저산소 농도 살충 챔버 시스템 시제작 및 박물관 해충 살충 성능 평가

오준석¹ | 최정은 | 이장묵*
국립민속박물관 보존과학실, *(주)싱크피플

Trial Manufacture and Disinfection Evaluation of Anoxic Chamber System for Museum Insects

Joonsuk Oh¹ | Jungeun Choi | Jangmook Lee*
Conservation Laboratory, The National Folk Museum of Korea, Seoul, 110-820, Korea
*Think People Corporation, Seoul, 135-900, Korea

¹Corresponding Author: kcommune@yahoo.co.kr, +82-2-3704-3276

초록 박물관에서 문화재 해충의 살충을 위해 사용되어 온 메틸브로마이드는 오존층 파괴물질로써 2015년 사용이 금지됨에 따라 대체법으로써 아르곤이나 질소를 사용한 저산소 농도 살충법이 도입되었다. 국립민속박물관에서는 국내 최초로 저산소 농도 살충법의 적용이 가능한 저산소 농도 살충 챔버 시스템을 시제작하여 설치하였다. 저산소 농도 살충 챔버 시스템은 챔버 내부 용량이 0.5m³이며, 아르곤, 질소, 이산화탄소의 사용이 가능하다. 이 시스템은 산소 농도 0.01~20%, 온도 10~50℃, 습도 30~80%를 자동적으로 제어가 가능하며, 산소 농도 제어는 설정값 이상으로 상승할 때마다 가습 gas와 건조 gas를 혼합하여 주입하는 방법을 채택하였다. 시운전을 위해 30일 동안 가동 결과, 산소 농도, 온도 및 습도가 일정하게 유지되었다. 그리고 권연벌레 애벌레와 성충, 애알락수시령이 애벌레 대해 아르곤 gas를 사용하여 산소 농도 0.01%, 온도 25℃ 및 습도 50% 환경에서 살충 성능을 평가한 결과, 권연벌레 성충은 3~5일, 애벌레는 7일, 애알락수시령이 애벌레는 3일이 소요되어, 시제작된 저산소 농도 살충 챔버 시스템의 살충 성능을 확인할 수 있었다. 평가 결과로부터 저산소 농도 살충 챔버 시스템은 박물관에서 메틸브로마이드 대체법인 저산소 농도 살충법의 기술을 개발하는데 충분히 활용이 가능함을 확인하였다.

중심어: 저산소 농도 살충법, 저산소 농도 살충 챔버 시스템, 산소 농도, 온도, 습도, 아르곤, 질소, 살충, 권연벌레, 애알락수시령

ABSTRACT Anoxic treatments using argon and nitrogen gas in controlled atmospheres have been used as a alternative to methyl bromide for insect disinfection in museums. Anoxic chamber system was manufactured and installed at The National Folk Museum of Korea for the first time in Korea. The internal capacity of anoxic chamber is 0.5m³ in which is able to use argon, nitrogen and carbon dioxide gas. This system is equipped with oxygen concentration, temperature and relative humidity control devices and automatically controlled oxygen concentration from 0.01 to 20%, temperature from 10 to 50℃ and relative humidity 30 to 80%. To control the oxygen concentration, anoxic chamber system is adopted semi-dynamic method which supplies mixture of humidified gas and dry gas whenever oxygen concentration in chamber becomes higher than setting value. It has kept regularly oxygen concentration, temperature and relative humidity for 20 days using argon gas. To evaluate the disinfection of cigarette beetle larvae and adults and varied carpet beetle larvae,

the anoxic chamber system maintained 0.01% of oxygen concentration, 25°C in temperature and 50% in relative humidity for 30 days. Cigarette beetle larvae were killed in 7 days and adults in 3~5 days. And varied carpet beetle larvae were killed in 3 days. It reaches the conclusion from the evaluation this anoxic chamber system can be used to develop anoxic treatment as an alternative of methyl bromide for insect disinfection of infested cultural properties in museums.

