

ORS-ICP-MS를 이용한 담배 연기의 중금속 성분 분석

조성일* · 지상운 · 황건중

KT&G 중앙연구원
(2008년 6월 3일 접수)

Determination of heavy metals in mainstream smoke by ORS-ICP-MS

Sung-Eel Cho*, Sang-Un Ji, Keon-Joong Hwang

KT&G Central Research Institute

(Received June 3, 2008)

ABSTRACT : In this study, we compared three different pretreatment methods, such as block digestion, microwave digestion and solvent injection, coupled with Octopole Reaction System(ORS)-ICP-MS was used for the quantification of heavy metals in mainstream smoke of 2R4F reference cigarette, and then evaluated those efficiencies in the recovery, repeatability and reproducibility. In all methods, volatile heavy metals, As, showed the highest CV value, and Cd showed the lowest one. However, the solvent injection method showed the most stable recovery rate and CV value of 2.36 %. This method showed also advantages in time-consuming and compatibility with ICP-MS system. This results demonstrate that solvent injection method can be recommended as a superior pretreatment procedure to be able to reduce contaminants and spectral interference as well as loss of the elements interested.

Key words : pretreatment method, Octopole Reaction System(ORS)-ICP-MS

담배 연기는 공기 속에 고체 또는 액체의 10 ~ 2,000 nm 크기 범위의 미립자가 분산되어 있는 에어로졸의 일종이다. 이러한 담배 연기의 생성은 잎담배의 열분해, 열합성, 응축, 증류 그리고 연소현상 등에 의해서 이루어지기 때문에 연소의 처음부터 끝까지 매우 복잡한 양상으로 일어난다. 담배 연기의 종류에는 주류연(mainstream smoke), 부류연(sidestream smoke) 그리고 환경담배연기(ETS, Environmental Tobacco Smoke)로 구분되어지며 현재까지 주류연에 대한 화합물의 종류는 약 4,800 여 성분(Green and Rodgman, 1996)으로

이루어진 것으로 발표되고 있고 부류연에 대해서는 이중의 약 10 %가 확인되었다.

1994년 호프만(Hoffmann) 박사에 의해 담배 및 담배 연기의 발암성 물질 40여가지에 대한 종류 및 함량이 발표된 이후로 담배 발암성에 대한 논란이 가속되고 있다. 따라서 담배관련 회사나 기관에서 이러한 발암성 물질에 대한 정확한 함량이 중요시 되면서 그에 따른 분석의 수요 또한 증가하고 있는 실정이다. Chen(2003)은 표준담배(ky2R4F)에 대해 6개 실험실에서 호프만 성분 44가지에 대한 분석방법 및 분석결과의 반복성과

*연락처 : 305-805 대전광역시 유성구 신성동 302 번지, KT&G 중앙연구원

*Corresponding author : KT&G Central Research Institute, 302 Shinseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-805, Korea (phone: 82-42-866-5542; fax: 82-42-866-0000; e-mail: 000000@ktng.com)

