

연구논문

주남저수지에 도래하는 쇠기러기의 PVA에 의한 생존확률 추정 연구

박지은* · 이상돈*,**

이화여자대학교 에코과학부*, 이화여자대학교 환경공학과**
(2009년 5월 13일 접수, 2009년 10월 11일 승인)

Estimation of Survivorship and Population Dynamics of White-fronted Geese (*Anser albifrons*) in Junam Reservoir, Korea

Ji-Eun Park* · Sang-Don Lee*,**

Division of Eco-Science, Ewha Womans University*,
Dept of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University**
(Manuscript received 13 May 2009; accepted 11 October 2009)

Abstract

Wintering migratory species of white-fronted geese (*Anser albifrons*) are common visitor in South Korea, and this study examined the survivorship of white-fronted geese in the Junam Reservoir with the application of Population Viability Analysis (PVA) technique. In Junam PVA analysis was done for the next 50 years using factors of breeding population, sex ratios, survivorship in the VORTEX program. As a result white-fronted geese will reach to carrying capacity within 40 years, and population will reach to carrying capacity later when it becomes smaller. Also with a large initial population white-fronted geese will reach to carrying capacity earlier. In conclusion, for the next 50 years the white-fronted geese are expected to a long-term survival with stable condition with survivorship (0.03) and extinction rate (0.0).

Keywords : *Anser albifrons*, Juman reservoir, PVA(population viability analysis), Vortex, Carrying capacity

I. 서론

우리나라는 지리학적으로 열대지방과 한대지방을 연결하는 온대 반도 국가이고, 삼면이 바다로서 서해안과 남해안의 광활한 갯벌과 내륙의 수계가 잘 발달되어 있고 이들 주변에는 농경지를 포함한 다양한 서식지가 있다. 따라서 한반도는 겨울철새의 중간 기착지 또는 월동지로서 최적의 조건을 가지고 있어 매년 겨울 전국적으로 120만 마리 이상의 철새가 도래 서식한다(환경부, 2007). 2007년 겨울철 조류동시센서스 자료에 의하면 가창오리(*Anas formosa*)가 819,000 마리로 가장 많았고 그 다음이 청둥오리(*A. platyrhynchos*), 쇠기러기(*Anser albifrons*), 흰뺨검둥오리(*A. poecilorhyncha*), 큰기러기(*Anser fabalis*)의 순이었다.

이들 철새들은 국가 간을 이동하고 한 지역에 수천에서 수만 마리가 무리를 형성하여 생활하기 때문에 철새에게 중요한 서식지가 파괴되면 많은 철새들이 생활터전을 잃게 된다. 그래서 국제적으로도 습지에 사는 철새와 그들의 주요 서식지를 보호할 목적으로 람사협약을 구축하고, 인접 국가 간에는 쌍방 또는 다자간 철새보호협정을 체결하여 철새보호에 적극 대처하고 있다. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 전 세계적으로 도시화와 산업화의 영향으로 많은 철새의 서식지가 사라져 가고 있는 실정이며, 우리나라 역시 겨울 철새의 월동지들이 농지나 산업용지 등으로 단순화 또는 파괴되어 가고 있다(환경부, 2007). 이러한 문제점에 대처하기 위해서는 철새들의 향후 개체수의 변화를 예측해 볼 수 있는 연구들이 많이 이루어져야 한다.

본 연구는 철새 중에서도 우리나라에 도래하는 기러기 류 중 최우점종인 쇠기러기를 대상으로 Vortex 9.72를 사용하여 PVA(Population Viability Analysis)를 예측해 보았다. 우리나라에 도래하는 쇠기러기는 한강하구, 낙동강, 금강, 주남저수지 등에서 월동한다(함규황, 2000). 그 중 주남저수지는 남부내륙지역의 철새도래지로서 큰 비중을 차지하고 있으며, 2만 마리 이상 서식해야한다는 람사르조약 기준치를 상회하는 등 많은 철새가 월동하고 있다.

