

다채널 선형자동흡연장치 부착형 부류연 포집장치의 개발과 평가

김호근* · 황건중 · 지상운 · 이준태 · 이문수
KT&G 중앙연구원
(2005년 6월 2일 접수)

The Development and Evaluation of Sidestream Smoke Collecting Apparatus Compatible for Linear Smoking Machine

Hyo-Keun Kim*, Keon-Jung Hwang, Sang-Un Ji, John-Tae Lee and Moon-Soo Rhee
KT&G Central Research Institute
(Received June 2, 2005)

ABSTRACT: The Fishtail Chimney system mounted on 1 channel smoking machine is not appropriate for the routine analysis of sidestream smoke, because of its low repeatability and very long time required for smoke collection. To overcome this inconvenience, we developed a new sidestream smoke collecting apparatus compatible for 8 channel linear smoking machine. An electric motor driven stroke and automatic control system were adopted in this device to maximize convenience and efficiency of its operation.

Also, we carried out the international collaborative study on monitoring sidestream smoke analysis to test the performance of this system. From the statistical analysis of the data obtained in our laboratory and other participating labs, it has been indicated that the newly developed sidestream smoke collection apparatus could be applicable to the routine analysis of sidestream smoke.

Key words : Fishtail Chimney, sidestream smoke collecting apparatus

부류연(sidestream smoke)은 담배흡연시 켄련 내부로 흘러들어가지 않는 연기로서 켄련에서 발생하는 연기 중 주류연을 제외한 모든 연기를 말한다(Coresta, Recommended Method No. 54, 2002). 부류연의 95%는 흡연 중지기간 중 담배의 연소 끝부분(burning tip)에서 방출되는 물질로 구성되어 있으며, 흡연 후 꾀초 끝으로 나오는 smoulder stream과 흡연시 연소 끝부분과 켄련지를 통해 방출되는 glow stream 및 흡연 중지기간 중 켄련지를 통해 확산되는 diffusion stream이

그 일부를 차지한다(Klus, 1990).

흡연 중지기간에 생성되는 부류연은 주류연에 비해 산소가 부족한 강한 환원조건에서 발생하기 때문에 대기에 의해 희석되는 비율이 낮으며, 물질들이 열분해되면서 발생하는 연소산물을 더 많이 포함하고 있다. 또한 부류연에는 나이트로소화 반응(nitrosation)을 통해 생성되는 화합물이 보다 다량으로 들어 있으므로 그 조성이 주류연과는 많이 다르다(National Research Council, 1986).

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

*Corresponding author : KT&G Central Research Institute, Yuseong-gu, Daejeon 305-805, Korea

최근, 수동흡연(passive smoking)에 의해 비흡연자들이 공기 중의 담배연기를 흡입하게 된다는 주장이 제기되면서 환경담배연기(ETS, Environmental tobacco smoke)에 대한 관심이 높아져가고 있으며, 미국 환경보호청(EPA)은 많은 논란에도 불구하고 이 ETS를 "Group A carcinogen"으로 분류한바 있는데 여러 보고에 따르면 ETS의 85% 이상이 부류연으로 구성되어 있다고 한다(이문수 등, 1997).

또한 부류연에 대한 연구는 켈련연기의 발생과 흡연 메커니즘에 대한 과학적 정보를 제공하기 때문에 매우 중요하다. 이러한 부류연의 발생과 분포에 대해 정확하고도 재현성이 있는 자료를 얻기 위해서는 정량적이고도 재현성이 높은 부류연 포집장치의 개발이 선행되어야 하는데, 이러한 부류연 포집장치를 디자인할 경우에는 다음의 사항들이 고려되어야 한다.

첫째 부류연 포집장치가 켈련이 흡연될 때나 흡연 중지기간 중 켈련의 연소상태에 영향을 미치지 않아야 하고, 둘째 포집장치를 설치했을 때와 제거했을 때의 주류연의 발생량이 동일해야 하며, 셋째 자동흡연장치에 쉽게 부착 및 탈착시킬 수 있고 일상적인 측정에 있어서 적절한 속도로 다량의 켈련을 분석할 수 있어야 한다. 마지막으로 켈련의 삽입과 점화 및 소화가 용이해야 한다(Proctor *et. al.*, 1988).

