

선박의 안전항해를 위한 겨울철 북태평양의 온대저기압에 관한 연구

† 고난영 · 설동일*

† 한국해양대학교 대학원 항해학과 석사과정, *한국해양대학교 항해학부 교수

A Study on the Extratropical Cyclones in the North Pacific Ocean during the Winter Season for Safe Navigation of Ships

† Nan-Young Ko · Dong-Il Seol*

† Student, Graduate School of Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

*Professor, Division of Navigation Science, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 겨울철 온대저기압은 세력이 강하여 해양사고의 주요 원인이 되는 등 선박의 안전 운항에 있어서 매우 중요하다. 이 연구에서는 겨울철(2019년 12월~2020년 2월)의 기상 데이터를 이용하여 제1태평양한대전선대 부근의 온대저기압에 대하여 분석하였다. 분석 결과는 다음과 같다. 3개월 동안에 제1태평양한대전선대 부근에서 발생한 온대저기압은 총 41개이고, 그 중 8개가 현저히 발달하였다. 가장 강력한 온대저기압의 중심기압은 947hPa이다. 발생 위치 별 온대저기압은 일본 동쪽 태평양이 가장 많았고(16개), 그 다음은 우리나라 주변, 동중국해, 일본 남쪽 해상 순이었다. 주요 이동 경로는 크게 5가지로 구분할 수 있는데, 공통적으로 북동진하는 패턴을 보였다. 겨울철에 북태평양을 항해하는 선박이 온대저기압을 조우할 경우 선박의 최적항로는 동향 시에는 온대저기압 중심의 남측을, 서향 시에는 온대저기압 중심의 북측을 항해하는 것이다.

핵심용어 : 겨울철, 온대저기압, 해양사고, 제1태평양한대전선대, 주요 이동 경로

Abstract : Extratropical cyclone in winter season is very important in safe operation of ships because it is a major cause of marine accidents due to its strong power. In this study, we used meteorological data, to analyze extratropical cyclones occurring near the 1st Pacific polar front from December 2019 to February 2020. The analysis results are as follows. During those three months, we recorded 41 extratropical cyclones, 8 of which were remarkably developed. The central pressure of the strongest cyclone was 947hPa. The highest number of cyclones were generated in the East Pacific Ocean around Japan (16), followed by the areas around Korea, the East China Sea, and the southern Sea of Japan. The cyclones followed five major tracks with a common northeast pattern. We thus concluded that the optimal route for a ship encountering an extratropical cyclone in the North Pacific in winter would be south of the cyclone's center traveling eastbound and north of the center traveling westbound.

Key words : winter season, extratropical cyclone, marine accident, 1st Pacific polar front, major track

1. 서 론

2014년 12월 1일, 원양어선 제501 오룡호가 기상이 악화된 북태평양의 베링해에서 무리하게 조업하다가 갑판 위로 올라온 해수가 어창(fish hold)을 통해 어획물 처리실(processing & working space)로 쏟아져 들어감으로써 유압 펌프실과 타기실 침수로 선박조종불능 상태가 되었고, 계속된 풍파와 침수로 인해 침몰되어 선원 60명 중 53명이 실종 또는 사망하는 사고가 발생하였다(Korean Maritime Safety Tribunal, 2017). 2007년 12월 7일에는 예인선 삼성T-5호, 예인선 삼호T-3호, 닻 작업선 삼성A-1호 및 부선 삼성1호로 구성된 예인선단이

항해 중 기상악화에 제대로 대처하지 못하여 조종이 거의 불가능할 정도로 예항능력을 상실하여 풍파에 떠밀리면서도 안전조치를 취하지 아니한 채 무리한 항해를 계속하였고, 정박선 허베이 스피리트에 가까이 접근한 상태에서 삼성1호의 예인줄이 파단 되면서 충돌하게 되어 약 10,900톤의 원유가 유출되는 대형 해양오염사고가 발생하였다(Korean Maritime Safety Tribunal, 2017).

