J. Fd Hyg. Safety 9(2), S7-S15(1994)

食品 添加物과 汚染물질의 安全性 관리

李 瑞 來
이화여자대학교 식품영양학과

Safety Management of Food Additives and Contaminants

Su-Rae Lee
Department of Food & Nutrition, Ewha Woman's University

ABSTRACT—Dietary life of Korean population was greatly improved by the increased food production, enlarged food processing and betterment of food distribution system during the last three decades. On the other hand, food pollution issues have arisen from the increased use of chemicals and advancements in analytical techniques and toxicological information. The health risk of hazardous substances in Korean diet was estimated to be in the decreasing order of heavy metals>pesticide residues>food additives>mycotoxins>radionuclides>PCBs whereas consumers do not recognize it in the same order. It is needed to evaluate the food safety more accurately based on scientific evidences and to adopt reasonable regulatory measures in Korea for the benefits of people's health and national interest.

최근 우리나라는 산업화 및 도시화에 따라 가공식품 및 화학약품의 사용량이 급증하였고 다른 한편 소비자들은 무한한 건강욕구에 따라 유해화학물질에 대한 관심이 고조되고 있다. 이에 따라 학계나 규제당국에서는 식품중 화학물질에 관련된 과학적 자료의 축적과 아울러 위해평가 또는 안전성 관리대책을 강구하고 있으나 우리나라의 여건으로 볼 때 힘이 못 미치는 경우가 흔히 있다.

모든 인간활동이나 과학문명의 이기(利器) 뒤에는 항상 위험이 뒤따르게 마련이다. 더우기 사회발전에 따라 위험성에 대한 인식도가 높아지고 독성 평가기술이 발전함에 따라 예전에는 무시되던 일이 새로운 문제로 대두되기도 하여 식품의 안전성 관리는 식품산업이나 보건당국의 입장에서 볼 때 매우 중요한 과제가 되고 있다. 식품의 안전성을 보장하는 절차는 ① 유해성분에 대한 법적 허용기준의 설정 ② 유통중의 식품에 대한 모니터링 및 기준초과 식품에 대한 행정조치 ③ 현실적인 조건에서 유해성분에 의한 대상 인구집단의 노출상황 파악 및 건강위해도 평가 ④ 유해성분으로 오염된 식품의 제독(除毒) 및 인체피해를 경감시킬 수 있는 기술개발과 그의 보급이라 할 수 있다.

본 주제에서는 식품첨가물 및 오염물질의 법적규제와 관련된 사항을 정리하는 동시에 국내식품의 오염 및 안전성과 관련된 연구결과를 비교, 분석하였다. 앞으로 식품 안전성에 대한 소비자의 불안해소 그리고 식품산업의 선진화 및 국제화에 대비하기 위해서는 식품의 안전성 평가 및 관리기술도 재래적인 안일한 사고방식에서 탈피하여 한 차원 높여야 될 것으로 판단된다.

식품중 법적 허용기준의 설정

가공식품을 생산하거나 소비하는 국가에서는 어느 나라나 식품첨가물의 종류와 사용기준을 법적으로 규제하고 있다. 이때 규제방법은 나라에 따라 다른데 어떤 나라에서는 많은 첨가물의 사용이 자유로우나 특정 첨가물의 사용은 엄격히 규제하고 있다.

예컨대 일본에서는 천연 첨가물의 사용을 제한하지 않고 있으나 독일에서는 통용되는 모든 첨가물(generally accepted food additives)의 목록을 법적으로 요구하고 있다. 미국에서는 GRAS (generally recognized as safe) 품목제도를 1958년에 시작하였으나 최근에는 과학적 자료를 요구하게끔 강화하였으며 Delaney 항암조항(anticancer clause)이라는 특수규정을 적용하고 있다. 영국에서는 식품첨가물을 5개군으로 분류하여 그중 세번째 카테고리까지만 사용을 허용하고 있다.

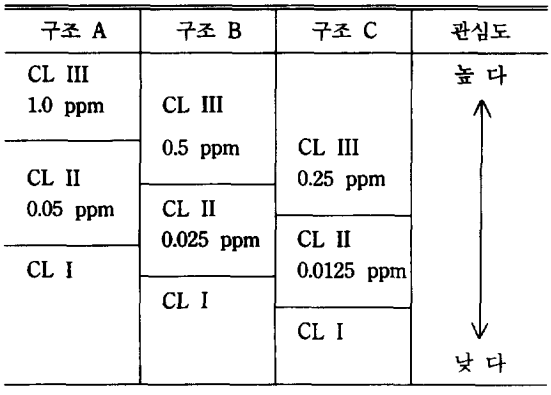

Fig. 1. 식품첨가물의 화학구조와 노출량(식품중 사용농도)에 따른 관심수준 (concern level; CL)

식품 중의 오염물질은 화학물질(food chemicals)이라는 점에서 그들의 독성평가 및 안전관리 기법이 식품첨가물과 상통되는 점이 있다. 식품첨가물이나 오염물질의 법적규제에서 일반적으로 적용되는 원리는 안전계수법(safety factor approach)인데 그 절차를 보면 다음과 같다.

