

담배의 주류연과 부류연성분의 분포

박 기 현*

한국인삼연초연구소

요 약

담배의 부류연에 나타나는 여러성분에 대한 현재까지의 연구결과를 문헌을 토대로 요약정리하여 본다. 부류연에 나타나는 연기성분의 함량을 주류연과 비교하고 부류연을 포집하기 위해 현재까지 사용된 실험설비와 environmental tobacco smoke(ETS)의 구성에 관한 부류연 자료의 중요성을 논의한다.

부류연에 대한 연구 및 주류연과 부류연의 양과 분포에 대한 연구는 연기발생 및 담배흡연시 일어나는 기작에 대한 지식을 얻는데 유용한 자료를 제공한다. 그러나 이 자료와 계산되어진 비율은 ETS의 양적구성을 밝히는 데는 전혀 연관성이 없다.

서 론

CORESTA에 의하면 주류연(mainstream)이란 담배, 켈런 혹은 파이프를 흡연할때 이들의 끝부분 즉 잎에 닿는 부분에 존재하는 연기를 말한다. Lipp⁽⁵⁰⁾에 의하면 부류연(sidestream)의

95%는 흡연중지중 담배의 연소끝부분에서 방출되는 물질로 구성되어 있다. 추가적인 물질은 흡연 후 담배에서 나오는 smoulder stream, 연소끝부분 및 흡연시 종이를 통해 방출되는 물질을 의미하는 glow stream 및 흡연중지시간중 담배종이를 통해 확산되는 물질을 의미하는 dif-

* 이 총설은 제44차 TCRC(미국개최) 심포지움에서 발행한 "Recent Advances in Tobacco Science(Vol. 16)"에서

Distribution of Mainstream and Sidestream Cigarette Smoke Components(H. Klus, p.189)을 번역한 것임.

fusion stream으로 부터 야기된다.

부류연의 주된 흥미는 ETS에 의한 실내공기의 오염인 피동적인 흡연에 대한 것이다. ETS는 부류연과 발산된 주류연으로 부터 비롯된다. 부류연은 unaged ETS의 약 87%를 기여하고 나머지 13%는 아마도 발산된 주류연으로 부터 야기된다.⁶⁰⁾

이 총설은 단지 담배에 국한되었다. 연무질인 담배연기는 증류 및 승화 그리고 열분해, 열합성 및 연소등의 복잡한 협력작용에 의해 비롯된다. 질적 및 양적 구성은 담배잎(tobacco rod)의 성질과 담배의 작열부위(glowing cone of the cigarette)의 온도에 의해 결정되어진다. Wynder과 Hoffmann⁸⁸⁾에 의하면 흡연중 작열부위의 최고온도는 900°C를 넘는다고 한다. 흡연중지중 이온도는 600°C정도로 떨어진다.

흡연사이에 발생하는 부류연은 급격히 감소하는 공기에 의해 생긴다. 그러므로 속성되지 않고 회석되지않은 부류연은 주류연보다 산소부족으로 야기되고 담배성분의 열분해로 야기되는 산물을 많이 함유한다. 따라서 부류연은 주류연과 상당히 다르다.

주류연과 부류연의 차이에 대한 시사는 Wenusch⁸⁵⁾에 의해 처음으로 발견되어졌는데 그는 터기담배잎으로 만든 담배의 주류연은 약한 산성반응을 일으켰고 반면 부류연은 약한 알카리 반응을 일으켰다는 것을 증명하였다. 같은때 Wenusch는 이다른 pH값은 흡연시와 흡연중지 시간중에 연소조건에 의존된다는 것을 또한 논증하였다. 그는 또한 담배작열부위에 공

기를 붙어줄때 부류연의 pH가 감소하면서 주류연의 pH에 흡사해지는 것을 논증하였다.

부류연의 condensate, nicotine ammonia 및 pyridine derivative의 함량에 대한 초기 자료들은 Wenusch⁸⁶⁾, Pyriki⁶⁹⁻⁷²⁾ 및 Muller와 Moldenhauer⁵²⁾에 의해 발표되었다. 그러나 실험조건과 흡연방법 그리고 그 당시 분석시약등에 기인하여 그들은 주류연과 부류연의 여러 연기성분의 발생과 분포에 대해 정확하고 재현할 수 있는 자료를 얻기위한 넓은 연구는 행할 수 없었다. Neurath등에 의해 소위 smoking-patron이 1964년 제안됨으로서 화학분석을 위한 부류연의 양적 및 재현성있는 포집이 가능하게 되었다.

부류연의 포집을 위한 장치고안

부류연의 포집을 위해 제안되어 사용된 새로운 장치의 예를 Table 1에 요약한다. 이 고안 장치들은 원래의 형태로 사용되어지기도 하였고 또한 다른 사람들에 의해서 수정된 형태로 사용되어지기도 하였다.

Neurath^{53,54)}등에 의해 개발된 포집장치는 외부 자켓을 통해 순환수를 이용하여 냉각시킬 수 있다. 그들은 부류연포집을 위해 초당 20에서 25ml의 포집율을 제안하였다. Brunemann 및 Hoffmann⁶⁾은 담배의 균일한 연소를 위해 Neurath등의 장치를 수정하였다. Chamber에 유입되는 공기는 배전기를 통과함으로 공기는 담배 전체를 통과할 수 있었다. 공기주입율은 초당 25ml였다. 부류연에 대한 많은 연구가 이 수정된

Table 1. Devices used for collection of cigarette sidestream smoke

Collection system	Reference
Cylindrical glass tube	PYRIKI (65~72)
Bell-shaped glass catcher	MULLER & MOLDENHAUER(52)
NEURATH Chamber	NEURATH & EHMKE(55)
Modified NEURATH collector	BRUNNEMANN & HOFFMANN (6)
JOHNSON chamber	JOHNSON et al.(42)
Hoods	HARRIS & HAYES(29)
Fishtail-chimney	PROCTOR et al. (68)

Neurath포집기를 이용하여 이루어졌다. Johnson 등은 Pyriki등에 의해 사용된 포집기를 연상시키는 vertical cylindrical chimney⁴²⁾를 이용하였다⁷¹⁾. 상용될만한 시스템이 Houseman³⁶⁾에 의해 사용되었는데 이 시스템에서 담배는 시린더의 중앙에 수평으로 위치하고 공기는 분당 1.2리터의 주입율로 수직으로 통과하였다. Browne, Keith 그리고 Allan⁵⁾은 Johnson이 사용한 장치⁴²⁾와 흡사한 장치를 사용하였다. 그러나 주입율은 분당 5.9리터였다. 1983년 Norman등⁵⁹⁾은 비록 큰 부피이기는 했지만 Neurath와 Ehmke⁵⁶⁾에 의해 고안된 장치와 흡사한 수평포집장치를 사용하였다. 이 장치는 담배의 주류연과 부류연의 nitrogen oxide와 hydrogen cyanide의 근원을 연구하는데 사용되었다. Sakuma와 그의 동료들은^{75,76,77)} 연기가 벽에 축적되는 것을 최소화하기 위해 특별히 고안된 배형태를 가진 장치를 이용하여 주류연 및 부류연사이에서 산성, 염기성 및 비등점이 높은 화합물의 분포를 연구하여 일련의 논문을 발표하였다.

여러 연구자의 제안에 의해 다른 크기와 새로 고안된 뚜껑이 연소담배위에 씌여졌다. Harris와 Hayes²⁹⁾는 한번에 담배 20개의 부류연을 포집할 수 있는 부류연 포집시스템을 개발하였다. 회전상단이 부착된 흡연기가 사용되어졌다. 각 상단은 부류연을 포집하기위해 담배의 연소끝부분에 씌여졌다. 그후 smoke-air stream은 적당한 포집시스템으로 통과하여졌다. 담배 한개에 대한 flow rate는 분당 약 1.6리터였다. 한개의 담배로부터 부류연의 포집을 위해서만 고안된 위에 기술한 시스템과는 달리 Harris와 Hayes²⁹⁾는 부류연을 대량포집하는데 적절한 장치를 제안하므로써 부류연의 미량성분들의 연구를 가능케 하였다.

