

박쥐의(Chiroptera) 휴식지로서 교량 이용에 관한 연구^{1a}

정철운^{2*}·한상훈³·이정일²

Use of Bridges as Roosting Site by Bats(Chiroptera)^{1a}

Chul-Un Chung^{2*}, Sang-Hoon Han³, Chong-II Lee²

요 약

주야간 휴식장소로써 박쥐가 교량(Bridge)을 이용하는 특성을 파악하기 위하여 2007년 7월부터 2008년 10월까지 경상북도 남동부 지역의 수계에 조성된 81개 교량을 조사하였다. 조사결과 교량을 휴식장소로 이용하고 있는 종은 관박쥐 *Rhinolophus ferrumequinum*, 집박쥐 *Pipistrellus abramus*, 검은집박쥐 *Hypsugo alaschanicus*, 우수리박쥐 *Myotis petax*, 쇠큰수염박쥐 *Myotis ikonnikovi*, 문둥이박쥐 *Eptesicus serotinus* 등 6종이 확인되었다. 총 7개 유형의 교량 가운데 거더(girder)가 조성되어 있는 3개 유형의 교량에서만 박쥐의 이용이 확인되어 교량에 있어 박쥐의 휴식장소 이용은 교량의 구조적 특징에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 구조적 특징을 제외한 환경요인으로는 교량의 주변 산림, 경작지, 교량 하부의 차량통행 여부 등의 요인이 박쥐의 교량내 휴식활동에 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

주요어 : 거더, 교량, 익수목, 휴식장소

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the bat's characteristic of using a bridge as a roosting site during the daytime and nighttime. 81 bridges built in the water system of the southeastern area of Gyeongsangbuk-do were investigated from Jul. 2007 to Oct. 2008. The species which use a bridge as a roosting site were 6 species of *Rhinolophus ferrumequinum*, *Pipistrellus abramus*, *Hypsugo alaschanicus*, *Myotis petax*, *Myotis ikonnikovi* and *Eptesicus serotinus*. There were 7 types of bridges in which three of them had a girder. This kind of structural characteristics are used for a roosting site of bats. There were other factors as well influenced on the utilizing it such as forest, vehicle passing under the bridge, and cultivated land around a bridges.

KEY WORDS : BRIDGE, CHIROPTERA, GIRDER, ROOSTING SITE

1 접수 2009년 3월 2일, 수정(1차; 2009년 8월 7일), 게재확정 2009년 8월 15일

Received 2 March 2009; Revised(1st 7 August 2009); Accepted 15 August 2009

2 동국대학교 생명과학과 Dept. of Life Science, Dongguk Univ, Gyeongju 780-714, Korea

3 국립생물자원관 National Institute of Biological Resources, Incheon 404-170, Korea

a 본 연구는 환경부 국가환경기술진흥원 차세대 핵심환경기술개발사업 “한반도 생물종의 보전관리기술개발 : 세부2 한반도 포유류 보전관리기술(과제번호 052-082-073)”의 지원을 받아 진행되었음.

* 교신저자, Corresponding author(batman424@naver.com)

서론

온대기후대 지역에 서식하는 박쥐는 다양한 유형의 휴식장소를 이용하는 것으로 알려져 있다(Adam and Hayes, 2000). 그리고 이러한 유형 가운데 야간의 휴식장소로 이용되는 구조물은 박쥐에게 있어 에너지 관리, 포식자로부터의 자기방어, 정보교류를 위한 장소, 사회적 상호작용과 그에 대한 공간, 먹이의 소비와 소화가 가능한 공간 제공 등의 기능을 한다(Kunz, 1982; Perlmeter, 1996; Adam and Hayes, 2000). 이러한 구조물중 교량(bridge)은 일반적으로 박쥐에게 있어 안정적인 공간, 적당한 온도와 습도, 수계와 가까운 먹이활동지 등 적절한 서식지 환경을 제공해 주는 기능을 가지고 있고(Mitchell-Jones and McLeish, 2004), 더불어 포육집단의 형성과 수유 공간 및 교미장소를 제공하는 역할도 한다(Keeley and Tuttle, 1999). 따라서 야간 휴식장소를 이용하는 박쥐는 자신을 보호할 수 있는 공간과 적당한 온기 즉, 보온성이 유지되어 있는 교량을 이용하게 되고(Keeley and Tuttle, 1999), 결과적으로 야간 휴식활동을 하는 박쥐에 있어서 많은 부분들이 이러한 교량을 대상으로 이루어지게 된다(Davis and Cockrum, 1963; Adam and Hayes, 2000). 이렇게 박쥐에게 있어 야간 휴식 장소는 중요한 부분일 뿐 아니라(Anthony *et al.*, 1981; Barclay, 1982; Perlmeter, 1996), 박쥐의 서식지 필요조건에 대한 정확한 조사는 향후 박쥐의 서식지 보호와 관리에 있어 선행되어야 할 연구임에도 불구하고(Davidson-Watts *et al.*, 2006), 지금까지 박쥐의 야간 행동에 관한 연구는 주로 체온 조절과 일일 시간대에 따른 에너지 분배에 대하여 다루어져 왔으며(Perlmeter, 1996), 박쥐에 의해 야간 휴식장소로 이용되는 구조물의 유형과 교량의 범위 등 야간 휴식활동에 영향을 미치는 요인에 대한 정보는 부족한 상태로 남아있다(Adam and Hayes, 2000). Keeley and Tuttle(1999)은 미국에 서식하는 박쥐의 교량 이용현황을 조사한 결과 24종중 17종의 박쥐가 교량을 이용한다는 사실을 밝히며 있으며, 현재 여러 국가에 있어서도 박쥐의 서식지 제공에 대한 교량의 역할을 인식하고 그에 따른 보호 프로젝트를 수행하고 있다(Keeley and Tuttle, 1999). 지금까지 우리나라에서 서식하는 박쥐는 20종 이상이 알려져 있지만, 한국산 박쥐류에 대한 분류학적 연구를 비롯하여 서식지 이용 등의 생태학적 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 박쥐의 휴식장소로 광범위하게 이용되고 있는 교량 구조물을 대상으로 하여 박쥐의 교량 이용에 대한 현황을 파악하고 나아가 교량의 구조적, 환경적 특징과 박쥐의 교량내 휴식장소 이용과의 관계를 파악하여 향후 박쥐의 서식지 이용과 생태학적 연구에 대한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역 및 기간