PVA는 개체군의 생존능력을 평가하는 것으로 개체군의 멸종가능성을 측정하고, 개체군 관리의 시급한 정도와 관리를 위해 가장 중요한 요인들이 무엇인지 알아보기 위해 사용된다. PVA는 Vortex같은 특정 시뮬레이션 모델 프로그램에 개체의 생활사에 대한 정보를 입력함으로 분석되어진다. PVA는 개체군의 장기적인 생존 가능성을 예측하는 것뿐 아니라, 관리방안의 선택에 있어서 유용한 지침을 제공하는 유용한 수단으로 보존생물학에서 널리 사용되고 있다(Boyce, 1992). 우리나라에서는 다루어진 적이 없지만, 외국에서 PVA를 이용한 연구로는 따오기(*Nipponia nippon*)(Li et al., 1996), 큰팬더곰(*Ailuropoda melanoleuca*)(Guo et al., 2002), 프세발스키 가젤(Przewalski's gazelle, *Procapra przewalski's*)(Li and Jiang, 2002), 섬여우(Island Fox, *Urocyon littoralis*)(Kohlmann et al., 2005), 몽크파라킧(Monk parakeet, *Myiopsitta monachus*)(Pruett-Jones et al., 2007) 등이 있다.

II. 연구방법

PVA를 구하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 Vortex(version 9.72)를 사용하였다. Vortex프로그램은 PVA의 시뮬레이션 모델로 환경적, 유전적 요인들이 개체군에게 어떤 결정적 영향을 미치는지 예측해 볼 수 있는 프로그램으로 기존의 문헌 자료를 바탕으로 한 입력 변수들을 이용하여 멸종 확률을 도출할 수 있고 개체수를 예측할 수 있다. 향후 50년의 개체수의 변화와 멸종확률을 예측해 보기 위하여 우선 쇠기러기의 문헌정보를 수집하여 Vortex프로그램에 적용할 입력변수들을 구하였다. 주로 쇠기러기의 문헌정보를 참고하였고, 문헌을 찾지 못한 자료들은 형태, 서식환경, 먹이자원, 생활상 등이 유사한 아종인 그린랜드 흰이마기러기(Greenland white-fronted geese, *Anser albifrons flavirostris*), 작은흰이마기러기(Lesser white-fronted geese, *Anser erythropus*)의 문

Table 1. Input parameters for Vortex model

Parameter	Value	Source
Breeding system	Monogamous	Ruokonen, 2001
Sex ratio at birth (male/females)	1 : 1	Van Wormer, 1968
Breeding age of females/males (year)	3 / 3	Warren and Fox, 1992
Proportion of breeding males	1.00	-
Proportion of breeding females	0.80	-
Maximum longevity (year)	25	Staav and Fransson, 2006
Adult survival	0.724	Balmer, 1997
Juvenile survival	0.596	Balmer, 1997
Clutch size	6-7 (4)	원병오, 1981
Carrying capacity	2000	-
Initial population size	922	환경부, 2007

Table 2. Population of *Anser albifrons* in Junam reservoir

Year	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Population	278	359	107	1,375	760	1,823	1,755

현정보를 참고하여 입력변수를 구하였다(Table 1). 겨울철 조류 동시센서스(환경부, 2007)를 참고하여 1999-2007년 주남저수지에 도래했던 큰기러기의 개체수(Table 2)에 바탕을 두고 향후 7년간의 쇠기러기의 개체수를 Vortex를 사용하여 예측하고 7년간의 관찰치와 7년간의 예측치의 상관관계 분석을 실시하였다. 최종적으로 2007년 이후 50년간 개체수 변화를 Vortex를 사용하여 분석하였다. 본 연구에서 사용된 주남저수지에 도래한 개체군은 주남저수지 뿐 만 아니라 인근에 위치한 산남저수지 및 동판저수지에 도래하는 개체를 모두 포함하는 개체군으로 표기하였다. 또한 주남저수지의 개체군은 문헌에서 나타난 조사결과를 인용하였으며 2001-2007년간 개체군경향을 이용한 것이므로 조사분석에 개체군변동을 적절히 반영하였다고 판단된다.

