

3차 간접흡연의 과학적 증거의 고찰

이기영[†]

서울대학교 보건대학원 환경보건학과
(2010. 3. 10. 접수/2010. 3. 31. 수정/2010. 4. 15. 채택)

Scientific Evidences of Thirdhand Smoke

Kiyoung Lee[†]

Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea
(Received March 10, 2010/Revised March 31, 2010/Accepted April 15, 2010)

ABSTRACT

Tobacco smoking and secondhand smoke exposure are linked to a number of adverse health outcomes. There is a new concept of thirdhand smoke that is residual tobacco smoke contamination remained after the cigarette is extinguished. This paper reviews published studies examining the residual tobacco smoke. Tobacco smoke can be attached to various surfaces and reemitted to air for long period of time. The dynamic process can allow thirdhand smoke exposure to tobacco smoke without direct exposure to secondhand smoke. One critical evidence of the thirdhand smoke exposure was significantly high urinary cotinine level of infant who did not have direct secondhand smoke exposure. Potential exposure to new and more potent chemicals generated from chemical reactions between residual tobacco smoke and ambient air pollutants can get more attention. Considering toxicity and exposure route, children are uniquely susceptible to thirdhand smoke exposure. The review provides strong background information for thirdhand smoke but warrant more researches on this issue.

Keywords: thirdhand smoke, surface sorption, residue, children

I. 서 론

흡연이 온갖 질병과 사망을 일으키는 요인 중 예방할 수 있는 가장 중요한 원인이라는 것은 이미 알려져 있고 흡연 한 가지에 의한 사망률이 음주, 교통사고, 후천성 면역 결핍증(acquired immune deficiency syndrome, AIDS) 등 다른 모든 원인을 합한 영향보다도 크다는 것은 잘 알려져 있다.¹⁾ 역사적으로 흡연이 발암 등 건강에 많은 영향을 미친다고 공식적으로 공표한 것은 미국 의무감(US Surgeon General) Luther L. Terry가 1964년 발표한 “Smoking and Health”라는 보고서를 통해서이다.²⁾ 이 보고서는 흡연자의 사망률이 비흡연자에 비해 70% 이상 높은 것은 흡연 때문이라고 밝히고 폐암 발생율은 흡연자가 비흡연자 보다 9-10배 높다고 추정하였다. 이 보고서는 비록 흡연에 대

한 관리방안에 대해서는 전혀 기술하고 있지는 않지만 일반대중의 태도와 보건정책에 많은 영향을 미친 바 있다.

흡연은 또 흡연자뿐 아니라 주변 사람의 건강에 영향을 미칠 수 있는데 담배에서 나오는 연기를 흡입함으로써 담배를 피우는 것과 같은 효과를 나타내는 것을 간접흡연(secondhand smoke)이라고 한다. 간접흡연에 대한 위험성은 오랫동안 논의되어 왔다. 흡연에 대한 위험성을 보고한 1964년 보고서²⁾와 같이 2006년에 미국 의무감 Richard H. Carmona가 발표한 간접흡연에 대한 보고서를 통해 간접흡연의 위험성을 공식화하였다.³⁾ 이 보고서에서는 6가지 결론을 기술하고 있는데 1) 금연정책의 발전에도 불구하고 수백 만 명의 어린이와 성인을 포함한 미국인이 직장 및 집에서 간접흡연에 노출되고 있고, 2) 간접흡연은 비흡연 성인과 어린이에게 질병과 조기 사망을 가져 올 수 있고, 3) 간접흡연에 노출된 어린이는 천식이나 유아 돌연사 증후군(sudden infant death syndrome, SIDS)의 위험도를 증가시키며 6세 미만의 유아 또는 어린이가 정기적으로

[†]Corresponding author : Graduate School of Public Health, Seoul National University
Tel: 82-2-880-2735, Fax: 82-2-762-2888
E-mail : cleanair@snu.ac.kr

간접흡연에 노출될 경우 폐렴과 기관지염 같은 하부기도감염의 위험도가 증가되는데 부모의 흡연은 자녀의 호흡기 관련 증상을 일으키며 폐의 성장을 느리게 하며, 4) 간접흡연에 노출된 성인은 심장혈관계에 즉각적인 악영향을 미치고 폐암과 심장병을 일으키고, 5) 과학적으로 간접흡연에 대한 안전한 노출 수준은 없으며, 6) 실내금연만이 간접흡연으로부터 완전히 보호할 수 있으며 금연구역, 공기정화, 환기로는 비흡연자의 노출을 제거할 수 없다.

