



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

博士學位論文

새 만금에 도래하는 수금류의
월동이동생태에 관한 연구

濟州大學校 大學院

科學教育學部

鄭 相 民

2019年 2月

Contents

Contents	i
List of Tables	iv
List of Figures	viii
ABSTRACT	1
I. 연구의 배경	4
1. 연구배경 및 목적	4
2. 연구사	7
1) 새만금에 월동하는 수금류의 도래변화상	7
2) 수금류의 월동이동생태	7
3) 복상 이동 정보	8
II. 새만금에 도래하는 수금류 월동군집의 변화상	9
1. 서론	9
2. 연구방법	10
1) 연구지역	10
2) 연구 방법	11
3. 연구 결과	14
1) 연간 수금류 도래현황	14
2) 연간 수금류 도래경향 분석	18
3) 종간 도래현황 상관성 분석	24

4. 고찰	26
III. 수금류의 월동이동생태	30
1. 서론	30
2. 연구 방법	32
1) 수금류 포획 및 위치추적기 부착	32
2) 수금류 추적 현황	32
3) 통계 분석	35
3. 연구 결과	36
1) 행동권분석	36
2) 월동기 서식지 이용 분석	49
3) 수금류의 월동기 월별 이동거리 패턴	59
4) 수금류의 월동기 시간대별 이동거리	70
4. 고찰	78
IV. 북상 이동 정보	81
1. 서론	81
2. 연구 방법	82
1) 위치추적기 대상종 및 부착지역	82
2) 북상 정보 분석	82
3. 연구 결과	84
1) 북상 시기 및 이동경로	84
2) 주요 중간기착지 현황	95
3) 수금류의 장거리 이동 정보 측정 분석	98
4. 고찰	104

V. 종합 고찰	107
VI. 결론 및 제언	112
VII. 적 요	115
VIII. 참고문헌	117
APPENDIX	131

List of Tables

Table 1. Status of waterfowl communities 8 years in Mankyung river -----	15
Table 2. Pearson's correlation between month and wintering population in 2016-2017(TW : Total Waterfowl, BG : Bean Goose, WG : White-fronted Goose, CS : Common Shelduck, EW : Eurasian Wigeon, MD : Mallard, SD : Spot-bill Duck, PT : Pintail, CT : Common Teal, PC : Pochard, GS : Greater Scaup) -----	25
Table 3. Pearson's correlation between month and wintering population in 2017-2018(TW : Total Waterfowl, BG : Bean Goose, WG : White-fronted Goose, CS : Common Shelduck, EW : Eurasian Wigeon, MD : Mallard, SD : Spot-bill Duck, PT : Pintail, CT : Common Teal, PC : Pochard, GS : Greater Scaup) -----	25
Table 4. The information for captured 3 species ducks(Mallard, spot-bill duck, pintail). Information on species, sex, weight, and location of capture is provided -----	33
Table 5. Status and wintering migration period of 27 ducks with Wild-Tracker (WT-300) -----	34
Table 6. Home range analysis results according to MCP and KDE of 10 mallards with GPS at Mangyung River -----	37
Table 7. Home range analysis results according to MCP and KDE of 4 spot-bill ducks with GPS at Mangyung River -----	41

Table 8. Home range analysis results according to MCP and KDE of 10 Pintails with GPS at Mangyung River -----	44
Table 9. Home range analysis results in according to MCP and KDE measures of 3 species with GPS by region -----	48
Table 10. Using ratio of total habitats during the tracking period of mallard -	49
Table 11. Using ratio of total habitats during the tracking period of spot-bill duck -----	51
Table 12. Using ratio of total habitats during the tracking period of pintail -	53
Table 13. Analysis of difference in habitat use of 3 species ducks (One-Way Anova) -----	55
Table 14. Comparison of habitat use of ducks by species -----	56
Table 15. Comparison of daytime habitat use of ducks by species -----	57
Table 16. Comparison of nighttime habitat use of ducks by species -----	58
Table 17. The moving average max distance(km) monthly of mallard -----	60
Table 18. The moving average max distance(km) monthly of spot-bill ducks.	62
Table 19. The moving average max distance(km) monthly of pintails -----	65
Table 20. The moving average max distance(km) monthly of ducks -----	67

Table 21. Analysis of monthly moving average max distance of 3 species ducks (One-Way Anova) -----	68
Table 22. The Moving distance(km) of total mallards by the timeline -----	71
Table 23. The Moving distance(km) of total Spot-bill ducks by the timeline --	73
Table 24. The Moving distance(km) of total Pintails by the timeline -----	74
Table 25. The moving distance(km) of total ducks by timeline -----	76
Table 26. The detailed tracking information of ducks -----	83
Table 27. The information of spring migration of mallard -----	85
Table 28. The information of spring migration of spot-bill ducks. -----	89
Table 29. The information of spring migration of pintails. -----	92
Table 30. Information on the stopover site of mallards -----	95
Table 31. Information on the stopover site of spot-bill ducks -----	96
Table 32. Information on the stopover site of pintails -----	97
Table 33. Each species migration flight altitude -----	98
Table 34. Migration flight altitude of ducks -----	99

Table 35. Each species migration flight speed -----	100
Table 36. Migration flight speed of ducks -----	101
Table 37. Each species migration flight time -----	102
Table 38. Migration flight time of ducks -----	103

List of Figures

- Figure 1. Map of study site in Mankyung river. There is Saemangeum in the mouth of the river, and construction is currently underway ----- 10
- Figure 2. Status of dominant species among waterfowls observed at the Mankyung river ----- 15
- Figure 3. Number of individuals of waterfowls observed at Mankyung river from 2010 to 2018($y=1317.4x + 54412$ $R^2=0.0231$) ----- 16
- Figure 4. Number of individuals of goose observed at Mankyung river from 2010 to 2018($y=1158.9x + 12565$ $R^2=0.2004$) ----- 16
- Figure 5. Number of individuals of dabbling duck observed at Mankyung river from 2010 to 2018($y=-614x + 41673$ $R^2=0.0089$) ----- 17
- Figure 6. Number of individuals of diving duck observed at Mankyung river from 2010 to 2018($y=3090.3x + 174.89$ $R^2=0.2987$) ----- 17
- Figure 7. Monthly change in number of individuals of waterfowl in Mankyung river district from 2016 to 2018(■-arrival ◆- max ●-departure) · 22
- Figure 8. Home range status according to MCP and KDE of 10 mallards with GPS at Mangyung River ----- 38
- Figure 9. Home range status according to MCP and KDE of 4 Spot-bill ducks with GPS at Mangyung River ----- 42

Figure 10. Home range status according to MCP and KDE of 10 Pintails with GPS at Mangyung River	45
Figure 11. Habitat use of 10 mallards. other habitats include forests, artificial buildings, roads, and bare lands	50
Figure 12. Comparing Used habitats in day and night time of mallard	50
Figure 13. Habitat use of 4 spot-bill ducks. other habitats include forests, artificial buildings, roads, and bare lands	52
Figure 14. Comparing Used habitats in day and night time of spot-bill duck	52
Figure 15. Habitat use of 10 pintails. other habitats include forests, artificial buildings, roads, and bare lands	54
Figure 16. Comparing Used habitats in day and night time of pintail	54
Figure 17. Comparison of habitat use by species during wintering season of Ducks	56
Figure 18. Comparison of habitat use by species during daytime of ducks	57
Figure 19. Comparison of habitat use by species during nighttime of ducks	58
Figure 20. The moving Average max distance(km) monthly of mallards	60
Figure 21. Monthly moving pattern of male and female of the mallards.	61

Figure 22. The moving distance(km) monthly of mallards by google map(MCP- Nov: 901.1km ² , Dec: 947.1km ² , Jan: 480.9km ² , Feb: 369.1) -----	61
Figure 23. The moving average max distance(km) monthly of spot-bill ducks	63
Figure 24. The moving distance(km) monthly of spot-bill ducks by google map(MCP- Dec: 68.1km ² , Jan: 88.2km ² , Feb: 8.4) -----	63
Figure 25. The moving average max distance(km) monthly of pintails -----	65
Figure 26. Monthly moving pattern of male and female of the pintails -----	66
Figure 27. The moving distance(km) monthly of pintails by google map(MCP- Nov: 855.7km ² , Dec: 942.6km ² , Jan: 503.8km ² , Feb: 644.5) -----	66
Figure 28. The moving average max distance(km) monthly of ducks in wintering season. -----	68
Figure 29. The MCP(km ²) monthly of 3 species duck in wintering season -----	69
Figure 30. The moving distance(km) of 10 mallards by timeline -----	71
Figure 31. Moving distance status by time of female and male mallards -----	72
Figure 32. The moving distance(km) of 4 Spot-bill ducks by timeline -----	73
Figure 33. The moving distance(km) of 10 pintails by timeline -----	75
Figure 34. Moving distance status by time of female and male pintails -----	75

Figure 35. The moving Average max distance(km) timeline of ducks -----	77
Figure 36. The spring migration routes of 10 mallards. Circles indicate the daily locations with the highest location quality -----	85
Figure 37. Each individual's migration routes of mallards. Circles indicate the daily locations with the highest location quality -----	86
Figure 38. Usage days at flying distance during spring migration of mallards --	87
Figure 39. Spring migration routes of spot-bill ducks. Circles indicate the daily locations with the highest location quality -----	89
Figure 40. Each individual's migration routes of spot-bill ducks.Circles indicate the daily locations with the highest location quality -----	90
Figure 41. Usage days at flying distance during spring migration of spot-bill ducks -----	91
Figure 42. Spring migration routes of pintails. Circles indicate the daily locations with the highest location quality -----	93
Figure 43. Each individual's migration routes of pintails. Circles indicate the daily locations with the highest location quality -----	93
Figure 44. Usage days at flying distance during spring migration of pintails --	94

ABSTRACT

From 2012 to 2018, the total number of individual observed was of 158,621 and were of 24 species at Mankyung river. The most dominant species is mallard(*Anas platyrhynchos*) with 28.8%, followed by Greater Scaup, white-fronted goose, tufted duck and spot-billed duck. Analysis of annual arrival status by category group showed that wild goose species have been declining every year but in recent years their number is increasing but since 2011 the dabbling duck species has been decreasing year by year. Diving duck species show the higher significant variation in migration but tend to increase as a result. The waterfowls starts their arrival from mid-October and peaked at the end of December. They tends to leave the Mangyeon river from early march. Dabbling duck that share a similar ecological habits showed a similar tendency to arrive. According to analysis, the wintering home range, by attaching a location tracker to three specise of waterfowls. The average home range of mallard was of MCP 628.9km², and the average of KDE 50% was of 71.9 km². The wintering home range of spot-billed duck was of MCP 51.1km², the average of KDE 50% was of 4.5km². The winter migratory home range of pintail was of MCP 1,175.0km², the average of KDE 50% was of 114.5km². Overall, it was found to be using the Saemangeum area during the wintering season. The three main habitats were the highest rate of Hydrosphere use by three species, with an average of 47.0%, followed by main feed sites of waterfowls is Rice field. More than 5 percent of inland wetland is used by mallard and spot-billed duck where as the pintail use 8 percent of coastal and ocean water, which show the difference in use of habitat between these species. All three species take a rest in Hydrosphere during the day and eat in the Rice field at night. Analysis of monthly movement pattern showed that the maximum distance traveled between

mallards and pintails ducks increased until early December, and decreased from late January to early February. The maximum moving distance by spot-billed duck increased at the end of December and decrease after early January continuously. All three species showed a tendency to rise again after early February. The monthly home range of mallard and pintail is similar till January, after this month the mallard home range become narrow where as the pintail increase its home range. The spot-billed duck tend to show narrower home range after January. Comparing to overall winter home range, area used by spot-billed duck and mallard is narrow, where as pintail is higher. The daily moving distance analysis showed that all species had the longest travel distance between 16:00 and 18:00, followed by 6:00 to 8:00 section, they have the similar pattern of flight. It was found that the moving distance by time was larger in pintail followed by the order of mallard, spot-billed duck. The moving distance during day appears to be longer as compare to night and they move a shorter distance during the dawn(0:00-06:00). Analysis of hourly distance travel in mallards and pintail by dividing sex show that males generally travel a longer distance than females overall. Waterfowls starts moving north between mid-march and late of April, but some still continue their migration till mid of may. The path for the migration route of species appears to be different according to the individuals and they selected the habitat in the northeastern region of china mainly. The pintail moved a distance of 2,132.6km to breed to Sakhalin, Russia. As for latitude, the breeding site of pintail was the highest followed by mallard, spot-billed duck. It show that mallard has 20, spot-billed duck has 8, pintail has 7 main stopover site. It showed their tendency of stay range from at least 1 till 46 days, but mostly it was found to move within 1~3 days from stop over site. The average altitude for long-haul flights was found to be 564.2 meters and maximum of 1,907 meters , and the average speed of the flight was of 75 km/h and maximum of 115 km/h in waterfowl.

These water birds have their higher tendency to depart in between 16 in the afternoon and 20 in the evening. They flight at least 2 hours to 30 hours in maximum and most of their arrival time was at dawn. Overall, they starts to depart at night and tended to arrive at dawn or before 8 a.m. at the latest. In conclusion, the results are likely to be used as a variety of basic research data, including protection and restoration of species and populations of the waterfowls species and habitat management among countries.

I. 연구의 배경

1. 연구배경 및 목적

2차 산업혁명 이후 전 세계적으로 다양한 야생동물들이 인간의 영향으로 멸종위기에 처해 있으며, 이로 인해 생물다양성이 감소하고 있다(Vitousek, 1994; Pimm *et al.*, 1995; Barnosky *et al.*, 2011). 이에 따라 근래 생태학은 인간의 영향으로 발생한 서식지 파괴나 생물다양성 감소가 매우 중요한 현안으로 취급되고 있으며, 결과적으로 생태를 연구함에 있어 생태계에 대한 인간의 영향을 파악하고 그 대책을 연구하는 것이 오늘날 가장 시급한 이슈가 되고있다(Barnosky *et al.*, 2011).

습지(wetlands)는 물이 고여 있거나 흐르는 물, 담수역, 해수 소택 이탄지 등을 말하며, 생태학적으로 매우 중요한 역할을 한다(Barbier *et al.*, 1997; Zedler and Kercher, 2005; Ghermandi *et al.*, 2010; Blackwell and Pilgrim, 2011; De la Hera *et al.*, 2011; Horowitz and Finlayson, 2011). 습지는 조류와 포유류, 어류 등 척추동물부터 곤충류와 같은 무척추동물까지 다양한 야생동물들에게 필요한 서식지를 제공하며, 생물다양성을 증가시킨다(Buckton, 2007). 또한 철새에게 있어 에너지를 얻을 수 있는 주요 서식지로서 그들의 생존을 유지시키는 역할을 한다(Whittaker and Likens, 1973; Gibbs, 1993; Paracuellos, 2006). 그러나 지난 50년 동안 전 세계적으로 60%이상의 자연습지들이 훼손되거나 파괴되었으며, 특히 습지를 필수적으로 이용하는 수조류는 매년 5~9%의 빠른 속도로 감소하고 있다(Hilton and Manning, 1995; Yee *et al.*, 2010). 대부분의 수조류들은 이동철새로 일생동안 여러 국가의 다양한 지역을 이용한다(Newton, 2006). 이러한 상황 속에서 단순히 어느 한 지역에서 보호·관리를 하더라도 이들이 이용하는 중간기착지나 주요 서식지에서 보호관리가 이뤄지지 않는다면 향후에도 수조류 개체군은 지속적으로 감소될 것이다. 따라서 수조류의 종 및 개체군에 대해 계획적으로 보호·관리가 이루어지기 위해서는 월동지, 중간기착지, 번식지 등 주요 서식지

현황 파악과 서식지를 어떻게 이용하는가에 대한 이동생태 연구자료들이 필요하다.

한국은 동아시아 대양주 철새이동경로(East Asian-Australasian Flyway)에 위치해 있어 다양한 야생조류의 중간기착지 및 겨울철 월동지로 생태학적으로 매우 중요한 지역이다(이, 2000). 한국의 주요 철새도래지들은 대부분 서해안에 위치하고 있으며, 갯벌과 같은 연안습지, 간척호와 대규모 간척지로 이루어져 있어 이를 주 서식처로 이용하는 수조류의 주요 월동지로 이용된다(이, 2000; 신, 2016). 그러나 무분별한 오염물질 방류, 주요 서식지인 논과 습지의 개발과 그로 인해 발생하는 인위적인 간섭 등으로 수조류 서식에 부정적인 영향을 주고 있는 실정이다(Hilton and Manning, 1995; Yee *et al.*, 2010). 한국 중남부에 위치하는 새만금 지역은 국내 대표적인 철새도래지이며, 다양한 수조류의 월동지 및 중간기착지 지역으로 그 중요성이 매우 큰 지역이지만(이, 2000; 이 등, 2002; 강 등, 2011), 1991년 군산과 부안지역의 해안을 잇는 33km의 대규모 방조제 공사가 진행되어 2006년 4월 방조제가 완공되었으며, 그 결과 갯벌과 습지들이 매립되고 약 40,000ha의 토지가 조성되었다(Sim and Lee, 1999; Lee *et al.*, 2007). 현재는 두 개의 갑문을 통해 해수가 유통되고 있으며(Sin and Kim, 2010), 관리 수위를 이용해 수위가 조절되어 대부분의 습지가 육지화 되었고, 일부 잔존 갯벌의 퇴적환경이 변하고 있다. 이러한 환경변화는 생태계 변화를 발생시켰으며, 특히 새만금에 도래하는 야생조류의 먹이원이 되는 저서무척추동물과 어류 등 먹이원의 변화를 유발하였다(An *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2007; Sin and Kim, 2010). 인간의 활동은 야생조류의 서식지 변화를 유발하며, 군집의 변화에도 영향을 미친다(Zhugue and Jiang 1983, Zheng, 1984; Jokimaki and Suhonen, 1993; Chen *et al.*, 2002; Tang *et al.*, 2003). 이러한 연유로 방조제 건설 전 새만금은 섬금류의 주요 도래지였으나 완공 후 조성된 간척호와 농경지로 인해 수금류의 주요 월동지로 변화되었다(강 등, 2011). 이후 이마저도 수금류의 주요 서식지인 논이 ‘새만금종합개발사업’ 계획에 의해 매립되고 개발지역으로 전환되고 있으며, 비단 이 문제는 새만금과 같은 국내 주요 철새도래지 뿐만 아니라 전 세계적으로도 습지매립 및 개발 등이 동일하게 진행되고 있어 수금류의 안정적인 생존에 위협을 받고 있다. 국내에 서식하는 수금류들 대부분은 이동철새로 그들이 장거리 비행 시 이용하는 중간기착지나 번식지의 개발로 인해 서식지가 감소되고 파편화 되고 있어 이들 생존에 부정적인

영향을 주고 있다(Newton, 2006; 빙, 2013). 지금까지 다양한 수금류의 보호방안이나 서식지 관리 연구가 진행되고는 있으나 주로 모니터링을 이용한 연구들만 단편적으로 진행되고 있으며, 종과 군집을 대상으로 장기적인 관점에서 진행된 이동생태연구는 다소 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 수금류의 주요 월동지인 새만금 지역을 대상으로 환경변화에 따른 수금류의 장기변동을 파악하고 야생동물 위치추적기를 이용한 월동지, 이동경로, 중간기착지, 번식지 정보 등 수금류의 전반적인 이동생태정보에 필요한 자료를 파악하여 대표적 수조류인 수금류의 종과 개체군 보호 및 복원, 서식지 관리 등 다양한 자료를 제공하기 위하여 이루어졌다.

2. 연구사

1) 새만금에 도래하는 수금류 월동군집의 변화상

새만금에 서식하는 야생조류에 대한 조사는 수조류를 중심으로 연구가 되었는데 2006년 방조제 완공 전 연구로는 새만금 일대를 서해안 일부 갯벌지역으로 분류하여 섭금류의 군집변동과 식이물(최와 정, 1995), 서해안에 도래하는 수조류 현황(김, 1998) 등이 있다. 완공 이후에는 환경변화에 따른 조류군집변화에 대한 연구들이 주로 이루어졌다. 수조류 실태와 개체군변동(Lee *et al.*, 2002a), 간석지를 이용하는 수조류 월동과 이동경로 중요성 연구(이, 2000), 만경강 지역을 중심으로 조류현황과 관리방안(Lee *et al.*, 2002b) 및 조류 서식환경을 위한 연구가 일부 수행되었다(KRCC, 2003; 2005). 이전 10년 동안에는 새만금에 도래하는 월동 수조류 군집(강 등, 2011a), 조류에 의한 새만금 평가(강 등, 2011b) 등이 있으나 최근에는 연구된 바 없다.

2) 수금류의 월동 이동생태

일반적으로 수금류는 생태적 습성에 따라 선호하는 서식지가 다르고(최 등, 2007), 월동기에는 다양한 요인에 의해 그 분포가 달라진다(유 등, 2008). 또한 서식지의 급격한 변화는 해당지역을 이용하는 조류 군집변화를 초래하며(김 등, 2013), 대부분 먹이원에 따라 주요 서식지가 달라진다(남 등, 2015). 이에 단순 모니터링으로는 수금류의 전체적인 월동생태를 파악하기에는 무리가 있다. 이에 대한 방안으로 위치추적기를 조류에 부착하여 행동권 및 이동생태 특성을 파악하는 연구가 진행되고 있다(Roth *et al.*, 2008; Yamaguchi *et al.*, 2008; Davis and Afton, 2010; Kremetz *et al.*, 2011; Link *et al.*, 2011; Fischer *et al.*, 2013; 강 등, 2014). 현재 국내에서는 최근 수금류의 이동생태 연구가 이루어지고 있으며, 연구 내용으로는 청둥오리와 흰뺨검둥오리의 행동권, 일일이동거리, 서식지 이용특성 등이 있다(강 등, 2014; 신 등, 2016a; 황 등, 2016). 그러나 이러한 연구들은 단순한 종의 이동특성만 연구하였고 종간 비교를 통한 종합적인 분석자료는 미비한 실정이다.

3) 북상 이동 정보

위치추적기를 이용한 야생조류의 이동생태 연구는 야생조류의 시공간적 이동에 관한 기초자료의 확보가 가능하며, 이러한 방법을 통해 조류의 이동시기나 이동경로와 같은 전반적인 이동생태정보를 제공받을 수 있다(Aebischer and Robertson, 1993; Yamaguchi *et al.*, 2008; Krementz *et al.*, 2011). 최근 위치추적기를 이용한 연구를 통해 수금류의 대표종인 청둥오리의 월동 행동권이 매우 좁고, 월동기 동안 높은 수계 의존성을 보인다는 것이 알려졌으며(강 등, 2014), 일본에서는 청둥오리가 월동기를 마치고 북상 시 획일적인 이동경로 아닌 다양한 이동경로와 중간기착지를 이용하는 것이 알려지기도 하였다(Yamaguchi *et al.*, 2008). 다만 현재까지 수금류에서는 청둥오리에 대한 연구가 이루어져 다른 종에 대한 정보는 매우 부족한 실정이다. 또한 한국 뿐 만 아니라 동아시아에서 수금류의 국가 간 이동 및 중간기착지 이용에 대한 상세한 연구는 미비한 실정이다.

II. 새만금에 도래하는 수금류 월동군집의 변화상

1. 서론

현재까지 지구상에는 약 9,700 여종의 야생조류가 서식하는 것으로 알려져 있으며, 이 중 수조류는 8.6%인 833종으로 알려져 있다(Sibley and Monroe, 1990, Monroe and Sibley, 1993). 수조류는 각자의 생태적 지위(Ecological niche)에 따라 다양한 서식지를 이용하기 때문에 수조류의 분포와 개체군 동향 등은 서식지의 환경을 대변할 수 있으며(Mistry *et al.*, 2008), 외부 요인에 의한 환경변화에 민감하게 반응하는 분류군으로서 생태계의 건강성을 대표하는 지표종으로 이용되기도 한다(Kushlan, 1993).

수조류는 넓게는 습지에 직접 의존하는 새들로 규정하고 있으나 좁게는 오리과 조류로 불리기도 한다(Davis, 1994; RCB, 1997). 오리과 조류들은 대부분 한국에서 월동하는 겨울철새로 대규모 무리를 지어 해안, 하천, 저수지 등에 도래한다. 이들은 생태적으로 다양한 습성이 있으며, 종마다 각기 선호하는 서식지에 따라 분포 경향이 달라지기 때문에 오리과 조류의 분포 및 개체군 연구는 종 수준 뿐 아니라 군집 수준에서 서식지와의 직·간접적인 관련성을 연구하기에 적합하다(Paracuellos and Telleria, 2004).

연구 지역인 만경강 유역은 국내 주요 철새 도래지로 월동기에는 약 7만 마리 이상의 오리·기러기류가 도래하는 매우 중요한 수금류 서식지이다(Kim, 1998; Lee, 2000a; Lee *et al.*, 2002a). 그러나 2010년 방조제 공사가 완공된 이후 습지의 육지화, 갯벌의 퇴적환경 변화 등 다양한 생태계 변화가 발생되고 있으며, 이러한 변화는 만경강 내에 도래하는 조류의 군집을 변화시키고 있다(강 등, 2011). 따라서 본 연구는 만경강에 도래하는 수금류의 장기적인 개체군 변동과 도래경향 등을 분석하고 이들에게 미치는 영향을 파악하여 수금류의 생태적 습성을 통한 서식지의 보호 및 관리방안을 수립하는데 필요한 자료를 제공하기 위하여 이루어 졌다.

2. 연구방법

1) 연구지역

만경강은 전북 완주군을 시작으로 익산천, 전주천 등 주요 하천과 합류한 후, 만경평야를 관통하여 새만금 유역으로 유입되는 강이다. 행정구역상으로는 전북 완주군, 김제시, 익산시, 전주시, 군산시가 속해 있으며, 유속이 느리며, 수심이 비교적 낮아 제방 인근을 중심으로 대규모 농경지가 조성되어 있다. 현재 강 유역에 전반적으로 하천 정비공사가 진행 중에 있으며, 하구역은 대규모 철새 도래지인 새만금 유역이 위치하고 있다(Figure 1).



Figure 1. Map of study site in Mankyung river. There is Saemangeum in the mouth of the river, and construction is currently underway.

2) 연구 방법

(1) 연간 도래상

만경강에 도래하는 수금류 조사는 오리·기러기류를 대상으로 이루어졌다. 조사 시기는 2010년부터 2018년 월동기(10월~다음 해 3월)까지 월 1회 이상 조사하였다. 조사는 육안과 쌍안경(X10), Field scope(X20~60)를 이용하여 종을 동정하였다. 개체수 산정의 오류를 줄이기 위해 2인 1조로 팀을 이루어 조사를 실시하였다. 관찰된 종은 한국조류목록(The Ornithological Society of Korea, 2010)에 따라 정리하였다. 조사 시 조류 서식에 방해요인이 발생하여 큰 무리가 이동하였을 경우, 중복산정을 방지하기 위해 개체수 및 이동 유무 등을 기록하였으며, 중복산정으로 판단되었을 때는 제외하였다. 수금류의 분류군 구별은 이(2000)가 제시한 기러기류(Goose), 수면성오리류(Dabbling duck), 잠수성오리류(Diving duck)로 구분하여 분석하였다.

(2) 도래경향 분석

수금류의 종간 도래경향 밝히기 위해 2016년 10월부터 2017년 3월, 2017년 10월부터 2018년 3월까지 월 3회씩 총 36회 실시하였다. 도래시기와 관련된 항목의 분석은 이 등(2012)의 도요·물떼새류 도래경향을 분석한 방법을 따랐으며, 전체 도래개체수의 우점도 1% 이상에 해당하는 종을 대상으로 하였다. 월동기별 개체수는 해당 월동기에 관찰된 종별 최대개체수를 합한 것으로 하였다. 종별 첫 도착(도래)일과 마지막 출발(비거)일은 각 종의 최대 도래개체수의 5% 이상/이하에 해당하는 개체수가 처음으로 관찰된 날을 기준으로 하였다. 최대 도래일(Peak)은 월동기에 최대 개체수가 기록된 날로 하였다.

(3) 분석 방법

조사된 자료는 각 지역별 최고관찰수를 산출하여 파악하고 분석 자료로 이용하였다. 각종 지수와 함수는 EXCEL 2013과 ACCESS 2013 프로그램을 사용하여 분석하였다. 집단 내 각 종의 우점종의 산출은 Brower *et al.* (1990)에 의한 우점도(RD, relative species density)를 이용하였다. 우점도는 조사기간 동안 관찰된 모든 수금류의 최고

관찰수를 합한 최대합계수를 기준하였다. 여기서 최대 합계 수는 전체 조사 중에서 각 종마다 가장 많이 관찰된 개체수를 합하였다. 우점도는 아래의 식을 이용하여 산출하였다.

$$RD = n_i / N \times 100(\%)$$

(n_i : 특정종의 개체수, N : 전체 종의 개체수)

종다양도 지수와 종균등도, 종풍부도 지수를 분석하였다. 종다양성(species diversity)은 Shannon and Weaver (1949)의 지수인 H' (index of Shannon diversity)를 이용하였다. 분석에 사용된 식은 다음과 같다(Brower *et al.*, 1990)

$$H' = -\sum(n_i/N)\ln(n_i/N)$$

(n_i : i 지역의 한 종의 개체수, N : i 지역의 총 개체수)

종풍부도(species richness)는 Margalef의 지수인 Da (index of Margalef diversity)를 이용하여 분석되었다.

$$Da = (s-1)/\ln(N)$$

(s : 관찰된 전체 종 수, N : 관찰된 총 개체수)

종균등도(species evenness)를 나타내는 지수는 Heip의 지수인 H_p (Heip evenness)를 이용하여 분석하였다.

$$H_p = (10^{H'} - 1)/(s-1)$$

(H' : index of Shannon diversity, s : 관찰된 종 수)

(3) 통계 분석

중간 도래경향 상관성 분석을 위해 SPSS v22 프로그램을 이용하여 Shapiro-Wilk test로 정규성 검증을 수행하였으며, 데이터가 정규분포를 따를 경우 ($p > 0.05$) 모수통계법인 Pearson Correlation 분석을 수행하였다.

3. 연구 결과

1) 연간 수금류 도래현황

2010년 10월부터 2018년 3월까지 약 8년간 만경강 지역에서 관찰된 수금류 최대 개체수는 총 24종 158,621개체, 연 평균 60,340개체였다. 최우점종은 청둥오리(*Anas platyrhynchos*)로 우점도 28.8%(45,616개체)를 차지하였다. 그 다음으로 검은머리흰죽지(*Aythya marila*), 쇠기러기(*Anser albifrons*) 10.8%, 땡기흰죽지(*Aythya fuligula*) 9.5%, 흰뺨검둥오리(*Anas poecilorhyncha*) 8.6%의 순으로 상위 5%이상 차지하는 우점종이었다(Figure 2). 전체 종 다양도 지수(H')는 2.09로 나타났으며, 종 균등도 지수(Hp)는 0.66, 종 풍부도 지수(Da)는 1.92이었다(Table 1). 분류군 별로 보면 기러기류 3종 22,297개체, 수면성오리류 13종 74,550개체, 잠수성 오리류 7종 61,775개체가 관찰되었다. 가장 많은 종과 개체수가 관찰된 연도는 2012~2013년 월동기로 총 23종 89,007개체가 관찰되었다. 가장 적은 종이 관찰된 연도는 2011~2012, 2013~2014, 2017~2018년 월동기로 17종, 가장 적은 개체수가 관찰된 연도는 2011~2012년으로 25,804개체가 관찰되었다(Appendix 1).

연간 도래현황을 분석해보면, 종수는 최소 17종에서 최대 23종으로 평균 19종이 도래하였으며, 총 개체수는 매년 변동 폭이 크게 나타났으나 결과적으로 점차 증가하는 경향을 보였다(Figure 3). 분류군별로 분석하였을 때, 기러기류는 2012~2013년까지 개체수가 증가하였으나 이후 2015~2016년 월동기까지 급감하였으며, 이후 다시 소폭 증가하는 경향을 보였다(Figure 4). 수면성오리류는 매년 도래개체수의 변동폭이 크게 나타났으나 2010~2011년 최대 60,220개체 관찰 이후 2018년까지 점차 감소하는 경향을 보였다(Figure 5). 잠수성오리류도 수면성오리류와 동일하게 도래개체수 변동 폭이 매우 크게 나타났으나 매년 점차 증가하는 경향을 보였다(Figure 6).

Table 1. Status of waterfowl communities 8 years in Mankyung river.

	'10/'11	'11/'12	'12/'13	'13/'14	'14/'15	'15/'16	'16/'17	'17/'18	Max.
No. of species	20	17	23	17	19	19	19	17	24
Maximum of individuals	68,814	25,804	89,007	35,390	75,218	67,164	51,105	70,222	158,622
H^C	1.33	1.26	1.91	1.98	1.82	1.41	1.61	1.95	2.09
Hp^C	0.44	0.44	0.61	0.70	0.62	0.48	0.55	0.69	0.66
Da^C	1.71	1.58	1.93	1.53	1.60	1.62	1.66	1.43	1.92
Goose	3,115	11,130	20,660	8,722	7,360	1,700	2,212	3,899	22,297
Dabbling duck	60,220	14,571	56,886	24,013	42,381	27,001	44,666	41,539	74,550
Diving duck	5,479	103	11,461	2,655	25,477	38,463	4,227	24,784	61,775

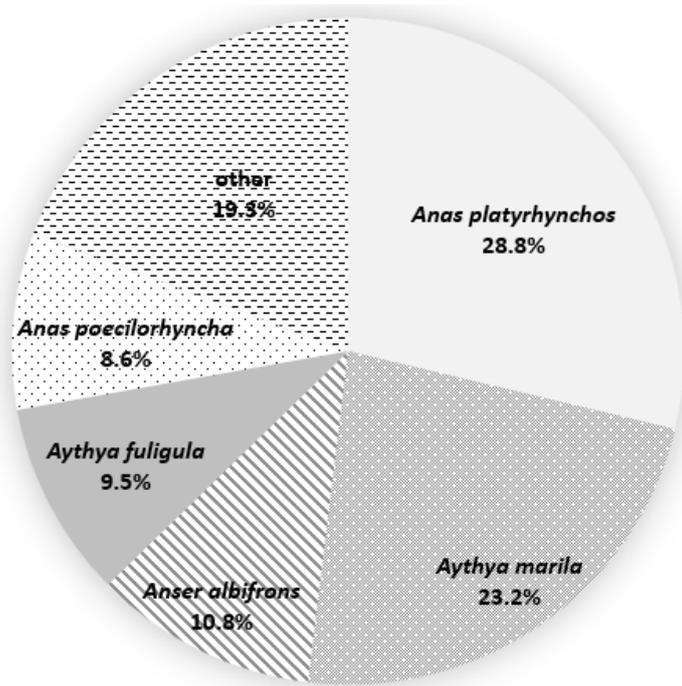


Figure 2. Status of dominant species among waterfowls observed at the Mankyung river.

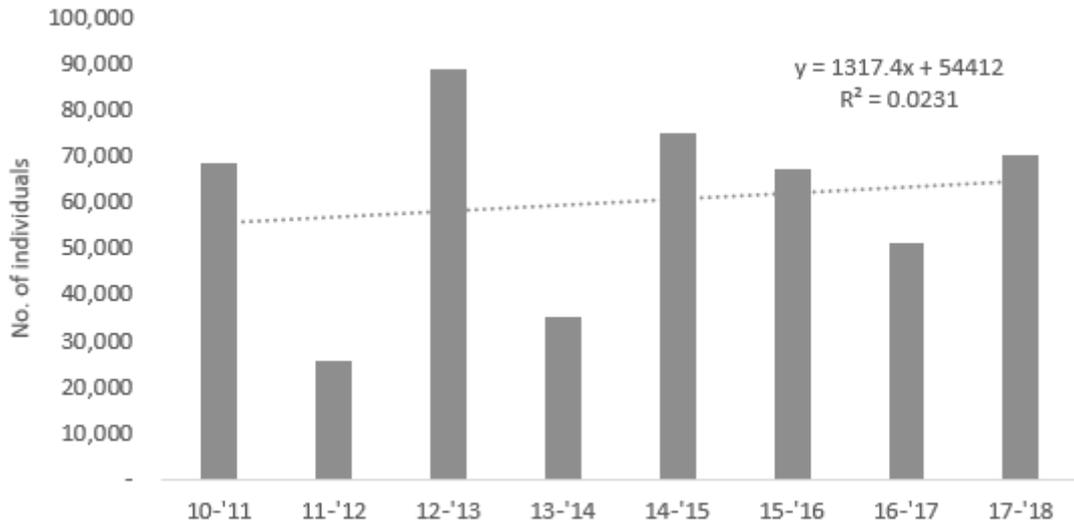


Figure 3. Number of individuals of waterfowls observed at Mankyung river from 2010 to 2018($y=1317.4x + 54412$ $R^2=0.0231$).

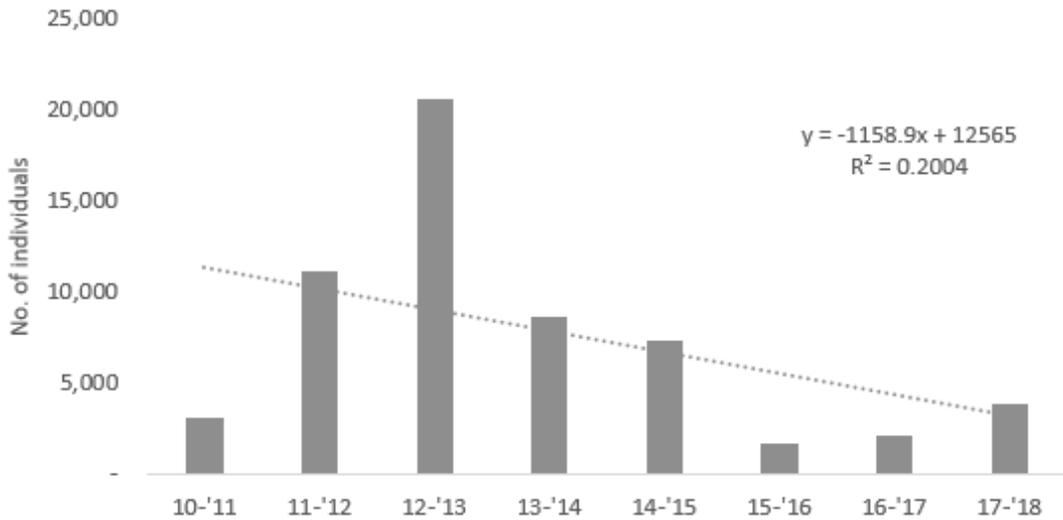


Figure 4. Number of individuals of goose observed at Mankyung river from 2010 to 2018($y=-1158.9x + 12565$ $R^2=0.2004$).

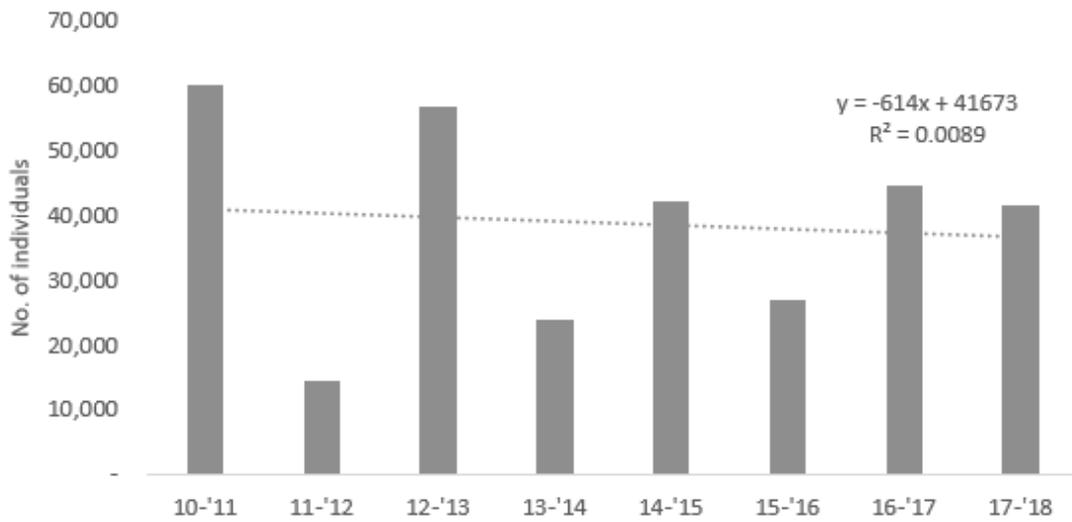


Figure 5. Number of individuals of dabbling duck observed at Mankyung river from 2010 to 2018($y=-614x + 41673$ $R^2=0.0089$).

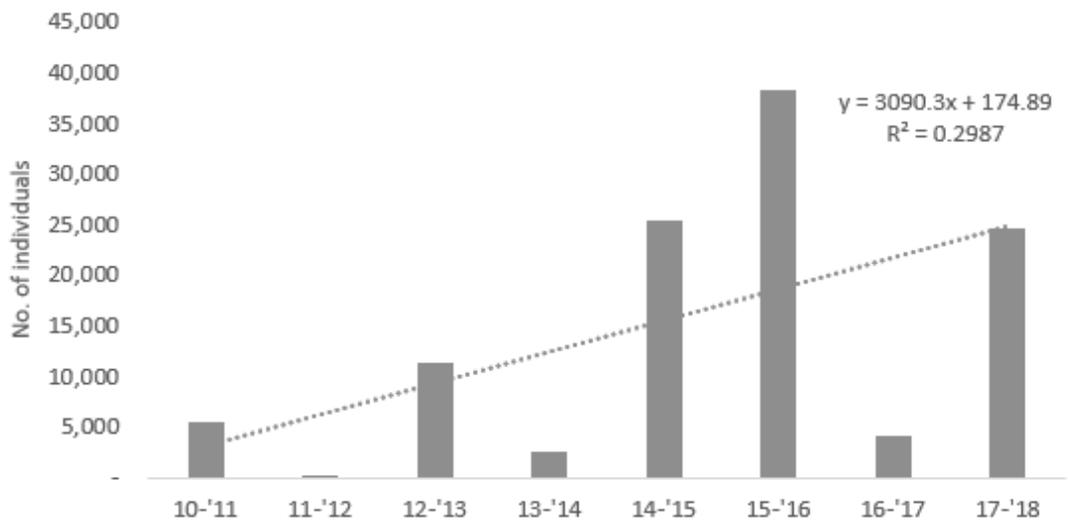


Figure 6. Number of individuals of diving duck observed at Mankyung river from 2010 to 2018($y=3090.3x + 174.89$ $R^2=0.2987$).

2) 연간 수금류 도래경향 분석

2016, 2017년 10월부터 3월까지 2개년의 월동기간 중 수금류의 센서스 조사 결과, 최대 도래개체수를 기준으로 보면, 2016~2017년 월동기에 최대 51,105개체가 도래하였으며, 이에 대한 5% 개체수는 2,555개체로 나타났다. 2017~2018년 월동기에는 최대 70,222개체가 도래하였으며, 5% 개체수는 3,511개체로 나타났다. 이를 이용하여 수금류의 도래경향을 분석하였을 때 2016~2017년 월동기는 10월 중순에 4,563개체로 도래를 시작하여 12월 하순에 41,377개체로 최대 도래하였으며, 이후 점차 감소하다가 3월 초순에 1,670개체로 만경강 지역을 떠나는 경향을 보였다. 2017~2018년 월동기는 10월 중순에 11,996개체로 도래를 시작하여 12월 중순에 47,168개체로 최대 도래하였으며, 이후 점차 감소하다가 2월 하순에 3,154개체로 만경강 지역을 떠나는 경향을 보이는 것으로 나타났다(Appendix 2, 3).