동물 독성시험 (animal toxicity testing)

식품첨가물이나 오염물질의 안전성을 증명하기 위한 독성시험은 독성학의 지식이 축적됨에 따라 점점 더 많은 것이 요구되고 있다. 수십년 전에는 주요 첨가물의 경우에도 단기간 또는 급성 동물독성시험만으로 충분하다고 생각하였으나 오늘날에는 장기간에 걸친 충분한 동물시험이 요구되고 있다. 화학물질의 안전성 평가에 필요한 독성시험의 범위와 기준은 WHO, OECD, FDA와 같은 기관에서 설정하고 있는데 이때 4가지 원칙이 지켜지고 있다. 즉 ① 동물에서의 독성 영향은 인체에 미치는 영향을 확인하는 적절한 수단으로 간주된다. ② 동물시험 data에서 인체에 대한 안전성으로 외삽하는데에는 대사.배설, 표적장기의 감수성, 가해.회복의 속도에 있어서 동물종(種) 간의 차이를 이해할 필요가 있다. ③ 독성평가의 핵심은 dose-response 관계를 작성하는데 있다. ④ 화학물질의 사용목적에 따른 실제적인 노출가능성을 추정해야만 된다.

식품중에 존재하는 화학물질의 안전성은 그 물질 자체의 독성과 식품섭취에 의한 노출 정도에 의하여 결정된다. 즉 유해물질의 건강위해도(health risk and hazard)는 〈독성×노출량〉에 의하여 좌우되는 것이며

Table 1. 관심수준에 따른 독성시험의 범위

관심수준	독성시험의 범위
관심수준 I (concern level I)	설치류에서 단기간(4주간) 사육시험 발암가능성에 대한 단기간 시험
관심수준 II (concern level II)	설치류에서 90일 사육시험 비설치류에서 90일 사육시험 설치류에서 다세대(최소 2세대) 생식시험 발암가능성에 대한 단기간 시험
관심수준 III (concern level III)	설치류 2종에서 발암성 사육시험 설치류에서 최소 1년간의 만성독성시험 비설치류에서 최소 1년간의 장기간 사육시험 설치류에서 다세대 생식시험 발암가능성에 대한 단기간 시험

그 정도에 따라 독성시험의 우선순위나 독성데이타의 요구도가 달라진다. 미국 FDA에서는 식품첨가물의 화학구조와 사용량에 따라 관심수준(concern level)을 Fig. 1과 같이 3단계로 나눈 다음 그 수준에 적합한 독성시험(Table 1)을 수행하고 있다.

식품첨가물의 허가에서 인체실험은 요구되지 않지만 만일 직업적 노출, 중독사고, 역학(疫學)조사의 결과 인체데이타가 이용될 수 있다면 동물독성데이타가 적게 요구되거나 낮은 안전계수를 적용할 수 있다. 또한 독성시험의 종류와 기간은 식품첨가물의 용도에 따라 달라진다. 즉 식품전반에 다량 또는 널리 이용되는 첨가물은 장기간(일생, 만성) 시험이 요구되는 반면 식품에 낮은 농도로 또는 드물게 이용되는 경우(식품접촉면에서 미량으로 이행되는 유해 화학성분)에는 단기간(3개월, 아만성) 시험으로 충분하다. 위와 같은 여러 단계의 동물실험에 의하여 어떤 화학물질의 해가 나타나지 않는 수준인 최대무작용량(maximum no-effect level, no-observable level)을 구한다.

안전계수(safety factor)와 인체허용 1일섭취량(ADI)

동물실험의 결과를 인체에 적용하기 위해서 사용하는 안전계수는 독성자료의 특성과 기타 판단기준에 따라 달라진다. 만일 장기간 동물실험 데이타가 있으면 100의 안전계수를 적용하는데 이것은 사람은 설치류보다 10배 더 예민하고 약한 사람은 건강한 사람보다 10배 더 감수성이 있다는 가정에 근거하고 있다. 그러므로 인체에 대한 dose-response 관계와

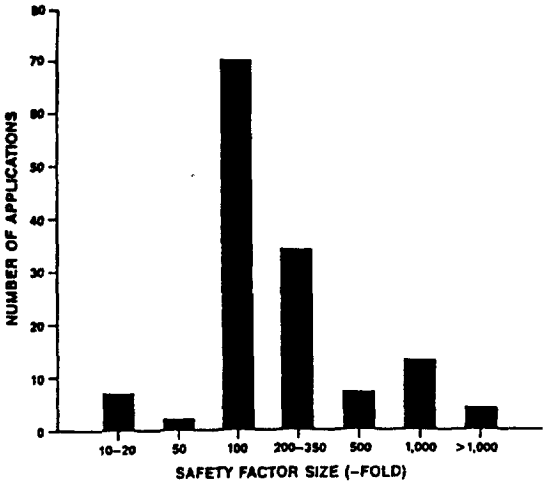

Fig. 2. 농약의 ADI 설정시 적용한 안전계수 분포 (FAO /WHO, 1978-87, 138개 농약)

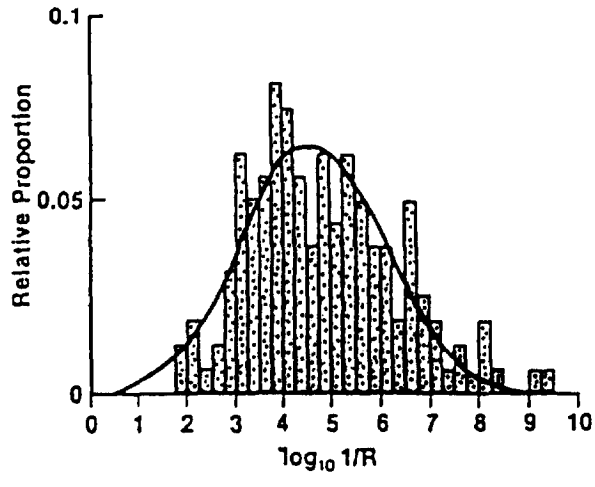

Fig. 3. 식품첨가물의 안전확보마진 (미국, 159개 품목)

