

제과제빵류 냉동 기술의 신기술과 동향

Innovative Techniques and Trends in Freezing Technology of Bakery Products

반충진¹, 최영진^{1,2,*}

Choongjin Ban¹, Young Jin Choi^{1,2,*}

¹서울대학교 농생명공학부, ²서울대학교 식품바이오융합연구소

¹Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University

²Center for Food and Bioconvergence, Seoul National University

I. 서론

1. 냉동

냉동은 가장 오래되고 널리 쓰이는 식품저장법의 하나이다. 다른 여러 저장법에 비해 품질이 가장 잘 유지되는 방법으로서 냉동(freezing)이란 어떤 물체나 공간의 열을 인위적으로 빼앗음으로 해서 제품의 온도를 그 빙결점(freezing point) 아래로 냉각한 것을 말하며, 냉동은 대부분 물질이 액체에서 고체로 변화하는 상변화(phase change)가 수반된다. 순수한 물의 경우 0°C 에서 동결되나 식품이나 빵반죽 같은 여러 가지 물질이 녹아 있는 용액 상태의 물은 빙결점 강하 현상에 의해 0°C에서 얼지 않고 그 이하의 온도에서 동결된다.

밀가루, 물, 지방, 당, 소금, 이스트 등이 배합된 빵반죽의 경우 -7~-9°C에서 동결되는데 첨가되는 원료의 배합비에 의해 동결되는 온도가 다소 차이가 나고 또한 발효 정도에 따라 발효생성물의 영향에 의해 동

표 1. 식품 및 빵반죽의 수분함량에 따른 빙결점 강하

Composition & Food	Moisture content (%)	Freezing point (°C)
Water only	100	0
Flour and water only	30~40	-4
Flour, water, fat, sugar, salt, yeast	30~40	-7 to -9
Vegetables	78~92	-0.8 to -2.8
Fruits	87~95	-0.9 to -2.7
Meat	55~70	-1.7 to -2.2
Fish	65~81	-0.6 to -2.0
Milk	87	-0.5
Egg	74	-0.5

결온도가 약간씩 차이가 날 수 있다(표 1).

일반적으로 식품을 장기간 안전하게 저장하기 위해서는 식품의 온도를 -18°C 이하의 빙결점 이하로 낮추어 동결상태로 저장을 하는데 이를 냉동저장(freeze storage)이라고 하며, 이와 같은 경우 식품 중 대부분

*Corresponding author: Young Jin Choi

Department of Agricultural Biotechnology, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-921, Korea

Tel: 82-2-880-4851

Fax: 82-2-873-5095

E-mail: choiyj@snu.ac.kr

의 물은 빙결정이 되고 남아있는 물에는 수용성 성분이 농축되어 삼투압이 높아지며 수분활성이 낮아지므로 미생물의 생육이 어려워진다. 또한 효소나 화학반응의 속도도 현저하게 감소된다.

또한 물은 액체보다 고체일 때 밀도가 낮은 유일한 화합물로서 일반적인 냉동온도에서 약 9% 정도 체적이 증가하게 된다. 이런 체적의 증가는 식물이나 동물 세포에서 내부압을 증가시켜 세포막을 파괴하여 해동 후 품질에 많은 영향을 미치게 된다.

2. 냉동곡선

식품을 동결하는 경우 식품내의 온도 저하가 가장 늦은 지점에서 시간에 따른 온도 변화의 관계를 나타낸 선을 냉동 곡선이라고 한다(그림 1). 식품의 경우 단순한 용액에 비하여 동결과정이 매우 복잡하며 일반적으로 냉동곡선은 네 영역으로 구분된다. 제1영역(pre-cooling)은 실온에서 식품의 어는점까지 식는 냉각과정, 제2영역(latent zone)은 식품의 수분이 거의 다 얼게 되는 최대 빙결정 생성대(zone of maximum ice crystal formation)로 일반적으로 -1~5°C 범위이고, 제3영역(subcooling)은 냉동저장온도인 -18°C 까지 온도를 내리는 과정, 제 4영역(equalize)은 냉각 온도 및 식품의 내 외부 온도가 평형이 되는 지점이다.