재현성을 비교 검토하였다. 그 결과를 살펴보면 대다수의 성분과는 상이하게 금속 성분의 분석 결과는 높은 변동계수(CV, %) 값(10 % 이상)을 나타내고 있으며 전처리 방법 및 측정 장비에서도 모두 다른 방법을 사용하고 있다. 이러한 결과를 토대로 판단해 볼 때 담배 연기 중 금속성분 분석은 다른 유기 성분과는 다르게 다양하고 여러 단계의 전처리과정을 통해 이루어지며 분석 결과에서도 많은 불확도 요인을 포함하고 있음을 알 수 있다. 지금까지 담배 연기 중 금속 성분 분석에 사용된 분석 기술은 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)(Krivan et al., 1994), total reflection X-ray fluorescence(TXRF)(Krivan et al., 1994), 에너지 분산 X선 형광분광법(Mishra et al., 1986), 중성자 방사화 분석법(Jenkins et al., 1985; 1971; Mishra et al., 1985; Wu et al., 1995), 양성자 여기 X선 방출법(Benner et al., 1989), 흑연로 원자흡수분광법(Rhoades and White, 1997) 그리고 시차펄스 양극벡전압전류법(Nitsch et al., 1991; Ivicic et al., 1985) 등이며 이러한 다양한 기술들 중 선택성은 분석 기술에 사용되는 분석 장비의 장단점과 검출한계에 의해 결정된다. 앞에서 언급한 기술 중 전처리 과정을 거쳐 분석이 이루어지는 장비의 경우 검출한계가 낮다는 장점이 있지만 전처리과정에서의 분석 성분의 오염 및 휘발 등의 단점을 갖고 있으며, 전처리과정 없이 직접 비파괴 분석을 하는 기술의 경우 매질에 대한 간섭과 높은 검출한계의 단점을 갖고 있다. 현재에는 유도결합 플라즈마 질량분석기를 이용한 분석이 주를 이루고 있으며 이 경우에는 낮은 검출한계와 높은 재현성을 나타내는 장점을 갖고 있지만 동일한 질량을 갖는 다원자 화학종들(polyatomic ions)의 간섭은 여전히 분석의 문제점으로 대두되고 있다. 최근 10년간 이러한 문제점을 해결하기 위해 octopole reaction system을 이용한 연구가 활발히 이루어졌으며 현재에는 이러한 system이 장착된 ICP-MS가 생산되어 생체 시료 및 환경시료 등 광범위한 시료 분석에 응용되고 있다. ORS기술은 ICP-MS 장비의 기본적인 골격을 유지하면서 interface와 quadrupole mass analyzer 사이에 multi-pole ion guide(쌍을 이루는

금속 봉으로 이루어져 있음)가 포함된 cell을 위치시켜 그 안으로 반응가스를 주입하고 압력이 가해져 cell 안으로 주입되는 이온들과 함께 충돌하고 반응을 일으킴으로써 간섭을 유발하는 화학종을 제거 분리하는 기술로 각 기기 제작 회사에 따라 DRC(dynamic reaction cell), ORC(octopole reaction cell) 또는 ORS 등으로 불리고 있다. Cell 안으로 주입되는 반응가스로는 현재까지 연구되어 오면서 여러 가지가 사용되었지만, 대표적으로 사용되는 가스는 He, H₂, NH₃, CH₄ 등이다. 이러한 가스를 이용하여 방해요인을 제거하는 원리는 크게 3가지로 반응, 충돌 분열 및 운동에너지 감소 등이 있는 것으로 알려져 있다(Turner et al., 1997; Baranov and Tanner, 1999; Neubauer and Vollkopf, 1999; Tanner and Baranov, 1999; Du et al., 2000; Koppelaar et al., 2004).

본 연구에서는 담배 연기 성분 중 극미량의 금속성분 분석에 있어서 전처리 과정에서 발생될 수 있는 분석 성분의 오염이나 휘발 및 손실을 최대한 줄이기 위해 isopropyl alcohol(IPA) 용액에 담배 연기 응축물을 포집한 후 ORS가 장착된 ICP-MS에 직접 주입하여 분석하였다. 그리고 이러한 용매 직접 주입 방법과 기존의 전처리 방법인 마이크로파 분해법 및 불록 장치를 이용한 분해 방법을 같이 수행하여 전처리 방법에 따른 결과의 재현성과 정확성을 검토하였으며, 이러한 비교 연구를 통하여 담배 연기 중 금속 성분 분석 기술들의 단점을 보완하고 새로운 분석방법의 응용성을 검토하고자 한다.

