pISSN 1229-1153 *J. Fd Hyg. Safety*
Vol. 28, No. 2, pp. 99~107 (2013)
http://dx.doi.org/10.13103/JFHS.2013.28.2.099

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

식품오염물질 미래 연구방향 예측

성동은 · 박성국[1] · 김미혜[1] · 오상석*
이화여자대학교 식품공학과, [1]식품의약품안전평가원

Forecast of the Field of Research on Food Contaminants in Korea

Dong-Eun Sung, Sung Kug Park[1], Meehye Kim[1], and Sangsuk Oh*
Department of Food Science and Technology, Ewha Womans University, Korea
[1]National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Korea
(Received November 9, 2012/Revised February 8, 2013/Accepted May 8, 2013)

ABSTRACT - Food contaminants are an emerging issue because food is highly influential to human health. Delphi survey was performed to establish the plan for effective management of food contaminants. Fifty experts from academia, research institute, government and food industries on food safety and policy participated in this study. From open-end questions 161 topics were collected and classified into five areas and 42 topics as the first round. The five areas were 'the integrated management system on food contaminants', 'safety management of food contaminants derived from environment', 'safety management of natural toxins contaminated on foods', 'safety management of hazardous substances produced during food processing' and 'construction of cooperative system and public relationship'. At the second round, after analyzing the replies (30/50 replied) the preliminary order was obtained and it was confirmed at the third round (24/30 replied). We suggest the order of priority for required research area of food contaminants considering the importance and urgency of the research.

Key words : Food contaminants, Delphi, forecast, Research area

서 론

CODEX (Codex Alimentarius Commission)[1)]의 정의에 따르면 식품오염물질이라 함은 생산, 제조, 가공, 준비, 처리, 수송 등으로 인해, 또는 환경오염 등으로 인해 식품에 비의도적으로 첨가된 물질을 의미하며, 곤충 및 설치류의 털, 기타 이물질은 포함하지 않는다. 국내의 정의도 이와 유사하며, 납, 수은(메틸수은), 카드뮴, 비소, 주석 등의 중금속류, 곰팡이독소, 패독, 복어독, 버섯독소 등의 자연독소류, 다이옥신류, PCBs, PBDEs 등의 환경유래오염물질류, 헤테로싸이클릭아민, PAHs, 아크릴아마이드, 니트로사민, 바이오제닉아민, 방사능, HNE, 퓨란, 결합형 3-MCPD의 제조과정생성 유해물질류, 기타오염물질로 멜라민을 분류하여 관리하고 있다[2)]. CODEX, NACMCF (National Advisory Committee on Microbiological Criteria on Food), FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations)는 위해성 평가 결과에 근거하여 위해물질의 심각성을 분류하였다. 마비성 패독, 기억상실성 패독, 독버섯, 복어독, 보툴리눔독 등의 자연독, 유해중금속, 아플라톡신, 환경호르몬은 사망을 포함하여 건강에 중대한 영향을 미칠 정도 심각성이 "높음"인 군에 포함되었으며, 제조공정 중 생성되는 화학반응물질, 곰팡이독소 등은 잠재적으로 광범위한 영향을 미치고 입원할 정도로 심각성이 "중간"인 군으로 분류되었다[3)]. 식품오염물질이 인체에 미치는 영향이 크기 때문에, 국내에서는 식품오염물질 분야와 관련하여 지속적인 연구를 하여 왔지만, 체계적인 자료의 축적이 부족하며, 새로운 식품오염물질이 출현하고 있다.

최근에 새롭게 등장한 이슈일수록 위험하다고 인식하고, 미래의 식품위험은 더욱 심각할 것으로 인식하는 소비자의 경향[4)]을 고려할 때, 신뢰도를 높여줄 수 있는 체계적인 식품안전관리 정책이 필요하며, 이를 위해서는 효과적인 연구방향을 설정하는 것이 중요하다. 미래 상황의 예측은 체계적으로 그리고 지속적으로 축적된 자료를 바탕으로 하여 이루어진다. 하지만 과거 자료에서 참고할 수 있을 만한 자료가 부족할 때, 수학적이고 통계적인 예측이 가능

*Correspondence to: Sangsuk Oh, Department of Food Science and Technology, Ewha Womans University, 52 Ewhayoedae-gil, Soedaemun-gu, Seoul 120-750, Korea
Tel: 82-2-3277-3558, Fax: 82-2-3277-4213
E-mail: ssoh71@ewha.ac.kr

하지 않을 때 불확실한 미래상황을 예측하기 위하여 주로 이용되는 것이 델파이(Delphi) 기법이다[5]. 축적된 자료가 부족한 식품오염물질 분야 연구방향을 설정하는데 있어서 식품안전 관련 전문가의 전문지식을 바탕으로 하는 델파이 기법이 중요한 수단이 될 것이다. 델파이 기법은 미래에 실현될 주요 기술과제의 실현시기, 중요도 등에 대하여 다수 전문가의 직관을 수렴하는 기술예측의 한 방법으로 조사결과를 응답자에게 제시하여 수정 응답할 기회를 부여함으로써 다수 전문가의 의견을 수렴하기에 전문가 합의법이라고 한다[6]. 델파이 조사는 양적 연구와 질적 연구를 한 번에 수행할 수 있으며, 비용효율성이 높은 장점이 있다[7]. 델파이 조사의 가장 큰 특징인 익명성 보장을 통해 자신의 의견 및 주장을 자유롭게 표현하고 다양한 정보를 교환할 수 있으며, 나아가 연구 참여자가 결과를 확인함으로써 연구에 대한 책임감을 느끼도록 하며 새로운 아이디어를 얻는 기회를 제공한다[8]. 최근 선진국은 물론 우리나라에서도 과학기술예측조사를 위해 활용하고 있는데, 식품 분야에서는 2010년 독일 위해성평가연구원인 BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) 에서 실시한 “BfR Delphi Study on Nanotechnology”와 식품의약품안전청 용역과제로서 기후변화 대응 식품안전관리 연구사업단에서 실시한 사례가 있다[9-10].

따라서 본 연구에서는 식품안전 및 식품정책 분야 전문가를 대상으로 식품오염물질 분야에서 필요하며 신속하게 연구가 수행되어야 하는 연구의 우선순위를 파악하여 향후 식품오염물질 분야 연구방향 설정을 위한 기초자료로서 제공하고자 하였다.

