

[Convergence Paper]

유해오염물질 처리를 위한 흡연부스의 설계

권우택 · 권이승* · 이우식**†

을지대학교 보건환경안전학과, *가톨릭관동대학교 의료경영학과, **가천대학교 화공생명공학과

Study of Smoking Booth Design for the Treatment of Hazardous Pollutants

Woo-Taeg Kwon · Lee-Seung Kwon* · Woo-Sik Lee**†

Dept. of Environmental Health and Safety, Eulji University

*Dept. of Health Care Management, Catholic Kwandong University

**Dept. of Chemical & Biological Engineering, Gachon University

(Received November 21, 2017; Revised December 4, 2017; Accepted December 5, 2017)

요 약

본 연구는 흡연시 발생하는 각종 유해오염물질을 효과적으로 저감할 수 있는 친환경 흡연부스를 제작하고, 유해물질의 제거효율 및 효과를 평가하는 것이다. 유입구-HEPA필터-전기집진기(EP)-침착활성탄-배출구 등의 탈취설비를 갖춘 친환경 자동 흡연부스를 설계 및 제작하여, 흡연연기에 의한 유해오염물질의 제거효율을 측정 및 평가하였다. 측정방법으로는 내부의 배경농도, 설비 가동 시 배출구 농도, 10분 후 흡연부스의 농도를 측정하고, 평가항목으로는 복합악취, 일산화탄소, 미세먼지(PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀), 총휘발성유기화합물(TVOCs)을 대상으로 하였다. 복합악취 제거효율은 흡연부스 내부에서는 95.37%, 방지설비통과 배출구에서는 97.38%로 우수하였다. 일산화탄소 제거효율은 내부에서는 94.25%, 배출구에서는 98.32%로 나타났다. 또 흡연부스 내부에서의 미세먼지 제거효율은 98.59%이며, 배출구에서는 98.85%로 나타나 미세먼지 제거효율은 매우 우수한 것으로 나타났다. TVOCs는 흡연부스 내부에서는 26,000 µg/m³에서 5,203 µg/m³로 감소하여 79.99%의 제거효율로 나타났고, 환풍기 가동 후 방지설비 배출구에서는 5,019 µg/m³로 측정되어 제거효율은 80.70%로 나타났다. 따라서 본 연구를 통하여 제작, 설계된 흡연부스는 향후 소규모 작업환경 내에서도 각종 유해오염물질들을 제거하는 용도로 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

ABSTRACT

The purpose of this study was to develop a Eco smoking booth that can effectively reduce hazardous pollutants generated during smoking and evaluate the efficiency and effectiveness of removing hazardous pollutants. The design and manufacture of an eco-friendly automatic smoking booth equipped with deodorizing facilities, such as inlet - HEPA filter - electrostatic precipitator (EP) - impregnated activated carbon - exhaust port, etc., and the efficiency of removing hazardous pollutants from inside and outside was measured and evaluated. The complex odor removal efficiency was 95.37% inside the smoking booth, and 97.38% at the exit of the preventive facility. The carbon monoxide removal efficiency was 94.25% in the inside and 98.32% in the outlet. In addition, the removal efficiency of particulate matter, (PM₁, PM_{2.5}, and PM₁₀) inside the smoking booth was 98.59%, and 98.85% at the outlet. The total volatile organic compounds (TVOCs) decreased from 26,000 µg/m³ to 5,203 µg/m³ in the smoking booth, resulting in 79.99% removal efficiency. After the ventilator was operated, the measured effluent concentration was 5,019 µg/m³, and the removal efficiency was 80.70%. Therefore, the smoking booth designed and manufactured through this study can be applied to the removal of harmful pollutants even in the small working environment in the future.

