

# 갈매기의 음성 정밀화 작업을 통한 항공기-조류 충돌 방지 방안 연구

## Study on Bird Strike to Detailed Call Researches in Black-tailed Gulls(Larus crassirostris)

정 훈\* (삼육대학교), 박시룡(한국교원대학교)

### 1. 서 론

조류의 음성신호는 많은 종에서 행동학적 측면과 병행하여 연구되었다 (Falls 1982). 일반적으로 조류의 음성신호는 크게 3가지 측면에서 설명할 수 있다. 첫째, 자신의 영역에 들어오는 침입자에게 공격행동 이전의 1차적 방어 수단으로 사용된다. 이러한 경계음으로 서로에게 불필요한 싸움을 피할 수 있다(see Stoddard 1996). 둘째, 음성신호는 번식지에서 친족 또는 동종 인식의 수단으로 사용된다(Falls, 1982). Happer (1986)는 자연선택의 예견적 이론으로, 만약에 부모가 자신의 새끼에게 투자할 비용을 자신과 관련 없는 새끼에게 투자를 한다면, 이것은 진화학적으로 자신에게 매우 불리하기 때문에 음성학적 친족인식이 발달했을 것이라 보고하였다. 셋째, 음성신호는 암컷을 유인하는데 사용된다. 수컷 새의 음성신호에서 주파수, 소리길이, 강도 그리고 다양한 레퍼토리는 좋은 암컷에게 선택받을 수 있는 기회를 제공한다(Catchpole & Slater, 1995). 이와 같이 3가지 측면에서 볼 때, 음성신호는 특히 집단번식을 하는 조류들은 그렇지 않은 조류에 비해 그들의 사회적 관계에 더욱 중요한 역할을 수행한다(Stevenson *et al.*, 1970). 따라서, 대부분 집단번식을 하는 종들은 그렇지 않은 종 보다 다양하고 복잡한 음성신호를 가지고 있으며, 이러한 신호들을 효과적으로 사용하여 친족 또는 다른 개체들에게 정보를 전달한다(Smith, 1977; Witt, 1977). 같은 카테고리에 있는 소리들이라도 집단번식을 하는 조류들은 그 기능과 환경의 차이에 따라 다시 몇 가지로 소리들을 세분화하여 다양하게 사용하고 있다고 알려져 있다(Stout *et al.*, 1969; Beer, 1976).

집단 번식하는 종의 음성신호에 관한 연구는

갈매기류(Laridae)를 대표로 하여 일부 종에서 연구되었다(Stout *et al.*, 1969; Smith, 1977; Beer, 1979). 갈매기의 음성신호에 대한 연구는 Tinbergen(1953)의 "The Herring Gull's World"를 발표하면서부터 현재까지 다양하게 이루어졌다. 갈매기류는 다양한 음성신호를 가지고 있고 몇몇 소리들은 환경에 따라 다시 여러 범주로 분류되어 진다고 알려져 있다(Stout *et al.*, 1969; Beer, 1976). 이들의 음성신호는 소나그램 분석 시 같은 소리임에도 불구하고 소리의 반복의 변화에 따라 다른 기능을 수행하기도 한다(Beer, 1969). Evans(1986)는 소리의 고저와 주파수 변조 그리고 소리의 반복정도를 통해 갈매기류는 정밀한 의사소통을 할 수 있다고 보고하였다. Beer(1969)는 재갈매기의 음성 레퍼토리를 기능과 행동에 따라 10가지로 분류하였다. 국내에서도 꿩이갈매기의 음성신호를 기능과 행동학적 측면에서 11가지의 카테고리로 분류하였다(Park and Park 1997). 특히 Chung(2000)은 꿩이갈매기 새끼가 성체의 다양한 음성신호 중 특이한 부분만을 인식하여 번식지에서 빠르게 대처한다는 새로운 각도의 연구를 수행하였다. 최근까지 국내에서 꿩이갈매기에 대한 연구는 번식생태학을 중심으로 한 학술적 가치를 제공하여 주었다.

