J. Fd Hyg. Safety
Vol. 24, No. 3, pp. 238~246 (2009)

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

국내에서 유통된 식품의 아크릴아마이드 함량 분석

김미교 · 오미화[1] · 윤수현 · 김청태[2] · 성동은 · 함준상[1] · 최동미[3] · 오상석 *
이화여자대학교 식품공학과, [1]농촌진흥청 국립축산과학원 축산물이용과,
[2](주)농심 개발본부 식품분석팀 R&D, [3]식품의약품안전청 화학물질과

Acrylamide concentration in domestic foods

Mi-Kyo Kim, Mi-Hwa Oh[1], Soo-Hyun Youn, Cheong Tae Kim[2], Dong-Eun Sung, Jun-Sang Ham[1], Dongmi Choi[3], and Sangsuk Oh*
Department of Food Science and Technology, Ewha Womans University,
[1]National Institute of Animal Science, Rural Development Administration,
[2]Research and Development Center, Nongshim,
[3]Food Chemical Residues Division, Korea Food & Drug Administration
(Received December 12, 2008/Revised June 15, 2009/Accepted August 31, 2009)

ABSTRACT - Acrylamide in various food samples in Korea were monitored during the period beginning August 2006 through May 2007. A total of 471 food products that were purchased at local markets were categorized into 17 groups and analyzed for the acrylamide content by using an LC-MS/MS method. Food samples that were selected based on special consideration such as expert consultation, Korean food consumption data and food market shares were considered to be representative. There are very large variations in acrylamide levels within tested foods. Acrylamide content ranged from ND(not detected) to 4,002 μg/kg with all tested samples. Acrylamide levels are relatively high in 'cereal', 'coffee', 'potato snacks', 'biscuit', 'chocolate', and 'prune juice'. Acrylamide was also detected in fruits, vegetables, Korean traditional cookies which are considered as safe for acrylamide.

Key words: Acrylamide, Content, LC-MS/MS method

식품 중 위해는 화학적, 물리적, 미생물학적 요인으로 나눌 수 있으며, 이 중 화학적 위해는 그 발생방법에 따라 분류될 수 있다. 아크릴아마이드는 식품조리가공 중 생성되는 화학물질로 1950년대 중반부터 제지 및 정화처리 등 다양한 산업분야에서 사용되고 있다[1-4]. 작업환경에서의 노출에 의한 신경독성을 제외하고는 아크릴아마이드에 의한 인체 내 위해가 명확하게 알려져 있지 않으나, 장기간 노출 시 동물에게 암을 유발할 수 있다는 연구결과에 의해 1994년 International Agency for Research on Cancer (IARC)는 인체에 암을 유발할 가능성이 있는 물질인 2A group으로 분류하였다[5]. 2002년 스웨덴 국립식품청이 식품 중 아크릴아마이드가 존재함을 보고한 뒤[6], 식이를 통한 아크릴아마이드 섭취가 인체에 미치는 영향에 대한 논란을 불러일으키며 이에 대한 독성, 생성기전, 저감화 등 다양한 분야의 연구를 촉발시켰다. 2005년에는 아크릴아마이드에 대한 위해평가가 Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)의 권고에 의해 행해졌는데, 당시에 자료의 불충분으로 차후에 재검토를 하는 것으로 결정하였다. 이에 Food and Drug Administration/National Center for Toxicological Research(FDA/NCTR)의 동물실험 결과가 발표되는 2009년 하반기나 2010년에 재검토가 이루어 질 예정이다. 현재까지는 아크릴아마이드가 폐경기 자궁암과 관련이 있었다는 논문이 발표되었으나[7], 암과 식품으로 섭취한 아크릴아마이드 간의 상관관계가 명확히 밝혀진 것은 아니다[8]. 이에 식품 내 아크릴아마이드 함량을 분석하고 실태를 파악하는 것은 아크릴아마이드 관련 연구분야의 토대를 마련하는 기초자료로서 중요할 뿐 아니라 식품 중 아크릴아마이드 섭취에 의한 인체 내 위해에 대한 가능성이 제시되고 있는 시점에서 국민보건을 위해서도 매우 중요하다고 할 수 있다.

아크릴아마이드는 감자 등과 같은 고탄수화물 식품을 고온에서 조리가공 할 때 생성되는 것으로 알려져 있으며[9-11], 현재까지 각국에서 수행된 연구의 결과에서 커피,

*Correspondence to: Sangsuk Oh, Department of Food Science and Technology, College of Engineering, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea
Tel: 82-2-3277-2751, Fax: 82-2-3277-4422
E-mail: ssoh71@ewha.ac.kr

프렌치프라이, 스낵, 감자칩 등의 식품에서 많은 양의 아크릴아마이드가 검출됨을 보여 주었다[12–33]. 또한 리조또[30], 라멘[33], 튀긴 TARO meat 만두[31], 약과[21] 등과 같은 각국의 전통식품이나 고유식품 역시 상당량의 아크릴아마이드를 함유하는 식품이며, 일부 국가의 경우 국민적 취향에 의해 이러한 전통식품을 더 많이 소비함으로써 아크릴아마이드에 노출될 가능성이 더 높기 때문에[12], 각국의 개별적인 모니터링 연구의 필요성이 인식되고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 국내 식품 중 아크릴아마이드의 실태를 파악하고 위해성 평가를 위한 기초자료를 확보하기 위해 국내 유통식품에서 아크릴아마이드 함량을 분석하고자 한다.