Key Words: Anoxic treatment, Anoxic chamber system, Oxygen concentration, Temperature, Relative humidity, Argon, Nitrogen, Disinfection, Cigarette beetle, Varied carpet beetle

1. 서 론

문화재 해충의 살충을 위한 훈증 약제인 메틸브로마이드가 오존층 파괴물질로써 1997년 몬트리올의정서에서 최종 전폐 일정이 결정되어¹ 선진국은 2005년, 우리나라를 포함한 개발도상국은 2015년 전폐가 결정됨에 따라, 국내에서는 2015년 메틸브로마이드 전폐를 대비한 새로운 살충법의 도입이 시급한 상황이다.

메틸브로마이드 대체 살충법으로써 곡물 해충을 제거하기 위해 연구·개발된 독성이 없는 살충법(산소 농도가 제어된 공기(controlled atmosphere), 즉 질소나 아르곤으로 조성된 저산소 환경을 이용한 살충법이나 이산화탄소의 독성을 이용한 살충법)^{2~6}이 문화재 해충의 살충에 도입하게 되었다. 특히 저산소 농도 살충법에 사용되는 질소나 아르곤은 독성이 없고 비가연성 물질이며 불활성 가스로 문화재의 재질과 반응을 일으키지 않아 문화재의 살충에 적합한 가스이다. 1985년부터 미국과 오스트레일리아에서 질소와 아르곤을 이용한 저산소 농도 살충법에 대한 연구가 시작되어 현재에는 질소, 아르곤, 탈산소제 등을 이용한 저산소 농도 살충법이 문화재 해충의 살충에 보편적인 방법으로 자리를 잡게 되었다⁷. 이와 함께 이산화탄소 살충법도 작업이 용이하고 단시간에 많은 수량의 문화재 살충처리가 가능하여 널리 이용되고 있는 방법이다. 질소를 이용한 저산소 농도 살충법은 미국 스미소니언 프리어갤러리, 게티박물관, 국립독일박물관, 국립호주박물관, 스페인 국립의상박물관(Museo del Traje. CIPE), 홍콩 文物修復辯士處, 일본 국립민족학박물관, 규슈국립박물관 등, 아르곤 저산소 농도 살충법은 미국 메트로폴리탄박물관, 브라질 상파울루미술관(Museo d'Arte in São Paulo) 등, 이산화탄소 살충법은 미국 스미소니언 국립자연사박물관, 국립미국인디언박물관, 일본 국립민족학박물관, 규슈국립박물관, 도쿄국립박물관 등 세계의 선진 박물관·기관에서 도입·운용하고 있다.

그러나 아직 국내에서는 문화재 해충의 살충을 위해서

메틸브로마이드와 에틸렌옥사이드 혼합가스를 이용한 훈증만이 운용되고 있으며, 대체법으로써 저산소 농도 살충법이나 이산화탄소 살충법은 보급되지 않았으며 그 운용 기술도 확보되어 있지 않은 상태이다. 최근에 들어 메틸브로마이드 대체법에 대한 연구가 시작되었으나^{8~13}, 살충처리 산소 농도, 온도, 습도, 대상 해충의 성장 단계, 살충 작업 중 산소 농도, 온도 및 습도 변화 등 제조건이 불명확하여^{8,9,11~13} 향후 정밀한 연구가 필요하다. 그리고 저산소 농도 살충법이나 이산화탄소 살충법의 운용에 필요한 하드웨어(살충용 챔버, 버블, 텐트 등)도 국내에 개발 또는 도입되지 않은 상태이다.

국립민속박물관에서는 2011년부터 메틸브로마이드 대체 기술을 개발하기 위하여 연구를 시작하였고, 그 첫 단계로써 2011년 저산소 농도 살충법의 개발과 운용에 필요한 시험용 저산소 농도 살충 챔버 시스템을 국내 최초로 개발하여 설치를 하였다. 저산소 농도 살충 챔버 시스템은 아르곤이나 질소, 이산화탄소를 모두 적용 가능하며, 산소 농도, 이산화탄소 농도, 온도, 습도, 살충 시간의 자동 제어를 통한 전자동 운전이 가능한 것이 특징이다. 시험용 저산소 농도 살충 챔버 시스템은 저산소 농도 살충 운전 조건 설정, 문화재 재질에 미치는 영향 평가, 저산소 농도 살충법 운용 기술 습득 및 국립민속박물관 소장품의 살충처리를 위한 대용량 저산소 농도 살충 챔버 시스템 구축에 활용하고자 한다.