지금까지 번식생태학은 다른 응용분야의 학문과 접목한 사례가 드물고, 특히 항공운항학 쪽과의 연계는 전무하다. 이러한 연구들은 생태학적 학술로도 의미가 크지만 항공기-조류 충돌에도 응용이 가능하다. 왜냐하면 미국과 캐나다에서 항공기-조류 충돌로 인해 항공기 손상에 대한 통계자료에 의하면 갈매기류의 피해가 가장 큰 것으로 나타났기 때문이다. 갈매기류는 개체수가 많고 비행고도가 높기 때문에 항공기와 충돌위험이 높다. 그리고 몸 크기 또한 크기 때문에 충돌 시 큰 인명피해를 일으킬 가능성이

높다. 따라서 갈매기류의 피해를 줄이는 것만으로도 항공기-조류 충돌에서 오는 손실을 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

인천국제공항 활주로 인근 지역이 철새들의 휴식장소로 이용되고 있어 항공기-조류의 충돌로 인한 문제가 제기될 수 있다. 한국조수보호협회 부설 연구소의 조사에 따르면 영정도 남쪽과 북쪽 끝 일대 갯벌에 매년 봄, 가을에 일만여 마리 이상의 철새 20여종이 찾아들고 있다고 한다. 특히 공항 활주로 끝 부지가 갈매기류, 백로류의 휴식장소로 이용되고 있어 취식장소인 공항 남쪽 끝의 갯벌로 이동하는 과정에서 항공기-조류 충돌사고를 일으킬 수 있다는 가능성이 있다.

국내에서는 조류 충돌로 인한 항공기 피해 사례에 대한 조사는 미비하다. 여러 선진국들의 관리 시스템에 비해 국내 공항에서의 항공기-조류 충돌에 대한 대책은 체계화 되어 있지 않으며, 현재까지 낙후된 방법으로 대처하고 있다. 현재 국내에서 몇몇 벤처 기업들이 항공기-조류 충돌에 대한 연구를 하고 있으나 큰 도움을 주지 못하고 있다. 지금까지의 국내외의 항공기-조류 충돌의 연구들은 대부분 조류 및 야생동물 관리 방안과 공항 인근의 식생 관리에 초점을 맞추고 있다.

지금까지의 항공기-조류 충돌의 연구는 관리 측면에 집중되었으며, 구체적인 해결 방안에 대한 연구는 거의 없었다. 본 연구에서는 항공기-조류 충돌의 해결 방안을 위해 중 수준(갈매기류)의 연구를 통해 새로운 각도로 문제를 해결하려고 한다. 먼저 기존의 연구들을 기초로 본 실험에서는 갈매기류의 음성신호를 실험실 상태에서 세분화하여 분석한 후 갈매기의 이동경로와 취식장소를 옮길 수 있도록 하는 음성모델을 제작한 후 갈매기류로 인한 항공기-조류 충돌의 대처 방안을 제시하려고 한다.

## 2. 연구 방법

본 연구는 2003년 5월부터 2004년 5월까지 충청북도 청원군 강내면 다락리에 있는 한국교원대학교 갈매기 사육장에 있는 개체들을 대상으로 실시되었다.

### 2.1 실험 대상

#### 2.1.1 팽이갈매기 새끼

본 연구에 사용되는 팽이갈매기 새끼들은 2003년 5월 9일 인천광역시 용진군 장봉도 인근 무인도인 동만도(37° 32' 43" E, 126° 16' 18" N)에서 알 상태에서 가져온 개체들이다. 우리는 25개의 알을 실험실로 채집하여 인공 부화기(Lyon Model RX2)에서 적정 부화조건(온도: 39±0.5°C, 습도: 70±5%)으로 세팅한 후 20개의 알을 인공부화 시켰다. 새끼가 부화하면 순서대로 부화일시를 기록하고 다리에 식별 띠를 붙여 사육 상자 넣어 사육하였다.