Preparatory step	List names of experts on food safety and policy, N=50
⇓	
Round 1	Ask open questions and establish questionnaire
⇓	
Round 2	Send questionnaire and analyze replies, N=50 (60% replied)
⇓	
Round 3	Confirm each expertspoiu reply, N=30 (83% replied)
⇓	
Safety expert workshop	Suggest priority for the field of research on food contaminants

Fig. 1. Process of Delphi survey.

연구내용 및 방법

식품오염물질 연구방향 우선순위를 설정하기 위하여 정부기관, 학계, 연구소, 산업체에 종사하는 식품안전 및 식품정책 분야 전문가를 대상으로 델파이 조사를 2011년 5월 19일부터 7월 25일까지 시행하였다(Fig. 1).

사전 준비단계에서는 학회발표, 정부연구과제 수행, 학술지 게재 실적 등을 고려하여 소속과 전문분야가 다양한 50명의 전문가 리스트를 작성하였다. 전문가 그룹의 소속

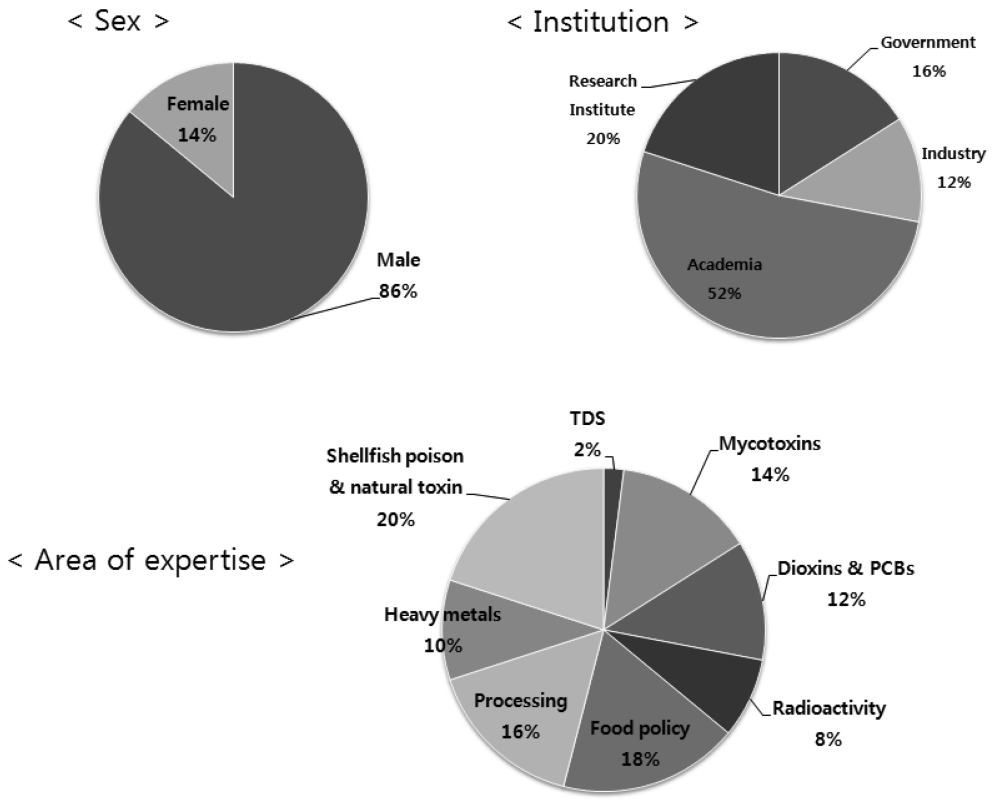

Fig. 2. Distribution of experts on food safety and policy: preparatory step (n = 50).

은 학계 52%, 연구계 20%, 정부기관 16%, 산업계 12%로 구성하였으며, 전문분야는 중금속 10%, 곰팡이독소 14%, 패류독소 및 자연독 20%, 다이옥신 및 PCBs 12%, 방사능 8%, 제조가공과정 중 생성물질 16%, 정책 18%, 총식이조사(Total Diet Study, TDS) 2% 로 구성하였다(Fig. 2). 델파이 조사 Round 1은 2011년 5월 19일에서 6월 2일에 걸쳐 '식품오염물질 분야에서 위해평가를 포함하여 필요연구 또는 안전에 있어서 관심을 받게 될 것이라 예상되는 항목'의 개방형 질문을 통해 얻은 결과를 바탕으로 5개 분야, 42개 항목으로 구성된 설문지를 설계하여 조사를 진행하였다. 델파이 조사 Round 2는 6월 25일 - 7월 2일에 걸쳐 총 50명의 전문가에게 이메일을 통해 설문지를 발송한 후 응답을 취합하였다. 각 문항에 대한 응답은 리커트(Likert) 척도를 사용하여 중요도는 매우중요(5), 중요(4), 중간(3), 중요하지 않음(2), 불필요(1)로 입력하였으며, 시급성은 6개월 이내 즉시(5), 1년 이내(4), 2년 이내(3), 3년 이내(2), 4년 이내(1), 4년 이후(0)로 입력하여 델파이 조사 Round 3를 위한 자료로 활용하였다. 델파이 조사 Round 3에서는 7월 18일 - 7월 25일에 걸쳐 1차 설문에 회신한 30명의 조사 대상에게 설문지 결과를 중위수로 표기하여 재발송하였으며, 본인의 의견을 수정할 기회를 제공하여 전문가들의 합의에 초점을 두었다.

회수된 설문지의 결과는 Excel 프로그램으로 정리하였으며, 조사 참여자들의 동의 수준을 수렴도 및 합의도로 확인하였다. 이 결과를 바탕으로 각 분야별 필요 연구분야를 중요도 및 시급성에 따라 우선순위를 설정하였다.

