

調理와 rheology

—쌀에 관한 rheology 적 研究를 중심으로—

聖 心 女 大

吳 明 淑

1. 序 論

人間에게 있어서 食品은 단순한 榮養素의 공급역할 뿐 아니라 그것을 먹는 過程에서 여러 가지 官能적인 자극에 의한 感覺적인 滿足感을 주지 않으면 안된다. 感覺적인 滿足感을 느끼게 하는 데에는 맛, 색, 香氣가 큰 영향을 미쳐서, 맛成分, 色素, 香氣物質의 種類와 含量이 중요한 역할을 하게 될 것이다. 그리고 同時에 이들 化學成分의 分散狀態 및 食品자체의 組織·構造 등에서 오는 「texture」 또한 중요한 因子라는 것이 많은 研究者들에 의해서 明白해지고 있다. 즉, 調理에 있어서는 맛成分과 香氣物質이 충분히 포함되어 있어도 texture가 不良이어서는 맛있다고 느낄 수 없는 경우가 많다.

食品은 극히 소수의 경우를 제외하고 化學的으로도, 物理的으로도 單一物質이 아니고 多成分의 복합물이며, 또 복잡한 組織·構造의 조합으로 이루어지기 때문에 단순한 texture를 나타내는 일은 거의 없다. 그러므로 그것을 정확히 파악하여 食品의 調理, 加工, 製造 등에 응용해 나가는 일은 간단한 일은 아니지만, 앞으로 이 방면에 많은 研究와 開發이 이루어져야 할 것이다.

本稿에서는 먼저 食品 rheology 研究의 問題點, 測定方法의 概要 등에 대하여 考察하고, 계속해서 우리의 主食이며 그 特有의 粘탄성적인 rheology가 특히 重要視되는 쌀에 관한 texture적 研究에 대하여 살펴보기로 한다.

2. 食品 rheology 研究의 問題點^{1,2)}

感覺적인 要素를 보다 客觀的으로 評價하기 위하여 여러가지 機器가 소개되고 있으나 기기에 의한 食品의

物性測定에 대해서는 그 方法論 自體에 많은 問題點이 남아 있어서 이것을 해결하지 않으면 그 方法을 응용한 研究 그 自體가 근본적으로 意味가 없어질 우려가 있다. 우선 첫째로 問題가 되는 것은 測定機器의 선택의 問題이다. 食品의 化學成分의 分析·檢査에 있어서는 方法論的으로 그다지 어려운 問題는 없다고 해도 좋으나, 物性に 對해서 살펴보면 測定方法이 다르면 同一食品이라도 다른 評價가 나오는 例가 많다. 따라서 각각의 食品에 대하여 研究의 대상으로 하려는 官能的 評價와 가장 잘 對應하는 것은 어떤 장치에 의해서 측정할 어떤 數值인지를 확인해둘 필요가 있겠다.

두번째로 食品의 物性は 수많은 rheology적 特性值 중에서 어느 정도 共通된, 限定된 基礎的 rheology적 特性值로 비교하게 되는데 그 特性值를 어떻게 택하는지 問題라고 할 수 있다.

세번째로 測定試料의 sampling의 問題이다. 이것은 食品이 化學的으로도 物理的으로도 균일한 單一物質이 아니고 복잡하고 不均一한 系이며, 食品의 대부분이 動植物의 組織을 무엇인가의 形態로 남기고 있는 것이 많으므로 細胞 單位에서의 不均一性을 가지고 있는 경우가 많기 때문이다. 또한 試料의 成形에 있어서 크기, 形狀 등에 따라서 직접 粘彈性測定에 影響을 미치므로 檢査해야 될 課題이다.

네번째로 觀測時間의 問題이다. 食品의 粘彈性測定에 있어서, 測定時間內에 食品의 物性が 變化하지 않는지 어떤지가 問題로 된다. 어느 정도의 時間에서 測定을 行하는지, creep 實驗이나 應力緩和實驗 등의 靜的粘彈性 測定法에서는 특히 問題가 된다. 이점, 動的粘彈性 測定에서는 굉장히 단 시간에 그 測定이 可能하므로 이 問題는 어느 정도 해결된다고 할 수 있다.

다섯번째로 線型性, 非線型性이라고 하는 問題이다. 食品의 粘彈性을 취급할 경우, 應力과 變形이 比例관계에 있는 線型性 영역에서는 問題가 되지 않으나, 극히 작은 變形에서도 應力과 變形이 比例하지 않는 경

우가 실제의 食品에서는 많으므로 이러한 非線型性 영역에서의 粘彈性的 問題를 어떻게 해결하면 좋을지 問題이다.