재료 및 방법

분석시료의 선정

본 연구에서는 분석시료의 대표성을 확보하기 위해 한국인이 일반적으로 섭취하고 있는 다양한 식품을 대상으로 전문가 자문 및 통계자료 등을 바탕으로 시료를 선정하였다. 국가차원의 식품섭취량 자료인 '2001년 국민건강·영양조사'[34]와 식품유통연감에 게재된 '주요 식품 품목별 생산실적 출하액 기준 상위 20 개 품목(2006)' 통계자료[35]를 이용하여 식품군을 선정하였다. 또한 국외의 연구 자료를 통해 아크릴아마이드 고함유 식품으로 알려진 식품 및 식품 구성성분과 조리과정으로 인해 아크릴아마이드를 함유할 것으로 추정되는 식품을 중심으로 연구를 수행하였다. '2006년 식품유통연감'에 게재된 '생산량기준 국민다소비 식품 순위' 와 '출하액 기준 주요 식품 품목별 생산실적에 기초하여 제조회사(brands)를 선정하였다. 이에 따라 선정된 총 471개의 시료를 2006년 8월부터 2007년 5월까지 현대 백화점(신촌점, 서울), 그랜드마트(신촌점, 서울), 롯데백화점(명동점/잠실점, 서울), 신세계백화점(명동점/강남점, 서울), 롯데마트(잠실점/서울역점, 서울), 페스트푸드점(신촌, 서울)에서 구입하였고, 각 시료의 포장에 표기된 방법으로 1～2 일간 보관한 후 분석하였다. 분석된 시료는 식품공전상의 17개 식품군(과자류, 당류, 유가공품, 식육제품, 어육제품, 두부류 또는 묵류, 식용유지류, 면류, 다류, 음료류, 건강보조식품, 조미식품, 인삼제품류, 김치·절임식품, 주류, 건포류, 기타식품류)으로 분류하였다.

시약

아크릴아마이드 표준물질(순도 99% 이상)과 개미산, glacial acetic acid(순도 99% 이상)는 Sigma-Aldrich(St. Louis, USA)로부터 구입하였으며, 내부표준물질로 사용된 탄소 13 동위원소로 치환된 아크릴아마이드($^{13}C_3$-labeled acrylamide)는 Cambridge Isotope Laboratories (Andover, USA)에서 구입하였다. 또한 본 연구에서 사용된 물과 메탄올, 2-프로판올, 아세토니트릴(시안화메틸)은 HPLC 급으로 Omnisolv, EM Science(Gibbstown, USA)에서 구입하였다.

실험기기

본 실험에 사용한 Liquid chromatography-tandem mass spectrometry는 S2100 Solvent Delivery system (Sykam, Germany)과 연결된 Quattro Micro(Micromass UK Ltd., Manchester, UK)를 사용하였다. 데이터 해석(spectral analysis)을 위하여 MassLynk version 3.5를 사용하였으며, 액체크로마토그래피(Liquid chromatography)의 컬럼은 Aqua C_{18} (2 × 250 mm, Phenomonex, Torrance)을 사용하였다. 시료의 균질화하기 위해 믹서기(Hanil science, Korea)를 사용하였으며, 그 외 시료분석을 위해 진탕기(Shaking incubator) (KMC-8480SF, Vision scientific Co., LTD), 초고속(저온)원심분리기(High speed refrigerated centrifuge) (SUPRA 22K, Hanil Science Industrial, Korea), 초소형 고속원심분리기(Micro centrifuge)(Marathon Micro High Speed Centrifuge, Fisher Scientific, USA)를 사용하였다. 시료의 정제를 위하여 PVDF Micro-spin filter tube(Alltech Associates, Deerfield, USA)와 두 종류의 SPE 카트리지인 C_{18}이 충진되어 있는 OASIS HLB 6 mg와 SCX와 SAX가 혼합 충진되어 있는 Bond-Elut Accucat를 각각 Waters Co.(Milofrd, MA, USA)와 Varian Co.(Harbor city, CA, USA)으로부터 구입하였다.

시료 내 아크릴아마이드 추출

미국 식품의약품안전청에 의해 제안된 방법에 따라 분석 시료를 전처리하였다[16]. 1인 1회 섭취분량(serving size)의 시료를 믹서기를 이용하여 균질화한 후, 1 g의 시료를 50 ml의 polypropylene copolymer centrifuge ware(Nalgene, USA)에 넣고 0.1% 개미산에 용해한 200 ng/ml 농도의 내부표준용액 1 ml와 HPLC급 물 9 ml를 가한 후 잘 혼합하여 진탕기에 넣어 180rpm으로 20분 동안 진탕함으로써 시료 내 아크릴아마이드를 추출하였다. 이 후 초고속원심분리기를 이용하여 15,000×*g* 로 15분간 원심분리하여 얻어진 수용액층의 5 ml를 여과튜브에 옮겨 다시 2~4분간 15,000×*g*로 원심분리하였으며 3.5 ml의 메탄올과 3.5 ml의 물로 활성화시킨 OASIS HLB SPE 카트리지에 여과액 1.5 ml를 통과시키고 물 0.5 ml를 흘려버린 후, 물 1.5 ml를 여과하여 모았다. 역시 2.5 ml의 메탄올과 물로 활성화시킨 bond-elut accucat SPE 카트리지에 1.5 ml의 용출액을 여과하는데 0.5 ml는 흘려준 후, 1 ml의 용출액을 LC/MS/MS 분석을 위해 사용하였다.

LC/MS/MS를 이용한 아크릴아마이드 분석

이동상으로 0.5% 메탄올과 0.2%초산을 증류수에 용해하여 사용하였으며, 주입한 시료의 양은 25 μl, 유속은 1 ml/min이었다. Source temperature는 120°C, desolvation tem-

perature는 240°C를 사용하였으며, $8*10^{-4}$ Torr 압력의 아르곤을 collision gas로 사용하고, 45v collision energy로 세팅한 electrospray positive ionization은 이용하여 multiple-reaction monitoring(MRM)으로 m/z. 72 → 55, 75 → 58을 선택하여 아크릴아마이드와 탄소 13 동위원소로 치환된 아크릴아마이드를 검출하였다. Dwell time은 1초, inter scan delay time은 0.02초였다.

검량선

HPLC급 물에 아크릴아마이드 표준물질을 용해하여 5, 25, 125, 250, 500 μg/kg 농도의 표준용액을 만들어 시료 내 아크릴아마이드를 정량하기 위한 검량선을 작성하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서 분석된 식품샘플들은 식품공전에 따른 식품군으로 분류하였고, 각 식품군의 검출범위는 Table 1에 나타내었다. 식품 중 아크릴아마이드 분석을 위해 사용된 검량선의 r^2값은 0.999823이였으며, 검출한계(LOD, Limit Of Detection)는 10 μg/kg였다.