본 연구에서는 메틸브로마이드 대체 살충 기술인 저산소 농도 살충법의 운용에 필요한 저산소 농도 살충 챔버 시스템의 소개, 산소 농도, 온도, 습도의 제어 성능, 아르곤 가스를 사용한 문화재 해충의 살충력 등을 평가하였다.

2. 시스템 구축 및 평가방법

2.1. 시스템 사양 및 성능

저산소 농도 살충법은 온도, 습도, 산소 농도가 해충의 살충에 중요한 영향을 미치는 요소이다¹⁰. 특히 일정한 온습

도의 유지는 살충 처리 대상 문화재의 급격한 환경변화에 의한 손상을 막기 위해서는 필수적이다. 따라서 저산소 농도 살충법은 살충을 위해 챔버 내 산소 농도를 일정하게 낮게 유지하면서 동시에 온습도도 일정하게 유지하는 것이 관건이다. 그리고 산소 농도를 낮게 유지하기 위해서는 챔버가 고도의 밀폐성을 유지하여야 하며, 챔버에 가스를 주입한 후 그대로 유지하는 방법(static mode)이나 챔버의 밀폐성이 떨어질 경우 외부로부터 산소 유입에 따른 가스를 계속 흘려보내면서 저산소를 유지하는 방법(dynamic mode)이 있다¹⁴.

저산소 농도 살충법에 미치는 여러 요인을 고려하여 저산소 농도 살충 챔버 시스템의 제작 성능은 질소, 아르곤, 이산화탄소를 선택적으로 사용할 수 있어야 하며, 산소 농도는 0.01%까지 저산소 농도 유지, 온도 10 ~ 50℃, 습도 30 ~ 80%로 조절이 가능하며, 산소 농도를 일정하게 저농도로 유지하기 위해 챔버 내 산소 농도가 설정치 이상 높아질 때마다 가스를 주입하는 방법(semi-dynamic method)을 장비 제작 목표로 하였다. 그리고 산소 농도, 온도, 습도, 가스 주

입, 가스 배출을 자동적으로 제어하며, 산소 농도, 온도, 습도, 살충 처리 시간을 기록 및 저장하는 기능을 요구하였다. 이와 같은 요구 성능에 따라 제작된 저산소 농도 살충 챔버 시스템의 사양은 다음과 같다. 저산소 농도 살충 챔버 시스템은 Figure 1과 같으며 시스템의 구성은 Figure 3과 같다.

살충 챔버 규격 : W 800 × D 800 × H 800mm(체적 0.5m³)

사용 가스 : 질소, 아르곤, 이산화탄소

가스 실린더나 가스 발생기에 연결 사용

온도 : 10 ~ 50℃, 편차범위 ± 1℃

습도 : 30 ~ 80%, 편차범위 ± 2%

산소 농도 : 0.01 ~ 20%, 편차범위 ± 1% of calibrated range

이산화탄소 농도 : 0 ~ 100%, 편차범위 ± 2% of full range

산소 농도 제어

: 진공 펌프를 이용하여 감압으로 챔버 내 산소를 배출 하면서 습도가 조절된 가스(질소, 아르곤)를 공급하여 목표 산소 농도에 도달한 후, 산소 농도가 증가할 때마다 습도 조절 가스를 공급하여 산소 농도 제어

온도 제어

: 전류제어히터방식과 쿨러를 이용하여 챔버 내 온도 제어
습도 제어 : 건조 가스와 가습 가스의 공급 비율을 적절히 조절하여 챔버 내에 공급하여 습도 제어

이산화탄소 농도 제어

: 진공 펌프를 이용하여 감압으로 챔버 내 산소를 배출 하면서 습도가 조절된 가스(이산화탄소)를 공급하여 목표 산소 농도에 도달한 후, 산소 농도가 증가할 때마다 습도 조절 가스를 공급하여 산소 농도 제어

제어 유닛

: 자동 및 수동 제어를 선택 가능, 터치 패널 방식으로 조작
제어 유닛은 주조작, 설정, 그래프, 기록, 알람으로 구성(Figure 2)

데이터의 표시 및 기록

: 제어 유닛의 패널에서 산소 농도, 이산화탄소 농도, 온도, 습도, 살충 시간 표시·기록, 산소 농도, 이산화탄소 농도, 온도, 습도 데이터를 그래프로 표시

Figure 1. Anoxic chamber system. Chamber (left), gas cylinder container (right).