먹이는 생후 1일 이후 시점에서 09:00부터 21:00까지 하루 4회 급이 되었다. 먹이는 냉동조기를 해동시켜 공급하였으며 먹이를 공급하기 전에는 갈매기 모형과 함께 번식지에서 녹음하여 온 성체 갈매기의 소리를 들려주었다. 왜냐하면 팽이갈매기 새끼는 부화 후 3-5일 정도 되면 어미의 소리를 각인하며 10일 후 부터는 어미의 모습을 각인하기 시작하기 때문이다(Park & Chung, 2002). 50일이 지난 후 부터는 야외사육장(810×670×385cm)으로 옮겨서 사육하였다.

#### 2.1.2 성체 팽이갈매기

성체는 1999년 5월 18일 행정구역 상 충청남도 안흥면 가의도리에 있는 난도(36° 40' 20" E, 126° 03' 50" N)에서 25개의 알을 채집한 후 20개의 알을 실험실 상태에서 인공부화 시킨 후 현재까지 사육 중인 개체들이다. 먹이는 양계장에서 가져온 수컷 병아리들을 죽여서 공급하였으며 물은 사육장 안에 큰 도랑(670×160×70cm)을 만들어 항상 공급하였다.

## 2.2 팽이갈매기 음성 제작

선행연구에 의하면 팽이갈매기 새끼들은 성체의 소리에 단순한 물리적 특성을 이용하여 빠르게 반응한다고 알려져 있다(Chung et al., 2002). 여기서 물리적 특성이란 소리의 frequency, dB, duration, 그리고 interval이다. 자연상태에서 성체갈매기 mew call의 frequency는 평균 420Hz, dB은 1m 거리에서 80dB, duration은 110ms, 그리고 interval은 2.0sec이다. 팽이갈매기의 mew call은 contact call의 범주에 들어가며 새끼를 부를 때와 비행 중에 내는 소리로 가장 일반적인 소리로 알려져 있다(Park & Park 1997).

따라서 우리는 mew call 4가지 특성을 변조하여 새끼들의 반응을 관찰하였다(Table 1). Mew call은 팽이갈매기 집단 번식지에서

Digital Recorder PDR1000과 Sennheiser MKH816P48 콘덴서 마이크를 이용하여 최대한 원음에 가깝도록 녹음한 온 소리이다. 우리는 자연상태에서 녹음해온 mew call을 한 가지 물리적 특성만 변조시키고 나머지는 control의 특성을 따랐다. 소리의 변조는 Kay Computerized Speech Lab(Model 4300B)를 사용하여 실시되었다.

### 2.3 실험 방법

#### 2.3.1 팽이갈매기 새끼 실험

팽이갈매기 새끼들은 부화한 시점에서 5단계(생후 1-2일, 4-5일, 7-8일, 14-15일, 그리고 21-22일)로 나누어 실험하였다. 실험은 종이로 만든 상자(55×55×60cm)에서 2분간 안정을 취하게 한 후 실시하였다. 우리는 제작된 tape를 30sec간 새끼에게 playback한 후 반응을 관찰하였다.

우리가 얻고자 하는 데이터는 어떠한 소리가 팽이갈매기에게 가장 위협을 줄 수 있는 소리인가를 얻기 위한 것이기 때문에 새끼의 반응을 2가지로 나누어서 관찰하였다. 첫 번째는 새끼들이 반응을 하는 시간이고, 두 번째는 구석으로 숨은 새끼들이 안정을 취하고 나오는 시간이다. 우리는 이것을 기록하고 분석하였으며 반응이 좋은 물리적 특성(Table 1)에 대해서는 다른 특성들과 조합하여 playback하여 결과를 산출하였다.

#### 2.3.2 성체 팽이갈매기 실험

사육장에 있는 팽이갈매기 성체 20마리를 대상으로 제작된 소리를 30sec 간 playback 한 후 행동을 관찰하였다. 우리가 관찰한 행동은 첫째 스피커가 있는 장소와 팽이갈매기 무리와의 거리이며, 두 번째 음원이 끊어진 상태에서 정상적으로 돌아오는 시간이다.