과자류 (Confectionaries)

빵 또는 떡류(Bread or rice cakes) 및 비스킷(Biscuit), 스낵(Snack), 한과류(Korean traditional cookies)를 포함하는 건과류(Dried cakes), 쵸컬릿류(Chocolate), 사탕류(Candies)로 구성된 과자류는 분석식품군 중 가장 높은 함량의 아크릴아마이드가 검출되었다. 과자류는 식품 중 아크릴아마이드의 생성특성을 가장 잘 보여주는 식품군으로서 식품군 내 함량편차가 크며 아크릴아마이드가 가장 많이 검출되는 식품의 종류 중 하나이다. 빵류의 아크릴아마이드는 ND~77 μg/kg 이었고, ND~17 μg/kg의 아크릴아마이드가 검출된 식빵류(Loaf bread), 11 μg/kg 이하의 케이크류(Cake), 22 μg/kg 이하의 아크릴아마이드가 검출된 피자(pizza) 등과 같은 세부그룹은 기존의 연구와 비슷하거나 약간 적은 함량의 아크릴아마이드가 검출되었다. 도넛(Doughnut)의 경우 평균 24.3 μg/kg의 아크릴아마이드가 검출되었고, 이는 30 μg/kg이내의 아크릴아마이드를 검출한 박 등[26]과 FDA[16-17]의 실험과 비슷한 결과이나 일부 시료에서는 77 μg/kg의 높은 수준의 아크릴아마이드가 검출됨으로써 과자류 중 가장 많은 양의 아크릴아마이드를 함유한 세부그룹으로 밝혀졌다.

떡(Rice cakes)과 한과(Korean traditional cookies)의 경우 각각 ND~42 μg/kg, ND~105 μg/kg의 아크릴아마이드가 검출되었다. 이 중 '약밥(Yaksik)', '찰편(Glutinous rice cake)', '강정(Gangjeong)'의 경우 세부 식품군 내 다른 식품 보다 다소 많은 양의 아크릴아마이드를 함유하는 것으로 나타났다. 떡 등 전통 조리식품의 경우 기름을 이용하는 조리법보다 찌는 조리법을 이용한 식품으로 기본적으로 아크릴아마이드가 검출되지 않으나 고명 등 이용재료와 조리법에 따라 그 검출량이 달라진 것으로 판단되며, 이는 아크릴아마이드와 관련하여 안전하다고 판단되어 온 고유식품의 경우에도 그 조리법과 이용 재료에 따라 아크릴아마이드가 높은 수준으로 검출될 수 있음을 보여주는 결과라 할 수 있다.

비스킷류(Biscuit)의 경우 ND~1016 μg/kg로 검출되었고, 이는 기존에 발표된 아크릴아마이드 검출량과 비슷한 수준이었다. 비스킷류 중 하나로 분석된 건빵(Hard tack)의 경우 아크릴아마이드 검출량은 ND~224 μg/kg 정도로 박 등[27]의 결과와는 비슷했으나, 397~795 μg/kg 범위의 검출량을 보고한 김 등[20]의 연구 결과와 비교하면 상당히 감소한 결과이다. 스낵의 경우 조사 식품 중 가장 높은 양의 아크릴아마이드가 검출되었다. 그 중에서도 '감자파우더'를 원료로 한 감자스낵(Potato snack)내 아크릴아마이드는 195~4,002 μg/kg으로 '감자 외 스낵(Other than potato snack)'에서 아크릴아마이드 검출량인 ND~1,200 μg/kg과 비교 시, 훨씬 더 많은 양이 검출되었음을 알 수 있었다. 또한 '감자 외 스낵' 그룹에서도 다른 원료로 만든 스낵에서 보다 '고구마 파우더'를 이용한 스낵에서 좀더 많은 아크릴아마이드가 검출되는 등 주원료에 따른 아크릴아마이드 함량의 차이를 볼 수 있다. 이는 아크릴아마이드의 생성이 같은 공정으로 가공된 식품이라도 그 원료에 따라 달라진다는 기존의 연구를 다시 한번 확인해주는 결과라 할 수 있다[2-4]. 감자스낵의 아크릴아마이드 검출량은 평균 1,672.8 μg/kg으로 매우 높은 수준을 나타내었으며, 그룹 내 시료 간 아크릴아마이드 함량의 차이가 다른 어느 그룹보다 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 식품 간 아크릴아마이드의 함량의 차이가 식품 내 재료의 구성비, 가공조건 그리고 사용된 원재료의 차이에 의해 발생될 수 있다는 아크릴아마이드 생성에 대한 연구들에 의해 설명될 수 있다[2-4].

'초컬릿 가공품(Chocolate products)'에서는 ND~447 μg/kg 범위의 아크릴아마이드가 검출되었다. 이는 선행연구의 결과보다 높은 검출량을 나타내는 것으로[16-17], 초콜릿 가공품의 구성부분인 '비스킷'이 그 원인인 것으로 생각된다. 이는 '비스킷제품'으로 볼 수 있는 일부 식품이 '초컬릿 가공품'으로 표기되고 있는 국내 '식품공전'상 분류에 따른 결과이다.

당류 (Sugar products)

당류의 식품군에서는 설탕, 엿, 올리고당이 분석되었으며, 21 μg/kg 아크릴아마이드가 검출된 '갈색 설탕'을 제외한 다른 시료에서는 아크릴아마이드가 검출되지 않았다. 이는 설탕의 종류 간 아크릴아마이드 함량 차이에 의한 것이거나, 열 정제 과정의 차이에 의한 결과라 생각된다.

