

蒸 汽 爆 碎

——木材の爆碎について——

桑 井 源 禎・井 出 哲 夫・北 條 護 二

蒸汽爆碎とは？どんな装置で？木屑・鋸屑から、何も加えないで大きい板も作れるという。それが本當なら、木材資源の窮乏な時に耳寄な話ではないですか。

1. ま え が き

高壓蒸汽の急激な膨脹とそのときの大きい運動エネルギーを利用して固體材料を碎解すると同時に化學變化をも與える操作すなわち爆碎 (explosion) は、未だ本邦では工業的にはほとんど行われていないが、米國その他ではすでに纖維板の製造工程に大規模に活用されている (Masonite Process)。これについては著者の一人がすでに本誌上に紹介したが⁽¹⁾、爆碎操作は單に纖維板の製造ばかりでなく、各種の製造および化學工業に有効に利用される分野があると推察される⁽²⁾。

當研究室では數年前から蒸汽爆碎の研究を初め、途中種々の難關にあひながらも、昨年以來ようやく順調な爆碎實驗を實施し得る状態となつた。今までには主として木材、稻藁および麥藁について實驗を進めたが、本稿では木材(チップおよび鋸屑)の實驗について今までに得られた結果を報告する。

2. 實驗裝置および方法

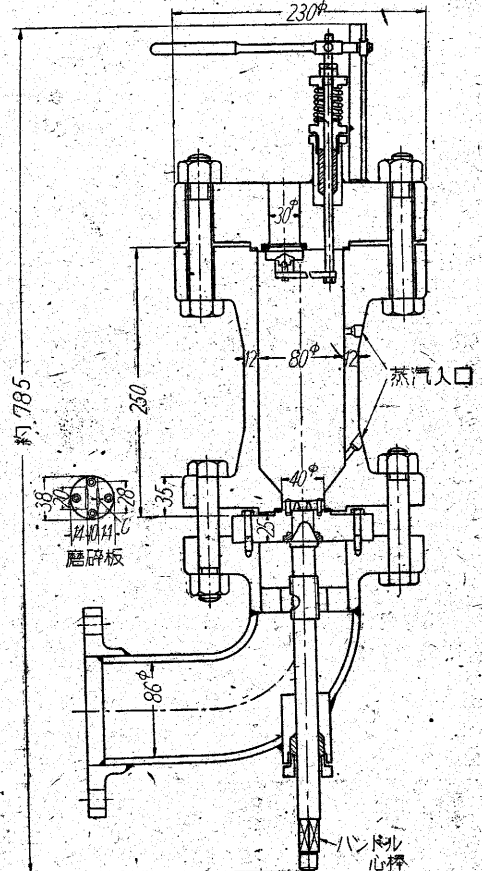
1. 實驗裝置

實驗裝置の全體圖を第1圖に、また爆碎器 (explosion gun) を第2圖に示す。第1圖でBは高壓蒸汽發生用のオートクレーブ(ボイラ)で内容積5l、最高使用壓力150

kg/cm²、これを外部から11kWの電熱で加熱する。蒸汽管は途中で二本に分れ、一本は爆碎器の上部に、他は下部に導かれ、おのおの蒸汽弁を備えている。なお爆碎器と導管からの熱損失および蒸汽の凝縮をふせぐためにそれぞれ1kWの電熱線を外側に巻き外部から加熱した。

本實驗の主體となるものは爆碎器である。これは第2圖に見るように、内容1lの圓筒形の耐壓容器で頂部に原料供給弁および壓力計を有し底部には磨碎板および吐出弁がある。

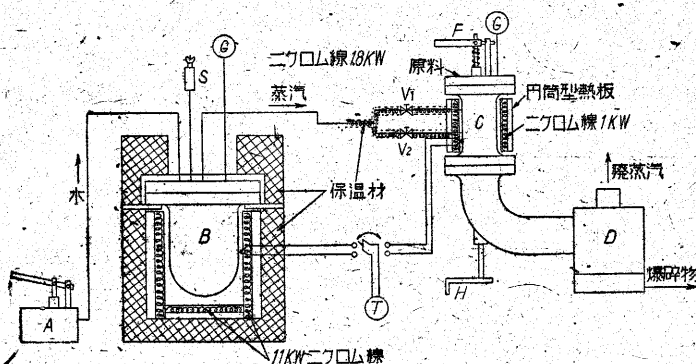
磨碎板は20×6mmの細隙2ヶを有する硬鋼製の圓盤で、爆碎の際原料がこの細隙を通