결과 및 고찰

연구분야 도출 및 응답자 분석

식품오염물질 분야에서 위해평가를 포함하여 필요연구 또는 안전에 있어서 관심을 받게 될 것이라 예상되는 항목의 개방형 질문을 하여, 국내 식품분야 전문가 30명의 의견을 취합하여 161개의 항목을 도출하였다. 다수의 항목을 분석하여 중복 연구의 삭제 및 유사 연구분야 통합 후 42개의 연구항목을 도출하여 5개 분야, 즉, 식품오염물질 통합관리 시스템(A), 환경유래 식품오염물질 안전관리(B), 식품 중 오염된 자연독소 안전관리(C), 조리가공 중 생성된 식품유해물질 안전관리(D), 국내외 식품오염물질 안전관리 협력체계 구축 및 교육·홍보 방안(E)으로 분류하였다. 식품오염물질 통합관리 시스템(A)에는 식품오염물질 모니터링과 관련하여 식품오염물질 모니터링 관리 및 운영표준화, 식품오염물질 모니터링 자료 통합 및 DB 구축, 식품공전 시험법의 개선방안 연구, 식품오염물질 분석품질 인증체계 구축, 제외국의 식품오염물질 모니터링 사례연구, 식품오염물질 위해 감소와 HACCP 적용에 관한 연구, 총 6개 연구항목을 포함하였다(Table 1). 환경유래 식품오염물질 안전관리(B)는 중금속, 다이옥신, PCBs 등에 관한 연구를 통합한 분야이며(Table 2), 식품 중 오염된 자연독소 안전관리(C)는 식품 중에서 자연적으로 존재할 수 있는 곰팡이 독소, 패류독소, 복어독 등과 연관되며(Table 3), 신규유해물질로 관심을 받고 있는 아크릴아마이드, 벤조피렌, 바이오제닉 아민, 에틸카바메이트, 3-MCPD, 헤테로사이클릭아민, 니트로사민, 퓨란 등은 조리가공 중 생성된

Table 1. Priority of integrated management system on food contaminants (A)

Proposed researches	Importance (SD)	Urgency (SD)	Priority
Management of food contaminants monitoring and standardization of operation	4.96 (0.20)	4.88 (0.33)	1
Integration of food contaminants monitoring data and construction of database	4.12 (0.33)	4.12 (0.60)	2
Improvement plan on analytical methods of Food Code	3.88 (0.33)	3.12 (0.44)	3
Construction of certifying system for the quality of food contaminants analysis	3.80 (0.58)	3.84 (0.62)	4
Case study of food contaminants monitoring of foreign countries	3.80 (0.50)	3.72 (1.14)	5
Application of HACCP and reduction of food contaminants	3.72 (0.61)	2.80 (0.87)	6

Table 2. Priority of safety management on food contaminants derived from environment (B)

Proposed researches	Importance (SD)	Urgency (SD)	Priority
Risk assessment of food contaminants derived from environment	4.08 (0.49)	4.88 (0.44)	1
Study on emerging food contaminants derived from environment	4.08 (0.40)	4.04 (0.61)	2
Monitoring environmental contaminants from various food source	4.04 (0.54)	3.96 (0.68)	3
Monitoring of environmental contaminants from imported foods	4.04 (0.54)	3.92 (0.70)	4
Reduction plan for food contaminants derived from environment	4.04 (0.45)	3.88 (0.67)	5
Exposure assessment of environmental contaminants from food	4.00 (0.50)	4.68 (0.75)	6
Study on analytical methods of environmental contaminants (including development of rapid detection methods)	3.92 (0.40)	3.92 (0.49)	7
Monitoring environmental contaminants in food from various regions	3.92 (0.70)	3.80 (0.82)	8
Study on the mechanism of environmental contaminants (animal experiment)	2.92 (0.64)	2.68 (1.11)	9

Table 3. Priority of safety management on natural toxins contaminated on foods (C)

Proposed researches	Importance (SD)	Urgency (SD)	Priority
Effect of climate change on occurrence of natural toxins	4.12 (0.33)	4.00 (0.41)	1
Risk assessment of natural toxins in foods	4.04 (0.35)	4.04 (0.35)	2
Study on analytical methods of natural toxins (including development of rapid detection methods)	4.00 (0.29)	3.96 (0.73)	3
Monitoring of natural toxins from imported foods	3.96 (0.54)	4.68 (0.95)	4
Exposure assessment of natural toxins from food	3.92 (0.49)	3.88 (0.53)	5
Reduction plan for natural toxins in foods	3.92 (0.40)	3.20 (0.58)	6
Monitoring natural toxins from various food categories	3.88 (0.53)	4.64 (0.95)	7
Monitoring natural toxins from various regions	3.84 (0.69)	3.80 (0.96)	8
Study on emerging natural toxins in foods	3.84 (0.62)	3.00 (0.76)	9
Purifying methods of standard shellfish poison	3.00 (0.50)	3.72 (0.94)	10
Study on the mechanism of natural toxins in foods (animal experiment)	2.84 (0.62)	2.84 (0.99)	11

Table 4. Priority of safety management on hazardous substances produced during food processing (D)

Proposed researches	Importance (SD)	Urgency (SD)	Priority
Risk assessment of hazardous substances produced during food processing	5.00 (0.00)	4.16 (0.37)	1
Reduction plans for hazardous substances produced during food processing	4.16 (0.47)	4.04 (0.45)	2
Study on emerging hazardous substances produced during food processing	4.08 (0.40)	3.32 (0.63)	3
Study on analytical methods of hazardous substances produced during food processing (including development of rapid detection methods)	4.00 (0.29)	4.08 (0.40)	4
Exposure assessment of hazardous substances produced during food processing	3.96 (0.61)	4.84 (0.62)	5
Monitoring of hazardous substances produced during food processing from various food categories	3.96 (0.45)	3.96 (0.68)	6
Monitoring of hazardous substances produced during food processing from imported foods	3.88 (0.60)	3.84 (0.90)	7
Study on mechanism of hazardous substances produced during food processing (animal experiment)	2.92 (0.70)	2.76 (0.97)	8
Monitoring of hazardous substances produced during food processing from various regions	2.72 (0.68)	2.48 (1.33)	9

Table 5. Priority on construction of cooperative system and public relationship (E)

Proposed researches	Importance (SD)	Urgency (SD)	Priority
Communication plans	4.96 (0.20)	4.96 (0.20)	1
Development of a guide for food contaminants	4.08 (0.28)	4.88 (0.44)	2
Alarm system for food contaminants	4.08 (0.49)	3.92 (1.00)	3
International sharing monitoring data of food contaminants	4.00 (0.65)	3.96 (0.93)	4
Domestic sharing monitoring data of food contaminants	3.96 (0.54)	3.88 (0.88)	5
Study on legislation and construction of infrastructure	3.96 (0.35)	3.84 (0.85)	6
Development of risk management scenario	3.92 (0.28)	3.96 (0.54)	7