Figure 2. Display panel of control unit of anoxic chamber system.

안전
: 챔버 내의 온도, 습도 이상 시 알람 경보 및 긴급 정지,
작업 공간 가스 누출 감지 시 알람 경보 및 자동 환기 가동
시제작된 저산소 농도 살충 챔버 시스템과 국외 타 문화
기관 운용 저산소 농도 살충 챔버를 비교한 것은 Table 1과

같다^{14~16}. 일본은 도쿄국립문화재연구소에서 장비를 개발
하고¹⁴ 살충 조건을 연구¹⁷하여 제시하였기에, 일본의 저산
소 농도 살충 챔버 구성이나 살충법의 조건은 유사하다. 챔
버 내 산소 농도를 유지하기 위하여 살충처리 질소를 계속
흘려보내는 dynamic 방식을 채택하였으며, 30℃에서 3주간

Table 1. Comparison of anoxic chamber systems.

	The National Folk Museum of Korea	National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo	Kyushu National Museum	Quai Branly Museum	
Volume of Chamber	0.5m ³	4.3m ³	7m ³	35m ³ ×2, 25m ³ ×1	
Gas	Nitrogen, Argon, Carbon Dioxide	Nitrogen	Nitrogen	Nitrogen	
Gas Supply	Gas Cylinder	Nitrogen Generator	Nitrogen Generator	Nitrogen Reservoir(3m ³ ×3)	
Control of Oxygen Concentration	Semi-Dynamic Mode	Dynamic Mode	Dynamic Mode	Dynamic Mode	
Stand-by Time	1hours	8hours	24hours	23 ~ 33hours	
Condition of Disinfection	Oxygen Concentration	-	0.08%	0.03%	0.1% below
	Temperature	-	30±0.5℃	25 ~ 30℃	20℃
	Relative Humidity	-	55±3%	55 ~ 60%	50%
	Time	-	3weeks	3weeks	3weeks
Remarks	for Experiment	for Experiment	for Disinfection of Collections	for Disinfection of Collections	
Reference	-	14	15	16

Figure 3. Diagram of anoxic chamber system.

살충처리가 권장되고 있다. 프랑스 Quai Branly Museum에서 운용 중인 챔버도 dynamic 방식을 채택하고 있으며, 20℃에서 3주 동안 살충처리를 하고 있다¹⁶. 본 저산소 농도 살충 챔버 시스템은 챔버 내 산소 농도가 높아지거나 습도 변동이 있을 때에만 가스를 공급하는 semi-dynamic 방식인 반면, dynamic 방식은 semi-dynamic 방식에 비해 살충처리 기간 동안 계속 가스를 공급하기 때문에 가스 소모량이 많을 뿐만 아니라, 특히 질소 발생기가 설치된 일본의 살충 챔버는 살충처리 기간 동안 계속적인 질소 발생기 가동에 따른 과도한 운용 유지비(전기요금)가 드는 것이 단점이다.

그리고 본 저산소 농도 살충 챔버 시스템은 살충처리를 위한 준비시간이 1시간 정도 소요되는 것에 비해, 토쿄국립 문화재연구소에서 운용 중인 4.5m³ 챔버는 0.1% 산소 농도에 도달하기 위해서는 8시간¹⁴, 큐슈국립박물관의 7m³ 챔버는 24시간¹⁵, 프랑스 Quai Branly Museum의 35m³ 챔버는 33시간(살충 대상물이 채워진 챔버), 23시간(빈 챔버)¹⁶이 걸린다. 이와 같이 살충처리를 위한 준비시간은 기기 성능이나 챔버 크기, 챔버 내 살충 대상물 유무에 따라 다르며, 챔버의 용량이 클수록 장시간이 소요되는 것임을 알 수 있다.