종별 도래경향을 분석하기 위해 2년 간 우점도 1% 이상인 종을 중심으로 상·중·하순 별 도래 개체수를 바탕으로 종별 도착시기와 출발시기, 최대 도래시기를 분석하였다. 분류군 별 2년 연속 우점도 1%인 종은 기러기류는 큰기러기 *Anser fabalis*, 쇠기러기 *Anser albifrons* 2종으로 나타났으며, 수면성오리류는 흑부리오리 *Tadorna tadorna*, 홍머리오리 *Anas penelope*, 청둥오리 *Anas platyrhynchos*, 흰뺨검둥오리 *Anas platyrhynchos*, 고방오리 *Anas acuta*, 쇠오리 *Anas crecca*로 총 6종으로 나타났다. 잠수성오리류는 흰죽지 *Aythya marila*, 검은머리흰죽지 *Aythya marila*로 총 2종으로 나타났다(Figure 7).

(1) 기러기류

큰기러기(*Anser fabalis*)

2016년 월동기에는 1월 초순에 440개체로 도래를 시작하여 2월 중순에 828개체로 최대 도래하였으며, 이후 감소하여 4월 초순 이후에는 관찰되지 않았다. 2017년 월동기에는 10월 중순에 190개체로 도래를 시작하여 2월 중순에 1,185개체로 최대 도래하였으며, 이후 감소하여 3월 중순 이후에는 관찰되지 않았다. 큰기러기의 도래경향 중 도래시기는 편차가 커서 분석하는 데 다소 무리가 있었으나 월동 후기인 2월 중순에 최대로 도래하여 3월 중순 이후에 떠나는 것으로 나타났다.

쇠기러기(*Anser albifrons*)

2016년 월동기에는 12월 초순에 1,080개체로 도래를 시작하여 2월 중순에 1,384개체로 최대 도래하였으며, 이후 감소하다가 4월 초순 이후에는 관찰되지 않았다. 2017년 월동기에는 11월 하순에 350개체로 도래를 시작하여 1월 초순에 2,714개체로 최대 도래하였으며, 이후 감소하다가 3월 중순 이후에는 관찰되지 않았다. 쇠기러기의 도래경향 중 최대 도래시기는 편차가 커 분석하기 무리가 있었으며, 전체적으로 11월 하순에서 12월 초순까지 도래하여 3월 초순에서 중순 사이에 떠나는 것으로 나타났다.

(2) 수면성 오리류

흑부리오리(*Tadorna tadorna*)

2016년 월동기에는 10월 초순에 144개체로 도래를 시작하여 11월 하순에 1,341개체로 최대 도래하였으며, 이후 점차 감소하다가 2월 하순 이후로 관찰되지 않았다. 2017년 월동기에는 10월 중순에 230개체로 도래를 시작하여 2월 초순에 1,600개체로 최대 도래하였으며, 3월 하순 이후에는 관찰되지 않았다. 흑부리오리의 도래경향은 10월 초순에서 중순에 사이에 도래하여 2월 하순 이후에 떠나는 것으로 분석되었다. 최대 도래시기는 2017년 월동기에 두 번째로 많이 도래한 기간이 11월 하순임을 감안하였을 때 11월 하순에 최대 도래하는 것으로 나타났다.

홍머리오리(*Anas penelope*)

2016년 월동기에는 11월 하순에 55개체로 도래를 시작하여 1월 초순에 780개체로 최대 도래하였으며, 이후 점차 감소하다가 3월 하순 이후로 관찰되지 않았다. 2017년 월동기에는 11월 하순에 346개체로 도래를 시작하여 12월 하순에 850개체로 최대 도래하였으며, 3월 초순 이후에는 관찰되지 않았다. 홍머리오리의 도래경향은 11월 하순에 도래를 시작하여 12월 하순에서 1월 초순 사이에 최대 도래하고 3월 초순 이후에 떠나는 것으로 나타났다.

청둥오리(*Anas platyrhynchos*)

2016년 월동기에는 11월 초순에 1,977개체로 도래를 시작하여 12월 하순에 26,570개체로 최대 도래하였으며, 이후 점차 감소하다가 2월 중순 이후에는 소수 개체가 관찰되었다. 2017년 월동기에는 10월 중순에 2,445개체로 도래를 시작하여 12월 중순에 22,412개체로 최대 도래하였으며, 2월 중순 이후에는 소수 개체가 관찰되었다. 청둥오리의 도래경향은 10월 중순에서 11월 초순 사이에 도래를 시작하여 12월 중순에서 하순 사이에 최대 도래하고 2월 중순 이후에 떠나는 것으로 나타났다.

흰뺨검둥오리(*Anas platyrhynchos*)

2016년 월동기에는 10월 중순에 757개체로 도래를 시작하여 12월 하순에 12,065개체로 최대 도래하였으며, 이후 감소하다가 4월 초순 이후에는 소수 개체가 관찰되었다. 2017년 월동기에는 10월 중순에 2,445개체로 도래를 시작하여 12월 중순에 13,588개체로 최대 도래하였으며, 2월 중순 이후에는 소수 개체가 관찰되었다. 흰뺨검둥오리의 도래경향은 10월 중순에 도래를 시작하여 12월 중순에서 하순 사이에 최대 도래하고 2월 중순 이후에 떠나는 것으로 나타났다.

고방오리(*Anas acuta*)

2016년 월동기에는 10월 하순에 200개체로 도래를 시작하여 12월 중순에 1,806개체로 최대 도래하였으며, 이후 감소하다가 3월 초순 이후에는 소수 개체가 관찰되었다. 2017년 월동기에는 11월 하순에 58개체로 도래를 시작하여 12월 하순에 640개체로 최대 도래하였으며, 2월 하순 이후에는 관찰되지 않았다. 고방오리의 도래경향은 10월 하순에서 11월 초순 사이에 도래를 시작하여 12월 중순에서 하순 사이에 최대 도래하고 2월 하순 이후에 떠나는 것으로 나타났다.

쇠오리(*Anas crecca*)

2016년 월동기에는 10월 중순에 82개체로 도래를 시작하여 11월 중순에 1,431개체로 최대 도래하였으며, 이후 감소하다가 3월 초순 이후에는 소수 개체가 관찰되었다. 2017년 월동기에는 10월 중순에 890개체로 도래를 시작하여 2월 초순에

1,754개체로 최대 도래하였으며, 3월 하순 이후에는 소수개체가 관찰되었다. 쇠오리의 도래경향은 10월 중순에 도래를 시작하여 3월 초순 이후에 떠나는 것으로 분석되었다. 최대 도래는 2017년 월동기에 두 번째로 많이 도래한 기간이 11월 중순임을 감안하였을 때 11월 중순에 최대 도래하는 것으로 나타났다.

(3) 잠수성 오리류

흰죽지(*Aythya ferina*)

2016년 월동기에는 10월 중순에 1,535개체로 도래를 시작하여 11월 초순에 348개체로 최대 도래하였으며, 이후 감소하다가 2월 하순 이후로 관찰되지 않았다. 2017년 월동기에는 10월 중순에 3,500개체로 도래를 시작하여 11월 중순에 7,700개체로 최대 도래하였으며, 2월 중순 이후에는 관찰되지 않았다. 흰죽지의 도래경향은 10월 중순에 도래하여 11월 초순에서 중순 사이에 최대 도래하고 2월 하순 이후에 떠나는 것으로 나타났다.

검은머리흰죽지(*Aythya marila*)

2016년 월동기에는 10월 중순에 1,733개체로 도래를 시작하여 11월 초순에 840개체로 최대 도래하였으며, 이후 감소하다가 2월 하순 이후로 소수 개체가 관찰되었다. 2017년 월동기에는 10월 중순에 1,000개체로 도래를 시작하여 1월 초순에 13,000개체로 최대 도래하였으며, 2월 중순 이후에는 관찰되지 않았다. 검은머리흰죽지의 도래경향 중 최대 도래시기는 편차가 커 분석하기 무리가 있었으나 전체적으로 10월 중순에 도래하여 2월 중순 이후에 떠나는 것으로 나타났다.

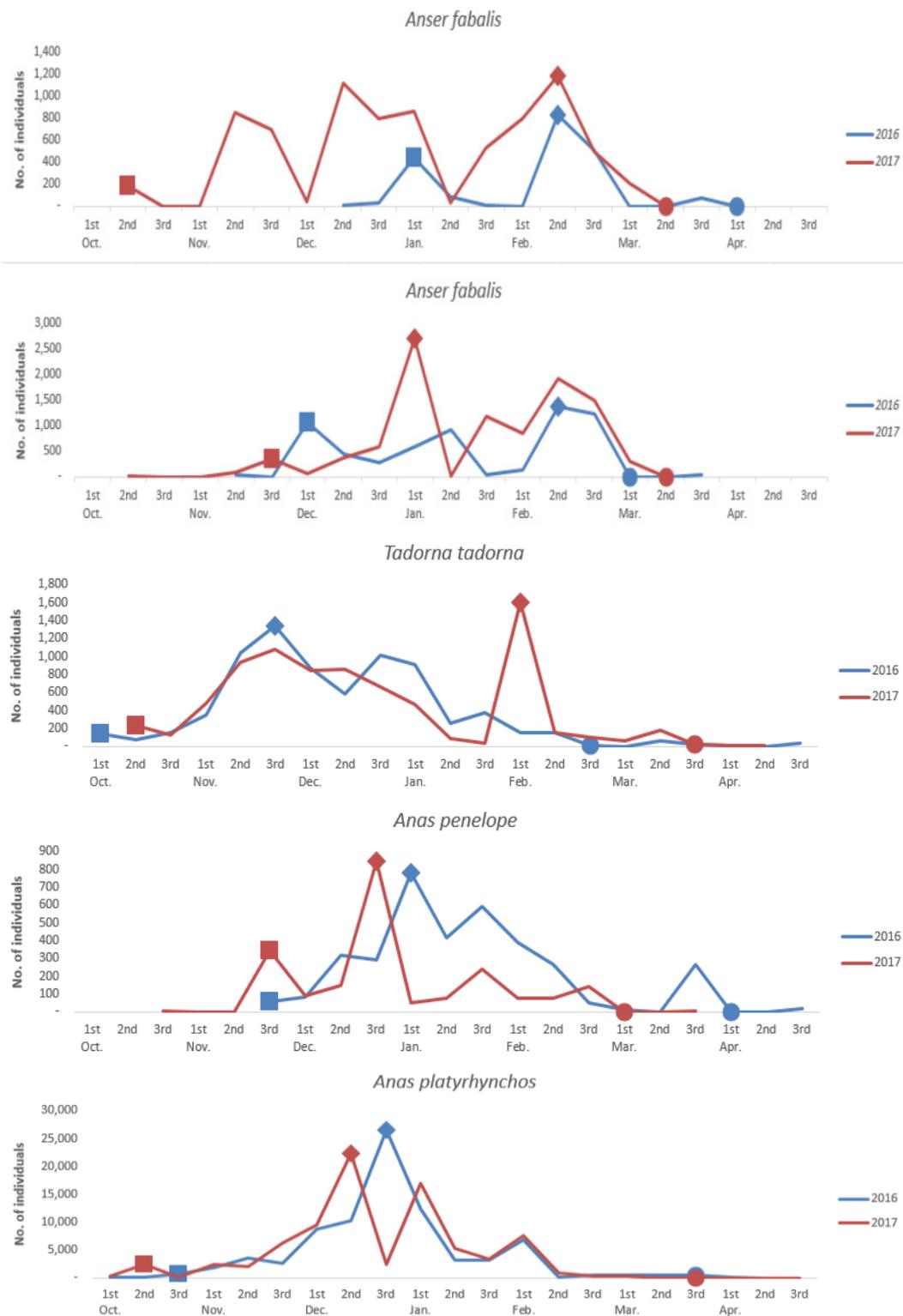


Figure 7. Monthly change in number of individuals of waterfowl in Mankyung river district from 2016 to 2018(■-arrival ◆- max ●-departure)

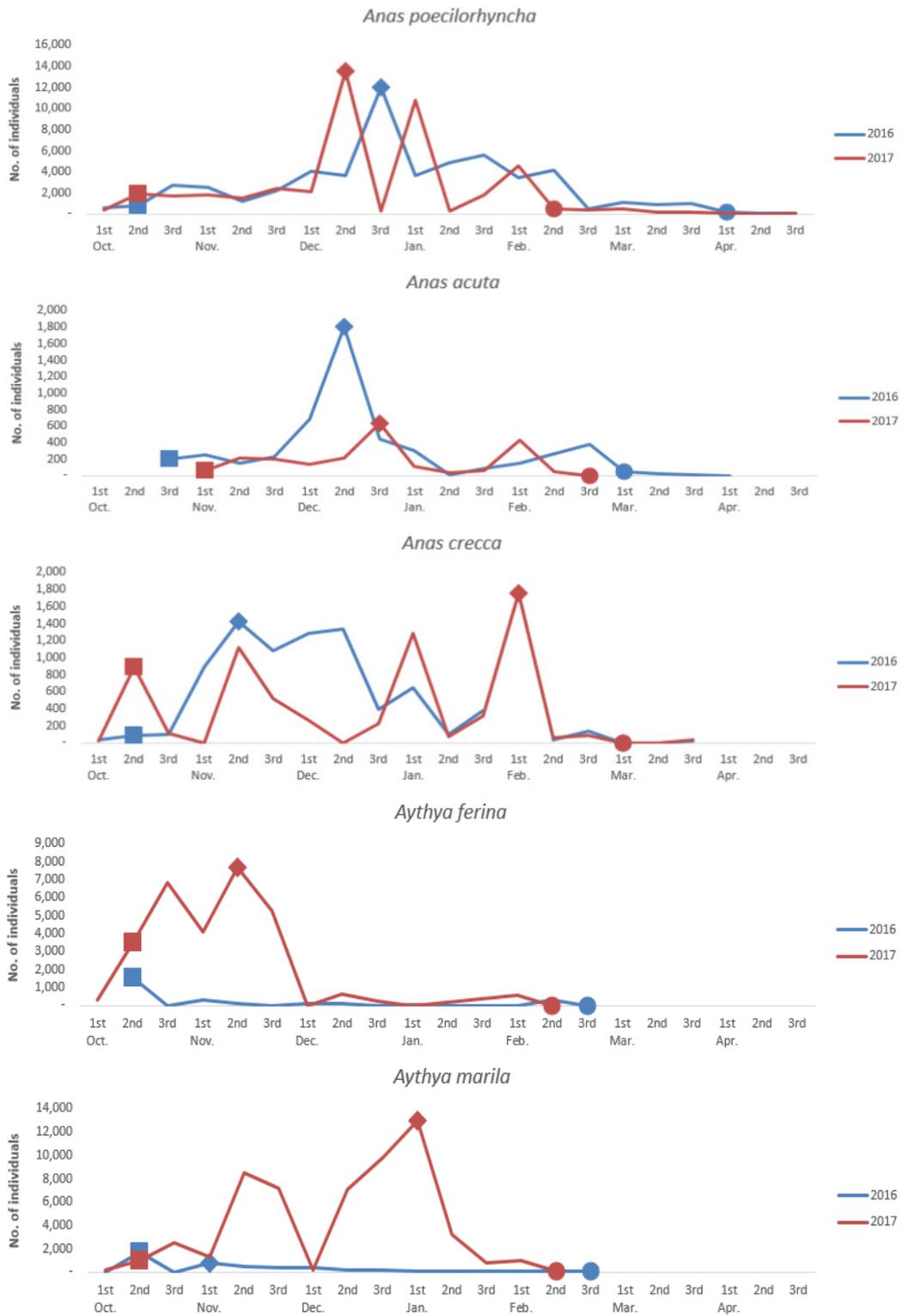


Figure 7. Continued.

3) 중간 도래현황 상관성 분석

도래경향이 분석된 수금류 10종을 대상으로 도래현황에 따른 상관성을 분석하였다. 2016-2017년 월동기에는 전체 수금류 도래경향과 비교하였을 때 청둥오리와 흰뺨검둥오리가 높은 상관관계를 나타냈으며(청둥오리 $r=0.977$, $p<0.01$; 흰뺨검둥오리 $r=0.910$, $p<0.01$), 흑부리오리와 고방오리, 홍머리오리도 통계적으로 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다(흑부리오리 $r=0.665$, $p<0.05$; 고방오리 $r=0.505$, $p<0.05$). 중간 도래현황 상관관계 분석 결과, 기러기류는 큰기러기와 쇠기러기가 유의한 상관관계를 보였다($r=0.761$, $p<0.01$). 수면성오리류는 청둥오리와 흰뺨검둥오리의 상관관계가 가장 높게 나타났으며($r=0.850$, $p<0.01$), 그 다음으로 흑부리오리와 쇠오리의 상관관계로 나타났다($r=0.808$, $p<0.01$). 잠수성오리류는 흰죽지와 검은머리흰죽지가 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다($r=0.920$, $p<0.01$).

2017-2018년 월동기에는 전체 수금류 도래경향과 비교하였을 때, 청둥오리와 흰뺨검둥오리가 가장 높은 상관관계를 보였으며(청둥오리 $r=0.903$, $p<0.01$; 흰뺨검둥오리 $r=0.908$, $p<0.01$), 그 다음으로 검은머리흰죽지, 큰기러기, 흑부리오리 순으로 통계적으로 유의한 상관관계가 나타났다(검은머리흰죽지 $r=0.836$, $p<0.01$; 큰기러기 $r=0.677$, $p<0.05$; 흑부리오리 $r=0.633$, $p<0.02$). 중간 개체수 상호관계는 기러기류는 큰기러기와 쇠기러기가 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다($r=0.667$, $p<0.01$). 수면성오리류는 청둥오리와 흰뺨검둥오리의 상관관계가 가장 높게 나타났으며($r=0.946$, $p<0.01$), 그 다음으로 흑부리오리와 쇠오리의 상관관계로 나타났다($r=0.675$, $p<0.01$). 잠수성오리류는 통계적으로 유의한 상관관계가 나타나지 않았다($r=0.303$, $p<0.18$). 2년 간 도래경향을 종합해보면 큰기러기와 쇠기러기, 청둥오리와 흰뺨검둥오리, 흑부리오리와 쇠오리의 도래경향이 서로 연관이 있는 것으로 나타났다.

Table 2. Pearson's correlation between month and wintering population in 2016-2017(TW : Total Waterfowl, BG : Bean Goose, WG : White-fronted Goose, CS : Common Shelduck, EW : Eurasian Wigeon, MD : Mallard, SD : Spot-bill Duck, PT : Pintail, CT : Common Teal, PC : Pochard, GS : Greater Scaup)

Source	TW ^a	BG	WG	CS	EW	MD	SD	PT	CT	PC	GS
Month		0.06	0.28	0.66**	0.51*	0.98**	0.91**	0.51*	0.43	-0.09	0.06
BG			0.76**	-0.06	0.32	-0.02	0.09	0.06	-0.15	0.06	-0.16
WG				0.09	0.29	0.17	0.27	0.34	0.11	-0.02	-0.12
CS					0.24	0.62**	0.50*	0.37	0.81**	-0.13	0.16
EW						0.47*	0.53*	0.19	0.04	-0.22	-0.23
MD							0.85**	0.46*	0.36	-0.16	-0.02
SD								0.31	0.20	-0.15	-0.05
PT									0.62**	-0.06	0.03
CT										-0.02	0.29
PC											0.92**

Note : Pearson correlations r : *, p<0.05; **, p<0.01; ***, p<0.001

Table 3. Pearson's correlation between month and wintering population in 2017-2018(TW : Total Waterfowl, BG : Bean Goose, WG : White-fronted Goose, CS : Common Shelduck, EW : Eurasian Wigeon, MD : Mallard, SD : Spot-bill Duck, PT : Pintail, CT : Common Teal, PC : Pochard, GS : Greater Scaup)

Source	TW ^a	BG	WG	CS	EW	MD	SD	PT	CT	PC	GS
Month		0.68**	0.42	0.63	0.26	0.90**	0.91**	0.47*	0.52*	0.23	0.84**
BG			0.67**	0.55**	0.43	0.54*	0.56**	0.57**	0.46*	0.07	0.60**
WG				0.09	0.19	0.36	0.41	0.15	0.38	-0.27	0.38
CS					0.30	0.54*	0.46*	0.74**	0.68**	0.31	0.46*
EW						0.13	0.19	0.78**	0.01	-0.70	0.49*
MD							0.95**	0.33	0.34	-0.92	0.56**
SD								0.25	0.38	-0.06	0.59**
PT									0.45*	0.06	0.57**
CT										0.28	0.44*
PC											0.30

Note : Pearson correlations r : *, p<0.05; **, p<0.01; ***, p<0.001

4. 고찰

한국의 중남부에 위치하는 새만금 지역은 국제적으로 수조류의 월동지 및 중간기착지 지역으로 그 중요성이 매우 큰 지역이다(이, 2000; Lee *et al.*, 2002a; 강 등, 2011) 새만금 유역에 포함되어 있는 만경강 지역을 대상으로 수금류의 8년 간의 장기 도래 현황을 조사한 결과, 총 24종이 월동하는 것으로 확인되었으며, 최대개체수 합으로 158,621개체가 도래하였다. 최근 겨울철 동시센서스(2018)에서 기록된 수금류는 약 105만개체로 보고되었으며, 최대 도래개체수를 기준으로 국내에 도래하는 수금류의 약 15%가 새만금 지역을 중간기착지나 월동지로 이용하는 것으로 보인다. 가장 많이 도래한 종은 수면성오리류인 청둥오리로 45,616개체가 기록되었으며, 다음으로 잠수성오리류인 검은머리흰죽지, 기러기류인 쇠기러기 등의 순으로 나타났다. 2010년부터 연간 도래 개체수는 증가 경향을 보였지만 분류군 별로 구분하였을 때 기러기류와 수면성오리류는 감소 추세를 보였고 잠수성오리류는 급증하는 경향을 보여 잠수성오리류의 증가가 전체 도래개체수 증가에 영향을 준 것으로 판단된다. 수면성오리류의 경우 비록 하강 기온기가 작게 나타나 통계적으로 유의성을 띄지는 못했으나 이들의 주요 서식지인 간척호와 대단위 농경지가 있음에도 불구하고 상승 기온기가 아닌 하강 기온기가 나온 것은 수면성오리류의 서식에 문제가 있음을 제기할 수 있다. 유사환경인 서산 간월호에서 진행된 연구에서도 수면성오리류는 장기적으로 감소하고 있는 것으로 나타났으며, 그에 대한 원인으로 공사와 같은 인간활동을 첫 번째 요인으로 지목하였다(박, 2017). 본 연구 지역인 만경강 하구 지역 역시 새만금에서 방대한 규모로 진행된 방수제 공사로 발생하는 인위적인 간섭과 서식환경 변화 같은 요인이 월동하는 수금류의 개체수 변동에 영향을 주는 것으로 판단된다. 특히 주행성 취식습성을 가진 기러기류(Owen, 1978; 박, 1993)는 낮 시간을 중심으로 진행되었던 방수제 공사로 인해 부정적인 영향을 받았을 것이라고 판단된다. 기러기류는 겨울철새의 대단위 월동지로서 넓은 면적의 호수(깨끗한 물), 갈대밭(은신처), 농경지(먹이원)가 필요하다고 알려져 있다(이, 2000). 그러나 방수제 공사의 원활한 진행을 위해 2011년부터 만경강 유역 일대의 관리 수위는

- 1.60m의 낮은 수위로 관리조정 되어 유지되어져 왔다(최 등, 2013). 이로 인해 노출갯벌이 증가하고 육지화가 됨에 따라 은신처가 될 수 있는 갈대 식생이 사라지게 되었다(장 등, 2011). 또한 ‘새만금개발계획’에 의해 새만금 내 기존 논의 약 50% 가까이가 원예단지나 수목원 등으로 용도 변경되어 주요 취식지가 줄어들고 있는 상황이다(새만금개발청, 2011). 기존 연구에 의하면 기러기류의 분포는 지역별 먹이의 잔존량과 방해요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Park *et al.*, 2000; Quan *et al.*, 2002; 유 등, 2008). 따라서 만경강 일대에서 광범위하게 발생하는 인위적 간섭은 기러기류의 연간 개체수 감소를 유발하였다고 볼 수 있다. 다만 2015~2016년 월동기 이후 기러기의 개체수가 소폭 증가하는 경향을 보였다. 이는 2015년 후반기에 만경강의 방수제 공사 구간 일부가 완료되었으며, 이후 안정화 된 서식지를 중심으로 도래 개체수가 증가한 것으로 보인다. 향후 만경강 일대는 농생명용지 조성이 진행됨에 따라 기러기류의 도래 개체수는 점차 증가할 것으로 예상된다.

수면성오리류는 효율적인 에너지 소비를 위해 주간에는 섭식(Feeding), 휴식(Sleeping) 등 대부분 수면에서 시간을 보내는 것으로 알려져 있다(Link *et al.*, 2011). 그러나 공사로 인해 발생하는 인위적 간섭은 만경강 유역 내에 서식하는 조류에게 비행을 유발하게 되며, 공사구간 수변부에서 주로 서식하는 수면성오리류에게 영향이 발생할 수밖에 없다. 조류에게 있어서 비행은 기초대사에너지의 12~15배의 에너지를 요구하는 활동(Fredreckson and Reid, 1988)으로 직접적이고 지속적인 방해요인 유발은 조류의 행동패턴을 변화시키거나 서식지를 이동하게 만들어 안정적인 월동에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 다만 2015년 월동기 이후 다시 개체수가 증가하는 경향을 보이는 것은 기러기류와 마찬가지로 공사가 완료된 구간을 중심으로 도래개체수가 증가하는 것으로 판단되며, 향후 장기적으로 지역을 상세하게 구분하여 조류군집 변동에 대한 모니터링 연구가 필요하다고 판단된다.

잠수성 오리류는 연간 편차가 크게 나타났지만 분류군 중에서 가장 큰 폭으로 증가하는 경향을 보였다. 새만금에 도래하는 주요 우점 잠수성 오리류 중 하나인 흰죽지는 대부분 수심 1~3m에서 채식하는 것으로 알려져 있으며, 또 다른 도래종인 멧기흰죽지와 검은머리흰죽지는 수심 2~4m 정도로서 먹이와 활동

범위가 겹치는 것으로 보고되어 있다(Johnsgard, 1978). 이들이 주로 관찰된 지역 농생명용지 지역에서 활용할 목적으로 만든 간척호 지역으로 물막이 공사 이후 점차 담수화가 진행되고 있다. 담수화는 수생식물이 생육하여 잠수성 오리류의 주요 먹이원인 새조개류나 다른 연체동물등의 먹이자원의 증가하게 한다(KWRC, 2005). 또한 해당 간척호들은 잠수성 오리류가 서식하기에 알맞은 수심이 형성되어 있어 향후 만경강 내에 도래하는 잠수성 오리류의 집중화 현상이 생길 것으로 예상되며, 지속적으로 도래 개체수 증가할 것으로 판단된다.

주요 우점종들을 대상으로 연간 수금류의 도래경향을 분석한 결과, 대부분 10월 중순에서 11월 초순 사이에 도래를 시작하여 2월 중순에서 하순 사이에 떠나는 것으로 나타났다. 월동기간 중 최대 도래 시기는 분류군 별로 차이가 나타났다. 기러기류는 2월 중순으로 월동 후기에 최대 도래하였다. 수면성오리류는 대부분 12월 중순으로 월동 중기에 최대 도래하였다. 잠수성 오리류는 월동기간 동안 개체수 변동이 크게 나타나 한 장소에서 지속적인 이용은 하지 않는 것으로 나타났으며, 흰죽지는 11월로 월동 초기, 검은머리흰죽지는 1월로 월동 중기에 최대 도래하는 것으로 나타났다. 통계 분석을 통해 각 분류군 별로 도래 경향이 유사하게 나타났으며, 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 박(2017)은 대규모 간척지인 간월호에서 도래경향을 연구한 결과 같은 속(Genus)인 종들의 상관관계가 높게 나타난다고 보고한 바 있으며, 이를 토대로 유사한 도래경향을 보인다. 일반적으로 조류의 도래 및 비거시기는 월동지 및 번식지로부터의 거리, 비행능력, 번식 종료 시기 등의 중간 차이로 인해 결정된다고 알려져 있다(이 등, 2012). 큰기러기와 쇠기러기, 흰뺨검둥오리와 청둥오리, 흰죽지와 검은머리흰죽지는 같은 속의 조류로 각각 번식지와 월동지가 겹치고, 생태적 습성이 유사함에 따라 기존 연구결과와 마찬가지로 도래 경향이 유사하게 나타났다고 말할 수 있다. 서로 다른 속인 흑부리오리와 쇠오리도 중간 상관관계를 보였다. 흑부리오리와 쇠오리의 주 먹이원은 환형동물문의 저서무척추동물들로 알려져 있다(Cooper, 1992). 흑부리오리와 쇠오리는 조사 시 주로 새만금지역의 잔존하는 갯벌과 공사지역에서 일시적으로 형성된 습지를 주로 이용하였으며, 월동기간 동안 먹이원을 찾기 위해 새만금과 그 인근의 습지를 오가는 것으로 생각된다. 이러한 패턴으로 인하여 흑부리오리와 쇠오리의 상관관계가 발생한 것으로 보인다. 또한

저서무척추동물을 먹이원으로 삼는 고방오리 역시 흑부리오리와 유의한 상관관계가 있는 것은 이에 대한 방증으로 볼 수 있다. 한편 강 등(2011)은 새만금 일대의 주요 우점종인 청둥오리와 흰뺨검둥오리의 도래가 월동 중기에 최대 개체수가 도래하는 일반적인 도래패턴(이, 2000; 유 등 2008; 강 등, 2010)이 아닌 월동 초기에 최대 개체수가 도래한 이후 감소하는 경향을 보여 도래패턴의 변화의 문제로 새만금 내의 물막이 공사를 원인으로 지목하였다. 본 연구 결과 대부분의 종들의 도래패턴이 월동 중기에 최대 도래하는 것으로 나타난 것으로 미루어 짐작하였을 때 공사가 완료됨에 따라 월동서식지가 점차 안정화 되어 가는 것으로 판단된다. 만경강을 비롯한 새만금 일대는 현재까지도 매립 및 농생명용지 조성 등과 같은 다양한 환경변화들이 발생되고 있다. 따라서 향후 변화해 가는 환경에 맞춰 장기적이고 지속적인 모니터링이 필요하며, 이를 통해 수금류의 군집 현황 및 생태적 습성 등을 파악하여 이들에 대한 적절한 관리방안 마련이 필요할 것이다.

III. 수금류의 월동 이동생태

1. 서론

한국은 지리적으로 시베리아의 툰트라 지역과 몽골, 아무르강 유역 등지에서 번식한 각종 수조류의 통과지역 및 월동지로서 그 가치가 매우 높다(이, 2000). 한국의 주요 철새도래지들은 대부분 서해안에 위치하고 있으며, 이 지역들은 간척호와 대규모 농경지로 이루어져 있어 이를 주 서식처로 이용하는 수조류의 주요 월동지로 쓰인다(이, 2000; 신, 2016). 특히 국내에서 가장 많이 도래하는 분류군인 기러기류나 수면성 오리류의 경우 논을 주요 채식지로 이용하고 있어 그 의존성이 매우 높다고 할 수 있다(신 등, 2016; NIBR, 2018). 일반적으로 야생동물의 서식지 선택은 먹이원과 높은 관련이 있다(유 등, 2008). 특히 야생조류들은 월동기간 동안 끊임없이 먹이원을 찾기 위해 이동을 하는데 조류에게 있어 비행은 기초대사에너지(BMR: basal metabolic rate)의 12~15배의 에너지를 요구하는 행동으로(Fredreckson and Reid, 1988) 먹이원이 충분치 못한 지역의 조류는 더 많은 이동을 하게 된다(유 등, 2008; 신 등, 2016c). 이러한 연구결과로 미루어보았을 때, 야생조류에게 있어 먹이자원은 월동기의 생존과 직결되는 문제라고 볼 수 있다(Reminton and Braun, 1988). 따라서 야생조류의 행동권과 서식지 파악은 장기적인 보호대책 수립에 필수불가결하다고 볼 수 있다.

수금류는 그 생태적 습성에 따라 선호하는 서식지가 다르며, 서식지 구성에 따라 그 분포가 달리 나타나게 된다(신, 2016). 그러나 군집현황이나 서식지 환경조사와 같은 단순 조류모니터링은 수금류의 월동 행동권과 서식지 이용률의 파악이 어렵다. 최근 위성추적장치(Satellite telemetry)를 이용하여 야생동물의 서식지 및 시·공간적 이동에 관한 기초자료 연구가 진행되고 있으며, 이러한 방법을 통해 조류의 이동특성 및 서식지 이용률 등 대상 분류군의 보호·관리를 위한 중요한 정보를 제공받을 수 있다(Aebischer and Robertson, 1993; Yamaguchi *et al.*, 2008; Krementz *et al.*, 2011).

따라서 본 연구에서 야생동물위치추적기를 이용하여 국내 월동하는 수금류의

행동권, 일일이동패턴, 서식지 이용분석 등의 월동기간동안의 전반적인 월동이동 생태 연구를 통해 우리나라의 대표적 철새인 수금류의 생태적 습성 및 서식지 보호·관리를 위한 자료를 제공하기 위하여 이루어졌다.

2. 연구 방법

1) 수금류 포획 및 위치추적기 부착

이 연구에는 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리 수금류 3종을 2015년 10월부터 2015년 12월까지 전라북도 동진강, 전라북도 만경강에서 Cannon-net을 이용하여 포획하였다. 포획된 수금류는 즉시 새주머니(Bird-Bag)에 넣어 10분에서 20분 정도 안정화 시켰으며, 이후 각 개체별로 무게를 측정하였다. 조류에 부착하는 추적기는 체중의 5% 이하로 하는 것이 행동에 있어 제약을 최소화 할 수 있으며 (Kenward 1985), 야생동물위치추적기의 무게는 27g임을 고려하여 540g 이상의 개체를 대상으로 백팩(Back-Pack)형태로 부착 하였다(Table 4). 위치추적에 사용된 WT-300(GPS-Mobile phone based Telemetry)은 이동통신 시스템을 기반으로 좌표를 획득하며, 연구자가 웹상에서 위치정보를 확인할 수 있다.

2) 수금류 추적 현황

개체의 식별을 위해 각각의 개체에 일련번호를 부여하였다. GPS좌표는 2시간 간격으로 1일 12회 수집하였다. 위치추적데이터는 2015년 11월 2일부터 2016년 3월 31일까지 선별하여 분석하였으며, 추적 일수는 최소 62일에서 최장 126일을 추적하였다. GPS좌표 획득은 최소 751회부터 최대 1,517회 획득하였다(Table 5).

Table 4. The information for captured 3 species ducks(Mallard, spot-bill duck, pintail). Information on species, sex, weight, and location of capture is provided

ID	Species	Sex	Catching site	Weight(g)
Mm01	Mallard	Male		1,300
Mm02	Mallard	Male		1,135
Mm03	Mallard	Male		1,155
Mm04	Mallard	Male		1,550
Mm05	Mallard	Male	Riv.	1,475
Mf01	Mallard	Female	Mankyung	995
Mf02	Mallard	Female		930
Mf03	Mallard	Female		1,140
Mf04	Mallard	Female		995
Mf05	Mallard	Female		1,105
S01	Spot-bill duck			1,165
S02	Spot-bill duck		Riv.	1,275
S03	Spot-bill duck		Mankyung	1,335
S04	Spot-bill duck			1,195
Pm01	Pintail	Male		980
Pm02	Pintail	Male		820
Pm03	Pintail	Male		870
Pm04	Pintail	Male		920
Pm05	Pintail	Male	Riv.	910
Pf01	Pintail	Female	Mankyung	800
Pf02	Pintail	Female		850
Pf03	Pintail	Female		830
Pf04	Pintail	Female		790
Pf05	Pintail	Female		730

Table 5. Status and wintering migration period of 27 ducks with Wild-Tracker (WT-300)

ID	Tracking Period		Battery lifespan(day)	GPS Fixed time/day	Number of GPS Fixed
	Start	End			
Mm01	2015-11-02	2016-03-31	150	12	1,689
Mm02	2015-11-02	2016-02-12	102	12	1,198
Mm03	2015-11-02	2016-01-25	84	12	1,009
Mm04	2015-12-07	2016-11-22	351	12	1,283
Mm05	2015-12-07	2016-03-31	115	12	1,276
Mf01	2015-11-02	2016-03-31	150	12	1,422
Mf02	2015-11-02	2016-01-15	74	12	364
Mf03	2015-11-02	2016-03-31	150	12	1,801
Mf04	2015-11-02	2016-03-19	138	12	1,166
Mf05	2015-12-07	2016-01-02	26	12	210
S01	2015-12-07	2016-03-31	107	12	1,277
S02	2015-12-07	2016-01-23	47	12	459
S03	2015-12-07	2016-01-25	49	12	532
S04	2015-12-07	2016-01-27	51	12	1,809
Pm01	2015-11-02	2016-01-30	89	12	1,074
Pm02	2015-11-02	2016-01-27	86	12	1,032
Pm03	2015-11-02	2016-01-26	85	12	982
Pm04	2015-11-16	2016-01-17	62	12	751
Pm05	2015-11-16	2016-02-27	103	12	1,235
Pf01	2015-11-02	2016-01-23	82	12	981
Pf02	2015-11-16	2016-01-03	48	12	422
Pf03	2015-11-16	2016-01-11	56	12	531
Pf04	2015-11-16	2016-01-22	67	12	812
Pf05	2015-11-16	2016-03-21	126	12	1,517

3) 통계 분석

수금류 3종의 행동권 분석을 위해 획득된 GPS좌표를 ArcGIS 9.x (ESRI Inc.) 및 ArcGIS용 Extension인 Hawth's Analysis Tool의 Animal Movement Tool을 이용하여 분석하였다. 본 연구에서는 최소블록다각형법(Minimum Convex Polygon Method : MCP) 100% 방법과 커널밀도추정법(Kernel Density Estimation : KDE) 90%, 70%, 50%를 이용하였다. 한편 KDE 분석을 위한 Smoothing Parameter Factor는 Animal Space Use 1.2 (Idaho Univ.) 프로그램의 h_reference 수치를 적용하였다. 그리고 서식지 이용률 파악하기 위해 토지피복도와 ArcGIS를 이용하여 해당 좌표에 대한 환경을 파악하였으며, 지역별, 시간대별 서식지 이용률의 차이를 보기위해 SPSS v22 프로그램을 이용하여 카이제곱 분석과 One-way-ANOVA(일원배치 분산분석)을 실시하였으며, 사후검정은 Welch와 Dunnett T3를 이용하였다.

좌표간 이동거리를 구하여, 이동패턴을 파악하였으며, 3종의 평균 이동거리는 월별, 시간대별로 구분하여 분석하였다. 종간 월별 이동거리의 차이는 우선 Shapiro Wilk test(정규성 검정)하여 등분산이 가정되어 One-way-ANOVA 분석을 하였으며, 사후검정은 Scheffe를 이용하였다. 종간 시간대 별 이동거리는 정규성이 만족되지 않아 Kruskal - Wallis (비모수 검정)을 통해 비교하였으며, 사후검정은 Mann Whitney U test를 이용하여 종별 차이를 검증하였다. 암·수가 구분되는 청둥오리와 고방오리는 암·수 두 집단으로 나누어 성별 간 차이를 분석하였으며, 자료가 정규분포를 따를 경우 ($p > 0.05$)에는 Independent samples t-test를 이용하여 분석하였다. 두 좌표 간 이동거리를 구하는 공식은 다음과 같다

$$D = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}$$

3. 연구 결과

1) 행동권 분석

(1) 청둥오리

청둥오리 10개체의 행동권을 파악한 결과 MCP에 의한 평균 행동권은 628.9km² (n=10, SD=501.2)이었다. 가장 넓은 행동권을 보인 개체는 Mf05로 1,557.4km²이었고, 가장 좁은 행동권을 보인 개체는 Mf02로 55.5km²이었다. 가장 넓은 행동권을 보인 MF05개체는 부착지인 만경강에서 서식하다 2015년 12월 27일에 약 77km 떨어진 충청북도 금산군으로 이동하여 서식하였다. 그로 인해 전체 이용면적인 MCP의 면적이 넓게 나타났다(Table 6, Figure 8).

KDE 90%의 수준에서 이용분포는 평균 371.9km²(n=10, SD=319.6)이었으며, KDE 70%를 기준으로 평균 행동권은 151.8km²(n=10, SD=138.2)이었다. 핵심서식지인 KDE 50%를 기준으로 행동권을 산출한 결과, 평균 71.9km²(n=10, SD=70.2)이었다. 수컷과 암컷을 구분하였을 때, 수컷은 KDE 90%는 평균 625.3km²(n=5, SD=378.2)이었으며, KDE 70%는 평균 371.9km²(n=5, SD=222.5), KDE 50% 72.2km²(n=5, SD=108.3)로 나타났다. 암컷은 KDE 90%는 평균 360.7km²(n=5, SD=393.2)이었으며, KDE 70%는 평균 144.4km²(n=5, SD=162.3), KDE 50% 71.6km²(n=5, SD=80.5)로 암·수 간의 차이는 크게 나타나지 않았다. 분석 결과 부착지에서 타 지역으로 이동하여 월동한 개체는 충청북도 금산군으로 이동한 Mf05와 부착지에서 약 44km 떨어진 전라북도 부안군 곶소만으로 이동한 Mf04개체, 충청남도 부여군 반산저수지를 이용한 Mm03개체이었다. 결과적으로 청둥오리들은 부착지인 만경강과 동진강, 하구지역인 새만금을 주 월동지로 이용하였으며, 일부 개체는 부착지에서 50km 이내에 있는 곶소만이나 부여군까지 이용하는 것으로 나타났다(Table 6, Figure 8).

