

식품 중 신중유해물질의 관리 및 분석

최동미★ · 허수정 · 서정혁 · 윤태형 · 김은주 · 최장덕 · 박성국 · 이광호

식품의약품안전청, 식품평가부
(2009. 1. 17. 접수, 2009. 2. 16. 승인)

Analysis and management of new hazard chemicals in foods

Dongmi Choi★, Soojung Hu, Junhyuck Suh, Taehyung Yoon, Eunju Kim,
Jangduck Choi, Sung-Kug Park and Kwangho Lee

Department of Food Safety Evaluation, Korea Food & Drug Administration
#194 Tongil-Ro, Eunpyung-Gu, Seoul 122-704, Korea

(Received January 17, 2009; Accepted February 16, 2009)

요 약: 식품 중에서 새롭게 생성되는 유해물질에 대한 정확한 이해를 돕기 위하여 식품의 제조과정과 정 중에 불가피하게 생성되는 유해물질의 특성, 생성 메카니즘, 규제 및 분석현황을 정리하였다. 식품 중 신중유해물질은 생성원인인 열처리, 발효, 첨가물질, 미지물질에 따라 크게 4부류로 분류되어 진다. 열처리에 의해 생성되는 식품 중 신중유해물질에는 아크릴아마이드, 퓨란, HCAs, PAHs가 포함된다. 발효공정에 따라서는 에틸카바메이트, 바이오제닉 아민류가 생성된다. 식품첨가물에 의해서는 3-MCPD, 벤젠, 니트로사민류가 생성되며, 미지물질에는 발기부전치료제나 비만치료제 성분을 변형시킨 부정유해물질이 포함된다. 식품 중 신중유해물질을 분석하기 위해서는 액액추출 또는 SPE로 정제하거나 휘발성 성분을 headspace로 포집하여 액체크로마토그래피나 가스크로마토그래피로 분리한 후 자외부흡광기, 형광검출기나 질량분석기로 검출하는 방법이 주로 이용되고 있다.

Abstract: To help understanding about hazard chemicals occurring newly in food, it has been reviewed characteristics, mechanism, food standards and analytical trend of the hazard chemicals occurring avoidably in food manufacturing process. The new hazard chemicals in food are classified by 4 regarding mechanism such as heat, fermentation, additives and unknowns. The new hazard chemicals by heat process are acrylamide, furan, HCAs and PAHs. By the fermentation, ethylcarbamate and biogenic amines are occurred. According to food additives, 3-MCPD, benzene and nitrosamines can be produced. And the last group is the illegal compounds including anti-impotence drug analogues and anti-obesity drug analogues. To analyze the new hazard chemicals in food, GC or LC with UVD, FLD or MSD are used mainly after sample pretreatment by LLE, SPE or headspace method.

Key words: food, new, hazard, chemicals, analysis

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)2-380-1669 Fax : +82-(0)2-357-4735

E-mail : mechoi@kfda.go.kr

1. 서 론

식품 제조가공이란 농임축수산물 등 식품원료에 열 에너지와 같이 일정한 에너지를 전달하여 단백질의 응고, 녹말의 젤라틴화, 물의 증발, 설탕의 캐러멜화, 지방의 형태변화로 보다 맛있고 먹기 편한 것으로 변형시키는 동시에 저장성을 높이는 과정이라 할 수 있다. 가공기술에는 통조림, 병조림, 건조, 절임, 훈연,

냉동, 발효, 레토르트, 냉동건조 등이 포함된다.¹⁻³ 따라서 가공식품이란 식품원료에 식품첨가물을 가하거나, 그 원형을 알아볼 수 없도록 분쇄절단 등의 방법으로 변형시키거나, 이와 같이 변형시킨 것을 서로 혼합하거나 또는 이와 같이 변형시키거나 서로 혼합한 것에 다른 식품이나 식품첨가물을 사용하여 제조가공 포장한 것을 말한다.^{4,5} 현행 식품공전에 의하면 Fig. 1에 나타나 있듯이 가공식품을 과자류 등 29개의 식

식품군	식품종 및 식품유형	비고
과자류	과자, 캔디류, 추잉껌, 빙과류	식품유형
빵 또는 떡류	빵류, 떡류, 만두류	식품유형
코코아가공품류 또는 초콜릿류	초콜릿, 스위트초콜릿, 밀크초콜릿, 페밀리밀크초콜릿, 화이트초콜릿, 준초콜릿, 초콜릿가공품	식품유형
잼류	잼, 마말레이드, 기타 잼류	식품유형
설탕	백설탕, 갈색설탕, 기타설탕	식품유형
포도당	액상포도당, 분말결정포도당	식품유형
과당	액상과당, 결정과당, 기타과당	식품유형
엿류	물엿, 기타엿, 텍스트린	식품유형
당시럽류		식품유형
올리고당류	프락토올리고당, 이소말토올리고당, 갈락토올리고당, 말토올리고당, 자일로올리고당, 겐티오올리고당, 기타올리고당	식품유형
식육 또는 알가공품	식육 또는 알제품, 식육가공품, 알가공품	식품유형
어육가공품	어묵, 어육소시지, 어육반제품, 어육살, 연육, 기타 어육가공품	식품유형
두부류 또는 목류	두부, 전두부, 유바, 가공두부, 목류	식품유형
식용유지류	콩기름, 옥수수기름, 채종유, 미강유, 참기름, 들기름, 홍화유, 해바라기유, 목화씨기름, 땅콩기름, 올리브유, 팜유류, 야자유, 혼합식용유, 가공유지, 쇼트닝, 마가린, 고추씨기름, 향미유, 기타식용유지	식품유형
면류	국수, 냉면, 당면, 유탕면류, 파스타류	식품유형
다류	침출차, 액상차, 고행차	식품유형
커피	볶은커피, 인스턴트커피, 조제커피, 액상커피	식품유형
음료류	과일·채소류음료/탄산음료류/두유류/발효음료류/인삼홍삼음/기타음료	식품종
특수용도식품	영아용 조제식/성장기용 조제식/영아용 곡류조제식/기타 영유아식/특수의료용 도등식품/체중조절용 조제식품	식품종
장류	메주, 한식간장, 양조간장, 산분해간장, 효소분해간장, 혼합간장, 한식된장, 된장, 조미된장, 고추장, 조미고추장, 춘장, 청국장, 혼합장, 기타장류	식품유형
조미식품	식초/소스류/토마토케첩/카레/고춧가루 또는 실고추/향신료가공품/복합조미식품	식품종
드레싱	드레싱, 마요네즈	식품유형
김치류	김치속, 배추김치, 기타김치	식품유형
젓갈류	젓갈, 양념젓갈, 액젓, 조미액젓, 식혜류	식품유형
절임식품	절임류, 당절임	식품유형
조림식품	농산물조림, 수산물조림, 축산물조림	식품유형
주류	탁주/약주/청주/맥주/과실주/소주/위스키/브랜디/일반증류주/리큐르/기타 주류	식품종
건포류	조미건어포류, 건어포류, 기타건포류	식품유형
기타 식품류	명품 또는 건과류 가공품/잼슬류/전분/과·채가공품류/조미김/튀김식품/별꿀/모조치즈/식품성크림/추출가공식품/팝콘용-옥수수가공품/식염/밀가루/찜쌀/생식류/시리얼류/얼음류/죽석섭·취편의식품류	식품종

Fig. 1. Classification of processed foods on korea food code.

