

# Rheology의 研究動向



박 홍 구

<세종대 교수>

## 1. 序 論

流動學(Rheology)은 이미 귀에 익숙한用語로 알려져 있으나, 아직도 食品工業과는因緣이 먼 學科라고 생각할 하는 讀者가 尙중에는 있는 줄 안다. 그런데 食品技師 역시 부지중 실제로 여러가지 Rheology를 다루고 있는 것은 事實이며, 다만 이것을 體系化된 學問으로 미처 인식치 않고 있을 따름이다. 그러나 大學講義中에 屢연히 다루어지고 있는 實情이다. Rheology에 대한 概略的인 面을 우선 紹介하고 藥品, 化粧品, 食品을 다루어야 하는 技師가 特別 關心을 가져야 할 몇가지 問題를 요약하겠다.

## 2. Rheology의 定義

一般的으로 物質의 變形과 流動에 關한 科學에 대하여 이름 붙인 것으로 獨逸語의 “Fließkunde”, Rheo는 To flow를 logs는 Science를 意味하고 1929年 Bingham이 提唱하였다. 여기서 問題가 되는 現象, 性質은 粘

性, 可塑性, Thixotropy, 彈性, 粘彈性 등이 있으며 이것은 油, 粘土, 樹脂, 고무, glass, Asphalt, cellulose, 瀝青 등과 같은 自然物 또는 合成物의 研究에 있어 基本的인 것으로 最近에는 이러한 現象 또는 性質이 物質의 構造 및 原子, 分子間의 힘의 本性和 密接한 關係를 갖고 있다. 따라서 이 學問은 從來의 流動 및 變形에 關한 力學과 最近의 物性論과를 結合시키는 研究分野로서 興味가 있을 뿐만 아니라 將來의 發展이 豫期되는 部門이다.

## 3. Rheology의 領域

우리는 物質의 狀態를 氣體, 液體, 固體로 分類한다. 液體가 氣體로 變化하기 위하여 必要한 Energy는 固體가 液體로 變化하기 위하여 必要한 Energy에 比하여 크다. 물의 氣化熱이 539cal/g(100°C)에 對하여 融解熱이 80 cal/g은 그 一例이다. 이것은 氣體에 比하여 液體와 固體가 尙당히 接近한 性質을 갖는다는 것을 나타낸다. 그런데 固體와 液體와의 가장 特徵的인 差는 力學的 性質이다. 卽, 固體는

흐름이 없고 液體는 흐름이 있다. 따라서 固體에 힘을 가하면 形이 변한다. 예를 들면 스프링을 당기면 길이가 늘어난다. 그러나 힘을 제거하면 스프링은 원상태로 되돌아 간다. 그와같은 가역적인 變形을 彈性變形이라 한다. 한편 液體는 어느 液體도 똑같은 흐름을 나타내지 않는다. 예를 들면 기름(油)은 물에 비하여 흐름이 다르다. 이것을 粘性이라 한다. 流動에는 반드시 粘性이 따르는데 이것을 粘性流動이라 한다. 以上과 같이 固體는 彈性變形을 液體는 粘性流動을 가지므로 서로 區別이 된다. 그러나 Chocolate나 Butter 등은 一定의 形을 가진 固體와 같이 보이나 強한 힘을 가하면 액체와 같이 流動한다. 우리가 흔히 固體라고 하는 얼음(氷)도 오랜 시간이 지나면 流動한다. 氷河가 그러하다. 또 0.05% 정도의 寒天水溶液은 얼핏 液狀같이 보이나 彈性變形을 한다. 이런 點을 볼 때 固體와 液體를 單純히 區別하는 것은 어렵다. 대부분의 物質은 이 兩方의 性格을 가진다. 物質에 있어 이 두가지 性格의 結合이 Rheology의 領域中에 포함된다. 또 Rheology는 食品化學에서 뿐만 아니라 藥學, 化粧品化學에서 研究對象이 될 物質이나 現象을 많이 볼 수 있다. Cacao Butter같은 食品原料, 食品製造工程에서 使用하는 Arabia gum, Tracanth, CMC같은 糊, 包裝材料로서 使用하는 Polyethylene Sheet等 不連續의이고 固體와 液體와의 混合系인 Suspension도 Rheology의 研究對象이 된다.

