

# 세종기지 외래종 각다귀 박멸 매뉴얼 개발

Development of a manual to eradicate invasive crane flies  
at the King Sejong Antarctic Station



The New Zealand Institute for Plant and Food Research

# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 남극 과학기지 운영에 따른 주변 환경 및 생태계 오염 요인 모니터링”과제의 위탁연구 “세종기지 외래종 각다귀 박멸 매뉴얼 개발”과제의 2019년도 연구보고서로 제출합니다.



2020. 1. 31

(본과제) 총괄연구책임자 : 김지희

위탁연구기관명 : PFR

위탁연구책임자 : 박계청

위탁참여연구원 : Lee-Anne

## 보고서 초록

위탁연구과제명	세종기지 외래종 각다귀 박멸 매뉴얼 개발				
위탁연구책임자	박계청	해당단계 참여연구원 수	2	해당단계 연구비	60,000,000 원
연구기관명 및 소속부서명	New Zealand Institute for Plant and Food Research		참여기업명	없음	
국제공동연구	상대국명: 뉴질랜드 상대국연구기관명 : New Zealand Institute for Plant and Food Research				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면 수	69
<p>남극 세종기지 및 주변에 위치한 외국 기지들(칠레, 러시아, 우루과이 기지)에서 10여년 전부터 외래 곤충인 ‘겨울각다귀’(winter crane fly: <i>Trichocera maculipennis</i>)가 각 기지의 오폐수 처리 시설 및 그 주변에서 서식하고 있으며, 본 과제는 세종기지에서 발생하는 겨울각다귀를 박멸할 수 있는 기술을 개발하여 적용하기 위해 2019년에 착수되었다. 남극이라는 특수성에 따라 일반 해충의 박멸에 많이 사용되는 독성살충제나 biological control agent의 사용이 어렵고 옹성불임법(SIT: sterile insect technique) 같은 기술의 적용도 어려우며, 따라서 제한적인 가용한 옵션들 중에서 적용할 수 있는 방법을 선택하게 되었으며, 새로운 유인제를 활용한 attract &amp; kill, pesticide-impregnated netting을 사용한 우화한 성충의 분산 방지 및 교미한 성충의 산란처 접근 차단, 그리고 겨울각다귀의 침입 및 전파 경로를 차단하는 방법을 조합하여 박멸을 시도하려고 하며, 본 1년차 연구에서는 이에 필요한 준비 및 예비 실험, 그리고 유인제를 개발하기 위한 기본 실험들을 수행하였고, 겨울각다귀의 생활 및 기지 주변 환경에서의 생존 및 서식 가능성에 대해 알아보았다. 겨울각다귀는 기지 지면 호수의 환경에서 산란과 유충의 활발한 섭식활동이 이뤄질 수 있는 것을 확인하였다. 반면에, 기지 주변 호수에 서식하는 midge 유충, 톱토기 및 원생동물에 의한 공격 또는 포식이 관찰되었고, 호수 내 병원체에 의한 겨울각다귀 유충의 감염도 관찰되었으며, 긴 유충 기간(약 4개월 이상 필요)동안의 기지 주변 호수의 온도 변화를 감안할 때 겨울각다귀 유충이 세종기지 주변 호수에서 유충 기간을 완성하고 번데기를 거쳐 성충으로 성공적으로 발육하기는 쉽지 않을 것으로 판단된다. 겨울각다귀의 냄새 감각 및 시각 통신을 파악하여 이에 주로 사용되는 신호를 유인제로 개발하려는 연구에서는, 우선 겨울각다귀의 냄새 감각기와 겹눈의 구조를 전자현미경으로 자세히 관찰하여 어떤 종류의 감각기들을 갖고 있는지 파악하였고, 냄새 감각세포와 시각 세포의 반응을 전기생리적으로 측정하는 EAG(electroantennogram) 및 ERG(electroretinogram) 기술을 사용하여 겨울각다귀의 냄새 감각 반응 및 시각 반응을 측정하여 겨울각다귀가 특정 냄새물질 및 특정 광파장에 민감한 반응을 나타낸다는 사실을 밝혔으며, visual trap 및 odor-baited trap을 사용하여 특정 냄새물질들 및 특정 광파장의 겨울각다귀에 대한 유인력 측정 실험을 개시하였다. 또한, 세종기지의 발전동 및 생활동의 오수집수 시설에 pesticide-impregnated netting을 설치하기 위한 준비도 착수하였다. 이를 바탕으로 2020년에는 겨울각다귀의 유인제 개발과 박멸 기술의 개발을 계속 진행할 계획이다.</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	겨울각다귀, 박멸, 유인제, 냄새감각, 시각, 트랩			
	영 어	Winter crane fly, eradication, attractant, olfaction, vision, trap			

# 요 약 문

## I. 제 목

세종기지 외래종 각다귀 박멸 매뉴얼 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

남극 세종기지 및 주변에 위치한 외국 기지들(칠레, 러시아, 우루과이 기지)에서 10여년 전부터 외래 곤충인 ‘겨울각다귀’(winter crane fly: *Trichocera maculipennis*)가 각 기지의 오페수 처리 시설 및 그 주변에서 서식하고 있으며, 본 과제는 세종기지에서 발생하는 겨울각다귀를 박멸할 수 있는 기술을 개발하여 적용하기 위해 2019년에 착수되었다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

남극이라는 특수성에 따라 일반 해충의 박멸에 많이 사용되는 독성살충제의 사용이나 biological control agent 의 사용이 어렵고 따라서 제한적인 가용한 옵션들 중에서 적용할 수 있는 방법을 선택하게 되었으며, 새로운 유인제를 활용한 attract & kill, pesticide-impregnated netting을 사용한 우화한 성충의 분산 방지 및 교미한 성충의 산란처 접근 차단, 그리고 겨울각다귀의 침입 및 전파 경로를 차단하는 방법을 조합하여 박멸을 시도하려고 하며, 본 1년차 연구에서는 이에 필요한 준비 및 예비 실험, 그리고 유인제를 개발하기 위한 기본 실험들을 수행하였고, 겨울각다귀의 생활 및 기지 주변 환경에서의 생존 및 서식 가능성에 대해 알아보았다.

## IV. 연구개발결과

겨울각다귀는 기지 주변 호수의 환경에서 산란과 유충의 활발한 섭식활동이 이뤄질 수 있는 것을 확인하였다. 반면에, 기지 주변 호수에 서식하는 midge 유충, 톱토기 및 원생동물에 의한 공격 또는 포식이 관찰되었고, 호수 내 병원체에 의한 겨울각다귀 유충의 감염도 관찰되었으며, 긴 유충 기간(약 4개월 이상 필요)동안의 기지 주변 호수의 온도 변화를 감안할 때 겨울각다귀 유충이 세종기지 주변 호수에서 유충 기간을 완성하고 번데기를 거쳐 성충으로 성공적으로 발육하기는 어려울 것으로 판단된다. 겨울각다귀의 냄새 감각 및

시각 통신을 파악하여 이에 주로 사용되는 신호를 유인제로 개발하려는 연구에서는, 우선 겨울각다귀의 냄새감각기와 겹눈의 구조를 전자현미경으로 자세히 관찰하여 어떤 종류의 감각기들을 갖고 있는지 파악하였고, 냄새감각세포와 시각세포의 반응을 전기생리적으로 측정하는 EAG(electroantennogram) 및 ERG(electroretinogram) 기술을 사용하여 겨울각다귀의 냄새감각 반응 및 시각 반응을 측정하여 겨울각다귀가 특정 냄새 물질 및 특정 광과장에 민감한 반응을 나타낸다는 사실을 밝혔으며, visual trap 및 odor-baited trap을 사용하여 특정 냄새물질들 및 특정 광과장의 겨울각다귀에 대한 유인력 측정 실험을 개시하였다. 또한, 세종기지의 발전동 및 생활동의 오수집수 시설에 pesticide-impregnated netting을 설치하기 위한 준비도 착수하였다.

#### V. 연구개발결과의 활용계획

본 결과를 바탕으로 2020년에는 겨울각다귀의 유인제 개발과 박멸 기술의 개발을 계속 진행할 계획이다. 궁극적으로 본 과제가 종료되는 2021년 말까지 겨울각다귀의 박멸 매뉴얼을 개발하여 세종기지에 적용할 계획이며, 성공적인 박멸이 이뤄지면 이를 주변의 외국 기지에 보급하여 각 기지에서 발생하는 겨울각다귀의 박멸을 유도하도록 할 계획이다. 또한, 경로 차단을 통해 세종기지에 겨울각다귀가 재침입, 재발생 하는 것도 방지하도록 할 계획이다.

극지연구소

# S U M M A R Y

## I. Title

Development of a manual to eradicate invasive crane flies at the King Sejong Antarctic Station

## II. Purpose and Necessity of R&D

A species of winter crane fly (*Trichocera maculipennis*) invaded into several Antarctic bases and research stations in King George Island over the past several years, and this unwanted species has been persistently present in and around the waste water treatment facilities at Russian Base, Chilean Base, Uruguayan base as well as Korean King Sejong Station. The main objective of this project is to develop an effective way to eradicate this unwanted invasive winter crane fly species from King Sejong Station and provide it as a standard eradication manual for the winter crane fly.

## III. Contents and Extent of R&D

Some common techniques for the eradication of invasive insects, such as SIT (sterile insect technique), release of biocontrol agents, and use of toxic pesticide, cannot be used in the eradication of winter crane fly in Antarctica since there are apparent concerns of using them in the Antarctic environment. Among limited options, therefore, we try to use a combination of attractants, pesticide-impregnated netting, delimitation and strengthened quarantine practice in our effort to eradicate the winter crane fly in and around King Sejong Station. Potent attractants can be used as a mean for attract & kill and for locating the adults of the winter crane fly present at low density. Pesticide impregnated netting will be effective in reducing the population level of the winter crane fly by blocking the exiting adult winter crane flies from two waste water treatment systems at King Sejong Station and also by keeping female winter crane flies from entering the waste water treatment systems for oviposition. While the pesticide impregnated into the netting will be effective in killing adult winter crane flies contacting with the nets, the pesticide will not be contaminating the surrounding environment since it only stays in the nettings. In the first year of this project, 1) the basic biology such as oviposition, embryonic and post-embryonic development, and feeding activity of the winter crane fly

have been understood, 2) the detailed morphology of the olfactory sensory system and visual sensory system of adult winter crane flies has been investigated through electron microscopy, 3) a system to identify olfactory-active compounds for the winter crane fly has been established by constructing an electrophysiological recording system to measure the responses of the olfactory receptor neurons through EAG (electroantennogram) and EPG (electropalpogram) recordings, 4) the responses of compound eyes of adult winter crane flies to different wavelengths of lights have been electrophysiologically measured through ERG (electroretinogram) recordings, 5) the volatile compounds produced in the waste water treatment facility at King Sejong Station have been collected by using a dynamic headspace volatile collection system for chemical analysis and the identification of olfactory-active compounds, and 6) a field trapping system to evaluate olfactory-active compounds and attractive visual cues has been established.

#### IV. R&D Results

In the first-year research, it was found that 1) the winter crane fly can lay eggs in the freshwater around King Sejong Station and their larvae can feed on various organic materials in the freshwater, 2) however, predation of the winter crane fly larvae by other insects such as springtails and midges was observed and parasitism by microscopic animals present in the freshwater was also found, which might limit the survival of the winter crane fly larvae in the lakes around King Sejong Station, 3) adult winter crane flies have well-developed olfactory sensory systems on the antennae and maxillary palps, and they exhibited specialized olfactory responses to some volatile compounds in EAG (electroantennogram) experiments, 4) adult winter crane flies have well-developed compound eyes, and their visual sensory neurons displayed strong ERG (electroretinogram) responses to green, blue and UV lights, 5) the volatiles produced in the wastewater treatment facility at King Sejong Station has been collected by using a dynamic headspace collection system and Tenax cartridges, and EAG tests with the samples indicated that olfactory-active compounds for the winter crane fly are present in the headspace samples, 6) a field trapping system has been established to evaluate the attractiveness of different olfactory-active compounds and visual signals, and 7) we initiated preparing pesticide-impregnated nettings that can be placed in the wastewater treatment facilities at the King Sejong Station.

## V. Application Plans of R&D Results

Based on the progresses and findings in the first year of the project, it will be proceeded in the second and third year that 1) the development of attractants will be continued by conducting EAG, GC-EAD (gas chromatograph-linked electantennogram detection) and chemical analysis using GC-MS (gas chromatography-mass spectrometry), 2) field-trapping tests will be conducted to evaluate the attractiveness of olfactory-active compounds and visual cues, 3) collection of the winter crane flies will be attempted in Korea to conduct experiments using them, and 4) pesticide-impregnated nettings will be prepared and the installation of the nettings will be made in the wastewater treatment facilities at the King Sejong Station.



# 목 차

제 1 장 서론 .....	9
제 2 장 국내외 기술 개발 현황 .....	10
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 .....	11
제 1 절 겨울각다귀의 발생 상황 .....	11
1. 세종기지에서의 발생 상황 .....	11
2. 외국 기지에서의 발생 상황 .....	14
제 2 절 겨울각다귀의 생식 및 발육 .....	19
1. 교미 및 산란 .....	19
2. 배자 발육 .....	22
3. 후배자 발육 .....	24
4. 세종호 환경에서의 발육 .....	26
제 3 절 겨울각다귀의 냄새 감각 .....	32
1. 냄새 감각 시스템 .....	32
2. 냄새활성물질 탐색 .....	40
3. 냄새물질을 이용한 유인제 개발 .....	47
제 4 절 겨울각다귀의 시각 .....	49
제 5 절 겨울각다귀의 모니터링 기술 .....	54
1. UV trap .....	54
2. Uruguayan trap .....	55
3. Odor-baited trap .....	57
제 6 절 겨울각다귀의 박멸 기술 개발 .....	57
1. Pesticide-impregnated netting .....	58
2. 유인제 및 트랩 포획 .....	61
3. 재침투 방지 .....	61
제 7 절 기타 세종기지에서의 연구 결과 .....	61
1. 칠레 프레이기지에서 나방파리 발생 .....	61
2. Midge의 유인제 개발 .....	63
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도 .....	66
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 .....	67
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	68
제 7 장 참고문헌 .....	69

## 제 1 장 서 론

외래 해충과 관련한 사항들은 2015 년에 ATCM(The Antarctic Treaty Consultative Meeting)에 의해 승인된 CEP(Committee for Environmental Protection)와 CCRWP(Climate Change Response Work Plan)의 5개년 대응 계획의 최우선 관심 사항이며, 증가하는 인간 활동과 기후 변화에 따라 더욱 가능성이 늘고 있는 외래 생물체의 침입 및 이에 따른 남극 생태계에의 영향을 방지하기 위한 각 관련 국가 및 단체들의 적극적인 참여가 필요함. 침입종인 겨울각다귀(WCF: winter crane fly: *Trichocera maculipennis*: Tephilidae: Diptera: Insecta)는 2006-2007년에 우루과이 아티거스 기지(Antarctic Uruguyan Artigus Station)의 하수처리 시스템에서 처음 발견되었으며, 2008년에 박멸이 시도되었으나 실패했고 2011년에 동 기지에서 다수의 겨울각다귀가 발견되었다. 남극 해역(maritime Antarctic region)에서의 겨울각다귀의 존재와 형태적 특징 등에 대한 정보가 2013년에 학술지 Polar Biology에 보고되었다(Volonterio et al., 2013). 한국의 남극 세종기지에서는 2013년에 처음으로 겨울각다귀 월동대원들에 의해 발견되었으며, 2015년 이후 기지 주변의 겨울각다귀 개체군 모니터링이 수행되어 왔다. 2015년에는 겨울각다귀 박멸을 위한 세종기지의 하수처리 시스템의 정화작업이 수행된 바 있다. 살충제의 사용과 자외선트랩이 겨울각다귀의 확산과 개체군 증가를 억제하는 효과가 있는 것으로 보였지만 겨울각다귀의 박멸은 이뤄지지 않았는데, 이는 아마도 이들 방법이 하수처리 시스템에 있는 겨울각다귀의 알과 유충을 완전히 없애는 데는 제한적이었던 때문인 것으로 판단된다. 겨울각다귀에의 저항성 유발 및 내성 발달이 염려되어 세종기지에서의 살충제 사용은 2018년에 중단되었다. 킹조지섬에서 수행한 설문조사 결과 및 공유된 정보에 따르면 겨울각다귀 개체군은 현재 필데스 반도(Fildes Peninsula), 바톤 반도 (Barton Peninsula) 및 Admiralty Bay에 있는 폴란드 기지(Henryk Arctowski Polish Station)에 분포하는 것으로 보인다. 칠레 기지의 활주로 및 우루과이 기지 주변의 민물 호수에서 겨울각다귀가 발견된 것으로 보아 겨울각다귀가 남극 외부 환경에서 생존하고 번식할 가능성을 배제할 수 없다. 한국 기지와 우루과이 기지에서의 겨울각다귀 개체군에 대한 2017-2018년의 공동 모니터링의 결과를 21차 CEP에서 IP로 제출할 예정이며, 킹조지섬에서 영구 기지를 운영하는 8개국의 CEP 대표들 간에 겨울각다귀의 개체군 모니터링의 필요성과 관련 정보 공유에 대한 공감대가 형성되었다. 따라서, 보다 종합적이고 체계적으로 본 연구를 수행함으로써 겨울각다귀를 킹조지섬에서 박멸하기 위한 구체적인 방안과 기술들을 담은 매뉴얼을 개발하고 이를 실행하도록 하여 겨울각다귀의 박멸이라는 목표를 달성하기 위해 본 과제를 기획, 수행하게 되었다. 겨울각다귀는 북반구에 광범위하게 분포하는데, 북극 지역에서의 분포는 이들이 이러한 혹독한 환경에 견딜 수 있음을 보여준다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

겨울각다귀 또는 각다귀의 방제와 박멸에 관한 기술은 국내외를 막론하고 전혀 개발되어 있지 않은 실정이다. 이는 겨울각다귀가 주요 해충으로 인식되지 않았기 때문이며, 따라서 본 연구개발에서 목표로 하는 겨울각다귀의 박멸에 필요한 기술들은 대부분 본 연구개발을 통해 이뤄질 계획이다.



## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절. 겨울각다귀의 발생 상황

#### 1. 세종기지에서의 발생 상황

세종기지에 침입한 외래해충 겨울각다귀(winter crane fly: WCF)는 어리각다귀과(Trichoceridae)의 *Trichocera maculipennis*(Diptera: Insecta)이다 (그림 1-1). 겨울각다귀는 북반구의 여러 나라들에 널리 분포하며, 유충이 성공적으로 성충으로 사육된 예가 있고 (Karandikar, Trans. Ent Soc London, 79: 249-260), 갓 우화한 겨울각다귀 암, 수컷 성충들을 케이지에 넣으면 교미를 하며, 산란된 알에서 깨어난 유충들을 사육하여 성충으로 만들 수 있는 것으로 보고되어 있다. 겨울각다귀의 암컷은 천천히 걸어다니면서 산란을 하는데, 알은 젖은 토양 또는 이끼 위에 산란한다. 겨울각다귀 성충은 꿀과 물을 주면 10-17일 정도 생존할 수 있는 것으로 알려져 있다.

겨울각다귀의 암, 수컷 성충은 육안 또는 해부현미경 아래에서 잘 구분된다. 겨울각다귀 수컷은 전체적으로 몸이 작고 복부가 암컷에 비해 훨씬 가늘며, 암컷의 경우 복부의 굽기가 가슴 굽기의 1/2 이상인 반면에 수컷의 경우는 복부의 굽기가 가슴 굽기의 1/4 이하이다. 암컷의 경우 복부의 굽기가 전 마디에 걸쳐 비슷하거나 중간 마디 부분이 약간 통통한 모습을 하는데 비해, 수컷은 가슴 바로 뒤쪽의 복부 첫 마디 부분이 가장 가늘고, 복부 끝 쪽으로 갈수록 점차 굽어지는 경향을 보인다. 겨울각다귀의 암컷은 복부가 수컷에 비해 훨씬 굽으며, 복부 끝에 뾰족한 갈고리 모양의 산란관이 하나 있다. 반면에, 겨울각다귀의 수컷은 복부가 암컷에 비해 훨씬 가늘고, 복부 끝에 비교적 짧고 끝이 뾰족한 반고리 모양의 돌기가 두 개 있다 (그림 1-2). 이러한 형태적 비교를 통해 겨울각다귀의 암, 수컷 성충을 어렵지 않게 구분할 수 있다.



Figure 1-1. Winter crane fly, *Trichocera maculipennis* (Trichoceridae: Diptera: Insecta), that has invaded the King Sejong Station and other international stations and bases in King George Island.

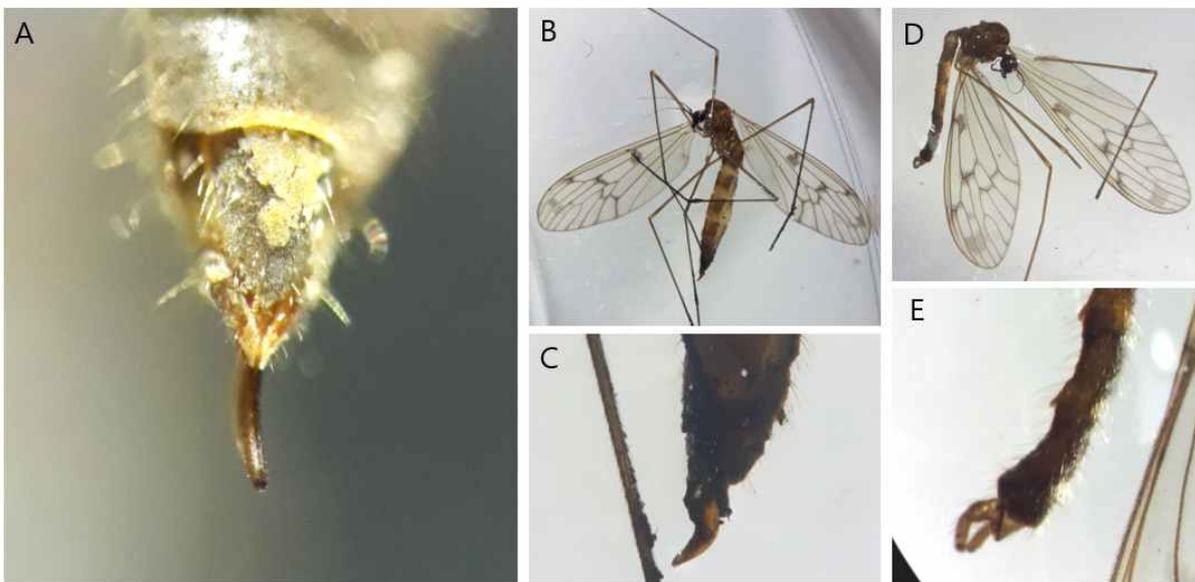


Figure 1-2. Males (A-C) and females (D-E) of winter crane fly, *Trichocera maculipennis*, showing that the width of abdomen is different between males and females (B, D). Females have an ovipositor at the abdominal tip (A, C). In contrast, two semi-circular structures are present in the abdominal tip of males (E).

