J. Fd Hyg. Safety 9(3), 133-139(1994)

식품가열에 따른 Benzo[a]pyrene 생성 및 한국인의 발암 위해성 평가

이병무* · 최옥경†

성균관대학교 약학대학 독성학교실, †산업과학대학원 산업보건학과

Pyrolytic Formation of Benzo[a]pyrene in Foods During Heating and Cancer Risk Assessment in Koreans

Byung-Mu Lee* and Ok-Kyung Choi†

Division of Toxicology, School of Pharmacy

†Department of Industrial Health, Graduate School of Industrial Science, Sung Kyun Kwan University

ABSTRACT — The pyrolytic formation of benzo[a]pyrene during the cooking procedure was analysed in beef, pork, pacific saury, rice, and soybean by HPLC. In raw foods, benzo[a]pyrene (B[a]P) was not detected or negligible, but it was increasingly formed when foods were boiled (0.010~0.037 ppb) and more dramatically during broiling (0.302~0.851 ppb) in a time dependent manner. Human daily intake of B[a]P in Koreans and cancer risk assessment were estimated based on food consumption per capita and carcinogenic potency of B[a]P. When cooked foods were consumed for entire life time, cancer risk was estimated to be $1.77\times10^{-6}>1.65\times10^{-7}>1.32\times10^{-8}$ by the order of broiled, boiled, and raw foods consumption. These data suggest that broiled foods produce more benzo[a]pyrene than water boiled foods. Thus cooking procedure is an important factor for the formation of carcinogens and needs to be modified to reduce cancer risk for man.

Key words □ broiled foods, boiled foods, benzo[a]pyrene, cancer risk assessment, carcinogen

다환 방향족 탄화수소 화합물(Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)의 일종인 benzo[a]pyrene (B[a]P)은 돌연변이를 일으키는 발암물질로 많은 연구가 되어 왔다. 이들 PAHs 화합물은 B[a]P를 비롯한 여러 종류의 이성체로 존재하며 이들 화합물 대부분은 분자량이 큰 비극성 화합물로 물에 대한 용해도가 매우 작고 구조식 및 물리적 성질이 유사하다.[1-3] 특히 B[a]P는 PAHs 화합물중 가장 대표적인 발암성 물질로서 여러 종의 동물 실험에서 피부암,[4] 폐암,[5] 기관지암[6]을 일으키는 것으로 알려져 있다.

B[a]P은 coal tar, oil 등의 유기물이 불완전하게 연소하거나 고온의 열분해에 의해 생성되며[7] 주변환경 즉 대기,[8-10] 수질,[11,12] 토양,[13,14] 흡연, 식물 및 식품 등에서 상당량의 B[a]P가 검출되었다고 보고된 바 있다. 식품에서는 고온 조리에 의한 지방 및 단백질의 탄화에 의해 생성되며 식품에 부착되어 존재하는 것으로 알려져 있다.[15]

숯불구이한 육류, 훈제제품 등에서 B[a]P가 많이 생성되어 검출되었으며[16,17] 커피, 소세지 등 고온을 사용한 가공식품과 고온조리 식품에서도 B[a]P이 생성될 수 있다.[18] 또한 훈연식품의 훈제시간, 온도 조건 등에 의해서도 B[a]P의 생성에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 왔다.[17] B[a]P이 함유한 식품의 섭취와 인간의 암 발생빈도와의 상관성을 연구하기 위해 일반 식품중에서 B[a]P의 함량을 분석한 자료도 있다.[19] 그러나 현재 우리나라에서는 식품 및 환경 기준 등에서 B[a]P에 대한 규제가 설정되어 있지 않은 상태이며 잔존량에 대한 안전성 평가는 물론

* To whom correspondence should be adressed.

오염수준에 대한 연구도 미흡한 실정이다. 이에 저자는 가열처리된 식품을 섭취하는 한국인의 식생활 습관상 굽거나 삶아먹는 식품류중 몇 종을 선택하여 가열 정도에 따른 B[a]P 생성정도를 형광검출기를 이용한 HPLC법으로 측정하고[20,21] 그 결과 B[a]P 섭취량을 추정하여 인체에 미치는 발암위해성을 평가하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

시 약－본 실험에서 사용한 benzo[a]pyrene은 Sigma Chemical Co.(U.S.A.)에서 구입하였으며 alumina 및 ethanol은 Fluka Chemica Co. Ltd.에서 구입하였다.