醫學者들 사이에는 肺같은 臟器의 變形運動이나 血管內의 血液의 流動에 대하여 Rheology學的인 研究가 시작되었다. 即 臟器를 形成하는 蛋白質이나, 一種의 Suspension이라고 볼 수 있는 血液은 모두 固體와 液體와의 兩方의 性質을 확실히 가진다.

#### 4. 理想的인 變形과 流動

##### ㉑ 理想的 固體의 變形

固體의 彈性變形에 대하여는 Hooke의 法則이 있다. 即 「彈性歪의 크기는 이 歪을 일으키는 힘, 歪力에 比例한다」 Fig I.A는 늘어난 彈性을 나타내는 것으로 길이  $l$ 인 彈性體를 單位面積當  $s$ 라는 힘으로 당기면 길이가  $\Delta l$ 만큼 늘어난다면 歪의 크기  $\gamma$ 는 다음式이 된다.

$$\gamma = \frac{\Delta l}{l}$$

이때 Hooke's Law는 다음式으로 나타낸다.

$$\gamma = \frac{S}{E} \quad E: \text{Young's modulus}$$

Fig I.B는 剪斷의 彈性을 나타낸다. 單位크기의 立方體를  $S$ 라는 힘으로 그림과 같이 變形하면 歪의 크기는  $\gamma = \tan \theta \approx \theta$ 로 되고 이때 Hooke's Law는  $\gamma = \frac{S}{G}$   $G$ : modulus of rigidity(剛性率) Fig I.C는 Hooke's Law를 나타내는 것으로  $\tan \alpha$ 는  $E$  또는  $G$ 에 相當한다.

Hooke's Law가 成立하는 것은 힘 또는 歪가 어떤 크기의 範圍에 있으며 이것을 Elastic limit라 한다.

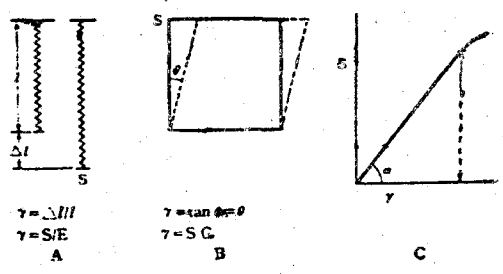


Fig 1. Hooke's Law

##### ㉒ Newton 流動——理想的 流體

粘性流動에 대하여는 Newton의 法則이 있다. Fig 2.는 面積이  $A$ 이고 距離  $dy$ 를 유지하는 平行으로 移動하는 2個의 液面을 나타낸

다. 이 液體를 눌러 흐르게 하기 위하여 加해  
진 힘을  $F$ 라 하면  $\frac{F}{A}=S$ 는 前項의 歪力에  
相當하며, 이것을 剪斷應力(Shearing stress)  
이라 한다. 또  $\frac{dv}{dy}$ 는 힘에 垂直한 方向의 速  
度勾配로서 이것을 彈性歪  $r$ 의 時間微分  $\frac{dr}{dt}$   
로 나타낼 수 있다. Newton法則을 말로 表現  
하면 「速度勾配는 剪斷應力에 比例한다」로 表  
示할 수 있고 式으로 나타내면

$$\frac{S}{D} = \eta = \frac{1}{\phi} \left( \frac{dv}{dy} = \frac{dr}{dt} = D, \frac{F}{A} = S \right)$$

이다.  $\eta$ 를 粘性係數(Coefficient of viscosity)  
 $\phi$ 를 流動率(Fluidity)라 한다. 이 法則으로  
부터 毛細血管內를 흐르는 液體의 流量을 計  
算하던 다음과 같다.  $Q = \pi R^4 P / 8L\eta$ ;  $Q$ : 單位  
時間에 흐르는 液體의 量,  $R$ : 毛細管의 半徑  
 $L$ : 길이,  $P$ : 管의 兩端의 壓力差, 即 流量  
 $Q$ 는 壓力差  $P$ 에 比例한다. 이 式을 Hagen-  
Poiseuille式이라 한다. Newton 법칙에 따르  
는 液體를 Newtonian liquid라 한다.

