

French fries의 아크릴아마이드 생성에 영향을 미치는 인자에 관한 연구

김혜영 · 박재영 · 김청태¹ · 정소영² · 소유섭² · 이종욱² · 오상석*

이화여자대학교 식품영양학과, ¹(주)농심 개발본부 분석팀, ²식품의약품안전청 오염물질과

Factors Affecting Acrylamide Formation in French Fries

Hye-Young Kim, Jae-Young Park, Cheong-Tae Kim¹, So-Young Chung²,
You-Sub Sho², Jong-Ok Lee², and Sangsuk Oh*

Department of Food & Nutritional Sciences, Ewha Womans University

¹R & D Center, Analysis Team, Nong Shim Co., Ltd

²Food Contaminant Division, Center for Food Safety Evaluation, KFDA

Effects of frying temperature and time, presoaking in distilled water, various pH buffer solutions, and storage temperature of french fries on acrylamide formation were investigated. Acrylamide concentration in french fries increased as frying temperature and time increased. Presoaking of raw potatoes in distilled water reduced acrylamide formation compared to those without presoaking. Acrylamide formation of fried potatoes after presoaking at 60°C for 45 min was about 16% of that without presoaking. Presoaking treatment of raw potatoes in various buffer solutions showed acrylamide concentrations of french fries from potatoes presoaked in acidic buffer solutions were lower than those from potatoes presoaked in neutral to alkaline buffer solutions. Acrylamide concentration of potatoes stored at refrigerator temperature was much higher than those stored at room temperature.

Key words: acrylamide, presoaking, storage temperature, french fries

서 론

아크릴아마이드는 연구목적 및 산업체 등에서 여러 용도로 사용되어 왔다. 산업, 연구 활동에 사용된 아크릴아마이드에 대한 위해는 여러 연구자에 의해 보고되었으나(1-5), Tareke 등은 식이와 아크릴아마이드 생성과의 연관성을 2002년도에 최초로 보고하였다(6). Tareke 등은 아크릴아마이드에 대한 노출을 Hb adduct를 검출함으로써 모니터링 하였는데, 비흡연자의 Hb adduct의 기본수치가 globin의 40 pmol/g으로 관찰되는 것에 착안하여, 고온에서 가열한 식이를 섭취한 쥐의 N-(2-carbamoyl-ethyl)valine이 대조군과 비교하여 크게 증가됨을 확인하여, 사람이 아크릴아마이드에 노출되는 주된 경로가 식품섭취에 의한 것임을 발표하였다(7). 식품 조리 시 가열온도가 식품 내에 아크릴아마이드 형성요인이라는 가정 하에 실험을 행하였으며(6), 이에 대한 발표는 식품 중의 아크릴아마이드 분석법, 아크릴아마이드 형성기전, 독성연구 등에 대한 전세계적인 연구의 촉매제 역할을 하였다(2,6,8-13).

아크릴아마이드의 생성기전을 이해하고 식품중의 아크릴아마이드 생성을 줄이기 위하여 많은 노력을 행하고 있으며 그

방법으로는, 1) 아크릴아마이드의 전구체 함량을 줄이는 방법, 2) 가열 시 아크릴아마이드 생성을 줄이는 방법, 3) 생성된 아크릴아마이드를 제거하는 방법으로 요약할 수 있다(14). 가열 시 아크릴아마이드 생성을 저해하는 방법으로는 아크릴아마이드 생성요인을 정의함으로써 이루어진다(15). 가열시 SH기를 포함한 아미노산, 에스테르, 펩타이드, 단백질 등을 첨가하거나 citric acid, 로즈마리 플라보노이드, 2가, 3가의 양이온을 첨가하여 아크릴아마이드 형성을 저해할 수 있으며, 조리 시 pH를 낮춤으로써 형성을 저해할 수 있다. 아크릴아마이드 형성에 온도의 영향은 중요하나 아크릴아마이드가 형성되기 시작하는 온도는 일반적으로 frying에 사용되는 온도보다 낮으므로 frying에 의하여 어느 정도의 아크릴아마이드는 형성될 수 밖에 없다. Frying 시 사용되는 유지에 따른 아크릴아마이드 형성은 180°C에서 rapeseed oil로 감자를 deep-frying 하였을 때 1,060 ppb, high oleic sunflower oil을 사용하였을 때 1,271 ppb, sunflower oil을 사용하였을 때 852 ppb, palm olein oil을 사용하였을 때 722 ppb였다(10). Becalski 등은 감자 샘플을 파라인 기름과 콩기름으로 10분간 튀겼을 때 생성된 아크릴아마이드 양을 분석하였으나, 그 함량은 크게 차이가 없었다(9). 식물체로부터 유래하는 phenolic antioxidants를 첨가하였을 때 아크릴아마이드 생성의 차이는 없었으며, chickpea의 legume 단백질은 아크릴아마이드 생성을 줄이는 데 효과가 있었다(16). 이미 형성된 아크릴아마이드를 제거할 수 있는 초음계 CO₂ 추출, UV 광선, 전자파 등은 가공 식품의 monomeric acrylamide의 poly-

*Corresponding author: Sangsuk Oh, Department of Food & Nutritional Sciences, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea
Tel: 82-2-3277-3558
Fax: 82-2-3277-2862
E-mail: ssoh71@ewha.ac.kr

merization을 유도하거나 또는 제거할 수 있으나 식품의 본질적 품질변화로 식품 생산공전에 적용하기에는 부적합하다.

