

돼지 사체에 출현하는 곤충상의 천이에 대한 연구

정재봉 · 윤명희*

경성대학교 이과대학 생물학과

Received July 18, 2008 / Accepted October 12, 2008

A Study on the Arthropod Succession in Exposed Pig Carrion. Jae Boung Jung and Myung Hee Yoon*. *Department of Biology, Kyung Sung University, Busan 608-736, Korea* - This study was carried out to offer the forensic entomological evidence to estimate the postmortem interval (PMI) based on the decomposing state of the pig carrion and the arthropod succession in exposed carrion. A total of 48 species of 28 families belonging to 7 orders were collected, and dominant insect varied with season, i. e., the Calliphoridae in March, May and October, both of the Calliphoridae and the Staphylinidae in July, and the Staphylinidae in September. The Calliphoridae was the first visiting insect throughout all the seasons as well as the index insect dominant in the early decomposing stage. The index insect in the later decomposing stage, however, was the Staphylinidae throughout all the seasons except in March. In March, the Muscidae was dominant, presumably because the flies consistently arrived throughout the extended period of decomposition of the carrion owing to the low ambient temperature of the season. In this connection, it is known that not only the decomposition stage of the carrion and the carrion-associated insect but also the climatological condition of the region have to be taken into consideration to estimate the PMI.

Key words : Arthropod succession, forensic entomology, Calliphoridae, PMI

서 론

사체는 곤충에 있어 중요한 먹이공급원인데, 사체의 사후 경과시간에 따라 사체에 모여드는 곤충들의 종류가 달라, 사체 주변에서 채집되는 곤충들은 사체의 사망시간을 추정하는 법의학적 증거로 이용될 수 있다[9]. 일반적으로 법의학에서 사후경과시간(postmortem interval, PMI)을 추정하기 위한 방법으로는 사체의 체온을 측정하거나 안구 내 칼륨의 수치를 확인하는 방법[10,12,13] 등이 쓰여 왔지만 사후 72시간이 지난 후에는 이런 측정치를 사용할 수 없으므로 법의곤충학적 연구가 때로는 사망시간을 측정할 수 있는 유일한 방법이 되기도 한다[1].

법의곤충학적 증거는 프랑스에서 1850년에 최초로 법률상 증거로 채택되었는데, 이후 법의곤충학에 대한 연구는 점차 증가하였고, 현재 유럽 및 미국, 캐나다, 남미 일부에서 이 방면의 연구가 활발하게 진행 중에 있다[1,4-8,20,21,26-28]. 법의곤충학적 연구를 위해서는 주로 집돼지(*Sus scrofa*)가 이용되는데 집돼지는 피부에 털이 적어 비교적 넓은 면적이 노출되어 있고, 잡식성이어서 소화기관의 구조가 사람과 유사하며, 더욱이 손쉽게 구할 수 있는 실험 재료이므로 법의학 연구에 많이 사용된다. 한편 우리나라에서는 법의곤충학적 연구로서 물고기나 토끼, 새 등을 이용하여 실험한 소수의

연구가 있을 뿐이며[18,19], 집돼지 등 인간의 크기에 근접한 동물을 이용한 논문은 아직까지는 보고된 바 없다.

본 연구의 목적은 집돼지(*Sus scrofa*)를 계절별(봄~가을)로 설치하여 환경에 따른 사체부패의 속도를 알아보고, 각 계절별로 채집된 곤충들의 천이패턴을 조사하여 사체의 사후 경과시간을 추정하기 위한 법의곤충학적 자료를 얻는데 있다.

재료 및 방법

부산의 황령산(동경 129° 04' 14" ~ 129° 06' 43", 북위 35° 08' 08" ~ 35° 10' 09", 해발 약 429 m)에서 5회 즉, 2006년 5월, 2007년 3월, 7월, 9월 및 10월에 집돼지 사체를 각각 1구씩 설치하였다. 부산은 대체로 온화한 지역으로, 각 계절의 평균기온과 습도는 각각 봄(3월~5월) 13.0°C와 63%, 여름(6월~8월) 23.5°C와 81.6%, 가을(9월~11월) 16.9°C와 66.3%, 겨울(12월~2월) 4.3°C와 52.5%로서 네 계절이 뚜렷하다.

실험에 사용한 집돼지 다섯 마리의 무게는 각각 17~25 kg로서, 매 실험마다 집돼지를 도축한 직후 실험장소의 지상에 설치하고, 15 mm 간격의 철망(80 cm×40 cm×40 cm)을 덮어 다른 포식동물들의 접근을 막았다. 한편 제 2차 실험인 2007년 3월 실험부터는 이전 실험으로 인한 환경변화로부터의 영향을 최소화하기 위해서, 사체를 직전 실험장소로부터 30 m 이상 떨어진 장소에 설치하였다.

사체의 부패단계는 Moon과 Moon [19]에 따라 다음의 5

*Corresponding author

Tel : +82-51-620-4642, Fax : +82-51-620-4645

E-mail : yhyun@ks.ac.kr

단계로 나누었다.

주검발생 단계(Fresh stage): 일반적으로 사체가 사망한 직후를 말하며, 이때 사체는 외형적 변화가 거의 없고 사체의 온도는 주변의 기온과 비슷하며 냄새가 거의 나지 않는다.

팽창단계(Bloated stage): 사체 내부의 박테리아나 원생동물들의 활동으로 부패가 시작되어 가스가 생성되며, 이로 인해 사체의 복부가 팽창되며, 악취가 나기 시작한다. 사체의 온도가 외부기온보다 높아지기 시작하며, 사체의 무게는 조금씩 감소하기 시작한다.

부패단계(Decay stage): 사체의 부패속도가 빨라지고 파리 유충들의 섭식활동이 일어나는 시기로서, 부패와 곤충의 섭식활동으로 인해 복부에 구멍이 뚫리고 가스가 빠져 나가며, 사체의 악취가 심해지고 사체의 무게가 급격하게 감소하며, 사체의 내부 온도는 최고로 올라간다.

건조단계(Dry stage): 사체에서 뼈와 연골, 피부과 털을 제외한 대부분의 조직들이 사라지고 무게의 감소율이 떨어지며, 사체의 온도는 주위 기온과 비슷해진다. 악취는 점점 감소한다.