Silica gel(Column chromatography용) II or III, hexane, ether 및 acetonitrile은 Wako Pure Chemical Industries Ltd.에서 KOH 및 무수 Na_2SO_4는 Junsei Chemical Co. Ltd.에서 구입했다.

N_2 gas는 시판 고순도용을 사용했다.

기 기－본 실험에 사용된 기기는 HPLC(Waters, U.S.A.), Evaporator(Buch Co., Schweiz.), Water Bath (국제과학 제작) 등이다.

시료 전처리용 크로마토관은 내경 1 cm×길이 30 cm의 유리컬럼에 alumina 6 g을 헥산으로 현탁주입 후 그 위에 실리카겔 5 g을 헥산으로 현탁시켜 주입하여 사용하였다.

식품재료 및 성분－본 실험에서 사용한 재료는 시중에서 구입이 용이한 것으로 하였으며 쇠고기는 정육점에서 구입한 수입육 등심부위(beef)였으며 돼지고기는 복부삼겹살(pork belly), 살코기(pork chop) 부위로 하였으며 쌀(rice), 검은콩(soybean), 꽁치(pacific saury)는 시장에서 구입하여 사용하였다. 각각의 영양성분 측정결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Major nutritional analysis of beef, rice, soybean, pacific saury, pork chop and pork belly

units (%)

	Protein	Fat	Ash	Moisture	Carbohydrate
Beef	16.91	5.37	0.94	65.05	11.73
Rice	8.40	0.91	0.42	9.23	81.40
Soybean	40.68	16.73	4.16	9.15	29.28
Pacific saury	9.13	4.02	1.66	11.14	74.05
Pork chop	14.53	13.89	1.06	69.98	0.72
Pork belly	18.61	27.43	0.91	52.66	0.93

시료의 조제 및 추출－시중에서 구입한 식품재료를 열을 가하지 않은 상태, 수중가열(5～50분) 및 프로판가스를 열원으로 하여 후라이팬을 사용하여 가열(5～20분)한 세 그룹으로 나눠서 시료를 준비하였다.

준비된 시료는 약 30～50 g씩 취하여 세절한 후 300 ml 환저플라스크에 취하였다. 여기에 ethanol(150 ml), H_2O(20 ml), KOH(15 g)을 가한 후 수욕상에서 2시간 환류추출하였다.

실온에서 방냉 후 침전물을 유리여과기로 여과하여 ethanol(25 ml)로 침전물을 세척한 후 여액과 세액을 합하였다. 얻어진 추출액을 분액깔대기 1 l에 취하여 H_2O(150 ml), 헥산(100 ml)를 가하여 5분간 진탕 후 헥산층을 취하였다. 이 조작을 3회 반복, 헥산층을 합하여 H_2O(50 ml)로 헥산층을 세척한 후 무수 Na_2SO_4를 통과하여 탈수시켰다.

이 액을 진공농축기로 35℃에서 5 ml될 때까지 감압농축하였다.

농축액은 크린업용 크로마토관에 주입하고 관 상부에 유출액으로 헥산(70 ml)을 2 ml/min의 유출속도로 가하고 다시 헥산 : 에테르(85 : 15)의 혼합액(80 ml)을 가하였다. 유출액을 농축수기에 옮겨 35℃에서 2 ml될 때까지 농축시킨 후 acetonitrile(3 ml)를 가하였다. 그 후 N_2 gas를 통과시켜 잔액이 정확히 1～2 ml될 때까지 농축시켜 검액으로 하였다.

HPLC의 분석조건－HPLC 분석은 이동상으로 acetonitrile : H_2O : MeOH(80 : 10 : 20)을 사용하였으며 Flow Rate : 1 ml/min, Gain : 1000, Attenuation : 8 Exciting wavelength : 370 nm, Emission wavelength : 406 nm의 조건에서 수행하였다.

표준액은 B[a]P 표준품 50 mg을 acetonitrile을 가하여 50 ml에 용해시킨 후 단계적으로 희석하여 1～10 ng/ml의 농도로 사용하였다.

