



Dough development에 의한 製빵 工程의 비교

金 成 坤

<韓國科學技術研究所>

빵은 밀가루에 여러가지 원료와 물을 가하여 팽창시킨 것을 굽거나 찌서 만든 것이라 할 수 있으며 팽창은 주로 효모에 의해 이루어진다. 제빵의 기본과정은 ① 원료의 혼합으로부터 dough의 형성 및 dough development, ② 발효 및 ③ 발효된 dough를 굽는 3단계로 볼 수 있다. 제빵인의 입장에서 볼 때 제빵의 궁극적 목적은 발효과정중 효모에 의해 생산되는 가스(CO₂)를 최대한 수용할 수 있고 또 최대한의 빵의 부피를 줄 수 있도록 dough development를 조정하는데 있다고 하겠다.

빵의 제조방법은 크게 다음의 두 가지로 나눌 수 있다.

1. Dough development를 효모의 bulk fermentation에 의존하는 방법

- ① Straight dough procedure
- ② Sponge and dough procedure

2. Dough development를 기계적 또는 화학적인 방법에 의존하는 방법

- ① Continuous baking method
- ② No-time dough (또는 chamental-dough development)

그러면 위의 여러가지 제빵 방법이 공통적

으로 추구하는 dough development란 무엇이며 또 어떻게 이루어지는가를 먼저 살펴 보기로 한다. Dough development에는 여러가지 요인이 중요한데 편의상 밀가루-물의 간단한 system에 국한하여 설명하고자 한다.

밀가루는 전분, 단백질(주로글루텐) 및 지질이 주성분을 이루는데 이들의 상호관계는 Fig. 1과 같다.¹⁾ 이 표에서 보는 바와같이 밀가루에는 이들 주성분외에 일련의 중간화합물

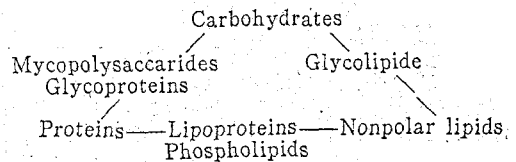


Fig. 1 Relationship between components of wheat flour

(transitional compounds)이 존재하며 이들은 각 성분 사이의 물리적 및 화학적 결합을 가능케 한다. 예를 들면 glycolipids의 sugar moistics는 지질-탄수화물의 결합을 가능케 한다.

따라서 밀가루에 물을 가하여 dough를 만들 때 밀가루의 성분사이에 상당히 복잡한 반

1) Wall, G.S.: *Cereal Sci Today*, 16, 412 (1971)

응이 일어나리라는 것은 쉽게 짐작할 수 있다. 밀가루에 물을 가하는 순간 밀가루의 수화 현상이 일어나게 되며 또한 밀가루의 성분 사이에 결합이 일어나게 되는데 특히 지질-단백질의 불가역적 결합은 단백질 matrix의 구조에 변화를 가져오게 된다.²⁾ 또 전분-지질 및 전분-단백질의 결합도 가능하다.

Dough mixing 과정중 일어나는 이상의 복잡한 반응중에서 특히 단백질의 구조 변화는 dough가 발효과정에서 효모에 의해 생산되는 가스를 수용하는 능력과 밀접한 관계가 있다. 따라서 밀가루에 물을 가해 혼합할 때 밀가루의 입자들이 수화되고 용해될 때 가스를 수용할 수 있게끔 dough의 구조를 알맞게 조정하는게 중요하게 된다.³⁾ 이것이 dough mixing의 목적으로서 dough가 가스를 수용하는 능력은 일반적으로 gluten network의 독특한 viscoelastic 성질에 기인한다고 보고 있다.⁴⁾ 따라서 dough development란 결국 gluten network의 형성과정이라 할 수 있다.