식품유해물질 안전관리(D)로 분류하였다(Table 4). 3개 분야(B, C, D)는 공통적으로 식품오염물질 위해평가, 기타 신규 식품오염물질, 식품군별 모니터링, 수입식품 중 식품오염물질 모니터링, 저감화 방안 연구, 식품섭취에 의한 식품오염물질 노출평가, 식품오염물질 분석법 연구(신속검출법 개발을 포함), 지역별 모니터링, 독성작용기전 연구(동물시험을 포함), 9개 항목을 포함하였다. 식품 중 오염된 자연독소 안전관리의 경우(C), 기후변화에 따른 자연독소 발생동향, 표준 패류독소 정제방법 연구, 두 가지 항목이 추가되어 총 11개의 항목을 포함하였다. 국내외 식품오염물질 안전관리 협력체계 구축 및 교육·홍보 방안(E)에는 식품오염물질에 대한 대국민 홍보방안, 식품오염물질로 인한 피해예방을 위한 교육정보 매체 및 지침서 개발, 식품오염물질 경보체계, 제외국의 식품오염물질 모니터링 자료 공유방안 연구, 식품오염물질 자료의 범국가적 공유체계방안 연구, 식품오염물질 관련 법제도 및 인프라 체계 연구, 식품오염물질로 인한 리스크 대처 시나리오 작성의 7개 항목을 분류하였다(Table 5).

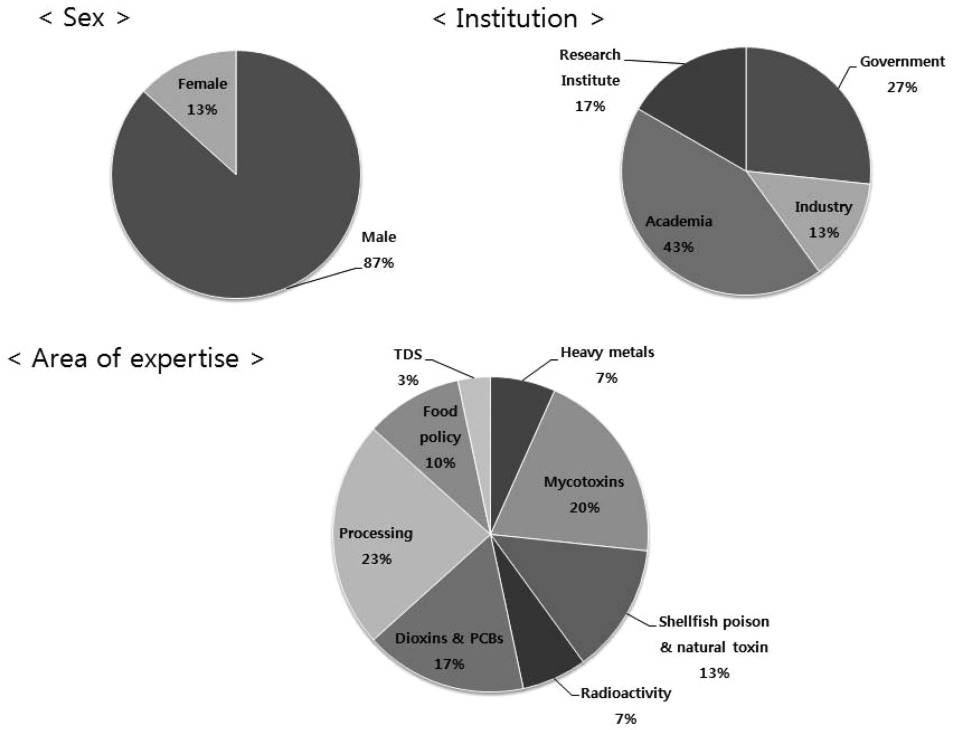

Fig. 3. Distribution of experts on food safety and policy at Round 2 (N = 30).

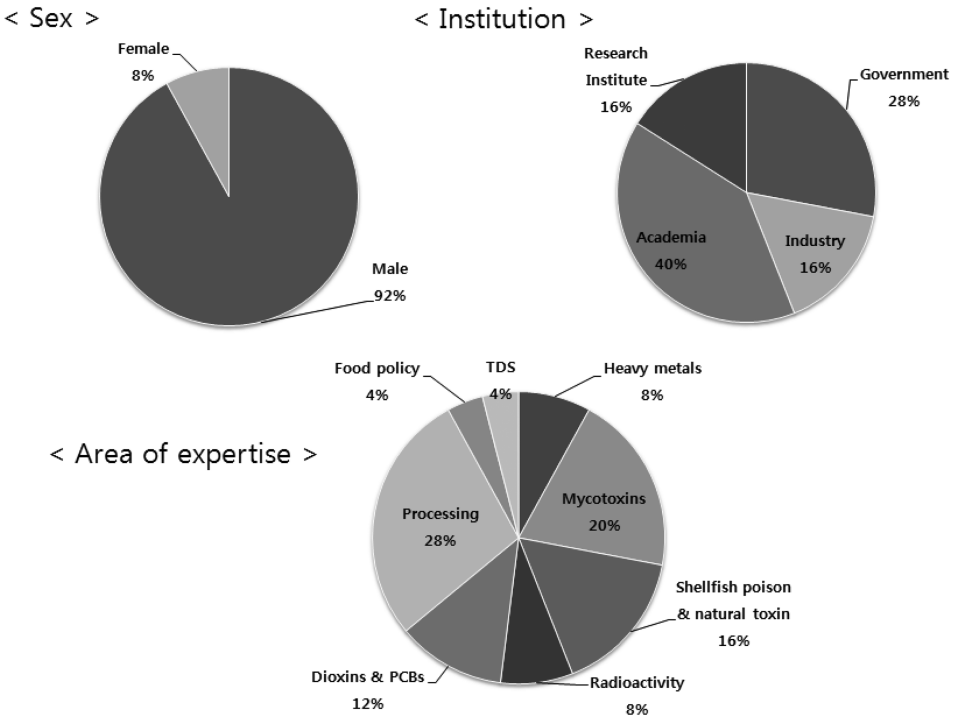

Fig. 4. Distribution of experts on food safety and policy at Round 3 (N = 24).