B[a]P 분석방법은 일본위생법[20]을 기본으로 하였고 尾花裕孝 등[19]의 방법을 참고로 하였다.

회수율 시험－식품 시료는 가열하지 않은 원상태의 것으로 약 30～50 g을 취하여 분석방법에 따라 분해시킬 때 B[a]P 표준용액 100 ng을 정확히 가하여 분석방법에 따라 처리한 후 회수율을 측정하였다.

회수율은 시료 종류에 따라 차이 없이 약 75～82% 범위내에 있었다.

결과 및 고찰

검량선 작성－식품중 B[a]P를 HPLC로 측정하기 위해 미리 준비된 표준 원액을 가지고 1 μg/*l*에서 10 μg/*l*까지 여러 농도의 B[a]P 표준액을 만든 다음 10 μ*l*씩 주입하여 얻은 peak 면적을 종축으로 하고 B[a]P 농도를 횡축으로 하여 표준 검량선을 작성하였다(Fig. 1).

표준액 및 검액의 크로마토그람은 Fig. 2와 같다.

대조식품중의 Benzo[a]pyrene 함량－식품을 가열하지 않은 상태에서 HPLC 분석방법에 따라 B[a]P

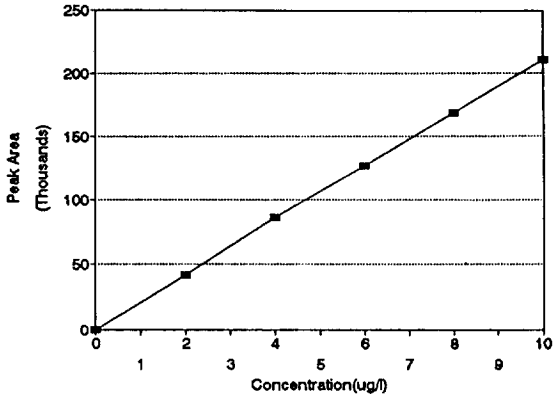

Fig. 1. Calibration curve for benzo[a]pyrene determined by HPLC.
B[a]P solution in CH_3CN was injected into column of μ-Bondapak C_{18} (3×3 cm), Temperature: ambient, Flow rate: 1 m*l*/min, Inject volume: 10 μ*l*, Eluent: $CH_3CN : H_2O : MeOH$ (80 : 10 : 20), Scanning type.

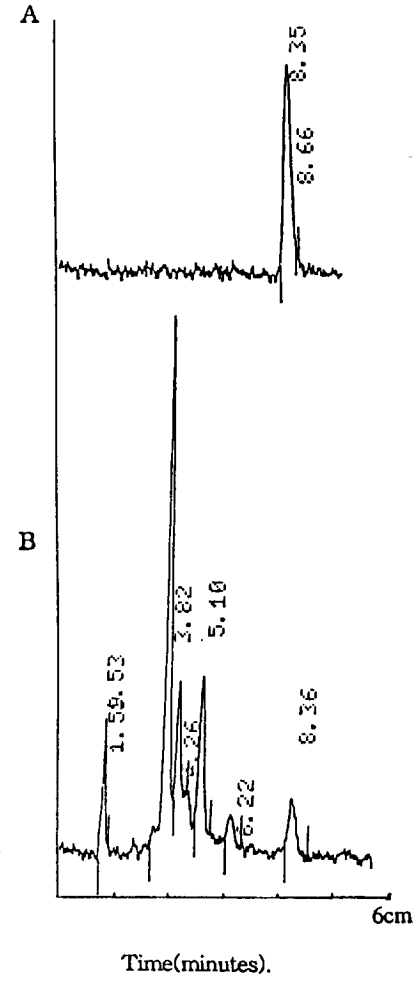

Fig. 2. HPLC chromatogram of benzo[a]pyrene.
A: standard solution, B: sample solution.