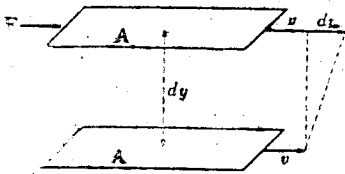


Fig 2. Representation of the shearing force required to produce a definite velocity gradient.

### 5. 非理想的인 流動——非 Newton 粘性

#### ㉑ S-D曲線(Rheogram)

물이나 보통 기름(油)은 簡單한 實驗으로도  
Newton流動을 알 수 있으나 軟膏劑나 懸濁劑  
등은 크게 Newton法則에서 벗어난다. 이러  
한 Newton法則에서 벗어남을 表現하는데는  
Fig 3.에 나타낸 S-D曲線을 使用한다. 即 縱

軸에 速度勾配(剪斷速度 Rate of shear)  $D$ ·  
橫軸에 剪斷應力(shearing stress)  $S$ 를 취하  
여 이 關係를 曲線으로 나타낸다. Fig 3.A는  
Newton液體의 S-D曲線으로 原點을 通하는  
直線이 된다.  $\tan\alpha = \phi = \frac{1}{\eta}$ 이다. Fig 3.B  
以下는 非 Newton流動을 나타내고 原點을 通하  
는 直線과는 상당한 차이가 있다. S-D曲線을  
Rheogram이라 부른다.

#### ㉒ 塑性(Plasticity)

Fig 3.B에 나타낸 S-D曲線은 原點을 通하  
지 않는 直線이다. 即  $S < S_0$ 인 範圍, 換言하  
면 比較的 적은 힘으로는 전혀 흐르지 않는다.  
그래서 어떤 큰힘( $S_0$  보다 큰)을 加해야만 流  
動을 일으킨다. 또  $S$ 와  $D$ 와의 關係는 直線  
의이다. 그와같은 性質을 塑性이라 한다. 粘

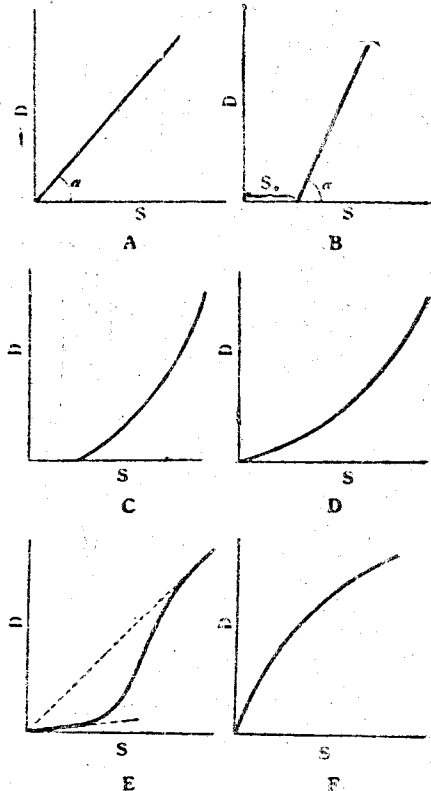


Fig 3. Representative flow curves for various materials.

土와 같은 物質, paint나 懸濁 syrup과 같은 suspension은 거의 이것에 가까운 流動을 나타낸다. 이와같은 S-D曲線은 Rheology의 創始者 Bingham이 發見한 것으로 Bingham塑性이라 하고 그와같은 物質을 Bingham body라 한다. So을 降伏值(Yield value),  $\cot\alpha = \eta_0$ 을 plastic viscosity라 한다. Fig 3.C의 S-D曲線은 Bingham塑性和 같이 降伏值가 보이나 S-D의 關係가 直線의이 아니다. 그와같은 性質을 나타내는 物質을 擬塑性體(Pseudoplastic body)라 한다.

