

# 제빵의 物性

金 熾 一

啓明大學校 食品加工學科

## I. 반죽 특성

반죽(生地, dough)이라고 하는 것은 밀가루가 수분을 35% 이상을 함유하게 되면 수화 되어서 응집성의 점탄성 물질(coherent viscoelastic mass)이 되는 것을 이야기 한다. 제빵시 반죽의 수분 함량은 보통 40~46%, 즉 0.67~0.85 g/g 밀가루가 된다. 적당한 수분 함량은 밀가루의 종류에 따라 달라지며 주로 단백질의 함량이나 손상전분의 함량이 높아지면 증가하게 된다. 수분 함량이 35% 이하가 되면 응집성을 충분히 지니지 못하게 되며, 50% 이상이 되면 궁극적으로 slurry가 되어 다루기가 어렵게 된다. 그래서 가해지는 수분의 함량은 작업의 편의성이나 최종제품의 부피나 조직에 매우 심각한 요인을 지니게 된다. 반죽제조시의 문제점은 a) 부정확한 가수(너무 건조하여 응집되는 성질의 결여: 성형시에 반죽덩어리의 제조에 실패, 너무 끈적이는 경우: 롤러와 컨베이어 벨트에 달라 붙게되어서 작업을 불가능하게 한다.), b) 부적당한 혼합시간과 속도, c) 밀가루 성분의 문제점(곡물의 손상, 잘못된 제분 공정). 그래서 반죽의 민감성을 알기 위해서는 1) 반죽의 조직, 2) 반죽의 물리적 성질을 충분히 이해 함으로써 어떠한 문제가 야기되었을 때 그 문제점을 해결하고, 또한 여러 문제점을 최소화 시킬수가 있다.

### (A) 반죽의 조성과 구조

반죽이란 서로 다른 상(phase)이 혼합된 체계이다. 수분을 지닌 상태에서 고형상과 액상으로 나눌 수 있으며, 가스 상태의 경우 크게 3가지로 나눌 수 있다. 가스의 경우는 공기의 작은 미세구이며 이는 혼합(mixing)시에 포집되며, 이 경우 가스는 반죽의 기계적 특성에 크게 영향을 미치지 않으나 제빵(baking)시의 발효과정에서 매우 중요하기 때문에 그때 다루기로 한다.

#### 1) 반죽의 액상 (Liquid Phases)

만일 반죽을 강하게 원심분리하면 수분이 빠져 나오게 된다. 이것이 반죽(mixing)시에 밀가루의 용해성분이 농축된 액상 성분이다. 이러한 결과는 Table 1에서 나타내었다.

반죽의 밀도는 1.25이며 이는 반죽에서 액상이 아주 중요한 역할을 함을 알 수 있다. 이보다 높은 범위에서는 액상이 전체 부피의 1/4정도 이다. 이 경우 그래도 상당히 안정된 상태로 반죽에 존재하며 액상으로 분리되지 않으며 다만 아주 강력한 원심분리에 의해서만 분리가 된다. 이는 액이 매우 미세한 입자로서 유화되어 있기 때문이라고 설명할수 있으며 아무래도 혼합 과정에서

Table 1. Contents and composition(% , by weight) of dough liquors from a range of flours

Liquor Yield	Soluble Solids	NaCl	Soluble Pentosans	Soluble Sugars	Soluble Protein	Hydrolysate Lipid
<sup>1)</sup> 4.4~18.8	10.1~18.0	2.1~2.6	1.1~2.1	4.1~11.0	2.0~3.4	
<sup>2)</sup> 9.5~20.6	14.5~15.5	2.9	8.1~13.7			
<sup>3)</sup> 19.0	14.0	3.0		7.0	3.4	0.3

<sup>1)</sup> Baker *et al* (1946)

<sup>2)</sup> Mauritzen and Stewart (1965)

<sup>3)</sup> MacRitchie (1976)

이루어 진다. 또한 적정혼합보다 과혼합에 의하여 액과 반죽의 분리가 가능하였음을 알수 있다(MacRitchie, 1976). 반죽에 아주 얇은 필름을 만들며 이 얇은 필름에 공기가 포집되어 전형적인 기포(foam)의 액상막을 이루게 된다. 반죽의 수분이 혼합시 반죽형성을 위한 매체로 사용 되며, 발효 중에 점점 커지며 영양분을 옮겨 줌으로서 이스트가 이용하게되고, CO<sub>2</sub>도 근본적으로 용해하며 제빵시 다른 역할도 수행한다.

## 2) 반죽의 고형상(Solid Phases)

밀가루의 수분이 계속 증가하면 몇가지의 물리적 특성이 일어나며 그 중에서도 불연속성의 특성이 나타나는데 이는 결합수에 의한다. 약0.3 g/g 밀가루 정도 이상의 자유수가 존재하며 완전히 수분을 분리한 후에는 0.5 g/g 건조무게의 결합수가 결합되어 있다. 지방층, 반죽액, 20~22%의 고상부분인 손상전분, 글루텐층, 전분층 등으로 나눌수 있다(Mauritzen and Stewart, 1965). 전분은 반죽의 거의 50%를 차지한다. 그럼에도 불구하고 전분이 하나의 충전물(filler)로서 설명이 되어졌지 반죽에서의 특성에 대하여서는 별로 설명이 되지 못하였다. 다만 제분시 수분의 이동 때문에 손상전분의 문제가 야기되는 점을 주목 받을 뿐이다.

## 3) 글루텐 단백질 (Gluten Protein)

근본적인 반죽의 특징은 수화된 글루텐 때문이다. 글루텐은 글루테닌(glutenin)과 글리아딘(gliadine)의 혼합물이며 글루타민(glutamine)이 30% 이상 존재하는 물질이다. 글리아딘은 분자량이 100,000 이하의 물질이며 글루테닌은 훨씬 큰 거대분자로 되어 있다. 이들 둘은 두개의 유황기(disulfide)로 연결되어 있다. 글루텐이 액상용질 하에서는 분자량, 전기적 차지에 따라서 영향을 받는다. 분자량만 따진다면 평형상태에서의 형태는 일반적으로 하나가 더 많은 큰 분자를 지니며 이는 중합체의 큰 부피를 이야기한다. 이리하여 다만 성분의 부분적인 분리만 가능하기 때문에 재분획(refractionation)이 요구된다. 분획추출(fractional extraction)은 분획침전(fractional precipitation)보다 효과적이는데, 왜냐하면 작은 분자들의 분해(dissolution)속도가 커서 분획을 잘 되게 하기 때문이다. 반죽의 단백질 복합물질의 완전한 용해가 어려운 이유는 1)상대적으로 적은 수의 이온화 될수 있는 그룹들 때문에 전기적 차이가 다른 단백질에 비하여 열기가 어려우며, 2)대부분의 글루테닌의 분자량이 거대분자이기 때문이다.