재료 및 방법

기기 및 시약

본 연구에 사용된 사용한 흡연장치는 정전기 포집장치(Borgwaldt, Hamburg, Germany)가 장착된 Borgwaldt 20-port 자동흡연장치(RM-20H)를 사용하였다. 내경이 24/40 mm이며 길이가 160 mm인 정전기 포집관은 오염의 위험성을 줄이기 위해 석영으로 제작되었으며 총입자상물질(Total Particulate Matter, TPM)을 포집하기 위해 사용하였다. 정량을 위해 사용된 ICP-MS는 Agilent

7500c(Agilent Technologies, Tokyo, Japan)를 사용하였으며, 본 장비의 표준 구성은 이전에 발표된 논문에 자세히 나타나있다(Leonhard et al., 2002). ICP-MS의 시료 주입부는 동축형 분무기와 냉각 이중 분무상자로 구성되어 있으며 시료 주입 속도는 연동 펌프를 사용하여 0.1 mL/min로 하였고, 니켈 sampler와 skimmer cone을 사용하였다. Cell 가스로는 99.9999 %의 고순도 수소(H₂)와 헬륨(He)을 사용하였으며, 주입은 유량계를 이용하여 조정하였고 연결 관은 오염을 방지하기 위해 스테인레스 강관을 사용하였다. ICP-MS의 실험 조건과 TPM의 포집효율은 각각 Table 1과 2에 나타내었다.

본 연구에서는 담배 주류연 중 중금속 성분의 분석과정에서 각기 다른 세 가지의 전처리 방법을 적용하였으며 각 전처리 방법에 사용된 장비는 마이크로파 분해장치와 블록을 이용한 분해장치(Block digestion)를 사용하였다. 마이크로파 분해장치는 CEM사의 MARS X를 사용하였으며

블록을 이용한 분해 장치는 DigiPREP(SCP SCIENCE, France)을 사용하였고 각각의 분해 조건은 Table 3과 4에 나타내었다.

본 실험의 분해산으로 사용된 질산은 에코리서치사(Korea)의 ultra-pure grade를 사용하였으며, 검정곡선 작성을 위한 표준용액은 Spex사의 분광 분석용 표준용액 1 mg/L을 희석하여 사용하였고

Table 2. Collection efficiency for mainstream smoke of ky2R4F reference cigarette using electrostatic precipitation

Parameters	
Smoking condition	ISO (Mean ± stdev)
Number of cigarette smoked	20
Puff count	8.50±0.09 (n = 5, CV(%) = 1.06)
TPM delivery (mg/cig)	9.49±0.12 (n = 5, CV(%) = 1.26)

Table 1. Optimum instrumental conditions for ORC-ICP-MS operation

<i>Plama parameters</i>	
Rf power	1500 W
Plasma gas flow rate	15 L/min
Auxiliary gas flow rate	1 L/min
Carrier gas flow rate	1 L/min
Sampler and skimmer	Nickel, 1 and 0.4 mm id
Ion lens setting	Optimised for best sensitivity of 10µg/L Li, Co, Y and Tl 1%(v/v) HNO ₃ solution
<i>Reactional/collision cell parameters</i>	
H ₂ gas flow rate	4 mL/min
Octapole bias	-13 V
Q _p bias	-11.5 V
<i>Data acquisition parameters</i>	
Points per peak	3
Integration time (per point)	0.3 s
Replicates	3

Table 3. Program of the microwave digestion system

First digestion program					
Step	Type	Temp. (°C)	Power (%)	Ramp (min)	Dwell (min)
1	Time to temp	140	60	10	10
2	Time to temp	180	60	10	10
3	Cooling	---	---	---	30
Secondary digestion program					
Step	Type	Temp. (°C)	Power (%)	Ramp (min)	Dwell (min)
1	Time to temp	140	60	10	10
2	Time to temp	180	60	10	10
3	Time to temp	200	60	10	20
4	Cooling	---	---	---	30

Table 4. Program of the Block digestion system

First digestion program				
Step	Type	Temp. (°C)	Ramp (min)	Dwell (min)
1	Time to temp	80	30	180
3	Cooling	---	---	30
Secondary digestion program				
Step	Type	Temp. (°C)	Ramp (min)	Dwell (min)
1	Time to temp	80	30	30
2	Time to temp	100	30	120
3	Time to temp	130	30	120
4	Cooling	---	---	30

실험 전 과정에서 사용된 증류수는 specific resistance가 18.2 MΩ/cm 이상의 Millipore Mill-Q system을 통과한 탈 이온수를 사용하였다. 용매 직접 주입에 사용된 IPA는 ultra-pure grade를 사용하여 용매 주입장치(solvent kit)에서 산소와 함께 주입하였다.