Table 2. Effect of broiling on the formation of benzo[a]pyrene in foods (units: μg/kg)

Samples[a]	Broiling time (min)				
	0	5	10	15	20
Beef	nd[c]	0.007± 0.006[b]	0.127± 0.026**	0.254± 0.086	0.632± 0.091*
Rice	0.002± 0.001	0.003± 0.003	0.012± 0.003*	0.225± 0.035**	0.302± 0.047
Soybean	0.005± 0.001	0.010± 0.001**	0.138± 0.063*	0.400± 0.149**	0.604± 0.171*
Pacific saury	nd	0.008± 0.001	0.013± 0.007	0.108± 0.017**	0.550± 0.149*
Pork chop	nd	0.016± 0.002	0.213± 0.017**	0.365± 0.016**	0.596± 0.115*
Pork belly	nd	0.026± 0.003	0.243± 0.003**	0.533± 0.046**	0.851± 0.147*

[a]Samples were broiled on frypan, [b]Values are means± SD of three experiments, [c]nd=not detected.
* Significantly different from increasing broiling time (*: $p<0.05$, **: $p<0.01$, student's t-test).

함량을 측정하였을 때 쇠고기, 꽁치, 돼지고기(복부), 돼지고기(살코기)에서는 검출되지 않았으며 콩 및 쌀에서는 0.005, 0.002 μg/kg이 각각 검출되었다.

식품가열시 Benzo[a]pyrene 생성의 변화－후라이팬에 식품을 가열하였을 때 가열시간에 따른 B[a]P 함량의 변화는 Table 2에 표시된 바와 같이 가열시간이 길어질수록 B[a]P 생성량이 약간씩 증가하는 추세였다.

쇠고기의 경우 가열시간별 B[a]P 양을 측정한 결과 5분, 10분, 15분, 20분 가열시켰을 경우 0.007, 0.127, 0.254, 0.632 μg/kg으로 나타나 가열시간에 따라 B[a]P의 생성량이 증가되었음을 알 수 있었다.

쌀의 경우 10분간 가열했을 때 0.012 ug/kg의 매우 낮은 농도로 B[a]P가 생성됐으나 거의 탄화된 20분 가열된 시료에서는 0.302 μg/kg의 높은 농도의 B[a]P가 검출되었다.

콩의 경우 10분간 가열한 시료의 경우 0.138 μg/kg의 B[a]P가 생성됨을 나타냈으나 15분, 20분 가열한 시료의 경우 0.400 μg/kg, 0.604 μg/kg으로 증가하였다.

꽁치의 경우 10분 가열시 B[a]P 생성이 0.013 μg/kg으로 나타났고 20분 가열의 경우 0.549 μg/kg으로 급격히 증가되었다.

돼지고기(복부)의 경우 20분 가열시켰을 때 쇠고기의 경우보다 0.219 μg/kg의 B[a]P가 더 많이 생성되었다. 또한 살코기 부위의 경우는 쇠고기의 경우보다 0.036 μg/kg이 덜 생성되었다.

일반적으로 식품을 가열시켰을 때 돼지고기(복부), 쇠고기, 돼지고기(살코기), 콩, 꽁치, 쌀의 순서로 B[a]P의 생성이 증가하는 것으로 나타났으며 가열 시간이 길어짐에 따라 B[a]P 생성량이 증가하였다.

돼지고기복부(삼겹살)에서 B[a]P가 가장 많이 생성된 이유는 단백질 뿐만 아니라 지방질 부분도 B[a]P 생성에 영향을 미치기 때문이다. 또한 식물성 단백질(콩)과 동물성 단백질(쇠고기 등)을 가열시 B[a]P 생성에 거의 비슷한 수준으로 영향을 주는 것으로 나타났으며 탄수화물이 주성분인 쌀은 B[a]P 생성이 가장 낮게 영향을 주었다.

삶은 조리방법에 의한 Benzo[a]pyrene의 함량변화－식품을 물에 삶았을 경우 시간이 증가함에 따라 B[a]P 생성량이 약간씩 증가하는 추세였다(Table 3).

B[a]P의 생성량이 후라이팬에 직접 가열했을 때보다는 많지 않았으나 돼지고기 복부살은 쇠고기 경우보다 0.016 μg/kg 더 많이 생성되었다.