각국 식품의 아크릴아마이드 모니터링 분석결과에 의하면, 후렌치 후라이, 포테이토 칩 등의 상업적으로 가공된 감자 식품에서 아크릴아마이드 함량이 높으며, 식품군마다 다양한 아크릴아마이드 함량수치가 분석되었다(17-22). 또한 같은 식품군의 제품에서도 다양한 아크릴아마이드 함량이 보고되었다. 즉, 아크릴아마이드 형성은 식품에 존재하는 전구체 양에 의한 것뿐만 아니라 온도, 시간, 튀김기름의 성질, 식품 매트릭스의 성질 등 다양한 가공 조건에 의하여 영향을 받는 것으로 여겨져 아크릴아마이드의 생성을 줄이기 위하여 다양한 조건의 형성 원인에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다. 이에 본 연구에서는 아크릴아마이드 함량이 높은 후렌치 후라이의 원료인 감자를 실험식품으로 선정하여 아크릴아마이드 생성에 영향을 미치는 인자를 분석하였다.

재료 및 방법

후렌치 후라이

감자(고랭지 감자, 강원도)는 지역 마켓에서 구입하여 상온 및 $4 \pm 2^\circ\text{C}$ 냉장고에서 각각 보관하여 실험에 임하였다. 동일한 조건을 세 번 반복으로 제조, 처리, 분석하였다. 생감자를 탈피한 후 $0.8 \times 0.8 \times 4.3 \text{ cm}$ 의 동일한 크기로 절단하여 감자 샘플을 만들었다. 대조군 샘플은 증류수로 수세한 후 표면 물기를 제거하고, 180°C , 3분간 frying하였다. 가열온도에 따른 아크릴아마이드 생성량 변화는 절단한 감자샘플을 증류수에 담갔다가 표면 수분을 제거하여 $120, 140, 160, 180, 200^\circ\text{C}$ 에서 3분 동안 deep-frying 한 후 아크릴아마이드를 분석하였다. 가열 시간에 따른 아크릴아마이드 생성량 변화는 180°C 에서 1, 2, 3, 4, 5 분 동안 deep-frying한 후 분석하였다. Presoaking 온도와 시간에 따른 아크릴아마이드 생성량 변화는 $20, 60^\circ\text{C}$ 온도의 증류수에서 1, 15, 30, 45분 동안 증류수에 30분간 soaking 한 후 증류수로 수세하였고, 수분을 제거하여 180°C , 3분 동안 deep-frying 하였다. 침지액 pH에 따른 아크릴아마이드 생성량 변화는 제조한 감자샘플을 각각의 pH로 제조한 buffer 용액(0.1 M citric acid/sodium citrate buffer: pH 3.0-5.0, 0.1 M sodium phosphate monobasic/sodium phosphate tribasic buffer: pH 6.0-8.0)에 30분 동안 침지한 후 증류수로 수세하였다. 표면의 수분을 제거한 후 180°C , 3분간 deep-frying 하여 아크릴아마이드를 분석하였다. 저장온도에 따른 아크릴아마이드 생성량 변화는 구입한 원료감자를 두 그룹으로 분류하여 하나의 그룹은 상온 저장하고, 다른 그룹은 4°C 냉장 보관하였다. 각각 보관된 감자는 일주일 간격으로 수세, 탈피, 절단하여 감자샘플을 제조해 증류수로 수세한 후, 표면의 수분을 제거하여 180°C , 3분간 deep-frying 하고 아크릴아마이드 함량을 분석하였다.