위의 사례들은 근래에 있었던 겨울철 온대저기압에 의한 기상 악화로 발생한 대표적인 해양 사고로 선박의 안전 운항에 있어서 겨울철에 발생, 발달한 온대저기압의 중요성을 알 수 있다. 겨울철인 1987년 2월, 시애틀을 출항하여 부산으로

† 교신저자 : 정희원, kony8763@kmou.ac.kr 051)410-4474

* 중신회원, seol@kmou.ac.kr 051)410-4271

(주) 이 논문은 “북태평양 온대저기압의 특성에 관한 연구”란 제목으로 “2020년 한국항해항만학회 추계학술대회 논문집(온라인 웨비나 및 한국해양대학교, 2020.11.12.-13, pp.58-60)”에 발표되었음.

항하던 컨테이너선 한진인천호가 기상 악화로 북태평양의 캄차카반도 남쪽 해상에서 침몰되어 전 승무원이 사망하는 최악의 해양사고도 있었다(Yoon et al., 1987).

겨울철은 한기와 난기의 온도차가 가장 큰 계절로 온대저기압이 강하게 발달한다. 전형적인 온대저기압은 한난 양기단의 경계인 한대전선 상에서 발생하며, 한대전선이 빈번히 발생하는 전선대가 북태평양에는 동계에 제1태평양한대전선대와 제2태평양한대전선대 2개가 위치한다. 또한 겨울철은 편서풍과동의 진폭이 크기 때문에 북서쪽으로부터 강한 한기가 유입되어 강력한 온대저기압이 빈번히 발생하여 북태평양 전역에 큰 영향을 미친다.

이 연구의 목적은 겨울철 북태평양에서 강력한 온대저기압과 조우하는 선박의 항해자 및 해상 업무 종사자에게 온대저기압에 대한 중요한 자료를 제공하고, 선박의 안전하고 경제적인 항해에 기여하는 것이다. 이를 위해 겨울철 제1태평양한대전선대 부근에서 발생하는 온대저기압을 3개월간(2019년 12월~2020년 2월)의 데이터를 이용하여 온대저기압의 발생 수 및 발생 위치, 세기에 따른 등급별 분류, 초강력 온대저기압 사례, 주요 이동 경로를 분석하고자 한다. 또한 주요 이동 경로 및 발달 중인 온대저기압의 전형적인 패턴을 바탕으로 선박을 위한 최적 항로를 추천하고자 한다.

2. 연구 방법 및 자료

연구 방법은 겨울철 3개월 동안 KST 9시와 21시 기준의 지상일기도 및 고층일기도를 기상청 홈페이지에서 매일 수집하여 시간에 따른 온대저기압을 월별로 분석하는 것이다. 먼저 온대저기압의 위치 및 중심기압을 지상일기도를 통해 도식화하여 정리하였으며 이를 바탕으로 온대저기압의 특성을 분석하였다.

연구를 위하여 주로 사용한 자료는 대한민국 기상청(Korea Meteorological Administration, KMA)이 제공하는 아시아지상편집일기도(AXAS), 일본 기상청(Japan Meteorological Agency, JMA)이 제공하는 아시아 지상해석도(ASAS)와 아시아 500hPa 등압면 해석도(AUAS50)이다. 지상일기도는 온대저기압의 위치, 중심기압 등 기초 자료를 제공하고, 고층일기도는 상층과 하층 대기의 관련성에 따라 온대저기압 발달의 심층 분석을 위한 데이터를 제공한다.

이 연구에서 분석 대상으로 한 온대저기압은 겨울철(2019년 12월~2020년 2월) 동안 북태평양의 서부 측, 제1태평양한대전선대 부근에서 발생한 경우로 제한한다. 이는 온대저기압은 전선대와 관련하여 발생하고 대륙의 동안(東岸) 측, 전선대의 서부에서 많이 발생한다는 것이 알려졌다 때문이다(Seol, 2020). 온대저기압의 발생과 관련한 공간적 범위는 북위 20°~50°, 동경 120°~160°로 설정하였다.