품군으로 분류하고 있으며 식품군은 식품종이나 식품 유형으로 구분하고 있다. 또한, 규격 외 일반 가공식품으로 곡류 가공품, 두류 가공품, 서류 가공품, 전분 가공품, 식용유지 가공품, 당류 가공품, 수산물 가공품 및 기타 가공품이 있다.

식품의 새로운 유해물질이란 식품의 제조가공과정 중에 불가피하게 생성되는 유해물질을 말한다. 식품 가공의 주요 기술인 열처리에 의해 아크릴아마이드,⁶⁻⁷ 퓨란,⁸⁻⁹ hetero cyclic amines (HCAs)¹⁰⁻¹¹ 및 poly aromatic hydrocarbons (PAHs)¹²⁻¹⁴가 생성되며, 발효 공정에 의해서는 에틸카바메이트,¹⁵⁻¹⁶ 바이오제닉 아민류¹⁷⁻¹⁸가 생성된다. 첨가물인 안식향산나트륨과 비타민 C에 의해 음료류에서 벤젠^{19,20}이 생성되며, 염산을 사용하는 산분해 간장에서는 3-monochloropropanediol (3-MCPD)²¹⁻²²가 생성되고, 아질산을 사용하는 식육 및 어육가공식품에서는 니트로사민류²³⁻²⁴가 생성되기도 한다. 또한, 식품 중에서 검출되는 발기부전치료제나 비만치료제 성분을 변형시켜 불법으로 합성한 부정유해물질의 경우 안전성을 예측할 수 없으므로 신중유해물질에 포함하고 있다.²⁵⁻²⁸

감자 칩, 프렌치후라이 등 가공식품 중 아크릴아마이드를 검출하기 위한 시험법으로는 LC/MS/MS에 의한 분석법이 주로 사용되고 있으나 GC/MS/MS 등을 사용하여 분석하기도 한다.²⁹⁻³² 식용유지 중 PAHs를 분석하기 위한 여러 방법이 보고되고 있는데, 주로 액액추출이나 비누화 반응 등에 의해 시료를 전처리한 후 HPLC/FLD, GC/MS 등으로 분석하고 있다.³³⁻³⁶ 콜라 등 탄산음료수나 먹는 물 중 벤젠이나 통병조림 중 퓨란과 같은 휘발성 물질을 검출하기 위한 시험법으로는 headspace 등을 이용한 시료 전처리 방법 및 GC/MS에 의한 분석방법이 주로 사용되고 있다.³⁷⁻³⁹ 주류 중 에틸카바메이트는 액액추출 또는 SPE로 정제추출 후 후로리실 등으로 정제하여 GC/MS 등으로 분석하고 있다.⁴⁰⁻⁴² 또한, 식품 중 바이오제닉 아민이나 부정유해물질, 니트로사민은 주로 액액추출 후 각각의 특성에 따라 HPLC/UV 또는 GC/MS/MS를 이용하여 분석하고 있다.⁴³⁻⁴⁸

식품 생산에서 소비에 이르기까지 안전한 식품을 공급하기 위해서는 식품 공급의 각 단계마다 과학적인 원칙을 바탕으로 필요한 조치를 강구하여야 한다. 특히 식품에서 새롭게 생성된 유해물질의 경우 인체에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다는 잠재적 능력으로 인하여 사람들이 정확한 인식을 갖기 전까지는 보다 훨씬 두렵게 느껴질 수 있다. 따라서 식품의 질적

인 향상을 위하여 신중유해물질에 대한 시험법 확립, 모니터링, 노출실태조사, 위해평가, 저감화 실행규범 제작보급 및 관련자 교육 등 식품 중 신중유해물질의 안전평가가 진행되고 있다.⁴⁹⁻⁵² 이에 식품 중 새로운 유해물질의 정확한 이해를 돕기 위하여 식품의 제조가공과정 중에 불가피하게 생성되는 유해물질의 특성, 생성 메카니즘, 규제 및 분석현황을 정리하였다.

2. 신중유해물질의 특성

2.1. 분류

식품 중 신중유해물질은 열처리, 발효, 첨가물질, 미지물질 등 생성원인에 따라 크게 4부류로 분류할 수 있으며 각각의 카테고리에 속하는 물질은 Table 1과 같다. 또한, 다수의 화합물로 구성되어 있는 PAHs, HCAs, 바이오제닉아민류 및 니트로사민류의 경우 식품 중 검출 이력, 독성 등을 고려하여 PAH 8종, HCA 15종, 바이오제닉아민 2종 및 니트로사민 7종을 대상물질로 선정하였으며 현재까지 규명된 부정유해물질 16종을 포함한 각각의 신중유해물질은 Table 2와 같다.

2.2. 물리화학적 성상

신중유해물질의 화학구조, 화학식 및 분자량은 각각 Fig. 2~7에 나타나 있다. 이 중 벤젠, 퓨란, n-nitrosodimethylamine (NDMA), n-nitrosodiethylamine (MDEA) 및 n-nitrosodipropylamine (NDPA)는 액체로 휘발성 물질이고 n-nitrosopiperidine (NPIP) 및 n-nitrosopyrrolidine (NPYR)은 액체로 비휘발성이며 그 외 신중유해물질은 고체이다. 식품의 제조가공과정 중 생성되는 대부분의 물질은 작은 분자구조를 지니고 있는데 분자량은 최소 68(퓨란)에서 최대 278(디벤조(a, h)안트라센)의 범위에 있으며, 부정유해물질의 경우는 최소 389(하이드록시호모실테나필)에서 최대 505(잔소안트라필)이다. 특히, 발기부전치료제 유사물질은 실테나필, 바테나필, 타다라필과 같은 의약품 성분 분자구조

Table 1. The representative groups for new hazard chemicals in food

New hazard chemicals	
Heat	Acrylamide, Furan, Hetero Cyclic Amines, Poly Aromatic Hydrocarbons
Fermentation	Ethylcarbamate, Biogenic amines
Additives	Benzene, 3-MCPD, Nitrosamines
Unknowns	Illegal Drug analogues

Table 2. List of new hazard chemicals in food

PAHs	HCA	Biogenic amines	Nitrosamines	Illegal compounds
Benzo(a)anthracene	IQ	Histamine	NDMA	Homosildenafil
Chrysene	MeIQ	Tyramine	NDEA	Hydroxyhomosildenafil
Benzo(b)fluoranthene	MeIQx		NDPA	Hongdenafil
Benzo(k)fluoranthene	PhIP		NMOR	Aminotadalafil
Benzo(a)pyrene	AαC		NPIP	Pseudovardenafil
Dibenzo(a,h)anthracene	MeAαC		NPYR	Hydroxyhongdenafil
Benzo(g,h,i)perylene	Trp-P-1		NSAR	Dimethylsildenafil
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	Trp-P-2			Xanthoanthrafil
	Glu-P-1			Hydorxyvardenafil
	Glu-P-2			Norneosildenafil
	Norharman			Demethylhongdenafil
	Harman			Piperidinohongdenafil
	7,8-DiMeIQx			Carbodenafil
	4,8-DiMeIQx			
	TriMeIQx			Thiosildenafil
				Dimethylthiosildenafil
				Acetylvardenafil