Chortyk와 Schlotzhauer¹²⁾은 시판되는 회전상단이 부착되고 30개의 담배창구가 있는 흡연기를 간단하게 수정하여 주류연과 부류연을 포집하고 15개까지의 담배를 흡연할 수 있는 장치를 발표하였다. 원래의 흡연기에서는 담배가 회전반에 수평하게 나와 있다. 분당 50리터의 공

기주입율이 선택되어졌다. 저자에 따르면 이러한 상태에서 부류연의 포집은 불가능하다. 따라서 그들은 carousel위로 담배를 회전하여 jar나 chimney로 에워싸는 것을 가능케하는 유리로 만든 담배대를 고안하였다. Chimney 그자체 또한 유리로 만들었고 적당한 포집시스템과 병행하여 사용하였다. 그들은 이 수정된 흡연장치는 전체 무게와 각 연기성분에 대한 주류연과 부류연의 재현성있는 condensate값을 준다고 주장하였다. 위 연구자들에 의해 선택된 흡연조건하에서 시판 필터담배 주류연의 FTC 타르 수율은 수정된 흡연시스템에서 얻어진 값과 견줄만하였다. 그러나 부류연분석에 있어 주문제는 담배연소의 특징을 수정하지 않고 샘플을 포집하는 것이었다. 위 연구자들^{12,13)}의 자료에 의하면 그들의 장치가 이러한 요구를 충족하는지에 대해서는 충분히 논증되지 않았다.

Jermini등⁴⁰⁾은 환경조건때문에 담배연소의 특징을 수정하는 것을 피하기 위해 30m³부피의 완전히 봉한 chamber 혹은 272리터 부피의 장갑상자에서 담배를 흡연시켰다. Brunnemann, Yu와 Hoffmann⁸⁾은 부류연의 휘발성 N-nitrosamine연구에서 장갑상자가 또한 이용되어졌다. 이에 맞먹는 장비부품이 Brunnemann, Fink와 Moser¹⁰⁾에 의해 선택되었다. 그러나 신선한 담배연기의 화학 활성도를 고려할때 샘플채취중 부류연의 질적 그리고 양적구성의 변화를 배제할 수는 없다.³⁾

위에 기술된 모든 특수고안장치들은 이것들에 관련된 실험에 관한한 이점을 가지고 있다. 흡연중 담배주위에 공기주입이나 chamber의 고안 그 자체 등과 같이 연구자들에 의해 선택된 특수 조건들은 주류연과 부류연의 구성 및 수율을 결정한다. 담배의 정상연소에 영향을 미치지 않는 조건을 사용하고저 하는 시도가 행해졌다. 비교연구를 위해서 몇몇 연구자는 주류연의 타르 그리고 부류연 포집시스템과 함께 그리고 이 시스템없이 흡연된 담배의 nicotine값을 사용하였다. 값들은 견줄만 한 것이어야 한다. 그러나 온도와 상대습도가 흡연중에 일정하지

않다는 것을 수정된 Neurath chamber에서 알 수 있다. Chamber의 sidestream 출구에서 90°C까지의 온도가 측정되어 질 수 있다. 담배의 smouldering에 의해 발생하는 상대습도는 100까지 증가하고 chamber의 벽에 물이 응축된다. 그러므로 국제표준에 의하면 smoking 그 자체는 담배의 분석흡연과 견줄만한 것이 못된다. 예로 nitrosamine등의 값이 높은 쪽으로 나타나는 경향이 있다는 몇몇 지적이 있다. 다른 연구자들에 의해 제안된 장치에서도 이러한 현상이 일어난다는 것을 배제할 수는 없다. 아울러 이미 서술된 어느 장치도 부류연의 관례적인 분석에 적합하지 않은것 같다.

이러한 문제들을 극복하기위하여 Proctor등⁶⁸⁾은 소위 fishtail-chimney라 불리는 부류연포집을 위해 고안한 새로운 장치를 제시하였다. Fig. 1은 이 장치의 원형태를 보여준다. 이 장치의 고안자들에 따르면, 표준흡연장치에 쉽게 적용될 수 있고 일상측정에 적합한 rate에서 주류연과 부류연을 복합적으로 동시에 분석할 수 있다. 아울러 이 장치는 자동 butt length determination의에도 담배의 점화와 삽입을 쉽게해 준다. Chimney는 담배를 완전히 감싸지 않고 담배위에 위치한다. 연기는 분당 2리터의 비율로 chimney에 빨아올려진다. 담배에 linear flow rate가 주어진다.

Adaptor to Cambridge Filter

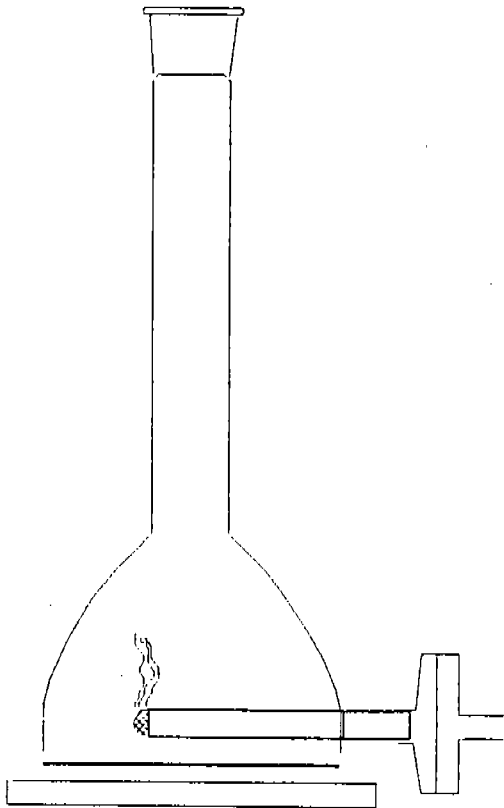


Fig. 1. Fishtail Chimney according to PROCTOR et al⁶⁸⁾

Fishtail-chimney는 CORESTA/ETS Task Force에 의해 정리된 collaborative tests에서 조사되었다. 장치로부터 연기유출을 줄이고, 120mm 길이까지의 담배분석을 가능케하고, mainstream delivery을 유지하는데 적당한 flow rate를 선별하기위해서 몇몇 수정이 제시되었다. 1989년 리치몬드에서 개최된 제43차 담배화학자연구회의에서 Piade등⁶⁶⁾은 장치밖에서 흡연되는 것과 정확히 같이 장치안에서도 흡연되어지는 것을 확실히하는 부류연 포집의 실험조건 정의에 대한 논문을 발표하였다.

1989년 9월 인터란켄에서 열린 CORESTA Smoke Study Group Meeting에서 Task Force는 collaborative tests의 결과를 토대로 아래와 같은 결론을 얻었다.

- Chimney를 사용하여 얻은 mainstream results의 분산은 chimney를 사용하지 않을때와 흡사하다.

- Mainstream results의 분산은 기대치보다 크다.

- 앞으로의 연구에서 조건들은 좀더 엄밀하게 조정되어야만 한다.

아울러 Green²³⁾은 fishtail-chimney 및 Kentucky IR4F 표본담배를 environmental chamber에서 흡연시켜 다른 세 상대습도의 영향에 대한 자료를 제시하였다. 이 자료들은 잘 알려진 사실인 환경조건이 담배연기 전달에 미치는 영향을

확인하였다. 아울러 다른 부류연 포집시스템을 이용하여 얻은 부류연 자료들이 a free smouldering cigarette의 연기방출과 상응하지 않다고 암시하였다.

주류연과 부류연사이의 성분분포

지금까지 주류연과 부류연사이의 성분분포에 관한 여러총설이 출판되었다. 1982년 Klus와 Kuhn⁴⁸⁾은 약 100여개의 담배연기 화합물의 주류연과 부류연 자료를 발표하였다. 1986년 담배연기에서 동정된 3800여 가지가 넘는 화합물 중 약 300에서 400여개가 주류연과 부류연에서 측정되었다^{58,84)}. Sakuma 등^{75,76,77)}의 연구는 이 분야의 발전에 크게 공헌하였다. 이들은 GLC/MS를 이용하여 주류연과 부류연사이의 acidic compounds, bases 그리고 middle 및 higher boiling components의 분포를 연구하였다.