온대저기압의 일생을 명확히 하기 위하여 발생과 소멸 시기를 다음과 같이 정의하였다. 발생 시기는 일기도 상에서 온

대저기압 중심의 동측에 온난전선, 서측에 한랭전선이 나타나기 시작할 때이다. 그리고 소멸 시기는 온난전선, 한랭전선, 폐색전선이 표시되지 않고 중심기압이 최저를 지나 어느 정도 상승하면서 등압선의 간격이 넓어져 저기압이 강한 세력을 잃은 때이다.

온대저기압의 발생 위치를 A, B, C, D 4개의 구역으로 Fig. 1과 같이 구분하고, 구역별 위도 및 경도는 Table 1과 같다. 그리고 온대저기압의 세기를 4개의 등급으로 설정하였다. 등급 명칭은 각각 초강력, 매우 강, 강, 중으로 현재 대한민국 기상청에서 사용하고 있는 태풍의 강도 분류를 인용하였으며, 온대저기압의 일생 중 최저 중심기압을 기준으로 Table 2와 같이 정하였다.



Fig. 1 Genesis areas of extratropical cyclone divided by meteorological features

Table 1 Longitude and latitude of genesis areas of extratropical cyclone divided by meteorological features

Area	Latitude and Longitude
A	Around Korea 33°~50°N, 120°~140°E
B	East China sea 20°~33°N, 120°~130°E
C	Southern sea of Japan 20°~33°N, 130°~140°E
D	East Pacific Ocean of Japan 20°~50°N, 140°~160°E

Table 2 Level of extratropical cyclone divided by central pressure

Level	Central pressure
Super Strong	Less than 950hPa
Very Strong	950hPa or more and less than 970hPa
Strong	970hPa or more and less than 990hPa
Medium	990hPa or more

3. 연구 결과

3.1 발생 수 및 위치

Fig. 2~Fig. 4는 겨울철 3개월(2019년 12월~2020년 2월) 동안의 월별 온대저기압의 발생 위치 및 이동 경로를 플로팅(plotting) 한 것이다.

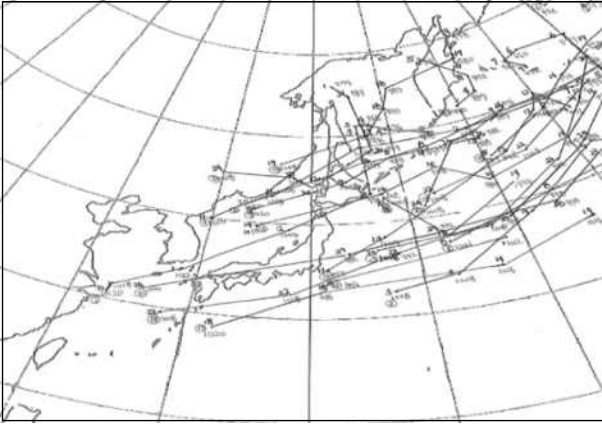


Fig. 2 Plotting of extratropical cyclone's track(Dec.)

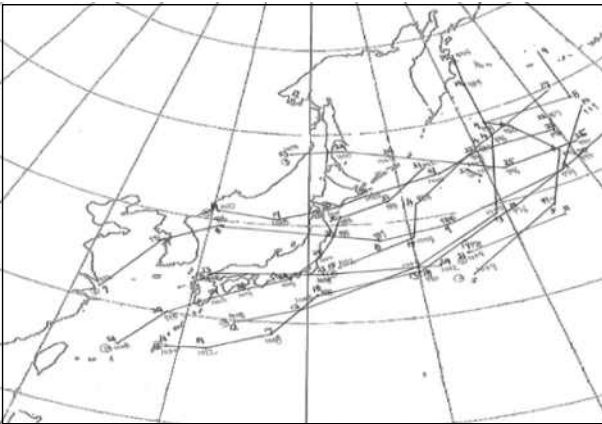


Fig. 3 Plotting of extratropical cyclone's track(Jan.)