간접흡연은 실내공기 오염의 가장 큰 원인으로, 50가지 이상의 확인된 발암물질, 돌연변이유도물질, 기형발생물질 등을 포함하여 4,000가지 이상의 화학물질들이 포함되어 있다. 2006년 보고서는 간접흡연의 건강 영향에 대해 확고한 증거를 제시하고 어떻게 관리를 해야 하는지 까지 자세히 제시하고 있다.³⁾ 간접흡연에 대한 관리방안인 전면 실내금연정책이 유럽에서는 아일랜드, 미국에서는 메사추세츠 주와 캘리포니아 주를 시작으로 많은 유럽국가들, 미국의 23개 주, 태국을 비롯한 몇몇 아시아 국가 등에서 시행되고 있다. 그러나 아직 우리나라는 전면 실내금연을 실시하지 않고 있다.

이제 흡연이나 간접흡연뿐 아니라 새로운 경로를 통한 담배의 노출에 대한 연구가 보고되고 있다. 이런 노출을 3차 간접흡연(thirdhand smoke)이라고 하는데 이 고찰 논문은 이런 새로운 노출경로에 대한 연구를 고찰하여 3차 간접흡연에 대한 과학적 증거를 전개하고 앞으로의 연구방향에 대해 제시하고자 한다.

II. 3차 간접흡연의 정의

흡연을 할 때 발생하는 독성물질 중 많은 가스형태의 화학물질은 벽, 가구, 옷, 장난감, 집먼지 등의 표면에 흡착될 수 있는데 이러한 흡착은 비교적 빠른 시간에 이루어지는데 반해 흡착된 화학물질은 몇 시간에서 몇 달까지의 장기간 동안 이 물질들이 다시 공기 중으로 재 배출될 수 있다. 또 간접흡연에서 생성되는 미세먼지도 표면에 흡착되었다가 다시 부유하거나 기체형태의 화학물질과 반응을 할 수 있다. 이런 과정을 통해 흡연이 끝난 이후에도 실내환경에서 장기간 흡연에 의한 오염물질이 배출될 수 있다. 이런 과정을 통해 노출되는 것을 3차 간접흡연이라는 개념으로 정의할 수 있다.

III. 3차 간접흡연의 과학적 증거

3차 간접흡연에 대한 첫 번째 과학적 근거로 담배연기에서 나오는 화학물질과 미세먼지의 흡착에 대한 연

구들이 있다. 간접흡연의 대표적인 지표물질인 니코틴은 실내환경에서 많이 볼 수 있는 카페트나 페인트가 칠해진 벽에 잘 흡착되며 그 흡착률은 칠 표면에 비해 2-3배 높은 것으로 측정되었다.⁴⁾ 이런 흡착은 흡연이 이루어지는 장소에서 공기 중 니코틴에 영향을 줄 수 있을 정도로 많을 수 있다고 보고되고 있다.^{5,6)} 흡연이 장기간 지속적으로 이루어졌던 실내장소에서 표면에 흡착되어있는 니코틴의 양은 담배 한 개비를 흡연했을 때 나는 양보다 많을 수 있다. 이는 환기만으로 니코틴을 제어할 수 없음을 보여주는 것이다. 특히 담배연기 중 흡착이 잘 되는 화학물질의 경우 이런 간접적인 노출은 전체 노출의 상당히 많은 부분을 차지한다.⁷⁾ 흡연이 자주 이루어지지 않는 실내환경의 표면은 흡착이 더 잘 되기 때문에 상당 기간 동안 실내공간으로 발산될 수 있다.