박쥐의 교량 이용에 대한 현황조사를 위하여 2007년 7월부터 2008년 10월까지 울산에서 발원하여 경주를 거쳐 포항으로 이어지는 형산강 수계(35°41' - 36°00'N, 129°11' - 22'E) 49개 교량과 청송군에서 영덕군으로 이어지는 청송군 지역의 지류를 포함한 오십천 수계(36°24' - 26'N, 129°02' - 22'E) 32개 교량, 총 81개의 교량에 대하여 박쥐의 주야간 휴식지 이용 현황을 조사하였다. 두 지역 모두 도심에서 교외지역으로 분류 가능한 다양한 주변 환경을 가지고 있으며, 교량의 구조 또한 수계의 폭에 따라 다양한 형태로 조성되어 있어 구조 및 환경특성에 따른 박쥐의 이용율을 비교하기에 적합한 지역이다. 현장조사는 박쥐의 동면기를 제외한 월 1회의 조사를 실시하였으며, 주간조사는 11시부터 15시까지, 야간조사는 일몰부터 일출까지 실시하였다. 주간과 야간의 온습도 측정은 디지털 기록계(Testo 605-H1; 5 to 95%RH, -20 to 50°C)를 이용하여 측정하였으며, 휴식장소에 대한 온도 및 습도는 조사시 박쥐의 이용이 확인된 지점을 대상으로 하여 현장에서 측정하였다.

2. 교량의 구조 및 환경 특성 분석

조사범위내 모든 교량은 철근콘크리트(RC), 프리스트레스트 콘크리트(PSC)를 포함한 콘크리트 구조물과 콘크리트와 강철재질의 혼합물로 조성된 교량으로 교량의 구조는 콘크리트 거더교(PSCG; Prestressed concrete Girder), 콘크리트 I빔교(PSCI; Prestressed concrete Ibeam), 콘크리트 H빔교(PSCH; Prestressed concrete Hbeam), 스틸박스 거더교(SBG; Steel-Box Girder), 콘크리트 슬래브교(RCS; Reinforced Concrete Slab), 라멘교(RCR; Reinforced Concrete Rahmen), 플레이트 거더교(PG; Plate Girder)로 구분하였다.

교량의 구조적 특징에 대한 현황 자료 중 교량명은 교명판(Name plate of Bridge)을, 교량의 폭과 길이는 해당 교량의 교력판(Record plate of Bridge)을 이용하여 기록하였으며, 그 외 교량자료는 Roh and Park(1997)의 자료를 참고하여 기록하였다. 교량의 높이는 5m pole을 이용하여 측정하였으며, 5m 이상의 교량은 거리측정기(Newcon Optik Lrg 3000 Pro)를 이용하여 측정하였다. 교량하부의 빔(Beam) 사이에 직각으로 조성되어 있어 내부 거더(girder)를 형성해주는 가로보(floor beam)간의 거리는 5m 줄자를 이용하여 측정하였다. 조사대상 교량 주변의 환경요인 특징을 비교하기 위하여 해당 교량의 하부와 상부 그리고 주변 환경요인을 비교하였다. 교량의 하부 환경 요인으로는 해당 교량길

이에 대한 수계폭과 교량 하부의 차량통행 유무를 비교하였으며, 상부 특징으로는 일일 교통량을 비교하여 박쥐의 휴식지 이용에 대한 영향을 분석하였다. 주변 환경 특징으로는 교량 주변 가시권 500m 내의 경작지 유무, 산림의 유무, 최소 30가구 이상의 마을단위 조성 유무를 비교하였다. 교량의 일일 교통량은 2008년 도로교량 및 터널현황 통계(MLTM, 2008)를 이용하였으며, 교량길이에 대한 수계폭은 계절에 따라 차이를 보임에 따라 매 조사시 교량길이에 대한 수계폭을 퍼센트로 기록하여 평균값을 수치로 사용하였다. 도심과 교외의 구분은 Davidson-Watts *et al.*, (2006)을 참고하여 상가, 공장, 거주밀도 등을 기준으로 분류하여 비교하였다. 자료의 분석에는 SPSS ver15.0을 이용하였으며, 구조 및 환경특징과의 관계를 파악하기 위하여 회귀분석(Regression analysis), 다변량분석(ANOVA; Analysis of variance), 주성분분석(PCA; Principal component analysis)을 수행하였다.

