

야자류(2종)에 의한 실내 담배연기 중 일산화탄소의 제거

Removal of the Carbon Monoxide in the Indoor Tobacco fume by the Palm(Two species)

한형석¹ · 차영일²

¹경희대학교 환경공학 및 환경학 전공

서론

사람들이 실내에서 보내는 시간이 증가함에 따라 실내공기질(indoor air quality, IAQ)의 공중보건학적 중요성이 강조되고 있다. 실내공기질을 결정하는 중요한 오염원 중 하나가 환경성담배연기(environmental tobacco smoke, ETS)이다. ETS는 간접흡연을 야기하여 흡연자뿐만 아니라 어린이를 포함한 비흡연자의 건강에도 악영향을 미친다는 연구 결과가 보고되면서 이에 대한 사회적인 관심도가 계속 증가하고 있다. 미국 EPA(Environmental Protection Agency)는 ETS를 Group A(Known human) Carcinogen(실험동물에 투여하거나 인간이 섭취했을 때 높은 비율로 암을 발생시키는 물질)으로 분류하고 있다. 담배연기는 4천개 이상의 물질로 구성되어 있고, 이들 대부분이 독성물질이며 주요 독성물질로는 니코틴, 타르, 일산화탄소, 호흡성 먼지, NOx, N-Nitrosamines, Aromatic hydrocarbons 등이 있다. 이 중 특히 무색무취의 일산화탄소는 담배의 불완전연소로 발생한다. 독성은 혈관내의 내벽세포에 손상을 줄뿐만 아니라 hemoglobin, myoglobin, cytochrome -oxidase등과 같은 혈중 단백질과 결합하여 산소공급을 저하시키고 산소 헤모글로빈 해리 곡선을 좌측으로 편위 시켜 산소 방출을 방해하게 된다. 이는 기억력 장애, 혈액 내 산소운반 능력 장애, 만성 저산소증, 신진대사 장애, 조기노화 현상을 초래한다는 것 등은 이미 잘 알려진 사실이다.

다중 이용시설 등에 대한 실내공기질관리법에 따르면 실내 공기질 기준이 있는 오염물질은 일산화탄소, 이산화탄소, 포름알데히드, PM10, 총부유분진이다. 이산화탄소와 포름알데히드, 그리고 PM10과 총부유분진은 모두 실내에 자연발생원이 존재하지만, 일산화탄소는 불완전연소에 의

해 발생되기 때문에 실내에 내연기관이나 화석연료의 연소가 없다면 발생할 가능성이 매우 낮다. 따라서 실내 공간에서 인체가 일산화탄소에 노출될 경우, 그것은 ETS에 기인하는 경우가 대부분이다. 현재 담배연기에 대한 국내의 연구는 각종 실내 공간에서 담배연기로 인해 발생하는 각종 독성물질의 오염정도를 측정하는 정도에 그치고 있고, 이를 저감하는 연구에 대해서는 거의 불모지에 가까운 현실이다.

환기는 실내공기를 개선시킬 수 있는 가장 쉽고 보편적인 방법이나 대기오염이 심각한 도심지역에서는 오염된 외기가 그대로 유입되는 문제가 발생할 수 있고, 지하공간의 경우 환기 장치가 깨끗하지 못할 경우 오히려 실내공기를 오염시킬 수도 있으며, 냉난방 시 에너지 소모가 심각하다는 단점이 있다. 인공적인 실내오염원의 정화기장치 등의 경우 2차 오염의 위험이 존재하고, 실내공간에 이러한 장치들을 장치 및 운용 하는데 상당한 고비용이 예상되기 때문에 기계적 장치에 의한 지속적인 실내공기정화의 효과를 기대하기는 어렵다.

