

한국에 서식하는 주요 시식성 파리종에 대한 성장 속도 실험에 대한 문헌 조사 및 최소사후경과시간 추정에의 적용을 위한 고찰

염규진* · 강태모* · 신상연
왕아라 · 고희수 · 박성환

고려대학교 의과대학 법의학교실

*These authors contributed equally to this work.

Received: February 2, 2021
Revised: April 10, 2021
Accepted: May 13, 2021

Correspondence to

Seong Hwan Park
Department of Legal Medicine, Korea University College of Medicine, 73 Goryeodae-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Korea
Tel: +82-2-2286-1158
Fax: +82-2-928-3901
E-mail: kuforen@gmail.com

A Literature Review on the Growth Rate Experiment for Necrophagous Fly Species Commonly Observed in Korea and Consideration for Minimum Postmortem Interval Estimation

Kyu Jin Youm*, Tae Mo Kang*, Sang Eon Shin, Ah Rha Wang, Kwang Soo Ko, Seong Hwan Park

Department of Legal Medicine, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

Estimation of the minimum post-mortem interval (PMI-min) by means of forensic entomology is mainly based on the results of the growth rate studies on necrophagous flies. However, results of these studies are difficult to use because these studies have only been undertaken for a select few necrophagous flies, and experimental methods and results processing have not been standardized. In this review, we have summarized the current state of growth rate studies on necrophagous fly species that are frequently found in human cadavers. Criteria have been suggested in order to select reliable data, and the accumulated degree hours and base temperatures to be used in the calculation of PMI-min for each species have been tabulated.

Key Words: Forensic science; Entomology; Growth and development; Postmortem changes; Diptera

서 론

법곤충학은 곤충을 이용하여 법적인 문제에 접근하는 내용을 연구하는 학문이며, 도시곤충학, 저장식품학, 법의곤충학의 세 분야로 나뉜다. 이 중 법의곤충학은 변사 사건에 곤충학적으로 접근하여 과학수사에 도움을 주는 학문으로 세계적으로 널리 쓰이고 있다. 가장 일반적인 활용은 부패된 시신에서의 최소사후경과시간(minimum postmortem intervals) 추정이다. 이는 시식성 곤충(necrophagous insects)의 종(species)과 주변 온도에 따라 다른 성장 속도를 보인다는 점을 이용, 최초 산란 시간을 추정하여 활용한다[1-4]. 그 외

에도 시신에서 발견된 곤충을 이용한 약독물의 검출(곤충독성학), 생체에 대한 구더기의 침습(승저증) 사례의 분석 등도 법의곤충학의 연관분야다. 법의곤충학에서 가장 많이 활용되는 곤충은 가장 초기에 시신에 접근하여 산란하는 것으로 알려진 파리이다[5]. 파리 중 특히 검정파리과(family Calliphoridae)의 파리는 바람이 통하는 열린 장소에서 사망 후 1-2시간 이내부터 산란을 시작하여[6] 시신이 그 장소에 놓여진 시점과 가장 근접한 시간을 가리키기 때문에 파리를 이용한 성장 실험이 세계적으로 많이 진행, 활용되고 있고 종 확인과 성장 속도와 관련된 실험 자료가 중요시되고 있다. 그렇기 때문에 전 세계적으로 이러한 시식성 파리의 신뢰할 수

있는 성장 정보를 얻기 위한 연구가 진행되고 있으나, 국내의 법의곤충학과 관련된 연구는 분자생물학적 연구와 돼지부패 실험을 이용한 사체생태학적 연구가 대부분이며, 최소사후경과시간 추정에 필요한 성장 속도 실험은 매우 부족한 실정이다[7-9].

성장 속도 연구를 통한 사후경과시간 추정 방법에는 성장 단계에 따른 성장 시간 및 유효적산온도(accumulated degree hours [accumulated degree days], ADH [ADD]), 성장 시간에 따른 몸길이 측정 및 gene expression 확인을 통한 추정이 있으나 표준화된 방법에 의한 사육 실험은 많지 않다. 또한 실험 목적에 따라 사육 방법이 다르고 종마다 선호하는 환경의 차이, 반복실험으로 인한 시간 소모 등의 어려움이 있어 일관성 있는 방법으로 사후경과시간 추정에 적용할 수 있는 자료는 한정적이다.

파리의 성장 속도는 주변 환경에 따라 차이를 보이기 때문에[10] 국내 변사 사건의 사후경과시간 추정은 국내 성장 속도 연구 결과를 사용하는 것이 바람직하지만 국내 사육 실험 데이터의 부족으로 인하여 부득이하게 외국 데이터를 사용할 경우가 많다. 이때 사건이 발생한 환경과 가장 유사한 온도대의 사육 실험 데이터를 사용하는 것이 최선이나 이 또한 한정된 자료 속에서 쉽지 않다.

