

특집 : 식품 향기성분의 연구동향

새로운 식품향 제조방법으로서의 Reaction Flavor 기술

유 승 석

호남대학교 조리과학과

Reaction Flavor Technique for Generation of Food Flavor

Seung Seok Yoo

Department of Culinary Science, Home University, Kwangju 506-714, Korea

서 론

최근 식품의 특성중 하나인 식품향에 관한 관심이 높아지고 있는데, 그러한 이유는 우선 지난 십 수년간에 걸친 분석장비 및 이를 이용한 기술의 발달을 주요 요인으로 들 수 있다. 물론 식품향에 관한 연구는 유럽의 경우 그 역사가 수 백년 이상이나, 그 동안 일부 국한된 곳에서 숙련된 평가자에 의한 판단을 위주로 행하여 왔으며 이를 객관적으로 제시할만한 자료나 과학적인 근거를 갖추지 못하였다. 다음으로는 소득증대로 인한 다양한 소비자의 요구를 들 수 있다. 매우 다양한 소비자의 기호를 충족시키기 위한 새로운 식품의 개발을 위해서는 식품의 색과 맛등을 포함한 향미(flavor)에 대한 연구가 요구되고 있다. 현재까지는 향미의 주요 요인인 휘발성 향기성분(volatile aroma compounds)에 관한 연구가 주를 이루어 왔다. 그러나 새로운 식품향을 개발하거나 문제점을 보완하고 개선하기 위해서는 식품향의 생성과정을 이해하고, 가장 적합하고 정밀한 분석방법에 의한 평가와 함께 이를 토대로 하여 식품향을 제조하기 위한 방법에 관한 연구가 필요하다고 생각된다. 본 논문에서는 식품향과 관련된 이러한 여러 가지 연구분야 중 식품향의 제조방법의 하나인 reaction flavor 기술에 관해 살펴보고자 한다.

식품향 제조방법과 Reaction Flavor 기술

식품의 품질을 좌우하는 중요한 식품 고유의 특성인 식품의 향(flavor)에 관한 연구는 그 동안 주로 유럽과 미국을 중심으로 활발히 진행되어 왔으며, 특히 특정식품에 포함되어 있는 어떤 물질이 주요성분이며, 어느정도 함유되어 있는가 하는 정성 및 정량적인 분석에 치중되어 왔다. 이러한 연구와 함께 산업체에서 관심을 갖는 분야의

하나의 어떤 특정식품의 향을 개선하거나 강하게 생산하는 것이다.

현재까지 알려진 전형적인 식품향의 제조방법에는 우선 화학적인 합성에 의한 방법이 있다. 즉, 한두가지의 반응물을 사용하여 화학반응을 이용하여 제조한 후, 순수한 목적물질만을 정제하여 얻는 방법이다. 다음으로는 이미 만들어져 있는 두세가지 이상의 화합물을 서로 섞어(compounding) 새로운 향을 만드는 방법이다. 이러한 방법은 조향사 등과 같은 오랜 경험과 훈련된 감각기관을 이용하여 가능해질 수 있으며, 미량분석이 불가능했던 과거에 주로 의존하던 방법의 하나였다.

우리가 소비하는 식품에 존재하는 식품향을 잘 관찰해 보면 대부분의 식품의 경우 특히 조리되는 식품이거나 가공식품의 경우, 많은 부분에 해당하는 식품향은 가공이나 조리되기 이전에는 향이 아예 없거나 매우 약한 향을 가지지만, 조리 등의 가공과정을 거치면서 강하고 독특한 고유의 향을 지니게 된다. 예를 들면 커피를 볶는다던지 아니면 고기를 구울 때의 냄새가 그 전형적인 예라 할 수 있다. 이것은 가공과정 중 가열반응(thermal reaction)에 의해 많은 종류의 휘발성 향기성분(volatile aroma chemicals)들이 생성되기 때문이다. 식품에 따라 또는 열처리 조건에 따라 이러한 향기 성분들은 적게는 수십개의 물질로부터 많게는 수백 또는 수천 개의 화합물이 생성된다.