5개 분야, 42개 항목을 기초로 하여 설문지를 작성한 뒤, 50명의 전문가에게 이메일로 설문지를 발송하여 30명의 응답을 받아 60%의 회수율을 보였다. 1차 응답자 30명의 구성은 학계 13명 (43%), 정부기관 8명 (27%), 연구계 5명 (17%), 산업계 4명 (13%) 이며, 전문분야는 중금속 2명 (7%), 곰팡이독소 6명 (20%), 패류독소 및 자연독소 4명 (13%), 다이옥신 및 PCBs 5명 (17%), 방사능 2명 (7%), 제조가공과정 중 생성물질 7명 (23%), 정책 3명 (10%), 총

식이조사 1명 (3%) 이었다(Fig. 3). 설문에 응답한 30명을 대상으로 결과를 중위수로 표기한 설문지를 배포하여 25명의 회신을 받았으며, 회수율은 80%이었다(Fig. 4). 최종 응답자 25명의 소속은 학계가 10명 (40%)으로 가장 많았으며, 정부기관 7명 (28%), 연구계 4명 (16%), 산업계 4명 (16%) 이었다. 25명의 응답자 중 제조가공과정 중 생성물질 전문가가 7명 (28%), 곰팡이 독소 5명 (20%), 패류독소 및 자연독소 4명 (16%), 방사능 2명 (8%), 중금속 2명(8%), 다이옥신 및 PCBs 3명 (12%), 식품관련 정책 1명 (4%), 총 식이조사 1명 (4%) 이었다. 전문가들의 합의점을 이끌어 내기 위하여 응답한 설문지를 재발송하여 수정의 기회를 제공한 후 42개 문항에 대한 연구 중요도, 연구수행시기에 대한 수렴도 및 합의도를 분석한 결과, 각각 0.0 및 1.0에 도달하여 전문가들의 의견이 합의점에 도달한 것을 확인하였다.

연구 우선순위 설정

전문가 합의를 통해 최종적으로 도출된 점수를 바탕으로 연구 중요도에 가중치를 두되 시급성을 고려하여 우선순위를 설정하였다. 식품오염물질 통합관리 시스템(A) 중 우선적으로 수행되어야 하는 연구는 식품오염물질 모니터링 관리 및 운영 표준화 (4.96)와 식품오염물질 모니터링 자료 통합 및 DB 구축 (4.12)이다. 이들은 연구중요도가 높음을 의미하는 4점 이상을 획득하였으며, 시급성 면에서도 4.88점 및 4.12점을 기록하여 해당 연구가 1년 이내에 수행되어야 하는 시급한 연구로 조사되었다. 우선순위 3-6위는 식품공전의 개선방안 연구 (3.88), 식품오염물질 분석품질인증체계 구축 (3.80), 제외국의 식품오염물질 모니터링 사례연구 (3.80), 식품오염물질 위해 감소와 HACCP 적용에 관한 연구 (3.72)의 순서였다. 식품오염물질 분석품질인증체계 구축 (3.84), 제외국의 식품오염물질 모니터링 사례연구 (3.72), 식품공전 시험법의 개선방안 연구 (3.12)는 연구 시급성이 중간정도로, 1-2년 이내에 해당연구를 시작해도 되는 것으로 분석하였다. 이와 달리 식품오염물질 위해 감소와 HACCP 적용에 관한 연구 (2.80)는 2-3년 이내에 연구를 시작해도 되는 것으로, 제시된 연구분야 중 시급성이 가장 낮았다(Table 1). 김[3]등의 연구에 따르면, 식품 모니터링은 국가정책에 큰 영향을 미치지만, 현재 운영에 있어서 체계적 계획, 생산에서 소비까지 관리의 일관성, 표준화된 매뉴얼이나 지침에 있어서 미흡한 부분이 있으며, 정기적인 조사자료가 필요하다. 또한, 모니터링 결과를 위해성 평가의 기초자료로 활용하는 것은 매우 효율적이기에 국가 차원에서 통합정책을 추진하는 것이 필요하다. 이는 본 연구에서 전문가들이 식품오염물질 모니터링 관리 및 운영 표준화, 식품오염물질 모니터링 자료 통합 및 DB 구축이 중요하며 시급하다고 조사된 것과 일치하는 결과이다.

환경유래 식품오염물질 분야(B)에서 평균 4점 이상으로 전문가들이 연구중요도가 높다고 판단한 것은 6개 항목으로 타 분야에 비해 상대적으로 중요한 연구가 다수였다(Table 2). 환경유래 식품오염물질 안전관리에서는 위해평가 및 기타 신규 환경유래식품오염물질에 관한 연구의 중요도가 동일하게 4.08이지만, 시급성 면에서 위해평가가 4.88로 조사되어 종합적으로 보았을 때 환경유래 식품오염물질 위해평가가 1순위로 수행되어야 한다고 판단하였다. 식품군별 모니터링, 수입식품 중 환경유래 식품오염물질 모니터링, 환경유래 식품오염물질 저감화 방안 연구는 각각 중요도 4.04로 동일하였지만, 시급성이 각각 3.96, 3.92, 3.88이었기에 우선순위는 3-5로 설정하였다. 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 평가된 연구 분야는 환경유래 식품오염물질 분석법 연구 (3.92), 지역별 환경유래 오염물질 모니터링 (3.92), 동물시험을 포함하는 환경유래 식품오염물질의 독성작용기전 연구 (2.92) 분야였다.

식품 중 오염된 자연독소 안전관리 분야(C)에서는 기후변화에 따른 자연독소 발생동향 (4.12)을 연구하는 것이 가장 중요하며, 그 뒤를 이어 위해평가 (4.04), 신속검출법을 포함하는 분석법 연구 (4.00)가 중요도 4점 이상으로 중요한 연구 분야로 제시되었다(Table 3). 중요도에서 상대적으로 낮은 점수를 얻어 우선순위에서는 상위에 위치하지 못하였지만 수입식품 중 오염된 자연독소 모니터링과 식품군별 오염된 자연독소 모니터링이 시급성에서 각각 4.68과 4.64점을 얻어 1년 이내에 신속하게 수행해야 하는 연구 분야로 조사되었다(Table 3). 최근 기후변화가 식품안전에 미치는 영향에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 기후변화로 인해 동물건강이 악화되고 이와 더불어 동물원성 감염증이 증가할 수 있으며, 식품미생물의 증식능력이 증가하여 식중독을 일으키는 사례가 빈번해질 것이며, 곰팡이독소 및 유해 해조류가 증가할 것으로 예상 된다[11]. 특히, 기온, 상대습도, 강수량 등 기후요소들의 변화는 농작물이나 식품을 숙주로 삼아 발생하는 아스퍼질러스, 페니실리움, 푸사리움 속 곰팡이의 성장과 아플라톡신, 오크라톡신, 데옥시니발레놀, 푸모니신 등의 곰팡이 독소 발생에 큰 영향을 주어 인간과 동물의 건강에 심각한 악영향을 초래할 수 있다[12]. 2002년 중유럽에서 홍수로 인해 PCBs와 다이옥신이 토양에 오염된 사례도 보고되었다[13]. 이처럼 기후변화가 많은 변화를 초래할 것으로 예상되지만, 현재까지 완벽한 대비책은 없기에 이와 관련한 연구가 지속적으로 수행되어 다양한 연구결과가 축적되어야 이에 대한 해결책을 제시할 수 있을 것이다.