본 종설은 국내 시식성 곤충에 대해 광범위하게 조사되었던 Shin의 연구(2019) [7]를 참고하여 진행되었다. Shin의 연구[7]에서도 국내 시식성 곤충의 출현 양상, 사육 실험 데이터를 다뤘으나 출현 양상에 집중하여 세세한 조사가 이루어진 반면, 이번 조사에서는 Shin [7]이 조사한 국내 출현 양상을 바탕으로 국내 주요 시식성 파리에 대한 사육 실험 문헌 조사에 초점을 맞추어 진행하였다. 이를 통해 국내의 성장 속도 연구 결과를 정리하여 사후경과시간 추정에 필요한 기초 자료를 만들고자 한다. 또한 국내 연구가 미흡한 종들을 확인하여 앞으로의 연구 방향을 제시하고자 한다.

본 론

일반적으로 검정파리과(family Calliphoridae)는 변사 사건에서 시신에 빠르게 접근하며 자주 출현하기 때문에 법의곤충학적으로 매우 중요한 정보를 제공한다. 그 외에도 쉬파리과(family Sarcophagidae), 집파리과(family Muscidae), 벼룩파리과(family Phoridae) 등이 흔하게 출현하고 중요하게 다뤄진다. 실제로 국내에서의 출현 양상은 어떠한지, 각 과에서 중요한 종들은 무엇인지 확인하기 위해 Shin의 연구[7]를 참고하여 국립과학수사연구원 부검에서 채집된 주요 시식성 파리종에 대하여 확인하고 조사 대상을 선별하였다. 가장 중요한 검정파리과는 3회 이상 출현한 종인 구리금파리(*Lucilia sericata* (Meigen)), 연두금파리(*Lucilia illustris*

(Meigen)), 금파리(*Lucilia caesar* (Linnaeus)) 붉은뺨검정파리(*Calliphora vicina* Robineau-Desvoidy), 큰검정파리(*Calliphora lata* Coquillett), 검정뺨금파리(*Chrysomya megacephala* (Fabricius)), 큰검정뺨금파리(*Chrysomya pinguis* (Walker)), 검정금파리(*Phormia regina* (Meigen))에 대하여 조사하였고 다른 주요 과인 쉬파리과, 집파리과, 벼룩파리과에 대해서도 사육 문헌을 조사하고 정리하였다.

1. 기준 설정 및 자료 선정

먼저 Amendt 등(2015) [11]이 제안한 사육 실험 방법에 기초하여 넓은 온도대에서 반복 실험이 진행된 자료를 조사하였다. 하지만 개체수에 의한 열 발생을 방지하기 위한 Amendt 등[11]이 제시하는 기준인, 약 20개체로 진행된 실험은 Shin (2019) [7]과 Roe와 Higley [12]의 실험이 유일했다. 다수의 논문에서 개체수에 의한 열 발생을 방지하기 위한 노력을 진행하였고 이러한 논문들을 포함하기 위해 다음과 같은 기준으로 조사하였다.

- (1) 한 종에 대하여 알(쉬파리의 경우 1령)에서 성충까지 5개 온도 이상, 3회 이상 반복한 실험.
- (2) Sampling된 개체수가 1,500개체 이상, 일정한 방법과 기준을 정하여 sampling을 진행한 실험.
- (3) 사육을 통한 개체의 성장 단계와 몸길이 등 전반적인 내용을 다룬 실험.
- (4) 연구된 사육 결과를 바탕으로 성장률, 유효적산온도 등 통계학적 분석을 진행한 실험.

사육 실험은 각 종의 한계 성장 온도와 정상적으로 성장하는 온도 범위를 확인하기 위해 넓은 범위에서 진행하는 것이 필요하고[13] 반복 실험을 통해 생물학적 편차에 대해 판단하고 일정 규모 이상의 샘플링을 진행하여 신뢰구간 내의 데이터를 선별하여야 한다[14]. 또한 사후경과시간 추정에 필요한 성장 단계나 몸길이와 몸무게 등 많은 요소가 조사될수록 유의미하다. 동시에 이를 기반으로 한 통계학적 분석이 이루어져야 높은 신뢰도를 가지고 즉각적으로 활용할 수 있는 데이터가 완성되기 때문이다.