백골화단계(Bonified stage): 피부 외 다른 조직들도 포식되거나 부패하여 뼈만 남은 상태를 말한다. 악취는 매우 감소하거나 나지 않는다.

각 사체의 무게와 온도 및 주변의 온도를 실험개시일로부터 처음 10일 까지는 매일, 20일째 까지는 2일 간격으로, 그 이후는 3~5일 간격으로 측정하였다. 사체의 무게는 이동용 저울(HS-25K, Basco Co. China)을 이용하여 측정하였고, 사체의 온도와 외부 온도는 Dallas semiconductor사의 자동온도기록장치(Data logger, Thermochron iButton™, DS1921L-F51, Dallas semiconductor Co., Lst., USA)를 이용하였다. 한편, 제 1차 실험을 위하여 2006년 5월에 설치한 사체에 대해서는 사체의 무게와 사체의 온도 및 주변의 온도를 측정하지 못했으며, 건조단계 이후에는 주변의 토목공사로 인해 실험장소가 폐쇄됨으로써 사체를 관찰할 수 없었다. 또한 제 4차 실험을 위하여 2007년 9월에 설치한 사체의 경우 태풍 '나리'로 인해 자동온도기록장치가 유실되어 사체의 온도를 측정하지 못하였다.

각 사체 설치 직후 모여드는 곤충을 각 단계별로 포충망을 사용하여 사체 주변에서 채집하였다. 또한 사체에서 10 cm 떨어진 곳에 10~15 cm 깊이로 pitfall trap 4개를 설치하였고, 일부 기어 다니는 성충과 유충들은 핀셋을 이용하여 직접 채집하였다. 채집된 표본들 중 성충들은 70% 알코올에 넣어 보관하였고, 유충들은 끓는 물에 담근 후 70% 알코올에 보관하였다. 사체 관찰 개시 처음 10일간(1~10일)은 하루에 한번씩, 그 이후 10일간(11~20일)은 2일에 한번씩, 21일 이후(~115일)는 4~10일 간격으로 사체를 방문하여 관찰되는 거의 모든 곤충을 채집하였다. 표본의 동정을 위해서 Lee [15]의 한국곤충생태도감을 참조하였다.

결 과

사체의 부패 기간, 무게 및 온도의 변화

각 실험기간 중에 측정된 주위 온도와 강수량은 각각 2006년 5월에는 10.5~28°C(평균 17.8°C, 기상청, 2006자료 참고)와 504.8 mm, 2007년 3월에는 10~26°C(평균 17.0°C, 이하 실험기온)와 531.2 mm, 2007년 7월에는 20~31°C(평균 24.5°C)와 85.50 mm, 2007년 9월에는 20.5~29.5°C(평균 24.8°C)와 113 mm, 2007년 10월에는 14.5~26°C(평균 19.8°C)와 35.5 mm를 기록하였다(Fig. 1~5). 한편 2006년 5월에 설치한 사체의 경우 주검발생단계, 팽창단계, 부패단계 및 건조단계 별로 각각 3일, 5일, 3일 및 43일이상이 걸려 총 54일 이상이 경과되었으며, 2007년 3월에는 5일, 9일, 26일 및 73일이 걸려 총 113일이, 2007년 7월에는 2일, 2일, 2일 및 1일이 걸려 총 7일이, 2007년 9월에는 3일, 2일, 2일 및 5일로 총 12일이, 2007년

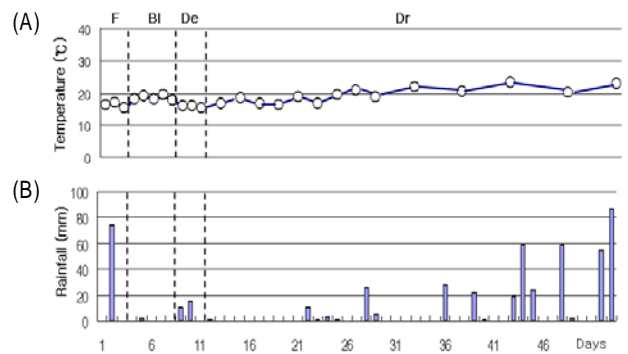


Fig. 1. Changes in the ambient temperature (—○—) (A) and rainfall (B) in May 2006. F, fresh stage; Bl, bloated stage; De, decay stage; Dr, dry stage.

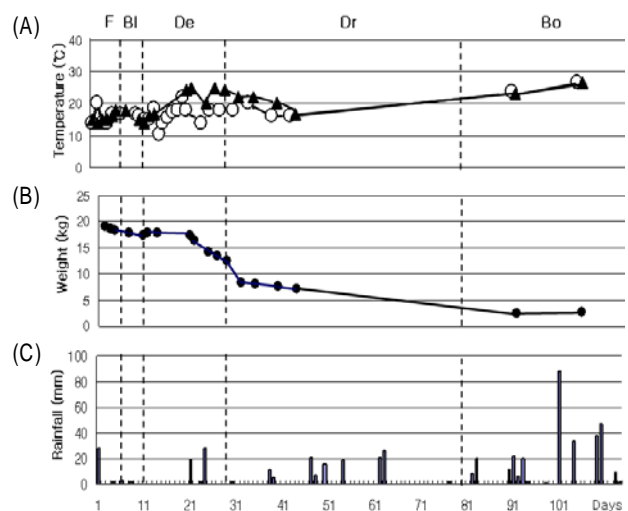


Fig. 2. Changes in the temperatures of ambience (—○—) and carrion (—▲—) (A), carrion weight (B) and rainfall (C) in March 2007. F, fresh stage; Bl, bloated stage; De, decay stage; Dr, dry stage; Bo, bonified stage.

