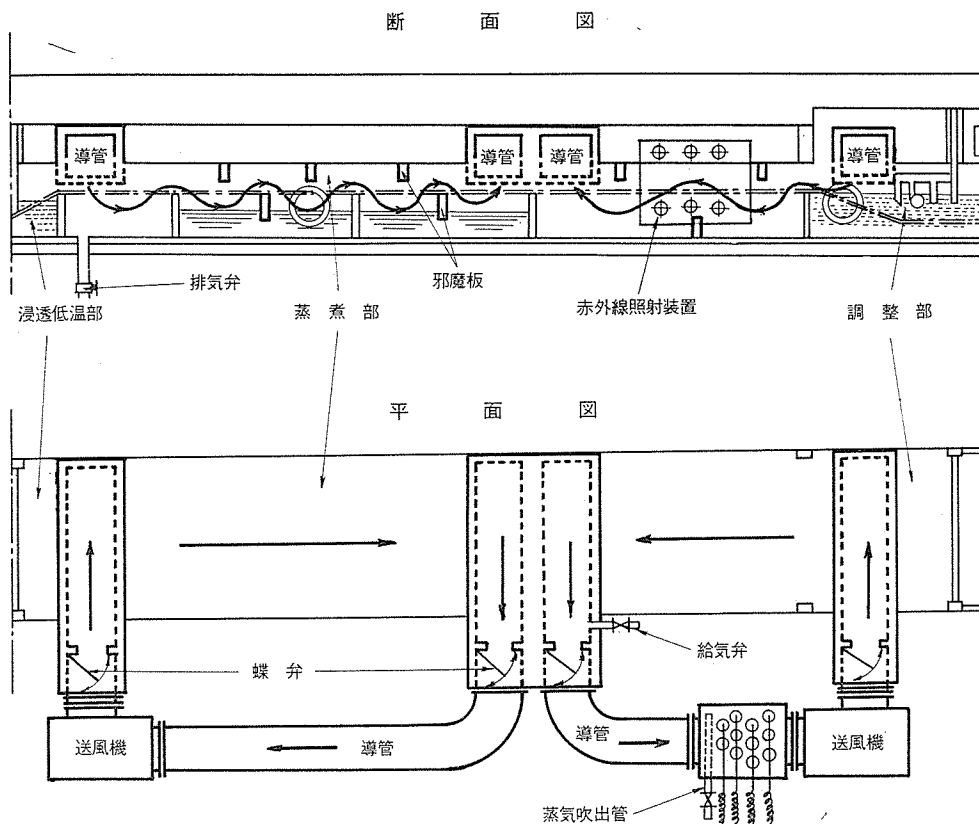
ン面に到達できる凝縮水量を増加させ、これが繭層セリシンに吸われて膨潤・溶解を増進させるので、周知のように加圧（高温）煮繭では容易に水蒸気温度を 110°C に高めてその飽和蒸気圧を 1.414 atm （ゲージ圧力 0.43 kg/cm^2 ）とし、繭層セリシンの膨潤・溶解量を増して解じょ率を約 5% 程度（繰解部に膨潤剤を用いればさらに約 5% 程度増して約 10% 程度）改善し得られる。そこで加圧煮繭を一煮繭操作ごとに行なう簡易な回分式から連続的に行なう、進行式加圧煮繭法を困難を克服して機構的に成功している工場もあると聞いている。しかし加圧煮繭は湯煮繭のように繭層セリシンの溶解量を増し、緒糸量を増加しやすいので、この欠点を少なくするために前述のような 110°C 程度の水蒸気を繭層に有効に作用させるのに、蒸煮部後方で赤外線照射する方法を研究した。