아크릴아마이드 함량 분석

Aqua C_{18} 컬럼($2 \times 250 \text{ mm}$, Phenomenex, Torrance, USA)이 장착된 liquid chromatography-tandem mass spectrometry(LC/MS/MS)는 electrospray positive ionization(ESI+), high-pressure liquid chromatography, S2100 Solvent Delivery System(Sykam, Germany), triple-quadrupole tandem mass spectrometer, Quattro micro(Micromass UK Ltd, Manchester, UK), data system (MassLynk version 3.5)를 사용하였고 Shaking incubator(KMC-8480SF, Vision Scientific Co., Korea), High speed refrigerated

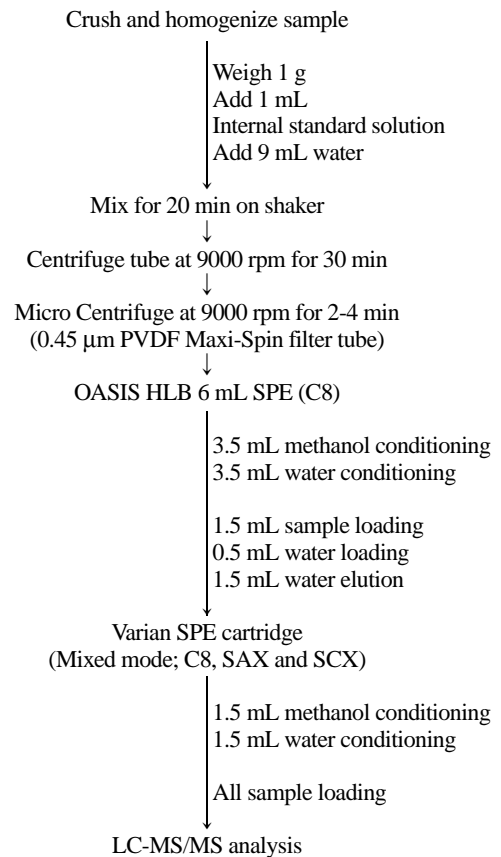


Fig. 1. Scheme for sample extraction (FDA, 2003).

centrifuge(SUPRA 22K, Hanil Science Industrial, Korea), Micro centrifuge(Marathon Micro High Speed Centrifuge, Fisher Scientific, USA)를 사용하였다. 표준물질은 Acrylamide(Sigma Chemical Co., St. Louis)를 구입하여 사용하였고, 내부표준물질은 $^{13}\text{C}_3$ -Labeled acrylamide(Cambridge Isotope Laboratory, Andover, USA)을 구입하여 $4 \pm 2^\circ\text{C}$ 에 냉장 보관하여 사용하였다. 감자를 튀겨 후렌치 후라이를 만들기 위해서 oil bath (Samiltech, Seal, Korea)와 soybean oil(Cheil Jedang Co., Seal, Korea)을 사용하였다. 아크릴아마이드 분석은 FDA에서 추천한 방법으로 행하였다(Fig. 1). 분석방법은 후렌치 후라이를 각각의 조건으로 제조한 후에 균질화하여 1g 취한다. Internal standard solution인 $^{13}\text{C}_3$ -labeled acrylamide(200 ng/mL)를 1 mL 넣어주고, 9 mL 증류수를 넣어준다. 이 샘플을 shaking한 후 원심분리하여 지방층과 샘플층의 중간액 5 mL을 $0.45 \mu\text{m}$ PVDF Maxi-spin filter tube(Alltech Associates, Deerfield)에 옮겨 다시 원심분리한다. OASIS HLB SPE(200 mg packing, Waters Corporation, Milford, USA) cartridge에 여과액 중 1.5 mL를 OASIS SPE cartridge에 용리시킨 후, 이어 water 0.5 mL을 용리시킨다. 마지막으로 OASIS SPE cartridge에 water 1.5 mL을 용리시킨 후 그 용리액을 모은다. OASIS SPE cartridge에 여과액을 Varian SPE cartridge(200 mg packing, Varian Inc., Harbor City, USA)에 여과시킨다. 이렇게 여과된 샘플을 vial에 담아 LC-MS/MS로 분석하였다. 검량선 작성을 위하여 HPLC grade water에 아크릴아마이드를 첨가하여 5, 25, 125, 250, 500 ppb 등의 농도의 standard solution을 만들었다. Calibration은 아크릴아마이드 피크와 $^{13}\text{C}_3$ -acrylamide 피크 면적비를 비교하여 행하

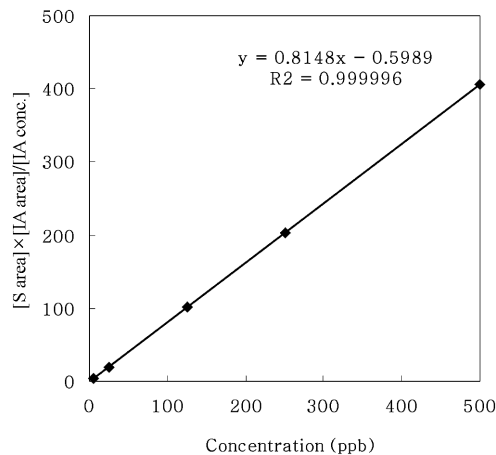


Fig. 2. Standard curve.

S: Standard, IS: Internal standard.

여 졌으며, standard curve는 샘플에 함유된 아크릴아마이드 정량에 이용하였다.

