

## 식품가공에서 Impingement 기술의 응용

이 부 용  
 특용작물가공팀

공기와 같은 유체를 식품의 표면에 직접 고압으로 분사하는 것은 그 식품을 가열하거나, 건조, 냉각, 냉동시키는데 큰 도움을 주고 있다.

Impingement-분사(공기, 스팀), 조사(방사선, 레이저), 침투(당액, 냉매) 등의 식품가공기술 기술은 우리가 생활하고 있는 주변에서 일상적으로 나타는 현상이다. 지표면에 태양빛이 전달되는 것이나 상점에서 물건구입시 포장지에 붙은 바코드(barcode)에 레이저빔을 쏘는 것도 모두 Impingement 현상이다. 레이더도 전자파를 방사하는것(impinging)이며, 배나 잠수함도 음파를 방사하여 장애물을 탐지하면서 운항한다. 세차장에서 차를 세차하는 것도 고압의 물을 분사(impinging)하는 기술이 동원되는 것이다. Impingement 방식에 의해 식품을 가열하거나 냉각하는 것은 기존의 방법들보다 속도는 느리지만 그만큼 값어치가 있는 유용한 식품가공 기법이다.

Impingement라는 말은 “대항하다”라는 뜻을 가진 중세라틴어 “impingere”에서 유래되었다. 대부분의 식품에 대해서는 이 용어가 식품의 표면에 어떤 변화를 일으키기위해 유체를 고압으로 분사하여 식품을 가공하는 기술을 의미한다. 이 기술은 최근 몇년동안 제빵 기술자들에게는 오븐에서 빵을 구울때 빵의 표면에 수직한 방향에서 고압의 공기를 분사하는 기술로 응용되어 왔다. 이와같은 impingement 기술은 그 식품을 기름에 튀길때 처럼 대류 열전달계수가 매우커서 오븐에서 빵이 구워지는 시간을 단축시키기 때문에 제빵산업의 많은 공정들을 개선시키고 있다.

그러나 넓은 의미에서 impingement 기술은 결국 열전달과 물질전달의 효과를 높이는 모든 기술적 원리를 통칭한다고 할 수 있다. 예를 들어 기존의 냉동방식보다 열전달을 빠르게 하는 기술 등으로 냉동 뿐 아니라, 가열, 냉각, 건조 등이 impingement 기술에 의해 행해질 수 있다.

Impingement는 단지 열전달과 물질전달에만 국한된 것은 아니다. 빈 햄버거 쟁반에 묻은 기름기를 제거시키는 것과 같이 어떤 용기를 세척하기 위해서 세척 수를 분사하는 것도 impingement 기술이다. 우유저장 탱크를 세척하거나 오븐등에 묻은 부스러기를 제거시키기 위해 공기나 세척수를

고압으로 분사하는 것도 해당된다. Impingement 분리기는 제분이나 제빵 산업에서 공기중의 먼지나 밀가루 등을 제거시키거나 설탕을 분쇄할 때 생기는 공기중의 설탕 미립자를 집진하는 데도 사용된다.

다른 여러가지 새로운 기술의 도입에서와 마찬가지로 impingement 기술의 원리는 식품 산업이 아닌 다른 분야에서 관찰되어 확립되었다. 예를 들어 impingement 기술에 의한 빵굽기와 냉각은 전기분야의 냉각기술에 의해 크게 효율화되었다. Impingement 기술을 이용한 식품가공은 비식품 산업과 비교할때 이제 시작단계이나, 비식품분야에서 impingement 기술에 의한 열전달 및 물질전달은 이미 1950년대로부터 이용되어 왔지만 impingement 제빵기술은 1987년에 알려져서 1992년 정도에 제빵산업의 한 분야로 자리잡았다. 현재는 약 100,000개의 impingement 오븐이 이용되고 있다.

### 1. 가열과 냉각

학술적인 관점에서 보면 식품을 가열시키는 방법이 적어도 9가지 정도는 된다. 대류, 전도, 적외선 조사, 응축 등의 4가지 방법은 가열되는 식품보다 높은 온도의 열원을 필요로 한다. Impingement 기술은 일종의 대류에 의한 가열이다. 스팀의 응축에 의한 가열, 즉 증기를 이용하여 빵을 찌는 것은 중국에서 수천년동안 사용되어 온 방법이다. 스팀으로 찐 빵의 무게는 찌는 동안에 스팀이 응축된 형태의 수분을 흡수하여 처음 원료보다 무게가 증가한다.