III. 결 과

1. 2007년 이후 7년에 대한 Vortex프로그램 시행 결과

2001년-2007년의 주남저수지의 쇠기러기 개체수의 평균값인 922를 초기개체군크기로 환경수용

력은 2,000으로 놓고 Table 1의 입력변수를 적용하여 Vortex프로그램을 250번 반복 시행하여 2007년 이후 7년의 쇠기러기 개체수를 예측해 보았다. 그 결과 성장률은 0.034, 멸종률은 0.0 (Table 3)으로 나타났으며 개체수의 변화는 다음과 같이 추정된다(Table 4).

Table 3. Result of Vortex model in 7 years after 2007

Scenario	Runs	r	SD(r)	PE
Ni=922/K=2000	250	0.034	0.026	0

r=Population growth rate; SD(r)=standard deviation; PE=Probability of extinction; Ni=initial population size; K=carrying capacity

Table 4. Observed population and expected population in 7 years

Year	Expected(X)	Observed(Y)
1	278	953
2	359	988
3	107	1,023
4	1,375	1,057
5	760	1,091
6	1,823	1,128
7	1,755	1,169
Average	922	1,058

2. 상관관계 분석

관찰된 개체수와 위의 Table 1의 입력변수를 가지고 Vortex 프로그램을 시행한 결과 얻어진 7년간의 예측 개체수와와의 상관관계를 분석하였다. 예측된 개체군의 평균은 922로 나타났으며 관측값은 1,058로 나타났다. 그 결과 $R^2=0.733$, $P=0.014$ 로 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다($y=0.09x+974.44$)(Fig. 1). 이 결과로부터 Table 1의 입력변수들은 지난 7년 동안의 쇠기리기 개체수의 변화양상을 어느 정도 설명해 줄 수 있을 것으로 판단하였다.

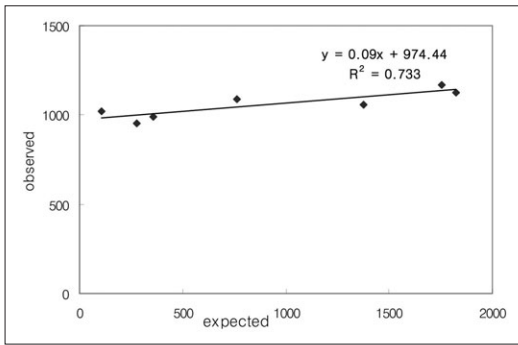


Fig. 1. Relationships between 'Observed' and 'Expected' with using Vortex model, R^2 value (0.733) and P -value (< 0.05)

3. 2007년 이후 향후 50년에 대한 Vortex프로그램 시행 결과

2001년-2007년의 주남저수지의 쇠기리기 개체수의 평균값인 922를 초기개체군크기로, 환경수용력은 2,000으로 놓고 Table 1의 입력변수를 적용하여 Vortex프로그램을 250번 반복 시행하여 2007년 이후 50년의 쇠기리기 개체수를 예측해 보았다. 그 결과 성장률은 0.034, 멸종률은 0(Table 5)으로 나타났으며 개체수의 변화는 다음과 같이 추정된다(Fig. 2).

Table 5. Result of Vortex model in 50 years after 2007

Scenario	Year	Runs	r	SD(r)	PE
Ni=922/K=2000	50	250	0.034	0.022	0

r=Population growth rate; SD(r)=standard deviation; PE=Probability of extinction; Ni=initial population size; K=carrying capacity

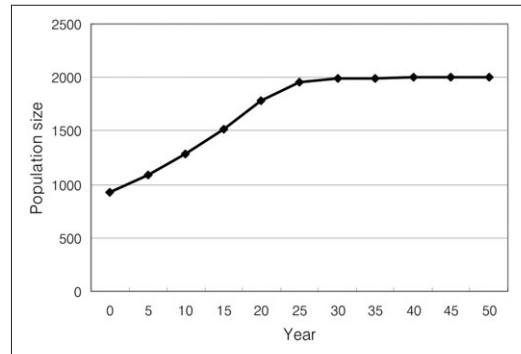


Fig. 2. Changes in Population size in 50 years after 2007

4. 입력변수 변동에 따른 PVA결과

입력변수들은 Table 1을 그대로 사용하고 환경수용력과 초기개체군크기만 다르게 하여 Vortex프로그램을 시행하였다.