Table 2는 필터가 없는 담배로 부터 채취된 신선한 회석되지않은 주류연과 부류연의 물리화학적 척도를 비교한 것이다. 표에 있는 자료들은 발표한 학자들이 다르고 다른 형태의 담배가 이용되었고, 다른시기에 측정되었으므로 현대 plain cigarettes와 직접적인 비교를 할때 주의를 하여야만 한다. 아울러 다른 형태의 sidestream sampling units가 사용되어졌다.

Neurath와 Horstmann⁵⁴⁾에 따르면 한 plain cigarette를 10 puff하므로서 발생하는 주류연을 형성하는데는 20초가 요구되고 tobacco 347mg을 소비한다고 한다. 부류연 형성의 경우에는 cigarette testing의 표준조건하에 같은 담배를 사용하였을때 550초가 요구되고 411mg의 blend가 소비된다. Johnson 등⁴²⁾은 흡연사이의 흡연중지시간에 소비되는 담배의 양은 담배잎의 종류에 크게 좌우된다고 하였다. 주류연과 부류연이 형성될때 최고온도에 관한 첫번째 자료는 Wynder과 Hoffmann⁸⁸⁾에 의해 발표되었다. 좀 더 상세한 연구결과는 Baker¹²⁾에 의해 제시되었다.

1934년 Wenusch⁸⁵⁾는 주류연과 부류연의 pH가 차이를 나타낸다고 발표하였다. Brunnemann과 Hoffmann⁶⁾에 따르면 미국산 혼합담배에서 주류연의 pH는 6.0과 6.5사이인 반면 부류연의 pH는 6.7과 7.5사이이다. 그들은 Wenusch의 연구결과를 확인하였다.⁸⁵⁾ Klus, Begutter 그리고 Uitsch⁴⁷⁾는 burley 및 bright tobacco로 만들어진 담배에서 비슷한 결과를 얻었다. 그러나 Braumann과 Elmenhorst는⁴⁾ 담배연기의 pH측정방법을 비평하였다. Whole smoke에서 pH-electrode를 사용하여 pH의 직접 측정은 측정시스템의 한계때문에 엉뚱한 결과를 초래할 수도 있다.

Table 2. Physicochemical characterization of unaged, undiluted mainstream(MS) and sidestream(SS) cigarette smoke.

	MS	SS	SS/MS	Reference
Tobacco burned *), mg	347	441	1.3	(54)
Duration of smoke production *), sec.	20	550	27.5	(54)
Temperature during formation, °C	~900	~600		(1, 2, 88)
Particle mean diameter, µm	0.1-0.25	0.1-0.32		(37,46)
Number of particles per cigarette	10.5×10 ¹²	3.5×10 ¹²		(46)
pH of tobacco smoke**)	5.6-6.5	6.6-8.1		(14, 42, 43)

*) Plain cigarette of 70mm length, European blend

***) Plain cigarette US-Blend¹⁴⁾, plain cigarettes, European blend, and with Bright-, Turkish- and Burley-filler.

결과가 질적으로는 정확할지 모르나 정확한 pH에 대한 자료는 조심해서 받아들여야 한다.

Plain cigarette의 주류연과 부류연의 particle의 수에 관한 자료는 Keith와 Derrick⁴⁶⁾에 의해 발표되었고, particle size의 분포에 대한 자료는 Keith와 Derrick⁴⁶⁾, Carter와 Hasegawa¹¹⁾, McCusker^{15,16)}, Hiller³²⁾, Okada⁶¹⁾ 및 그외 다른 학자들^{37,39)}에 의해 발표되었다. Kieth와 Derrick은 particle size 분포에 대한 smoke aerosol의 성숙의 영향에 대해 처음으로 지적하였고, aerosol properties를 시간의 경과에 따라 변환시키는 조건 및 기작은 Baker²⁾, Ishizu³⁹⁾ 그리고 Ingebrethsen³⁷⁾에 의해 논의되었다. 주류연과 부류연

을 포함하는 연무질인 담배연기에 대한 총설이 Ingebrethsen³⁸⁾에 의해 발표되었으며 이 저자는 particle size 분포의 측정방법에 대해 비판론을 펼쳤다.

Table 3은 필터가 없는 담배의 주류연과 부류연에서 발생하는 것으로 알려진 몇몇 선별된 물질과 주류연과 부류연에서 이들 물질들의 비율의 범위에 대한 개관을 제시한다. Johnson등은 smoulder에서 puffing때 보다 1에서 4배가량의 tobacco가 탄다는 것을 보고하였고⁴²⁾ Neurath와 Horstmann⁵⁴⁾은 sidestream/mainstream(SS/MS) tobacco consumption ratio가 불과 1.2라고 보고하였다. Particulate matter 그리고 니코틴

Table 3. a. Distribution of some selected constituents between sidestream and mainstream smoke from plain cigarettes—Components in the gas-and semivolatle phase.

Substance	MS	SS/MS	Reference
O ₂ , vol. %	12~16	~0.1	(2)
N ₂ , mg/Cig. *),	<1	>3	(44)
Carbon monoxide, mg/Cig.	22	2.5	(42)
Carbon dioxid, mg/Cig.	50	9	(42)
Water, mg/Cig.	~3	24	(56)
NO, mg/Cig.	0.1~0.6	4~10	(58)
Ammonia, µg/Cig.	50~130	40~170	(58)
Acrolein, µg/Cig.	~80	~12	(48)
Formaldehyde, µg/Cig.	~70	0.1~50	(58)
Acetone, µg/Cig.	110~250	2~5	(58)
Benzene, µg/Cig.	12~48	5~10	(58)
Toluene, µg/Cig.	100~200	5.6~8.3	(42, 58)
Pyridine, µg/Cig.	16~40	6.5~20	(58)
3-Vinylpyridine, µg/Cig.	11~36	20~40	(22)
Methylamine, µg/Cig.	18~29	4.2~6.4	(76)
Dimethylamine, µg/Cig.	8~10	3.7~5.1	(76)
Hydrazine, µg/Cig.	32	3	(58)
Hydrogen cyanide, µg/Cig.	160~305	0.06~0.4	(42)
Acetonitrile, µg/Cig.	160~210	3.4~5.3	(42)
Phenol, µg/Cig.	60~140	1.6~3.0	(75, 58)
p-Cresol, µg/Cig.	30~40	1.0~1.24	(75)
Formic Acid, µg/Cig.	210~478	1.4~1.6	(75)
Acetic Acid, µg/Cig.	333~809	1.9~3.9	(75)
N-Nitrosodimethylamine, ng/Cig.	10~40	20~50	(8)
N-Nitroso-pyrrolidine, ng/Cig.	6~30	6~30	(58)

*) Molecular nitrogen, generating from nitrogen containing tobacco constituents.

Table 3. b. Distribution of some selected constituents between sidestream-and mainstream smoke from plain cigarettes - Components in the particulate phase.

Substance	MS	SS/MS	Reference
Particulate matter, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	15~40	1.3~1.9	(58)
Nicotine, $\mu/\text{Cig.}^*$	1~2.5	1.0~3.3	(48)
3-Hydroxypyridine, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	125~211	0.8~1.2	(76)
Catechol, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	100~360	0.6~0.9	(7)
Hydrochinone, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	114~300	0.72~0.95	(75)
Benzoic Acid, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	14~28	0.67~0.95	(75)
Aniline, $\text{ng}/\text{Cig.}$	360	30	(62)
Lactic Acid, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	63~174	0.5~0.7	(62)
Glycolic Acid, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	37~126	0.6~0.95	(62)
Succinic Acid, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	110~140	0.43~0.62	(62)
Quinoline, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	0.5~2.0	8~11	(58)
Harman, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	1.7~3.1	0.7~1.7	(57)
N-Nitrosornicotine, (NNN), $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	0.2~3.0	0.5~3	(8)
NNK, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	0.1~1.0	1~4	(8)
Naphthaline, $\mu\text{g}/\text{Cig.}$	2.8	16.5	(78)
Benzo(a)anthracene, $\text{ng}/\text{Cig.}$	20~70	2~4	(58)
Benzo(a)pyrene, $\text{ng}/\text{Cig.}$	20~40	2.5~3.5	(58)
Cadmium, $\text{ng}/\text{Cig.}$	~100	~7	[51]
Nickel, $\text{ng}/\text{Cig.}$	20~80	13~30	(51)
Zinc, $\text{ng}/\text{Cig.}$	60	6.7	(51)

*) For the most part in the vapour phase.