우화해서 오수집수조 밖으로 나온 겨울각다귀 성충은 어둡고 습한 곳을 선호하는 것으로 보이며, 주로 낮은 곳에 머물러서, 바닥에 지속적으로 물이 고여 있는 습도가 높은 장소에 머무르는 경향을 보인다 (그림 1-3). 겨울각다귀 성충은 교미와 산란 외의 상황에서는 활동성이 아주 낮은 것으로 보이며, 평상시 날거나 걷지 않고 제자리에 가

만히 머무는 습성을 보이고, 가만히 앉아 있는 개체는 건드리더라도 크게 움직이지 않는 경우가 많다. 겨울각다귀 유충은 복부 끝에 있는 한 쌍의 털이 많은 기문을 물 밖에 내놓거나 물 속 공기방울 내에 위치시켜 호흡을 할 수 있는데 (그림 1-4), 이들 겨울각다귀 유충은 부화 직후부터 왕성한 섭식 활동을 보여서 한 쌍의 큰 턱을 좌우로 열고 닫으면서 먹이를 구강 내부로 이동시켜 섭취한다 (그림 1-5). 겨울각다귀 유충들의 서식처 및 성충들의 휴식처(shelter), 그리고 산란 장소 및 유충 서식 가능성 등을 종합할 때 현재 겨울각다귀가 집중적으로 발견되고 성충 발생이 모니터링 되는 발전동과 생활동 옆 오수집수조 건물 외의 장소(예를 들어, 현대호 옆의 펌프장 및 생활동 옆 오수집수정 외부의 물이 고인 장소)에서도 따뜻한 온도 조건이 오래 유지된다면 충분히 번식할 수 있을 것으로 보인다.

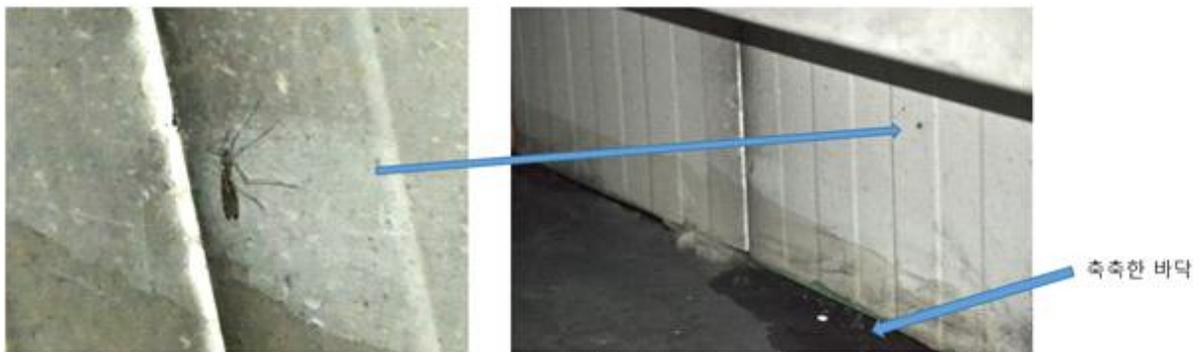


Figure 1-3. An adult winter crane fly, *Trichocera maculipennis*, resting on the wall close to the damp floor in a dark corner inside the Sewage Treatment Building at King Sejong Station.



Figure 1-4. The larvae of winter crane fly, *Trichocera maculipennis*, breathe using a pair of hairy spiracles located at the abdominal tip, by placing them either out of water surface or in an air bubble.



Figure 1-5. The larvae of winter crane fly, *Trichocera maculipennis*, intake food by slicing them with a pair of sharp and hardened mandibles and send the fragmented food through oral cavity (temporal sequence from left to right).

## 2. 외국 기지에서서의 발생 상황

2006-2007년 여름에 킹조지섬의 Cientifica Antartica Artigas 기지의 집수정 (sewage system)에서 다수의 파리목 곤충이 발견되었으며, 이들은 *Trichocera maculipennis*(Diptera: Trichoceridae)로 동정되었다. 2011년 1월 15일부터 한 달 동안 이 기지 주변 반경 1 km 내에 45 개의 pitfall trap을 설치하고 매일 포획을 조사한 결과 10 마리 정도의 겨울각다귀가 포획되었다 (Volonterio et al., 2013, Polar Biology 36: 1125-1131).

겨울각다귀는 세종기지 외에도 킹조지섬 필데스 반도의 외국 기지들 중 러시아 기지, 칠레 기지(필데스기지 및 에스쿠데로기지), 그리고 우루과이 기지에 겨울각다귀가 서식하고 있는 것이 확인되었으며, 중국 장성기지에의 겨울각다귀 발생은 공식적으로 확인되지는 않았으며, 현재 장성기지에 UV trap을 설치해두고 겨울각다귀 성충 발생을 모니터링 하고 있다. 칠레 기지와 우루과이 기지에서 겨울각다귀 성충 밀도는 세종기지에 비해 월등히 높아서 이들 기지에서 겨울각다귀들이 매년 크게 발생하고 있다는 것을 알 수 있었으며, 따라서 이들 기지로부터 세종기지로 유입되는 겨울각다귀의 경로도 지속적으로 차단하고 세종기지로 들어오는 인원과 물품에 겨울각다귀들이 함께 딸려 오지 않도록 해야 할 것으로 보인다. 폴란드 기지에 현재 겨울각다귀가 어느 정도 발생하고 있는지는 불확실하다. 하지만, 폴란드 기지에서 겨울각다귀 발생 보고 이후 겨울각다귀가 박멸되었다는 보고는 없었으며, 폴란드 기지 주변의 비교적 온화한 기후를 감안할 때 폴란드 기지에 겨울각다귀들이 아직 발생하고 있을 가능성이 높을 것으로 사료된다.

세종기지와 마찬가지로, 필데스 반도의 우루과이 기지, 러시아 기지 및 칠레 기지에서 겨울각다귀가 발생하는 장소도 각 기지의 오폐수 처리 시설과 뚜렷한 관련이 있으며, 각 기지의 오수집수조가 겨울각다귀 유충의 주로 서식하며 성충이 주로 우화하는 장소라는 것은 분명하다. 이들 시설 외에서 겨울각다귀 유충이 성장해서 성충으로 발육된 예는 지금까지 보고된 바 없다. 우루과이 기지의 경우 건물 외부의 지하에 매설된 오수집수조에서 유충이 번식하고 성충은 여러 개의 오수집수조 뚜껑을 통해 외부로 나갈 수 있는 것으로 보인다 (그림 1-6). 우루과이의 흰색 끈끈이 트랩을 오수집수조 뚜껑 안에 위치시켰을 때 다수의 겨울각다귀 성충이 포획되는데, 흰색 끈끈이 트랩의 겨울각다귀에 대한 유인력이 아주 낮은 것을 감안할 때 우루과이 기지의 오수집수조 내의 겨울각다귀 밀도는 아주 높을 것으로 생각된다.

러시아 기지의 오수집수조 건물(그림 1-7)에 UV trap을 설치했을 때 다수의 겨울각다귀 성충이 포획되는 것으로 보아 러시아 기지에서의 겨울각다귀 발생량도 어느 정도 높을 것으로 보인다. 2019년 말에 러시아 기지의 오수집수조에 설치한 UV trap에서 3주 정도 후에 30 마리 이상의 겨울각다귀 성충이 포획되었다 (그림 1-8).

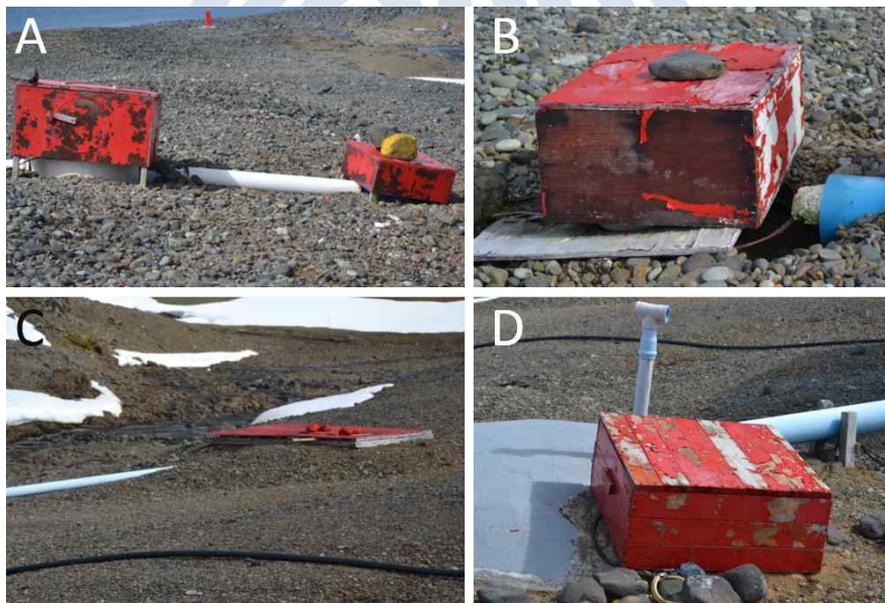


Figure 1-6. Outdoor underground sewage collection facilities appear to be the main breeding site of the invasive winter crane fly, *Trichocera maculipennis*, at Uruguayan Artigas Base in King George island.



Figure 1-7. Inside the sewage treatment building at Russian Bellingshausen Station in King George Island. The occurrence of winter crane fly, *Trichocera maculipennis*, has been monitored with UV traps in the building.

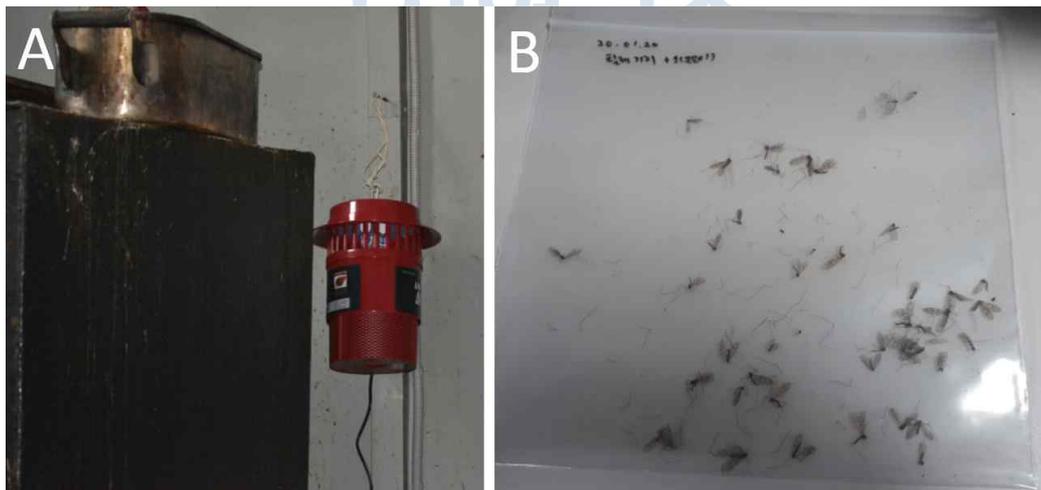


Figure 1-8. A UV trap placed inside the sewage treatment building at Russian Bellingshausen Station (A), and adult winter crane flies captured with the trap (B).

칠레 에스쿠데로기지의 지하 오수집수조 건물 내부에 설치한 UV trap에는 겨울각다귀 성충이 지속적으로 포획되고 있어서 칠레 기지에서도 겨울각다귀가 지속적으로

발생되고 있는 것을 나타낸다. 하지만, 칠레 프레이기지의 대형 오페수 처리 시설에서는 2019년 말부터 2020년 1월 중에는 건물 내에 설치한 UV trap에 겨울각다귀가 한 마리도 포획되지 않아서 이 시설에서의 겨울각다귀 발생은 상당히 낮은 것으로 판단되며, 이는 프레이기지에서 현재 일주일 간격으로 이 오페수 처리 시설을 청소하고 있는 것과 연관이 있을 가능성이 크다. 하지만, 2019년 12월 - 2020년 1월의 현장 조사에서 이 처리 시설 건물 내에서 새로운 외래 곤충인 나방파리가 발견되어 현재 이 침입 곤충에 대한 상황을 파악하는 중이다 (본 보고서 후반부 참조).

세종기지의 겨울각다귀와 칠레 프레이기지의 겨울각다귀 성충들은 크기가 다소 다른 것으로 나타났다. 세종기지와 칠레 프레이기지에서 채집된 각다귀들의 체장(머리+가슴+복부의 총 길이) 및 날개의 길이와 폭을 측정해서 비교를 했을 때 (그림 1-9), 체장(표 1-1), 날개의 길이(표 1-2) 및 날개의 폭(표 1-3)은 모두 세종기지에서 채집된 각다귀들이 칠레 프레이기지에서 채집된 각다귀들에 비해 훨씬 컸으며 이들의 차이는 모두 통계적으로 유의했다. 이들 두 그룹 간의 성충 크기 차이가 이들의 유충이 섭식한 물질들의 영양 차이 등에 기인한 것인지 아니면 이들 두 집단이 다른 생태형인지는 불분명하다.

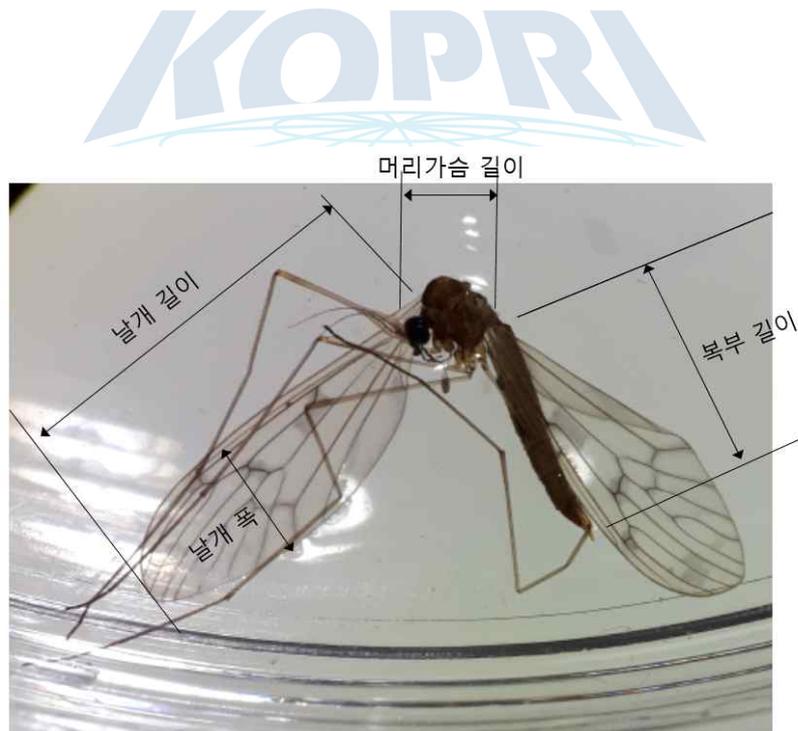


Figure 1-9. Parameters to compare the morphometrics of adult winter crane flies, *Trichocera maculipennis*, between Chilean base (Base Presidente Eduardo Frei Montalva) and Korean King Sejong Station.

Table 1-1. Morphometric comparison of the adult populations of winter crane flies, *Trichocera maculipennis*, between Chilean base (Base Presidente Eduardo Frei Montalva) and Korean King Sejong Station

Measurements	Adult winter crane fly	
	King Sejong Station	Eduardo Frei Base
Mean body length (head + thorax + abdomen)	6.98 mm	5.85 mm
Standard error (SE)	0.23 mm	0.09 mm
Sample size (N)	11 (5 males, 6 females)	59 (31 males, 28 females)
Maximum	8.37 mm	7.27 mm
Minimum	5.82 mm	4.03 mm
Result of <i>t</i> -test	$P = 5.03 \times 10^{-6}$ (95%)	

Table 1-2. Comparison of the length of wings of adult winter crane flies, *Trichocera maculipennis*, between Chilean base (Base Presidente Eduardo Frei Montalva) and Korean King Sejong Station

Measurements	Adult winter crane fly	
	King Sejong Station	Eduardo Frei Base
Mean wing length	8.06 mm	7.29 mm
Standard error (SE)	0.18 mm	0.11 mm
Sample size (N)	12	57
Maximum	9.11 mm	9.47 mm
Minimum	7.02 mm	5.66 mm
Result of <i>t</i> -test	$P = 0.001883$ (95%)	

Table 1-3. Comparison of the width of wings of adult winter crane flies, *Trichocera maculipennis*, between Chilean base (Base Presidente Eduardo Frei Montalva) and Korean King Sejong Station

Measurements	Adult winter crane fly	
	King Sejong Station	Eduardo Frei Base
Mean wing width	2.54 mm	2.21 mm
Standard error (SE)	0.07 mm	0.05 mm
Sample size (N)	12	58
Maximum	2.96 mm	2.91 mm
Minimum	2.12 mm	1.28 mm
Result of <i>t</i> -test	$P = 0.002456$ (95%)	

## 제 2 절. 겨울각다귀의 생식 및 발육

### 1. 교미 및 산란

겨울각다귀 암컷은 우화시 이미 난소가 충분히 발육이 진행되어 산란할 준비가 되어 있으며 우화 후 바로 교미할 수 있는 것으로 보인다. 겨울각다귀 수컷이 우화 중에 있는 또는 갓 우화한 암컷을 탐지하고 교미를 할 수 있는 것으로 보아 이 과정에서 종특이적인 냄새물질이 관여할 가능성이 크다. 2018년의 전자현미경 관찰 결과에 따르면 겨울각다귀의 안테나와 작은턱수염에는 잘 발달된 냄새감각기들이 다수 분포하고 있다. 겨울각다귀 성충의 평상시 활동성은 다른 곤충에 비해 아주 낮은 것으로 보이는데, 세종기지의 실내에 둔 망사 케이지에 겨울각다귀 성충들을 넣고 time lapse video recording을 통해 관찰한 결과에서도 겨울각다귀 성충의 활동성이 아주 낮은 것을 보여 준다. 겨울각다귀 암컷 성충은 교미 후 복부 끝에 위치한 산란관을 통해 한 개씩 산란을 한다 (그림 2-1). 겨울각다귀 암컷을 실내 케이지에 넣고 티슈와 함께 물이 담긴 샐레를 케이지에 넣어 주면 티슈와 물에 산란을 하는 것이 확인된다 (그림 2-2). 겨울각다귀 암컷 두 마리를 각각 실내에서 망사 케이지에 넣고 산란수를 조사한 결과 각 암컷은 총 114 개 및 193 개의 알을 산란하였다.



Figure 2-1. A female winter crane fly, *Trichocera maculipennis*, laying eggs (A). Each egg is deposited through an ovipositor located at the abdominal tip (B, C).

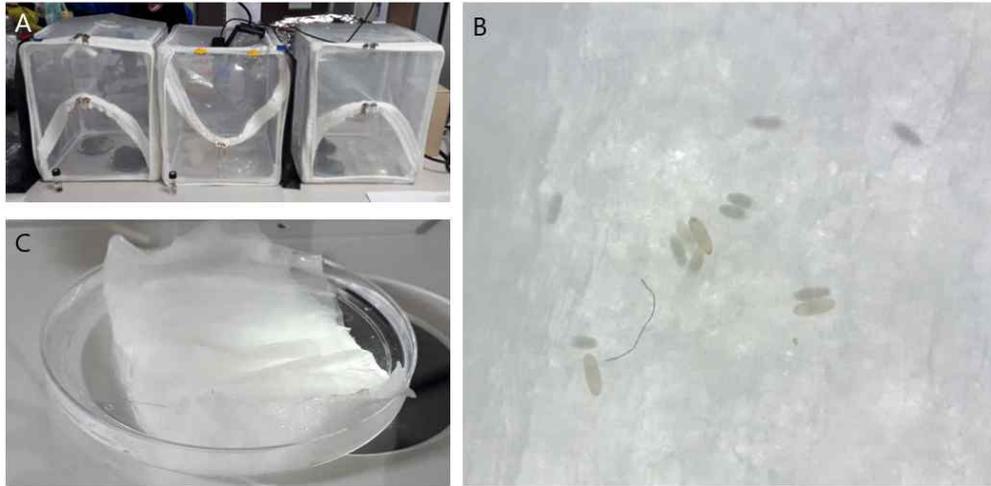


Figure 2-2. Mesh-cages containing adult winter crane flies and oviposition containers (A). Female winter crane flies lay eggs on the moistened paper tissue (B) in a Petri dish (C).

겨울각다귀 암컷 성충이 세종기지 주변의 이끼 등 호수에 존재하는 유기물이 포함되었을 때 산란 선호성을 보이는 지를 알아보았다. 겨울각다귀의 암컷 및 수컷 성충들을 섞어서 각각 세 개의 망사케이지에 넣고, 케이지 안에 암컷이 산란할 수 있도록 두 개의 페트리디쉬에 각각 물에 적신 티슈를 접어서 넣어주고 페트리디쉬 하나에는 이 위에 세종호에서 채취한 이끼 조각을 잘게 나뉘서 넣어주고, 각 페트리디쉬에 산란된 겨울각다귀의 알 수를 측정하였다 (그림 2-3). 겨울각다귀 암컷은 페트리디쉬 안에 위치한 적셔진 티슈 표면 또는 세종호에서 채집한 이끼나 조류 표면 또는 주변에 산란을 했으며, 특히 세종호에서 채취한 이끼 표면 또는 주변에 산란을 많이 하는 것으로 나타났다 (그림 2-4). 두 페트리디쉬에 각각 산란된 겨울각다귀 알의 수를 비교했을 때 세종호에서 채취한 이끼가 들어 있는 페트리디쉬에는 평균  $113.1 \pm 15.5$  개(mean  $\pm$  SE, 총 산란수 1,131 개, N = 10)의 알을 산란하였고, 이끼가 들어있지 않은 페트리디쉬에는 평균  $51.3 \pm 7.7$  개(mean  $\pm$  SE, 총 산란수 513 개, N = 10)의 알을 산란하여 유의한 차이를 나타냈다 ( $p = 0.01$ ) (그림 2-5).



Figure 2-3. Oviposition containers for testing the oviposition preference of female winter crane flies. A square piece of wet paper tissue is placed in a Petri dish without (A) or with (B) algae and mosses collected from a freshwater lake (Sejong Lake) at King Sejong Station.



Figure 2-4. Eggs (arrows) deposited by female winter crane flies on mosses collected from Sejong Lake and placed in the oviposition containers in indoor mesh-cages.