3. 이용 대상종의 확인

교량내 박쥐의 이용을 확인하기 위하여 hand-net을 이용하여 포획 후 동정하였다. Hand-net은 동굴, 폐광, 건물, 나무 등에 있는 박쥐를 포획하는데 유용하게 이용되는 장비로(Kunz and Kurta, 1988), 본 조사에서는 교량내 이용 대상종을 확인하기 위하여 알루미늄 프레임과 길이조정이 가능한 5.5m hand-net을 이용하여 포획하였다. 각각의 교량조사에 있어 수유중인 암컷 개체에 대해서는 쌍안경과 카메라 그리고 야간 관측장비(Bushnell, Night-Vision 2.5 × 42)를 이용한 종의 동정만 수행하였으며, 그 외 개체에 대해서는 이용 개체수의 중복 기록을 최소화하기 위하여 확인된 모든 개체에 대하여 포획을 시도하였다. 수유중인 암컷 개체를 제외한 모든 포획개체는 종명과 성별을 별도로 기록한 후 해당 교량의 조사 종료 후 재방사 하였다.

결과 및 고찰

1. 교량이용 현황 및 선택 요인

2007년 7월부터 2008년 10월까지 총 81개의 교량을 조사한 결과 관박쥐 *Rhinolophus ferrumequinum*, 집박쥐 *Pipistrellus abramus*, 검은집박쥐 *Hypsugo alaschanicus*(Tiunov, 1997), 우수리박쥐 *Myotis petax*(Kawai *et al.*, 2003; Atterby *et al.*, 2009), 쇠큰수염박쥐 *Myotis ikonnikovi*, 문둥이박쥐 *Eptesicus serotimus* 등 총 6종 525개체를 확인하였다(Table 1). 교량내에서 휴식 활동을 하는 것으로 확인된 종 중 집박쥐가 175개체(33.3%)로 가장 높은 이용율을 보였으며 다음으로 검은집박쥐(164개체, 31.2%), 쇠큰수염박쥐(112개체, 21.3%), 관박쥐(49개체, 9.3%), 문둥

이박쥐(16개체, 3.1%), 우수리박쥐(9개체, 1.8%)의 순으로 나타났다. 주간 조사결과 교량내 주간 휴식지 이용이 이루어지는 종은 집박쥐, 검은집박쥐, 쇠큰수염박쥐 3종으로 나타났다. 지금까지 박쥐의 교량 이용에 있어서 주간 이용에 대한 결과로는 Hendricks *et al.*, (2004)이 미 서부 Montana 주에서 주로 야간에 나뭇잎을 이용하여 휴식 활동을 하는 Hoary Bat(*Lasiurus cinereus*)에 대하여 주간 수유장소로서 교량을 이용한다는 최초의 보고를 한 바 있으며, Adam and Hayes(2000)가 미 Oregon 주를 대상으로 교량내 박쥐의 휴식지 이용을 조사한 결과 총 744개체 중 오직 5개체만이 교량내 주간 이용이 이루어진다는 것을 확인하여 주간 교량내 박쥐의 휴식지 이용은 거의 이루어지지 않는다고 밝힌바 있다. 본 조사결과 또한 집박쥐 2개체, 검은집박쥐 1개체, 쇠큰수염박쥐 25개체 등 전체 525개체 중 28개체만이 교량내 주간 휴식장소 이용이 이루어지는 것으로 조사되어 박쥐의 교량 이용은 대체로 야간에 이루어짐을 확인할 수 있었다. 월별 이용율 변화는 7월에 6종으로 교량을 이용하는 6종이 모두 확인되었으며, 9월에 총 197개체(37.5%)로 가장 높은 이용율을 확인하였다(Figure 1). 이는 교량을 이용하는 종의 출산 및 수유시기와 일치하는 것으로 본 조사과정중 새끼의 성장 정도의 차이는 있었으나 수유중인 암컷 개체는 7월에 가장 많은 개체가 확인된 결과에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 교량을 이용하는 박쥐는 주, 야간 휴식 장소로서의 이용 뿐만 아니라 교량 내에서 어린 개체에 대한 수유가 이루어지는 것으로 판단된다. 또한 8, 9월의 증가된 개체수는 Pierson *et al.*, (1996)이 교량내 월별 이용 개체수를 비교한 결과 8월 이후 비행 가능한 어린 개체의 교량내 확인 빈도가 높았던 것과 유사한 결과로써, 개체 포획후 Anthony(1988)와 Menzel *et al.*, (2002)의 방법을 통한 연령측정 결과 수유를 마친 어린 개체의 교량내 단독 이용이 9월까지 지속적으로 이루어진 결과에 따른 것으로 확인되었다.