第2圖 爆 碎 器

つて放出される時の衝撃および摩擦力で原料の碎解を助けるためのものである。

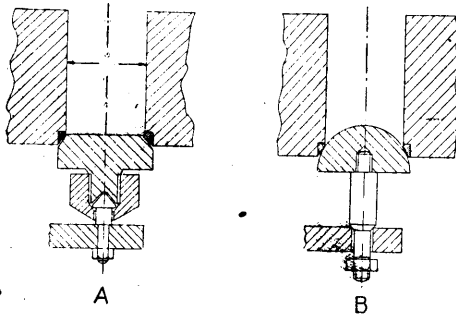
原料供給弁は爆碎器の最も重要な部分の



A: 手押し給水ポンプ B: 高壓ボイラ(内容積5l) C: 爆碎器(内容積1l)
D: サイクロン分離器 V₁V₂: 蒸汽止弁 G: 壓力計 S: 安全弁
T: 熱電對溫度計 F: 原料供給弁ハンドル H: 吐出弁ハンドル

第1圖 實驗裝置全體圖

一つで第2圖に示すような構造を有する。これを開けるには、スプリングで支えられているハンドルを押し下げて弁體を下げ、これを支點を中心として水平に約45°廻轉する。また弁體の形は最初第3圖Aのような圓錐狀のものをを用いたが、これは弁を閉めた時弁體が弁座にうま



第3圖 原料供給弁

く密着せず、蒸汽がここから洩れて實驗が失敗に歸することが間々ある。そこで第3圖B間のように半球形の弁體を用いたところ、漏洩は大部分防止することができた。この場合弁座の部分に原料が附着しているとそこから蒸汽が洩れるから原料装入の際充分注意する必要がある。この弁體はいずれも支點を中心として多少の首振り運動をするようにできている。これは弁を閉じた場合、多少中心がずれていても内部の蒸汽の壓力で自然に正常位置にもどるようにしたものである。Aのような形ではこの効果はあまり期待できないが、Bの方はこの要求を満足することができた。

2 試料について

試料としては本邦産赤松チップ（長さ約10~30mm、厚さ0.1~0.6mm、日本レイヨン K.K. から供給をうけたもの）および鋸屑を用いた。鋸屑は本研究所周内にある中野組製材所から入手し種々の材質の混合したものであるが、杉材が最も多いように見うけられた。鋸屑はこれを4mm目の金網で粗大な木片を節別して用いた。また試料の水分はチップが10~12%、鋸屑が約50%であつた。

3 實驗方法

實驗はまずボイラーが所要壓力に達したならば爆砕器の頂部の原料供給弁を開き、原料をホッパーから一定量（チップは100g、鋸屑は200g）を装入する。装入し終つてこれを閉じた後蒸汽弁 V_1 を開きボイラーの高壓蒸汽を爆砕器に送る。本實驗では蒸汽弁 V_2 は使用しなかつた。ここで原料を數十秒間加壓蒸解した後、爆砕器の下部の吐出弁のハンドルを急速に廻轉して開き、内容物を大音響と共に急激に大氣壓中に放出する。放出された爆砕物はサイクロン分離器で蒸汽と分離し、凝縮水と共に受器に溜る。このようにして得られた爆砕物は木綿の袋に入れて壓搾し、固形分（爆砕繊維）と廢液とに分離した。爆砕物の性質を調べる場合にはこれを壓搾せずに、そのまま乾燥に付して温水抽出物その他の試験を行つた。壓搾した繊維は80°Cの温水で約30分時々攪拌しつつ洗滌し、さらに冷水で洗液が着色しなくなるまで洗つた。これを乾燥または乾燥せずに熱壓成型して纖維板を作りその物理的性質を調べた。