및 몇몇 다른 물질들의 비율은 주류연과 부류연에서 연소된 담배의 비율들을 간단히 반영하는 것으로 나타났다. 담배흡연과 흡연정지시간사이에 연소한 온도의 차이와 주류연과 부류연발생에 대한 기작의 차이에 기인하여 대부분 각 화합물에 대한 비율은 연소된 담배잎의 비율과는 성질이 다르다. 문헌에 의하면 hydrogen cyanide에 대한 비율은 0.06와 0.4사이이고 acetonitrile의 경우에는 3.4와 5.3이다. Hydrogen cyanide는 600°C이상의 온도에서 출발물질인 아미노산과 nitrates로부터 형성된다.^{41,43)} 그러므로 hydrogen cyanide는 오로지 주류연에 delivery된다는 점에서 유일무의하다. 그러나 밀접하게 연관된 acetonitrile은 부류연에 나타난다. 이것은 organic nitriles은 600°C 주위나 낮은 온도에서 발생된다는 것을 의미한다.⁴²⁾

한편 오직 부류연에만 delivery되는 물질들도

있다. 암모니아에 대한 SS/MS 비율은 40에서 179사이이다^{48,58,64)}. 암모니아는 nitrate의 환원 그리고 glycine의 열분해로 부터 형성된다. Nitrate의 분해나 암모니아로의 환원은 담배연소시 증양부위의 높은 온도에서 일어난다.

담배 그자체에서 발생된 molecular nitrogen 또한 거의 독점적으로 부류연에만 일어난다. Johnson등^{43,44)}은 N¹⁵처리된 nitrate와 glycine을 담배에 첨가한 실험에서 nitrogen이 nitrate와 glycine으로 부터 형성된다는 사실을 얻었으며 이것은 암모니아를 경유하여 형성된다고 하였다. 상반되게 Hardy와 Hobbs는²⁸⁾ N¹⁵처리된 nitrate를 담배에 첨가한 위와 동일한 실험에서 molecular nitrogen이 nitrate nitrogen으로부터 유도되지 않는다는 것을 관찰하였다.

Nitrogen oxide의 SS/MS 비율에 대해서는 4와 10사이의 값들이 보고되었다. 신선한 숙성되지

많은 주류연에서는 단지 nitric oxide만이 발견되었다. 탄에서 reducing atmosphere에 기인하여 부류연에는 주로 nitric acid가 존재한다는 것을 기대할 수 있다. Norman등은 몇몇 nitrogenous blend components가 주류연과 부류연의 NO/NOx에 미치는 영향을 연구하였다⁵⁹⁾. 주류연과 부류연의 증기상 nitric acid농도는 0.07%와 3.70%사이의 범위에서 tobacco blend nitrate levels과 좋은 상관관계가 있었다. 측정이 가능한 만큼의 nitrogen oxide의 양이 발견되지는 않았다. Umemura등⁸³⁾은 또한 부류연에서의 nitric oxide의 전구체에 대해 연구하였다. 여러 질소 화합물을 처리한 cellulose cigarettes의 열분석 및 연기분석의 방법을 이용한 결과 부류연의 nitric oxide는 nitrate로 부터 뿐만 아니라 아미노산들과 불용성 단백질로 부터 형성되고 반면에 주류연의 nitric oxide는 위의 유기질소화합물로 부터는 거의 형성되지 않는다는 것을 발견하였다. N-nitrosodimethylamine(NDMA)같은 휘발성 N-nitrosamines의 SS/MS 비율의 범위는 Brunnemann등에 의해 처음으로 발표되었으며⁸⁾ 그 결과들은 다른 많은 학자들에 의해 확인되었다^{10,43,74)}. 담배에서 tobacco blend의 total nitrogen, total alkaloids, nitrate 그리고 total volatile bases는 연기에서 NDMA의 농도와 정 상관관계를 나타냈으며 휘발성 N-nitrosamines의 전구체인듯 하다³¹⁾. NNN, NNK, NAB 및 NAT와 같은 tobacco에 특이한 nitrosamines의 비율은 particulate phase의 SS/MS 비율과 견줄만 하였다. 최근에 독일 암연구센터의 Fischer등²¹⁾은 주류연에서 tobacco에 특이한 N-nitrosamines의 근원에 대해 연구하였다. 이 연구자들에 의하면 휘발성 N-nitrosamines과는 상반되게 NNN의 열합성은 흡연중에 일어나지 않으며 만일 tobacco blend의 nitrate levels이 낮으면 NNK의 열합성도 일어나지 않을것이다. Tobacco에 특이한 N-nitrosamines은 연소된 담배에서 이들 화합물의 양을 측정함으로써 판정된다. 이것은 부류연에도 적용될 수 있으며 휘발성 및 담배에 특이한 N-nitrosamines사이의 SS/MS 비율의 차

이를 설명할 수 있다.

주류연과 부류연의 pyridine과 alkylated pyridines에 관한 자료들은 Glock와 Wright²²⁾ 그리고 Johnson등⁴²⁾에 의해 제시되었다. Brunnemann등은 주류연과 부류연에서 pyridines와 pyrazines의 발생을 발표하였다⁹⁾. 담배연기에서 휘발성 방향 amines은 Patrianakos 및 Hoffmann⁶²⁾에 의해 연구되었다. 1984년 Sakuma등⁷⁶⁾은 부류연과 주류연사이에 염기성 담배성분의 분포에 대해 연구하였다. 34개의 bases가 bright, burley, Turkish 및 Japanese domestic tobacco등 4종류에서 시험되었다. 다른 연구자들에 의해 관찰된 것처럼^{22,42,62)} 몇몇 tobacco alkaloids와 3-hydroxypyridine을 제외하고는 bases의 SS/MS의 비율은 일반적으로 컸다.

Pyridines의 높은 SS/MS치는 이 화합물들이 smouldering중 alkaloids로 부터 형성되는 것에 기인되는 것으로 생각되어진다.⁷⁹⁾

Dong등¹⁷⁾은 주류연과 부류연의 aza-arenes에 관하여 발표하였다. Chinolines, alkylated 그리고 arylated된 chinolines 및 acridine에 대한 비율은 2.5와 24.5사이이다. 최근에 Grimmer등²⁴⁾은 주류연과 부류연의 particle상과 증기상에서 aza-arenes와 aromatic amines의 분포를 평가하였다. 이 연구자들은 단지 이러한 종류의 화합물의 gas chromatogram만을 제시하였을 뿐 양적인 면에서의 자료는 제시하지 않았다. 그러나 그들은 aza-arenes와 aromatic amines이 부류연에 주류연에서 보다 10배 더 포함되어 있다는 것을 주장하였다.

Neurath⁵⁷⁾는 bright, burley 그리고 터키 잎담배등을 혼합하여 만든 plain cigarette의 연기에서 Harman과 Norharman의 발생을 연구하였다. SS/MS 비율은 한예외를 제외하고는 1보다 컸으나 담배의 성질에 큰 의존도를 나타냈다.

1966년 Neurath등⁵⁶⁾은 그들의 자료로부터 열분해에 의해 생성된 담배연기의 화합물은 주류연보다는 부류연에서 더 자주 delivery된다고 결론지었다. 그후 다른 연구자들에 의해 보고된 질소를 함유하는 화합물의 level은 위의 결론을

확인하였다.

주류연과 부류연사이의 니코틴의 분포에 관한 자료가 처음 발표된지는 50년이 넘었다.^{52,67,69,70,71,72, 66,87} 그러나 흡연을 위해 연구자들에 의해 선택된 조건 및 담배의 종류에 의하면 오늘날의 modern cigarettes에 관한 자료들과 상응되지는 못한다. 1964년 Neurath등⁵⁵은 니코틴에 대한 SS/MS smoke비율이 2.7이라고 보고하였다. 80 mm길이의 plain cigarettes를 국제표준에 의하여 흡연시켰다. 이 비율은 여러 연구자들에 의해 확인되었다.^{48,58,84}

Blend cigarettes의 부류연은 약 알칼리를 나타내며, 주류연은 약 산성반응을 보인다.^{647,85} 그러므로 Brunemann과 Hoffman⁶에 따르면 니코틴은 대체로 부류연에서 unprotonated되어지고 주류연에서는 protonated되어진다. 주류연과는 상반되게 부류연에서 nicotine delivers는 대부분 증기상에 있다. 이것은 Yoshida^{89,90}에 의해 처음으로 증명되었고 1985년에 Eudy등¹⁹에 의해 확인되었다.