환경 모니터링 결과에 의한 Benzo[a]pyrene의 일일 예상섭취량－한국식품공업협회 자료에 따르면 곡류의 경우 1인당 1일 소비량은 쌀(5.51 g/kg/day), 어패류(0.86 g/kg/day), 콩류(0.74 g/kg/day), 돼지고기(0.54 g/kg/day), 쇠고기(0.19 g/kg/day)이다.

위의 식품별 소비량과 상기 B[a]P 측정한 결과에 따라 1인당 1일 B[a]P의 예상 섭취량을 산출하면 보통 섭취 가능한 15분 동안 구운 시료의 경우 곡류(1.240 ng/kg/day), 콩류(0.296 ng/kg/day), 돼지고기(0.288 ng/kg/day), 어패류(0.093 ng/kg/day), 쇠고기(0.048 ng/kg/day) 순으로 나타났다(Table 4).

따라서 환경 모니링에 의해 위 가열 시료를 음식물로 섭취하였을 때 B[a]P 양의 총섭취량은 1.965 ng/kg/day이 된다.

또한 삶은 음식물을 섭취하여 노출되는 B[a]P의 총 예상 섭취량은 0.190 ng/kg/day로 구워먹는 음식에서 보다 약 10배 가량 낮게 나타났다(Table 5).

Table 3. Effect of boiling on the formation of benzo[a]pyrene in foods (units: μg/kg)

Samples[a]	Boiling time (min)				
	0	5	10	15	20
Beef	nd[b]	0.007	0.015± 0.004	0.022± 0.008	0.021± 0.006
Rice	0.002± 0.001[c]	0.003± 0.002	0.002± 0.008	0.010± 0.009**	0.024± 0.009
Soybean	0.005± 0.001	0.008± 0.011	0.011± 0.003	0.016± 0.010	0.010± 0.007
Pacific saury	nd	0.021± 0.009	0.027± 0.010	0.037± 0.011	0.031± 0.012
Pork chop	nd	0.018± 0.009	0.021± 0.003	0.028± 0.002	0.037± 0.011
Pork belly	nd	0.026± 0.010	0.032± 0.011	0.033± 0.003	0.035± 0.007

[a]Samples were boiled in water, [b]nd=not detected, [c]Values are means± SD of three experiments.
** Specificantly different from 10 min boiling time ($p<0.01$).

Table 4. Estimation of benzo[a]pyrene levels in broiled foods and expected daily intake in Koreans

Samples	Consumption of agricultural product (g/kg/day)	B[a]P levels (μg/kg)	Estimated human daily intake of B[a]P (ng/kg/day)
Beef	0.19	0.254[a]	0.048[b]
Rice	5.51	0.225	1.240
Soybean	0.74	0.400	0.296
Pacific saury	0.86	0.108	0.093
Pork[c]	0.54	0.449	0.288

[a]Measured from the samples broiled for 15 minutes, [b]Estimated for adults (60 kg body weight), [c]Pork belly and pork chop are included.

Table 5. Estimation of benzo[a]pyrene levels in boiled foods and expected daily intake in Koreans

Samples	Consumption of agricultual product (g/kg/day)	B[a]P levels (μg/kg)	Estimated human daily intake of B[a]P (ng/kg/day)
Beef	0.19	0.021[a]	0.004[b]
Rice	5.51	0.024	0.132
Soybean	0.74	0.010	0.007
Pacific saury	0.86	0.031	0.027
Pork[c]	0.54	0.036	0.020

[a]Measured from the samples boiled for 20 minutes, [b]Estimated for adults (60 kg body weight), [c]Pork belly and pork chop are included.

환경모니터링 결과에 의한 발암 위해성 평가—본 연구결과 후라이팬을 사용하여 식품을 15분 가량 가열하여 섭취하는 경우 B[a]P의 1인당 1일 예상섭취량은 1.965 ng/kg/day로 나타났다.

이것은 60 kg의 성인이 하루 0.118 μg의 B[a]P를 섭취한다고 할 수 있다.