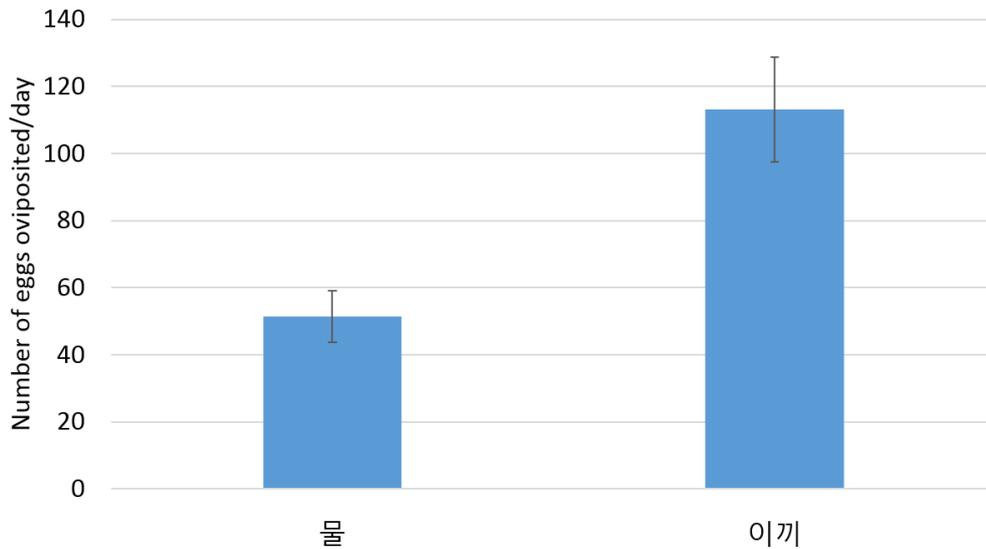


Figure 2-5. The results of the oviposition preference test. The number of eggs deposited was significantly larger when mosses were present in the oviposition container (Student *t*-test,  $P = 0.001$ ).

## 2. 배자 발육

겨울각다귀의 알은 타원형으로 세종기지에서 발생한 겨울각다귀 성충이 실내 망사 케이지에서 산란한 알의 크기는 길이  $0.453 \pm 0.005$  mm ( $N = 28$ ) 폭  $0.137 \pm 0.003$  mm ( $N = 28$ ) 이었다. 겨울각다귀의 알은 산란시 연한 회색 또는 흰색을 띠며, 배자발육이 진행되면서 색깔이 다소 진해져서 부화 직전에는 회색 또는 노란 빛을 띠는 회색이 된다 (그림 2-6). 겨울각다귀 알의 배자발육 단계를 보면, 산란 직후에는 알 내부가 균일한 물질로 채워져 있고, 산란 후 1-2일에는 배자발육이 진행되는 것이 외부에서 관찰되어 머리, 가슴 및 복부가 구분되며 (그림 2-7), 산란 후 3-4일이 지나면 복부의 체절들이 형성되고, 산란 후 4-5일이 지나면 부화한다 (그림 2-7, 2-8). 갓 산란된 알을 세종호의 물 속에 담가 뒀을 경우에도 배자발육이 진행되어 25%(20 개의 알 중에서 5 마리 부화)의 부화율을 보여 실내 케이지에 둔 겨울각다귀 알의 부화율(26.6%; 94 개의 알 중에서 25 마리 부화함)과 큰 차이를 보이지 않았다.

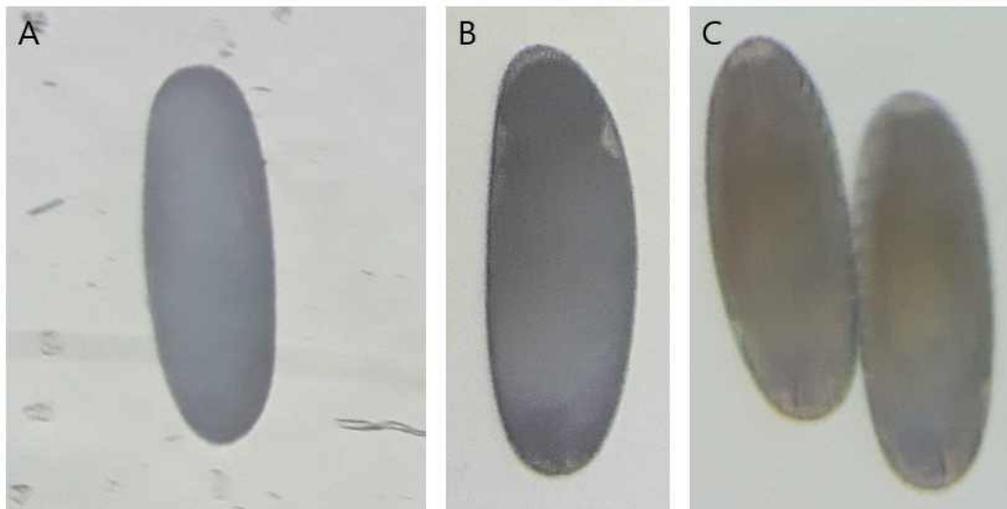


Figure 2-6. The eggs of winter crane flies were elongated oval, with white or pale grey in color at the time of oviposition (A). The color gradually became darker as embryogenesis progressed (B), and yellowish-grey at the terminal stage of embryonic development (C).

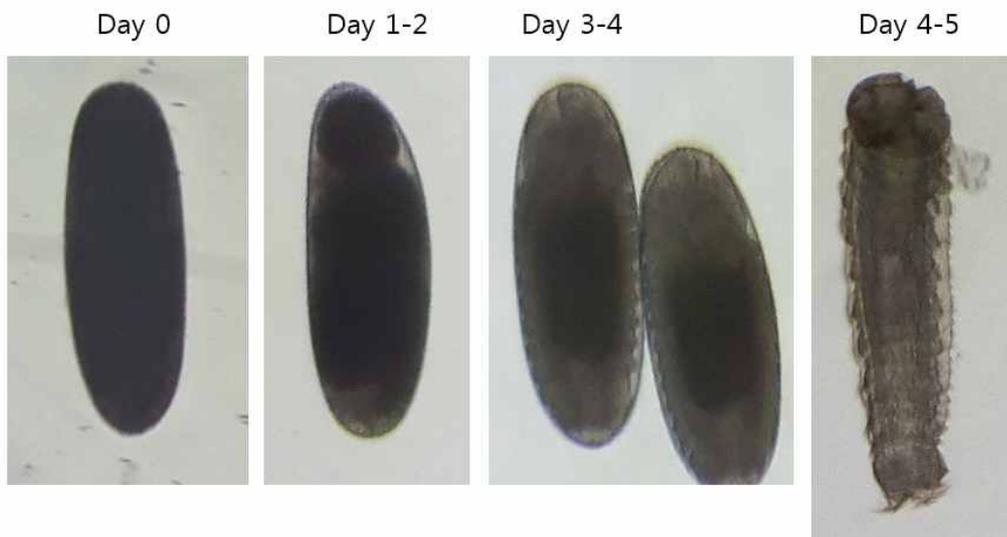
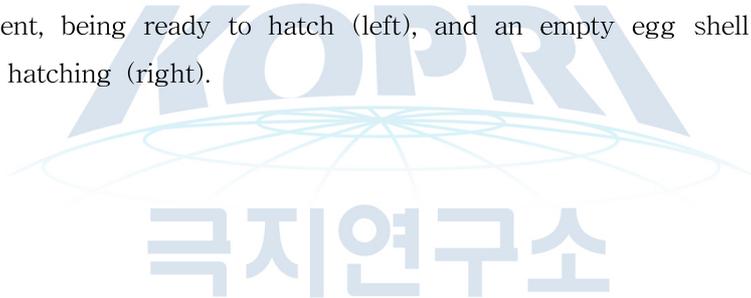


Figure 2-7. The embryonic development of winter crane fly. Eggs exhibited even distribution of yolk at the time of oviposition (Day 0). As embryogenesis progressed, three main body parts (head, thorax and abdomen) were distinguishable (Day 1-2), and the formation of head appendages and abdominal segmentation became visible (Day 3-4). Hatching typically took place in 4-5 days after oviposition.



Figure 2-8. A winter crane fly egg that completed its embryonic development, being ready to hatch (left), and an empty egg shell (chorion) left after hatching (right).



### 3. 후배자 발육

겨울각다귀 유충은 부화 직후부터 왕성한 섭식 활동을 보인다. 겨울각다귀 유충은 진정 아가미(true gill)를 갖고 있지 않고 복부 끝에 있는 기문(그림 1-4)을 통해 호흡을 하기 때문에 몸이 물 속에 잠겨 있을 때에는 산소를 섭취하기 위해 한 번씩 물 표면으로 올라와야 하는 것으로 보이며, 따라서 유충의 영기가 진행할수록 물 속 보다는 몸을 물 표면에 쉽게 내놓을 수 있는 장소에 머물면서 섭식을 하는 것을 선호하는 것으로 보인다. 겨울각다귀는 유충의 발육 속도가 다른 곤충에 비해 아주 느린 것으로 보이는데, 이들이 분포하는 나라들 및 세종기지에서의 성충 발생으로 미루어 유충 발육이 몇 달 정도 걸리는 것으로 보인다. 하지만 유충 발육 속도는 온도 뿐 아니라 먹이 조건에 따라서 크게 달라질 수 있기 때문에 겨울각다귀의 유충 발육 속도에 이러한 요소에 따라 큰 변이가 있을 가능성도 배제할 수 없을 것이다. 세종기지에서 각다귀 성충을 망사케이지에 넣고 실내 조건에서 산란된 알들이 부화되어 유충으로 발육하는 과정을 관찰했을 때에는 기지에서의 관찰 기간인 한 달 정도 동안 최대 2령충까지 발육하는 것을 관찰할 수 있었다 (그림 2-9). 1령에서 2령충으로 유충이 탈피할 때 표피의 등 쪽 앞부분

이 균열되면서 이 부분을 통해 2령충의 몸이 머리부터 빠져나오는 것을 관찰할 수 있었으며 (그림 2-10), 2령충 이후의 영기가 진행될 때의 탈피도 같은 방법으로 진행될 것으로 생각된다. 세종기지에서 채집하여 실내에서 사육된 겨울각다귀 유충의 경우 1령충의 두폭과 체장 및 체폭은 각각  $0.159 \pm 0.009$  (mean  $\pm$  SE, N = 7),  $1.122 \pm 0.122$  (mean  $\pm$  SE, N = 6) 및  $0.197 \pm 0.018$  (mean  $\pm$  SE, N = 6) 이었으며, 2령충의 두폭과 체장 및 체폭은 각각  $0.239 \pm 0.007$  (mean  $\pm$  SE, N = 9),  $1.833 \pm 0.154$  (mean  $\pm$  SE, N = 13) 및  $0.460 \pm 0.190$  (mean  $\pm$  SE, N = 13) 이었다 (표 2-1).



Figure 2-9. Eggs, a first instar larva, and a second instar larva of winter crane fly, *Trichocera maculipennis*.



Figure 2-10. A larva of winter crane fly undergoing molting into the second instar. The second instar larva started escaping the old cuticle, head-first from dorso-anterior region.

Table 2-1. The head-capsule width, body length and body width (mm) of the first and second instar larvae of winter crane fly, *Trichocera maculipennis*, reared in a laboratory at King Sejong Station.

		Size (mm) (mean $\pm$ SE)	N
1 <sup>st</sup> Instar	Head capsule	0.159 $\pm$ 0.009	7
	Body length	1.122 $\pm$ 0.122	6
	Body width	0.197 $\pm$ 0.018	6
2 <sup>nd</sup> Instar	Head capsule	0.239 $\pm$ 0.007	9
	Body length	1.833 $\pm$ 0.154	13
	Body width	0.460 $\pm$ 0.190	13

#### 4. 세종호 환경에서의 발육

겨울각다귀의 어린 유충은 몸이 반투명하여 이들이 섭식을 한 먹이가 입으로 들어가 소화기관을 따라 이동하는 모습과 내용물의 모양과 색깔을 외부에서 관찰할 수 있다 (그림 2-11). 부화한 겨울각다귀의 유충과 2령 유충들이 세종호의 물 속에 있는 이끼류와 이들에 붙어 있는 유기물과 부유성 유기물들을 왕성하게 섭식하는 것이 관찰되며 (그림 2-12, 2-13), 부화 유충이 이러한 먹이들을 섭취하고 2령충으로 발육하는 것으로 볼 때, 먹이 조건만으로는 세종호 주변 민물 호수에 있는 유기물들을 겨울각다귀 유충이 먹고 성장하기에 적당한 것으로 판단되었다. 이렇게, 겨울각다귀 유충은 세종호의 물 속에 있는 식물 조직 및 유기물질들에 대한 왕성한 섭식력을 보여주었는데, 방수 플라스틱 통 안에서 실내에서 부화한 겨울각다귀 유충을 넣고 이 통을 1월에 세종호의 물 속에 넣어 두었을 때 이들 유충은 세종호의 차가운 물 속에서 8일이 경과한 이후에도 모두 건강하게 살아 있었고 활발한 운동성과 섭식력을 나타내어 이 정도의 온도 조건은 겨울각다귀 유충의 발육 및 활동에 장애가 되지 않는다는 것을 보여주었다.



Figure 2-11. The intestine of the winter crane fly larvae is visible through their semi-transparent cuticle, displaying the contents of food ingested and their movement through the digestive tract.



Figure 2-12. The winter crane fly larvae feeding on mosses and algae collected from Sejong Lake.



Figure 2-13. The winter crane fly larvae actively feeding on plant tissue (left) and floating organic material in Sejong Lake.

겨울각다귀 유충은 이끼 등 식물성 물질이나 부유성 유기물 외에도 왕성한 포식 활동을 나타내었다. 겨울각다귀 유충은 곤충의 일반적인 특성인 탈피후 탈피각을 먹는 습성(그림 2-14A)을 보인 외에도, 동족포식(cannibalism) 활동도 나타내어 상황에 따라 겨울각다귀의 알을 섭식하는 것을 흔히 관찰할 수 있었으며 (그림 2-14B), 세종호의 물 표면에서 탈피중인 톱토기(springtail)를 포식하는 것도 관찰되었다 (그림 2-15). 세종기지 주변의 민물호수 주변에는 midge들이 많이 서식하며, 겨울각다귀의 알이 부화하여 어린 유충들이 섭식 활동을 활발하게 하는 여름 기간 동안에는 midge의 유충들도 민물호수에 많이 서식하는데 (그림 2-16), 유충의 크기와 상황에 따라 이들이 서로 포식을 하는 경우도 종종 관찰할 수 있었으며, midge의 유충 밀도가 아주 높은 시기에는 이들이 겨울각다귀의 알과 유충을 활발하게 포식하여 겨울각다귀의 발생과 성장을 조절할 수 있는 생물적 요인으로 작용할 수 있을 가능성을 보여주었다. 또한, 어느 정도의 크기가 되는 톱토기(springtail)가 물 표면으로 올라온 겨울각다귀 유충을 포식하는 것도 관찰되었는데 (그림 2-17), 이는 세종기지 주변의 호수에 널리 서식하는 톱토기들도 겨울각다귀의 어린 유충의 밀도를 조절할 수 있는 생물적 요인으로 작용할 수 있음을 암시하고 있다. 또한, 세종호의 물에 넣어 둔 겨울각다귀의 유충 몸 표면에 몇 가지의 원생동물로 보이는 동물체들이 붙어서 표면을 따라 이동하면서 무엇인가를 섭식하는 것도 관찰되었고 (그림 2-18), 각다귀의 유충들이 세종호의 물 속에 있는 병원체 또는 포자에 감염된 것 같은 증상을 보이다가 (그림 2-19) 죽는 경우도 다수 관찰되어 이러한 현미경적 생물체들도 기지 주변의 호수에서 겨울각다귀 유충이 정상적으로 성장하

는 것을 억제하는 요인으로 작용할 수 있음을 암시하였다. 이를 종합할 때 겨울각다귀의 암컷 성충은 세종기지 주변의 민물 호수에 산란할 수 있으며, 산란된 알은 적어도 여름 기간 동안에는 세종호의 온도 조건에서 부화할 수 있고, 부화한 유충은 세종호에 존재하는 식물질과 부유성 유기물을 섭식하고 성장할 수 있을 것으로 사료되지만, 이들 유충이 기지 주변의 민물호수에서 정상적으로 성장하여 성충으로 발육하는 것을 저해하는 생물적, 무생물적 요인이 많아서 겨울각다귀가 기지 주변의 민물 호수에서 생활사를 완성할 수 있을 가능성은 아주 낮은 것으로 판단된다.



Figure 2-14. Various feeding activities of the winter crane fly larvae. A: a second instar larva feeding on its own exuviae (old exoskeleton); B: a larva feeding on a winter crane fly egg; C: a larva feeding on floating organic matters collected from Sejong Lake.



Figure 2-15. A winter crane fly larva (green arrow) feeding on a springtail (blue arrow) undergoing molting. Ingested dark cuticle fragments of the springtail is visible inside the larval intestine, indicating that they are being digested (right).



Figure 2-16. A winter crane fly larva (green arrow) and two midge larvae (blue arrow), feeding on mosses in Sejong Lake.



Figure 2-17. Predation of a first instar larva of the winter crane fly, *Trichocera maculipennis*, by a springtail.



Figure 2-18. Protozoans (arrows), collected from Sejong Lake, actively moving around along the body surface of the winter crane fly larvae.

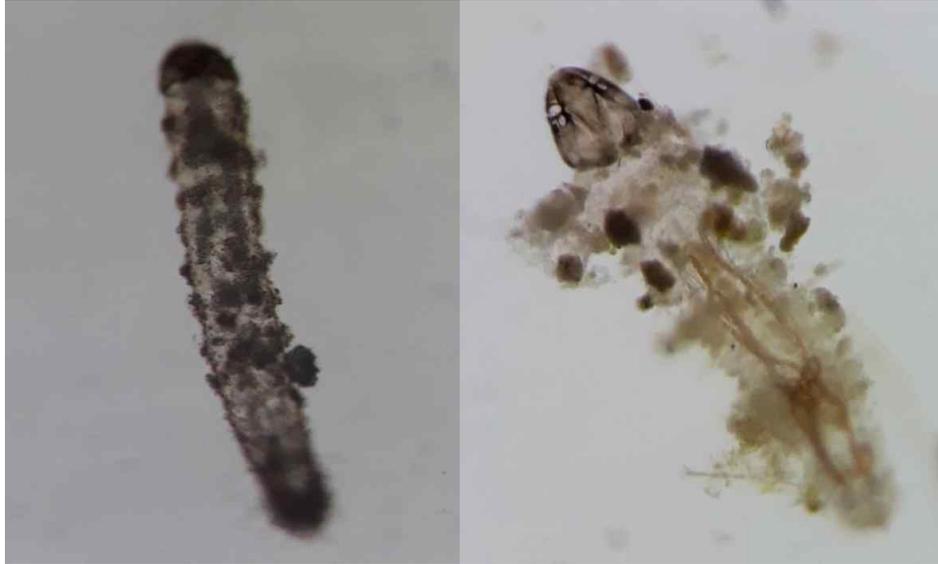


Figure 2-19. The winter crane fly larvae exhibiting abnormal appearances, which might indicate that the larvae were infected by microorganisms present in Sejong Lake.

### 제 3 절. 겨울각다귀의 냄새 감각

#### 1. 냄새 감각 시스템

전자현미경 관찰을 통해 겨울각다귀가 갖고 있는 냄새감각기의 형태적 종류와 분포를 조사하였으며, 이를 통해 겨울각다귀 성충의 화학 통신 시스템이 어느 정도 발달되어 있는지를 파악하고, 성특이적 냄새감각기의 존재 유, 무를 파악하여 겨울각다귀가 성페로몬 등 성특이적 통신물질을 사용할 가능성을 알아보았다. 겨울각다귀 성충 머리에는 한 쌍의 안테나와 한 쌍의 작은턱수염(maxillary palps)이 있으며, 안테나는 머리 위 중앙부에서 시작되고, 휴식시에는 몸 뒤로 향하고 있으며, 작은턱수염은 두부 전면을 향하고 있고 입틀 양 쪽에 위치하고 있다 (그림 3-1). 겨울각다귀 성충 머리 윗부분 중앙에 있는 한 쌍의 안테나는 한 마디의 scape와 한 마디의 pedicel, 그리고 여러 마디의 긴 flagella segments로 구성된다. scape와 pedicel은 많은 짧은 털로 덮여 있는데 이들의 표면에 미세공(nanoscale wall-pores)은 냄새감각기능은 하지 않는 것으로 보인다 (그림 3-1). 겨울각다귀 성충 여러 마디의 편절(flagella segments)로 구성된 안테나는 끝부분으로 갈수록 점점 가늘어지는데 이들 각 편절 마디에는 긴 털모양 및 짧은 털모양, 그리고 종상 감각기들이 다수 분포하며 이들 중 대부분은 냄새감각기능을 하는 것으로 보인다.

겨울각다귀 성충 안테나의 편절 첫 마디 (1st flagella segment)에는 많은 털모양 및 짧은 방망이모양 감각기들이 존재하며 (그림 3-2) 다른 편절 마디들에도 수는 적지

만 털모양 감각기들이 분포하는 것을 알 수 있었다 (그림 3-3). 각 편절 마디에는 몇 가지의 특징적인 모양을 하는 냄새감각기들이 존재하였다 (그림 3-4). 겨울각다귀의 안테나에 가장 많이 존재하는 냄새감각기는 방망이형 감각기(basiconic sensilla)로 두 가지로 구분되는 형태적 타입의 basiconic sensilla가 존재하고 있었다 (그림 3-5 bs). 겨울각다귀 성충 안테나의 편절에 있는 두 가지 형태적 타입의 basiconic sensilla중에서 Subtype I basiconic sensilla는 가늘고 긴 형태를 한 감각기로 큐티클 벽이 비교적 얇은 thin-walled sensilla이며 (그림 3-5), 감각기 표면에 많은 nanoscale wall pore들이 존재하는 것으로 보아 (그림 3-6) 냄새감각기인 것으로 판단되었다. 다른 타입의 basiconic sensilla인 subtype II basiconic sensilla는 Subtype I basiconic sensilla에 비해 훨씬 굵으며 (그림 3-5), 이 타입의 basiconic sensilla도 큐티클 표면에 많은 nanoscale wall pore들이 존재하는 것으로 보아 (그림 3-7) 이들도 냄새감각기인 것으로 판단되었다. 겨울각다귀 성충 안테나의 편절 마디에는 함몰형 중상감각기인 coeloconic type sensilla가 분포하고 있으며, coeloconic type sensilla는 형태적으로 두 가지 subtype으로 구분될 수 있었는데 (그림 3-8), 이들은 큐티클 표면에 multiple nanoscale pore들은 존재하지 않지만 longitudinal groove가 잘 발달된 것으로 보아 (그림 3-9) 겨울각다귀의 안테나 편절에 존재하는 coeloconic sensilla들도 냄새감각이 주기능으로 판단되었다

겨울각다귀 성충의 입틀 양 쪽에 위치한 작은턱수염(maxillary palps)은 잘 발달되어 있었고, 작은턱수염의 표면는 방망이 모양의 basiconic sensilla가 많이 분포하였다 (그림 3-10). 겨울각다귀의 작은턱수염에 존재하는 basiconic sensilla는 뚜렷한 두 가지의 형태적 타입으로 구분될 수 있었는데, 작은턱수염의 Subtype I basiconic sensilla는 가늘고 긴 형태를 하고 있었고, Subtype II basiconic sensilla는 굵고 짧은 형태를 하고 있어서 서로 뚜렷이 구분되었다 (그림 3-11). 이들 두 가지 타입의 basiconic sensilla도 큐티클 표면에 많은 nanoscale wall pore들이 존재하여 이들의 기능이 냄새감각임을 암시하였다 (그림 3-12).

