국내 유통 식품의 아크릴아마이드 오염현황

Acrylamide Contamination of Food Products in Korea

김현정, 이상희, 구민선*
Hyun Jung Kim, Sang-Hee Lee, and Minseon Koo*

한국식품연구원
Korea Food Research Institute

1. 서론

아크릴아마이드는 무색의 백색결정으로 1950년대 중반부터 polyacrylamide나 혼성 중합체의 제조에 사용되고 있는 공업용 화학물질이다. 펄프·제지 공정, 폐수 처리와 같은 다양한 산업체에서 사용되고 있으며, 실험실에서도 polyacrylamide gel의 형태로 사용되고 있다. World Health Organization(WHO)의 International Agency for Research on Cancer (IARC, 국제암연구소)가 아크릴아마이드를 동물실험에서 유전자 변형, 위종양 및 신경독성을 유발하며, 인간에게 암을 유발할 가능성이 있는 물질로 분류한 바 있는 독성물질이다.

2002년 4월, 스웨덴 식품규격청 (Swedish National Food Authority)이 감자튀김, 감자칩 등 특정식품을 고온에서 튀기거나 굽는 경우 아크릴아마이드가 생성되는 것을 처음으로 보고하면서 식품 분야에서 주목받기 시작했다. 아울러 네덜란드, 노르웨이, 스위스, 영국 및 미국 등에서도 고온에서 조리 및 열처리한 식품에서 아크릴아마이드가 검출되면서 아크릴아마이드는 식품 가공 중 발생되는 신종 위해인자로 관심이 집중되고 있다. WHO/FAO에서 미국, 네덜란드, 노르웨이, 오스트리아, 스웨덴의 식품 중 아크릴아마이드 모니터링 결과와 식품 소비 자료를 바탕으로 위해성 평가를 수행한 결과 아크릴아마이드의 식품 섭취를 통한 장기간의 노출량은 0.3~0.8 ㎍/kg bw/day로 추정된 바 있다.

아크릴아마이드 함유량이 높은 식품의 섭취량은 나라마다 크게 다르다. 가공 중 발생하여 식품에 포함된 위해물질은 식품의 가공방법, 섭취량, 섭취 연령 등에 따라 위해도가 달라지기 때문이다. 식품 섭취에 의한 위해도는 식습관이나 조리방법의 차이에 의해서도 영향을 받게 된다. 식이노출에 의한 아크릴아마이드의 위해도를 평가하기 위해서는 우선, 각 나라마다 유통되고 있는 식품의 아크릴아마이드의 오염도를 정확히 분석 한 후 노출량을 평가하여야 한다. 이를 위하여

* Correspondence to: Minseon Koo
Korea Food Research Institute
516, Baekhyun-dong, Bundang-ku, Songnam-si, Kyunggi-do 463-746, Korea
Tel: +82-31-780-9161, Fax: +82-31-709-9876, E-mail: minsk@kfri.re.kr

미국, 유럽 등 각 나라에서는 지속적으로 자국 내 식품의 모니터링을 실시하여 데이터베이스를 구축하고 있으며 우리나라에서도 2003년도 이후 여러 연구를 통하여 식품 중 아크릴아마이드의 오염도 분석연구가 수행된 바 있다. 이에 본고에서는 우리나라의 아크릴아마이드의 위해평가를 위한 기초 자료로서, 국내외에 발표된 우리나라 식품 중 아크릴아마이드의 오염도 자료를 수집, 분석하여, 식품 유형별 오염도를 비교하였다.

아크릴아마이드란?

아크릴아마이드의 특성 및 생성

아크릴크릴아마이드는 아크릴로니트릴로부터 합성되는 비닐 단량체(vinyl monomer)로, 2-프로펜아마이드(2-propenamide)라고도 한다. 폴리머(polymer)를 형성하는 특성으로 인해 접착제 및 폐수 처리 등에 사용되는 무색의 결정이다. 아크릴아마이드의 분자량은 71.08이고, 구조식은 CH_2=CH-$CONH_2$, CAS 번호는 79-06-01이다.