단백질은 밀가루에 여러가지 크기로 존재하며 전단단백질의 약 30%는 0.01~0.05N acetic acid에 불용성이다. 이 불용성 단백질은 주로 큰단백질입자(aggregates)로 구성되어 있다.⁴⁾ 따라서 gluten network을 형성하기 위해서는 이들 입자들이 분리되어야 하는데 이는 mixer의 기계적인 작용에 의해 이루어질 수 있다.

Dough development 과정을 단백질의 aggregates의 관점에서 열역학적으로 고찰해보면²⁾ 밀가루-물의 system에서는 수화 및 밀가루 성분간의 결합은 activation energy가 높지 않으므로 별다른 기계적인 일(mechanical

work), 즉 에너지 공급 없이도 crude dough가 형성된다. 이때 단백질은 random aggregates 상태로 존재한다. 이를 underdeveloped dough라 한다. Dough development가 계속될수록 점점 에너지가 필요하게 되는데 이는 random aggregates에서 critical aggregates에 이르기까지 activation energy가 높기 때문이다. 이 critical aggregates는 단백질이 최적의 viscoelastic 성질을 가질 수 있는 상태다. 다시 말하면 최대의 가스를 수용할 수 있는 최적의 상태로 이에 이른 dough를 optimum dough라 한다. Dough의 critical aggregates는 소위 metastable상태로서 이 이상 mixing이 계속되면 수소결합 및 hydrophobic결합이 집중적으로 파괴되어 critical aggregates의 붕괴가 일어나는데 이를 ruptured aggregates의 상태라 하며 (overdeveloped dough) ruptured aggregates가 지나치게 증가하게 되면 결국에는 gluten network가 완전히 파괴되게 된다.⁵⁾

그러나 실제로 dough는 여러 에너지 상태의 혼합체로 존재하게 된다. 예를 들면 optimum dough는 random, critical 및 ruptured aggregates를 모두 포함하지만 이들의 구성비로 볼 때 critical aggregates가 대부분을 차지하게 된다.

Dough가 critical aggregates의 상태에 도달했을 때 이 dough는 optimum consistency를 갖는다고 한다. Dough가 이 optimum consistency에 도달하는데 요하는 시간은 mixing time이라고 한다. mixing time은 밀가루의 종류 및 mixer에 따라 결정된다.

mixing time과 일(work)과의 관계는 다음과 같다.⁶⁾

$$w = T \times E \times R$$

5) Hlynka, I.: *Baker's Digest*, 44(2), 40(1970).

6) Hosney, R.C. and Finney, P.L.: *Baker's Digest*, 48(1), 22(1974).

2) Greene, F.C.: *Baker's Digest*, 49(3), 16(1975)

3) Bushuk, W., Tsen, C.C. and Hlynka, I.: *Baker's Digest*, 42(4), 36(1968).

4) Tsen, C.C.: *Baker's Digest*, 47(5), 44(1973).

w=work input

T=mixing time

E=efficiency tator for the mixer

R=speed of the mixer

즉 만일 E의 값이 R에 관계없이 일정하다면 optimum consistency를 얻기 위해 필요한 일은 mixing time 및 mixer의 속도와 직접적인 관계가 있게 된다. 그러나 만일 우리가 일정한 mixer를 일정한 속도로 사용한다면 E와 R은 항수가 되므로 결국 work input는 mixing time과 직접적으로 관계가 있게 된다.

Dough의 optimum consistency를 얻기 위해 필요한 work는 또 밀가루마다 다르게 된다. 그러던 왜 밀가루마다 mixing time이 다른가 여기에 대해서는 많은 연구가 되어 왔으나 정확한 답이 없는 실정이며, 일반적으로 유전적 및 환경적인 요인에 의해 밀가루의 mixing time이 좌우된다고 보고 있다.⁶⁾ 일반적으로 밀가루의 단백질 함량이 높을수록 mixing time이 증가한다고 믿고 있으나 항상 그런 것은 아니다. 강력분이 중력분이나 박력분보다 mixing time이 길다는 것은 잘 알려진 사실로 이에 대해서는 뒤에 설명하기로 한다.