Keywords : Eco Smoking Booth, Complex Odor, CO, Particulate Matter, TVOCs, Removal Efficiency

1. 서 론

우리나라에서 현재 성인의 흡연율은 감소하는 추세이다. 2000년 이전에는 흡연율이 67.0%로 매우 높았으나 2000년 대에 들어 정부의 금연정책과 흡연에 대한 부정적 인식의

변화 등으로 인하여 19세 이상 흡연율은 남자가 41.4%, 여자 흡연율은 5.7%로 낮아지고 있는 추세이다.⁽¹⁾ 연령별로는 30대가 가장 흡연율이 높고, 연령이 높아질수록 감소하는 경향을 보이지만, 노인인구는 10% 이상이 흡연을 하고 있다. 담배 연기는 약 5,000종 이상의 독성 및 화학물질들이

† Corresponding Author, E-Mail: leews@gachon.ac.kr, TEL: +82-31-750-5594, FAX: +82-31-750-8839

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

체내에서 각종 질환 및 암을 일으키며 그 중에서도 특히 일산화탄소, 타르, 니코틴, 중금속 등 70 여종이 발암성 물질인 것으로 알려져 있다.⁽²⁾ 국내 사망원인 중 흡연과 관련된 질환 사망자는 41.9%(58,155명)로 금연을 하지 않을 경우 더 증가할 추세로 나타났다.^(3,4)

직접흡연으로 인한 인체 유해성도 높지만, 간접흡연의 피해를 줄이기 위하여 2015년 4월부터는 보건복지부는 금연연구역을 확대 실시하고 있다. 담배에 의한 유해물질과 악취는 조직 내부의 깊은 곳까지 침투하여 호흡기질환, 만성 폐쇄성질환, 심혈관질환, 동맥경화, 뇌졸중 등을 유발하는 등 개인과 주변의 건강에 위해를 준다. 담배 연소 과정 중 발생하는 일산화탄소(CO)는 폐로 유입되면 저농도에서는 피로감과 및 중추신경장애 등을 유발하여 각종 후유증이 나타난다. 고농도 폭로 시에는 매우 치명적이며 혈중 헤모글로빈과 산소의 결합을 방해하는 일산화탄소헤모글로빈(Carboxyhemoglobin)⁽⁵⁾이 형성되어 저산소증으로 인한 두통, 어지럼증, 의식혼란 등이 발생한다.^(6,7)

미세먼지는 직경에 따라 PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀로 구분이 되고 낮은 숫자일수록 호흡 시 폐까지 유입되어 호흡기질환과 폐질환 및 심장병유발, 심부정맥 이환과 관련이 있으며, 노인 및 어린이에게 높은 위해성이 있는 것으로 알려져 있다.^(8,9)

총휘발성유기화합물(TVOCs)⁽¹⁰⁾는 광화학산화물을 생성으로 인한 2차 오염과 불쾌한 냄새를 유발하여 일상 생활상의 불쾌할 뿐만 아니라 인간에게 있어서는 발암 의심물질로 분류되고 있다.^(11,12)

이러한 직·간접적인 흡연으로 인한 피해를 줄이고, 흡연자와 비흡연자의 건강을 보호하는 차원에서 흡연부스의 설치 요구가 높아지고 있어 향후 이에 대한 수요는 크게 증가할 것으로 예상하고 있다. 일본 및 유럽 등의 선진국에서는 ‘Smoke Cabin’이라는 유료 흡연부스를 운영하고 있으며, 고성능 필터를 이용해 담배연기의 배출도 고려한 제품으로 비흡연자와 흡연자 모두를 배려하고 있는 실정이다.⁽¹³⁾ 우리나라 대부분의 흡연부스는 저비용으로 단순하게 제작, 설치된 환기방식으로 주위 행인에게도 간접흡연의 영향을 주고, 내·외부로부터 유해오염물질들이 유입되어 필터에 침착하게 된다. 이러한 문제점은 필터 교환으로 인한 비용적인 측면과 흡연부스를 통과하는 행인으로부터 간접흡연 및 악취로 인해 혐오시설로 전락하게 된다.⁽¹⁴⁾

따라서 본 연구는 흡연시 발생하는 복합악취(냄새), CO, 미세먼지, TVOCs 등의 각종 유해오염물질을 저감할 수 있는 친환경 자동 흡연부스를 설계, 제작하여 흡연시 발생하는 유해물질로부터 흡연자와 비흡연자를 보호하려는 장치를 개발하는 것이 본 연구의 궁극적 목적이다.