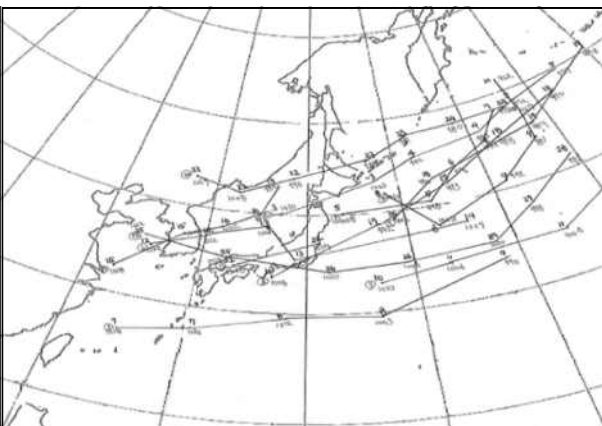


Fig. 4 Plotting of extratropical cyclone's track(Feb.)

Fig. 5는 Fig. 2~Fig. 4의 자료를 바탕으로 제1태평양한대 전선대 부근에서 발생한 온대저기압의 수를 월별로 정리하여

나타낸 것이다. 2019년 12월에 18개, 2020년 1월에 11개, 2020년 2월에 12개로 총 41개의 온대저기압이 발생하였으며, 12월은 전체 온대저기압 발생 수의 44%를 차지하여 가장 많았다.

Fig. 6은 41개의 온대저기압을 등급별로 구분하여 나타낸 그래프이다. 그림에서 등급 구분의 '초강력'은 SS(Super Strong), '매우 강'은 VS(Very Strong), '강'은 S(Strong), '중'은 M(Medium)으로 나타내었다. 초강력 온대저기압은 1개, 매우 강은 7개, 강은 19개 그리고 중은 14개 발생하였다. 초강력 온대저기압은 최저 중심기압 947hPa을 보였으며 그 세력이 태풍과 같은 수준이라고 볼 수 있다. 현저히 발달한 온대저기압은 초강력과 매우 강 등급의 온대저기압으로 전체 온대저기압 발생 수의 20%(8개)를 차지하여 겨울철에 강력한 온대저기압이 다수 발생함을 알 수 있다.