박쥐의 교량 선택에 있어 구조적, 환경적 요인을 비교하기 위하여 교량의 유형, 길이, 폭, 높이, 횡축거리 등을 포함한 구조적 특징과 경작지와 산림의 유무, 도심지와 교외, 민가의 유무와 교량 하부의 차량 통행 가능 여부 등을 포함한 환경적 특징을 변수로 사용하여 주성분분석을 실시한 결과 박쥐의 교량내 휴식장소의 선택은 교량의 구조적 특징에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다(Figure 2). 제1주성분(PC1)은 환경 특성 변수를 이용하여 환경적 요인을 나타내고 있으며, 제2주성분(PC2)은 구조적 특징에 대한 변수를 사용하여 구조적 특징에 대한 관련성을 나타내었다. 분석결과 박쥐의 이용이 확인된 교량은 모두 구조적 특징에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났으며, 주변 환경 특성과 비교하여서는 유의적 관련성이 확인되지 않았다. 교량의 구

Table 1. Number of bats at 82 bridges from July 2007 to Oct 2008

Species	Male	Female	Unknown Sex	Total	Percent (%)
<i>Pipistrellus abramus</i>	70(1)	42	63(1)	175	33.3
<i>Hypsugo alaschanicus</i>	15(1)	86	63	164	31.2
<i>Myotis petax</i>	2	0	7	9	1.8
<i>Myotis ikonnikovi</i>	32(3)	25(5)	55(17)	112	21.3
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	2	4	43	49	9.3
<i>Eptesicus serotinus</i>	2	12	2	16	3.1
Total	123	169	233	525	100

() : Number of individuals at day-time

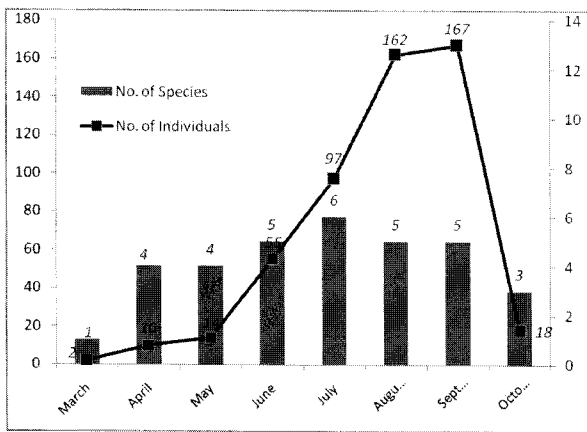


Figure 1. Monthly variation for number of species and individuals in the survey bridge

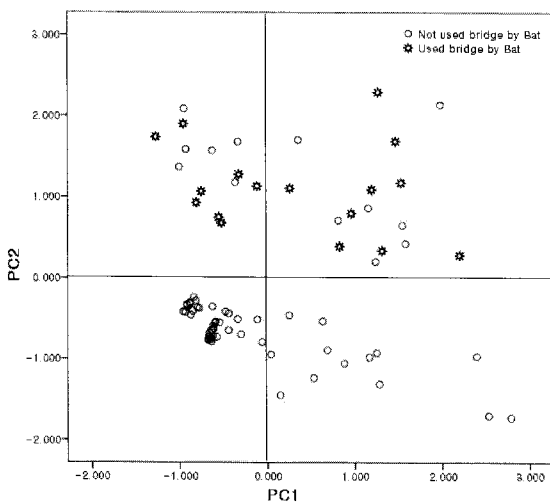


Figure 2. Relationship between the first(PC1) and second(PC2) components of a principal components analysis of environmental factor and structural factor from 81 bridges

조적 유형에 따른 조사결과 또한 이와 다르지 않았는데, 총 81개의 조사대상 교량의 유형은 PSCG, PSCI, PSCH, SBG, RCS, RCR, PG 등 총 7개 유형의 교량으로 구성되었으며, 이 중 주, 야간을 포함하여 박쥐의 이용이 이루어진 교량은 PSCG, PSCI, PSCH 3개 유형의 총 17개 교량에서만 박쥐의 이용이 확인되었다. 교량내 박쥐의 이용이 확인된 3개 유형의 교량은 모두 콘크리트 재질로 구성되어 있으며, 거더 및 가로보에 의해서 교량 하부에 외부와 격리된 챔버(chamber) 및 거더 형태의 구조물을 가지고 있는 교량으로, 결과적으로 박쥐의 교량내 휴식활동은 이러한 교량의 구조적 특징과 밀접한 관련이 있는 것으로 확인되었다.