어떤 독성이 알려졌다면 10의 안전계수를 적용한다. 또한 미량영양소 (비타민, 무기질, 필수아미노산), 방사선조사식품, 많은 GRAS물질과 식품 자체는 적정 사용량의 10배 이하수준에서 독성을 나타내기 때문에 100의 안전계수를 적용한다면 사용목적을 달성할 수 없으므로 훨씬 낮은 안전계수를 적용한다.

만일 사용량이 적고 아만성 독성데이타만이 이용가능한 오염물질(간접적 첨가물)의 경우와 비가역적인 기형유발성과 같은 심각한 부작용이 알려진다면 1,000의 안전계수를 적용한다. 만일 동물실험에서 발암성이 알려진 식품첨가물은 Delaney 항암조항에 근거하여 식품에 허용되지 않는다. 그러나 식품이나 식품첨가물에서 불가피한 오염물질의 경우에는 Delaney 조항이 적용되지 않으며 정량적 위해평가를 거치게 된다(후술).

독성시험에서 얻은 최대무작용량을 안전계수로 나누게 되면 ADI(acceptable daily intake for man)가 된다. ADI는 "사람이 일생동안 섭취하였을 때 현재까지 알려진 사실에 근거하여 바람직하지 않은 영향이 나타나지 않을 것으로 예상되는 화학물질의 1일 섭취량"으로서 체중 kg당 mg수로 표현한다. ADI절차는 1961년 Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives에서 처음으로 착상되었고 그 다음해에 Joint FAO/WHO Meeting of Experts on Pesticide Residues에서 채택되었다. 그후 ADI 개념은 널리 받아들여져 유엔기구인 두 전문가위원회에서는 수백개에 이르는 식품첨가물과 잔류농약에 대한 ADI를 설정하였고 많은 나라에서 이 자료를 활용하고 있다. 예컨대 FAO/WHO에서 1978-87년 사이에 농약에 대하여 설정한 잠정 또는 정식 ADI수는 138개에 이르고 있다. 이때 사용한 안전계수는 Fig. 2에서와 같이 10~5000 범위에 있으며 100의 안전계수를 채택한 경우는 전체의 50%에 이르고 있다.

미국에서 식품첨가물에 대한 규제를 보면 1958년 FDC Act의 개정에 따라 GRAS 제도를 도입하였으나 1969~1977년에 걸쳐 GRAS물질 415개 품목의 안전성을 재검토하였고 1977년부터는 기타 식품첨가물(GRAS를 제외한 직접첨가물, 착색료, 합성착향료 1571개 품목)의 안전성을 재평가하였다. 여기에서는 동물 독성시험에서의 최저작용량을 첨가물의 1인당 섭취가능량 (사용된 첨가물 총량을 인구의 10%가 소비한다는 가정하에 계산한 값)으로 나눈 값인 안전확보마진(safety assurance margin; 현실적으로 지켜지고 있는 안전계수로 간주할 수 있음)을 계산하였다.

그 결과 통계적으로 유의성있는 적절한 독성자료가 주어진 159개 품목에 대하여 안전확보마진의 분포를 보면 Fig. 3과 같다. 결국 안전확보마진이 100 미만인 것은 2개뿐이고 나머지 98%의 첨가물은 100 이상이며 상당수의 첨가물은 10^4~10^5의 마진을 가지는 것으로 평가되었다. 평가된 159개 품목은 품목수로 볼 때 1571개 품목의 10%에 불과하지만 총사용량은 50%에 해당되므로 현재 미국에서 사용되고 있는 식품

첨가물의 안전확보마진은 매우 온당하다는 결론을 내리게 하였다.

중금속(Cd, Pb, Hg)의 경우는 ADI 대신에 PTWI (provisional tolerable weekly intake for man; 잠정허용 1주간 섭취량)을 설정하였다. 그 이유로서는 이들 중금속에서 생물농축가능성이 있고 평균농도 이상을 함유하는 특정식품을 어느 특정한 날에만 섭취할 확률이 있기 때문이다.

식품 중 잔류허용기준(residue tolerance in foods)의 설정

위와같이 설정된 ADI값에 해당되는 국민의 평균체중을 곱하고 해당성분의 사용이나 오염이 예상되는 식품의 1인당 1일 소비량인 식품계수(food factor)로 나누어 이론적 잔류허용 기준치를 계산한다. 즉