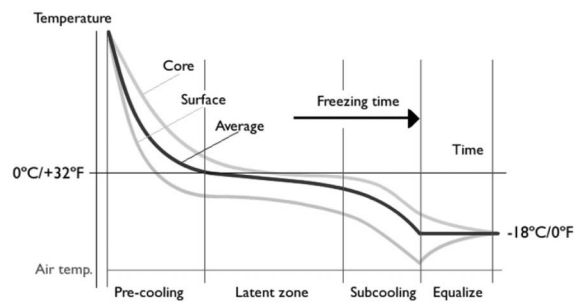


그림 1. 일반적인 동결곡선

3. 급속 동결(quick freezing)과 완만 동결(slow freezing)

식품동결방식은 동결과정 중 최대빙결정 생성대를 통과하는 시간에 따라 급속동결과 완만동결로 나뉘어지며, 냉동 방식에 따라 얼음결정이 생성되는 기작이 다르며 이로 인해 냉동물의 영양상태, 세포파괴, 보존기간 등이 달라진다(표 2). 식물조직처럼 세포조직으로 이루어진 물질을 동결시킬 때 빙결점에 도달하면 주로 세포 밖에서 빙핵이 생성되어 동결이 진행되게 된다. 얼음을 형성함에 따라 세포 밖의 용액은 점점 더 농축이 되고 이에 따라 세포막 안팎으로 삼투압에 의해 세포 내 물이 세포 밖으로 용출된다. 이 때 동결속도가 세포의 성상에 큰 영향을 미친다. 급속동결의 경우 세포 내외에서 동시다발적으로 동결이 진행되므로 빙결정의 크기가 상대적으로 작고 개수가 증가하며 이에 따

표 2. 급속냉동과 완만냉동의 차이점.

	급속냉동	완만냉동
최대빙결정생성대 통과시간	25~30분	> 35분
빙결정 생성 장소	대부분 세포 내와 일부 세포 외	주로 세포 외
빙결정 크기	작음 (< 70 μm)	큼 (< 70 μm)
냉동속도	3.0 cm/h	0.1~1 cm/h
동결 후 세포의 상태	비동결시와 유사	수축 또는 변형됨

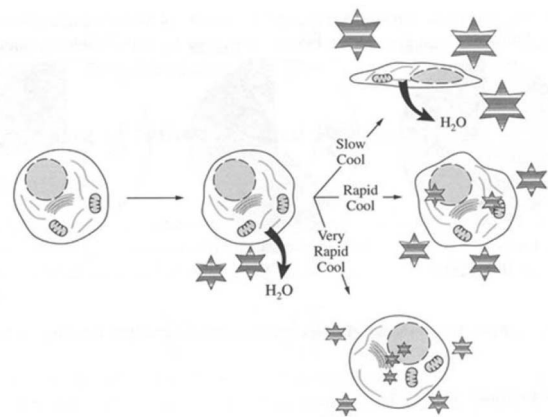


그림 2. 냉동속도가 세포 구조에 미치는 영향(참고문헌 1에서 발췌).

른 부피증가도 크지 않다. 이 때문에 동결된 후 세포의 성상이 크게 변하지 않으나 완만냉동의 경우는 동결속도가 느려서 세포 외에서 형성된 빙결정의 크기가 점점 더 커지고 세포 내 물의 외부로 용출되는 양이 많아져 결과적으로 세포 구조가 붕괴된다(그림 2)(1).

일반적으로 대부분의 식품에 있어서 동결속도가 빠른 급속동결법을 이용하는 것이 품질 손상을 최소화할 수 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 제빵용 냉동제품의 경우는 급속동결법이 오히려 제품의 품질을 저해할 수 있으며 뒤에서 다시 자세히 다룰 것이다.

II. 냉동기술 및 냉동설비

식품산업의 발전에 있어서 냉동기 발명과 기술의 진보는 결정적인 역할을 하고 있으며, 신선하고 안전한 먹거리를 원하는 소비자들의 요구가 커진 요즘 냉동기술의 필요성이 더욱 커지고 있다. 최근에는 식품분야에서는 환경문제와 경제성을 고려한 새로운 냉동시스템이 계속적으로 개발되고 있으며 식품의 원자재의 시장 유통단계에서부터 최종제품에 이르기까지 냉동기술을 도입하여 저장성과 품질이 우수한 식품의 제조가 가능하게 되었다. 일반적인 냉동기의 유형은 냉동방식 및 장치에 따라 그림 3과 같이 분류한다.