한편, 식품의 향은 일반적으로 다음과 같은 세가지 경로를 통해 생성되는 것으로 알려져 있다. 첫째, 효소나 미생물에 의한 방법으로 거대분자인 식품성분의 하나가 작은 분자로 분해되는 과정에서 형성되는 경로와, 둘째, 발효과정 동안 새로이 생성되는 화학적 중간물질을 새로운 반응의 재료로 하여 식품향이 생성되는 과정과 관련된 것과, 그리고 셋째로 Maillard reaction으로 알려진 비효소 갈변

화반응(non-enzymatic browning reaction)인 조리나 구울때의 열에 의해 생성되는 경로가 있다. 효소 혹은 미생물에 의한 생물학적 반응에 의한 향기성분은 주로 과일이나 야채 등이 숙성되는 과정(ripening)이나 알콜음료 및 발효유제품 등의 경우에서 흔히 찾아볼 수 있으며, 두번째의 경우는 코코아나 빵의 향기성분과 같이 발효과정 이전에는 존재하지 않던 중간물질이 새로운 전구체로서 발효 과정을 통하여 형성된 후 다시 일련의 열반응에 의해 새로운 향기성분을 생성하는 경우이다. 세번째 경로에 의한 향기성분의 생성은 특히 가공식품 또는 조리식품에서 흔히 발견되는 향기성분으로 대부분이 열처리에 의한 반응의 결과로 이는 주로 식품의 구성성분인 지방, 탄수화물 및 단백질이 분해되면서 생성되는 것으로, 커피나 땅콩 등의 너트류와 일련의 씨리얼제품 및 육가공품류 등의 식품에 각각의 독특하면서 고유의 향미를 부여하는 것으로 알려져 있다. 또한 많은 가공식품과 일부의 가공야채 등의 식품향에도 기여하는 것으로 보고되어 왔다.

이와 같이 식품에 자연적으로 존재하는 여러 가지 식품성분을 전구물질로 하여 우리가 식품을 가공하거나 조리하는 과정을 모사한 다양한 형태의 열반응을 통하여 식품향을 제조하는 것을 'Processed Flavor' 또는 'Reaction Flavor'라고 하며, 이는 천연적인 방법으로 식품향을 제조하는 최신의 식품향 제조방법의 하나이다. 현재까지 알려진 reaction flavor 기술에 의해 식품향을 제조하기 위한 장치로는 reaction bottle, reaction bomb, pressured(controlling) reactor 등이 있다.

Reaction Flavor 기술에 의해 식품향을 성공적으로 제조하기 위해서는 우선 목적하는 식품에 존재하는 휘발성 향기성분을 분석하여 특성을 파악하고, 적절한 전구체를 반응물로 선택한 후, 최적의 반응조건에서 제조를 행하여야 한다. 다음에는 식품의 유형에 따른 휘발성분과 공통적인 전구체의 종류, 그리고 reaction flavor 기술을 이용한 식품향의 제조시 고려할 중요한 반응 메카니즘에 관해 요약하고, 실제로 식품향을 제조하는 단계를 간단히 정리하였다.

식품유형별 휘발성 향기성분

식품의 종류는 매우 다양하며 같은 식품이라도 조리나 가공방법 및 원산지 등에 따라 특징적인 향기성분을 나타낸다. Table 1에 나타난 바와 같이 음료를 포함한 식품에서 발견되는 휘발성 성분(volatile compounds)은 일반적으로 수십개 내지 수백개에 이르는데, 향이 약한 빵의 경우 약 90개, 구운 땅콩의 경우 약 300~400개, 조리한 소고기는 400~500개의 휘발성 성분을 그리고 커피는 약 800개 이상의 성분이 확인되었다. 이들 모두가 향기성분(aro-ma)은 아니며 GCO 등의 여러 가지 기술을 이용하여 각