Table 1. Acrylamide levels in Korean food products: Confectionaries

Food product Commodities		Numbers of Samples	Concentration of acrylamide (ppb)		
			Minimum	Maximum	Mean ± SD
Confectionaries					
Bread or rice cakes	Loaf bread	5	ND	17	7.6 ± 8.4
	Cake	2	ND	11	5.5 ± 7.8
	Pastry (Croissant)	2	15	21	18.0 ± 4.2
	Doughnut	12	ND	77	24.3 ± 26.6
	Rice cakes	8	ND	42	11.1 ± 19.1
	Pizza	3	ND	22	12.7 ± 11.4
	Dumpling & Hotdog	4	ND	14	3.5 ± 7.0
Dried cakes	Biscuit	21	ND	1,016	167.1 ± 271.1
	Snack(other than potato snack)	17	ND	1,200	253.5 ± 333.7
	Potato snack	11	195	4,002	1,672.8 ± 1219.6
	Korean traditional cookies	8	ND	105	34.9 ± 41.2
Chocolate	Chocolate	5	ND	105	36.0 ± 41.2
	Chocolate products	7	ND	447	103.9 ± 167.8
Candies	Candies	15	ND	29	5.3 ± 8.6
	Gum, Jam	5	ND	ND	ND
Sugar products		5	ND	21	4.2 ± 9.4
Dairy products		10	ND	< 10(ND)	ND
Meat products		11	ND	20	1.8 ± 6.0
Fish products		8	ND	< 10	0.6 ± 1.8
Soybean curd & curd products		4	ND	ND	ND
Edible fat & oils		8	ND	11	1.4 ± 3.9
Noodles		28	ND	37	4.5 ± 9.2
	Fried noodles (including Ramen)	16	ND	37	7.9 ± 11.1
Tea		38	ND	681	75.9 ± 186.1
	Coffee, roasted	2	117	129	123.0 ± 8.5
	Coffee, instant	4	520	681	599.5 ± 78.9
	Delicatessen coffee(mix)	2	63	93	78.0 ± 21.2
	Liquefied coffee	4	11	18	13.8 ± 3.4
Beverage		34	ND	366	11.7 ± 62.8
Health supplementary foods		2	ND	ND	ND
Alcoholic liquor		6	ND	ND	ND
Dried & sliced fish and shellfish products		4	ND	ND	ND
Condiments		56	ND	300	15.4 ± 43.6
Ginseng products	The kind of drink	5	ND	83	38.0 ± 33.8
Kimchi · pickles		17	ND	330	25.1 ± 79.8
	Kimchi (Excluding black canned oilve)	15	ND	30	28.5 ± 84.7
Other foods		109	ND	750	47.2 ± 109
	Nuts and nuts products	14	ND	262	64.0 ± 89.9
	Peppery beef soup (including instance rice with peppery beef soup)	3	34	144	71.0 ± 63.2
	Black sesame porridge Parched sesame	2	65	169	117.0 ± 73.5
	Powder of roast grain	1	201	201	201.0
	Chinese black bean	2	49	89	69.0 ± 28.3
	Dried banana(frying) Prune	3	66	81	71.3 ± 8.4
	Seasoned, roasted laver	2	45	107	76 ± 43.8
	French fries	4	138	750	469.25 ± 256
	Breakfast cereal	6	79	233	144.5 ± 54.8

ND = < 10 μg/kg

Table 2. Acrylamide levels in cakes

Food product Commodities			Numbers of Samples	Concentration of acrylamide (ppb)		
				Minimum	Maximum	Mean ± SD
Bread or rice cakes	Loaf bread		5	ND	17	7.6 ± 8.4
	Cake		2	ND	11	5.5 ± 7.8
	Pastry (Croissant)		2	15	21	18.0 ± 4.2
	Doughnut		12	ND	77	24.3 ± 26.6
	Rice cakes		8	ND	42	11.1 ± 19.1
		Yaksik	1	42	42	42.0
		Glutinous rice cake	1	42	42	42.0
		Others	6	ND	< 10	5.0
	Pizza		3	ND	22	12.7 ± 11.4
	Dumpling & Hotdog		4	ND	14	3.5 ± 7.0
Dried cakes	Biscuit		21	ND	1,016	167.1 ± 271.1
		Hard tack	5	ND	224	63.4 ± 92.9
		Cracker	3	40	1,016	590.7 ± 499.9
		Others	13	ND	542	117.4 ± 155.1
	Snack(other than potato snack)		17	ND	1,200	253.5 ± 333.7
	Potato snack		11	195	4,002	1,672.8 ± 1219.6
	Korean traditional cookies		8	ND	105	34.9 ± 41.2
		Dasik	2	ND	24	14.5 ± 13.4
		Gangjeong	3	ND	105	67.7 ± 54.6
		Yakgwa	1	27	27	27.0
		Yugwa	1	25	25	25.0
		Others	1	< 10	< 10	5.0

ND = < 10 μg/kg

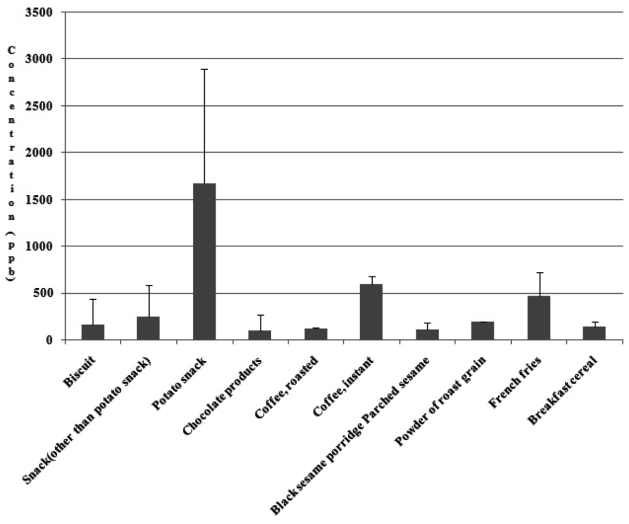

Fig. 1. Acrylamide levels in several major food groups.

유제품 (Dairy products)

대부분의 우유, 발효유, 치즈 등에서는 아크릴아마이드가 검출되지 않았고, 이는 다른 연구의 결과들과 일치하는 것이다[16,17,20]. 그러나 '커피우유'에서 10 μg/kg미만의 아크릴아마이드가 검출되어서 다소 다른 결과를 보여주었다.