이론적 잔류허용기준

$$= \frac{\text{최대무작용량(mg/kg bw)} \times \text{평균체중(kg)}}{\text{안전계수} \times \text{식품계수}}$$

$$= \frac{\text{ADI(mg/person)}}{\text{식품계수(kg/person)}}$$

이때 해당되는 식품 및 음료의 최대섭취량으로 어린이는 체중 kg당 1일 50 g의 식품과 100 ml의 음료를 가상할 수 있다. 예컨대 sorbic acid (ADI=25 mg/kg bw)는 음료가 아니고 식품에만 사용되므로 식품중 평균농도는 500 mg/kg food 을 초과해서는 안된다. 그리고 sorbic acid는 모든 식품에 사용되는 것이 아니기 때문에 만일 사용목적에 필요하다면 이보다 높은 수준을 허용할 수도 있고 높은 농도가 필요하다면 사용식품을 제한할 수도 있다. 한편 식품 중 화학물질의 잔류 허용기준을 설정하는데에는 그 나라의 사회경제적 사정을 정책적으로 감안할 수도 있다. 그러나 최근의 UR협상에서는 공산품에 적용하고 있는 TBT(무역상의 기술적 장벽) 원칙을 농산물에도 적용하여 "식품의 수출입에서도 국제적으로 인정된 규격기준을 최대한으로 적용해야 되고 이보다 더 엄격한 규격기준을 설정, 시행하기 위해서는 과학적인 근거를 제시할 수 있어야 한다"는 방향으로 움직이고 있으므로 이 문제를 조심스럽게 접근해야만 된다.

식량생산에 사용되는 농약은 그의 필요성이 강조되고 있기때문에 FAO/WHO 에서 Codex 기준을 설정할 때는 이른바 우수 농업관습(GAP, good agricultural practice)하에서의 포장시험을 근거로 한 실제 잔류한도(PRL, practical residue limit)와 식품계수로부터 이론적 최고섭취량을 계산하고 그 값이 ADI값보다 낮으면 그대로 잔류농약의 최대잔류한도(MRL, maximum residue limit)로 무리없이 채택된다. 이때 나라마다 다른 GAP에 따라 각각 다른 PRL값이 제출되므로 그의 타당성을 검토하게 되는데 농약의 필요성을 감안하여 일반적으로 높게 나온 PRL값을 채택하게 된다. 만일 PRL 값이 없으면 ADI값을 식품계수로 나누어 일단 MRL로 설정한다.

화학물질 중에서 발암성이 증명된 것은 무조건 유해한 것으로 간주하여 미국의 그 유명한 Delaney조항에 의하여 영허용량(zero tolerance)이 설정됨으로서 식품에서는 그들의 사용이 금지되었다. 독성시험에서 발암성물질은 threshold가 없는 dose-response curve를 그리기 때문에 어떠한 안전계수를 적용한다 하여도 ADI는 영이 된다는 것이다. 결국 최근까지 사용되어온 안전계수법은 절대적 안전성을 법적규제의 기본정신으로 삼아온 것이다.

그러나 최근에 들어와 시험방법이 고도로 발전됨에 따라 극미량으로 존재하는 발암성물질의 검출이 가능해졌고 다른 한편 우리들이 매일같이 접하고있는 식품이나 환경인자중에도 발암성물질이 존재한다는 것이 알려짐에 따라 발암성물질의 무조건적인 금지는 현실적으로 큰 문제점에 봉착하게 된 것이다. 여기에서 발암성물질의 규제를 위하여 정량적 위해평가(quantitative risk assessment)의 기법이 1970년대에 들어와 새로이 개발되었다. 이 방법에서는 현실적인 식품섭취 수준에서 유독성분에 의하여 암이 발생할 수 있는 확률을 계산한다. 그 결과 일생동안 해당물질의 섭취를 통하여 10^{-6}(100만명중 1명)의 확률로 암에 걸리는 정도라면 이것을 무시되는 위험(de minimus risk)으로 간주하여 허가하자는 것이다.

이러한 분석자료에 근거하여 미국을 비롯한 많은 나라에서는 현재 식품첨가물, 잔류농약, 환경오염물질 등의 법적규제를 실시하고 있다. 예컨대 미국의 규제기관인 FDA, EPA, OSHA, CPSC에서는 1976~1985년 중 132개 품목의 규제에 이 방법을 채택하였으며 1983년부터는 소집단의 경우 그 한계값을 10^{-4}로 높이는 경향이 있다. 결국 발암성물질이라도 그 위험이 무시되는 또는 감내할 수 있는 섭취수준이라면 허용해야 되므로 미국에서는 식품의 안전성 규제에 있어서 델라니 조항을 폐기해야 되는 정치적인 딜레마에 빠져 있는 것이다. 여기에서 우리들은 발암성(carcinogenicity)과 종양유발성(oncogenicity)

Table 2. 몇나라의 식품첨가물 평균섭취량 비교 (단위: 1인당 1일 mg수)

첨 가 물	ADI (mg/kg/day)	미 국 (1977)	핀랜드 (1984)	일 본 (1982)	한 국 (1985~1987)
BHA, BHT	30	7.4	0.72	0.024	0.017
Propionate	600	260.0*	10.4	17.5	0.44
Sorbate	1,500	72.0	27.8	36.3	6.01
Saccharin (Na)	150	7.1	1.1	0.91	14.8
Sulfite	42	7.0	4.6	21.0*	0.022
Nitrite	12	2.2	0.2	0.002	0.016

밑줄(__)은 ADI의 10% 초과, 밑줄별표(__*)는 ADI의 30%를 초과하는 경우임.

을 구별해야 되며 발암성시험은 여러 단계에 걸쳐 수행되고 있는데 인체에 대한 발암물질(human carcinogen)로 판정되려면 충분한 증거가 축적되어야 한다는 것을 인식해야 될 것이다.