2. 연구 방법

2.1 흡연부스의 설계

친환경 흡연부스의 기초설계는 첫 번째 담배에 관한 연

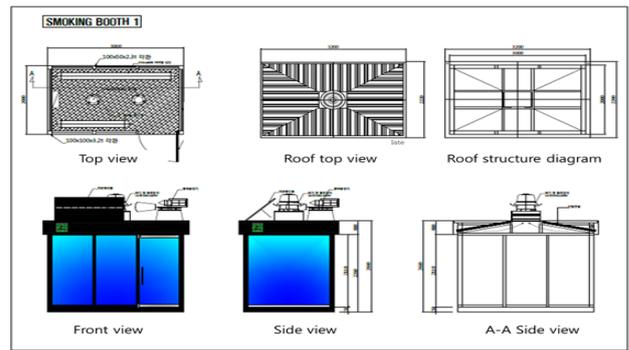


Figure 1. Eco-friendly smoking booth design.

구 자료와 흡연자들의 주요 흡연 형태 등을 고려하였으며 두 번째로 고려한 점은 흡연부스의 규격, 환기시스템, 센서, 친환경 에너지장치 및 탈취설비 등을 고려하여 Figure 1과 같이 설계하였다.

그리고 악취 및 유해오염물질이 외부로 확산되지 않도록 실내 압력을 음압으로 설계하고, 외부 공기의 유입은 흡연부스 내 상부로부터 유입되어 하부로 진입할 수 있도록 하였다. 이때에도 외부로부터의 유해물질 유입이 최소화 되도록 설계하였다.

2.1.1 흡연부스 규격

흡연부스의 면적은 5인 기준으로 하여 3,000 mm(W)×2,000 mm(L)하였으며, 높이는 성인 남성 평균 키를 고려하여 2,660 mm(H)로 설계하였다.

2.1.2 환기시스템 구성

밀폐형 흡연부스의 가스처리유량은 흡연시 발생하는 CO의 발생 농도를 기준으로 가스처리유량=흡연부스 규격×여유율(최적 14.6 m³/min)로 하였고, 환풍기 최소 풍속 산정은=가스처리유량/면적(0.81 m/sec)으로 하였다.

2.1.3 센서

흡연자가 없어도 환기설비가 자동으로 작동되어 다음 흡연자에게 불쾌감과 유해물질에 노출될 가능성을 줄이기 위하여 일정 시간동안 환기설비를 작동시켜 실내 공기질을 쾌적하게 유지할 수 있는 인체감지센서 및 전자회로를 구성하여 사용하였다. 센서의 위치는 지상에서 1.5 m 높이에 설치하였다.

2.1.4 친환경 에너지 장치

외부 전력 없이 친환경 에너지 장치를 활용하여 흡연부스의 부대설비를 작동시키고자 태양전지모듈(200(W)×3EA)을 고정식으로 설치하고 풍력발전기(300W)를 추가로 설치하였다.

2.1.5 탈취설비

탈취설비는 대표적인 탈취방식을 비교 검토를 통해 선정

하였으며, 구성으로는 유입구-HEPA필터-전기집진기(EP)-첨착활성탄-배출구로 이어지는 건식법을 적용하여 설치하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 시료측정방법

흡연부스 내·외부의 유해오염물질 측정은 배경농도, 흡연부스의 환기를 가동하지 않고 담배 5개비를 피운 후 흡연부스 내의 유해물질 측정, 환풍기 가동 후 흡연부스 밖의 배출구에서 유해물질 측정, 그리고 환풍기 가동 10분 후 흡연부스 내의 유해오염물질 량을 각각 측정하였다.

2.2.2 시료채취 및 분석방법

시료는 흡연부스 내부와 배출구에서 복합악취, 일산화탄소, 미세먼지 및 총휘발성유기화합물 등을 채취하고, 분석방법으로는 복합악취는 공기희석 관능법(남 5명, 여 2명, 나이 22~33세)으로, CO(APM/3330)와 미세먼지(DUSTTRACK™ DRX8534, TSI), 총휘발성유기화합물(GC/MSD, HP 6890/5973N) 등은 대기오염공정시험법에 의한 기준을 따랐다.