이상 dough development에 관해 그의 중요성 및 그에 미치는 mixer의 영향을 간단히 살펴 보았다. 그러던 앞에서 설명한 여러 제빵 방법은 어떻게 dough development를 이루는가를 살펴보기로 한다.

소위 효모의 bulk fermentation에 dough development를 의존하는 제빵 방법으로는 straight dough procedure와 sponge and dough procedure의 두 방법이 있는데 전자는 소규모 제빵공장이나 window Bakery에서 주로 쓰이며 후자는 대규모 제빵 공장에서 주로 쓰인다.

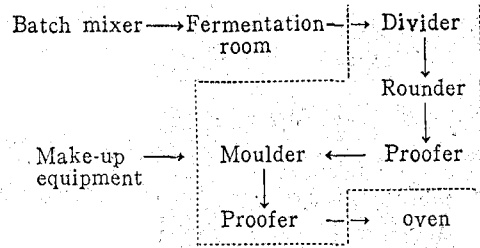


Fig. 2. A scheme for the straight dough procedure

Straight dough procedure에 의한 제빵 공정은 Fig. 2와 같다. 즉, 이 방법은 배합원료를 모두 일시에 섞어 반죽한 후 발효시켜 빵을 만드는 과정으로서 flavor가 좋은 장점이 있다. Dough development는 Batch mixer에서 이루어지게 되며 발효실에서 제 1, 2의 가스 빼기를 하게 된다.

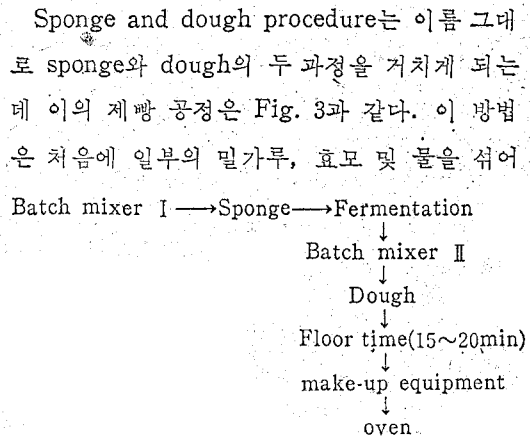


Fig. 3. A scheme for the sponge and dough procedure

sponge를 만들게 되는데 gluten development는 일어나지 않으며 단순히 원료들을 끌고루 섞는 과정이다. Sponge의 발효가 충분히 되면 이에 나머지 원료(밀가루, 설탕, 소금, 물 등)를 가하여 다시 반죽하게 되는데 이때 gluten development가 일어나게 된다. 이에 이루어진 dough는 제 2의 발효를 거쳐 빵이 된다. 이 방법은 straight dough procedure보다 효모소비량이 적으며, 발효에 유동성이 있고 또 두번째 반죽시 약한 밀가루를 쓸 수

있는 장점이 있는 반면 더 많은 노동력과 공간이 필요하며 power 소비가 높고 또 발효에 의한 손실(1~2%)⁷⁾이 큰 단점이 있다.

소위 Continuous baking method는 위에 설명한 두 방법과는 달리 기계적으로 dough development를 하는 것으로서 현재 미국에서는 집 빵생산의 약 40%가 이 방법에 의해 제조된다.⁸⁾ 기계적인 dough development란 “집중적인 기계적인 일(즉 mixing)로서 dough의 물리적 성질에 적당한 변화를 가져오게 함으로써 bulk fermentation을 제거하는 방법”⁸⁾이라고 할 수 있다. 이 방법은 다른 방법에 비해 mixing에 있어 더 높은 에너지를 요구하게 되는데,⁹⁾ 이 과외로 소비된 에너지에 의해 gluten development가 위에 설명한 bulk fermentation 방법보다 빨리 이루어지며 따라서 발효 및 가스배기의 필요성을 감소시키게 된다.⁹⁾

미국의 Continuous baking method에는 Do-Maker process와 Amflow system의 두 방법이 있는데 여기서는 전자만을 설명하기로 한다(Fig. 3).