최근 새롭게 이슈화되는 오염물질은 많은 경우 비의도적으로 조리가공 중 생성되는 것들이다. 가공식품 시장이 증가하고 있고, 이러한 증가추세가 향후 가속화될 것을 고려할 때 조리가공 중 화학반응에 의하여 생성된 식품유해물질의 안전관리(D)는 시급한 문제이다. 이 연구에서도 이와 유사하게, 조리 가공 중 생성된 식품유해물질 위해평가

연구는 모든 전문가들이 반드시 필요하다고 판단하여 중요도 5점으로 합의하였다(Table 4). 뒤를 이어 저감화 방안 연구 (4.16), 기타 신규 유해물질에 대한 연구 (4.08), 신속 검출법을 포함한 분석법 연구 (4.00)가 중요한 연구분야로 제시되었다. 지역별 모니터링은 중요도 면에서 최하위를 기록하였는데, 제조가공과정 중 생성물질의 경우 지역별 차이보다는 식품군별 또는 가공조건별로 유해물질의 생성량 및 매커니즘이 다양하기 때문에 이에 따라 모니터링을 하는 것이 적합하다. 최근 국제적으로 식품의 제조가공과정 중에 불가피하게 생성되는 유해물질에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그 중 가장 체계적이고 지속적으로 연구된 것은 아크릴아마이드로, EU에서는 "HEATOX Project" 라는 이름하에 14개 국가, 24 파트너와 함께 2003년부터 2007년까지 40개월에 걸쳐 아크릴아마이드의 생성기전 및 독성, 위해평가 결과를 바탕으로 저감화 방안까지 제시하는 성과를 이루었다[14]. 식품의 조리 가공 중 생성되는 유해물질은 식품원료 및 조리가공 조건의 영향을 받기 때문에[15] 특정 유해물질, 특정 원료에 대한 일괄적인 기준설정이나 일괄적인 저감화 방법을 적용하기 어려운 실정이다. 따라서 가공 조건별로 분류하여 관리하는 것이 적합하다고 판단된다. 식품 가공 중 열처리에 의해 생성될 수 있는 아크릴아마이드, 퓨란, 헤테로사이클릭아민(HCAs), 다환방향족 탄화수소(PAHs)등은 메일라드(maillard) 반응 유래 식품유해물질 군으로, 발효과정 중 생성되는 에틸카바메이트, 바이오제닉 아민류는 발효유래 식품유해물질 군으로, 산분해 공정 및 염소 함유 고온처리 식품에서 생성되는 MCPD 및 MFS (MCPD Forming Substances)는 산 분해 공정 유래 식품유해물질 군으로 분류하며, 그 외 니트로사민 군, 벤조피렌 군, 조리가공 중 생성되는 신규 유해물질 군으로 분류하여 관리하는 것이 효과적이라 판단된다.

식품오염물질과 관련한 국내외 협력, 정보공유, 홍보 분야(E)에 있어서는 식품오염물질에 대한 대국민 홍보방안에 대한 연구 (4.96)가 가장 중요하며, 6개월-1년 이내에 신속하게 연구를 시작해야하며, 그 뒤를 이어 식품오염물질로 인한 피해예방을 위한 교육정보 매체, 지침서 개발 (4.08) 및 식품오염물질 경보체계 (4.08), 제외국의 식품오염물질 모니터링 자료 공유방안 연구 (4.00), 식품오염물질 자료의 범국가적 공유체계방안 연구 (3.96), 식품오염물질 관련 법제도 및 인프라 체계 연구 (3.96), 식품오염물질로 인한 리스크 대처 시나리오 작성 (3.92) 순으로 중요하다고 조사되었다(Table 5). 이 분류에서 1-3순위를 기록한 것은 교육 및 홍보에 관련한 것으로 식품오염물질과 관련한 홍보가 부족함을 시사한다. 정[16]의 결과에 따르면, 전문가 45명 중 42명 (93.3%)은 충분하지는 않지만 식품안전 정보 전달이 이루어지고 있다고 응답하였지만, 소비자는 73명 중 43명 (58.9%)만 이에 관해 알고 있다고 응답하여 소비자들의 정보 활용도가 전문가에 비해 낮은 것을 알 수 있었다. 소비자들의 불안감을 해소하고 정확한 정보에 의한 판단을 내릴 수 있게 하기 위해서는 일반 소비자를 고려한 리스크 커뮤니케이션이 중요하다. 어떠한 물질이 과학적으로 위해(hazard)가 존재한다는 사실보다는 이러한 위해가 실제로 발생할 수 있는 가능성, 즉, 위해성(risk)을 바탕으로 한 정보를 소비자에게 전달하여야 한다. 이[4]가 실시한 소비자들이 원하는 식품위해 정보에 대한 설문조사에 의하면, 소비자들은 식품이 인체나 환경에 미칠 수 있는 영향 및 문제가 발생될 수 있는 식품을 안전하게 섭취하는 방법에 관한 정보를 가장 전달받기를 원하였다. 또한, 위해요인에 따라 적합한 리스크커뮤니케이션 전략을 사용하여야 한다. 위해는 밝혀졌지만 완전히 줄일 수 있는 방법은 현재까지는 밝혀진 바 없는 중금속, 다이옥신, 아크릴아마이드와 같은 위해요소는 주의커뮤니케이션을 통하여 현재 완전히 제거할 수 없는 기술의 한계를 이해시키고 이러한 위해요소에 노출되는 정도를 개인이 조절할 수 있도록 위해요소에 대한 정보 및 저감화 방안 등을 제공 해주는 것이 필요하다. 많은 위해요소들은 위해는 있지만 실제로 그러한 위해가 작용하는가(risk)는 노출량에 따라 달라질 수 있다. 이러한 경우 막연한 불안감이 커뮤니케이션의 저해요소로 작용하므로 정부와 소비자 간의 지식, 정보 공유를 전제로 합의를 도출하는 합의 커뮤니케이션이 적합하다. 식품오염물질에 대한 홍보 및 교육 다음으로 중요하다고 나타난 것이 식품오염물질 경보체계였다. 유럽연합은 식품 및 동물사료가 소비자들의 건강에 위해를 줄 가능성(risk)이 있다고 확인할 경우 관할관청 사이에 정보를 교환하는 기본적인 도구인 신속경보통보체계(Rapid Alert System for Food and Feed, RASFF)를 1979년부터 수행하고 있다[18]. 모든 EU 국가와 그 외 일부 유럽 내 국가뿐만 아니라 EFSA, EC도 이 시스템에 참여하고 있다. 문제가 확인될 경우 연결망을 통하여 각 구성원들에게 경보통보를 함으로서 단시간 내에 각 국가들이 최근 위해요소를 신속하게 관리할 수 있도록 하며, 긴급 상황에서는 소비자들에게 직접 정보를 제공하기도 하는 효율적인 체계이다. 최근 우리나라에서는 신속경보통보체계와 IT 기술을 접목한 위해상품 판매 차단 시스템을 확대하기 위한 노력을 하고 있다. 이 시스템을 활용하면 어떠한 상품이 위해상품으로 등록될 경우 유통업체 계산대에서 확인이 이루어져 자동으로 소비자에게 판매가 차단된다[19]. 이러한 기술은 아직 초기 단계이지만, 모든 식품 판매에 적용할 수 있도록 지속적인 기술개발 및 적극적 홍보를 한다면, 국민이 신뢰할 수 있는 식품안전관리 체계를 만드는 시발점이 될 수 있을 것이다.