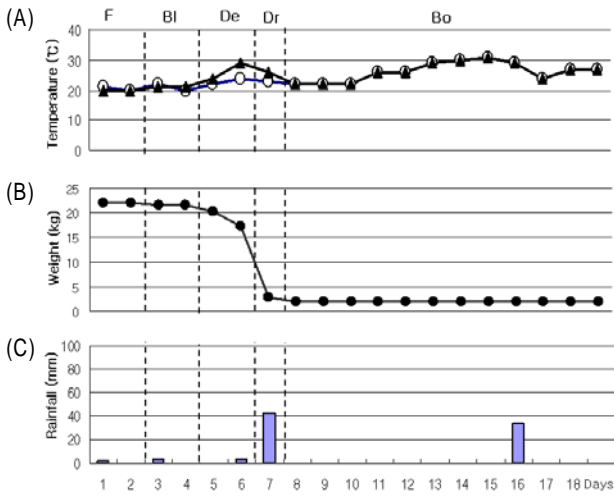


Fig. 3. Changes in the temperatures of ambience (—○—) and carrion (—▲—) (A), carrion weight (B) and rainfall (C) in July 2007. F, fresh stage; Bl, bloated stage; De, decay stage; Dr, dry stage; Bo, bonified stage.

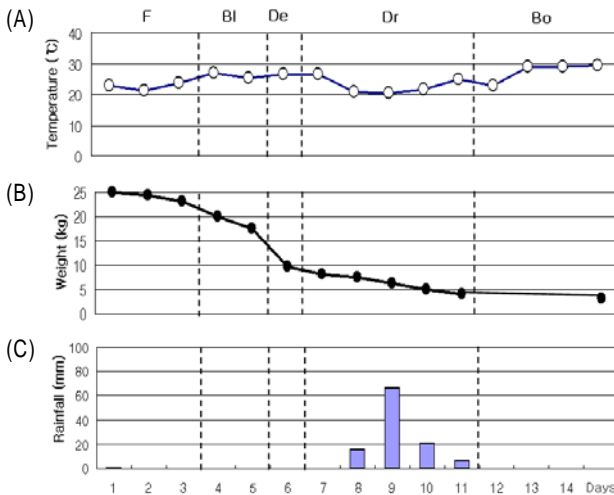


Fig. 4. Changes in the ambient temperature (—○—) (A), carrion weight (B) and rainfall (C) in September 2007. F, fresh stage; Bl, bloated stage; De, decay stage; Dr, dry stage; Bo, bonified stage.

10월에는 주검발생단계, 팽창단계 및 부패단계 별로 각각 4일, 3일 및 3일이 걸렸으며, 건조단계는 40일 이상으로서 총 50일 이상이 걸렸다(Table 1). 한편 사체의 무게는 2007년 3월, 7월, 9월 및 10월 모두, 팽창단계부터 감소하기 시작해서 부패단계에서 급감하는 현상을 나타내었고, 사체가 거의 부패하여 사체의 무게가 약 1/10로 감소하는데 걸리는 기간은 2007년 3월에는 약 90일, 2007년 7월에는 약 7일, 2007년 9월에는 약 16일, 2007년 10월에는 약 16일이 걸려, 7월에 무게가 가장 빨리 감소함을 알 수 있었다(Fig. 2~5).

사체의 온도 변화를 비교하면 2007년 3월, 7월 및 10월 모두 팽창단계부터 온도가 상승하기 시작해서 부패단계에 최

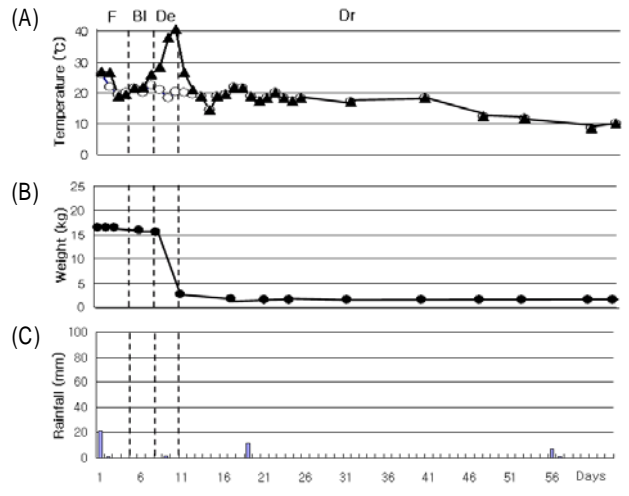


Fig. 5. Changes in the temperatures of ambience (—○—) and carrion (—▲—) (A), carrion weight (B) and rainfall (C) in October 2007. F, fresh stage; Bl, bloated stage; De, decay stage; Dr, dry stage.

Table 1. Elapsed time (days) for the decomposition of pig carcasses

	Decomposition stage				Total
	Fresh	Bloated	Decay	Dry	
May 2006	3	5	3	43+	54+
March 2007	5	9	26	73	113
July 2007	2	2	2	1	7
September 2007	3	2	2	5	12
October 2007	4	3	3	40+	50+

고 온도를 나타내어 주변의 온도보다 5~20°C 높게 상승하였다(Fig. 2, 3, 5). 또한 10월에 설치한 사체의 최고 온도(40°C)는 3월(25°C)과 7월에 설치한 사체(31°C)에 비해 더 높았다.

곤충상의 변화

5차에 걸친 실험 기간을 통해서 총 7목 28과 48종 1,157개체의 곤충들이 채집되었으며, 모든 실험 시기에 파리의 유충이 주검발생단계부터 관찰되기 시작해서 부패단계에 사체에 대부분을 덮을 정도로 증가하며 건조단계 이후 감소하였다. 각 실험시기에 대한 곤충상의 변화를 Table 2~6에 제시하였다.

2006년 5월

위에서 언급한 바와 같이 사체 설치 후 건조단계가 진행되는 도중에 조사장소가 폐쇄되어, 그 이후의 관찰은 불가능했다. 사체설치 후 건조단계 도중까지 4목 17과 24종이 채집되었고, 벌목(Hymenoptera) 개미과(Formicidae)의 2종이 관찰되었다(Table 2). 파리목(Diptera) 검정파리과(Calliphoridae)의 금파리속의 1종(Lucilia sp.a)이 가장 먼저 도착했고, 검정파리과(2

Table 2. The list of insects collected at each stage from the pig carrion in May 2006