증기가열의 반대인 증발냉각은 서구에서 대부분의 제빵공정에 마지막 빵을 식히는 부분에 사용되는 공정으로서 구워서 막나온 빵의 무게보다 오히려 감소하게 된다. 따라서 많은 영어 사전에서는 굽기(baking)와 건조(drying)를 빵굽는 동안에도 수분의 증발이 일어나므로 수분이 감소한다는 점에서 같은 의미로 해석하고 있다.

이러한 수분 증발에 의한 무게 감소는 impingement 빵굽기 기술을 사용하면 감소정도를 줄일 수 있으며, 수분증발시 증발잠열이 필요하기 때문에 일어나는 냉각이 일어나지 않으므로 가열도 좀더 효율적으로 진행된다. Impingement 기술에 의한 열전달은 impingement 기술을 이용한 빵굽는 오븐속에서는 작은 효과밖에 못내는 적외선이나 전도에 의한 가열보다 훨씬 빠르고 높다.

다른 5가지 가열방법에서는 식품자체가 가열매체가 된다. 여기에는 microwave heating(마이크로파 가열), radio wave heating(라디오파 가열, capacitative heating), ohmic heating(통전가열, electrical resistance heating), intense visible light heating(강력 가시광선 가열), sonic heating(초음파 가열) 등이 있다. 전류의 흐름에서 볼때 기계적인 파동이나 전자기적인 파동은 그것들이 식품속을 통과할때 열로 전환되어 식품을 가열시킨다. 라디오파(RFWS)와 마이크로파는 각각 27.12MHz와 2,450MHz의 주파수를 갖는 전자기파로서 모두 식품을 가열시키는데 사용된다. 통전가열은 직접 식품을 관통하여 가열시키며, 가시광선도 강도가 높으면 굽거나 볶음등을 할 수 있다. 초음파도 유체식품의 가열에 사용될 수 있다.

이와같은 5가지 방법의 경우에는 비열에너지가 식품속에서 열로 전환된다. 따라서 이 방법으로 빵을 굽는 경우는 열원이 빵의 표면을 관통하여 전체를 다 골고루 가열시키므로 impingement 기술이 되는 것이다. 어떤 대상식품에 열을 가할 때 그 식품표면에 생기는 기체막으로 인하여 열전달과 물질전달이 느려지는 현상을 impingement 기술을 사용하게되면 표면의 기체막을 분산시켜서 열전달 및 물질전달 효율을 높이게 되므로 매우 효율적이다. 또한 음파의 진동과 필스에 의해서도 같은 방식으로 열전달 및 물질전달의 효율을 높일 수 있다.

대류방식은 식품의 가열수단으로 가장 많이 사용되는 방법이나, 공기에 의한 굽기나 냉동뿐만 아니라 튀김, 삶기 등과 같은 유체의 가열도 포함된다. 또한 우유, 주스, 스프 등과 같은 많은 종류의 음