Do-Maker 방법은 먼저 물, 설탕, 우유, 소금, yeast food 및 효모를 섞어 소위 broth(또는 preferment)를 만들게 되는데 이의 목적은 균일하고 최적의 가스를 생산할 수 있도록 효모의 활동력을 최대한 조정하는 데 있다. Broth의 조정이 끝나면 broth 및 다른 원료를 premixer에 넣고 dough를 형성한 다음 developer에 의해 gluten development가 일어나게 된다.

이 방법은 bulk fermentation 방법에 비해 설탕 및 산화제가 더 요구되며 또 물도 2~3%

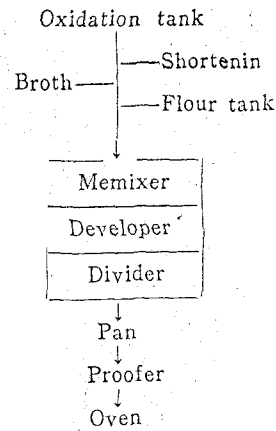


Fig. 3. A scheme for a continuous baking procedure

정도 더 요구된다. 이 방법은 공간 및 인력을 절약하게 되며 또 모든 system이 tank로 연결되어 있어 위생적인 방법이지만 단위 시간당 생산량이 높으므로 경제성의 문제가 있다. 또 빵의 조직이 조밀하여 소비자의 기호문제가 따르게 된다.

재래식 방법에 의한 제빵은 시간이 오래 걸리는 단점이 있어 제빵 과정을 단축하기 위해 많은 방법들이 연구되어 왔는데 위에서 설명한 기계적인 dough development도 그 중 한 방법이다. 최근 많은 연구가 되고 있는 또 하나의 방법으로서 chemical dough development 또는 no-time dough 방법이 있다. 이 방법은 cysteine 또는 다른 환원제 및 산화제를 사용하여 집중적인 기계적인 작용 또는 bulk fermentation에 없이 dough development를 가속시켜 이루어진다. 즉 배합 원료 및 dough conditioner를 일시에 섞어 dough development가 일어나면 0~15분간의 floor time을 거쳐 빵이 제조된다.

여기에서 한가지 유의할 점은 cysteine 자체가 dough development를 가능케 하는 것은 아니며 cysteine은 mixing speed 및 에너지 필요량을 감소시키므로써 dough developmen-

7) Smerak, L.: *Baker's Digest*, 47(4), 12(1973).

8) Elton, G.A.H.: *Baker's Digest*, 39(4), 38(1965).

9) Bloksma, A.H.: in *Wheat: chemistry and Technology*, Ed. by Y. Pomeranz. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, 1971.

를 가속시키는 역할을 한다는 점이다.¹⁰⁾ 따라서 “화학적으로 가속된 dough development” 라고 하는 것이 더욱 정확한 표현이라고 하겠다.¹¹⁾

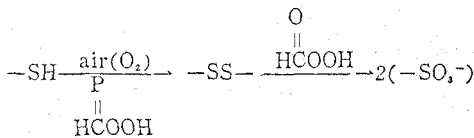
Chemical dough development에서는 cysteine이 주로 L-cysteine hydrochloride monohydrate 형태로 쓰이는데 이의 속성 제빵 과정에 있어서의 사용은 60년대에 처음 인식되었다.¹²⁾ 그러면 cysteine의 주 역할이 무엇인가 설명하기 전에 먼저 강력분이란 무엇인가 살펴보기로 한다.

밀가루 단백질의 약 80%는 gluten으로 구성되어 있다. 이 gluten은 -ss- 결합으로 이루어진 polypeptide로서 이 -ss-와 또 유리상태로 존재하는 -SH group은 dough development에 중요한 역할을 하게 된다.