3. 實驗結果および考察

1 爆砕條件と爆砕物の性質

爆砕には原料の樹種、含水率、チップおよび鋸屑の大きさ、蒸汽壓力、蒸解時間等が影響するが、われわれの場合原料は上にあげた二種類に限定し、その含水率も赤松チップは氣乾狀態（水分10~20%）鋸屑は水分約50%のものをを使用した。蒸汽壓力は30~50 kg/cm²、時間は10~60 secの範圍で種々變えて爆砕物におよぼす關係を調べた。

爆砕物の性質としてはその大きさおよび形狀の變化を顯微鏡寫眞で比較し、また温水抽出物の測定、抽出液の比色試験、ベントーザンの定量などを行つて、蒸解による化學的變化を比較した。その結果を第1表に示す。

第1表中 C0 および D0 は爆砕する前の原料を表わす。オートクレーブの壓力で90/60とあるのは最初オートクレーブのゲージ壓力が90 kg/cm²であつたものが、弁を開いて爆砕器に蒸汽を送つた後に60 kg/cm²となつたことを示し、爆砕器壓力はこの時爆砕器のゲージが示した壓力を表わす。通常蒸汽弁を開いてからこの壓力に達するまで5~6 secを要するが、表中の蒸解時間は蒸

第1表 爆砕條件と爆砕物の性質

| 原 料 | 爆砕番號 | 爆 碎 條 件 | | | | 爆 碎 物 の 性 質 | | | | |
|------------------|------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------|------|-------------|-----------|-------------|----------------|--------------|
| | | オートクレーブ 壓力 [kg/cm ²] | 爆砕機壓力 [kg/cm ²] | 蒸解時間 [sec.] | 爆砕回数 | 收 率 % | 凝縮水量 % | 温水抽出 物 % | 抽 出 液 着 色 度 | ベントー ザン % |
| 赤松チップ (水分12%) | C0 | | | | | | | 2.1 | 1 | 14.1 |
| | C1 | 90/60 | 50 | 10 | 7 | 90.0 | 310 | 16.1 | 2.4 | 6.5 |
| | C2 | 90/60 | 50 | 20 | 7 | 80.0 | 320 | 18.5 | 2.5 | 3.4 |
| | C3 | 90/60 | 50 | 30 | 7 | 87.5 | 390 | 20.5 | 2.8 | 2.5 |
| 鋸 屑 (水分約50%) | D0 | | | | | | | 2.0 | | |
| | D1 | 100/70 | 60 | 20 | 11 | 85.0 | 204 | 17.1 | | |
| | D2 | 80/50 | 44 | 30 | 12 | 90.3 | 190 | 17.4 | | |
| | D3 | 60/45 | 32 | 40 | 12 | 98.5 | 240 | 9.8 | | |
| | D4 | 40/35 | 25 | 60 | 3 | 99 | 235 | 9.7 | | |
| | D5 | 95/55 | 40 | 30 | 10 | 75.5 | 275 | 17.2 | | |
| | D6 | 90/50 | 45 | 60 | 3 | 83.0 | 171 | 17.9 | | |