以上과 같은 問題點외에, 食品의 物性は 實驗室的인 규모로 少量을 제조한 경우와 實際的인 규모로 제조한 경우 사이에는 同一配合, 同一方法으로 제조해도 상당한 차이가 나타나는 일이 적지 않다. 이것은 食品을 實驗室的인 규모의 제작에서 實用段階로 scale up 할 때 重要的 問題이다. 例를 들어서 밀가루 dough 로부터 국수를 만들 경우, 제조하는 규모에 따라서 物性に 차이가 생긴다. 모든 材料配合比를 동일하게 하여도 小型 제면기로 만드는 경우와 工業적 규모의 제면기로 몇 kg 單位로 만드는 경우에는 제품의 物性に 차이가 보인다. 그것은 국수의 物성이 단순히 材料的 配合比만으로 決定되는 것이 아니고, 반죽의 發熱, 放熱, 水分의 擴散, 蒸發 등 여러가지 現象의 組合과 중첩에 의해서 影響받는 것으로, 간단히 scale up 할 수 있는 性質의 것이 아니라는 것을 알 수 있다. 따라서 食品의 物性を 論할 경우에는 되도록 實際的인 규모에 가까운 scale 에서 제조된 제품에 대하여 적절한 方法으로 sampling 을 하도록 하는 것이 바람직 하다고 할 수 있다.

3. 測定方法의 개요

食品 rheology 를 測定하기 위한 機器는 다음의 4가지 要素로서 이루어져 있다.⁴⁾ 즉 1) probe 2) driving mechanism 3) sensing element 4) readout system 으로 제 1 부는 試料에 닿은 部分으로 plunger, rotar 등으로 되어 있고, 제 2 부는 運動部로 제 1 부를 수직, 수평, 회전 등의 運動을 일으키는 部分이고, 제 3 부는 感知部, 제 4 부는 記錄部가 되겠다. 그런데 texture 의 測定은 힘(force)과 변형(deformation)의 關連을 求하는 것이므로 일반적으로 어느 한편을 既知狀態 또는 우선적으로 취급하여 다른 한편을 檢出하는 方法을 쓰고 있다. Kramer⁵⁾는 試料에 對하여 어떤 type 의 힘을 가하여 變形시키는지에 대해 Fig. 1의 A에서 E 까지 분류하고 있는데, 그 외에도 penetration, bending 같은 것이 있다. 수 많은 測定機器들은 이들 힘과 변형의 원리를 적용시킨 것이다.

Voisey⁶⁾와 Scott Blair⁷⁾는 食品 texture 의 測定機器를 i) fundamental type ii) imitative type iii) empirical type 의 3가지로 분류했다. i)의 基礎的 측정 對應하는 機器로는 靜的粘彈性 측정 장치, 動的粘彈性 측정 장치, parallel plate plastometer, extensi-

meter 등이 있고, 이 方法에 의해서는 基礎的 rheology 特性值로서 粘性率, 彈性率 등을 구할 수 있으며 rheology 모형에의 解析이 行하여진다. 측정조건을 精確하게 규정하면 食品의 特性을 精確하게 묘사할 수 있는 몇가지 物理定수를 결정할 수 있으므로 texture 시험에 있어서 理想的인 方法이라고 할 수 있다. ii)의 模擬的 測定에 對應하는 機器로는 amylography, farinograph extensograph, G.F. Texturometer, rheolometer 등이 있다. 이것은 손으로 반죽한다던지, 늘린다던지, 썰는 등의 실제 食品을 취급하고, 먹음때의 力學的 條件을 모방하여 測定하는 것이다. iii)의 經驗的 測定에 對應하는 機器로는 penetrometer, W/B meat shear testa, curd meter, compressimeter 등이 있다. 이것은 精確한 力學的 特性치로서 定義를 내릴 수는 없지만 經驗的인 力學量과 關係시켜서 表示되는 特性值의 測定으로 食品의 品質管理 등에 쓰이고 있는 方法이다.

다음 基礎的인 측정의 靜的인 試驗法과 動的인 試驗法에 대하여 간단히 比較·檢討해 보기로 한다.

(1) 靜的인 試驗法(Static measurement)⁷⁻⁹⁾

정적시험법에는 應力緩和法(stress relaxation method)과 creep 시험법이 있다. 前者는 試料에 일정한 變形度(strain)를 준 후에 應力(stress)의 時間的인 變化를, 後者는 一定 應力을 試料에 준 후에 變形度의 時間的인 變化를 각각 觀察하는 것이다. 結果의 解析은 彈性要素와 粘性要素의 組合要素 모형에 의하는 경우가 많은데, 가장 간단한 것이 一要素의 彈性和 一要素의 粘性과를 직렬 또는 병렬로 연결한 Maxwell 모형 및 Voigt 모형이다(Fig. 2).