통계분석

일반선형모형(GLM) 분석을 한 후 $\alpha=0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test에 의하여 유의성 검증을 하였다(SAS Institute Inc., Cary, USA.).

결과 및 고찰

검량선

검량선 작성을 위하여 HPLC grade water에 아크릴아마이드를 첨가하여 5, 25, 125, 250, 500 ppb 농도의 standard solution을 만들었다. 각 농도의 standard solution 1 mL에 분석 샘플에 첨가한 농도와 동일한 내부표준물질($^{13}\text{C}_3$ -acrylamide, 200 ppb) 1 mL를 섞어 standard curve 작성에 이용하였다. 각각의 값을 연결하여 검량선을 작성하였고(Fig. 2), 검량선의 r^2 값은 0.999998, r^2 값은 0.999996이다. Standard curve는 샘플에 함유된 아크릴아마이드 정량 시 이용되었다.

가열온도에 따른 아크릴아마이드의 생성량 변화

후렌치 후라이의 frying 온도가 증가함에 따라 후렌치 후라이의 아크릴아마이드 생성량이 증가되었다(Fig. 3). 120°C에서 실험군의 아크릴아마이드 함량은 13 ppb, 140°C에서 28 ppb, 160°C에서 355 ppb, 180°C에서 798 ppb, 200°C에서 2,169 ppb이었다. 아크릴아마이드 생성량이 160°C에서 180°C, 200°C로 온도가 높아지면서 아크릴아마이드 생성이 급격히 증가되었으며, 120, 140, 180, 200°C의 frying temperature 간의 유의적 차이가 있었다. 본 실험 결과, 아미노산과 포도당의 모델시스템을 이용한 Mottram 등(11)의 연구결과와 유사하게 120°C 이상에서 아크릴아마이드 생성되기 시작하여 160-180°C에서 많이 증가하였으나, 200°C 이상의 고온에서도 계속적으로 그 생성량이 증가되었다. Tareke 등은 모델시스템에서는 200°C에서 가열하였을 때 아크릴아마이드 함량이 줄었다. 그러나 시중에서 판매되는 햄버거 패티를 160, 180, 200, 220, 240°C에서 3분 동안 가열하였을 때, 대조군에서는 아크릴아마이드가 검출되지 않았고, 실험군은 160-240°C까지 온도가 상승함에 따라 아크릴아마이드 검출량이 계속적으로 증가하였다(6). 이는 본 연구와 유

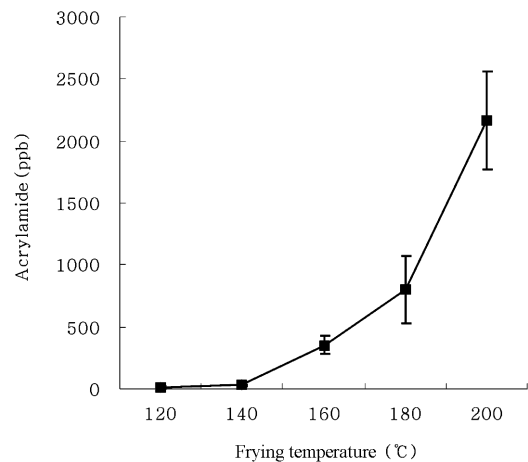


Fig. 3. Concentration of acrylamide in french fries fried at different temperature for 3 minutes.

Error bars represent standard deviations.

사한 아크릴아마이드 생성을 보여주었다. 모델 시스템과 달리 실제식품에서는 가열온도가 증가할수록 아크릴아마이드 생성이 계속적으로 증가되었다. 식품의 매트릭스로 인해 열전달속도가 변할 수 있으며, 식품의 실제온도는 기름의 온도보다 낮을 가능성이 있다. 또한 식품 중의 수분이 증발하면서 증발열에 의한 식품 표면온도 강하에 의하여 아크릴아마이드가 생성되는 표면에서의 온도는 기름온도보다 낮을 수 있으며 이로 인하여 200°C의 기름온도에서도 지속적인 아크릴아마이드 생성 가능성이 있는 것으로 사료된다.

가열시간에 따른 아크릴아마이드의 생성량 변화

감자를 1분간 frying 하였을 때 실험군의 아크릴아마이드 함량은 96 ppb, 2분간 frying 하였을 때 497 ppb, 3분간 frying 하였을 때 1,268 ppb, 4분간 frying 하였을 때 2,407 ppb, 5분간 frying 하였을 때 3,393 ppb이었다. 후렌치 후라이 가열 시 가열 시간이 증가할수록 후렌치 후라이의 아크릴아마이드 생성량이 계속 증가하여, 1분 가열한 실험군과 5분 가열한 실험군 간에 유의적 차이가 있었다(Fig. 4). 가열시간과 아크릴아마이드 생성량과의 상관관계에 대한 또 다른 연구에서는 마이크로웨이브로 50, 100, 150초 동안 mash potato를 가열하였을 때 <5, 47, 4400 ppb의 아크릴아마이드 생성을 보고하였으며(23), 이 결과는 가열시간이 증가할수록 아크릴아마이드 생성이 급격히 증가하는 유사성을 확인할 수 있었다.