이번 전자현미경 관찰에서는 겨울각다귀 암, 수컷 사이의 냄새감각기 종류 및 분포 차이는 명확히 파악되지 않아서 추가 관찰이 필요함. 따라서, 2019년 12월-2020년 1월에 걸쳐 세종기지의 각다귀 성충 암, 수컷을 각각 전자현미경 관찰용 샘플로 준비하였으며, 이들을 2020년 중에 전자현미경으로 추가로 관찰하여, 겨울각다귀 암, 수컷 사이에 안테나와 작은턱수염에 존재하는 냄새감각기의 종류 또는 분포에 차이가 있는지를 조사하여 겨울각다귀가 성페로몬을 사용할 형태적 증거가 있는지를 확인할 계획이다.

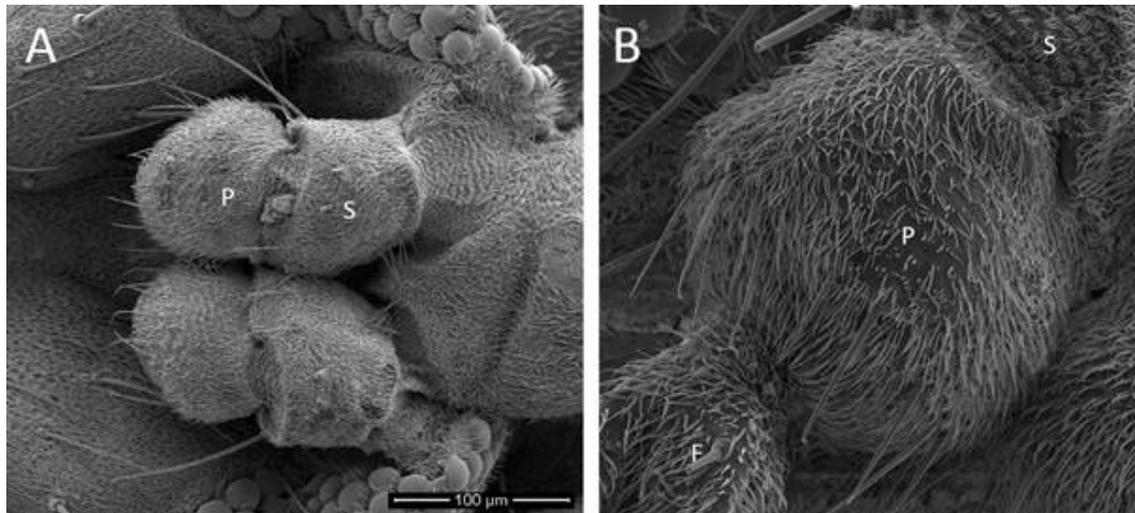


Figure 3-1. A pair of the antennae of winter crane fly, *Trichocera maculipennis*, located dorso-anteriorly on the head. Their first segment (scape) and second segment (pedicel) are covered with dense hairs that do not appear to have any sensory function. S: scape; P: pedicel; F: flagella.

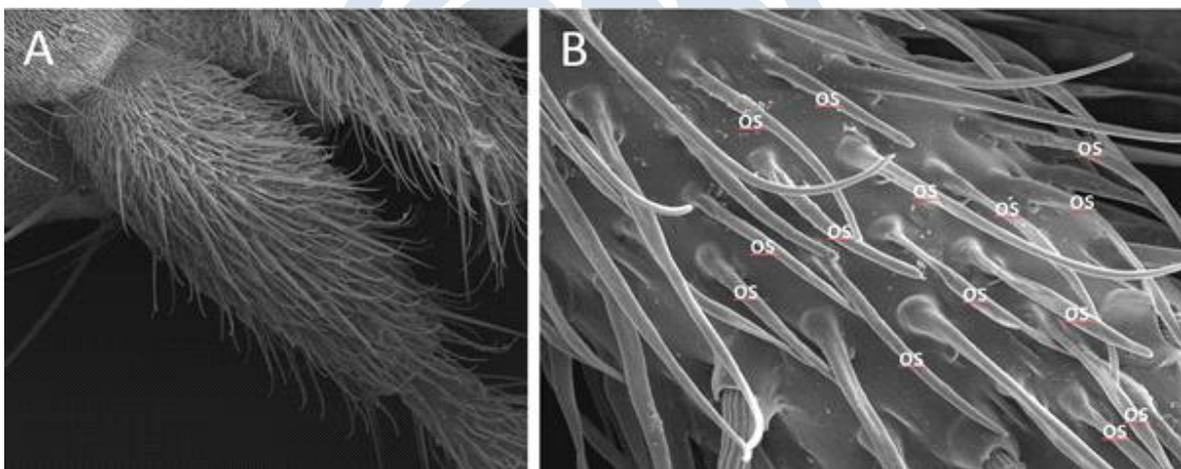
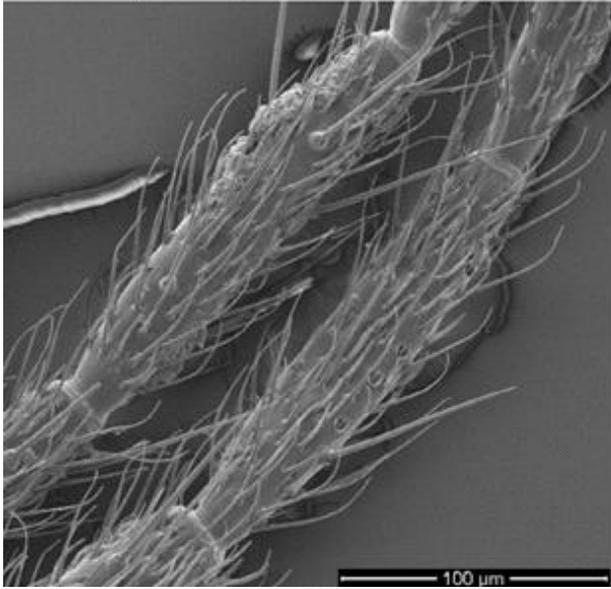


Figure 3-2. The first flagella segment of the winter crane fly antennae is covered with numerous short and long hairs. Among them, the blunt-tip sensilla (os) appear to be olfactory.

A. 5th flagella segment



B. 15th flagella segment

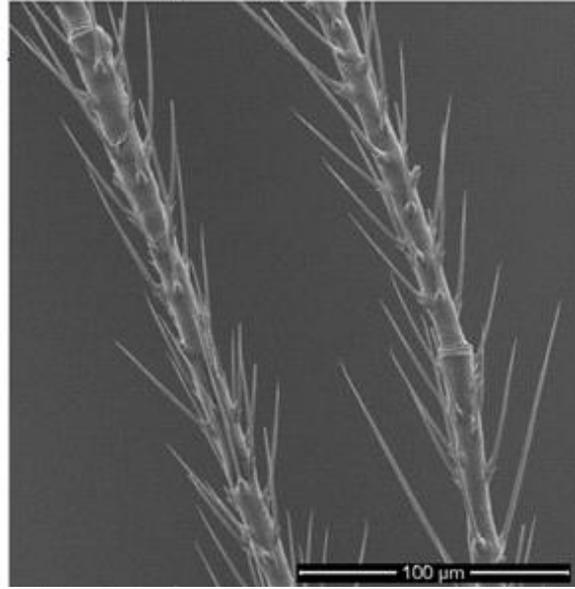


Figure 3-3. The 5<sup>th</sup> (A) and 15<sup>th</sup> (B) flagella segments of winter crane fly antennae are also covered with many hairs, and many of these hairs appear to have an olfactory function.

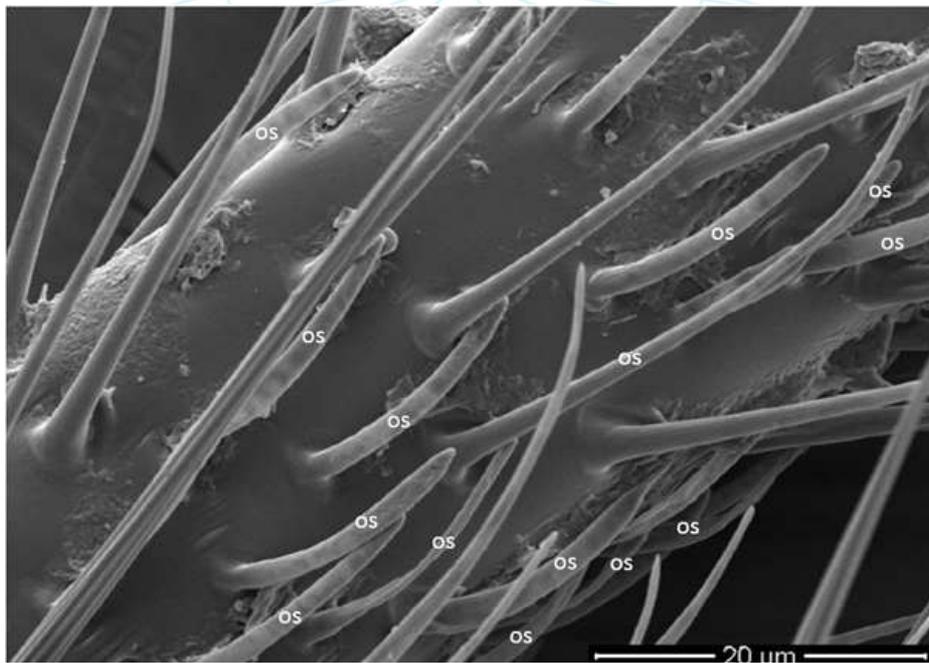


Table 3-4. A part of the 5<sup>th</sup> flagella segment of the winter crane fly antennae, showing the presence of basiconic type olfactory sensilla (os).

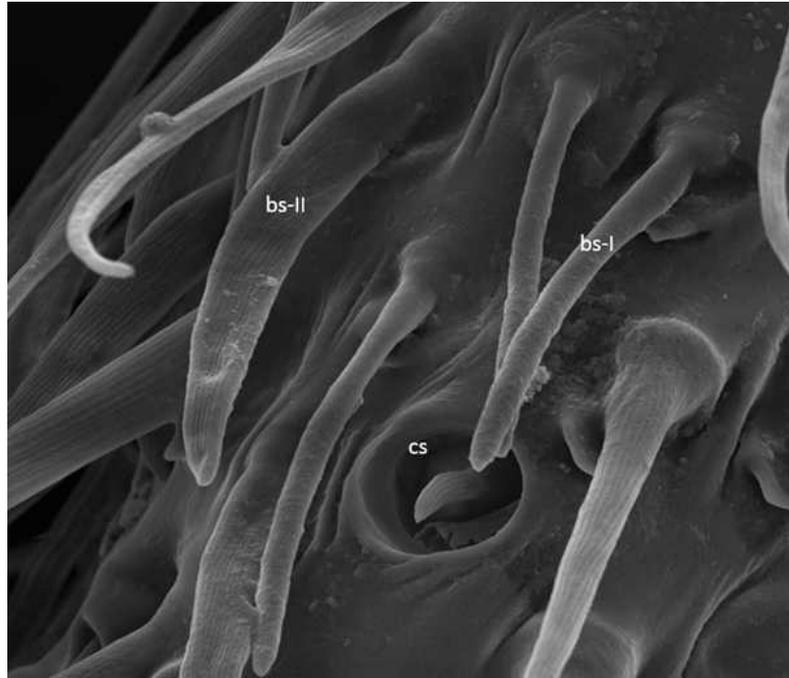


Figure 3-5. Two distinct morphological subtypes of basiconic sensilla (bs-I and bs-II) and a morphological type of coeloconic sensilla (cs) present on the antennae of winter crane fly, *Trichocera maculipennis*.

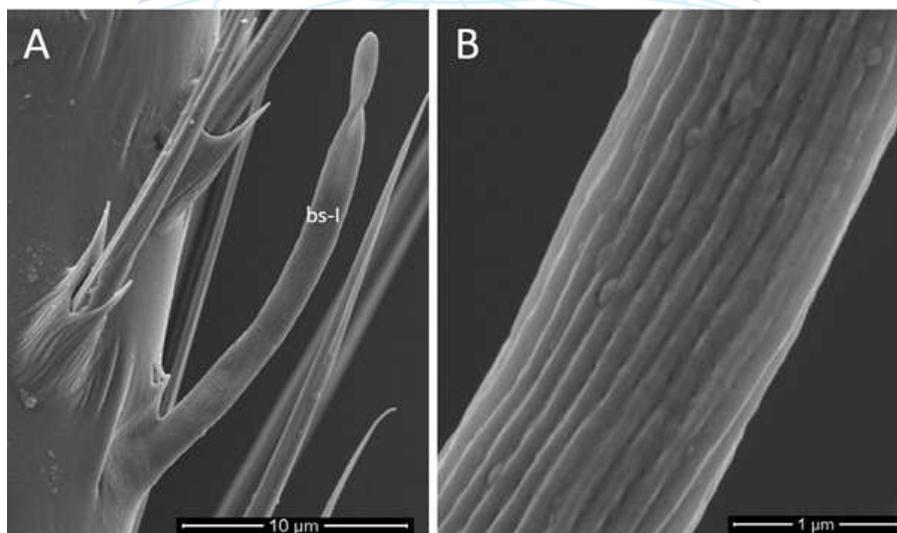


Figure 3-6. Subtype bs-I basiconic sensilla on the antennae of winter crane fly (A). The presence of multiple nanoscale wall pores on the sensillum cuticle (B) indicates olfactory function.

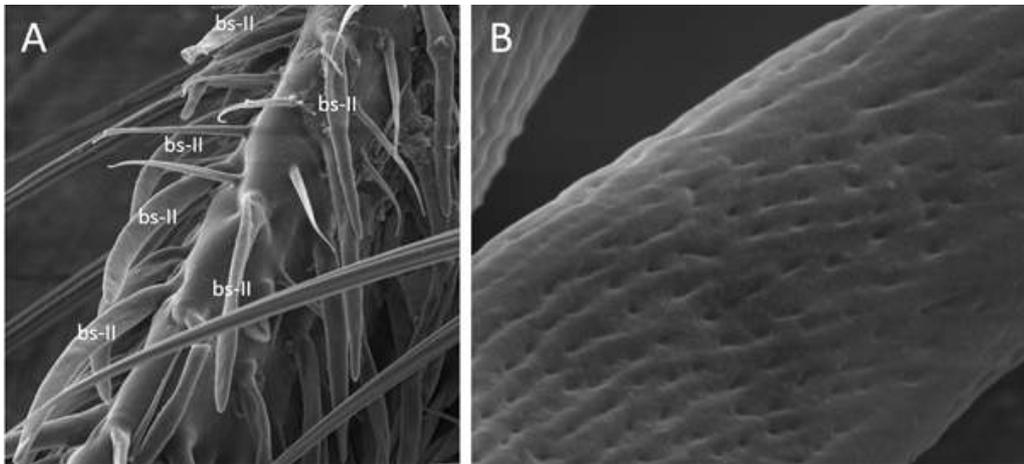


Figure 3-7. Subtype bs-II basiconic sensilla on the antennae of winter crane fly (A). The presence of multiple nanoscale wall pores on the sensillum cuticle (B) indicates olfactory function.

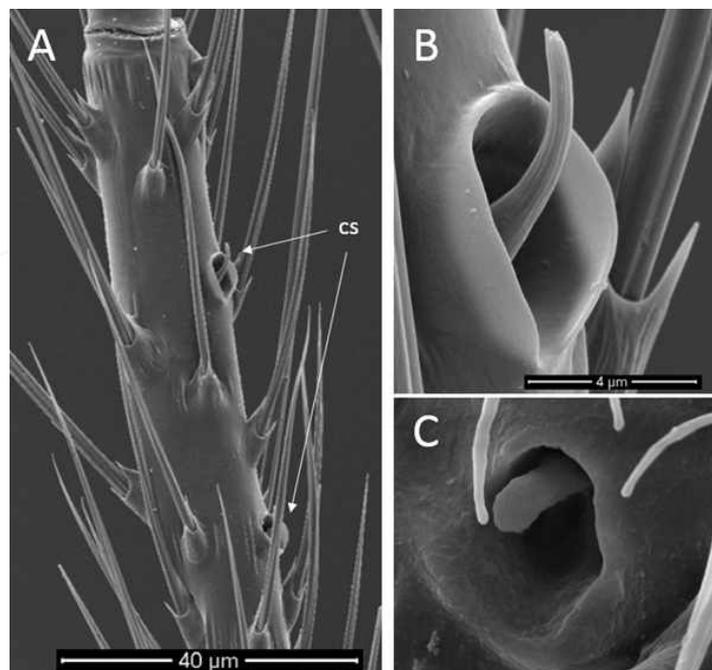


Figure 3-8. Two subtypes (B, C) of coeloconic sensilla present on the antennae of winter crane fly, *Trichocera maculipennis*.

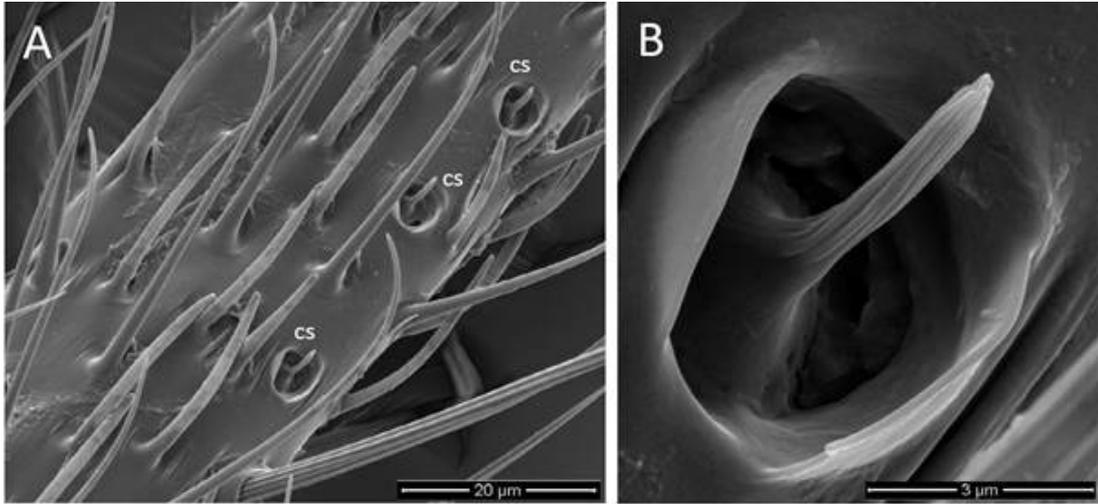


Figure 3-9. Coeloconic sensilla present on the antennae of winter crane fly, *Trichocera maculipennis*. This type of sensilla are known to have olfactory function in other insects.

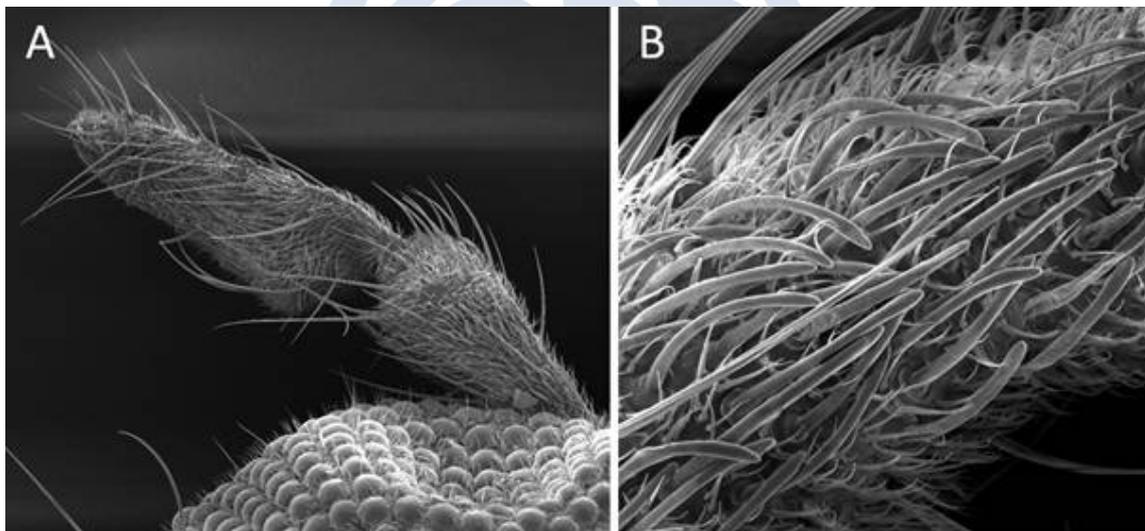


Figure 3-10. The maxillary palps of winter crane fly (A). A number of basiconic sensilla are present on the cuticular surface of the maxillary palps (B).

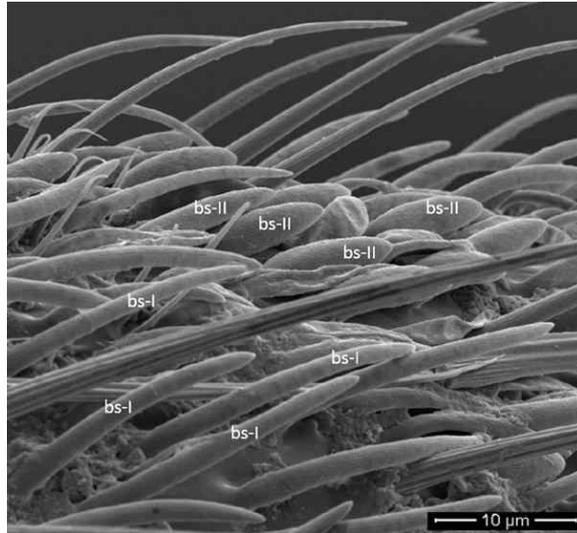


Figure 3-11. The basiconic sensilla on the maxillary palps in winter crane fly, *Trichocera maculipennis*, can be classified into two distinct morphological subtypes, bs-I and bs-II.

