[Research Paper]

코일 형상에 따른 전자담배의 열 축적 위험성에 관한 연구

김진선 · 김성우* · 권성필**†

유한대학교 전자공학과 교수, *(주)옵트론텍 부사장, **한국소방산업기술원 연구원

Study on Thermal Accumulation Risk of e-Cigarettes According to Heating Coil Shape

Jinsun Kim · Sung-Woo Kim* · Seong-Pil Kwon**†

Professor, Dept. of Electronics Engineering, Yuhan Univ.,

*Vice-president, OptronTech Ltd.,

**Researcher, Korea Fire Institute

(Received May 25, 2021; Revised June 17, 2021; Accepted June 17, 2021)

요 약

본 연구에서는 전자담배의 열 축적 정도와 카르보닐 화합물 생성량에 영향을 미치는 요인들이 연구되었다. 구조적으로 전자담배는 전자회로 장치와 무화기로 구성되어 있다. 무화기 내부에 조립된 코일에 의해 액상이 기화되어 열 축적과 카르보닐 화합물 생성이 이루어진다. 코일의 형상에 따른 두 인자 사이의 인과관계가 분석되었다. 무화기 내부에 조립된 코일 형상을 X-ray 이미지로 추출해서, 코일 너비의 상대적인 크기에 따라 구분하였다. 그리고 흡배기 실험을 통하여 열 축적의 정도와 카르보닐 화합물 발생량이 조사되었다. 결과적으로 코일의 상대적 너비, 열 축적의 정도 및 카르보닐 화합물 생성량 간의 관계를 제시하였고, 무화기의 최적 설계를 위해 코일의 상대적 너비를 5 이상으로 설정할 것을 제안 하였다.

ABSTRACT

In this study, factors affecting the degree of heat accumulation and amount of carbonyl compound production of e-cigarettes were studied. Structurally, e-cigarettes consist of an electronic circuit device and a cartomizer. The liquid solution of the e-cigarette is vaporized by a coil in the cartomizer, where heat accumulation and carbonyl compound production occur. The relationship between the two were analyzed according to the shape of the coil. X-ray images of the coil shapes within the cartomizer were obtained and classified according to the relative widths of the coils. The degree of heat accumulation and amount of carbonyl compound generation were examined via inhale and exhale tests. The relationships among the relative width of the coil, degree of heat accumulation, and amount of carbonyl compound generation were derived. For optimal design of the cartomizer, it is suggested that the relative width of the coil be set to 5 or more.

Keywords : E-cigarette, Cartomizer, Heat accumulation, Carbonyl compounds

1. 서 론

전자담배는 글리세린을 기반으로 구성된 화학물질에 니코틴이나 기타 첨가물이 혼합된 액상을 기화시켜 기존 담배의 흡연 효과를 낼 수 있는 장치를 말한다⁽¹⁾. 이런 현대적인 전자담배는 2003년 Hon Lik에 의해 발명되어 금연 장치로 중국

에 소개되었다⁽²⁾. 전자담배는 액상용기(cartridge), 분무장치(atomizer), 전자장치 회로, 배터리 등으로 구성되어 있으며, 액상용기와 분무장치를 합쳐서 무화기(cartomizer)라고 한다⁽³⁾. 사용자가 전자담배를 흡입할 경우 발생하는 압력의 차이를 내장된 압력센서로 인식하여 코일에 전류가 흐르도록 전자장치가 구성되어 있으며, 코일의 온도가 대략 100~250 °C로

† Corresponding Author, TEL: +82-31-289-2953, FAX: +82-31-287-1067, E-Mail: kwon@kfi.or.kr

© 2021 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

상승하여 액상이 기화된다⁽⁴⁾. 대부분의 제품은 누름 버튼에 의해 분무장치 회로가 수동으로 활성화된다⁽⁵⁾. 이때 전자담배의 발열동작에 의해 일어날 수 있는 주요 위험은 마우스피스 접촉으로 인한 손이나 입술의 화상, 배터리와 같은 장치의 화재 및 폭발, 증기에 포함된 유해화학물질 카르보닐 화합물의 생성 등이다.