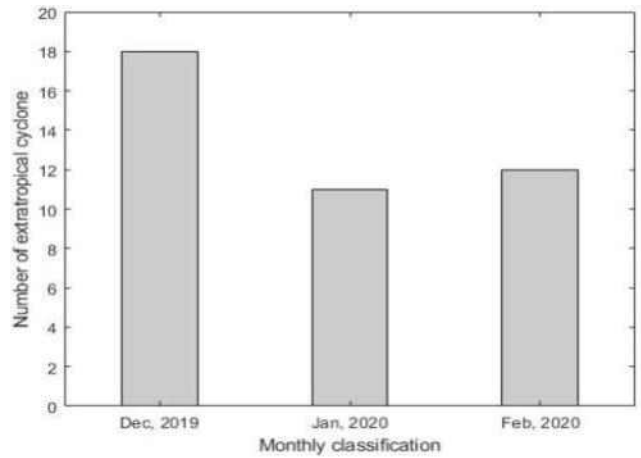


Fig. 5 Monthly genesis number of extratropical cyclone for 3 months

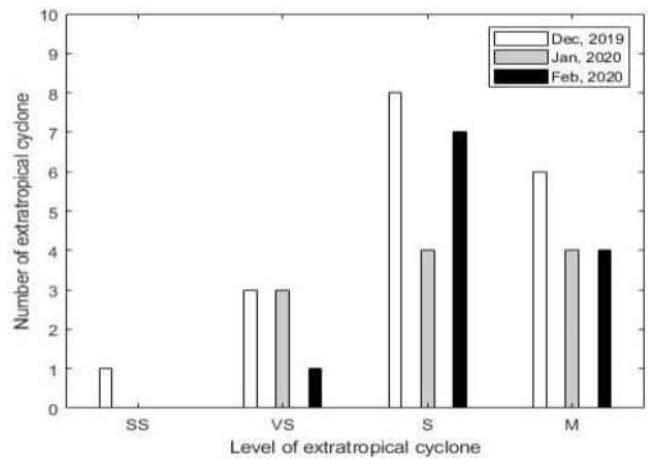


Fig. 6 Monthly genesis number of extratropical cyclone by level for 3 months

3개월 동안 온대저기압의 발생 위치 별 발생 수를 Fig. 7로 나타내었다. D구역(일본 동쪽 태평양)은 16개, A구역(우리나라 주변)은 12개, B구역(동중국해)은 8개 그리고 C구역(일본

남쪽 해상)은 5개 순으로 수치상 D구역에서 가장 많은 온대저기압이 발생하였다. 이 연구에서 온대저기압 발생 위치별 범위의 넓이는 균등하게 나눈 것이 아니라 구역의 지리적 및 기상학적 특징에 따라 구분하였다. 따라서 면적이 가장 넓은 D 구역에서 가장 많은 온대저기압이 발생한 것으로 보이며, 동일한 넓이의 관점에서 보면 B구역>C구역>A구역>D구역 순으로 B구역에서 가장 많은 온대저기압이 발생하였다.

현저히 발달한 온대저기압은 우리나라 동안에서 2개, 중국 상하이 동쪽 해상에서 3개, 일본 동안에서 1개, 만주 부근에서 1개, 일본 동쪽 태평양에서 1개가 발생하였다. 이는 8개의 현저히 발달한 온대저기압 중 6개가 대륙의 동안에서 발생한 것이며, 이는 대륙 동안은 지형적인 영향으로 기압이 하강하기 쉽고 또 해면으로부터 다량의 수증기가 공급되므로 온대저기압이 발생하여 발달하기 쉽다는 기존의 연구 내용과 일치하는 것이다.

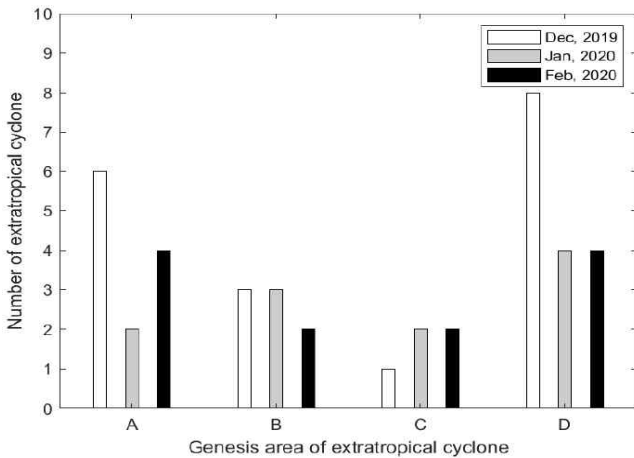


Fig. 7 Monthly genesis number of extratropical cyclone by area for 3 months

3.2 초강력 온대저기압의 사례 분석

위에서 분석한 결과를 통해 3개월 동안 초강력 온대저기압이 1개 발생하였음을 알 수 있었다. 이 온대저기압은 2019년 12월 26일, KST 9시 기준의 지상일기도를 통해 이어도 부근에서 중심기압 1010hPa로 발생하여 동북동진하고 일본 내륙을 통과하여 2019년 12월 28일, KST 21시를 기준으로 북위 40°, 동경 170° 부근에서 중심기압 947hPa의 초강력 온대저기압이 되었다.