この方法は繭層セリシンや水蒸気に吸収されやすい波長 $2\sim 6$ ミクロンの赤外線を利用して、赤外線のもつ強大な熱エネルギーが繭層セリシンでの透過性や繭層近くの水蒸気へ吸収されてその温度を高める吸収性などの相互作用によつて、前記の加圧煮繭のような繭層の内部までも完全に煮熟しようとするものである。そして繭層がじゅうぶん湿潤していない煮熟前処理では、強大な熱エネルギーのため強い熱凝固を起こして解じょを悪化するので、じゅうぶん湿潤される蒸煮部後方で 1 KW 程度の電気容量の棒状赤外線発生体を繭容器の上下両面に数個対設し、この間を通過する繭層に照射するようにした。これによれば従来の軽浸透煮繭（ 100% ）に比べて無浸透赤外線煮繭は煮繭時間を短縮して、自動繰糸において解じょを良くし糸歩を約 2.5% 程度向上し、繰糸能率を約 12% 程度増加し、糸故障は約 41% 程度まで著減する。しかし蒸煮部後方の上面のみに赤外線を用いたいわゆる片面照射を行なえば、煮熟むらを助長して軽浸透煮繭に比べて糸歩、繰糸能率および糸故障はすべて逆に悪化するので注意すべきである。かように加圧煮繭の欠点は除かれて、その長所を助長することができた。なお加圧煮繭の将来の問題点は第 1 図のように高温（ 110°C 程度）の蒸煮水蒸気には空気または窒素のような気体を混入することが可能であるので、例えば空気混入によつて境膜伝熱係数 h を制御して、陶山の軽浸透煮繭のように煮熟繭層が空気泡を含んで白く見え、内層まで白味が残るように見えて、しかも完全な煮熟作用（湯煮繭では水蒸気に空気を混入することは不可能）が行なわれれば、前述の赤外線煮繭のような効果が期待できるだろう。しかし陶山のように何でも内層で白味があればよいとして、若煮の煮熟不完全な状態では解じょの特に良い生繭のような原料は繰糸できるとしても、解じょ不良繭では落緒や

(3) 水蒸気強制循環煮繭³⁰⁾

前述の蒸煮部水蒸気はその供給端と排気端との間の密度差による自然対流の層流の場合であつたが、本煮繭ではこれを送風機のような機械的方法によつて人為的に流速を制御して、乱流強制対流を起こさせ、前述の繭層セリシン面での水蒸気凝縮の境膜伝熱係数 h を層流よりもさらに高め、水蒸気の内層織維面への透過を容易にして繭層を均等に完全煮熟しようとするものである。装置の概要は第 3 図に示すように、蒸煮部で水蒸気が循環できるよう 2 つの系路をつくり、しかも蒸煮部槽内で循環する水蒸気が繭容器の上下面から交互に接触貫通できる邪魔板を対設し、解じょ不良繭には高温（ 110°C 程度）を与えられるよう赤外線照射装置を備え、生繭のような煮えやすい繭には蒸煮水蒸気中に第 1 図のような空気混入を制御し得る給気弁を設けて、水蒸気乱流の強制対流を行なう機構のものである。

この煮繭によれば蒸煮部内の温度配置を原料繭の性状に応じて任意に設定することができ、また循環水蒸気量、流速（送風機の回転数調節による水頭圧変化）、赤外線照射および給気弁（空気混



第 3 図

入)などの調節・制御により、解じょ不良な煮えにくい繭から生繭のような煮えやすい繭まで、それぞれに応じた煮繭の最高環境条件が比較的単純に制御・管理できるとともに、自動繰糸のためには空気混入によつて煮熟繭層の内層までも白く見えるようにし、しかも完全煮熟を安定に行なうことが可能となつた。

従来生繭の煮繭は進行式煮繭機では煮え過ぎとなつて困難であつたが、この水蒸気強制循環煮繭によれば比較的安定に遂行できる。これによれば乾繭の場合はあまり水質調整の必要は感じないが、生繭の場合は特に水質調整を要し、良好な自動繰糸を行なうには浸透低温部用水は pH4 ~ 5、繰解部用水は pH6 ~ 7 に調整して索緒部温度および繰解部温度などは低下するの必要を感じた。しかし繭層構造の良くない原料繭では特に小節成績の低下に注意を要し、生繭の自動繰糸のためには将来、小節生成過程を基礎的に究明する必要があると思われる。また最近の電子工学技術による進歩した計測法を活用して、繰糸状態を煮繭工程にフィードバックする完全自動制御化を進め、さらに工場の煮繭・繰糸を電子計算機によつて計算制御することに向つて進む必要があると思われる。