식품에서 아크릴아마이드는 fructose, glucose 등 환원당이나 반응성 카르보닐이 asparagine과 같은 아미노산과 고온에서 "Maillard reaction"을 할 때 부산물로 생성되는 것으로 알려져 있다. 식품의 조리온도가 120℃ 이하에서는 생성되지 않고, 그 이상의 온도에서 조리 및 가공했을 때 자연적으로 식품에서 생성된다. 아크릴아마이드의 생성량은 가열시간에 따라 증가하는 것으로 알려져 있으며, 감자 등과 같은 탄수화물 함량이 높은 원료를 고온에서 조리 가공하는 스낵류, 튀김류, 빵류 등에 함량이 상당히 높은 것으로 보고되고 있다.

아크릴아마이드의 독성

아크릴아마이드는 신경독성, 유전독성, 생식독성/기형유발성, 신장독성 및 간독성 등의 표적 장기 독성을 나타낸다. 국제암연구소는 아크릴아마이드를 인간에게 암을 유발할 가능성이 있는 물질등급인 2A로 분류하였고, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)는 동물에는 발암성이 있으나, 인체에서는 발암성이 확인되지 않는 물질인 A3으로 분류하고 있다. 식품에서 발생되는 낮은 수준의 아크릴아마이드가 공중보건에 미치는 영향에 대한 연구는 현재 진행 중이다.

국내 식품 중 아크릴아마이드 오염도

오염도 자료 수집 및 분석

국내 유통 식품의 아크릴아마이드 오염도 순위 분석을 위하여, 국내외 전문 데이터베이스에서 2003년부터 현재까지 국내 유통 식품의 아크릴아마이드 오염현황에 대한 문헌을 수집하여 분석하였다 (표 1). 아크릴아마이드가 분석된 국내 유통 식품을 식품공전에 따른 식품유형별로 정리한 결과는 표 2와 같다. 전체 1,458개 시료 중 과자류가 458개로 가장 많이 분석되었으며 빵류와 튀김식품 (감자튀김 등)도 분석

<표 1> 국내 가공식품의 아크릴아마이드 오염도 자료

년도	제목	출처
2003	Preliminary acrylamide monitoring of domestic heat-treated food products	Korean J. Food Sci. Technol.
2004	Acrylamide monitoring of domestic food products	Korean J. Food Sci. Technol.
	Acrylamide monitoring in home-made food products	Korean J. Soc. Food Cookery Sci.
2005	Analysis of acrylamide in processed foods obtained from Korean markets	J. Food Hyg. Safety
2006	Determination of acrylamide content of food products in Korea	J. Sci. Food Agric.
	Determination and generation factor of acrylamide content in the french fries and snacks by HPLC/MS/MS	J. Food Hyg. Safety
2007	Determination of acrylamide in food products	Anal. Sci. Technol.
2009	Acrylamide concentration in domestic foods.	J. Food Hyg. Safety

<표 2> 식품유형별 아크릴아마이드 오염도 분석현황

식품유형		시료수 (개)
과자류 (n=458)	과자 (감자)	126
	과자 (기타)	310
	캔디류	22
빵 또는 떡류 (n=86)	빵류	68
	떡류	18
코코아 가공품류 또는 초콜릿류	초콜릿류	22
잼류	잼	5
설탕	기타 설탕	5
두부류 또는 묵류		4
식용유지류 (n=31)	올리브유	5
	참기름	6
	팜유, 채종류, 옥수수기름, 콩기름	12
	식용유지	8
면류 (n=69)	유탕면류	41
	면류	28
다류		58
커피 (n=31)	볶은 커피	2
	인스턴트커피	4
	조제커피	2
	액상커피	4
	기타	19
음료류 (n=39)	인삼·홍삼 음료	5
	기타	34
장류		14
조미식품	소스류	23
김치류		32
주류		6
건포류		4
땅콩 또는 견과류 가공품		14
조미김		2
튀김식품		89
추출가공식품		6
찐쌀		8
시리얼류		29
즉석섭취·편의식품류	즉석섭취식품	1
수산가공품		8
유가공품		50
식육가공품 및 포장육		11
단순가공된 농산물		55
기타		298
	총 계	1.458

빈도가 높았다. 아크릴아마이드 오염도 분석 시료에는 우리나라 전통 식품인 떡류, 김치류, 장류 등과 원료 농산물, 식육가공품, 수산가공품 등도 포함되었으며 문헌 상 설명으로 정확한 식품 분류가 어려운 식품은 기타로 분류하였다.