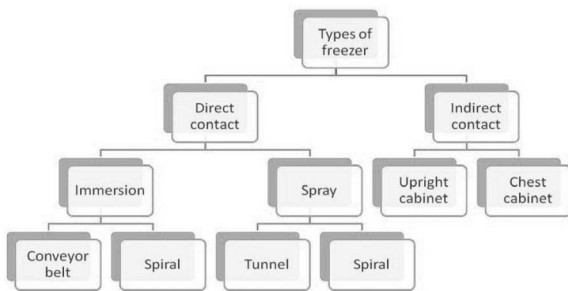


그림 3. 냉동기의 분류.

I. 동결방식에 따른 냉동기의 분류

동결방식에 따른 냉동기의 분류는 크게 송풍동결기(air blast freezer), 접촉식 동결기(contact freezer),

침지식 동결기(immersion freezer), 액화 가스동결기(cryogenic freezer)로 나눌 수 있다(2-4).

① 송풍동결법(air blast freezing)

피동결물의 주변에 3~5 m/s의 냉풍을 강제로 순환시켜 단시간에 동결하는 방법이다. 이 방법은 동결실의 상단에 냉각관을 설치하여 송풍기로 공기를 보내고, 차갑게된 냉풍을 다시 피동결물 쪽으로 순환시켜 동결속도를 빠르게 한 경우로, 식품의 동결에서 가장 널리 이용되고 있다. 터널식, 컨베이어식, 유동층 등 다양한 장치를 활용하는 방법이다.

② 접촉식 동결법(contact freezing)

금속으로 된 냉각관 내로 냉각된 냉매 또는 염수(brine)를 흘려서 금속관을 냉각시킨 후, 이 금속관 사이에 피동결물을 끼워서 동결하는 방법으로, 보통 0.02~0.2 kg/cm²의 접촉 압력을 가하여 동결한다. 피동결물이 금속관에 충분히 접촉되기 때문에 동결속도가 빠르고 일정한 모양의 포장 식품인 경우 더욱 효과적인 방법이다.

③ 침지식 동결법(immersion freezing)

냉매로 냉각시킨 2차 냉매 중에 피동결물을 침지하여 동결시키는 방법으로, 2차 냉매로 주로 쓰이는 것을 brine이라 하며 식품에는 주로 23% 식염수(동결점 -21°C)를 -16~-15°C로 냉각하여 여기에 식품을 침지시킨다. 액체일 때 표면 전열계수가 기체일 때보다 상대적으로 크므로 표층으로부터 급속히 동결된다. 또한 모양이 일정하지 않은 식품도 냉동시킬 수 있다. 단시간에 동결되기 때문에 식염이 피동결물에 침입하는 경우는 적지만 염수가 피동결물에 의해 오염되는 결점이 있다. 따라서 가공품 원료의 동결에 주로 이용되며 개체별로 포장하여 침지하는 경우도 있다.

④ 액화 가스동결법(cryogenic freezing)

액체 질소나 액체 이산화탄소 등의 냉매를 식품에 직접 살포하는 방법으로, 종전의 급속동결법보다 약 10배 빠른 동결속도를 얻을 수 있다. 이러한 급속 동결에 의하면 제품의 품질이 향상되는 것은 물론이고

개별 동결식품(IQF food, individually quick frozen food)의 제조가 용이하다. 그러나 설치비와 운용비가 많이 소요되어 식품분야에서는 한정적으로 이용되고 있는 실정이다.

2. 접촉유무에 따른 냉동기의 분류

접촉유무에 따른 냉동기의 분류는 냉각된 냉매나 냉각판이 식품에 직접적으로 접촉하는 접촉식 냉동기와 차갑게 된 냉풍을 이용하여 피동결물을 동결시키는 비접촉식 냉동기로 분류할 수 있다(5). 직냉식은 2차 냉매를 이용하여 직접 식품에 분사(impingement) 또는 침지(immersion)하는 방식이며 간냉식은 냉풍 또는 냉각판이 식품과 접촉하는 판형(plate), 터널형(tunnel), 나선회전형(spiral), 유동층(fluidized bed), 표면 긁기형(scraped surface) 등으로 나눌 수 있다(표 3).