Table 1. Number of volatile compounds occurring in foods and beverages

| Product | Number of compounds | Product | Number of compounds |
|-----------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| Apple | 356 | Endive | 119 |
| Banana | 225 | Filbert (roasted) | 232 |
| Beef (boiled, cooked) | 486 | Grape | 466 |
| Beer | 562 | Lemon (peel oil) | 163 |
| Cognac | 150 | Mango (raw) | 273 |
| Bilberry | 486 | Orange | 203 |
| Butter | 257 | Papaya | 262 |
| Cheese (cheddar) | 213 | Passion fruit (yellow) | 186 |
| Cherimoya | 236 | Peanut (roasted) | 366 |
| Chicken (heated) | 381 | Potato (baked) | 259 |
| Cocoa | 503 | Rum | 550 |
| Coffee | 790 | Tea (black) | 541 |
| Crispbread | 90 | Tomato | 385 |
| Dill (herb) | 110 | Wine (white) | 644 |

식품의 고유한 향을 나타내는 휘발성 향기성분이 보고되고 있다. 분석기기와 기술의 발달로 인해 과거에는 확인할 수 없었던 미량성분들 특히 역치값(threshold)이 낮은 주요성분들에 대한 연구가 진행되고 있다. Table 2에는 일반적으로 열반응을 수반하는 가공식품을 위주로 한 대표적인 식품의 유형과 현재까지 보고된 각 식품의 휘발성 향기성분의 예를 정리하여 나타내었다.

향기성분의 전구물질

식품의 향기성분은 각 식품이 함유하고 있는 성분의 종류에 따라 각기 다른 전구물질을 가지나 열을 수반한 가열 식품의 경우 공통적으로 식품의 주요성분인 단백질, 탄수화물, 지방을 주요한 제 1차 전구체로 한다. 특히 이러한 세가지 성분의 부분 분해 산물인 아미노산, 펩타이드, 당 및 지방산은 가열에 의해 다른 형태로 전환되어 중간 분해 산물인 제 2차 전구물질을 생성하기도 하고, 일련의 반응에 의해 향기성분을 형성하기도 한다. 대표적으로 가열에 의해 전형적인 향기를 나타내는 식품인 고기나 너트류 등의 향은 중간 전구물질로 아미노산의 전환체인 strecker aldehyde를 갖는다. 또한 reactivity가 높은 free ammonia나 H_2S 에 의해 독특한 화합물을 형성한다. 질소 함유 및 황 함유 헥테로고리 화합물은 주로 이러한 중간전구물질로부터 형성된다. 전형적인 strecker aldehyde에는 glycine에서 유래된 formaldehyde와 alanine에서 생성된 acetaldehyde, leucine의 isovaleraldehyde, methionine의 methional, cysteine에서의 2-mercaptoacetaldehyde 등이 있다. 이러한 공통적인 전구물질을 정리해보면 Fig. 1과 같다.

이러한 전구물질은 식품이 조리되거나 가열되는 과정

Table 2. Common potent odorants occurring in foods and beverages

| Products | Potent Odorants | Products | Potent Odorants |
|----------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| Bread | 2-acetyl-1-pyrroline | Seafood | hexanol |
| | 2-nonenal | | 1-penten-3-ol |
| | diacetyl | | 1-pentanol |
| | 1-octen-3-one | | 2-octen-1-ol |
| | 2,5-dimethyl-3-ethylpyrazine | | |
| Rice | 2-acetyl-1-pyrroline | Coffee/nuts | pyrroles |
| | 2,4-decadienal | | oxazoles |
| | nonanal | | pyrazines |
| | hexanal | | pyridines |
| | | | lactones |
| Milk | 2-nonanone | Fruits | propyl propanethiosulfonate |
| | 2-heptanone | | allyl thiocyanate |
| | diacetyl | & vegetables | β-damascenone |
| | dimethyl sulfide | | |
| Meat | thiazole | Wine | dimethyl trisulfide |
| | 2-methyl-thiophene-3-thiol | | methyl thiol acetate |
| | 5-acetylthiazole | | methoxy-4-vinylphenol |
| | 2-methyl-3-methylthio-furan | | 2-methoxy-3-sec-butyl-pyrazine |
| | 2-methyl-1,3-dithiolane | | |