(4) その他の煮繭方法

その他として真空煮繭^{37) 38)}を研究したが、これは真空装置によつて減圧して溶剤蒸気あるいは沸点の水蒸気処理をあらかじめ行なつて繭層面の空気境膜を除き、真空下で温湯 (60~80°C 程度)

を繭こう内に吸水させた。自動繰糸成績は軽浸透煮繭（100%）に比べてかなり若目の煮繭であつて、繰糸張力は少なく糸歩は約2.4%程増し、繰糸能率も約12%程度向上して糸故障は対照区の約20%程度と最も減少し得られたが、小節および抱合はやや低下した。かような真空煮繭はなるべく繭層セリシンに熱変性を付与しない方法であるが、その装置は回分式であつて大量連続煮繭ができない。

次に溶剤煮繭については、溶剤は通常浸透性は大きいが繭層セリシンを凝固させる性質があるので逆に繭層セリシンを溶かす性質を備える溶剤が発見できれば、その強大な浸透力によつて繭層の膠着点を解離することが可能と推測できるから、このような溶剤の基礎的研究も煮繭には必要と思われる。

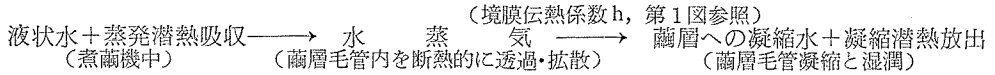
また蒸煮水蒸気の沸点上昇煮繭（温度110°C程度）を行なう適当な物質を究明すれば加圧煮繭装置を容易に進行式にすることができるので、この研究も必要ではないかと思われる。

引用文献

- 1) 鮫島実三郎 (1949): 膠質学, 裳華房.
- 2) 金丸 競 (1957): 絹糸の界面動電圧, 絹糸の構造, 千曲会出版部.
- 3) 渡辺 綱男 (1926): 蚕糸試験場報告, 7巻3号.
- 4), 11), 13) 尾崎 準一 (1941): 蚕糸化学と副産物利用, 朝倉書店.
- 5) 金丸 競 (1951): 高分子材料, 槇書店.
- 6) 平野三郎・今井清純 (1963): 日本蚕糸学会中部支部講演集 XIX.
- 7) 土屋茂一郎 (1956~1957): 生糸5巻10号, 11号, 12号, 6巻2号, 日本製糸協会.
- 8) 小野四郎・村山隆之 (1954~1955): 日本蚕糸学雑誌, 23巻3号, 24巻3号.
- 9) 清水正徳・福田紀文・桐村二郎 (1958): 絹糸蛋白質, 蛋白質化学5, 共立出版株式会社.
- 10) 奥 正己 (1929): 日本農芸化学会誌, 5巻4号.
- 12) 木村 真作 (1964): 乾燥・輸送および貯蔵編, 製糸技術講座, 繭検定所運営協議会.
- 14), 21) 樺井 博 (1961): 研究時報8, 郡是製糸株式会社研究所.
- 15) 小河原貞二・村山穰助 (1957): 蚕糸試験場叢報, 72号.
- 16), 29), 34) 嶋崎 昭典 (1964): 煮繭編, 製糸技術講座, 繭検定所運営協議会.
- 17), 19), 32) 陶山 専三 (1949): 煮繭, 日本製糸協会.
- 20), 22) 化学工学協会編 (1964): 化学工学便覧, 丸善株式会社.
- 23) 農林省蚕糸局 (1956~1957): 製糸工場工務実態調査報告書.
- 24), 28) 繭検定技術研究会編 (1959): 製糸工場工務実態調査報告書(自動繰糸).
- 25) 尾藤 省三 (1964): 製糸工場用水編, 製糸技術講座, 繭検定所運営協議会.
- 26) 小川 幸男 (1958): 第11回製糸夏期大学講演録, 農林省蚕糸試験場岡谷製糸試験所.
- 27) 山田 篤 (1964): 製糸技術経営資料5, 農林省蚕糸局.
- 30) 荻原 清治 (1963): 製糸経営技術資料4, 農林省蚕糸局.
- 31) 小林 安・新田佳男 (1960): TAMA 4号, 富士精密工業株式会社.
- 33), 35) 小岩井宗治 (1960): 生糸, 9巻6号, 日本製糸協会.
- 35) ————— (1961): 生糸, 10巻7号, 日本製糸協会.
- 36) ————— (1964): 製糸絹研究発表集録14集, 製糸絹研究会・日本製糸協会.
- 37) 小島卓之・小岩井宗治・竹川寛 (1959): 製糸絹研究発表抄録9集, 製糸絹研究会・日本製糸協会.
- 38) 小岩井宗治 (1960): 製糸技術 No. 6, 長野県製糸技術研究会.