담배연기 내의 니코틴은 실내표면 뿐 아니라 실내에 존재하는 먼지에도 흡착이 될 수 있다. 이런 경우 거주자는 공기 중으로 발산한 니코틴은 물론 먼지에 흡착되어 있는 니코틴에 노출될 수 있는데 먼지에 흡착된 니코틴은 21일 이후에도 약 40%의 양이 남아있을 정도로 장기간동안 노출될 가능성이 있다.⁸⁾ 집안에서 매일 흡연하는 담배의 수와 먼지내의 니코틴은 유의한 관계를 보였다.⁹⁾ 실내에 존재하는 먼지에서 니코틴을 측정된 결과 비흡연 가정과 흡연가정의 농도는 유의한 차이가 있었고, 흡연 정도와 먼지내의 니코틴은 유의한 관계를 보였다.¹⁰⁾ 이 연구에서 비흡연 가정에서도 평균 11.7 ng/mg의 니코틴이 먼지에서 발견되었다. 이는 군집을 나눌 때 생기는 오차 이외에도 3차 간접흡연의 가능성을 보여준다고 할 수 있다. 집안 분진내의 니코틴의 양은 급성보다는 만성적인 간접흡연 노출을 나타내는 것으로 조사되었으며 실내 흡연의 기간과도 연관이 있다.¹¹⁾

표면에 흡착되어 있는 니코틴의 양은 흡연자와 비흡연자가 소유하던 중고자동차에 대한 비교 연구를 통해 니코틴의 흡착 정도가 흡연량에 따라 영향을 받는다는 것이 밝혀졌다.¹²⁾ 비흡연자의 차는 표면, 먼지내, 공기 중 니코틴 농도가 흡연자의 차에 비해 현저히 낮았다. 운전자가 흡연자인 경우 차내에서 금연을 실시하면 공기 중 니코틴 농도는 낮아지지만 표면이나 먼지내의 니코틴 농도는 흡연자의 차에서 금연을 실시하지 않는 경우와 별 차이가 없었다. 차내에서 담배를 많이 피울수록 니코틴의 양은 증가하였다. 이 연구 결과는 표면의 니코틴이 3차 간접흡연의 가능성을 표시할 수 있는 지표물질로서의 가능성을 보여준 연구이다. 이 연구에서 표면에 존재하는 니코틴 수준을 이용하여 운전자가 비

흡연자인 경우를 찾아내는 특이도(specificity)는 100% 이었고 흡연자의 차량 중 금연을 실시하지 않는 경우에 대한 민감도(sensitivity)는 82%이었다.¹²⁾

간접흡연의 노출을 줄이기 위해 실내금연을 실시하는 것을 권장하고 있다. 하지만 집안에서 흡연을 하지 않더라도 PM₁₀과 니코틴의 농도가 비흡연자의 집에서 보다 유의하게 높으며 가정에 흡연자가 있는 경우 집밖에서 흡연을 하는 경우 PM₁₀과 니코틴의 농도가 감소하기는 하나 그 차이가 유의하지 않았다.¹³⁾ 이 연구 결과는 집밖에서 흡연을 할 것을 추천하는 경우 노출이 감소하기는 하지만 3차 간접흡연과 흡연자의 행동양식에 따라 완전하게 없앨 수 없다는 증거이다. 물론 가장 효율적인 관리 방법은 오염원의 제거인 금연임을 강조할 수 있다.

3차 간접흡연에 대한 과학적인 증거는 신생아의 소변에서 코티닌을 측정함으로써 집안에서 흡연을 하지 않더라도 신생아가 담배의 독성물질인 니코틴에 노출될 수 있음을 보여준 연구가 있다.¹⁴⁾ 이 연구는 신생아가 있는 가정은 (1) 가족이 모두 비흡연자인 가정, (2) 흡연자가 있으나 집에서 흡연을 하지 않는 가정, 그리고 (3) 흡연자가 집에서 흡연을 하는 가정과 같이 3개 군으로 분리하여 집안에서 먼지내, 공기중, 그리고 실내 표면적에서의 니코틴 농도와 신생아의 소변의 코티닌을 측정하였다. 그 결과 흡연자가 있으나 집에서 흡연을 하지 않는 가정에서 간접흡연의 노출은 비흡연자 가정에 비해 5-7배 높았다. 집안에서 흡연을 하는 가정은 집안에서 흡연을 하지 않는 흡연자 가정에 비해 3-8배 정도 더 높은 노출을 보여주었다. 이는 흡연자가 집안에서 흡연을 하지 않음으로써 신생아가 간접흡연에 노출이 되지 않더라도 3차 간접흡연에 의해 노출이 된다는 것을 입증한 연구이다.