Table 6. Home range analysis results according to MCP and KDE of 10 mallards with GPS at Mangyung River

ID	MCP(km ²)	90% KDE(km ²)	70% KDE(km ²)	50% KDE(km ²)	Main wintering site
Mm01	308.7	272.7	136.9	70.2	1. Riv. Mankyung 2. Saemangeum
Mm02	1110.7	622.8	328.2	179.3	1. Riv. Mankyung 2. Riv. Dongjin 3. Saemangeum
Mm03	592.4	348.0	90.6	37.8	1. Riv. Mankyung 2. Saemangeum 3. Buyeo-gun
Mm04	986.7	629.3	224.3	65.9	1. Riv. Mankyung 2. Riv. Dongjin 3. Saemangeum
Mm05	127.8	42.5	15.4	7.7	1. Riv. Mankyung 2. Saemangeum
Mf01	207.8	68.2	19.3	9.9	1. Riv. Mankyung 2. Saemangeum
Mf02	55.5	24.7	8.4	3.4	1. Riv. Mankyung
Mf03	209.7	60.2	23.2	9.2	1. Riv. Mankyung
Mf04	1131.9	662.7	265.9	139.9	1. Riv. Mankyung 2. Saemangeum 3. Gomso bay
Mf05	1557.4	987.6	405.4	195.5	1. Riv. Mankyung 2. Geumsan-gun
Aver. male	625.3	383.0	159.1	72.2	
Aver. female	632.4	360.7	144.4	71.6	
Total aver.	628.9	371.9	151.8	71.9	

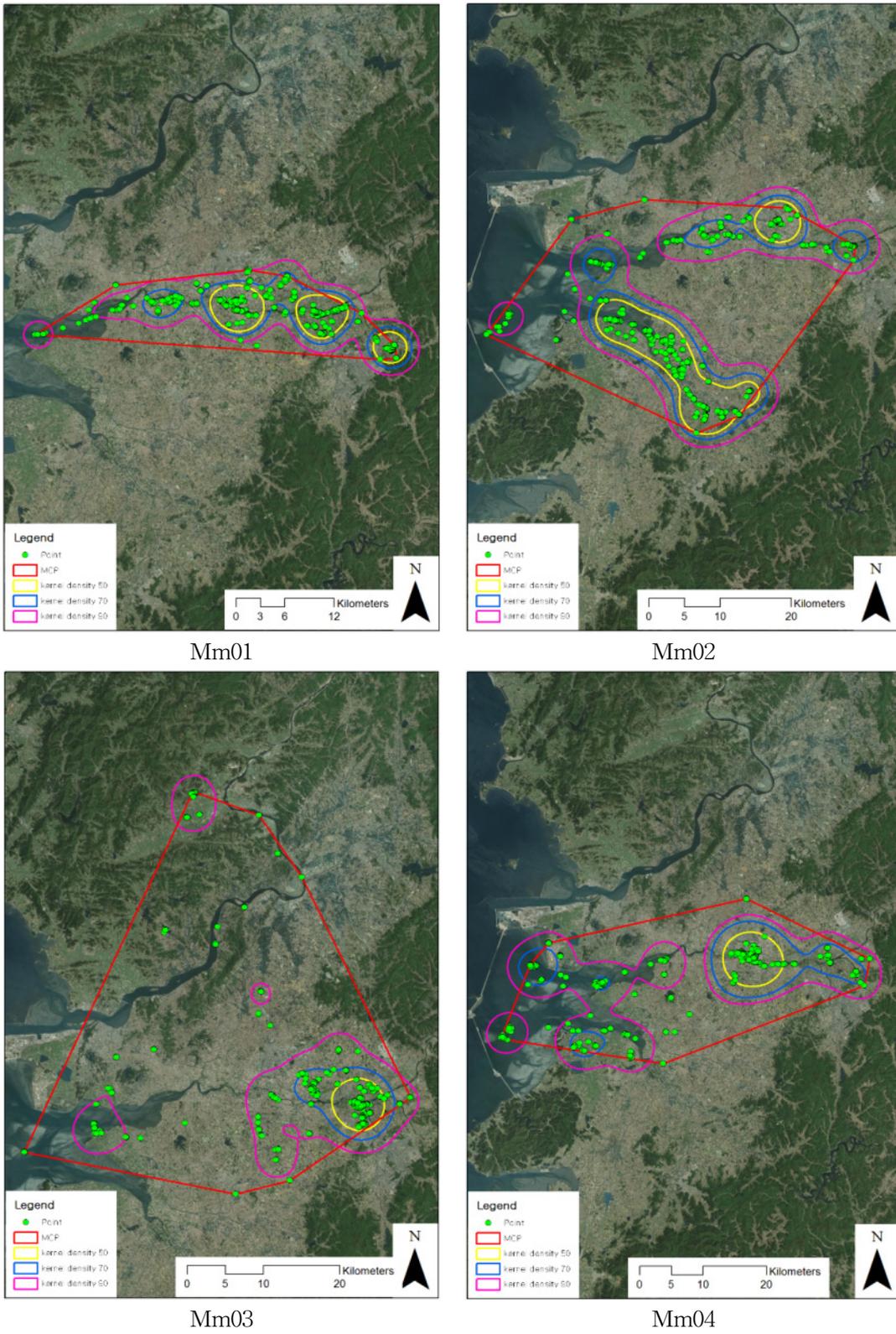
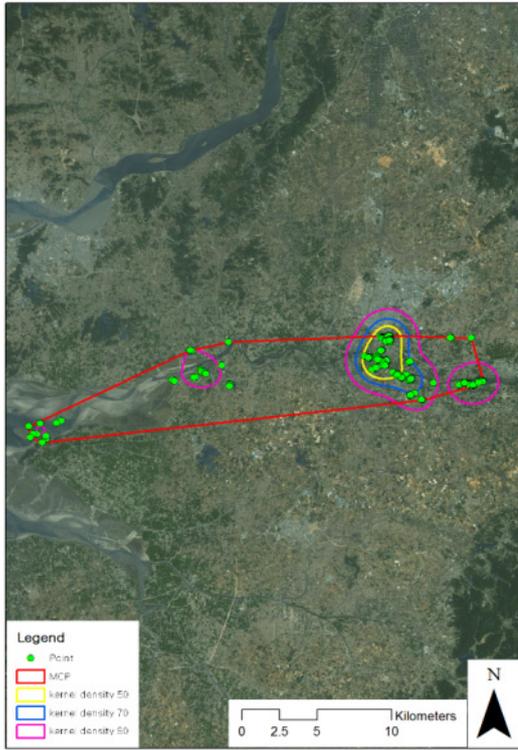
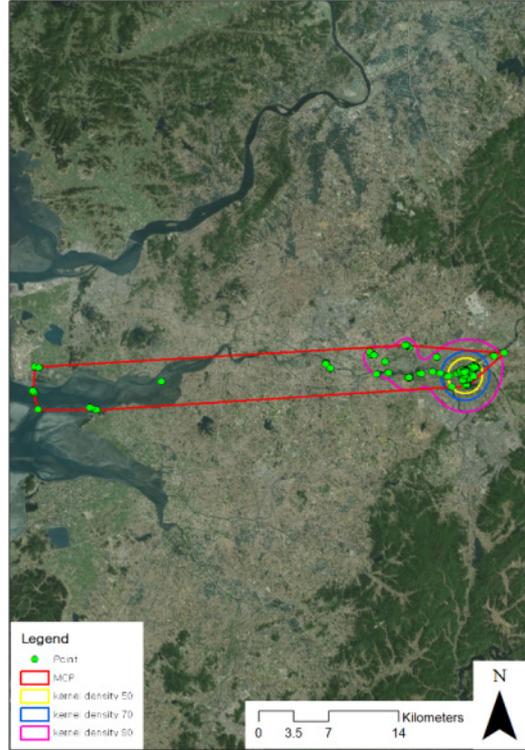


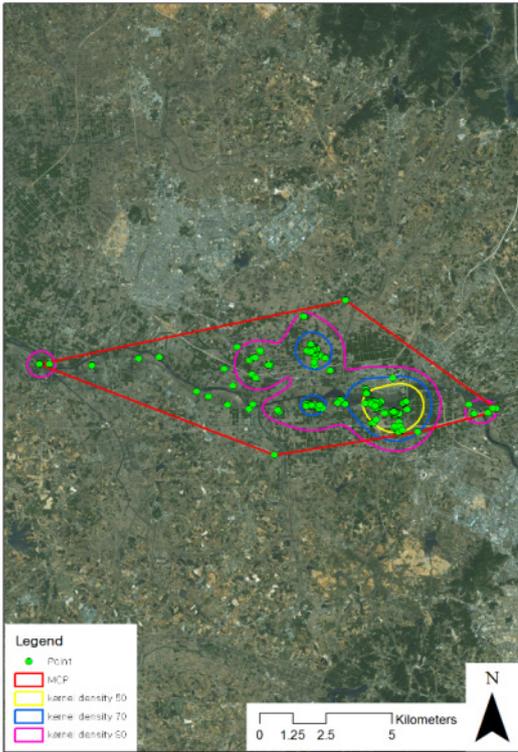
Figure 8. Home range status according to MCP and KDE of 10 mallards with GPS at Mangyung River.



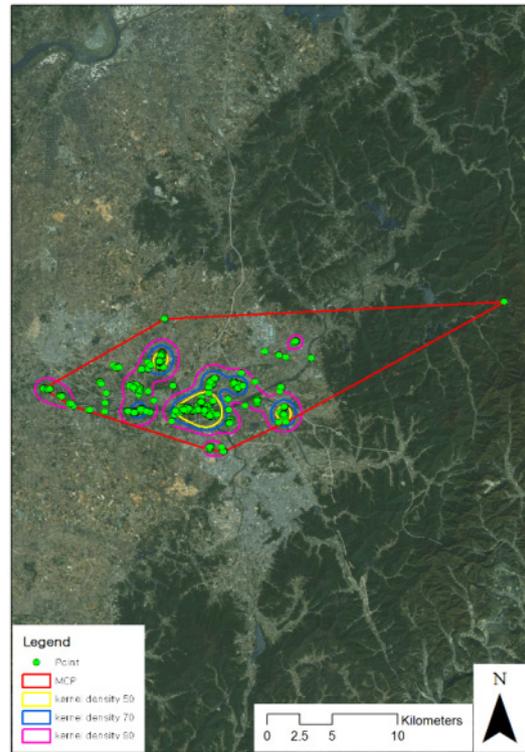
Mm05



Mf01

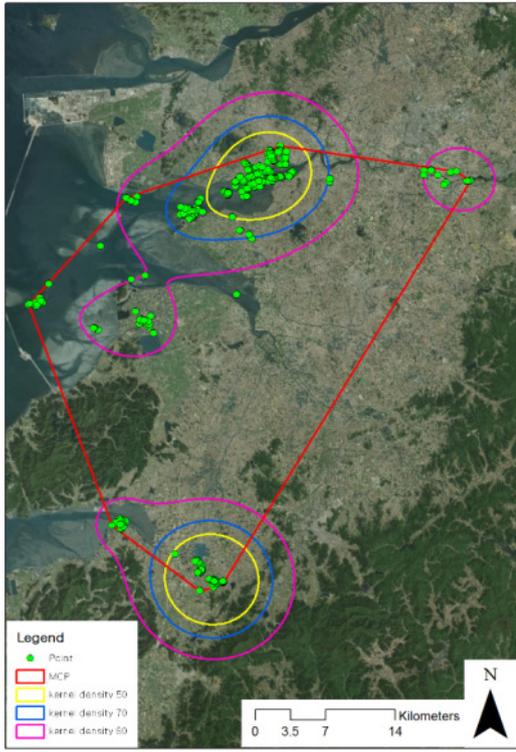


Mf02

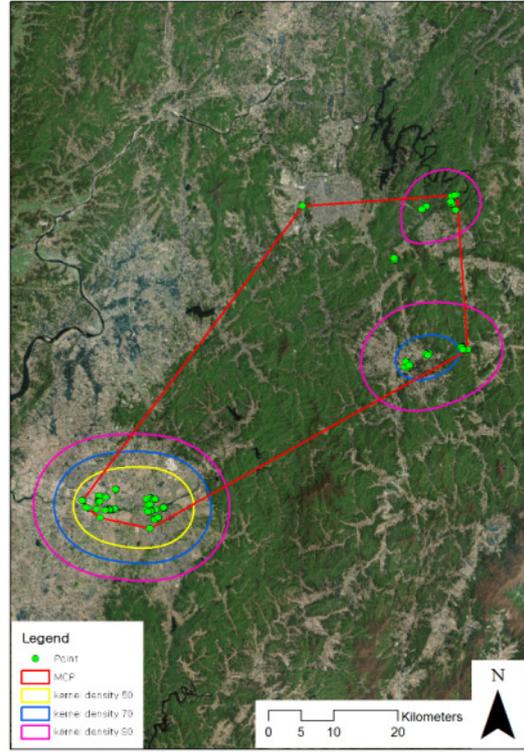


Mf03

Figure 8. Continued.



Mf04



Mf05

Figure 8. Continued.

(2) 흰뺨검둥오리

흰뺨검둥오리 4개체에 대한 행동권을 파악한 결과 MCP에 의한 평균 행동권은 51.1km²(n=4, SD=15.6)이었다. 가장 넓은 행동권을 보인 개체는 S02로 71.6km²이었고, 가장 좁은 행동권을 보인 개체는 S01로 29.2km²이었다.

KDE 90%의 수준에서 이용분포는 평균 22.5km²(n=4, SD=11.8)이었으며, KDE 70%를 기준으로 평균 행동권은 9.5km²(n=4, SD=4.9)이었다. 핵심서식지인 KDE 50%를 기준으로 행동권을 산출한 결과 평균 4.5km²(n=4, SD=2.2)이었다. 분석 결과 모든 개체가 월동기간동안 부착지인 만경강 일대에서 월동하였으며, 타 지역으로 이동한 개체는 없었다(Table 7, Figure 9).

Table 7. Home range analysis results according to MCP and KDE of 4 spot-bill ducks with GPS at Mankyung River

ID	MCP(km ²)	90% KDE(km ²)	70% KDE(km ²)	50% KDE(km ²)	Main wintering site
S01	29.2	8.5	3.3	1.4	Riv. Mankyung
S02	71.6	16.1	7.3	3.8	
S03	45.6	25.4	10.9	5.5	
S04	58.0	40.1	16.6	7.4	
Aver.	51.1	22.5	9.5	4.5	

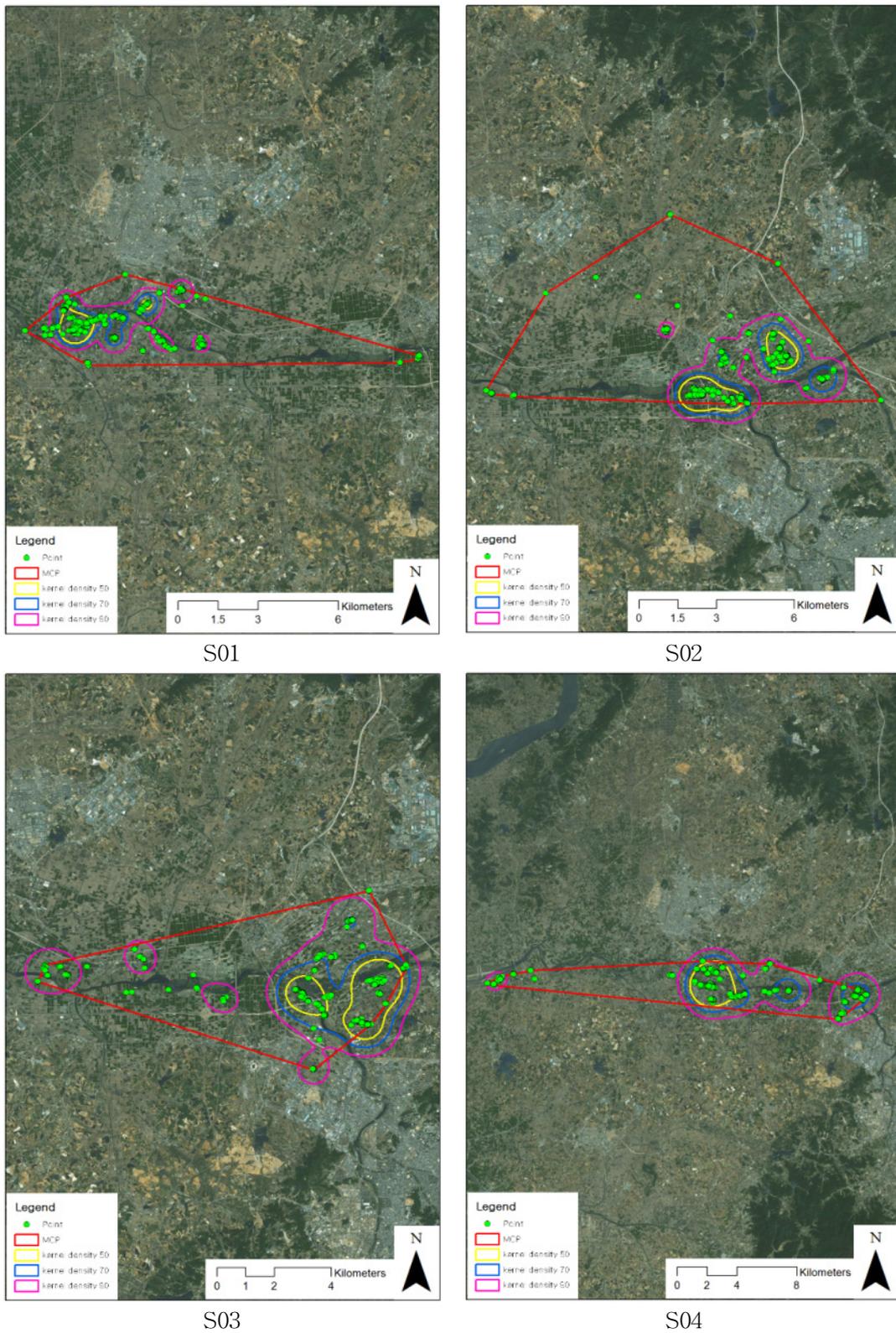


Figure 9. Home range status according to MCP and KDE of 4 Spot-bill ducks with GPS at Mangyung River.

(3) 고방오리

고방오리 10개체의 행동권을 파악한 결과 MCP에 의한 평균 행동권은 1,175.0km² (n=10, SD=1,082.5)이었다. 가장 넓은 행동권을 보인 개체는 Pf02로 4,188.4km² 이었고, 가장 좁은 행동권을 보인 개체는 Pm02로 467.5km²이었다. 가장 넓은 행동권을 보인 Pf02개체는 부착지인 만경강에서 서식하다 2015년 12월 29일에 약 590km 떨어진 전라남도 장성군으로 남하하여 광주를 거쳐 전남 영암군에서 서식하였다. 그로 인해 전체 이용면적인 MCP의 면적이 넓게 나타났다(Table 8, Figure 10).

KDE 90%의 수준에서 이용분포는 평균 513.0km²(n=10, SD=672.0)이었으며, KDE 70%를 기준으로 평균 행동권은 227.1km²(n=10, SD=312.2)이었다. 핵심서식지인 KDE 50%를 기준으로 행동권을 산출한 결과 평균 114.5km²(n=10, SD=165.3)이었다. 수컷과 암컷을 구분하였을 때 수컷은 KDE 90%는 평균 329.9km²(n=5, SD=204.0)이었으며, KDE 70%는 평균 143.7km²(n=5, SD=94.4), KDE 50% 67.5km²(n=5, SD=47.7)로 나타났다. 암컷은 KDE 90%는 평균 696.1km²(n=5, SD=891.4)이었으며, KDE 70%는 평균 310.6km²(n=5, SD=414.8), KDE 50% 161.6km²(n=5, SD=218.9)로 암컷이 수컷보다 행동권이 넓게 나타났으나 장거리를 이동한 Pf02개체를 제외하면 암컷의 핵심행동권은 53.3km²로 수컷보다 좁은 행동권을 보였다. 분석 결과 부착지에서 타 지역으로 이동한 개체는 전남 영암군으로 이동한 Pf02와 부착지에서 약 44km 떨어진 곶소만으로 이동한 Pf01개체, 금강하구로 이동한 Pm01개체이었다. Pf04개체는 금강하구로 이동하였지만 2일 뒤 만경강으로 회귀하는 모습을 보여주었다. 결과적으로 대부분의 고방오리들은 부착지인 만경강과 동진강, 하구 지역인 새만금을 주 월동지로 이용하였으며, 일부개체는 부착지에서 50km 이내에 있는 금강하구지역이나 곶소만까지 이용하는 것으로 나타났다(Table 8, Figure 10).

Table 8. Home range analysis results according to MCP and KDE of 10 Pintails with GPS at Mangyung River

ID	MCP(km ²)	90% KDE(km ²)	70% KDE(km ²)	50% KDE(km ²)	Main wintering site
Pm01	1040.7	341.3	142.2	66.7	1. Riv. Mankyung 2. Saemangeum 3. Gomso bay
Pm02	467.5	143.5	61.8	29.8	1. Riv. Mankyung 2. Riv. Dongjin 3. Saemangeum
Pm03	680.4	193.7	84.8	39.2	1. Riv. Mankyung 2. Saemangeum
Pm04	695.9	254.9	104.7	42.0	1. Riv. Mankyung 2. Riv. Dongjin 3. Saemangeum
Pm05	1944.6	715.9	325.0	159.7	1. Riv. Mankyung 2. Saemangeum
Pf01	567.5	202.3	81.7	37.6	1. Riv. Mankyung 2. Saemangeum
Pf02	4188.4	2468.3	1132.9	594.8	1. Riv. Mankyung
Pf03	512.2	436.1	207.0	112.3	1. Riv. Mankyung
Pf04	847.7	220.2	86.7	44.8	1. Riv. Mankyung 2. Saemangeum 3. Riv. Geum
Pf05	804.9	153.6	44.5	18.5	1. Riv. Mankyung 2. Geumsan-gun
Aver. male	1175.0	513.0	227.1	114.5	
Aver. female	965.8	329.9	143.7	67.5	
Total aver.	1384.1	696.1	310.6	161.6	

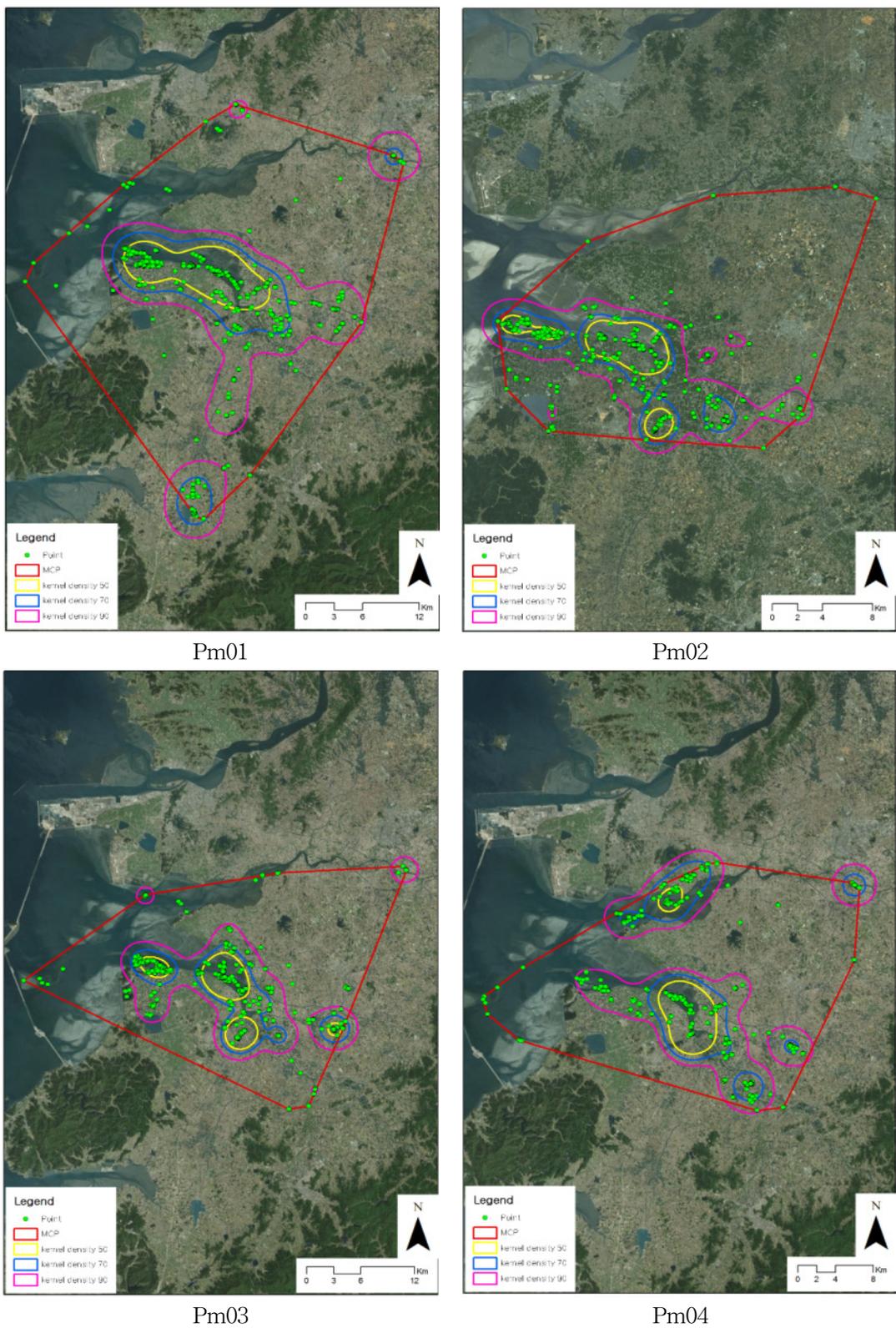
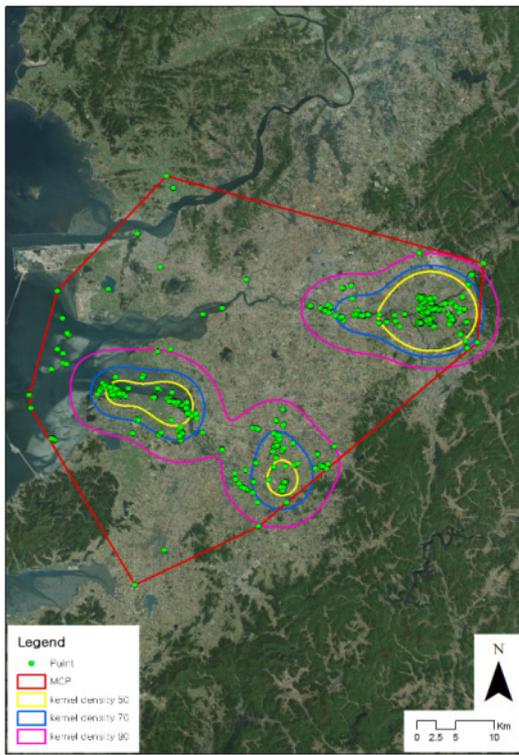
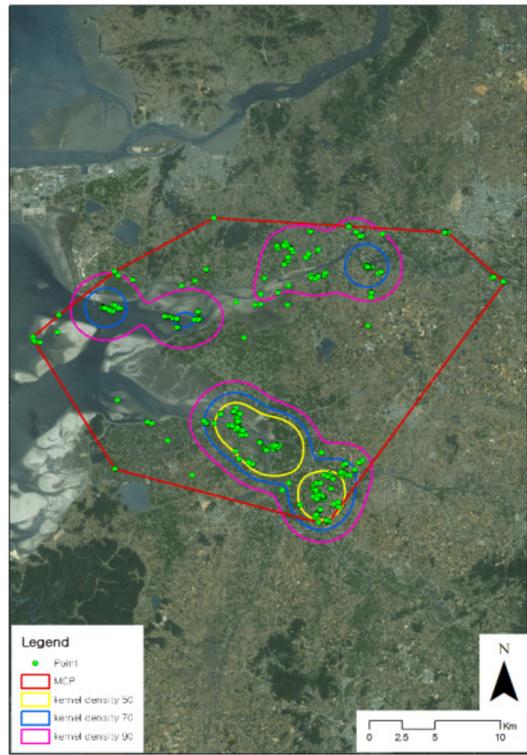


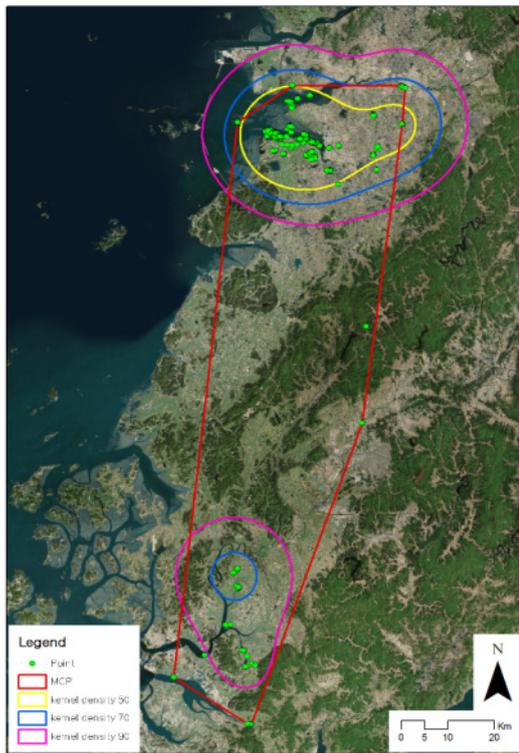
Figure 10. Home range status according to MCP and KDE of 10 Pintails with GPS at Mangyung River.



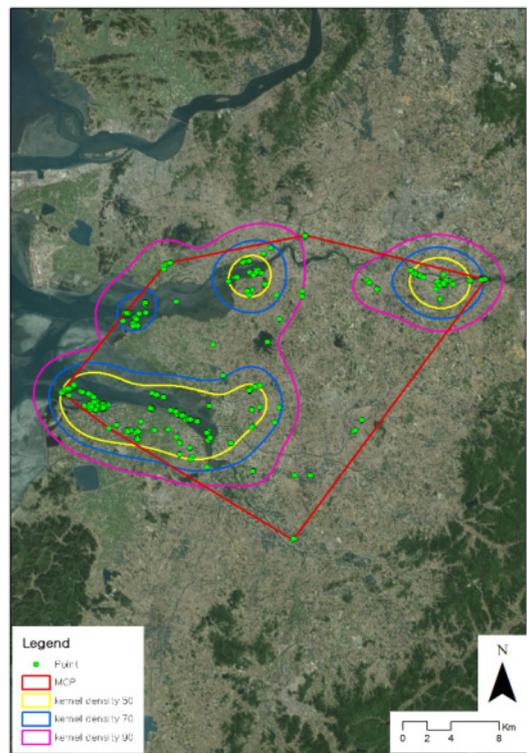
Pm05



Pf01

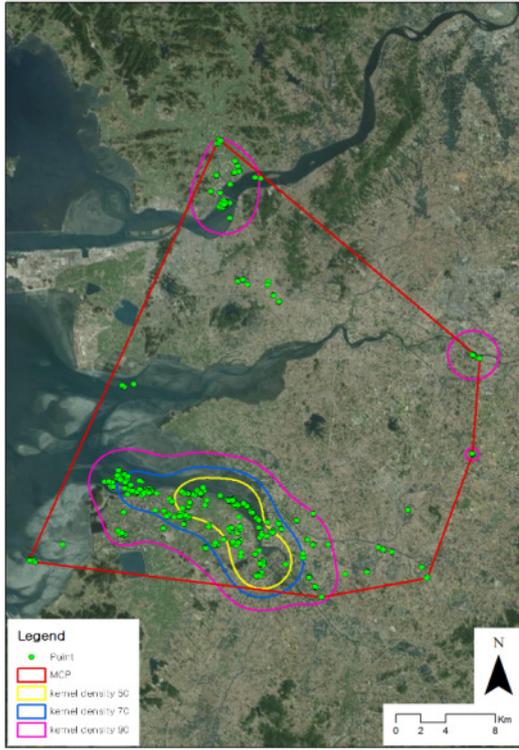


Pf02

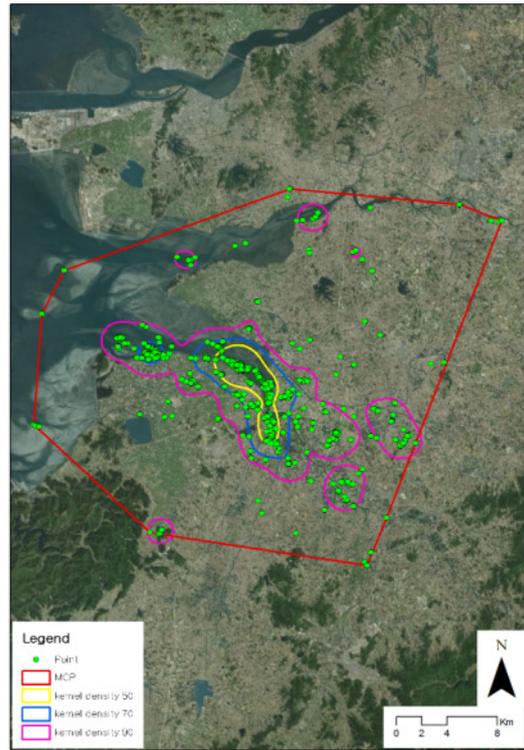


Pf03

Figure 10. Continued.



Pf04



Pf05

Figure 10. Continued.

(4) 수금류의 종별 행동권 비교

만경강 지역에서 부착한 수금류 3종의 평균 행동권은 MCP 618.3km², KDE 90%는 302.5km², 70%는 129.5km²로 나타났다. 핵심서식지인 KDE 50%는 63.6km²로 나타났다. 종별로 핵심서식지 면적을 비교해보면, 고방오리가 114.5km²로 가장 넓게 나타났으며, 그 다음으로 청둥오리(71.9km²), 흰뺨검둥오리(4.5km²)의 순이었다 (Table 9). 청둥오리와 고방오리 두 종은 만경강, 동진강, 새만금을 중심으로 월동하는 경향을 보였으며, 일부 개체는 전라북도 부안군에 위치한 곶소만이나 금강하구, 충청남도 부여군에 소재한 저수지까지 이용하는 모습을 보였다. 장거리 이동개체는 모두 12월 말에 최종 월동지로 이동하는 모습을 보였다. 흰뺨검둥오리는 다른 종에 비해 행동권이 매우 좁게 나타났으며, 월동 기간 동안 부착지인 만경강 일대만 이용하는 모습을 보였다.

Table 9. Home range analysis results in according to MCP and KDE measures of 3 species with GPS by region

Species	MCP(km ²)	90% KDE(km ²)	70% KDE(km ²)	50% KDE(km ²)
Mallard	628.9	371.9	151.8	71.9
Spot-bill duck	51.1	22.5	9.5	4.5
Pintail	1175.0	513.0	227.1	114.5
Aver.	618.3	302.5	129.5	63.6

2) 월동기 서식지 이용 분석

(1) 청둥오리

위치추적기를 이용하여 획득된 좌표정보를 토지피복도 중분류 수준으로 분류하여 분석하였다. 청둥오리 10개체에 대한 위치좌표를 분석한 결과, 내륙수가 49.7%로 가장 높은 이용률을 보였으며, 다음으로 논(34.8%), 내륙습지(5.8%), 해양수(4.5%), 기타(3.9%), 연안습지(1.3%)의 순이었다(Table 10, Figure 11). 주·야간 서식지 이용률을 보면, 주간에는 내륙수의 이용률이 62.2%로 가장 높았고, 다음으로 논(26.7%), 해양수(4.0%), 내륙습지(3.8%), 기타(2.2%), 연안습지(1.1%)의 순으로 나타났다. 야간에는 논이 43.1%로 가장 높았고, 다음으로 내륙수(36.9%), 내륙습지(7.9%), 기타(5.6%), 해양수(5.0%), 연안습지(1.6%)의 순으로 나타났다. 청둥오리의 주·야간 서식지 이용률 비교 결과 주간에는 휴식지인 내륙수의 비율이 높았고, 야간에는 취식지인 논 이용률이 높게 나타났다($\chi^2=437.183$, $p < 0.001$, Figure 12).

Table 10. Using ratio of total habitats during the tracking period of mallard

Habitat	Mm 01	Mm 02	Mm 03	Mm 04	Mm 05	Mf 01	Mf 02	Mf 03	Mf 04	Mf 05	Aver.
Rice field	28.6	35.3	28.6	19.5	43.4	50.1	35.0	31.6	45.4	31.6	34.8
Hydrosphere	54.9	46.6	54.9	50.9	51.7	44.2	32.5	54.1	38.4	53.9	49.7
Wetland	11.8	1.6	11.8	0.3	0.3	0.2	19.5	6.6	2.8	6.6	5.8
Ocean	0.9	11.1	0.9	15.7	3.5	3.8	13.0	0.0	7.9	0.0	4.5
Coastal Wetland	1.4	2.3	1.4	0.5	0.9	1.0	0.0	0.0	5.4	0.0	1.3
Other	2.3	3.1	2.3	13.1	0.2	0.8	0.0	7.7	0.0	7.9	3.9

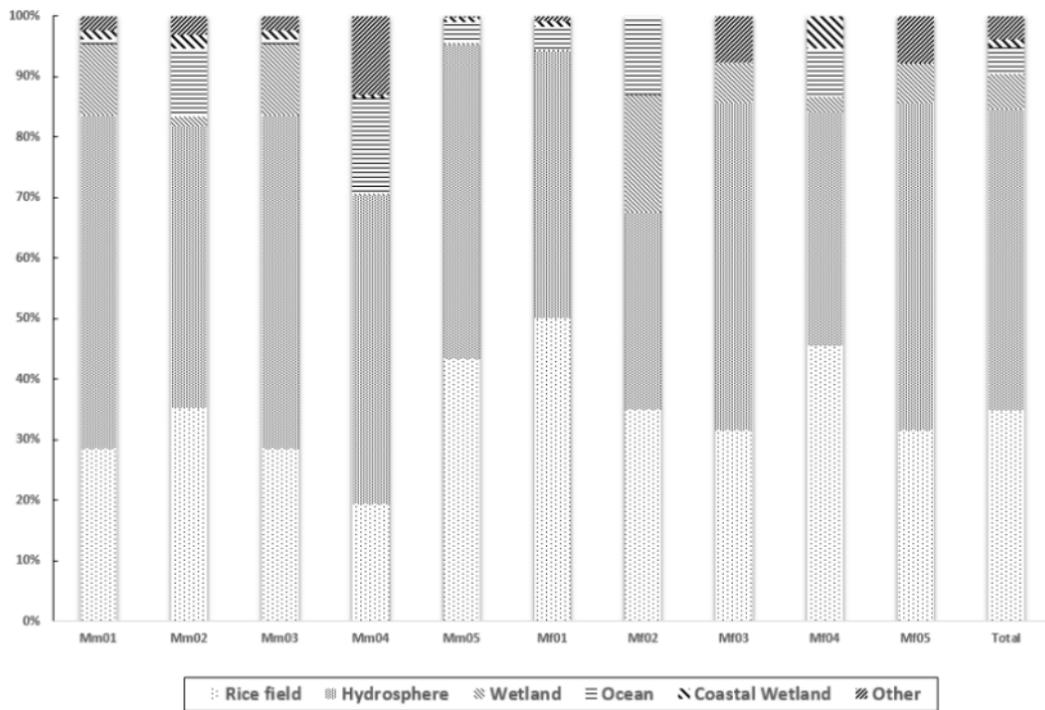


Figure 11. Habitat use of 10 mallards. other habitats include forests, artificial buildings, roads, and bare lands.

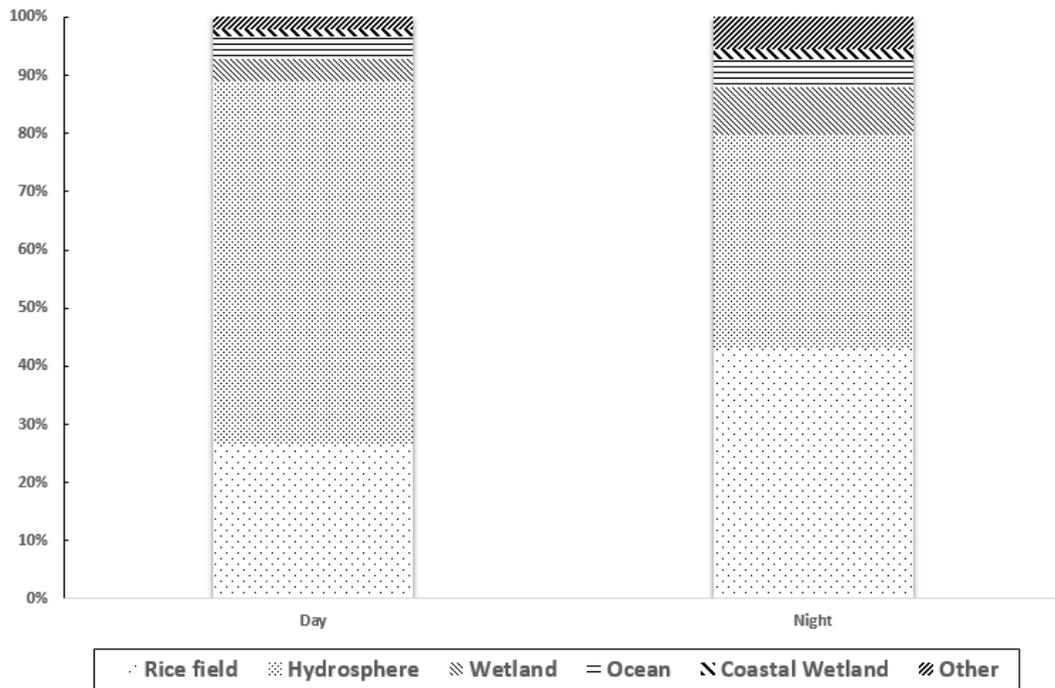


Figure 12. Comparing Used habitats in day and night time of mallard.

(2) 흰뺨검둥오리

위치추적기를 이용하여 획득된 좌표정보를 토지피복도 중분류 수준으로 분류하여 분석하였다. 흰뺨검둥오리 4개체에 대한 위치좌표를 분석한 결과, 내륙수가 48.6%로 가장 높은 이용률을 보였으며, 그 다음으로 논(37.6%), 내륙습지(7.3%), 기타(6.5%), 해양수(<0.1%)의 순이었으며, 연안습지는 이용하지 않는 것으로 나타났다 (Table 11, Figure 13). 주·야간 서식지 이용률을 보면, 주간에는 내륙수의 이용률이 50.8%로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 논(39.7%), 내륙습지(7.5%), 기타(2.0%)의 순으로 나타났으며, 해양수와 연안습지의 이용률은 없었다. 야간에도 주간과 마찬가지로 내륙수의 이용률이 46.7%로 가장 높았고, 그 다음으로 논(35.8%), 내륙습지(7.1%), 기타(10.4%), 해양수(0.1%)의 순이었다. 흰뺨검둥오리의 주·야간 서식지 이용률을 비교한 결과 주·야간 모두 휴식지인 내륙수의 비율이 높았고, 야간보다 주간에 취식지인 논 이용률이 높게 나타났다($\chi^2= 76.488$, $p < 0.001$, Figure 14).

Table 11. Using ratio of total habitats during the tracking period of spot-bill duck

Habitat	S01	S02	S03	S04	Aver.
Rice field	35.1	57.6	28.5	31.6	34.8
Hydrosphere	63.2	23.1	47.4	53.9	49.7
Wetland	0.4	9.2	16.4	6.6	5.8
Ocean	0.0	0.0	0.2	0.0	4.5
Coastal Wetland	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3
Other	1.3	10.1	7.5	7.9	3.9

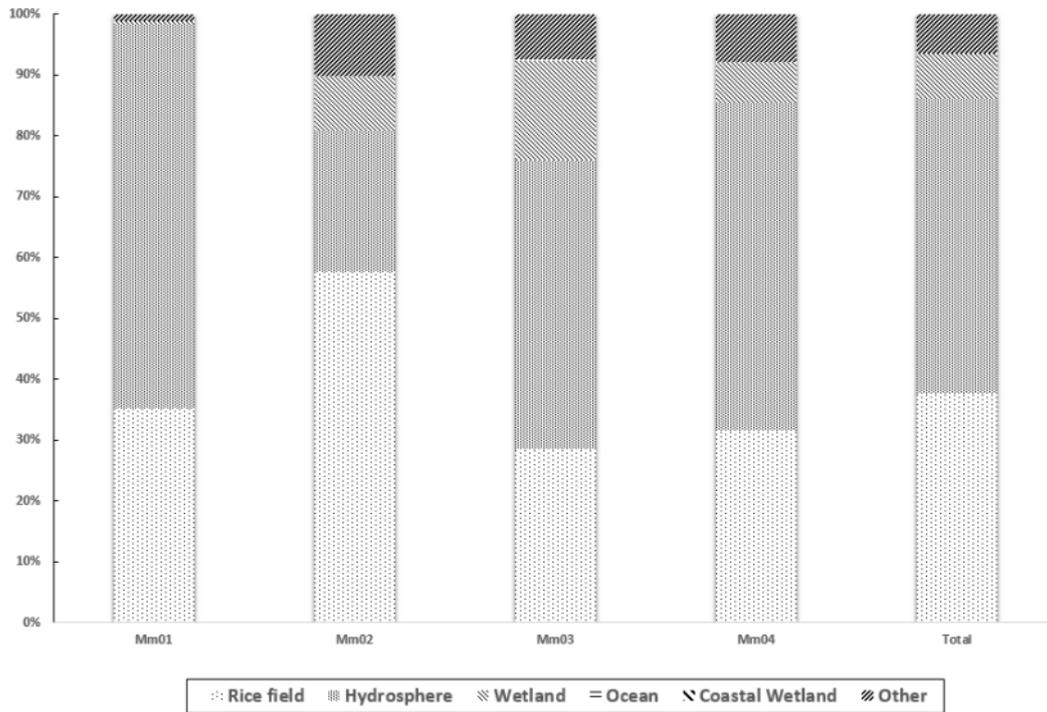


Figure 13. Habitat use of 4 spot-bill ducks. other habitats include forests, artificial buildings, roads, and bare lands.