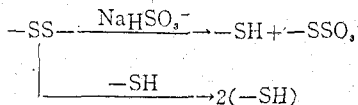
강력분은 -ss-와 buried (unreactive) SH 함량이 높으며 박력분은 이들 함량이 높다. 일반적으로 밀가루의 mixing strength는 reactive SH와 reactive ss의 함량과 부의 상관관계가 있게 되므로 이들 함량이 높은 박력분은 mixing time이 짧음은 자명하게 된다.

Dough development 과정중 gluten의 -ss-와 -SH group 사이에 일어날 수 있는 반응 가능성은 다음과 같다.

1. 산 화



2. 환 원



이들 반응의 실제적 이용을 예로들면 -SH group이 높은 박력분에는 때때로 산화제를 가해 -SS-함량을 높일 수 있다. 이 -SS-결합은 gluten의 polypeptide 사이에 crosslink를 형성하며 또 -SH group과 상호교환을 가능케 함과 동시에 dough의 반고체적 구조에 유동성을 주게되므로 dough development에 매우 중요한 역할을 하게 된다. 반대로 -SS-함량이 너무 높은 강력분(즉 mixing strength가 너무 강한 밀가루)에는 주로 환원제를 써서 -SS-함량을 줄임으로서 mixing time을 줄이게 된다.

Dough development 중 일어나는 산화는 실제 Fig. 4(Fig. 4는 첨가된 논문의 Fig. 9임)와 같다.¹³⁾ 이 그림에서 보는 바와 같이 -SS- 및 -SH group의 상호교환은 dough rheology에 여러 영향을 주게되는데 SS/SH의 비가 15~19일때 빵의 부피가 최대가 된다.

Cysteine은 환원제이므로 gluten의 -SS-결합을 파괴하게 된다. 따라서 cysteine의 효과는 박력분보다 강력분에 더 강하게 나타나게 됨은 쉽게 짐작할 수 있으며 이는 실험적으로 증명되었다.¹⁴⁾

Cysteine의 환원 작용은 밀가루 단백질과 cysteine이 접촉되는 순간 시작되며 mixing 자체에는 크게 영향을 받지 않는다.¹⁵⁾ Cysteine은 단백질입자의 -SS-결합을 분리함으로써 단백질 입자를 조그만 단위로 쪼개게 되며 (Fig. 5) 또한 -SS- 상호교환을 촉진시킨다.⁴⁾ 따라서 큰 단백질 입자를 조그만 단위로 쪼개는 데 요하는 mixer의 일이 줄어들게 된다. 즉 mixing time이 줄어들게 된다. 조그맣게 갈라진 단백질 입자는 다른 단백질 및

10) Kilbarn, R.H. and Tipples, K.H. Cereal Chem., 50, 70(1972).

11) Tipples, K.H. and Kilborn, R.H. Baker's Digest, 48(5), 34(1974).

12) Henica, R.G. and Rodgers, N.E. U.S. Patent, 3,053,666, September 11, 1962.

13) Blöksma, A.H. Cereal Sci. Today, 17, 380(1972).

14) Henica, R.G. and Rodgers, N.E. Cereal Chem., 42, 397(1965).

15) Tsen, C.C. Cereal Chem., 46, 435(1969).