2. 교량의 구조적 특징과 박쥐의 이용

주, 야간 휴식장소로서 박쥐의 이용이 이루어진 교량의 유형은 PSCG, PSCI, PSCH 타입으로 이용이 확인된 17개 교량의 구조적 특징은 Table 2와 같다. 교량내 이용이 확인된 3개 유형의 교량에 대한 이용율을 비교한 결과 교량의 구조에 따라 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났는데 (ANOVA, $F=8.44, p<0.001$) PSCI 교량에서 507개체로 전체의 96.5%가 이용하는 것으로 나타나 PSCI교에서의 야간 휴식 장소로서 이용이 가장 높은 것을 확인하였다(Table 3). PSCI교에서 박쥐의 야간 휴식활동이 많은 이유는 거더내 소기후에 의한 것으로 PSCI교에 대한 주간 최고온도, 야간 온도, 거더내 박쥐의 휴식활동이 이루어지는 지점의 온도를 비교한 결과 PSCI교의 거더내 휴식장소로 이용되는 지점의 온도가 외부 야간 온도와 비교하여 평균 2.8°C (Min 0.5°C -Max 4.8°C) 높게 나타났으며, 습도는 평균 12.4%(Min1.7%-Max17.9%) 낮게 나타났다(Figure 3). 이는 PSCI교의 주성분인 콘크리트 구조물의 경우 낮 시간 동안 많은 태양 복사열을 흡수하게 되고 야간에는 주변의 공기 온도보다 더 느린 속도로 온도가 내려가게 되며(Lacki

Table 3. Number of species and individuals classified by structural characteristics

Month	PSCI		PSCH		PSCG		Total
	No. of Species	No. of Individuals	No. of Species	No. of Individuals	No. of Species	No. of Individuals	
March	1	2	-	-	-	-	2
April	4	10	-	-	-	-	10
May	4	14	-	-	-	-	14
June	5	53	-	-	2	2	55
July	6	93	2	3	1	1	97
August	5	159	1	2	1	1	162
September	5	158	1	4	2	5	167
October	3	18	-	-	-	-	18
Total		507		9		9	525

et al., 2007), 교량 하부의 거더내 온난기류는 거더 외부의 대기상태와 비교해서 평균적으로 더 높은 온도를 가지고 박쥐에게 있어 더 안정적인 공간을 제공하게 된다(Kiser *et al.*, 2002; Pierson *et al.*, 1996; Lacki *et al.*, 2007). 이렇게 야간시간대에 더 높은 온도를 유지하고 있는 교량은 더 작고 낮은 온도를 유지하고 있는 교량에 비해서 더 많은 수의 박쥐가 이용하게 되는데 주변온도와 비교하여 더 높은 교량

내 박쥐의 휴식장소 온도는 박쥐에게 있어 더 낮은 대사율을 유도하게 되고 일일 에너지 소비량을 감소시켜 주는 역할을 하기 때문인 것으로 판단된다(Perlmeter, 1996). 반면 박쥐의 이용이 확인되지 않은 RCS교량은 Adam and Hayes(2000)가 수계주변 50개의 콘크리트 교량을 조사한 결과 RCS교량에서는 박쥐의 이용이 전혀 이루어지지 않았던 결과와 일치하였는데, RCS교량을 포함한 하부의 챔버

Table 2. Structural characteristics of the used bridge by bats

No	Name of Bridge	Region	Length of Bridge	Width of Bridge	Height of Bridge	Length of Floor beam	Structure
site1	Gopyeong	Chongsong	90	10	7	6.2	PSCH
site2	Najung	Gyeongju	180	31	15.6	9	PSCI
site3	Daezi	Youngduk	40	8	3.2	2.8	PSCG
site4	Mapyeong	Chongsong	129	6	5	4.5	PSCI
site5	Bomun	Gyeongju	220	24	5	5.5	PSCI
site6	Bokanchun	Ulsan	121	21	15.6	4.2	PSCI
site7	Seochun	Gyeongju	283	25	8.2	6	PSCI
site8	Sinyang	Youngduk	166	11	5	5.7	PSCI
site9	Sinchun	Gyeongju	150	25	5.5	7.4	PSCI
site10	Youngduckdae	Youngduk	276	11.7	7.3	14.5	PSCI
site11	Yongjang	Gyeongju	363	19	9	4.3	PSCI
site12	Woelmak	Chongsong	180	15	6.5	5.6	PSCH
site13	Ijochun	Gyeongju	125	34.2	5.5	5.6	PSCI
site14	Chongsong	Chongsong	180	13.5	6	4.5	PSCI
site15	Chongun	Chongsong	120	9	12.8	5	PSCI
site16	Poscodae	Pohang	450	14	2	7.3	PSCI
site17	Hwalchun2	Ulsan	120	35	6.5	4.4	PSCI

조성이 이루어지지 않은 교량의 경우 낮 동안 흡수한 태양 복사열이 빠른 속도로 감소하게 되고 야간 주변 공기의 흐름에 따라서 추가적인 열손실을 야기하게 된다(Adam and Hayes, 2000). 따라서 야간 시간대 주변온도와 차이를 보이지 않고 낮은 온도를 유지하고 있는 RCS 형태의 교량 하부는 PSCI교량과 같이 높은 온도를 유지하고 있는 박쥐의 휴식장과 비교해서 박쥐의 일일 에너지 소비를 증가시키게 되고 결과적으로 에너지 대사율을 증가시키는 결과를 가져오기 때문에 박쥐의 이용이 이루어지지 않은 것으로 판단된다(Roverud and Chappell, 1991). 뿐만 아니라 본 조사에서 교량을 이용하는 것으로 확인된 중 중 관박쥐를 제외한 5종은 교량내 휴식지 이용시 빔이나 가로보에 의해서 조성된 수직면에 배를 닿고 있는 형태로 야간 휴식활동이 이루어지는 것을 확인하였는데, 콘크리트 구조물로 조성된 PSCI교의 경우 거친 수직면의 조성으로 박쥐가 매달리거나 배를

닿고 붙어 있을 수 있는 공간을 제공하는 역할을 하는 반면 (Pierson *et al.*, 1996) 그러한 수직면을 가지고 있지 않은 RCS교량은 야간 교량내 빠른 열손실과 함께 박쥐의 은신 및 휴식지로서 이용 가능한 휴식장소의 부재 또한 박쥐의 이용이 이루어지지 않은 요인 중 하나로 판단된다.