1) 환경수용력을 1000, 2000, 3000으로 다르게 한 경우

2001년-2007년의 주남저수지의 쇠기리기 개체수의 평균값인 922를 초기개체군크기로, 환경수용력(K)는 1000, 2000, 3000으로 놓고 Table 1의 입력변수를 적용하여 Vortex 9.72프로그램을 250번 반복 시행하여 2007년 이후 50년의 쇠기리기 개체수를 예측해 보았다. 그 결과 K=1000, 2000, 3000일 때 모두 성장률 0.034, 멸종률은 0(Table 6)으로 나타났으며 개체수의 변화는 Fig. 3과 같이 나타났다.

Table 6. Results of Vortex model in different levels of carrying capacity

Scenario	Year	Runs	r	SD(r)	PE
K=1000	50	250	0.034	0.028	0
K=2000	50	250	0.034	0.022	0
K=3000	50	250	0.034	0.021	0

r=Population growth rate; SD(r)=Standard deviation; PE=Probability of extinction; Initial population size=922; K: carrying capacity=1000, 2000, 3000

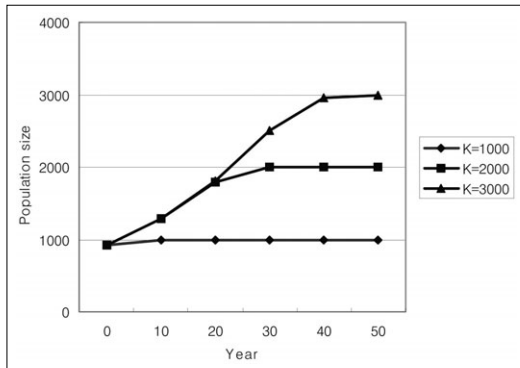


Fig. 3. Effects of carrying capacity on population size. The carrying capacities are 1000, 2000 and 3000

2) 초기개체군크기를 100, 600, 1200, 1800으로 다르게 한 경우

초기개체군크기(N_i)를 100, 600, 1200, 1800, 환경수용력을 2000으로 하고, Table 1의 입력변수를 적용하여 Vortex 9.72 프로그램을 250번 반복 시행하여 2007년 이후 50년의 쇠기러기 개체수를 예측해 보았다. 그 결과 $N_i=100, 600, 1200, 1800$ 일 때 모두 성장률 0.034, 멸종률은 0 (Table 7)으

Table 7. Result in Vortex model in different initial population size

Scenario	Year	Runs	r	SD(r)	PE
$N_i=100$	50	250	0.034	0.067	0
$N_i=600$	50	250	0.034	0.026	0
$N_i=1200$	50	250	0.034	0.021	0
$N_i=1800$	50	250	0.034	0.020	0

r=Population growth rate; SD(r)=Standard deviation; PE=Probability of extinction; N_i : initial population size=100,600,1200,1800; K; carrying capacity=2000

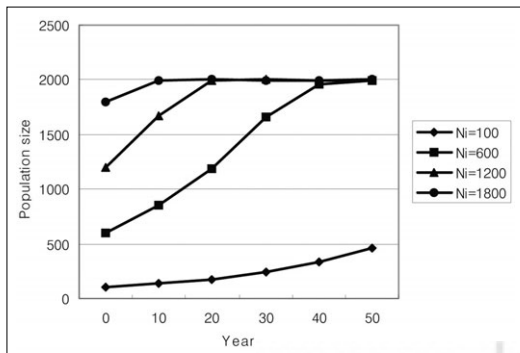


Fig. 4. Effects of initial population size on population size. The initial population size (N_i) are 100, 600, 1200 and 1800

로 나타났으며 개체수의 변화는 Fig. 4와 같이 나타났다.

IV. 고 찰

가까운 중국을 비롯하여 여러 나라들에서 이미 생태계 관리를 위한 개체군 생존능력 평가(Population Viability Analysis; PVA)가 이루어지고 있다. PVA를 위한 모델로 GAPPS(Harris *et al.* 1986), RAMAS(Ferson and Akcakaya 1990), Vortex(Lacy 1993)가 있다. 이 중 본 연구에서 사용한 Vortex프로그램은 멸종위기종 PVA를 위해 가장 많이 사용되는 프로그램 중 하나이다(Lindenmayer *et al.* 1995). 본 연구에서는 Vortex 9.72를 사용하여 쇠기러기의 PVA를 시행해 보았다. 쇠기러기는 매년 겨울 우리나라로 도래하는 최우점종 겨울철새로 도래지의 생태변화와 깊은 관계를 가지고 있다. PVA를 통하여 개체군의 변화양상을 살펴봄으로써 생태변화와의 관계를 알아볼 수 있다. 우리나라에서는 한반도에 서식하고 있는 동·식물에 대한 개체군 생존능력 평가에 대한 연구는 본 연구가 처음이다.