전자담배가 발전함에 따라 신제품이 계속 출시되고 있다. 1세대 제품은 약간 크지만 기존 담배처럼 보이는 경향이 있어 “Cigalikes”라고 불리며, 일회용 또는 충전식 배터리와 교체식 니코틴 액상용기가 함께 제공된다. 분무장치가 내장된 액상용기를 무화기라고 부르며, 그 안에는 액상 홀더 역할을 하는 젖은 발포체(polyfoam)가 분무장치에 둘러싸여 있다⁽³⁾. 2세대 제품 “eGos”는 기존 담배처럼 보이지 않고 전체적으로 더 크다. 담배 모양의 제품뿐만 아니라 여러 가지 변형된 제품도 판매되고 있으며, 눈에 띄지 않도록 펜이나 USB 메모리 스틱을 닮은 제품도 있다⁽⁶⁾. 3세대에는 기계식 “Mods”와 가변 전압장치가 포함되어 있으며, 분무장치를 기성품으로 교체하는 대신 심지와 코일 자체를 조립식으로 구성할 수 있다⁽³⁾. 4세대에는 저항을 $1\ \Omega$ 이하로 유지하는 장치와 온도 제어장치가 포함되어 있다⁽⁷⁾. 1세대 전자담배의 전압은 약 3.7 V이고, 2세대 장치는 3~6 V에서 조절할 수 있으며, 보다 최신 장치에서는 8 V까지 올릴 수 있다⁽⁸⁾. 니코틴 용매로 사용되는 액상에는 식물성 글리세린(vegetable glycerin), 프로필렌글리콜(propylene glycol), 니코틴, 향료, 첨가제, 등 80개 이상의 화합물질과 나노 금속 입자가 포함되어 있다⁽⁹⁾. 니코틴이나 향료와 같은 첨가물에 관한 액상의 조성은 브랜드마다 다르고 브랜드 내에도 차이가 있다. 액상의 95%는 식물성 글리세린과 프로필렌글리콜로 구성되어 있으며, 모두 고온에서 포름알데히드, 아세트알데히드, 등과 같은 발암물질을 포함하는 것으로 알려져 있고, 나머지 5%는 향료, 니코틴 및 기타 첨가제이다⁽¹⁰⁾. 세계적으로 15,000개 이상의 천연 또는 인공 향을 지닌 액상이 판매되고 있고⁽¹¹⁾, 무니코틴이나 무향으로도 판매되고 있다⁽¹²⁾.

본 연구에서 우선 배터리의 화재 및 폭발에 대한 안정화는 protection circuit management (PCM) integrated circuit (IC)를 장착하여 전기·전자적 제어 방법으로 예방하였다. 그리고 나머지 두 가지 위험요소(전자장치 온도상승과 카르보닐 화합물 생성)의 원인을 열 발생장치의 구조에 초점을 맞추어 연구하였다. 첫째, 사용자의 마우스피스와 연결되어 입술의 화상을 유발시킬 수 있는 무화기의 온도상승 원인에 대하여 연구하였다. 둘째, 코일의 발열을 통해 기화되는 액상에 포함된 유해 물질인 카르보닐 화합물 발생 차이에 관하여 연구하였다. 두 가지 위험요소 발생 및 증폭의 원인을 발열체인 코일 형상 차이에 의한 결과로 생각하여, 형상 차이에 따른 결과를 측정 및 분석을 하였고, 위험요소 감소 방안을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 이론적 배경