이는 향, 맛을 위해 첨가된 첨가물에 의해 아크릴아마이드의 함량이 영향을 받을 수 있음을 보여 주는 것일 수 있으나, 그 검출양이 10 μg/kg 미만으로 적은 수준이며 분석한 모든 '커피우유'에서 아크릴아마이드가 검출된 것은 아니므로 유제품 간 아크릴아마이드 함량의 차이일 수 있다는 점도 배제하기 어렵다.

식육제품 (Meat products)

식육제품으로 난류와 육류 시료가 분석되었으며, 그 결과 ND~20 μg/kg 수준의 아크릴아마이드가 검출되었다. 기타가공품으로 분류되었으나 식육제품으로 볼 수 있는 '햄버그'내 아크릴아마이드 역시 14~15 μg/kg으로 식육제품의 검출범위와 비슷한 수준을 나타내었다. 이는 구운 고기 중 10 μg/kg이하의 아크릴아마이드 검출량을 보고한 영국과 FSA의 실험 결과와 비슷한 결과라고 할 수 있다[32]. 본 연구의 경우 즉석섭취식품을 제외한 일부 식품의 경우 조리가공 후의 섭취 형태가 아닌 판매상태로 분석하였기 때문에 조리가공의 과정 중 아크릴아마이드가 생성될 수 있다는 점을 고려한다면 실제 국민이 섭취 하는 육류 중 아크

릴아마이드의 함량은 본 실험의 결과보다 다소 높을 수도 있으나, 이 등[22]의 연구의 결과에 의하면 조리 후의 '햄', '계란' 등의 아크릴아마이드 함량 변화가 크지 않았다는 점을 감안하여 볼 때, 실제 섭취형태의 육류 내 아크릴아마이드 검출량도 크게 변하지 않을 것으로 판단된다.

어육제품, 두부류 또는 묵류 (Fish products, Soybean curd & curd products)

어묵 및 어육소시지, 맛살 등과 같은 어육제품의 아크릴아마이드의 검출량은 10 μg/kg 이내였고, 이는 박[27], yoshida 등[33]의 결과와 비슷한 것이다. 두부에서는 기존의 다른 연구들의 결과[32,27]와 마찬가지로 아크릴아마이드가 검출되지 않았다. 묵은 '도토리묵'을 분석하였는데 이 역시 아크릴아마이드를 함유하지 않는 것으로 나타났으나, 분석된 시료의 수와 참고할 기존의 연구가 부족한 점을 감안해 볼 때 '묵'의 아크릴아마이드 함량에 대한 실태를 좀 더 정확하게 파악하기 위해서는 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

유지류 (Edible fat & oils)

유지류 중 아크릴아마이드는 ND ~11 μg/kg의 범위로 검출되었다. '들기름'에서 약간의 아크릴아마이드가 검출되었을 뿐 대부분의 유지류에서는 검출되지 않았다. 식품공전 상 조미식품으로 분류되는 '고추기름'에서는 37 μg/kg함량의 아크릴아마이드가 검출되었다. 이 결과는 기존의 영국[22] 및 미국 식품의약품안전청[16-17]과 식품의약품안전청[26-27]의 발표된 결과와 유사하나 111 μg/kg의 아크릴아마이드 검출량을 발표한 2005년 김 등[20]의 연구결과보다는 매우 낮은 수준이었다.

면류 (Noodles)

다양한 종류의 면에서 아크릴아마이드 함량범위는 ND~37 μg/kg 이었다. '호화건면류'에 속한 한 제품을 제외하면 아크릴아마이드가 검출된 시료는 대부분 '유탕면류(Fried noodle)'에 속하는 식품으로 '유탕' 공정이 아크릴아마이드의 생성에 기여한 것으로 판단된다. '호화건면류'의 제품은 '감자전분'이 섞인 밀가루를 원재료로 만들어지는 제품으로 원재료 내 소량의 감자의 원료가 아크릴아마이드 생성의 주요인자가 될 수 있음을 밝힌 2007년 고 등[21]의 연구에 의해 설명할 수 있다. 이러한 결과는 식품 중 아크릴아마이드의 생성이 가공공정과 원재료에 영향을 받는다는 사실을 다시 한번 확인해 주는 결과라 할 수 있다. Yoshida 등의 연구[33]에 의하면 대부분의 '인스턴트 면, won-tons'에서는 10~60 μg/kg 정도의 아크릴아마이드가 검출되었으나, 500 μg/kg 이상의 아크릴아마이드가 검출된 제품도 있는 것으로 확인되어, 이들 제품류도 고농도의 아크릴아마이드를 함유할 수 있음을 보여주었다.

다류 및 음료류 (Tea, Beverage)

다류 중 '커피'는 아크릴아마이드에 대한 고위험군 중 하나로 알려져 있다. 본 연구에서 커피의 경우 아크릴아마이드가 11~681 μg/kg의 수준으로 검출되었으며, 이는 미국식품의약품안전청[16-17] 과 박 등[27]의 연구와 비슷한 수치였다. 그러나 앞에 언급한 것처럼 이는 '섭취형태'가 아닌 판매되는 '제품'중의 아크릴아마이드를 분석한 결과이므로 커피음료 보다는 다소 높은 수치를 보였다. 일반적인 농도의 커피음료를 제조하여 분석했을 경우에는 11~18 μg/kg의 검출량을 보여서 커피자체를 분석한 경우 보다는 낮은 검출수준을 나타내었다. 본 연구에서 분석된 음료는 'prune juice(건자두음료)' 중 제외하고는 다류와 비슷하게 소량의 아크릴아마이드가 검출되었으며, 그 범위는 ND~26 μg/kg 이었다. 'Prune juice(건자두음료)' 중 아크릴아마이드 함량은 366 μg/kg으로 미국식품의약품안전청이 분석한 결과인 53~202 μg/kg 보다 많은 양이 검출되었다[16].

건강보조식품, 주류 및 건포류 (Health supplementary foods, Alcoholic liquor, Dried & sliced fish and shellfish products)

'건강보조식품'으로 '포도씨유'가 유일하게 분석되었으며 이들 식품군 내 분석 식품은 검출한계 이하의 아크릴아마이드를 함유하거나 아크릴아마이드를 함유하지 않는 것으로 나타났다.