Maxwell 모형에 대하여 시간 $t=0$ 에 일정 strain e_0 를 주면 그후의 應力 S 는

$$S = Ge_0 \exp(-t/\tau_M) \quad \dots\dots ①$$

$$\tau_M = \eta/G \quad \dots\dots ②$$

로 된다. 여기서 τ_M 은 완화시간(relaxation time)이다. 또 Voigt 모형에 대해서 $t=0$ 에 있어서 일정응력 S_0 를 주면 그 후의 변형도 e 는

$$e = S_0/G \{1 - \exp(-t/\tau_k)\} \quad \dots\dots ③$$

$$\tau_k = \eta/G \quad \dots\dots ④$$

로 된다. 여기서 τ_k 는 지연시간(retardation time)이다. 일반적으로는 이들 기본모형을 직렬 또는 병렬로 組合하여 쓰는 경우가 많다. 그리고 이들 creep 곡선이나 應力緩和곡선으로부터 有限개의 要素를 가지는 모형으로 近似的으로 解析하는데 대하여 이들 곡선을 無限개의 지연機構를 가지는 Voigt 모형의 集合, 혹은 無限개의 緩和機構를 가지는 Maxwell 모형의 集合

의 거동으로서 解析하는 方法도 있다. 즉 Creep 곡선 으로부터 지연시간의 分布函數로서 retardation spectrum 을 구하고, 應力緩和곡선으로부터 완화시간의 分布函數로서 relaxation spectrum 을 구하는 方法인데, 材料의 物性を 연구하는 데에 有效한 수단으로 되고 있다.

(2) 動的試驗法(dynamic measurement)^{7, 10~12)}

動的測定에 있어서는 試料에 여러가지 type의 振動을 주어서 그 상태를 觀測하고, 觀測量으로부터 粘性係數, 彈性率, 그밖의 粘彈性特性을 決定한다. 따라서 振動論은 動的 測定의 基礎를 이루는 것으로 이것에 대한 知識이 필요하다. 粘彈性的 動的測定法으로서는 transducer method, resonance method, wave propagation 등이 있는데 적용例가 많은 것은 resonance method 이다. Finney 는 longitudinal wave resonance method 로서 Fig. 3과 같은 장치로 과일의 動的 彈性率 G' 를 구하였다. 여기서는 oscillator 와 detector 사이에 과일을 set 하고, 系統的으로 周波數를 바꾸면서 動的인 實驗을 행한다. 시료에 最大의 變形(振幅)을 일으킬 수 있는 周波數를 공명주파수라고 한다. 計算은

$$G' = 4\rho f^2 l^2 \dots\dots ⑤$$

에 의한다. 여기서 ρ 는 시료의 밀도(g/cm^3), f 는 最低공명주파수(Hz), l 은 시료의 길이(cm)이다.

Resonance method의 다른 方法으로서 vibration reed method 가 있는데, Fig. 4에 그 장치의 모식도를 나타냈다. 이것은 試料을 가느다란 圓柱狀으로 하여 上端을 固定하고 支持端에 微小振動을 주어서 自由端의 振幅을 測定하려는 것이다. 즉 Oscillator에서 나온 sine wave는 amplifier에 의해 增幅되고, Electromagnetic vibrator에 의해 機械的 振動으로 變化되어, vibrator의 軸에 固定된 試料에 微小振動을 준다. 試料自由端의 振動振幅의 檢出은 현미경에 의해 행한다. 이 方法에 의한 전형적인 resonance curve를 Fig. 5에 나타냈는데, 이 곡선으로부터 동적탄성율(dynamic modulus) G' 와 동적점성율(dynamic coefficient of viscosity) η' 는 다음과 같이 구해진다.

$$G' = \rho \frac{4\pi^2 l^4}{a_0^4 k^2} f^2 \left\{ 1 - \left(\frac{3}{8} \right) \left(\frac{Df}{f} \right)^2 \right\} \dots\dots ⑥$$

$$\eta' = \rho \frac{2\pi^2 l^2}{a_0^4 k^2} Df \left\{ 1 - \left(\frac{3}{8} \right) \left(\frac{Df}{f} \right)^2 \right\} \dots\dots ⑦$$

여기서 a_0 는 정수도 기본振動의 경우 $a_0 = 1.875$ 로 된다. 또 k^2 은 관성 moment에 관한 것으로 圓柱狀시료의 경우 $k^2 = D^2/16$ 으로 된다. D 는 시료直徑이다. Df 는 band width로 最大공명진폭의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 의 振幅에 있

어서 공명곡선의 幅이다.

4. 쌀에 關한 rheology 적 研究

쌀에 關한 rheology 적 研究는 쌀전분이 호화되어 가는 過程 및 호화가 끝난 狀態에서의 研究의 두가지로 나눌 수 있다. 前者에는 주로 amylograph가 後者에는 Instron, texturometer, parallel plate plastometer 등이 使用된다. 먼저 amylograph를 使用한 流動學的 研究에 대하여 살펴보고, 계속하여 호화가 끝난 밥 狀態에서의 研究에 대하여 紹介하기로 한다.