실험 과정

담배의 흡연과정은 표준담배 ky2R4F 20 개피를 이용하여 ISO의 권고 사항인 22±1 °C와 상대 습도 60±3 %에서 48시간 조화하여 ISO 흡연조건

으로 흡연하였다. 용매 직접 주입 방법의 전처리 방법은 위의 조건에서 20 개피를 흡연하여 정전기 포집관에 포집된 TPM을 15 mL의 IPA 용매로 두 번 씻어내었다. 그런 다음 총 30 mL를 직접 주입하여 분석하였으며 마이크로파 분해법과 블록 장치를 이용한 분해법은 용매 직접 주입방법과 동일하게 흡연하여 추출한 TPM을 앞에서 언급한 조건(Table 3, 4)에 의해 전처리하였다. Fig. 1은 각 전처리 방법의 단계별 도식도이며 소요시간을 계산하여 나타내었다.

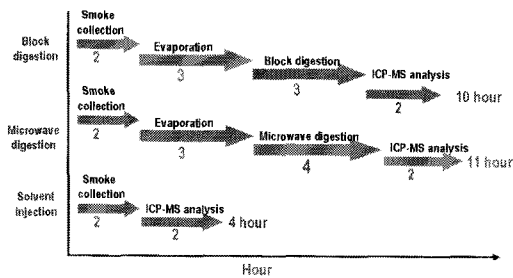


Fig. 1. Pretreatment procedure of block digestion, microwave digestion and solvent injection.

Table 5. Polyatomic ion interference derived from the complicated matrix

Isotope	Principal interfering species
⁵² Cr	³⁶ Ar ¹⁶ O, ⁴⁰ Ar ¹² C, ³⁵ Cl ¹⁶ OH
⁵³ Cr	³⁶ Ar ¹⁶ OH, ⁴⁰ Ar ¹³ C, ³⁷ Cl ¹⁶ O, ³⁵ Cl ¹⁸ O
⁵⁸ Ni	⁴⁰ Ar ¹⁸ O
⁷⁵ As	⁴⁰ Ar ³⁵ Cl
⁷⁸ Se	⁴⁰ Ar ³⁸ Ar, ³⁸ Ar ⁴⁰ Ca
⁸⁰ Se	⁴⁰ Ar ⁴⁰ Ar

결과 및 고찰

포집효율 및 다원자 화학종의 간섭제거

금속 성분의 분석에 있어서, 담배 연기의 포집 효율은 입자상 물질의 경우 정전기 포집 장치의 포집 효율에 따라 좌우된다. 정전기 포집 장치의 포집 효율은 전압, 전류, 담배 연기의 흐름속도와 같은 다양한 요인에 의해서 의존되며, 연기 입자의 크기, 모양, 반전기 성질 그리고 질량에 따라서 영향을 받는다. TPM 이행량 (mg/cig) 값이 9.5로 캠브리지 필터를 이용하여 포집한 결과 값 (Chen and Moldoveanu, 2003)과는 상당한 차이가 있었다. 이것은 포집방법에 따른 포집효율의 차이로 판단되며 재현성 측면에서는 TPM 이행량 (mg/cig)이나 흡연 수의 변동율은 모두 약 2% 미만의 CV(%값)를 나타내었다.