2.1.1 전자담배 및 무화기의 구조

전자담배의 구조는 크게 무화기와 배터리를 포함한 전자장치로 구성되어있으며, 증기를 발생시키는 무화기는 액상을 기화시키는 가열 코일, 가열 코일 내부로 액상을 유입시키는 실리카섬유 심지, 액상을 저장하는 장치로 구성되어 있다. 전자담배의 액상은 액상 저장장치에 밀착되어 있는 실리카섬유 심지로 확산되어 이동하게 되고 실리카섬유 심지에 감겨있는 가열 코일의 발열에 의해 증기를 발생시키도록 설계되어 있다. 이러한 장치의 증기 흡입 실험을 위한 증기 흡입 실험장치가 개발되어야 하고, 증기 흡입 실험장치의 동작은 국제 표준규격인 CORESTA recommended method (CRM No. 81)⁽¹³⁾과 ISO 20768 규정⁽¹⁴⁾을 따라야 한다. 본 연구에 사용되어진 전자담배의 구조를 살펴보면, 중심에 원통형 무화기가 삽입되어 있으며, 무화기의 하단에 - 전극과 접촉되고, 동시에 고정할 수 있도록 단자가 수나사 형태로 나와 있으며, + 극의 단자는 가운데에 공기 흐름을 위한 홀이 형성된 형태로 구성되어 있다. 장치의 양쪽에 두 개의 원통형 배터리가 장착되어 있으며, 아랫부분의 USB 단자와 장치의 동작을 위해 구성된 회로기판을 통하여 전원이 공급되도록 구성되어 있다. Figure 1은 무화기 상세 구조도를 보여 주고 있다. 무화기의 외관은 원통형 알루미늄 케이스로 구성되어 있으며, 사용자의 입술이 닫는 윗부분과 아랫부분에 위치한 전원에 연결될 수 있는 +, - 단자(④, ③)로 구성되어 있다. 내부에는 공기통로를 중심으로 상단에 기화된 연무가 사용자의 호흡기로 연결되는 홀이 형성되어 있고, 그 아랫부분에 공기통로를 중심으로 솜으로 둘러 쌓여있는 액상 저장부(①)가 있다.

공기통로를 따라 내려가면 솜에 저장된 액상을 유입시킬 수 있는 실리카섬유 심지가 설치되어 있다(②). 실리카섬유 심지는 이산화규소 90% 이상으로 구성되어 1,400 °C

Figure 1. Detailed structure diagram of the cartomizer.

Table 1. Operating Condition of the Experimental Vaping Instrument

Vapor production	Inhaling time	Exhaling time	Pause time
35 ml/puff	3 s/puff	3 s/puff	3 s

Table 2. Measurement of PCM IC for Battery Protection

Function	Spec.		Result	unit
	min.	max.		
Over voltage protection	4.2	4.25	4.25	V
Under current protection	2.6	5.8	4.2	A
Under voltage protection	2.43	2.57	2.5	V
Over current protection	3.4	6.5	5	A

까지 녹지 않으며, 내열범위는 700 °C까지이다. 실리카섬유 심지의 외부에는 코일이 설치되어 사용자의 흡입력으로 동작되도록 설계된 전자장치에 의해, 흡입 시 코일에 전류가 흘러 실리카섬유 심지에 유입된 액상이 가열되어 기화되며, 기화된 액상은 공기통로를 통해 사용자의 호흡기로 들어가게 된다.