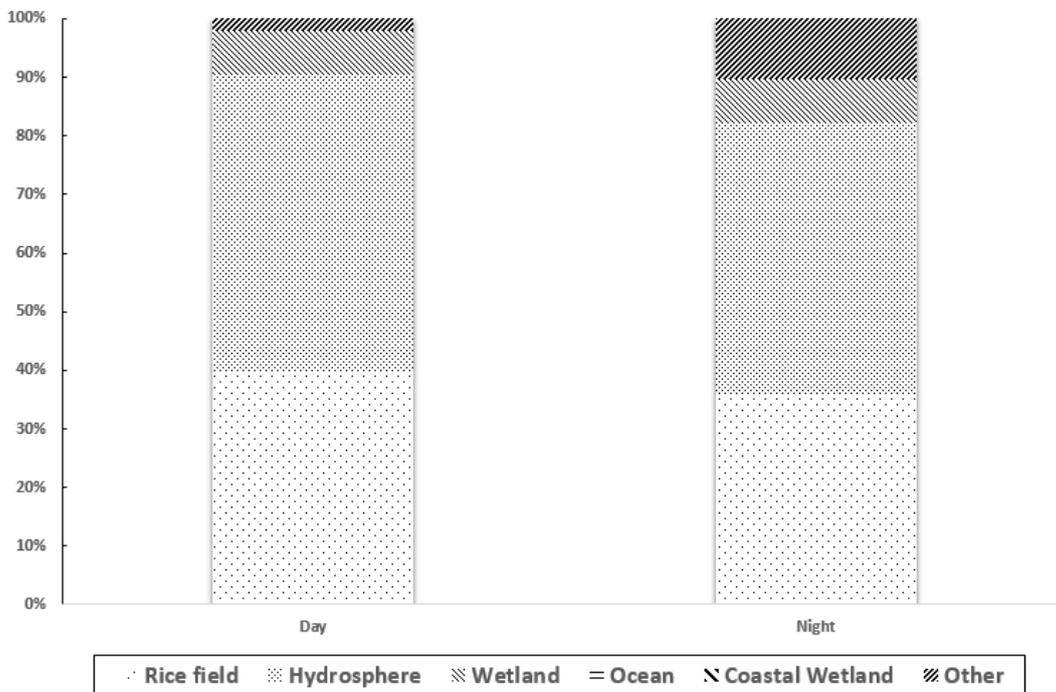


Figure 14. Comparing Used habitats in day and night time of spot-bill duck.

(3) 고방오리

위치추적기를 이용하여 획득된 좌표정보를 토지피복도 중분류 수준으로 분류하여 분석하였다. 고방오리 10개 체에 대한 위치좌표를 분석한 결과, 내륙수가 44.9%로 가장 높은 이용률을 보였으며, 그 다음으로 논(33.8%), 연안습지(9.6%), 해양수(8.2%), 내륙습지(3.2%), 기타(0.4%)의 순으로 나타났다(Table 12, Figure 15). 주·야간으로 나누어 서식지 이용률을 보면 주간에는 내륙수의 이용률이 58.8%로 가장 높았고, 다음으로 논(18.5%), 연안습지(14.8%), 내륙습지(4.4%), 해양수(3.0%), 기타(0.4%)의 순으로 나타났다. 야간에는 논이 50.9%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 내륙수(29.4%), 해양수(13.9%), 연안습지(3.8%), 내륙습지(1.8%), 기타(0.3%)의 순이었다. 고방오리의 주·야간 서식지 이용률 비교 결과 주간에는 휴식지인 내륙수의 비율이 높았고, 야간에는 취식지인 논 이용률이 높은 것으로 나타났다($\chi^2= 1,346.987, p <0.001, \text{Figure 16}$).

Table 12. Using ratio of total habitats during the tracking period of pintail

Habitat	Pm 01	Pm 02	Pm 03	Pm 04	Pm 05	Pf 01	Pf 02	Pf 03	Pf 04	Pf 05	Aver.
Rice field	27.1	26.1	31.2	30.4	39.5	34.8	35.5	42.2	50.2	26.9	33.8
Hydrosphere	52.3	52.8	52.3	52.7	33.3	37.4	52.7	34.2	40.6	45.1	44.9
Wetland	1.4	0.2	0.6	0.0	20.2	0.9	0.4	0.0	0.2	1.3	3.2
Ocean	12.4	12.2	3.7	3.2	4.8	11.6	6.1	14.4	2.2	11.5	8.2
Coastal Wetland	6.4	8.6	12.1	13.7	1.6	14.9	3.1	8.3	6.7	15.1	9.6
Other	0.4	0.0	0.1	0.0	0.7	0.3	2.2	0.9	0.1	0.1	0.4

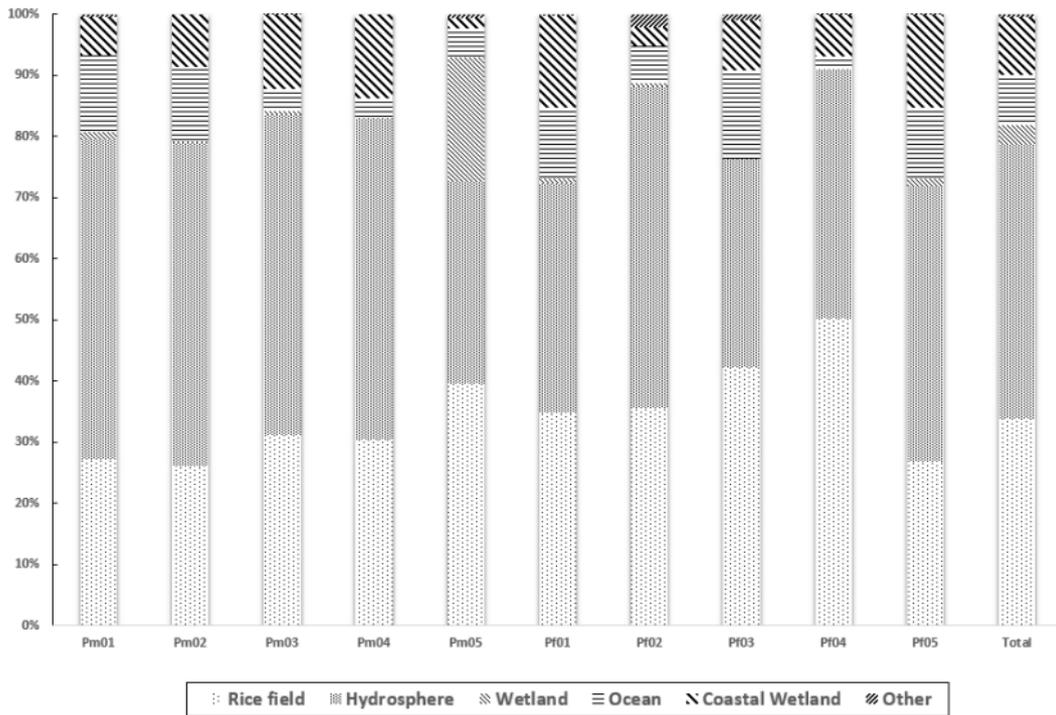


Figure 15. Habitat use of 10 pintails. other habitats include forests, artificial buildings, roads, and bare lands.

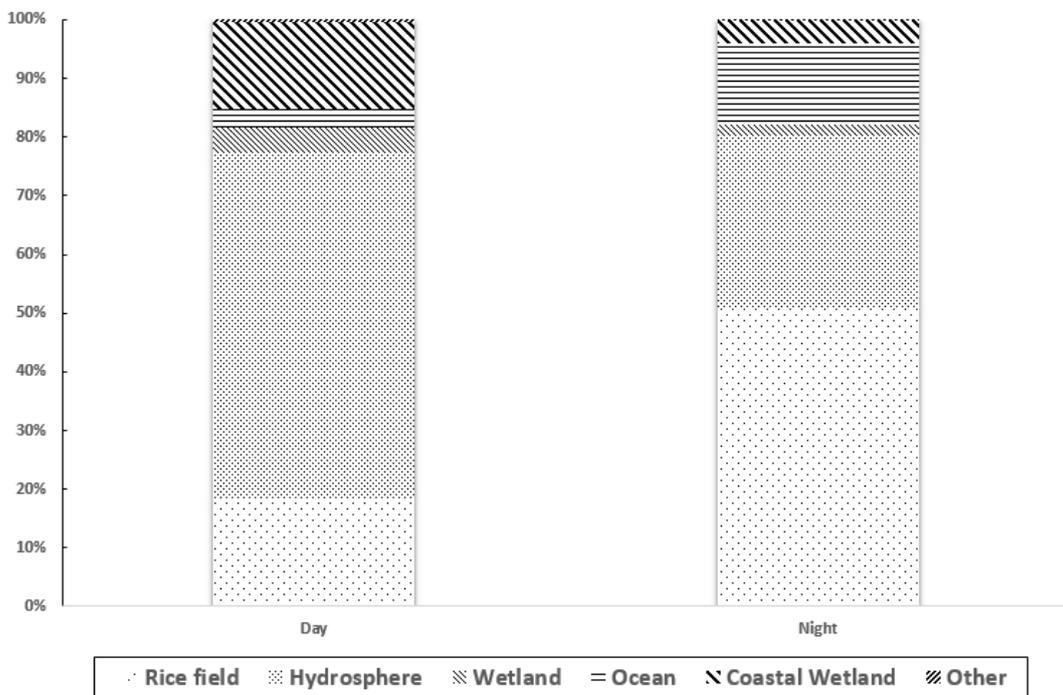


Figure 16. Comparing Used habitats in day and night time of Pintail.

(4) 종별 서식지 이용률

청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리 등 3종에 위치추적기를 부착하여 서식지 이용률을 분석한 결과, 3종 모두 내륙수의 이용률이 가장 높게 나타났으며, 평균 47.0%의 이용률을 보였다. 그 다음으로는 수금류의 주요 취식지인 논으로 나타났다 (Table 13, Figure 18). 청둥오리와 흰뺨검둥오리는 내륙습지 이용률이 5% 이상을 기록한데 비해 고방오리는 연안습지와 해양수의 이용률이 17.8% 이상 나타나 종간 서식지 차이가 있었다. 이를 통계적으로 검증하기 위해 One-way-Anova 분석을 실시하였으며, 등분산이 가정되지 않아 사후검정은 Welch와 Dunnett T3를 이용하였다. 그 결과 고방오리가 다른 두 종과 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($P < 0.001$, $F = 1085.709$, $df = 2$) (Table 13).

주·야간으로 나누어 분석한 결과, 청둥오리와 고방오리는 주간에 비해 야간 논 이용률이 높게 나타났다. 청둥오리는 16.4%, 고방오리는 32.4%의 증가율을 보여 주며 야간 서식지 이용률 중 논 이용률이 가장 높게 나타났다 (Table 14, 15, Figure 17, 18). (청둥오리 : $\chi^2 = 437.183$, $p < 0.001$; 고방오리 : $\chi^2 = 1,346.987$, $p < 0.001$). 그에 반해 흰뺨검둥오리는 야간에 비해 주간에 논 이용률이 더 높게 나타났으며, 야간 논 이용률이 주간보다 3.9% 떨어지는 것으로 나타나 주·야간 모두 내륙수의 이용률이 가장 높게 나타났다 (Table 16, Figure 19). 그러나 통계적으로는 주·야간 서식지 이용률에 차이를 보였다 ($\chi^2 = 76.488$, $p < 0.001$).

Table 13. Analysis of difference in habitat use of 3 species ducks (One-Way Anova)

Dependent Variable	Species	Average	SE	$f / p / d.f$	Post-Hoc test
Habitat	Mallard(a)	1.99	0.14	1058.643 / 0.000 / 2	c > a, b (Dunnett T3)
	Spot-bill duck(b)	1.96	0.24		
	Pintail(c)	2.90	0.15		

Table 14. Comparison of habitat use of ducks by species

Rank	Mallard	Spot-bill duck	Pintail	Aver.
1	Hydrosphere (49.7%)	Hydrosphere (48.6%)	Hydrosphere (44.9%)	Hydrosphere (47.0%)
2	Rice field (34.8%)	Rice field (37.6%)	Rice field (33.8%)	Rice field (34.7%)
3	Wetland (5.8%)	Wetland (7.3%)	Coastal Wetland (9.6%)	Ocean (5.8%)
4	Ocean (4.5%)	Others (6.5%)	Ocean (8.2%)	Coastal Wetland (5.5%)
5	Coastal Wetland (1.3%)	Ocean (<0.1%)	Wetland (3.2%)	Wetland (4.6%)
6	Others (3.4%)	-	Others (0.4%)	Others (2.4%)

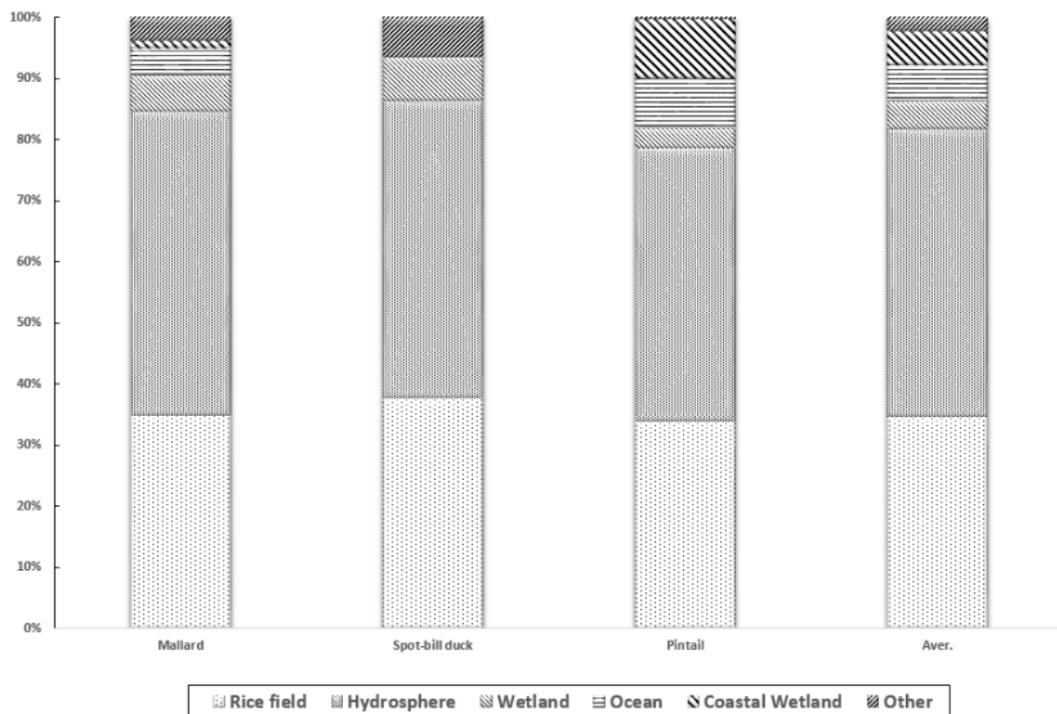


Figure 17. Comparison of habitat use by species during wintering season of Ducks.

Table 15. Comparison of daytime habitat use of ducks by species

Rank	Mallard	Spot-bill duck	Pintail	Aver.
1	Hydrosphere (62.2%)	Hydrosphere (50.8%)	Hydrosphere (58.8%)	Hydrosphere (58.9%)
2	Rice field (26.7%)	Rice field (39.7%)	Rice field (18.5%)	Rice field (23.9%)
3	Ocean (4.0%)	Wetland (7.5%)	Coastal Wetland (14.8%)	Coastal Wetland (8.4%)
4	Wetland (3.8%)	Others (2.0%)	Wetland (4.4%)	Wetland (4.6%)
5	Others (2.2%)	-	Ocean (3.0%)	Ocean (3.0%)
6	Coastal Wetland (2.2%)	-	Others (0.4%)	Others (1.2%)

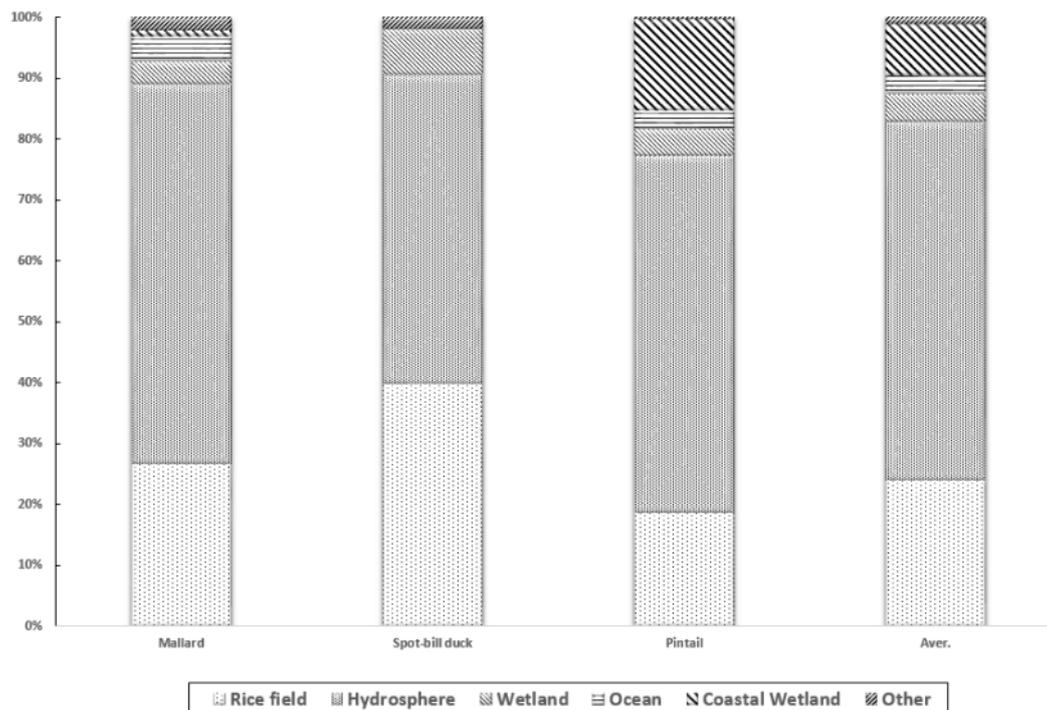


Figure 18. Comparison of habitat use by species during daytime of ducks.

Table 16. Comparison of nighttime habitat use of ducks by species

Rank	Mallard	Spot-bill duck	Pintail	Aver.
1	Rice field (43.1%)	Hydrosphere (46.7%)	Rice field (50.9%)	Rice field (46.0%)
2	Hydrosphere (36.9%)	Rice field (35.8%)	Hydrosphere (29.4%)	Hydrosphere (34.5%)
3	Wetland (7.9%)	Others (10.4%)	Ocean (13.9%)	Ocean (8.8%)
4	Others (5.6%)	Wetland (7.1%)	Coastal Wetland (3.8%)	Wetland (4.6%)
5	Ocean (5.0%)	Ocean (0.1%)	Wetland (1.8%)	Others (3.6%)
6	Coastal Wetland (1.6%)	-	Others (0.3%)	Coastal Wetland (2.5%)

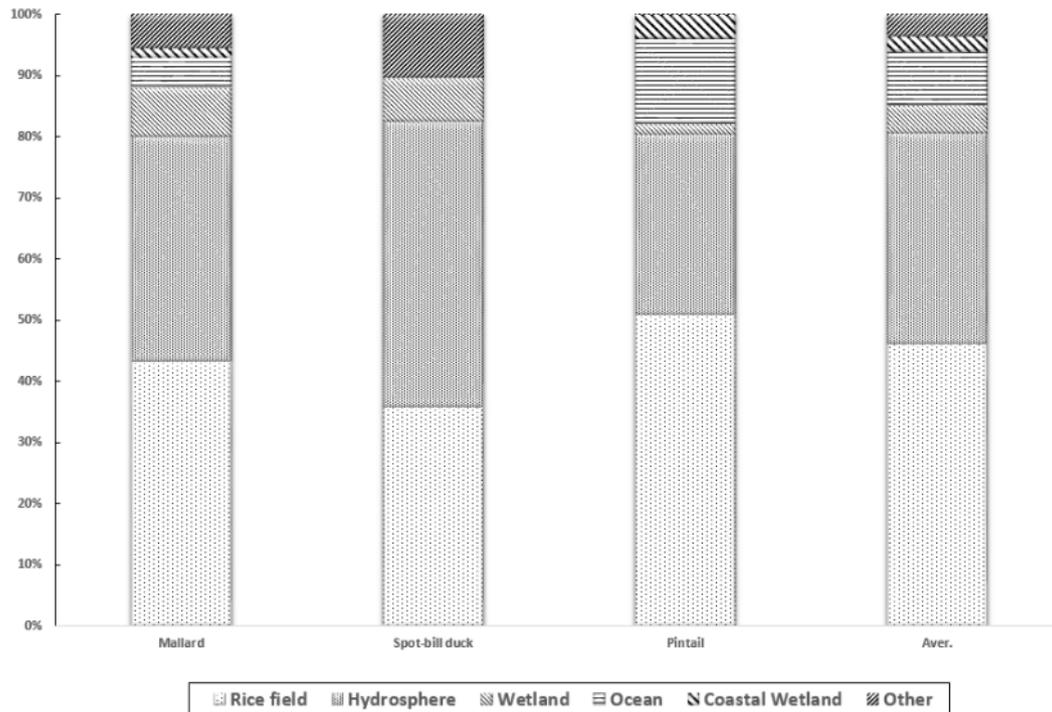


Figure 19. Comparison of habitat use by species during nighttime of ducks.

3) 수금류의 월동기 월별 이동거리 패턴

(1) 청둥오리

위치추적장치를 부착한 청둥오리의 월동기 월별이동거리 분석 결과, 11월 초순 평균 최대 이동거리는 4.0km(SD=2.7, n=71) 중순에 5.6km(SD=2.0, n=80), 하순에 6.0km(SD=2.8, n=75)이동하였다. 12월 초순에는 7.4km(SD=2.5, n=75), 중순에 4.7km(SD=1.4, n=95), 하순에 6.9km(SD=1.8, n=127)이동하였다. 1월 초순에는 4.0km(SD=1.6, n=109), 중순에 2.5km(SD=0.5, n=105), 하순에 3.1km(SD=1.1, n=102)이동하였다. 2월 초순에는 3.0km(SD=0.5, n=80), 중순에 4.3km(SD=1.6, n=62), 하순에 4.8km(SD=1.6, n=54)이동하였다. 수컷과 암컷을 구분하여 분석하면 11월 초부터 12월 말까지 수컷이 암컷보다 더 먼 거리를 이동하였으며, 1월 이후에는 비슷한 양상을 보였고 2월 하순에는 암컷의 이동거리가 더 멀리 나타났다(Figure. 21). 암·수간의 월별거리 t-test 검정결과 11월, 12월, 2월은 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($p < 0.001$, t-test), 1월은 유의한 차이가 나타나지 않았다($p = 0.847$, t-test). 전체적인 결과를 분석해보면 월동 초기인 11월 초순부터 최대 이동거리가 증가하다가 월동 중기인 1월 초순 이후 부터는 최대 이동거리가 감소한 후 월동 후기인 2월 중순에는 다시 증가하는 경향을 보였다(Figure 20, Table 17).

월동기 월별 이동패턴을 파악하기 위해 기록된 좌표들을 월별로 구분하여 위성지도에 표시한 결과 월동 초기인 11월에는 만경강 수계를 중심으로 최대 새만금, 동진강 하구 지역까지 이동하였다. 12월에도 새만금과 만경강, 동진강을 중심으로 이용하였으며, 40km 이상 떨어진 곰소만까지 이동하는 모습을 보였다. 이후 1월과 2월에는 안정적인 서식지역으로 이동을 마친 개체들이 큰 이동 없이 강과 하천, 인근 저수지를 중심으로 서식하는 모습을 보였다(Figure 22). 월별 MCP를 분석한 결과 총 이용면적은 11월 901.1km²로 나타났으며, 12월 947.1km², 1월 480.9km², 2월 369.1km²로 12월 이후 총 이용면적이 좁은 것으로 나타났다(Figure 22).

총 10개체 중 8개체가 부착지인 만경강을 중심으로 월동하였으며, 주 월동지로 이동한 개체들은 부여군으로 1개체 금산군으로 1개체가 이동하여 월동하는 것으로 나타났다. 이들은 모두 12월 말에 이동하였으며, 12월 말에 2개체, 1월 말에

1개체가 이동하였다. 하루 최대 장거리 이동개체는 금산군으로 이동한 Mf10개체로 하루 최대 이동거리가 54.5km로 나타났다.

Table 17. The moving average max distance(km) monthly of mallard

	Nov.			Dec.			Jan.			Feb.		
	1st	2nd	3rd									
Aver. max distance (km)	4.0	5.6	6.0	7.4	4.7	6.9	4.0	2.5	3.1	3.0	4.3	4.8
SD	2.7	2.0	2.8	2.5	1.4	1.8	1.6	0.5	1.1	0.5	1.6	1.6
GPS fix	71	80	75	75	95	127	109	105	102	80	62	66

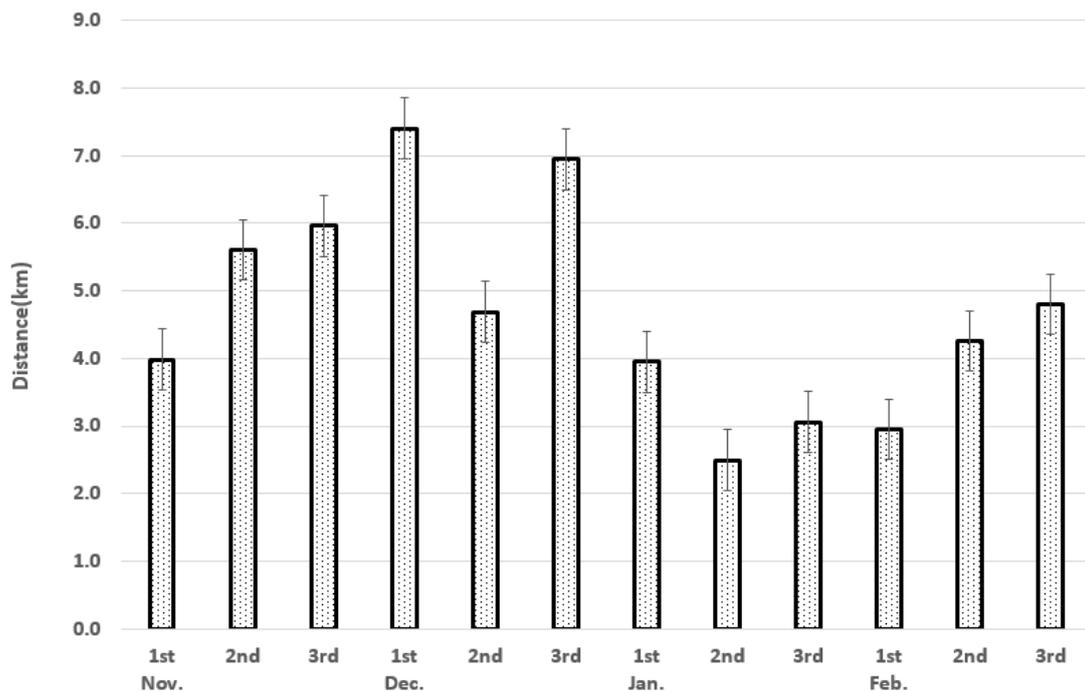


Figure 20. The moving Average max distance(km) monthly of mallards.

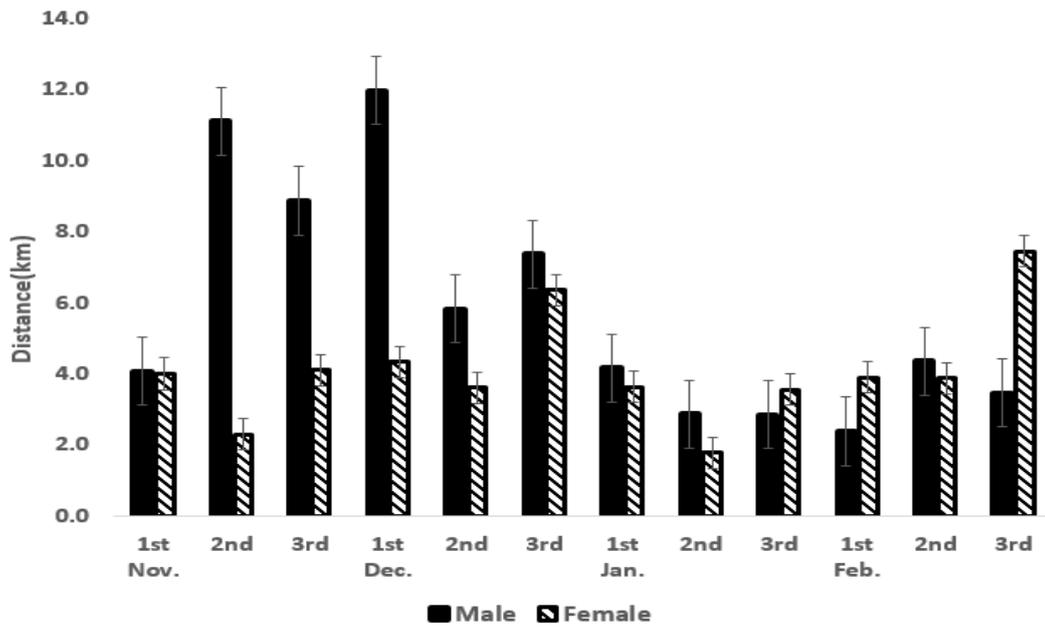


Figure 21. Monthly moving pattern of male and female of the mallards.

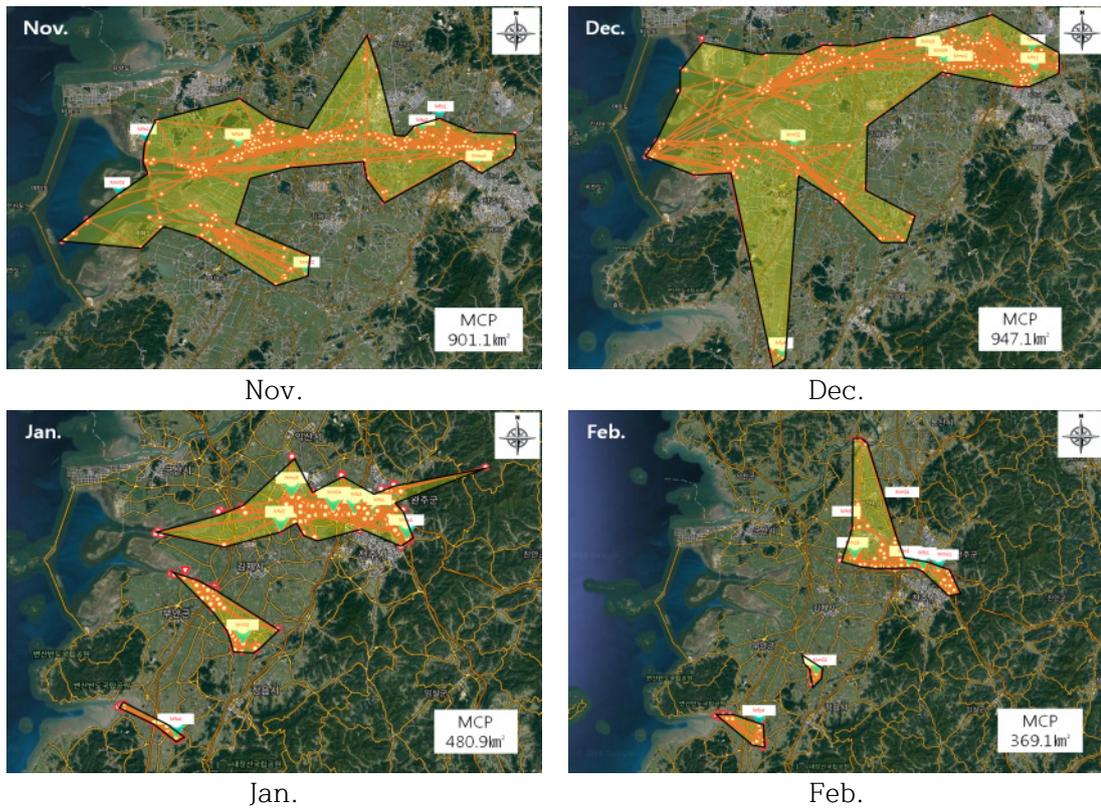


Figure 22. The moving distance(km) monthly of mallards by google map(MCP- Nov: 901.1km², Dec: 947.1km², Jan: 480.9km², Feb: 369.1).

(2) 흰뺨검둥오리

위치추적장치를 부착한 흰뺨검둥오리의 월동기 월별이동거리 분석 결과, 12월 초순 평균 최대 이동거리는 2.0km(SD=1.4, n=40) 중순에 2.8km(SD=1.1, n=45), 하순에 5.5km(SD=3.7, n=55)이동하였다. 1월 초순에는 3.4km(SD=1.3, n=42), 중순에 3.4km(SD=0.9, n=40), 하순에 1.4km(SD=0.8, n=44)이동하였다. 2월 초순에는 1.1km(SD=0.7, n=28), 중순에 2.4km(SD=1.2, n=21), 하순에 2.0km(SD=1.5, n=15) 이동하였다. 전체적인 결과를 분석해보면 월동 중기에 접어드는 12월 초순부터 12월 하순까지 최대 이동거리가 증가하다가 1월 초순 이후부터는 최대 이동거리가 감소한 후 월동 후기인 2월 중순에는 다시 증가하는 경향을 보였다(Figure 23, Table 18).

월동기 월별 이동패턴을 파악하기 위해 기록된 좌표들을 월별로 구분하여 위성지도에 표시한 결과 포획시기 인 12월부터 익년 2월까지 만경강 수계 내에서만 이동하는 모습을 보였다(Fig. 4). 월별 MCP를 분석한 결과 총 이용면적은 12월 68.1km²로 나타났으며, 1월 88.2km², 2월 8.4km²로 1월 이용면적이 가장 많은 것으로 나타났다(Figure 24).

위치추적기를 부착한 흰뺨검둥오리 4개체 모두 만경강을 중심으로 월동하였으며, 하루 최대 이동개체는 S03개체로 하루 최대 이동거리가 20.2km로 나타났다.

Table 18. The moving average max distance(km) monthly of spot-bill ducks

	Dec.			Jan.			Feb.		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Aver. max distance (km)	2.0	2.8	5.5	3.4	3.4	1.4	1.1	2.4	2.0
SD	1.4	1.1	3.7	1.3	0.9	0.8	0.7	1.2	1.5
GPS fix	40	45	55	42	40	44	28	21	15

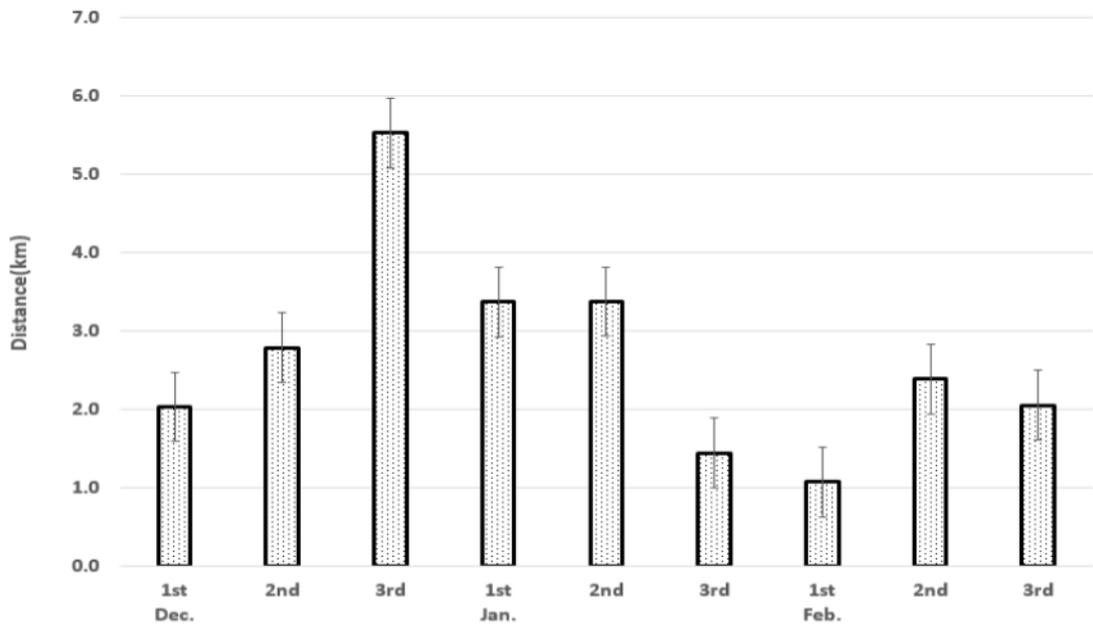


Figure 23. The moving average max distance(km) monthly of spot-bill ducks.

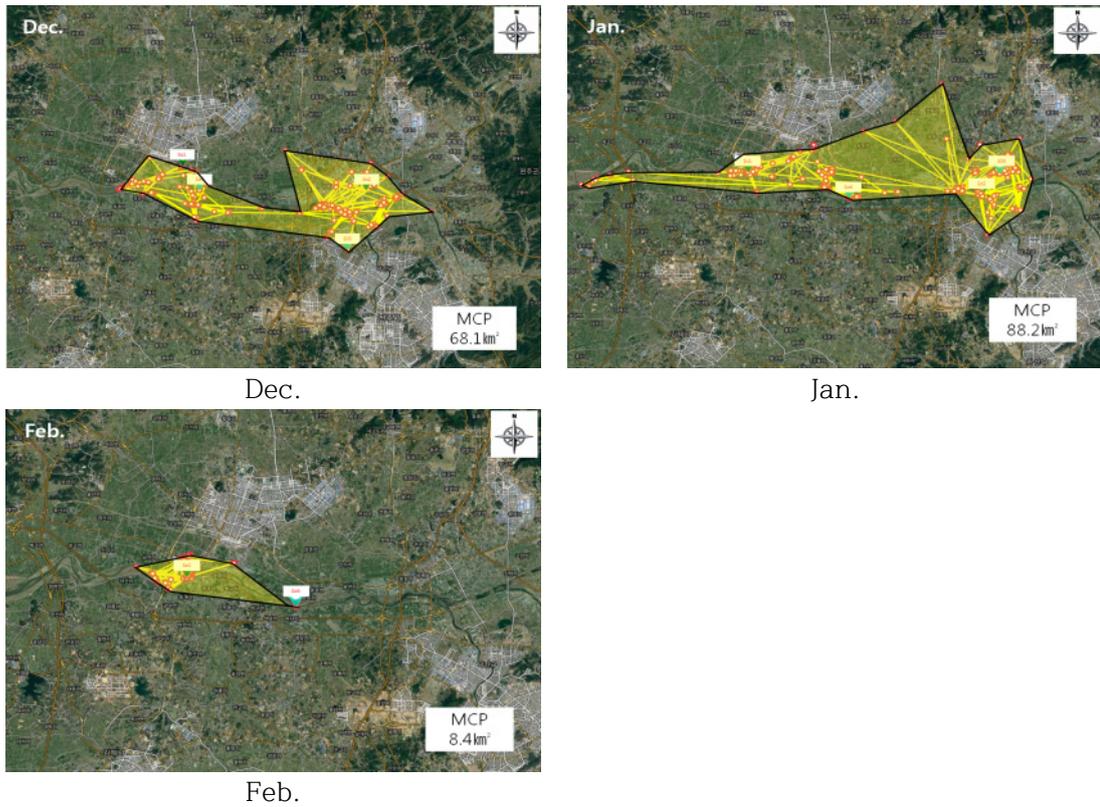


Figure 24. The moving distance(km) monthly of spot-bill ducks by google map(MCP- Dec: 68.1km², Jan: 88.2km², Feb: 8.4).

(3) 고방오리

위치추적장치를 부착한 고방오리의 월동기 월별이동거리 분석 결과, 11월 초순 평균 최대 이동거리는 6.6km(SD=2.8, n=36) 중순에 8.6km(SD=2.9, n=64), 하순에 8.8km(SD=2.7, n=100)이동하였다. 12월 초순에는 12.0km(SD=3.0, n=100), 중순에 10.1km(SD=1.3, n=100), 하순에 8.9km(SD=2.4, n=110)이동하였다. 1월 초순에는 5.0km(SD=1.4, n=97), 중순에 5.3km(SD=1.1, n=81), 하순에 1.5km(SD=0.5, n=83)이동하였다. 2월 초순에는 2.2km(SD=0.7, n=44), 중순에 8.1km(SD=3.6, n=24), 하순에 9.4km(SD=6.0, n=1) 이동하였다. 수컷과 암컷을 구분하여 분석하면 11월 초순부터 중순까지 암컷이 수컷보다 더 먼 거리를 이동하였으며, 11월 중순부터 12월 중순까지는 수컷이 더 먼 거리를 이동하였다. 이후에는 비슷한 양상을 보이다가 2월 중순에는 수컷의 이동거리가 더 멀리 나타났다(Figure 26). 암·수간의 월별거리 t-test 검정 결과 11월, 12월, 1월은 통계적으로 유의한 차이가 없었으며(11월 : $p=0.103$, 12월 : $p=0.594$, 1월 $p=0.144$, t-test), 2월은 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$, t-test). 전체적인 결과를 분석해보면 월동 초기인 11월 초순부터 최대 이동거리가 증가하다가 월동 중기인 12월 초순 이후부터는 최대 이동거리가 점차 감소한 후 월동 후기인 2월 중순에는 다시 증가하는 경향을 보였다(Figure 25, Table 19).

월동기 월별 이동패턴을 파악하기 위해 기록된 좌표들을 월별로 구분하여 위성지도에 표시한 결과, 월동 초기인 11월에는 만경강, 동진강 수계를 중심으로 최대 새만금까지 이동하였다. 12월에도 새만금과 만경강, 동진강을 중심으로 이용하였으며, 44km 떨어진 금강까지 이동하는 모습을 보였다. 1월과 2월에는 일부 개체가 47km 떨어진 동림저수지를 이용하였으나 대부분 큰 이동 없이 강과 하천, 인근 저수지를 중심으로 서식하는 모습을 보였다(Figure 27). 월별 MCP를 분석한 결과 총 이용면적은 11월 855.7km²로 나타났으며, 12월 942.6km², 1월 503.8km², 2월 644.5km²로 12월 이후 총 이용면적이 좁은 것으로 나타났다(Figure 27).