ICP-MS를 이용한 분석에서는 알곤(Ar) 플라스

마와 복잡한 매트릭스에서 유발되는 화학종간의 결합을 통한 동일한 질량을 같은 다원자 화학종의 생성에 의한 간섭이 크게 작용한다. 본 연구에서는 매트릭 효과가 없는 표준용액을 주입하여 얻은 검량선을 통해 매트릭 효과가 작용하지 않는 조건에서도 알곤에 의한 다원자 화학종의 영향을 실험하였다. Fig. 2는 크롬의 검량선을 일반 모드와 헬륨(He) 모드에서 비교하였다. 헬륨 모드에서는 헬륨에 의한 충돌에 의해 다원자 화학종의 제거가 현격히 나타나고 있으며 일반 모드에서는 다원자 화학종과 오염 그리고 random background에 의한 바탕선의 상승이 나타났다. 이러한 상승은 특히 낮은 농도(0.1~0.5 ng/mL)의 측정에서 많은 오차가 발생할 수 있다.

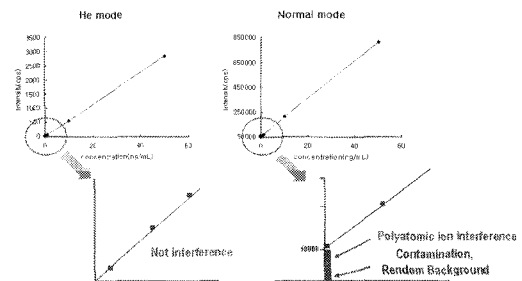


Fig. 2. Comparison of Cr calibration curve : He and normal mode.

전처리 방법에 따른 표준담배 ky2R4F 분석 결과 비교

Table 6은 전처리 방법에 따른 표준담배 ky2R4F 담배의 분석결과를 나타내었다. 블록장치를 이용한 전처리 방법의 분석결과에서는 카드뮴의 분석결과가 변동계수(CV, %) 값 4.18 %로 우수한 반복성을 나타내었으며, 다른 원소는 이전의 발표된 분석결과와 비슷하게 변동계수 값 10 % 이상의 높은 값은 나타내었다. 다른 전처리 방법과 비교하여 블록을 이용한 전처리방법은 카드뮴의 값이 우수한 반복성을 보였지만 결과 값의 비교에서는 10 ng/cig 정도의 손실을 나타내었다. 일반적으로 많이 사용하는 마이크로파 분해법은 휘발성 원소의 손실을 최대한 줄일 수 있으며 반

Table 6. Comparison of analytical data of ky2R4F reference cigarette as a function of pretreatment techniques

		Cr	Ni	As	Se	Cd	Pb
Block digestion	Mean	2.36	-	0.84	-	33.65	12.40
	CV (%)	23.03	-	16.53	-	4.18	10.84
Microwave digestion	Mean	4.04	-	2.06	-	41.94	22.18
	CV (%)	19.14	-	4.40	-	2.54	24.27
Solvent injection	Mean	-	-	3.67	-	40.36	10.40
	CV (%)	-	-	4.82	-	2.36	7.59
Other lab.	Mean	-	-	3.52	-	45.11	12.33
	CV (%)	-	-	5.50	-	7.72	6.97

- : Limit of Detection, 0.05 ng/cig

복성과 재현성 측면에서도 우수한 결과를 얻는다고 보고되어 있다. 본 연구의 분석 결과에서도 휘발성 원소인 비소(As)의 변동계수 값이 4.40 %로 다른 전처리방법과 비교하여 가장 우수한 반복성을 나타내었으며 카드뮴 또한 변동계수 2.54 %로 우수한 반복성을 보였다. 그러나 크롬과 납의 경우 변동계수가 19.14 %와 24.27 %로 나타나 반복성과 정확성 측면에서 단점을 나타내었다. 용매 주입장치(organic kit)를 이용한 용매 직접 주입 방법의 경우 전처리 과정의 간단함과 측정원소의 손실 및 외부로부터의 오염의 가능성을 최대한 줄일 수 있으므로 측정 결과 역시 모든 원소에서

우수한 반복성과 재현성을 나타내었으며 다른 전처리 방법과 다르게 크롬이 검출되지 않았다. 이러한 결과는 크롬의 경우 전처리 과정에서 외부로부터의 오염 가능성이 높은 것으로 판단된다. 그리고 휘발성 원소인 비소의 경우도 안정된 결과값을 보였으며 반복성이 가장 낮은 납의 경우에도 다른 전처리방법과 비교하여 변동계수 값 10 % 이하의 안정된 결과값을 나타내었다.