결론적으로, 실내공기질을 개선하기 위해서는 지속적이고 친환경적이며, 제 2차 오염물질이 발생되지 않고 비용이 저렴한 생물학적 처리법이 필요하다. 현재 국내외의 생물학적 오염제거 방법으로는 미생물을 이용하는 방법이 보편적이지만 식물은 공기 중의 가스상 오염물질을 흡수하여 자신의 성장에 이용을 하며 입자상 오염물질의 제거에도 도움을 주고 또한, 실내 온, 습도 조절 및 소음 저감, 전자파 차단 등으로 실내환경을 쾌적하게 만드는데 도움을 준다. 따라서, 최근 각광받는 실내관상식물인 아레카야자와 테이블야자를 가지고 실내공간에서의 담배연기 중 일산화탄소의 제거량에 대한 결과를 보고하고자 한다.

실험 방법

총 체적 8m³의 phytotron(2m×2m×2m)내에 총 체적 약 0.37m³의 투명 아크릴로 제작된 챔버(0.75m×0.65m×0.75m) 3개를 배치하였다. Phytotron 내 환경은 낮과 밤으로 구분하였다. 낮 시간 때에는 metal halide lamp 4개로 빛을 일정하게 유지시켜 주었고, 온도는 대략 25°C가 되도록 조절하였다. 밤 시간 때에는 전구를 소등하고 온도는 대략 18°C가 되도록 조절하였다. 아크릴 챔버에는 두 개의 구멍을 뚫어 핸드펌프를 이용 담배연기를 집어넣어 주었다. 담배연기 중 펌프를 통해 흡입되는 Main stream은 펌프의 뒤쪽 Line을 따라 챔버의 위쪽으로 공급되고 그 동안에 타는 Side stream의 경우에는 챔버의 아래쪽으로 공급되었다. 공기 포집은 50cc 주사기를 사용하였으며, 일산화탄소의 측정은 NDIR 방식의 측정기기를 사용하였다. 실험을 실시하는 동안 챔버안에서 팬을 사용 해 지속적으로 교반을 해주었다.

결과 및 고찰

초기농도는 담배 2개비를 태워 조절해주었고, 382~419ppm의 초기 농도 분포를 보였다. 실험은 분류별로 각각 5번의 반복실험을 하였다. 시작 시 metal halide lamp를 점등하고 12시간 후에는 소등하였다. 전구를 소등한 후에 증산에 의해 수증기가 아크릴 챔버 벽면에 서리는 경우를 관찰하였는데, 이는 소등 시 온도가 25°C에서 18°C도로 낮아짐으로 인해 포화수증기압이 감소하여 나타난 현상으로 해석하였다. 일산화탄소의 용해도는 20도, 1atm에서 0.00004%로 무시해도 좋을 정도이기 때문에 물에 용해되어 제거되는 양은 무시해도 좋다고 판단하였다.

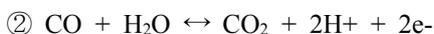
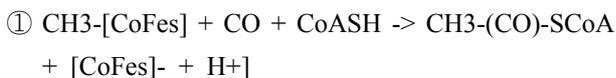
아크릴 챔버 안에 아무것도 넣지 않았을 때의 일산화탄소 농도는 거의 변화가 없었다. 최대 일산화탄소 농도와 최저 일산화탄소농도의 최대 차이는 20ppm이었고, 이러한 미량의 차이는 실제로 일산화탄소의 농도가 변했다고 보기에는 어렵고 매 측정 시 발생하는 측정 오차 때문이다. 일산화탄소는 안정한 물질로 평균 체류시간도 36~110일인 것으로 알려져 있다. 또한 이 실험을 통해 챔버 표면에 일산화탄소가 부착되어 제거되는 양은 없으며, 챔버가 외부와의 공기 차단을 완벽하게 해준다는 사실을 확인하였다.