단기간이기는 하지만 흡연을 한 직후 담배연기는 흡연자의 폐에 잔류하면서 흡연자가 다른 장소로 간 후에도 미세입자가 배출될 수 있다는 보고가 있다.¹⁵⁾ 10명의 자원자가 흡연을 한 후에 1 마이크로미터 이하의 입자가 나오는 시간은 평균 60초로 이는 약 8.7번의 호흡을 하는 동안 미세입자가 나오는 것을 의미한다. 이런 노출의 영향을 알아본 결과 약 33 입방미터의 방에 10명의 흡연자가 담배를 핀 직후에 한 명씩 들어간다면 초극미세입자(Ultrafine Particulate, UFP) 입자의 수 농도는 공기 1리터당 2만2천개의 배경농도에서 15배가 넘는 1리터당 34만개의 입자가 된다. 이는 직경이 2.5 마이크로미터 이하의 입자 무게농도로는 배경농도인 0.56에서 3.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가하는 것이다.

흡연자의 호기 중의 흡연 지표물질로서 벤젠, 1,3-

butadiene, 2,5-dimethylfuran을 측정한 결과 기체의 형태로 있는 지표물질은 흡연을 하는 순간 호기 중 농도가 올라가며 흡연을 멈춘 후에 감소하는 것을 알 수 있다.¹⁶⁾ 흡연 중 최고 농도의 평균치는 벤젠이 522 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1,3-butadiene이 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2,5-dimethylfuran 농도가 375±150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 이들 물질은 흡연 후 1분 내에 배출이 급격히 줄어들지만 적은 양이지만 다음 14분 가량 지속적으로 배출되는 것을 보여주고 있다. 이는 흡연자의 호기에는 실외에서 흡연을 한 후에 10-15분 내에 실내에 들어오더라도 실내공기 중으로 흡연의 잔류화학물질이 발산되어 주변사람이 노출될 수 있음을 말하는 것이다. 비흡연자가 간접흡연에 노출된 경우에도 호기에서 이 물질들이 발견되었지만 농도는 현저하게 낮았다.

표면에 흡착되어 있다가 공기 중으로 발산되어서 노출되거나 피부에 직접 접촉한 경우 간접흡연에 포함되어 있는 발암물질이나 유독물질에 노출될 수 있다. 그러나 흡연시 노출되는 간접흡연에 포함되어 있는 4,000가지 이상의 화학물질 중 어떤 물질이 표면에 흡착되어 있다가 재방출이 되는지는 잘 알려져 있지 않다. 담배연기의 대표적인 물질인 니코틴은 흡착이 잘 되는 것으로 알려져 있고 표면에 상당히 높은 농도로 잔존하며 중독성이 있는 유독 물질이므로 3차 간접흡연에 의한 건강영향이 있다고 볼 수 있다. 이 니코틴은 노출경로가 호흡, 피부 접촉, 섭취 등으로 다양할 수 있다.

최근의 연구는 3차 간접흡연이 니코틴 등 담배연기에 있는 화학물질이 재방출 되는 것 이외에도 실내반응에 의한 유독물질의 생성으로 인해 인체에 영향을 미칠 수 있음을 보여준다.¹⁷⁾ 실내표면에 흡착된 니코틴은 공기 중의 아질산(nitrous acid, HONO)과 반응하여 발암성이 높은 TSNA(Tobacco-specific Nitrosamines)를 생성하는 것으로 밝혀졌다. 실험실에서 간접흡연에 노출된 셀룰로스 물질을 60 ppb의 HONO에 3시간 동안 노출시켰을 때 표면의 nitrosamines 농도가 10배 이상 증가하였다. 이 과정에서 측정된 Nitrosamines 중에는 간접흡연에서는 볼 수 없는 1-(N-methyl-N-nitrosamino)-1-(3-pyridinyl)-4-butanal가 가장 많이 포함되어 있고 또 발암성이 강한 4-(methylnitrosamino)-1-(3-pyridinyl)-1-butanone과 N-nitroso nornicotine이 측정되었다.