유해성분의 위해평가

식품첨가물이나 오염물질의 위해성 또는 안전성을 평가하기 위해서는 해당성분의 인체노출량, 즉 식이섭취량(dietary exposure of chemicals)을 평가한 다음 독성학적으로 안전한 ADI 값과 비교하는 방법이 있다. 그런데 여기에서 ADI 설정시에는 개인, 지역 또는 계절에 따른 식품섭취량의 변화나 극단소비자(extreme consumer)를 감안하지 않았기 때문에 어떤 인구집단에 의한 식품첨가물이나 오염물질의 평균섭취량은 ADI보다 훨씬 낮아야만 안전한 것으로 간주된다.

Joint FAO/WHO Food Contamination Monitoring Programme(JFCMP)에서는 오염물질이 식이구성에서 특정식품에 국한된 경우 그 식품의 극단소비자는 대상집단에 의한 평균소비량의 3배 이상을 섭취하지 않는다는 가정을 세우고 있다. 이러한 가정하에 JFCMP에서는 다음과 같이 3단계 조치를 권고하고 있다. ① 평균 식이섭취량이 ADI의 30% 이하일때는 전체소비자에 대하여 그 첨가물의 사용량이 안전한 것으로 간주된다. 그러나 삭카린과 같은 인공감미료의 경우는 평균소비자와 극단소비자 간의 차이가 예외적으로 크기때문에 평균섭취량이 ADI의 30% 이하라고 해서 극단소비자에 대한 안전성이 보증되지는 않는다. ② 평균 식이섭취량이 ADI의 30~100%인 경우는 평균소비자에 대하여 안전할지 모르나 극단소비자와 어린이들은 ADI보다 더 많이 소비할 위험성이 있다. ② 평균 식이섭취량이 ADI보다 높은 경우에는 전체 인구집단이 바람직하지 않은 위해를 받을 가능성이 있으므로 해당성분의 사용을 낮추도록 규제조치를 취해야 된다.

몇나라에 있어서 식품첨가물의 1인당 평균섭취량을 보면 Table 2와 같다. 실제적으로 성인에 대한 식품첨가물의 평균섭취량은 ADI의 30%를 초과하는 경우가 드물며 일반적으로 10% 미만인 것으로 보고되고 있다. 어떤 첨가물의 경우는 ADI를 초과하는 경우가 있는데 이러한 경우에는 규제당국이 문제가 되는 식품의 종류와 인구집단을 확인해야 되는 동시에 해당되는 첨가물에 대한 규제조치를 재검토해야 되는 것이다.

식품 중 첨가물이나 오염물질에 의한 인체노출량(human exposure) 평가는 그의 대부분이 식품을 통해서 섭취된다는 가정하에 수행되고 있으며 편의상 다음의 3단계로 나누어 설명될 수 있다. 그러나 이들 방법은 다른 가정하에, 다른 근거자료(data file)를 이용하고 있기 때문에 각각 장단점을 가지고 있으며 결과의 해석과 활용에서 조심스럽게 접근해야만 된다. 만일 사람이 음식 이외의 급원에서 화학물질에 노출될 경우 즉 대기오염물질의 흡입이나 음용수로 부터의 섭취가 있을 때(예컨대 Pb의 경우)에는 이들을 모두 합쳐야 진정한 노출량 평가가 된다. 일반적으로 다음의 세가지 노출량 평가방법에서 아래로 내려갈수록 더 정확한 노출량 평가가 되지만 오히려 더 복잡하고 경비가 많이 드는 방법이 된다.

공급량에 의한 평가법 (per capita approach)

식품첨가물이나 오염물질이 같은 인구집단에 걸쳐 골고루 분포되어 있다는 가정하에 노출량을 추정하는 방법이다. 예컨대 어떤 국민에 대한 1인당 섭취량은

Table 3. 식품첨가물의 허용기준 초과 예 (1972~1990년)

첨 가 물	식 품	기준치 (g/kg)	초과치 (g/kg)	초과빈도 (분석시료당 %)
Parabens	간 장	0.25	0.40	10/55 (18.2)
Propionate	빵, 과자류	2.5	2.70	2/480 (0.4)
Sorbate	젖산균 음료	0.05	0.07	3/30 (10.0)
Sulfite	과 자 류	0.03	0.34*	26/304 (8.6)
	식물성 건조품	0.03	2.52	26/48 (54.2)
	연근, 토란	0.03	0.45	2/15 (13.3)
Nitrite	햄	0.05	0.07	1/16 (6.3)

*검출된 시료들만의 평균치임.

Table 4. 식품첨가물의 위해성 평가 (1985~90년)

첨 가 물	ADI (μg/60 kg bw)	최고섭취량 (mg/day/person)	섭취율 (% ADI)
BHA, BHT	30	0.1	0.3
Benzoate	300	2.7	0.9
Parabens	600	2.1	0.4
Propionate	600	9.8	1.6
Sorbate	1,500	32.1	2.1
Sulfite	42	0.23	0.6
Nitrite	12	0.16	1.3
합 계	3,084	47.2	1.5/1.0

식품에 사용된 어떤 화학물질의 1년간 총사용량을 인구수로 나눈다든지, 또는 어떤 식품의 1인당 공급량에 그 식품에서의 첨가물이나 오염물질의 잔류수준을 곱하여 계산한다.