본 연구에서는 주남저수지에 매년 도래하는 쇠기러기를 대상으로 PVA를 실시하였다. 그 결과, 향후 7년에 대한 PVA의 경우 $r=0.034$, 멸종률=0, 개체수는 922에서 1,169로 꾸준히 증가하는 것으로 나타났다. 7년 동안의 관찰치와 Vortex프로그램을 시행한 결과 나타난 예측치와의 상관관계 분석 결과 $R^2=0.733$, $P=0.014$ 로 관찰치와 예측치간에 유의한 상관관계를 가짐을 알 수 있었다(Fig. 1). 그리하여 입력변수(Table 1)를 적용하여 향후 50년에 대한 PVA를 알아본 결과 $r = 0.034$, 멸종률=0으로 나타났으며 개체수는 40년 내에 K값에 도달할 것으로 예측되었다(Fig. 2). 환경수용력(K) 값만을 다르게 적용한 경우 개체수가 K값에 도달하는 시간이 $K=1,000$ 인 경우 10년, $K=2,000$ 인 경우 30년, $K=3,000$ 인 경우 40년으로 K값이 작을수록 개체수가 K값에 빠른 시간 내 도달할 것으로 예측되었다(Fig. 3). 초기개체군크기(N_i)값만을 다르게 적용한

경우 $N_i=100$ 인 경우 50년이 지나도 $K(2,000)$ 값에 도달하지 못할 것으로 예측되었으며, $N_i=600$ 인 경우는 40년, $N_i=1,200$ 인 경우는 20년, $N_i=1,800$ 인 경우는 10년 후면 K 값에 도달할 것으로 예측됨으로 N_i 값이 K 값에 가까울수록 개체수가 K 값에 빠른 시간 내 도달할 것으로 예측되었다(Fig. 4). 결과적으로 향후 50년 동안 쇠기리기 개체군은 K 값까지 꾸준히 증가하는 안정적인 형태를 보일 것으로 예측되었다.

외국 연구 사례 중 중국의 큰팬더곰의 PVA 경우 대재앙(catastrophe)과 근친교배(inbreeding)값을 고려하지 않았을 경우 개체수가 천천히 증가할 것으로 예측되나 대재앙과 근친교배를 고려할 경우 90년 내에 멸종할 것으로 예측되었다(Guo *et al.* 2002). 팬더곰을 비롯하여 위에 거론한 연구 종들의 경우 가깝게는 50년, 멀게는 200년 내에 멸종될 것으로 나타났다. 그 멸종률에 영향을 주는 요인으로는 대재앙과 근친교배였고 대재앙과 근친교배를 고려하지 않은 경우에는 본 연구에서와 마찬가지로 환경수용력값에 의존적으로 개체수가 증가하는 경향을 나타냈다. 대재앙과 근친교배값이 멸종률에 큰 상관성을 나타냄을 알 수 있다.

본 연구에서는 애석하게도 쇠기리기에 대한 대재앙과 근친교배에 대해 연구된 자료를 얻지 못하여 그 값을 고려하지 못하였다. 하지만 본 연구는 우리나라에서 전무한 PVA연구를 시도했다는 것에 의의를 가진다. 또한 본 연구는 멸종위기종에 대한 PVA에 대한 고려를 하였으나 관련 자료가 부족하고 개체군에 대한 추정이 어려운 관계로, 비교적 개체수가 풍부하고 관련 자료의 확보가 용이한 쇠기리기를 택하였다. 향후 연구에 있어 우리나라에 서식하는 개체군 생존확률 예측이 어려운 멸종위기종에 PVA를 적용할 경우, 멸종위기종의 보존과 생태계 관리에 있어 효과적일 것이라 생각한다. 효과적인 종 보존과 생태계관리를 위해 필요한 PVA연구는 각 종들의 생활사에 대한 기본적인 연구들이 충분히 이루어진 가운데 그 정보에 바탕을 두고 시행되어 질 수 있는 연구이기 때문에 각 종에 대한 충분

한 기본연구들이 먼저 이루어져야 할 것이다.