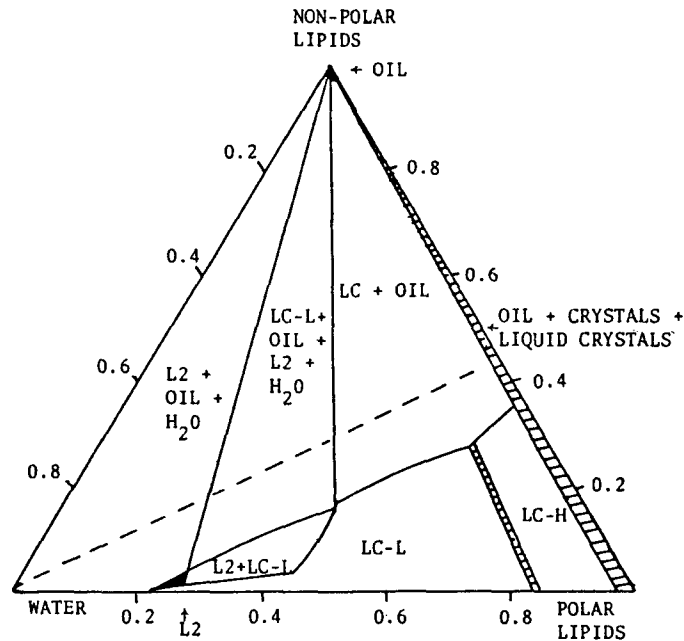


Fig. 1. 극성지방과 비극성지방 두개의 혼합물로서 밀지방에 존재할때의 25°C의 물과의 삼면상(ternary diagram)의 그림. 점선은 전체 추출 지방과 물의 두 물질을 의미한다(Carlson *et al.*, 1978).

LC-H: hexagonal liquid crystalline

LC-L: lamellar liquid crystalline

#### 4) 지방 상(Lipid Phases)

밀가루의 경우 지방은 무게로 2%정도 이지만 20여종 이상의 지방이 존재한다. 지방은 유기용매로 추출이 가능하나 물과 수화가 되면 지방이 결합형태가 되어 아주 적은 부분의 지방만 추출이 가능하며, 마찬가지로 이 밀가루를 건조한 후에는 지방의 분리가 어렵다(Wootton, 1966). 반죽이 발전될 수록 지방의 분리는 어렵다(Daniels *et al.*, 1966). 지방은 수화와 혼합시에 구조적 결합을 하게된다. 밀 지방은 비극성지방(nonpolar lipids: sterol esters, mono-, di-and triglycerides, and fatty acid)과 극성지방(polar lipids: glycolipids and phospholipids)으로 구성되었다. Carlson 등(1978)은 밀가루 극성지방/비극성 지방/물의 삼상(ternary phase)의 diagram을 발표하였다(Fig. 1). 낮은 수분 함량(15% 이하)에서 hexagonal형의 액상결정(liquid crystalline)을 형성하며, 수분이 15%에서 50% 사이에서는 엷은 막의 액상결정(lamellar liquid crystalline)이 형성됨을 시사하였다. 부가하여 liquid-lipid-water phase 소위 말하는 L-2형, oil phase(비극성 지방), 물상(water phase) 등이 diagram에서 많이 존재한다고 하였다. 이는 아마도 반죽의 지방이 액 결정상(liquid crystalline phase)에서의 비극성 지방의 용해에 의하여 결합된 것이며 반면에 친수층(hydrophilic interfaces)을 지닌 엷은 막상(lamellar phase)과 같은 전형적인 조직이 비극성 용매에 대하여 극성지방을 막게 된다. 물론 반죽에서는 물 이외의 다른 성분도 관여한다. 지방의 분산은 글루텐 단백질, 전분입자의 표면 층, 가스구(gas bubble)의 공기/물층 등에 존재한다.

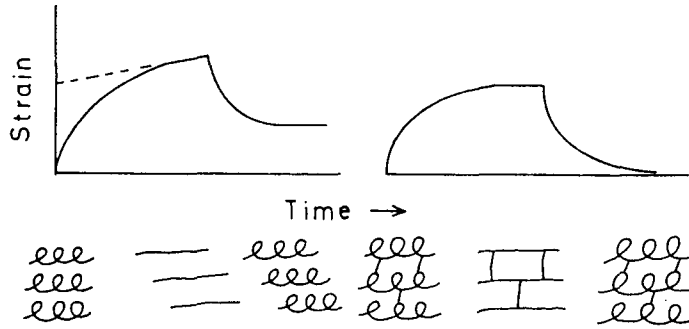


Fig. 2. 비가교 결합 (왼편그림)과 가교결합 (오른편그림) 중합체의 변형과 변형 복구.

## (B) 반죽 물성 (Dough Rheology)

### 1) 근본적인 물성 (Fundamental Rheology).

물성이라 함은 밀가루가 빵으로 되어지는 과정의 각단계의 변환에서 일어난다. 물성이란 압력(stress), 응력(strain), 특별한 부하를 위한 시간(time for particular loading patterns)을 이야기 한다. 보통 압력(stress)이라 함은 변형(creep)이라고도 불리우며 이는 실험대상물질이 갑작스러운 힘에 의하여 압력(stress)을 받아서 그 결과 시간에 따라서 응력(strain)이 나타나는 것이다. 그리고 시간이 지난후 압력(stress)을 없애버리면 응력(strain)의 변화가 오게 되는데 이를 변형복귀(creep recovery)라 부른다. 압력이완(stress relaxation)시 시료는 즉각적으로 응력(strain)을 받고 압력(stress)은 시간의 경과에 따라 연속적으로 측정된다. 탄성고형물(elastic solid)과 완전점성 액상(perfect viscous liquid)과 같은 두가지 서로 다른 개념에서 출발하게 된다. 탄성고형물(elastic solid)의 경우 압력(stress)과 응력(strain)의 비율로 특성을 나타낼 수 있다. 완전 점성액(perfect viscous liquid)의 경우 압력(stress)의 비율과 응력(strain)의 비율이 일정하며 이를 점도(viscosity)라 부른다. 대부분 실제로 이상적으로 움직이지 못하며 두형식이 다같이 나타난다. 첫째로 압력(stress)과 응력(strain)의 비율, 응력(strain)의 비율에 대한 압력(stress)이 아마도 이 압력(stress)의 기능이다. 이를 소위 비직선 양상(nonlinear behavior)라 부른다. 둘째로 어떤 물질의 경우 압력(stress)이 응력(strain)과 응력(stress)의 비율 모두에 관여한다. 이러한 물질은 고형분과 액상 두물질이 서로 섞인 경우이며 점탄성(viscoelasticity)이라 부른다. 반죽의 경우는 양면성을 지닌 물질이기 때문에 비직선 점탄성 물질(nonlinear viscoelastic material)이라 부른다. 그러나 반죽의 경우 수분함량, 혼합시간, 첨가물의 특성, 숙성의 정도에 따라 다르게 나타난다. 그러기 때문에 반죽의 물성을 논한다는 것이 매우 어려운 일이다. 기본적인 물성이라 함은 화학적, 물리학적 구조에 대한 기계적인 특성과의 관계이다.

### 2) 변형복귀(Creep Behavior)

이 경우(Fig. 2) 변형(creep)과 변형복귀(creep recovery)의 특성의 하나는 가교결합(cross linkage)이 되어있고 하나는 그렇지 못하다는 것이다. 비가교결합(uncrossed linked polymer)의 경우 어느 정도의 시간이 경과후에 거의 직선상으로 압력(stress)이 증가하며, 이를 정상상태 점도(steady state viscosity)라 한다. 변형복귀(creep recovery)의 경우 압력(stress)의 탄성(elastic)이 회복된다. 가교

결합 중합체(crossed linked polymer)에 있어서는 시간의 경과에 따라서 응력(strain)이 일정하게 되며, 이 응력(strain)이 압력(stress)을 제거하게 되면 재 회복될 수 있다. 이 경우 우리는 중합체에서 고무적 탄성(rubbery elasticity)이라 부른다. 가교결합된 경우 신장(stretching)의 양이 제한되어 있으며 더 이상의 응력(strain)을 볼 수 없으며 압력(stress)이 크지 않아서 가교결합이 깨어지게 된다(Fig. 2의 오른쪽 그림). 비가교결합 물질의 경우, 꼬이고 말려진 체인이 퍼지며 그 물질들이 다시 체인에 의하여 서로서로 나열된다. 이 경우 정상상태 점도(steady-state viscosity)이며 Fig. 2의 왼쪽 그림이다. 반죽의 경우 비가교 결합된 양상이 된다. 반죽의 글루텐은 더 이상의 가교 결합을 나타낼 수 없다.