IQ: 2-amino-3-methylimidazo[4,5-f]quinoline
 MeIQ: 2-amino-3,4-dimethylimidazo[4,5-f]quinoline
 MeIQx: 2-amino-3,8-dimethylimidazo[4,5-f]quinoxaline
 PhIP: 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine
 AαC: 2-amino-9H-pyrido[2,3-b]indole
 MeAαC: 2-amino-3-methyl-9H-pyrido[2,3-b]indole
 Trp-P-1: 3-amino-1,4-dimethyl-5H-pyrido[4,3-b]indole
 Trp-P-2: 3-amino-1-dimethyl-5H-pyrido[4,3-b]indole
 Glu-P-1: 2-amino-6-methyl-dipyrido[1,2-α:3',2'-d]imidazole
 Glu-P-2: 2-amino-dipyrido[1,2-α:3',2'-d]imidazole
 Norharman: β-carboline
 Harman: 9-methyl-β-carboline
 7,8-DiMeIQx: 2-amino-3,7,8-trimethylimidazo[4,5-f]quinoxaline
 4,8-DiMeIQx: 2-amino-3,4,8-trimethylimidazo[4,5-f]quinoxaline
 TriMeIQx: DiMeIQx: 2-amino-3,4,7,8-tetramethylimidazo[4,5-f]quinoxaline
 NDMA: N-Nitrosodimethylamine
 NDEA: N-Nitrosodiethylamine
 NDPA: N-Nitrosodipropylamine
 NMOR: N-Nitrosomorpholine
 NPIP: N-Nitrosopiperidine
 NPYR: N-Nitrosopyrrolidine
 NSAR: N-Nitrososarcosine

Acrylamide: C₃H₅N₀(70)

Furan: C₄H₄O(68)

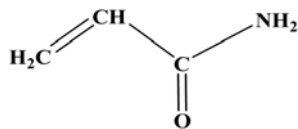


Fig. 2. The molecular formular, molecular weight, and chemical structures of acrylamide and furan.

의 골격을 지니고 있으며 치환기를 약간 변형한 물질임을 알 수 있다.

2.3. 유해성

세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)는 국제적으로 암 관련 정책을 개발하고 암에 대한 공동 연구 수행하고 있으며, 다양한 화학물질에 대한 역학 연구와 동물실험에 기초하여 발암성의 정도에 따라 1,000여종의 화학물질을 각각 그룹 1(인체발암물질), 그룹 2A(발암가능물질), 그룹 2B(발암우려물질), 그룹 3(인체발암물질로 분류할 수 없는 물질), 그룹 4(인간에 암을 일으킬 개연성이 없는 물질)로 분류하고 있

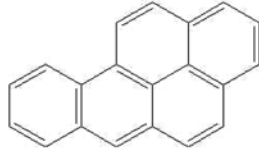
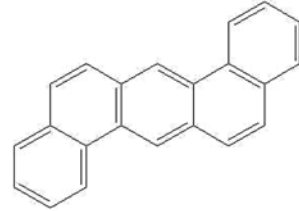
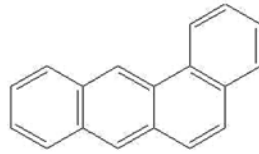
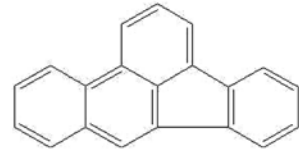
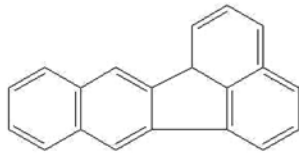
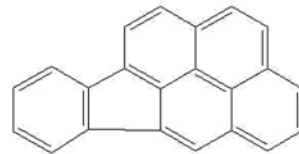
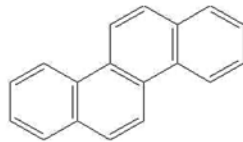
Benzo(a)pyrene: C₂₀H₁₂(252)Dibenzo(a,h)anthracene: C₂₂H₁₄(278)Benzo(a)anthracene: C₁₈H₁₂(228)Benzo(b)fluoranthene: C₂₀H₁₂(252)Benzo(k)fluoranthene: C₂₀H₁₂(252)Indeno(1,2,3-c,d)pyrene: C₂₂H₁₂(276)Chrysene: C₁₈H₁₂(228)Benzo(g,h,i)perylene: C₂₂H₁₂(276)

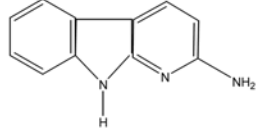
Fig. 3. The molecular formular, molecular weight, and chemical structures of PAHs.

다.⁵³ 이에 따라 벤조피렌 등 102종을 그룹 1, 아크릴아마이드 등 68종을 그룹 2A, 퓨란 등 245종을 그룹 2B, 크라이센 등 516종을 그룹 3, 카프로락탐 1종을 그룹 4로 구분하고 있다. 식품 중 신중유해물질의 경우 Table 3에 나타나 있듯이 벤조피렌 등 2종이 그룹 1, 아크릴아마이드 등 6종이 그룹 2A, 퓨란 등 19종이 그룹 2B, 크라이센 등 2종이 그룹 3에 속하고 있음을 알 수 있다.

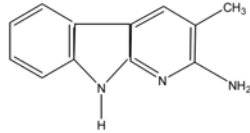
세계보건기구(WHO) 및 식량농업기구(FAO)의 합동 전문위원회 JECFA에서는 국제식품규격(Codex) 오염물질 분과위원회에서 우선 순위를 정한 오염물질 등

의 안전성을 국제적으로 평가하고 있다.⁵⁴ 3-MCPD의 경우, *in vivo*에서 유전독성이 없다고 재평가하여 잠정 1일내용섭취량 PMTDI를 2 µg/kg bw로 설정하고 있다. 아크릴아마이드의 경우 생성량이 조리가공 등의 온도와 시간 등에 따라 상이하기 때문에 특정 식품에 대한 섭취 주의 등 권고가 어려우며 이를 위하여 보다 많은 연구가 필요하다고 평가하고 있다. 에틸카바메이트의 경우 설치류 2종에서 유전독성물질, 다장기 발암물질로 평가되었으나 주류를 제외한 식품에서의 노출량은 미미하기 때문에 우려할 수준은 아니며 고농도로 검출되는 주류에서 저감화를 추진하여 식품

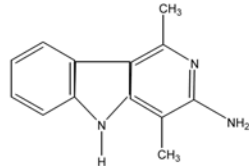
AaC: C₁₁H₉N₃ (183)



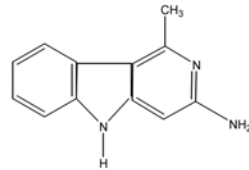
MeAaC: C₁₂H₁₁N₃ (197)



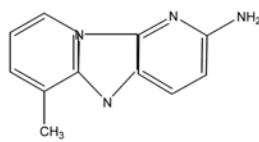
Trp-P-1: C₁₃H₁₃N₃ (211)



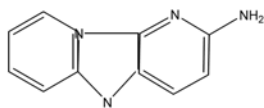
Trp-P-2: C₁₂H₁₁N₃ (197)



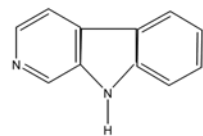
Glu-P-1: C₁₁H₁₀N₄ (198)