3. 결과 및 고찰

3.1 복합악취

흡연부스의 복합악취의 배경농도는 평균 3배수로 냄새를 감지할 수 없었으며, 담배 5개비 피운 후 평균 5,491배수로 증가하였다. 환풍기 가동 10분 후 흡연부스 내의 복합악취 농도는 254배수로 낮아졌으며, 흡연부스의 환풍기 가

동 후 방지설비 배출구에서의 복합악취 농도는 144배수로 검출되었다. 이는 복합악취 배출허용기준에 적합하였으며 설치된 흡연부스의 복합악취 제거효율은 97.37%로 나타났다.

이는 가스상 물질을 제거하기 전에 HEPA 필터에서 미세먼지를 제어하고 전기집진기(EP)-첨착활성탄-배출구로 유출되었기에 복합악취는 높은 제거율을 나타냈었다고 생각되어진다. 이상의 결과를 요약하면 Figure 2와 같다.

3.2 일산화탄소(CO) 측정

흡연부스 안에서의 연기의 빠른 확산으로 인하여 Log 간격을 1분으로 하여 CO측정기로 실시간 분석한 결과는 Figure 3과 같이 나타났다. 흡연부스 내부의 CO 배경농도는 0.49 ppm, 흡연부스 가동 전 담배 5개비 피운 후 CO는 31.47 ppm, 환풍기 가동 10분 후 흡연부스 내의 CO농도는 1.81 ppm, 환풍기 가동 후 방지설비를 통과한 배출구에서는 0.53 ppm으로 나타나 방지설비 한 흡연부스의 일산화탄소(CO) 제거효율은 98.32%로 나타났다. 이는 첨착활성탄이 매우 넓은 비표면적과 다양한 환경오염물질의 흡착 및 산화뿐만 아니라 일산화탄소의 산화반응에도 사용이 가능하므로 흡연부스 내부의 일산화탄소를 효과적으로 흡착, 제거하여 배출했다고 판단된다.⁽¹⁵⁾

3.3 미세먼지

흡연부스 내부 및 외부의 배출구 미세먼지를 1분 단위로 입경별로 측정된 결과는 Figure 4와 같이 나타났다.

먼저 흡연부스 내의 배경농도는 PM₁ (0.03 µg/m³), PM_{2.5}

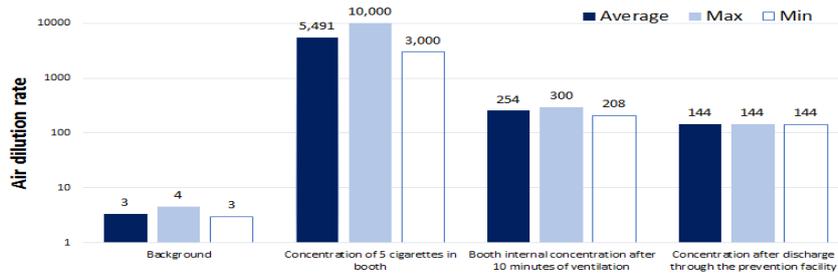


Figure 2. Complex odor dilution in smoking booth.

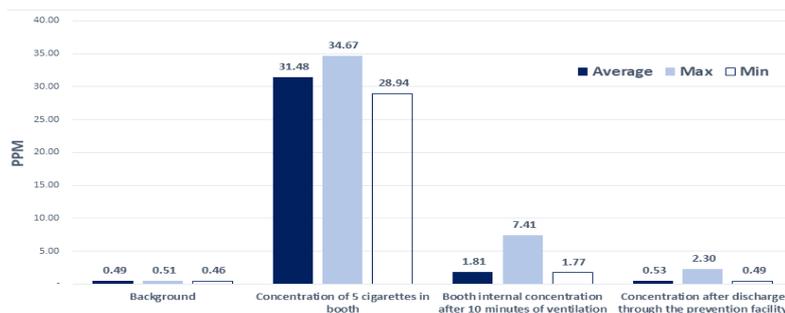


Figure 3. Concentration change of CO in smoking booth.