### 2.4 통계분석

우리는 변조된 mew call을 새끼들에게 playback 하고 얻은 data는 통계프로그램 SPSS 13.0을 이용하여 분석하였다.

물리적 특성간의 분석은 One-way ANOVA를 사용하였으며 사후 검증은 Turkey test를 적용하였다. 이 때 알파 세트는 0.05로 하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 팽이갈매기 새끼들의 반응

팽이갈매기 새끼들은 조작된 성체 갈매기 소리에 민감한 반응을 나타냈다. 성체의 변조된 frequency, intensity, 그리고 duration에 대해서 새끼들은 구석으로 숨는 반응을 나타내지 않았다. 오히려 자연 상태(control)의 주파수와 duration에 대해서는 음원지로 접근을 하는 행동을 나타냈다.

그러나 소리 interval에 대해서는 negative로 변조하였을 때 새끼들은 구석으로 숨는 반응을 나타냈다. 특히 0.5sec interval 변조에서 새끼들의 반응이 가장 빠르게 나타났다(Turkey HSD  $F=250.47, p<0.01$ ). 또 구석으로 숨었던 새끼들이 정상적인 상태로 되돌아오는데  $444.6 \pm 138.37$  sec의 시간이 소모되었다(Turkey HSD  $F=129.61, p<0.01, Table 1$ ).

Interval을 0.5sec로 유지한 상태에서 frequency, duration 그리고 intensity을 변조하였을 때 새끼들은 각기 다른 반응을 나타냈다. 0.5sec interval에서 frequency는 control 혹은 negative로 변조하였을 때 높은 반응을 나타내었으며(Turkey HSD  $F=21.80, p<0.01, Fig. 1$ ), duration은 control 상태로 유지하였을 때 반응이 높았다( $F=10.92, p<0.01, Fig. 2$ ). dB은 positive로 변조하였을 때 높은 반응을 나타냈다(Turkey HSD  $F=39.44, p<0.01, Fig. 3$ ).

Table 1. Manipulated playback tape

	Negative manipulation		Control	Positive manipulation	
Frequency(Hz)	220	320	420	520	620
Intensity(dB)	60	70	80	90	100
Duration(ms)	70	90	110	130	150
Interval(sec)	0.5	1	2	3	3.5

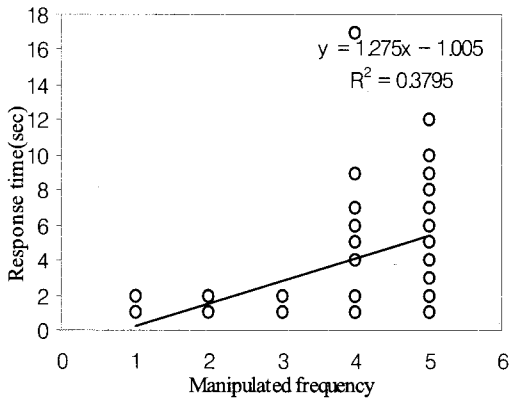


Fig. 1 Response time of black-tailed gull chicks for manipulated frequency(1:220, 2:320, 3:420, 4:520, and 5:620Hz) on 0.5sec call interval.

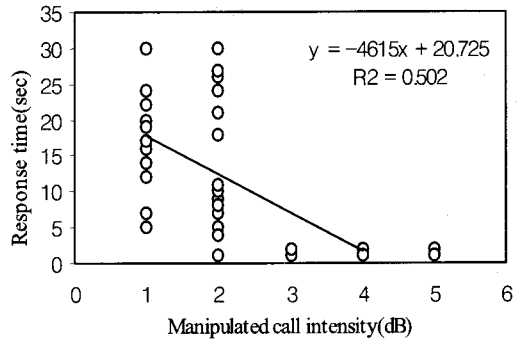


Fig. 3 Response time of black-tailed gull chicks for manipulated call intensity(1:60, 2:70, 3:80, 4:90, and 5:100dB) on 0.5sec call interval.