표 3. 냉매와의 접촉방식에 따른 냉동기 분류.

Contact system	Method	Freezer
Direct	Air-blast (IQF)	Impingement freezer
	Immersion	Cryogenic tunnel freezer (N ₂ , CO ₂)
Indirect	Cooling surface	Plate freezer
	Air-blast	Tunnel freezer
		Spiral freezer
		Fluidized bed freezer
Freezer for liquid food	Scraped surface freezer	

표 5. 여러 가지 식품에 사용되는 냉동법.

Product type		Commonly used freezing methods
Meat	Small or diced pieces	Cryogenic, liquid immersion
	Hamburger patties	Plate, impingement, air blast, cryogenic
Fish	Fillets or small diced pieces	Plate, air blast, cryogenic, impingement
	Processed or breaded products	Cryogenic, impingement, air-blast, plate (in packages)
Fruits	Small size (whole)	Air-blast, cryogenic, fluidized bed, plate (in packages)
	Puree or pulp	Air-blast, plate
Dairy food	Cheese and butter	Air-blast, plate
Bakery	Dough, bread and baked products	Air-blast, plate

3. 동결속도에 따른 냉동기의 분류

동결속도에 따른 냉동기의 구분은 0.2 cm/h의 속도로 동결되는 완만 동결기(slow freezer)부터 10~100 cm/h의 속도로 동결되는 초급속 냉동기(ultra rapid freezer)로 구분할 수 있다(표 4).

표 4. 동결속도에 따른 냉동기 분류.

Freezing rate		Freezer
Slow	0.2 cm/h	Still-air freezers Cold stores
Quick	0.5~3 cm/h	Air-blast Freezer (tunnel, spiral) Plate freezer Scraped surface freezer
Rapid	5~10 cm/h	Fluidized bed freezer
Ultra rapid	10~100 cm/h	Impingement freezer Cryogenic freezers

4. 식품에 사용되는 냉동기 종류

식품에 따라 적용하는 냉동기술 또는 냉동기의 종류는 개개의 식품이 가지고 있는 품질특성, 산업적 적용시의 경제성 등을 고려하여 목적에 맞는 냉동기를 사용하고 있다(2). 일반적으로 식육 및 어육 제품의 경우 급속 동결을 하는 것이 조직의 피해를 최소한으로 하기 때문에 액화 가스동결법(cryogenic freezing)이 많이 사용되며, 제빵의 경우는 급속동결이 오히려 효

모의 사멸률을 높이므로 송풍동결법(air blast freezing)이 많이 사용된다(표 5).

III. 제빵 분야에서의 냉동기술의 적용

제빵 제품의 동결시킬 때 가장 문제가 되는 것은 효모의 활성 유지와 글루텐 조직의 손상이다. 이런 품질 요인의 저하는 발효 시 이산화탄소 발생능과 포집능을 저하시켜 최종 제품의 부피를 감소시키고 조직감의 변화와 발효시간이 연장되는 문제를 야기시킨다. 앞서 언급한 것처럼 일반적인 식품은 대부분 급속동결하는 것이 냉동 또는 해동 시의 품질 유지에 유리하다. 하지만 대부분의 제빵 제품의 경우는 오히려 급속동결법이 적합하지 않다. 왜냐하면 동결속도가 너무 빠르면 냉동반죽내 효모의 동결장해가 일어날 수 있으며(6,7), 중간발효 반죽(proofed dough)은 구조가 붕괴되거나, 구운 제품은 크러스트의 박편분리(8)나 구조가 변형될 수 있다. 제빵 제품에 사용되는 효모는 7°C 이하에서는 생리활성을 잃고 -3.3°C 이하에서는 동결장해를 입을 수 있다. 제빵용 냉동반죽처럼 효모를 포함하고 있는 경우의 최적 냉동조건은 제품마다 차이가 있지만 일반적으로 발효력에 영향을 주지 않는 조건은 -40~-38°C에서 냉동 후 -18°C 이하에서 보관하고 해동 시에는 4°C 리타더에서 실시하는 것이다. 이 때 저온 보관 시 일어나는 온도 편차를 최소화해 일

정한 온도를 유지해 주는 것이 중요하다. 식품 중 제빵분야에서는 냉동 시 제품 중 온도편차를 가급적 최소화할 수 있도록 장치적인 개선을 통하여 열전달을 효율적으로 함으로써 제품의 품질을 향상시킬 수 있다.