汽弁を開いてから吐出(爆砕)するまでの時間をとった。

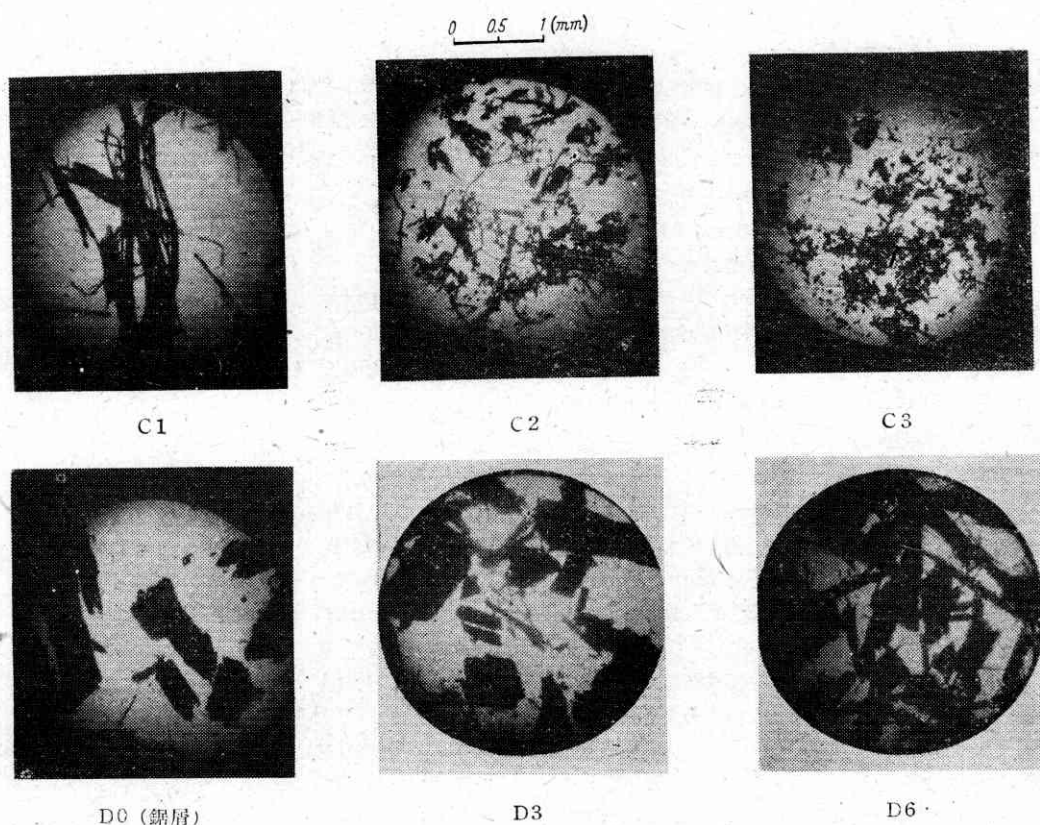
収率とは原料絶乾物に対する爆砕物絶乾物の百分率であつて、爆砕を数回行つて得た平均値である。なおチップ1回の装入量は100g、鋸屑は200g(含水)である。凝縮水量は装入原料に対する百分率でこれを表わした。温水抽出物は、爆砕物を廢液と共に乾燥に付し、100倍の蒸溜水で100°Cで3hr、靜に沸騰させて抽出し、ガラスフィルターで濾過洗滌して乾燥し、その減量より算出した。

抽出液着色度はデュボスクの比色計を用い、原料の抽出液の着色度を1として比較した。またペントーザンの量は上で温水抽出した爆砕物を常法により、12%硫酸で分解蒸溜し、出てきたフルフラールをフロログルシンで定量し、クレーベル氏表よりペントーザン量を求めた。

でも明らかにその差が認められる。C1では木材の繊維は軸方向に離解しているが未だ原形に近いものも残っている。しかしC2, C3となるとこの繊維は非常に細くなり、色も赤褐色を帯びてくる。C3はC2にくらべてさらに細い。

次に鋸屑については壓力と共に時間を變えて、大體壓力と時間の積が一定となるようにして爆砕を行つて見たものである。(D6だけは例外)。爆砕物については温水抽出物だけによつて比較したが、その結果によれば壓力が40 kg/cm²以上の場合には、壓力と時間の積が一定ならば温水抽出物の量もほぼ一定に近いが(D1, D2, D5, D6)、壓力40 kg/cm²以下の場合には、抽出物の量は少い一定値を示す(D3, D4)。

すなわち實際工業化の場合高壓蒸汽を用いるよりも、



第4圖 チップおよび鋸屑爆砕物の顯微鏡寫眞(寫眞記號は第1表中の爆砕番號に對應する)

まずチップについては壓力を一定にして蒸解時間を10, 20, 30 sec と變えてみた。その結果は表に示すように凝縮水量、温水抽出物、同抽出液着色度、いずれも時間と共に増大している。またペントーザン量が時間と共に減少しているのは、これが分解をうけて温水抽出物に移行していることを示し、温水抽出物の増加に對應するものである。すなわち蒸解時間の10 secの差は爆砕物に相當顯著な影響をおよぼし、これは肉眼的にも色、大きさなどから明瞭に識別できるが、顯微鏡寫眞(第4圖)