Presoaking 온도와 시간에 따른 아크릴아마이드의 생성량 변화

Presoaking을 하지 않은 대조군의 아크릴아마이드 함량은 1,469 ppb이었으며, 상온의 증류수로 1, 15, 30, 45분간 presoaking한 실험군의 평균은 각각 1,001, 1,043, 902, 913 ppb이었다(Fig. 5). 60°C의 증류수로 1, 15, 30, 45분간 presoaking한 실험군의 아크릴아마이드 함량은 각각 841, 744, 387, 234 ppb이었다(Fig. 6). 그리고 대조군과 실험군의 차이는 유의적으로 나타났으며, 60°C의 증류수로 presoaking한 실험군에서는 presoaking 시간에 의해서도 유의적 차를 나타냈다. 즉, presoaking의 시간이 증가될수록 후렌치 후라이 내의 아크릴아마이드 생성량이 계속적으로 감소하여, 대조군과 비교하였을 때 60°C에서 45분간 presoaking한 실험군의 아크릴아마이드 생성량은 80% 이상 감소되었다. 이는 감자표면의 당과 아미노산이 수세에 의하여 농

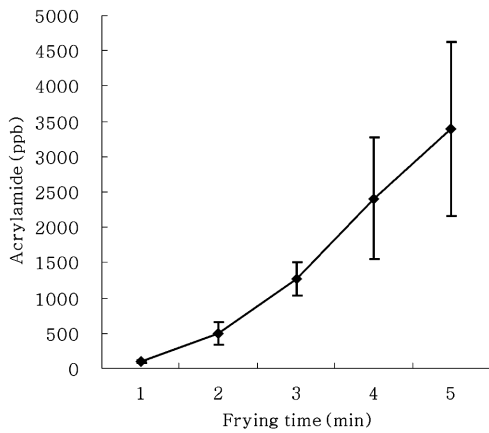


Fig. 4. Concentration of acrylamide in french fries fried at 180°C for various frying time intervals.
Error bars represent standard deviations.

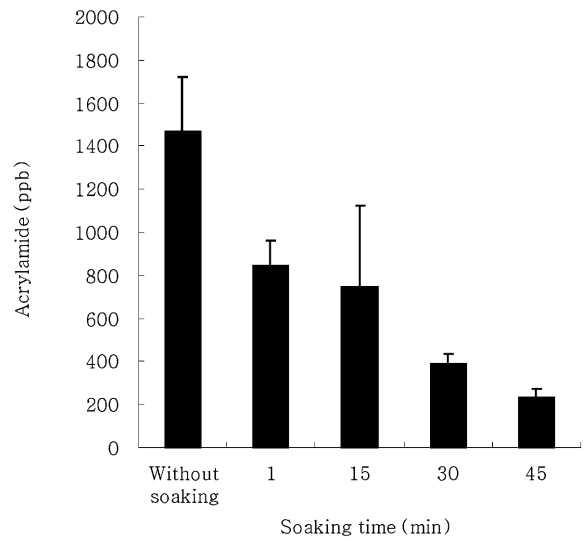


Fig. 6. Concentration of acrylamide in french fries fried at 180°C with potatoes presoaked in distilled water at 60°C.
Error bars represent standard deviations.

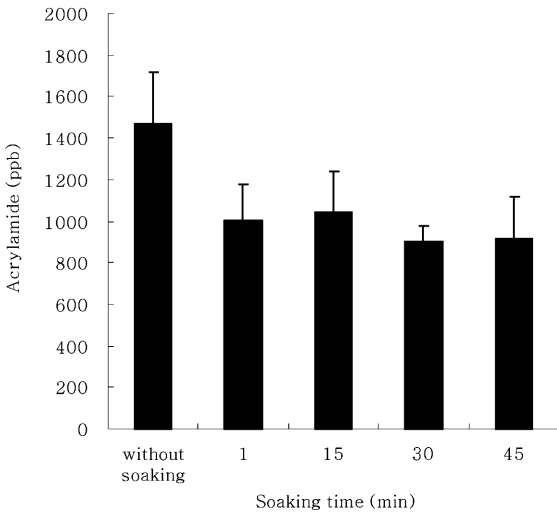


Fig. 5. Concentration of acrylamide in french fries fried at 180°C with potatoes presoaked in distilled water at 20°C.
Error bars represent standard deviations.