IV. 3차 간접흡연의 연구방향

3차 간접흡연은 비교적 최근에 나온 개념으로 앞으로 많은 연구가 필요한 분야이다. 우선 3차 간접흡연을 정확하고 손쉽게 측정할 수 있는 방법이 필요하며 이런

방법으로 측정된 지표물질에 대한 노출 수준을 파악할 필요가 있다. 현재 제시된 방법 중 가장 대표적인 방법은 표면적에 흡착되어 있는 니코틴을 측정하는 방법인데 이 방법에 대한 정확성, 측정방법의 표준화, 실내흡연과의 연관성을 정립할 필요가 있다. 기존의 연구에서 보듯이 니코틴은 흡착물질에 따라 흡착률이 변할 수 있고 수거율에 대한 연구도 보충되어야 할 것이다. 또 기존의 흡연과의 연관성에 대한 연구가 기초적이어서 좀 더 자세한 연구가 필요할 것이다. 또 이런 측정방법의 표준화가 이루어지면 표면의 니코틴과 실제 인구가 3차 간접흡연에 노출되는 수준에 대한 연구가 필요하다.

기존의 연구에서는 표면에 흡착되어 있는 화학물질이 검출은 되었으나 그 양은 비교적 낮은 수준이었다. 간접흡연의 경우 안전한 수준의 노출은 없다는 공식적인 입장을 인용한다면 이런 낮은 노출 수준도 용인해서는 안 될 것이나, 이에 대한 과학적인 연구가 필요하다. 간접흡연은 담배에서 나오는 많은 종류와 높은 농도에 의한 영향이나 3차 간접흡연의 경우 아직 노출되는 물질의 종류나 양에 대한 연구가 미흡한 편이다. 그러므로 낮은 농도에서 장기간 3차 간접흡연에 노출되는 경우의 건강영향에 대한 연구가 보충되어야 한다. 이런 연구는 역학연구뿐 아니라 동물실험과 같은 독성학적 방법을 적용할 필요가 있다.

최근의 연구와 같이 3차 간접흡연은 흡착 후 반응 등을 통해 독성이 더 강한 물질을 생성할 수 있으며 간접흡연과 달리 피부접촉 등 다양한 노출경로를 통해 인체에 흡수 될 수 있다. 간접흡연의 위험성이 널리 알려진 후에 간접흡연의 노출대상은 비교적 성인으로 국한되는 경향이 있으나 3차 간접흡연의 경우는 신생아 등 노출에 특히 민감한 인구 집단도 노출이 될 수 있기 때문에 이에 대한 노출 평가와 건강 영향에 대한 연구가 필요할 것이다.

물론 궁극적으로 이런 노출을 방지하는 것이 가장 좋은 방법으로 이를 성취하기 위한 방법에 대한 연구도 진행이 되어야 할 것이다. 이런 추가적인 노출에 대한 믿음이 가정에서의 금연 실시와 연관성이 있다는 보고가 있다.¹⁸⁾ 보호자가 흡연과 관련된 위험성에 대한 사실을 더 많이 아는 경우 간접흡연과 3차 간접흡연으로부터 노약자를 보호하기 위해 실내금연을 실시할 수 있다는 것이다. 더 나아가 금연 실시까지 가는 관리 모델이 개발되어 평가되어야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로

로 한국연구재단의 기초연구사업(2009-0075817) 지원을 받아 수행된 것이다.