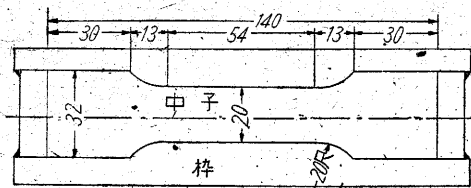
蒸汽壓力をなるべく低くして蒸解時間を長くした方が設計その他の點で有利であるが、その壓力にも限界があるということがいえそうである。

第4圖の顯微鏡寫眞にD0, D3, D6を示す。D3はまだ離解されない鋸屑が見られるが、D6では離解された細い繊維が多くなつてゐる。

2 成型物の物理的性質

上に得た爆砕物はこれを型に入れて加熱加壓して成型して硬質纖維板とするのであるがこの時の條件としては

(1) 爆砕物の水分, (2) 成型温度, (3) 成型壓力, (4) 時間, 等がある。成型物の物理的性質としては色々の項目があるが, ここでは比重, 吸水率, および抗張力について試験をした。成型は第5圖に示す通り抗張力試験片



第5圖 試験片成型用金型

の型に爆砕物約 35 g を入れ, 上下に熱板をあてて加圧し, 壓力はスプリングの長さの変化によつて測つた。濕潤材料の場合は水分の溢出を良くするために下に金網をおく。試験片の寸法は熱板の大きさ (150×150 mm) から制限をうけて, ASTM のプラスチック試験法の規格に相似であるが, 少し縮小してある。温度は成型物の一端に近いところで下側の熱板と成型物の接觸面に熱電對を挿入して測つた。抗張力はアムスラーの引張り試験器で引張破壊強度を測定し, 吸水率は上で切断した試験片の切断面を平に切り落し, 30°C の水に 8 hr 浸漬してそのときの重量増加から求めたものである。

以上の結果をまとめて第2表に示す。いずれも同じ條件で三ヶづつ試験片を作り, 抗張力の値の最も大きいものをとつた。

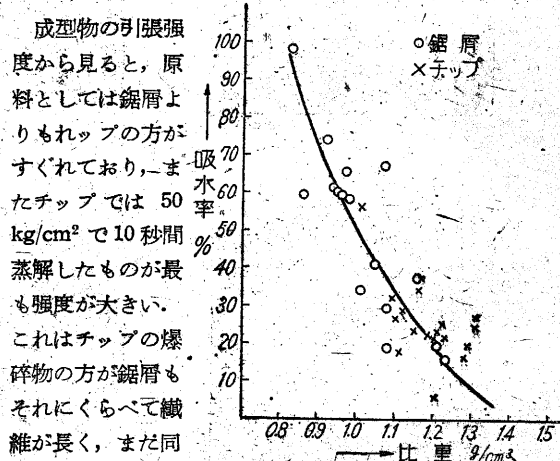
第2表で, まず比重について見れば成型前の状態が濕潤状態であつ成型温度が高く時間の長い方が大きな比重を興える傾向がある。しかし温度が 160°C 以上で時間が 30 min を越すと成型物の表面がこげおそれがある。また抗張力については C1-4 が最も大きい値を興える。すなわちチップを 50 kg/cm² の壓力で 10 sec で爆砕したものを水洗乾燥して 150°C で 20 分間成型したものである。

鋸屑の爆砕物はいずれも同一條件で成型して爆砕條件と成型物の性質を調べたものであるが, あまり顯著な傾向は認められない。ただ D3, D4 が他に比して吸水率抗張力共に劣るようである。以上はいずれも成型壓力を 65 kg/cm² で一定としたが, これはスプリングの許容限界からこれ以上の壓力を加えることができなかったため, 壓力を増せばさらに良好な機械的性質を得られることが期待される。

なお第6, 7圖に比重と吸水率および比重と抗張力の關係を圖示した。第6圖では比重が大となれば吸水率は小さくなる傾向がまた第7圖では比重と共に抗張力が大きくなる傾向が一般に認められる。第6圖中比重が大きいにもかかわらず小さい抗張力のものが見られるのは, 成型温度が高すぎて一部分黒化したためであると考えられる。