미국 FDA에서 실험동물로 rats를 이용하여 B[a]P에 대한 cancer risk factor를 구하여 Gaylor/Kodell linear extrapolation에 의해 산출한 B[a]P의 Carcinogenic potency 값은 9×10^{-1}이었다.[22]

Table 6. Human daily intake and cancer risk assessment in Koreans

Samples	Human daily intake (μg/kg)[a]	Cancer risk assessment
Raw foods[b]	0.88×10^{-3}	1.32×10^{-8}
Boiled foods[c]	0.011	1.65×10^{-7}
Broiled foods[d]	0.118	1.77×10^{-6}

[a]Estimated for adults (60 kg body weight), [b]Foods were not heated, [c]Foods were boiled for 20 min, [d] Foods were broiled for 15 min.

따라서 본 실험에서와 같이 식품을 가열할 때 생성된 B[a]P에 일생 동안 노출된다고 하였을 때 발암 위해성은 다음과 같이 산출될 수 있다.

(B[a]P 일일섭취량/체중)×potency of B[a]P
$=0.118\ \mu g/60\ kg\ person\times9\times10^{-1}=1.77\times10^{-6}$

이것은 60 kg의 성인 남자가 매일 0.118 μg의 B[a]P에 평생 노출되었을 경우 백만명당 1.77명이 B[a]P 노출로 인해 암이 발생될 수 있는 확률을 나타낸다.

또한 삶은 식품으로부터 노출될 수 있는 B[a]P의 1인 1일 예상 섭취량은 0.011 ug/day로 나타났으며 이로 인해 발생될 수 있는 발암 위해성은 1.65×10^{-7}으로 식품을 구워서 섭취했을 때보다 발암 위해성이 10배 가량 낮다고 볼 수 있다(Table 6).

그러나 본 실험에서 연구된 시료는 우리가 보통 섭취하는 음식물중의 극히 일부분에 지나지 않으므로 실제 식품을 통해 노출될 수 있는 B[a]P량은 본 연구결과에서 얻은 예상 섭취량보다 최소한 10배 이상이 될 것으로 추정된다. 또한 식품 뿐만 아니라 물, 공기 등 환경 노출을 포함할 경우 B[a]P 노출로 인한 발암 위해성은 본 연구 결과에서 얻은 결과보다 약 10～100배 (1.73×10^{-4})으로 상향 조정될 수도 있다. 따라서 B[a]P의 노출에 최소화될 수 있는 방안책이 요구되며 식품의 섭취성향 및 가공법의 개선에서 뿐만 아니라 일반식품에서의 B[a]P의 허용 기준치의 설정도 이제는 고려해 봐야 할 때라고 생각한다.

국문요약

식품의 가열 시간별 B[a]P의 생성량을 Fluorescent detector를 이용한 HPLC법으로 측정한 결과 가열시간이 증가함에 따라 B[a]P의 생성량이 증가하였다. 그 생성량은 후라이팬에 20분 가열시 돼지고기 복부살(0.851 μg/kg), 쇠고기(0.632 μg/kg), 콩(0.604 μg/kg), 돼지고기 살코기(0.596 μg/kg), 꽁치(0.550 μg/kg), 쌀(0.302 μg/kg)의 순으로 나타났다. 위 식품으로부터 노출된 B[a]P의 1일 예상 섭취량은 쌀(1.240 μg/kg/day), 콩(0.296 ng/kg/day), 돼지고기 복부살(0.288 ng/kg/day), 꽁치(0.093 ng/kg/day), 쇠고기(0.048 ng/kg/day) 순으로 나타났다. 위의 결과로부터 식품을 후라이팬에 직접 가열시켰을 경우 B[a]P에 대한 발암 위해성은 백만명당 1.77명으로 나타났으며 이것은 삶아서 섭취하는 경우보다 약 10배 가량 높은 것으로 나타났다. 조리용구로 후라이팬에 의해 조리된 음식이 삶아서 조리한 경우보다 발암 위해성이 높았다. 본 연구에서는 일부 선정된 식품으로부터 섭취된 B[a]P의 양은 극히 일부에 지나지 않으며 식품의 열처리시 발생되는 여러 발암물질의 섭취를 고려할 때 발암 위해성은 10～100배 증가될 것으로 예측된다. 따라서 식품의 열처리시 발생되는 발암물질의 양을 최소화할 수 있는 방안과 허용기준치의 설정이 요구된다.