총 10개체 중 8개체가 부착지인 만경강과 동진강을 중심으로 월동하였으며, 주 월동지로 이동한 개체들은 영암군으로 1개체가 12월 하순에 이동하여 월동 서식하였으며, 서천군으로 1개체는 12월 초순에 잠시 머무르다가 다시 부착지 인근으로 회귀하였다. 하루 최대 장거리 이동개체는 영암군으로 이동한 Pf02개체로 하루 최대 이동거리가 112.3km로 나타났다.

Table 19. The moving average max distance(km) monthly of pintails

	Nov.			Dec.			Jan.			Feb.		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Aver. max distance (km)	6.6	8.6	8.8	12.0	10.1	8.9	5.0	5.3	1.5	2.2	8.1	9.4
SD	2.8	2.9	2.7	3.0	1.3	2.4	1.4	1.1	0.5	0.7	3.6	6.0
GPS fix	36	64	100	100	100	110	97	81	83	44	24	1

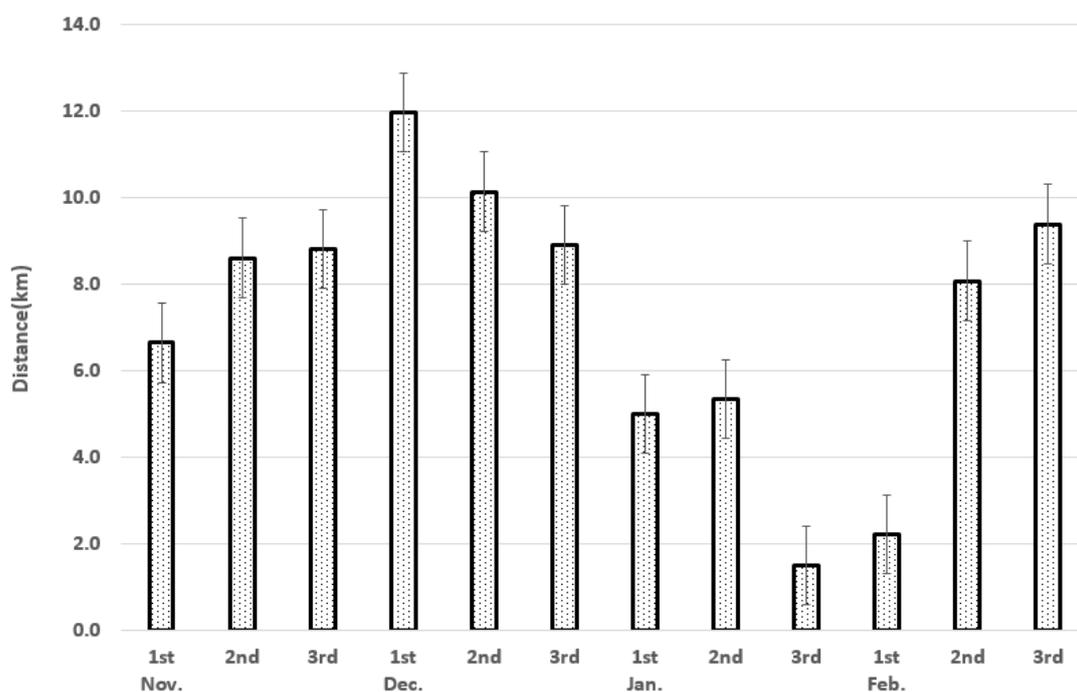


Figure 25. The moving average max distance(km) monthly of pintails.

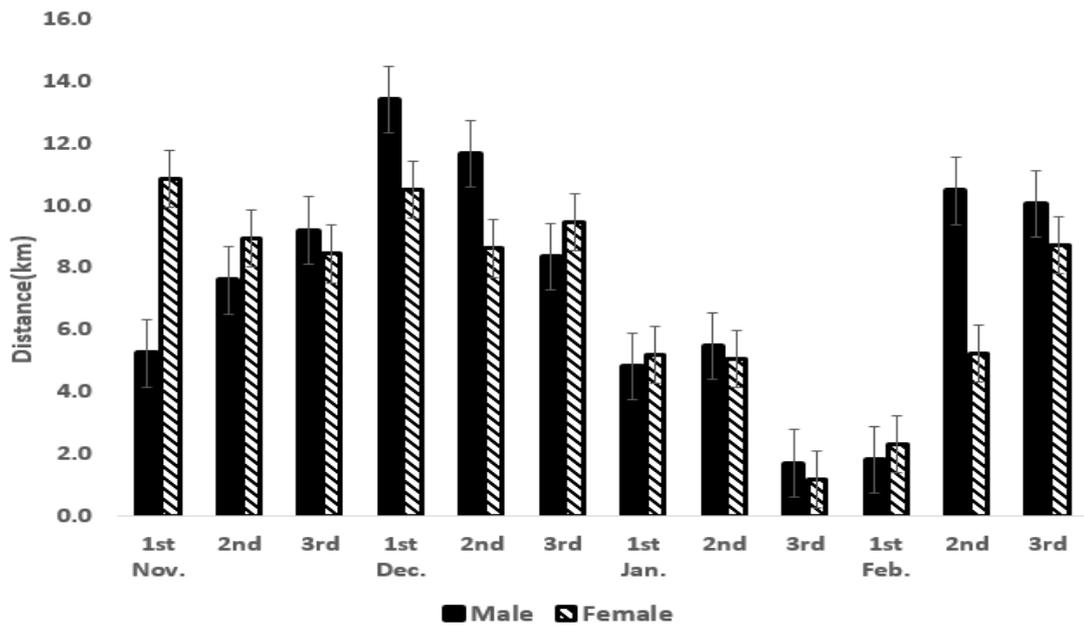


Figure 26. Monthly moving pattern of male and female of the pintails.

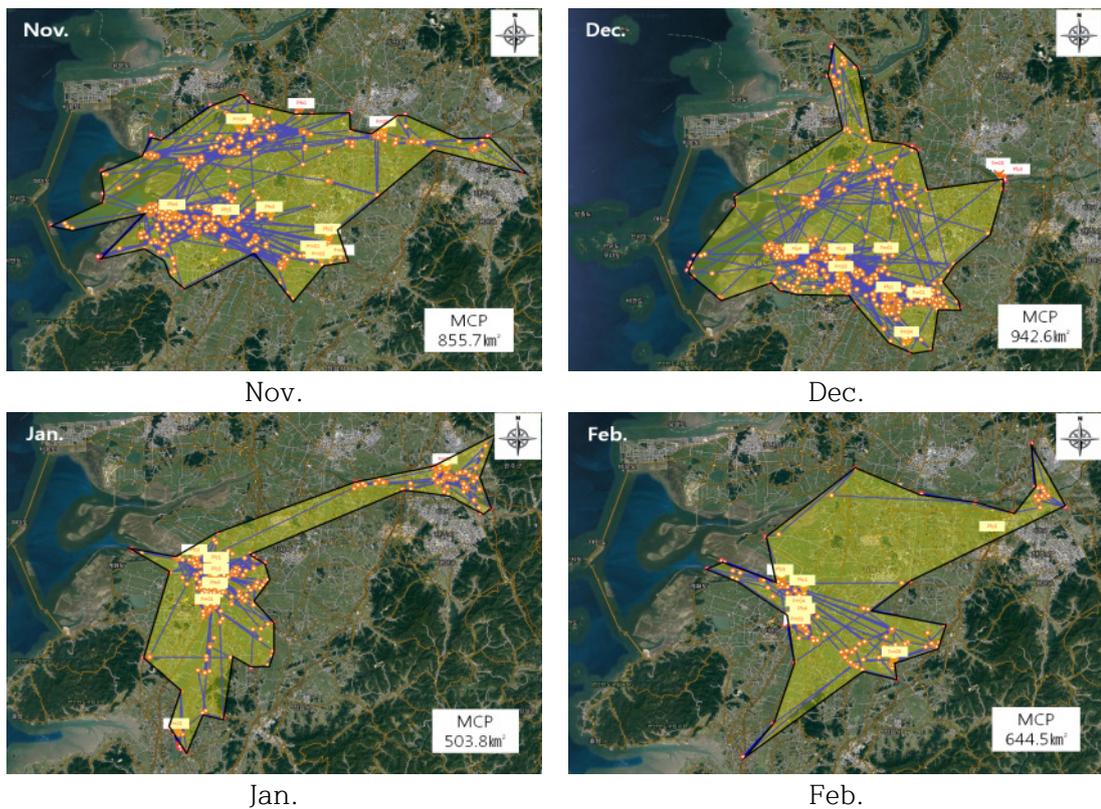


Figure 27. The moving distance(km) monthly of pintails by google map(MCP- Nov: 855.7km², Dec: 942.6km², Jan: 503.8km², Feb: 644.5).

(4) 종별 월별 이동패턴 비교

청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리의 월별 이동패턴을 분석한 결과 청둥오리와 고방오리는 12월 초순까지 최대 이동거리가 증가하는 경향을 보였으며, 1월 하순에서 2월 초순까지는 감소하는 것으로 나타났다. 흰뺨검둥오리는 12월 하순까지 최대 이동거리가 증가하였으며, 1월 초순 이후에는 지속적으로 감소하였다. 3종 모두 2월 초순 이후에는 다시 증가하는 경향을 보였다(Figure 28, Table 21). One-way-ANOVA 분석 결과, 고방오리가 다른 두 종과 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($P < 0.009$, $F = 5.484$, $df = 2$)(Table 21).

MCP를 이용한 월별 최대 이용면적을 비교한 결과, 청둥오리와 고방오리는 12월, 흰뺨검둥오리는 1월에 월동지를 가장 넓게 이용하는 것으로 나타났다. 청둥오리와 고방오리의 월별 행동권은 1월까지 유사하였다. 1월 이후 청둥오리는 행동권이 좁아졌고 고방오리는 행동권이 넓어지는 차이를 보였다. 흰뺨검둥오리는 1월 이후 행동권이 좁아지는 경향을 보였다. 전체적인 월동행동권을 비교하였을 때 청둥오리와 고방오리에 비해 흰뺨검둥오리의 이용면적은 매우 좁은 것으로 나타났다(Figure 29). 청둥오리와 고방오리는 월동기간동안 부착지인 만경강을 비롯하여 하구지역인 새만금과 동진강, 곰소만, 금강하구 등지를 이용하였지만 흰뺨검둥오리는 만경강 수계 내에서만 월동하는 경향이 있는 것으로 나타났다.

Table 20. The moving average max distance(km) monthly of ducks

	Nov.			Dec.			Jan.			Feb.		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Mallard	4.0	5.6	6.0	7.4	4.7	6.9	4.0	2.5	3.1	3.0	4.3	4.8
Spot-bill duck				2.0	2.8	5.5	3.4	3.4	1.4	1.1	2.4	2.0
Pintail	6.6	8.6	8.8	12.0	10.1	8.9	5.0	5.3	1.5	2.2	8.1	9.4

Table 21. Analysis of monthly moving average max distance of 3 species ducks (One-Way Anova)

Dependent Variable	Species	Average	SE	<i>f</i> / <i>p</i> / d.f	Post-Hoc test
Monthly distance	Mallard(a)	4.69	0.44	5.484 / 0.009 / 2	c > a, b (Scheffe)
	Spot-bill duck(b)	2.67	0.44		
	Pintail(c)	7.21	0.91		

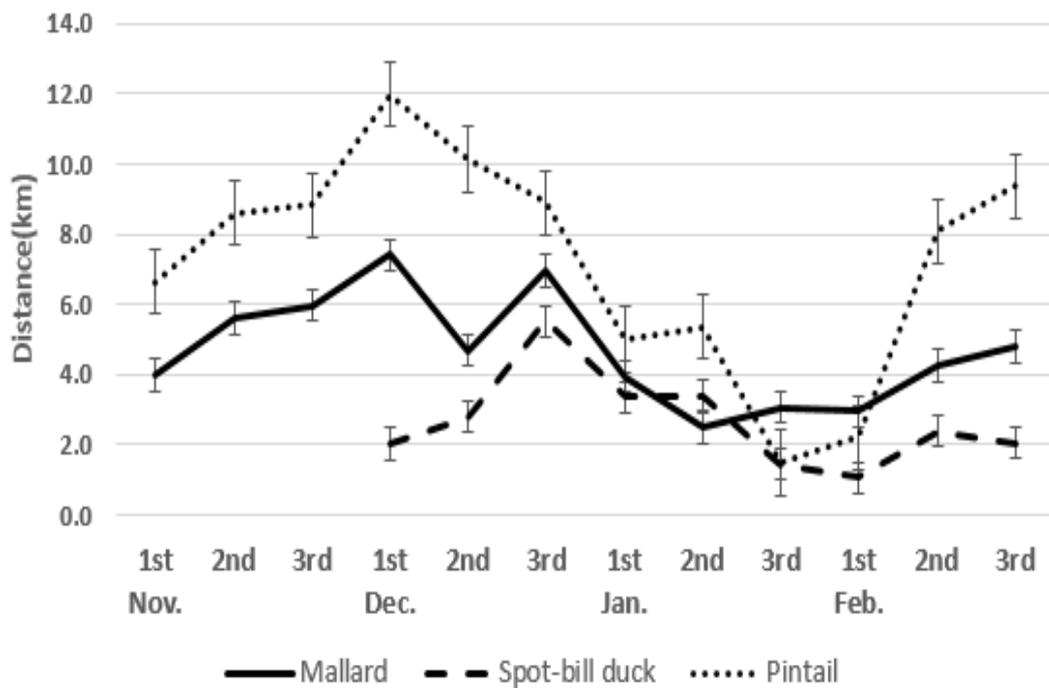


Figure 28. The moving average max distance(km) monthly of ducks in wintering season.

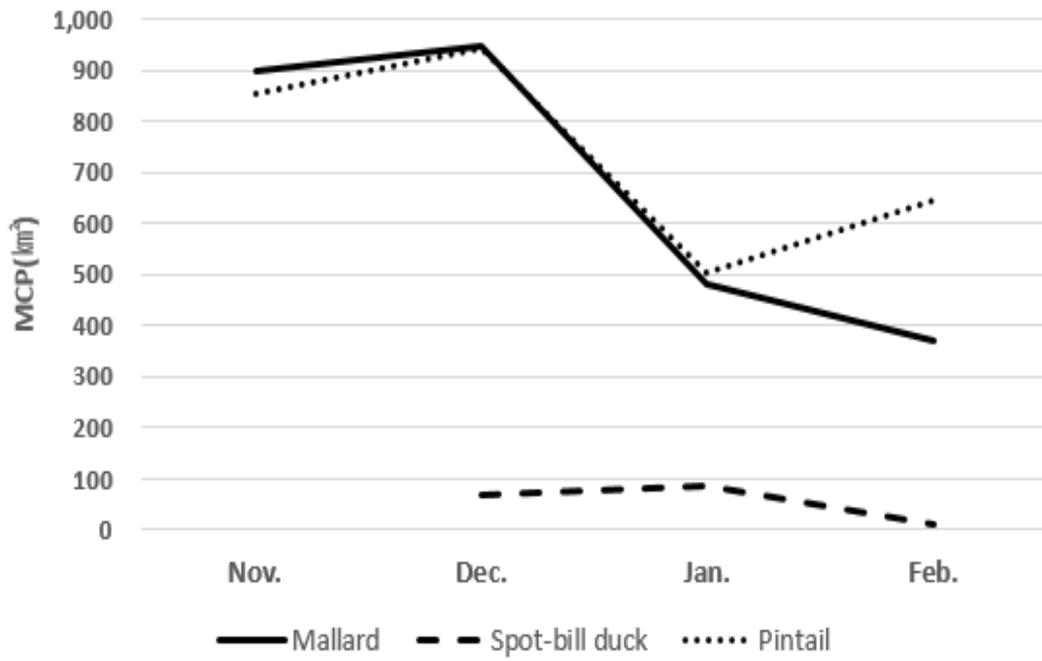


Figure 29. The MCP(km²) monthly of 3 species duck in wintering season.

4) 수금류의 월동기 시간대별 이동거리

(1) 청둥오리

위치추적장치를 부착한 청둥오리 10개체의 월동기 인 11월부터 다음해 3월까지 1일 12회 획득된 GPS 좌표 간 시간대 별 이동거리를 분석하였다. 분석 결과 평균 이동거리는 0:00-2:00에 0.5km(SD=0.2, n=947)이동하였으며, 2:00-4:00에 0.4km(SD=0.2, n=943), 4:00-6:00에 0.7km(SD=0.3, n=938), 6:00-8:00에 1.9km(SD=0.7, n=922), 08:00-10:00에 0.7km(SD=0.3, n=922), 10:00-12:00에 0.8km(SD=0.3, n=943) 이동하였다. 12:00-14:30에 0.4km(SD=0.2, n=972) 이동하였으며, 14:00-16:00에 0.4km(SD=0.2, n=975), 16:00-18:00에 2.9km(SD=1.4, n=984), 18:00-20:00에 1.1km(SD=0.7, n=976), 20:00-22:00에 1.0km(SD=1.1, n=968), 22:00-0:00에 0.6km(SD=0.6, n=947) 이동하였다. 16:00-18:00 구간에 가장 멀리 이동하였으며, 그 다음으로 6:00-8:00 구간이었다(Figure 30, Table 22). 주·야간으로 나누어 분석하기 위해 8:00-18:00 구간을 주간으로, 20:00-06:00구간을 야간으로 구분하여 분석하였다. 그 결과 주간 평균 이동거리는 1.2km, 야간 평균 이동거리는 0.7km로 야간보다 주간에 더 멀리 움직이는 것으로 나타났다. 특히 야간 시간 중 새벽시간인 0:00-6:00 구간의 평균 이동거리는 0.5km로 새벽시간에는 다른 시간대별 대비 가까운 거리를 이동하는 것으로 나타났다. 수컷과 암컷을 구분하면 시간대 별 평균 이동거리는 일부 시간대에서 수컷이 암컷보다 멀리 이동하는 것으로 보였으나 통계적으로는 유의하지 않아 전체적인 이동경향은 유사한 것으로 나타났다 ($p=0.631$, t-test, Figure 31).

Table 22. The Moving distance(km) of total mallards by the timeline

	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Male	0.4	0.5	0.4	0.9	2.1	0.8	0.6	0.3	0.5	3.3	1.4	0.7
Female	0.8	0.4	0.4	0.5	1.8	0.6	0.9	0.5	0.4	2.5	0.8	1.3
Total	0.6	0.5	0.4	0.7	1.9	0.7	0.8	0.4	0.4	2.9	1.1	1.0
SD	0.2	0.1	0.1	0.3	0.5	0.1	0.2	0.1	0.1	1.1	0.2	0.3

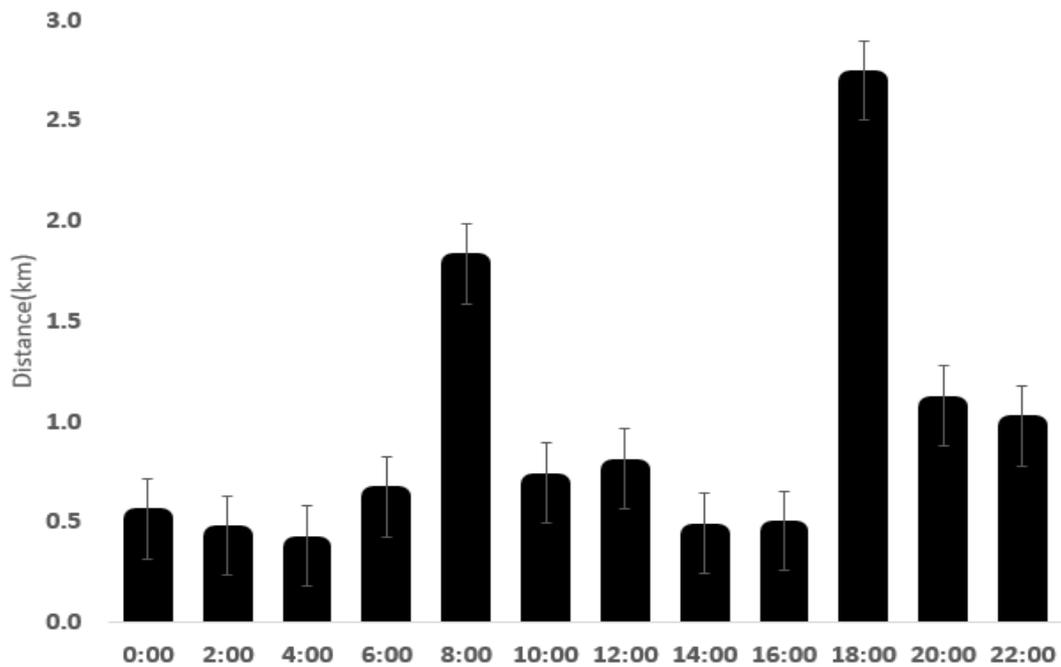


Figure 30. The moving distance(km) of 10 mallards by timeline.

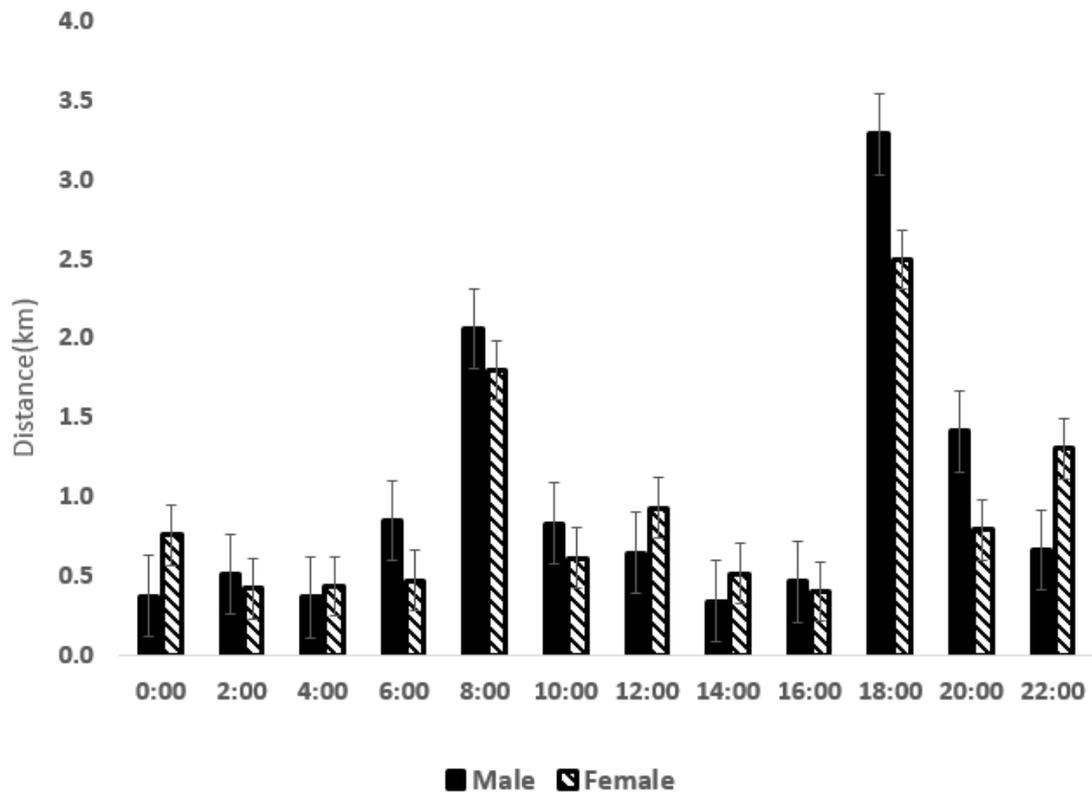


Figure 31. Moving distance status by time of female and male mallards.

(2) 흰뺨검둥오리

위치추적장치를 부착한 흰뺨검둥오리 4개체의 월동기인 11월부터 다음해 3월까지 1일 12회 획득된 GPS 좌표 간 시간대 별 이동거리를 분석한 결과, 평균 이동거리는 0:00-2:00에 0.4km(SD=0.2, n=222)이동하였으며, 2:00-4:00에 0.2km(SD=0.1, n=220), 4:00-6:00에 0.4km(SD=0.3, n=219), 6:00-8:00에 0.9km(SD=0.5, n=216), 08:00-10:00에 0.2km(SD=0.1, n=216), 10:00-12:00에 0.4km(SD=0.2, n=229) 이동하였다. 12:00-14:30에 0.3km(SD=0.1, n=231) 이동하였으며, 14:00-16:00에 0.3km(SD=0.12, n=232), 16:00-18:00에 1.8km(SD=1.1, n=229), 18:00-20:00에 0.6km(SD=0.2, n=228), 20:00-22:00에 0.4km(SD=0.3, n=230), 22:00-0:00에 0.4km(SD=0.2, n=227) 이동하였다. 16:00-18:00 구간에 가장 멀리 이동하였으며, 그 다음으로 6:00-8:00 구간이었다 (Figure 32, Table 23). 주·야간으로 나누어 분석하기 위해 8:00-18:00 구간을 주간으로, 20:00-06:00구간을 야간으로 구분하여 분석한 결과, 주간 평균 이동거리는 0.6km, 야간 평균 이동거리는 0.4km로 야간보다 주간에 멀리 움직이는 것으로

나타났다. 특히 야간 시간 중 새벽시간인 0:00-6:00 구간의 평균 이동거리는 0.3km로 새벽시간에는 매우 가까운 거리를 이동하는 것으로 나타났다.

Table 23. The Moving distance(km) of total Spot-bill ducks by the timeline

	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Male	0.4	0.5	0.4	0.9	2.1	0.8	0.6	0.3	0.5	3.3	1.4	0.7
Female	0.8	0.4	0.4	0.5	1.8	0.6	0.9	0.5	0.4	2.5	0.8	1.3
Total	0.6	0.5	0.4	0.7	1.9	0.7	0.8	0.4	0.4	2.9	1.1	1.0
SD	0.2	0.1	0.1	0.3	0.5	0.1	0.2	0.1	0.1	1.1	0.2	0.3

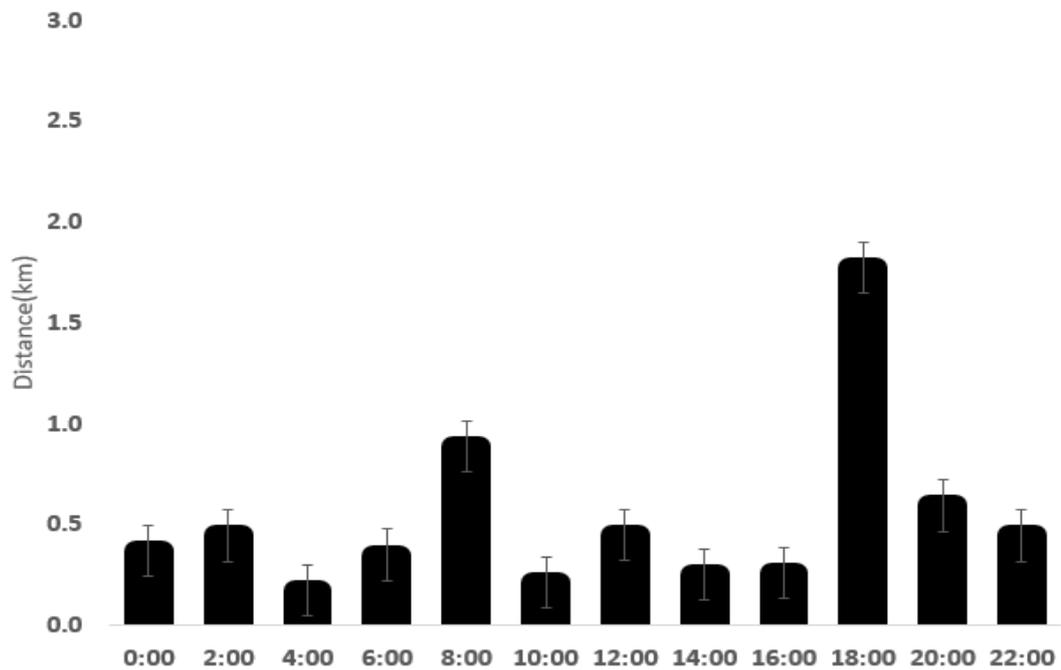


Figure 32. The moving distance(km) of 4 Spot-bill ducks by timeline.

(3) 고방오리

위치추적장치를 부착한 청둥오리 10개체의 월동기 인 11월부터 다음해 3월까지 1일 12회 획득된 GPS 좌표 간 시간대 별 이동거리를 분석한 결과, 평균 이동거리는 0:00-2:00에 0.7km(SD=0.3 n=822)이동하였으며, 2:00-4:00에 0.6km(SD=0.3, n=814), 4:00-6:00에 1.1km(SD=0.5, n=805), 6:00-8:00에 3.3km(SD=0.8, n=800), 08:00-10:00에 1.6km(SD=0.6, n=799), 10:00-12:00에 1.4km(SD=1.2, n=845) 이동하였다. 12:00-14:30에 0.8km(SD=0.4, n=852) 이동하였으며, 14:00-16:00에 0.7km(SD=0.4, n=855), 16:00-18:00에 4.6km(SD=0.9, n=861), 18:00-20:00에 1.4km(SD=0.7, n=855), 20:00-22:00에 0.9km(SD=0.3, n=840), 22:00-0:00에 0.9km(SD=0.2, n=826) 이동하였다. 16:00-18:00 구간에 가장 멀리 이동하였으며, 그 다음으로 6:00-8:00 구간이었다 (Figure 33, Table 24). 주·야간으로 나누어 분석하기 위해 8:00-18:00 구간을 주간으로, 20:00-06:00구간을 야간으로 구분하여 분석하였다. 그 결과 주간 평균 이동거리는 2.1km, 야간 평균 이동거리는 1.0km로 야간보다 주간에 약 2배 정도 더 멀리 이동하는 것으로 나타났다. 수컷과 암컷을 구분하면 시간대 별 평균 이동거리는 전체적으로 유사한 이동경향이 있었다($p=0.546$, t-test, Figure 34).

Table 24. The Moving distance(km) of total Pintails by the timeline

	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Male	0.9	0.7	0.8	1.1	3.3	1.5	1.0	0.7	0.7	4.8	1.4	0.7
Female	0.8	0.7	0.4	1.0	3.2	1.7	1.7	0.9	0.8	4.4	1.4	1.0
Total	0.9	0.7	0.6	1.1	3.3	1.6	1.4	0.8	0.7	4.6	1.4	0.9
SD	0.2	0.3	0.3	0.5	0.8	0.6	1.2	0.4	0.4	0.9	0.7	0.3

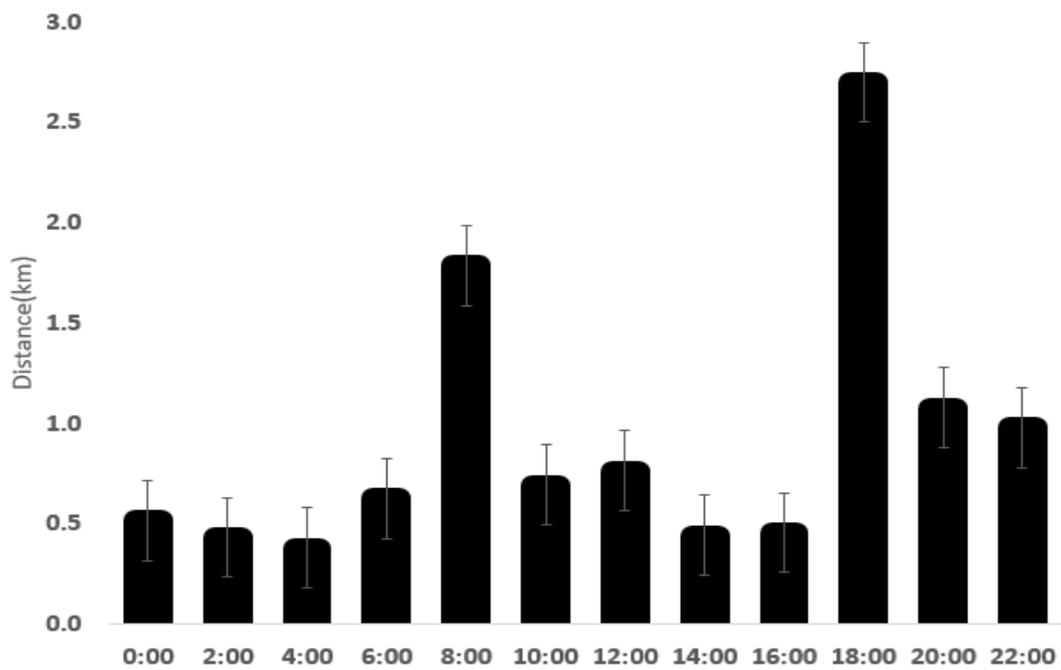


Figure 33. The moving distance(km) of 10 pintails by timeline.

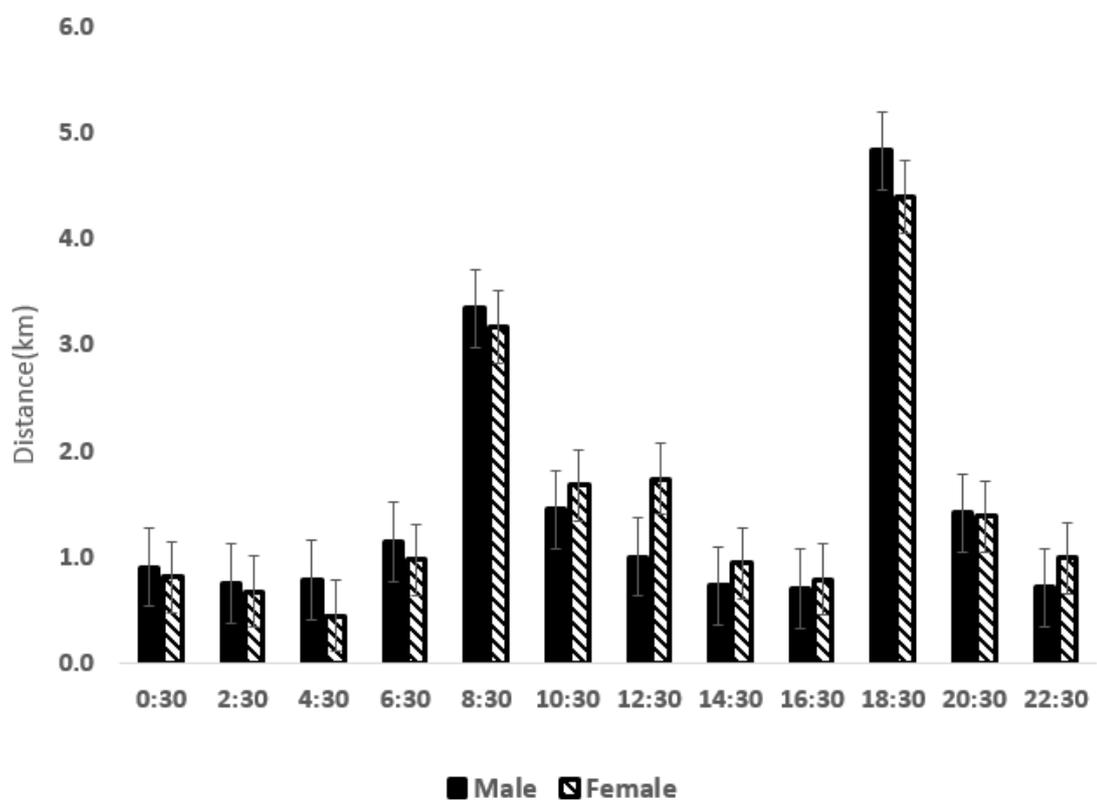


Figure 34. Moving distance status by time of female and male pintails.

(4) 종별 월동기 시간대별 이동거리 비교

청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리의 일일 시간대별 이동거리 분석한 결과, 통계적으로 시간대 별로 유의하였다($n = 24,277$, $\chi^2 = 3,036.365$, $p < 0.001$). 모든 종이 16:00-18:00구간이 가장 이동거리가 길게 나타났으며, 그 다음으로 6:00-8:00 구간이 길게 나타났다. 3종 간의 시간대별 이동거리를 그래프로 표현하였을 때 이동양상은 패턴이 유사하게 나타났다(Figure 35). 또한 3종 간의 이동거리는 통계적으로 유의하였으며, 고방오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리 순으로 시간대별 이동거리가 많은 것으로 나타났다($n = 24,277$, $\chi^2 = 70.422$, $p < 0.001$). 주·야간으로 나누어 분석하면 주간이 야간보다 이동거리가 길게 나타났으며, 새벽시간(0:00-06:00)에는 짧은 거리를 움직이는 경향을 보였다. 청둥오리와 고방오리를 암·수를 구분하여 분석했을 때는 두 종 모두 유의한 차이는 없었으며, 이동경향은 유사한 것으로 나타났다($p < 0.05$, t-test).

Table 25. The moving distance(km) of total ducks by timeline

	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Mallard	0.6	0.5	0.4	0.7	1.9	0.7	0.8	0.4	0.4	2.9	1.1	1.0
Spot-bill duck	0.4	0.4	0.2	0.4	0.9	0.2	0.4	0.3	0.3	1.8	0.6	0.4
Pintail	0.9	0.7	0.6	1.1	3.3	1.6	1.4	0.8	0.7	4.6	1.4	0.9

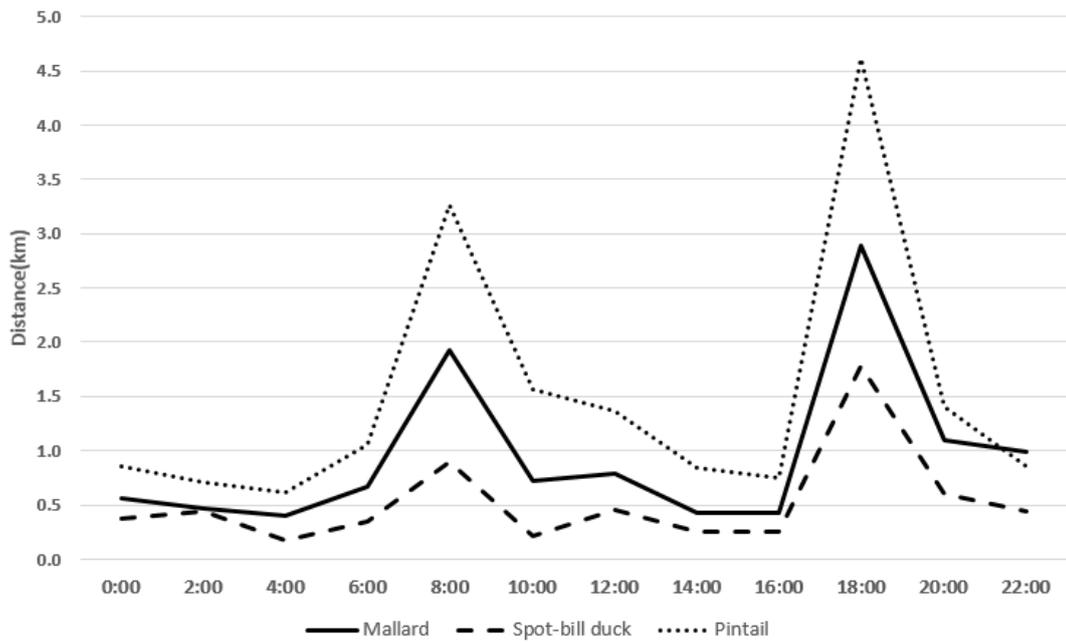


Figure 35. The moving Average max distance(km) timeline of ducks.

4. 고찰

수금류는 우리나라를 찾아오는 대표적인 월동조류로 한반도 전역의 하구 및 갯벌, 소하천, 농경지, 호소 등에서 흔하게 월동하며, 일부 개체들은 번식도 한다(김 등, 1997). 월동조류의 월동기간 동안의 행동은 성공적인 번식을 위한 생존전략에 있어 매우 중요하다(Heitmeyer and Fredrickson, 1981; Nichols and Hines, 1987; Raveling and Heitmeyer, 1989). 특히 수금류의 보호 및 관리방안 제시를 위해 월동기 서식지 이용이나 시간에 따른 행동 변화와 같은 월동생태 연구들은 매우 중요하다고 볼 수 있다(Jorde *et al.*, 1983; Quilan, 1984).

만경강을 비롯한 새만금 일대에서 월동한 수금류의 월동기 전체 행동권은 평균 618.3km²였으며, 핵심서식지인 KDE 50%는 63.6km²인 것으로 나타났다. 새만금의 총 면적이 간척토지 209km², 호소 118km²로 총 409km²(새만금개발청, 2011)임을 감안하면 전체적으로 새만금 지역을 비롯하여 만경강, 동진강을 전체적으로 이용하는 것으로 판단된다. 실제로 행동권을 위성지도 상으로 확인하였을 때 수금류들은 최초 부착지 수계를 크게 벗어나지 않는 모습을 보였다. 만경강과 새만금 유역 일대에서 수금류 행동권을 연구한 자료와 비교해보면, 강 등(2014)은 청둥오리의 핵심서식지는 11.6km², 신 등(2016a)은 42.24km²로 본 연구결과 71.9km²보다 좁았다. 흰뺨검둥오리는 신 등 29.26km²로 본 연구결과인 4.5km²보다 더 넓게 보고된 바 있다. 그러나 총 이용면적인 MCP를 기준으로 비교하면, 청둥오리는 평균 568.02km², 흰뺨검둥오리는 397.13km²로 대부분 월동기동안 새만금 일대를 중심으로 이용하는 것은 동일하게 나타났다. 따라서 이들의 주 월동지인 새만금의 면적을 고려하여 판단하면, 핵심서식지는 다소 개체간, 종간 차이는 있으나 새만금 일대를 이용하는 행동권은 유사하다고 할 수 있다.

이들 3종의 월별 행동권을 비교해보면 청둥오리와 흰뺨검둥오리 시간이 지날수록 행동권이 좁아지는 경향을 보였는데, 이러한 현상을 기온에 따른 에너지 소비의 최소화과 복상을 준비하기 위한 에너지 비축으로 인한 것으로 보고한 바 있다(김 등, 1997). 고방오리의 경우 오히려 2월에 행동권이 넓어졌는데 2월까지 추적

된 개체 중 Pf03개체가 일시적으로 이동하여 회귀한 결과로 인한 것으로 이 개체를 제외하여 분석하면 다른 두 종과 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있었다.

서식지 이용측면에서 수금류 3종 모두 평균 47.0%로 내륙수의 이용률이 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 논외의 이용률이 높게 나타났다. 국내 주요 수금류인 청둥오리와 흰뺨검둥오리는 수계의 의존성이 매우 높으며, 수계와 농경지를 주로 이용하며(강 등, 2014, 신 등, 2016c), 본 연구 결과 고방오리는 다른 두 종에 비해 해양수와 연안습지 이용률이 높게 나타나 다른 서식지 이용률을 보여주었다. 일반적으로 고방오리는 주간에 갯벌에서 무척추동물 등을 채식하는 생태적 습성을 가지고 있는데 이로 인해 주간 해양수와 연안습지 비율이 다른 종에 비해 높은 것으로 보인다(원과 김, 2012). 또한 고방오리가 다른 두 종에 비해 더 긴 일일 이동거리와 넓은 행동권이 나타난 것도 해양수를 이용하기 위해 이동한 것이 영향을 준 것으로 판단된다.