第2表 成型物の物理的性質

| 成型條件 | | | | | 物理的性質 | | |
|------|--------|------------|----------------------------|---------|-------------------------|----------|---------------------------|
| No. | 成型前の状態 | 成型温度 °C | 成型壓力 kg/cm ² | 時間 分 | 比重 g/cm ³ | 吸水率 % | 抗張力 kg/cm ² |
| C1-1 | 非洗 | 170 | 65 | 25 | 1.21 | 23.8 | 74 |
| C1-2 | 水洗 | 160 | 65 | 30 | 1.28 | 16.2 | 53 |
| C1-3 | 水洗 | 150 | 65 | 30 | 1.16 | 38.2 | 137 |
| C1-4 | 水洗 | 150 | 65 | 20 | 1.11 | 18.3 | 210 |
| C2-1 | 水洗 | 150 | 65 | 30 | 1.28 | 22.0 | 78 |
| C2-2 | 水洗 | 140 | 65 | 30 | 1.16 | 34.1 | 85 |
| C3-1 | 水洗 | 150 | 65 | 25 | 1.23 | 21.7 | 25 |
| C3-2 | 水洗 | 160 | 65 | 30 | 1.12 | 29.0 | 150 |
| D1-1 | 非洗 | 140 | 65 | 25 | 1.11 | 45.5 | 79 |
| D2-1 | 同上 | 140 | 65 | 25 | 1.07 | 34.1 | 89 |
| D3-1 | 同上 | 140 | 65 | 25 | 0.99 | 58.9 | 70 |
| D4-1 | 同上 | 140 | 65 | 25 | 1.07 | 67.3 | 43 |
| D5-1 | 同上 | 140 | 65 | 25 | 1.08 | 29.3 | 117 |
| D6-1 | 同上 | 140 | 65 | 25 | 1.05 | 28.6 | 41 |



第6圖 成型物の比重と吸水率

時間の短い方が長いものよりも繊維が長いためであると考えられる (第4圖参照)。すなわち蒸解時間が長くなるとヘミセルローズばかりでなくセルローズまでが加水分解を受けて崩壊しもろくなる傾向がある。従つて爆砕の條件としてはなるべく蒸解時間を短くして然も繊維の離解が充分に行われるようにするのがよいと思われる。

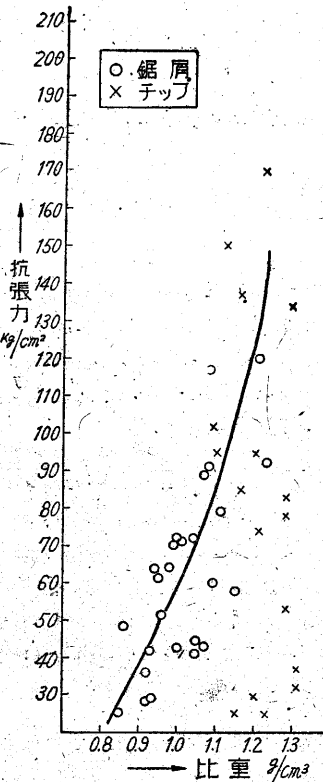
成型の最適條件としては材料の状態により変化があるので一概に言えないが, 一般に 150°C で 20~30 分位のところが良いようである。

試験片の成型は前記第5圖の通り雄雌型で行つたが, これには次の缺點がある。

(1) 成型材料の充填が均一に行われなかつ部分的に

弱いところできてそこが切れることがある。

(2) 材料が水分をふくんでいる時は、下に金網を敷いて水分の溢出を良くするようにしているが、これも初から壓力をかけると水分の溢出が充分でなく、終には水分のにげ場がなくなつて水蒸気が型の内部に溜り、壓力を抜くとこの蒸気が噴出し試験片に龜裂を生ずることがある。以上の理由から成型物の物理的性質については同一條件で成型した試験片3ヶにつき抗張力の最も大きいものをとるのが妥當であると考えた譯である。