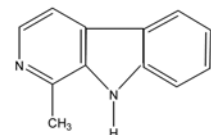
Glu-P-2: C₁₀H₈N₄ (184)



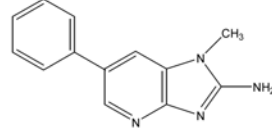
Norharman: C₁₁H₈N₂ (168)



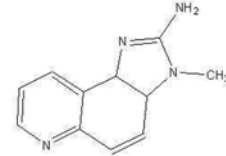
Harman: C₁₂H₁₀N₂ (182)



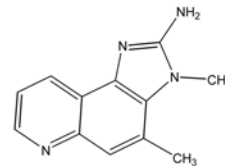
PhIP: C₁₃H₁₂N₄ (224)



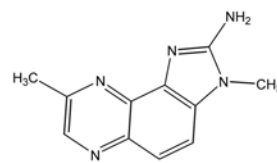
IQ: C₁₁H₁₀N₄ (198)



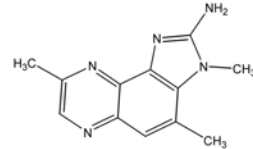
MeIQ: C₁₂H₁₂N₄ (212)



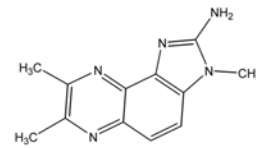
MeIQx: C₁₁H₁₁N₅ (213)



4,8-DiMeIQx: C₁₂H₁₃N₅ (227)



7,8-DiMeIQx: C₁₂H₁₃N₅ (227)



Tri-MeIQx: C₁₃H₁₅N₅ (241)

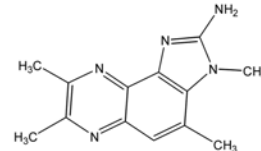


Fig. 4. The molecular formular, molecular weight, and chemical structures of HCAs.

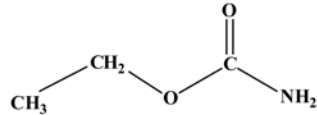
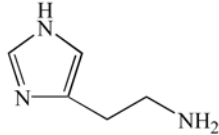
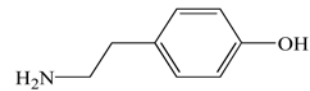
Ethylcarbamate: $C_3H_7NO_2$ (89)Histamine: $C_5H_9N_3$ (111)Tyramine: $C_8H_{11}NO$ (137)

Fig. 5. The molecular formular, molecular weight, and chemical structures of ethylcarbamate, histamine and tyramine.

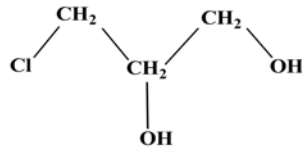
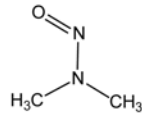
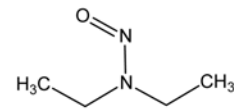
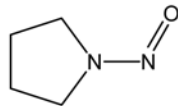
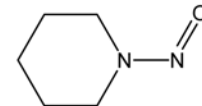
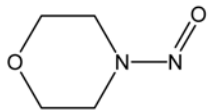
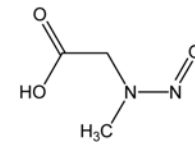
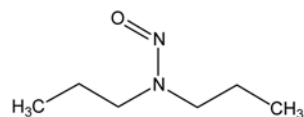
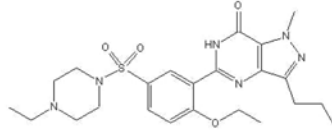
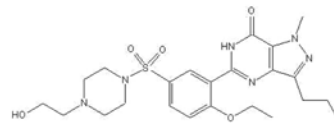
3-MCPD: $C_3H_7O_2Cl$ (110)Benzene: C_6H_6 (78)NDMA: $C_2H_6N_2O$ (74)NDEA: $C_4H_{10}N_2O$ (102)NYPR: $C_4H_8N_2O$ (100)NPIP: $C_4H_8N_2O$ (100)NMOR: $C_4H_8N_2O_2$ (116)NSAR: $C_3H_6N_2O_3$ (118)NDPA: $C_6H_{10}N_2O$ (130)

Fig. 6. The molecular formular, molecular weight, and chemical structures of 3-MCPD, benzene and nitrosamines.

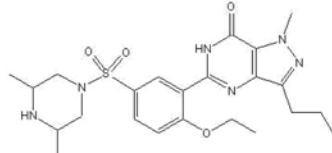
Homosildenafil: $C_{23}H_{32}N_6O_4S$ (488)



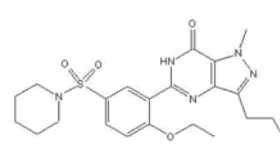
Hydroxyhomosildenafil: $C_{23}H_{32}N_6O_5S$ (505)



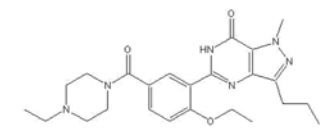
Dimethylsildenafil: $C_{23}H_{32}N_6O_4S$ (489)



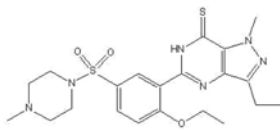
Norneosildenafil: $C_{23}H_{29}N_5O_4S$ (459)



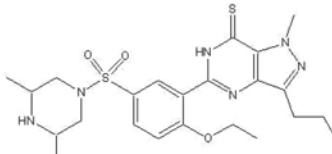
Carbodenafil: $C_{24}H_{32}N_6O$ (452)



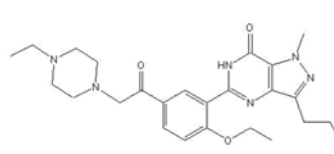
Thiosildenafil: $C_{20}H_{30}N_6O_3S_2$ (490)



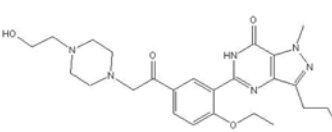
Dimethylthiosildenafil: $C_{23}H_{32}N_6O_3S_2$ (504)



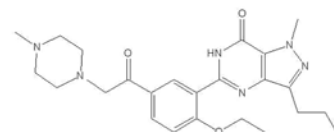
Hongdenafil: $C_{25}H_{34}N_6O_3$ (466)



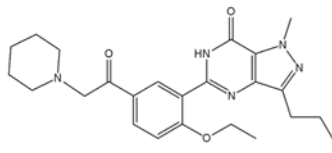
Hydroxyhongdenafil: $C_{25}H_{34}N_6O_4$ (482)



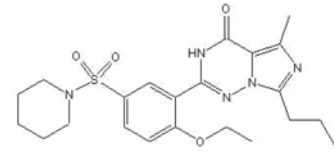
Demethylhongdenafil: $C_{24}H_{32}N_6O_3$ (452)



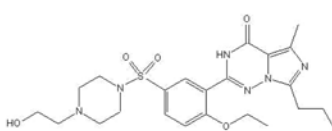
Piperidinohongdenafil: $C_{24}H_{31}N_5O_3$ (437)



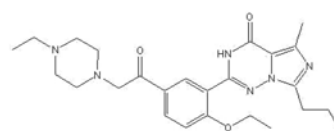
Pseudovardenafil: $C_{23}H_{29}N_5O_4S$ (459)



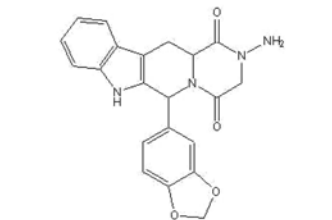
Hydroxyvardenafil: $C_{23}H_{32}N_6O_5S$ (504)



Acetylvardenafil: $C_{25}H_{34}N_6O_3$ (466)



Aminotadalafil: $C_{21}H_{18}N_4O_4$ (390)



Xanthoanthrafil: $C_{19}H_{23}N_3O_6$ (389)

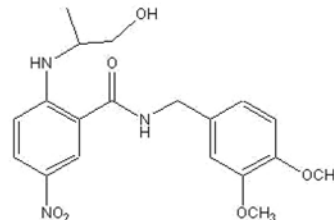


Fig. 7. The molecular formular, molecular weight, and chemical structures of illegal compounds.