### (C) 물리적 반죽 측정 (Physical Dough Testing)

물성적인 측면을 알기 위하여 물리적 구조, 화학적 조성, 각 원료성분의 이해와 어떻게 반죽에 영향을 미치는지를 알수 있어야 한다. 어떠한 밀가루 성분의 양이 반죽의 물성에 영향을 미치는 가도 규명되어야 한다. 그러기 위해서 지금까지 알려진 많은 반죽 물성측정을 위한 기구들의 이해가 선행 되어야한다. 일반적 물성 측정기를 보면, 반죽혼합기의 기록(Recording dough mixers): Farinograph, Mixograph; 적재변형 측정(Load-deformation measures): Extensograph, Alveograph으로 크게 분류가 가능하다. 그러나 이러한 기구들을 이용한다 해도 복잡한 적재양상(loading pattern), 사료의 기하학적인 문제 때문에 우리가 원하는 기본적인 물성의 이해에 뒷받침은 어려운 문제가 많이 있다. 그렇기 때문에 많은 경험적 지식과 이해를 모아서 반죽의 특성을 이해하는 데 쉽게 응용과 도입이 우선되어야 한다.

#### 1) 반죽 발전(Dough Development)

반죽을 혼합할 때 혼합기의 날이나 핀(pin)에 의해서 저항이 생기며 이것이 최대에 도달할 때에 반죽의 최고 발전점(peak development)이 된다. 더욱 혼합이 계속되면 저항은 떨어지게 되며 이 시기를 반죽의 쇠퇴(breakdown)라 한다. 최고발전점(peak development)에 도달된 시점과 반죽의

Table 2. Mixograph peak development times for starch%gluten mixtures of different gliadin/glutenin ratios

Gliadin <sup>b</sup> (%)	Mixing Time (min)
100	0.5
70	2.7
45	4.3
30	8.6
20	12.3
0	<20

<sup>a</sup>Source: MacRitchie (unpublished results)

<sup>b</sup>Gliadin is defined as the supernatant from extraction of gluten with 0.001 M acetic acid. Original gluten contains 40% gliadin.

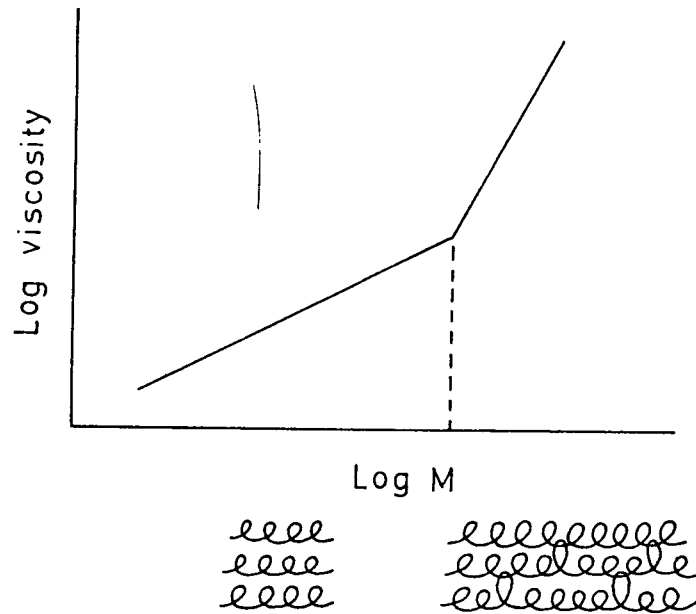


Fig. 3. 분획된 중합체의 log점도와 log분자량.

쇠퇴(breakdown)의 비율이 두개가 혼합시의 중요한 변수가 된다. 또한 반죽에 수분의 결합과 기포의 생성도 중요한 변수가 된다. 이들 변화 이외에 주된 물리적 변화는 밀가루의 글루텐 단백질의 작용에 의하여 연속적인 matrix를 이루어 반죽에 점탄성(viscoelasticity)의 특성을 부여하는 것이다. 반죽시 서로 다른 반죽 발전시의 현미경적 관찰에 의하면 글루텐이 전단(shear)의 작용방향에 따라서 가닥(strands)이나 판(sheet)을 형성한다는 것이다(Moss, 1974). 분자량이 적은 글리아딘(gliadin)은 발전시간을 줄이고 반죽의 쇠퇴(breakdown)를 증가시킨다. 반면에 분자량이 큰 glutenin은 반대의 효과를 보여 주었다(Lee and MacRitchie, 1971; MacRitchie, 1972; MacRitchie, 1973). Mixograph에 의한 반죽의 발전시간을 전분과 여러 비율의 글리아딘과 글루테닌의 결과를 Table II에서 볼 수 있다.

(A) 중합체의 물리적 특성에 미치는 분자량의 영향(Effects of Molecular Weight to Physical Properties of Polymers)

중합체에서 분자량이 증가할 수록 점도와 같은 물성은 증가한다. 점도와 분자량과의 관계는 일반적으로 Fig. 3과 같다. 첫째로 분자량이 증가하면 점도가 증가하며 둘째로 분자량에 따라 근본적으로 변화하는 일정한 분자량 이상에서 특정한 상황이 전개된다. 이 점에서 분자사이에서 나타나는 정상적인 마찰이외의 더 이상의 부과된 흐름의 저항을 받게 된다. 이 저항은 분자체인사이의 증가된 얽힘(entanglement)에 의한다. 이 현상을 얽힘 결합(entanglement coupling)이라 한다. 분자당 두 개나 그 이상의 얽힘(entanglement)이 나타난다면 망상조직(network)을 만들게 된다. 이러한 얽힘(entanglement)이 사슬가지(chain branching)에 영향을 미치게 된다. 이 얽힌 망상구조(entangle-

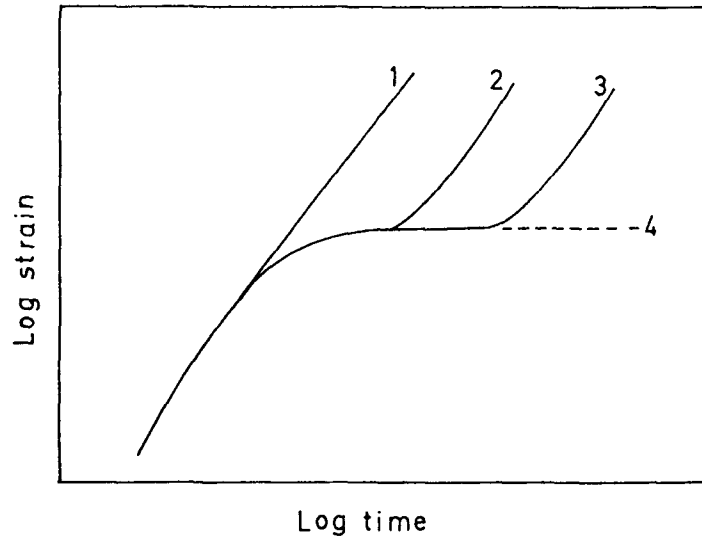


Fig. 4. 중합체의 log압력과 log시간, 선1은 낮은 분자량, 선2는 중간분자량, 선3은 높은 분자량, 선4는 가교 결합된 중합체.

ment network)는 가교결합 망상구조(cross linked network)와 다르며 얽힘(entanglement)위치에서 압력(stress)에 의하여 미끄럼이 나타난다. Fig. 4에서와 같이 중합체의 다른 분자의 무게부분이 변형 양상(creep behavior)을 나타내며 이것을 로그리즘틱 척도(double logarithmic scale)로 나타낸다.