이러한 조건을 만족시키는 부류연 포집장치들을 개발하기 위해 많은 시도가 있었지만 주류연을 왜곡시키고, 켈련주변의 공기 유속을 변화시켰으며 포집장치 기벽에 발생하는 수분의 응축현상으로 인해 어느 것도 부류연의 일상적인 분석에는 적당하지 않았다. 이러한 문제점들을 극복하기위해 Proctor 등은 소위 Fishtail Chimney라고 불리는 부류연 포집장치를 Fig. 1과 같이 제시하였다(Proctor *et. al.*, 1988). 이들에 따르면 이 장치는 표준 흡연장치에 쉽게 적용될 수 있고, 일상적인 측정에 적합한 속도로 주류연과 부류연을 복합적으로 동시에 분석할 수 있다. 아울러 이 장치는 자동적으로 끄초길이를 결정할 수 있게 해줄 뿐만 아니라 담배의 점화와 삼입을 쉽게 해 준다(Klus, 1990). 이러한 Fishtail Chimney는

사용이 편리할 뿐더러 CORESTA에서 주관한 국제공동연구에서 높은 반복성과 재현성을 나타내었으므로 CORESTA에서는 원래의 형태를 약간 수정하여 부류연 포집장치의 기준으로 채택하였는데 이와 관련된 사항들은 부류연의 타르와 니코틴(Coresta No. 54, 2002), 그리고 일산화탄소(Coresta No. 55, 2002)의 측정법을 규정한 CORESTA Recommended Method(CRM) No. 54 및 No. 55에 각각 잘 나타나 있다.

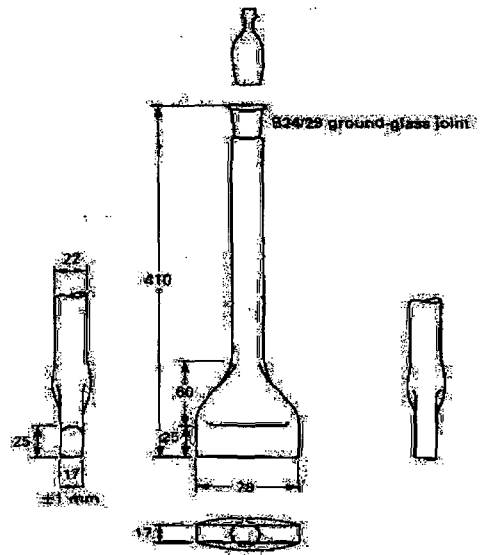


Fig. 1. The Fishtail Chimney. Internal dimensions in mm.

그런데 CRM No. 54 및 No. 55에 의거한 부류연 포집장치는 1채널 자동흡연장치에 부착시켜 사용하는 장치로서 구조가 간단하고, 사용이 편리하지만 한 번에 1개피의 켈련만 흡연이 가능하므로 부류연 포집에 너무 긴 시간이 소요되었다. 또한 부류연을 포집하는 과정에 있어서 켈련 점화 후 즉시 Fishtail Chimney의 높이를 조절하기 곤란하였고, 흡연과정 중 연소부위의 위치 이동에 따라 Fishtail Chimney의 위치를 이동시키는데 적지 않은 어려움이 발생하였다. 또한 1채널 자동흡연장치를 사용하기 때문에 반복실험시 환경변화로 인해 데이터의 반복성이 떨어질 가능성이

높았다. 실제로 1채널 자동흡연장치를 사용하여 CM4 담배를 8회 반복하여 분석한 결과 부류연의 NFDPM 및 CO 평균값에 대한 변동계수(CV)가 각각 13% 및 11%를 나타낸 바 있다(미발표 자료). 본 연구에서는 이러한 단점들을 극복하기 위하여 8채널 선형 자동흡연장치를 이용한 부류연 포집장치를 개발하여 시간 및 포집 방법상의 문제점을 해결코자 하였다. 아울러 자체 개발한 이 부류연 포집장치를 사용하여 CORESTA에서 주관한 부류연 분석을 위한 국제공동연구를 수행함으로써 그 타당성을 검증하였기에 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

8채널 선형 자동흡연장치(Filtrona SM342)에 부착하여 1회 작동시 8채널에서 동시에 부류연을 포집할 수 있도록 8개의 CORESTA 부류연 포집 시스템을 독립적으로 8채널 선형 자동흡연장치에 설치하였으며 설계도는 아래의 Fig. 2와 같았다.