Table 3. Classification of new hazard chemicals regarding IARC toxicity

Group 1 ¹	Group 2A ²	Group 2B ³	Group 3 ⁴	Non-Group
Benzene	Acrylamide	Furan	Chrysene	3-MCPD
Benzo(a)pyrene	Ethylcarbamate	NDPA	Benzo(g,h,i)perylene	Histamine
	NDMA	NMOR		Tyramine
	NDEA	NPIP		Norharman
	Dibenzo(a,h)anthracene	NPYR		Harman
	IQ	NSAR		7,8-DiMeIQx
		Benzo(a)anthracene		4,8-DiMeIQx
		Benzo(b)fluoranthene		TriMeIQx
		Benzo(k)fluoranthene		
		Indeno(1,2,3-c,d)pyrene		
		MeIQ		
		MeIQx		
		PhIP		
		A α C		
		MeA α C		
		Trp-P-1		
		Trp-P-2		
		Glu-P-1		
		Glu-P-2		

1. Group 1: Carcinogenic to humans
2. Group 2A: Probably carcinogenic to humans
3. Group 2B: Possibly carcinogenic to humans
4. Group 3: Not classifiable as to its carcinogenicity to humans

Table 4. The official analytical method in Korea food code for new hazard chemicals in food

Targets	Main food samples	Sample preparation	Instrumental analysis
Acrylamide	Potato chips	LLE	LC/MS
Benzopyrene	Edible oils	LLE	HPLC/FLD
HCAs	Barbecued chicken	SPE	LC/MS/MS
Furan	Canned food	Headspace	GC/MS
Ethylcarbamate	Alcoholic beverages	SPE	GC/MS
Biogenic amines	Bean paste	LLE	HPLC/UVD
Benzene	Beverages	Headspace	GC/MS
3-MCPD	Soy sauce	LLE	GC/MS
Nitrosamines	Ham	SPE	GC/MS/MS
Illegal Compounds	Food (capsule, pill)	LLE	HPLC/UVD

중 노출을 최소화 할 것을 권고하고 있다.

3. 생성 메커니즘

3.1. 아크릴아마이드

식물성이며 탄수화물은 많이 함유하고 있는 감자 등을 120 °C 이상의 고온에서 기름에 튀기거나 구울 때 자연적으로 존재하는 아스파라긴과 당의 화학적 반응에 의해 생성된다.⁶⁻⁷

3.2. 벤조피렌 등 PAHs

식품의 고온 조리가공시 탄수화물, 단백질, 지방 등의 불완전 연소에 의해 생성되는데, 특히, 돼지고기 등 고지방 식품과 불꽃이 직접 접촉하여 식품이 탈 때 많이 생성된다.¹²⁻¹⁴

3.3. HCAs

닭가슴살 등 육류근육 내 크레아티닌이 당과 아미노산의 Maillard 반응에 의해 고온(150 °C 이상)에서

알돌축합반응을 일으켜 생성되며 조리시간이 길수록 더 많이 생성된다.¹⁰⁻¹¹

3.4. 퓨란

탄수화물(비타민 C 포함) 및 아미노산(카제인, 시스테인, 알라닌 등)의 열분해에 의한 캐러멜 반응산화 및 고도의 불포화지방산(PUFA)의 가열산화 등에 의해 생성된다. 퓨란은 휘발성이나 밀봉식품인 통병조림 식품에 미량 잔존할 가능성이 있다.⁸⁻⁹

3.5. 에틸카바메이트

식품의 발효과정 중 생성되는데, 특히, 포도주 등 주류에서는 발효과정 중 아르기닌에 의해 치환된 요소나 시트룰린이 에탄올과 반응하여 생성된다.¹⁵⁻¹⁶

3.6. 바이오제닉 아민

장류 등 단백질을 함유한 식품의 유리아미노산인 히스티딘, 타이로신 등이 저장 또는 발효숙성되는 과정에서 미생물의 탈탄산작용으로 생성되는 히스타민, 티라민 등으로 생물학적 활성을 갖는 분해산물이다.¹⁷⁻¹⁸

3.7. 벤젠

식품원료에 존재하거나 산화방지나 영양보충을 위하여 첨가한 비타민 C와 미생물의 성장을 억제하기 위하여 사용한 합성보존료인 안식향산나트륨이 공존하는 음료류의 경우, 비타민 C에 의해 금속촉매가 산화되어 산소가 환원되고 여러 단계를 거쳐 형성된 하이드록실 라디칼이 안식향산의 벤조익산에서 카복실기를 제거하고 벤젠을 생성한다.¹⁹⁻²⁰

3.8. 3-MCPD

단백질 또는 탄수화물을 함유한 원료를 산으로 가수분해하여 가공한 산분해 간장 제조과정 중에 생성되는 물질로서 지방산에 염산의 염소기가 치환되어 생성된다.²¹⁻²²

3.9. 니트로사민

식품 가공 시 육류 및 어류 등에 존재하는 아민(amine, R-NH₂)과 아질산 이온(NO₂⁻)의 니트로소화 반응에 의해 생성된다.²³⁻²⁴

4. 각국의 규제현황

식품의 제조가공과정 중에 불가피하게 생성되는 신

중유해물질은 식품원료의 구성요소 및 조리가공 등의 온도와 시간 등에 따라 수준차가 크기 때문에 특정식품에 대한 기준설정이나 섭취량의 권고는 어려운 실정이다. 따라서 우리나라를 비롯하여 WHO, Codex 등 국제기구나 제 외국 등은 기준규격을 설정하기보다는 효과적인 저감화 또는 제어 방법 개발을 위해 생성기전을 연구하고 있으며 궁극적으로는 식품 중 생성수준이 ALARA (as low as reasonably achievable) 가 되도록 저감화되어야 한다고 권장하고 있다.⁵⁴

4.1. 제외국

국민의 건강보호를 위하여 식품 중 신중유해물질에 대해 일부 국가에서 기준을 설정하고 관리하고 있다. PAHs의 경우 유럽연합 EU는 벤조피렌을 PAHs의 marker로 인정하고 기준 설정을 1종에 한하고 있지만 독일 및 캐나다에서는 식품에 따라 7종 혹은 8종으로 선정하고 있다.³³ 에틸카바메이트의 경우 캐나다에서는 포도주 등 주류에 대해 기준을 설정하고 있으나, 미국에서는 업계 자율기준으로 정하고 있으며 국제식품규격 Codex에서는 알콜음료관련 기업에 자율적인 저감화를 권고하고 있다.⁴⁰ 또한, 바이오제닉아민 중 히스타민은 Codex, 미국, 뉴질랜드 및 EU에서 어류 및 가공어육식품 등에 권장규격으로 설정운영하고 있다.