위 기준에 부합하는 문헌은 중국 8개[15-22], 말레이시아 1개[23], 미국 1개[12], 국내 1개[7]가 존재하고 Table 1에서 각 조건을 정리하였다. 국내의 사육 문헌은 3개가 존재하지만, 단 1개의 문헌만 기준에 부합하고 전 세계적으로 11개의 문헌만 확인되었다. 기준에 부합하는 문헌들은 온도, 습도, 광주기 등 성장 속도에 영향을 주는 주요 변수들을 통제된 것으로 보여진다. 가장 최근에 연구된 왕초쉬파리(*Sarcophaga dux* Thomson)의 사육 실험을 살펴보면 돼지 허파를 먹이로 사용하였고 7개 온도(16-34°C)에서 75% 습도, 12시간 간격의

Table 1. Experimental methods for each species

Species	Amount (per dish)	MM effect	Food source	Replication	Temperature (°C)	Sampling (time/no.)
<i>Lucilia sericata</i> [7]	25	×	Flesh pork liver	5	20, 24, 28, 32, 35	12 hr/4
<i>Lucilia illustris</i> [16]	–	×	Flesh lean pork	5	15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 32.5, 35	6 hr/20
<i>Chrysomya megacephala</i> [17]	250	×	Flesh lean pork	4	16, 19, 22, 25, 28, 31, 34	4 hr/8
<i>Chrysomya pinguis</i> [18]	200	–	Flesh lean pork	5	16, 19, 22, 25, 28, 31, 34	–/8
<i>Sarcophaga peregrina</i> [19]	250	×	Flesh lean pork	5	16, 19, 22, 25, 28, 31, 34	4 hr/8
<i>Sarcophaga similis</i> [20]	3–500	×	Flesh lean pork	3	15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 32.5, 35	6 hr/8
<i>Sarcophaga dux</i> [15]	500	×	Flesh pig lung	5	16, 19, 22, 25, 28, 31, 34	8 hr/10
<i>Muscina stabulans</i> [21]	200	×	Flesh lean pork	5	16, 19, 22, 25, 28, 31, 34	4 hr/8
<i>Megaselia scalaris</i> [23]	–	–	Cow's liver	6	23, 25, 27, 30, 32, 33, 34, 36	4 hr/18
<i>Megaselia spiracularis</i> [22]	–	–	Decomposed lean pork	4	16, 19, 22, 25, 28, 31, 34	4 hr/6

MM effect, Maggot mass effect.

광주기를 주었고 총 5번의 반복 실험으로 진행되었다. 구더기가 출현하면 번데기가 되기 전까지 8시간 간격으로 10개체씩 sampling을 진행하였다. 얻어진 결과값인 개별 온도 대에서의 성장단계별 성장 시간을 정리하였고 결과값을 통합하여 통계학적 분석을 통해 유효적산온도와 기저온도를 추정하였다. 또한, 몸길이와 gene expression을 활용한 성장 시간 추정식도 제시하였다[15]. 기준에 부합하는 문헌들은 대부분이 유사한 방식으로 진행, 정리되어서 다양한 방식의 접근이 가능하다(Table 1). 기준에는 부합하지 않는 문헌들도 실험 진행방식은 유사한 편이다(Table 2).

사육 실험은 환경적, 공간적인 문제뿐만 아니라 인력 부족에서 오는 sampling, 반복 수의 부족, 정형화되지 않은 실험 방법 등의 문제로 기준에 부합하는 것이 많지 않았다. 국내에 출현하는 주요 종 모두에서 기준에 부합하는 문헌 자료를 찾을 수는 없었기에 종별로 정리하며 기준 내의 문헌을 우선으로 찾았고, 존재하지 않는다면 기준 외의 문헌을 제시하였다(Table 2).

2. 국내 시식성 파리 종에 대한 문헌 정리

(1) 구리금파리(*Lucilia sericata*)

국내뿐만 아니라 국외에서도 출현 빈도가 높은 전 세계적인 우점종이며, 국내에서는 이른 봄부터 늦은 가을까지 출현한다. 법의곤충학적으로 매우 중요한 종이며 사육 조건이 까다롭지 않기 때문에 다양한 연구가 진행되어 있다. 연구 결과를 살펴보면, 미국의 서로 다른 지역에서 채집된 개체들을 26°C의 동일 조건에서 사육했을 때 후섭식기 도달까지 약 27시간의 차이가 발생함을 확인했고[10], 소와 돼지의 서로 다른 장

Table 2. Reference list for postmortem interval estimation using forensic entomology

Family	Species	A	B
Calliphoridae	<i>Lucilia sericata</i>	[7,12]	[26]
	<i>Lucilia illustris</i>	[16]	–
	<i>Lucilia caesar</i>	×	×
	<i>Calliphora vicina</i>	×	[27,28]
	<i>Calliphora lata</i>	×	[29]
	<i>Triceratopyga calliphoroides</i>	×	×
	<i>Chrysomya megacephala</i>	[17]	–
	<i>Chrysomya pinguis</i>	[18]	–
Sarcophagidae	<i>Phormia regina</i>	×	[30]
	<i>Sarcophaga crassipalpis</i>	×	[29]
	<i>Sarcophaga peregrina</i>	[19]	–
	<i>Sarcophaga similis</i>	[20]	–
	<i>Sarcophaga dux</i>	[15]	–
Muscidae	<i>Hydrotaea aenescens</i>	×	[31]
	<i>Muscina stabulans</i>	[21]	–
Phoridae	<i>Megaselia scalaris</i>	[23]	–
	<i>Megaselia spiracularis</i>	[22]	–

A, List of research results that meet the criteria; B, List of research results that do not meet the criteria.