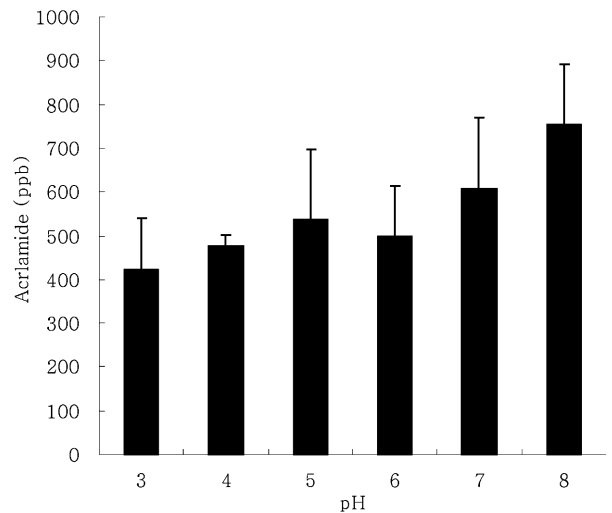


Fig. 7. Concentration of acrylamide in french fries fried at 180°C with potatoes presoaked in different pH buffer solutions.
Error bars represent standard deviations.

도가 감소되었기 때문에 표면에서 가열에 의한 아크릴아마이드 생성이 감소된 것으로 사료되며, presoaking 온도를 증가시킴으로서 아크릴아마이드 생성을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

침지액 pH에 따른 아크릴아마이드 생성량 변화

감자를 presoaking할 때, 침지액 pH에 따라 감자 frying시 아크릴아마이드 함량의 차이가 있었다. pH 3.0 buffer solution에서 presoaking한 실험군의 아크릴아마이드 함량은 422 ppb, pH 4.0 buffer solution에서 475 ppb, pH 5.0 buffer solution에서 537 ppb, pH 6.0 buffer solution에서 497 ppb, pH 7.0 buffer solution에서 607 ppb, 그리고 pH 8.0 buffer solution에서는 752 ppb이었다(Fig. 7). 즉, pH 3.0에서 아크릴아마이드 생성량이 가장 작고 pH가 증가될수록 아크릴아마이드 생성이 점점 증가되었으며, pH 3.0, 4.0과 pH 8.0 buffer solution 처리군의 아크릴아마이드 생성량은 유의적 차이를 나타냈다. 모델 시스템 하에서 아스파라긴과 포도당을 buffer solution에서 가열하여 생성된 아크릴아마이드 변화량을 분석한 Brown(23)의 실험에 의하면, 중성에서 아크릴아마이드 형성이 최대였으며, pH 6.0에서 아크

릴아마이드 생성이 감소되어, pH 5.0 이하에서 아크릴아마이드 형성이 확실히 억제되었다. Jung 등은 pH 4.0-8.0 범위의 1 M phosphate buffer solution에 아스파라긴(0.5 mmol)과 포도당(0.5 mmol)을 가하여 150°C에서 3분간 가열하여 pH에 따른 아크릴아마이드 생성량 변화는 살펴보았는데, 그 결과 pH 4.0에서 아크릴아마이드 생성이 pH 8.0에서 생성된 양보다 감소하였다(24). 본 실험에서는 buffer solution의 pH가 낮아짐에 따라 아크릴아마이드 생성이 감소되었다. 이는 Brown(23)과 Jung 등(24)에 이루어진 두 실험 모두 모델 시스템 하에 이루어졌으므로 pH에 의한 영향이 본 실험에 비해 크게 나타난 것으로 판단된다. Jung 등(24)은 Maillard reaction에 의해 dicarbonyl 화합물의 부분적으로 양성이 띠는 carbonyl 탄소와 아스파라긴의 nucleophilic amino 그룹이 서로 반응함으로써, schiff base 및 아크릴아마이드가 형성되므로, 낮은 pH 시스템을 이용하여 아스파라긴의 nucleophilic amino 그룹(-NH₂)을 nonnucleophilic pro-

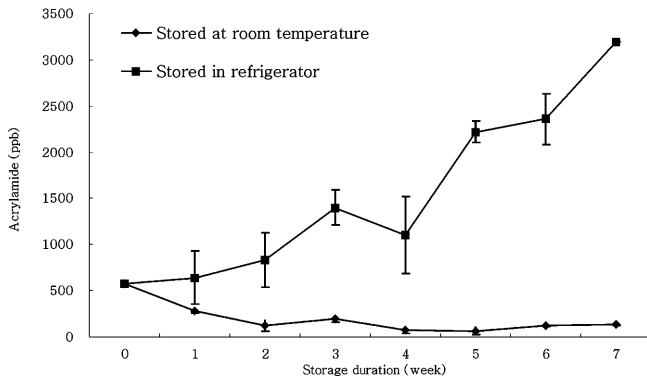


Fig. 8. Concentration of acrylamide in french fries fried at 180°C from potatoes stored at different temperatures. Error bars represent standard deviations.

tonated amino 그룹(-NH₃⁺)화 하면 아크릴아마이드 생성을 억제할 수 있다고 보고하였다.