(1) Amylograph에 의한 粘度特性

庄司 등은 밥의 성질을 調査하는 첫 단계로서 쌀 및 쌀전분의 流動學的 性質에 대해 調査했다.^{13, 16, 17)} Fig. 6¹³⁾에 멧쌀가루 및 찰쌀가루의 amylogram을 나타냈는데, 모든 濃度에서 最高粘度가 멧쌀이 찰쌀보다 커서 찰쌀이 팽윤하기 어려운 것을 나타내고 있다. Fig. 7¹³⁾은 찰쌀전분 및 멧쌀전분의 amylogram인데, 이 경우는 最高粘度가 찰쌀전분이 멧쌀전분보다 약간 높던지 같은 程度를 나타내고 있다. 또한 찰쌀전분이 멧쌀전분보다 breakdown이 크고 setback은 작아서, 찰쌀전분은 붕괴되기 쉬우나 老化되기 어렵고, 멧쌀전분은 붕괴되기 어려우나 老化되기 쉬운 것을 나타내고 있다. 이로써 쌀가루의 경우와 전분의 경우 서로 다른 거동을 나타내는 것을 알 수 있다. 그 이유에 대해서는 脂質,¹⁴⁾ 효소(amylase)¹⁵⁾ 등 여러 因子의 影響이 報告되고 있는데, 庄司는 찰쌀전분의 最高粘度에 대한 단백질, 지질 등의 영향이 멧쌀전분의 경우보다 특히 크다는 것을 實驗的으로 증명하였다.¹⁶⁾ 또 庄司는 찰쌀, 멧쌀의 0, 1, 2, 7년 저장시의 amylogram을 조사¹⁷⁾ 했는데, 結果는 Table 1, Table 2와 같다. 먼저 쌀가루에 대해서 보면 찰쌀 및 멧쌀의 양쪽 다 멧쌀이 저장쌀보다 호화開始溫度, 最高粘度時의 溫度가 낮아서 오래된 쌀은 호화되기 어려운 것을 나타냈다. 最高점도는 멧쌀이 낮고 저장쌀이 커졌는데 7년 저장멧쌀은 오히려 낮은 값을 나타냈다. 이것은 멧쌀의 경우는 전분의 최고점도에 대한 단백질, 지질의 영향이 크지만 저장쌀의 경우는 저장에 의해 단백질, 지질의 성질이 변화함으로써 전분의 최고점도에 대한 영향이 작아지기 때문으로 생각된다. 황보등¹⁸⁾도 統一米의 저장試驗에서 脂質成分이 變化하고 밥맛이 나빠지는 것을 보고하고 있다. 한편 7년 저장시에는 단백질, 지질의 변화 외에 전분粒子도 변화한 것으로 생각된다. 다음 전분에 대해서 보면 0, 1, 2년 저장時에는 찰쌀전분 및 멧쌀

전분의 양쪽 다 호화특성에 차이가 나타나지 않아서 amylogram 으로부터는 저장에 의해 전분자신의 변화는 일어나지 않는다고 생각할 수 있다. 그러나 7년 저장시의 멍쌀전분은 最高粘度時의 溫度가 높고, 最高粘度, break down 은 극단적으로 낮고, set back 은 큰 값을 나타내었다. 즉 7년간 저장에 의해 전분자신이 變化하여 팽윤, 붕괴하기 어렵고, 노화하기 쉬워진다고 생각된다. 이상으로 저장에 의해 쌀의 amylogram 중 호화개시온도, 최고점도시의 온도 최고점도 등이 높아지는 것을 알 수 있는데, 이러한 변화가 古米化에 의한 밥맛감소의 한 因子라는 것을 추측할 수 있다. 그런데 一般的으로 찰기가 강하고 연하여 맛있다고 評價되는 쌀은 호화개시온도가 낮고, 최고점도는 높고 break down 은 크다고 보고되고 있다^{19~21}. 또 Loreny et al²²은 쌀의 품종에 따라 찰기가 강한 품종일수록 amylose 함량, set back 이 작은 것을 보고하고 있다.

Wadsworth et al^{23,24}은 starbonnet variety(long grain) 쌀을 벼의 두께로 분류하여 精米效率, 總收率, 파손쌀의 量 등에 대하여 조사한 결과 두께가 얇을수록 이들 품질 특성이 떨어지고, 물리화학적 특성은 두께가 얇아질수록 peak viscosity 가 작아지고, set back 과 peak 粘度의 차이는 커졌으나 호화개시온도에는 별 차이가 없었다. 두께가 얇은 쌀이 이렇게 호화특성이 다른 것은 전분자제의 차이보다는 함량차이에 기인했는데, 두께가 얇은 쌀은 단백질함량이 상당히 높았으므로 그들은 이것을 이용한 새로운 고단백 쌀제품의 제조를 제안했다. 쌀의 물리화학적 성질과 rice bread의 품질과의 關係²⁵를 보면 Table 3에 나타난 것처럼 낮은 amylose 함량과 낮은 호화개시온도, 50°C 냉각시에 낮은 점도를 나타낸 품종의 쌀이 연한 밥으로 되었으며 rice bread를 만들었을 때 texture가 좋았다. 또 Nishita²⁶는 동일품종의 쌀도 제분방법에 따라 쌀가루의 입도분포가 달라지고(Fig. 8), amylogram도 달라지는 것을 報告했다(Fig. 9). Fig. 9를 보면 굵은 粘度의 가루는 호화개시온도가 높고, peak 점도 및 50°C 냉각 粘度가 낮게 나타나 있다. Halick²⁷도 粒度 分布調整에 따라 호화특성이 변한다는 것을 報告하고 있는데, 이러한 性質은 떡, 米菓제조시에 특히 關連이 깊다고 생각된다.