참고문헌

1. Macrae, R.: HPLC in Food Analysis. 2nd edition (1988).
2. Katsumi, T., Toshihiko, S. and Akira, T.: Food Analysis by HPLC. p. 697-711 (1988).
3. IARC: IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to man: Certain polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic compounds. *International Agency for Research on Cancer,* **3**, 91-136 (1973).
4. Levin, W.; Wood, A. W., Yagi, H., Dansette, P. M., Jerina, D. M. and Conney, A. H.: Carcinogenicity of benzo[a]pyrene 4.5-, 7.8- and 9.10-oxides on mouse skin. *Proc. Nat. Acad. Sci.,* **7**, 243-247 (1976).
5. Jay, H.L., Wiliam, J.B., Franco, B., Robert, F., Charles, R.G., Michael, K., Dietrich, S. and Giuseppe, V.: Patterns of lung cancer risk according to type of cigarette smoked. *Int. J. Cancer,* **33**, 569-576 (1984).
6. Mahmooda, S.K. and Marshall, W.A.: Persistence of benzo[a]pyrene metabolite: DNA adducts in lung and liver of mice. *Cancer Res.,* **44**, 97-101 (1984).
7. Badger, G.M., Donnelly, J.K. and Spotswood, T.M.: The formation of aromatic hydrocarbons at high temperature. *J. Chem.,* **17**, 147-156 (1964).
8. Ronald, C.P. and Morris, K.: Determination of atmospheric isomeric polycyclic arenes by thin-layer chromatography and fluorescence spectrophotometry. *Anal. Chem.* **47**, 1743-1748 (1975).
9. Marye, A.F. and Stuart, W.S.: Determination of Polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particulated matter by high pressure liquid chromatography coupled with fluorescence techniques. *Anal. Chem.,* **48**, 992-998 (1976).
10. Hluchan, E. and Jenik, M.: Determination of airborne polycyclic hydrocarbons by paper chromatography. *J. Chromatogr.,* **91**, 531-538 (1974).
11. 정상혁: 음용수중의 다환 방향족 수소 화합물에 대한 연구. 연세대학교 보건대학원 (1993).
12. Wille, E.M. and Stanley, P.W.: Determination of the solubility behavior of some polycyclic aromatic hydrocarbons in water. *Anal. Chem.,* **50**, 997-1000 (1978).
13. 손동헌, 김재한: 서울시 토사중 Benzo[a]pyrene의 함량에 관한 연구. 한국대기보전학회지, **5**, 12-20 (1989).
14. Blumer, M. and Youngblood, W.: Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils and recent sediments. *Science,* **18**, 53-55 (1975).
15. 김인숙: 지방가열시 Benzo[a]pyrene 생성에 관한 연구. 성신여자대학교 대학원, (1993).
16. Lijinsky, W. and Shubik, P.: Benzo[a]pyrene and other polynuclear hydrocarbons in charcoal broiled meat. *Science,* **145**, 53-55 (1964).
17. Malanoski, A.J. and Greenfield, E.L.: Survey of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked foods. *Journal*

of the A. O. A. C., **51**, 114-121 (1968).
18. Masanori, K. and Hueper, W.C.: Polycyclic aromatic hydrocarbons in roasted coffee. *Journal of the National Cancer Institute*, **24**, 463-469 (1960).
19. Hirotaka, O., Shinjiro, H., Ryoichi, T. and Takashi, K.: Dietary intakes of polycyclic aromatic hydrocarbons. *J. Fd. Hyg. Safety*, **25**, 35-40 (1984).
20. Obana, H., Hori, S., Tanaka, R. and Kashimoto, T.: 일본 위생시험법주해, (1990).
21. Bejoy, S.D. and Gordon, H.T.: Fluorescence detection in high performance liquid chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Anal. Chem.*, **50**, 967-973 (1978).
22. Gaylor, D.W. and Kodell, R.L.: Linear interpolation algorithm for low dose assessment of toxic substances. *J. Environ. Pathol. Toxicol.*, **4**, 305 (1980).
23. Obana, H., Hori, S., Tanaka, R. and Kashimoto, T.: Dietary intakes of polycyclic aromatic hydrocarbons. *J. Fd. Hyg. Safety*, **25**, 35-40 (1984).