기(간, 심장, 폐)를 이용하여 사육하였을 때 각각 성장속도가 차이를 확인하였다[24]. 또 다른 연구에서는 구더기의 개체수에 따라 구더기 군집 온도가 주변 온도 이상으로 상승함을 확인했고 이 온도변화가 성장에 영향을 미칠 수 있음을 언급했다[25]. 이들의 연구는 다양한 조건들이 성장속도에 관여함을 보여주었고 앞서 언급한 기준 설정에도 참고가 되었다. 기

준을 충족하는 문헌은 국내의 Shin (2019) [7]의 연구와 미국의 Roe와 Higley (2015) [12]의 연구가 존재하고 기준 외에는 Grassberger와 Reiter (2001) [26]의 연구가 대표적이다. 국내에서는 Shin의 연구[7]를 활용하는 것이 적합하나 Shin [7]은 25개체, Roe와 Higley [12]는 20개체, Grassberger와 Reiter [26]는 약 100개체씩 사육을 진행하였기 때문에 상황에 맞는 적용이 필요하다.

(2) 연두금파리(Lucilia illustris), 금파리

두 종은 구리금파리와 같은 금파리 속(genus *Lucilia*)으로 전 세계적으로 출현한다. 국내에서는 실내보다 야외 사건에 더 많이 출현하며 주로 늦은 봄부터 가을까지 출현한다[7]. 이 두 종은 계통분류학적 자매종으로써 국내의 경우 cytochrome oxidase subunit 1 (COI) 유전자를 활용한 분자생물학적 구분이 가능하나[32] 외국, 특히 유럽에서는 두 종이 haplotype을 공유하는 경우도 존재해 COI만을 이용하여 구분하기 어렵다는 연구 결과도 존재한다[33,34]. 기준에 부합하는 연구는 Wang 등(2016) [16]의 연두금파리 연구의 결과가 있고 국내에서도 예비 연구가 진행되었다. 이번 조사에서는 금파리의 국내외 모두 사육 연구 결과를 찾아볼 수 없었다.

(3) 붉은뺨검정파리(Calliphora vicina)

구리금파리와 마찬가지로 국내외에서 출현 빈도가 높은 주요 종이고 국내에서는 검정파리 속(genus *Calliphora*)의 우점종으로 나타난다. 여름에 구리금파리와 같이 출현하는 경우도 있으나 주로 이른 봄이나 늦은 가을에 출현하며 실내 변사 사건에서 많이 발견된다[7]. 국내외에서 다수의 연구가 진행되었고 현재 국내에는 사육 실험이 진행된 후 연구 결과를 분석하는 단계에 있으며, 국외 연구 중 기준에 부합하는 문헌은 찾을 수 없었다. 하지만 사후경과시간추정에 사용할 수 있는 국외 논문들은 다수 존재하며 4-30°C의 범위에서 사육하여 몸길이 추정식을 제시한 Donovan 등(2006) [27]의 연구와, 10-25°C에서 각 단계별 성장시간을 제시한 Greenberg (1991) [28]의 연구가 대표적이다.

(4) 검정뺨금파리(Chrysomya megacephala), 큰검정뺨금파리(Chrysomya pinguis)

두 종은 출현 양상과 형태학적 특징, 생태 환경이 유사하여 경쟁적 관계이다[35]. 국내에서는 법의곤충학적으로 주요 시식성 파리가 주로 출현하는 여름에 집중적으로 출현하며 빈도 또한 높아 중요시되는 종이다[7]. 두 종 모두 16-34°C에서 각각 4회 반복 실험과 5회 반복 실험을 진행한 Zhang 등 (2018, 2019) [17,18]의 연구 결과가 존재한다(Table 2). 국내에서는 진행된 연구가 없는 상황이다(Table 3).

(5) 큰검정파리(Calliphora lata)

붉은뺨검정파리와 비슷한 출현 시기를 보이지만 붉은뺨검정파리가 도심지의 변사 사건에서 주로 발견되는 것에 비해 실내보다 야외나 숲 또는 산에서 발견된 변사 사건에 더 많이 출현하며 단독으로 출현하는 경우도 종종 있다[7]. 기준에 충족하는 연구 결과는 찾아볼 수 없으며 국내에서는 예비 연구 수준으로 진행되었고 국외 발표된 문헌은 Nishida (1984) [29]가 25°C에서 진행한 사육 실험 자료 외에는 찾아보기 힘들어 사후경과시간추정에 어려움이 있다. 종 선별 기준에 부합하지는 않으나 두꼬리검정파리(*Triceratopyga calliphoroides*) 또한 큰검정파리와 마찬가지로 야외 사건에 주로 등장하며 국내에서 예비 연구가 진행되었다.