한편 주·야간으로 나누어 서식지 이용률을 분석한 결과, 주간에는 내륙수의 비율이 야간에는 논외의 비율이 높게 나타났는데 일반적으로 수금류는 주간에는 휴식을 취하고 야간에는 채식을 하는 것으로 알려져 있으며(Baldassarre and Bolen, 1994; 백 등, 2010; 신 등, 2016c; 황 등, 2016), 한국에서 월동하는 수금류 역시 이러한 습성을 가지고 있다(Kim *et al.*, 1996; 김 등, 1997). 따라서 이러한 생태적 습성에 의해 주·야간 서식지 이용비율이 나타난 것으로 보인다. 본 시간대별 이동거리 연구결과 오전 이동시간은 6:00-8:00로 나타났으며, 이는 수금류가 야간 취식지에서 주간 휴식지로 이동하는 시간으로 판단된다. 오후 이동시간은 16:00-18:00으로 나타났으며, 이 시간에는 주간 휴식지에서 야간 취식지로 이동하는 것으로 판단된다. 따라서 수금류의 월동기 주간 휴식시간은 8:00-16:00로 총 8시간, 야간 취식시간은 16:00-8:00으로 총 16시간을 소비하는 것으로 나타났으며, 야간 취식시간을 주간 휴식시간보다 2배 더 소비하는 것으로 보인다. 미국 남서부 루이지애나에서 청둥오리 암컷을 대상으로 연구된 결과에 의하면 일몰 후 한 시간 이내에 기존 휴식지에서 이동을 하며, 새벽에는 거의 비행을 하지 않는다고 보고하였다(Paul *et al.*, 2012). 본 연구결과 역시 0:00-06:00까지 평균 0.4km로 다른 시간대보다 짧게 이동한 것으로 나타나 기존 연구와 유사한 결과를 보여주었다. 새만금 유역은 수금류의 먹이터로 적합한

대규모 농경지가 형성되어 풍부한 먹이자원의 제공이 가능한 곳이다(이, 2000; 강 등, 2011). 또한 서식지 내 논들은 겨울철에 유동인구가 적어 인간에 의한 방해가 적다(신, 2016). 김 등(1997)은 청둥오리의 경우 주간에도 농경지를 이용하나 인적이 드문 경우에만 이용을 하며, 경계행동 비율이 매우 높게 나타나 채식비율이 밤에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타나는 것으로 보고한 바 있다. 따라서 새만금 유역 일대에서 서식하는 수금류들은 월동기 동안 서식지 내 논에서 충분한 먹이원 확보와 이동을 유발하는 방해요인이 적기 때문에 이동거리가 짧은 것으로 판단된다.

수금류의 주 먹이원은 추수한 논외의 낙곡과 습지의 저서무척추생물로 알려져 있다(Loesch and Kaminski, 1989). 따라서 이러한 먹이원들 구할 수 있는 내륙수와 논은 월동하는 수금류에게 있어 채식지 및 휴식지를 제공하는 매우 중요한 서식공간이다(유와 권, 2004; 신 등, 2016c; 황 등, 2016). 앞서 말했듯이 월동조류에게 있어 안정적인 월동서식지 제공은 성공적 번식으로 이어져 그들의 종 보존에 기여하게 된다(Krapu, 1981; Heitmeyer and Fredickson, 1981; 원, 1987). 따라서 내륙수 및 습지지역, 논 등에 대한 관리방안은 이들 생존에 직·간접적으로 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 특히 낙곡은 수금류의 가장 중요한 먹이원으로 농경지 낙곡은 수금류의 안정적인 월동에 매우 중요하다(Remsen *et al.*, 1991; Greer *et al.*, 2009; 박, 2017). 그러나 과거 벧짚을 남기는 수확법 대신 벧짚까지 모두 수확하는 곤포사일리지수확법이 유행하고 있어 낙곡을 보전하기 위해서는 지역 농민의 협조가 필요하다. 수금류가 벧 수확기 이전에 도래하여 받는 피해를 보상해주는 ‘생물다양성관리제도’를 도입하여 농경지 내의 낙곡을 보전하는 것이 고려할 수 있는 대안이다. 또한 안정적인 휴식처 역시 수금류의 서식에 매우 중요한 요소임에 따라 일부 농경지를 임차하여 무논을 조성하거나 부도 등을 조성하여 월동하는 수금류의 휴식 및 취식 장소를 제공한다면 이들 서식에 긍정적인 영향을 줄 것으로 판단된다(Burger, 1988). 본 연구로 도출된 결과들은 수금류의 보호와 서식지의 관리에 대한 기초자료로 이용가능 할 것으로 판단된다. 향후 새만금 지역 외 다양한 철새도래지에서도 연구가 진행되어 비교분석 된다면 국내에 도래하는 수금류를 대상으로 구체적인 보호 및 관리방안 제시가 가능할 것이라 판단된다.

IV. 복상 이동 정보

1. 서론

서식지는 야생동물의 생존, 성장, 번식 등에 필요한 모든 생물적, 무생물적 요소로 정의되며, 서식지 관리는 종과 개체군을 보존하는 중요한 수단이다 (빙 2013). 조류는 날개라는 특수기관을 이용해 뛰어난 이동성을 가지고 있으며, 이를 통해 다른 분류군보다 효율적으로 바다나 사막과 같은 불모지역을 거쳐 수천km를 이동할 수 있다(Newton, 2006). 일반적으로 국내에 도래하는 철새들은 계절변화에 따라 매년 번식지와 월동지를 오고가는 장거리 이동을 한다 (이, 2000; 김, 2010; 신, 2016). 이동시기 때 철새들은 국가 간을 이동하기 때문에 경로 상의 지역의 환경변화나 오염 등에 민감하며, 이는 종의 생존에까지 영향을 주게 된다. 특히 다양한 환경을 접하는 장거리 이동철새들은 환경변화에 다른 많은 위험에 노출 될 가능성이 크며, 이에 따른 체계적인 서식지 관리가 요구된다 (국립공원관리공단, 2011).

철새의 장거리 이동은 비행과 중간기착지의 연속이기 때문에 성공적인 장거리 이동을 위해서는 이동경로 상의 위치한 중간기착지의 서식지 질이 매우 중요하다 (Hedenstrom and Alerstam, 1997; Newton, 2006). 빙(2013)은 중간기착지의 서식지의 상태가 좋지 않을 경우 다음 이동을 위한 체력적인 안배를 하지 못하게 되며, 이는 결과적으로 장거리 이동의 실패의 직·간접적인 원인이 된다고 하였다. 또한 번식지에 도착했을 때의 신체컨디션은 번식에 영향을 주게 되며, 다양한 연구들을 통해 성공적인 장거리 이동은 성공적인 번식으로 이어지게 된다고 알려져 있다(Moller, 1994; Aebischer *et al.*, 1996; Lozano *et al.*, 1996). 따라서 철새의 체계적인 보호 및 관리방안을 마련하기 위해서는 번식지, 월동지 뿐 아니라 장거리 이동경로 상에 있는 중간기착지의 서식지 관리가 필요하며, 이를 위해서는 철새의 장거리 이동패턴 및 이동경로, 중간기착지 현황 파악은 필수적이라 할 수 있다. 이에 본 연구는 수금류의 이동경로 및 중간기착지 현황 파악 등을 통해 그들의 보호와 관리를 위한 객관적인 자료 제공하는데 의의가 있다.

2. 연구 방법

1) 위치추적기 대상종 및 부착지역

2015년에서 2017년까지 봄철 북상기 전 캐논넷(Cannon-net)을 이용하여 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리를 포획한 후 야생동물위치추적기(WT-300)를 부착하였다. 야생동물위치추적기 부착지역은 청둥오리와 흰뺨검둥오리는 전라북도 만경강과 동진강에서 부착하였으며, 고방오리는 만경강, 경기도 안성시 안성천, 부산광역시 을숙도에서 부착하였다(Table 26). 추적기 부착지역은 철새도래지로 수심이 비교적 얇고, 유속이 완만하며 휴식을 취할 수 있는 모래톱이 다수 존재하고 있는 지역이다.

2) 북상 정보 분석

수금류 이동현황을 파악하기 위해 월동지에서 출발일, 번식지 도착일, 중간기착지를 분석하였다. 또한 월동지에서 번식지까지 소요일과 중간기착지 이용일을 파악하였다. 월동지 출발일은 번식지에서 100km 이상 북상한 날을 기준으로 하였다. 대부분의 수금류는 번식지 도착 후 바로 번식을 시작하므로(Arzel *et al.*, 2006), 번식지는 2주 이상 30km 이내의 적은 이동을 보일 경우 번식지로 판단하였으며, 이를 기준으로 번식지 도착일을 파악하였다. 중간기착지는 한국 이탈 후 이용한 지역으로 24시간 이상 머물며, 30km이내의 거리에서 특정한 방향으로 이동이 없는 지역으로 판단하였다(Yamaguchi *et al.*, 2008). 이동 현황 파악을 위해 자료 분석은 위치추적기 부착 후 7월 31일까지 위치좌표를 이용하였다. 또한 수금류에 부착한 WT-300은 GPS를 기반으로 고도와 이동속도가 기록되는 장치로 수금류가 월동지에서 중간기착지, 번식지까지 장거리 이동 시 최대 비행고도와 이동속도 등을 확인하였다.

Table 26. The detailed tracking information of ducks

ID	Species	Catching site	Tracking Period		GPS Fixed time/day
			Start	End	
M1501			2015-11-02	2016-07-31	
M1502			2015-12-15	2016-07-31	12 / day
M1503			2015-12-15	2016-07-30	
M1601			2016-11-24	2017-07-03	
M1602	Mallard	Riv. Mankyung	2017-03-04	2017-07-17	
M1603			2017-02-28	2017-06-20	
M1604			2017-03-04	2017-04-28	6 / day
M1605			2017-03-04	2017-06-02	
M1606			2017-03-04	2017-04-26	
S1501				Riv. Mankyung	2015-12-16
S1502		Riv.	2015-10-21	2016-05-06	12 / day
S1503	Spot-bill duck	Dongjin	2015-11-02	2016-05-21	
S1601		Riv.	2017-02-11	2017-05-07	
S1602		Mankyung	2017-02-12	2017-05-25	6 / day
P1501		Riv. Mankyung	2015-11-17	2016-05-27	12 / day
P1502	Pintail	Anseong	2015-12-17	2016-04-17	
P1701		Elsukdo	2018-01-15	2018-06-11	6 / day

3. 연구 결과

1) 북상 시기 및 이동경로

(1) 청둥오리

만경강에서 월동했던 청둥오리 9개체를 대상으로 북상시기 및 이동경로를 분석한 결과 대부분의 청둥오리들은 월동지에서 한반도 해안지대를 거쳐 중국 내륙으로 북상하는 경향을 보였다. 9개체 중 6개체는 서해안을 경유하였으며, 2개체는 동해안을 경유하여 이동하였다. M1601개체는 다른 국가로 장거리 이동을 하지 않고 만경강에서 경기도 화성시로 이동하였다. 장거리 이동을 한 청둥오리들은 북한을 통과한 후 중국 동북부 지역에 넓게 분산되는 경향을 보였다. 번식지는 중국 동북부 지역과 러시아 국경인근 까지 넓게 분포하였다(Figure 36, 37).

월동지에서의 처음으로 북상을 시작한 날짜는 3월 27일(M1605)이었으며, 가장 늦게 출발한 날짜는 5월 16일(M1601)이었다. 성공적으로 북상한 개체들의 번식지 도착까지 소요기간은 최소 2일부터 최장 70일로 개체 간의 편차가 크게 나타났으며, 번식지까지 4월 초부터 6월초 까지 2달에 걸쳐 이동하는 것으로 나타났다. 이를 토대로 북상 출발 날짜는 4월 중순(16일)로 나타났으며, 평균 23일 간 이동한 뒤 5월 초순(8일)에 도착하는 것으로 분석되었다(Figure 38, Table 27).

월동지와 번식지까지 평균 누적거리는 1,048.6km(n=9, SD=419.3)이었으며, 장거리 이동 시 가장 짧은 거리를 이동한 개체는 736.0km, 가장 먼 거리를 이동한 개체는 1,543.4km를 이동하였다(Table 27).

Table 27. The information of spring migration of mallard

ID	Departure days	Arrive days	Period (days)	Total move distance (km)	Breeding site
M1501	2016-04-15	2016-05-09	24	1,412.4	Qíqíhā'ěr Shì ³
M1502	2016-03-30	2016-06-02	64	1,037.5	Dàqìng Shì ³
M1503	2016-03-31	2016-06-09	70	1,543.4	Shuāngyāshān Shì ³
M1601	2017-05-16	2017-05-19	3	120.3	Hwasung ¹
M1602	2017-05-12	2017-05-24	12	1,007.5	Hā'ěrbīn ³
M1603	2017-04-27	2017-05-03	6	1,194.3	Qíqíhā'ěr Shì ³
M1604	2017-04-04	2017-04-28	24	1,494.0	WūdàliánchíShì ³
M1605	2017-03-27	2017-04-07	11	736.0	Tōnghuà Shì ³
M1606	2017-04-15	2017-04-17	2	892.0	Dūnhuà Shì ³
Aver.	2017-04-16	2017-05-08	23	1,048.6	

* 1: South Korea, 2: North Korea, 3: China

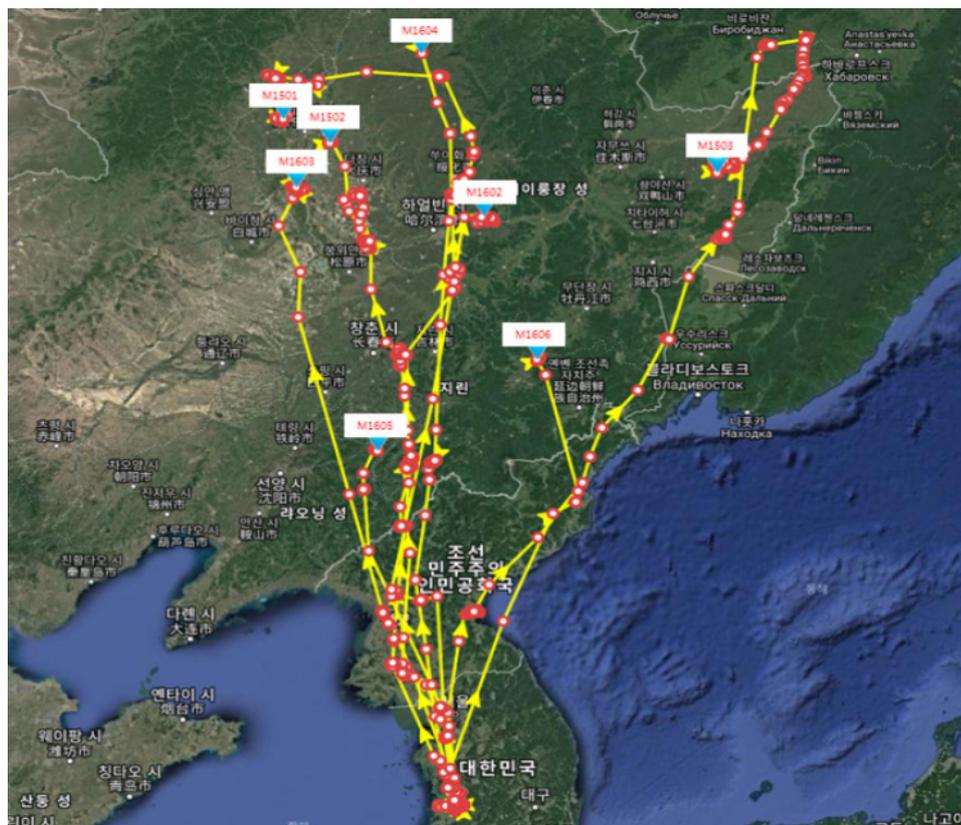


Figure 36. The spring migration routes of 10 mallards. Circles indicate the daily locations with the highest location quality.

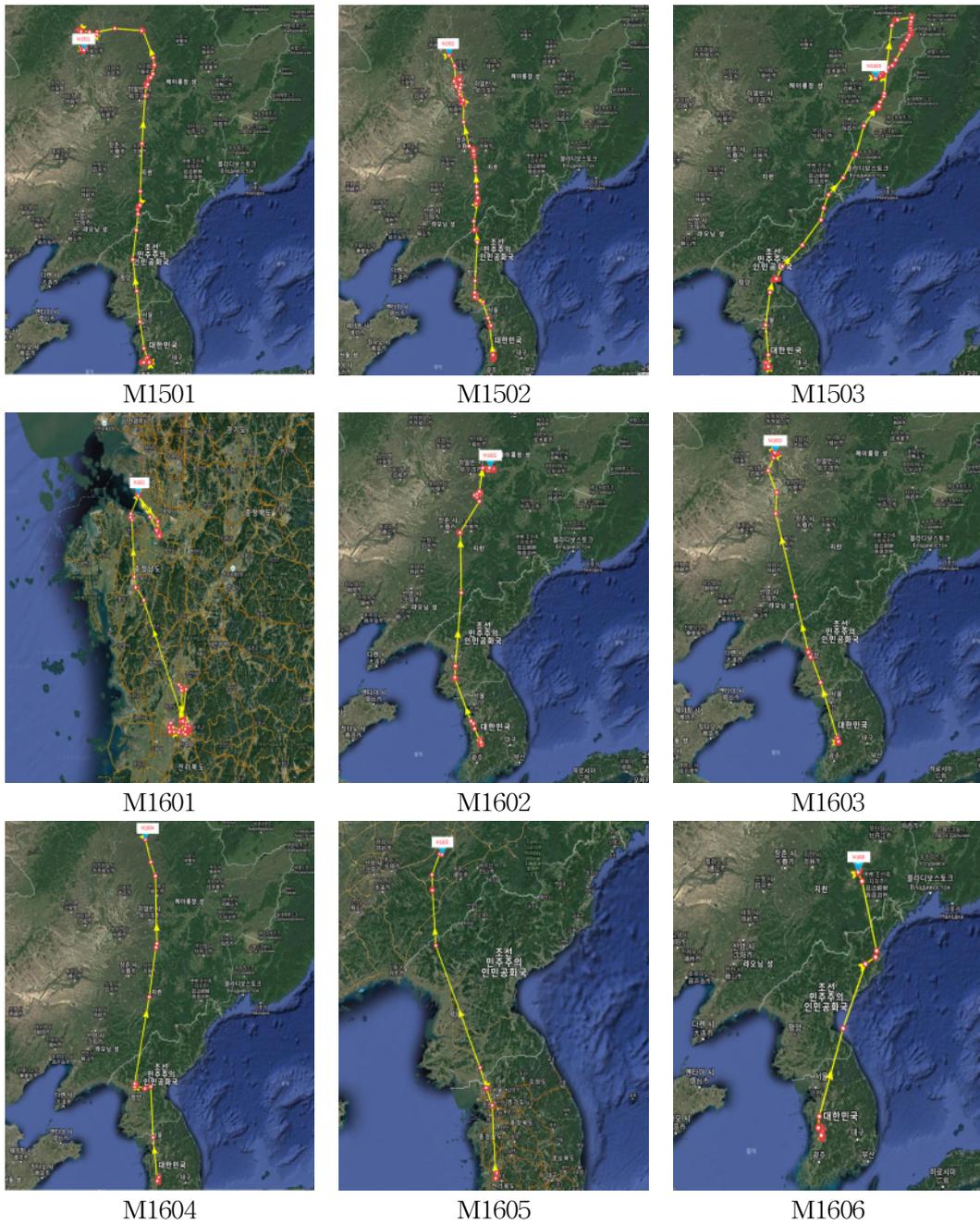


Figure 37. Each individual's migration routes of mallards. Circles indicate the daily locations with the highest location quality.

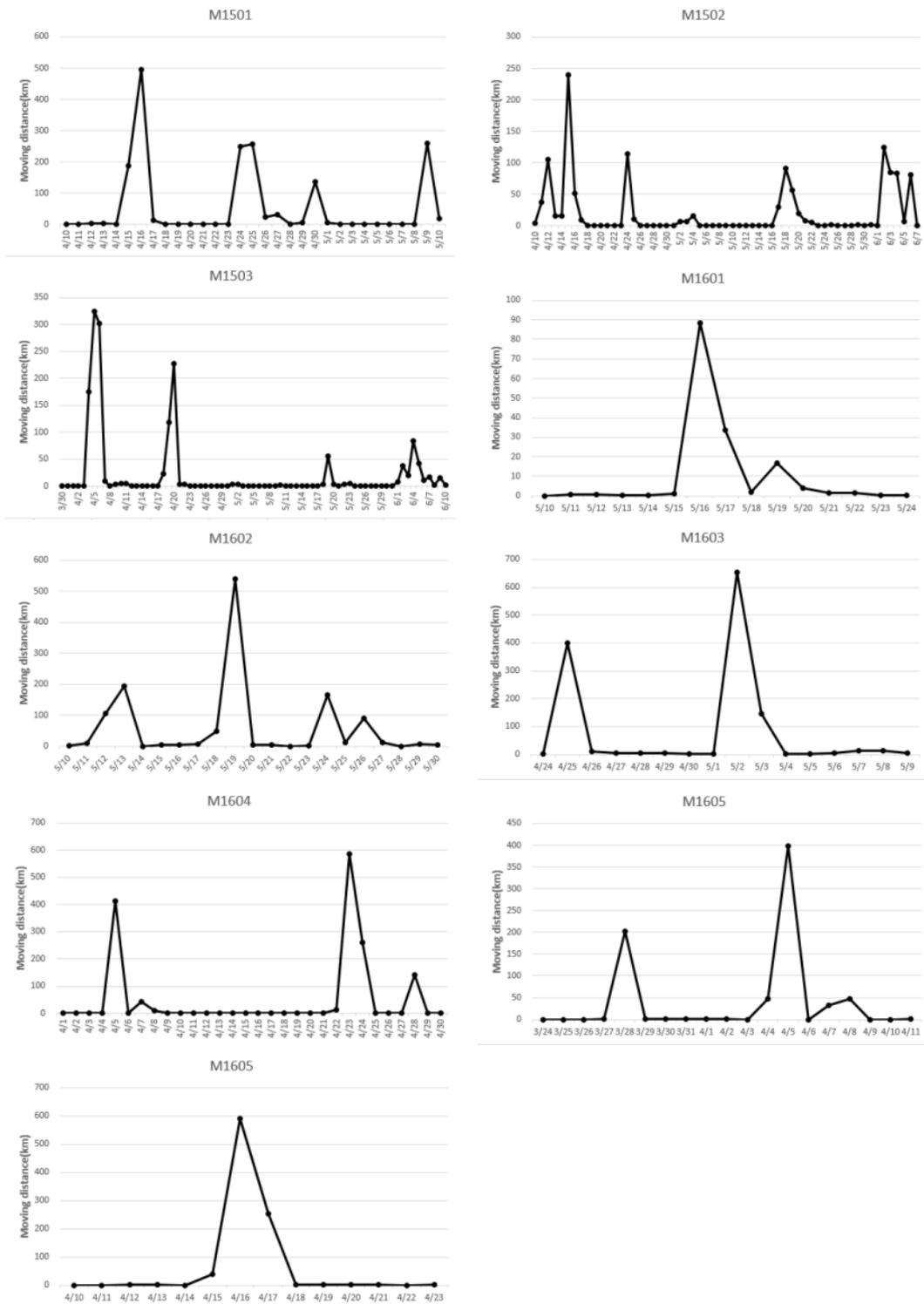


Figure 38. Usage days at flying distance during spring migration of mallards.

(2) 흰뺨검둥오리

만경강과 동진강에서 월동했던 흰뺨검둥오리 5개체를 대상으로 북상시기 및 이동경로를 분석한 결과, 대부분의 흰뺨검둥오리들은 월동지에서 북상하여 한반도 중부지방부터 중국 동남부 일대로 이동하는 경향을 보였다. 5개체 중 3개체는 서해안을 경유하였으며, 2개체는 동해안을 이용하였다. S1502개체는 북한 개성군까지 북상하였다가 재차 남하하여 김포시로 번식지를 선택하였으며, S1601개체는 북상 시작 3일 뒤에 통신이 두절되어 최종경로 확인을 할 수 없었다. 장거리 이동을 한 흰뺨검둥오리들은 북한을 통과한 후 중국 지린성 일대에 넓게 분산되는 경향을 보였다(Figure 39, 40).

월동지에서의 처음으로 북상을 시작한 날은 4월 12일(S1602)이었으며, 가장 늦게 출발한 것은 5월 16일(S1503)이었다. 성공적으로 북상한 개체들의 번식지 도착까지 소요기간은 최소 2일부터 최장 13일로 4월 중순부터 5월 중순까지 1달에 걸쳐 이동하는 것으로 나타났다. 이를 토대로 북상 출발 날짜는 4월 하순(28일)로 나타났으며, 평균 9일 간 이동한 뒤 5월 초순(5일)에 도착하는 것으로 분석되었다(Figure 41, Table 28).

월동지와 번식지까지 평균 누적거리는 569.7km(n=5, SD=386.9)이었으며, 장거리 이동 시 가장 짧은 거리를 이동한 개체는 238.9km, 가장 먼 거리를 이동한 개체는 1,022.6km를 이동하였다(Table 28).

Table 28. The information of spring migration of spot-bill ducks.

ID	Departure days	Arrive days	Period (days)	Total move distance (km)	Breeding site
S1501	2016-04-30	2016-05-13	13	726.1	Tonghua Shi ³
S1502	2016-04-19	2016-04-30	11	238.9	Gimpo ¹
S1503	2016-05-16	2016-05-18	2	861	Siping Shi ³
S1601	2016-05-04	-	-	-	-
S1602	2016-04-12	2016-04-22	10	1,022.6	Jilin Shi ³
Aver.	2016-04-28	2016-05-05	9	569.7	

* 1: South Korea, 2: North Korea, 3: China

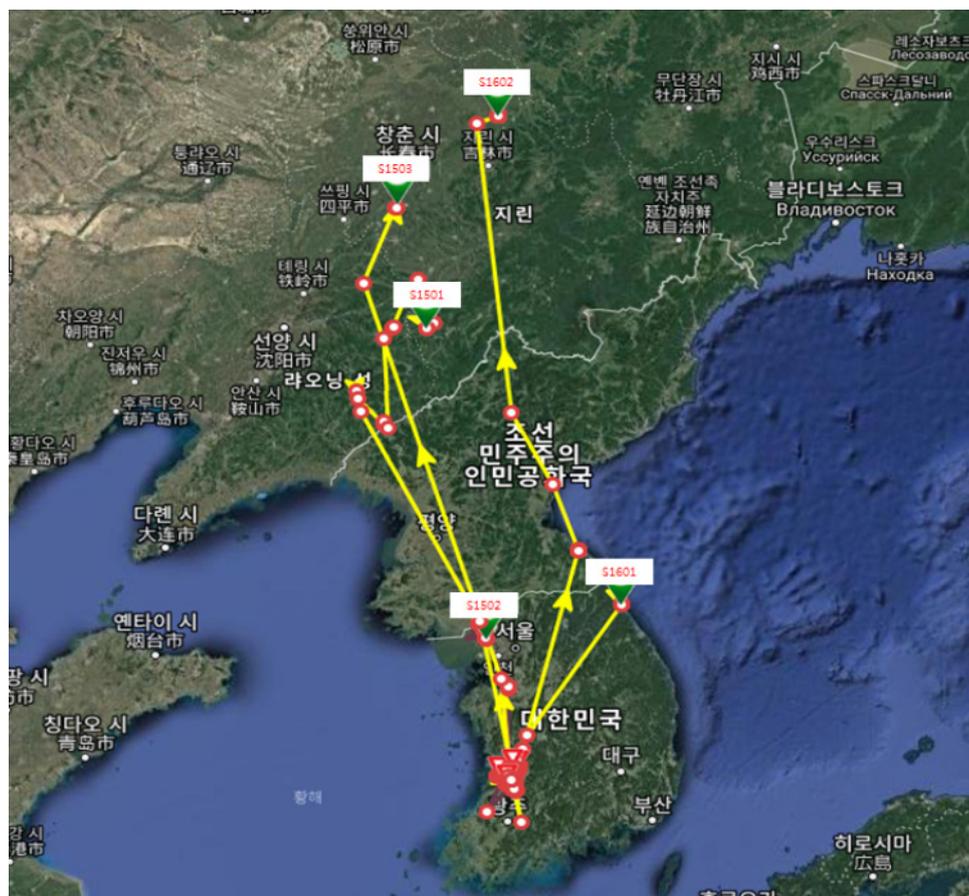
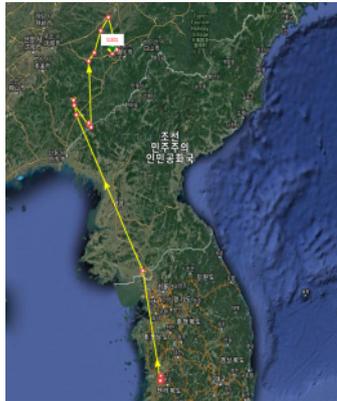
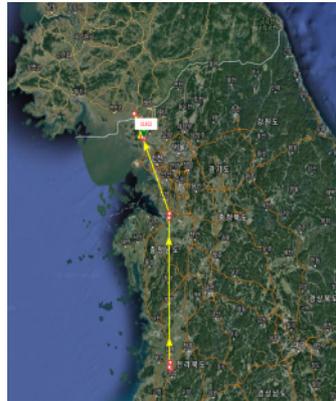


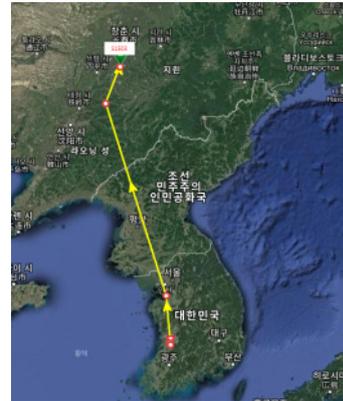
Figure 39. Spring migration routes of spot-bill ducks. Circles indicate the daily locations with the highest location quality.



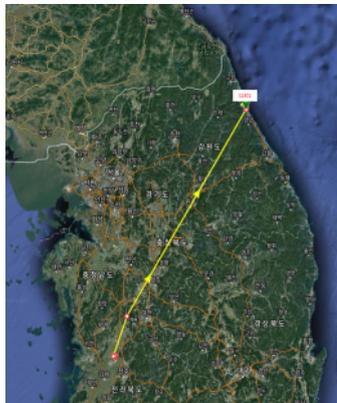
S1501



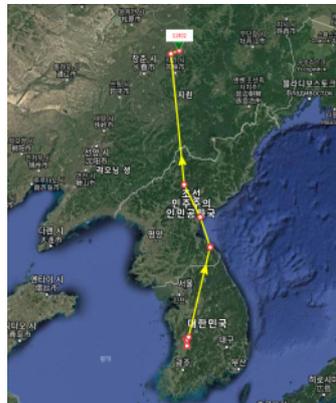
S1502



S1503



S1601



S1602

Figure 40. Each individual's migration routes of spot-bill ducks. Circles indicate the daily locations with the highest location quality.

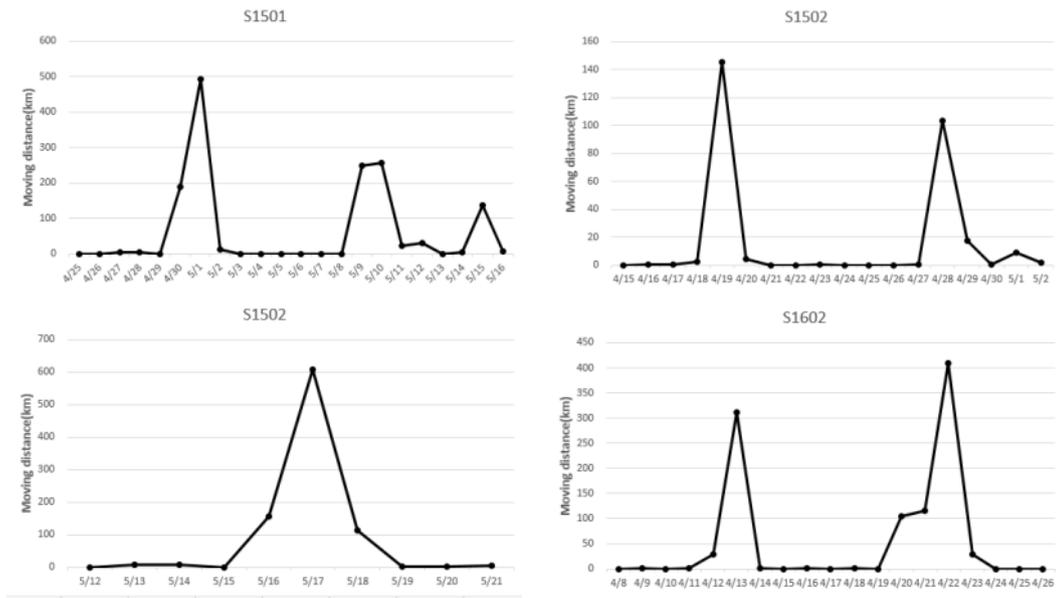


Figure 41. Usage days at flying distance during spring migration of spot-bill ducks.

(3) 고방오리

만경강과 안성천, 을숙도에서 월동했던 고방오리 3개체를 대상으로 북상시기 및 이동경로를 분석한 결과, 모든 고방오리들은 월동지에서 북상하여 동해안을 거쳐 중국 북동부 일대부터 러시아 사할린까지 이동하였다(Figure 42, 43).

월동지에서의 처음으로 북상을 시작한 날짜는 3월 16일(P1502)이었으며, 가장 늦게 출발한 날짜는 5월 11일(P1501)이었다. 번식지 도착까지 소요기간은 최소 11일부터 최장 56일로 3월 중순부터 5월 중순까지 2달에 걸쳐 이동하는 것으로 나타났다. 이를 토대로 북상 출발 날짜는 4월 초순(4일)으로 나타났으며, 평균 27일 동안 이동한 뒤 5월 초순(1일)에 도착하는 것으로 나타났다(Figure 44, Table 29).

월동지와 번식지까지 평균 누적거리는 1,367.1km(n=3, SD=603.8)이었으며, 장거리 이동 시 가장 짧은 거리를 이동한 개체는 656.8km, 가장 먼 거리를 이동한 개체는 2,132.6km를 이동한 것으로 나타났다(Table 29).

Table 29. The information of spring migration of pintails.

ID	Departure days	Arrive days	Period (days)	Total move distance (km)	Breeding site
P1501	2016-05-11	2016-05-22	11	1,311.9	Dàqìng Shì ³
P1502	2016-03-16	2016-03-30	14	656.8	Húncūn Shì ³
P1701	2016-03-17	2016-05-12	56	2,132.6	Sakhalin ⁴
Aver.	2016-04-04	2016-05-01	27	1,367.1	

* 1: South Korea, 2: North Korea, 3: China, 4: Russia

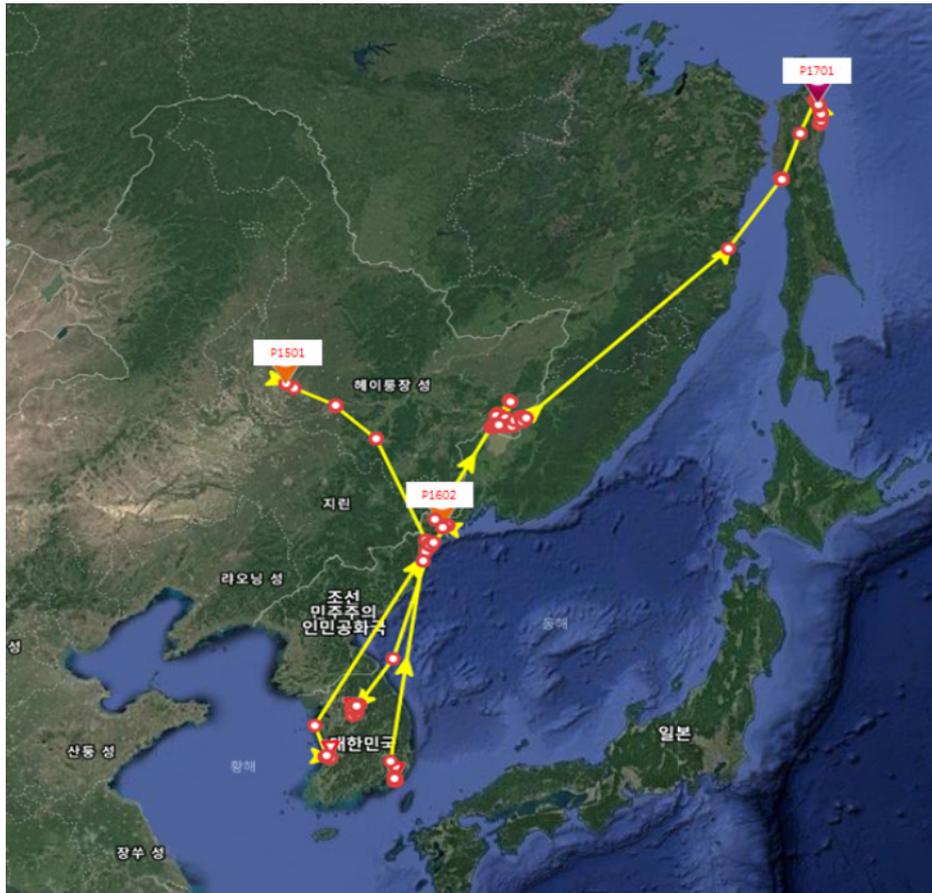


Figure 42. Spring migration routes of pintails. Circles indicate the daily locations with the highest location quality.

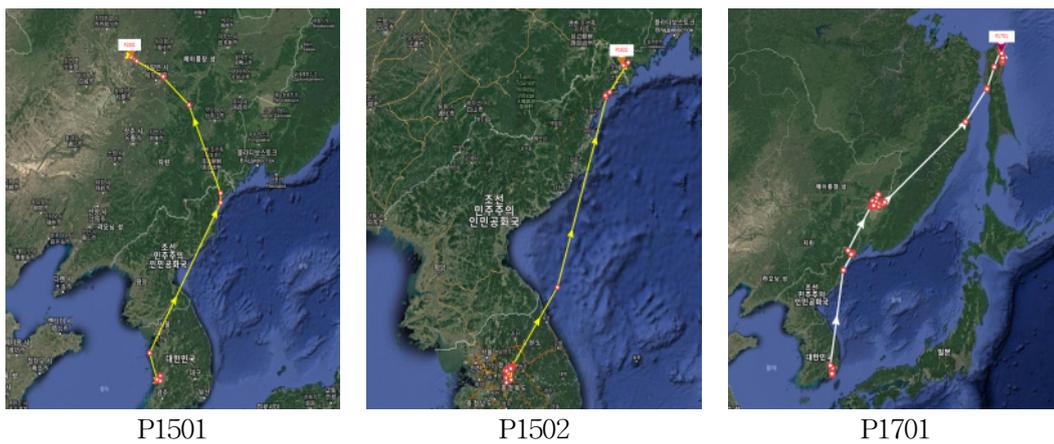


Figure 43. Each individual's migration routes of pintails. Circles indicate the daily locations with the highest location quality.

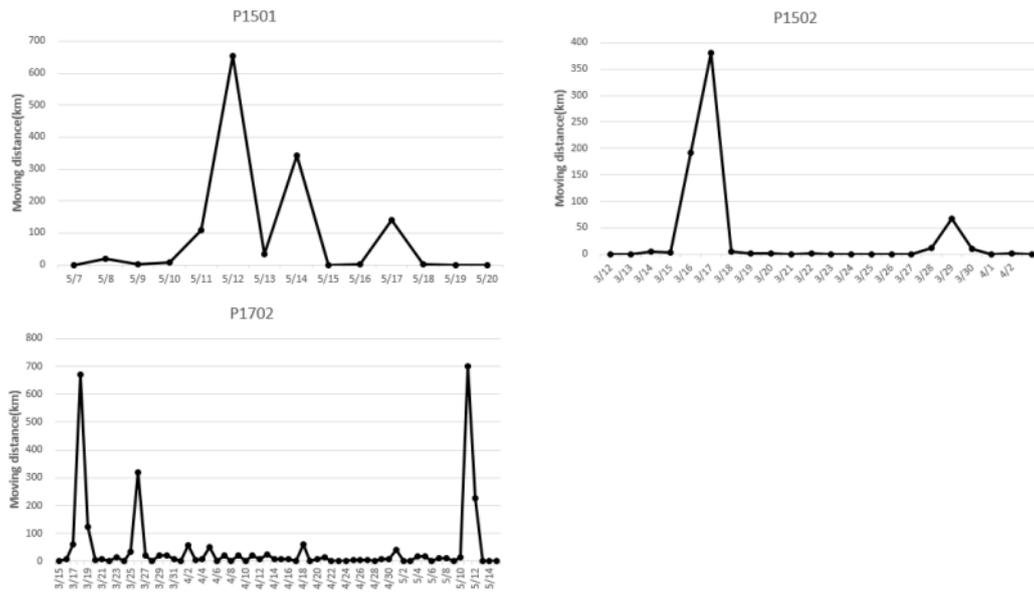


Figure 44. Usage days at flying distance during spring migration of pintails.

2) 주요 중간기착지 현황

(1) 청둥오리

위치추적기 조사를 통해 청둥오리들이 번식지로 북상할 때 최소 하루 이상 이용한 중간기착지는 총 20개 지역으로 나타났다. 가장 많이 이용된 지역은 중국 헤이룽장성에 위치한 쑤이화시와 지린시로 각각 2개체가 이용하였으며, 가장 긴 기간 이용한 지역은 러시아의 비로비잔 지역으로 39일로 나타났다. 중간기착지에서는 평균 8일 정도 머무는 것으로 나타났으며, 일부 지역은 1~3일 정도 짧게 머문 후 다음 중간기착지나 번식지로 이동하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 각 개체별로는 최소 1개에서 최대 5개 지역의 중간기착지를 이용하는 모습을 보였다. 각 국가별로는 한국 2개 지역(김포시, 화성시), 북한 7개 지역(사리원시, 문천시, 숙천군, 덕천시, 안주시, 길주군, 압록강), 중국 10개 지역(지린성-바이산시, 통화시, 지린시, 바이칭시, 지린시, 헤이룽장성-쑤이화시, 헤이허시, 창춘시, 무단장시, 지시시), 러시아 지역이 1개(비로비잔)로 중국 지역을 가장 많이 이용하는 것으로 나타났다(Table 30).

Table 30. Information on the stopover site of mallards

ID	Stopover site (Stay day)				
	1	2	3	4	5
M1501	Báishān Shì ³ (8)	Suǐhuà Shì ³ (5)	Hēihé Shì ³ (8)		
M1502	Hwaseong ¹ (12)	Sariwon ² (3)	Riv. Amnok ² (7)	Tōnghuà Shì ³ (23)	Chángchūn Shì ³ (14)
M1503	Muncheon ² (13)	Mūdānjiāng Shì ³ (1)	Jīxī Shì ³ (13)	Birobidzhan ⁴ (39)	
M1602	Sariwon ² (6)	Jlín Shì ³ (4)			
M1603	Sukchon ² (3)	Báichéng Shì ³ (1)			
M1604	Tokchon ² (1)	Anju ² (15)	Jílín Shì ³ (1)	Suǐhuà Shì ³ (3)	
M1605	Gimpo ¹ (6)	Fǔshùn Shì ³ (2)			
M1606	Gilju ² (2)				

* 1: South Korea, 2: North Korea, 3: China, 4: Russia

(2) 흰뺨검둥오리

위치추적 결과, 흰뺨검둥오리들이 번식지로 북상할 때 최소 하루 이상 이용한 중간기착지는 총 8개 지역으로 나타났다. 가장 많이 이용된 지역은 중국 라오닝성에 위치한 단둥시로 2개체가 이용하였으며, 가장 오랫동안 이용한 지역은 평택시로 8일 간 이용하였다. 중간기착지에서는 평균 3일 머무는 것으로 나타났으며, 대부분 1~3일 정도 짧게 머문 후 다음 중간기착지나 번식지로 이동하는 경향을 보였다. 각 개체별로는 최소 1개에서 최대 3개 지역의 중간기착지를 이용하는 모습을 보였다. 각 국가별로는 한국이 2개 지역(평택시, 양양군), 북한이 3개 지역(개성시, 통천군, 장진읍), 중국이 3개 지역(라오닝성-단둥시, 푸순시, 지린성-랴오위안시)으로 중국과 북한 지역을 가장 많이 이용하는 것으로 나타났다 (Table 31).