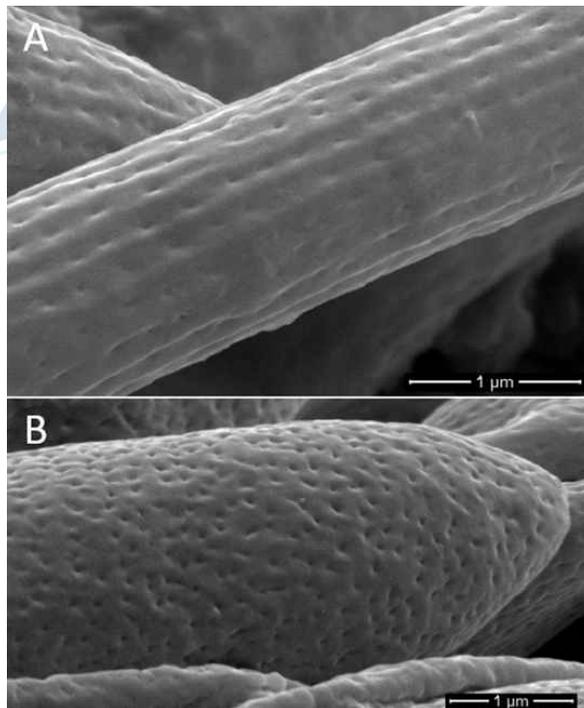


Figure 3-12. Both subtypes, bs-I (A) and bs-II (B), of basiconic sensilla on the maxillary palps in winter crane fly exhibit multiple nanoscale wall pores on their cuticular surface, suggesting that their primary function is olfactory.

## 2. 냄새활성물질 탐색

겨울각다귀의 안테나와 작은턱수염에 잘 발달된 냄새감각기들이 많이 분포한다는 것은 겨울각다귀가 교미, 섭식 및 산란 등의 활동에 냄새감각을 중요한 수단으로 이용한다는 것을 암시하며, 따라서 우리는 겨울각다귀의 유인제 또는 기피제로 활용할 수 있는 냄새활성물질의 탐색을 시작하였다. 겨울각다귀가 성페로몬을 사용하는지는 아직 증거를 확보하지 못했기 때문에, 우선 이들의 섭식 및 산란과 관계 있는 서식처에서의 냄새활성물질 탐색에 초점을 맞춰 연구를 시작하였다. 우선 겨울각다귀의 주요 서식처인 세종 기지의 오수집수조에서 나오는 냄새물질을 채취하였고, 각다귀의 안테나 및 작은턱수염에 있는 냄새감각기들의 반응을 전기생리학적으로 측정하는 electroantennogram (EAG) 및 electropalpogram (EPG) 기술을 사용하여 이들 냄새감각기에 존재하는 냄새감각세포들의 반응을 측정하는 기술을 확립하였다. 또한, 냄새활성물질들의 행동 유인 활성을 조사하는 트랩 실험도 시작하였다.

세종기지에서 포획되는 겨울각다귀는 대부분 생활동 및 발전동과 연결된 오수집수조 건물 내부에서 채집되어 이들 두 곳이 겨울각다귀의 섭식과 산란과 관련한 주 서식처임을 알 수 있었다. 세종기지에서의 관찰 결과, 겨울각다귀의 성충은 오수집수조 같이 유기물이 풍부한 물 속 또는 부근의 습한 곳에 산란하는 것으로 보이며, 이러한 서식처에서 발산되는 휘발성 냄새 성분이 산란 준비가 된 교미 암컷 성충을 유인하는 효과가 있을 것으로 생각된다. 따라서 오수집수조에서 발생하는 냄새물질을 dynamic headspace sampling system을 사용하여 채취하여 여기에 함유된 유기화학 냄새물질을 분석하고, 전기생리 기법 및 바이오어세이를 통해 이들 중에서 겨울각다귀에 냄새활성을 나타내는 물질들을 동정할 계획이다. 이를 위해 휴대용 dynamic headspace sampling system을 준비하여 (그림 3-13), 약 100 ml/min의 속도로 24시간 동안 흡입시킨 오수집수조 내부의 공기에 포함된 냄새물질을 Tenax adsorption cartridge(그림 3-13 아래)에 흡착시킨 후, 각 Tenax cartridge를 1 ml의 hexane으로 elution 하여 준비된 extract를 vial에 보관하였다. 이러한 dynamic headspace sampling을 세종기지의 생활동과 연결된 오수집수조 건물 내부에서 10일 동안 지속적으로 진행하여(그림 3-14) 앞으로의 화학분석 및 전기생리 실험에 필요한 충분한 양의 샘플을 확보하였다. 이들 샘플을 사용하여 GC-EAD (coupled gas chromatograph-electroantennographic detection) 분석을 통해 겨울각다귀에 냄새활성을 나타내는 물질을 동정할 예정이며, 냄새활성을 나타내는 물질들의 화학구조는 GC-MS (gas chromatograph-mass spectrometry) 등을 통해 규명할 계획이다. 우리는 또한 겨울각다귀가 성페로몬을 사용할 가능성을 계속 알아볼 예정이다. 각다귀가 교미에 성유인물질(pheromone)을 사용한다는 것이 보고된 바 있으며 (Freeman 1968; Gordon Pritchard, 1983; Desai et al.,

Biolife 3: 21-25), 각다귀의 안테나의 형태가 암, 수컷 간에 다르다는 보고도 있는데 (Jackson & Campbell, 1975; Volonterio et al., 2013), 이는 겨울각다귀도 교미에 성페로몬을 사용할 가능성을 시사하고 있다. 겨울각다귀 성충은 습하고 비교적 어두운 장소에서 휴식을 취하는 것을 선호하는 것으로 보이는데, 겨울각다귀 수컷이 우화 중에 있는 또는 갓 우화한 암컷을 탐지하고 교미를 할 수 있다는 보고로 보아 교미를 위해 겨울각다귀 수컷이 교미를 위해 암컷을 찾아갈 때 냄새물질인 성페로몬을 이용할 가능성을 배제할 수 없을 것이다.

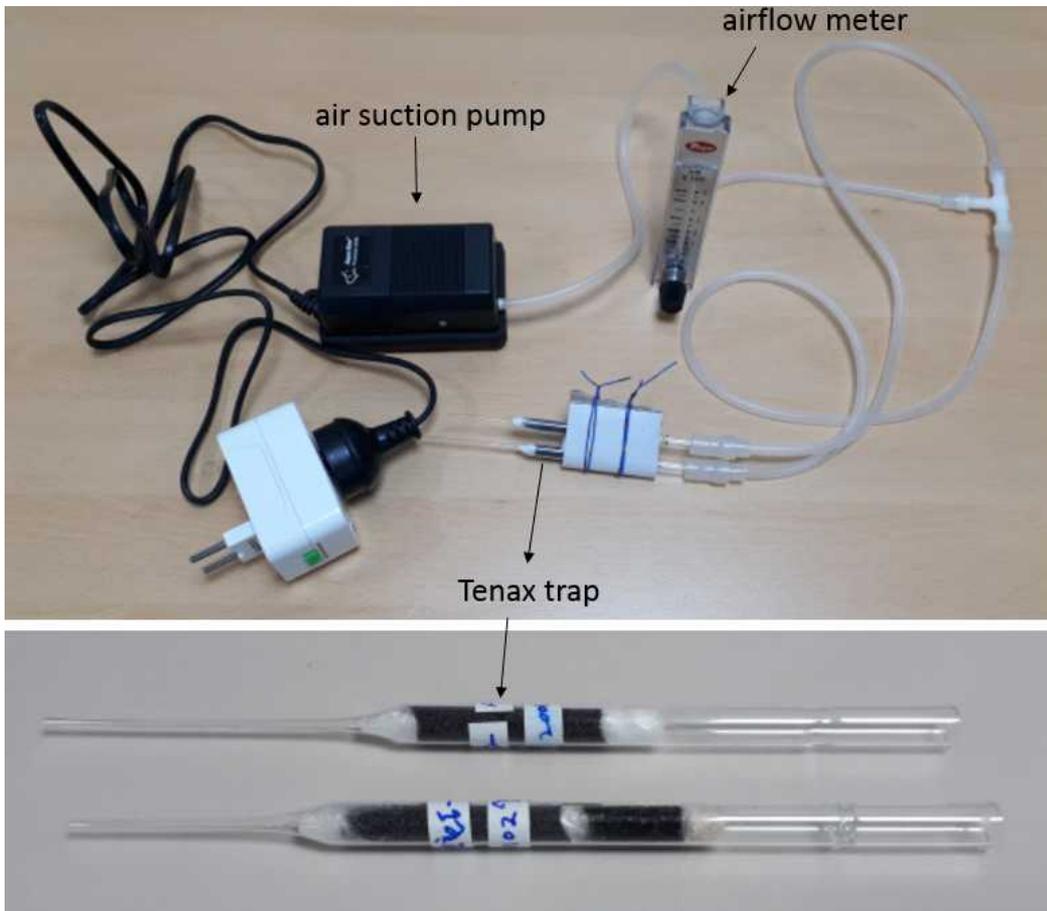


Figure 3-13. A dynamic headspace volatile collection system used in this study. Tenax was used as the adsorbent.



Figure 3-14. A dynamic headspace volatile collection system to collect volatile organic compounds (VOCs) produced in the sewage collection facility receiving sewage water from the main building at King Sejong Station. This area is a main breeding site of winter crane flies in the station.

2019년 12월에서 2020년 1월에 걸쳐 세종기지에서 채집한 겨울각다귀 성충을 사용해서 이들의 안테나 및 작은턱수염에 분포하는 냄새감각세포들의 각종 냄새물질들에 대한 반응을 전기생리적으로 측정하는 방법을 개발하고 여러 가지 물질들에 대한 반응을 측정하였다. 이 연구를 수행하기 위해서 EAG (electroantennogram) 반응 및 ERG (electroretinogram) 반응을 측정하는 간이 시스템을 개발하여 세종기지에서 조립하여 연구에 성공적으로 사용하였다 (그림 3-15). 우선, 이 시스템을 사용하여 겨울각다귀의 안테나에 있는 냄새감각기들의 반응을 EAG 기술을 사용하여 측정하였다. 살아 있는 겨울각다귀 성충을 plasticine block에 고정하고 (그림 3-16A), 안테나를 U-shaped wire를 사용해서 고정하고, 복부 끝을 미세 침으로 찌른 후 electroconductive gel로 덮은 후 여기에 reference electrode를 연결했고, 안테나 끝 몇 마디를 microscissors로 절단한 다음 electroconductive gel을 함유한 microglasss electrode를 절단된 안테나 끝에 연결하였다 (그림 3-16B, C). 안테나에서 나오는 신호는 headstage amplifier로 1차 증폭한 다음, main amplifier로 증폭하고, noise eliminator로 주변에서 나오는 electromagnetic

noise를 최소화 한 다음, Ac-DC converter를 거쳐 노트북 컴퓨터로 보내고 컴퓨터 프로그램(Picoscope 6)으로 관찰, 저장하였다 (그림 3-15). 이 시스템을 사용하여 겨울각다귀 성충의 안테나가 냄새물질을 탐지할 때 발생시키는 신경전기신호인 EAG 신호를 성공적으로 관찰할 수 있었다. 예를 들어, 주요 식물 냄새 성분인 1-hexanol로 안테나를 자극했을 때 지속적이고 안정적인 반응을 관찰할 수 있었다 (그림 3-17).

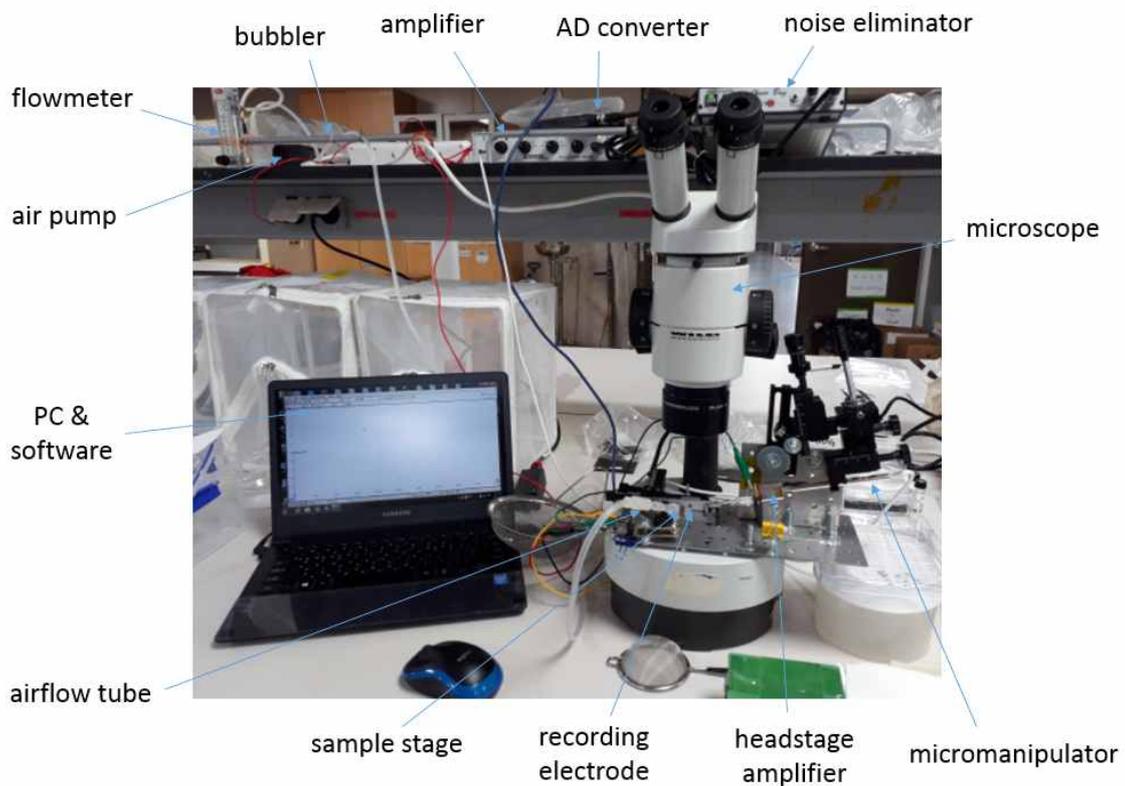


Figure 3-15. Electrophysiology recording system to measure the EAG (electroantennogram) and ERG (electroretinogram) responses of winter crane flies on site at King Sejong Station.

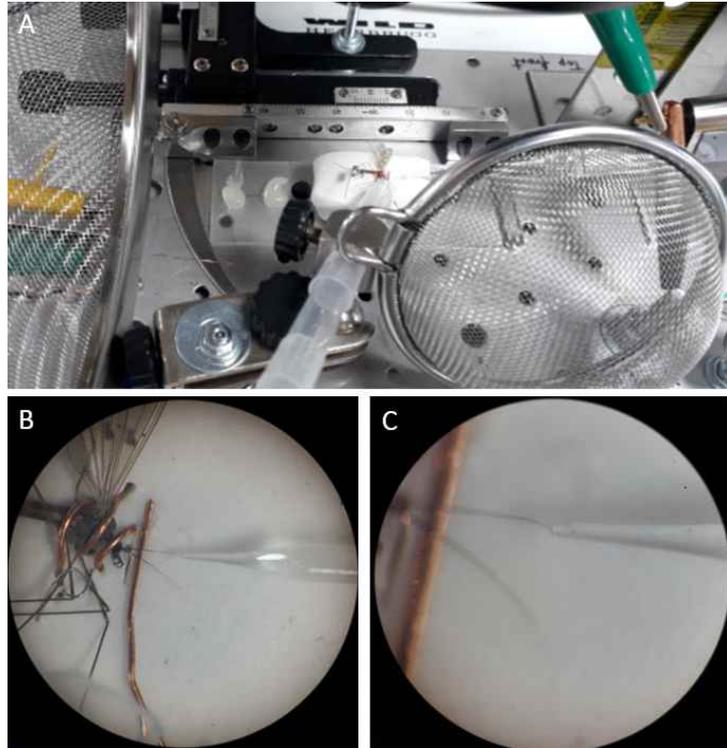


Figure 3-16. An adult winter crane fly was mounted on a plasticine block for recording electroantennogram (EAG) responses to various olfactory stimuli (A). Microglass recording electrode filled with saline solution was connected to the distal part of the antenna (B, C).



Figure 3-17. An example of electroantennogram (EAG) responses of a female winter crane fly to three successive stimulations with hexane (solvent control: yellow arrows) and 1 mg of 1-hexanol (green arrows).

이 시스템을 사용하여 우선 세종기지의 오수집수조 건물 내부에서 dynamic headspace sampling system을 사용해서 채취한 Tenax extract에 대한 겨울각다귀의

EAG 반응을 조사하였다. 20  $\mu$ l의 hexane 추출물을 작은 조각(5 x 20 mm)의 filter paper에 가하고 이를 glass Pasteur pipette에 넣은 다음 이를 통해 1 ml의 공기를 가해 겨울각다귀 암컷 성충의 안테나를 자극하고 반응을 측정하였다. 그 결과, 겨울각다귀 암컷은 오수집수조에서 채취한 냄새물질에 대해 solvent control인 hexane에 비해 훨씬 큰 EAG 반응을 나타내어 오수집수조에서 채취한 추출물에는  $6.18 \pm 0.59$  mV(N = 33), 그리고 solvent control에는  $1.01 \pm 0.15$  mV(N = 33)의 EAG 반응을 보여 유의한 차이를 나타내었다 (그림 3-18). 이것은 오수집수조에서 발산되는 냄새물질에 대해 민감하게 반응하는 냄새감각세포들이 겨울각다귀의 암컷 성충 안테나에 존재한다는 것을 의미하며, 이를 바탕으로 오수집수조에서 포집한 냄새물질 샘플에 함유된 많은 냄새 성분들 중에서 어떤 성분들이 겨울각다귀의 안테나에 냄새 활성을 나타내는지 알아볼 계획이다.

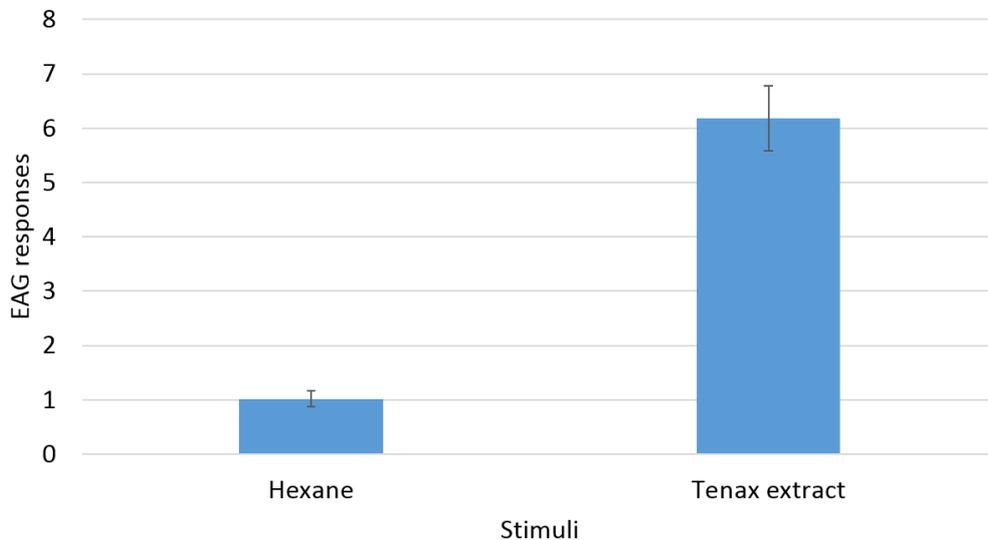


Figure 3-18. Electroantennogram (EAG) responses of female winter crane flies to the hexane extract of headspace samples collected from the sewage collection facility at King Sejong Station. The EAG responses to the headspace samples were significantly larger than those to hexane (solvent control) (Student *t*-test, *p* = 0.01), indicating that the volatile emanation of the sewage collection facility contains highly olfactory-active compounds for winter crane fly.

그 다음, 여러 가지 식물 및 발효물질들에서 생성되는 냄새물질들 중에서 17 가지 물질들을 선별하여 이들에 대한 겨울각다귀 암컷 성충의 안테나에 있는 냄새감각세포들의 EAG 반응을 조사하였다 (사용된 물질들의 성분명은 그림 3-19 참조). 각 물질을 1 mg/20  $\mu$ l의 농도로 hexane에 희석하여 준비하였고, 각 성분 20  $\mu$ l를 작은 조각(5 x

20 mm)의 filter paper에 가하고 이를 glass Pasteur pipette에 넣은 다음 이를 통해 1 ml의 공기를 가해 겨울각다귀 암컷 성충의 안테나를 자극하고 반응을 측정하였다. 그리고, 용매로 사용한 hexane을 20  $\mu$ l 가한 것을 solvent control로 사용하였다. 그 결과 17 가지 냄새물질 중에서 linalool 및 1-hexanol의 두 가지 물질이 겨울각다귀의 안테나에서 강한 EAG 반응을 보여주었다 (그림 3-19). 이 두 물질은 겨울각다귀 암컷에서 각각  $7.31 \pm 0.53$  mV (mean  $\pm$  SE, N = 48) 및  $6.67 \pm 0.72$  mV (mean  $\pm$  SE, N = 24)의 EAG 반응을 나타내어 1.01  $\pm$  0.13의 EAG 반응만을 나타낸 hexane(solvent control)에 비해 훨씬 높았고, 이는 겨울각다귀의 안테나에 이들 물질에 특이적으로 반응하는 냄새감각세포들이 다수 존재한다는 것을 암시한다. 이들 두 물질 외에도 2-phenylethanol과 Z3-hexenol이 상대적으로 강한 EAG 반응을 나타내었다 (그림 3-19). 본 실험을 통하여 겨울각다귀의 안테나에 특정 냄새물질들에 대해 선택적으로 반응하는 냄새감각세포들이 존재한다는 것을 알 수 있었으며, 이 결과를 바탕으로 세종기지의 오수집수조에서 발산되는 냄새물질들 중에서 겨울각다귀의 안테나에 강하고 선택적인 냄새활성을 나타내는 물질들을 GC-EAD(gas-chromatograph-linked electroantennogram detection) 기술을 사용하여 동정할 계획이다.