(2) 밥의 物性

加藤은 밥맛의 評價를 定量化하기 위해서 tensilon II형 creep 시험장치를 사용하여 壓縮(compression test) 및 引張시험(tensile test)을 行하여 각각의 力學的 特性과 미작과의 關係를 조사하여 밥맛을 定量化

하려고 했다^{28,29}. Fig. 10은 한알의 밥알에 0~200 g까지의 荷重을 加했다가 荷重을 제거했을 때의 이력곡선이다. oabo의 면적 A₁은 변형 ob를 생성시키기 위한 energy로 a에서 荷重 0로 해도 oc인 永久變形을 남긴다. 면적 oaco는 回復不可能한 밥알의 유동에 소요된 energy이고, acba의 면적 A₂는 밥알이 回復하는데 필요로 된 彈性的 일량이라고 할 수 있다. 전체 일량에 對한 彈性的 일량의 比率 A₂/A₁가 크면 씹을 때 딱딱한 느낌의 질감이 나쁜 밥이 된다. 밥덩어리의 물성은 밥알의 특성에 밥알의 充填度 밥알相互間의 表面 粘着性, 밥알의 剪斷流動등이 복잡하게 關連하므로 밥알의 物性거동과는 달라진다.

Fig. 11은 시료下部의 直徑 48 mm, 上部의 直徑 40 mm, 높이 33 mm의 원뿔형의 작품종의 밥의 hysteresis 곡선이다. 荷重時의 곡선 OPQR은 直線부분 OP [탄성(elastic)부분], 밥알의 剪斷流動에 의해 變形이 급격히 증대하는 PQ[塑性(plastic)부분], 變形증가비율이 작고 荷重이 급격히 增大하는 QR [파괴(fracture)부분]등으로 된다. P點에서의 荷重은 降伏點荷重點(yield value), R에서의 變形은 파괴변형이다. 荷重을 제거했을 때의 곡선 RSTUO는 약간의 回復부분 R'S, 永久變形부분 SO 및 plunger에의 附着에 의한 變形軸보다 아래 部分인 STU 등을 나타낸다. Fig. 11로부터 Young을(角 θ 의 크기), 降伏點荷重, 파괴變形, 塑性일량(면적 OPQRSO), 附着 energy(면적 ST-US) 등을 구할 수 있다. 또 밥맛을 좌우하는 찰기를 나타낼 수 있는 物性值로는 粘性率보다는 附着 energy 쪽이 적당하다고 생각된다. 그것은 밥의 찰기란 밥에 윤기와 粘着性을 주는 溶出固型物의 호화전분을 附着한 밥의 狀態와 그 거동을 가르키는 것 같기 때문이다. Fig. 11의 各品種의 쌀은 硬質米와 軟質米로 나눌 수 있는데, 硬質米는 軟質米와 比較해서 young을, 降伏點荷重, 塑性일량은 크고, 반대로 附着 energy는 작은 것을 알 수 있다. 이러한 硬質米의 物性은 딱딱하고, 찰기가 적은 硬質米 特有의 밥맛과 一致한다. 軟質米는 粒子內部細胞의 充實度가 낮아 炊飯에 의해 붕괴되기 쉬우나 硬質米는 內部細胞까지 충실해 있으므로 가열에 의한 붕괴도 적다. 이러한 쌀粒자의 세포조직구조와 전분의 특성의 차이 등이 서로 作用하여 品種에 따른 hysteresis 곡선의 차이를 생기게 하는 것으로 보인다.