식품유형별 아크릴아마이드 오염도 순위 분석

보다 정확한 오염도 순위 분석을 위하여, 표 2의 결과 중 단순 가공 처리한 농수축산물과 식품공전에 따른 식품 유형으로 분류하지 못하는 시료는 제외하고 평균값, 최소값, 최대값이 모두 있는 시료를 선정하여 유형별로 재분류한 후 식품유형별 아크릴아마이드 오염도 순위를 분석하였다. 가장 오염도가 높은 것으로 알려져 있으며, 분석된 시료수가 많은 과자류의 경우 감자가 주원료인 과자류(감자)와 일반 과자류(기타)의 2개로 구분하였으며 과자류에는 스낵, 비스킷, 크래커 등이 포함되었다. 빵류에는 식빵, 핫도그, 케이크 크로와상 등이 포함되며, 튀김식품은 감자튀김, 기타 튀김, 바나나 튀김 등이 포함되었다.

식품 유형별 아크릴아마이드의 오염도는 그림 1과 같다. 식품유형별 평균값은 식품별 시료수를 감안하여 산출하였으며 동일한 식품 유형의 분석결과 중 최대값과 최소값을 식품유형별 최소 및 최대 오염도로 선택하였다. 이 때 결과에 불검출 시료가 있는 경우 사용한 분석법의 검출한계 (limit of detection, LOD)나 정량한계 (limit of quantification)값을 식품 유형별 최소 오염도로 선택하였다. 식품 유형별 아크릴아마이드 오염도를 분석한 결과 평균오염도가 높은 식품은 과자류 (감자), 과자류 (기타), 튀김식품, 커피 순이었으며, 최대값을 기준으로 하면 과자류 (감자), 튀김식품, 과자류 (기타) 순이었다. 감자를 주원료로 제조한 과자류인 과자류 (감자)는 평균값이 1,090 ㎍/kg로 조사된 식품 중 가장 높은 오염도를 보였으며, 최대값도 4,002 ㎍/kg로 조사된 식품 중 가장 높았다. 평균오염도가 두 번째로 높은 것은 튀김식품으로, 평균값이 776 ㎍/kg이었으며, 최대값은 2,270 ㎍/kg였다. 과자류는 평균 오염도가 212 ㎍/kg이며, 최대값은 1,747 ㎍/kg였다.