PSCH교의 경우 총 9개의 PSCH 교량중 2개의 교량(9개체, 1.7%)에서만 박쥐의 야간 이용이 확인되어 PSCI교와 비교하여 상대적으로 낮은 이용율을 보였다. 이는 PSCH교의 경우 빔의 높이가 낮고 가로보 간의 거리가 멀기 때문에 가로보 간의 거리가 적고 빔의 높이가 상대적으로 높은 PSCI 교량에 비해서 거더내의 표면적이 증가하게 되고 결과적으로 거더내 열손실이 빠르게 이루어지게 되기 때문에 박쥐의 야간 휴식지 선택에 있어 낮은 빈도를 보인 것으로 판단된다. 반면 PSCH교와 마찬가지로 낮은 이용율을 보인 PSCG교의 경우 빔의 높이가 PSCI교와 비교해서 차이를 보이지 않았으며, 가로보 간의 거리는 PSCI교와 비교해서 평균 1.7m 적은 것을 감안할 때 본 조사범위내 해당 교량의 수가 적은 것에 기인한 결과로 판단된다.

3. 교량의 환경적 특징과 박쥐의 이용

박쥐의 야간 교량내 휴식장소의 선택은 교량의 구조적 특징에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 구조적 특징에 의해 박쥐의 이용이 확인된 교량을 대상으로 주변 환경특성에 따른 영향요인을 비교하기 위하여 경작지, 산림, 하부 차량통행, 수계폭, 도심 및 교외, 교량 상부의 차량통행량 등 7개 환경특성을 기준으로 하여 해당 변수와 박쥐의 교량과의 관계를 분석하였다. 분석결과 교량주변 경작지와 산림의 조성, 그리고 교량 하부로의 차량통행 여부는 박쥐의 이용이 가능한 구조적 특징을 가진 교량에서는 유의적인 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 마을단위의 조성과 교량길이에 대한 수계폭, 도심지와 교외의 차이는 유의적 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(Figure 4). 즉, 박쥐의 이용이 이루어진 교량을 대상으로 교량주변으로 경작지가 조성되어 있는 경우가 그렇지 않은 경우보다 종 및 개체수에 있어서 높은 이용 빈도를 보였으며($F=6.94, p<0.05$), 산림의 조성 또한 조성된 지역이 그렇지 않은 지역보다($F=6.94, p<0.05$), 그리고 교량 하부의 차량통행이 가능하지 않은 지역에서 각각 높은 이용율을 확인하였다($F=7.35, p<0.05$). Lacki *et al.*,(2007)의 결과에 따르면 수계가 조성되어 있는 부분의 교량 하부는 수계가 조성되어 있지 않은 교량의 안경간(shore span)과 같은 가장자리내 챔버와 비교해서 외부의 대기상태에 더 쉽게 노출되고 수계가 조성된 부분의 상부 공기는 주변 대기와 비교하여 대기 중의 온도 감소가 더 빠르기 때문에 챔버내 온도가 상대적으로 낮아 박쥐의 이용이 적게 나타난 결과를 보인다.

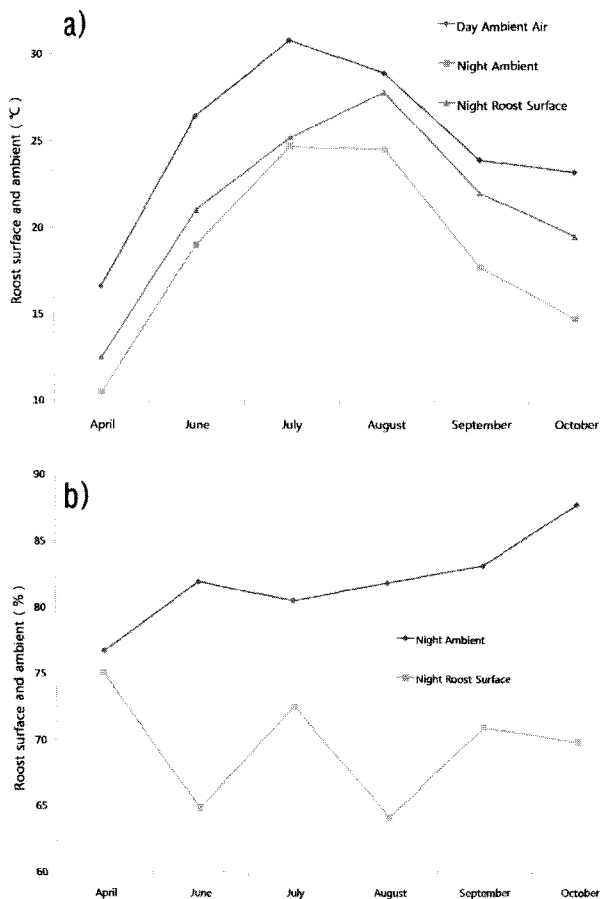


Figure 3. Bridge used by bats a) temperature in day time, night time and night roost surface, b) relative humidity compared with surface humidity in night at roost(April - October 2008)