Order	Family and species	No. of specimens (%)				
		Total	Fresh (1-3)	Bloated (4-8)	Decay (9-11)	Dry (12-54<)
Coleoptera	Carabidae	23(8.1)				
	Carabidae sp.a			1(1.1)	1(2.2)	1(0.9)
	Carabidae sp.b					20(18.5)
	Harpalidae	7(2.5)				
	<i>Planetes puncticeps</i>				1(2.2)	6(5.5)
	Histeridae	23(8.1)				
	Histeridae sp.a				1(2.2)	22(20.3)*
	Lampyridae	2(0.7)				
	<i>Lycluuris rufa</i>				1(2.2)	1(0.9)
	Latriidae	1(0.4)				
	<i>Linnaeidae aenea</i>			1(1.1)		
	Nitidulidae	1(0.4)				
	<i>Glischrochilus ipsodes</i>					1(0.9)
	Rutelidae	2(0.7)				
	<i>Popillia mutans</i>					1(0.9)
	<i>Mimela splendens</i>					1(0.9)
Silphidae	3(1.6)					
<i>Eusilpha bicolor</i>				1(2.2)	2(1.8)	
Staphylinidae	24(8.4)					
<i>Creophilus maxillosus</i>			1(1.1)			
<i>Ocypus weisei</i>					17(15.7)	
<i>Philonthus japonicus</i>					4(3.7)	
Staphylinidae sp.a			1(1.1)		1(0.9)	
Dermaptera	Labiduridae	3(1.1)				
	<i>Labidura riparia</i>			2(2.2)		1(0.9)
Diptera	Bombyliidae	5(1.8)				
	<i>Bombylius major</i>					5(4.6)
	Calliphoridae	123(43.6)				
	<i>Calliphora lata</i>		2(14.3)	3(3.2)	12(27.2)*	6(5.5)
	<i>Lucilia</i> sp.a		12(85.7)*	70(75.2)*	12(27.2)*	6(5.5)
	Culicidae	2(0.7)				
	Culicidae sp.a					2(1.8)
	Muscidae	45(16.0)				
	<i>Fannia</i> sp.a			3(3.2)	11(25.0)	13(12.0)
	<i>Ophyra leucostoma</i>			5(5.3)	2(4.5)	11(10.1)
Sarcophagidae	3(1.1)					
<i>Parasarcophaga</i> sp.a			1(1.0)	1(2.2)	1(0.9)	
Sepsidae	9(3.2)					
<i>Spasis</i> sp.a			6(6.4)		3(2.7)	
Hemiptera	Coreidae					
	<i>Homoeocerus unipunctatus</i>	1(0.4)				1(0.9)
Hymenoptera	Formicidae					
	<i>Camponotus japonicus</i>			**		
	Formicidae sp.a		**			
Total	Family	17	1	8	8	16
	Species [specimens]	24[277]	2[14]	11[94]	10[43]	22[126]

Numerals in parentheses of each stage indicate the PMI (days).

* Dominant species at each stage.

** Observed but not collected.

종, 123개체, 43.6%)와 집파리과(Muscidae, 2종, 45개체, 16%)의 곤충이 다수 채집되었다. 건조단계의 곤충상이 가장 다양하였으며, 부패단계까지는 검정파리과가 많이 보였지만, 건조단

계에는 딱정벌레과(Carabidae), 풍뎅이붙이과(Histeridae), 반날개과(Staphylinidae) 등 딱정벌레목(Coleoptera)의 곤충들이 많이 관찰되었다.

2007년 3월

5목 14과 28종이 채집되었고, 검정파리과의 금파리속의 1종 (*Lucilia* sp.a)과 큰검정파리(*Calliphora lata*)가 가장 먼저 도착했으며, 검정파리과(7종, 231개체, 44.2%)와 집파리과(3종, 221개체, 42.2%)의 곤충이 다수 채집되었다(Table 3). 부패단계의

곤충상이 가장 다양했으며, 팽창단계까지는 검정파리과가 많았지만 부패단계 이후에는 집파리과가 가장 많이 관찰되었다.

2007년 7월

4목 14과 21종이 채집되었고, 검정파리과 금파리속의 1종 (*Lucilia* sp.a)과 쉬파리과(*Sarcophagidae*) 쉬파리속의 1종

Table 3. The list of insects collected at each stage from the pig carrion in March 2007

Order	Family and species	No. of specimens (%)					
		Total	Fresh (1-5)	Bloated (6-14)	Decay (15-40)	Dry (41-113)	Bonfied (114<)
Blattaria	Blattellidae	1(0.2)					
	<i>Blattella germanica</i>				1(0.3)		
Coleoptera	Carabidae	5(1)					
	Carabidae sp.a				3(0.9)	1(4)	
	Carabidae sp.b				1(0.3)		
	Harpalidae	5(1)					
	<i>Planetes puncticeps</i>			3(2.8)	1(0.3)	1(4)	
	Silphidae	7(1.3)					
	<i>Eusilpha bicolor</i>				2(0.6)		
	<i>Nicrophorus maculifrons</i>			3(2.8)	2(0.6)		
	Staphylinidae	15(2.9)					
	<i>Creophilus maxillosus</i>				2(0.6)	2(8)	
<i>Ocypus weisei</i>				3(0.9)	1(4)		
<i>Philonthus japonicus</i>				1(0.3)			
Staphylinidae sp.a				5(1.5)	1(4)		
Diptera	Bombyliidae	2(0.4)					
	<i>Bombylius major</i>				2(0.6)		
	Calliphoridae	231(44.2)					
	<i>Aldrichina grahami</i>			3(2.8)	3(0.9)		
	<i>Calliphora lata</i>		15(57.6)*	49(45.7)*	46(13.3)	4(16)	1(10)
	<i>Calliphora vicina</i>		1(3.8)	1(0.9)	1(0.3)		
	<i>Lucilia caesar</i>		2(7.7)		12(3.5)	1(4)	3(30)
	<i>Lucilia</i> sp.a		2(7.7)		2(0.6)		
	<i>Lucilia</i> sp.b		3(11.5)	2(1.8)	11(3.2)		
	<i>Lucilia sericata</i>		3(11.5)	18(16.8)	48(13.9)		
	Muscidae	221(42.2)					
	<i>Fannia</i> sp.a			18(16.8)	150(43.6)*	15(60)*	6(60)*
	<i>Muscina pascuorum</i>			1(0.9)			
<i>Ophyra leucostoma</i>				30(8.7)	1(4)		
Sarcophagidae	16(3.1)						
<i>Parasarcophaga similis</i>			6(5.6)	6(1.8)			
<i>Parasarcophaga</i> sp.a			3(2.8)	1(0.3)			
Sepsidae	16(3.1)						
<i>Spasis</i> sp.a			3(2.8)	13(3.8)			
Syrphidae	1(0.2)						
<i>Eristalis tenax</i>				1(0.3)			
Hemiptera	Pyrrhocoridae	1(0.2)					
	<i>Pyrrhocoris sibiricus</i>				1(0.3)		
Hymenoptera	Chalcididae	2(0.4)					
	<i>Chalcis biguttata</i>				2(0.6)		
	Vespidae	1(0.2)					
<i>Vespa crabro</i>				1(0.3)			
Total	Family	14	1	6	14	5	2
	Species [specimens]	28[524]	6[26]	12[110]	27[351]	9[27]	3[10]

Numerals in parentheses of each stage indicate the PMI (days).