Fig. 3은 부류연 포집장치를 8채널 선형자동흡연장치에 조립한 상태를 나타낸 정면도인데 각각의 채널에 있어서 담배 부류연이 감압펌프(4)로 직접 유입되는 것을 방지하기 위해 pre-filter(6)를 Tygon tube를 통해 연결하고 이후 전자제어판(10)과 유량계(5)를 거쳐 Impinger(3)와 Fishtail Chimney(1)에 연결된 Cambridge filter holder(2)에 감압이 도달되도록 고정 구조물을 설계하였다. 이 때 고정구조물에 장착되는 Fishtail Chimney(1)는 테플론 연결부를 사용하여 스크류나사로 높이 조절이 가능하도록 하였다.

이와 같이 구성된 본 장치는 Fig. 4와 같이 Fishtail Chimney가 장착된 부분의 상하이동이 가능하도록 전동식 stroke(7)를 전자제어판(10)을 거쳐 설치하여 자동 제어에 의해 작동이 가능하도록 구성하였으며, 이 때 고정구조물에 부착된 높이 센서(9)를 이용하여 특정높이 이상 및 그 이하로는 Fishtail Chimney(1)가 이동하지 않도록 설계하였다. 또한 부류연 포집시 쉘련의 연소길이에 따라 부류연이 Fishtail Chimney(1)의 중심

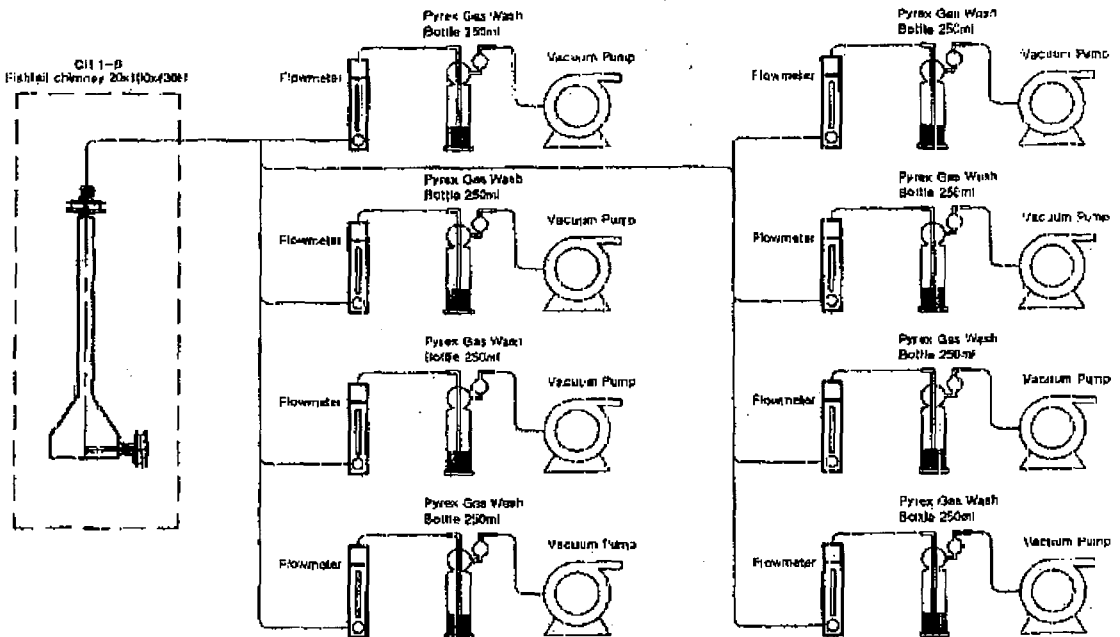


Fig. 2. A plan of sidestream smoke collecting apparatus compatible for 8 channel smoking machine.