온대저기압의 급격한 발달은 상층 대기 흐름의 변화와 깊은 관계가 있어 지상일기도와 고층일기도의 비교를 통해 예상할 수 있다. Fig. 8과 Fig. 9는 초강력 온대저기압이 947hPa로 피크(Peak)기가 되기 바로 전인 2019년 12월 28일, KST 9시의 지상일기도와 500hPa 고층일기도이다. 두 일기도를 비교 분석하면, 500hPa 고층일기도 상 기압골의 중심은 동경 162° 부근이고 지상일기도 상의 온대저기압 중심은 동경 165° 부근으로 편서풍과 동 기압골의 전방(동측)에 지상의 온대저기압이

있다는 것을 알 수 있다. 그리고 실선 기압골의 후방에 점선 기온골이 위치하며 등온선과 등고선이 평행하지 않고 크게 교차하며, 기압골 북서측의 기온은 -30°C~-36°C의 등온선이 분포하고 있어 강한 한기가 유입되고 있다는 사실 등을 알 수 있다. 이들 내용으로부터 해당 온대저기압이 초강력 온대저기압으로 발달할 수 있었던 기상학적 배경을 확인할 수 있다.

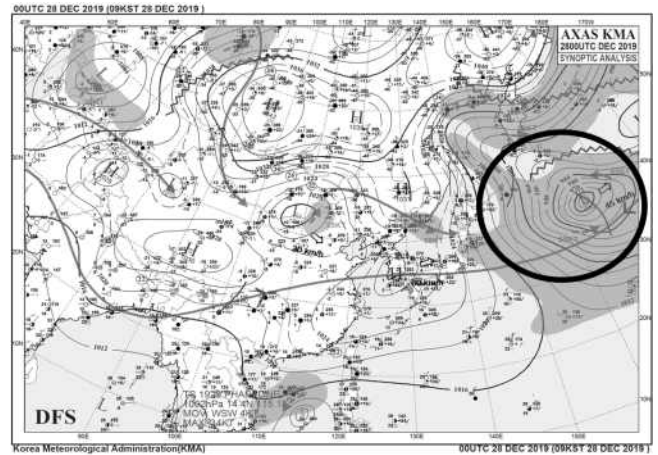


Fig. 8 Surface weather chart for 00:00 UTC 28th DEC.

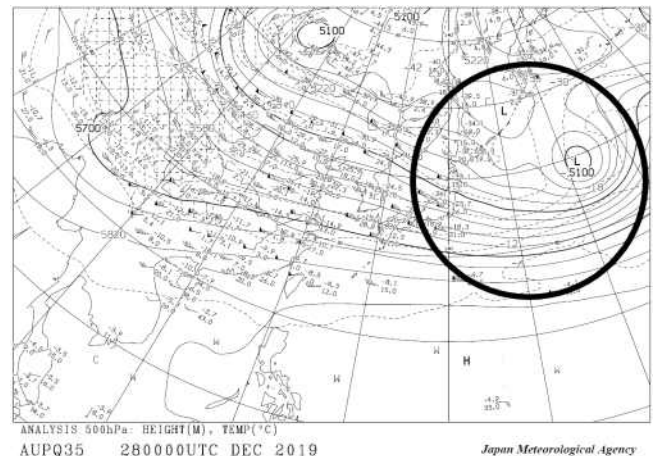


Fig. 9 Upper air chart(500hPa) for UTC 28th DEC.

3.3 주요 이동 경로

3개월 동안 발생, 발달한 온대저기압의 위치를 12시간 간격으로 플로팅하여 총 41개 온대저기압의 이동 경로를 분석하였다. 대부분의 온대저기압은 편서풍과 동과 로스비(Rossby)효과로 북동진하여 알류산열도 쪽으로 향한다. Fig. 10은 이들 온대저기압의 주요 이동 경로 5가지를 나타낸 그림으로 그 내용은 다음과 같다. (1) 만주 방면에서 남동진하여 동해 북부로부터 들어와 진로를 북동으로 바꾸는 것, (2) 동해 부근에서 홋카이도 방향으로 북동진하는 것, (3) 서해 남쪽 및 제주도 부근에서 일본 중심으로 동북동진하다가 일본 동쪽 해상에서 알류산열도 방향으로 진로를 북동진으로 바꾸는 것, (4) 일본 남쪽 해상 부근에서 알류산열도 방향으로 북동진하는 것, (5) 대만의 북동 해상 또는 동중국해에서 발생하여 동북동진하고 북태

평양 남쪽으로 향하는 것이다. 이는 한반도 주변 온대저기압의 이동 경로에 대한 이전 연구와 비교하여도 크게 다르지 않다(Jeong and Seol, 2007).