2.2 실험방법 및 조건

2.2.1 증기 발생량 및 온도 측정

본 논문에서는 증기 흡입 실험장치를 CRM 및 ISO 20768 규정을 기준으로 동작하도록 개발하였다. 흡·배기(inhale/exhale)의 동작시간 및 반복되는 흡·배기 동작 사이에 있는 정지시간을 Table 1과 같이 설정하였고, 증기 흡입 시 압력 동작을 인간의 동작과 유사한 종 모양(bell type)으로 제어하여 동작시켰다. 전자담배의 증기 발생량은 액상의 무게 변화를 이용하여 측정하였으며⁽¹⁵⁾, 1회당 무게 변화는 1.45~1.65 μg 으로 측정기의 오차범위를 초과하므로, 증기의 무게 변화를 흡·배기 50회당 한 번씩 측정하여 기록하였다. 증기 발생량의 측정은 배터리를 완충하고 배터리가 방전될 때까지 흡·배기하여 측정하였으며, 본 논문에서 사용된 시료의 액상이 완충된 무화기의 무게 변화를 측정하였다. 이때 증기량은 ISO규정인 35 ml로 흡·배기하였고, 초기의 회당 증기 발생량은 2.2 μg 으로 측정되었다. 증기 발생량은 흡·배기 횟수가 증가함에 따라 점차 낮아졌으며, 250회까지 비교적 선형 감소 추세를 보였다. 사용자의 만족감을 관능적 기준인 1회당 1.4 μg 으로 규정할 경우, 담배 한 개비당 흡·배기 횟수를 12.5회로 가정할 때 일반 담배 한 갑에 대한 흡·배기 횟수는 250회로 정해지고, 두 조건을 만족할 수 있게 된다. 위 실험에서 배터리가 완전히 방전될 때까지 흡·배기하여 최대 366회까지 동작하는 것을 확인하였다. 흡·배기 250회까지의 평균 증기 발생량은 1회당 1.65 μg 으로 나타났다. 배터리의 충·방전 정격치를 확인하고 흡입 시간 및 횟수에 따른 방전상태와 무화기의 온도

를 측정하였다. 배터리 정격 충전 전류는 400 mA로 설정하였고, 측정값은 413 mA로 나타났다. 총 충전시간은 47 min이었으며, 이때 인가된 전압은 4.21 V로 측정되었다. 충전된 배터리를 전자담배에 장착하여 1회당 3 s 동안 전류가 흐르도록 흡입하여 완전히 방전될 때까지 최대 횟수, 평균 증기 발생량, 그리고 무화기의 온도를 측정하였다. 배터리가 방전상태에 도달할 때까지 흡입 횟수는 191회로 측정되었으며, 이때 평균 증기 발생량은 1회당 1.18 μg 이었으며, 무화기의 온도는 45.6 °C까지 상승하였다.

2.2.2 배터리 보호 회로 적용

배터리의 충·방전 및 전자담배 구동 시 배터리 및 기타 전자장치의 보호를 위하여 PCM IC를 장착하였고, Table 2와 같이 4 가지 보호 기능을 선정하여 회로를 구현하였다. 배터리 및 전자회로 보호 기능별 최대/최소치의 범위가 정해졌고, 전자담배의 정격 동작을 기반으로 회로 보호 기준값을 정하였다. PCM IC의 동작 확인을 위하여 별도의 측정 회로를 구성하여 Table 2에 결과를 기록하였다. 배터리의 정격 충전 전류는 400 mA로 설정하였고, 충전시 평균 측정값은 413 mA로 나타났다. 충전 시간은 47 min이 걸렸으며, 이때 인가된 평균 전압은 4.21 V로 측정되었다. 충전된 배터리를 전자담배 장치에 장착하여 회당 3 s간 전류가 흐르도록 흡입하여 방전될 때까지의 최대 횟수, 증기 발생량, 무화기 온도를 측정한 결과 보호회로의 기준 범위 내에서 동작하는 것을 관찰할 수 있었다.

2.2.3 코일 형상에 따른 결과 분석

전자담배에 의해 공급되는 전기에너지는 무화기 내부에 위치한 니켈 크롬선 또는 칸탈선으로 이루어진 열선 코일에 의해 열에너지로 변환되어 진다. 이때 열선 코일은 전자담배의 액상을 쉽게 유입시키기 위한 실리카섬유 심지를 감싸고 있고, 실리카섬유 심지는 액상 저장 역할을 하는 솜에 밀착된 구조이며, 열선에 전류가 흐를 때 실리카섬유 심지를 통해 유입된 액상이 기화되며, 액상 기화로 인해 물리

적 또는 화학적 현상이 나타나게 된다. 실리카섬유 심지를 감싸고 있는 열선에 의한 열 생성 및 축적이 일어나며, 그로 인한 장치의 온도 상승은 물리적으로 마우스피스와 직접 접촉하게 되는 입술의 화상을 유발할 수 있다. 한편, 액상을 기화시키는 코일의 온도 상승은 포름알데히드나 아세트알데히드와 같이 화학적으로 인체에 유해한 카르보닐 화합물의 생성을 증가시키게 된다.