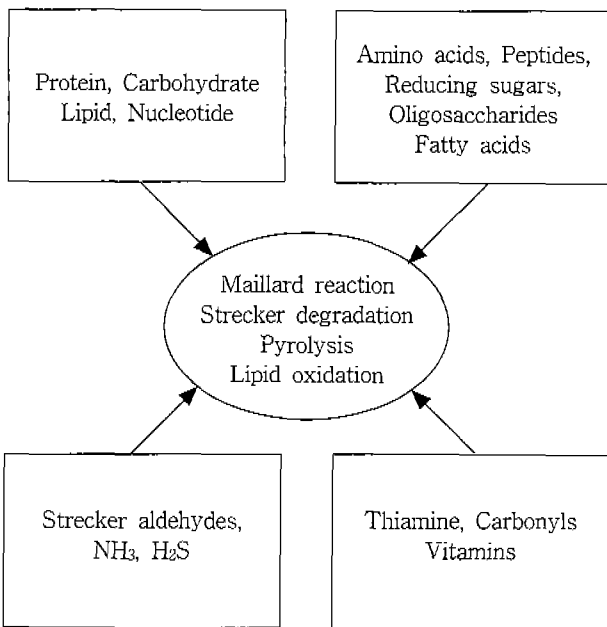


Fig. 1. Common precursors for reaction flavor development.

에서 여러 가지 요인에 의해 최종 화합물의 생성경로가 결정되어지며, 같은 양의 동일한 전구물질이 존재하더라도 특징적으로 다른 향기성분을 형성할 수 있다. 따라서 이러한 향기성분을 생성하는 주요한 반응 메카니즘과 이를 결정하는 요인은 중요한 의미를 갖는다. Reaction Flavor 기술을 이용하여 식품향을 제조하거나 생산을 조절할 때 향의 생성과 관련한 반응 메카니즘을 이해하고 이를 결정하는 요인을 적절히 제한할 수 있다면 원하는 향을 극대화시켜 생산할 수도 있고 그 반대로 원치 않는 향의 생성을 차단할 수도 있다.

가열에 의한 식품향 생성 메카니즘 및 결정요인

식품이 가열되는 동안 향을 포함한 여러 가지 화합물을 만드는 과정에서 고려되는 가장 중요한 반응 메카니즘으로는 lipid oxidation과 함께 Maillard reaction 및 strecker degradation을 들 수 있다. 비효소 갈변화반응 이라고도 불리는 Maillard reaction과 strecker degradation의 특징과 함께 이에 영향을 미치는 요인은 다음과 같다.

Maillard reaction 및 Strecker degradation

Maillard reaction은 간략히 정리해 보면 다음과 같은 세 단계로 진행된다. 즉, 당과 아미노 화합물이 한 분자의 물을 잃고 결합하면서 중간 형태의 전이물질인 schiff base를 경유하여 glycosylamine이 형성되고, 그후 재배열을 통하여 amadori 혹은 heyns 화합물로 전환된다. 이러한 중간 전이산물은 탈수반응을 통해 furfural 또는 여러 종류의 reductone을 생성하거나 retro-aldolization 반응에 의해 di-carbonyl 화합물로 분해된다. Diacetyl, acetol, pyruvaldehyde등의 분해산물은 Strecker degradation 반응을 통해 더 작은 화합물의 형태로 전환됨과 동시에 한 분자의 다른 아미노 화합물과 반응하여 향이 없는 거대분자인 melanoidin과 같은 갈색화합물 뿐만 아니라 헤테로고리 화합물 등의 여러 가지 형태의 향기성분을 생성하게 된다.