4.2. 우리나라

제외국의 경우와 마찬가지로 국민건강보호를 위하여 식품 중 기준 설정을 우선하고 있으나 물질의 특성에 따라 다양한 규제 방법을 선택하여 관리하고 있다.⁵² 벤젠의 경우, 생성의 주원인인 합성보존료의 사용자제를 권고함으로써 대부분의 음료류에서 벤젠이 불검출이거나 음용수의 기준(기준 10 µg/kg)이하로 검출되고 있다. 아크릴아마이드의 경우 식품 중 생성량은 식품구성요소 및 조리가공 온도와 시간 등에 따라 수준차가 크기 때문에 특정식품의 기준설정이나 섭취량의 권고가 어려우므로 식품제조공정 중 도달할 수 있는 저감화 수준을 식품업계 자체적으로 안전목표(1 mg/kg 이하)를 설정하여 관리하고 있다. 퓨란이나 에틸카바메이트의 경우 식품 중 검출수준이 건강에 영향을 미치는 수준은 아니지만 식품 중 저감화에 주력하고 있다. 그러나 산분해 간장 및 혼합간장 중 3-MCPD(기준 3 mg/kg 이하), 식용유지 중 벤조피렌(기준 2.0 µg/kg 이하) 등 일부 물질은 기준이 설정되어 있다.⁴

5. 식품 중 분석방법

식품 중 기준규격이 설정되어 있는 벤조피렌, 3-MCPD 및 부정유해물질은 식품공전에 시험법이 등재되어 있으며, 기준 미설정물질 중 아크릴아마이드, 퓨란 및 에틸카바메이트에 대한 시험법은 고시로 운영하고 있다.^{4,55} 그 외 HCAs, 바이오제닉아민, 벤젠 및 니트로사민도 시험법은 확립하고 있으며 정책방향에 따라 향후 기준설정이나 고시를 추진할 계획이다 (Table 5).

5.1. 아크릴아마이드

프렌치후라이 등 감자를 이용한 가공식품 중 아크릴아마이드를 분석하기 위하여 capillary zone electrophoresis, GC/MS/MS 등을 사용하기도 하나 LC/MS/MS에 의한 분석법이 주로 사용되고 있다.^{29,32} 고시된 공정방법은 균질화한 시료를 물로 추출하고 C18 및 혼합이온교환수지 카트리지를 이용하여 정제한 후 대상물질의 특성이온, 즉, 아크릴아마이드는 m/z 72→55, C₁₃으로 치환된 내부표준물질은 m/z 75→58을 선택하여 electrospray ionization (ESI) 질량분석기로 확인 및 정량하고 있다(정량한계 10 µg/kg).^{49,55}

5.2. 벤조피렌 등 PAHs

식용유지 중 PAHs를 분석하기 위하여 주로 액액추출이나 비누화 반응 등에 의해 시료를 전처리한 후 HPLC/FLD, GC/MS 등으로 분석하고 있다.³³⁻³⁶ 식품공전 상의 공정방법으로는 marker PAH로 사용되는 benzo(a)pyrene (벤조피렌)만을 대상물질로 선정하고 시료의 지방성분을 헥산으로 제거한 후 N,N-dimethylformamide 수용액을 다시 헥산으로 추출하여 후로리실 SPE 카트리지로 정제한 후 HPLC/FLD를 이용하는 매우 간편하고 보편적인 방법이 제시되어 있다(정량한계 0.9 µg/kg).^{4,49}

5.3. HCAs

동물성 식품의 근육부위를 고온에서 조리할 때 주로 생성되는 HCAs는 다수의 화합물로 구성되어 있는데 PhIP 등 대표적인 물질 15종을 LC/MS를 사용하여 동시에 분석하는 방법이 선호되고 있다.⁵⁶ 시료를 균질화한 후 Extrelut-20 및 Bond-Elut PRS 카트리지를 이용하여 정제한 후 내부표준물질 1-naphthylamine 및 대상물질의 특이이온을 각각 선택하여 electrospray ionization (ESI) 질량분석기로 확인 및 정량하고 있다

(정량한계 10 µg/kg).

5.4. 퓨란

일반적으로 퓨란 등 휘발성 물질을 분석하기 위하여 purge and trap, headspace가 많이 이용되고 있는 전처리 방법이나 최근에는 SPME (solid phase micro-extraction) 방법도 사용되고 있으며 GC/MS로 기기분석하고 있다.³⁷ 통조림이나 병조림 등 식품 중 퓨란을 분석하기 위해서도 상기의 방법이 주로 이용되고 있다. 고시된 공정방법은 고체 또는 반고체의 시료는 물이나 포화염화나트륨용액으로 희석하고, 액체 시료는 희석 없이 증수소로 치환된 퓨란 내부표준물질을 첨가하여 시험용액의 헤드스페이스 중 퓨란을 GC/MS로 분석하고 표준물질첨가법으로 정량하는 것이다.^{49,57} 특성이온 m/z 39, 68, 및 72가 확인되어야 하고 특성이온 m/z 39와 68의 반응세기비는 퓨란 표준물질의 m/z 39와 68의 반응세기비와 비교할 때 ±25% 이내에서 일치하여야 하며 m/z 68에 대한 피크 면적비로 정량하고 있다(정량한계 1 µg/kg).

5.5. 에틸카바메이트

주류 중 에틸카바메이트를 분석하기 위하여 시료를 액액추출 또는 SPE로 정제추출하거나 추출 후 색소나 비극성물질 등 잔존하는 방해물질을 알루미나 또는 후로리실로 정제하여 GC/FID, GC/AFID, GC/MS, GC/MS/MS 등의 기기분석 방법을 사용하고 있다.⁴⁰⁻⁴² 대표적인 웰빙 식품인 포도주의 경우 고시된 공정방법은 균질화한 시료를 구조토 카트리지로 추출한 후 GC-SIM/MS로 분석하는 방법으로 선택이온 m/z 62, 74, 89를 사용하여 확인 및 정량 시 시험용액과 표준용액 간의 선택이온 m/z 62 및 m/z 74의 반응세기비는 20%이내에서 일치하여야 하며 선택이온 m/z 89는 확인되어야 하며 m/z 62에 대한 피크 면적비로 정량하고 있다(정량한계 10 µg/kg).^{49,55}

5.5. 바이오제닉아민

식품 중 히스타민 및 티라민은 액액추출하여 염화단실이나 o-phthalicdicarboxaldehyde로 유도체화한 후 HPLC/UV나 HPLC/FLD로 분석하고 있다.⁴⁷⁻⁴⁸ 이중 간편하고 보편적인 방법으로 염산으로 추출하여 염화단실로 유도체화 한 후 HPLC/UV를 이용하여 동시분석하고 각각의 머무름 시간에 의해 정성 확인을 하며 피이크 면적법에 의해 정량하는 방법이 선택되고 있다(정량한계 1 mg/kg).⁴⁹ 단, 검출 시스템의 적합여부

를 평가하여야 하는데, 캐더버린과 히스타민 혼합용액을 동일조건에서 분석할 때 캐더버린, 히스타민의 순서로 유출되고 그 분리도가 1.5 이상이어야 한다.