付

A. 煮繭における水の状態変化



B. 水の繭層繭糸面への接触 (繭層を均等に膨潤軟化する) の2現象

1. 繭層における水蒸気の透過および拡散 (湿潤現象)

空気中の水蒸気の相対湿度が 15~75 % までは水蒸気圧 p に比例して直線的に繭層への凝縮水は増して増湿するが, 相対湿度 80 % 以上では繭層への毛管凝縮による自由水が急増して, 水蒸気の透過係数 P は繭層毛管内の水蒸気濃度 σ すなわち湿り空気の飽和湿度 H_s (表 1, 2 参照) に比例して急増する。

水蒸気の透過係数 P [cm^3/sec]	}	とすれば
" 拡散係数 D [cm^2/sec]		
" 毛管内濃度 σ , (H_s)		
繭層の内外水蒸気圧 p_1, p_2		
" 厚さ l		
定数 K		$P = D \cdot \sigma \frac{p_1 - p_2}{l} + K$

- 例 1. 繭層の水蒸気による吸湿平衡最大繭層含水率……31~35 %, (絹糸約 35 %)
2. 液状水の繭層毛管吸水可能最底限界繭層含水率……50~80 %, 繭層間隙の連続的自由水膜含水率 $50 - 35 = 15 \%$
3. 浸透低温部 (30°C, 1 分間) を通つた繭層は蒸煮水蒸気 (100°C) で 2~3 分間で脱水繭層含水率は約 100 % 以上となる。
4. 0°C, 1 atm における空気中への水蒸気拡散係数 D は $0.220 \text{ cm}^2/\text{sec}$ である。湿潤むらは少ない。

2. 繭層における液状水のセリシン溶解を伴う透過 (浸潤現象)

繭層セリシンの水溶液濃度分布は Henry の法則に従うものとして, セリシン水溶液の透過係数 P は k を比例定数としてセリシン水溶液の溶解度 S (90°C を変曲点として急増する) に比例する。 $P = k \cdot S$

例. 厚さ 0.52 mm の繭層を沸点の熱水上に浮遊させた場合, 完全透過繭層が 50 % 出現する時間は約 4.5 時間, 100 % 出現する時間は約 6.0 時間であり, 4.5 時間を平均とすれば透過 (浸潤) 速度は $32 \text{ m}\mu/\text{sec}$ である。浸潤むらが起きやすい。

注. $\text{m}\mu$ (ミリミクロン) $10^{-9} \text{ m} = 10^{-6} \text{ mm}$ ……百万分の 1 耗。
 \AA (オングストローム) $10^{-10} \text{ m} = 10^{-7} \text{ mm}$ ……千万分の 1 耗。