각 시료에 대한 흡·배기 실험은 Table 1의 기준에 따라 수행되었으며, 흡·배기가 반복적으로 지속됨에 따라 액상은 기화로 인해 점차 줄어들었고 열 축적에 의해 온도는 현저히 상승하는 것으로 나타났다. 각 시료별 포름알데히드나 아세트알데히드와 같은 카르보닐 화합물의 발생량을 측정하였으며, 그 결과는 아래 Figure 2와 Figure 3에 나타내었다.

본 논문에서는 무화기 내부에 위치한 코일의 형상이 온도 상승에 의한 화상의 위험성과 액상의 기화로 인한 카르보닐 화합물 발생에 의한 위험성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 조립된 무화기 가운데 10개의 시료를 임의로 선정하였다. 야마토과학 주식회사의 “3D X-ray CT 스캐너 TDM1000H-DD 시스템”을 사용하여 X-ray 촬영을 실시하였으며, 이때 X-ray관에는 100 kV의 전압으로 65 μ A의 전류가 흐르도록 하였다. 그로부터 촬영된 X-ray 영상을 이용하여 각 시료의 코일 너비를 추산하여 시료 간의 상대값으로 Table 3을 작성하였다^(16,17).

2.3 실험결과 및 분석

각 시료에 대하여 코일 너비와 측정된 카르보닐 화합물 발생량 간의 관계를 파악할 수 있도록 나타난 Figure 2와 Figure 3을 통하여 X-ray 촬영 영상 분석으로부터 추산된 코일 너비가 작아질수록 포름알데히드 및 아세트알데히드가 더 많이 발생한다는 사실을 알 수 있었으며, 포름알데히드의 발생량이 증가할수록 아세트알데히드의 발생량이 증가하는 것은 코일의 너비와 무관하게 증가하는 것을 확인하였다. 이는 액상 구성의 기본 물질인 글리세린의 기화과정에서 가열온도에 비례하여 발생하는 카르보닐 화합물의 증가로 이해할 수 있다. 각 시료에서 발생하는 증기량의 차이는 거의 없으며, 발생하는 증기량의 변화는 2.2에서 기술

한 내용과 같았다.

X-ray 촬영 영상에서 나타난 코일 너비와 카르보닐 화합물의 발생량의 차이가 뚜렷한 6개 시료(No. 1, No. 2, No. 5, No. 6, No. 8, No. 10)를 선별하여, 연속 흡·배기 동작에 따른 무화기 온도 변화를 측정하였다. 선별된 시료 번호는 Figure 3에 표시되었으며, 시료별 흡·배기 및 정지 과정을 최대 30회 반복하여 최대 270 s 동안 무화기의 온도 변화를 측정하여 그래프로 나타내었다. 온도 변화 곡선을 살펴보면 전류가 흘러 발열되는 구간에서 온도가 증가하였고, 정지와 증기 배출 구간에서는 온도가 하강하여 온도의 상승과 하강이 반복되는 것을 볼 수 있었다. 시료 No. 10, No. 5, No. 6은 코일의 너비가 작은 시료 집단이며, 흡·배기 횟수가 증가함에 따라 온도는 41 °C 가까이 올라갔다. 시료 No. 1, No. 2, No. 8은 코일의 너비가 비교적 넓은 시료 집단이며, 흡·배기 횟수가 증가함에 따라 온도는 32~37 °C에 도달하였다. 시료 코일의 온도 상승 최대치와 최소치의 차이는 9 °C로 나타났다. 무화기는 코일 너비가 넓어질수록 최대 도달 온도가 낮아지며, 온도 상승 기울기도 완만하게 증가하였다.