#### (B) 반죽혼합의 응용(Application to Dough Mixing)

반죽이 발전할 때에는 무작위(random)로 되어 있던 분자들이 긴 분자의 뺨어짐에 의하여 더욱 뺨어진 형상으로 된다. 글리아딘만 존재한다면 이렇게 되는데 아주 적은 일이 필요하며 작은 분자량의 것들은 쉽게 서로 지나치게 된다. 정상적인 글루텐의 경우 반죽에 운동성을 주어 수화된 단백질의 집합(aggregate)을 일어나게 하며 혼합기에 있는 날이나 핀에 붙게하여 응집(cohere)성을 나타내고, 더 긴 글루테닌 분자에 장력(tensile)과 전단력(shear force)을 주어서 늘어나게 된다. 그래서 발전의 시간의 길이는 긴 글루테닌 분자의 늘림(stretch)에 요하는 시간과 전단(shear)의 방향으로 정렬 시키는 시간이다(Fig. 4).

#### (C) 반죽 쇠퇴(Dough Breakdown)

혼합에 의하여 글루텐이 연속적인 조직을 갖게될 때 늘어난 글루테닌분자에 의해서 얽힘 망상구조(entanglement network)가 진행되며 혼합시 저항이 증가하게 된다. 동시에 얽힘(entanglement)이 와해되기 시작하며 분자들이 점점 같은 방향으로 배열하게 된다. 어떠한 시점까지 혼합시에 얽힘 망상구조(entanglement network)의 강도가 최고에 도달하며, 이때 반죽의 최고발전(peak development)이 나타난다. 이 이후에 나타나는 현상을 쇠퇴(breakdown)현상이라 하며 두개의 현상이 나타나는데 하나는 가역성(reversible)이며 다른 하나는 이와 반대이다. 첫째 만일 혼합이 멈추어서

반죽이 얼마간 휴식(relax)하였다면 반죽의 강도는 복구된다. 휴식(relaxation)기간 중 늘어난 (extended)체인의 수축(contraction)과 얽힘(entanglement)의 재배열(reformation)이 일어난다. 그러나 과혼합의 경우 혼합기의 기계적인 작동에 의하여 분자의 절단(degradation in shear)이 나타나기 때문에 즉, 영원한 변화가 오기 때문에 쇠퇴의 비율이 증가한다. 절단(degradation)은 분자 체인이 전단력(shear stress)에 의하여 충분히 못 얽히기(disentangle) 때문이다. 그래서 체인의 중간부위에 가장 높은 장력(tension)이 일어나며 바로 그 부분에 영원한 깨어짐이 나타난다 (MacRitchie, 1975).

#### (D) 적재 변형 특성(Load-deformation Behavior)

반죽의 특성은 점성(extensibility)와 탄성(elasticity)의 결합이다. 글리아딘이 점성(extensibility), 글루테닌이 늘어남(extension)에 저항하는 힘을 부여한다(MacRitchie 1972, 1973). 분자량이 작은 글리아딘 분자가 쉽게 유동하게 하며 점성(extensibility)에 요구되는 응집(coherence)을 나타낸다. 강도는 분자가 큰 글루테닌의 쌍에 의한 얽힘(entanglement)에 의하여 나타난다. 얽힘점(entanglement point) 사이에 가지들이 뺏게되면 가지가 복귀하려는 복원력(restroing force)에 의하여 더욱 무작위 배열(random configuration)이 된다. 이것이 바로 반죽의 탄성(elasticity)이 되는 것이다. 반죽에서 비직선 행위(nonlinear behavior)는 Hibberd (1968)에 의하면 첫번째 설명은, 만일 전분 입자가 단백질 가지에 의하여 싸여져 있다면 어떤 것들은 길게 늘어진 상태일 것이고, 어떤 것들은 영성하게 꼬여 있을 것이다. 낮은 응력(strain)하에서는 적재(load)가 짧게 늘어진 가지에 의하여 높은 변형(high modulus)이 되고, 높은 응력(strain)하에서는 이 가지들이 붕괴되어 변형(modulus)이 줄어든다. 두번째 설명은, 단백질 분자의 많은 절가지 사이에 특히 길고 거대분자인 글루테닌의 얽힘(entanglement)에 의한다는 설명이다. 이들 얽힘(entanglement)의 부분에서 강도의 분포 즉, 서로 다른 얽힘(entanglement)이 빠져나가기 위하여 압력(stress)이 요구된다. 매우 낮은 압력(stress)하에서는 얽힘(entanglement)의 미끄럼(slippage)이 불충분하게 되며 구조가 변형(modulus)을 위해 최대의 값으로 가교결합의 양상을 띈다. 압력(stress)이 증가하게 되면 얽힘(entanglement)이 빠져나가서 자유롭게 되며, 변형(modulus)이 감소하게 된다.

#### (E) SH-결합 그룹과 SS-결합 그룹 (Sulfhydryl Groups and Disulfide Bonds)

글루텐 단백질은 티올(thiol)그룹과 disulfide 그룹을 지니고 또한 SH-그룹도 밀가루에 존재한다. 반죽의 경우 아주 적은 양의 환원성 SS-bond(e.g., cysteine 또는 glutathione), SH-결합기가 산화되어 SS-bond로(e.g., potassium bromate), blocking SH-groups(e.g., N-ethylmaleimide)등에 매우 민감하다. 반죽에서는 sulfhydryl-disulfide 교환반응이 일어난다(Jones and Carnegie, 1971; Ewart, 1972; Bloksma, 1975). Glutathione이나 cysteine과 같은 환원제는 반죽을 더욱 빠르게 진행시키며, 연하게 하고 또한 반죽에서 쇠퇴(breakdown)가 증가하게 하는데 이는 SS-결합의 분자들을 잘라서 분자량의 분포를 더 작은 분자량으로 되게한다. 산화제나 SH-blocking agents는 잘 설명되지 못하나 반죽을 단단하게 해주며 반죽의 쇠퇴(breakdown)를 증가시킨다. Bloksma(1975)에 의하면 반죽을 단단하게



해주는 것은 증가된 SS-bond에 의한 것이나 SH-group의 제거에 의한 것이 아니라고 설명하였다. Potassium iodate와 glutaraldehyde를 비교해 보면 두 경우 다 반죽을 단단하게 하나, glutaraldehyde는 반죽의 쇠퇴(breakdown)를 감소시키는 반면 potassium iodate는 증가시키는 결과를 나타내었다(MacRitchie, 1975). 이 경우 glutaraldehyde는 매우 강한 covalent cross-links를 가지는 반면 iodate는 더욱 불안정한 SS-결합을 생성하기 때문이며 결과적으로 전단 감소(shear degradation)에 의하여 분자가 잘 잘라진다.