(6) 검정금파리(Phormia regina)

계절적으로는 이른 여름부터 한여름까지 출현하며[7] 부패 단계 중 팽창기부터 주로 출현한다[36]. 국외에는 기준에 부합하는 문헌이 존재하지 않고 국내에는 연구가 진행 중이나 결과를 분석하는 단계이다(Table 3). 현재는 국외 연구 결과를 사용하여 사후경과시간 추정을 해야 하며 8-32°C에서 성장시간을 제시한 Nability 등(2006) [30]의 연구가 대표적이다. 이 연구에서는 이전에 발표된 사육 연구자료에 대한 정리가 진행되어 활용도가 높다.

Table 3. Current status of the growth rate of forensic entomology

Family	Species	A	B	C
Calliphoridae	<i>Lucilia sericata</i>	o	E, P	o
	<i>Lucilia illustris</i>	o	P	o
	<i>Lucilia caesar</i>	x	-	x
	<i>Calliphora vicina</i>	x	S	o
	<i>Calliphora lata</i>	x	P	o
	<i>Triceratopyga calliphoroides</i>	x	P	x
	<i>Chrysomya megacephala</i>	o	-	o
	<i>Chrysomya pinguis</i>	o	P	o
	<i>Phormia regina</i>	x	S	
	Sarcophagidae	<i>Sarcophaga crassipalpis</i>	x	P
<i>Sarcophaga peregrina</i>		o	-	o
<i>Sarcophaga similis</i>		o	-	o
<i>Sarcophaga dux</i>		o	-	o
Muscidae	<i>Hydrotaea aenescens</i>	x	-	o
	<i>Muscina stabulans</i>	o	-	o
Phoridae	<i>Megaselia scalaris</i>	o	P	o
	<i>Megaselia spiracularis</i>	o	-	o

A, results of research that meet the criteria; B, results of research (Korea); C, results of research (foreign); E, end; P, preliminary study; S, statistical analyzing.

(7) 쉬파리과(family Sarcophagidae)

법의곤충학적 주요 시식성 파리에 속하지만 검정파리과에 비해 출현 빈도가 낮고 시신에 알을 낳지 않고 1령 구더기를 낳는 특성을 가지고 있다. 국내에는 이른 여름이나 늦여름에 주로 출현하며 검정파리과보다 시신에 먼저 접근하는 경우가 종종 있고 떠돌이쉬파리(*Sarcophaga peregrina* (Robineau-Desvoidy)), 붉은볼기쉬파리(*S. crassipalpis* Macquart), 왕초쉬파리, 굽슬털쉬파리(*S. similis* (Meade))가 출현한다[7]. 기준에 부합하는 연구는 16–34°C에서 5회 반복 실험을 통해 각 단계별 성장시간을 제시한 Wang 등 (2017) [19]의 연구와 Zhang 등(2020) [15]의 연구, 15–35°C에서 3회 반복 실험을 통해 각 단계별 성장시간을 제시한 Yang 등(2017) [20]의 연구가 있다. 붉은볼기쉬파리의 경우 기준에는 충족하지 않지만 Nishida (1984) [29]의 연구가 있다. 국내에서 발표된 쉬파리과에 대한 사육 연구는 없었다 (Table 3).

(8) 집파리과(family Muscidae)

국내 집파리과의 시식성 파리에는 큰집파리(*Muscina stabulans* (Fallén))와 붉은종아리큰집파리(*M. angustifrons* (Loew)), 깜장파리 속(genus *Hydrotaea*)이 속한다. 출현율이 높은 편은 아니나 매장된 시신에서 출현 빈도가 높다[7,21]. 집파리과에서 기준에 부합하는 문헌은 Wang 등 (2019) [21]이 발표한 큰집파리에 대한 연구가 존재한다. 붉은종아리큰집파리는 사육 연구를 찾아볼 수 없어 큰집파리의 연구 결과를 참고하여 사후경과시간을 추정해야 한다. 깜장파리속에는 Lefebvre와 Pasquerault (2004) [31]의 *Hydrotaea aenescens* (Wiedemann) (국명없음)에 대한 사육 연구와 Dadour 등(2001) [37]의 *H. rostrata* (Robineau-Desvoidy) (국명없음)에 대한 사육 연구 결과를 확인할 수

있으나 *H. rostrata*의 경우 국내에서 발견된 예를 찾아볼 수 없어 제외하였다. 국내에서 발표된 큰집파리와 *Hydrotaea aenescens*에 대한 사육 연구는 존재하지 않았다(Table 3).