본 실험에서 선정한 시료는 모두 같은 저항 값을 갖고, 코일에는 같은 전류가 흘렀다. 이때 코일 표면의 온도는 약 250 °C이었으며, 이를 통해 액상이 기화되었고, 연속적인 흡·배기 동작에 의해 추가적으로 발생하는 열은 주변 장치에 축적되어 무화기의 온도를 상승시키는 것으로 보인다. 연속 흡·배기 동작에서 온도 측정 결과를 살펴보면, 코일 너비가 좁은 경우 형상이 밀집되어 코일의 형상이 분산된 경우 보다 열 방출이 어렵기 때문에 열 축적량이 늘어나게 된다. 따라서 코일 너비가 좁을수록 높은 온도 상승이 기대되어 진다.

3. 결 론

전자담배의 구조는 크게 무화기와 배터리를 포함한 전자장치로 구분할 수 있다. 무화기 내부에는 코일과 액상을 저장할 수 있는 장치가 들어있으며, 사용자의 흡입 동작을 감지하여 코일이 가열되어 액상이 기화되도록 전자장치에

Figure 2. Carbonyl compound production.

Figure 3. Cartomizer temperature increases.

Table 3. The X-ray Image and the Coil Width of Sample Cartomizers

No.	X-ray image	Width	No.	X-ray image	Width
1		5	6		4.3
2		6	7		6.5
3		5.3	8		7
4		6.3	9		6.7
5		4.2	10		4

의해 제어된다. 이러한 제반 장치의 동작을 통하여 액상이 기화될 때 물리적 또는 화학적 위험성이 증가하게 된다.

즉, 배터리 폭발의 위험성, 사용자 화상의 위험성, 카르보닐 화합물의 유해성을 내포하고 있다. 배터리 폭발의 위험

성은 본 연구에서 다루어지지 않았고, 단지 오동작을 최소화하기 위해 PCM IC를 장착하여 전자담배 배터리의 안전성을 확보하였다. 본 연구의 주된 목적은 사용자의 화상 가능성과 카르보닐 화합물 발생을 최소화하기 위한 무화기의 구조 개선이었다. 무화기 내부에 열 발생 장치인 코일 형상의 변화에 따른 결과를 분석하기 위하여 임의의 무화기 시료 10개를 X-ray로 촬영하여 내부 코일 형상의 이미지를 도출하였고, 그로부터 각각의 상대 길이를 측정하였다. 카르보닐 화합물의 발생량을 측정하기 위하여 각 시료에서 배출되는 포름알데히드와 아세트알데히드 양을 측정 및 비교하였다. 또한 코일의 너비 차이에 따른 온도 상승 곡선을 도출하였다. 두 가지의 실험결과 온도 및 카르보닐 화합물은 코일의 너비가 좁아질수록 증가하여 코일 제작 시 너비는 5 이상으로 구조가 개선되어야 할 것이다. 실험의 결과로 무화기 내부 코일 형상은 전기적 성질과 증기 발생량에 영향이 최소화될 수 있는 범위 내에서 넓게 설계되어야 하고, 코일 형상의 수정을 통하여 소비자의 화상에 대한 위험성과 카르보닐 화합물에 의한 화학적 위험성을 낮출 수 있음을 알 수 있었다. 향후에 사용자의 요구에 맞는 증기 발생량에 따른 적정 온도의 유지 및 카르보닐 화합물 발생이 최소화될 수 있는 코일 형상의 최적화에 관한 추가 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

