罐詰型空間内に生ずる自然対流 (豫報)

谷 正 二

(水 産 講 習 所)

Natural Convection in the Can-shaped Space.

Syôzi TANI

SYNOPSIS

Cylindrical glass vessels similarly shaped as 1 lb tall cans were filled up with water and heated in a water bath at constant temperatures. Convection currents and the temperature distribution within the cylinder were observed at frequent intervals during heating.

罐詰の熱処理に際して内容中に液汁の多い場合は対流を生ずる結果熱の傳達する速さが主に傳導だけで行はれる場合に比べると速いことは知られてゐるが、然らばどんな対流が起つてゐるかと云ふことに關しては研究されてゐない。そこで色々複雑な場合を調べる準備として罐内が液だけで充されてゐる場合に周圍を一定溫度に保つて加熱するとき生ずる対流を實驗的に調べた。

實驗方法 内部の流動が分る様にするために硝子を以て 1 lb 堅罐と同型の圓壙 (7.5 cm. × 11.5 cm.) を作り、水を入れてアルミニウム粉を懸濁させ之に電弧燈の光を側方から投射して觀測すると同時に 内部に硝子細管にて保護した熱電對の接點 6 箇所を固定し圖の 6 ヶ所の溫度の變化を測定した (第 1 圖)。圓壙は初め冷蔵庫に收めて低溫に保ち、一度溫度を測定した後之を高溫に調節した硝子製角型水槽に移し、爾後の溫度の變化及び流動の様子を觀測した。水槽中の水の溫度を一樣に保つために別に定溫に調節し得る湯沸器を準備し置きポンプを以てこの湯沸器の湯と水槽の湯とを絶えず交代循環せしめ、水槽は之を更に恒溫槽中に收容した。但し水槽の容量が罐型硝子圓筒の大きさに比べて充分大きくなかつた爲か低溫の圓壙を收容した後一時水溫が僅か降下することは免れなかつた。活動は肉眼にて觀測する外時々寫眞にも撮影した。

圓壙は 1 lb 堅罐と同一寸法のものゝ外之と相似で長さが 1.34 倍のものを以て實驗し又最後に水のみを入れた實罐に就いても溫度の變化だけを測定した。

實驗結果の處理 (1) 流動の様子は細部が寫眞に表はれなかつた爲に寫眞については大體の渦流の形狀を測定するに止めた。

(2) 溫度: 第 1 圖各點の溫度 $\theta_i [i=1, 2, \dots, 6]$ の變化は初めの溫度 θ_0 と周りの溫度 θ_e との差、模型の大きさ (直徑 d) で異なる筈であるが

$$u_i = \frac{\theta_i - \theta_e}{\theta_0 - \theta_{e_0}}$$

第 1 圖 罐内對流模式圖
× は溫度を測定せる場所

を計算した(第2圖)。茲に θ_0 は最初の周りの温度である。且つ傳導の理論から推定される時間 t と大きさとの關係

$$\tau = \frac{t}{d^2} = \frac{t'}{d'^2}$$

を假りに用ひて τ と u との關係を色々な θ_e の場合及び 2 つの d の異なる場合に就いて比較した。 θ_e が僅か變化した場合には各時期に於ける θ_e を用ひて計算した。

實驗結果 (1) 流動の模様についての結果は次の如く要約される。

1) 圓壺をはじめ水槽に移した時生ずる擾動は比較的速かに消失して形狀が略定常に近い渦動が残る。

2) 罐の壁に添つて比較的薄く速い上昇流の層が出来他の内部はごく徐々に下降をはじめる。

3) $\theta_0 - \theta_e$ の大きくない場合は罐の底に細胞形の渦流を生じその型は比較的安定であるが $\theta_0 - \theta_e$ が大きいとこれ等の渦は罐内の大きな循環と合一されるらしい。一度細胞形の渦流が出来ると温度及び上下の温度差が次第に變つてもその高さは殆んど變化しない(第1圖)。