5.6. 벤젠

콜라 등 탄산음료수나 먹는 물 중 벤젠을 분석하기 위해서는 purge and trap, headspace, solid phase microextraction을 이용한 시료 전처리 방법 및 GC/MS에 의한 분석방법이 널리 사용되고 있다.³⁷ 최근에는 headspace-GC/MS를 이용하여 음료류 중 벤젠을 분석하는데 선택이온 m/z 51, 77, 78로 확인하며 선택이온 m/z 78에 대한 m/z 51 및 m/z 77의 반응세기비로 재검증한 후 벤젠의 선택이온 m/z 78과 내부표준물질 d₆-벤젠의 선택이온 m/z 84에 대한 피크 면적비로 정량하고 있다(정량한계 1 µg/kg).^{38,52}

5.7. 3-MCPD

산분해 간장 등 식품 제조과정 중 3-MCPD가 생성되는 식품을 분석하기 위한 식품공전 상의 공정방법은 시료를 알루미늄옥사이드와 혼합하여 크로마토그래프용 유리칼럼에 충전한 다음 디클로로메탄으로 추출하고 HFBA (heptafluorobutyric anhydride)로 유도체화한 후 GC/MS로 분석하는 방법이다.^{44,49} 특성이온 m/z 253, 275, 289, 291 및 453이 확인되어야 하고 특성이온 m/z 453과 253, 275, 289 및 291간 4개의 반응세기의 비(response ratio)를 3-MCPD 표준물질의 특성이온 간 반응세기의 비와 비교하여 2개 이상의 반응세기의 비가 ±20%이내에서 일치하여야 하며 m/z 253 피크면적비로 정량하고 있다(정량한계 0.01 mg/kg).

5.8. 니트로사민

햄이나 어묵 등 식육 및 어육가공품 중 니트로사민을 분석하기 위하여 GC/TEA (Thermal Energy Analyzer)를 이용한 방법이 사용되었으나, 최근에는 GC/MS를 사용하여 NDMA 등 7종을 동시에 분석하는 방법이 사용되고 있다.⁴⁵⁻⁴⁶ 균질화한 시료를 Extrelut 카트리지로 추출 후 후로리실 카트리지로 정제하여 GC로 분리하고 음이온 모드에서 암모니아 가스를 이용한 chemical ionization (CI) 질량분석기로 정성 및 정량분석하고 있다(정량한계 0.3 µg/kg).

5.9. 부정유해물질

발기부전치료제 유사물질과 같은 부정유해물질을 함유하는 환제, 캡슐제와 같은 식품을 분석하기 위한

식품공전 상의 공정방법은 균질화하고 추출한 후 HPLC/UV로 분석하여 머무름 시간에 의해 정성 확인을 하며 피크 면적법에 의해 정량을 한다(정량한계 0.01 mg/kg).^{44,49} 또한, 질량분석을 하여 각각의 물질임을 재확인한다. 질량분석의 경우 interface는 electrospray ionization (ESI)을 사용하고 분리능 1,000에서 분석한다.

6. 국내외 검출현황

식품 중 기준규격이 설정되어 있는 유해물질은 기준 이하로 검출되어야 한다. 벤조피렌의 경우 콩기름, 옥수수기름, 참기름, 들기름, 땅콩기름, 올리브유, 팜유류, 쇼트닝, 마아가린류, 고추씨기름 등 식용유지에 2.0 µg/kg 이하로 기준이 설정되어 있으며, 3-MCPD는 산분해간장, 혼합간장에 0.3 mg/kg 이하로 기준이 설정되어 있다.⁴ 발기부전치료제 유사물질은 호모시데나필 등 16종 부정유해물질을 대상으로 식품 중 불검출로 기준이 설정되어 있는데 시간이 지남에 따라 다양하게 변화시킨 미지물질이 식품 중에서 지속적으로 검출되고 있다.

최근 이슈화가 되었으나 식품 중 기준규격이 설정보다는 저감화를 선행하고 있는 아크릴아마이드의 경우 감자칩은 평균 0.7 mg/kg, 프렌치후라이는 평균 0.3 mg/kg로 식품원료는 같아도 대상 식품의 유형 및 제조공정에 따라 검출 수준에 차이가 나지만 목표수준인 1 mg/kg보다 낮게 검출되고 있다.⁵²

통병조림 식품 중 퓨란의 경우 국내 보고된 자료에 의하면 3~18 µg/kg로 미국 FDA의 2~48 µg/kg과 유사하게 검출되고 있다.⁵²

주류 중 에틸카바메이트의 경우 우리나라는 0.6(탁주)~171(과실주) µg/kg 미국은 5(립)~255(브랜드) µg/kg 영국은 불검출(브랜드)~6131(과실주) µg/kg로 술의 종류에 따라 검출수준에 차이가 있음을 알 수 있다.^{40,54} 특히 복숭아와 같은 핵과류를 원료로하여 제조된 술에서 주로 검출되고 있다.

HCA의 경우 조리방법에 따라 식품 중 검출수준에 차이가 있다. 국내 보고된 자료에 의하면 닭고기를 튀김, 숯불바베큐, 전기구이하였을 때 각각의 검출량은 불검출~21, 9~63, 불검출~66 µg/kg로 미국의 닭가슴살을 팬구이, 오븐구이, 바비큐구이하였을 때 각각의 검출량 12~60, 6~150, 27~480 µg/kg에 비해 유사하거나 낮은 경향을 보이고 있다.⁵⁶

음료류 중 벤젠의 경우 초기에는 우리나라는 불검

출~49 µg/kg으로 미국(9~79 µg/kg), 캐나다(불검출~23 µg/kg), 호주(불검출~40 µg/kg) 등 제외국의 모니터링 결과와 매우 유사한 수준이었다. 그러나 식품 중 벤젠의 안전관리 결과 음용수중 벤젠 기준인 10 µg/kg 이하로 저감되었다.⁵²

니트로사민 중 대표물질인 NDMA는 식육 및 어육가 공품에서 우리나라의 경우 3.8(소세지)~7.7(햄), 에스토니아의 경우 0.6(훈연어류)~2.0(생선튀김), 태국의 경우 6.3(베이컨)~66.5(염장어류), 그 외 국가에서 12(소세지)~300(구운오징어) µg/kg로 대상식품의 제조방법에 따라 매우 광범위한 수준으로 검출되고 있다.^{23, 45-46}

7. 결 론

식품 제조가공 공정 중 새롭게 생성될 수 있는 유해물질의 특성, 생성 메카니즘, 규제 및 분석현황을 정리하여 식품 중 신중유해물질에 대한 정확한 인식을 가질 수 있는 토대를 마련하고자 하였다.

식품 중 신중유해물질은 첫째, 열처리에 의해 생성되는 아크릴아마이드, 퓨란, HCAs, PAHs가 있으며, 둘째, 발효공정에 따라 에틸카바메이트, 바이오제닉아민류가 생성될 수 있고, 셋째, 식품첨가물에 의해 3-MCPD, 벤젠, 니트로사민류가 생성되며, 넷째, 미지물질에는 발기부전치료제나 비만치료제 성분을 변형시킨 부정유해물질이 포함된다.