Table 3은 carbon monoxide와 carbon dioxide에 대한 SS/MS 비율이 각각 2.5와 4.7사이 그리고 8과 11사이임을 보여준다. Carbon monoxide와 carbon dioxide의 높은 SS/MS값은 puff drawing때 보다는 smouldering중에 산소부족 추 (oxygen-deficient cone)에서 이 성분들이 더 많이 발생된다는 것을 보여준다. 뜨거운 추 (cone)를 통과한 후 대부분의 carbon monoxide는 carbon dioxide로 산화된다.²

Browne등⁵은 일련의 필터있는 담배에서 주류연과 부류연의 particulate상과 증기상에서 주연기산물의 level을 측정하였다. Condensate, nicotine 그리고 water의 ventilation에 따른 SS/MS비율의 변화는 주류연과 부류연의 발생에 사용된 담배잎의 비율을 간단히 반영한다. Ventilation이 증가함에 따라 흡연사이에 많은 비율의 tobacco가 소비된다. Browne등⁵은 smoulder 중에 소비된 gram tobacco당 sidestream condensate, nicotine, water, carbon monoxide 그리고 carbon dioxide의 양은 ventilation의 수준이 변

화함에 따라 일정하였다. 그러나 연착중 확산효과와 다른 연소조건에 기인하여 Ventilation에 따른 the oxides of carbon의 SS/MS비율의 변화는 nicotine 및 condensate의 비율과는 다르다.

Filter paper의 다공성 또한 연기성분의 부류연/주류연 비율에 영향을 미친다. 이것은 Perfetti와 Townsend⁶³에 의해 제시되었다. 높은 다공성은 condensate에 대한 큰 SS/MS비율을 야기한다.

Acetaldehyde, acetone 및 몇몇 다른 carbonyl compounds에 대한 SS/MS 비율은 Johnson등⁴²에 의해 발표되었다.

Phenol의 SS/MS 분포에 대한 자료는 Neurath와 Ehmke⁵⁵에 의해 처음으로 제시되었다. Harris와 Hayes²⁹, Johnson등⁴⁵, 그리고 Cornell등¹⁴ 또한 phenol분포에 대한 자료를 발표하였다. Cresols, xylenols, 그리고 ethylphenols의 양적인 연구는 Cornell등¹⁴에 의해 실행되었다. Brunemann, Lee 그리고 Hoffmann⁷은 각종의 담배에서 얻은 연기에서 catechol의 SS/MS 비율을 발표하였다. 1983년 Sakuma등⁷⁵은 주류연과 부류연사이에 산성성분의 분포에 대해 연구하였다. 이 연구자들에 의하면, phenol과 alkylphenols에 대한 SS/MS비율은 1보다 컸다. 그러나 catechol, hydroquinone 그리고 alkyl 유도체들과 같은 dihydric phenols의 SS/MS비율은 1보다 적었다. 이 결과는 다른 연구자들^{77,14,29,45,55}에 의해 발표된 자료를 확인하였다.

Johnson등⁴⁵은 acetic acid의 SS/MS 비율을 연구하였다. Sakuma등⁷⁵은 different blend cigarette의 주류연과 부류연사이에 20개 이상의 유기산의 분포에 관한 자료를 발표하였다. Formic acid만을 제외하고는 SS/MS비율이 1보다 적었다.

Benzene의 경우에는 SS/MS비율이 5와 10사이였다.^{58,84} 주류연과 부류연의 몇몇 benzene의 alkylated 유도체는 Sakuma등⁷⁷에 의해 확인되었으나 양적인 자료를 제시하지는 않았다. Toluene의 경우에는 Johnson등⁴²이 비율이 blend에 사용된 tobacco의 종류에 좌우되면서 5.6과 8.3

사이라고 발표하였다.

Pyriki, Muller 그리고 Moldenhauer⁷³⁾은 이미 1960년에 benzo(a)pyrene이 주류연보다는 부류연에 많이 포함되어 있다는 것을 발표하였다. 그러나 이 연구자들에 의해 선택된 담배흡연조건은 현재의 흡연 조건과는 비교할만한 것이 못되었다. Neurath와 Ehmke⁶⁵⁾는 plain 독일산 담배의 연기에서 benzo(a)pyrene의 SS/MS비율이 3.5인것을 관찰하였다. Plain미국담배에서 주류연과 부류연사이의 naphthalene과 그 alkylated유도체의 분포에 관한 자료는 Schmeltz, Tosk와 Hoffmann⁷⁸⁾에 의해 발표되었다. 16.5(naphthalene)과 29.4(1-methyl-naphthalene)사이의 비율이 관찰되었다. Naujack와 Dettbarn²⁴⁾는 독일산 filter-tipped 담배의 주류연과 부류연에서 여러 polycyclic aromatic hydrocarbons(PAH)의 양을 측정하였다. 그들 또한 여러 polycyclic aromatic hydrocarbons이 주류연보다는 부류연에 많이 함유되어있다는 것을 관찰하였다. 그들은 또한 다른 연구자들에 의해 발표된 몇몇 결과들을 확인하였는데 주목할만한 것은 주류연과 부류연에서 PAH들의 양의 비율이 일정하지 않다는 것이다. Benzo(a)pyrene에 대한 비율이 10이고 chrysene에 대한 비율이 25라는 것이 위 연구자들에 의해 관찰되었다. Benzo(a)pyrene의 비율이 다른 연구자들에 의해 발표된 수치보다 높은 것은 filter tip에 의한 mainstream particulate phase의 감소에 의한 것이라고 설명할 수 있다. Grimmer²⁴⁾에 의하면 filter에 의해 영향을 받지않은 particulate phase의 benzo(a)pyrene의 비율은 particulate phase에서의 값에 약 0.5에서 1%이다. 이 연구자들은 부류연에서 low boiling PAH의 양이 higher boiling PAH와 비교해서 상당히 높다는 것을 발표하였다.

Petering⁶⁴⁾은 cadmium양의 SS/MS 비율이 3.6이라고 발표하였고, 이 결과는 Hay³⁰⁾에 의해 확인되었다. Menden⁵¹⁾은 Kentucky IRI reference 담배의 주류연과 부류연, the remaining butt 및 회분에서 cadmium, nickel, zinc 그리고 lead의 분포를 측정하였다. Cadmium에 대한

SS/MS비율은 3.6이었고 nickel과 zinc의 경우에는 각각 12.9 그리고 0.2임을 관찰하였다. 이 연구자들에 의하면 납이 담배연소로부터 주류연에 이동되는 이동율은 1.8에서 1.9%에 불과하다. 납의 거의 대부분은 회분에 남는다. 그러므로 위 연구자들은 이 중금속이 부류연에 그렇게 많이 존재하지 않다고 결론지었다.

주류연과 부류연의 cadmium함량에 대한 첨부자료들이 Szadkowski 등⁸²⁾, Gutenmann 등²⁶⁾ 및 Schmidt, Fischbach 그리고 Burkart⁸⁰⁾에 의해 발표되었다. Szadkowski⁸²⁾는 부류연의 cadmium함량이 주류연에 비해 38에서 50% 높다는 것을 발표한 Menden⁵¹⁾ 및 Gutenmann²⁶⁾에 의해 관찰된 비율을 확인하였다. Schmidt, Fischbach 및 Burkart⁸⁰⁾은 독일산 filter-tipped reference cigarette E-76을 사용하여 SS/MS 비율이 약 1.15임을 관찰하였다. 그러나 부류연의 cadmium 및 다른 중금속의 함량에 관한 거의 모든 자료들은 직접 측정된 것이 아니고 연소된 담배, 주류연 및 the remaining butt에서 이 원소들을 측정하여 계산된 것임을 지적하여야만 한다.

1961년 Sunderman⁸¹⁾은 tobacco, 주류연, 부류연, butt 그리고 회분에 존재하는 nickel의 분포를 연구하였다. Plain 담배에 대한 SS/MS 비율이 0.43 그리고 filter담배의 경우에는 0.19임을 발표하였다. Sunderman⁸¹⁾의 결과와는 상반되게 Menden⁵¹⁾은 plain 담배의 smokestreams에서 SS/MS 비율이 12.9와 31.0사이임을 관찰하였다. 그러나 Sunderman⁸¹⁾에 의해 사용된 흡연체제(regime)는 다른 연구자들^{26,51)}에 의해 사용된 현재 표준방법과는 동일하지 않았으며 이는 서로 일치하지 않는 결과들에 대한 설명이 될 수 있다.