(2) 温度の變化及び分布についての結果は次の如くである、但し上記の上昇流内で温度が測つてないからその部分の様子は分らない。

各時期を通じて常に上方が下方より温度が高い。又 u の τ に対する關係は $\theta_0 - \theta_e$, d に依らないと見做せる(第2圖)。上下の温度差に比べると水平方向の差は極めて少い。そこで上2點, 中2點, 下2點の平均の $\bar{u}$ を求めて

$$v = \frac{\bar{u}_{\text{上}} - \bar{u}_{\text{下}}}{\bar{u}_{\text{上}} - \bar{u}_{\text{下}}}$$

を計算し之が時刻と共に如何に變るかを見たが、温度が急速に變化しつつある間の v の値は殆ど一定と見られ、又 $\theta_0 - \theta_e$, d によらないと見られる。換言すれば大體の相對的溫度分布は常に相似になつてゐる(第3圖)。又6點の温度の平均 $\bar{\theta}$ を求めて $\bar{u} = \frac{\bar{\theta} - \theta_e}{\theta_0 - \theta_e}$ の時間的變化を見ると半對數圖上に於て大體一直線で表はせる様に見られる(第4圖)。

次に中心温度と主として傳導のみによつて加熱される場合に理論上推定される中心温度とを比較する。後者は

$$u = 8 \sum_{s=1}^{\infty} \frac{(-1)^s}{(2s+1)\pi} e^{-\frac{k}{l^2}(2s+1)^2 \pi^2 t} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \frac{1}{\mu_{\kappa} a J_1(\mu_{\kappa} a)} e^{-\frac{k}{l^2} n^2 \mu_{\kappa}^2 a^2 t}$$

で示される。茲に l は圓壺の高さ, a は半径, $n=l/a$ である。そして $u=50$ となつた時刻を實驗の場合に定め、之が上式で $u=50$ となる時刻に相應するものとして他の時刻の u を上式と比較するに近似的には略一致してゐると見られる(第2圖2の鎖線)。之の關係から相應する熱傳導度 k を計算すると 33.4×10^{-3} e.g.s. となり静止してゐる水の傳導度 1.40×10^{-3} e.g.s. (20°C) に比べて約24倍になる。即ち中心温度のみに關しては水の静止してゐる假想的な場合に比べて加熱に要する時間は約1/24にて足りることになる。

結果に対する考察 自然對流による上昇流が罐壁の近くの極く薄い層に限られることは重要なことで、中央部に固形物が混合して存在する場合でもその中間を通つて液の下降し得る場合には壁に添つてこの様な上昇流が生じ得るのではないかと考へられる。

第 2 圖 各観測點に於ける温度の變化。初めの外圍温度：寸法 1.34 倍の硝子圓罐の場合
 Δ 25.3, $\circ$ 33.6, $\bullet$ 37.5, $\blacksquare$ 38.5, $\blacktriangle$ 48.4°C, 1 lb 堅罐と同一寸法の硝子圓罐
 の場合 $+$ 25.4°C, $\times$ 38.2°C, 1 lb 堅罐 $\odot$ 58.0°C.

第 3 圖 上下兩部温度差に對する中下
 兩部温度差の比の時間的變
 化。記號は第 2 圖に同じ。

第 4 圖 總平均温度の時間的變化。記
 號は第 2 圖に同じ。

上の實驗のやうに液汁だけの罐詰は實際には存在しないが、魚介肉の如く水分の多い内容物の熱傳導度は略水のそれと同一程度であることから考えると、一般の液汁固形物の混在する場合の加熱の速さは上記の水だけの場合より早くなることはないと考えられる。この極限を定めるのには上記の實驗結果が役立つであらう。

終に臨み御指導並に御校閲の勞を賜りたる水産講習所教授岡田光世氏に對し深く感謝する。