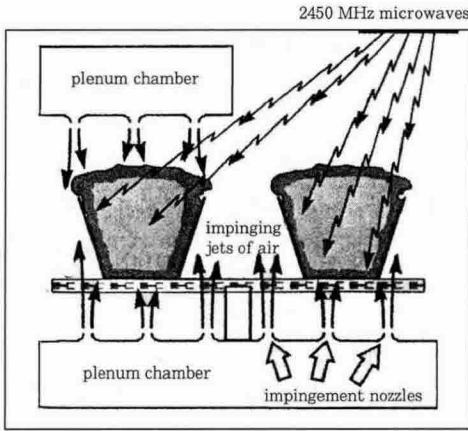


그림 1. Countertop impingement microwave oven

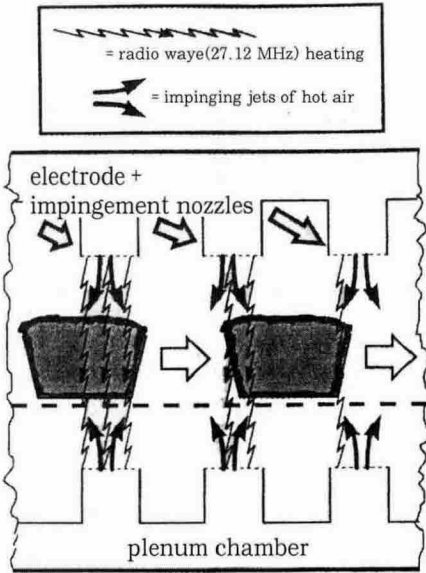


그림 2. Baking bread with radio waves and impingement

료 자체를 가열하는 것도 대류에 속한다. 대류현상의 특성은 열 및 물질전달에 큰 영향을 미친다. 오븐속에서 공기가 순환될때 대류에 의한 가열이 잘 되지만 이 공기를 제트기류로하여 분사(impingement)하면 공기의 진동과 펄스에 의해 열 및 물질

전달 효과가 더욱 효율적으로 일어난다.

가열방식과 가열의 범위는 여러가지 형태로 조합될 수 있다. 즉 impingement 기술을 그림 1과 같이 마이크로파 굽기나 그림 2와 같은 라디오파 굽기와 결합시키기도 한다.

레토르트에서는 그림 3 및 4와 같이 마이크로파 가열을 고압의 증기를 분사하는 impingement 기술과 접목시키는 예를 보여주고 있다.

물론 대류에 의한 가열에서 열전달이 일어나는 주요인은 오븐속의 공기와 빵과의 온도차이다. 열역학적인 평형에 도달할 때까지 빵은 오븐속의 뜨거운 공기로부터 열을 전달받지만 열전달시의 장벽과 증발냉각효과 등에 의해 어느정도는 열전달이 방해받는다. 공기 브러쉬에 의해 빵의 표면에 공기를 분사하면 열전달을 방해하는 정체된 공기층을 제거시켜서 열전달 효율이 높아지지만 증발효과는 증가하게되어 빵굽는 시간이 반으로 줄어들고 전체수분감량효과가 감소되어 구운후 빵의 무게가 그만큼 덜 감소하게 된다. 결과적으로 오븐의 온도를 과잉으로 높이지 않아도 되고 굽는 시간이 짧아지므로 원가를 절감할 수 있다.

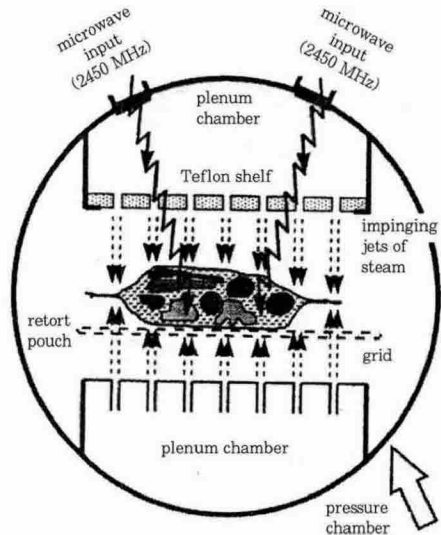


그림 3. Steam impingement in a microwave autoclave



그림 4. A steam-impingement microwave autoclave. Photo courtesy of Enersyst Development Center, Dallas, Tex.