저장온도에 따른 아크릴아마이드 함량 변화

감자 구입 즉시 frying한 후렌치 후라이의 아크릴아마이드 함량은 569 ppb, 상온에서 1-7주간 저장한 후 분석한 실험군 각각의 아크릴아마이드 함량은 285, 122, 190, 72, 62, 122, 136 ppb이며, 4±2°C에서 1-7주간 저장한 후 분석한 실험군 각각의 아크릴아마이드 함량은 638, 835, 1,395, 1,101, 2,221, 2,358, 3,189 ppb이었다(Fig. 8). 4주 이상 상온 저장한 실험군, 대조군, 3주 이상 냉장 저장한 실험군의 아크릴아마이드 함량은 유의적 차이가 있었다. 특히 5주간 상온 저장한 감자에서 생성된 아크릴아마이드 양은 대조군에 비해 감소되었으며, 7주간 냉장 저장한 감자에서 생성된 아크릴아마이드 양은 대조군에 비해 5배 이상 증가되었다. 즉, 냉장보관 기간이 길어질수록 후렌치 후라이의 아크릴아마이드 함량은 급속도로 증가되는 반면, 상온 보관기간일 경우, 5주까지는 소량 감소하다 그 이후 다시 약간 증가하였다. Vattem 등(16)과 Amrein 등(25)은 8°C 이하로 감자를 보관하는 것은 포도당과 과당의 함량을 현저히 높이므로 아크릴아마이드 생성 가능성 또한 높아질 수 있다고 주장하였으며, 본 실험의 결과도 그들의 결과와 일치하였다. 저장기간에 따른 아크릴아마이드 함량의 변화는 전구체 함량의 변화 때문이라고 사료된다. Brierley 등(26)에 의하면, 수확 직후에 아스파라긴 함량이 2.07±0.24 mg/g (fresh weight)인데 반하여 25 주간 5, 10°C 각각의 온도에서 저장한 감자의 아스파라긴 함량은 7.27±1.10 mg/g(fresh weight), 9.31±1.36 mg/g(fresh weight)으로 증가되었으며, 그 원인은 효소에 의해 저장 단백질이 분해되기 때문이다. Marquez 등(27)의 연구에 의하면 3°C에서 저장한 감자의 환원당의 함량은 저온저장 시 환원당량이 저장초반에 비해 55%까지 증가하였고, Nourian 등(28)에 의하면 저장기간을 늘리기 위해 냉장 보관을 하면 감자의 전분이 환원당으로 전환됨으로 환원당량이 급속히 증가한다고 보고하였다. 저온에서 저장한 감자의 경우 효소에 의하여 증가된 환원당 및 아미노산으로 감자를 가열하였을 때 아크릴아마이드 생성이 증가할 수 있음을 보여주고 있다.

요 약

가열온도, 가열시간, presoaking 처리, 침지액 pH 처리, 저장

온도의 변화에 따라 아크릴아마이드 함량에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이를 식품생산에 적용하여 식품 내 아크릴아마이드 생성을 줄일 수 있는 방법을 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 아크릴아마이드의 저감화는 원료 내 아크릴아마이드 형성가능물질을 줄임으로써 일차적으로 이루어질 수 있다. 본 실험을 통해 냉장보관한 감자의 아크릴아마이드 생성량은 보관기간이 길어질수록 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 감자의 환원당과 아미노산이 증가되어 아크릴아마이드 생성량이 증가되는 것으로 사료된다. 일반적으로 후렌치 후라이는 160-180°C 온도에서 2-5분간 가열한다. 아크릴아마이드 생성은 가열시간 및 온도에 크게 영향을 받으므로 이를 조절함으로써 식품 내 아크릴아마이드 함량을 줄일 수 있다. 아크릴아마이드는 160°C 이상의 고온에서 생성이 급속도로 증가되므로 식품을 조리 시 가열온도를 가능한 낮게 조절하는 방법도 아크릴아마이드 함량을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 60°C의 증류수에 45분간 침지하였을 때 아크릴아마이드 생성량이 약 80% 감소되었으며 침지과정은 후렌치 후라이 제조시 제품의 색감을 좋게 하기 위해 제조과정 중 포함되어 있으므로 침지온도와 침지시간을 조절하는 것으로 아크릴아마이드 함량을 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 식품의약품안전청에서 시행한 용역연구 개발사업의 연구비 지원과 농심(주)의 도움으로 진행되었습니다. 이에 깊이 감사드립니다.