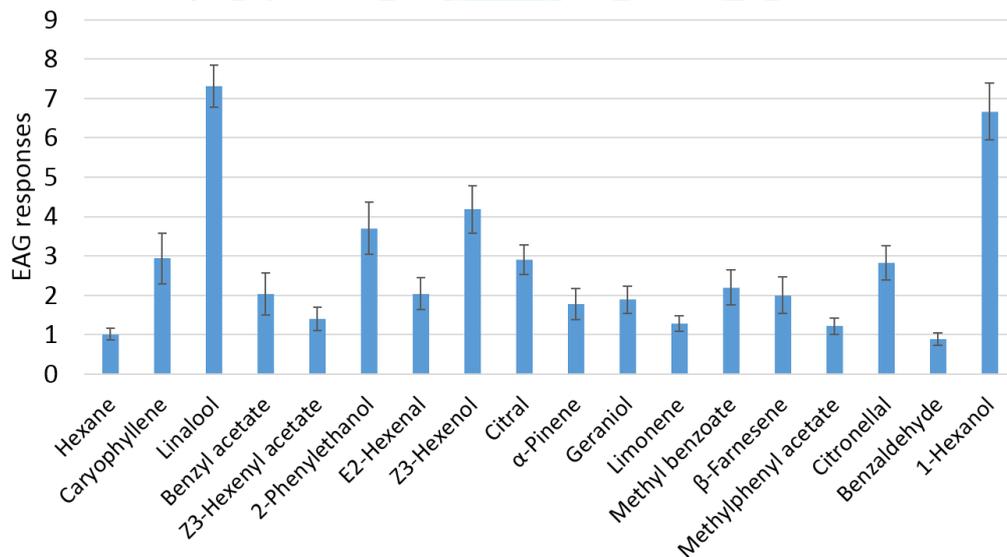


Figure 3-19. Electroantennogram (EAG) responses of female winter crane flies to 17 volatile organic compounds (mean  $\pm$  SE). Several compounds elicited significant EAG responses, and linalool and 1-hexanol elicited the largest EAG responses among the compounds tested, which indicates that these compounds have strong olfactory activities on the antennae of the winter crane flies and their antennal olfactory receptor neurons have selective responsiveness to specific odors.

EAG와 같은 방법으로 겨울각다귀의 작은턱수염에 있는 냄새감각기들의 17 가지 합성 냄새물질들에 대한 EPG(electropalpogram) 반응도 측정하였으나 (그림 3-20), 이들 물질 중 어느 것도 겨울각다귀의 작은턱수염에서 유의한 EPG 반응을 나타내지 않았다. 전자현미경 관찰에서 겨울각다귀의 작은턱수염에 basiconic type의 냄새감각기가 다수 존재한다는 것이 확인되었기 때문에, 17 가지 물질에 전혀 반응을 보이지 않은 것은 겨울각다귀의 작은턱수염에 있는 냄새감각세포들이 좁은 범위의 특정 물질들에만 선택적으로 반응하는 특성을 가질 것으로 예상되며, 이들 활성물질은 겨울각다귀의 행동에 큰 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 우리는 오수집수조에서 포집된 물질들을 중심으로 겨울각다귀의 작은턱수염에 있는 냄새감각기에 활성을 나타내는 물질들도 GC-EPD(gas chromatograph linked-electropalpogram detection) 등의 기술을 사용하여 탐색할 예정이다.

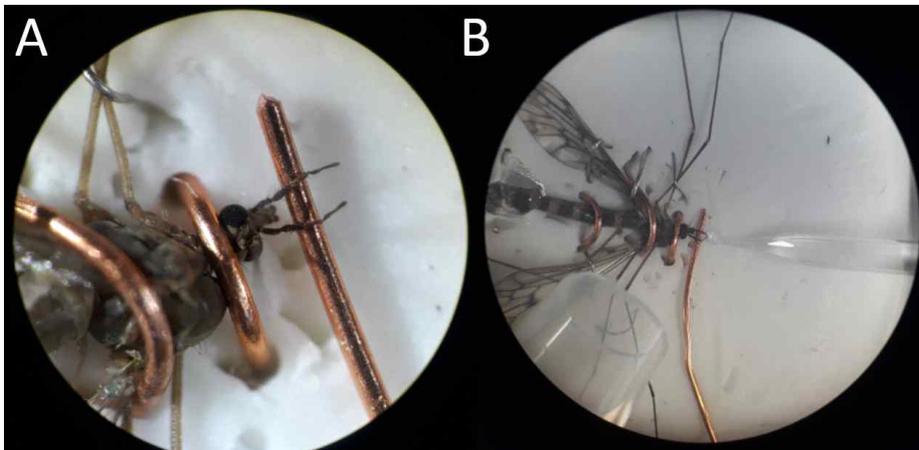


Figure 3-20. Two maxillary palps of a female winter crane fly were placed on a piece of fine copper wire (A), and a fine-tip glass recording electrode was connected to the tip of the maxillary palp (B) for recording EPG (electropalpogram) responses.

### 3. 냄새 물질을 이용한 유인제 개발

겨울각다귀의 안테나와 작은턱수염에 냄새활성을 나타내는 물질들을 GC-EAD와 GC-EPD 실험을 통해 밝힌 다음, 이들의 겨울각다귀에 대한 행동 활성을 트랩 실험을 통해 조사하여 겨울각다귀에 대한 유인제를 개발할 계획이다. 이에 대한 예비실험으로 끈끈이판에 세 가지의 다른 일반 파리유인제(그림 3-21A)를 처리하여 새종기지의 발전동 및 생활동의 오수집수조 건물 내부에 설치하여 이들 트랩에 겨울각다귀 성충이 유인, 포획되는지를 조사하였다. 그 결과 실험 초반에 이들 일반 파리 유인제에 몇 마리의

겨울각다귀 성충이 선택적으로 유인, 포획되는 것이 관찰되었다 (그림 3-21B). 하지만, 설치 2-3일 후부터는 대조구와 처리구 간에 겨울각다귀에 대한 유인력에 차이가 없어졌는데 이는 유인제로 사용한 물질의 발효가 과도하게 진행되어 겨울각다귀에 대해 유인 활성을 나타내는 성분들이 더 이상 생성되지 않았기 때문일 것으로 추측된다. 그 다음 트랩 실험으로, 치과용 솜방망이에 개별 합성 냄새물질을 10 mg 처리하여 끈끈이판에 부착하고 이를 생활동의 오수집수조 건물 벽에 설치하고 겨울각다귀 성충이 유인, 포획되는지 살펴보았다 (그림 3-22). 이 실험에서는 linalool을 10 mg 처리한 끈끈이판에 겨울각다귀 성충이 총 3마리 포획된 것이 확인되었으나 더 이상 포획되지 않아 실험을 종료하였다. 이 실험에서 겨울각다귀 성충에 대한 유인력이 확인되지 않은 것은 실험을 수행한 기간 동안 오수집수조에서 발생한 겨울각다귀 성충 수가 너무 적어서 일 가능성이 크다. 위의 두 가지 예비 트랩실험에서 사용된 실험 방법이 합성 냄새물질들의 유인력 시험에 적절할 것으로 판단되며, 따라서 GC-EAD 및 GC-EPD 실험을 통해 겨울각다귀에 강한 냄새활성을 나타내는 물질들을 밝힌 후에 이들 물질의 유인력을 같은 방법을 사용한 트랩 실험을 통해 검증하여 유인제를 개발할 계획이다.

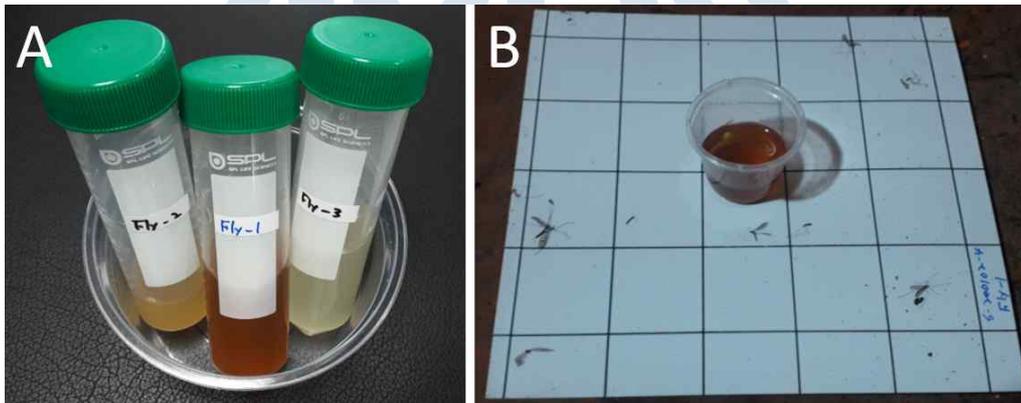


Figure 3-21. Three different formulations (A) used in a preliminary trapping experiment for developing attractants for winter crane fly. Each liquid formulation contained in a small plastic container was placed at the center of a white sticky-base trap (B).

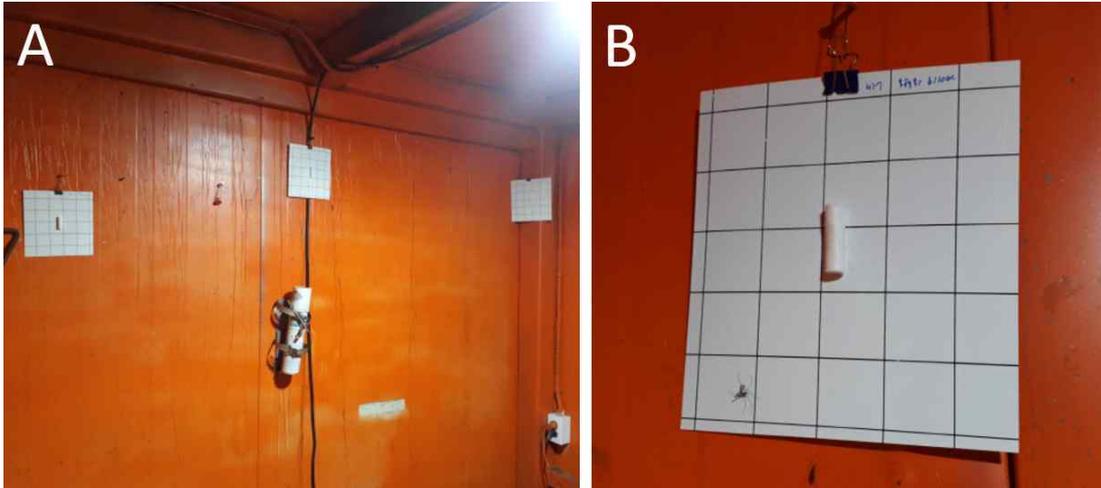


Figure 3-22. Odor-baited trapping experiments conducted in the sewage treatment facility at King Sejong Station (A). A cotton roll impregnated with test compound(s) was placed at the center of a sticky-base trap (B).

#### 제 4 절. 겨울각다귀의 시각

겨울각다귀 성충은 겹눈이 잘 발달되어 있어서 겹눈은 겨울각다귀 성충 머리의 상당한 면적을 차지하고 있으며 (그림 4-1), 겨울각다귀의 겹눈은 수많은 홑눈(facet)들로 구성되어 있다 (그림 4-2). 겨울각다귀의 겹눈이 잘 발달되어 있다는 것은 겨울각다귀가 시각을 이용한 통신(visual communication)을 중요한 통신 수단으로 사용한다는 것을 의미하는데, 실제로 겨울각다귀 성충은 자외선 트랩(UV trap)에 어느 정도 유인이 되어 시각 자극에 의한 겨울각다귀의 유인이 가능하다는 것을 보여준다. 또한, 세종기지의 오수집수조 주변에 설치한 백색 끈끈이 트랩에 적은 수의 겨울각다귀 성충이 유인, 포획되었는데, 이것으로 볼 때 자외선이 백색 가시광선에 비해 겨울각다귀 성충에 상대적으로 강한 유인력이 있는 것으로 판단되며, 형광등 형식과 LED 형식의 자외선 트랩 중에서는 형광등 형식의 자외선 트랩이 상대적으로 강한 유인력을 나타내고 있다. 하지만, 이러한 차이가 형광등 형태와 LED 형태 사이에 자외선의 강도 차이에 기인하는 것인지 자외선의 파장이 달라서인지는 불분명하다.

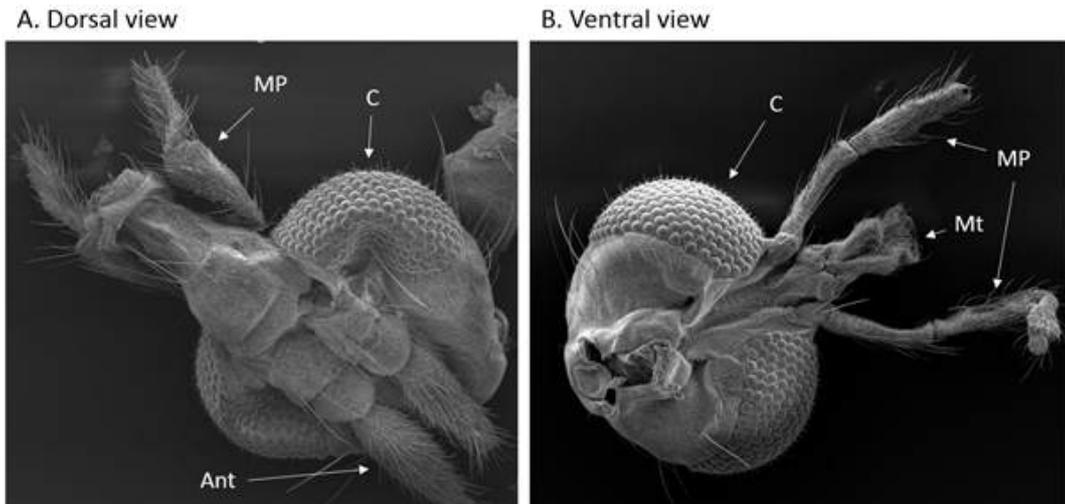


Figure 4-1. A pair of antennae (Ant), a pair of maxillary palps (MP), mouthparts (Mt) and a pair of well-developed compound eyes (C) located on the head of winter crane fly, *Trichocera maculipennis*.

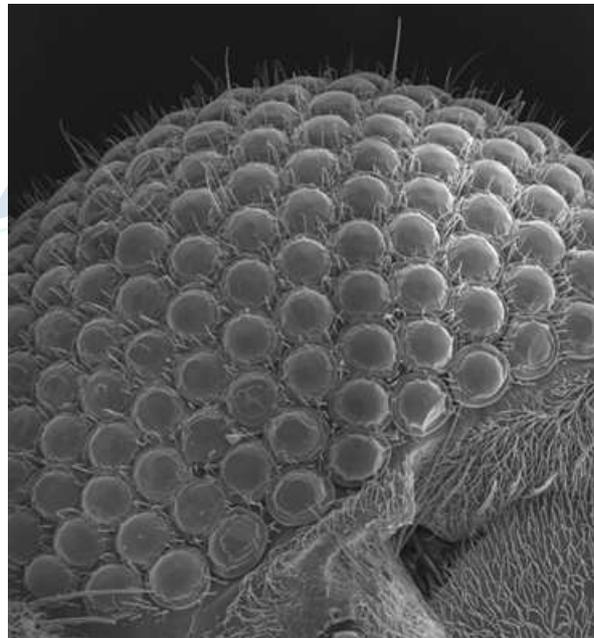


Figure 4-2. Well-developed compound eye of winter crane fly is composed of a number of regularly aligned facets ('ommatidia').

본 연구에서는 겨울각다귀의 시각 시스템에 강한 활성을 나타내는 파장의 빛을 알아보기 위해 겨울각다귀 성충의 겹눈이 각각 다른 단파장의 LED에 반응하여 나타내는 전기생리학적 시각 신경 신호를 ERG(electroretinogram) 기술을 사용하여 측정하였다. 겨울각다귀 성충의 ERG 반응을 측정하기 위해서 조립식 ERG 측정 시스템을 세종 기

지에 설치하여 사용하였다 (그림 4-3A), 살아 있는 각다귀 성충을 plasticine block에 고정하고 생리적식염수를 넣은 microglass electrode의 끝을 겹눈 표면에 연결하여 recording electrode로 사용하였다 (그림 4-3B). Recording electrode를 통해 포착된 겨울각다귀 겹눈으로부터 나오는 시각 신호는 headstage amplifier로 일차 증폭하고, main amplifier에서 추가로 증폭하였으며, noise eliminator를 거치도록 하여 electromagnetic noise를 최소화 하였으며, 이 신호는 AD converter를 거쳐 노트북 컴퓨터로 보내고, 컴퓨터 프로그램(Picoscope 6)으로 관찰, 저장 및 분석을 하였다. 겨울각다귀 성충은 LED 광원을 사용한 시각 자극에 대해 안정적이고 뚜렷한 ERG 반응을 나타내었다 (그림 4-3C, D, 4-4). 첫 번째 ERG 실험으로 겨울각다귀 암컷 성충의 6가지 다른 파장(IR, red, yellow, green, blue, UV)의 LED 광원에 의한 자극에 대한 ERG 반응을 측정, 비교하였다. 그 결과, 겨울각다귀 암컷 성충은 초록색과 파란색의 LED 자극에 대해 큰 ERG 반응을 나타냈으며, UV에 대해서는 어느 정도의 강한 ERG 반응을 나타내었다 (그림 4-5). 이러한 결과는 겨울각다귀 성충의 겹눈이 특정 파장의 빛에 상대적으로 민감하게 반응한다는 것을 뜻하며, 특히 초록색, 파란색 및 UV가 겨울각다귀 성충의 행동에 상대적으로 강한 활성을 보일 가능성이 크다. 어떤 파장의 시각 신호가 겨울각다귀에 행동 활성을 나타내는지 알아보기 위해 LED를 끈끈이판에 장착한 트랩(LED 끈끈이 트랩)을 개발하여 이를 사용할 수 있는지 세종기지의 오수집수조 건물 내부에 설치하고 예비실험을 하였다 (그림 4-6). 사흘 동안 수행된 이 실험에서 녹색 LED 끈끈이 트랩과 UV LED 끈끈이 트랩에 각각 두 마리씩의 겨울각다귀 성충이 포획되었는데, 포획된 겨울각다귀의 수가 적어서 blank control과의 통계적 비교는 할 수 없었다. 포획 수가 적은 것은 이 시기에 생활동 오수집수조 건물 내에 발생한 겨울각다귀의 수가 적은 때문일 것으로 생각된다. 이것을 바탕으로, 앞으로 겨울각다귀 성충의 밀도가 높은 조건을 마련하여 서로 다른 파장 및 강도의 LED 빛에 대한 겨울각다귀의 행동 반응을 조사할 예정이다.

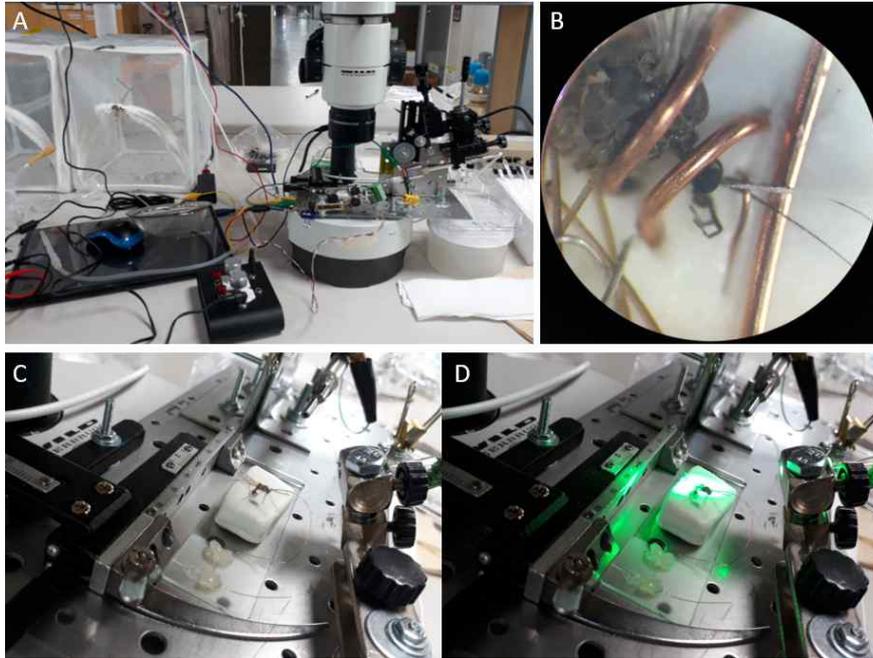


Figure 4-3. An ERG (electroretinogram) recording system constructed at King Sejong Station to record the responses of compound eyes of winter crane flies to various visual stimuli.

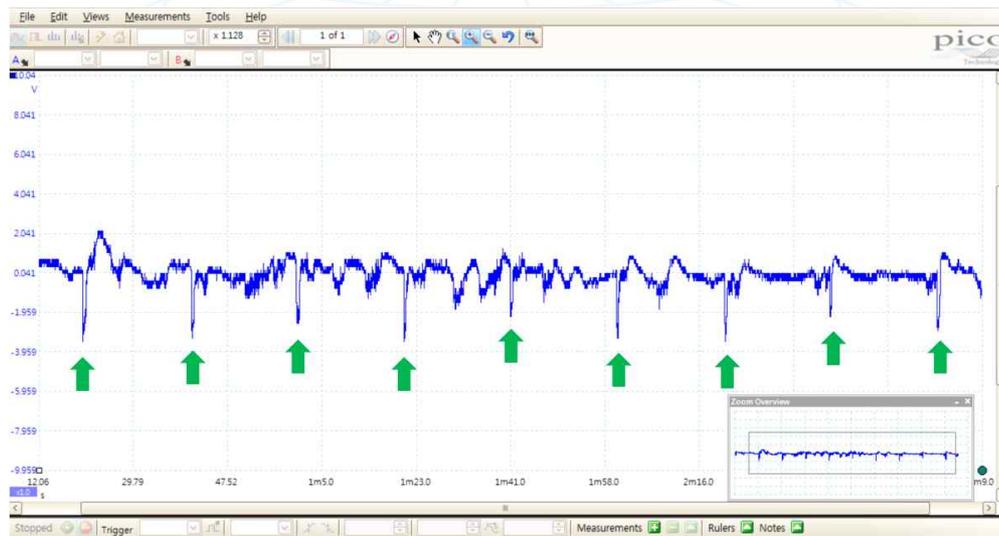


Figure 4-4. Electroretinogram (ERG) responses (green arrows) of a female winter crane fly to the repeated stimulations with a white LED.