* Dominant species at each stage.

(*Parasarcophaga* sp.a)이 가장 먼저 도착했으며, 딱정벌레목의 반날개과(3종, 45개체, 28.1%)와 파리목의 검정파리과(4종, 45개체, 28.1%)가 다수 채집되었다(Table 4). 나타나는 종수가 2006년 5월과 2007년 3월에 비해 감소하였고, 특히 부패단계에 더욱 감소했다. 팽창단계까지는 검정파리과가 많이 나타나지만, 부패단계 이후에는 딱정벌레목이 많이 나타났다. 즉, 부패단계와 건조단계에는 반날개과가, 백골화단계에는 풍뎅이붙이과가 가장 많이 관찰되었다.

2007년 9월

4목 12과 13종이 채집되었고, 검정파리과의 구리금파리(*Lucilia sericata*)가 가장 먼저 도착했으며, 반날개과(3종, 77개체, 64.2%)가 가장 많이 채집되었다(Table 5). 나타나는 종수가 이전 실험기간들에 비해서 매우 감소했으며, 특히 팽창단계와 부패단계에는 2~3종 만이 보였고, 백골화단계에는 전혀 관찰되지 않았다. 검정파리과가 주검발생단계에는 가장 많이 관찰되었지만, 팽창단계부터 건조단계까지는 반날개과가 가장 많

Table 4. The list of insects collected at each stage from the pig carrion in July 2007

Order	Family and species	No. of specimens (%)					
		Total	Fresh (1-2)	Bloated (3-4)	Decay (5-6)	Dry (7)	Bonfied (8<)
Coleoptera	Carabidae	13(8.1)					
	Carabidae sp.a				2(22.2)*	3(5.3)	7(20.5)
	<i>Damaster smaragdinus</i>						1(2.9)
	Histeridae	17(10.6)					
	Histeridae sp.a					3(5.2)	12(35.2)*
	Histeridae sp.b					1(1.7)	1(2.9)
	Rutelidae	2(1.2)					
	<i>Popillia mutans</i>			1(2)	1(11.1)		
	Silphidae	11(6.9)					
	<i>Eusilpha bicolor</i>				2(22.2)*	6(10.5)	3(8.8)
Staphylinidae	Staphylinidae	45(28.1)					
	<i>Creophilus maxillosus</i>				2(22.2)*	20(35.0)*	4(11.7)
	<i>Ocypus weisei</i>					9(15.7)	5(14.7)
	Staphylinidae sp.a				1(11.1)	4(7.0)	
Diptera	Calliphoridae	45(28.1)					
	Calliphoridae sp.						**
	<i>Calliphora lata</i>		2(20)	17(34)*	1(11.1)		
	<i>Lucilia</i> sp.a		3(30)*	5(10)		4(7.0)	
	<i>Lucilia</i> sp.b		2(20)	3(6)			
	<i>Lucilia sericata</i>		2(20)	6(12)			
	Culicidae	5(3.1)					
	Culicidae sp.a			5(10)			
	Muscidae	8(5)					
	<i>Fannia</i> sp.a			6(12)		2(3.5)	
Sarcophagidae	4(2.5)						
<i>Parasarcophaga</i> sp.a		1(10)	1(2)		2(3.5)		
Sepsidae	3(1.9)						
<i>Spasia</i> sp.a					3(5.2)		
Hemiptera	Pentatomidae	1(0.6)					
	Pentatomidae sp.a						1(2.9)
Hymenoptera	Chalcididae	1(0.6)					
	<i>Chalcis biguttata</i>			1(2)			
	Formicidae	3(1.9)					
	<i>Camponotus japonicus</i>			3(6)			
Vespidae	Vespidae	2(1.3)					
	<i>Vespa crabro</i>			2(4)			
Total	Family	14	2	8	5	8	5
	Species [specimens]	21[160]	5[10]	11[50]	6[9]	11[57]	9[34]

Numerals in parentheses of each stage indicate the PMI (days).

* Dominant species at each stage.

** Observed but not collected.

Table 5. The list of insects collected at each stage from the pig carrion in September 2007

Order	Family and species	No. of specimens (%)					
		Total	Fresh (1-3)	Bloated (4-5)	Decay (6-7)	Dry (8-12)	Bonfied (13<)
Coleoptera	Harpalidae	1(0.8)					
	<i>Planetes puncticeps</i>					1(2.3)	
	Histeridae	2(1.6)					
	Histeridae sp.a					2(4.6)	
	Silphidae	8(6.6)					
	<i>Eusilpha bicolor</i>					8(18.6)	
	Staphylinidae	77(64.2)					
	<i>Creophilus maxillosus</i>		3(20)	28(93.3)*	29(87.8)*	15(34.8)*	
	<i>Ocypus weisei</i>			1(3.3)		1(2.3)	
Diptera	Calliphoridae	15(15.7)					
	<i>Lucilia</i> sp.a			**			
	<i>Lucilia sericata</i>		8(53.3)*		4(12.1)	3(7)	
	Conopidae	1(0.8)					
	<i>Conops curtulus</i>					1(2.3)	
	Culicidae	1(0.8)					
	Culicidae sp.a					1(2.3)	
	Muscidae	2(1.6)					
	<i>Fannia</i> sp.a		2(13.3)				
Hymenoptera	Formicidae	1(0.8)					
	<i>Camponotus japonicus</i>					1(2.3)	
	Vespidae	8(6.6)					
	<i>Vespa crabro</i>		2(13.3)			6(13.9)	
Orthoptera	Gryllidae	3(2.5)					
	<i>Teleogryllus emma</i>			1(3.3)		2(4.6)	
	Rhaphidophoridae	1(0.8)					
	Rhaphidophoridae sp.a					1(2.3)	
Total	Family	12	4	2	2	11	
	Species [specimens]	13[120]	4[15]	3[30]	2[33]	12[42]	-

Numerals in parentheses of each stage indicate the PMI (days).