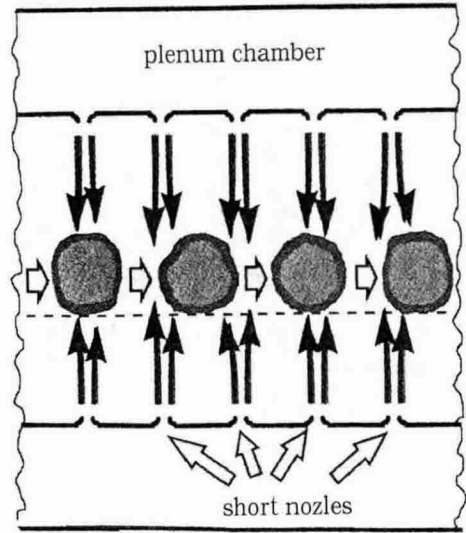


그림 5. Double impingement using short nozzles

## 2. Impingement 장비

Impingement 오븐, 냉장고, 건조기, 냉동기 등은 여러가지 다양한 디자인으로 제조되고 있다. 크기가 크고 특별한 형태를 지닌 빵반죽이나 육제품, 야채류들을 impingement 기술을 이용하여 굽거나 냉동시키는 경우 대개는 컨베이어 벨트형의 구멍뚫린 선반, 회전판, 앞뒤로 진동하는 진동판 등을 이용하여 공정을 행하게 된다. 따라서 분사해주는 기류는 선반의 위나 아래로부터 자유롭게 통하게 되고 침투노즐이나 판을 통해서도 원하는 것을 대상 제품에 분사할 수 있다.

모든 impingement 기술을 이용한 오븐, 냉장고, 건조기, 냉동기 등은 형태에 관계없이 분사하거나 침투시키고자 하는 물질을 저장하고 있는 저장통(plenum chamber)을 갖고 있다. 대개는 가열시키거나 냉각시키기 위한 기체가 들어차 있고 압력을 가하여 노즐로 강제 분사시킨다. 저장통은 약간의 압력이 걸려 있는 통으로서 공기나, 다른기체, 증기 등으로 채워져 있다. 노즐은 그림 3, 4같이 단순하게 구멍만 뚫려있거나, 그림 5와 같이 길

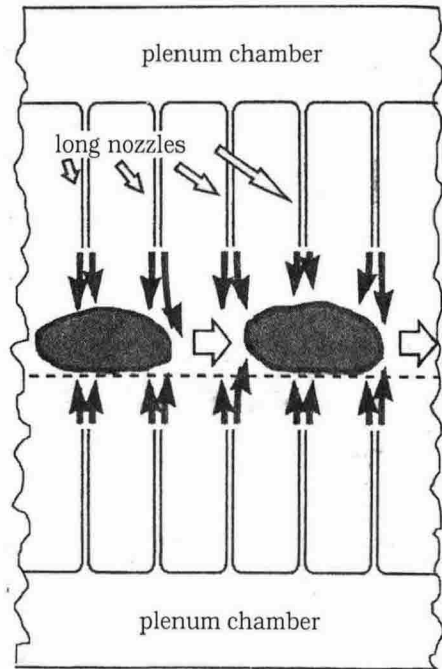


그림 6. Double impingement using long nozzles

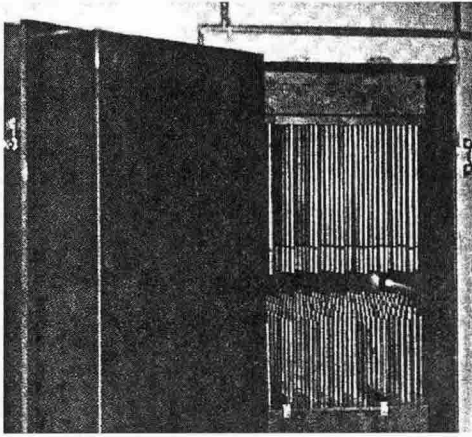


그림 7. Double-impingement long nozzles in an industrial oven. Phot courtesy of Wolverine Corp., Merrimac, Mass.

이가 짧아서 저장통에 붙어 있기도 하고 그림 6이나 7같이 길이가 긴 노즐이 붙어 있기도 하다.

Spoooner는 짧은 노즐은 “orifices”, 긴 노즐을 “jet tubes”라고 명명하고 있다. 그림 1~7에서 보면 저장통이 모두 위, 아래 두군데 있으므로 이와 같은 형태를 “double impingement”라고 부르며, impingement기술에 의한 냉동도 이런 디자인의 장치로 행해진다.