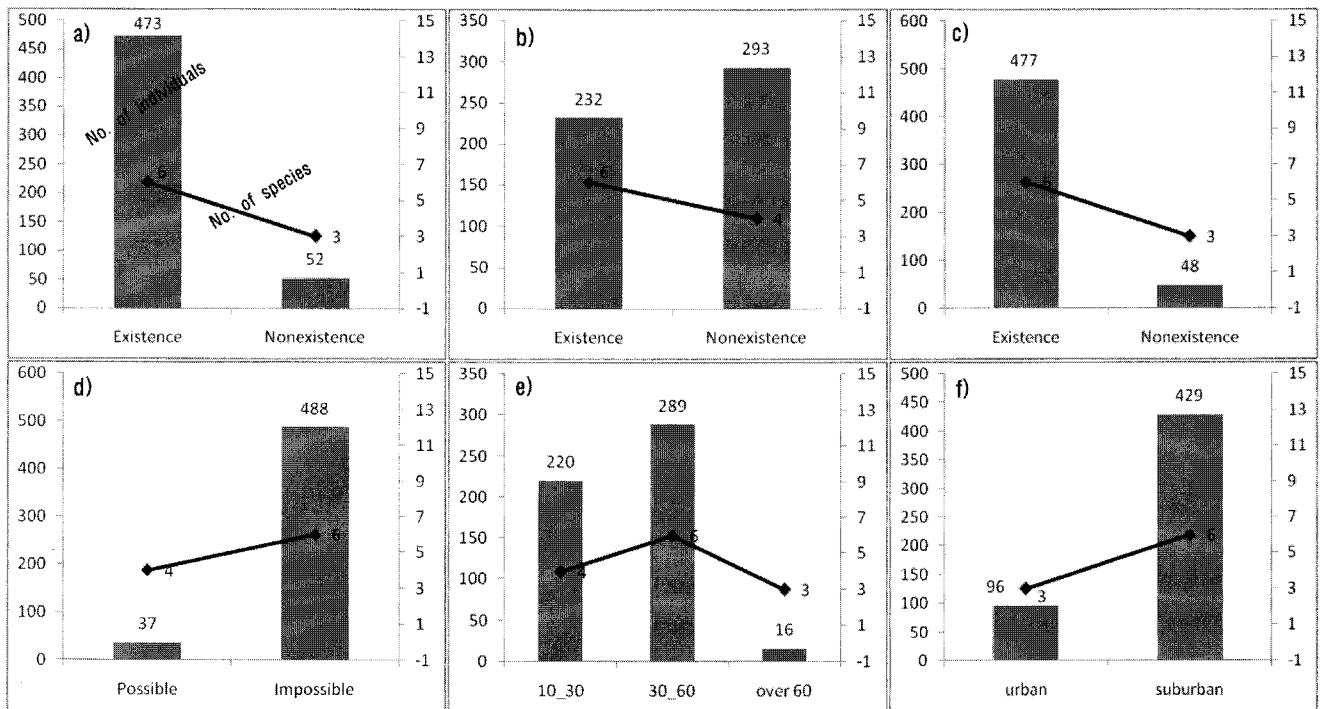


Figure 4. Relationship between environmental factors and bridge utilizing; a) cultivate land(F=6.94, $p < 0.05$) b) village(F=0.16, $p > 0.05$), c) forest(F=6.94, $p < 0.05$), d) passing vehicle under the bridge(F=7.35, $p < 0.05$), e) river width across the bridge(F=2.05, $p > 0.05$), f) urban and suburban(F=4.39, $p > 0.05$)

이렇게 수계가 조성되어 있는 부분의 교량 하부는 그렇지 않은 부분보다 야간 챔버내 온도의 감소 속도가 더 빠르기 때문에 박쥐의 이용이 감소하게 되지만(Adam and Hayes, 2000), 본 조사결과 교량길이와 비교하여 수계폭의 비율이 커질수록 교량내 이용 개체수는 감소하는 경향을 보이긴 하였으나 교량하부 수계의 조성이 박쥐의 교량이용에 유의적인 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그리고 해당 교량의 통행량에 따른 박쥐의 이용을 변화를 파악하기 위하여 박쥐에 의해 주, 야간 휴식활동이 확인된 교량의 일일통행량(MLTM, 2008)과 박쥐의 이용율을 비교한 결과 교량상부의 통행량은 교량내 박쥐의 휴식장소 선택과 이용에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다($y = -2.936x + 62.89$, $R^2 = 0.02$, $F = 0.18$, $p > 0.05$). Pierson *et al.*, (1996)이 교량내 박쥐의 포육집단을 조사한 결과 교량 하부로 차량의 통행이 이루어지지 않는 교량에서만 암컷 성체와 어린개체가 함께 있는 포육집단이 확인된 결과와 같이 비록 교량 상부의 많은 차량 통행량은 교량내 야간 휴식장소의 안정성을 감소시키게 될 수도 있지만(Pierson *et al.*, 1996; Lacki *et al.*, 2007), 조사결과 교량상부의 차량통행량과 그에 따른 소음, 진동 등의 요인보다 교량 하부의 차량통행과 같이 박쥐의 휴식활동이 이루어지는 교량 하부의 직접적인 간섭 요인이 박쥐의 교량 이용에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이용문헌

Adam, M.D. and J.P. Hayes(2000) Use of bridges as night roosts by bats in the Oregon Coast Range. *J. Mamm.* 81(2): 402-407.