(9) 벼룩파리과(family Phoridae)

국내 출현종으로는 *Megaselia spiracularis* (Schmitz) (국명 없음)와 국내 우점종으로 보이는 집벼룩파리(*M. scalaris* (Loew))가 있으며[7] 주로 다른 시식성 파리와 같이 출현하지만, 밀폐도가 높은 실내 변사 사건의 경우 단독으로 출현하기도 한다[38]. 기준에 부합하는 연구는 23–36°C에서 6회 반복 실험을 통해 집벼룩파리의 각 단계별 성장시간을 제시한 Zuha와 Omar (2014) [23]의 사육 연구와 16–34°C에서 4회 반복 실험을 통해 *M. spiracularis*의 성장시간을 제시한 Wang 등(2020) [22]의 문헌이 존재하며 국내에서 발표된 사육 연구는 존재하지 않았다(Table 3).

3. 핵심 요약 및 활용 예시

기준에 부합하는 연구로부터 얻어진 유효적산온도(ADH [ADD])와 기저온도를 표로 정리하였다(Table 4). 각 문헌별로 정리된 방식은 다소 차이를 보이며 이를 알부터 각 성장 단계까지의 유효적산온도(ADH)로 정리하였고 기저온도는 계산의 편의상 알(쉬파리의 경우 1령)부터 성충까지의 통합 기저온도만 정리하였다. 집벼룩파리의 경우 각 성장 단계별 기저온도의 차이가 크므로 개별적으로 사용하는 것을 권장하며 그 외의 종에서도 성장 단계별 기저온도를 사용하는 것이 가장 정확하다.

Table 4를 이용한 실제 적용 예시는 다음과 같다.

예시) 7월 30일 12시 00분에 평균온도가 25°C인 밀폐된 방 안에서 변사체가 발견되었다. 변사체의 복부와 얼굴에서 섭

Table 4. A summary of growth rate studies that meet the criteria

Species	1st instar (ADH)	2nd instar (ADH)	3rd instar (ADH)	PF (ADH)	Pupa (ADH)	Adult (ADH)	BT (°C)
<i>Lucilia sericata</i>	305.7	659.2	1,111.4	1,914.4	3,011.5	5,703.5	9.0
<i>Lucilia illustris</i>	234.7	572.1	852.2	1,387.7	2,380.7	5,367.2	9.3
<i>Chrysomya megacephala</i>	207.2	479.2	812.0	–	1,889.6	3,418.7	11.4
<i>Chrysomya pinguis</i>	267.6	552.8	867.9	–	2,198.7	4,256.5	10.9
<i>Sarcophaga peregrina</i>	–	286.8	556.1	1,711.5	2,102.5	5,809.7	10.9
<i>Sarcophaga similis</i>	–	238.2	441.0	–	1,890.3	5,675.3	9.6
<i>Sarcophaga dux</i>	–	499.3	813.7	1,211.0	1,834.8	5,341.7	12.3
<i>Muscina stabulans</i>	383.0	719.3	1,156.3	–	3,068.6	6,075.8	9.9
<i>Megaselia scalaris</i>	363.5	–	–	1,201.5	2,338.9	3,390.7	17.4
<i>Megaselia spiracularis</i>	–	273.9	–	1,317.8	1,471.8	4,989.7	12.0

ADH, accumulated degree hours; PF, post-feeding; BT, base temperature.

*This value has been rounded to nearest the tenth place.

식기 3령의 구리금파리와 큰검정뺨금파리가 발견되었으며 주변부에서 큰검정뺨금파리의 번데기가 함께 발견되었다.

이 경우 가장 빠른 성장단계를 보이는 큰검정뺨금파리의 번데기를 활용하여 최소사후경과시간을 추정해야 한다. Table 4에서 큰검정뺨금파리의 번데기에 해당하는 ADH (2,198.7)와 기저온도(10.9℃)를 찾고 현장 온도를 고려하여 계산을 진행한다.

$ADH (2,198.7) = \text{시간(hour)} \times [\text{현장 온도}(25) - \text{기저온도}(10.9)]$ 이므로 발견된 큰검정뺨금파리의 알이 번데기까지 성장한 시간은 최소 155.9시간임(최소사후경과시간이 155.9시간)을 확인할 수 있고 최소 7월 24일 00시 6분 이전에 사망한 것을 알 수 있다.

결 론

본 종설에서는 국내 주요 시식성 파리에 대한 사육 문헌의 현황을 확인, 정리하여 최소사후경과시간 추정에 참고할 수 있는 문헌을 선별하였다. 문헌들을 정리한 결과는 다음과 같다.