식품오염물질 안전관리를 위한 연구방향 제안

이 조사를 통해 동물시험을 포함한 독성작용기전과 관

련한 연구는 오염물질 세 가지 분류에서 공통적으로 우선순위가 낮음을 확인할 수 있었다. 해당 연구는 이미 국제적으로 많이 진행되었고 지역적 특성의 영향을 받는 것이 아니기 때문에 기존 자료를 공유하고 활용하는 것이 효율적일 것이다. 전문가들이 공통적으로 중요하다고 판단한 식품오염물질의 위해평가를 위해서는 식품오염물질 모니터링 및 국내 식이섭취 데이터에 근거한 노출평가가 선행되어야 할 것이라 판단된다.

모니터링의 사전적 정의는 다양하나, 식품안전 분야에서 모니터링은 '관심의 대상인 현상의 변화를 감시하고 변화 내용을 분석하여 모니터링의 목적을 위해 필요한 정보를 생산하고 이를 관련자에게 제공하는 제반활동'으로 정의한다[20]. 식품모니터링은 여러 기관, 국가에서 행해지고 있는데, WHO는 Global Environment Monitoring System - Food Contamination Monitoring and Assessment Programme (GEMS/Food)을 1976년부터 100개국 이상이 참여하여 운영하고 있다. WHO는 이 프로그램을 통해 식품 내 오염물질의 수준 및 경향, 오염물질의 인체노출 기여도, 공중보건과 무역에의 영향에 대한 정보를 CODEX 및 관련기관과 대중에게 제공하고 있다[21]. 미국은 1960년대 방사능 오염식품에 대한 모니터링 체계를 구축한 후 이를 확대하여 식품오염물질에 대한 오염관련 모니터링을 주기적, 체계적으로 진행하기 위해 매년 많은 예산을 투자하고 있다[22]. 또한 EU는 1997 No. 1499[23] 법에 의해 EU 국가 및 아시아, 아프리카 국가가 참여하는 대형국제유해물질 연구과제에 투자하고 있으며, 특히 독일은 식품모니터링이 법적으로 의무화되어 있어[24], 1995년부터 식품법에 근거한 국가모니터링 프로그램을 운영하고 있다. 일본은 위해성과 심각수준에 기초하여 우선순위에 따라 중장기 모니터링 대상 위해물질을 선정하며 5년 단위로 재검토하는 방식으로 모니터링을 수행하고 있다[3]. 국내에서는 1967년 농촌진흥청에서 국내산 쌀 시료 중 Hg 함량을 측정한 것이 국가 차원의 모니터링의 시작이라 할 수 있으며[25], 이후 지속적으로 식품오염물질 모니터링 사업을 수행하여왔지만, 농림수산식품부, 식품의약품안전청 등 각 기관에서 관리하는 품목과 방법이 다르며, 필요에 따라 단기적으로 수행하는 형태를 취해왔다. 이로 인해 체계적으로 장기간 축적된 자료는 부족하며 각 기관에서 생산한 자료를 공유하는 데 있어서도 개선할 점이 많은 것으로 생각된다.

총 수은, 메틸수은, 납, 카드뮴, 비소, 주석 등의 중금속 6종과 다이옥신, PCBs 등의 신규유해물질에 대한 안전관리를 위해 유해물질을 인체노출량(유해물질 총섭취량) 중심으로 체계화하는 식품의약품안전청의 '유해오염물질 안전관리 종합계획(2011.10.27)[26]'은 본 연구에서 조사된 전문가들의 의견과 일치하는 것이다. 환경유래오염물질 뿐만 아니라 식품 중 오염된 자연독소, 제조가공 공정 중 생성된 유해물질까지 범위를 확대하여 체계적이고 지속적인 모니터링, 우리나라 식이 섭취 데이터에 기초한 위해평가를 실시하고 나아가 저감화 방안을 마련한다면 식품 안전에 있어서 국민의 신뢰를 높일 수 있을 것이라 판단된다.