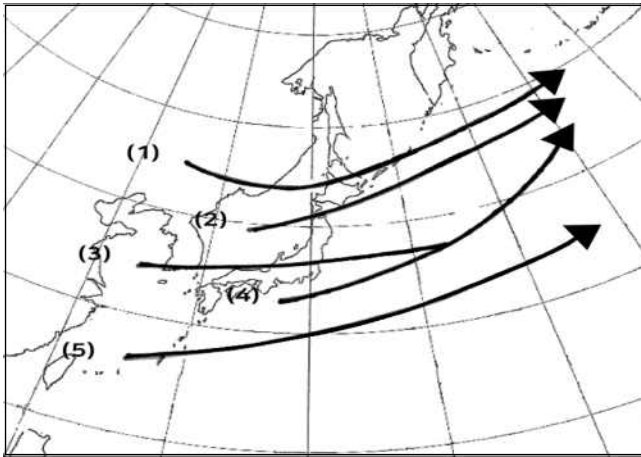


Fig. 10 Major track of extratropical cyclone

Fig. 11은 3개월 동안 위 5가지의 주요 이동 경로에 따라 이동한 온대저기압의 수를 그래프로 나타낸 것이다. 이동 경로 (1)은 4개, (2)는 8개, (3)은 12개, (4)는 8개 그리고 (5)는 9개로 대부분의 이동 경로가 비슷한 수를 보이나, 해양에서 발생한 이동 경로 (2)~(5)에 비하여 대륙에서 발생한 이동 경로 (1)의 수가 눈에 띄게 적고, 이동 경로 (3)이 전체의 30%로 가장 높은 비율을 보인다.

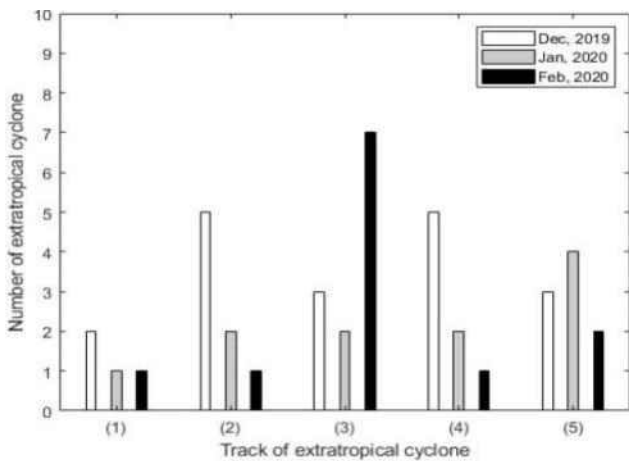


Fig. 11 Monthly number of extratropical cyclone by track for 3 months

3.4 주요 이동 경로에 따른 항로 추천

위에서 분석한 결과를 통해 5가지의 주요 이동 경로를 도출하였고 대부분의 이동 경로가 알류산열도 방향으로 북동진함을 알 수 있다. 여기서는 북태평양의 남쪽으로 향하는 이동 경로 (5)를 제외한 나머지 이동 경로 (1)~(4)의 경우에 선박이 온대저기압을 조우했을 때를 가정하여 안전하고 경제적인 선

박의 항로를 추천하고자 한다.

온대저기압의 조우와 관련하여 선박의 최적 항로를 구하기 위하여 고려할 점은 온대저기압의 중심을 피하려고 하는 것보다 오히려 그것에 동반하는 고파고역(高波高域)을 피하는 것이다(Seol, 2012). 이를 위해 선박의 항해자는 온대저기압 역내의 기상을 명확히 인식하고 있어야 한다.