식이조사에 의한 평가법 (dietary survey approach)

한 국민의 대표집단에 대한 식이섭취량을 단기간(1~14일)에 걸쳐 조사하고 이에 각 식품에서의 첨가물이나 오염물질의 잔류수준을 곱한 다음 합계하는 방법이다. 이 방법의 장점은 특수 연령층이나 어떤 식품의 다소비 계층에 의한 첨가물이나 오염물질의 섭취량을 계산할 수 있다는 것이다.

시장바구니 조사법 (market-basket survey or total-diet study approach)

어떤 국민의 일상적이고 평균적인 식사를 개별적으로 또는 혼합한 다음 첨가물이나 오염물질의 수준을 실제로 분석하는 방법이다. 이 방법은 식품에 본래

Table 5. 잔류농약의 허용기준 초과 예 (1981~1990년)

농 약 성 분	농 작 물	기준치 (mg/kg)	초과치 (mg/kg)	빈도 (분 석 시 료 당 %)
BHC	마 늘	0.1	0.8	12/86 (14.0)
Heptachlor	채 소	0.02	0.07	7/106 (6.6)
Aldrin, dieldrin	마 늘	0.005	0.06	17/86 (19.8)
Diazinon	과 일 채 소	0.1	0.4	13/159 (8.2)
EPN	과 일	0.1	0.3	6/40 (15.0)
	채 소	0.2	0.3	1/13 (7.7)
Fenitrothion	사 과	0.2	0.5	3/9 (33.3)
Fenthion	농 산 물	0.05	0.4	21/223 (9.4)
Carbaryl	과 일 채 소	0.5	0.9	8/329 (2.4)
Benomyl	수 입 밀	0.05	0.14	1/6 (16.7)

Table 6. 유기인계 농약의 위해성 평가 (1986~1990년)

농약성분	ADI (μg/55 kg bw)	섭취총량 (μg/day/person)	섭취율 (% ADI)
Chlorpyrifos	550	0.74	0.04
Diazinon	110	7.07	6.13
Dichlorvos	220	0.06	0.03
Dimethoate	550	1.30	0.23
EPN	275	4.95	1.46
Fenitrothion	275	8.57	3.32
Fenthion	55	3.20	5.78
Malathion	1,100	5.47	0.44
Parathion	275	0.74	0.28
Phenthoate	165	0.64	0.54
Trichlorfon	275	0.05	0.01
합 계	4,125	31.21	0.8/1.7

사용한 양보다 낮은 농도로 존재하는 화학물질의 섭취량을 평가하는데 효과적이지만 분석상의 어려움이 있다.

국내식품의 오염과 안전성 현황

여기에서는 국내의 많은 연구자들이 발표한 식품첨가물, 잔류농약, 중금속에 대한 분석자료를 이용하여 한국인에 대한 위해성을 평가해 보았다. 한편 mycotoxin, 방사성물질, PCB, 가축용 약품, 포장재료 등에 의한 문제가 가끔 제기되고 있으나 조사자료가 충분하지 못하여 그들의 위해성 여부를 깊이있게 평

Table 7. 중금속의 오염기준 초과 예 (1967~1990년)

중금속	식 품	기준치 (mg/kg)	초과치 (mg/kg)	초과빈도 (조사건당 %)
Cd	전 반	0.1	4.7	36/70 (51.4)
	쌀	0.4	9.1	8/24 (33.3)
Hg	전 반	0.1	0.5	21/43 (48.8)
	수산물	0.7*	29.7	4/36 (11.1)
Pb	전 반	2.0*	30.2	15/87 (17.2)
As	전 반	3.0	15.3	8/42 (19.0)

*식품위생법에 근거한 해산어패류 기준, 기타는 제안된 오염기준

가하지는 못하였다.

식품첨가물 (food additives)

지금까지 발표된 보고서 중에서 허용기준치를 초과한 예를 보면 Table 3과 같다. 기준치를 초과한 제품이 발견되었을 때에는 곧 행정조치가 취해지지만 아황산염과 같이 수많은 영세업체에서 불법적으로 사용하는 경우에는 법적 규제가 매우 어려울 것으로 예상된다.

몇가지 식품첨가물에 대하여 1인당 1일 섭취량을 1980년대 후반에 평가한 자료를 보면 Table 4와 같다. 여기에서 도시인에 의한 최고섭취량을 ADI와 비교해보면 1~2%에 불과하므로 식품첨가물에 의한 건강위해는 현단계로 볼 때 걱정할 필요가 없을 것으로 판단된다. 앞으로 가공식품의 소비량이 더 증가하게 되면 첨가물의 섭취량도 많아질 것이므로 그때 가서는 첨가물의 위해여부를 다시 체계적으로 재평가해 보아야 할 것이다.

잔류농약 (pesticide residues)

국내에서 잔류농약의 허용기준은 환경처(1981년부터)와 보건사회부(1988년부터)에서 각각 설정하였는데 Table 5에서와 같이 상당수의 시료에서 기준을 초과하는 예가 발표되고 있다.

최근 우리나라는 유기수은계 및 유기염소계 농약의 사용량이 크게 감소한 반면 유기인계 및 carbamate계 농약의 소비가 급격하게 증가하고 있다. 따라서 1980년대 후반에 걸쳐 한국인에 의한 유기인계 살충제의 식이섭취량을 추정해보면 Table 6과 같다. 여기에서 11개 농약성분의 국민 1인당 1일 섭취총량은 31.2 μg으로서 ADI값의 1~2%에 불과하였다. 그러나 많은

Table 8. 중금속의 위해성 평가 (1980년대 5개조사 평균)

중금속	ADI (μg/60 kg bw)	섭취총량 (μg/day/adult)	섭취율 (% ADI)
Cd	71	71	100
Hg	43	63	147
Pb	430	376	87
합 계	544	510	94/111

소비자들은 농약에 의한 식품오염을 매우 심각하게 받아들이고 있다. 따라서 사용량이 많은 유독성 농약의 식이섭취 총량을 평가한 다음 건강에 대한 위해평가를 정량적으로 실시하여 잔류농약에 대한 필요이상의 불안감을 해소하는 동시에 농약의 안전사용에 만전을 기해야 될 것이다.