제빵 제품의 특성에 가장 적합한 형태의 냉동장치는 송풍동결기(air-blast freezer)로서 터널식과 나선회전형 동결기(그림 4)가 산업적으로 가장 많이 사용되고 있다. 나선회전형 동결기는 터널식과 달리 컨베이어 벨트를 수직방향으로 회전하면서 적층함으로써 공간 효율을 극대화시킬 수 있고 다양한 형태의 식품 동결에 사용할 수 있으며 유지비 또한 적게 드는 편이어서 제빵 뿐 아니라 육류, 어류, 가공류 제품에도 많이 사용되고 있다.

나선회전형 송풍동결기에서 수평방향으로 냉풍을 흘려주는 경우, 차단막과 가이드관을 이용하여 냉풍의 회전에 의한 저항을 감소시키고 외류를 방지함으로써 냉동효율을 증가시킬 수 있다(9). 최근에는 냉풍을 수평 방향이 아니라 수직방향으로 상부에서 하부로 흐르게

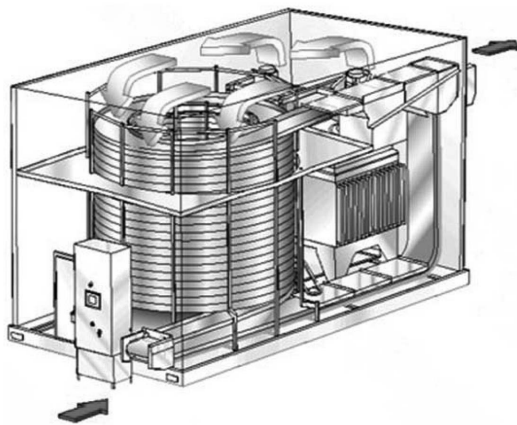


그림 4. 나선회전형 동결기(JBT Food Tech의 자료에서 인용, <http://www.jbtfoodtech.com>).

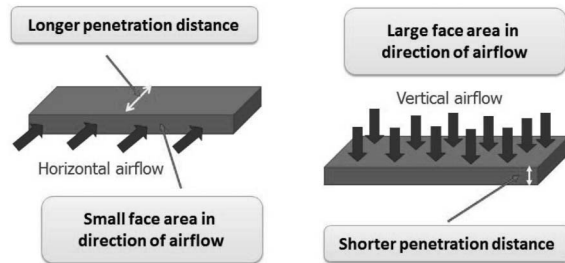


그림 5. 나선회전형 동결기에서 냉풍의 방향에 따른 열전달의 차이.

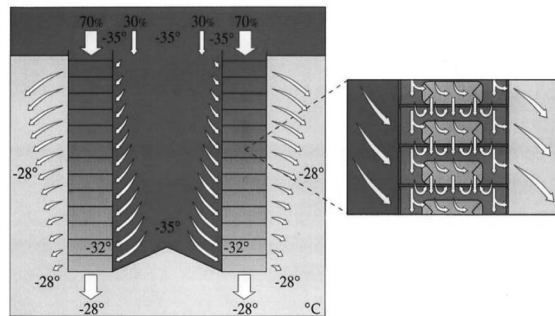


그림 6. 수직흐름형 나선회전형 동결기에서의 온도 분포(JBT Food Tech의 자료에서 인용, <http://www.jbtfoodtech.com>).

함으로써 수평방향일 때에 비해서 제품과 닿는 전열면적이 넓어지고 열전달의 침투길이가 짧아지기 때문에 동결시간을 단축시킬 수 있다(그림 5). 또한 별도의 유도레일이 없어도 다공성 구조를 가진 벨트 위에 다음 벨트를 얹어서 자체적으로 지지가 가능하게 설계한 시스템의 경우 벨트 측면으로 작은 구멍을 뚫어 수직으로 상부로부터 하부로 흐르는 냉풍의 흐름과 양을 조절하여 상하부의 온도 편차를 줄일 수 있다(그림 6).

위의 수직흐름형 나선회전형 동결기를 사용했을 때 보다 균일한 냉동이 가능하여 얼음결정의 크기가 일정해지고 결과적으로 결정의 파괴 증가에 따른 효모의 손상이 최소화되어 효모의 생존율도 높여주고 활성도 유지시켜줄 수 있다(그림 7)(10).