Table 1. Variation of CO concentration in chamber

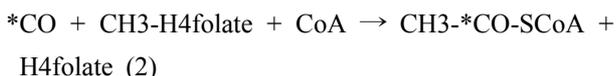
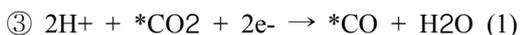
Hour	0	4	8	12	16	20	24	
Light	On	On	On	On-> Off	Off	Off	Off	
C a t e g o r y	In Chamber	Carbon monoxide Concentration(ppm)						
	Empty	403.8 ±4.55	403.0 ±7.48	404.6 ±6.19	408.6 ±4.83	403.8 ±7.56	405.6 ±4.28	406.6 ±5.13
	3pots with soil	401.4 ±8.08	386.6 ±4.72	375.8 ±5.76	363.6 ±7.09	352.6 ±9.13	342.6 ±5.59	333.6 ±5.86
	6pots with soil	410.6 ±10.24	386.2 ±7.44	366.4 ±6.10	351.8 ±5.18	342.2 ±5.89	334.4 ±8.44	323.6 ±5.22
	9pots with soil	403.4 ±10.24	381.4 ±7.44	368.8 ±6.10	349.4 ±5.18	331.8 ±5.89	315.8 ±8.44	296.8 ±5.22
	3pots with <i>Chrysalidocarpus</i>	395.4 ±12.84	330.0 ±9.92	260.0 ±23.66	217.2 ±16.24	169.6 ±12.24	136.0 ±9.43	110.6 ±10.55
	6pots with <i>Chrysalidocarpus</i>	407.2 ±7.95	331.2 ±12.40	268.0 ±9.14	205.8 ±7.19	155.2 ±8.70	109.2 ±17.63	74.4 ±16.15
	9pots with <i>Chrysalidocarpus</i>	408.2 ±13.48	310.6 ±5.46	239.2 ±6.80	141.0 ±3.00	80.0 ±9.38	44.0 ±12.86	8.0 ±8.49
	3pots with <i>Chamaedorea</i>	396.4 ±3.36	342.2 ±13.33	302.6 ±14.64	264.4 ±24.18	228.6 ±22.67	186.2 ±17.81	141.2 ±13.37
	6pots with <i>Chamaedorea</i>	397.6 ±5.59	336.4 ±12.95	283.6 ±5.41	237.6 ±8.88	200.4 ±6.88	153.2 ±7.40	104.6 ±11.59
	9pots with <i>Chamaedorea</i>	397.0 ±6.28	331.6 ±11.89	261.0 ±20.29	200.2 ±30.09	145.4 ±32.21	84.6 ±19.86	34.0 ±10.02

토양(신기토+일반 토양)만을 담은 화분을 챔버 안에 3개 / 6개 / 9개씩 각각 넣었을 경우 약 17 / 21 / 26%씩 저감되었다. 아레카야자를 심은 화분을 챔버안에 3개 / 6개 / 9개씩 각각 넣었을 경우에는 약 72.1 / 81.8 / 98.1%씩 저감되었으며, 테이블야자를 심은 화분을 넣었을 경우에는 약 64.4 / 73.7 / 91.4%씩 일산화탄소가 저감되었다.

12시간이 지난 후에 전등을 켜주어도 불구하고, 일산화탄소가 감소되는 것으로 보아, 광합성에 의해서 일산화탄소가 제거된다고 보기는 어렵다. 문헌조사결과 토양 미생물에 의한 일산화탄소 제거에 대한 연구는 많이 선행되어 졌으나, 고등식물에 의한 일산화탄소의 제거기작은 알려진 것이 없다. 다만 미생물에 의한 일산화탄소의 산화작용은 미생물의 일산화탄소 탈수소효소와 Acetyl-조효소 A가 촉매작용을 일으키거나 Acetyl-조효소A 합성시 일산화탄소가 필요하기 때문에 발생하는 것으로 알려져 있다. 이 중 고등식물에도 Acetyl-조효소A가 존재하므로 미생물과 비슷한 기작으로 일산화탄소를 산화시킬 가능성이 있다고 볼 수 있다. 미생물에 의한 일산화탄소의 산화 연구에서는 다음과 같은 반응으로 일산화탄소가 산화됨을 시사하고 있다.



또한, Acetyl-조효소 A 합성시 일산화탄소가 소모되는 반응은 다음과 같이 나타내고 있다.



(1) 아레카야자와 테이블야자에 의한 일산화탄소 제거량

식물체에 의한 제거량을 알아보기 위해 식물을 심은 화분에서 제거된 일산화탄소량에서 화분에 토양만을 넣었을 때 제거된 일산화탄소량을 배제하였다.