Jet tube의 길이는 별로 중요하지 않고 노즐의 직경이 오히려 중요한데 직경 대 길이의 비율이 1:6 이상은 되어야 한다. 1:6이상의 비율이 되어야 jet tube 사이의 압력저하나 소용돌이 효과가 생기고 분사하는 기류의 속도가 일정하며 저장통의 디자인도 간단해진다. 그러나 노즐의 길이가 짧으면 분사하고자 하는 기류가 노즐 구멍에 도달할때 까지 기류의 흐름을 일정하게 유지시키기 위해서 저장통의 디자인이 좀더 복잡해진다. 따라서 짧은 노즐을 갖는 impingement 오븐의 일반적인 디자인형태는 jet 노즐(fingers)을 위, 아래로 또는 양쪽에서 분사하는 형태이다. 이와같이 짧은 노즐 오븐은 긴노즐의 오븐보다 차지하는 공간이 적어서

요식업소에 적합하고 긴노즐 오븐을 주로 산업체에서 많이 이용하고 있다.

노즐의 직경, 노즐사이의 거리 뿐만 아니라 노즐과 대상 식품사이의 거리가 매우 중요한 요소이다. 이스트나 팽창제를 사용하는 발효빵의 경우 굽는 동안 빵의 높이가 달라지게 되어 빵표면과 노즐사이의 거리가 계속 변하여 문제가 된다. 한가지 해결책은 대상시료가 시간에 따라 변하는 높이를 미리 예측하여 노즐의 높이를 변화시키는 것이다. 즉 노즐을 신축성(flexible) 있는 것으로 만들어서 수동이나 자동으로 조절할 수 있도록 한다. 따라서 Impingement 오븐이 가장 성공적으로 적용된 예 중의 하나가 구울때 높이 변화가 상대적으로 적은 피자 같이 넓은 원판모양의 빵을 굽는 것이다.

또 다른 특징적인 디자인의 장치는 컨베이어 벨트가 없는 오븐등으로서 작은 입자형태의 모양을 갖는 식품에 대하여 한쪽 방향에서 공기를 불어넣어 굽거나(toast), 건조, 냉각, 냉동을 시키는 것이다. 공기를 그림 8과 같이 위에서 분사하거나 그림 9같이 제품의 아래에서 분사하거나 한다. 그림 8같이 위에서 공기를 분사하는 것은 언뜻보기에는 방향이 잘못된 것 같지만 실제로는 길이가

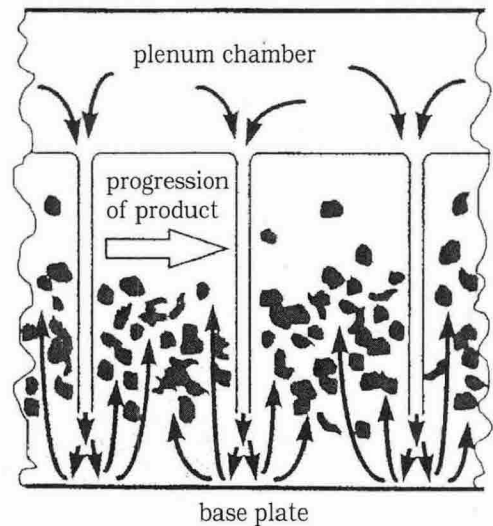


그림 8. Tube-aerated toaster or cooler

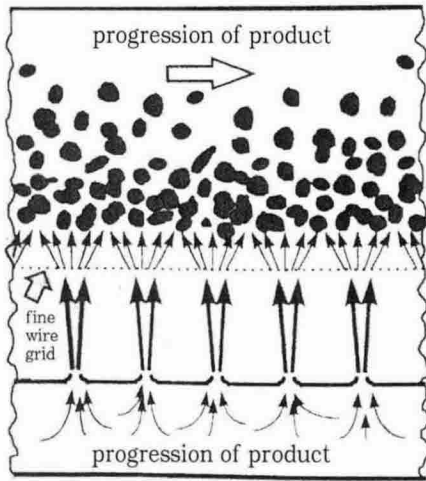


그림 9. Fluidized bed with impingement from beneath

긴 노즐을 사용하기 때문에 굽거나 냉각시킬때 매우 효율적이다. 즉 식품이 담겨있는 아래판은 구멍이 없는 사각형의 판으로서 위에서 분사된 공기가 판에 부딪혀서 다시 위로 올라가기 때문에 대상 식품들을 부유시키는 효과를 주게된다. 부유효과에 의해서 식품들이 밑으로 즉시 떨어지지 않고 상당한 시간 동안 처리를 받으므로 부서지지 않고 매우 효율적으로 impingement 기술이 적용되는 것이다.