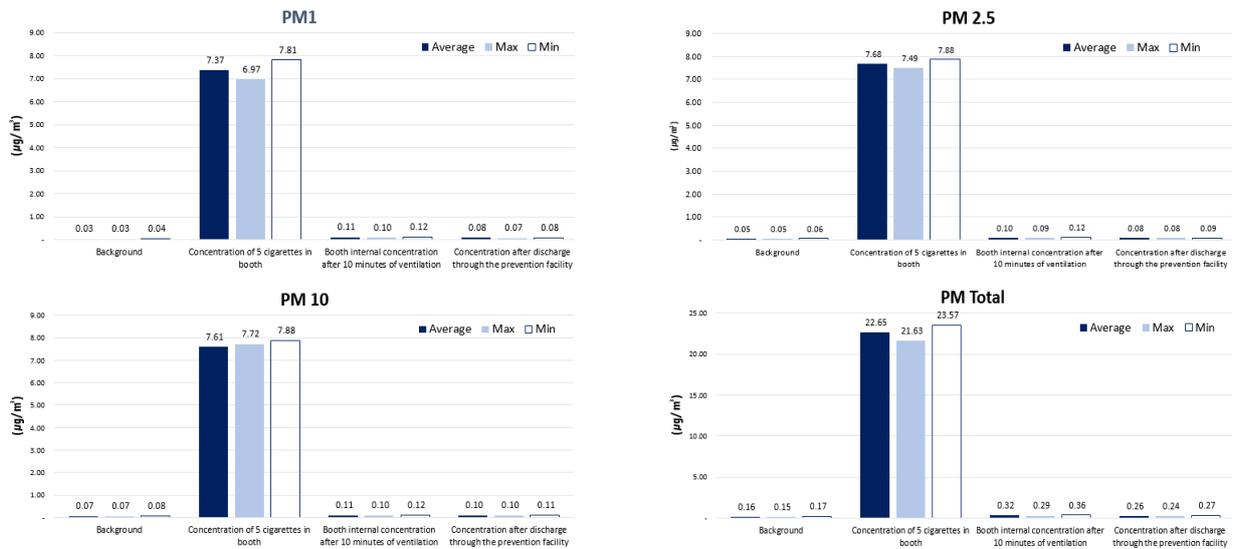


Figure 4. Change of particulate matter in smoking booth.

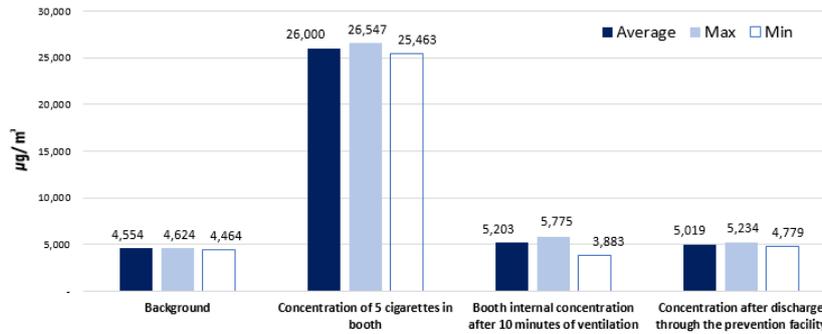


Figure 5. Change of TVOCs particle in smoking booth.

(0.05 µg/m³), PM₁₀ (0.07 µg/m³), PM_{total} (0.16 µg/m³)이며, 담배 5개비 피운 후 흡연부스 내의 미세먼지 농도는 PM₁ (7.37 µg/m³), PM_{2.5} (7.68 µg/m³), PM₁₀ (7.61 µg/m³), PM_{total} (22.65 µg/m³)로 나타났다. 환풍기 가동 후 방지설비 배출구에서의 미세먼지는 PM₁ (0.08 µg/m³), PM_{2.5} (0.08 µg/m³), PM₁₀ (0.10 µg/m³), PM_{total} (0.26 µg/m³) 이었으며, 환풍기 가동 10분 후 흡연부스 내의 미세먼지 농도가 PM₁ (0.11 µg/m³), PM_{2.5} (0.10 µg/m³), PM₁₀ (0.11 µg/m³), PM_{total} (0.32 µg/m³)로 나타났다.