Fly-ash grown tobacco를 포함하는 주류연과 부류연의 selenium함량은 Gutenmann²⁷⁾에 의해 연구되었다. Selenium농도는 주류연과 부류연의 기체상에서 같으나 주류연의 particulate matter에서 현저하게 높다는 것이 관찰되었다.

결 론

이 논문에서 주류연과 부류연의 여러 연기성분의 분포를 총설적으로 엮어보았다. Plain 담배만을 고려할때 hydrogen cyanide와 같은 화합물에 대한 SS/MS비율은 1이하이고 TPM이나 3개 이상의 링을 가지는 몇몇 polycyclic aromatic hydrocarbons의 경우에는 SS/MS 비율은 흡연과 흡연중지시간중에 연소된 담배의 양을 반영하고 암모니아와 같은 몇몇 화합물들은 선택적으로 부류연에 많다. 이러한 차이는 흡연과 흡연중지 시간중에 일어나는 다양한 화학작용에 기인된다. Baker은 1980년 TCRC symposium에서 이러한 매우 복잡한 과정을 인상적으로 묘사하였다²⁾. 담배의 구조는 일반적으로 여러 성분 에 대한 SS/MS비율에 극적으로 영향을 미친다. 담배연기의 particulate matter에 대한 현대 filter의 보지효과와 또한 phenols과 휘발성 N-nitrosamines과 같은 화합물의 선택적인 보지에 기인하여 SS/MS비율은 plain담배에 비교해서 한 단계 높게 변화할 수 있다. 이것은 부류연값은 거의 일정한 반면 주류연값은 줄어든다는 것을 의미한다. Browne등⁵⁾에 의해 제시된 바와같이 tip ventilation의 정도와 담배 paper의 다공성 또는 SS/MS비율에 영향을 미친다.

담배로 부터 발생되는 연기는 담배가 흡연되는 방법에 의해 대부분 좌우된다. 흡연중에 상대습도 및 온도 그리고 포집방법 및 속도등 모두가 담배연기의 양적구성에 영향을 미친다. 예로 Grob²⁵⁾은 cambridge filtered 연기와 unfiltered 연기의 주류연의 chromatograms이 아주 다르다는 것을 증명하였다. Klus와 Kuhn⁴⁶⁾은 Neurath chamber⁵⁵⁾에서 흡연과 부류연 포집중 온도와 상대습도가 크게 변화한다는 것을 발표하였다. 그런데 문헌에 있는 부류연에 관한 대부분의 자료는 Neurath장치를 사용하여 얻어진 것이다. 담배연기는 매우 동적이고 반응적인 시스템이다. 담배연기의 몇몇 성분의 시간에 따른 변화(속성과정)는 상당할 수 있다는 것은 잘 알려져다. 이들 반응의 동력율은 흡연중에 그리

고 연기의 샘플채취중의 주의 환경조건에 또한 좌우된다. 그러므로 부류연의 구성에 관하여 발표된 자료들은 질적인 면에서 분명히 정확하지만 양적인 면에서는 주의있게 받아 들여져야 한다는 것으로 결론지을 수 있다.

1986년 Nystrom과 Green⁶⁰⁾은 environmental tobacco smoke(ETS)가 실내공기질에 미치는 영향에 관한 논문을 발표하였다. 위 연구자들은 그 논문에서 ETS의 구성에 관한한 실험조건에서 발생한 신선하고 희석되지 않은 부류연의 quantitative figures의 중요성을 또한 논의하였다. ETS는 부류연과 방출된 주류연의 혼합체이다. First²⁹⁾의 연구에 근본을 두었을때 ETS에 부류연의 상대점유율은 대략 85에서 90%정도이다. 부류연의 구성이 동적이므로 ETS도 동적이라는 것이 위 연구자들에 의해 지적되었다. ETS의 구성은 부류연과 방출된 주류연에 의해 특이한 공기환경에 좌우된다. The volume of the space, the ventilation rate, carpets, furniture등이 ETS의 구성에 매우 중요한 역할을 한다. ETS의 속성중에 여러 연기성분 단독 그리고 실내 및 실외공기의 다른 성분들과의 화학반응이외에 smoke particles의 응축과 축적이 일어난다. ETS 구성의 상당한 변화가 일어날 수 있다. 그러므로 Nystrom과 Green⁶⁰⁾은 신선한 속성되지 않은 부류연 자료로부터 ETS의 구성을 계산하는 것은 불가능하다고 결론지었다. 이 결론이 맞다는 것의 한 예는 ETS에서 담배에 특이적인 N-nitrosamines의 level이다. 비흡연자가 ETS로 오염된 환경에서 1시간을 보낼경우 tobacco에 특이한 nitrosamines 0.37ug에 노출된다는 것이 계산되었다³⁵⁾. 호흡율이 분당 10리터임을 가정할때 tobacco specific nitrosamines의 농도가 대략 0.617 ug/m³이어야만 한다. 그러나 높은 ETS농도(14 ppm CO)의 사무실공기에서 불과 0.013ug/m³의 tobacco specific N-nitrosamines이 실질적으로 측정되었다⁴⁶⁾.

결론적으로 부류연에 대한 연구와 주류연과 부류연의 여러 성분의 분포에 대한 연구는 연기발생 및 흡연시 일어나는 기작에 대한 지식은

업는데 유용한 자료를 제공한다. 그러나 이 자료와 계산되어진 비율은 ETS의 양적구성을 밝히는데는 전혀 연관성이 없다.

參 考 文 獻

1. Baker, R.R. 1980. Mechanisms of smoke formation and delivery. *Rec. Advanc. Tob. Sci.* 6 : 184-224.
2. Baker, R.R. 1984. The effect of ventilation on cigarette combustion mechanisms. *Rec. Advanc. Tob. Sci.* 10 : 88-150
3. Blake, C.J., J.J. Piade and W. Fink. 1986. Quantitative evaluation of cigarette sidestream smoke components under controlled experimental conditions. *Int. Experimental Toxicology Symp. on Passive Smoking, Essen (FRG)*, Oct. 23-25.
4. Braumann, T. and H. Elmenhorst. 1989. The pH of tobacco smoke. 43rd. *Tob. Chemists Res. Conf., Richmond VA*, Oct. 2-5.
5. Browne, C.L., C.H. Keith and R.E. Allen. 1980. The effect of filter ventilation on the yield and composition of mainstream and sidestream smokes, *Beitr. Tabakforsch.* 10 : 81-90.
6. Brunnemann, K.D. and D. Hoffmann. 1974. The pH of tobacco smoke. *Fd. Cosmet. Toxicol.* 12 : 115-124.
7. Brunnemann, K.D., C.H. Lee and D. Hoffmann. 1976. Chemical studies on tobacco smoke XLVII. On the analysis of catechol and their reduction. *Anal. Letters* 9 : 939-955.
8. Brunnemann, K.D., L. Yu and D. Hoffmann. 1977. Assessment of carcinogenic volatile N-nitrosamines in tobacco and in the mainstream and sidestream smoke from cigarettes. *Cancer Res.* 37 : 3218-3222.
9. Brunnemann, K.D., G. Stahnke and D. Hoffmann. 1978. Chemical studies on tobacco smoke LXI. Volatile pyridines, quantitative analysis in mainstream and sidestream smoke of cigarettes and cigars. *Anal. Lett.* 11 : 545-560.
10. Brunnemann, K.D., W. Fink and F. Moser, 1980. Analysis of volatile N-nitrosamines in mainstream and sidestream smoke from cigarettes by GLC-TEA. *Oncology* 37 : 217-222.
11. Carter, W.L. and I. Hasegawa. 1975. Fixation of tobacco smoke aerosols for size distribution studies. *J. Colloid Interface Sci.* 53 : 134-141.
12. Chortyk, O.T. and W.S. Schlotzhauer. 1986. Modification of an automatic cigarette smoking machine for sidestream smoke collection. *Tob. Sci.* 30 : 122-126.
13. Chortyk, O.T. and W.S. Schlotzhauer. 1989. The contribution of low tar cigarettes to environmental tobacco smoke. *J. Anal. Toxicol.* 13 : 129-134.
14. Cornell, A., W. Cartwright and V. Olender. 1978. Sidestream/mainstream(SS/MS) distribution ratios of steam volatile phenols in cigarette and cigar smoke. 32nd *Tob. Chemists' Res. Conf. Montreal, Canada*.
15. McCusker, K.T., F.C. Hiller, M. Mazumder and R. Bone. 1980. Contemporary filters and their effect on cigarette smoke. *Chest* 78 : 530(absr.)
16. McCusker, K.T., F.C. Hiller, D. Wilson, M. Mazumder and R. Bone. 1981. Characterization of sidestream smoke from low tar cigarettes and cigars. *Am. Rev. Respir. Dis.* 123 : Suppl. 5, 107(abstr.).
17. Dong, M., I. Schmeltz, E. Jacobs and D. Hoffmann. 1978. Aza-arenes in tobacco smoke. *J. Anal. Toxicol.* 2 : 21-25.