특히 최근에 들어와 농산물의 수출입에서 잔류농약의 문제는 무역의 장애요인이 되고 있다. 1989년 겪었던 수입자몽에서의 알라(daminozide) 사건과, 같은해 수출된 배에서의 다코닐(chlorothalonil) 문제, 그리고 1993년 수입된 밀에서 thiophanate-methyl과 benomyl 의 대사산물인 carbendazim의 검출 파동은 농약분석 결과를 신중하게 언급해야 되는 동시에 우리나라보다 검사기능이 앞선 선진국과의 무역에서는 현명하게 대처해야 된다는 좋은 교훈이었다. 다른 한편 동남아에서 수입된 농산물(파, 고추, 인삼 등)에서는 우리나라에서 금지된 유기염소계 농약이 검출되어 통관이 불허되었다. 이러한 사건들은 식품위생감시업무가 수입의 억제수단이 될 수도 있음을 말해주고 있는 것이다.

중금속 (heavy metals)

식품원료 중 중금속의 기준은 특수한 경우에만 설정되어 있을 뿐 식품 전반에 대한 기준은 아직 설정되지 못하고 있다. 따라서 여기에서는 FAO/WHO에서 설정한 PTWI로부터 ADI를 계산하고 모든 식품이 중금속으로 오염되었다는 가정하에 계산한 기준치 또는 외국에서의 기준치를 참고하여 특정식품 또는 식품 전반에 대한 오염기준치를 가상하였다.

식품 중 중금속에 관한 국내의 검색자료 중에서 조사집단별로 나타난 최고치가 위와 같이 가상한 오염기준을 초과한 경우를 집계한 결과는 Table 7과 같다. 오염기준을 초과한 사례가 상당한 빈도로 나타나고 있는데 검사시료당 초과빈도는 이보다 훨씬

낮을 것이다. 식품 중 중금속의 법적 기준을 설정할 때는 초과빈도와 오염식품에 대한 대책 등을 감안하여 매우 신중하게 대처해야 될 것이다.

한국인에 의한 중금속의 식이섭취량은 1980년대에 5개 연구진에 의하여 평가되었으나 연구자에 따라 조사방법이 서로 다르고 많은 차이를 보이고 있으므로 편의상 5가지 보고를 단순하게 산술평균하였다. 이 값을 ADI와 비교한 비율은 Table 8과 같이 중금속에 따라 조금씩 다르나 매우 높은 수준임을 알 수 있다. 중금속은 본래 천연부존량이 있기때문에 전혀 섭취하지 않는다는 것은 불가능하겠지만 한국인이 상당한 수준의 중금속을 섭취하고 있음을 인식하고 이에 부응하는 대책을 수립해야 될 것이다.

한국인이 매일 섭취하는 중금속이 어떤 식품군에서 유래되는지 문헌치에 근거하여 평가한 결과를 보면 Cd은 곡물과 어패류, Hg은 어패류가 주요 오염원이며 Pb은 모든 식품군에 골고루 오염된 것이 아닌가 추정된다. 일반적으로 수은은 수산물 오염이 우려되고 있으며 한국인의 1인당 1일 어패류 소비량 75 g을 기준으로 할 때 수은의 25%가 어패류에서 유래되며 만일 어촌에서 150 g의 어패류를 소비한다고 가정하면 수은 섭취량의 50%가 수산물에서 유래될 수 있다는 계산이 나온다. 한국인에 대한 중금속의 위해성과 관련하여 식품뿐만 아니라 음료수, 흡입에 의한 노출량 평가를 포함한 정밀조사가 절실히 요구된다.

곰팡이독 (mycotoxins)

한국인은 곰팡이 오염이 우려되는 곡류와 장류를 많이 먹기때문에 mycotoxin에 의한 피해가능성이 높을 것으로 의심되어 왔다. 국내에서는 mycotoxin 중 aflatoxin, *Fusarium* 독소, 황변미독의 생성균에 대한 균학적 연구가 수행되어 여러 식품군에서 해당미생물의 오염이 확인되었다. 한편 mycotoxin 자체의 검색연구로는 장류, 곡류, 가축사료에서 aflatoxin, zearalenone, nivalenol/deoxynivalenol 등이 검출, 정량되고 있는데 1989년 설정된 aflatoxin B_1의 허용기준(식품 10 ppb, 가축사료 20~50 ppb)을 초과하는 빈도는 2% 수준으로서 된장 1/54 (최고 66 ppb), 배합사료 1/41 (최고 30 ppb)이었다. 기타 mycotoxin에 대한 허용기준은 아직 설정되지 않고 있다.