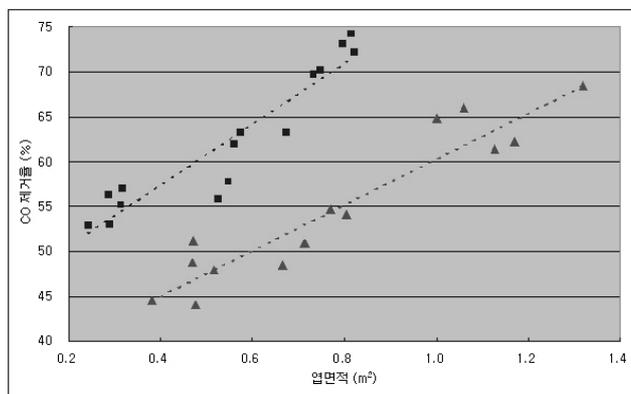
(2) 엽면적 대비 일산화탄소 제거율

총 엽면적이 테이블야자가 더 넓음에도 불구하고, 아레카야자에 의한 일산화탄소 제거율이 더 좋았다. 같은 야자류 식물에서도 종간 차이에 의해 일산화탄소 제거량에 차이가 많이 나기 때문에, 효율적으로 실내공간에서 일산화탄소를 제거하기 위해선, 많은 연구를 통해 일산화탄소 제거에 효율적인 식물을 찾아내는 것이 중요하다.

추후에 다른 식물과의 일산화탄소 제거 능력을 비교해보기 위해, 엽면적 대비 일산화탄소량을 산출하였다. 엽면적은 각각 소잎의 너비와 길이를 측정 한 후, 이를 타원형의 넓이 구하는 공식에 대입해 산출하였다.

아레카야자의 경우 잎 면적 1m²당 약 459ppm의 일산화탄소를 제거하였다. 테이블야자의 경우에는 잎 면적 1m²당 약 279ppm의 일산화탄소를 제거하는 것으로 나타났다.

24시간 대비 일산화탄소 제거율의 경우 아레카야자를 심은 화분 9개를 넣어줬을 경우 제거율이 100%에 근접하게 나왔으나, 토양에 의한 제거율을 빼준 보정치에 의한 제거율은 아레카야자의 경우 최대 74% 정도의 제거율을 보였으며, 테이블 야자의 경우 최대 약 69% 정도의 제거율을 나타



■ Chrysalidocarpus ▲ Chamaedorea

Fig. 1 Leaf area to carbon monoxide removal rate (%)

Table 2. Carbon monoxide removal volume (ppm)

The Number	Soil	Soil +Chrysalidocarpus	Chrysalidocarpus	Soil +Chamaedorea	Chamaedorea
3	67.8	284.8	217	255.2	187.4
6	87	332.8	245.8	293	206
9	106.6	400.2	293.6	363	256.4

냈다.

결론

야자류 2종에 대한 담배연기 중 일산화탄소 저감능력이 실험을 통해서 확인했을 뿐만 아니라, 각종 식물에 의한 다른 독성물질의 저감능력도 이미 NASA에서 실행된 실험에서 확인이 되었기 때문에 건물 내 흡연이 가능한 장소가 존재 시, 아레카야자 및 테이블야자를 배치해 공기청정기 환풍기 등 각종 기계적 시설과 함께 실내 환경을 쾌적하게 유지하는데 식물을 사용할 수 있을 것으로 보인다.

또한 미국에서는 '노스이스트 미시시피 커뮤니티 대학'의 수학과학 강의동에 건강한 실내환경을 만들기 위해 식물을 도입하였고, '테네시주 네슈빌에 있는 오프리랜드 호텔 (opryland hotel)' 또한 식물 정원을 실내환경을 위해 설치하였고, 이를 통해 상업적 효과까지 거두고 있다.

결과적으로, 식물에 의한 실내공기정화 효과를 확인하고 이를 배치함으로써, 실내환경을 쾌적하게 유지할 뿐만 아니라 식물은 미관적인 측면이나, 스트레스 저감 등의 여러 다양한 긍정적 효과를 산출하기 때문에 여러 공간에서 활용도가 높다는 점을 부각시킴으로써 경제적 효과를 산출할 수 있을 것으로 보인다.