* Dominant species at each stage.

** Observed but not collected.

이 나타났다. 특히 건조단계에는 반날개과 등, 딱정벌레목의 곤충이 주로 포획되었고, 말벌과(Vespidae)의 말벌(*Vespa crabro*)이 비교적 많이 채집된 점도 특징적이었다.

2007년 10월

3목 7과 8종이 채집되었고, 검정파리과의 구리금파리(*Lucilia sericata*)가 가장 먼저 도착했으며, 검정파리과(2종, 28개체, 49.1%)와 말벌과(1종, 9개체, 15.8%)가 많이 채집되었다(Table 6). 이 기간 중에는 관찰되는 종수가 가장 적었고, 검정파리과가 전 기간동안 가장 많이 관찰되었다. 반날개과가 부패단계부터 나타났었고, 말벌이 전 기간 중에 나타난 점이 특징적이었다.

고 찰

사체의 부패 속도, 무게 및 온도 변화
 사체의 부패 속도에 영향을 미치는 요인으로서 온도, 습도,

강수량, 토양의 산도, 사체의 외상, 곤충들의 접근용이성, 매장된 깊이, 육식동물과 설치동물의 활동, 사체의 크기와 무게, 사체가 놓여진 곳의 표면상태, 의복류, 방부처리 등이 있다고 보고된 바 있다[25].

본 연구결과 사체가 백골화 직전 단계에 이르기까지 주위 온도가 비교적 낮은 2007년 3월(주위 온도 10~26°C, 평균 17°C)에는 113일, 2006년 5월(주위 온도 10.5~28°C, 평균 17.8°C)에는 54일이, 주위 온도가 높아진 7월(주위 온도 20~31°C, 평균 24.5°C)과 9월(주위 온도 20~29°C, 평균 24.8°C)에는 각각 7일과 12일이 걸렸으며, 다시 주위 온도가 낮아진 10월(주위 온도 14.5~26°C, 평균 19.8°C)에는 53일 이상이 걸려, 사체의 부패속도는 주위의 온도가 높을수록 빠르게 진행됨을 알 수 있었다. 이러한 경향은 열대성 기후지역 또는 남반구에 위치한 지역의 연구에서도 보고된 바 있는데, 하와이의 오하우섬에서 7월(여름, 평균기온 29.4°C)에 수행된 연구에서 백골화직전 단계까지 약 20일이 걸렸으며[27], 남반구 아르헨티나

Table 6. The list of insects collected at each stage from the pig carrion in October 2007

Order	Family and species	No. of specimens (%)				
		Total	Fresh (1-4)	Bloated (5-7)	Decay (8-10)	Dry (11-54<)
Coleoptera	Carabidae	1(1.8)				
	Carabidae sp.b					1(4)
	Staphylinidae <i>Creophilus maxillosus</i>	6(10.5)			**	6(24)*
Diptera	Calliphoridae	28(49.1)				
	<i>Lucilia caesar</i>		9(60)*	8(57.1)*	1(33.3)*	3(12)
	<i>Lucilia sericata</i>		2(13.3)		1(33.3)*	4(16)
	Muscidae	6(10.5)				
	<i>Fannia</i> sp.a			3(21.4)		3(12)
Stratiomyidae	Stratiomyidae	1(1.8)				
	Stratiomyidae sp.a		1(6.7)			
Hymenoptera	Formicidae	6(10.5)				
	<i>Myrmica sulcinodis</i>					6(24)*
	Vespidae	9(15.8)				
	<i>Vespa crabro</i>		3(20)	3(21.4)	1(33.3)*	2(8)
	Family	7	3	3	2	6
Total	Species [specimens]	8[57]	4[15]	3[14]	3[3]	7[25]

Numerals in parentheses of each stage indicate the PMI (days).

* Dominant species at each stage.

** Observed but not collected.

의 부에노스아이레스에서 실행된 연구에서 여름(최고 40°C)에는 약 16일, 겨울(최고 17~18°C)에는 약 63일이[2], 콜롬비아의 메틀린(주위 온도 20~24.5°C)[16]과 안데스산맥의 고산지대(주위 온도 10~22°C)[17]에서 수행된 연구에서는 각각 51일이 걸렸다고 보고된 바 있다.

사체의 부패속도에 영향을 주는 또 하나의 중요한 요인으로서 사체에 모여드는 포식자의 섭식활동에 의한 영향을 들 수 있다. 사체의 부패속도에 영향을 주는 포식자로서 박테리아, 원생동물 및 부화된 시식성 파리유충 등을 들 수 있는데, 이들의 활동이 활발할수록 사체 내부의 온도가 상승함이 알려져 있다[23]. 본 연구에서도 이들의 활동이 가장 활발한 부패단계 또는 건조단계의 사체 온도가 주위 온도보다 각각 최고 5~20°C 높은 점이 이를 뒷받침하고 있다(Fig. 2, 3, 5). 한편, 2007년 10월 중의 사체 온도(최고 40°C)가 2007년 7월(최고 31°C)에 비해 더 상승한 것은 흥미로우며, 이는 10월 중에는 비가 거의 내리지 않아 유충의 섭식활동이 지속적으로 활발하게 진행된 반면(Fig. 5), 7월 중에는 유충들이 10월과 유사한 정도로 대량 부화했음에도 불구하고, 자주 내린 비에 의해서 유충 또는 박테리아 등의 활동이 억제되어 사체 온도가 상승하지 못한 것이라고 생각되었다(Fig. 3).

곤충상의 변화

본 연구 결과, 사체에 많이 모이는 곤충들의 종류는 주로 파리목 검정파리과와 딱정벌레목 반날개과의 곤충이지만, 계

절에 따라 많이 나타나는 곤충의 종류가 변하는 것을 알 수 있었다. 즉, 봄철인 2007년 3월과 2006년 5월, 가을철인 2007년 10월에는 검정파리과(2006년 5월, 43.6%; 2007년 3월, 44.2%; 2007년 10월 49.1%)의 곤충이, 여름철인 2007년 7월에는 검정파리과(28.1%)와 반날개과(28.1%)가 유사한 정도로 많이 나타나며, 9월에는 반날개과(64.2%)의 곤충이 가장 많이 나타났다.