18. Dube, M.F. and C.R. Green. 1982. Methods of collection of smoke for analytical purposes. *Rec. Advanc. Tob. Sci.* 8 : 42-102.
19. Eudy, L.W., F.A. Thome, D.L. Heavner, C.R. Green and B.J. Ingebretsen. 1985. Studies on the vapor particulate phase distribution of environmental nicotine by selected trapping and detection methods. 39th Tob. Chemists, Res. Conf. Montreal, Canada.
20. First, M.W. 1984. Indoor air and human health. Lewis Publishers Inc., Chelsea, MI, 195-303.
21. Fischer, S., B. Spiegelhalder, J. Eisenbarth and R. Preussmann. 1990. Investigations on the origin of tobacco-specific nitrosamines in mainstream smoke of cigarettes. *Carcinogenesis* 11 : 723-730.
22. Glock, G. and H.P. Wright. 1962. The relation of nornicotine in tobacco to cigarette smoke aroma and composition. 16th Tob. Chemists, Res. Conf. Richmond, VA.
23. Green, C.R. 1989. Personal communication.
24. Grimmer, G., K.W. Naujack and G. Dettbarn. 1987. Gas chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons, aza-arenes, aromatic amines in the particle and vapour phase of mainstream and sidestream smoke of cigarettes. *Toxicol. Lett.* 35 : 117-124.
25. Grob, K. 1965. Gas chromatography of cigarette smoke Part II. Separation of the overlap region of gas and particulate phases by capillary columns. *J. Gas. Chrom.* 3 : 52-56.
26. Gutenmann, W.H., C.A. Bache, D.J. Lisk, D. Hoffmann and J.D. Adams. 1982. Cadmium and nickel in the smoke of cigarettes prepared from tobacco cultured on municipal sludge amended soil. *J. Toxicol. Environm. Health* 10 : 423-431.
27. Gutenmann, W.H., D.J. Lisk, B.S. Shane and D. Hoffmann, 1987. Selenium mainstream and sidestream smoke of cigarettes containing fly ash grown tobacco. *Drug and Chemical Toxicol.* 10 : 181-187.
28. Hardy, D.R., and M.E. Hobbs. 1977. The use of N¹⁵ and O¹⁸ in added nitrates for the study of some generated constituents of a normal cigarette smoke. Proc. 173rd Amer. Chem. Soc. Symp. Recent advances in the chemical composition of tobacco and tobacco smoke. 489-509.
29. Harris, J.L. and L.E. Hayes. 1980. A 20-port sidestream smoke collection system. 32nd Tobacco Chemists' Res. Conf. Montreal, Canada.
30. Hay, D.R. 1977. Involuntary smoking. *New Zealand Medical J.* 86 : 526-528.
31. Hecht, S.S., I.Schmeltz and D. Hoffmann. 1977. Nitrogenous compounds in cigarette smoke and their possible precursors. *Rec. Advanc. in Tob. Sci.* 3 : 59-93.
32. Hiller, F.C., K.T. McCusker, M.K. Mazumder, J.D. Wilson and R. Bone. 1982. Deposition of sidestream cigarette smoke in human respiratory tract. *Am. Rev. Resp. Dis.* 125 : 406-408.
33. Hoffmann, D., J.D. Adams and K.D. Brunemann. 1979. Assessment of tobacco specific N-nitrosamines in tobacco products. *Cancer Res.* 39 : 2502-2509.
34. Hoffmann, D., N.D. Haley, K.D. Brunemann, J.D. Adams and E.L. Wynder. 1983. Cigarette sidestream smoke : Formation, analysis and model studies on the uptake by nonsmokers. US-Japan Meeting : "New ethology of lung cancer, Honolulu, Hawaii, March 21-23.
35. Hoffmann, D., F.D. Adams and K.D. Brunemann. 1987. A critical look at N-nitrosa-

- mines in environmental tobacco smoke. *Toxicol. Letters* 5 : 1-8.
36. Houseman, T.H. 1973. Studies of cigarette smoke transfer using radioisotopically labeled tobacco constituents. Part II. The transference of radioisotopically-labelled nicotine to cigarette smoke. *Beitr. Tabakforsch.* 7 : 142-147.
 37. Ingebretsen, B.J. and S.B. Sears. 1985. Particle size distribution measurement of sidestream cigarette smoke. 39th Tob. Chem. Res. Conf., Montreal, Canada.
 38. Ingebretsen, B.J. 1986. Aerosol studies of cigarette smoke. *Rec. Advanc. Tob. Sci.* 12 : 54-142.
 39. Ishizu, Y., K. Ota and T. Okada. 1980. The effect of moisture on the growth of cigarette smoke particles. *Beitr. Tabakforsch. Int.* 10 : 161-168.
 40. Jermini, C., A. Weber and E. Grandjean. 1976. Quantitative Bestimmung verschiedener Gasphasenkomponenten des Nebenstromrauches von Zigaretten in der Raumluft als Beitrag zum Problem des Passivrauchens. *Int. Arch. Occup. Environm. Health* 36 : 169-181.
 41. Johnson, W.R. and J.C. Kang. 1971. Mechanisms of hydrogen cyanide formation from pyrolysis of amino acids and related compounds. *J. Org. Chem.* 36 : 189-192.
 42. Johnson, W.R., R.W. Hale, J.W. Nedlock, H. J. Grubbs and D.H. Powell. 1973. The distribution of products between mainstream and sidestream smoke. *Tob. Sci.* 17 : 141-144.
 43. Johnson, W.R., R.W. Hale, S.C. Clough and P.M. Chen. 1973. Chemistry of the conversion of nitrate nitrogen to smoke products. *Nature* 243 : 223-225.
 44. Johnson, W.R., R.W. Hale and S.C. Clough. 1973. Formation of molecular nitrogen by a burning cigarette. *Nature* 244 : 51-52.
 45. Johnson, W.R., D.H. Rowell, K.W. Hale and R.A. Kornfeld. 1975. Incorporation of atmospheric oxygen into components of cigarette smoke. *Chem. Ind.(London)* 521-522.
 46. Keith, C.H. and J.C. Derrick. 1960. Measurement of the particle size distribution and concentration of cigarette smoke by the "conifuge". *J. Colloid Sci.* 15 : 340-356.
 47. Klus, H., H. Begutter and I. Ultsch. 1981. Der Einfluß des Filterventilationsgrades auf einige ausgewählte Rauchparameter. CORESTA Smoke Study Group, Albufeira, Portugal.
 48. Klus, H. and Kuhn. 1982. Verteilung verschiedener Tabakrauchbestandteile auf Haupt- und Nebenstromrauch. (Eine Übersicht). *Beitr. Tabakforsch. Int.* 11 : 229-265.
 49. Klus, H., H. Begutter, M. Ball and M. Intorp. 1987. Environmental tobacco smoke in real life situations. *Indoor Air '87*, Berlin(West)
 50. Lipp, G. 1965. Zur Definition der Selektivität verschiedener Rauchströme der Zigarette. *Tabakforsch.* 3 : 220-222.
 51. Menden, E.E., V.J. Elia, L.W. Michael and H.G. 1972. Distribution of cadmium and nickel during cigarette smoking. *Environm. Sci.* 830-832.
 52. Müller, R. and W. Moldenhauer, 1959. Eine vereinfachte Methode zur Adsorption des Nikotins im Nebenstromrauch von Zigaretten. *Ber. Inst. Tabakforsch. Dresden* 6 : 265-277.
 53. Neurath, G. and R. Kroger. 1963. Druckverrauchen-Eine neue Abrauchmethode und die Möglichkeiten ihrer Anwendung. *Beitr. Tabakforsch.* 2 : 81-88.
 54. Neurath, G. and H. Horstmann. 1963. Einf-