또한 장애판(baffle)이나 흐름분할기(flow divider)를 이용하여 바닥에서는 상부로 꼭대기에서는 하부로 냉풍을 불어주는 방식(controlled dual flow)을 이용

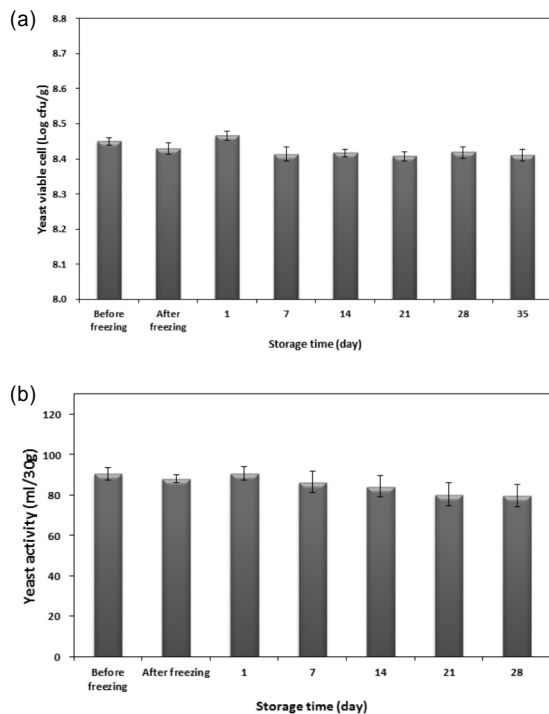


그림 7. -18°C 에서 저장시간에 따른 냉동반죽 내 효모의 생존율(a)과 해동 후의 활성(b). 냉동반죽은 나선회전형 동결기에서 수직방향의 냉풍을 이용하여 냉동하였음.

하여 상하부의 온도 편차를 줄여서 열전달 효율을 높이는 방법도 있다(11).

냉동 제빵 제품의 품질 향상은 동결장해에 저항성이 있는 효모를 개발하거나, 품질 유지에 도움이 되는 다른 성분과의 배합을 조절하거나, 냉동, 냉동저장 및 해동의 조건을 최적화함으로써 가능할 것이다. 공정한 측면에서 이처럼 제빵 제품의 동결은 제품 자체와 관련된 이화학적 특성과 형태, 사용하는 동결장치와 관련된 냉풍의 온도, 유속, 흐름 형태와 분포 등 다양한 조건에 의해 결정되기 때문에 이론적인 방법만으로 최적 동결 조건을 찾기가 매우 어렵다. 수직형 나선회전형 동결기를 사용하는 경우, $-40\sim-34^{\circ}\text{C}$ 의 냉풍을 $100\sim400\text{ m/h}$ 로 흐르게 하여 동결속도를 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 미만으로 조절했을 때 최종 제품의 품질 손상을 최소화

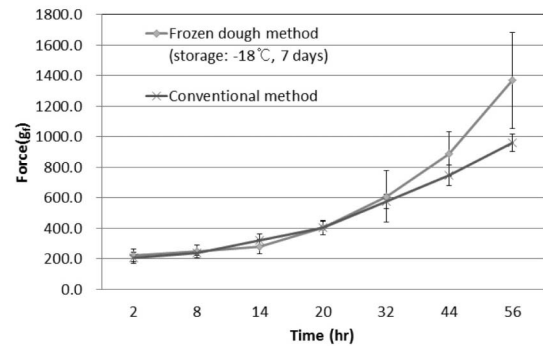


그림 8. 일반적인 방법과 냉동반죽을 이용하여 만든 소보로빵(streusel bread)의 강도(hardness).

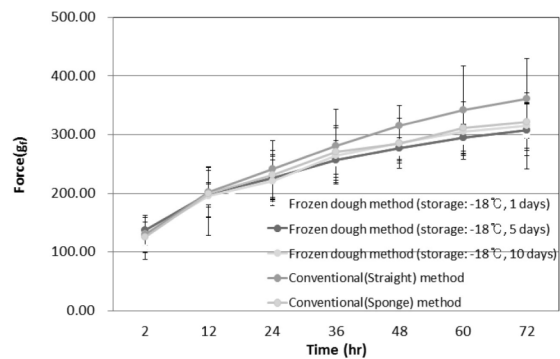


그림 9. 일반적인 방법과 냉동반죽을 이용하여 만든 식빵(white pan bread)의 강도(hardness).