Anthony, E.L.P.(1988) Age determination in bats. In: Kunz, T.H., ed *Ecological and behavioral methods for the study of bats*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 533pp.

Anthony, E.L.P., M.H. Stack and T.H. Kunz(1981) Night roosting and the nocturnal time budget of the little brown bat, *Myotis lucifigus*: effects of reproductive status, prey density, and environmental conditions. *Oecologia*. 51: 151-156.

Atterby, H., J.N. Aegerter, G.C. Smith, C.M. Conyers, T.R. Allnut, M. Ruedi, A.D. MacNicol(2009) Population genetic structure of the Daubenton's bat (*Myotis daubentonii*) in western Europe and the associated occurrence of rabies. *European Journal of Wildlife Research*. *Eur J Wildl Res.* In Press.

Barclay, R.M.R.(1982) Night roosting behavior of the little brown bat, *Myotis lucifigus*. *J. Mamm.* 63: 464-474.

Davidson-Watts, I., S. Walls and G. Jones(2006) Differential habitat selection by *Pipistrellus pipistrellus* and *Pipistrellus pygmaeus* identifies distinct conservation needs for cryptic species of echolocating bats. *Biol. Con.* 133: 118-127.

- Davis, R and E.L. Cockrum(1963) Bridges utilized as day-roosts by bats. *J. Mamm.* 44: 428-430.
- Hendricks, P., J. Joseph, S. Lenard and C. Currier(2004) Use of a bridge for day roosting by the Hoary Bat, *Lasiurus cinereus*. *Can. Field-Naturalist.* 119(1): 132-133.
- Kawai, M., M. Nikaido, M. Harada, S. Matsumura, L.K. Lin, Y. Wu, M. Hasegawa and N. Okada(2003) The status of the Japanese and East Asian bats of the genus *Myotis*(Vespertilionidae) based on mitochondrial sequences. *J. Mol. Evol.* 28: 297-307.
- Keeley, B.W. and M.D. Tuttle(1999) Bats in American birdges. Bat Conservation International, Resource Publication. 4: 1-41.
- Kiser, J.D., J.R. MacGregor, H.D. Bryan, and A. Howard(2002) Use of concrete bridges as night roosts, pp. 208-215, in *The Indiana bat: biology and management of an endangered species* (A. Kurta and J. Kennedy, des.). Bat Conservation International, Austin, TX.
- Kunz, T.H.(1982) Roosting ecology. pp.1-55 in *Ecology of bats* (T.H. Kunz, ed.). Plenum Publishing, New York.
- Kunz, T.H. and A. Kurta(1988) Capture methods and holding devices. pp. 1-29. In: *Ecological and behavioral methods for the study of bats.* (T.H. Kunz, ed.). Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. 533pp.
- Lacki, M.J., J.P. Hayes and A. Kurta(2007) *Bats In Forests: conservation and management.* The Johns Hopkins University Press. 138pp.
- Menzel, M.A., J.M. Menzel, S.B. Castleberry, J. Ozier, W.M. Ford and J.W. Edwards(2002) *Illustrated Key to Skins and Skulls of Bats in the Southeastern and Mid-Atlantic States.* USDA Forest Service. pp. 2-4
- Mitchell-Jones A.J., A.P. McLeish(2004) *Bat Worker's Manual.* Joint Nature Conservation Committee, pp. 22-131.
- MLTM(2008) Present situation in bridge and tunnel in 2008.
- Perlmeter, S.I(1996) Bats and bridges: patterns of night roost activity in the Willamette National Forest, pp.132-150, in *Bats and forests symposium* (R.M.R. Barclay and R.M. Brigham, eds.). Research Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, Working Paper. 23: 1-292.
- Pierson, E. D., W.E. Rainey and R.M. Miller(1996) Night roost sampling: a window on the forest bat community in northern California, pp.151-163, in *Bats and forests symposium* (R.M.R. Barclay and R.M. Brigham, eds.). Research Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, BC.
- Roh, M.R and I.C Park(1997) *Bridge glossary.* Wongisul. Seoul, pp. 36-145.
- Roverud, R.C. and M.A. Chappell(1991) Energetic and thermo-regulatory aspects of clustering behavior in the neotropical bat *Noctilio albiventris*. *Physiol. Zool.* 64: 27-41.
- Tiunov, M.P.(1997) *Bats of the Russian Far East.* Dalnauka. Vladivostok(in Russian). 134pp.