References

1. J. H. Cho, "Health Effects of Electronic Cigarettes and Regulations on Them in Other Countries", *Korean J. Health Educ. Promot.*, Vol. 30, No. 5, pp. 15-26 (2013). <https://doi.org/10.14367/kjhep.2013.30.5.015>
2. L. M. Dutra, R. Grana and S. A. Glantz, "Philip Morris Research on Precursors to the Modern e-cigarette Since 1990", *Tobacco Control*, Vol. 26, No. e2, pp. e97-e105. (2016). <http://dx.doi.org/10.1136/tobaccocontrol-2016-053406>
3. K. E. Farsalinos, A. Spyrou, K. Tsimopoulou, C. Stefopoulos, G. Romagna and V. Voudris, "Nicotine Absorption from Electronic Cigarette use: Comparison between First and New-generation Devices", *Scientific Reports*, Vol. 4, Article No. 4133 (2014).
4. T. R. Rowell and R. Tarran, "Will Chronic E-Cigarette Use Cause Lung Disease?", *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, Vol. 309, No. 12, pp. 1398-1409 (2015). <https://doi.org/10.1152/ajplung.00272.2015>
5. M. A. Orellana-Barrios, D. Payne, Z. Mulkey and K. Nugent, "Electronic Cigarettes-a Narrative Review for Clinicians", *The American J. of Medicine*, Vol. 128, No. 7, pp. 674-681 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2015.01.033>
6. H. McRobbie, "Electronic Cigarettes", *National Centre for Smoking Cessation and Training*, pp. 1-16 (2014).
7. K. Farsalinos, "Electronic Cigarette Evolution from the First to Fourth Generation and Beyond", *Global Forum on Nicotine*, p. 23 (2015).
8. L. E. C. Alexander, A. Vyas, D. E. Schraufnagel and A. Malhotra, "Electronic Cigarettes: the New Face of Nicotine Delivery and Addiction", *J. Thorac Dis.*, Vol. 7, No. 8, pp. E248-E251 (2015). <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2015.07.37>
9. I. Thiri6n-Romero, R. P6rez-Padilla, G. Zabert and I. Barrientos-Guti6rrez, "Respiratory Impact of Electronic Cigarettes and Low-Risk Tobacco", *Revista de Investigaci6n Cl6nica*, Vol. 71, No. 1, pp. 17-27 (2019).
10. C. A. Jimenez Ruiz, S. Solano Reina, J. I. de Granda Orive, J. Signes-Costa, E. de Higes Martinez, J. A. Riesco Miranda, N. Altet G6mez, J. J. Lorza Blasco, et al., "The Electronic Cigarette. Official Statement of the Spanish Society of Pneumology and Thoracic Surgery (SEPAR) on the Efficacy, Safety and Regulation of Electronic Cigarettes", *Archivos de Bronconeumologia*, Vol. 50, No. 8, pp. 362-367 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.arbr.2014.06.007>
11. T. S. Henry, S. J. Kligerman, C. A. Raptis, H. Mann, J. W. Sechrist and J. P. Kanne, "Imaging Findings of Vaping-Associated Lung Injury", *American J. of Roentgenology*, Vol. 214, No. 3, pp. 498-505 (2020). <https://doi.org/10.2214/AJR.19.22251>
12. C. Leduc and E. Quoix, "Is There a Role for e-cigarettes in Smoking Cessation?", *Therapeutic Advances in Respiratory Disease*, Vol. 10, No. 2, pp. 130-135 (2016). <https://doi.org/10.1177/1753465815621233>
13. CORESTA, "Routine Analytical Machine for E-cigarette Aerosol Generation and Collection - Definitions and Standard Conditions", *CORESTA Recommended Method (CRM) No. 81* (2015).
14. ISO 20768, "Vapour Products, Routine Analytical Vaping Machine, Definitions and Standard Conditions" (2018).
15. K. Ohta, S. Uchiyama, Y. Inhaba, H. Nakagome and N. Kunugita, "Determination of Carbonyl Compounds Generated from the Electronic Cigarette Using Coupled Silica Cartridges impregnated with Hydroquinone and 2,4-dinitrophenylhydrazine", *Bunseki Kagaku*, Vol. 60, pp. 791-797 (2011).
16. A. Contin, G. Schena, G. L. Stanic and G. Peruzzi, "Inspection of Ground-wall Insulation for AC Rotating Machines using X-ray Tomography", *IEEE Electrical Insulation Conference* (2013). <https://doi.org/10.1109/EIC.2013.6554263>
17. A. C. Kak, "Principles of Computerized Tomographic Imaging", *SIAM*, Philadelphia (2001).