각각의 전처리 방법에 따른 결과 값과 다른 외국 전문분석 기관의 분석 결과 값의 종합적인 비교에서 용매 직접 주입 방법은 가장 유사한 결과 값을 나타내었으며 휘발성 원소(비소)의 결과 값

Table 7. Recovery test of ky2R4F reference cigarette as a function of pretreatment techniques

	Cd			Pb		
	Original Conc.(ng/mL)	Mean value(ng/mL)	Recovery (%)	Original Conc.(ng/mL)	Mean value(ng/mL)	Recovery (%)
Block digestion	6.73	8.91	86.50	2.48	4.91	76.90
Microwave digestion	8.39	11.03	93.17	4.43	7.98	120.94
Solvent injecton	13.54	16.10	96.75	3.47	6.35	96.54

에서도 가장 우수한 반복성을 나타내었다.

회수율 비교

Table 7은 각각의 전처리 방법에 대한 카드뮴과 납의 회수율 결과를 나타내었다. 블록을 이용한 전처리 방법의 결과 공기 중에 열린 상태로 분해과정이 진행됨으로 측정원소의 손실이 발생되며 마이크로파 분해법에서는 카드뮴의 경우 안정된 회수율 93.17 %를 나타내었지만 납의 경우 120.94 %로 높은 회수율을 나타내었다. 이러한 결과는 전처리과정 중의 외부로부터의 오염 및 분해과정에 사용하는 마이크로파 분해용기의 내부 기공에서 전 분해과정에서 오염된 물질의 방출 여부를 고려해야 될 것으로 판단된다. 용매 직접 주입 방법의 경우 96.75 %(카드뮴) 그리고 96.54 %(납)의 안정된 회수율을 나타내었으며 이것은 전처리 과정의 감소에 의해 손실과 오염의 가능성이 배제된 것으로 판단된다.

결 론

본 연구에서는 담배 연기성분 중 극미량의 중금속성분을 분석하기 위해 전처리 과정에서 발생할 수 있는 오염, 휘발 및 손실을 최대한 줄이기 위해 isopropyl alcohol(IPA) 용액에 담배 연기 응축물을 포집한 후 ORS가 장착된 ICP-MS에 직접 주입하여 분석하였다. 그리고 이러한 방법의 응용성을 검토하기 위해 기존의 전처리 방법인 블록을 이용한 전처리 방법과 마이크로파 분해법을 이용한 전처리 방법을 동일하게 수행하여 비교 검토하였다. 그 결과 용매 직접 주입 방법이 다른 전처리 방법과 비교하여 높은 반복성과 우수한 정확성을 나타내었으며 외국 전문분석기관의 결과와 비교에서도 가장 유사한 결과 값을 나타내었다.

ORS-ICP-MS와 용매 직접 주입 방법과 같은 새로운 전처리 방법의 응용은 기존 분석법에서 발생하는 동일 질량의 다원자화합종의 간섭과 여러 단계의 전처리에서 발생하는 불확도 요인을 개선하고 신속하고 정확한 분석 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되며, 앞으로 담배 연기 중 금속