다채널 선형자동흡연장치 부착형 부류연 포집장치의 개발과 평가

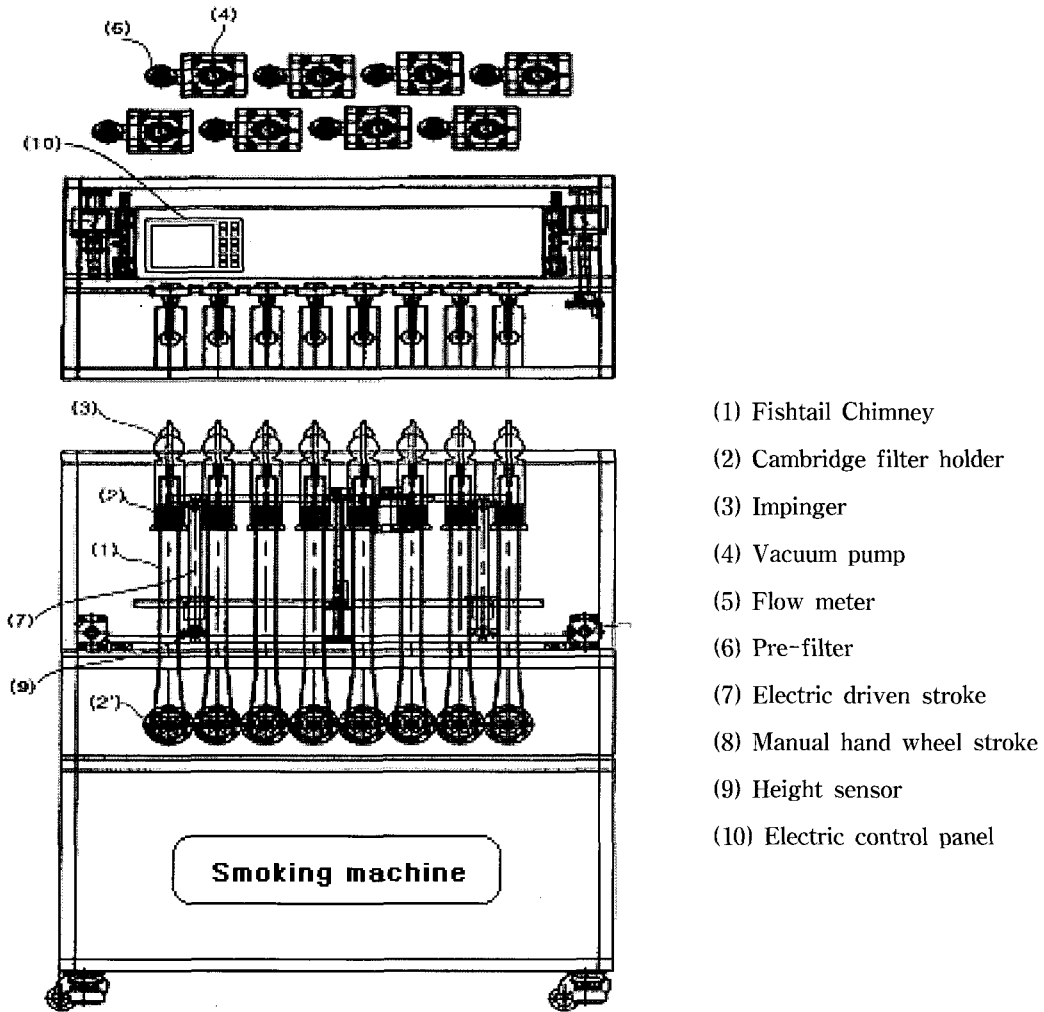


Fig. 3. A front view of sidestream smoke collecting apparatus mounted on 8 channel linear smoking machine.

부를 거쳐 Cambridge filter holder(2)에 잘 포집되어지도록 하기 위하여 Fishtail Chimney의 전후 이동이 가능하도록 수동식 Hand wheel stroke를 설치하였다.

한편 CORESTA의 Sub Group "Routine Analytical Chemistry (RAC)에서 각 회원기관의 부류연 중 일반성분(타르, 니코틴, 이산화탄소)의 분석현황을 모니터링하기 위해 국제공동연구를

2004년 9월부터 3개월 동안 실시한 바 있는데, 필자들의 소속기관을 포함하여 총 8개 기관이 참여하였다. CRM No. 54 및 No. 55에 따라 CORESTA Monitoring Cigarette(CM4)의 부류연 일반성분을 분석하여 제출하고 실험실간 분석결과를 비교하였는데 새로이 개발한 8채널 선형자동흡연장치 부착형 부류연 포집장치를 사용함으로써 그 적합성을 검증하였다.