2.2. 시스템 운전 성능 평가

저산소 농도 살충 챔버 시스템의 운전 성능은 30일(720 시간) 동안 가동하면서 산소 농도, 온도, 습도의 제어 성능을 평가하였다. 운전 조건은 온도 20℃±5℃, 습도 : 50%±6%, 산소 농도 : 0.01%±0.01%이며 가스는 아르곤(순도 99.999%)을 사용하였다. 아르곤 가스를 선택한 것은 질소는 완전한 불활성 가스가 아니며, 습도 조건이 갖추어진다면 어떤 혐기성 세균에게는 성장에 필수 요소이며¹⁸, 질소에 비해 아르

곤 환경하에서는 곤충의 건조가 더 빨라 살충 시간이 25~50% 더 빠르기 때문이다^{19,20}. 그리고 온습도는 박물관에서 유기질 문화재의 보존환경을 기준으로 설정하였다.

2.3. 해충 살충력 평가

2.3.1. 해충

살충 실험 대상 해충은 권연벌레(*Lasioderma serricorne* (Fabricius)) 애벌레와 성충, 애알락수시렁이(*Anthrenus verbasci* (Linnaeus)) 애벌레를 선정하였다. 권연벌레는 종이, 건조 동식물질을 가해하는 해충이며, 애알락수시렁이는 양모, 견, 모피, 피혁을 가해하는 해충으로 한국의 박물관에서 흔히 발견되고 있는 대표적인 문화재 가해 해충이다. 특히 해외 선행 연구에서 권연벌레는 건조목재를 가해하는 대표적인 박물관 해충인 넓적나무좀보다 살충에 더 많은 시간이 소요되며, 한국의 박물관에서 발견되는 가장 살충 시간이 긴 종이이기 때문에²⁰ 실험 대상으로 선정을 하였다. 그리고 성충과 함께 애벌레를 평가 대상으로 선정한 것은, 곤충의 성장 단계에 따라 살충제에 대한 내성이 다르며 성충 보다 애벌레나 고치가 내성이 강하기 때문이다.

2.3.2. 살충 시험 방법

2.3.2.1. 살충 조건

저산소 살충법은 살충 조건(산소 농도, 온도, 습도)에 따라 살충 효율에 큰 영향을 미친다^{19~22}. 저산소 농도 살충 챔버의 살충 효과 평가 조건은 아르곤 가스를 사용하여 산소 농도 0.01%, 온도 25℃, 습도 50% 조건에서, 해충들을 1일, 3일, 5일, 7일, 10일, 20일, 30일간 노출시켰다.

2.3.2.2. 살충 처리 준비

살충 효과 평가는 실제 문화재 속에서 서식하는 해충을 대상으로 평가하는 것이 가장 바람직하나 문화재의 재질, 크기, 열화 상태가 매우 다양하여 일관된 결과를 얻기 힘들다. 따라서 사육한 해충을 대상으로 인공적으로 만든 환경에서 살충평가가 행해지고 있다^{16,17,19~22}.

권연벌레 성충은 수명이 10~25일로 매우 짧아 평가 시험 전일 애벌레만 모아놓은 사육병을 준비한 후 다음날 우화된 성충 중 가장 활동성이 강한 것을, 권연벌레 애벌레와 애알락수시렁이 애벌레는 종령 중에서 가장 활동성이 강한 것을 선정하여 살충 평가 시험용으로 사용하였다. 권연벌레 애벌레는 200cc 병에 애벌레를 넣은 후 밀가루를 10cm 정도 채우고 40메시 방충망으로 막은 것과 5×5×2cm

Figure 4. Standby for experiment.

소나무 블록의 2×1×1cm 홈에 애벌레를 넣고 5×5×2cm 블록을 덮은 후 나사로 조인 것을 살충 효과의 평가에 사용하였다. 권연벌레 성충은 200cc 병에 넣은 후 병 입구를 40메시 방충망으로 막은 것과 소나무 블록에 넣은 것을, 애알락수시렁이 애벌레는 먹이와 함께 200cc 병에 넣은 후 병 입구를 40메시 방충망으로 막은 것을 살충 효과 평가에 사용하였다. 살충 효과 평가에는 각 30마리씩 사용하였다(Figure 4).