요 약

식품오염물질에 관련한 연구가 많이 진행되었지만 대부분 단기적 과제이었기에 식품오염물질 관리를 위한 종합적이고 체계적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 식품오염물질 향후 연구방향을 제안하기 위하여 델파이 조사를 실시하였으며, 중요도 및 시급성을 고려하여 우선순위를 설정하였다. 학계, 연구기관, 정부기관, 기업 등 다양한 소속에 있는 50명의 전문가를 대상으로 식품안전과 관련한 개방형 질문을 하였으며, 161개의 필요연구항목을 도출하였다. 이를 분류하여 5개 분야, 42개 항목으로 구성된 설문지를 작성하였다. 5개 분야는 '식품오염물질 통합관리 시스템', '환경유래 식품오염물질 안전관리', '식품 중 오염된 자연독소 안전관리', '조리가공 중 생성된 식품유해물질 안전관리', '국내외 식품오염물질 안전관리 협력체계 구축 및 교육·홍보 방안' 이었다. 전문가들이 답한 설문지(30/50 응답)를 분석하여 필요연구의 우선순위를 설정하였으며, 전문가들의 합의단계를 거쳐(24/30 응답) 이를 확정하였다. 본 설문조사 결과는 식품오염물질 안전관리를 위한 연구방향을 설정하기 위한 기초자료로 사용할 수 있을 것이라 사료된다.

감사의 말

본 연구는 2011년도 식품의약품안전청 용역연구개발과제의 연구개발비 지원(11162식품안067)에 의해 수행되었으며 본 연구에 참여해주신 이광원, 전향숙, 김영석, 최시내 박사님께 감사드립니다. 또한 전문가 델파이 설문조사에 응해주신 박경수, 최훈, 박희라, 오창환, 이성은, 이찬, 전상민, 정수현, 강영운, 고광용, 신일식, 유홍식, 강윤석, 문효방, 백옥진, 서정혁, 장윤석, 박성국, 이준배, 배동호, 서병철, 신한승, 이유원, 이재환, 이준구, 정문헌, 경규항, 김용수, 정해랑, 김초일 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

1. CODEX: CODEX general standard for contaminants and toxins in food and feed (CODEX STAN 193-1995). FAO/WHO, Rome, Italy. Available from: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/1_CXS_193e.pdf. Accessed Sep. **12**, 2012 (1995).
2. 식품의약품안전청: 식품오염물질 포털. Available from: http://www.foodnara.go.kr/pollution/main.jsp. Accessed Oct. 12, 2012.

3. 김정선, 곽노성, 윤시몬: 식품위해물질 모니터링 중장기 추진계획 수립. 한국보건사회연구원. 서울 (2010).
4. 이기헌: 식품위해 인식실태 및 위험커뮤니케이션 방안 연구. 소비자 문제 연구, **34**, 104-133 (2008).
5. Murphy, M.K., Black, N.A., Lamping, D.L., McKee, C.M., Sanderson, C.F.B., Askham, J., *et al.*: Consensus development methods and their use in clinical guideline development, *Health Technol Assessment*, **2**(3), (1998).
6. Linstone, H.A. and Turoff, M.: The Delphi Method: Techniques and Applications. Addison-Wesley Publishing Company. Available from: http://is.njit.edu/pubs/delphibook/delphibook.pdf. Accessed May **17**, 2012 (1975).
7. Beech, B.: Go the extra mile - use the Delphi technique. *J. Nurs Manag*, **7**, 281-288 (1999).
8. McKenna, H.: The Delphi technique: A worthwhile research approach for nursing? *J. Adv Nurs*, **19**, 1221-1225 (1994).
9. Bundesinstitut für Risikobewertung: BfR Delphi study on nanotechnology - Expert Survey of the Use of Nanomaterials in Food and Consumer Products. Ed. (René Zimmer, Rolf Hertel, Gaby-fleur Böl) Federal Institute for Risk Assessment Press Office, Berlin (2010).
10. 기후변화 대응 식품안전관리 연구사업단: '10년 기후변화 대응 식품안전 중장기 Agenda 도출을 위한 전문가 수요조사 (2010).
11. Chung, M.S.: Food Safety Management and Climate Change. S*afe Food*, **3**(4), 16-23 (2009).
12. Kim, D.M. and Chun, H.S.: Influence of the climate change on growth of fungi and mycotoxin production. *Food Science and Industry*, **42**, 27-35 (2009).
13. Umlauf, G., Bidoglio, G., Christoph, E., Kampheus, J., Kruger, F., Lansmann, D., Schuiz, A.J., Schwartz, R., Severin, K., Stachel, B., Dorit, S.: The situation of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs after the flooding of river Elbe and Mulde in 2002. *Acta Hydrochim. Hydrobio*,. **33**, 543-554 (2005).
14. HEATOX: Heat-generated Food Toxicants. Available from: http://heatox.org/. Accessed May **20**, 2012.
15. 식품의약품안전청: 식품유해물질총서 (2009).
16. 정기혜: 식품분야 취약점 도출 및 선진화를 위한 정책방향. 보건복지포럼, **161**, 5-17 (2010).
17. Woo, J.M., Ryeom, T., Hwang, J.H., Oh W.Y., Jang, D.D., Lee, H.M.: The successful risk communication strategies for food risk factors. *Safe Food*, **2**(2), 11-18 (2007).
18. European Commission: Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF). Available from: http://ec.europa.eu/food/food/rapidalert/index_en.htm. Accessed Oct. 10, 2011.
19. 지식경제부: 위해상품판매, 매장 계산대서 자동 차단. Available from: http://www.mke.go.kr/news/coverage/bodoView.jsp?seq=46057&srchType=1&srchWord=&pCtx=1&pageNo=1. Accessed Nov. 1, 2011.
20. 이종열, 최병남, 김미정, 황승미: 국토이용모니터링체계 구축방안 연구. 국토연구원 (2003).
21. WHO: GEMS/Food Contaminants. Available from: http://www.who.int/foodsafety/chem/gems/en/. Accessed Jun. 30, 2011.
22. FDA: Protecting America's Food Supply Chain. Available from: http://www.fda.gov/downloads/AboutFDA/ReportsManualsForms/Reports/BudgetReports/UCM153494.pdf. Accessed Jul. 4, 2011.
23. EU: The Contaminants in Food Regulations 1997. Available from: http://faolex.fao.org/docs/html/uk16509.htm. Accessed Jun. 28, 2011.
24. Bundesministerium der Justiz: Gesetze / Verordnungen. Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch. Available from: http://www.gesetze-im-internet.de/lfgb/. Accessed Jul 13, 2011.
25. 박성석, 한성식: 농약의 잔류독성에 관한 연구. 농촌진흥청 식품환경연구소 시험연구보고서, **1**, 173-190 (1967).
26. 식품의약품안전청: '유해오염물질 안전관리 종합계획' (2011.10.27) Available from: http://www.kfda.go.kr/index.kfda?mid=56&seq=16350&cmd=v. Accessed May 17, 2012.