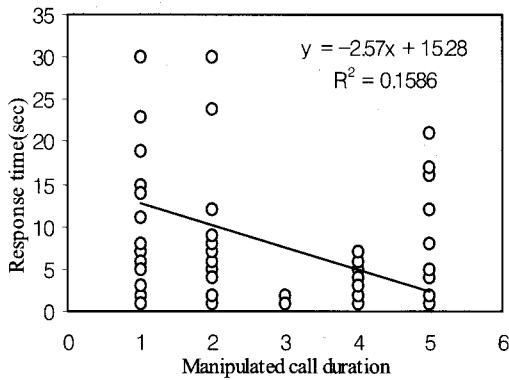


Fig. 2 Response time of black-tailed gull chicks for manipulated call duration(1:70, 2:90, 3:110, 4:130, and 5:150sec) on 0.5sec call interval.

### 3.2 성체 팽이갈매기의 반응

사육장에서 스피커를 설치하고 0.5 sec interval로 변조된 tape를 playback 하였을 때 성체 팽이갈매기들은 새끼들과 마찬가지로 frequency, duration, 그리고 dB에 대해서 큰 반응을 나타내지 않았다.

하지만 0.5sec interval 변조에서 강한 반응을 나타내었다. 성체들은 모두 비행을 하였으며 사육장 주변을 돌다가 음원지에서  $7.2m \pm 1.5$  떨어진 곳에 집단으로 모여 있었다. 성체 팽이갈매기는 음원이 끝나고 정상적인 상태로 돌아오기까지 약  $258sec \pm 42$ 의 시간이 소요되었다.

또 Playback하였을 때 성체들의 비행시간이 control 보다 의미있게 높아지는 것으로 나타났다( $t=5.085$   $P<0.01$ , Fig. 4).

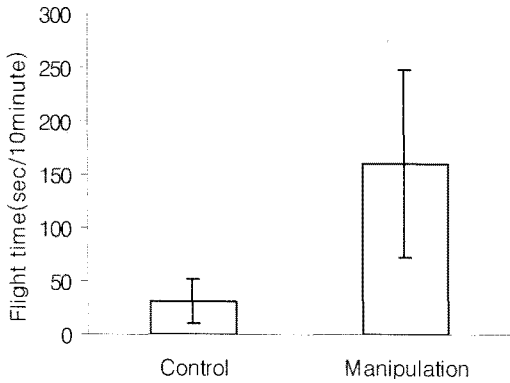


Fig. 4 Flight time between manipulation(0.5sec call interval) and control call in black-tailed gull

Table 2. Response to manipulated call in black-tailed gull chicks.

		Negative manipulation		Control	Positive manipulation		Sig.
		--	-		+	++	
Hidable response(sec)	frequency	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.s.
	intensity	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.s.
	duration	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.s.
	interval	1.2±0.41	8.0±7.1	28.9±5.1	n.r.	n.r.	0.01
Return response(sec)	frequency	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.s.
	intensity	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.s.
	duration	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.s.
	interval	444.6±138.3	469±147.4	17.8±79.6	n.r.	n.r.	0.01

n.r. : no response, n.s. : no significant

#### 4. 논 의

앵이갈매기의 자연 상태 mew call은 음성 신호 중 가장 흔한 소리이며 결코 동종사이에서 위협을 주는 소리가 아니다(Moynihan, 1958). 본 실험에서 앵이갈매기의 mew call은 interval 변조로 경계음과 마찬가지로의 효과를 나타내었다. 갈매기류의 음성 레퍼토리는 기능과 행동에 따라 10가지 정도로 나뉘어져 있다(Beer, 1969). 따라서 갈매기가 사용하는 음성신호 가운데에는 경계음과 공격음이 존재한다. 갈매기류의 경계음은 사람이나 포식자가 접근을 할 때 내는 소리로 call interval이 빠르면 빠를수록 경계의 수위가 높다는 것을 의미한다. 또 공격음은 갈매기류에서 머리를 땅 아래로 깊이 숙이고 올리면

서 내는 소리이다. 공격음의 call interval은 0.8sec 정도로 매우 짧다. 이러한 음성신호들을 새끼 갈매기에게 playback 하면 자연상태에서 새끼들은 등지 구석으로 숨는 행동을 한다(Beer, 1969, Park & Park, 1997).