### 3. 수분감량의 감소

Impingement 기술을 적용하여 빵을 구우면 구운후 빵의 감량이 줄어드는 긍정적인 효과가 있다. 미국이나 영국등의 여러나라에서 빵은 무게로 달아서 팔리기 때문에 빵의 무게는 매우 중요하다. 또한 수분감량이 적기 때문에 더 부드럽고 유통기간이 늘어나게 된다. 미국에서는 빵의 수분함량이 38%이 하되도록 규제하고 있는데 개선된 impingement 오븐을 사용하면 이 기준을 달성하는데 별 문제가 없다. 수분감량이 줄어들므로 impingement 기술로 구운 육제품, 어육, 야채류들

은 훨씬 많은 즙을 함유하고 있다. 진공냉각과 마이크로파나 라디오파를 이용한 빵굽기 등이 좋은 예이다.

### 4. 마이크로파와 Impingement

몇몇 impingement 시스템들은 마이크로파를 이용한 가열과 조합된 시스템으로부터 출발했다. 따라서 제품의 내부도 빨리 구워지면서 impingement 기술에 의해 분사되는 가열공기에 의해 제품의 표면도 잘 구워졌다. 그림 1과 같은 impingement 기술의 또다른 장점은 마이크로파 가열시에 발생하는 큰 수분감량이 가열된 분사공기에 의해 걸쭉데기가 단단해져서 어느정도 수분증발을 막아주므로 마이크로파로만 가열할 때 보다 수분감량이 줄어든다는 것이다. 마이크로파 가열과 impingement 가열을 조합하게 되면 빵과 같은 제품에서 수분감량은 더 커진다. 이런 2가지 기술이 조합된 형태에서 수분감량을 적게하기 위해서는 빵굽는 시간이 기존의 마이크로파나 impingement 가열만 이용할 때 보다 더 걸릴 수 밖에 없다. 예를 들어 1파운드의 보통빵을 구울때 기존의 전통적인 오븐이나 impingement 기술로는 10분, 바케트빵에 대해서는 5분 정도면 되지만 수분감량을 줄이기 위해서 조합된 혼합방법을 사용하면 30분이나 걸려서, 20분정도 빵굽는 시간이 늘어나게 된다. 마이크로파 빵굽기에서 원하는 정도로 수분감량을 줄이기 위해서는 빵굽는 에너지를 적게 투입시키기 때문에 보통 5분정도의 시간이 더 걸리게 된다. 그러나 빵굽는 에너지가 적게 투입되므로 인하여 많이 투입할 때 보다 빵조각이 더 부드러워지는 효과를 얻기도 한다.

패스트푸드점들이 도처에 산재하고 있어도 민간인이나 군인들의 생활에서 보면 제때에 적절한 식사를 하지 못하는 상황이 자주 발생한다. 군인들이 밤근무를 끝내고 돌아오거나 운전자가 밤동안에 다음 목적지로 이동할 때에도 따뜻한 식사를 먹는 것은 좀 어렵다. 물론 마이크로파오븐이 어느정도 이 문제를 해결할 수 있지만 마이크로파로 햄버거를

데우면 햄버거가 너무 딱딱해지고, 튀긴 감자는 바삭바삭함을 잃고 버섯같이 질겨진다.

따라서 캘리포니아 남부에서는 impingement 기술에 의한 바삭거림과 기존의 마이크로파 가열에 의한 갈변등을 조합한 새로운 시스템을 개발하여 호텔이나 병원, 기숙사등에서 냉동식품등을 조리하여 공급해보는 시도를 하고 있다.

이 시스템은 패스트푸드점에 비해 값이 싸고, 서비스도 친절하며, 신선하게 조리된 음식을 제공하며, 패스트푸드점이 문을 닫은 시간이나, 없는 곳에서도 활용될 수 있는 장점을 갖고 있다.