방사성핵종 (radionuclides)

국내에서 생산되는 식품중 방사성물질의 존재여부는 1960년대부터 조사, 보고되고 있으며 식품오염의 지표로 이용되는 우유중 Sr-90 의 분석결과를 1965년부터 살펴보면 가끔 예외적으로 높은 수준으로 검출되는 경우가 있었으나 (1975, 1979년) 국제적 규제지침인 10 Bq/kg (270 pCi/kg cow's milk)의 1~5% 수준에 불과하였다. 1986년 소련의 Chernobyl 원전(原電)사고가 있은 직후 터키에서 식품가공원료로 수입된 카제인과 전분에서 9~24 Bq/kg 의 beta방사능이 검출된 바 있으나 1989년 우리나라에서 설정한 잠정허용기준 (I-131: 150 Bq/kg 우유 및 유가공품)의 10%에 불과하였다. 따라서 정상적인 조건에서 생산된 식품의 경우 방사성물질에 의한 오염은 걱정할 필요가 없을 것으로 생각된다.

Table 9. 국내식품에서 유해성분의 위험순위 (추정)

위험순위	유독성분	기준초과빈도 (%)	ADI대비 섭취율 (%)
1	중금속	3	94
2	잔류농약	2	5
3	식품첨가물	2	2
4	곰팡이독	2	?
5	방사성핵종	0	1~5
6	PCB	미설정	1?

PCB (polychlorinated biphenyls)

식품이나 가축사료중 PCB 의 허용기준은 미국이나 일본에서 설정되고 있으나 우리나라에서는 아직 설정되지 않고 있다. 국내에서 식품의 PCB 오염에 대한 분석은 드물게 발표되고 있으며 전반적인 검출농도는 비교적 낮은 것으로 나타났다. 다만 담수어나 연해안 어패류의 경우는 0.4 ppm 까지 검출되는 경우가 있는데 미국 기준인 5 ppm 보다는 훨씬 낮으나 일본의 잠정기준인 0.5 ppm(원양, 외해산)에 근접하고 있는 것으로 보아 정밀검사를 필요로 한다.

국내 식품에서 유해성분의 위험순위

유독물질에 의한 국내식품의 위해성 또는 위험순위를 정리해보면 Table 9와 같다. 기준 초과빈도 및 ADI와 대비한 섭취율로부터 추정한 위험순위는 중금속>잔류농약>식품첨가물>mycotoxin>방사성핵종>PCB와 같이 될 것이 아닌가 제안하고 싶다.

위에서 설명한 바와 같이 유해 화학성분의 1일섭취량을 예측하여 ADI의 10% 미만일때는 잔류기준 설정이나 잔류실태 조사의 필요성이 없으며 ADI의

30% 수준에 도달하면 경고를 해야 되는 것으로 되어 있다. 국내에서 잔류농약이나 식품첨가물의 평균 식이섭취 총량은 ADI의 10% 미만이므로 현 수준에서는 걱정할 단계가 아니며 오히려 중금속은 경고수준을 초과한 것이 아닌가 생각된다. 한편 잔류농약이나 식품첨가물의 섭취수준이 매우 낮은데도 불구하고 기준을 초과하는 빈도가 2%나 된다는 것은 이들 물질을 남용하는 경우가 있거나 아니면 현재의 기준이 너무 엄격하게 설정되었기 때문이라 판단된다. 앞으로 더 많은 분석자료가 축적되어 체계적인 판정이 내려진 다음 합리적인 규제대책이 수립되기를 기대한다.

참고문헌

1. 이서래 : 食品의 安全性 硏究. 이화여대 출판부 (1993).
2. Branen, A.L., Davidson, P.M. and Salminen, S.: *Food additives*. Marcel Dekker, New York (1990).
3. Concon, J.M.: *Food toxicology*. Marcel Dekker, New York (1988).
4. Environmental Health Criteria 70: *Principles for the safety assessment of food additives and contaminants in food*. WHO, Geneva (1987).
5. FDA: *Toxicological principles for the safety assessment of direct food additives used in food*. Food and Drug Administration, Washington, D.C. (1982).
6. Johannsen, F.R.: Risk assessment of carcinogenic and noncarcinogenic chemicals. *Crit. Rev. Toxicol.* **20**, 341 (1990).
7. Joint UNEP/FAO/WHO Global Environmental Monitoring System: *Guidelines for the study of dietary intake of chemical contaminants*. WHO, Geneva (1985).
8. Rulis, A.M.: Safety assurance margins for food additives currently in use. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, **7**, 160 (1987).

국문요약

지난 30년간 우리나라가 이룩한 산업화 과정에서 식량의 증산, 가공식품의 보급, 그리고 유통체계의 개선은 한국인의 식생활을 크게 향상시켰다. 다른 한편 화학약품의 사용량이 급증하였고 새로운 분석기술 및 독성시험법이 개발됨에 따라 화학물질에 의한 국민들의 피해의식이 필요이상으로 높아져 식품공해의 회오리에 휘말리고 있다. 식품의 오염실태 및 안전성 평가에 대한 새로운 인식과 과학적 자료축적이 절실히 요청되고 있다. 현재 한국인의 식생활에서 유해물질의 위험순위는 중금속>잔류농약>식품첨가물>곰팡이독>방사성핵종>PCB인 것으로 추정되지만 소비자들은 그렇게 인식하지 않고 있다. 앞으로 학계와 규제당국에서는 객관적인 증거와 합리적인 판단아래 한국인에 대한 식품 안전성을 평가해야 될 것이며 국민건강과 국가이익을 고려한 현명한 규제대책이 세워져야 할 것이다.