아미노산, 펩타이드 및 단백질의 아미노그룹이 환원당의 카보닐그룹 사이의 축합반응에 의해 진행되는 초기반응은 아미노그룹의 비공유전자쌍을 가진 질소에 의한 nucleophilic attack에 의해 시작된다. 이는 carbonyl 그룹의 탄소가 electrophilic 한 성향을 갖기 때문이며 이러한

초기반응의 속도를 결정짓는 몇 가지 중요한 인자 중에서 이러한 두 그룹의 축합은 특히 아미노그룹의 nucleophilicity에 의해 좌우된다. 따라서 이러한 아미노그룹의 reactivity는 각 고유한 아미노그룹의 구조와 함께 이를 둘러싼 주위의 pH에 의해 크게 영향을 받게되는 것이다. 또한 위의 축합반응은 환원당의 cyclic 형태에서 직선형태로의 전환과정도 포함한다. 초기반응에서 인식되는 또 하나의 특징은 중간 전이물질인 schiff base나 재배열산물인 amadori 화합물로 반응이 진행되는 동안 물분자의 침가와 탈수가 수반된다는 점이다. 이것은 전자렌지를 사용한 식품의 가열에서 오븐에 의한 가열과 달리 적절한 갈변화가 일어나지 않는 이유를 설명해준다.

초기반응을 거쳐 생성된 여러 중간 전이물질은 여러 가지 다양한 반응을 통해 분해되어지며 이렇게 생성된 분해물질은 다시 분해와 축합을 통해 다양한 화합물을 형성하게 되는데 대부분의 휘발성 향기성분은 이 단계에서 생성되어진다. 이때 이단계에서 인식되는 가장 중요한 화합물로는 1-deoxyosone과 3-deoxyosone이 있다. 이는 환원당의 형태에 따라 결정되어지는데, fructose와 같은 ketose 형태인 환원당은 주로 전자만을, glucose와 같은 aldose는 양쪽 모두를 만들며 후자를 우세한 비율로 생성하게 되는 것이다. 한편 향기 성분에서 중요한 부분을 차지하는 헤테로고리 화합물도 이러한 단계에서 생산되는데 최종적인 화합물의 구조는 di-carbonyl의 형태와 아미노산의 잔기에 의해 결정된다. 초기단계에서 아미노그룹이 단지 reactive한 중간전이물질의 생성에 관여한 반면, 이 단계에서는 잔기 자체가 최종화합물의 구조에 직접 영향을 미치는 점이 가장 큰 특징중의 하나이다.

마지막 단계를 거치며 각각의 분해산물은 중합반응이나 aldol 축합반응을 통해 갈색을 띤 고분자물질을 형성하며 반응을 종결하게 된다.

반응의 결정요인

Maillard reaction 및 Strecker degradation에 영향을 미치는 요인을 살펴보면, 우선 아미노산, 당 또는 반응매개체 등과 같은 반응 시스템의 조성을 들 수 있다. 그리고 반응산물 혹은 매개체에 함유되어 있는 수분함량과 수분활성도, 반응온도와 반응시간과 같은 반응조건 및 반응물간의 비율과 pH 등이 주요한 영향인자로 작용한다.

이러한 여러 영향인자와 각 단계별 진행에 따른 특성은 다음과 같이 설명되어 질 수 있다. 우선 반응의 시스템 조성인 아미노그룹에 대해 살펴보면, 이는 Maillard 반응을 개시하는 주요 반응물임과 동시에 Strecker degradation 반응을 통해 형성되는 질소함유 헤테로고리 화합물의 형성에 필요한 전구체이기도하다. 이는 헤테로고리