사 사

본 연구를 지원해 주신 Sustainable Water Resources Research Center(1-0-3) 및 SmartHighway (1-2-1)에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 박진영, 원병오, 1993, 주남저수지에 도래하는 큰기러기와 쇠기리기의 월동생태, 경희대학교 한국조류연구 연구보고, 4, 1-24.
- 원병오, 1981, 한국동식물도감 vol.25, 문교부.
- 원병오, 1996, 한국조류목록, 경희대학교 한국조류연구소, 1, 39-58.
- 환경부, 1999-2004, 겨울철 조류 동시 센서스, 환경부 국립환경과학원.
- 환경부, 1999-2004, 겨울철 조류 동시 센서스, 환경부 국립환경과학원.
- 함규황, 2000, 최근 5년간 주남저수지에 도래하는 조류에 관한 연구, 기초과학연구소 논문집, 14, 73-84.
- Akakaya, H. R. and S. Ferson, 1990, RAMAS/Space User Manual. Spatially Structured Population Models for Conservation Biology, Applied Biomathematics, New York.
- Balmer, D. E. and W. J. Peach, 1997, Review of natural avian mortality rates, BTO research report, Thetford.
- Boyce, M. S. 1992, Population viability analysis, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23, 481-506.
- Cramp, S. and K. E. L. Simmons, 1977, Handbook of the birds of Europe, the middle east and north Africa. The bird of the western Palaearctic, Vol 1,

- Oxford.
- Guo, J., Y. Chen, and J. Hu, 2002, Population viability analysis of Giant Pandas (*Ailuropoda melanojeuca*) in the yele nature reserve, *Journal for Nature Conservation*, 10, 35-40.
- Harris, R. B., L. H. Metzger, and C. D. Bevins, 1986, GAPPS: Generalized Animal Population Projection System. Version 3.0 User's Manual, University of Montana.
- Kohlmann, S. G., G. A. Schmidt, and D. K. Garcelon, 2005, A population viability analysis for the Island Fox on Santa Caialina Island, California, *Ecological Modelling*, 183, 77-94.
- Lacy, R. C., 1993, VORTEX: A Computer Simulation Model for Population Viability Analysis, *Wildl. Res.*, 20, 45-65.
- Li, D. and Z. Jiang, 2002, Population viability analysis for the Przewalski's Gazell (*Procapra przewalskii*), *Russian Journal of Ecology*, 33, 115-120.
- Li, X., D. Li, and B. Lu, 1996, Population viability analysis for the Crested ibis (*Nipponia nippon*), *Chinese Biodiversity*, 4, 69-77.
- Lindenmayer, D. B., M. A. Burgman, H. R. Akcakaya, R. C. Lacy, and H. P. Possingham, 1995, A review of the generic computer programs ALEX, RAMAS/space and VORTEX for modelling the viability of wildlife metapopulations, *Ecological Modeling*, 82, 161-174.
- Pruett-Jones, S., J. R. Newman, C. M. Newman, M. R. Avery, and J. R. Lindsay, 2007, Population viability analysis of monk parakeets in the United States and examination of alternative management strategies, *Human Wildlife Conflicts*, 1, 35-44.
- Ruokonen, M., 2001, Phylogeography and conservation genetics of the Lesser white-fronted goose (*Anser erythropus*), PhD thesis. Department of Biology, University of Oulu.
- Staav, R. and T. Fransson, 2006, Euring list of longevity records for European birds. http://www.euring.org/data_and_codes/longevity.htm.
- Van Wormer, J., 1968, The world of the Canada goose. Philadelphia, Lippincott.
- Warren, S. M. and A. D. Fox, 1992, Age of first pairing and breeding among Greenland and White-fronted geese, *Ornithological Society*, 94, 791-793.

최종원고채택 09. 10. 21