### ㉑ 準粘性液體(Quasi-viscous liquid)

1% 前後의 CMC.Na나 Arabiagum의 水溶液은 Fig 3.D에 나타낸 것과 같이 S-D曲線을 가진다. 即 原點을 通하는 曲線이다. 이와같은 物質을 準粘性液體라 하고 高分子溶液에서 많이 볼 수 있다.

### ㉒ 構造粘性(Structural viscosity)

Fig 3.B-D에 나타낸 S-D曲線을 가지는 物質에 대하여  $S/D = \eta$ 에서 粘性係數  $\eta$ 는 一定值를 나타내지 않고 S 또는 D가 增大함에 따라 減少한다. 그와같은 物質에 대하여는 粘性係數는 常數로 되지 않는다. 剪斷應力의 增大에 의하여 粘性이 低下하는 現象을 構造粘性이라 한다. 即 적은 힘으로 流動시키면 物質內部에 固體의인 構造가 存在하여 그때문에 流動이 어렵고 힘이 크면 構造가 破壞되어 流動이 쉽게 變化된다고 생각된다. 構造粘性의 一般의인 S-D曲線으로서 Fig 3.E와 같은 曲線을 나타내는 學者도 있다.

### ㉓ Dilatancy(構造粘性의 逆)

茶집 中에 전분을 넣고 少量의 물을 가하여 練和, 攪拌하려면 매우 힘이 든다. 이것은 構

造粘性의 逆으로 힘을 가하므로서 粘性이 增大하는 現象으로 이와같은 現象을 Dilatancy라 부른다. Fig 3.F는 그의 S-D曲線으로 硫黃의 粉末을 물로 練和하는 現象에서 볼 수 있다.

## 6. 粉體의 Rheology

粒子의 集合體로서의 即 粉體로서의 Rheology의 性質은 液體의 性質과 다르며 주로 土質力學에서 취급되었으며 現在도 많이 研究하고 있다. 即 ① 粉體의 流動에 의하여 생기는 角特性(內部摩擦角, 安息角, 壁面摩擦角, 運動角), ② 付着力 ③ 粉體의 壓縮(機構, 實驗式, 粉體內壓力分布) ④ 粉體의 自由流動등을 다룬다.

## 7. Rheology의 應用

### ㉑ 製品의 品質管理

製品의 品質特性 가운데 Rheology의 性質이 重要한 位置를 차지하는 경우가 많다. 例를 들면 軟膏劑의 硬度, 懸濁液의 通針性, Troche劑, 錠劑의 硬度등은 製品의 品質管理하는데 Rheology를 필요로 한다.

### ㉒ 原料의 品質管理

原料인 gelatin, CMC.Na, Arabiagum등 高分子物質을 管理하는데는 Rheology의 性質이 필요하다.

### ㉓ 製造技術에의 應用

工業적으로 多量의 裝品을 生産하는 경우 作業能率은 극히 重視한다. 粘稠한 物質의 混合이나 輸送과 같은 製造工程에서 工程 Check의 手段으로서 Rheology의 힘을 빌지 않으면

안된다.

④ 研究手段으로서의 應用

Colloid 分散系, Gel등의 形態를 가진 食品의 研究手段으로서 Rheology는 重視해 왔다. 每年 研究發表, 報文等도 增加하고 있다.

7. 結 言

以上과 같이 Rheology를 매우 간단하게 두서없이 要約한 것을 아쉽게 생각한다. 다만 Rheology란 다른 學科의 專攻科目이 지 食品을 다루는 技師에게 어떤 關係가 있는

가 하고 否定的으로 생각하는 일이 없었으면 다행으로 생각하는 바이다.

끝으로 Rheology는 바로 우리 食品技師들이 다루어야 할 專攻임이 分明함을 強調한다.

《參 考 文 獻》

- 1) Maron, Krieger, sisco: J. Appl. physics 25, 971 (1954)
- 2) Mc Kennel: Kolloid Z. 145, 114 (1956)
- 3) H. Green: Industrial Rheology and Rheological structures 1949.
- 4) C. G. Mill: Rheology of Disperse systems (1959)
- 5) Scott Blair: Agricultural Rheology



◎ 경단백질 (硬蛋白質 : Albuminoids) Scleroproteins과 同一. 纖維蛋白質로서 動物體를 支持 또는 保護하는 機能을 가지며 (植物에서 셀룰로오스가 이 機能을 하고 있음), 3가지 種類가 있다.