## II. 제빵 특성(Baking Behavior)

제빵적성이란 밀가루의 근본적인 특성을 이야기 한다. 그러나 실제로 좋은 제빵적성이란 무엇인가를 정의 내리기는 매우 어렵지만 높은 수분 흡습성, 좋은 내부조직, 좋은 반죽처리, 제빵후의 좋은 체적, 빵외부의 색깔 등을 이야기 할 수 있다. 매우 복잡한 반응이 제빵시에 일어나며, 이는 밀가루의 복잡한 화학조성, 그리고 아주 복잡한 물리적, 생화학적 반응이 제빵시에 일어나기 때문에 근본적인 변수를 찾아내는 것은 매우 어렵다.

### (A) 제빵시의 물리적 과정(Physical Process in Baking)

#### 1) 가스세포의 기원과 구조(Origin and Structure of Gas Cells)

제빵공정은 실제 반죽의 혼합에서 시작이 된다. 빵의 가스세포(gas cell) 구조는 반죽의 공정에서 결정이 되며, 또한 punching(가스빼기)이나 molding(성형), proofing(2차 발효)에서도 관계가 된다. gas cell은 반죽혼합의 말기단계에서 반죽이 최고로 발전(peak development)이 되었을 때 반죽치기(beat)에 의하여 궁극적인 조직을 지닌다. 이 기간동안 반죽의 밀도는 1.25에서 1.15나 혹은 더 이하로 떨어지게 된다. 이것은 반죽의 10% 가까이가 반죽이 발전함에 따라서 가스로 채워지게 된다는 것이다. 가스세포가 혼합도중에 분포되지만 그 이후에는 새로운 세포가 형성되지 못한다. 존재하는 가스세포 즉 CO<sub>2</sub>가 핵으로서 존재하여 확산된다. 대부분의 가스세포의 크기는 50 μm이었다. 반죽의 cm<sup>3</sup>당 평균 표면넓이는 41 cm<sup>2</sup>였다(Carlson and Bohlin, 1978).

#### 2) 2차 발효시의 변화(Changes Occurring During Proofing)

발효기간 동안 이스트 자체에 의하여 생성된 CO<sub>2</sub>는 반죽의 액상과 가스세포 사이에 분포하게 된다. Hibberd와 Parker(1976)에 의하면 일정한 부피를 유지시킨 경우 요구되는 외부 압력은  $1.44 \times 10^{-3}$  g/atm/g의 반죽(27°C)이었다. 여기에 따른 반죽의 평형 부피는 0.81 ml/g의 반죽이었다. 2차발효(proofing)시의 매우 중요한 시기는 성형(molding)이며, 이때 형상이 이루어지기 이전에 로올러사이에 큰 압력을 받게 된다. Baker와 Maize(1941)에 의하면 성형시에 새로운 가스세포가 생성되지 못하나, 먼저 생성된 가스세포의 수가 매우 증가하게 됨을 알았다. 이리하여 아주 좁은 가스의 분포가 이루어진다. 이때에 CO<sub>2</sub>가스의 용해성이 매우 중요하게 작용하여 압력이 줄어들게 되면 녹아 들어간 CO<sub>2</sub> 가스가 기공사이에 들어가게 된다. 다른 물리적인 중요한 문제는 반죽의 pH이다. pH 5

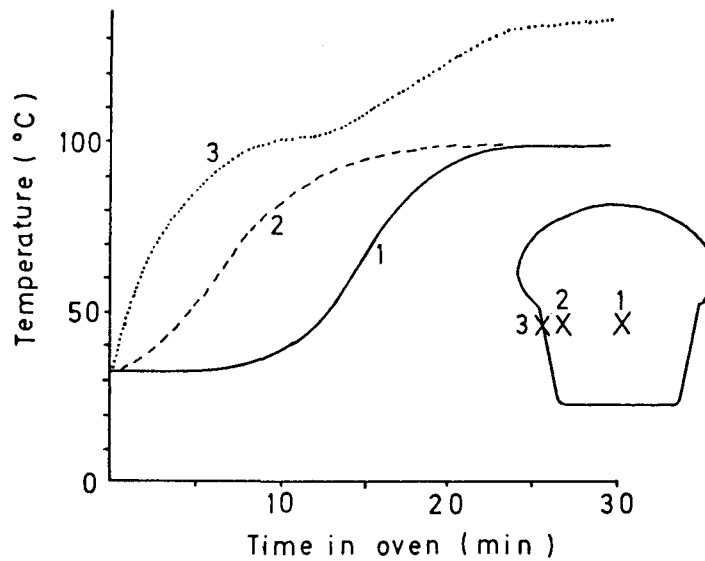


Fig. 5. 반죽(760 g)으로 부터 235°C 로 구울때의 온도-시간의 측정(실제 680 g의 빵이 얻어짐) (Marston and Wannan, 1976).

부근에서 빵의 체적이 가장 커짐을 알수 있었는데, 이는 발효시에 반죽의 pH가 일반적으로 pH 5.0~5.5의 경우에 큰 부피와 빵의 더욱 작은 기포조직, 더 나은 빵의 내부색(crumb color) 을 나타내었다 (Bailey and Johnson, 1924; Clark, 1924).

발효 반죽의 전기 화학적(electrochemistry)인 면은 더욱 복잡하다. 아마도 pH에 크게 영향을 미치는 것이 단백질이며, 이들의 많은 이온집단들이 높은 완충력을 보여주기 때문이다. pH의 경우 매우 어려운 문제점이 있는데 이는 반죽의 경우 반죽액상으로 하여 pH를 측정하여야 하기 때문에 범위가 매우 크다. 또한 안정된 필름형태의 작용을 하는 가스 구(bubble)의 표면이 오히려 적절한 pH측정의 장소가 될 것이다. 가스 세포가 늘어날 때에 그들을 둘러싸고 있는 액상의 막의 두께는 감소한다. 중간층(interface)과 액상의 얇은층 사이의 평형은 계속하여 순조롭지 못하게 되어 더욱 흡수가 진행된다.

### 3) 오븐에서의 변화(Changes Occurring In Oven)

오븐에서의 변화는 매우 많은 연구자들의 관심의 대상이 되었다(Elton and Fisher, 1966; Marston and Wannan, 1976; Daniel and Fisher, 1976; Baker, 1939, Baker and Mize, 1939). 오븐에서의 최초의 몇분이 빵의 최종제품의 결정에 매우 큰 영향을 미친다. 이 기간사이에 빵의 체적변화가 가장 크다. 온도의 상승에 기인하여 가스세포의 압력이 증가하며, 이스트가 60°C 가 되면 불활성화가 되는데 이 온도에 도달하기 전까지 이스트가 빠른 CO<sub>2</sub>생성을 하게된다. 온도의 증가에 따라서 CO<sub>2</sub>의 용해성이 감소하며 이들 중 일부는 가스세포로 가게 된다. 반죽의 열전도율이 낮기 때문에 시초에 이 온도하에서는 서서히 팽창이 나타나며 팽창의 대부분이 이렇게 상대적으로 낮은 온도에서 나타나는데 이를 "oven spring"이라 한다. 온도와 시간을 측정한 빵의 서로 다른점에서 측정을 Fig. 5와