화합물에 있는 질소는 아미노화합물 이외에서는 유래되어질 수 없기 때문이다. 따라서 이러한 아미노그룹의 유형 및 reactivity는 최종산물의 생성에 중요하게 고려되어진다. 아미노산이나 펩타이드에 공통적으로 함유되어 있는 아미노그룹은 대부분이 1차 amine인 반면 proline이나 hydroxyproline은 2차 amine으로 되어있다. 이러한 2차 amine은 주로 bi-cyclic 또는 tri-cyclic 헤테로고리 화합물을 만들며 이는 다른 아미노산을 전구체로 사용하였을 때와 다른 독특한 향을 생성하게 되는 것이다. 이와 관련한 아미노산등의 기본골격에 있는 아미노그룹과 잔기에 있는 아미노그룹에 의한 특이화합물에 관한 연구도 많이 진행되고 있다. 이러한 아미노그룹의 특이성과 함께 다른 하나의 주요 reactant인 당에 대해서 주로 amino-sugar 모델을 이용한 연구가 이루어져 왔다.

수분은 Maillard 반응에서 매개체인 동시에 하나의 반응물로도 작용한다. 이러한 일련의 반응에서 때로는 positive하게 때로는 negative하게 작용을 하는 이유는 단계에 따라 수분이 적절히 첨가되거나 탈수됨으로써 효율적인 반응의 진전이 있기 때문이다. 또한 수분의 존재와 밀접한 관련이 있는 주변 매개체의 pH는 또한 단계에 따라 약산성이나 중성 혹은 염기성을 요구한다. 반응의 초기 단계에선 수분의 탈수가 일어나야만 reactant의 중합이 이루어진다. 그러나 수분이 너무 적은 조건에선 각 reactant의 active 그룹이 가까이 위치하지 못하므로 반응이 저해되고 다른 경로를 통한 반응이 진행된다. 일반적으로 Aw가 0.2이상에서 반응은 진행되고 0.7 내외의 범위에서 가장 많은 양의 헤테로고리 화합물이 생성되었다는 보고가 있다. 그러나 수분은 반응산물의 농도와 종류에 영향을 받으므로 시스템 조성과 병행하여 고려해야 한다. 수분함량을 관련하여 생성물의 관능검사 결과 낮은 Aw에서는 주로 roasted aroma가 높은 Aw에서는 boiled aroma가 확인되었으며 이는 주로 헤테로고리 화합물의 생성량과 분포에 따른 것으로 보고되었다.

반응시간, 온도와 함께 반응매개체, 지방의 종류 및 pH도 Maillard 반응을 결정하는 주요 인자로 알려져 있다. 그러나 위에서 설명한 시스템 조성이나 수분에 비해 더 많은 관심을 기울여야 하는 것은 적절한 반응매개체의 사용으로, 이는 특히 원하는 향기성분을 선택적으로 생성함에 있어 중요한 인자의 하나로 받아들여지고 있다.

Reaction Flavor 기술에 의한 식품향 제조

열을 수반한 반응을 이용한 reaction flavor 기술에 의해 식품의 향을 제조할 때는 주로 Maillard 반응 및 Strecker degradation에 근거를 두고 있고, 여러 가지 Maillard 반응산물과 중간생성물에 개선제, 증강제, 안정제 및 기타

첨가제를 사용하여 제조되어 진다. 실제로 reaction flavor 는 주로 특허로 되어 있거나 많은 부분의 recipe가 know-how로 되어있다. 또한 back ground note가 서로 다른 다양한 형태로 생산되어진다. 이때 제조하고자 하는 식품향의 주요 향기성분과 그에 관련된 전구체를 선별하고 반응조건을 결정한 뒤 반응기(reactor)에서 적절한 규모로 반응하여 얻어진 최종 산물은 여러 가지 기술에 의해 최종적으로 제조절(tuning) 된다. Reaction flavor를 위한 국제 식품향 산업기구에서 제안한 일반적인 전구물질들을 예시하자면 다음과 같다.