2.3.2.3. 살충 평가

살충 실험이 완료된 해충들을 권연벌레의 사육 조건인 온도 28℃, 습도 75%에서, 애알락수시렁이의 사육조건인 온도 20℃, 습도 50%에서 보관하면서 1주일간 1일 간격으로 뽕배로 해충의 움직임을 관찰하여 해충의 살충 여부를 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시스템 운전 성능

저산소 농도 살충 챔버 시스템의 가동 절차는 다음과 같다. 우선 제어 유닛에서 운전 조건(산소 농도, 온도, 습도, 살충 시간)을 입력한 후 장비를 자동 모드로 가동시키면, 대기 환경 조건에서 목표 운전 조건에 도달하기 위한 준비 작업이 가동된다. 준비 작업은 진공 펌프에 의한 챔버 내 산소 제거와 가스 공급에 의한 챔버 내 산소의 외부로 밀어내는 작업이 동시에 일어난다. 준비 작업 종료된 후 자동으로 살충 작업이 개시된다. 살충 작업 운전 중 산소 농도가 설정값 이상

이 되면 아르곤 가스를 공급하고 설정치에 도달하면 가스 공급이 정지된다. 동시에 습도가 설정값보다 낮거나 높으면 가습 아르곤 가스와 건조 아르곤 가스의 챔버 내 공급 비율을 적절히 조절하여 습도를 조절한다. 설정된 운전 시간에 도달하면 챔버 내 가스는 외부로 배출함과 동시에 외부의 공기가 챔버 내로 유입되면서 살충 작업 운전이 종료된다.

30일간의 운전 동안 챔버 내 산소 농도, 온도, 습도 변화는 Figure 5와 같다. 대기 환경 조건에서 운전 조건에 도달하는데 필요한 준비 작업 시간은 1시간 10분이 소요되었으며, 운전 중 챔버 내 산소 농도는 최저 0.005%, 최대 0.018% 평균 0.01%, 온도는 최저 19.8℃, 최대 20.2℃ 평균 20℃, 상대습도는 최저 48%, 최대 51%, 평균 49%로, 운전 기간 중 산소 농도, 온도, 습도가 일정하게 유지되고 있어 목표 운전 조건에 도달하였음을 보여주고 있다.

준비 작업은 장비 가동 후 10분만에 산소 농도가 20%에서 4%로 떨어지지만, 4%에서 0.01%로 산소 농도를 떨어뜨리기 위해서는 1시간이 소요되었다(Figure 6). 고농도의 산소 제거는 진공 펌프에 의해 단시간에 가능하지만, 진공 펌프만으로는 1% 이하로 산소 농도를 떨어뜨리기 어렵기 때문에, 살충에 필요한 0.01%의 저산소 농도에 도달하기 위해서는, 진공 펌프의 가동과 함께 가스 공급으로 챔버 내 산소를 지속적인 외부로 밀어내 배출함으로써 목표 저산소 농도에 도달할 수 있었다. 준비 시간은 챔버의 용적이 증가하면 매우 길어질 것으로 추정된다.

한편 질소 가스를 사용하였을 때에도 준비 작업 단계나 살충 단계에서의 챔버 내 산소 농도, 온도, 습도의 거동은 아르곤을 사용하였을 때와 유사한 결과를 보여주었다.

Figure 5. Changes of oxygen concentration, temperature and relative humidity for anoxic treatment using argon.

Figure 6. Changes of oxygen concentration during standby process for anoxic treatment using argon.