- luß des Feuchtigkeitsgehaltes von Cigaretten auf die Zusammensetzung des Rauches und die Glutzonentemperaturen. Beitr. Tabakforsch. 2 : 93-100.
55. Neurath, G. and H. Ehmke. 1964. Apparatur zur Untersuchung des Nebenstromrauches. Beitr. Tabakforsch. 2 : 117-121.
56. Neurath, G., H. Ehmke and H. Schneemann. 1966. Über den Wassergehalt von Haupt- und Nebenstromrauch. Beitr. Tabakforsch. 3 : 351-357.
57. Neurath, G. 1980. Personal communication.
58. National Research Council. 1986. Environmental tobacco smoke. Measuring exposure and assessing health effects. National Academic Press, Washington D.C., 25-53.
59. Norman, V., A.M. Ihrig, T.M. Larson and B.L. Moss. 1983. The effect of some nitro-geneous blend components on NO/NOx and HCN-levels in mainstream and sidestream smoke. Beitr. Tabakforsch. Int. 12 : 55-62.
60. Nystrom, C.W. and C.R. Green. 1986. Assessing the impact of environmental tobacco smoke on indoor air quality. Current status. ASHRAE Indoor Air Quality Conf. Atlanta, GA.
61. Okada, T., Y. Ishizu and K. Matsunuma. 1977. Determination of particle size distribution and concentration of cigarette smoke by a light scattering method. Beitr. Tabakforsch. 9 : 153-160.
62. Patrianakos, C. and D. Hoffmann. 1979. Chemical studies on tobacco smoke LXI V. On the analysis of aromatic amines in cigarette smoke. J. Anal. Toxicol. 3 : 150-154.
63. Perfetti, P. and D. Townsend. 1986. Cited in : C.W. Nystrom and C.R. Green. Assessing the impact of environmental tobacco smoke on indoor air quality. ASHRAE Indoor Air Quality Conf. Atlanta, GA.
64. Petering, H.P. (University Cincinnati) 1970. unpublished.
65. Piade, J.J., J.D. Adams and D. Hoffmann. 1979. Alkaloids and nonvolatile N-nitrosamines in tobacco and smoke of French cigarettes. 33rd Tob. Chemists' Res. Conf. Lexington, KY.
66. Piade, J.J. and G.N. Bindler. 1989. Design optimization for sidestream collection systems : Influence of flask geometry and air flow patterns within the enclosure. 43rd. Tob. Chem. Res. Conf., Richmond, VA., Oct. 2-5.
67. Preisz, W. 1936. Zur Kenntnis des Rauchens. Z. Untersuch. Lebensmittel 72 : 196-212.
68. Proctor, C.J., C. Martin, J.L. Bevan and H.F. Dymond. 1988. Evaluation of an apparatus designed for the collection of sidestream tobacco smoke. Analyst 13 : 1509-1513.
69. Pyriki, C. 1934. Über das Auftreten von Nikotin im Zigarettenrauch(IV). Z. Untersuch. Lebensmittel 68 : 420-431.
70. Pyriki, C. 1935. Über das Auftreten von Nikotin im Zigarettenrauch(V). Z. Untersuch. Lebensmittel 70 : 527-535.
71. Pyriki, C. 1948. Untersuchungen über den Rauch von Zigaretten. Z. Untersuch. Lebensmittel 88 : 254-269.
72. Pyriki, C. 1954. Verhalten des Nikotins und anderer Stoffe im Rauch von Zigaretten aus einheimischen Tabaken. Ber. Inst. Tabakforsch. Dresden 1 : 62-93.
73. Pyriki, C., R. Müller and W. Moldenhauer. 1960. Über das Auftreten von polycyclischen Kohlenwasserstoffen im Zigarettenrauch. II. Mitteilung. Untersuchung des lipophilen Anteils der einzelnen Rauchphasen sowie des Tabaks. Ber. Inst. Tabakforsch. Dresden 7 : 81-102.

74. Rühl, C., J.D. Adams and D. Hoffmann. 1980. Chemical studies on tobacco smoke. LXVI. Comparative assessment of volatile and tobacco specific N-nitroamines in the smoke of selected cigarettes from the USA, West Germany and France. *J. Anal. Toxicol.* 4 : 255-259.
75. Sakuma, H., M. Kusama, S. Munakata, T. Ohsumi and S. Sugawara. 1983. The distribution of cigarette smoke components between mainstream and sidestream smoke. I. Acidic components. *Beitr. Tabakforsch. Int.* 12 : 63-71.
76. Sakuma, H., M. Kusama, K. Yamaguchi, T. Matsuki and S. Sugawara. 1984. The distribution of cigarette components between mainstream and sidestream smoke. II. Bases. *Beitr. Tabakforsch. Int.* 12 : 199-209.
77. Sakuma, H., M. Kusama, K. Yamaguchi and S. Sugawara. 1984. The distribution of cigarette smoke components between mainstream and sidestream smoke. III. Middle and higher boiling components. *Beitr. Tabakforsch. Int.* 12 : 251-258.
78. Schmeltz, I., J. Tosk and D. Hoffmann. 1976. Formation and determination of naphthalenes in cigarette smoke. *Anal. Chem.* 48 : 645-650.
79. Schmeltz, I., A. Wegner and D. Hoffmann. 1979. Chemical studies on tobacco smoke. LXIII. On the fate of nicotine during pyrolysis and in a burning cigarette. *J. Agric. Food Chem.* 27 : 602-608.
80. Schmidt, J.A., E.D. Fischbach and F. Burkhardt. 1985. Cadmium Untersuchungen im Bereich von Umwelt-, Boden und Sorteneinflüssen bei Tabak sowie der Cadmium Übergang in den Zigarettenrauch. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 180 : 306-311.
81. Sunderman, F.W. and F.W. Sunderman Jr. 1961. Nickel poisoning XI. Implication of nickel as a pulmonary carcinogen in tobacco smoke. *Amer. J. of Clinical Path.* 35 : 203-209.
82. Szadkowski, D., H. Schultze, K.H. Schaller and G. Lehnert. 1969. Zur ökologischen Bedeutung des Schwermetallgehalts von Zigaretten. Blei-, Cadmium- und Nickelanalysen des Tabaks sowie der Gas- und Partikelphase. *Arch. Hyg. Bakteriologie* 153 : 1-8.
83. Umemura, S., M. Muramatsu and T. Okada. 1986. A study on precursors of nitric oxide in sidestream smoke. *Beitr. Tabakforsch. Int.* 13 : 183-190.
84. US Department of Health and Human Services. Public Health Service, Centers for Disease Control. 1986. The health consequences of involuntary smoking. A report of the Surgeon General.
85. Wenusch, A. 1930. Die Reaktion des Tabakrauches. *Fachl. Mitt. Osterr. Tabakregie* 2 : 13-15.
86. Wenusch, A. 1934. Über die Verteilung des Nikotins beim Rauchen von Zigaretten. *Chem. Ztg.* 58 : 206-207.
87. Winterstein, A. and E. Aronson. 1928. Beiträge zur Kenntnis des Tabakgenusses. *Z. f. Hyg. Infektionskrankheiten* 108 : 530-553.
88. Wynder, E.L. and D. Hoffmann. 1967. Tobacco and tobacco smoke. Studies in experimental carcinogenesis. New York. Academic Press 730 pp.
89. Yoshida, D. 1976. Determination of nicotine in the sidestream of cigarette smoke. *Sci. Pap. Japan Monopoly Corp. Central Res. Inst.* 118 : 203-206.
90. Yoshida, D., Y. Suga and H. Nishigata. 1979. Factors on the reduction of CO in mainstream and sidestream smoke of cigarettes. 33rd. *Tob. Chemists, Res. Conf. Lexington, KY.*