할 수 있었다. 소보로빵(그림 8)이나 식빵(그림 9)의 경우, 일반적인 제빵방법으로 만들어 낸 제품과 비교하였을 때 품질면에서 큰 차이가 나지 않았다(12).

IV. 결론

냉동 기술을 활용함에 따라 보존성이 향상되어 식품 산업은 비약적인 발전을 할 수 있었으며 그동안의 냉동 기술은 단순한 챔버형의 냉동기로부터 액화가스를 이용한 초급속냉동기까지 주로 장치적인 개선을 통해서 발전해 왔다. 일반적인 식품들과 달리 제빵 산업에 사용되는 냉동반죽의 경우는 급속냉동하면 조직적인 품질은 향상되지만 반죽 내 효모의 동결장해를 일으켜 품질이 저하되는 특성이 있기 때문에 적절한 동결 속도를 결정해야만 한다. 이 때문에 제빵 산업에서는 동결속도를 조절하기가 용이한 송풍식동결기를 주로 사용하고 있다. 최근에 냉풍의 흐름과 분포를 효율적으로 제어함으로써 제품의 온도 편차를 최소화하여 효모의 생존을 및 활성을 잘 유지하는 냉동반죽의 생산이 가능해졌다. 이런 반죽을 해동하여 완성된 제품의 품질은 일반적인 방법으로 제조된 제품과 차이가 없다. 이런 냉동기술의 발전은 베이크 오프 시스템을 구축하는 핵심기술이며, 품질 유지와 저장성의 향상으로 해외수출이 가능해져 우리나라 제빵 산업의 글로벌화에 있어서도 큰 역할을 하고 있다. 앞으로도 제빵 산업의 동결 기술 발전을 위해서는 동결, 저장 및 해동 시 품질인자의 변화와 열전달 현상에 대한 추가적인 연구가 필요하며 이에 가장 큰 영향을 주는 냉동기의 형태적 인자에 대한 설계 개선이 필수적이다.

감사의 글

본 논문의 일부 결과는 농림수산식품부 고부가 식품 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구 결과로서 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Datta AK. Biological and Bioenvironmental Heat and Mass Transfer. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA (2002)
2. Sun D-W. Handbook of Frozen Food Processing and Packaging. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, USA (2011)
3. Pyler EJ, Gorton LA. Baking Science & Technology. 4th ed. Sosland Publishing Co., Kansas City, MO, USA (2008)
4. 김종수, 이동건. 식품냉동 냉장설비 개요. 한국설비기술협회, 서울, 한국. pp. 52-60 (2008)
5. Singh RP, Heldman DR. Introduction to Food Engineering. 4th ed. Academic Press, San Diego, CA, USA (2009)
6. Meziani S, Kaci M, Jacquot M, Jasniewski J, Ribotta P, Muller J-M, Ghoul M, Desobry S. Effect of freezing treatments and yeast amount on sensory and physical properties of sweet bakery products. J. Food Eng. 111:336-342 (2012)
7. Phimolsiripol Y, Siripatrawan U, Tulyathan V, Cleland D. Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality. J. Food Eng. 84:48-56 (2008)
8. Bail AL, Monteau JY, Margerie F, Lucas T, Chargeleque A, Reverdy Y. Impact of selected process parameters on crust flaking of frozen partly baked bread. J. Food Eng. 69:503-509 (2005)
9. Huan X, Ma Y, He S. Airflow blockage and guide technology on energy saving for spiral quick-freezer. Int. J. Ref. 26:644-651 (2003)
10. Passos ML, Ribeiro CP. Innovation in Food Engineering: New Techniques and Products. CRC Press (2009)
11. Mascheroni RH. Plate and air-blast cooling/freezing, pp.193-219. In: Advances in Food Refrigeration. Sun D-W (ed). Leatherhead Publishing, Leatherhead, UK (2001)
12. Ribotta PD, León AE, Añón MC. Effect of freezing and frozen storage of doughs on bread quality. J. Agr. Food Chem. 49:913-918 (2001)