성분의 분석에 적합하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- Green, C. R. and Rodgman, A. (1996) The Tobacco Chemists' Research Conference : A half century forum for advances in analytical methodology of tobacco and its products, *Recent Adv. Tob. Sci.* 22 : 131-304.
- Krivan, V., Schneider, G., Baumann, H. and Reus, U. (1994) Multi-element. characterization of tobacco smoke condensate. *Fresenius J. Anal. Chem.* 348: 218.
- Mishra, U. C., Shaikh, C. N. and Sadasivan, S. (1986) Determination of some toxic trace elements in Indian tobacco and its smoke. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 102: 27.
- Jenkins, R. W., Goldey, C. and Williamson, T. G. (1985) Neutron activation analysis in tobacco and cigarette smoke studies: 2R1 cigarette composition, smoke transference and butt filtration. *Beitr Tabakforsch Int.* 13: 59.
- Jenkins, R. W., Newman, R. H. and Ikeda, R. M. (1971) Determination of trace quantities of iodine in different sorts of tobacco and biological standard reference materials by rapid radiochemical separation. *Anal Lett.* 4: 451.
- Mishra, U. C. and Shaikh, C. N. (1985) Determination of trace elements in total particulate matter of cigarette smoke by instrumental neutron activation analysis. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 89: 545.
- Wu, D., Landsberger, S. and Larson, S. M. (1995) Determination of the elemental distribution in cigarette components and smoke by instrumental neutron activation analysis. *Environ. Sci. Technol.* 29: 2311.

- Benner, C. L. Bayona, J. M. etc. (1989) Fast determination of nicotine and 3-ethenylpyridine in indoor environments. *Environ Sci Technol.* 23: 688-699.
- Rhoades, C. B. and White, R. T. (1997) Slurry sampling for the determination of arsenic, cadmium, and lead in mainstream cigarette smoke condensate by graphite furnace-atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma-mass spectrometry. *J. Anal. At. Spectrom.* 12: 387.
- Nitsch, A., Kalcher, K., Greschonig, H. and Pietsch, R. (1991) Heavy Metals in Tobacco Smoke II: Trace Metals Cadmium, Lead, Copper, Cobalt and Nickel in Austrian Cigarettes and in Particle Phase and Smoke Gas. *Beitr Tabakforsch Int.* 13: 19.
- Ivic, N., tomic, L. and Simeon, V. (1985) Multi-Element Analysis of Tobacco and Smoke Condensate by Instrumental Neutron Activation Analysis and Atomic Absorption Spectrometry. *Arh. Hig. Rada. Toksikol.* 36: 157.
- Turner, P., Merren, T., Speakman, J and Haines, C. (1997) Interface studies in the ICP-mass spectrometer. *Spec. Publ. R. Soc. Chem.* 202: 28.
- Baranov, V. I. and Tanner, S. D. (1999) Fundamental Processes Impacting Performance of an ICP-MS Dynamic Reaction Cell. *J. Anal. At. Spectrom.* 14: 1133.
- Neubauer, K and Völlkopf, U. (1999) The benefits of a dynamic reaction cell to remove carbon- and chloride-based spectral interferences by ICP-MS. *At Spectrosc.* 20: 64-68.
- Tanner, S. D. and Baranov, V. I. (1999) Theory, Design, and Operation of a Dynamic Reaction Cell for ICP-MS. *At Spectrosc.* 20: 45-52.
- Du, Z and Houk, R. S. (2000) Attenuation of metal oxide ions in inductively coupled plasma mass spectrometry with hydrogen in a hexapole collision cell. *J. Anal. At. Spectrom.* 15: 383-388.
- Koppenaar, D. W., Eiden, G. C. and Barinaga, C. J. (2004) Collision and reaction cells in atomic mass spectrometry: development, status, and applications. *J. Anal. At. Spectrom.* 19: 561-570.
- Leonhard, P., Pepelnik, R., Prange, A., Yamada, N and Yamada, T. (2002) Analysis of diluted sea-water at the ng L⁻¹ level using an ICP-MS with an octopole reaction cell. *J. Anal. At. Spectrom.* 17: 189-196.
- Chen P. X. and Moldoveanu, S. C. (2003) Mainstream smoke chemical analyses for 2R4F Kentucky reference cigarette. *Beitr Tabakforsch Int.* 20: 448-458.