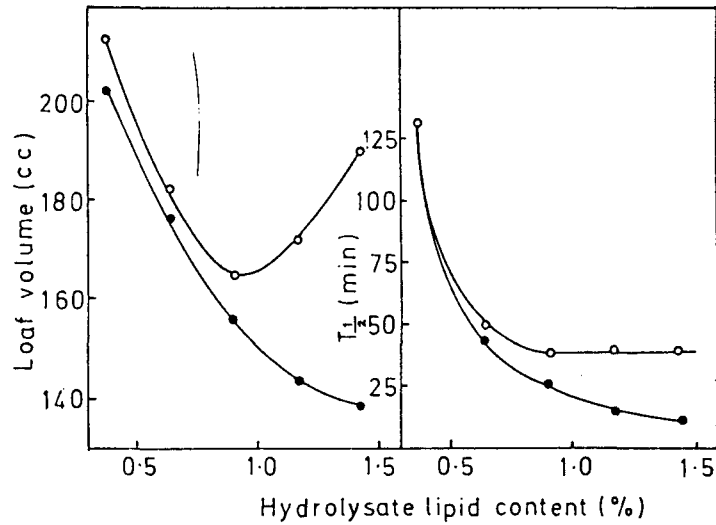


Fig. 6. (왼편 그림) 가수분해된 지방이 밀가루에 함유된 경우 지방의 역할로서적; (o) 20분 발효후 재성형과정을 한 경우, (●) 재성형 과정을 하지 않은 경우. 제빵은 30.2 g의 건조 밀가루를 사용하였다.  
(오른편 그림) 가수분해된 지방이 밀가루에 함유된 경우 반죽의 액상의 기포 반감기( $T_{1/2}$ ); (o) 불용성 지방을 제거한 경우; (●) 불용성 지방을 제거하지 않은 경우(MacRitchie, 1976)

같이 한 경우 표면으로부터 3 mm 정도 지점에서 초기의 지연(lag)이 나타나며, 85°C 까지 급상승을 나타내며 이 이후부터 수분의 끓는점까지 증가는 감소되어 점근선으로 표현된다. 제빵(Baking)과 냉각시에 수분의 10~12%를 증발에 의하여 소실한다. 대부분의 이러한 현상은 껍질부분(crust)에서도 바깥부분에서 일어나며 내부(crumb)의 수분함량은 실제로 일정한 수준을 유지한다. 빵내부 조직의 단단한 정도는 굽기의 과정에서 나타난 것이지 건조에 의하여 생성된 것은 아니다. 주된 과정은 전분의 호화와 용융과정이 60°C 에서 시작이 되어 70°C 에서 진전이된다. 호화과정 중 수분이 글루텐에서 전분으로 이동이 되게 된다. 제한된 수분의 량 때문에 완전한 전분의 호화가 일어나지 못하며 팽윤이 완전하지 못하고 입자의 깨어짐도 완전하지 못하다. 적합하지 않은 밀가루를 사용하여 제조된 빵의 경우 반죽의 제조시에 문제점이 발견되지만 오븐에서 아주 조금 또는 거의 팽창이 되지 못한다. 그 이유는 반죽에서 압력이 떨어지거나 적절한 오븐 스프링이 일어나기 전에 CO<sub>2</sub>의 유출이 있기 때문이다. 조직이 형성되고 빵이 제자신의 모형으로 세워질 수 있게 된 이후에도 몇가지 과정의 변화가 나타난다. 알코올 휘발이 용융점보다 높은 온도에서 나타나는데 이는 특별히 중요한 과정은 아니다. 빵의 탄력은 계속하여 증가하게 되며 굽기의 거의 마지막 단계에서 최대가 된다. 빵 껍질의 색깔은 갈변화 반응(Maillard)에 의하여 생성되며 이 반응은 160°C 이상에서 급격히 진행된다.

(B) 제빵특성에 영향을 미치는 요인들(Factors Influencing Baking Performance).

많은 물리적, 화학적, 생화학적 변화가 제빵시에 일어난다. 많은 요인들이 제빵시의 결함으로

알려져 있다. 즉 부적당 량의 가수, 잘못된 혼합시간, 낮은 단백질 함량, 적은 손상전분의 양이나 발효가능한 당의 불충분함 때문에 제한된 가스 생성과 같은 결함이 있다. 상업적 제빵시에 반죽의 발전이 길거나 느리게되면 작업의 조정에 매우 큰 어려움이 따른다. 제빵특성의 점검은 Finney(1943)가 가장 먼저 도전하였다. 가장 객관적인 측정 방법은 빵의 체적이다. 이 방법이 가장 적절한 방법은 아니나 가장 간단하고 일반적으로 체적은 조직, 입자, 빵내부와 외부의 색과 높은 연관성을 나타내었기 때문에 이것은 단일 검사 지표로 아직도 유용하게 이용한다.

#### 1) 반죽 물성(Dough Rheology)

제빵 적성이 좋은 반죽의 적당한 물성적 특성은 매우 중요하다. 특히 반죽은 점탄성(viscoelasticity)이 중요한 관건이 된다. 끈적끈적한(viscous)한 혼합물의 특성은 빵 반죽에서의 가스세포의 큰 팽창에 매우 중요하며 반면에 탄성(elasticity)인 혼합물은 반죽에 강도를 주어서 주저앉는 것을 방지한다. 이상적인 점탄성(viscoelasticity)의 균형은 반죽이 최고의 발전된 점에서 볼 수 있다. 덜 발전된 반죽의 경우 끈적끈적(viscous)한 혼합물이 적어서 펼침성(extensibility)이 떨어지며 반면에 대체로 과반죽된 경우는 과잉의 점도(viscosity)와 낮은 탄성(elasticity)에 의한 반죽이 질어진다. 이러한 연유에 의하여 반죽의 물리적 실험을 다루는 기구들이 많이 등장하게 되어서 이를 근거로 하여 제빵 특성을 유추하게 된다. 이러한에도 불구하고 반죽의 실험과 제빵 특성과의 사이의 연관성을 살펴보면 통계적으로 낮은 상관 값을 나타내었다(Bloksma, 1972; Muller, 1975). 반죽의 발효된 반죽(Matsumoto *et al.* 1975)과 높은 온도에서의 반죽(Bloksma and Nieman, 1975)의 경우에는 좀더 나은 상관관계를 나타내었다. 하여튼 반죽의 적절한 물성특성이 제빵의 적절한 품질측정의 지표가 되기에는 한도가 있음을 알 수 있다.

#### 2) 반죽의 가스 세포 구조(Gas Cell Structure of Dough)

No-time dough(mechanical development)공정에서는 빠른 속도의 혼합과 오랜 발효공정의 punching과 성형의 공정에서 적절한 가스세포의 구조를 갖게 된다. MacRitchie(1976a)의 실험결과에 의하면(Fig. 6), 20분 발효후의 성형단계를 뺀 경우와 넣은경우의 가스세포의 구조와 체적을 본 것이다. 이 경우 추출될 수 있는 지방함량은 조절에 의하여 비교 검토하였다. 이 경우 지방이 없는 경우 적은량의 경우는 유사한 결과를 볼 수 있었으나, 높은 지방함유의 경우 큰 차이가 남을 알 수 있었다. 혼합과 성형후의 현미경적 관찰에 의하면 탈지반죽의 경우에도 가스구가 작고 상당히 일정한 크기로 분포되어 있음을 보았다. 이들 반죽으로 제빵후 본 결과 좋은 조직과 큰 체적을 지니고 있음을 알 수 있었다. 지방함량이 늘어갈수록 가스구의 조직은 점점 거칠어 지고 크기는 서로 다른 크기의 불균형의 형태로 존재하였다. 이들 반죽들의 이차발효(proofing)시에 큰 가스구가 형성되어 반죽의 위의 부분이 깨어졌다. 시초 발효가 끝나고 두번째 성형후의 반죽을 검사한 결과 중간정도의 지방을 지닌 반죽의 경우 가스구의 질의 저하는 더 이상 없었으며 그 이후는 지방의 함량이 증가함에 따라서 개선이 되었다. 그래서 제빵 특성은 최후의 성형이후 공정후에 나타나는 가스세포에 직접적으로 연관된다. 제빵에서 큰체적과 좋은 조직을 갖는 것은 기포(bubble)의 수가 많고 작으며 균일할 필요성이 있다. 기포에서 구부러진 표면에서의 과잉의 압력이 있다.  $2\gamma/r$ , 여기에서  $\gamma$ 는