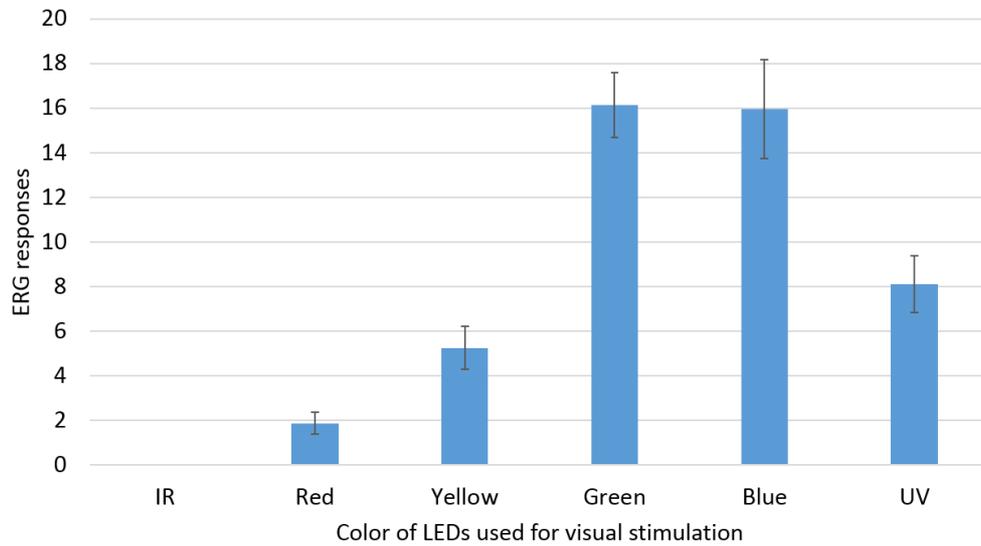


Figure 4-5. Electretinogram (ERG) responses of female winter crane flies to different wavelengths of light, recorded by using six different LEDs generating infrared (IR), red, yellow, green, blue and ultra violet (UV) as stimuli. The ERG responses to green and blue were significantly higher than those to other wavelengths.

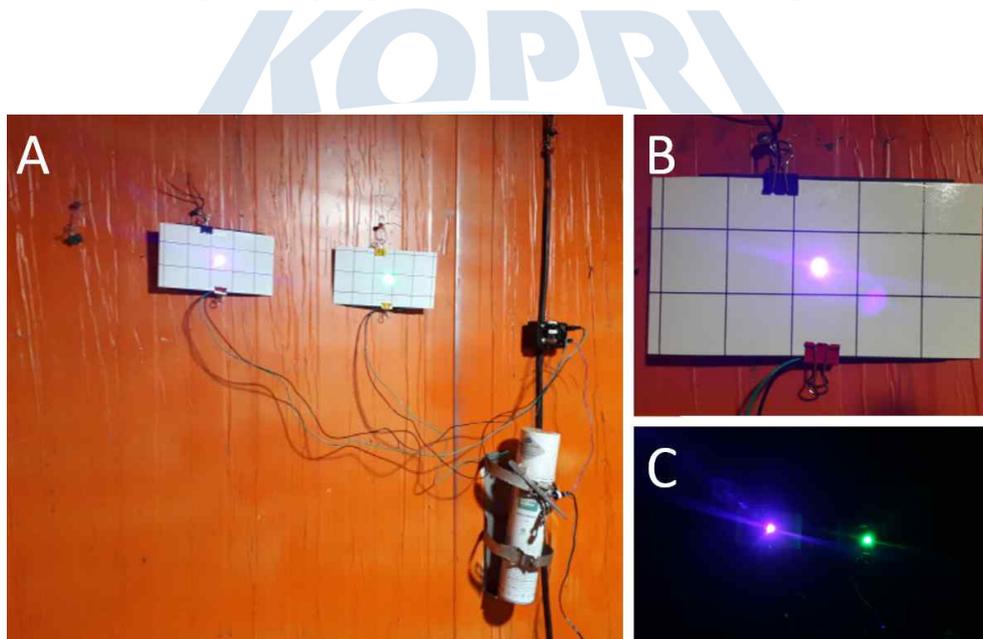


Figure 4-6. Trapping tests to measure the behavioral attraction of the adult winter crane flies to different wavelengths of LED lights in the sewage treatment facility at King Sejong Station.

## 제 5 절. 겨울각다귀의 모니터링 기술

### 1. UV trap

UV trap은 겨울각다귀에 어느 정도의 유인력을 나타내는 것으로 밝혀졌으며 UV trap을 겨울각다귀의 밀도 변동을 파악하기 위한 모니터링 수단으로 적당할 것으로 사료된다. 현재 세종 기지에서 사용되고 있는 UV trap은 LED 형태(그림 5-1A) 또는 형광등 형태(그림 5-1B)의 UV 광원을 이용하여 유인된 겨울각다귀 성충을 fan으로 흡입하여 채집통 내부로 들어오도록 하는 방식이다. 세종기지에서서는 이 두 가지 UV trap을 발전동(그림 5-2A, B)과 생활동(그림 5-2C)에 설치하여 겨울각다귀 성충의 발생을 모니터링하고 있는데, 지난 수년 동안 UV trap에 겨울각다귀들이 지속적으로 포획되었고, 그 결과 세종기지에서서는 겨울각다귀 성충이 매년 2회 발생하고, 성충의 발생 최성기는 12-1월 및 7-8월 인 것으로 나타나고 있다. 이러한 UV trap을 우루과이 기지, 칠레 기지 및 러시아 기지의 오수집수조 시설에 설치하여 겨울각다귀 성충이 포획되는 것을 확인하고 모니터링 용도로 사용하고 있으며, 2020년에는 중국 장성기지의 오수집수조 건물 내부에도 설치하였는데 아직 겨울각다귀의 존재 여부는 확인되지 않은 상태이다. 이 UV trap은 우루과이 기지에서 공급한 delta trap에 비해 겨울각다귀 성충에 대한 유인, 포획력이 훨씬 높은 것으로 나타나고 있다. 하지만 이들 시설에서의 겨울각다귀 성충의 절대 밀도는 파악된 바 없으며, 따라서 이들 UV trap의 포획 효율은 아직 불분명한 상태이다. 그리고, 형광등을 광원으로 사용한 UV trap과 LED를 광원으로 사용한 UV trap 중에서는 형광등을 광원으로 사용한 UV trap의 유인력이 LED를 광원으로 사용한 UV trap에 비해 높은 것으로 파악되고 있다.

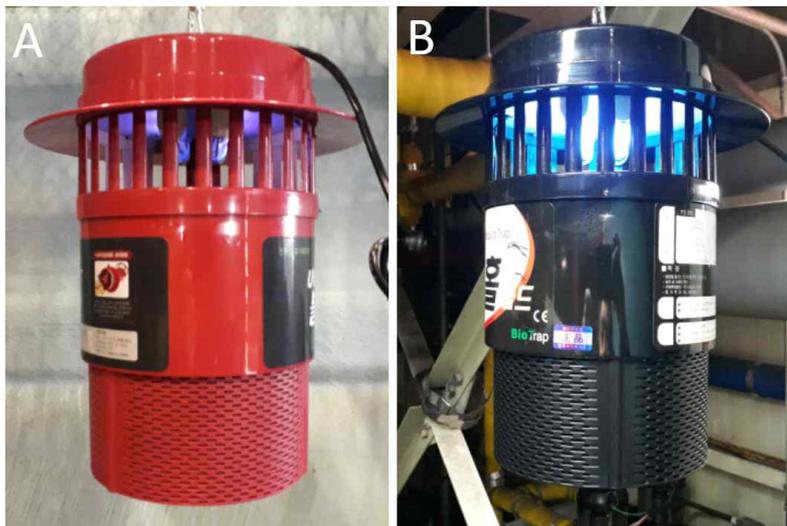


Figure 5-1. Two different types of UV traps used to monitor the adult populations of winter crane flies at King Sejong Station. One type uses UV LEDs (A), and the other UV fluorescent bulbs (B) as the visual stimuli.



Figure 5-2. UV traps placed in the sewage treatment building (A, B), and in the sewage collection facility (C) at King Sejong Station.

## 2. Uruguayan trap

우루과이의 아티거스기지에서서는 우루과이 연구진들의 주도로 주로 흰색 또는 빨간색의 delta trap(그림 5-3A, B)을 사용하여 겨울각다귀를 모니터링하고 있다. 세종기지의 발전동에 있는 오수집수조 주변에도 우루과이 연구진으로부터 공급받은 4개의 red delta trap(그림 5-3D)과 5개의 white delta trap(그림 5-3C)을 설치하여 겨울각다귀에 대한 유인, 포획력을 시험해 오고 있다 (그림 5-4). 우루과이의 delta trap에는 흰색 끈끈이판을 내부에 부착하여 여기에 포획된 겨울각다귀 성충의 수를 조사하고 있는데, 지금까지의 결과를 보면 우루과이 기지로부터 공급받아 세종기지에 설치한 delta trap들에는 겨울각다귀 성충이 거의 포획되지 않아서 UV trap에 비례 delta trap의 유인력이 아주 낮은 것으로 판단된다. 이는 delta trap에 사용된 흰 색이나 빨간 색 만으로는 겨울각다귀 성충이 유인되지 않으며 이들 색깔에 의해 어느 정도 유인이 되더라도 트랩 내에 부착된 흰 색 끈끈이판으로는 들어가지 않는다는 것을 의미한다. 하지만 겨울각다귀의 냄새 감각 시스템이 발달되어 있고 냄새감각세포들이 특정 냄새 물질들에 특이적으로 반응하는 것으로 보아, 끈끈이판에 겨울각다귀에 유인력이 있는 냄새물질을 위치시킨다면 다른 곤충들의 예에서처럼 겨울각다귀가 delta trap에 유인, 포획될 가능성은 크다고 사료된다.



Figure 5-3. White (A) and red (B) delta traps, supplied from Uruguayan Artigas Base, were also placed around the sewage treatment tank in the sewage treatment building at King Sejong Station (C, D), to monitor adult population of winter crane fly.

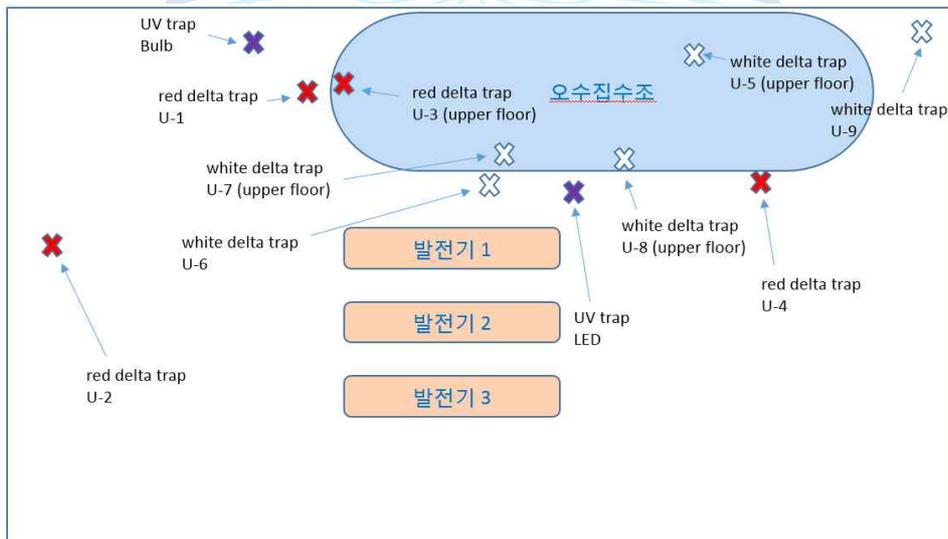


Figure 5-4. The location of two UV traps (blue) and nine Uruguayan delta traps (4 red and 5 white) placed in the sewage treatment building at King Sejong Station to monitor adult population of winter crane fly.

### 3. Odor-baited trap

앞서 언급한 것처럼, 전자현미경 관찰을 통해 겨울각다귀 성충의 안테나와 작은턱수염에 잘 발달된 냄새감각기들이 존재하는 것이 확인되었으며, 이는 겨울각다귀가 냄새물질을 주요 통신수단으로 사용한다는 형태적 증거이다. 또한, 예비 트랩실험을 통해 겨울각다귀가 냄새물질에 유인된다는 사실이 확인되었기 때문에 겨울각다귀에 특이적으로 강한 냄새 유인 활성을 갖는 물질들을 동정하여 이들을 UV 또는 강한 ERG 반응을 보여준 녹색 또는 파란색 등의 시각 유인 자극원과 결합하여 겨울각다귀에 강한 유인력을 나타내는 새로운 유인제로 개발하여 박멸 프로그램에 활용할 계획이다.

## 제 6 절. 겨울각다귀의 박멸 기술 개발

본 연구 프로젝트의 궁극적인 목표는 세종 기지에 침입하여 정착 과정에 있는 겨울각다귀를 박멸할 수 있는 기술을 개발하여 매뉴얼로 제공하고, 이를 실제 기지에 적용하여 기지에서 겨울각다귀를 박멸하는 것이며, 성공적인 겨울각다귀의 박멸을 이루면서 우루과이 기지, 칠레 기지, 러시아 기지 등 동일 종의 겨울각다귀가 침입하여 서식하고 있는 킹조지섬의 주변 외국 기지들에도 이 방법을 보급하여 각 기지에서 겨울각다귀를 박멸할 수 있도록 하는 것이다. 일반적인 외래 곤충의 박멸에는 대량으로 사육하여 방사선 조사 등의 방법으로 불임화 시킨 수컷을 대량으로 방사하여 이들이 자연계에 있는 암컷과 교미하고 이들과 교미한 암컷은 무정란을 낳아 번식을 억제하는 기술인 SIT (sterile insect technique) 및 외래 해충의 자연 서식지인 native range 나라들에서 이들의 번식을 억제하는 기생벌 (parasitic wasp) 또는 기생파리 (parasitic fly) 등의 천적을 대량 사육하여 외래 해충의 서식지에 방사하여 밀도를 줄이는 방법이 널리 사용되고 있으며, 선택적 독성을 갖는 살충제의 사용도 이들과 조합되어 효율적인 박멸 프로그램에 활용되고 있다. 또한, 박멸 프로그램에는 외래 해충의 밀도 변동을 정확히 파악하는 것이 중요하며, 앞서 언급한 방법들을 사용하여 침입한 외래 해충의 밀도를 어느 수준 이하로 낮춘 다음에는 유인제를 사용하여 낮은 밀도로 존재하는 외래 해충들을 직접 유인, 포획하며, 유인제를 사용하여 이들의 서식처를 정확히 알아내어 포살하는 것이 박멸을 완결하는 중요한 단계이기 때문에 효율적인 유인제가 가용한지는 박멸 프로그램의 성공에 필수적인 조건이다. 하지만, 남극이라는 특수한 환경을 감안할 때, 이러한 기술들 중에서 겨울각다귀의 박멸에는 SIT나 천적의 대량 살포, 그리고 독성 살충제의 사용은 고려하지 않는 것이 바람직할 것이며, 따라서 제한적인 가용한 기술들을 적용하여 세종기지의 겨울각다귀 박멸을 이루는 것이 본 과제에서 이뤄야

할 중요한 부분이다. 유인제에 있어서도, 현재 사용하고 있는 UV trap이 겨울각다귀의 모니터링에는 적합한 것으로 보이지만, 저밀도의 겨울각다귀 성충을 강하게 유인, 포살할 수 있을 정도의 유인력을 갖지는 않는 것으로 판단되어 겨울각다귀에 훨씬 강한 유인력을 갖는 유인제를 개발하여 사용하는 것이 성공적인 박멸을 이루는데 중요하다고 판단된다. 세종기지에 침입한 겨울각다귀의 박멸을 위해서는, 서식하고 있는 겨울각다귀의 밀도를 줄이고, 주변으로의 확산을 억제하며, 외부로부터의 재침투를 방지하며, 밀도가 줄어든 겨울각다귀의 최종 박멸을 이룰 기술을 확보해야 할 것이다. 이를 감안하여 여러가지 옵션들을 검토한 결과, pesticide-impregnated netting를 우선 적용하고, 새로운 유인제를 개발하여 사용하며, 과리류 유충에 선택적 독성을 갖는 Bt toxin의 사용 가능성 등을 파악하여 박멸 프로그램을 완성하고 세종기지에서 적용할 계획이다. 또한, 겨울각다귀가 세종기지로 재침투 하는 것을 방지하기 위한 대책도 마련할 것이다.

### 1. Pesticide-impregnated netting

피레드린(pyrethroid) 계통의 살충제를 모기장 망사에 처리하여 말라리아 모기가 망사와 접촉할경우 살충 효과가 나타나 모기가 죽게 만드는 ‘pesticide-impregnated netting’기술은 아프리카 등지에서 말라리아 모기에 대처하는 수단으로 널리 쓰이는 중요한 수단이다. 세종 기지의 경우, 기지에서 발생하는 겨울각다귀의 유충들은 모두 오수집수조 내부에서 서식하는 것으로 보이며, 유충들이 성장하여 번데기를 거쳐 성충으로 우화한 다음 오수집수조 밖으로 나와 교미를 하고 산란할 준비가 된 암컷은 다시 오수집수조 안으로 들어가 산란을 하여 겨울각다귀의 발생이 반복되는 것으로 판단된다. 기지의 다른 건물이나 물이 고인 곳 또는 세종호나 현대호 등의 호수에도 오수집수조 건물 밖으로 나간 성충이 산란을 할 가능성이 있으며 부화한 유충이 호수에서 성장할 수 있는 가능성은 있지만, 건물 외부에서의 유충 생장은 아직은 여름 기간 동안에만 가능한 것으로 보이기 때문에 비교적 긴 유충 성장 기간이 필요한 겨울각다귀가 기지의 건물 외부에서 성충으로까지 성공적으로 성장할 수 있다는 증거는 아직 없는 상태이다. 따라서, 오수집수조에서 우화한 성충이 오수집수조 밖으로 나가는 것을 차단하고, 겨울각다귀 암컷이 오수집수조 외부에서 오수집수조 내부로 들어와 산란하는 것을 방지한다면 세종기지에서 겨울각다귀 번식을 억제하는 좋은 수단이 될 것이다. 이에 따라, 피레드린 계 살충제를 처리한 망사로 세종기지의 발전동과 생활동의 오수집수조와 외부를 차단하여 겨울각다귀의 번식을 억제할 계획이다. 살충제는 피레드린 계 살충제들 중에서 한국에서 시험을 거쳐 선발할 것이며, 이 살충제를 처리한 망사를 차단 재료로 사용할 계획이다. 이렇게 하면 살충제 성분은 망사에 잔류하면서 오랫동안 겨울각다귀에 대한 살충력을 발휘할 것이며, 오수집수조로 들어가는 물과는 접촉을 하지 않기 때문에

살충 성분이 오수집수조를 거쳐 바다로 유입되지는 않을 것이다.

발전동의 경우, 오수집수조는 하나의 큰 금속 탱크로 이뤄져 있고 (그림 6-1A), 탱크 내부는 네 개의 방으로 구성되어 첫 번째 방으로 들어온 오폐수가 다음 단계들을 거치면서 정화되어 최종적으로 바다로 유출되는 구조로 되어 있으며 (그림 6-1D), 탱크 윗부분에 있는 다섯 개의 직사각형 모양의 구멍을 통해 외부로 연결되는데 (그림 6-1B), 각 구멍에는 금속제 뚜껑이 있다 (그림 6-1C). 이 다섯 개의 구멍을 각각 pesticide-impregnated net로 덮어 씌우고 그 위로 금속 뚜껑을 덮을 수 있도록 하여, 오수집수조 내, 외로의 겨울각다귀의 출입을 방지하고 망사에 접촉하는 겨울각다귀 성충들이 죽도록 할 계획이다. 이를 위해 한국에서 시험을 통해 적합한 살충제를 선발하고, 겨울각다귀 성충을 지속적으로 죽게 할 수 있는 살충제의 처리량을 결정하며, 살충제가 처리된 망사의 살충 효과 지속 기간을 측정할 예정이다.

생활동과 연결되어 생활동으로부터의 오폐수가 모이는 오수집수조 건물은 발전동과는 달리 콘크리트 구조물로 이뤄져 있으며 (그림 6-2), 오폐수를 담는 콘크리트 구조물의 개방된 공간 위를 통해 다소 복잡하게 배열되어 있는 파이프들을 통해 오폐수가 유입, 유출되는 구조이기 때문에 (그림 6-2A, B) 발전동에서의 경우처럼 탱크 위를 망사로 덮어 겨울각다귀 성충의 이동을 막기는 어려운 상태이다. 따라서, 생활동의 오수집수조 건물 내부의 오수집수 탱크가 있는 공간과 출입문과 연결되는 나머지 공간 사이에 바닥부터 천장까지 pesticide-impregnated net를 설치하는 것이 현실적이고 효율적일 것으로 생각된다. 또한, 오수집수 탱크가 위치한 공간의 문 쪽 벽면 윗부분에 있는 환기구통을 통해서도 겨울각다귀 성충이 이동할 가능성이 있기 때문에 이 환기구도 pesticide-impregnated net로 덮어 씌울 계획이다.

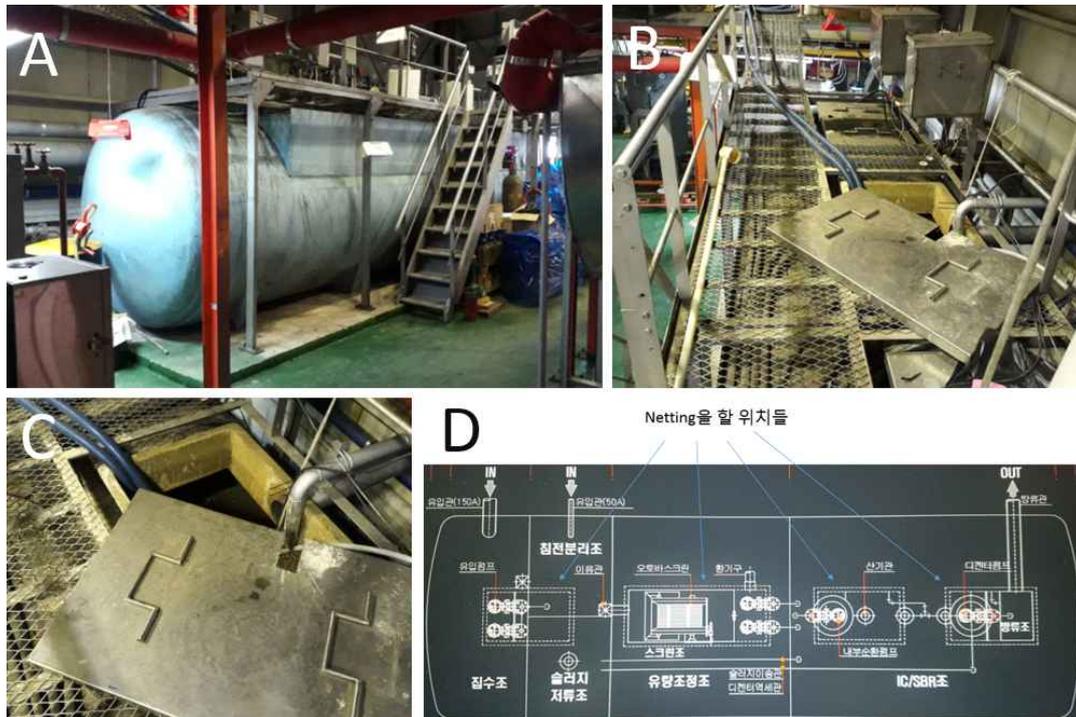


Figure 6-1. The shape and structure of the sewage treatment tank inside the sewage treatment building at King Sejong Station (A ~ D), and the location where nettings are to be placed (D arrows).