벤조피렌, 3-MCPD, 부정유해물질, 아크릴아마이드, 퓨란 및 에틸카바메이트에 대한 시험법은 공전에 등재되어 있거나 고시로 운영되고 있으며, 그 외 HCAs, 바이오제닉아민, 벤젠 및 니트로사민도 시험법은 확립하고 정책방향에 따라 향후 기준설정이나 시험법 고시를 검토 및 추진할 계획이다.

신중유해물질의 식품 중 검출 수준은 대체적으로 안전한 수준이나 식품원료의 구성요소 및 조리가공 등의 온도와 시간 등에 따라 수준차가 크기 때문에 식품 중 기준규격 설정에 앞서 효과적인 저감화 또는 제어방법 개발을 연구하여 지속적으로 식품 중 저감화를 권장할 것이다.

참고문헌

- O. R. Fennema, 'Food Chemistry', 2nd Ed., Marcel Dekker Inc., New York, USA, 1985.
- P. Linko, 'Food Process Engineering', Vol. 1, Applied Science Publishers Ltd., 1980.
- 채수규, '표준식품화학', 효일(ISBN 8985768832), 2000.
- 식품의약품안전청, '식품공전', 2008.
- 식품의약품안전청, '식품첨가물공전', 2007.
- D. Sharp, *Lancet*, **361**, 361-362(2003).
- E. Tareke, P. Rydberg, P. Kaylsson, S. Eriksson and M. Tornqvist, *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 4998-5006(2002).
- A. Adams, K. A. Tehrani, M. Kersiene, R. Venskutonis and N. Kimpe, *J. Agric. Food Chem.*, **51**, 4338-4343 (2003).
- US FDA (<http://fda.gov>).
- K. Skog, M. Johansson and M. Jagerstad, *Food. Chem. Toxicol.*, **36**, 879-896(1998).
- M. Murkovic, *J. Chromatogr. B*, **802**, 3-10(2004).
- S. Moret and L. Conte, *J. Chromatogr. A*, **882**, 245-253(2000).
- A. Pupin and M. Toledo, *Food Chem.*, **55**, 185-188 (1996).
- T. Wenzl, R. Simon, J. Kleiner and E. Anklam, *Trends in Anal. Chem.*, **25**, 716-725(2006).
- C. Ough, *J. Agric. Food Chem.*, **24**, 323-328(1976).
- R. Battaglia, H. Conacher and B. Page, *Food Addit. Contam.*, **4**, 477-496(1986).
- FDA Report, Scombrotoxic(Histamine) Formation, Chapter 7(2001).
- e-Letter of New Hazard Chemicals (<http://blog.korea.kr/nhct>), **2**, 7-13(2007).
- C. Maltoni and C. Scarnato, *Med. Lavoro*, **70**, 352-357(1979).
- B. Halliwell and J. Gutteridge, *Mol. Aspects Med.*, **8**, 89-193(1985).
- J. Valis, K. David, V. Kubelka, Z. Janic, Z. Svobodova and Z. Simikova, *J. Agric. Food Chem.*, **28**, 1142-1144(1980).
- P. Collier, D. Cromie and A. Davies, *Am. Oil Chem. Soc.*, **68**, 785-790(1991).
- S. Yurchenko et al., Volatile N-Nitrosamines in various fish products, *Food Chemistry*, **96**, 325-333(2006).
- W. Lijinsky, *Mutation research*, **443**, 129-138(1999).
- 최동미, 임무혁, 이경진, 권광일, 정지윤, 박건상, 홍무기, 이철원, *분석과학*, **17**, 520-526(2004).
- e-Letter of New Hazard Chemicals (<http://blog.korea.kr/nhct>), **10**, 81-89(2007).
- X. Zhu, S. Xiao, B. Chen, F. Zhang, S. Yao, Z. Wan, D.

- Yang and H. Han, *J. Chromatogr. A*, **1066**, 89-95(2005).
28. D. Zhong, J. Xing, S. Zhang and L. Sun, *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, **16**, 1836-1843(2002).
29. 정형욱, 박성국, 최동미, *분석과학*, **20**, 164-169(2007).
30. T. Wenzl L. Karas, J. Rosen, K.-E. Hellenaes, C. Crews, L. Castle and E. Anklam, *J. Chromatogr. A*, **1132**, 211-218(2006).
31. C. Kim, E. Hwang and H. Lee, *Food Chem.*, **101**, 401-409(2007).
32. M. Lee, L. Chang and J. Dou, *Anal. Chim. Acta*, **582**, 19-23(2007).
33. 허수정, 우건조, 최동미, *분석과학*, **20**, 170-175(2007).
34. S. Tfouni, R. Machado, M. Camargo, S. Vitorino, E. Vicente and M. Toledo, *Food Chem.*, **101**, 334-338(2007).
35. G. Diletti, G. Scortichini, R. Scarpone, G. Gatti, L. Torreti and G. Migliorati, *J. Chromatogr. A*, **1062**, 247-254(2005).
36. A. Barranco, R. Alonso-Salces, A. Bakkali, L. Berrueta, B. Gallo, F. Vicente and M. Sarobe, *J. Chromatogr. A*, **988**, 33-40(2003).
37. US EPA Method 1624(1989).
38. 김은주, 박상애, 최동미, *식품위생안전성*, **22**, 243-247(2007).
39. 식품의약품안전청 연구보고서, **8**, 643(2006).
40. 박성국, 윤택형, 최동미, *분석과학*, **21**, 53-57(2008).
41. D. Lachenmeier, W. Frank and T. Kuballa, *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, **19**, 108(2005).
42. R. Dyer, *J. AOAC Int.*, **77**, 64-66(1994).
43. D. Choi, S. Park, T. Yoon, H. Jeong, J. Pyo, J. Park, D. Kim and S. Kwon, *J. AOAC Int.*, **91**, 580-588(2008).
44. 최동미, *분석과학*, **21**, 65-83(2008).
45. M. Nout, M. Rulikes, H. Bouwmeester and P. Beljaars, *J. Food Safety*, **13**, 293-303(1993).
46. E. J. Mitacek et al., *Food and Chemical Toxicology*, **37**, 297-305(1999).
47. 식품의약품안전청 연구보고서, **9**, 115-116(2005).
48. A. Shalaby, *Food Research Int.*, **29**, 675-690(1996).
49. 식품의약품안전청 신중유해물질과, '식품 중 신중물질 분석방법 총서', (행정간행물등록번호; 11-1470000-001653-10), 2008.
50. 식품의약품안전청, '식품 중 3-MCPD, 바이오제닉아민, HCAs 저감화실행규범', (행정간행물등록번호; 11-1470000-001742-14), 2008.
51. 식품의약품안전청, '신중유해물질 Q&A', (행정간행물등록번호; 11-1470000-001690-14), 2008.
52. 식품의약품안전청 홈페이지 (<http://www.kfda.go.kr>).
53. IARC Monographs (<http://monographs.iarc.fr>)
54. JECFA Homepage (<http://codexalimentarius.net/web/jecfa.jsp>)
55. 식품의약품안전청고시 제2007-10호 (<http://www.kfda.go.kr>).
56. 식품의약품안전청 연구보고서, **9**, 903-904(2005).
57. 식품의약품안전청고시 제2008-52호 (<http://www.kfda.go.kr>).