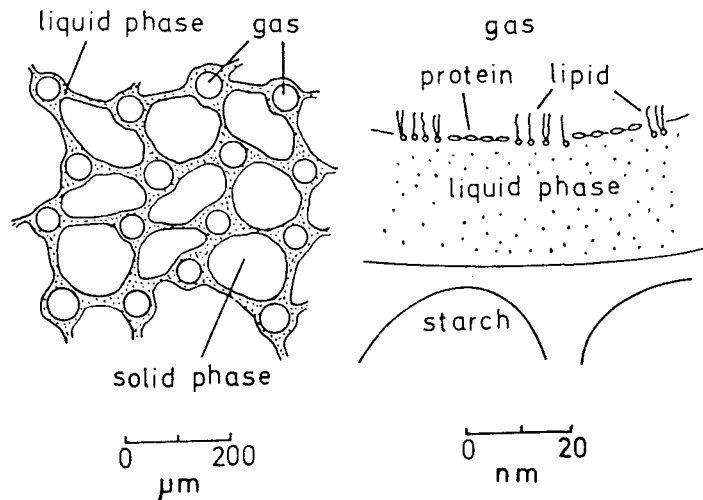


Fig. 7. 반죽의 구조를 배울을 작게 한 경우(왼편그림)와 배울을 크게한 경우(오른편 그림)에서 보여주는 가스세포의 경우, 연속적인 액상과 가스/액상의 가운데 안정된 단층에 의하여 구성되어 있는 도식.

표면장력이며  $r$ 은 기포의 지름이다. 기포가 작으면 작을 수록 더 큰 압력을 가지게 된다.  $1\ \mu\text{m}$ 지름의 경우 표면장력은  $25\ \text{mNm}^{-1}$ 이며 약  $1\ \text{atm}$ 이었다. 반죽에서 기포의 경우 크기가 이보다 더크며 그래서 서로 다른 압력에 의하여 더욱 작은 구에서 큰 기포로 방산이 되며 조직의 질적 저하가 오게 된다. 가스세포 구조의 성질을 결정하는 요인들은 기포형성과 유화에 관여한다. 액상의 출현은 기포와의 상호작용에 필수적이며 기포 표면의 안정성을 높이기 위하여 표면장력제를 사용할 필요가 있다. 자연적인 밀가루의 단백질과 지방성분 혼합물이 반죽 가스 세포의 안정제로 작용한다. 기포의 표면이 빛나는 경우 좋은 빵이 되고 덜 발전되고 불충분하게 산화된 반죽의 기포는 매끄럽지 못한 표면을 가짐을 알수 있었다. 아주 많이 팽창된 빵 반죽의 구조에서 살펴본 결과 가늘고 평평한 부분이 나타남을 알수 있었다. 구들은 글루텐의 막으로 된 film으로 덮여 있으며 전분은 표면사이에 요오드 반응으로 본 결과 깨어진 곳이나 손상을 입은 곳에서만 관찰이 되었다. 이러한 도식은 Fig. 7 과 같다.

### (C) 밀가루 성분의 역할(Role of Flour Components)

#### 1) 단백질

빵의 체적과 단백질 함량과의 관계는 단백질 함량이 8~18% 사이인 경우 거의 직선상의 관계를 나타내었으나 그 기울기는 품종에 따라서 각기 달랐다(Finney and Balmore, 1948; Finney 1943; Fifield *et al*, 1950). 빵체적의 변화는 1% 단백질의 증감에 따라서 100 g 밀가루로 제빵을 한 경우 40~75 ml 정도의 차이가 있었다. 이들의 결론에 따르면 빵의 체적은 밀가루 단백질 함량에 직 선적으로 관계되며, 또한 체적은 밀의 종류에 따라 서로 다른 양상으로 표현되기 때문에 질적인 차이와도 유관하다는 것이다.

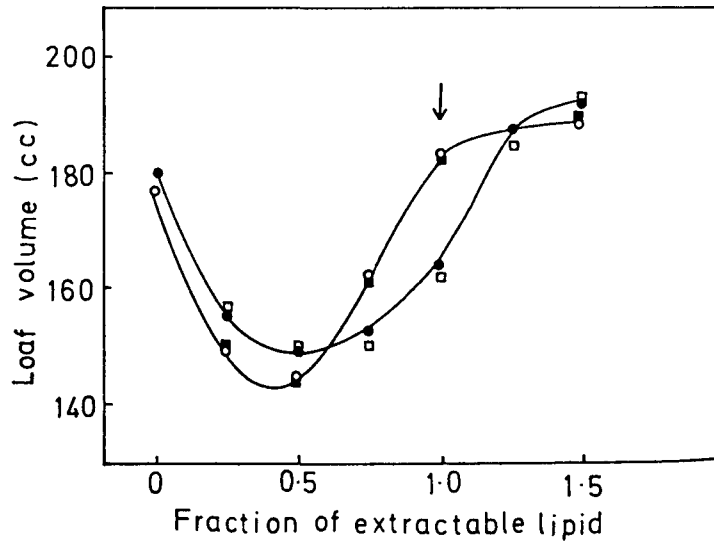


Fig. 8. 양호한 제빵용 밀가루(A)와 저질의 밀가루(B)의 지방함량과 체적의 비교  
 밀가루 자신의 지방을 재 복합한 경우  
 (○) defatted flour A+A lipid; (●) defatted flour B+B lipid 밀가루에서 서로의 지방을 서로 교환한 경우  
 (■) defatted flour A+B lipid; (□) defatted flour B+A lipid  
 화살표는 밀가루의 원래 지방 함량 (MacRitchie, 1978)

## 2) 지방

단백질을 제거하고 제조한 빵의 경우 제빵이 불가능하나 지방을 제거하고 제조한 빵은 조직과 체적이 최소한 유지되며 많은 경우는 증가한다. 그럼에도 불구하고 밀가루에 존재하는 지방의 종류와 양이 제빵에 큰 영향을 미친다. 이것은 Fig. 8에서 보는 바와 같이 체적과 지방의 함량은 색다른 관계를 나타낸다. 탈지한 밀가루에 지방을 다시 가한 후에는 체적과 조직이 나빠지며, 지방의 함량이 탈지하지 않은 밀가루와 탈지한 밀가루에서 중간정도의 경우는 오히려 좋아지는 경향을 나타내었다(MacRitchie and Gras, 1973). 전체 지방중 약 1/4이 전분에 존재하며 이 지방은 일반적인 지방 추출에 의하여 추출이 불가능하며 그래서 제빵에 크게 중요하다고 보여지지 않는다. Polar galactolipid와 phospholipid등은 제빵에 이점이 있는 반면 nonpolar lipid는 탈지 밀가루에 첨가 하였을 때 제빵시 체적과 조직에 나쁜 영향을 준다(Daftary *et al.*, 1968; MacRitchie, 1977). Nonpolar lipid의 제빵시 나쁜 영향을 주는 것은 free fatty acid 때문이다. 불포화 linoleic acid는 palmitic acid보다 제빵시 더욱 나쁜 결과를 초래 하였다(De Stefanis and Ponte, 1976). 지방은 반죽의 가스세포의 형성과 안전성에 영향을 미친다. phospholipid와 galactolipid는 특히 단백질이 존재할 때에 양호한 거품형성능이 있다. 하여튼 phospholipid의 경우 이온화 현상 때문에 전기적 차지가 아마도 더욱 중요한 것 같다. Nonpolar lipid중에서 triglyceride의 경우는 높은 표면력을 지니지 못한다. Fatty acid의 경우는 표면력이 있어서 아마도 비거품성(antifoaming)으로 작용한다. 좋은 거품성을 지니는 물질은 일반적으로 공기/물의 사이에서 강하게 흡수되어 찌그러 뜨리지 못하는