Table 31. Information on the stopover site of spot-bill ducks

ID	Stopover site (Stay day)			
	1	2	3	4
S1501	Dāndōng Shì ³ (5)	FǔshùnShì ³ (3)	Liáoyuán Shì ³ (1)	
S1502	Pyeongtaek ¹ (8)	Gaeseong ² (2)		
S1503	Dāndōng Shì ³ (1)			
S1601	Yangyang ¹			
S1602	Tongchon ² (6)	Jangjin ² (1)		

* 1: South Korea, 2: North Korea, 3: China, 4: Russia

(3) 고방오리

위치추적 결과, 고방오리들이 번식지로 북상할 때 최소 하루 이상 이용한 중간기착지는 총 7개 지역으로 나타났다. 가장 많이 이용된 지역은 러시아의 Primorskiy kray로 2개체가 이용하였으며, 가장 길게 이용한 지역은 중국의 지시시로 46일 간 이용한 것으로 나타났다. 중간기착지에서의 평균 소요일은 9일을 머물렀으며, 대부분 짧게는 1일, 길게는 10일 이상 머문 후 다음 중간기착지나 번식지로 이동하는 경향을 보였다. 각 개체별로는 최소 2개에서 최대 4개의 중간기착지를 이용하는 모습을 보였다. 각 국가별로는 북한이 3개 지역(청진시, 락산, 단천시), 중국 2개 지역(헤이룽장성-하얼빈시, 지시시), 러시아 2개 지역(Primorskiy kray, Khabarovskiy kray)으로 북한에서의 이용률이 가장 높은 것으로 나타났다(Table 32).

Table 32. Information on the stopover site of pintails

ID	Stopover site (Stay day)			
	1	2	3	4
P1501	Cheongjin ² (1)	Ha'erbīn ³ (8)		
P1502	Raksan ² (12)	Primorskiy kray ⁴ (1)		
P1701	Tanchon ² (1)	Primorskiy kray ⁴ (7)	Jixi Shi ³ (46)	Khabarovskiy kray ⁴ (1)

* 1: South Korea, 2: North Korea, 3: China, 4: Russia

3) 수금류의 장거리 이동 정보 측정 분석

(1) 비행 고도

위치추적기에 기록된 비행 고도를 분석한 결과, 청둥오리 평균 비행 고도는 538.3m였으며, 최대 1,836.3m, 최소 25.7m의 높이에서 비행 이동하였다. 흰뺨검둥오리 평균 비행 고도는 592.0m이었으며, 최대 1,907.1m, 최소 101.0m의 높이에서 비행하여 이동하였다. 고방오리 평균 비행 고도는 562.4m였으며, 최대 1,193.6m, 최소 10.5m의 높이에서 비행하여 이동하였다(Table 34). 종합적으로 수금류는 장거리 이동 시 평균 564.2m, 최대 1,907m까지 비행하는 것으로 나타났다(Table 33).

Table 33. Each species migration flight altitude

Species	Flight altitude(m)		
	Average altitude	Maximum altitude	Minimum altitude
Mallard	538.3	1,836.3	25.7
Spot-bill duck	592.0	1,907.7	101
Pintail	562.4	1,193.6	10.5
Aver.	564.2	1,645.9	45.7

Table 34. Migration flight altitude of ducks

ID	Species	Flight altitude(m)					
		Wintering site ~	Stopover site1 ~	Stopover site2 ~	Stopover site3 ~	Stopover site4 ~	Stopover site5 ~
		Stopover site 1	Stopover site 2	Stopover site 3	Stopover site 4	Stopover site 5	Breeding site
M1501		849.7	993.7	349.5	359.5		
M1502		80.9	298.7	937.2	981.6	705.2	304.8
M1503		589.8	1,146.5	441	161.4		
M1601		245.7	25.7				
M1602	Mallard	180.3	964	305.3			
M1603		319.1	916	131			
M1604		172.7	107.5	735.5	567.1	452.6	
M1605		148.4	431.9	644.2			
M1606		1,836.3	843.1				
S1501		649.6	522.3	408.1	448.5		
S1502		101	269.4	110.1			
S1503	Spot-bill duck	621.7	453.7				
S1601		928.5					
S1602		220.3	1,054.9	1,907.7			
P1501		1,192.2	894.8	261.9			
P1502	Pintail	1,193.6	147.2	10.5			
P1701		346.8	272	74	996.4	797.1	

(2) 비행 속도

위치추적기에 기록된 비행 속도를 분석한 결과, 청둥오리의 평균 비행 속도는 76km/h였으며, 최대 108km/h, 최소 48km/h의 속도로 비행하여 이동하는 것으로 나타났다. 흰뺨검둥오리의 평균 비행 속도는 76km/h였으며, 최대 90km/h, 최소 65km/h의 속도로 비행하여 이동하였다. 고방오리 평균 비행 속도는 74km/h였으며, 최대 115km/h, 최소 35km/h의 속도로 비행 이동하였다(Table 36). 종합적으로 볼 때, 수금류는 장거리 이동 시 평균 75km/h, 최대 115km/h의 속도로 비행하는 것으로 나타났다(Table 35).

Table 35. Each species migration flight speed

Species	Flight speed(km/h)		
	Average speed	Maximum speed	Minimum speed
Mallard	76	108	48
Spot-bill duck	76	90	65
Pintail	74	115	35
Aver.	75	104	49

Table 36. Migration flight speed of ducks

ID	Species	Flight speed(km/h)					
		Wintering site	Stopover site1	Stopover site2	Stopover site3	Stopover site4	Stopover site5
		~	~	~	~	~	~
		Stopover site1	Stopover site2	Stopover site3	Stopover site4	Stopover site5	Breeding site
M1501		74	74	72	104.4		
M1502		68	70	96	76	93	67
M1503		74	60	79	74		
M1601		72	48				
M1602	Mallard	66	108	72			
M1603		68	101	62			
M1604		65	69	100	75	71	
M1605		70	90	68			
M1606		84	60				
S1501		90	71	76	80		
S1502		72	71	80			
S1503	Spot-bill duck	85	87				
S1601		65					
S1602		81	68	68			
P1501		99	74	59			
P1502	Pintail	89	66	35			
P1701		83	61	55	78	115	

(3) 비행 시간

위치추적기에 기록된 비행시간을 분석한 결과, 청둥오리는 대부분 저녁 시간인 18시에서 20시 사이에 출발하는 경향을 보였다. 비행시간은 평균 8시간 정도 비행하여 이동하는 것으로 나타났으며, 최소 2시간에서 길게는 최장 30시간까지 비행하는 것으로 나타났다. 흰뺨검둥오리도 청둥오리와 마찬가지로 대부분 저녁 시간인 18시에서 20시 사이에 출발하는 것으로 나타났으며, 비행시간은 평균 6.5시간 정도 비행하여 이동하는데, 최소 2시간에서 최장 14시간까지 비행하는 것으로 나타났다. 고방오리는 늦은 오후시간인 16시에서 저녁시간인 20시 사이에 출발하는 경향을 보였다. 평균 9시간 정도 비행하여 이동하는 것으로 나타났으며, 최소 4시간에서 최장 20시간까지 비행하는 것으로 나타났다(Table 37). 도착시간은 3종 대부분 새벽시간에 도착하는 것으로 나타났는데, 대부분 저녁시간에 출발하여 새벽이나 늦어도 아침 8시 이전에 도착하는 행동특성이 있는 것으로 나타났다(Table 38).

Table 37. Each species migration flight time

Species	Flight speed(h)		
	Average time	Maximum time	Minimum time
Mallard	8	30	2
Spot-bill duck	6.5	14	2
Pintail	9	20	4
Aver.	8	21	3

Table 38. Migration flight time of ducks

ID	Species	Flight time(h)					
		Wintering site	Stopover site1	Stopover site2	Stopover site3	Stopover site4	Stopover site5
		~	~	~	~	~	~
		Stopover site1	Stopover site2	Stopover site3	Stopover site4	Stopover site5	Breeding site
M1501		18-04	18-22	18-22	00-04		
M1502		22-00	20-02	18-00	18-22	18-02	18-00
M1503		20-04	18- Next day 00	18-22	18-02		
M1601	Mallard	20-00	20-00				
M1602		18-00	20-04	20-04			
M1603		20-04	20-08	20-08			
M1604		20-04	16-20	20-04	20-00		
M1605		20-04	16-04	16-00			
M1606		16-04	16-20				
S1501	Spot-bill duck	18-10	18-00	00-04	04-06		
S1502		18-22	18-22				
S1503		20-04	20-00				
S1601		00-04					
S1602		20-04	16-00	20-08			
P1501		Pintail	20-12	20-04	20-00		
P1502	18-06		18-22				
P1701	16-12		16-00	16-20	20-04	20-04	

4. 고찰

앞에서 기술한 것처럼 연구된 수금류 3종은 대부분 3월 중순부터 4월 하순 사이에 북상을 시작하는 것으로 나타났으며, 일부는 5월 중순에도 이동하는 개체가 있었다. 국내에서 연구된 한국의 대표적 수금류인 청둥오리는 3월 하순에서 4월 초순에 이동하고(Kang *et al.*, 2016), 한국과 동일한 동아시아 이동경로에 속한 일본에서는 대부분 3월 중순~4월 중순에 이동하며(Yamaguchi *et al.*, 2008), 미국의 Arkansas 지역의 연구에서는 2월 중순~3월 중순에 이동한다 하였다(Krementz *et al.*, 2011). 이러한 연구결과와 비교해 보면, 국내 수금류들은 과거 연구사례에 비해 북상 시기가 다소 늦은 경향을 보이는 것으로 나타났다. 최근 연구결과에 의하면 철새들은 개체별로 환경조건에 따라 장거리 이동전략을 조정한다는 것이 알려지고 있고(Deppe *et al.*, 2015; Schmaljohann *et al.*, 2017), 같은 종이라 할지라도 서식지역의 환경조건에 따라 차이가 있다는 것을 알 수 있었다(Tajiri *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2016).

수금류의 봄철 북상 이동경로는 대부분 한반도 해안 지역을 경유하여 이동하는 경향을 보였으나 개체와 종에 따라 이동 경로는 다양하게 나타났다. 청둥오리와 흰뺨검둥오리는 개체별로 서해안과 동해안을 다양하게 이용하여 북상하였던 것에 비해 고방오리는 동해안만을 경유하여 북상하는 양상이 있는 것으로 나타났다. 또한 같은 월동지를 이용하는 개체들이라 할지라도 다른 이동경로를 이용해 북상하는 모습을 보인 것은 선행 연구결과와 유사하였다(Krementz *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2016). 해안을 경유하는 철새들은 풍향, 풍속, 기온 등 다양한 기상조건에 따라 최적의 이동경로를 찾게 되며, 일반적으로 비행하기에 안정된 기상조건이 되었을 때 이동하기 시작한다(Yamamoto *et al.*, 2017). 최종 목적지 역시 종별 차이를 보였는데, 고방오리가 러시아 사할린으로 이동하여 가장 높은 위도로 이동하였다. 청둥오리는 중국 동북부 지역에 위치하는 헤이룽장성을 중심으로 이동하였으며, 흰뺨검둥오리는 헤이룽장성보다 낮은 지린성과 북한 지역으로 이동하였다. 일반적으로 한국과 일본 등 동아시아에서 서식하는 청둥오리의 번식지는 극동 러시아부터 중국 동북부 지역으로 내륙에

넓게 분산되어 있다고 알려져 있어(Yamaguchi *et al.*, 2008; Cho *et al.*, 2013), 본 연구결과와 일치하였다. 그러나 일본에서 연구된 자료 중 일부 청둥오리의 최종목적지가 극동 러시아 지역으로 이동하는 것이 확인되었으며(Yamaguchi *et al.*, 2008; Kang *et al.*, 2016), 이를 고려해 보면 월동지에 따른 번식지의 차이가 있을 것으로 추측된다. 따라서 다양한 월동지역에서 위치추적기를 부착하여 많은 연구를 시도하는 자료 축적은 필요할 것으로 판단된다.

북상 중 거쳐간 중간기착지들은 중복되는 지역이 거의 없이 다양하게 나타났으며, 이는 북상 시 다양한 중간기착지를 이용한다고 보고한 기존 연구결과와 일치하였다(Yamaguchi *et al.*, 2008; Tajiri *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2016). 중간기착지의 서식환경들은 위성지도로 확인결과, 대부분 강이나 하천, 저수지 등과 같은 습지지역으로 나타났으며, 이는 수금류를 비롯한 물새류가 중간기착지로 수환경이 발달한 지역을 이용하는 기존 연구결과와 일치하였다(Arzel *et al.*, 2006; Yamaguchi *et al.* 2008; Krementz *et al.* 2011; Tajiri *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2016).

중간기착지 이용기간은 최소 1일부터 최장 46일까지 다양하게 나타났는데, 개체별로 다소 차이는 있으나 대부분은 1~3일 가량 머물고 다시 번식지를 향해 출발하는 경향이 있는 것으로 분석되었다. 장거리 이동 중 중간기착지의 이용률은 해당 개체의 Body condition과 중간기착지의 서식지로서의 질적 차이, 먹이량, 안정적인 휴식을 방해하는 여러 가지 요인에 따라 결정되기 때문에 다양하게 나타난 것으로 판단된다(Arzel *et al.*, 2006). 야생조류는 장거리 이동을 성공적으로 마치기 위해서는 이동경로 상에 체력적 안배를 제공할 수 있는 안정적인 중간기착지가 필요하며, 중간기착지에서 비행 시 소모된 에너지를 제대로 보충하지 못한 야생조류는 생존에 직접적인 위협을 받게 된다(Newton, 2006; 빙, 2013). 또한 중간기착지에서의 에너지 보충은 번식을 위해서도 매우 중요하다. 따라서 이동경로 파악 및 중간기착지 현황 파악은 조류의 종, 더 나아가 전체적인 분류군의 보호를 하는 데 필수적인 정보가 될 수 있다.

한편 수금류들은 장거리 이동 시 야간에 비행을 시작하여 새벽시간에 도착하는 경향을 보였으며, 비행 고도는 최대 1,907m, 평균 564.2m, 비행 속도는 평균 75km/h, 최대 104km/h로 나타났다. 철새의 장거리 비행 고도는 평균 400~700m,

최대 2,000m 이하로 알려지고 있다(Nisbet, 1963; Eastwood and Rider, 1965; Able, 1970; Bellrose, 1971). 또한 이동 비행속도는 아메리카 대륙 장거리 이동 시 명금류는 평균 40~75km/h, 최대 76km/h로 알려져 있다(Cochran *et al.*, 1985; Gómez *et al.* 2017). 수금류의 경우, 17~21m/s을 시속으로 환산하면, 61~76km/h로 연구된 바 있어 비행고도와 속도 모두 본 연구결과와 일치하였다(Bellose, 1967; Bruderer, 1971; Schnell and Hellack, 1979). 또한 장거리 이동 시 야간비행을 한다고 알려지고 있는데(Haper, 1958; Gauthreaux, 1971), 연구를 통해 수금류들은 16~20시 사이에 출발하여 새벽에 도착하는 경향이 있어 기존 연구들보다는 상세한 결과를 제시할 수 있었다.

연구를 통해 국내에 도래하는 수금류들은 다양한 경로와 중간기착지를 이용하여 번식지로 이동하는 것이 확인되었다. 또한 고방오리와 흰뺨검둥오리의 경우에는 지금까지 국내에서는 가락지 연구를 통해 이동경로를 유추한 바 있으나 위치추적기를 이용해 자세하게 이동경로를 밝힌 것은 본 연구를 통해 처음으로 밝혀진 결과라 매우 의미 있는 자료가 될 것이라 판단된다. 또한 이동경로, 중간기착지, 고도 및 속도 등의 자료들은 향후 수금류의 보호 및 서식지 관리를 위한 기초 연구 자료뿐만 아니라 국제적인 관점에서도 국가 간 공동보호 관리를 위한 자료로도 활용될 것이 기대된다.

V. 종합 고찰

한국은 동아시아 대양주 철새이동경로(East Asian-Australasian Flyway)에 위치해 있어 다양한 야생조류의 중간기착지 및 겨울철 월동지로 생태학적으로 매우 중요한 지역이다(이, 2000; 신, 2016). 연구대상지역인 새만금 지역은 국내 주요 철새 도래지로 매년 약 7만 마리 이상의 수조류가 도래하는 지역으로 매우 중요한 야생조류의 서식지이다(이, 2000; 강 등, 2011). 새만금을 비롯하여 국내에 가장 많이 도래하는 철새는 수금류로 한반도 전역의 하구 및 갯벌, 소하천, 농경지, 호소 등에서 흔하게 월동한다(김 등, 1997). 이들은 생태적으로 다양한 습성이 있으며, 종마다 각기 선호하는 서식지에 따라 분포경향이 달라지기 때문에 수금류의 분포 및 개체군 연구는 종 수준 뿐 아니라 군집수준에서 서식지와 직·간접적인 관련성을 연구하기에 적합하다(e.g. Paracuellos and Telleria, 2004). 현재 수금류 중 대다수를 차지하는 수면성 오리류는 전 세계적으로 매년 감소하는 추세에 있으며(최 등, 2012), 이에 따라 이들의 보호 및 서식지 관리에 대한 연구들이 진행되고는 있지만 주로 지역별 군집 조사나, 서식현황 파악 등의 연구들만 이루어졌을 뿐 종 수준에서 진행된 연구는 매우 부족한 실정이다.

연구를 통해 수금류들은 2012년부터 현재까지 수면성 오리류는 감소하는 경향이 있다는 것을 알게 되었고, 잠수성 오리류는 증가하는 경향을 보인다는 사실을 밝힐 수 있었다. 이는 일본 및 동아시아 나아가 전 세계 개체군의 이동추세(Li *et al.*, 1999; Kasahara and Koyama, 2010; BirdLife International, 2017) 및 한국의 수면성 오리류 개체군 감소율이 인근 국가인 일본에 비해 매우 심각한 수준으로 평가한 결과(최 등, 2012)와 유사한 결론을 얻을 수 있었다. 일반적으로 야생조류의 개체군 동향은 번식지와 월동지의 서식환경이 매우 중요하다(Baldassarre and Bolen, 1994; Perry and Deller, 1996; Conroy *et al.*, 2002). 국내에 도래하는 수면성 오리류는 주로 대규모 간척지에 형성된 농경지와 간척호를 중심으로 습지 지역을 중심으로 이용한다(Park *et al.*, 1996; 이, 1997; 이, 2000; 신, 2016). 그러나 최근 간척호를 비롯한 습지 지역들이 매립되거나 개발로 감소하고 있다. 새만금의 경우도 2012년부터 진행된 방수제 공사로 인해

방조제 완공 후 잔존한 습지마저도 매립이 되고 있는 실정이다(강 등, 2011). 또한 최근 가축먹이자원으로 곤포사일리지(벚짚말이)가 증가함에 따라 수면성 오리류의 주 먹이원인 낙곡이 부족하게 된 것도 하나의 요인으로 볼 수 있다(최 등, 2004; 유 등, 2008).

연구를 통해 수면성 오리류 대부분의 개체들은 월동기 동안 최초 부착지역을 중심으로 새만금 일대에서 월동하는 경향을 보이는 것을 알 수 있었다. MCP를 이용한 전체 행동권은 평균 618.3km²였으며, 핵심서식지인 KDE 50%는 63.6km²인 것으로 나타났다. 새만금의 총 면적이 간척토지 209km², 호소 118km²로 총 409km²(새만금개발청, 2011) 임을 감안하면, 월동기 동안 새만금 지역을 비롯하여 만경강, 동진강을 전체적으로 이용하는 것으로 나타났다. 서식지 이용측면에서도 3종 모두 내륙수와 논이 이용률이 높게 나타난 것은 이들의 월동기 생존에 습지와 논이 매우 필수적이라는 것을 뜻한다. 이들은 모두 주간에 습지에서 휴식을 취하고 야간에는 논에서 취식하는 경향을 보였는데 주간 동안에 공사로 인해 방해요인이 큼에도 불구하고 새만금 지역을 떠나지 않는 것은 새만금에 있는 대규모 농경지 때문으로 다른 지역보다 충분한 먹이원 확보가 가능하기 때문이다. 그러나 향후 개발로 인한 농지 용도변경 및 주변 지역의 개발에 의한 방해요인 등이 지속적으로 발생된다면 이들 서식에 부정적인 영향으로 작용할 것이라 판단된다(Kim *et al.*, 2001; 새만금개발청, 2011).

수면성 오리류는 3월 중순에서 5월 초순에 북상하기 시작하는 것을 알 수 있었다. 장거리 이동을 하는 야생조류는 번식지나 월동지까지 최단거리를 이용하는 것이 알려지기도 하였으나(Gudmundsson *et al.*, 1991; Hedenström, *et al.*, 1997), 이 연구에서는 다양한 경로와 중간기착지를 이용하여 번식지로 북상하는 것을 얻을 수 있었다. 이러한 북상 이동에 대한 정보는 기존 수금류 연구 결과와 유사하였다(Yamaguchi *et al.*, 2008; Krementz *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2016). 또한 최근의 연구결과에서는 이동철새들은 각 개체별로 기상조건이나 서식환경 조건에 따라 북상하거나 남하할 때 이동전략을 조정한다 하였다(Deppe *et al.*, 2015; Schmaljohann *et al.*, 2017; Yamaguchi and Yamamoto 2017). 한 가지 예로, 일본에서 월동하는 흑기러기는 장기간의 연구를 통해 번식지의 범위가 점차 넓어지는 경향을 보이기 때문에 향후에도 위치추적기를 이용한 지속적인

연구결과의 축적이 필요하다고 밝힌 바 있다(Shimada *et al.*, 2017).

북상 시 이들은 최소 1일에서 최장 46일까지 중간기착지를 이용하는 것으로 나타났다. 철새의 장거리 이동 전략은 각 개체별로 차이가 나며, 이동경로 상의 대기의 풍향이나 풍속과 같은 바람의 상태와 중간기착지의 서식지 질에 따라 이동 전략이 달라지는 것으로 판단된다(Tajiri *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2016; Gómez *et al.* 2017). 연구를 통해 밝혀진 중간기착지들은 대부분 강이나 하천, 저수지 등과 같은 습지 지역으로 성공적인 북상을 위해서는 습지는 필수적인 서식지이라는 사실이 재차 확인되었다. 습지는 수금류를 비롯한 수조류들의 중간기착지와 월동서식지로 필수불가결한 지역이다(Bautista, 1992; Tajiri *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2016). 그러나 현재 많은 습지들이 개발로 인해 파괴되어 가고 있으며, 과거 미국은 연간 105,218ha의 습지가 파괴되고 있다고 보고된 바 있다(Kelley, 1983). 연구를 통해 수금류의 주요 중간기착지와 번식지로 밝혀진 중국 동북부의 랴오닝성, 지린성, 헤이룽장성은 매년 농경지 면적이 큰 폭으로 상승하고 있으며, 그 중에도 옥수수, 감자와 같은 작물 역시 생산량이 크게 증가하고 있다(박 등, 2014). 또한 가축 방목을 위해 자연습지를 개간하여 인간의 토지이용빈도가 증가함에 따라 수금류의 번식지가 사라지고 있다(Chan, 1999). 번식지에서의 환경 악화는 낮은 번식률이 발생할 수밖에 없으며, 이는 결과적으로 전체 개체군의 감소를 가져온다(Newton, 1998). 또한 이동철새가 번식지나 월동지까지 장거리 이동을 성공적으로 마치기 위해서는 이동경로 상에 체력적인 안배를 제공할 수 있는 안정적인 중간기착지가 필요하다. 철새들은 중간기착지의 질이 좋지 않을수록 머무는 기간은 짧은 경향이 있는데(Pulido and Widmer, 2005; Kristensen *et al.*, 2013; Deppe *et al.*, 2015), 광범위한 습지 매립과 개발은 철새에게 있어 충분한 휴식과 에너지를 제공할 수 없게 된다. 소모된 에너지를 제대로 보충하지 못한 야생조류는 생존에 직접적인 위협을 받게 되며, 이는 결과적으로 이들 생존에 부정적인 영향을 줄 수밖에 없다(Bautista *et al.*, 1992; Newton, 2006; 빙, 2013; Shimada *et al.*, 2014). 논을 포함한 모든 습지들은 수금류에게 번식과 먹이활동을 위한 필수적인 서식지이다(Weber and Haig, 1996; Elphick and Oring, 1998; Ma *et al.*, 2004; Connor and Gabor, 2006; Desrochers *et al.*, 2008; 신, 2016), 그러나 농가의 고소득 농법으로 인해 기존의

논이나 습지를 매립하여 밭이나 하우스 설치가 증가되고 있으며, 목축업을 위해 초지대 또한 증가하고 있다(박 2014). 이는 습지를 중심으로 번식하는 수금류에게 부정적인 영향이 생길 수 밖에 없다(Vos *et al.*, 1985; Klein, 1993). 앞에서 서술한 바와 같이 수면성 오리류의 개체군은 매해 감소하는 경향을, 잠수성 오리류는 증가하는 경향을 보인다는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 툰드라지역에서 번식하는 잠수성 오리류의 경우 해당지역의 개발이 미비하여 번식에 큰 영향을 주지 않아 개체수가 증가한 것으로 판단된다. 그러나 중국 동북부 지역을 중심으로 번식하는 수면성오리류는 농지개발로 인해 중간기착지와 번식지의 감소로 개체수가 점차 감소하는 경향을 보이는 것이라 예측할 수 있다.

대표적 수면성 오리류인 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리는 월동지에서의 서식지 이용률, 월별 이동패턴, 시간대별 이동거리 등은 3종 모두 유의한 것으로 분석되었다. 또한 북상 패턴과 최종 번식지에서도 차이가 나타나는 것으로 나타났는데, 이는 같은 속(genus)에서도 도래패턴이나 이용률 등 생태적인 습성이 유사하다는 기존 연구와는 상반된 결과를 얻게 되었다(박, 2017). 이는 같은 속에 속하는 생태적으로 유사한 종이라 할지라도 종별로 가지는 행동권과 서식지 이용이 다를 수 있으며, 각각의 종마다 보호·관리 방안을 달리해야 한다는 것을 시사해주는 것이다. 또한 개체수 현황을 이용한 출발 시기와 위치추적기를 이용한 북상시기가 다소 차이를 보였는데 종 수준으로 명확하게 생태자료를 얻기 위해서는 센서스 연구뿐만 아니라 위치추적기를 활용한 종합적이고 체계적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

야생조류의 안정적인 월동기는 성공적인 번식을 유도한다(Heitmeyer and Fredrickson, 1981; Nichols and Hines, 1987; Raveling and Heitmeyer, 1989). 또한 북상 시 중간기착지에서의 충분한 에너지 보충은 번식지 도착 시 최적의 Body condition을 유지하고, 종간 경쟁에서 우위를 확보하여 성공적인 번식으로 이어진다(Baker *et al.*, 2004; Newton, 2006; Legagneux *et al.*, 2012; Finch *et al.*, 2014; Hewson *et al.*, 2016). 따라서 종 및 개체군에 대한 명확한 보호·관리가 이뤄지기 위해서는 월동지, 중간기착지, 번식지의 현황 파악과 서식지 관리가 필요하며, 이동철새 특성상 국가 간의 공동보호관리가 필요할 것이라 말할 수 있겠다. 이에 본 연구를 통해 얻은 다양한 이동생태정보들은 서식지 파괴로 인해

점차 감소하고 있는 수금류의 기초연구자료로서 매우 중요한 가치를 지니고 있다고 판단되며, 향후 수금류의 종과 개체군 보호 및 복원, 서식지 관리 등 다양한 연구 자료로 널리 활용될 것이라 기대한다.

VI. 결론 및 제언

2010년부터 2018년까지 새만금지역에서 수금류를 대상으로 개체군 변동과 위치추적기 연구를 통해 연간 수금류 변동 요인, 월동기 이동생태, 북상정보 등의 결과를 얻어 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조사기간 동안 만경강에서 관찰된 수금류는 총 24종 158,621개체(최대개체수 합계)이었다. 우점종은 청둥오리가 28.8%로 가장 우점하였으며, 검은머리흰죽지, 쇠기러기, 땃기흰죽지, 흰뺨검둥오리 등의 순으로 우점하였다.

2. 분류군별 연간 도래현황은 기러기류는 연간 감소하다가 최근에 들어서 증가하는 경향을 보였으며, 수면성오리류는 2011년 이후 매년 감소하는 경향을 보였다. 잠수성오리류는 도래 변동 폭은 크게 나타났으나 매년 증가하는 경향을 보였다.

3. 수금류 도래경향은 10월 중순에 도래를 시작하여 12월 중순에서 하순 사이에 최대 도래하였으며, 2월 하순에서 3월 초순 사이에 만경강 지역을 떠나는 경향을 보였다. 같은 속의 조류 간 도래경향이 유사했으며, 생태적 습성이 유사한 종에 따라 도래경향도 유사하게 나타났다.

4. 수금류 3종에 위치추적기를 부착하여 월동 행동권을 분석한 결과 청둥오리 평균 행동권은 MCP 628.9km², KDE 50%는 평균 71.9km²였다. 흰뺨검둥오리 월동 행동권은 MCP 51.1km², KDE 50%는 평균 4.5km²였다. 고방오리는 월동행동권은 MCP 1,175.0km², KDE 50%는 평균 114.5km²였다. 전체적으로 월동기간동안 새만금 일대를 이용하는 것으로 나타났다.

5. 주요 이용 서식지는 3종 모두 내륙수의 이용률이 가장 높게 나타났으며, 평균 47.0%의 이용률을 보였다. 그 다음으로는 수금류의 주요 취식지인 논으로 나타났다. 청둥오리와 흰뺨검둥오리는 내륙습지 이용률이 5% 이상을 기록한데 비해 고방오리는 연안습지와 해양수의 이용률이 17.8% 이상 나타나 중간 서식지 차이를 보여주었다. 3종 모두 주간에는 내륙수에서 휴식을 취하고 야간에는 논에서 취식하는 것으로 나타났다.

6. 월별 이동패턴 분석결과 청둥오리와 고방오리는 12월 초순까지 최대 이동거리가 증가하는 경향을 보였으며, 1월 하순에서 2월 초순까지 감소하는 경향을 보였다. 흰뺨검둥오리는 12월 하순까지 최대 이동거리가 증가하였으며, 1월 초순 이후에는 지속적으로 감소하였다. 3종 모두 2월 초순 이후에는 다시 증가하는 경향을 보였다. 청둥오리와 고방오리의 월별 행동권은 1월까지 유사하게 나타났으나 1월 이후 청둥오리는 행동권이 좁아졌고, 고방오리는 행동권이 넓어지는 차이를 보였다. 흰뺨검둥오리는 1월 이후 행동권이 좁아지는 경향을 보였다. 전체적인 월동행동권을 비교하였을 때 청둥오리와 고방오리에 비해 흰뺨검둥오리의 이용면적은 매우 좁게 나타났다.

7. 시간대별 이동거리 분석결과 모든 종이 16:00-18:00구간이 가장 이동거리가 길게 나타났으며, 그 다음으로 6:00-8:00 구간이 길게 나타나 이동양상 패턴이 유사하였다. 고방오리, 청둥오리, 흰뺨검둥오리 순으로 시간대별 이동거리가 많은 것으로 나타났다. 주·야간으로 나누어 분석하면 주간이 야간보다 이동거리가 길게 나타났으며, 새벽시간(0:00-06:00)에는 짧은 거리를 움직이는 경향을 보였다. 청둥오리와 고방오리를 암·수로 구분하여 시간대별 이동을 분석해보면 암·수간 이동경향은 유사하게 나타났다.

8. 수금류의 북상시기는 대부분 3월 중순에서 4월 하순 사이에 북상을 시작하였으며, 늦게는 5월 중순에도 출발하는 모습을 보였다. 이동경로는 개체별로 다양하게 나타났으며, 주로 중국 동북부 지방을 중심으로 번식지를 선택하였다. 고방오리는 러시아 사할린까지 2,132.6km 이동하여 번식하는 모습을 보였다. 위도상으로 고방오리 번식지가 가장 높았으며, 청둥오리, 흰뺨검둥오리 순으로 나타났다.

9. 수금류의 주요 중간기착지는 청둥오리는 20개, 흰뺨검둥오리 8개, 고방오리는 7개 지역으로 나타났으며, 중간기착지 별로 최소 1일에서 최장 46일 머무는 경향을 보였으나 대부분은 1~3일 사이에 이동하는 것으로 나타났다.

10. 수금류는 장거리 비행 시 평균 고도는 564.2m, 최대 1,907m로 나타났으며, 비행속도는 평균 75km/h, 최대 115km/h의 속도로 비행하는 것으로 분석되었다. 비행시간은 늦은 오후시간인 16시에서 저녁시간인 20시 사이에 출발하는 경향을 보였다. 최소 2시간에서 최장 30시간 비행하였으며, 도착시간은 대부분 새벽시간

에 도착하는 경향을 보였다. 종합적으로 저녁시간에 출발하여 새벽이나 늦어도 아침 8시 이전에 도착하는 경향을 보였다

끝으로 수금류는 주요 서식지인 습지의 상실로 인해 전 세계적으로 개체수가 감소하고 있으며, 해당 개체군의 보호 및 관리가 필요할 것으로 판단된다. 이를 위하여 다음과 같은 방안을 제시하고자 한다.

① 수금류의 주요 월동서식지인 습지 보호 및 보전, ② 수금류의 주요 먹이터인 논외 낙곡 존치를 위해 생물다양성 협약 체결, ③ 주요철새도래지에서 진행되는 공사의 경우 이동생태정보에 의해 공사구간 및 시간 설정, ④ 이동경로 상에 밝혀진 국가와 도시 간의 보호협약 체결 ⑤ 훼손된 서식지 복원을 위한 국가 간의 협력 등이 필요하다. 이와 같은 방안을 통해 거대 생태 피라미드의 한 축을 담당하는 수금류의 개체군 보호가 진행되어야하며, 향후 생물다양성 및 생태계 건강을 위해서 이와 같은 노력은 필수적일 것으로 판단된다.

VII. 적 요

본 연구는 2012년부터 2018년까지의 월동기 동안 전라북도 만경강과 새만금 지역을 중심으로 수금류의 장기 도래현황 및 월동이동생태를 파악하기 위하여 실시하였다. 이러한 연구 결과들을 종합하여 수금류의 중 및 서식지 보호 등 관리방안 도출에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

2012년부터 2018년 월동기까지 만경강에서 서식이 확인된 수금류는 총 24종 158,621개체(최대개체수 합계)이었다. 주요 우점종은 청둥오리(우점도 28.8%)가 가장 우점하였으며, 그 다음으로 검은머리흰죽지, 쇠기러기, 땃기흰죽지, 흰뺨검둥오리 등의 순으로 우점하였다. 분류군별 연간 도래현황 분석결과 기러기류는 매년 감소하다가 최근에 들어서 증가하는 경향을 보였으며, 수면성오리류는 2011년 이후 매년 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 잠수성오리류는 도래 변동 폭이 크게 나타났으나 결과적으로 증가하는 경향을 보였다. 수금류 도래경향은 10월 중순에 도래를 시작하여 12월 하순에 최대개체수가 도래하였으며, 3월 중순에 만경강 지역을 떠나는 경향을 보였다. 수금류 도래 현황에 대한 상관성 분석 결과 생태적 습성이 유사할 경우 도래 경향도 유사하였다.

청둥오리, 흰뺨검둥오리, 고방오리 3종에 위치추적기를 부착하여 행동권, 일일 이동패턴, 서식지 이용현황 등을 분석하였다. 월동 행동권을 분석한 결과 MCP 행동권은 청둥오리 628.9km², 흰뺨검둥오리 51.1km², 고방오리 1,175.0km²이었으며, 핵심서식지인 KDE 50%의 행동권은 청둥오리 71.9km², 흰뺨검둥오리 4.5km², 고방오리 114.5km²이었다. 3종 모두 월동기간동안 새만금 일대를 이용하는 것으로 나타났다. 청둥오리와 고방오리의 월별 행동권은 1월까지 유사하게 나타났으나 1월 이후 청둥오리는 행동권이 좁아졌으나 고방오리는 행동권이 넓어지는 차이를 보였다. 흰뺨검둥오리는 1월 이후 행동권이 좁아지는 경향을 보였다. 전체적인 월동행동권을 비교하였을 때 청둥오리와 고방오리에 비해 흰뺨검둥오리의 이용면적은 매우 좁게 나타났다. 주요 이용 서식지는 3종 모두 내륙수의 이용률이 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 논·의 이용률이 높았다. 기타 서식지 중 청둥오리와 흰뺨검둥오리는 내륙습지 이용률이 5% 이상을 기록한데 비해 고방오리는 연안습지와 해양수의

이용률이 17.8% 이상 나타나 중간 서식지 차이를 보여주었다. 주·야간 서식지 이용을 분석 결과 3종 모두 주간에는 내륙수에서 휴식을 취하고 야간에는 논에서 취식을 하는 것으로 나타났다. 월별 이동패턴 분석결과 이동거리는 12월 초, 하순까지 증가한 후 1월에는 감소하는 경향을 보였으며, 2월 초순부터 이동거리가 다시 증가하는 경향을 보였다. 일일 시간대별 이동거리 분석결과 3종 모두 16:00-18:00 시간대에 가장 이동거리가 길었으며, 그 다음으로 6:00-8:00 시간대에 길게 나타나 이동패턴이 유사하였다. 주·야간으로 분석결과 주간이 야간보다 이동거리가 길었으며, 새벽시간(0:00-06:00)에는 짧은 거리를 움직이는 경향을 보였다. 청둥오리와 고방오리는 수컷이 암컷보다 더 먼 거리를 이동하는 것으로 나타났다.

수금류의 북상시기는 대부분 3월 중순에서 4월 하순 사이에 북상을 시작하였으며, 늦게는 5월 중순에도 북상하였다. 이동경로는 개체별로 다양하였으며, 번식지는 중국 동북부지방이었다. 고방오리는 러시아 사할린까지 2,132.6km 이동하여 번식하는 모습을 보였다. 위도 상으로 고방오리 번식지가 가장 높았으며, 청둥오리, 흰뺨검둥오리 순으로 나타났다. 수금류의 주요 중간기착지는 청둥오리는 20개, 흰뺨검둥오리 8개, 고방오리는 7개 이었으며, 중간기착지를 대부분 1~3일 이용하였으나 최소 1일에서 최장 46일까지 이용하기도 하였다. 수금류는 북상 이동 시 평균 고도는 564.2m, 최대 1,907m 이었으며, 비행속도는 평균 75km/h, 최대 115km/h의 속도로 비행하는 것으로 분석되었다. 북상이동은 16시에서 20시 사이에 출발하는 경향을 보였으며, 비행시간은 최소 2시간에서 최대 30시간 비행하였고, 중간기착지 및 번식지 도착시간은 대부분 새벽시간에 도착하는 경향을 보였다. 결과적으로 수금류는 북상이동 시 야간에 이동하는 경향을 보였다.

본 연구를 통해 얻은 다양한 이동생태정보들은 서식지 파괴로 인해 점차 감소하고 있는 수금류의 기초연구자료로서 매우 중요한 가치를 지니고 있다고 판단되며, 향후 수금류의 종과 개체군 보호 및 복원, 서식지 관리 등 다양한 연구 자료로 널리 활용될 것이라 기대한다.

VIII. 참고문헌

- 강태한, 김달호, 조해진, 신용운, 이한수, 서재화, 황종경. 2014. 야생동물위치추적기(WT-200)를 이용한 청둥오리의 이동거리 및 행동권 연구. 한국환경생태학회지, 28(6): 642-649.
- 강태한, 김성현, 진선덕, 조해진, 백운기. 2011a. 조류에 의한 새만금 평가 연구. 한국조류학회지, 18(3): 181-189.
- 강태한, 김성현, 한성우, 이시완, 백운기. 2010. 금강 하구에 도래하는 수조류의 군집특성과 서식지 이용에 관한 연구. 한국조류학회지, 17(1): 1-10.
- 강태한, 유승화, 유재평, 이한수, 김인규. 2011b. 새만금에 도래, 월동하는 수조류 군집에 관한 연구. 한국환경생태학회지, 25(1): 81-90.
- 국립공원관리공단. 2011. 2011 조류 조사연구 결과보고서. 국립공원연구원 철새연구센터, 220pp.
- 국립생물자원관. 2018. 겨울철 조류 동시센서스. 환경부. 국립생물자원관, 229pp.
- 김미란, 남형규, 김명현, 조광진, 강기경, 나영은. 2013. 우리나라 논 이용 조류 현황. 한국환경농학회지, 32(2): 155-165.
- 김성현. 2010. 멸종위기 수리과 조류의 분포와 이동생태. 조선대학교대학원박사학위논문, 107pp.
- 김진한. 1998. 한국에 도래하는 철새의 생태와 보호관리-특히 서해안에 도래하는 수조류에 대하여. 경희대학교 박사학위 논문, 94pp.
- 김현태, 김광훈, 문형태, 조삼래. 1997. 한국 중서부 지방에서의 서식지 환경요인에 따른 청둥오리의 주간행동. 한국조류학회지, 20(1): 9-14.
- 남형규, 최승혜, 유정칠. 2015. 봄철 논습지에 도래하는 도요물떼새류의 취식행동에 따른 서식지 이용 특성 연구. 한국환경농학회지, 34(3): 178-185.
- 박문웅, 하용웅, 박근용. 2014. 중국 농업 여건의 변화. 北方農(J. North. Agri. Res.), 37(2) : 38-52.
- 박민철. 2017. 간월호 일원의 조류도래실태 및 서식지 관리방안 수립에 관한 연

- 구. 공주대학교 대학원 박사학위논문, 112pp.
- 박진영, 원병오. 1993. 주남저수지에 도래하는 큰기러기와 쇠기러기의 월동생태. 경희대학교 부설 한국조류연구소 연구보고, 4: 1-24.
- 백인환, 진선덕, 유재평, 백운기. 2010. 태안해안국립공원의 번식기 조류상과 관리. 한국환경생태학회지, 24(2): 139-146.
- 빙기창. 2013. 철새 중간기착지에서 발생하는 조류사고원인 분석에 관한 연구. 조선대학교 대학원 박사학위논문, 96pp.
- 새만금개발청. 2011. 새만금 종합개발계획. 새만금개발청, 202pp
- 신용운. 2016. 서·남해안 연안습지의 수조류 군집 특성 및 서식지 이용. 제주대학교 대학원 박사학위논문, 102pp
- 신용운, 신만석, 이한수, 강용명, 문운경, 박홍식, 오홍식. 2016a. 위치추적기(WT-200)를 이용한 흰뺨검둥오리의 서식지 이용에 관한 연구. 한국환경생태학회지, 30(2): 146-154.
- 신용운, 신만석, 이한수, 강용명, 정우석, 최지다, 윤하정, 오홍식. 2016b. 청둥오리와 흰뺨검둥오리의 월동기 행동권 비교 연구. 한국환경생태학회지, 30(2): 165-172.
- 신용운, 신만석, 이한수, 한승우, 정상민, 오홍식. 2016c. 월동기 흰뺨검둥오리의 일일 서식지 이용에 관한 연구. 한국환경생태학회지, 30(3): 328-334.
- 원병오. 1987. 두루미류 월동실태 학술조사보고서. 문공부문화재관리국 및 경희대학교 조류연구소, 12-13.
- 유승화, 김인규, 강태한, 조해진, 유재평, 이시완, 이한수. 2008. 천수만에서 월동하는 조류군집과 먹이자원과의 관계. 한국환경생태학회지, 22(3): 301-308.
- 유승화, 김준범, 김인규. 2008. 천수만에 도래하는 기러기류의 분포양상과 시기에 따른 분포의 변화. 한국환경생태학회지, 22(6): 632-639.
- 유정철, 권영수. 2004. 한강 강서습지생태공원 일대의 조류. 한국조류연구소 연구보고, 9: 49-57.
- 이기섭. 2000. 한국의 서해안에 도래하는 수조류의 실태와 개체수 변동. 경희대학교 대학원 박사학위논문, 211pp.