한편 대부분의 법의곤충학적 연구에서 파리목의 곤충이 사체에 가장 먼저 도착하는 것으로 알려져 있는데[2-4,15,19,27], 본 연구에서도 모든 실험 기간을 통해서 가장 먼저 사체에 도착하는 곤충은 파리목의 곤충이었다. 즉, 2006년 5월에는 검정파리과에 속하는 금파리속의 1종이, 2007년 3월에는 금파리속의 1종과 큰검정파리가, 2007년 7월에는 금파리속의 1종과 쉬파리과 쉬파리속의 1종이, 2007년 9월과 10월에는 구리금파리가 각각 가장 먼저 도착하여 주로 검정파리과 곤충이 사체에 가장 먼저 접근함이 밝혀졌다. Lim [15]의 연구에서도 검정파리과의 곤충들이 가장 먼저 도착하는 종들이 보고된 바 있고, 종류는 다르지만 하와이에서도 검정파리과에 속하는 *Chrusomya megacephala*와 *Chrusomya ruffifacies*가 가장 먼저 도착하며[27], 콜롬비아(안데스산맥 고원지대, 해발 3,000 m 이상)에서도 검정파리과에 속하는 *Calliphora nigribasis*, *Comptosomyiops vrerna*, *Dasumorellia seguyi*, *Famma* sp. 및 *Limnophora* sp.가 가장 먼저 도착하는 종으로 알려져 있다[17]. 그러나 콜롬비아의 또 다른 지역(콜롬비아 메틀린, 해발 1,450 m)에서 수행된 연구에서는 쉬파리과와 집파리과의 곤충들이 사체주위에 가

장 먼저 나타나[16], 사체에 가장 먼저 도착하는 파리종류는 지역적으로 차이가 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서 검정파리과의 곤충들은 사체에 가장 먼저 도착하는 종류일 뿐 아니라, 부패초기 즉 주검발생단계부터 팽창 단계에 이르기까지 가장 많이 관찰되는 종류로서, 부산지역에서 수행된 오징어[22]와 흰쥐를 이용한 연구[18], 경남지방에서 닭고기, 돼지고기 및 쇠고기를 이용한 연구[15], 미국 버지니아주에서 집돼지를 이용한 연구[11], 콜롬비아 안데스산맥의 고원에서 집돼지를 이용한 연구[17]에서도 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 검정파리과는 사체부패초기의 지표곤충으로 이용될 수 있음이 확인되었다. 그러나 검정파리과의 개체 수는 계절에 따라 변화하여 2007년 3월에 가장 많으며, 2006년 5월 > 2007년 7월 > 2007년 10월 > 2007년 9월의 순으로 감소되는 점으로부터 검정파리과 곤충은 이른 봄에 활동이 가장 활발함을 알 수 있었다.

한편 부패후기 즉 부패단계로부터 백골화단계까지는 2007년 3월을 제외한 전 실험기간 즉, 2006년 5월과 2007년 7월, 9월 및 10월에는 포식성인 딱정벌레목 반날개과의 곤충이 다수 관찰되며, 따라서 5월 이후의 부패후기 지표곤충은 반날개과의 곤충들이 밝혀졌다. 한편 부패후기에 나타나는 반날개과 곤충의 개체수는 계절에 따라 변화하여 2007년 9월 > 2007년 7월 > 2006년 5월 > 2007년 3월 > 2007년 10월의 순으로 많이 채집되는 점으로부터 반날개과가 여름에는 활동이 활발하지만 봄과 가을에 활동이 감소함을 알 수 있었다. 부패후기에 반날개과가 많이 출현하는 경향은 Goff 와 Flynn [6], Kimberly 등[11] 및 Lim [15]의 연구에서도 보고된 바 있는데, 부패단계에 따라 많이 나타나는 곤충이 다른 이유로서, 부패초기에는 검정파리과, 쉬파리과, 집파리과 등, 부패물이나 사체를 주식으로 하는 시식성 곤충들이 모이지만, 파리목의 곤충들의 유충이 부화된 부패후기에는 파리유충들을 포식하기 위한, 반날개과 등의 포식성 곤충들이 사체에 접근하기 때문이라고 생각되었다. 반날개과가 주로 파리유충을 먹는 포식성 곤충임은 Reed [24]에 의해서 보고된 바 있다. 한편, 2007년 3월의 경우 부패후기에 반날개과도 다수 나타나지만, 파리목에 속하는 집파리과가 가장 많이 관찰되는데, 이 시기의 주위 온도는 다른 실험기간에 비해 낮고, 따라서 부패가 오랫동안 지속됨으로 인해 파리목의 곤충이 출현하는 기간이 길어져서 포획된 개체수가 증가한 것으로 생각되었다.

이상으로부터 사체의 부패속도는 주위의 온도, 기후변화 및 유충의 부화량의 영향을 받으며, 또한 사체에 모여드는 곤충은 사체의 부패초기에는 시식성 곤충이 많이 나타나지만 부패후기에는 주로 포식성 곤충이 많이 모여드는 것으로 밝혀졌다. 따라서 사체의 부패정도나 채집된 곤충을 사후경과시간을 유추하기 위한 자료로 사용하기 위해서는 사건발생지역의 기후적 요인 및 서식하는 곤충들의 생태가 고려되어야 하는 것으로 생각되었다.