단면(monolayer)을 지니게 된다. 비거품성의 물질은 그들의 흡습된 단면층(monolayer)을 높은 압력에 의하여 쉽게 탈습(desorption)한다. 불포화 fatty acids의 경우는 팽창된 단면층(monolayer)을 갖게하며, 반면에 포화 fatty acids는 압축된 단면층(monolayer)을 가지게 된다. 제빵시 쇼트닝의 첨가에 의하여 체적이나 조직의 향상은 antifoaming agents의 용해에 기인하여 가스세포의 안정성이 야기되기 때문이다. 두가지의 근본적인 결과가 유추되는데, 첫째, 일정한 가스세포의 크기와 많은수의 가스세포가 좋은 제빵적성을 지니며, 둘째, 흡습된 film이 가스구의 안전성에 영향을 미쳐 팽창에 관여하며 가스 구는 힘을 받아도 깨어지지 않게 된다.

## VII. 참고문헌

1. Bailey, C.H., and Johnson, A.H. 1924. Studies on wheat flour grades. IV. Changes in hydrogen-ion concentration and electrolytic resistance of water extracts of natural and chlorine treated flour in storage. *Cereal Chem.* 1: 133-137.
2. Baker, J.C. 1939. A method and apparatus for testing doughs. *Cereal Chem.* 16: 513-517.
3. Baker, J.C., and Mize, M.D. 1939. Effect of temperature on dough properties. I. *Cereal Chem.* 16: 517-533.
4. Baker, J.C., and Mize, M.D. 1941. The origin of the gas cell in bread dough. *Cereal Chem.* 18: 19-34.
5. Baker, J.C., Parker, H.K., and Mize, M.D. (1946) Supercentrifugates from dough. *Cereal Chem.* 23: 30-38.
6. Bloksma, A.H. 1972. Flour composition, dough rheology and baking quality. *Cereal Sci. Today* 17: 380-386.
7. Bloksma, A.H. 1975. Thiol and disulfide groups in dough rheology. *Cereal Sci. Today* 17: 380-386.
8. Bloksma, A.H., and Nieman, W. 1975. The effect of temperature on some rheological properties of wheat flour doughs. *J. Texture Studies* 6: 343-361.
9. Carlson, T., and Bohlin, L. 1978. Free surface energy in the elasticity of wheat flour dough. *Cereal Chem.* 55: 539-543.
10. Clark, R.J. 1924. Bread troubles in the light of hydrogen-ion concentration. *Cereal Chem.* 1: 161-167.
11. Daftary, J.B., Pomeranz, Y., Shogren, M., and Finney, K.F. 1968. Functional breadmaking properties of lipids. II. The role of flour lipid fractions in bread making. *Food Technol.* 22: 327-330.
12. Daniels, N.W.R., and Fisher, N. 1976. Release of carbon dioxide from dough baking. *J. Sci. Food Agr.* 27: 351-357.
13. Daniels, N.W.R., Richmond, J.W., Russel E.P.W., and Coppock, J.B.M. 1966. Lipids of flour. III. Lipid binding in bread making. *J. Sci. Food Agr.* 17: 20-29.
14. De Staffnis, V.A., and Ponte, J.G. 1976. Studies on the bread making properties of wheat flour nonpolar lipids. *Cereal Chem.* 53: 636-642.
15. Elton, G.A.H., and Fisher, N. 1966. A technique for the study of the baking process and its application to the effect of fat on baking dough. *J. Sci. Food Agr.* 17: 250-254.
16. Ewart, J.A.D. 1972. A modified hypothesis for the structure and rheology of glutenins. *J. Sic. Food Agr.* 23: 687-699.
17. Hibberd, G.E. 1968. Dynamic viscoelastic behavior of wheat flour dough. *Cereal Sci. Today* 13: 138-139, 156.

18. Finney, K.F. 1943. Fractionating and reconstituting techniques as tool in wheat flour research. *Cereal Chem.* 20: 381-396.
19. Finney, K.F. and Balmore, M.A. 1948. Loaf volume and protein content of hard winter and spring wheats. *Cereal Chem.* 25: 291-311.
20. Hibberd, G.E., Parker, N.S. 1976. Gas pressure-volume-time relationships in fermenting doughs. I. Rate of production and solubility of carbon dioxide in dough. *Cereal Chem.* 53: 338-346.
21. Jones, I.K., and Carnegie, P.R. 1971. Binding of Oxidized glutathione to dough proteins and a new explanation involving thiol-disulfide exchange of the physical properties of dough. *J. Sci. Food Agr.* 22: 358-364.
22. Lee, J.W., and MacRitchie, F. 1971 The effect of gluten protein fractions on dough properties. *Cereal Chem.* 48: 620-625;
23. MacRitchie, F. 1972. The fractionation and properties of gluten proteins. *J. Macromol. Sci.* A6: 823-829.
24. MacRitchie, F. 1973. Conversion of weak flour to a strong one by increasing of its high molecular weight gluten protein. *J. Sci. Food Agr.* 24: 1325-1329.
25. MacRitchie, F. 1975. Mechanical degradation of gluten proteins during high speed mixing of doughs. *J. Polymer Sci. Symposium No.* 49: 85-90.
26. MacRitchie, F. 1976. The liquid phase of dough and its role in baking. *Cereal Chem.* 53: 318-326.
27. MacRitchie, F. 1977. Flour lipids and their effects in baking. *J. Sci. Food Agr.* 28: 53-58.
28. MacRitchie, F., and Gras, P.W. 1973. The role of flour lipids in baking. *Cereal Chem.* 53: 318-326.
29. Marston, P.E., and Wannan, T.L. 1976. Bread baking: the transformation from dough to bread. *Baker's Digest.* 50: 24-28,49
30. Matsumoto, H., Nishiyama, J., Mita, T. and Kuninori, T. 1975. Rheology of fermenting dough. *Cereal Chem.* 52: 82r-88r
31. Mauritzen, C.M., and Stewart, P.R. 1965. The ultracentrifugation of doughs made from wheat flour. *Aust. J. Biol. Sci.* 18: 173-189.
32. Moss, R. 1974. Dough microstructure as affected by the addition of cysteine, potassium bromate, and ascorbic acid. *Cereal Sci. Today.* 19: 557-561.
33. Muller, H.G. 1975. Rheology and the conventional bread and biscuit-making process. *Cereal Chem.* 52: 89r-105r
34. Wootton, M. 1966. Binding and extractibility of wheat flour lipids after dough formation. *J. Sci. Food Agr.* 17: 297-301.