- 단백질 및 질소 원료
: meat, poultry, eggs, dairy products, fish, seafood, cereals, vegetable products, fruits, yeast 및 그 추출물.
- 탄수화물 원료
: cereals, vegetable products, fruits 및 그 추출물. sugars, dextrans, starch, edible gums 등의 단당, 이당, 다당류.
- 유지 및 지방산 원료
: fats and oil을 함유하는 유지식품, animal, marine, vegetable origin으로 부터의 edible fats and oils, hydrogenated, transesterified, fractionated fats and oils, 상기의 hydrosis products.
- 첨가물제재
: natural flavorings, natural identical flavoring substances, flavor enhancer, flavor adjunct.
- 기타 물질
: herbs, spices, their extracts, water, thiamine, ascorbic acid, citric acid, sodium, potassium, calcium salt, inositol, acid, base pH regulator, phosphoric acids, sulfuric acids, antifoaming agent.

위에서 예시한 여러 가지 전구물질들을 이용하여 식품향을 개발하는 과정을 단순화하여 그림으로 나타내 보면 Fig. 2와 같다.

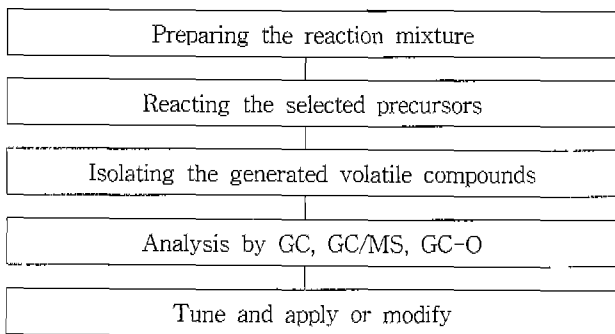


Fig. 2. Diagram for the flavor production by Reaction Flavor Technique.

결 론

식품의 향에 관한 여러 연구분야 중에서 실제의 식품이 함유하고 있는 향을 여러 가지 전구체를 이용하여 제조하는 것은 매우 중요한 의미를 가지고 있다. 그중 특히 각종의 식품향을 가열에 의해 제조하는 분야를 reaction flavor chemistry라고 한다. Reaction Flavor 기술을 이용하여 원하는 향을 제조하기 위해 우선 목적식품의 휘발성 향기성분에 관한 지식과 정보에 관한 인식과 함께, 이들을 생성하는 전구물질에 관해 이해하고 어떤 경로를 통하여 향의 생성을 유도할 수 있을 것인지 디자인하는 것이 중요하다. 대부분의 가열식품은 주요한 전구물질로 식품의 3대 성분인 단백질, 탄수화물, 지방과 그 분해산물을 이용하며 또한 반응이 진행되는 동안 생성되는 중간전이물질과 기타 reactivity가 높은 free ammonia나 H₂S 등을 이용한다. 식품의 유형별 향기성분과 대표적인 전구물질에 관련된 주요한 반응기작에는 Maillard reaction 및 Strecker degradation이 있다. 또한 이러한 가열반응의 결과나 경로에 영향을 미치는 인자들은 시스템 조성, 수분함량, 반응조건 및 pH 등으로 인식되고 있다. 특히 reaction flavor의 가장 주요한 경로로 일컬어지는 Maillard reaction과 Strecker degradation을 이해하고 활용함으로써 원하는 혹은 원하는 지 않는 식품향 생성의 조절이 가능할 것으로 기대되어진다. 또한 편의식품 등의 수요증가와 다양한 관능적 특성을 가진 식품에 대한 소비자의 기대, 그리고 화학합성에 의한 식품향 생산에 대한 거부감은 식품가공 과정의 열반응을 이용한 새로운 기술인 Reaction Flavor 기술에 의한 식품향의 제조에 대한 요구를 점점 더 증가시켜가고 있다.