씹을 때의 턱의 움직임은 밥덩어리를 씹어서 치아에 가해지는 壓力이 一定 level에 달했을 때 잠시 쉬고, 다시 다음 움직임으로 옮긴다. 목에 넘길 수 있을 정도

로 연해질 때까지 썬는 동작은 反復되는데, 그때마다 생기는 應力緩和의 狀況이 밥의 딱딱한 또는 연한 texture로서 입속의 여러 感覺에 민감하게 전해진다고 생각된다. Fig. 12는 荷重停止 300 g에 있어서 品種別 밥의 應力緩和곡선을 나타내는데, 어느 것이나 變形量을 一定하게 유지하는데 필요한 荷重은 밥의 内部流動에 의해 式 $S=Ae^{-t/\tau}$ 에 따라서 一定值로 될때까지 감소했다. 여기서 $S=\omega-\omega_\infty$, $A=\omega_0-\omega_\infty$ 로 ω_0 , ω , ω_∞ 는 각각 $t=0$ (荷重停止時), t , $t\rightarrow\infty$ 일때의 荷重이다. 緩和하기 쉽다(즉 τ 가 小)는 것은 外力에 항복하여 内部流動을 生成하기 쉽다는 것을 나타내고, texture가 연한 것과 關聯이 있으며 딱딱한 밥일수록 彈性要素가 더 크므로 緩和에 時間이 걸릴 것이다. 실제로 맛있는 밥의 τ 는 6~8초내의, 딱딱하고 彈力성이 있는 밥에서는 10~14초를 나타냈다.

Fig. 13은 一定應力(1.56×10^4 dyne/cm²)下的 strain-time 곡선이다(creep 시험). Fig. 14로부터 軟質米은 9要素 model로서, 硬質米은 軟質米에 있어서 粘塑 彈性部(viscoplastoelastic)가 빠진 6要素 model로서 거동했다. 이들 model의 數는 일반적으로 炊飯時의 加水比와 老化 등에 의해 增減한다. 加水比 1.5의 밥에서는 總變形(t_1 에 있어서의 strain), 永久變形(t_2 에 있어서의 strain), 流動變形등이 크고 彈力성이 작은 品種이 맛있었다. 복잡한 食品의 物性は 基本的인 Voigt model과 Maxwell model만으로는 완전히 表現할 수 없으므로 이러한 多要素 model로서 나타내면 그 家動을 대개 理解할 수 있다.

鈴木은 밥맛의 評價에 關한 物性要因을 확립하기 위하여 밥의 荷重-變形 곡선을 主成分分析法(principal component analysis)으로 解析하여 구해진 主成分과 밥맛과의 關連을 考察하였다³⁰⁾. 物性測定은 parallel plate plastometa의 원리에 의하는 compressimeter를 使用하여 壓縮速度 20mm/min로 測定했다. 壓縮은 試料 22g(直徑 30mm, 높이 30mm)에 있어서는 荷重이 2kg에 달하는 점, 試料 7g(直徑 20mm, 높이 20mm)에 있어서는 시료높이의 80% 壓縮점에서 一定時間 壓縮을 정지하고 緩和現象을 관찰했다. 그후 壓縮과 같은 速度로 荷重을 제거했다. 얻어진 荷重-變形곡선은 Fig. 15와 같다. Fig. 15를 보면 곡선 ABCD는 Fig. 11의 곡선 OPQR과 같다. D점에서 壓縮을 정지하면 緩和現象(DE)이 나타나고, 일정 時間後 荷重을 제거(F)하면 밥의 付着力때문에 陰의 荷重으로 된다. Fig. 15로부터 特性值로서 22g 試料에서는 young을 (壓縮初期의 기울기), 완화시간(荷重이 壓縮정지시의

荷重의 $\frac{1}{e}$ 로 감소할 때까지의 시간), 付着力(荷重 제거시의 陰의 荷重)의 3 parameter를 7g 試料에서는 壓縮力(80% 壓縮時의 荷重)을 더 첨가하여 4 parameter를 취하여 合計 7 parameter를 求하였다. Table 4는 各試料의 測定值이다. Subscript 1은 22g 試料이고, 2는 7g 試料이다. Fig. 16은 Table 4의 結果에 대하여 主成分分析하여 各 parameter의 factor loadings를 plot한 것인데, 各 parameter는 한개의 不成分하고 關連이 깊은 것을 알 수 있다. 그래서 Table 4의 7 parameter는 3主成分으로 나누어졌는데, 各 主成分의 의미에 대하여 檢討한 결과, 제 1 주성분(Z_1)에 속하는 R_1, R_2, A_1, F 는 밥의 加水比率과의 相關이 높고 주로 밥의 硬度에 關한 因子라고 생각되었고, 제 2 주성분(Z_2)에 속하는 Y_1, Y_2 는 썬을 때의 질감에 주로 關連하고, 제 3 주성분(Z_3)에 속하는 A_2 는 종래부터 찰기로서 밥맛 評價의 지표로서 重要視되어 왔던 밥의 粘着性에 關連되는 것으로 생각되었다.