실험결과 흡연부스 내에 체류하는 미세먼지 농도(PM₁₀)는 평균 7.61 µg/m³로 나타났으며, 방지설비를 통한 배출구 농도는 0.10 µg/m³로 흡연부스 내·외부의 미세먼지 농도는 대기환경기준(PM₁₀)을 만족하여 흡연자가 흡연에 의한 미세먼지의 영향은 미미한 것으로 판단되었다. 전체 먼지 농도로 볼 때 환풍기 가동 전 22.65 µg/m³에서 방지설비 통과 후 배출되는 미세먼지 농도는 배경농도 보다 조금 높은 0.26 µg/m³으로 측정되어 제작된 흡연부스의 미세먼지 농도 제거효율은 98.85%로 나타났다. 이는 연기 중의 입자상 물질에 전하를 주어 순간적으로 포집하여 처리하는 전기집진장치 효과 때문일 것으로 생각된다.⁽¹⁶⁾

3.4 총휘발성유기화합물(TVOCs)

총휘발성유기화합물(TVOCs)의 결과는 Figure 5와 같이 나타났다. 흡연부스 내의 배경농도는 평균 4,554 µg/m³이고, 흡연부스 가동 전 담배 5개비를 피운 후 TVOCs는 5.7배 높아진 26,000 µg/m³로 나타났다. 환풍기 가동 후 방지설비 배출구에서의 TVOCs가 5,019 µg/m³로 측정되어 흡연부스 내에서 배출구를 통하여 제거된 TVOCs의 제거효율은 80.70%로 나타났다. 다른 유해물질에 비하여 TVOCs 제거효율은 낮게 나타났다. 이는 첨착활성탄을 사용함으로써 TVOCs 성분이 어느 정도 흡착, 제거가 되었으나, TVOCs의 제거효율을 높이기 위해서는 첨착활성탄에 대한 연구가 더 필요할 것으로 사료된다.

또 환풍기 가동 10분 후 흡연부스 내의 TVOCs 농도는 5,203 µg/m³으로 측정되어 환풍기가 가동 후 배출구의 농도와 비슷한 값을 나타내었다.

본 연구결과에서 흡연부스의 주요 장치인 유입구-HEPA필터-전기집진기(EP)-첨착활성탄-배출구 등 탈취설비를 갖춘 친환경 흡연부스가 흡연 시 발생하는 기체 및 입자상 물질과 동일 미립자를 흡착, 제거하는 기능에 적용될 것으로 생각된다.

4. 결 론

흡연시 발생하는 각종 악취 및 유해오염물질 들을 제거하기 위하여 흡연부스를 설계, 제작하여 가동 전· 후에 있어서 흡연부스 내부와 탈취설비 배출구에서의 복합악취, CO, 미세먼지, TVOCs 등의 제거효율을 측정된 결과는 다음과 같다.

1) 흡연부스 내부에서의 복합악취 제거효율은 95.37%, 흡연부스 배출구에서는 97.38%로 제거되어 복합악취 배출 허용기준을 충족하였다.

2) 흡연부스 내부에서의 CO 농도는 31.48 ppm에서 환풍기 가동 10분 후 1.81 ppm으로 나타나 94.25% 제거효율을 보여 주었으며, 방지설비 통과 후 배출구에서의 CO 농도가 0.53 ppm으로 나타나 제거효율은 98.32%로 나타났다.

3) 흡연 후 흡연부스 내에서 환풍기 가동으로 인하여 미세먼지(PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) 제거효율은 98.59%이며, 흡연부스 배출구에서의 미세먼지 제거효율은 98.85%로 나타나 미세먼지 제거효율은 매우 우수한 것으로 나타났다.