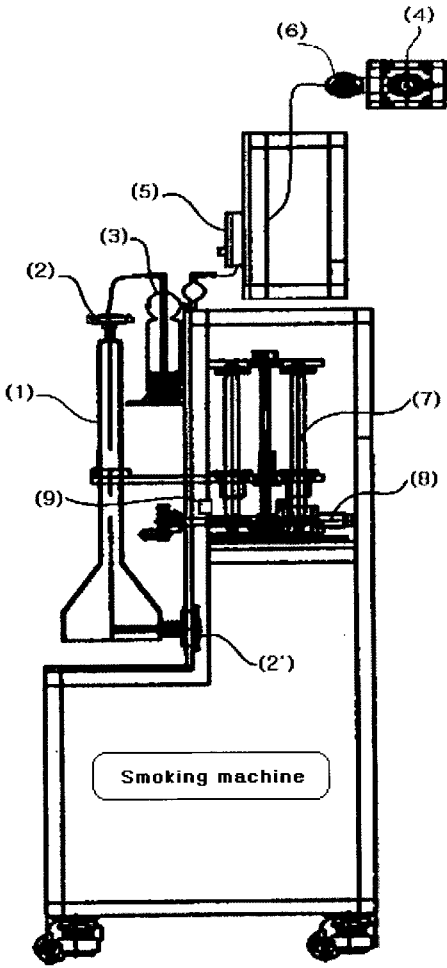


Fig. 4. A side view of sidestream smoke collecting apparatus mounted on 8 channel linear smoking machine. The legends are the same as in Fig. 3.

결과 및 고찰

설계도에 따라 제작한 8채널 선형자동흡연장치 부착형 부류연 포집장치를 Fig. 5에 나타내었다.

본 장치는 기존의 다채널 선형 자동흡연장치에 부착이 용이할 뿐만 아니라 1회 구동시 여러 채널에서 동시에 생성되는 부류연을 한꺼번에 포집

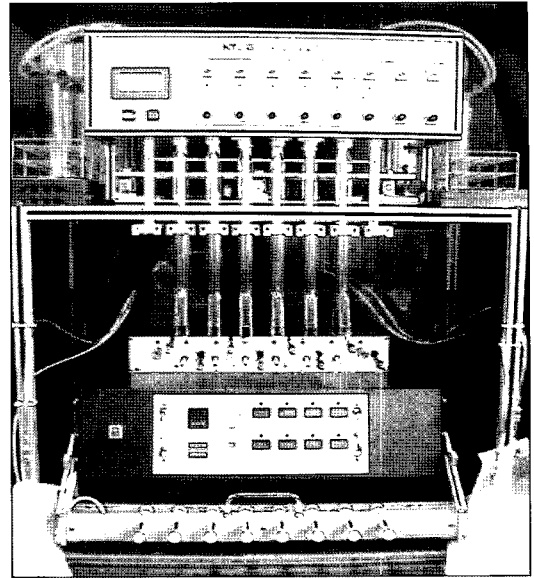


Fig. 5. The real image of sidestream smoke collection apparatus mounted on the eight channel linear smoking machine.

할 수 있도록 구성하였다. 이와 같은 용이함을 제공하기 위하여 부류연 포집에 사용되어지는 Fishtail Chimney, Cambridge filter holder, Impinger, 감압펌프 및 유량계를 장착하여 CRM 방법에서 제시된 기준을 충족시켰으며, 작동의 편리성을 도모하기 위하여 각각의 채널에 연결된 8개의 감압펌프를 전자제어판에서 제어할 수 있도록 하였다. 또한 전동식 stroke를 기계의 본체에 장착하여 전체 8개의 채널에 있는 Fishtail Chimney의 상하이동이 전자제어에 의해 가능하도록 하였고, 수동식 Hand wheel stroke를 장착하여 연소시 켜진 연소부위의 위치 변화에 따라 Fishtail chimney를 전후로 쉽게 이동시킬 수 있도록 구성하였다.