조미식품 (Condiments)

조미식품 중 아크릴아마이드 함량은 ND~300 μg/kg 이었으나, '된장', '고추장', '춘장', '식초', '케찹', '드레싱'에서는 아크릴아마이드가 검출되지 않았다. 또한 300 μg/kg의 아크릴아마이드가 검출된 '후추'를 제외한 다른 조미식품들의 경우 100 μg/kg이내의 검출량을 보였다. 그러나 '조미류'의 경우 제품 자체만을 소비하기 보다는 다른 재료와 함께 조리되어 섭취되므로 실제 아크릴아마이드 섭취에 따른 문제점을 분석하기 위해서는 조리 후 가공식품 내에 남아있는 아크릴아마이드 함량에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

인삼제품류 (Ginseng products)

'인삼음료', '홍삼음료'가 분석되었으며, 그 함량은 ND~83 μg/kg의 수준이었다. 이는 다른 음료와 비교 시 다소 높은 수치로서, '인삼' 자체에 상당한 양의 아크릴아마이드가 함유되어 있을 가능성을 제시하는 결과이다.

김치 · 절임류 (Kimchi · pickles)

'김치' 및 '젓갈류'에서는 아크릴아마이드가 검출되지 않았으나 '장조림'과 '멸치볶음' 등에서는 ND~30 μg/kg 수준인 미량의 아크릴아마이드가 검출되었다. '검은 올리브

(black canned olive)'에서 51~330 μg/kg의 비교적 고농도의 아크릴아마이드가 검출되었는데 이는 미국식품의약품 연구결과[16-17]와 비슷한 결과이다. 본 연구의 결과에 의하면, 대부분의 '검은올리브'에서는 아크릴아마이드가 검출되지 않았으나 일부 시료의 경우 상당히 높은 수준의 아크릴아마이드가 검출됨으로써, 이는 '스낵'과 비슷하게 시료간 아크릴아마이드 함량의 차이가 큰 식품임을 알 수 있었다.

기타 식품류 (Other foods)

감자튀김(French fries)은 아크릴아마이드가 많이 검출되는 식품 중 하나로 138~750 μg/kg 수준의 아크릴아마이드가 검출되었다. 유럽연합에 의해 발표된 유럽국가 내 분석된 감자튀김 중 최대 아크릴아마이드 함량을 보인 시료는 2,226 μg/kg 이었으며[23], 미국식품의약품안전청[16-17] 박 등[26]의 연구에서 발표된 아크릴아마이드 최대 검출량은 각각 1,250 μg/kg와 1,118 μg/kg 이었다. 'Breakfast cereal'에서 아크릴아마이드 함량은 79~233 μg/kg의 수준이었다. 이는 박 등(2003)의 연구 결과와 비슷한 것이었으나, 최대 함량의 측면에서 보면 이에 대한 수치를 각각 846 μg/kg와 534 μg/kg으로 보고하고 있는 유럽연합[23]과 미국식품의약품안전청[16-17]의 연구결과 보다는 낮은 수치이다.

'주먹밥', '누룽지', '죽', '즉석조리밥' 등 '가공된 밥류(Processed cooked rice)' 중 아크릴아마이드는 ND~55 μg/kg의 수준으로 검출되었다. 12~51 μg/kg 수준의 아크릴아마이드가 검출된 '누룽지'와 41 μg/kg이 검출된 '육개장밥'을 제외한 '밥류'에서는 10 μg/kg 이하의 아크릴아마이드가 검출되었다. 이는 박 등[27], 김 등[20]에 의한 연구결과와는 다소 차이가 있는 것이었다. 박 등[27]의 연구에서 즉석조리밥, 죽류 등의 아크릴아마이드 함량은 본 연구결과와 비슷하였으나 '누룽지'에서는 20 μg/kg 이하의 아크릴아마이드가 검출되었고, 김 등[20]의 연구에 따르면 누룽지에서는 55~184 μg/kg, 즉석조리밥에서는 ND~96 μg/kg의 아크릴아마이드가 검출됨으로써 본 연구와 비교했을 때 다소 높은 수준이었다. 이들 연구간 아크릴아마이드 함량의 차이는 가공 및 조리조건이 아크릴아마이드에 영향을 줄 수 있음을 확인해 주는 결과라고 볼 수 있다. '쌀을 원료로 하고 갈지 않은 죽'의 경우, 65 μg/kg의 아크릴아마이드가 검출된 '검은깨죽'을 제외하면, 10 μg/kg 이하 수준의 아크릴아마이드가 검출되었다.

'국(Soup)'의 경우, 대부분은 ND~10 μg/kg 수준의 아크릴아마이드가 검출되었으나 '육개장(Peppery beef soup)'은 34~144 μg/kg의 다소 높은 수준의 아크릴아마이드가 검출되었다. '육개장밥' 중 다량의 아크릴아마이드는 제품에 포함된 '육개장'에 의한 결과로 설명할 수 있다. '육개장'의 높은 아크릴아마이드 함량은 '육개장'에 사용된 많은 조미식품일 가능성이 있다. 또한 이는 '곰국'에서 높은 수치의 아크릴아마이드를 검출함으로 인해서 '끓인 식품'이라도 장시간의 가열공정이 아크릴아마이드를 생성할 수 있음을 보여준 김 등18)의 연구 결과와 일치하는 것으로 볼 수 있다.

'견과류 및 견과류 가공품(Nuts and nuts products)' 중 아크릴아마이드는 ND~262 μg/kg의 검출수준을 보였다. '대추', '은행', '생땅콩', '생률', '호두', '잣' 등에서는 아크릴아마이드가 검출되지 않았고, '가공한 호두제품'에서 가장 많은 양의 아크릴아마이드가 검출되었다. 이 결과는 아크릴아마이드가 조리, 가공 중 생성되는 산물임을 재확인하는 결과이다.