## 5. 라디오파와 Impingement

식품의 가열에 사용되는 라디오파의 주파는 27.12MHz로서, 역시 식품의 가열에 사용되는 마이크로파의 주파수 2,450MHz나 950MHz보다 매우 낮다. 라디오파를 이용한 식품의 가열은 그 효과면에서는 마이크로파와 비슷하지만 대상식품에 따라 변하지 않는 마이크로파 가열과는 달리 라디오파 가열은 대상식품에 따라 다르다. 라디오파로 가열되는 식품은 두 전극 사이에서 일종의 전도체가 되어 가열되는 "capacitive heating"이 일어난다. 따라서 그림 1 및 2에서 보는 것 처럼 라디오파와 마이크로파를 이용한 impingement 오븐의 디자인은 근본적인 차이가 나는 것이다.

Impingement 기술을 이용한 최초의 라디오파 가열 오븐 장치는 1963년에 Enderlein 등에 의해 제작되어 식품이 아닌 입자성 물질들의 건조에 주로 사용되었다. 이때 전극은 가열시키는 라디오파의 발생원으로서 뿐만 아니라 공기를 분사하는 분사구 역할을 했다. 이와같은 장치에서 공기를 분사하는 impingement 기술은 라디오파 가열시 증발된 수증기를 제거시키는데 큰 도움을 주었다. 위의 개념은 더욱 발전되어 27.12MHz 주파수의 라디오파 가열을 impingement 기술과 접목시켜 그림 2와 같이 12분 정도에 빵을 구워 낼 수 있는 오븐을 제작하게 되었다. 영국의 제빵회사 및 세계적인

몇몇 연구소가 그 오븐을 구입하여 시운전을 하고 있지만 아직 상업적으로 이용하기는 시기상조인것 같다.

그럼에도 불구하고 피자산업계에서는 라디오파와 impingement 기술을 조합하여 그 오븐의 성공 가능성을 제시하고 있는데, 유럽의 한 식품가공업자가 1994년에 27.12MHz 주파수의 라디오파를 사용하는 impingement 오븐을 사용하여 피자의 가열 및 서빙을 실시하여 호평을 받고 있다. 이 impingement 오븐은 3개의 가열지역으로 구분되어 있어서 각 구역이 자동적으로 온도가 조절되는 시스템이다.

## 6. Impingement Freezing

Impingement 굽기의 원리는 냉각이나 냉동의 반대이나 즉 가열하지 않고 공기만 분사하는 impingement는 대상식품을 가열시키기 보다는 오히려 대상 식품으로부터 열을 제거하는 역할을 하고 있다. 그러므로 일반적인 냉동에 비하여 impingement 냉동이 갖는 장점과 효과도 강제 대류에 비유되는 impingement 굽기가 갖고 있는 장점이나 효과와 매우 비슷하다. 1985년에 Smith와 Plumb가 impingement 빵굽기와 냉동에 관한 몇개의 특허를 받았다. 강제대류방식의 굽기와 냉동은 자연대류방식보다 열전달계수를 크게 하기는 하지만 impingement 기술에 의한 냉동과 굽기에서의 열전달 증가 효과를 따라 가지는 못한다. 따라서 Impingement 냉동은 초저온냉동과 같은 냉동속도를 나타내며 기존의 일반적인 냉동보다 5배 정도 빠르기 때문에 원가도 절감되고 제품의 품질도 매우 뛰어나다.

## 참고문헌

- Day, J.M. 1975. Strength of bonding of food soils to dishes. J. Am. Oil Chem. Soc. 52: 461-464.