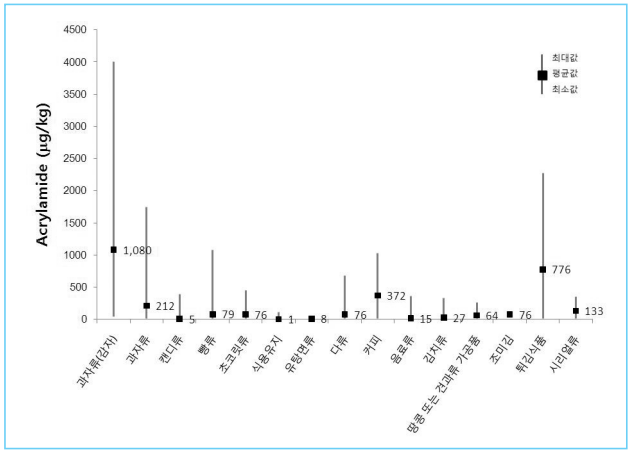

그림 1. 국내 유통 식품 중 아크릴아마이드 오염도

식품유형별 아크릴아마이드 오염도 순위 분석 결과는 표 3과 같다. 아크릴아마이드 평균 오염도 순위는 과자류 (감자)가 가장 높았고, 그 다음이 튀김식품, 커피, 과자류 (기타), 시리얼류, 빵류의 순이었다. 김치류, 음료류, 유탕면류, 캔디류, 식용유지의 오염도는 15개의 식품 유형 중 10위권 밖이었다. 최대값을 기준으로 한 오염도 순위는 역시 과자류 (감자)가 가장 높았고, 튀김식품, 과자류 (기타), 빵류, 커피, 다류의 순이었다. 식용유지, 조미김, 유탕면류의 최대 오염도값 순위는 낮았다. 평균오염도 순위와 오염도 최대값 순위를 비교한 결과, 대부분 동일한 식품 유형이 순위 안에 포함되었으나, 조미김, 캔디류, 음료류, 땅콩 또는 견과류 가공품은 차이를 보였다. 조미김은 평균 오염도순위는 7위였으나, 최대 오염도값 순위는 14위였으며, 평균오염도가 12위인 음료류의 경우 최대 오염도값 순위는 9위였다. 평균 오염도 순이가 14위인 캔디류는 최대 오염도값 순위에서는 8위로 시리얼류 보다 높았다.

유럽 식품 중 아크릴아마이드 오염도

유럽의 European Commission Directoreate General for Health and Consumer Protection은 European Food Safety Authority (EFSA)와 협력하여 EU 국가간 아크릴아마이드 오염정보를 공개하여 공유하

<표 3> 식품 유형별 아크릴아마이드 오염도 순위

순위	평균 오염도 기준	최대 오염도 기준
1	과자류 (감자)	과자류 (감자)
2	튀김식품	튀김식품
3	커피	과자류 (기타)
4	과자류 (기타)	빵류
5	시리얼류	커피
6	빵류	다류
7	조미김	초코릿류
8	다류	캔디류
9	초코릿류	음료류
10	땅콩 또는 견과류 가공품	시리얼류
11	김치류	김치류
12	음료류	땅콩 또는 견과류 가공품
13	유탕면류	식용유지
14	캔디류	조미김
15	식용유지	유탕면류

고 있다. 감자칩, 빵류, 커피 등이 고(高) 아크릴아마이드 함유식품임을 발표한 바 있으며 식품군별 아크릴아마이드 오염도는 그림 2와 같다. 유럽의 식품 중 아크릴아마이드 오염도는 평균값기준으로 potato crisp가 565㎍/kg로 가장 높았으며, french fries, biscuits의 아크릴아마이드 오염도가 각각 357, 273 ㎍/kg로 높았다 (그림 2). 다음으로 커피와 빵류, 시리얼 (breakfast cereals)의 오염도가 높게 조사되어 국내의 평균값기준 오염도 순위와 크게 다르지 않았다. 다만 국내의 경우 그 다음 순위로 조미김, 다류 등이 조사된 것과는 달리 유럽의 경우 cereal-based baby foods와 jarred baby foods의 아크릴아마이드 함량이 높게 조사되었다. 최대값을 기준으로 할 경우 biscuits와 potato crisp의 오염도가 각각 4,200과 4,180㎍/kg으로 가장 높았으며 다음으로 bread, french fries, breakfast cereals, coffee의 순이었다. Coffee의 경우 평균오염도는 276㎍/kg로 유형이 분류된 식품 중 3위였으나 최대값을 기준으로 할 경우 (1,158㎍/kg) 6위로 낮아졌고 biscuits은 평균값 기준 (274㎍/kg) 4위에서 최대값 기준으로는 4,200㎍/kg으로 분류된 식품 중 아크릴아마이드 오염도가 가장 높은 것으로 조사되었다.

결론

WHO의 자료에 따르면 아크릴아마이드는 역치를 명확하게 제시하기 어려운 화합물로, 아크릴아마이드의 함량이 높은 것으로 예상되는 식품의 섭취빈도가 높을 경우에는 위해가 커질 수 있는 것으로 알려져 있다. 식이노출평가는 국가별 식이섭취패턴이 다르기 때문에 각 국의 실정에 따라 식품 중 아크릴아마이드 함량의 실태 파악 후 수행되어야 한다. 따라서, 국내외에 발표된 우리나라 유통 식품에 대한 아크릴아마이드의 오염도를 식품 유형별로 정리한 본 결과는 전통식품을 포함한 우리나라 가공식품의 오염현황을 평가하고, 과학적 근거에 위한 모니터링 계획 수립, 나아가 위해 평가를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