3.2. 해충 살충력

아르곤 환경하에서 산소농도 0.01%, 온도 25℃, 습도 50%에서, 권연벌레 성충은 병에 넣은 것은 3일, 나무 블록에 넣은 것은 5일간 살충처리를 하였을 때 100% 살충이 되었으며(Figure 7, 8), 애벌레는 병에 넣고 밀가루로 덮은 것은 7일, 나무 블록에 넣은 것은 7일간 살충처리를 하였을 때 100% 살충이 되었다(Figure 7, 8). 그리고 애알락수시령이 애벌레는 3일간 살충처리 후 100% 살충되었다(Figure 9). 권연벌레 성충은 직접 살충처리에 노출된 것(병에 넣은 것)과 간접적으로 노출된 것(나무 블록에 넣은 것) 간에는 완전 살충에 걸리는 시간에 차이를 보여 주고 있으나, 애벌레는 살충처리에 간접적으로 노출된 밀가루 속에 넣은 것과 나무 블록 속에 넣은 것은 100% 살충에 걸리는 시간이

Figure 7. Percent mortality of adults and larvae of cigarette beetle in bottles.

Figure 8. Percent mortality of adults and larvae of cigarette beetle in wooden blocks.

동일하였다. 살충 실험 결과는 아르곤을 사용한 선행 연구의²⁰ 완전 살충에 걸린 시간에 비해 좀 더 길지만, 실험 조건이나 장비 차이 등으로 인해 정확한 비교는 힘들다.

이상의 평가 결과로부터 본 저산소 농도 살충 챔버 시스템은 아르곤을 사용하였을 때 권연벌레나 애알락수시령이와 같은 박물관 해충에 대한 살충 성능을 확인할 수 있었다.

그러나 박물관 현장에서의 문화재를 대상으로한 살충에는 본 실험보다 살충시간이 더 소요될 것으로 판단된다. 실제 미국 메트로폴리탄박물관에서는 아르곤가스를 사용하여 산소 농도 0.05%, 온도 20℃, 상대습도 50%에서 4주간 살충처리를 하여²³, 일본 큐슈국립박물관에서는 질소를 사용하여 산소 농도 0.03%, 온도 25~30℃, 상대습도 55~60%에서 3주간 살충처리를 하고 있다¹⁵. 이와 같이 박물관 현장에서의 살충처리 시간은 연구실에서의 실험 결과보다 매우 긴 것으로 야생의 해충이 사육한 해충보다 살충에 대한 내성이 강하기 때문에 살충 시간을 길게 설정하였기 때문이다¹⁷.

4. 결 론

본 연구는 메틸브로마이드 대체 문화재 해충 살충법으로써 저산소 농도 살충법의 운용을 목적으로, 저산소 농도 살충 챔버 시스템을 국내 최초로 시제작하였으며 시운전을 통해 운전 성능 및 박물관 해충의 살충력을 평가하였다. 시제작된 저산소 농도 살충 챔버 시스템은 용량은 0.5m³이며, 아르곤, 질소, 이산화탄소의 사용이 가능하다. 이 시스템은 저산소 농도를 일정하게 유지하기 위하여 산소 농도 설정값보다 증가할 때마다 습도가 조절된 가스를 주입하는 운전 방식(semi-dynamic method)을 채택하였다. 장비를 운전

Figure 9. Percent mortality of larvae of varied carpet beetle in bottle.

한 결과 산소 농도, 온도, 습도가 자동 제어되면서 일정하게 유지되었으며, 아르곤 가스를 사용하여 산소 농도 0.01%, 온도 25℃, 습도 50%의 조건에서 식물성 문화재 가해 해충 권연벌레 성충 및 애벌레, 동물성 문화재 가해 해충 애알락 수시령이 애벌레의 살충 효과를 확인할 수 있었다. 평가 결과로부터 시제작한 저산소 농도 살충 챔버 시스템은 메틸브로마이드 대체법인 저산소 농도 살충법의 기술 개발을 위한 기초 데이터를 확보하는데 충분히 활용이 가능함을 확인하였다.