선행연구에서 앵이갈매기의 경계음과 공격음의 call interval을 길게 조작하여 새끼들에게 playback 시키고 반응을 관찰한 실험이 있다. 이 실험에서 이들은 조작된 공격음과 경계음에 전혀 반응을 하지 않았으며 오히려 음원지를 향해 다가오기 까지 하였다. 이 선행연구에서 call interval이 중요하다는 사실은 밝혀졌다(Park & Chung, 2002).

본 실험에서는 frequency, duration, 그리고

dB이 경계신호로 의미가 없었지만 call interval과 함께 조작을 하였을 때에는 특히 dB에서 의미있게 나타났다. dB이란 소리의 세기로 경계신호가 어느 수준 dB이상이 되어야만 경계신호로 받아들인다는 것을 의미한다. 작은 dB은 경계를 해야 하는 곳이 자신으로부터 멀리 있다는 것을 의미하기 때문에 짧은 call interval은 dB이 강하면 강할수록 효과를 나타내게 된다.

그러면 자연상태의 경계음과 공격음도 dB을 높여서 갈매기 집단에 playback 시켰을 때 어떻게 되는가? 자연상태에서 한 개체가 경계음과 공격음을 낸다고 무리 전체가 이동하지는 않는다. 경계음과 공격음을 낸 개체 주변 몇 마리만 반응을 한다. 수 만마리의 갈매기들이 한 마리의 경계음과 공격음을 인식하여 이동을 하지는 않는다. 조류들은 한번 이동에는 많은 칼로리를 소모되므로 비행하는 것을 최소화 시켜야 한다 (Matthews, 1982).

본 실험에서는 음성분석을 통해 call interval이라는 결정적인 증거를 가졌으며 자연 상태에서 존재하지 않는 수준까지 조작을 하였을 때의 반응을 관찰한 것이다. 그 결과 꿩이갈매기새끼와 성체 모두에서 빠른 반응을 나타냈고 playback이 지난 다음에도 정상적인 수준으로 되돌리는데 얼마간의 시간이 필요했다. 성체 갈매기에서는 비행시간이 늘어났으며, 음원지와 최대한 떨어지려는 행동이 의미있게 나타났다.

우리는 꿩이갈매기 연구를 오랜 기간 하고 있으며 이러한 연구는 지금도 계속되고 있다. 예비실험에서 자연상태에서 변조된 mew call을 playback 시켰더니 그 일대의 갈매기 무리 모두를 이동시켰으며 그 장소로 다시 오는 시간까지 수 시간이 걸렸다. 그러면 갈매기 무리를 이동시키는 데 충을 쏘는 것과 다른 점이 무엇이나? 라는 질문을 한다면 우리는 동물의 학습 가운데 습관화를 예를 들 수 있다. 습관화는 동물에게 자극이 부정적 혹은 긍정적 영향을 미치지 않는다면 더 이상 반응을 하지 않는 학습에 한 범주에 들어간다. 이러한 습관화 때문에 우리는 해조류들을 퇴치할 수 없는 것이다.

항공기-조류 충돌을 방지하기 위해서는 아직도 많은 연구가 필요하다. 자연상태에서 더욱 많은 자료를 얻어야 하면 갈매기에서 습관화 학습이 이루어지지 않도록 하는 시스템을 구축해야 한다. 분명한 것은 음성신호는 다양하기 때문에 조합으로 습관화 학습에 방해줄 수 있는 복합적 장치를 구축하기가 다른 것 보다 유리하다고 생각된다.