4) TVOCs는 흡연부스 내부에서는 26,000 µg/m³에서 5,203 µg/m³로 79.99% 제거효율을 보였으며, 환풍기 가동 후 배출구에서 5,019 µg/m³로 80.70%의 제거효율을 나타냈다. TVOCs의 경우 다른 유해물질 보다 낮은 제거효율을 보여줌으로써, 침착활성탄에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한, 내부에서의 TVOCs는 10분 후에도 처음 배농도에 달성하지 못하였는데, 잔류된 TVOCs로 인한 복합악취와 관련성이 있다고 보여지며, 흡연부스의 내부 재료에 따른 TVOCs에 의한 흡착관계 및 잔류성 평가에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구결과로 인한 친환경 흡연부스가 향후 소규모 작업환경 내에서 각종 유해오염물질 및 입자상물질을 제거하는데 적합하다고 생각되어진다. 이후 에너지 효율, 설비 용량에 따른 유입가스의 균등분배, TVOCs에 관한 잔류성 평가 등에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

References

1. National Cancer Center, "Statistics Smoking status in Korea", (2015).
2. R. Talhout, T. Schulz, E. Florek, J. van Benthem, P. Wester and A. Opperhuizen, "Hazardous Compounds in Tobacco Smoke", International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 8, No. 2, pp. 613-628 (2011).
3. K. J. Jung, Y. D. Yun, S. J. Baek, S. H. Jee and I. S. Kim, "Smoking-Attributable Mortality Among Korean Adults, 2012", Journal of The Korea Society of Health Informatics and Statistics, Vol. 38, No. 2, pp. 36-48 (2013).
4. Ministry of Health & Welfare, "Reporting on the Implementation of the WHO Framework Convention on Tobacco Control", (2012).
5. S. B. Choi, B. Y. Oh and D. M. Choi, "Fire Patterns According to the Blood Hb-CO Concentration of Charred Bodies" Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 3, pp. 40-48 (2012).
6. D. Jaffe and L. Chavasse, "Comparing the CO Content of Cigarette Smoke and Auto Exhaust using Gas Chromatography", J. College Sci. Teaching, pp. 172-176 (1999).
7. World Health Organization, "WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants", Vol. 2, pp. 55-89 (2010).
8. A. Wei and Z. Meng, "Evaluation of Micronucleus Induction of Sand Dust Storm Fine Particles (PM_{2.5}) in Human Blood Lymphocytes" Environmental Toxicology and Pharmacology, Vol. 22, No. 3, pp. 292-297 (2006).
9. A. Shahsavani, K. Naddafi, N. Jafarzade Haghhighifard, A. Mesdaghinia, M. Yunesian, R. Nabizadeh, M. Arahami and M. H. Sowlat, et al., "The Evaluation of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ Concentrations During the Middle Eastern Dust (MED) Events in Ahvaz, Iran, from April through September 2010", Journal of Arid Environments, Vol. 77, pp. 72-83 (2012).
10. W. T. Kwon, L. S. Kwon and W. S. Lee, "BTX Treatment of Petrochemical Plant by Sliding Arc Plasma", Fire Science and Engineering, Vol. 29, No. 6, pp. 65-70 (2015).
11. I. Johansson, "The Role of Volatile Organic Compounds in the Assessment of Indoor Air Quality" Doctoral thesis, Institute of Environmental Medicine Karolinska Institutet (1999).
12. M. A. McGinley, C. M. McGinley, "Odor Evaluation Fundamentals and Applications For Indoor Air Quality Research", Proceeing of the First NSF International Conference on Indoor Air Health, Denver, CO (1999).
13. C. Andersson and D. Säterborn, "Smoke Control Systems Aboard: A risk analysis of Smoke Control Systems in Accommodation Spaces on Passenger Ships", LUTVDG/TVBB--5093--SE, Lund University (2002).
14. L. H. Gains and R. S. Marmor, "Sensory Evaluation of Sidestream Odorous Transfer Testing Methodology", Beiträge zur Tabakforschung International, Vol. 14. No. 1, (1987).
15. S. W. Ko, D. H. Kim, Y. D. Kim, D. S. Park, W. T. Jeong, D. H. Lee and J. Y. Lee, et al., "Investigation on CO Adsorption and Catalytic Oxidation of Commercial Impregnated Activated Carbons", Appl. Chem. Eng., Vol. 24, No. 5, pp. 513-517 (2013).
16. H. J. Kim, B. W. Han, Y. J. Kim, J. P. Youn and G. S. Han, "Performance Tests on ESP with Indirect Discharge and Dielectric Collector" Proceeding of 2008 Fall Conference, Korean Society of Atmospheric Environment, pp. 453-454 (2008).