'수산물가공품(Processed marine products)' 중 아크릴아마이드의 함량은 ND~27 μg/kg으로 '참치통조림'과 '고등어 조림' 등의 식품에서 검출되었다. 아크릴아마이드가 검출된 '참치통조림'은 '고추참치'로서 이는 '참치통조림' 간의 아크릴아마이드 함량차이이거나 '고추참치'에 사용된 조미소스에 의한 것일 수 있다고 생각되나, 좀 더 정확한 분석을 위해서는 더 많은 수의 '참치통조림' 대한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

결론적으로, 아크릴아마이드 함량분석에 있어 이전 연구결과와 가장 많은 변화를 보여준 식품은 '팝콘'이었다. '팝콘'은 아크릴아마이드 고함량 식품 중 하나로 알려져 있으며 기존의 연구들은 그 함량을 최소 100 μg/kg인 것으로 보고하였으나[16,17,20,21], 본 연구에서는 아크릴아마이드가 검출되지 않았다. 이와는 반대로 본 연구에서는 기존에 아크릴아마이드에 대해 안전하다고 알려진 '건바나나(Dried banana)', '김(Seasoned, roasted laver)' 등이 상당한 수준의 아크릴아마이드를 함유하는 것으로 밝혀졌다. 건바나나는 66~81 μg/kg, 김에서는 45~107 μg/kg 수준의 아크릴아마이드가 검출되었다. 이와 같은 결과는 일반적으로 아크릴아마이드 문제와 관련해서 안전하다고 인식되어 온 과일, 채소류, 해조류와 같은 식품군이라 하더라도 조리방법에 따라서 식이를 통한 아크릴아마이드 노출원이 될 수 있음을 의미한다. 또한 한과류와 같은 일부 식품의 경우도 이번 연구를 통해 새롭게 아크릴아마이드를 함유한 식품으로 확인되었다. 본 연구의 결과는 우리나라의 실정에 맞는 아크릴아마이드의 위해평가를 위한 기초자료로서 사용될 수 있을 것이다. 또한 본 연구가 국내 식품의 아크릴아마이드 위해평가에 폭넓게 활용되기 위해서는 더 많은 시료의 지속적인 모니터링을 통한 데이터베이스의 구축과 함량 분석 시 회수율 최대화 하기 위한 '최적분석기법'에 대한 더 많은 연구들이 필요하다고 생각된다.

요 약

많은 산업체와 실험실에서 사용되고 있는 공업용 화학물질인 아크릴아마이드는 발암유발가능성이 있는 것으로

알려져 있으며, 국내・외 모니터링 결과 감자, 밀 등 고탄수화물 식품을 고온에서 조리, 가공한 식품에서 많이 검출되는 것으로 알려져 있다. 아크릴아마이드의 위해평가를 위해서는 식품 내 아크릴아마이드 함량 및 식이노출평가 등의 기초자료가 절실히 요구되나 우리나라는 제 외국에 비해 식품 내 아크릴아마이드 관한 데이터베이스가 미약한 편이다. 이에 본 연구는 국내 유통식품의 모니터링을 통해 아크릴아마이드의 국내 실태를 파악하기 위해 수행 되었다. 모니터링을 위해 우리나라에서 많이 섭취한 식품을 중심으로 국내 food market shares 등의 통계를 이용하여 17개 식품군에서 470여 개의 시료를 선정하였으며, 이를 FDA의 LC-MS/MS 방법으로 분석하였다. 모니터링 결과, '감자스낵류', '비스킷류', '시리얼류', '초콜릿류', '커피류', 'prune juice' 등에서 비교적 많은 양의 아크릴 아마이드가 검출되었으며, 각 식품군의 검출수준은 감자스낵류 195~4,002ppb, 비스킷류 ND~681ppb, 시리얼류 79~233ppb, 초콜릿류 ND~447ppb, 커피류 ND~681ppb, prune juice 366ppb로 이는 이전 국내외 분석결과와 비슷한 수치이다. 그러나 지금까지 아크릴아마이드 문제와 관련해서 안전하다고 인식되어 온 과일, 채소류, 해조류, 한과류에서도 아크릴아마이드가 검출됨으로 인해 이들 식품군도 조리방법에 따라서 식이를 통한 아크릴아마이드 노출원이 될 수 있음이 확인되었다. 그 외의 껌, 잼류, 두부류 또는 묵류, 포도씨유, 주류, 건포류에서는 아크릴아마이드가 검출되지 않았다. 본 연구의 결과는 우리나라의 실정에 맞는 아크릴아마이드의 위해평가를 위한 기초자료로서 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 식품의약품안전청의 연구개발사업(06042 안체강 077) 및 두뇌한국 21(brain Korea 21)의 지원과 농심㈜의 도움으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Giese J.: Acrylamide in Foods. *Food Technol*, **5**. 8-9 (2002).
2. Simonne H, Archer L.: Acrylamide in Foods: A review and Update. Available from: http://edis.ifas.ufl.edu/FY578, Accessed June, 30. 2007.
3. Smith EA, Oeheme FW.: Acrylamide and polyacrylamide: A review of production, use, environmental fate and neurotoxicity. *Rev. Environ. Health*, **9**, 215-228 (1991).
4. Taeymans D, Wood J, Ashby P, Blank I, Studer A, Stadler RH, Gonde P, Van Eijck P, Lalljie S, Lingnert H, Lindblom M, Matissek R, Müller D, Tallmadge D, O' Brien J, Thompson S, Silvani D, Whitmore T.: A review of acrylamide: An industry perspective on research, analysis, formation and control, Crit. *Rev. Food Sci. Nutri*., **44**, 323-347 (2004).
5. International Agency for Research on Cancer (IARC), Monographs on the valuation of carcinogen risk to humans: Some Industrial Chemicals, **60**, 389 (1994).
6. Swedish National Food Administration (SNFA), Information about acrylamide in food (includes 24th April 2002 press release). (2002).
7. Janneke G Hogervorst, Leo J Schouten, Erik J Konings, R Alexandra Goldbohm, Piet A van den Brandt.: Dietary acrylamide intake and the risk of renal cell, bladder, and prostate cancer. *Am. J. Clin. Nutr*., **87**, 1428-1438 (2008).
8. Lorelei A. Mucci, Kathryn M. Wilson.: Acrylamide Intake through Diet and Human Cancer Risk. *J. Agric. Food Chem*., **56**, 6013-6019 (2008).
9. Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, Tornqvist M.: Acrylamide: A cooking Carcinogen?. *Chem. Res. Toxicol*., **13**, 517-522 (2000).
10. Tareke E, Rydberg P, Karlsson P.: Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem*., **50**, 4998-5006 (2002).
11. Konings EJ, Baars AJ, van Klaveren JD, Spanjer MC, Rensen PM, Hiemstra M, van Kooij JA, Peters PW.: Acrylamide exposure from foods of the Dutch population and an assessment of the consequent risks. *Food Chem. Toxicol*., **41**, 1569-1579 (2003).
12. Al-Dmoor, HM.: Determination of acrylamide levels in selected traditional foodstuffs and drinks in Jordan. *J. Food Agric. Environ*., **3**, 77-80 (2005).
13. Eerola S, Hollebekkers K, Hallikainen A, Peltonen K.: Acrylamide levels in Finnish foodstuffs analysed with liquid chromatography tandem mass Spectrometry. *Mol. Nutr. Food Res*., **51**, 239-247 (2007).
14. European Chemicals Bureau, European Commission. European Union Risk Assessment Report: Acrylamide. Available from: http://ecb.jrc.it/DOCUMENTS/Existing-Chemicals/RISK_ASSESSMENT /REPORT/acrylamidereport011.pdf, Accessed June, 30. 2007.
15. Federal Institute for Risk Assessment (BfR), Assessment of acrylamide intake from foods containing high acrylamide levels in Germany, Available from http://www.bfr.bund.de/cm/245/assessment_of_acrylamide_intake_from_foods_containing_high_acrylamide_levels_in_germany.pdf, Accessed June, 30. 2007.
16. Food and Drug Administration (FDA), Acrylamide in food. Available from: http://www.cfsan.fda.gov/~lrd/pestadd.html#acrylamide, Accessed June, 30. 2007.
17. Food and Drug Administration (FDA). Estimating dietary intake of substances in food. Available from: http://www.cfsan.fda.gov/~dms/opa2cg8.html, Accessed June, 30. 2007.
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization (FAO/WHO). Summary and conclustions of the sixty-fourth meeting of Joint FAO/WHO expert committee on food additives (JECFA). Available from ; ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa64_summary.pdf.
19. Hilbig A. Freidank N, Kersting M, Wilhelm M, Wittsiepe J.: Estimation of the dietary intake of acrylamide by German infants children and adolescents as calculated from dietary