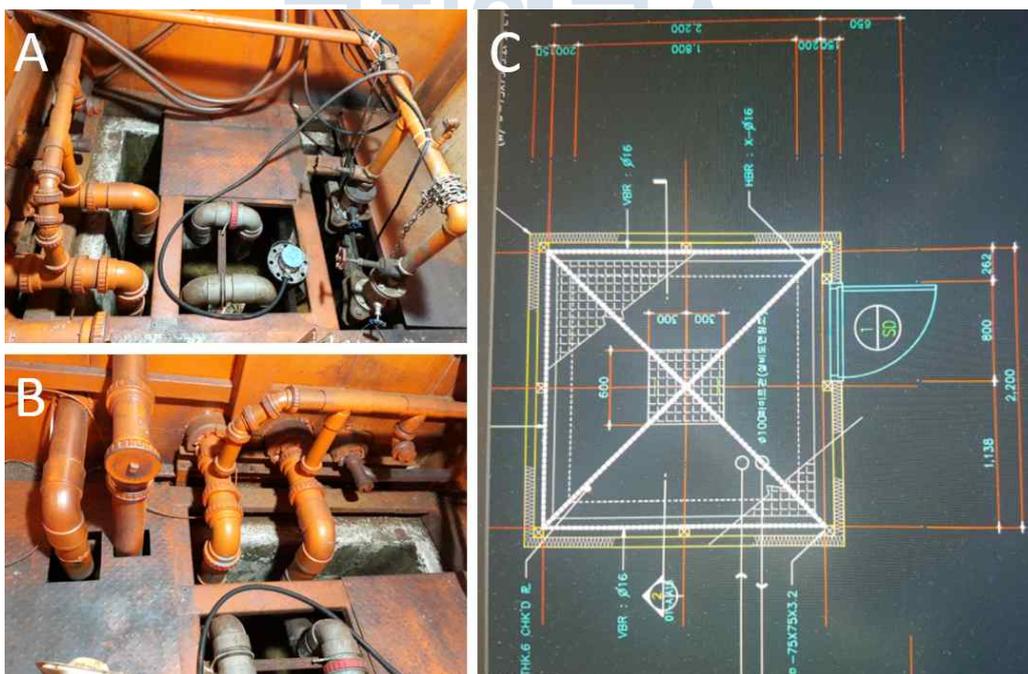


Figure 6-2. The structure (A, B) and drawing © of the sewage collection facility for the main building at King Sejong Station.

## 2. 유인제 및 트랩 포획

앞서 언급한 것처럼 외래 곤충의 박멸에는 효율적인 유인제가 아주 중요한 요소이다. 이미 박멸이 이뤄진 여러 외래 곤충들의 경우 SIT나 살충제 처리, 천적 살포 등의 수단을 통해 이들의 밀도를 효율적으로 낮출 수는 있지만 그 어느 방법도 완전 박멸을 이루는 수단은 되지 않으며, 이러한 수단들을 사용하여 밀도가 상당히 낮아진 상태의 외래 곤충을 효율적인 유인제로 유인하여 직접 유살하고 또한 낮은 밀도로 서식하는 외래해충 서식처들의 정확한 위치를 파악하여 완전 박멸을 이루게 하는 중요한 수단이다. 이에 따라, 겨울각다귀의 박멸에도 보다 효율적인 유인제의 개발이 중요할 것으로 판단되며, 겨울각다귀 성충은 냄새 감각 및 빛 감각이 상당히 발달한 것이 입증되었기 때문에 냄새 물질과 빛을 병합한 새로운 유인제를 개발하여 겨울각다귀의 박멸에 사용할 계획이다. 박멸 프로그램을 진행하면서, 각다귀 성충 밀도의 변동에 대한 모니터링은 지금까지 사용해 온 UV trap을 그대로 사용하여 박멸이 진행되면서의 겨울각다귀의 밀도 변화를 파악할 수 있을 것이다.

## 3. 재침투 방지

현재 세종기지에서 서식하고 있는 겨울각다귀들은 아직 정확히 밝혀지지 않은 경로를 통해 세종기지 외부로부터 침입했으며, 박멸 프로그램을 가동하는 동안, 그리고 박멸이 성공적으로 이뤄진 후에 겨울각다귀가 외부에서 세종기지로 재침투하는 것을 방지하는 것은 아주 중요하다. 세종기지에는 현재 컨테이너 박스로 구성된 'Invasive pest prevention post'(IPPP)가 있는데, 이 시설을 보다 적극적으로 활용한다면 겨울각다귀의 재침투를 억제할 수 있는 중요한 수단이 될 것이다. 이 시스템을 보다 효율적으로 만들기 위해서 국립검역본부의 자문을 구해 필요할 경우 현재 갖고 있는 IPPP 시설을 이용할 수 있는 방안을 마련할 계획이다.

## 제 7 절. 기타 세종기지에서의 연구 결과

### 1. 칠레 프레이기지에서의 나방파리 발생

2019년 12월과 2020년 1월에 세 번에 걸쳐 필데스반도에 위치한 칠레의 프레이지에 있는 건식 오폐수 처리 건물 내부에 겨울각다귀 성충의 모니터링을 위해 설치해 둔 UV trap에서 세 차례 모두 새로운 종류의 작은 곤충이 여러 마리씩 포획된 것이 확인되었으며 (그림 7-1A), 이들을 알코올에 담아 세종기지로 가져와서 검사한 결과 이들

은 나방파리과(Psychodidae)에 속하는 나방파리(moth fly)의 일종인 것으로 판명되었다 (그림 7-1B, C). 이 나방파리의 종명은 아직 밝혀지지 않았으며, 칠레 프레이기지에서 채집한 샘플을 분류 전문가에게 보내어 종 동정을 시도하고, 또 이들의 DNA barcoding을 수행해서 정확한 종 이름을 파악할 계획이다. 이들이 세종기지로 침투한다면 겨울각다귀의 경우에서처럼 세종기지의 오수집수조에서 서식할 가능성을 배제할 수 없기 때문에 예의 주시할 필요가 있을 것이다. 현재, 프레이기지의 담당자인 Harold Burgos Villanof(Major, 1<sup>st</sup> Officer BAAPEFM)의 주도 하에 이 오폐수 처리 건물 내부를 매 주 청소하면서 겨울각다귀와 새로 발생한 나방파리의 밀도를 줄이려는 노력을 하고 있으며, 이의 추이에 따라 이 종에 대한 대책이나 연구가 필요한 지를 판단할 필요가 있다고 사료된다.

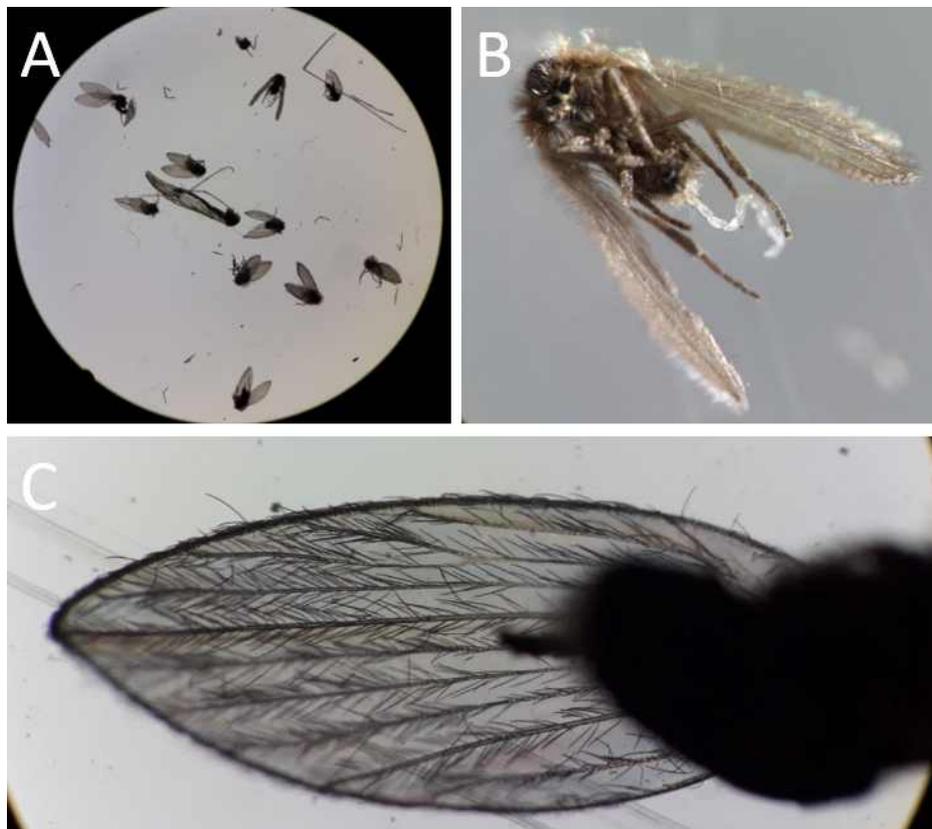


Figure 7-1. Moth flies collected in the sewage treatment facility at the Chilean Eduardo Frei Antarctic Base (A). Their overall morphology (B) and wing venation (C) indicate typical characteristics of a moth fly.

## 2. Midge의 유인제 개발

2019년 12월 - 2020년 1월의 세종기지 방문 동안 남극의 민물호수와 주변에 서식하는 midge의 유인제 개발을 위한 간단한 기초 연구를 수행하였다. 킹조지섬에 서식하는 midge는 두 종류로 이들은 각각 날개가 있는 *Belgica Antarctica*(Antarctic wingless midge, Chironimidae) 및 *Parochlus steinenii*(Antarctic winged midge, Chironomidae)이며, 세종기지 주변의 호수에는 *P. steinenii*가 많이 서식하는데 이들 성충의 행동이나 생태에 대해서는 자세하 연구되어 있지 않은 상태이다. Chironomidae에 속하는 여러 midge 종류들은 부영양화가 진행되는 호수나 흐르는 물에 산란을 하고 유충들이 물 속에 서식하며 부영양화를 판단하는 생태적 지표로 쓰이는 중요한 종들이 있다. 따라서, 남극 환경에서도 이들에 대한 생리, 행동 및 생태에 대한 연구를 자세히 한다면 유용한 정보를 얻을 수 있을 것이다. 흥미롭게도, 세종기지 주변의 여러 호수들 중에 midge들의 분포에 큰 차이를 보이고 있으며, 세종호 주변에서 midge 성충을 포획하여 실내의 케이지에 넣고 세종호에서 채취한 물을 용기에 넣었을 때 이 용기 안에 있는 물 속 이끼에 알무더기로 산란을 한 것이 관찰되었으며 (그림 7-2A, B), 배자발육이 빠르게 진행되어 산란 며칠 후부터 물 속에 유충이 있는 것이 확인되었으며 midge 유충들은 활발한 섭식 활동을 보여줬다 (그림 7-2D). 1월 중순 이후에는 바톤반도의 KGL-1 호수 및 위버반도의 삼천지 호수 등에 다수의 midge 유충들이 존재하는 것이 확인되었으며, 세종기지의 식수원인 현대호에도 midge 유충들이 많이 서식하는 것이 발견되었다 (그림 7-2C). 2019년의 세종기지 방문에서는 우선 midge 성충을 유인제와 트랩을 이용하여 포획할 수 있는지를 알아보았다. 작은(가로 7 cm, 세로 15 cm의 직사각형) 판넬을 길이 30 cm의 막대 끝부분에 부착하고, 스카치테이프 또는 끈충 포획용 끈끈이판을 부착한 다음, 여기에 색깔 또는 합성 냄새물질을 처리하여 KGL-1 호수 주변에 설치한 다음, 시각 또는 냄새감각에 의해 midge 성충이 유인되는지를 조사하였다. 첫 번째 실험에서는, 트랩 판넬에 흰색, 빨간색, 노란색, 초록색, 파란색 및 검은색의 종이를 부착하고 이것을 스카치테이프로 덮어 시각 자극에 의해 유인된 midge가 스카치테이프에 포획되는지를 알아보았다 (그림 7-3A). 그 결과 설치 일주일 후까지 이들 중 어느 트랩에도 midge 성충이 포획되지 않았다. 트랩이 설치된 기간 동안 비가 자주 내렸는데, midge 성충이 포획되지 않은 이유가 실험에 사용된 색깔들이 midge 성충에 대한 유인력이 없는 것인지 아니면 날씨 때문에 비행하는 midge 수가 적었거나 아니면 스카치테이프가 젖어 부착력이 약해진 때문인지는 불분명했다. 두 번째 실험에서는, 트랩의 검은색 또는 흰색 판넬을 스카치테이프로 끈끈한 표면이 밖으로 향하도록 하여 감싸고 중앙에 합성 냄새물질인 linalool, 2-phenylethanol, limonene, Z3-hexenol 및  $\alpha$ -pinene을 각각 10 mg씩 함유한 치과용 솜방망이(1 x 3 cm 크기)를 부착시키고, 이 트

랩들을 KGL-1 호수 주변에 설치한 다음 midge 성충이 유인, 포획되는지를 알아보았다. 이 실험에서도 트랩에 포획된 midge는 없었는데, 트랩 설치 일주일 후에 트랩을 조사할 때 스카치테이프의 끈기가 아주 낮아진 것을 확인할 수 있었고, 이 때문에 실험에 사용된 성분은 midge가 유인되었다 할지라도 스카치테이프의 표면에 포획되어 남아 있지 않았을 것으로 판단되어 실험에 사용된 냄새물질들이 midge에 대해 유인력이 있는지를 확인할 수 없었다. 이에 따라, 세 번째 실험에서는 스카치테이프 대신 곤충 트랩에 일반적으로 쓰이는 끈끈이판을 판넬 크기에 맞춰 자르고 이것을 판넬에 부착한 다음 여기에 두 번째 실험에서 사용한 것과 같은 물질들 및 5 가지 추가 물질들을 10 mg씩 함유한 솜방망이를 부착한 다음 KGL-1 호수의 주변에 설치하고 midge 성충의 유인, 포획 여부를 조사하였다 (그림 7-3B). 약 일주일 후에 트랩들에 midge가 포획되었는지 확인한 결과 midge 성충들이 트랩에 다수 포획된 것을 확인할 수 있었다 (그림 7-3C). 이 실험에서는 최대 30 마리의 midge 성충이 트랩 하나에 포획되었으며, 두 가지 트랩에 상대적으로 많은 수(30 마리 및 23 마리)의 midge 성충이 포획되어 특정 냄새물질에 이들이 유인되었음을 보여주었다. 하지만, 트랩을 설치할 때 끈끈이판에 유성펜으로 표시한 각 트랩의 고유번호가 모두 지워져서 이들이 어떤 냄새물질로 처리된 트랩인지를 확인할 수 없었는데 표시가 지워진 이유는 아마도 강한 자외선에 노출된 때문으로 생각된다. 이번 실험을 통해서, 유인제가 장착된 끈끈이판 트랩을 호수 주변에 설치하여 합성 유인제의 midge에 대한 유인력을 검정할 수 있다는 것을 확인했기 때문에, 앞으로 몇 가지 점들을 보완한 체계적인 실험을 통해 남극에 서식하는 midge인 *Parochlus steinenii*에 대한 유인제를 개발할 수 있을 것이며, 이러한 유인제는 이 종의 모니터링에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 사료된다.

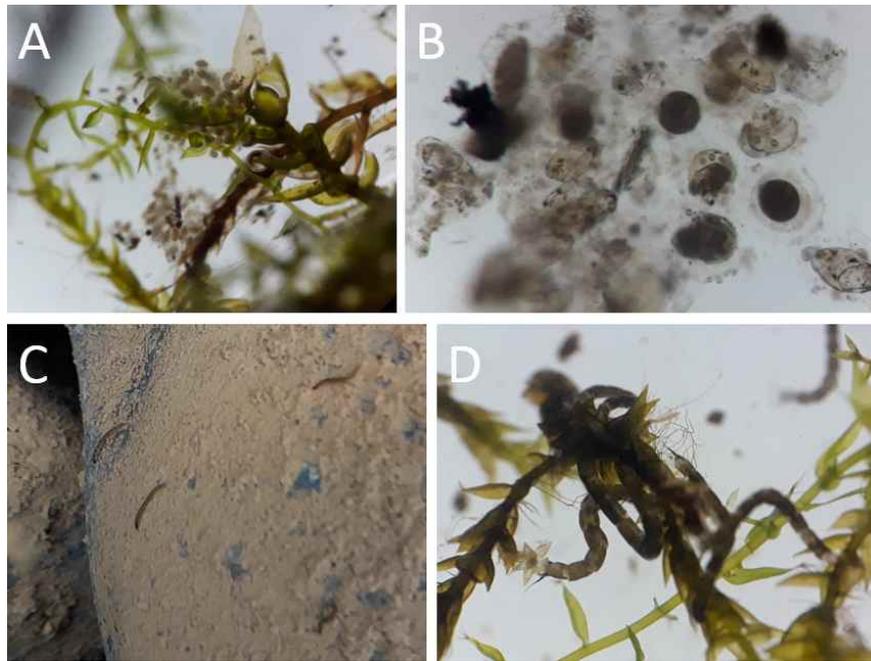


Figure 7-2. Egg masses oviposited by midges in Sejong Lake (A). Mixed stages of embryonic development were taking place in the egg mass (B). Midge larvae were scavenging on the surface of organic-rich rocks in the lake (C). Midge larvae fed actively on the mosses in the lake (D).

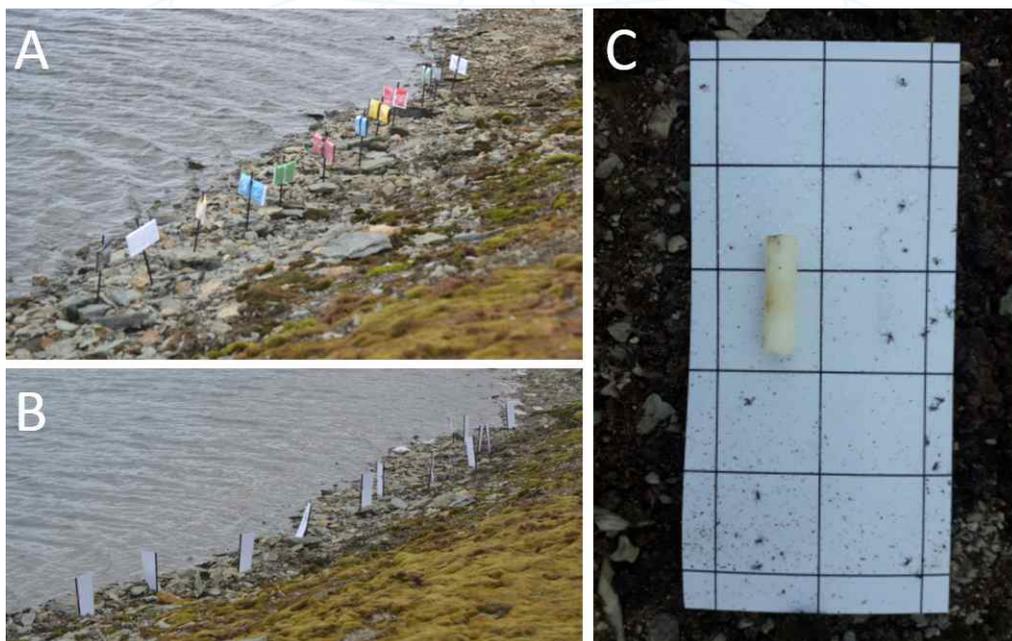


Figure 7-3. Colored traps (A) and odor-baited traps (B) placed at the edge of KGL-1 Lake in Barton Peninsula. Some sticky traps baited with synthetic volatile compounds captured significant number of winged-midge adults (C).

## 제 4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

본 연구개발의 1년차 연구개발 목표는 모두 달성되었으며, 연구개발이 완성될 때까지는 대외기여도를 판단하기는 어려울 것으로 판단된다.



## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 보고서에 기술된 1년차 연구개발 결과는 2년차 및 3년차의 연구개발에 활용될 것이며, 2년 후에 본 연구개발이 최종적으로 완성되면 이를 세종기지에 침입한 외래종 곤충인 겨울각다귀의 박멸에 활용할 예정이고, 이를 우루과이, 칠레, 러시아 등의 주변 외국 기지에 전파하여 각 기지에서 겨울각다귀 박멸을 유도할 계획이다. 본 연구개발의 결과는 또한 앞으로 있을 수 있는 다른 외래 곤충들의 침입에 대처하고 이들이 침입했을 때 신속하게 박멸할 수 있는 기틀이 될 수 있을 것으로 사료된다.



## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 연구개발 과정에서 수집한 문헌 정보 및 세종기지 주변 외국 기지들에서의 과학기술 정보는 본문에 기술되어 있다.



## 제 7 장 참고문헌

- Chown SL, Huiskes AHL, Gremmen NJM, Lee JE, Terauds A et al (2012) Continent-wide risk assessment for the establishment of nonindigenous species in Antarctica. PNAS 109: 4938-4943.
- Gressitt JL, Weber NA (1959) Bibliographic introduction to Antarctic-subantarctic entomology. Pacific Insects 1: 441-480.
- Hughes KA, Convey P (2014) Aliens invasions in Antarctica-is anyone liable? Polar Research 33: 1, 22103, DOI: 10.3402/polar.v33.22103.
- Hughes KA, Pertierra LR (2016) Evaluation of non-native species policy development and implementation within the Antarctic Treaty area. Biological Conservation 200: 149-159.
- Karandikar KR (1931) The early stages of bionomics of *Trichocera maculipennis* (Meig.) (Diptera, Tipulidae). Trans. Ent. Soc. Lond. 79: 249-260.
- Petrasiunas A, Weber D (2013) Winter crane flies (Insecta, Diptera, Trichoceridae) from caves of the Grand Duchy of Luxembourg. Ferrantia 69: 276-283.
- Petrasiunas A, Podenas S (2017) New data on winter crane flies (Diptera: Trichoceridae) of Korea with description of a new species. 4311:
- Potocka M, Krzeminska E (2018) *Trichocera maculipennis* (Diptera)-an invasive species in Maritime Antarctica. PeerJ 6:e5408; DOI 10.7717/peerj.5408.
- Salmela J (2010) Cranefly (Diptera, Tipuloidea & Ptychopteridae) fauna of Limhamn limestone quarry (Sweden, Malmo) - diversity and faunistics viewed from a NW European perspective. Norwegian Journal of Entomology 14: 123-135.
- Volonterio O, De Leon RP, Convey P, Krzeminska E (2013) First record of Trichoceridae (Diptera) in the maritime Antarctic. Polar Biology 36: 1125-1131.

KOPRI

주 의

1. 이 보고서는 극지연구소 위탁과제 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 수행한 기본 연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.