본 연구는 항공기-조류 충돌에 대해 근본적인 해결책을 찾는 것은 아니다. 우리와 같은 연구들이 많이 나오고 선행연구들을 통해 더욱 진보된 연구가 된다면 항공기-조류 충돌을 부분적으로나마 방지할 수 있는 시스템이 나올 것이라고 확신한다. 따라서 본 연구는 항공기-조류 충돌 방지는 큰 과제에 기초적 자료로서 활용되는 차원에서 응용과학적 가치를 제공한다.

## 참 고 문 헌

- 1) Falls, J. B., "Individual recognition by sound in birds," In: Acoustic Communication in Birds, New York, Academic Press, 1982.
- 2) Stoddard, P. K., "Vocal recognition of neighbors by territorial passerines." In: Ecology and evolution of acoustic communication in birds (Kroodsma DE, Miller EH, eds). Ithaca, New York, Cornell University Press, 1996, pp. 356 - 374.
- 3) Harper, H., "The evolution of begging." Sibling competition and parent-offspring conflict, vol. 128, Am. Nat. 1986, pp99-114.
- 4) Catchpole, C. K. and Slater, P. J. B., "Bird song." In: Biological themes and variations, Cambridge university press, 1995.
- 5) Stevenson, J. G., Hutchison, R. E., Hutchison J. B, and Thorpe, W. H, "Individual recognition by auditory cues in the common tern(*Sterna hirundo*)". vol, 226 Nature, 1970, pp562-563
- 6) Smith, W. J., "The behaviour of communicating Cambridge", Harvard University Press, Mass, 1977.
- 7) Witt, V. H, "Zur verhaltens biologie der korallenmowe *Larus audouinii*", Vol, 43 Z., Tierpsychol, 1977, pp46-47.
- 8) Stout, J. F., Wilcox, C. R., and Creitz, L. E., "Aggressive communication by *Larus glaucescens*," In : Sound communication, vol, 34, Behaviour, 1969, pp29-41.
- 9) Beer, C. G., "Some complexities in the communication behavior of gulls," vol, 280, Academic press, New York, 1976, pp413-432.
- 10) Beer, C. G. "Vocal communication between laughing gull (*Larus atricilla*) parents and chicks," vol, 70, Behaviour 1979, pp118-146.

- 11) Tinbergen, N., "The herring gulls world," London, Collins, 1953.
- 12) Beer, C. G. "Laughing gull chicks recognition of their parent's voice," vol, 166, Science, 1969, pp1030-1032.
- 13) Evans, R. M., "Responsiveness of young ring-billed gulls to various natural and manipulated adult gull calls," vol, 34, Anim. Behav, 1986, pp1668-1679.
- 14) Park, S. R. and Park, D. S., "Acoustic communication of the black-tailed gull(*Larus crassirostris*)": the structure and behavioral context of vocalizations. vol, 1, Korean J. Biol .Sci, 1997, pp565-569.
- 15) Chung. H., "Behavioral development of begging and recognizing parents' mew call in Black-tailed Gull(*Larus crassirostris*) chicks," Master Dissertation Korea National University of Education, 2000.
- 16) Park, S. R. and Chung, .H., "How do young black-tailed gulls (*Larus crassirostris*) recognize adult voice signals?" vol, 6, Korean J. Biol. Sci. 2002, pp221-225
- 17) Chung, H., Cheong, S., and Park, S. R., "Communication of young black-tailed gulls, *Larus crassirostris*, in response to parent's behavior," vol, 8, . Biol. Sci, 2004, pp295-300.
- 18) Moynihan, M., "Note on the behavior of some North American gulls," II. Non-aerial hostile behavior of adults. vol, 12, Behaviour 1958, pp95-182.
- 19) Matthews, G. V. T., "Control of recreational disturbance," in managing wetland and their birds, IWRB, Slimbridge, 1982, pp325-330.