(1) 콜라겐 Collagen : 皮膚 腱骨에 있으며, 펩신·트립신으로써 分解되지 않는다.

(2) 엘라스틴 Elastin : 腱·動脈에 있으며, 젤라틴으로 變化하지 않는다.

(3) 젤라틴 Gelatin : 稀酸·稀알칼리에 不溶이며, 動物의 消化酵素에 천연 侵犯되지 않는다. 角·羽毛·손톱에 存在한다.

◎ 고결방지제 (固結防止劑 : Anti-caking Agents) 분말 식품에 굳어지지 않게 첨가하는 물질이다. 例 : 소금·설탕에 소량의  $Na_2HPO_4$  (무수)를 가한다.

食卓鹽에 소량의  $CaAl_2Si_2O_{12} \cdot 6H_2O$ , 또는  $Ca_2Si_2O_7$ , 또는  $Mg_3Si_2O_8(OH)_2$ 를 가하기도 한다.

Baking Powder에  $Ca_2Si_2O_7$

을 가하는 일도 있다.

◎ 라이딩 (Larding) 붉은 살코기에 脂肪을 加하여 淸淸히 長時間 調理해도 마르지 않게 하는 방법을 말한다. 길이가 1~1.5 inch이고, 폭이 3/4 inch인 Bacon脂의 얇고 긴 조각을 특별한 Larding용 바늘로 고기 표면에 꽂는다. 가늘고 긴 脂肪조각을 Lardoons라고 한다.

Bacon脂의 얇은 조각을 고기 위에 묶는 것을 Barding이라고 한다.

◎ 산염기 평형 (酸鹽基平衡 : Acid Base Balance) 사람의 内部環境으로서 體液의 水素이온 ( $H^+$ )은 滲透壓과 같이 細胞의 生活機能에 매우 重大한 關係를 갖는다. 이 水素이온 濃度 즉 pH를 어떤 限界內로 維持하는 機構가 體液의 緩衝系 Buffer System이며, 이것에 의하여 生體는 體內에서 酸澱 鹽基가 平衡狀態를 維持할 수 있다. 이 狀態를 酸鹽基平衡이라 한다. 酸鹽基平衡이 正常보다 酸性으로 되면 酸血症 Acidosis, 알칼리性으로, 기울면 鹽基血症 Alkalosis이라 부른다. 正常 體液의 pH는 7.35~7.45이다.

◎ 염기혈증 (鹽基血症 Alkalosis) 알칼리 (正確하게는 鹽

基Base)의 異常한 蓄積 또는 酸의 이상한 喪失狀態를 알칼로시스 (鹽基血症)라 한다. 이때 體液의 pH는 增加한다 (7.45 이상)

過呼吸으로 炭酸가스가 異常하게 많이 排泄되면 呼吸性鹽基血症 Respiratory Alkalosis이 생기며, 嘔吐나 小腸의 上位部에 閉塞가와서 胃液喪失이 심할 때에는 代謝性鹽基血症 Metabolic Alkalosis이 발생한다.

◎ 제한 아미노산 (Limiting Amino Acid

食餌중의 蛋白質이 體蛋白을 형성할 때 이용되는 양은 그 안에 있는 最少량의 아미노산의 양에 의존하게 된다. 말하자면 이 아미노산량이 隘路가 되기 때문에 제한아미노산이라고 하는 것이다.

가령 빵에서는 Lysine이 제한아미노산이어서, 그 단백질의 45%가 體蛋白의 합성에 이용될 뿐이다. 여기에 Lysine을 첨가하게 되면, Lysine은 제한아미노산이 이미 아니며, 빵의 단백질은 55%까지 이용되나 그 때에는 Threonine이 제한아미노산이 된다.

일반 食餌로서는 보통 Methionine이 제한 인자로 되는 일이 많다.