- 이기섭, 백운기, 유정철. 2002. 만경강하구 간석지의 수조류 월동과 이동경로로의 중요성. 한국조류연구소 연구보고, 8(1): 1-6.
- 이두표. 1997. 영암호에 도래, 월동하는 수조류 군집에 관한 연구. 한국조류연구소 연구보고, 6: 55-62.
- 이두표, 이승연, 한승우. 2012. 순천만 갯벌에서 섬금류의 도래현황 및 도래시기에 관한 연구. 한국조류학회지, 19(3): 223-235.
- 정상민. 2014. 순천만에 도요·물떼새의 도래현황. 호남대학교 대학원 석사학위논문, 28pp.
- 최영복, 정숙희, 유승화, 강태한, 이한수, 백운기, 최충길, 김인규. 2007. 전라남도 연안습지에 도래하는 수조류의 월동지 이용에 관한 연구. 한국환경생태학회지, 21(3): 197-206.
- 최영복, 정숙희. 1995. 중부 이남 서해안에 도래하는 섬금류에 관한 현황 - 전라북도 광활 지역의 갯벌을 중심으로. 한국조류학회지, 2(1): 57-73.
- 최유성, 권인기, 유정철. 2004. 수조류의 논 이용실태. 한국자연보존연구지, 2: 43-59.
- 최유성, 허위행, 김성현, 강승구, 김진한, 김화정, 손종성, 박진영, 이정연, 김창희, 강종현, 한상훈. 2012. 한국에서 월동하는 오리류의 개체군 경향. 한국조류학회지, 19(3): 185-200.
- 최정훈, 오찬성, 조영권, 안치호. 2013. 새만금호 방수제 공사에 따른 관리수위 운영과 환경변화에 관한 고찰. 한국해양환경에너지학회지, 16(4): 290-298.
- 한국조류학회. 2009. 한국 조류 목록. 한림원(주), 133pp.
- 황종경, 신만석, 강용명, 윤하정, 최지다, 정우석, 이준우. 2016. 흰뺨검둥오리의 지역간 월동서식지이용 비교분석. 한국환경생태학회지, 30(2): 165-172.
- Able, K. P. 1970. A radar study of the altitude of nocturnal passerine migration. Bird-Banding, 41: 282-290.
- Aebischer, A., M. Perrin, M. Krieg, J. Struder and D. R. Meyer. 1996. The role of territory choice and arrival date on breeding success in the Savi's Warbler *Locustella luscinioides*. J. Avian Bio., 27: 143-152.
- Aebischer, N. J. and P. A. Robertson. 1993. Compositional analysis habitat use

- from animal radio-tracking data. *Ecology*, 74(5): 1313-1325.
- An, S., J. H. Lee., H. J. Woo, B. J. Koo, H. G. Lee, J. W. Yoo and J. G. Je. 2006. Benthic Environment and Macrofaunal Community Changes During the Dike Construction in Saemangeum Subtidal Area, Korea. *Ocean and Polar Research*, 28(4): 369-383.
- Arzel, C., J. Elmberg and M. Guillemain. 2006. Ecology of spring-migration Anatidae: a review. *J. Ornithology*, 147: 167-184.
- Baker, A. J., P. M. Gonzalez, T. Piersma, L. J. Niles, I. L. S. Nascimento, P. W. A Philip, N. A. Clark, D. T. M Clive, K. P Mark and G. Aarts. 2004. Rapid population decline in Red Knots: Fitness consequences of decreased refuelling rates and late arrival in Delaware Bay. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 271(1541), 875.
- Baldassarre, G. A. and E. G. Bolen. 1994. *Waterfowl Ecology and Management*. John Wiley, New York. 609pp.
- Barbier, E. B., M. Acreman and D. Knowler. 1997. *Economic valuation of wetlands: a guide for policy makers and planners*. Ramsar Convention Bureau, Gland.
- Barnosky, A. D., N. Matzke, S. Tomiya, G. O. U. Wogan, B. Swartz, C. Marshall, J. L. McGuire, E. L. Lindsey, K. C. Maguire, B. Mersey and E. A. Ferrer. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471: 51-57.
- Bautista, L. M., J. C. Alonso and J. A. Alonso. 1992. A 20-year study of wintering common crane fluctuations using time series analysis. *J. Wildl. Manage.*, 56: 563-572.
- Bellrose, F. C. 1967. Radar in orientation research. *Proc. XIVth International Ornith. Congr.*, 1966. pp. 128-143.
- Bellrose, F. C. 1971. The distribution of nocturnal migrations in the air space. *Auk*, 88: 397-424.

- BirdLife International. 2017. IUCN Red List of Birds.
- Blackwel, M. S. A. and E. S. Pilgrim. 2011. Ecosystem services delivered by small-scale wetlands. *Hydrological Sciences Journal*, 56: 1467-1484.
- Brower, J. Zar and C. Von Ende. 1990. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Third Ed., Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, 237pp.
- Bruderer, B. 1971. Radarbeobachtungenuber den Fruhlingszug im Schweizerischen Mittelland. *Ornith. Beob.*, 68: 89-158.
- Buckton, S. 2007. Managing wetlands for sustainable livelihoods at Koshi Tappu. *Danphe.*, 16(1): 12-13.
- Burger, J. 1988. Effects of demolition and beach clean-up operations on birds on a coastal mudflat in New Jersey. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 27: 95-108.
- Chan, S. 1999. *Atlas of Key Sites for Cranes in the North East Asian Flyway*. Wetland International, Japan. 67pp.
- Chen, S. H., P. Ding, G. M. Zheng and Y. Zhuge. 2002. The richness of island habitat avian communities and influencing factors. *Acta Ecologica Sinca*, 22(2): 141-149.
- Cho, H. J., D. H. Kim, I. K. Kim, T. H. Kang, C. Y. Park, Y. U. Shin, S. W. Han, W. H. Hur, O. K. Moon and J. P. Yu. 2013. Report on bird-banding in Korea-about ducks. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 6(3): 383-390.
- Cochran, W. W. and C. G. Kjos. 1985. Wind drift and migration of thrushes: a telemetry study. *Illinois Nat. Hist. Surv. Bull.*, 33: 297 - 330.
- Connor, K. J. and S. Gabor. 2006. Breeding waterbird wetland habitat availability and response to water-level management in Saint John River floodplain wetlands, New Brunswick. *Hydrobiologia*, 567: 169-181.
- Conroy, M. J., M. W. Miller and J. E. Hines. 2002. Identification and synthetic

- modeling of factors affecting American Black Duck populations. *Wildlife Monographs*, 150: 1-64.
- Cooper, J. W. 1992. Aquatic invertebrates important for waterfowl production: J. Eldridge, Fish & Wildlife Leaflet—US Fish & Wildlife Service, 13.3. 3, 1990, 7pp. *Biological Conservation*, 59(2-3): 274.
- Davis, T. J. 1994. A guide to the convention on wetlands of international importance especially as waterfowl habitat. The Ramsar Convention Manual. Ramsar Convention Bureau.
- Davis, B. E. and A. D. Afton. 2010. Movement distances and habitat switching by female mallards wintering in the Lower Mississippi Alluvial valley. *Waterbirds*, 33(3): 349-356.
- De la Hera, A., J. M. Fornes and M. Bernues. 2011. Ecosystem services of Inland wetlands from the perspective of the EU Water Framework Directive implementation in Spain. *Hydrological Sciences Journal*, 56: 1656-1666.
- Deppe, J. L., Ward, M. P., Bolus, R. T., Diehl, R. H., Celis-Murillo, A., Zenzal, T. J. and D. A. Enstrom. 2015. Fat, weather, and date affect migratory songbirds' departure decisions, routes, and time it takes to cross the Gulf of Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(46): E6331-E6338.
- Desrochers, D. W., J. C. Keagy, D. A. Cristol. 2008. Created versus natural wetlands bird foraging habitat use at an irrigation reservoir, Lake Kerkini, Greece. *Colonial Waterbirds*, 20: 244-252.
- Eastwood, E. and G. C. Rider. 1965. Some radar measurements of the altitude of bird flight. *Brit. Birds*, 58: 393-426.
- Elphick, C. S. and L. W. Oring. 1998. Winter management of California rice fields for waterbirds. *Journal of Applied Ecology*, 35: 95-108.
- Fischer, J. W., W. D. Walter and M. L. Avery. 2013. Brownian Bridge Movement Models to Characterize Birds' Home Ranges: Modelos de

- Movimiento de Puente Browniano Para Caracterizar el Rango de Hogar de las Aves. *The Condor*, 115(2): 298.
- Fredrickson, L. H. and F. A. Reid. 1988. Invertebrate Response to Wetland Management. Fish and Wild. Leaflet 13.3.1., Wash., D.C., 6pp.
- Gauthreaux, Jr. S. A. 1971. A radar and direct visual study of passerine spring migration in southern Louisiana. *Auk*, 88: 343-365.
- Ghermandi, A., J. C. van den Bergh, L. M. Brander, H. L. de Groot and P. A. Nunes. 2010. Values of natural and human-made wetlands: a meta-analysis. *Water Resources Research*, 46(12): W12516
- Gibbs, J. P. 1993. The importance of small wetlands for the persistence of local populations of wetland-associated animals. *Wetlands*, 13: 25-31.
- Gómez, C., N. J. Bayly, D. R. Norris, S. A. Mackenzie, K. V. Rosenberg, P. D. Taylor, K. A. Hobson and C. D. Cadena. 2017. Fuel loads acquired at a stopover site influence the pace of intercontinental migration in a boreal songbird. *Scientific reports*, 7(1), 3405.
- Greer, D. M., B. D. Dugger, K. J. Reinecke and M. J. Petrie. 2009. Depletion of rice as a food of waterfowl wintering in the Mississippi Alluvial Valley. *Journal of Wildlife Management*, 73: 1125-1133.
- Gudmundsson, G. A., Å. Lindstrom, and T. Alerstam. 1991. Optimal fat loads and long distance flights by migrating Knots *Calidris canutus*, Sanderlings *C. alba* and Turnstones *Arenaria interpres*. *Ibis*, 133(2), 140-152.
- Harper, W. G. 1958. Detection of birds by centrimetric radar : A cause of radar "angels." *Proc. Royal Soc. London B*, 149: 484-502.
- Hedenström, A. and T. Alerstam. 1997. Optimum fuel loads in migratory birds: distinguishing between time and energy minimization. *J. theor. Biol.*, 189(3): 227-234.
- Heitmeyer, M. E. and L. H. Fredrickson. 1981. Do wetland conditions in the Mississippi Delta hardwoods influence mallard recruitment? *Trans.*

- North Am. Wildl. Nat. Resour. Conf., 46: 44-57.
- Hewson, C. M., K. Thorup, J. W. Pearce-Higgins and P. W. Atkinson. 2016. Population decline is linked to migration route in the Common Cuckoo. *Nature communications*, 7: 12296.
- Hilton, M. J., S. S. Manning. 1995. Conversion of coastal habitats in Singapore: Indications of unsustainable development, 22(4): 307-322.
- Horowitz, P., and C. M. Finlayson. 2011. Wetlands as settings for human health: incorporating ecosystem services and health impact assessment into water resource management. *ioScience*, 61: 678-688.
- Johnsgard, P. A. 1978. *Ducks, Geese, and Swans of the World*. University of Nebraska Press, Lincoln and London.
- Jokimaki J. and J. Suhonen. 1993. Effects of urbanization on the breeding bird species richness in Finland: a bio-geographical comparison. *Ornis Fennica*, 70: 71-77.
- Jorde, D. G., G. L. Krapu and R. D. Crawford. 1983. Feeding ecology of Mallards wintering in Nebraska. *J. Wildl. Manage.*, 47: 1044-1053.
- Kasahara, S. and K. Koyama. 2010. Population trends of common wintering waterfowl in Japan: participatory monitoring data from 1996 to 2009. *Ornithological Science*, 9: 23-36.
- Kelly, J. R., M. K. Laubhan, F. A. Reid, J. S., Wortham and L. H. Fredrickson. 1993. 13.4. 8. Options for Water-level Control in Developed Wetlands. *Waterfowl Management Handbook*, 28.
- Kenward, R. E. 1985. *Raptor Radio-Tracking and Telemetry*. ICBP Technical Publication, 5: 409-420.
- Kim, J. H. 1998. *Ecology and Management of Migratory Birds in Korea*. Ph. D. Thesis, Kyung Hee University, 94pp.
- Kim, J. H., B. H. Yoo, C. M. Won, J. Y. Park and J. Y. Yi. 2001. An agricultural habitat indicator for wildlife in Korea. *Proceedings from an OECD Expert Meeting 2001, Zurich*. 94-104.

- Kim, W. B., H. S. Oh and H. S. Park. 1996. The fluctuation of individuals and activity patterns of *Anas* species wintering on Cheju-Island. *Korean Journal of Ornithology*, 3(1): 23-31.
- Klein M. L. 1993. Waterbird behavioral responses to human disturbances. *Wildlife Society*, 21(1): 31-39.
- Korea Rural Community Corporation. 2005. Habitats and shelters for Migratory Birds(Ⅱ). 152pp.
- Korea Water Resource Corporation. 2005. Ecological Network Planning in Sihwa District. 264pp.
- Krementz, D. G., K. Asante and L. W. Naylor. 2011. Spring migration of mallards from Arkansas as determined by satellite telemetry. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 2(2): 156-168.
- Kristensen, M. W., A. P. Tøttrup and K. Thorup. 2013. Migration of the Common Redstart (*Phoenicurus phoenicurus*): A Eurasian songbird wintering in highly seasonal conditions in the West African Sahel. *The Auk*, 130(2): 258-264.
- Kushlan, J. A. 1993. Colonial waterbirds as bioindicators of environmental change. *Colonial Waterbirds*, 16: 223-251.
- Lee, D. H. and C. S. Song, 2013. Surveillance of wild birds for avian influenza virus in Korea. *Korea J Vet Res*, 53(4): 193-197.
- Lee, K. S., I. K. Baek and J. C. Yoo. 2002a. Important Wintering & Migrating route for Waterbirds on the Intertidal Mudflat of Mankyung River Estuary. *Bull. Kor. Inst. Orni.*, 8(1): 1-7.
- Lee, W. S., C. R. Park., S. J. Rhim and W. H Hur. 2002b. Characteristics of Bird Community in Mangyeong River Area. *Korean J. Ecol.*, 25(3): 131-137.
- Lee, T. W., H. B. Hwang and S. W. Hwang. 2007. Change in Fish Species Composition in the Saemangeum Reservoir after the Construction of Dike in 2006-2007. *Journal of the Korean Society of Oceanography*,

12(3): 191-199.

- Legagneux, P., P. L. Fast, G. Gauthier and J. Bêty. 2012. Manipulating individual state during migration provides evidence for carry-over effects modulated by environmental conditions. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 279(1730): 876-883.
- Link, P. T., A. D. Afton, R. R. Cox Jr., and B. E. Davis. 2011. Daily Movements of Female Mallards Wintering in Southwestern Louisiana. *Waterbirds*, 34(4): 422-428.
- Loesch, C. R. and R. M. Kaminski. 1989. Winter body-weight patterns of female Mallards fed agricultural seeds. *Journal of Wildlife Management*, 53(4): 1081-1087.
- Lozano, G. A., S. Perrault and R. E. Lemon. 1996. Age, arrival date and reproductive success of male American Redstarts *Setophaga ruticilla*. *J. Avian Biol.*, 27: 164-170.
- Ma Z., B. Li, B. Zhao, K. Jing, S. Tang and J. Chen. 2004. Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds? - A case study on Chongming Island, China. *Biodiversity and Conservation*, 13(2): 333-350.
- Mistry, J., A. Beraldi and M. Simpson. 2008. Birds as indicators of wetland status and change in the North Rupununi, Guyana. *Biodiversity and Conservation*, 17: 2383-2409.
- Moller, A. P. 1994. *Sexual selection and the Barn Swallow*. Oxford, University Press. 358pp
- Monroe, Jr., B. L. and C. G. Sibley. 1993. *A World Checklist of Birds*. Yale Univ. Press. New Haven and London. 10pp
- Newton, I. 1998. *Population limitation in birds*. Academic Press, San Diego. 597pp.
- Newton, I. 2006. Can conditions experienced during migration limit the population levels of bird? *J. Ornithol.*, 147: 146-166.

- Nichols, J. D. and J. E. Hines. 1987. Population ecology of the mallard. Winter distribution patterns and survival rates of winter-banded mallards. U.S. Fish and Wildl. Serv., Publ. 162: 154pp.
- Nisbet, I. C. T. 1963. Measurements with radar of the height of nocturnal migration over Cape Cod, Massachusetts. *Bird-Banding*, 34: 57-67.
- Owen, M. 1978. Food selection in geese. *Verh. Orn. Ges. Bayern* 23: 169-176.
- Paracuellos, M. 2006. How can habitat selection affect the use of a wetland complex by waterbirds? *Biodiversity and Conservation*, 15: 4569-4582.
- Paracuellos, M. and J. L. Tellería. 2004. Factors affecting the distribution of a waterbird community: the role of habitat configuration and bird abundance. *Waterbirds*, 27: 446-453.
- Park, J. Y., K. S. Lee, J. B. Lee and J. C. Yoo. 1996. Wintering waterbirds in Daeho Lake, 1994-95. *The Bulletin of Korea Institute of Ornithology* 5: 33-37.
- Park, S. G., K. S. Lee and J. C. Yoo. 2000. Effect of the hunting activities on wintering waterbird population. *Korean Journal of Ornithology*, 7(2): 55-62.
- Perry, M. C. and A. S. Deller. 1996. Review of factors affecting the distribution and abundance of waterfowl in shallow-water habitats of Chesapeake Bay. *Estuaries*, 19: 272-278.
- Pimm, S. L., G. J. Russell, J. L. Gittleman and T. M. Brooks 1995. The future of biodiversity. *Science*, 269: 347-350.
- Finch, T., J. W. Pearce-Higgins, D. I. Leech, and K. L. Evans. 2014. Carry-over effects from passage regions are more important than breeding climate in determining the breeding phenology and performance of three avian migrants of conservation concern. *Biodiversity and conservation*, 23(10): 2427-2444.
- Pulido, F. and M. Widmer. 2005. Are Long Distance Migrants Constrained in Their Evolutionary Response to Environmental Change?: Causes of

- Variation in the Timing of Autumn Migration in a Blackcap (*S. atricapilla*) and Two Garden Warbler (*Sylvia borin*) Populations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1046(1): 228-241.
- Quan, R., X. Wen and X. Yang. 2002. Effects of human activities on migratory waterbirds at Lashihai Lake, China. *Biological Conservation*, 108: 273-279.
- Quinlan, E. E. and G. A. Baldassarre. 1984. Activity budgets of nonbreeding Green-winged Teal on playa lakes in Texas. *J. Wildl. Manage.*, 48: 838-845.
- Ramsar Convention Bureau. 1997. *The Ramsar Convention Manual: a guide to the convention on Wetlands*(Ramsar, Iran, 1971). 2nd ed. Ramsar Convention Bureau.Gland.
- Raveling, D. G. and M. E. Heitmeyer. 1989. Relationships of population size and recruitment of pintails to habitat conditions and harvest. *J. Wildl. Manage.*, 53: 1088-1103.
- Reminton, T. E. and C. E. Braun. 1988. Cacass composition and energy reserves of Sage grouse during winter. *Condor*, 90: 15-19.
- Remsen, J. V., M. M. Swan, S. W. Cardiff and K. V. Rosenberg. 1991. The importance of the rice-growing region of south-central Louisiana to winter populations of shorebirds, raptors, waders, and other birds. *Journal of Louisiana Ornithology*, 1: 35-47.
- Roth, T. C., W. E. Vetter, and S. L. Lima. 2008. Spatial Ecology of Winting Accipiter Hawks: Home Range, Habitat Use, and the Influence of Bird Feeders. *The Condor*, 110(2): 260-268.
- Schnell, G. D. and J. J. Hellack 1979. Bird flight speeds in nature: Optimized or a compromise? *Amer. Nat.*, 113: 53-66.
- Sibley, C. G and B. L. Monroe Jr. 1990. *Distribution and Taxonomy of Birds of the World*. Yale Univ. Press. New Haven and London.
- Shimada, T., N. Hijikata, K. I. Tokita, K. Uchida, M. Kurechi, H. Suginome

- and H. Higuchi. 2017. Spring migration of Brent Geese wintering in Japan extends into Russian high arctic. *Ornithological Science*, 16(2): 159–162.
- Shimada, T., N. M. Yamaguchi, N. Hijikata, E. Hiraoka, J. W. Hupp, P. L. Flint, K. Tokita, G. Fujita, K. Uchida, S. Fumio, M. Kurechi, M. Pearce John, A. M. Ramey and H. Higuchi. 2014. Satellite tracking of migrating Whooper Swans *Cygnus cygnus* wintering in Japan. *Ornithological Science*, 13(2): 67–75.
- Sim, K. S. and C. L. Lee. 1999. Fish Fauna of the Saemankum Area in the West Coast of Chollabuk-do, Korea. *Korea J. Environ. Bilo.*, 17(3): 293–303.
- Sin, M. H. and C. H. Kim. 2010. Traits of Water Level Control by Sluice Gates and Halophyte Community Formation in Saemangeum. *Kor. J. Env. Eco.*, 24(2): 186–193.
- Tajiri, H., Y. Sakurai., K. Tagome, Y. Nakano, Y. Yamamoto, T. Ikeda, Y. Yamamura and K. Ohkawara. 2015. Satellite telemetry of the annual migration of Baikal Teal *Anas formosa* wintering at Katano-kamoike, Ishikawa, Japan. *Ornithological Science*, 14(2): 69–77.
- Tang, S. M., L. J. Tiang, H. M. Li. 2003. Effects of urbanization on avian community at Wujiaochang, Shanghai. *Shanghai Environmental Sciences*, 22(6): 406–410.
- Vitousek, P. M. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*, 75: 3–15.
- Vos D. K., R. A. Ryder and W. D. Graul. 1985. Response of breeding great blue herons to human disturbance in northcentral Colorado. *Colonial Waterbirds*, 8: 13–22.
- Weber, L. M. and S. M. Haig. 1996. Shorebird use of south Carolina managed and natural coastal wetlands. *Journal of Wildlife Management*, 60(1): 73–82.

- Whittaker, R. H. and G. E. Likens. 1973. Primary production: the biosphere and man. *Hum. Ecology*, 1: 357-369.
- Yamaguchi, N., E. Hiraoka, M. Fujita, M. Ueta, K. Takagi, S. Konno, M. Okuyama, Y. Watanabe, Y. Osa, E. Morishita, K. Tokita, K. Umada, G. Fujita and H. Higuchi. 2008. Spring migration routes of mallards(*Anas platyrhynchos*) that winter in Japan, determined from satellite telemetry. *Zoological Science*, 25: 875-881.
- Yamaguchi, N. M. and T. Yamamoto. 2017. The effects of weather conditions on avian movements. *Ornithological Science*, 16(1): 3-3.
- Yamamoto, T., H. Kohno, A. Mizutani, H. Sato, H. Yamagishi, Y. Fujii and K. Yoda. 2017. Effect of wind on the flight of Brown Booby fledglings. *Ornithological Science*, 16(1): 17-22.
- Yee, A. T. K., W. F. Ang, S. Teo, S. C. Liew and H. T. W. Tan. 2010. The Present extent of mangrove forests in Singapore. *Nature in Singapore*, 3: 139-145.
- Zedler, J. B. and S. Kercher. 2005. Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environmental Resources*, 30: 39-74.
- Zheng, G. M. 1984. Ecological distribution of birds in Beijing and its vicinity during summer. *Zoological Research*, 5(1): 29-40.
- Zhuge, Y. and S. R. Jiang. 1983. A survey on birds in Hangzhou. *Journal of Hangzhou University*, 10(S1): 50-64.

Appendix 1. The list of waterfowls on Mankyung river district from 2010 to 2018 in wintering

Scientific name	'10-'11	'11-'12	'12-'13	'13-'14	'14-'15	'15-'16	'16-'17	'17-'18	Maximum count
<i>Anser cygnoides</i>		43		6					43
<i>Anser fabalis</i>	128	243	3,555	5,192	3,534	1,465	828	1,185	5,192
<i>Anser albifrons</i>	2,987	10,887	17,062	3,530	3,820	235	1,384	2,714	17,062
<i>Cygnus cygnus</i>	118	49	127	49	180	217	80	41	217
<i>Tadorna tadorna</i>	2,957	27	6,029	1,384	708	775	1,341	1,600	6,029
<i>Tadorna ferruginea</i>	4		6	28		165		4	165
<i>Aix galericulata</i>	70		31		26	9	8		70
<i>Anas strepera</i>	2	25	23	32	168	35	136	210	210
<i>Anas falcata</i>	5		9	35	13	273	25	99	273
<i>Anas penelope</i>	1,889	649	606	826	268	419	780	850	1,889
<i>Anas platyrhynchos</i>	45,616	10,491	36,414	12,448	31,337	14,634	26,570	22,412	45,616
<i>Anas poecilorhyncha</i>	7,010	2,827	9,637	5,239	6,507	7,979	12,065	13,588	13,588
<i>Anas clypeata</i>	436	30	1,462	1,880	194	477	423	341	1,880
<i>Anas acuta</i>	733	30	1,163	48	267	15	1,806	640	1,806
<i>Anas formosa</i>	1	100			7		1		100

Appendix 1. Continued

Scientific name	'10-'11	'11-'12	'12-'13	'13-'14	'14-'15	'15-'16	'16-'17	'17-'18	Maximum count
<i>Anas querquedula</i>		1							1
<i>Anas crecca</i>	1,379	343	1,378	2,044	2,706	2,003	1,431	1,754	2,706
<i>Aythya ferina</i>	995	9	1,907	260	5,282	1,448	1,535	7,700	7,700
<i>Aythya fuligula</i>	185	6	4,347	308	15,095	31	250	3,700	15,095
<i>Aythya marila</i>	4,024	64	3,316	27	5,000	36,723	1,733	13,000	36,723
<i>Bucephala clangula</i>			6			38	180		180
<i>Mergellus albellus</i>	6	15	8						15
<i>Mergus merganser</i>	269	9	1,875	2,060	100	223	529	384	2,060
<i>Mergus serrator</i>			2						2
No. of species	20	17	23	17	19	19	19	17	24
Total of individuals	68,814	25,804	89,007	35,390	75,218	67,164	51,105	70,222	158,622
Goose	3,115	11,130	20,660	8,722	7,360	1,700	2,212	3,899	22,297
Dabbling duck	60,220	14,571	56,886	24,013	42,381	27,001	44,666	41,539	74,550
Diving duck	5,479	103	11,461	2,655	25,477	38,463	4,227	24,784	61,775

Appendix 2. Monthly change in mean number of individuals of waterfowls in Mankyung river district from 2016 to 2017

Scientific name	1st Oct.	2nd Oct.	3rd Oct.	1st Nov.	2nd Nov.	3rd Nov.	1st Dec.	2nd Dec.	3rd Dec.	1st Jan.	2nd Jan.	3rd Jan.	1st Feb.	2nd Feb.	3rd Feb.	1st Mar.	2nd Mar.	3rd Mar.	1st Apr.	2nd Apr.	3rd Apr.
<i>Anser fabalis</i>							15	35	440	85	12	828	510	80							
<i>Anser albifrons</i>					34		1,080	460	287	600	918	38	151	1,384	1,241	40					
<i>Cygnus cygnus</i>				2	56	27	34	80	34	75	51	55	27	54	8	2					
<i>Tadorna tadorna</i>	144	74	150	355	1,045	1,341	874	580	1,021	915	264	377	152	151	17	58	20	17	5	34	
<i>Aix galericulata</i>									8												
<i>Anas strepera</i>								80		77											136
<i>Anas falcata</i>								25													
<i>Anas penelope</i>						55	86	320	293	780	419	590	388	264	50	10					17
<i>Anas platyrhynchos</i>	152	132	750	1,977	3,669	2,580	8,871	10,300	26,570	12,400	3,327	3,190	6,871	244	573	499	514	641	140	30	
<i>Anas poecilorhyncha</i>	621	757	2,750	2,541	1,188	2,280	4,050	3,658	12,065	3,650	4,900	5,569	3,454	4,177	521	1,087	877	1,034	211	58	116
<i>Anas clypeata</i>				6	15		14	10	37	66	423	27	44	15	114	27					50
<i>Anas acuta</i>			200	248	152	234	687	1,806	450	300	14	85	147	267	378	45	23	10	3		
<i>Anas formosa</i>										1											
<i>Anas crecca</i>	37	82	100	887	1,431	1,080	1,287	1,340	389	650	99	386	31	143	24						12
<i>Aythya ferina</i>		1,535		348	143		100	99		34	1			300							

Appendix 2. Continued

Scientific name	1st Oct.	2nd	3rd	1st Nov.	2nd	3rd	1st Dec.	2nd	3rd	1st Jan.	2nd	3rd	1st Feb.	2nd	3rd	1st Mar.	2nd	3rd	1st Apr.	2nd	3rd	
<i>Aythya fuligula</i>	8	250		58	65			25		31												
<i>Aythya marila</i>	22	1,733		840	548	354	380	240	188	120	97	85	142	100	64			17				
<i>Bucephala clangula</i>				1			1	3			180											
<i>Mergus merganser</i>				184	529			71		39	20	6	53	27								
Total	984	4,563	3,950	7,447	8,875	7,951	17,464	19,112	41,377	20,178	10,738	10,422	11,429	7,894	3,619	1,670	1,472	2,322	371	93	179	

Appendix 3. Monthly change in mean number of individuals of waterfowls in Mankyung river district from 2017 to 2018

Scientific name	1st Oct.	2nd Oct.	3rd Oct.	1st Nov.	2nd Nov.	3rd Nov.	1st Dec.	2nd Dec.	3rd Dec.	1st Jan.	2nd Jan.	3rd Jan.	1st Feb.	2nd Feb.	3rd Feb.	1st Mar.	2nd Mar.	3rd Mar.	1st Apr.	2nd Apr.	3rd Apr.	
<i>Anser fabalis</i>		190			850	700	40	1,121	800	870	29	530	801	1,185	500	210						
<i>Anser albifrons</i>		23			100	350	62	380	600	2,714	20	1,200	866	1,922	1,500	300						
<i>Cygnus cygnus</i>			3		41					25												
<i>Tadorna tadorna</i>		230	131	487	933	1,085	851	860	666	471	88	41	1,600	160	100	58	187	19	8	17		
<i>Tadorna ferruginea</i>							2	4														
<i>Anas strepera</i>						30	60	31	30	99		105	210	44				26				
<i>Anas falcata</i>							75	31					55								25	
<i>Anas penelope</i>			7			346	88	148	850	54	75	242	78	75	140			6				
<i>Anas platyrhynchos</i>	341	2,445	204	2,496	2,003	6,350	9,623	22,412	2,520	16,920	5,288	3,332	7,581	888	410	284	60	72	15	10	2	
<i>Anas poecilorhyncha</i>	445	1,918	1,692	1,847	1,525	2,450	2,154	13,588	280	10,841	251	1,860	4,574	479	352	488	150	193	65	20	75	
<i>Anas clypeata</i>					51		15	140		106			341	264	8						19	
<i>Anas acuta</i>				58	215	198	145	210	640	110	38	60	428	44								
<i>Anas crecca</i>	20	890	111		1,119	523	267		230	1,284	76	312	1,754	68	90							32
<i>Aythya ferina</i>	310	3,500	6,870	4,100	7,700	5,300	2	642	241	17	165	354	600	16								
<i>Aythya fuligula</i>	184	1,800	3,540	2,300	3,700	2,100	6	512	530	135	6	650	250									

Appendix 3. Continued

Scientific name	1st Oct.	2nd	3rd	1st Nov.	2nd	3rd	1st Dec.	2nd	3rd	1st Jan.	2nd	3rd	1st Feb.	2nd	3rd	1st Mar.	2nd	3rd	1st Apr.	2nd	3rd	
<i>Aythya marila</i>	150	1,000	2,541	1,340	8,500	7,200	150	7,124	9,800	13,000	3,200	800	1,020	50								
<i>Mergus merganser</i>					384		10		190	20	41	10	120	112	10							
Total	1,450	11,986	15,089	12,628	27,121	26,602	13,550	47,168	17,381	46,666	9,277	9,496	20,278	5,263	3,154	1,340	397	348	88	47	121	

감사의 글

이 논문을 쓸 수 있도록 제게 지혜와 명철을 주신 하나님께 감사와 영광을 드립니다. 20대 중반에 조류학 공부를 시작해서 지금 이 순간까지 쉽 없이 달려 왔습니다. 제 힘 만이 아닌 크고 작은 인연들 가운데 제가 성장할 수 있었습니다. 그동안 제게 도움을 주신 모든 분들께 이 글을 빌어 감사를 드립니다.

먼저 부족한 제자이지만 언제나 올바르게, 따뜻하게 품어주시고 지도해주신 오홍식 교수님께 감사드립니다. 가끔 호되게 혼내셨던 그 모든 것들이 저를 위해 하셨던 것이라는 것을 논문을 쓰면서 많이 느꼈습니다. 학술논문 투고나 발표를 비롯하여 박사과정의 전반적인 것을 교수님의 격려와 관심으로 모두 해낼 수 있었습니다. 인준 받던 날 교수님께서 제게 말씀하신 것처럼 이제는 한 연구자로서 자신의 몫을 감당하며 바로 서도록 하겠습니다. 정말 감사드립니다!

또한 아무것도 모르는 타학과 편입생을 석사까지 생물학 기초를 닦도록 도와주시고 이번에도 심사위원장을 맡아주신 이두표 교수님께도 감사드립니다. 학부 때부터 교수님께서 세세하게 지도해주시지 않았다면, 지금의 저는 단순히 돈을 쫓아가며 살아가는 사람이 되었을 겁니다. 교수님께서 알려주신 크고 작은 지식들을 잘 쌓아서 지혜로운 연구자가 되겠습니다.

부족한 논문이지만 심사를 맡아주신 이한수 박사님과 안근재 교수님, 강경희 교수님께도 감사드립니다. 이 논문은 이한수 박사님의 따뜻한 배려 속에서 끝까지 달려올 수 있었습니다. 힘들고 어려울 때 마다 힘이 되어주셔서 너무 감사드립니다. 또한 바쁘신 가운데서도 논문 전체를 세심하게 지도해주신 안근재 교수님과 강경희 교수님 덕분에 논문이 완성될 수 있었습니다. 다시 한번 감사드립니다!

이 논문은 많은 분들이 도와주셨기에 완성할 수 있었습니다. 먼저 이 연구의 데이터를 이용하여 학술논문에 투고할 수 있도록 허락해주신 농림축산검역본부의 모든 분들께 감사드립니다. 그리고 제가 근무하는 한국환경생태연구소의 모든 분들에게 진심으로 감사드립니다. 따뜻한 말로 위로와 격려를 해주셨던 이시완 소장님, 출장지에서 맛있는 것 사주시며 인생에 대한 조언과 격려를 해주신 김인규 박사님, 지칠 때마다 힘내라고 격려해주셨던 강태한 박사님, 상주에서 말씀해주신

것들이 체계는 너무 큰 위로와 격려였습니다. 감사합니다. 사무실 살림꾼 송민정 팀장님, 지칠 때마다 팀장님과의 수다는 체계 즐거운 환기가 되었습니다. 감사해요! 함께 용역 맡으며 동고동락하고 너무 힘든 순간에도 큰 힘이 되어 주었던 조해진 박사님, 박사님 덕분에 많은 힘을 얻었습니다. 늘 힘내서 젊음을 불태우라고 격려해주시던 김달호 팀장님. 학부 때부터 지금까지 관심어린 조언과 힘을 주었던 박치영 박사님, 형님 때문에 학부부터 지금까지 조류연구가 즐거웠습니다! 그리고 좋은 이웃이자 친형 같은 한승우 선배님, 형에게는 고마운 게 너무 많은데 이 지면에 실을 수 가 없네요. 우리 서로 고생했어요! 힘들었던 2018년 잘 마무리 짓고 2019년에는 즐거운 일들만 가득하길 기도할게요! 대신 출장 다니느라 고생한 은홍이, 너의 몸과 마음이 지치지 않고 모든 일이 이제는 잘되길 기도한다! 그리고 묵묵히 막내일 하면서 최고의 서포터가 되어준 장혁이, 두 사람 덕분에 좀 더 논문에 집중할 수 있었습니다. 또한 논문 쓰는 동안 많은 격려를 해 준 이상보 팀장님과 김보람 과장님, 한나씨 모두에게 진심으로 감사드립니다.

제주대학교 연구실의 모든 분들에게도 감사를 드립니다. 학업 가운데 많은 조언을 해주신 한상현 박사님, 제주도 갈 때 마다 반갑게 맞아주고 행정처리도 깔끔하게 처리해주셨던 멋쟁이 김동민 선생님, 항상 웃으며 연구실을 지켰던 김유경 박사님, 과정 중 잠잘 곳 없어 헤매던 저를 따뜻하게 보살펴 준 가람이형과 준호형! 형들 정말 감사했어요! 이제 세 아이의 엄마가 된 친구 선미쌤. 어서 육아 마치고 학위 반길 바라고 힘내! 이제 학위를 시작한 준원이, 준원아 끝까지 포기하지 말고 파이팅! 타지에서 열심히 연구하고 있는 반자드, 고향으로 돌아갈 때는 연구성과를 이루길 바라요! 그리고 반년동안 논문 행정처리를 위해 수고한 김정훈 선생님 너무 감사합니다. 선생님 덕분에 차질 없이 일정 소화할 수 있었습니다. 마지막으로 실험실 막내 인 제 동생 영훈이. 보고서에 출장에 너무 바빴지만 형의 논문 일정에 최선을 다해 도와줘서 고마워. 그 외에도 제주대에서 도와주신 모든 분들에게 감사를 드립니다!

호남대학교 선·후배님들에게도 감사드립니다. 사실 조류를 연구하면서 호남대학교 생태학실험실이 아니었다면 시작도 하지 못했을 겁니다. 너무 감사드립니다. 새에 대해 그 누구보다 뜨거운 열정을 지닌 김성현 박사님, 논문에 대해 아낌없이 조언해 주셨던 김상진 박사님, 미소로 사람을 편안하게 해주는 신화용 선배님,

크고 작은 일에 고민상담도 해주고 만날 때마다 따뜻하게 맞아주시는 진선덕 박사님, 문제에 대해 뛰어난 명철을 가지고 있는 빙기창 박사님, 자신의 가치관을 삶의 지혜로 멋지게 녹이며 사는 김우열 박사님, 논문에 대해 가장 많은 조언을 해주고 힘들 때 어려울 때 큰 힘이 되어주었던 친형 같은 신용운 박사님. 형 가족 덕분에 저희 가족 모두 논문기간 동안 힘낼 수 있었어요. 고마워요! 흑산도에서 열심히 연구에 매진하면서 따뜻한 가정을 만든 창욱이형과 숙영이, 그리고 위로가 되고 힘이 되어주었던 친구 승연이와 슬기, 유라에게도 감사드립니다. 자신의 삶을 멋지게 만들어가는 은환이, 우직하고 똑심있는 성훈이, 박사과정에 들어가 자신의 연구를 펼쳐나가는 현정이, 이제는 이 길을 걷고 있지 않지만 본인의 삶 속에서 최선을 다하고 있는 신애와 종경이, 지혜에게도 감사의 말을 전합니다.

경기도 사람인 제가 타지인 대전에 와서 많은 감사한 분들이 생겼습니다. 국립중앙과학관의 멋진 리더 백운기박사님과 따뜻한 유재평박사님, 열정적인 최원석 선생님, 위로가 되는 윤미형수님까지 모두 감사드립니다!

또한 저와 이 논문, 제 가족을 위해 기도해주신 모든 분들에게 감사드립니다. 안수로 뜨겁게 기도해주신 이경성 목사님과 김경민 목사님, 먼 곳 경기도에서 제 삶을 위해 기도해 주시는 박정규 목사님과 조진영 목사님, 이규복 목사님 너무 감사드립니다. 대전명성교회의 따뜻한 지체들. 강지은 교육사님, 이재현 선생님, 김선희 권사님, 김진숙 선생님, 손병일 선생님, 김성훈, 이진아, 박영진, 강은비, 장진주, 조현민 청년 선생님들도 너무 감사드립니다. 그리고 처음 교회 등록할 때부터 이 논문이 완성될 때까지 믿음으로 함께 해준 김영선 집사님께도 너무 감사드립니다!

여러모로 제 삶에 후원에 주신 분들이 계십니다. 정말 중요한 조사 장비를 마련할 때 물질적으로 후원해주신 현대정공의 김종문 사장님 너무 감사드립니다. 또한 제게 힘이 되어주신 국립생태원의 유승화 박사님과 전남대 지용이에게도 감사의 뜻을 전합니다.

마지막으로 사랑하는 가족들에게 감사합니다. 지난 반년 동안 꾀꾀하게 옆을 지켜준 우리 은혜와 이현이. 힘들었을텐데 내색 안하고 남편, 아빠의 빈자리를 잘 참아내줘서 너무 고맙습니다. 모든 것을 포기하고 싶을 때 당신의 격려와 이현이의 웃음소리가 나를 버티게 해줬어. 앞으로 더욱 좋은 남편, 아빠가 될게!

그리고 새벽기도도 마다하지 않고 제 삶을 위해 기도하고 응원해준 아버지와 어머니, 두분의 기도 덕분에 제 삶이 행복합니다. 감사합니다. 그리고 만사위를 한결 같이 응원해 주시고 힘주신 장인어른, 장모님, 사랑스런 처제들 지혜와 혜림이에게도 진심으로 감사드립니다. 또한 부족한 조카를 위해 기도주었던 이모들과 외삼촌에게도 감사를 드립니다.

끝으로 이 지면에는 다 실지 못했지만 함께한 모든 분들에게 감사를 전하고 싶습니다. 이제 한 연구자로서 떳떳하고 최선을 다해서 나아가도록 하겠습니다. 그동안 응원해주신 모든 분들에게 자랑이 되는 사람이 되도록 하겠습니다. 모든 분들께 감사합니다. 그리고 사랑합니다.