참고문헌

1. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, (1997).
2. Lindgren, D., "Effect of atmospheric gases alone or in combination on the mortality of granary and rice weevils". *Journal of Economic Entomology*, **63**, p6-1929, (1970).
3. Bailey, S.W. and Banks, H.J., "The use of controlled atmospheres for the storage of grain", *1st International Working Conference on Stored-Product Entomology*, p362-374, (1975).
4. Bailey, S.W. and Banks, H.J., "A Review of recent studies of the effects of controlled atmospheres on stored product pests". *Proceedings of an International Symposium on Controlled Atmosphere Storage of Grains*, p101-118, (1980).
5. Banks, H.J., "Recent advances in the use of modified atmosphere for stored product pest control". *Proceedings of the 2nd International Working Conference on Stored-Product Entomology*, p198-217, (1979).
6. Calderon, M. and Barka-Golan R., "Food Preservation by Modified Atmospheres", CRC Press, Florida, p93-122, (1990).
7. Selwitz, C. and Maekawa, S., "Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests". Getty Conservation Institute, Los Angeles, p7-15, (1998).
8. Kang, D.I., "The Stability Appraisalment on Cultural Property Material with the Replacing Fumigation Gas of Methyl Bromide". *Journal of Conservation Science*, **25**, p283-291, (2009).
9. Kang, D.I., "Stability Appraisalment on Cultural Property Material with the Replacing Fumigation Gas of Methyl Bromide II". *Journal of Conservation Science*, **25**, p465-471, (2009).
10. Oh, J.S., "Anoxia Techniques to Eradicate Insects for Conservation of Cultural Properties in Museums". *Journal of Conservation Science*, **27**, p231-241, (2011).
11. Jeong, S.H., Lee, M.Y., Kim, D.W. and Chung, Y.J., "Investigation of environment-friendly insecticidal treatment technology and analysis of its effects". The 33rd National Conference of the Korean Society of Conservation Science of Cultural Heritage, p157-158, (2011).
12. Chung, Y.J., Kim, Y.J. and Kang, D.I., "Application of low oxygen treatment for wooden building". The 35th National Conference of the Korean Society of Conservation Science of Cultural Heritage, p1-2, (2012).
13. Lee, M.Y., Kim, S.H., Kim, D.W. and Chung, Y.J., "Biocide effect of low oxygen and temperature treatment". The 35th National Conference of the Korean Society of Conservation Science of Cultural Heritage, p31-32, (2012).
14. Kigawa, R., Yamano, K., Miura, S., Maekawa, S., "An Automated Anoxic Treatment Chamber for Cultural Objects A Novel System with Nitrogen Generator". *Science for Conservation*, **38**, p1-8, (1999).
15. Inner Report of The National Folk Museum of Korea, (2012).
16. Gunn, M., Ziaepour, H., Merizzi, F. and Naffah, C., "Anoxia - Treatment by Oxygen Deprivation : Optimizing Treatment Time of Museum Objects". *International Preservation News*, **42**, p8-13, (2007).
17. Rika, K., Yoshiko, M., Katsuji, Y., Sadatoshi, M., Hideaki, N., Hiroshi, K. and Bunshiro, T., "Practical Protocols of Low Oxygen Atmosphere and Carbon Dioxide Treatments for Eradication of Japanese Museum Insects". *Bunkazaihozonshuhukugakaisi*, **45**, p73-86, (2001).
18. Koestler, R.J., Tavzes, Č. and Pohleven, F., "A new approach on conservation of wooden heritage". *Paper for the 35th Annual Meeting of The International Research Group on Wood Preservation*, (2004).
19. Valentin, N., Alguero, M. and Martín de Hijas, C.,

- "Evaluation of Disinfection Techniques for the Conservation of Polychrome Sculpture in Iberian Museums". *Conservation of the Iberian and Latin American Cultural Heritage : Preprints of the Contributions to the Madrid Congress*, p165-167, (1992).
20. Valentin, N., "Comparative Analysis of Insect Control by Nitrogen, Argon and Carbon Dioxide in Museum, Archives and Herbarium Collections". *International Biodeterioration & Biodegradation*, **32**, p263-278, (1993).
21. Rust, M.K. and Kennedy, J.M., "*The Feasibility of using Modified Atmospheres to Control Insect Pests in Museums*". Getty Conservation Institute, Los Angeles, (1993).
22. Reirson, D.A., Rust, M.K., Kennedy, J.M., Daniel, V. and Maekawa, S., "Enhancing the Effectiveness of Modified Atmospheres to Control Insect Pests in Museums and Similar Sensitive Areas". *Proceedings of the Second International Conference on Urban Pests*, p319-327, (1996).
23. Inner Report of The National Folk Museum of Korea, (2011).