第7圖 成型物の比重と抗張力

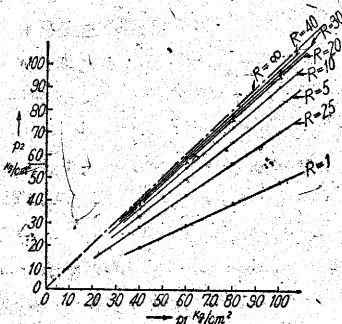
4. 工業化に關する二、三の問題

蒸汽爆砕法は本邦では未だ工業的には實施されていないので、これの工業化に際しては廣い視野から充分の検討を加える必要がある。高壓蒸汽を使用するのでいきおい設備に費用がかかるから、装置の製作費とその償却が經濟的な基盤になると考えられる。

ここでは、純技術的な立場で、今までに考えたり経験したことを簡単に述べることにする。

1) ボイラと爆砕器との相對的大きさについて

爆砕が純連續的に行えれば理想的であるが、高壓蒸汽を使用してこれを行うのは現在の技術段階として、なかなか困難であつて、實驗装置のような斷續的操作を工業化するとすれば、蒸汽は1回毎に斷熱的膨脹を行う譯で、ボイラ自體の壓變動を伴うことになる。爆砕器の内容積に比し、ボイラ蒸汽室の容積が大きければ變動も少く、従つて1サイクルの時間を短縮することもでき



第8圖 斷熱膨脹による壓力低下

る。設備費が高價であるとするれば、1サイクルの時間をできるだけ短縮するのがコスト低下の方向であるが、これとボイラ容量とその設備費が相連關した工業化の重要問題である。ボイラとしてはなるべく蒸汽室容積の大きいのが望ましいことはもちろんである。今ボイラ蒸汽室容積と爆砕器容積との比 R の種々な値について、蒸解開始時と終期の壓力 p_1 および p_2 [ata] の關係を、斷熱變化と假定して概算してみると第9圖のような關係となる。 $R=10$ ともなれば、壓降下は1割見當ですむ。われわれの實驗装置では、ボイラに水が半分入つていたとすれば、 $R=2.5$ であり、90 氣壓までボイラ壓をあげて爆砕すると64 氣壓まで壓が下ることになり、實驗データとはほぼ合致する。

2) 蒸汽弁について

秒單位の時間で蒸汽供給弁および吐出弁を確實に操作することは、實驗室でもかなりの熟練と勞力を要することであるから、工業装置としては、原料供給弁の操作と共にどうしても、時間自動制御を行う必要がある。自動操作自體は現在の技術として珍らしいものではないが、高壓蒸汽を扱い、しかも頻繁に開閉するという點で、相當の準備が必要であると思われる。

實驗装置の弁は現在手動弁であるが、現在までも種々の改造を行い、なお非科學的なコツに頼らざるを得ない現状で、今得の研究の必要を感じている。

3) 原料の供給について

この實驗装置では既述の通り、弁を手動で開閉し、供給口に漏斗をはめて手で原料を供給している。鋸屑の供給は比較的樂であるが、チップは100 gr 裝入するに約1分を要し、しかも供給孔弁座にチップの屑が附着すると、供給弁を閉ぢても氣密を保ち得ない。この供給弁は爆砕器の構造中最も肝要なところで、工業装置として自動操作を圓滑に行わせるためには、今後一層の研究にま

5. むすび

高壓蒸汽による爆砕は各方面に應用し得る可能性があるが、その第1歩として木材チップおよび鋸屑に關する實驗について報告した。爆砕器の構造および操作、爆砕條件と爆砕生成物の性状との關係について述べ、最後に工業化について考慮すべき技術問題について觸れた。今後各種材料の爆砕について實驗を進めるかたわら、工業化のために解決しなければならない装置上の問題について研究を進め度いと思つてゐる。最後に研究上色々とお世話になつた農學部三好教授、平井助教授、成型物の強度試験についてお世話になつた山田助教授、末助手、研究について色々と援助を惜まれなかつた日本レイヨン K.K. に深甚な謝意を表する。(1951・8・14 受)

文 献

- (1) 桑井：生産研究 1, 44, (1949)
- (2) Douglas Meigs: Chem. Met. Eng. Feb, (1941)