참고문헌

- Centers for Disease Control and Prevention, Annual smoking-attributable mortality years of potential life lost, and economic costs-United States, 1995-1999. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, **51**(14), 300-303, 2002.
- U.S. Department of Health and Human Services. *Smoking and Health: Report of the Advisory Committee to the Surgeon General of the Public Health Service*, Public Health Service Publication No. 1103, 1964.
- U.S. Department of Health and Human Services. *The Health Consequences of Involuntary Exposure to Tobacco Smoke: A Report of the Surgeon General*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, Coordinating Center for Health Promotion, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health, 2006.
- Van Loy, M. D., Riley, W. J., Daisey, J. and Nazaroff, W. W. : Dynamic behavior of semivolatile organic compounds in indoor air. 2. Nicotine and phenanthrene with carpet and wallboard. *Environmental Science Technology*, **35**, 560-567, 2001.
- Van Loy, M. D., Nazaroff, W. W. and Daisey, J. M. : Nicotine as a marker for environmental tobacco smoke: Implications of sorption on indoor surface materials. *Journal of Air & Waste Management Association*, **48**, 959-968, 1998.
- Daisey, J. M., Mahanama, K. R. and Hodgson, A. T. : Toxic volatile organic compounds in simulated environmental tobacco smoke: emission factors for exposure assessment. *Journal of Exposure Analysis Environmental Epidemiology*, **8**, 313-314, 1998.
- Singer, B. C., Hodgson, A. T. and Nazaroff, W. W. : Gas-phase organics in environmental tobacco smoke: 2. Exposure-relevant emission factors and indirect exposures from habitual smoking. *Atmospheric Environment*, **37**, 5551-5561, 2003.
- Chuang, J., Callahan, P., Gordon, S., Wilson, N. and Lewis, R. : *Methodology for Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Other Semivolatile Organic Compounds in House Dust*. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/A-93/129 (NTIS PB93204105), 1993.
- Hein, H. O., Suadicani, P., Skov, P. and Gyntelberg, F. : Indoor dust exposure: an unnoticed aspect of involuntary smoking. *Archives of Environmental Health*, **46**, 98-101, 1991.
- Kim, S., Aung, T., Berkeley, E., Diette, G. B. and Breyse, P. N. : Measurement of nicotine in household dust. *Environmental Research*, **108**, 289-293, 2008.

11. Whitehead, T., Metayer, C., Ward, M. H., Nishioka, M. G., Gunier, R., Colt, J. S., Reynolds, P., Selvin, S., Buffler, P. and Rappaport, S. M. : Is House-dust nicotine a good surrogate for household smoking? *American Journal of Epidemiology*, **169**, 1113-1123, 2009.
12. Matt, G. E., Quintana, P. J. E., Hovell, M. F., Chatfield, D., Ma, D. S., Romero, R. and Uribe, A. : Residual tobacco smoke pollution in used cars for sale: Air, dust, and surfaces. *Nicotine & Tobacco Research*, **10**(9), 1467-1475, 2008.
13. Rumchev, K., Jamrozik, K., Stick, S. and Spickett, J. : How free of tobacco smoke are 'smoke-free' homes? *Indoor Air*, **18**, 202-208, 2008.
14. Matt, G. E., Quintana, P. J. E., Hovell, M. F., Bernert, J. T., Song, S., Novianti, N., Juarez, T., Floro, J., Gehrman, C., Garcia, M. and Larson, S. : Households contaminated by environmental tobacco smoke: sources of infant exposures. *Tobacco Control*, **13**, 29-37, 2004.
15. Invernizzi, G., Ruprecht, A., De Marco, C., Paredi, P. and Boffi, R. : Residual tobacco smoke: measurement of its washout time in the lung and of its contribution to environmental tobacco smoke. *Tobacco Control*, **16**, 29-33, 2007.
16. Gordon, S. M. Wallace, L. A., Brinkman, M. C., Patrick J., Callahan, P. J. and Kenny, D. V. : Volatile organic compounds as breath biomarkers for active and passive smoking. *Environmental Health Perspectives*, **110**, 689-698, 2002.
17. Sleiman, M., Gundel, L. A. Pankow, J. F., Jacob III, P. Singer, B. C. and Destailats, H. : Formation of carcinogens indoors by surface-mediated reactions of nicotine with nitrous acid, leading to potential third-hand smoke hazards, PNAS early edition, www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0912820107.
18. Winickoff, J. P., Friebely, J., Tanski, S. E., Sherrod, C., Matt, G. E., Hovell, M. F. and McMillen, R. C.; Beliefs about the health effects of "thirdhand" smoke and home smoking bans. *Pediatrics*, **123**, e74-e79, 2009.