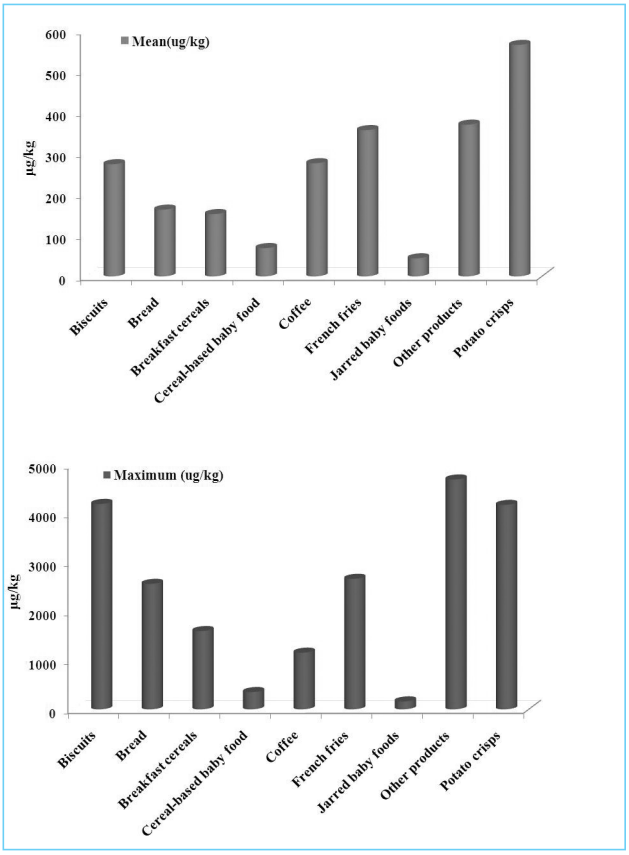

그림 2. 유럽 식품 중 아크릴아마이드 오염도

참고 문헌

1. 식품의약품안전평가원 Tox-Info(독성정보제공시스템), 아크릴아마이드. 식품의약품안전청, 2009

2. 식품의약품안전청, 식품위해물질 총서-식품 중 아크릴아마이드란 (11-1470000-001318-14), 2007

3. Chung, H.W., Park, S.K., Choi, D., Determination of acrylamide in food products. Anal. Sci. Technol., 20:164-169, 2007

4. European Food Safety Authority, Results on acrylamide levels in food from monitoring year 2008. EFSA Journal, 8:1599-1629, 2010

5. Kim, C.T., Hwang, E.S., Lee, H.J., Analysis of acrylamide in processed foods obtained from Korean markets. J. Fd Hyg. Safety, 20:191-198, 2005

6. Kim, M.K., Oh, M.H., Kim C.T., Sung, D.E., Ham, J.S., Choi, D. Oh, S., Acrylamide concentration in domestic foods. J. Fd Hyg. Safety, 24:238-246, 2009

7. Koh, B.K., Determination of acrlamide content of food products in Korea. J. Sci. Food Agric., 86:2587-2591, 2006

8. Lee, M.S., Park, J.Y., Oh, S., Acrylamide monitoring in home-made food products. Korean J. Soc. Food Clliery Sci., 20:208-711, 2004

9. Park, G.Y., Lee, S.D., Chang, M.S., Choi, Y.H., Kim, E.H., Han, S.U., Chough, N.J., Determination and generation factor of acrylamide content in the french fries and snacks by HPLC/MS. J. Fd Hyag. Safety, 21:47-51, 2006

10. Park, J.Y., Kim, C.T., Kim, H.Y., Keum, E.H., Lee, M.S., Chung, S.Y., Sho Y.S., Lee, J.O., Oh, S. Acrylamide monitoring of domestic food products. Korean J. Food Sci. Technol., 36:872-878, 2004

11. Park, J.Y., Kim, H.Y., Lee, J.O., Chung, S.Y., So, Y.S., Kim, C.M., Oh, S., Preliminary acrylamide monitoring of domestic heat-treated food products. Korean J. Food Sci. Technol., 35: 748-751, 2003