- Decareau, R.V. 1985. "Microwaves in the Food Processing Industry." Academic Press, Orlando, Fla.
- Demetrakakes, P. 1994. Tinkering with trends. Food Proc., Sept., pp. 70-71, 74, 77.
- Enderlein, H. and Alt., C. 1963. Apparatus for the thermal treatment and/or reaction of materials in a high-frequency field. U.K. patent 914, 546.
- Frew, R. 1972. Entrainment prevention in sugar mill evaporation plant. Intl. Sugar J. 74: 297-299.
- Kimbrough, c. and Robe, K. 1973. Automatic washer restores luster to plastic trays. Food Proc., Nov., p. 70.
- Lemlich, R. 1955. Effect of vibration on natural convective heat transfer. Ind. Eng. Chem. 47: 1175-1180.
- Lemlich, R. 1961. Vibration and pulsation boost heat transfer. Chem. Eng., May, pp. 171-174, 176.
- Li, A. and Walker, C.E. 1996. Cake baking in conventional, impingement, and hybrid ovens. J. Food Sci. 61: 188-191, 197.
- McLean, N. 1989. The ARFA technique. Food Production(U.K.), Sept., p. 29. pulsations on 'the cooling effectiveness of an impinging jet. J. Heat Transfer(Trans. of ASME) 116: 886-895.
- Midden, T.M. 1995. Impingement air baking for snack foods. Cereal Foods World 40: 532-535.
- Morris, C.E. 1994. Efficient cookers, dryers, and fryers. Food Eng., Oct., pp. 115-120.
- Newberry, D. 1996. Vacuum cooling. In Proc. of 72nd Ann. Conf., Am. soc. of Bakery Engineers, Chicago, III., March 4-6, pp 81-86.
- Ovadia, D.Z. 1994b. dielectric baking and vacuum cooling of bread. Ph. D. dissertatin. Dept. of Graing Science and Industry. Kansas State University, Manhattan.
- Ovadia, D.Z. and Walker, C.E. 1995a. Microwave baking of bread. J. Microwave Power Electromagnetic Energy 30(2): 81-89.
- Ovadia, D.Z. and Walker, C.E. 1995b. Microwave pressure baking. In Proc. of 5th Intl. Conf. of Microwave and High Frequency Heating, Sept. 17-21, St. John's College, Engineering Dept., Cambridge Univ., Cambridge CB2 1PZ, U.K., pp G2.1-G2.4.
- Ovadia, D.Z. and Walker, C.E. 1996. Microwave pressure baking with vacuum cooling. Proc. of 31st Intl. Microwave Power Symp., July 28-31. Intl. Microwave Power Inst. Manassas, Va.
- Ovadia, D.Z. and Walker, C.E. 1997. Opportunities for impingement technology in the baking and allied industries. AIB Tech. Bul., Vol. XIX, Issue 5.
- Perry, R.H. and Chilton, C.H. 1973. "Chemical Engineers' Handbook," 5th ed. McGraw-Hill, Kogakusha, Tokyo, Japan, pp. 20-80-20-81.
- Scott, J.M. and Mahoney, D.B. 1982. Physical components of spray cleaning in a milk storage vat. Austral. J. Dairy



- Techno., March, pp 37-38.
- Sheriff, H.S. and Zumbrunnen, D.A. 1994. Effect of flow
- Smith, D.P. 1979. Heat treatment of food products. U.S. patent 4, 154, 861.
- Smith, D.P. 1983. Combined microwave and impingement heating apparatus. U.S. patent 4,409,453.
- Smith, D.P. 1986. Food-finishing microwave tunnel utilizes jet impingement and infrared sensing for process control. Food Techno. 40(6):113-116.
- Smith, D.P. and Plumb, W.W. 1985. High efficiency impingement heating and cooling apparatus. U.S patent 4,523,391.
- Spooner, T.F. 1997. Cooking with air. Baking and Snack 19(8): 58, 60, 62, 64-5.
- Swift, G. and Jones, P.L. 1983. The radio-frequency assisted air-float dryer. Paper Techno. Ind. 24(6): 201, 224-226.
- Varilek, P. and Walker, C.E. 1984. Baking and ovens—History of heat technology. iii. Bakers Dig. 57(5): 52-59.
- Walker, C.E. 1987. Impingement over technology—Part i: Principles. Am. Inst. of Baking Tech. Bull. IX(11): 1-7.
- Walker, C.E. 1991. Air-impingement drying and toasting of ready-to-eat cereals. Cereal Foods World 36: 871-172, 175-178.
- Walker, C.E. and Li, A. 1993. Impngement oven technology—Part iii: combining impingement with microwave(hybrid oven). Am. Inst. of Baking Tech. Bull. XV(9): 1-6.
- Walker, C.E. and Sparman, A.B. 1989. Impingement oven technology—Part ii: Applications and future. Am. Inst. of Baking Tech. Bull. XI(11): 1-11.
- Zumbrunnen, D.A. and Aziz, M. 1993. Convective heat transfer enhancement due to intermittency in an impinging jet. J. Heat Transfer(Trans. of ASME) 115: 91-98.
- 〈출처 : Food Technology, 52(4), 46, 1998〉