요 약

본 연구는 집돼지 사체주위에서 채집되는 곤충의 천이패턴을 이용해서 사체의 사후경과시간을 추정하기 위한, 법의학적 증거모델을 제시하고자 수행되었다. 사체의 주변에서 총 7목 28과 48종의 곤충이 채집되었는데, 계절에 따라 많이 나타나는 곤충이 변하여 3월, 5월 및 10월에는 검정파리과가, 7월에는 검정파리과와 반날개과가 같은 비율로, 9월에는 반날개과가 많이 관찰되었다. 검정파리과 곤충은 모든 실험을 통해서 사체에 가장 먼저 도착하는 곤충이며 또한, 부패초기의 지표곤충임이 밝혀졌다. 그러나 부패후기의 지표곤충은 3월을 제외한 나머지 연구기간 중에는 반날개과, 3월에는 집파리과였는데, 3월에는 낮은 온도로 인해서 사체 부패 기간이 오랫동안 지속되었으므로 사체 주위에 모여든 집파리과의 개체수도 증가한 것으로 생각되었다. 이상으로부터 사체의 사후경과시간을 유추하기 위해서는 사체의 부패 정도나 사체 주변에 나타나는 곤충 뿐 아니라, 조사 지역의 기후 조건도 고려해야 할 것으로 생각되었다.

감사의 글

이 논문은 2008학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음. 곤충의 분류에 도움을 주신 진주교육대학교 조태호 교수님께 감사드립니다.

References

1. Anderson, G. and S. L. Van Laerhoven. 1996. Initial studies on insect succession on carrion in Southwestern British Columbia. *Forensic Sci. Int.* **41**, 617-625.
2. Centeno, N., M. Maldonado and A. Oliva. 2002. Seasonal patterns of arthropods occurring on sheltered and unsheltered pig carcasses in Buenos Aires Province (Argentina). *Forensic Sci. Int.* **126**, 63-70.
3. Erzincliglu, Y. Z. 1989. Entomology and the forensic scientist: How insects can solve crimes. *J. Bilo. Educ.* **23**, 300-302.
4. Goff, M. L. 1993. Estimation of postmortem interval using arthropod development and successional pattern. *Forensic Sci. Int.* **5**, 82-94.
5. Goff, M. L. and C. B. Odom. 1987. Forensic entomology in the Hawaiian Islands. Three case studies. *Am. J. Forensic Med. Pathol.* **8**, 45-50.
6. Goff, M. L. and M. M. Flynn. 1991. Determination of postmortem interval by arthropod succession: A case study from the Hawaiian Islands. *J. forensic Sci.* **36**, 607-614.
7. Goff, M. L., A. I. Omori and K. Gunatlake. 1988. Estimation of postmortem interval by arthropod succession. Three case studies from Hawaiian Island. *Am. J. Forensic Med. Pathol.* **9**, 220-225.
8. James, E. J., L. L. Niccolo and L. H. Heather. 2006. Carrion

- fly (Diptera: Calliphoridae) larval colonization of sunlit and shaded pig carcasses in West Virginia, USA. *Forensic Sci. Int.* **164**, 183-192.
9. Johnson, M. D. 1975. Seasonal and microseral variations in the insect populations on carrion. *Am. Midl. Nat.* **93**, 79-90.
 10. Jung, N. O. 1998. Vitreous potassium as a measure of the postmortem interval: a literature review and critical evaluation. *Annual Report of N. I. S. I.* **30**, 107-117.
 11. Kimberly, L. T., D. F. Richard, L. Carlyle and C. Brewster. 2005. Insect fauna visiting carrion in Southwest Virginia. *Forensic Sci. Int.* **150**, 73-80.
 12. Ku, Y. B., W. T. Lee, J. S. Suh, C. D. Gi, and G. S. Kwon. 1991. Studies on changes in sodium, potassium, chloride, BUN and creatinine in the vitreous humor and cerebrospinal fluid. *Annual Report of N.I.S.I.* **23**, 123-126.
 13. Lee, H. B., S. M. Kang, W. T. Lee, Y. C. Ko and J. H. Jo. 1991. Studies on the assumption of postmortem interval using the value of potassium in the vitreous humor. *Annual Report of N. I. S. I.* **23**, 127-130.
 14. Lee, J. O. 1998. *Insects' life in Korea*. pp. 246, Korea Insect Institute. Seoul, Korea.
 15. Lim, C. S. 2006. Arthropods associated with abandoned carcasses as forensic indicators. Unpublished Ph. D. thesis Gyeongsang University.
 16. Marta, W., U. Alejandro, O. Adriana and D. Patricia. 2001. A preliminary study of forensic entomology in Medellin, Colombia. *Forensic Sci. Int.* **120**, 53-59.
 17. Martinez, E., P. Duque and M. Wolff. 2007. Succession pattern of carrion feeding insects in Paramo, Colombia. *Forensic Sci. Int.* **166**, 182-189.
 18. Moon, T. Y. 1996. Diversity and succession of saprophagous entomofauna on exposed rabbit carrions in Pusan. *The Kosin Journal of Health Sciences* **6**, 53-64.
 19. Moon, T. Y. and G. J. Moon. 1997. Medicolegal entomology. *The Kosin Journal of Health Sciences* **7**, 33-52.
 20. Oliva, A. 2001. Insects of forensic significance in Argentina. *Forensic Sci. Int.* **120**, 145-154.
 21. Pankaj, K. and D. K. Satpathy. 2001. Use of beetles in forensic entomology. *Forensic Sci. Int.* **120**, 15-17.
 22. Park, S. H. and T. H. Jo. 1984. Studies on flies in Korea 20. On the flies collected from Mt. Gumo, Korea and their seasonal prevalence. *The Korean J. of Entomology* **14**, 25-38.
 23. Payne, J. A. 1965. A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. *Ecology* **46**, 592-602.
 24. Reed, H. B. jr. 1958. A study of dog carcass communities in Tennessee, with special reference to the insects. *American Midland Naturalists* **59**, 213-245.
 25. Robert, W., M. A. Mann, M. W. Bass and L. Meadows. 1990. Time since death and decomposition of the human body: Variables and observations incase and experimental field studies. *Forensic Sci. Int.* **35**, 103-111.
 26. Smith, K. G. V. 1986. *A Manual of Forensic Entomology*. pp. 205, Trustees of the British Museum (Natural History) and Cornell University Press, London, England.
 27. Tullis, K. and L. Goff. 1987. Arthropod succession in exposed carrion in a tropical rainforest on O'ahu Island, Hawaii. *J. Med. Entomol.* **24**, 332-339.
 28. Wells, J. and B. Greenberg. 1994. Resource use by an introduced and native carrion flies. *Oecologie* **99**, 181-187.
 29. Yoon, J. J. 1993. *Forensic Medicine*. pp. 313, Goryeo Medicine, Seoul, Korea.