Mossman et al은 Instron tensile tester를 사용하여 밥의 表面粘着性を 測定하는 객觀적 方法의 確立 및 그 적용에 대하여 보고했다.^{31,32)} 그것에 의하면 Instron 자체에 의한 변동계수는 5%以内로, 試料와 그 取及에 의한 변동보다 훨씬 적었으며, 보다 再現性 있는 結果를 얻기 위해서 檢討한 結果, 加水比率은 0.75 배에서 2.0배 사이에서는 1.5배일때 가장 변동계수가 작았으며, sample size를 크게하고, 試料상에 sample을 再現性 있는 方法으로 놓고, 밥을 지을때 특별한 주의를 기울일 것이 중요하다고 했다. Fig. 17은 stickiness의 測定例인데, adhesive force(g) × crosshead가 움직인 거리(cm)에 적당한 factor를 곱하여준 적분치로 되고, Instron stickiness 값(x)과 panel stickiness score(y) 사이에는 높은 相關關係가 있었다($y=1.13x+1.08$ $r=0.98$). 美國人들은 일반적으로 찰기가 적은 쌀을 더 좋아하는데, 저장에 의해, stickiness가 감소하는 것은 잘 알려져 있다. 그들은 자연저장을 加速化시키기 위해 單時間의 乾熱처리를 실시했는데, Fig. 18과 같이 stickiness의 감소에 상당한 효과가 있었다. 그러나 이러한 처리로 광택, sweat flavor, 白度, 저장안정성 등이 감소했다. Table 5에 미치는 safflower oil침지 및 plasma 처리의 효과를 나타냈는데, safflower oil침지加熱에 의해 stickiness가 감소했고, plasma 처리에 의해 H, O, 양쪽 다 stickiness가 증가했다. 만약 저장중의 stickiness 감소가 α -helix 복합체의 형성에 의한다면 plasma가 이 복합체를 파괴할 수 있을 것이며, plasma에 있는 free radical

이 쌀표면에 이 효과를 낼 수 있으리라고 생각된다.

또한 Rutledge et al은 쌀전분의 OH group을 phosphorous oxychloride, epichlorohydrin, sodium trimetaphosphate와 같은 架橋劑를 사용하여 분자내 및 분자外 架橋시켰는데, 이렇게 함으로써 swelling behavior가 현저히 바뀌어서 over cooking에 대한 저항성이 증가하고, stickiness가 감소했다고 했다.^{32~35)}

(3) 보리밥의 물성

보리밥은 영양적으로 가치가 높으나, 보리를 섞음으로써 쌀밥 特有의 粘彈性을 잃게되어 기호도가 많이 떨어지게 된다고 생각된다. 高橋등은 Tensilon을 사용하여 보리입자 및 보리밥의 물성에 대하여 研究하였다.^{37,38)} Fig. 19는 보리입자와 쌀입자의 壓縮過程의 變形곡선으로 쌀은 降伏點 Y를 가지고 부숩지나, 보리에서는 降伏點을 가지지 않고 단번에 부숩지는 것을 나타내고 있다. 이 때의 組織變化를 관찰하면 쌀입자는 降伏點 Y까지는 細胞의 壓縮에 의한 손상을 받지 않으나, 항복점을 지나면 세포는 약한 部分으로부터 손상이 되어 세포내의 팽윤호화한 淀粉입자가 流出되면서 붕괴, 最終적인 붕괴단계에서는 본래의 細胞의 규칙바른 배열은 상당히 소실되고 일부분만 남게 된다. 보리입자는 200g의 초기荷重의 단계에서는 組織상대가 바뀌지 않고, 荷重후기단계에서는 쌀과 마찬가지로 세포의 약한 부분에 손상을 입는다.

최종적인 붕괴시에는 세포는 거의 形을 소실하나 淀粉입자의 개개의 形은 확실히 남는다. 이렇게 보리입자와 쌀입자의 거동은 확실히 다른데, 다음 이들의 摺합제인 보리밥의 물성적 거동에 대해서 보기로 한다. Fig. 20은 試料를 용기에 넣어서 5 kg/cm₂까지 壓縮했을 때의 압력—strain 곡선이다. 압력이 0.25 kg/cm₂까지는 어느 試料나 변형이 크고, 그 점을 지나면 압력의 증가에 비해 變形은 적다. Sasanishiki 쌀은 보리에 비해 變形이 크고, 보리에서는 C가 S에 비교적 가까운 거동을 하고 있다. Fig. 21은 보리를 여러 比率로 혼입하여 밥을 지었을 때의 압력—strain 곡선이다. 보리를 섞으면 쌀 단일試料時보다 변형이 작아지는데 그 정도는 혼입比率에 따라 달라진다. 보리의 종류에 관계없이 보리를 불과 10%라도 쌀에 섞으면 쌀과는 크게 다른 strain 곡선을 나타내므로 밥맛이 상당히 달라진다는 것을 예상할 수 있다. 그리고 보리밥의 완화곡선을 해석하면 3개의 Maxwell model과 1개의 spring이 並列로 연결된 型으로 近似시킬 수 있었다. 즉

$$G(t) = G_{\infty} + \sum_{i=1}^3 G_i (\exp^{-t/\tau_i})$$

여기서 $G(t)$ 및 G_{∞} 는 각각 시간 t 및 ∞ 의 彈性率 G_i 는 Maxwell model의 i 번째의 spring의 彈性率이다. 시간이 짧은쪽을 $i=1$ 로 했다. 이렇게 하여 물성정수를 결정하여 Fig. 22에 여러 비율의 보리밥의 물성정수의 변화를 나타내었다. 그것을 보면 보리를 섞음으로써 彈性은 거의 바뀌지 않으나 粘性은 크게 감소하여 밥 固有의 粘性이 소실된다는 것을 알 수 있다.