문 헌

1. Yang JS, Lee MY, Park IJ, Kang SK. Occupational health: Simple analytical method for analytical science and technology in the workplace air absorbed by charcoal tube. *Anal. Sci. Technol.* 11: 139 (1998)
2. Ahn JS, Castle L. Tests for depolymerization of polyacrylamide as a potential source of acrylamide in heated foods. *J. Agric. Food Chem.* 51: 6715-6718 (2003)
3. Smith EA, Prues SL, Oehme FW. Environmental degradation of polyacrylamides. 1. Effects of artificial environmental conditions: temperature, light, and pH. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 35: 121-135 (1995)
4. Smith EA, Prues SL, Oehme FW. Environmental degradation of polyacrylamides. 2. Effects of environmental(outdoor) exposure. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 37: 76-91 (1995)
5. Friedman M. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide: A review. *J. Agric. Food Chem.* 51: 4504-4526 (2003)
6. Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, T Rnqvist M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.* 50: 4998-5006 (2002)
7. Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, T Rnqvist M. Acrylamide: a cooking carcinogen? *Chem. Res. Toxicol.* 13: 517-522 (2000)
8. Rosén J, Hellenäs K-E. Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Analyst* 127: 880-882 (2002)
9. Becalski A, Benjamin P-YL, Lewis D, Seaman SW. Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modeling. *J. Agric. Food Chem.* 51: 802-808 (2003)
10. Gertz C, Klostermann S. Analysis of acrylamide and mechanism of its formation in deep-fried products. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 104: 762-771 (2002)
11. Mottram DS, Wedzicha BL, Dodson AT. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature* 419: 448-449 (2002)
12. Stadler RH, Blank I, Varga N, Robert F, Hau J, Guy AP, Robert

- M-C, Riediker, S. Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature* 419: 449 (2002)
13. Barber DS, Hunt JR, Ehrich MF, Lehning EJ, LoPachin RM. Metabolism, toxicokinetics and hemoglobin adduct formation in rats following subacute and subchronic acrylamide dosing. *Neurotoxicology*. 22: 341-353 (2001)
 14. Food and Drug Administration. FDA draft action plan for acrylamide in food. Available from: <http://www.cfsan.fda.gov>. Accessed May 3, 2002.
 15. JIFSAN/NCFST. Workshop on Acrylamide in Food. Available from: <http://www.jifsan.umd.edu/acrylamide2002.htm>. Accessed May 24, 2002.
 16. Vatter DA, Shetty K. Acrylamide in food: a model for mechanism of formation and its reduction. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 4: 331-338 (2003)
 17. Park JY. Acrylamide Monitoring of Domestic Heat-Treated Food Products. MS thesis, Ewha Womans University, Seoul, Republic of Korea (2003)
 18. Food and Drug Administration. Exploratory data on acrylamide in foods. Available from: <http://www.cfsan.fda.gov>. Accessed Apr. 3, 2002.
 19. Food and Drug Administration. Exploratory data on acrylamide in foods. Available from: <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/acrydat2.html>. Accessed Jun. 1, 2003.
 20. SNFA. Acrylamide in food: Acrylamide in foodstuffs, consumption and intake. Available from: <http://www.slv.se/engdefault.asp>. Accessed Apr. 10, 2002.
 21. Konings EJM, Baars AJ, van Klaveren JD, Spanjer MC, Rensen PM, Hiemstra M, van Kooji JA, Peters PWJ. Acrylamide exposure from foods of the Dutch population and an assessment of the consequent risks. *Food Chem. Toxicol.* 41: 1569-1579 (2003)
 22. Ono H, Chuda Y, Kobayashi H, Yoshida M. Analysis of acrylamide by LC-MS/MS and GC-MS in processed Japanese foods. *Food Addit. Contam.* 20: 215-220 (2003)
 23. Brown R. Formation, occurrence and strategies to address acrylamide in food; Food Advisory Committee Meeting Acrylamide. Available from: <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/acrybrow/sld025.htm>. Accessed May 10, 2003.
 24. Jung MY, Choi DS, Ju JW. A novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chip and in french fries. *J. Food Sci.* 68: 1287-1290 (2003)
 25. Amrein TM, Bachmann S, Noti A, Biedermann M., Barbosa MR, Biedermann-Brem S, Grob K, Keiser A, Realini P, Escher F, Amad R. Potential acrylamide formation, sugar and free asparagine in potatoes: A comparison of cultivars and farming systems. *J. Agric. Food Chem.* 51: 5556-5560 (2003)
 26. Brierley ER, Bonner PLR, Cobb AH. Aspects of amino acid metabolism in stored potato tubers (cv. Pentland Dell). *Plant Sci.* 127: 17-24 (1997)
 27. Marquez G, Anon MC. Influence of reducing sugars and amino acids in the color development of fried potatoes. *J. Food Sci.* 51: 157-160 (1986)
 28. Nourian F, Ramaswamy HS, Kusnhalappa AC. Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. *Lebensm. -Wiss. Technol.* 36: 49-65 (2003)

(2004년 9월 14일 접수; 2004년 11월 4일 채택)