참 고 문 헌

1. Lindsay, R.C.: Flavors. In *Food Chemistry*, Fennema, O.R. (ed.), Marcel Dekker, Inc., New York & Basel, p. 585-628 (1985)
2. Parliment, T.H.: Thermal generation of aromas. In *Thermal Generation of Aromas*, Parliment, T.H., McGorin, R.J. and Ho, C.T. (eds.), American Chemical Society, Washington, D.C., p. 2-11 (1989)
3. Yoo, S.S.: The contribution of individual and mixed amino acids in the formation of heterocyclic compounds responsible for roasted-nutty aromas. *Ph.D. dissertation*, Rutgers Univ., New Brunswick, NJ (1996)
4. Maarse, H.: *Volatile compounds in foods and beverages*. Marcel Dekker, Inc., New York, USA (1991)
5. Scarpellino, R. and Soukup, R.J.: Key flavors from heat reactions of food ingredients. In *Flavor Science*, Acree, T.E. and Teranishi, R. (eds.), ACS professional reference book, American Chemical Society, Washington, D.C. p. 309-336 (1989)

6. May, C.G. : Thermal process flavourings. Parliment, T.H. Thermal generation of aromas. In *Food Flavorings*. Ashurt, P.R. (ed.), Blackie academic & professional, Bish-
opbriggs, Glasgow, p. 276-308 (1995)
7. Ho, C.T. and Carlin, J.T. : Formation and aroma charac-
teristics of heterocyclic compounds in foods. In *Flavor
Chemistry, Trends and Development*, Teranishi, R.,
Buttery, R.G. and Shahidi, F. (eds.), American Chemical
Society, Wachington, D.C., p. 92-104 (1989)
8. Yoo, S.S., Raghavan, S.K. and Ho, C.T. : Pyrazine gen-
eration from the Maillard reaction of mixed amino acids
in model systems. *Perfumer and Flavorist*, **22**, 49-52
(1997)
9. Rizzi, G.P. : Heat-induced flavor formation from peptides.
In *Thermal generation of Aromas*, Parliment, T.H., Mc-
Gorin, R.J. and Ho, C.T. (eds.), American Chemical Soci-
ety, Wachington, D.C., p. 172-181 (1989)
10. Farmcr, L.J. : Interactions between lipids and the Maillard
reaction. In *Flavor-food Interactions*, McGorin, R.J. and
Lcland, J.V. (eds.), American Chemical Society, Wach-
ington, D.C., p. 48-58 (1994)
11. Rizzi, G.R. : A mechanistic study of alkylpyrazine for-
mation in model systems. *J. Agric. Food Chem*, **20**,
1081-1085 (1972)
12. Vermin, G. and Parkanyi, C. : Mechanisms of formation of
heterocyclic compounds in Maillard and pyrolysis reac-
tions. In *The chemistry of heterocyclic flavouring and
aroma compounds*, Vermin, G. (ed.), Ellis Horwood Pub-
lishers, Chicester, p. 151-161 (1982)
13. Weenen, H. and Tjan, S.B. : Analysis, structure, reactivity
of 3-deoxyglucosones. In *Flavor Precursors*, Teranishi,
R., Takeoka, G.R. and Guntert, M. (eds.), American Che-
mical Society, Wachington, D.C., p. 217-231 (1992)
14. Yoo, S.S. : The significance of pyrazine formation in
flavor generation during the Maillard reaction. *J. Food
Sci. Nutr*, **2**, 360-367 (1997)
15. Manley, C. : Process flavors. In *Source book of flavors*,
Reineccius, G. (ed.), Chapman & Hall, New York, USA,
p. 139-154 (1994)
16. Erickson, R.E. : Thermal and enzymatic conversions of
precursors to flavor compounds. An overview. In *Flavor
Precursors*, Teranishi, R., Takeoka, G.R. and Guntert, M.
(eds.), American Chemical Society, Wachington, D.C., p.
1-7 (1992)
17. Mistry, B.S., Reineccius, T. and Olson, L.K. : Gas
chromatography-Olfactometry for the determination of
key odorants in foods. In *Techniques for analyzing food
aroma*, Marsili, R. (ed.), Marcel Dekker, Inc., New York,
p. 265-292 (1997)