records and available data on acrylamide levels in food group. *J. Hyg. Environ. Health*, **207**, 463-471 (2004).
20. Kim CT, Hwang ES, Lee HJ.: Analysis of acylamide in processed foods obtained from korean markets. *J. Food Hyg. Safety*, **20**, 191-198 (2005).
21. Koh BK.: Determination of acrylamide content of food products in Korea. *J. Sci. Food Agric*., **86**, 2587-2591 (2006).
22. Lee MS, Park JY, Oh SS.: Acrylamide monitoring in homemade food products. *Korean J. Soc. Food Cookery Sci*., **20**, 708-711 (2004).
23. Lineback D, Wenzl T, Ostermann OP. de la Calle B, Anklam E. & Taeymans D.: Overview of acrylamide monitoring databases. *J. AOAC Int*., **88**, 246-252 (2005).
24. Matthys C, Bilau M, Govaert Y, Moons E, Henauw SDe, Willems JL.: Risk assessment of dietary acrylamide intake in Flemish adolescents. *Food Chem. Toxicol*., **43**, 271-278 (2005).
25. Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA). Characterization of Acrylamide Intake from Certain Foods. Available from: www.oehha.ca.gov, Accessed June, 30. 2007.
26. Park JY.: Acrylamide Monitoring of Domestic Heat-Treated Food Products, MS thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea (2003).
27. Park JY, Kim CT, Kim HY, Keum EH, Lee MS, Chung SY, Sho YS, Lee JO, Oh SS.: Acrylamide Monitoring of Domestic Food Products. *Korean J. Food Sci. Technol*., **36**, 872~878 (2004).
28. Swedish National Food Agency (SNFA). Acrylamide in food: Acrylamide in food stuffs, consumption and intake. Available from http://www.slv.se/engdefault.asp, Accessed June, 30. 2007.
29. Svensson K, Abramsson L, Becker W, Glynn A, Hellenas KE, Lind Y, Rosen J.: Dietary intake of acrylamide in Sweden. *Food Chem. Toxicol*., **41**, 1581-1586 (2003).
30. Tateo F, Bononi M, Andreoli G.: Acrylamide levels in cooked rice, tomato sauces and some fast food on the Italian market. *J. Food Comp. Anal*., **20**, 232-235 (2007).
31. The Food and Public Health Branch of the Food and Environmental Hygiene Department of the Government of the Hong Kong Special Administrative Region.
31. Risk Assessment Studies Report (No.11): Chemical Hazard Evaluation Acrylamide in Food. Available from : http://www.fehd.gov.hk/safefood/report/acrylamide/ras_acrylamide_2.pdf, Accessed June, 30. 2007.
32. United Kingdom Food Standards Agency (UK FSA), Analysis of total diet study samples for acrylamide. Available from; http://www.foodstandards.gov.uk/multimedia/pdfs/fsis712005.pdf, Accessed June, 30, 2007.
33. Yoshida M, Ono H, Chuda Y, Yada H, Ohnishi-Kameyama M, Kobayashin H, Ohara-Takada A, Matsuura-Endo C, Mori M, Hayashi N, Yamaguchi Y.: Acrylamide in Japanese Processed Foods and Factors Affecting Acrylamide Level in Potato Chips and Tea. *Adv. Exp. Med. Biol*., **561**, 405-413 (2005).
34. KMHW. Report on 2001 national health and nutrition survey Ministry of Health & Welfare. Nutrition survey. Gyeonggi. Korea (2001).
35. Monthly food journal. A yearbook of food circulation. Monthly food journal. Seoul (2006).