5. 끝 맺 음

이상 調理와 rheology의 關連에서 주로 밥맛을 物性值로 表現하려는 시도에 對하여 소개하였다. 物質은 低分子의 固體, 液體, 氣體, 溶液, 高分子의 固體인 섬유, 고무, plastic, 금속, 天然物인 食品, 의약, 광물등 多種多様하며, 各各에 rheology가 있다. 그러나 이들의 rheology를 研究하는 目的은 共通의으로 物質材料의 品質관리와, 이들의 成形, 加工方法의 改良에 있다. 食용의 rheology도 물론 例外는 아니다. 食品가공기술의 발달로 조리도 점차 대형화하고 여러가지 새로운 食량자원이 나오고 있는 이때, 調理에 關한 rheology적 연구는 더욱더 그 必要性이 높아진다고 할 수 있겠다.

참 고 문 헌

1. 中浜信子, 調理科學, 8:112, 1975.
2. 永澤信, 食品의 物性, (株)食品資材研究會, 1975.
3. Scott Blain G.W., *Adv. Food Res.*, 8:1, 1958.
4. Szczesniak A.S., *Food Technol.*, 25:50, 1971.
5. Kramer A. and Twigg B.A., *Quality control for the food industry* AVI pub., 1970.
6. deMan J.M., Voisey P.W., Rasper V.F. and Stanley D.W., *Rheology and texture in food quality*, AVI pub., 1976.
7. Muller H.G., *An introduction to food rheology*, Crane, Russak and Company, Inc., 1973.
8. 小野木重治 rheology要論, 槓書店, 1977.
9. 中川鶴太郎, rheology, 岩波全書, 1978.
10. Morrow C.T. and Mohsenin N.N., *J. Food Sci.*, 33:646, 1968.
11. Drake B., *J. Food Sci.*, 27:182, 1962.
12. 楊啓雄, 東京大學農部碩士論文, 1979.
13. 壓司一郎, 倉澤文夫, *家政誌*, 30:292, 1979.
14. 桐淵壽子, 久保田紀久枝, *農化*, 51:621, 1977.

15. Horiuchi H., *Agri. Biol. Chem.*, **31**:1003, 1969.
16. 歴司一郎, 倉澤文夫, 家政誌, **32**:167, 1981.
17. 歴司一郎, 倉澤文夫, 家政誌, **32**:350, 1981.
18. 皇甫丁淑, 李瑞來, 食品科學會誌, **8**:74, 1976.
19. 丸山悦子, 東紀代香, 棍田武後, 家政誌, **34**:819, 1983.
20. 丸山悦子, 山谷知津子, 柴田眞由美, 棍田武後, **34**:549, 1983.
21. 皇甫丁淑, 이관영, 정동호, 이서래, 食品科學會誌, **7**:212, 1975.
22. Lorenz K., Fong R.Y., Mossman A.P. and Saunders R.M., *Cereal Chem.*, **55**:830, 1978.
23. Wadsworth J.I., Matthews J. and Spadaro J.J., *Cereal Chem.*, **59**:50, 1982.
24. Wadsworth J.I., Matthews J. and Spadaro J.J., *Cereal Chem.*, **56**:499, 1979.
25. Nishita K.D. and Bean M.M., *Cereal Chem.*, **56**:185, 1979.
26. Nishita K.D. and Bean M.M., *Cereal Chem.*, **59**:46, 1982.
27. Halick J.V. and Kelly V.J., *Cereal Chem.*, **36** 91, 1959.
28. 加藤壽美子, 家政誌, **30**:121, 1979.
29. 加藤壽美子, 家政誌, **24**:89, 1973.
30. 鈴木敬子, 家政誌, **36**:3, 1985.
31. Mossman A.P., Fellers D.A. and Suzuki H. *Cereal Chem.*, **60**:286, 1983.
32. Fellers D.A., Mossman A.P. and Suzuki H. *Cereal Chem.*, **60**:292, 1983.
33. Rutledge J.E. and Islam M.N., *Cereal Chem.* **53**:982, 1976.
34. Rutledge J.E., Islam M.N. and James W.H. *Cereal Chem.*, **49**:430, 1972.
35. Rutledge J.E., Islam M.V. and James W.H. *Cereal Chem.*, **51**:46, 1974.
36. 高橋淳子, 中澤文子, 家政誌, **32**:521, 1981.
37. 高橋淳子, 中澤文子, 家政誌, **33**:413, 1982.