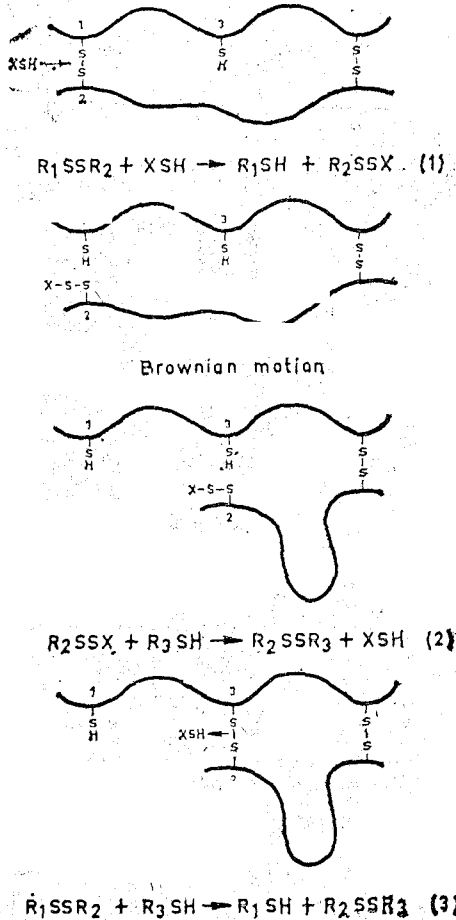


Fig. 4. Viscous flow as a result of thiol-disulfide interchange reactions in the protein network. It is assumed that between reactions (1) and (2) the conformation of the lower protein molecule changes as a result of Brownian motion, biased by shear stress. The upper chain is arbitrarily assumed to stay in position. Reaction (3) is the net result of reactions (1) and (2); the thiol compound XSH is not consumed, and becomes available again for another cycle of interchange reactions.

지질같은 dough의 다른 성분과 상호 작용에 의해 gluten network 이루어지게 된다.

No-time dough 방법은 straight dough 방법¹⁶⁾ 및 sponge and dough 방법⁷⁾에 적용되어 사용되고 있으며 현재 미국 빵 생산량의 약 2.5%를 차지하고 있다. 이 방법으로 제조된 빵은 제빵 방법으로 만든 빵에 비해 부피나 crumb firmness 면에서 별다른 차이가

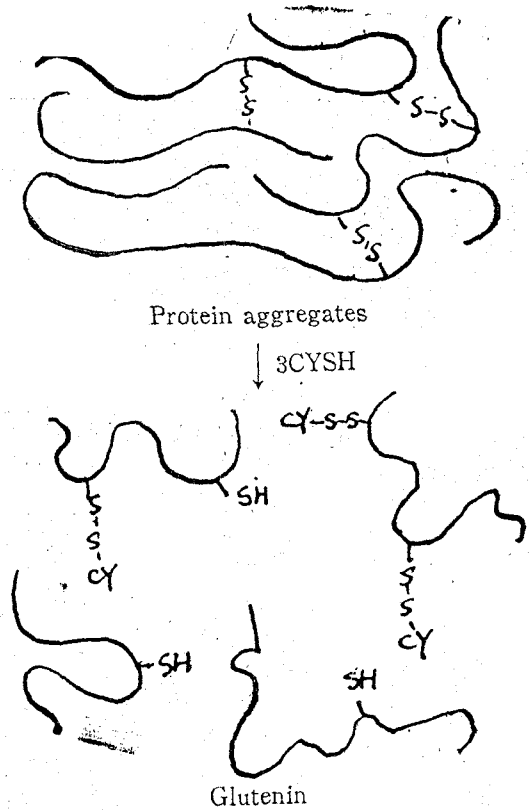


Fig. 5. The disaggregation of flour protein aggregates into smaller (shorter) units by using cysteine (CYSH) to reduce disulfide bonds.

없는 점외에 원료의 절약, 노동력과 시간의 절약, 공장 운영비 절감 등의 장점이 있으나 제빵식 제빵과 같은 밀 특유의 향기가 떨어지는 단점이 있다.

이상 제빵과정중 가장 중요하다고 볼 수 있는 dough development에 대해 설명하였다. 최근 에너지문제는 전세계적인 관심사로서 요즈음 연구되고 있는 속성제빵방법은 우리나라에서도 시도할만한 가치가 있다고 하겠다. 또한 dough 형성과정 중 일어나는 이들 기본반응의 지식이 고단백 영양 식빵이나 복합분 등을 이용한 식빵 제조에서 일어날 수 있는 여러 문제 특히 단백질의 약화를 보장하는데 기초적인 자료가 되기를 바라는 바이다.

16) Olsen, c.n Baker's Digest, 48(2), 24(1974).