CORESTA Sub Group에서 주관한 RAC 국제 공동연구에 참여하여 제공된 시료(CORESTA Monitoring cigarette, CM4)의 연기중 일반성분을 새로이 개발한 부류연 포집장치를 사용하여 분석하고 다른 참여기관들의 평균값과 비교한 결과를

Table 1. Comparison of sidestream smoke yields of CM4 cigarettes

Smoke Yields (mg/cig)	Lab mean values ¹⁾	Overall means ²⁾	t-test
NFDPM	27.18±0.79	27.22±2.20	
Nicotine	4.89±0.14	5.08±0.19	* ³⁾
CO	66.30±3.41	60.20±5.35	

- 1) Determined by using the newly developed SSS collecting apparatus(n=8)
- 2) The mean values of eight laboratories participated in this collaborative study.
- 3) Significant at α=0.01

Table 1에 나타내었다.

Fishtail Chimney를 사용한 부류연 포집시스템에 있어서 부류연의 니코틴과 타르의 생성량은 흡연장치의 각 채널당 흡연되는 켈련의 수가 1~3개의 경우에는 부가적이지만 3개피를 초과하는 경우에는 그렇지 않다고 한다(Proctor *et. al.*, 1988). 그러므로 각 켈련들간의 변이를 고려한, 통계적으로 유의성 있는 결과를 얻기 위해서 8개의 채널에 각각 3개의 켈련을 흡연시켰으며, 따라서 보고된 부류연의 yield는 24개 켈련의 평균값이다(8반복 결과).

S-Link system을 이용하여 부류연 일반성분들에 대한 본 실험실 자료와 나머지 8개 기관의 평균값을 비교한 결과, NFDPM(타르)과 CO 함량의 측정결과에는 유의차가 없었으며, 니코틴 함량에 있어서도 99% 신뢰수준에서는 통계적 차이가 없음을 알 수 있었다. 그러므로 새로 개발한 부류연 포집장치를 사용하여 보다 정확하고도 신속하게 부류연 중의 일반성분들을 분석할 수 있음을 확인하였다.

결 론

본 연구에서는 1채널 흡연장치를 사용한 부류연 포집장치의 단점으로 지적되고 있는 낮은 반복성과 긴 포집 소요시간을 극복하기 위해 8채널 선형 자동흡연장치 부착형 부류연 포집장치를 개

발하여 1회 작동시 여러 채널에서 동시에 생성되는 부류연을 한꺼번에 포집할 수 있도록 하였으며 전동식 stroke와 자동제어시스템을 도입함으로써 작동의 효율성과 편의성을 도모하였다. 또한 CORESTA의 Routine Analytical Chemistry (RAC) Sub Group에서 주관한 국제공동연구에 참여하여 새로 개발한 부류연 포집장치로 시료켈련(표준담배 CM4)의 부류연 중의 일반성분을 분석해서 참여기관들이 분석한 데이터와 비교한 결과 전체 평균치와 유사한 결과를 나타내었으며, 이로부터 이 연구에서 제안된 장치를 사용하여 부류연을 보다 신속하고 정확하게 분석할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

Chortyk, O. T. and Schlotzhauer W. S. (1989) The contribution of low tar cigarettes to environmental tobacco smoke. *Journal of Analytical Toxicology* 13 : 129-134.

Coresta Recommended Method No. 54 (2002) Determination of nicotine and nicotine-free dry particulate matter in sidestream smoke using a Fishtail Chimney and a routine analytical/linear smoking machine. Corporate Center for Scientific Research Relative to Tobacco.

Coresta Recommended Method No. 55 (2002) Determination of carbon monoxide in the vapor phase of cigarette sidestream smoke using a Fishtail Chimney and a routine analytical/linear smoking machine. Corporate Center for Scientific Research Relative to Tobacco.

Klus, H. (1990) Distribution of mainstream and sidestream cigarette smoke components. *Recent Advances in Tobacco Science* 16 : 189-232.

McRae, D. D. (1990) The physical and chemical nature of tobacco smoke. *Recent Advances in Tobacco Science* 16 : 233-323.

National Research Council (1986) Environmental tobacco smoke. Measuring exposure and assessing health effects. p.25-53. National Academic Press, Washington D. C., USA.

Proctor, C. J., Martin, C., Beven, J. L. and Dymond, H. F., (1988) Evaluation of an apparatus designed for the collection of sidestream tobacco smoke. *Analyst* 113 : 1509-1513.

이문수, 박은수 (1997) 담배연구의 최근동향. p.253-291. 한국연초학회.