- (1) 법의곤충학을 활용한 최소사후경과시간을 추정하기 위하여 기준을 제시하여 신뢰도 높은 자료들을 선정하였다. 기준에 부합한 연구 결과는 중국 8개, 말레이시아 1개, 미국 1개, 국내 1개가 있었고 모두 유사한 방식으로 진행, 정리되었음을 확인했다.
- (2) 기준에 부합하는 연구들은 각각 알(쉬파리의 경우 1령)부터 각 성장 단계별로 ADH와 중별 전체 기저 온도를 적용하여 정리하였다(Table 4).
- (3) 최소사후경과시간 추정에 활용할 수 있는 대표적인 사육 문헌들을 기준 내, 기준 외로 구분하여 정리하였다(Table 2).
- (4) 국내 주요 시식성파리의 국내외 사육 연구 현황에 대해 정리하여 앞으로 진행되어야 할 연구의 방향성을 확인하였다(Table 3).

본 종설에 정리된 Table 4의 결과값은 경찰청(치안과학기술연구개발사업단)의 지원을 받아 개발된 곤충 증거를 이용한 사후경과시간 추정 프로그램, KOFORENT에 적용중이며, 이는 일선 수사관이나 법의학 인력 등 법의곤충학 비전문가도 쉽고 간편하게 대략적인 최소사후경과시간을 계산할 수 있도록 하는 것을 목표로 하고 있다. 현재 연구 중에 있거나 아직 발표되지 않아 본 종설에 포함되지 않은 국내 연구 자료들도 KOFORENT에 탑재될 예정이므로 KOFORENT를 통해 보다 많은 자료들의 활용이 가능하다.

ORCID: Kyu Jin Youm: <https://orcid.org/0000-0002-6194-0616>; Tae Mo Kang: <https://orcid.org/0000-0002-6303-0106>; Sang Eon Shin: <https://orcid.org/0000-0003-4165-8119>;

Ah Rha Wang: <https://orcid.org/0000-0001-5514-6750>; Kwang Soo Ko: <https://orcid.org/0000-0001-6015-1968>; Seong Hwan Park: <https://orcid.org/0000-0003-2096-2664>

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

We would like to thank the expert reviewers for reviewing the manuscripts. This research was supported by Projects for Research and Development of Police Science and Technology under Center for Research and Development of Police Science and Technology and Korean National Police Agency (Grant No. PA-G000001).

References

1. Amendt J, Campobasso CP, Gaudry E, et al. Best practice in forensic entomology: standards and guidelines. *Int J Legal Med* 2007;121:90-104.
2. Amendt J, Richards CS, Campobasso CP, et al. Forensic entomology: applications and limitations. *Forensic Sci Med Pathol* 2011;7:379-92.
3. Gennard D. *Forensic entomology: an introduction*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons; 2012. p. 121-38.
4. Smith KG. *A manual of forensic entomology*. London: British Museum; 1986. p. 37-55.
5. Villet MH, Amendt J. Advances in entomological methods for death time estimation. In: Turk E, ed. *Forensic pathology reviews*. Vo. 6. Berlin: Springer; 2011. p. 213-37.
6. Goff ML. Early postmortem changes and stages of decomposition. In: Amendt J, Goff ML, Campobasso CP, et al., eds. *Current concepts in forensic entomology*. New York: Springer; 2010. p. 1-24.
7. Shin SE. Taxonomic and ecological study on necrophagous insects and its forensic application [dissertation]. Chuncheon: Kangwon National University; 2019.
8. Park SH, Shin SE. Molecular species identification of forensically important flies in Korea. *Korean J Leg Med* 2013;37:177-82.
9. Shin SE. A literatural review on the research trends and development direction of forensic entomology in Korea. *J Sci Crim Invest* 2020;14:275-83.
10. Gallagher MB, Sandhu S, Kimsey R. Variation in developmental time for geographically distinct populations of the common green bottle fly, *Lucilia sericata* (Meigen). *J Forensic Sci* 2010;55:438-42.
11. Amendt J, Anderson G, Campobasso CP, et al. Standard practices. In: Tomberlim JK, Benbow ME, eds. *Forensic entomology: international dimensions and frontiers*. New York: CRC Press; 2015. p. 381-98.

12. Roe A, Higley LG. Development modeling of *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). PeerJ 2015;3:e803.
13. Liu SS, Zhang GM, Zhu J. Influence of temperature variations on rate of development in insects: analysis of case studies from entomological literature. Ann Entomol Soc Am 1995;88:107-19.
14. LaMotte LR, Roe AL, Wells JD, et al. A statistical method to construct confidence sets on carrion insect age from development stage. J Agric Biol Environ Stat 2017;22:161-71.
15. Zhang X, Li Y, Shang Y, et al. Development of *Sarcophaga dux* (Diptera: Sarcophagidae) at constant temperatures and differential gene expression for age estimation of the pupae. J Therm Biol 2020;93:102735.
16. Wang Y, Li LL, Wang JF, et al. Development of the green bottle fly *Lucilia illustris* at constant temperatures. Forensic Sci Int 2016;267:136-44.
17. Zhang Y, Wang Y, Yang L, et al. Development of *Chrysomya megacephala* at constant temperatures within its colony range in Yangtze River Delta region of China. Forensic Sci Res 2018;3:74-82.
18. Zhang Y, Wang Y, Sun J, et al. Temperature-dependent development of the blow fly *Chrysomya pinguis* and its significance in estimating postmortem interval. R Soc Open Sci 2019;6:190003.
19. Wang Y, Wang JF, Zhang YN, et al. Forensically important *Boettcherisca peregrina* (Diptera: Sarcophagidae) in China: development pattern and significance for estimating postmortem interval. J Med Entomol 2017;54:1491-7.
20. Yang L, Wang Y, Li L, et al. Temperature-dependent development of *Parasarcophaga similis* (Meade 1876) and its significance in estimating postmortem interval. J Forensic Sci 2017;62:1234-43.
21. Wang Y, Hu G, Zhang Y, et al. Development of *Muscina stabulans* at constant temperatures with implications for minimum postmortem interval estimation. Forensic Sci Int 2019;298:71-9.
22. Wang Y, Zhang Y, Hu G, et al. Development of *Megaselia spiracularis* (Diptera: Phoridae) at different constant temperatures. J Therm Biol 2020;93:102722.
23. Zuha RM, Omar B. Developmental rate, size, and sexual dimorphism of *Megaselia scalaris* (Loew) (Diptera: Phoridae): its possible implications in forensic entomology. Parasitol Res 2014;113:2285-94.
24. Clark K, Evans L, Wall R. Growth rates of the blowfly, *Lucilia sericata*, on different body tissues. Forensic Sci Int 2006;156:145-9.
25. Charabidze D, Bourel B, Gosset D. Larval-mass effect: Characterisation of heat emission by necrophagous blowflies (Diptera: Calliphoridae) larval aggregates. Forensic Sci Int 2011;211:61-6.
26. Grassberger M, Reiter C. Effect of temperature on *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) development with special reference to the isomegalen- and isomorphen-diagram. Forensic Sci Int 2001;120:32-6.
27. Donovan SE, Hall MJ, Turner BD, et al. Larval growth rates of the blowfly, *Calliphora vicina*, over a range of temperatures. Med Vet Entomol 2006;20:106-14.
28. Greenberg B. Flies as forensic indicators. J Med Entomol 1991;28:565-77.
29. Nishida K. Experimental studies on the estimation of postmortem intervals by means of fly larvae infesting human cadavers. Nihon Hoigaku Zasshi 1984;38:24-41.
30. Nability PD, Higley LG, Heng-Moss TM. Effects of temperature on development of *Phormia regina* (Diptera: Calliphoridae) and use of developmental data in determining time intervals in forensic entomology. J Med Entomol 2006;43:1276-86.
31. Lefebvre F, Pasquerault T. Temperature-dependent development of *Ophyra aenescens* (Wiedemann, 1830) and *Ophyra capensis* (Wiedemann, 1818) (Diptera, Muscidae). Forensic Sci Int 2004;139:75-9.
32. Park SH, Zhang Y, Piao H, et al. Use of cytochrome c oxidase subunit i (COI) nucleotide sequences for identification of the Korean Luciliinae fly species (Diptera: Calliphoridae) in forensic investigations. J Korean Med Sci 2009;24:1058-63.
33. Wells JD, Wall R, Stevens JR. Phylogenetic analysis of forensically important *Lucilia* flies based on cytochrome oxidase I sequence: a cautionary tale for forensic species determination. Int J Legal Med 2007;121:229-33.
34. Sonet G, Jordaens K, Braet Y, et al. Why is the molecular identification of the forensically important blowfly species *Lucilia caesar* and *L. illustris* (family Calliphoridae) so problematic? Forensic Sci Int 2012;223:153-9.
35. Yang ST, Shiao SF. Temperature adaptation in *Chrysomya megacephala* and *Chrysomya pinguis*, two blow fly species of forensic significance. Entomol Exp Appl 2014;152:100-7.
36. Matuszewski S, Bajerlein D, Konwerski S, et al. An initial study of insect succession and carrion decomposition in various forest habitats of Central Europe. Forensic Sci Int 2008;180:61-9.
37. Dadour IR, Cook DF, Wirth N. Rate of development of *Hydrotaea rostrata* under summer and winter (cyclic and constant) temperature regimes. Med Vet Entomol 2001;15:177-82.
38. Reibe S, Madea B. Use of *Megaselia scalaris* (Diptera: Phoridae) for post-mortem interval estimation indoors. Parasitol Res 2010;106:637-40.