Fig. 12는 발달중인 온대저기압의 전형적인 구조이다. 온대저기압 중심에서 남동으로 온난전선, 남서로 한랭전선이 뻗어 있다. 남측에는 온난한 기단이 남서의 기류로서 유입된다. 중심 북방에서 난기는 지면과 접하지 않고 한기 위의 상층에 존재하며 중심 남방에서는 온난전선과 한랭전선에 동반된 구름과 강수를 보인다. 바람도 저기압의 중심 부근에서 반드시 최대 강도를 보인다고 말할 수 없다. 중심에서 수 100km 떨어진 곳에서 오히려 더 강할 때도 있다. 풍향은 아래 그림에서 ‘→’로 나타나 있다. 북반구에서 북동진하는 온대저기압 중심의 북측에서는 풍향이 반전(反轉, backing)하고, 남측에서는 순전(順轉, veering)하며 전선 통과 시에 급변한다. 풍속은 중심과 전선 부근에서 강하고 난역 내에서는 비교적 약한 남서풍이 불고 온난전선 전방의 한기 내에서는 비교적 강한 남동풍이 불지만 한랭전선 후방에서는 강한 북서풍이 분다(Seol, 2020).

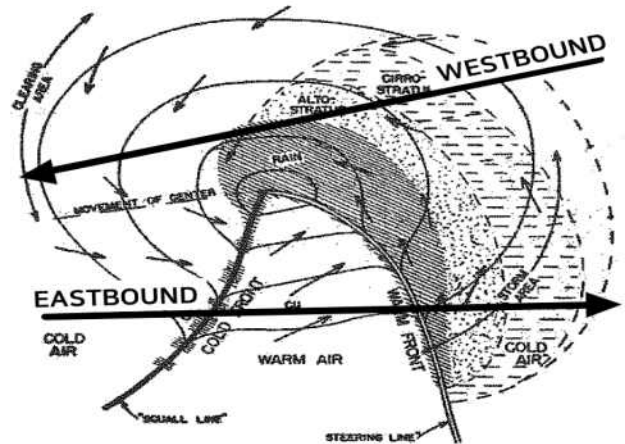


Fig. 12 Model of developing extratropical cyclone and optimum route

위의 온대저기압 역내의 기상현상을 고려하여 북태평양에서 선박이 동항(東航, eastbound voyage) 또는 서항(西航, westbound voyage)하는 경우에 있어서의 최적 항로를 도출하였다.

3.4.1 동항의 경우

온대저기압의 평균 진행 속도는 30~50km/h(16~27kts)이다. 이는 선박의 평균적인 선속과 비슷하여 선박이 온대저기압과 조우한다면 온대저기압과 나란히 항해하는 것이다. 상대적으로 풍파가 적고 파의 진행 방향·파고가 일정하고 규칙적이어서 안전한 난역(온난전선과 한랭전선 사이)에 선박이 위치하는 것이 유리하며, 비교적 풍속이 약한 남~남서풍을 받

을 수 있는 온대저기압 중심의 남측을 통과하는 것이 유리하다. 비록 한랭전선 후면에 위치한다 하여도 뒷바람에 해당하는 서~북서풍을 받게 되어 항해상 유리하다.

이동 경로 (1)~(4)는 온대저기압이 알류산열도 방향으로 북동진하는 모습을 보인다. 따라서 북태평양을 동행하는 항해 시에는 저기압의 남측에 선박이 위치하도록 하는 것이 유리하다(Fig. 12 참조).

3.4.2 서항의 경우

서항 시 온대저기압과 조우하는 것은 온대저기압과 마주치는 것이다. 이때 온대저기압 중심의 남측으로 항해를 한다면 온난전선 및 한랭전선 또는 폐색전선의 통과에 동반된 강한 강수와 악천후가 발생하고, 풍향이 급변하여 불규칙한 높은 삼각파가 발생한다. 또한 온대저기압의 영향권에 장시간 놓이게 되고 특히 한랭전선 통과 후 선수 방향으로부터의 고파에 장시간 노출된다. 온대저기압의 북측은 동~북동풍이 불어 뒷바람을 받을 수 있으며, 전선을 통과하지 않아 기상이 상대적으로 단순하다. 또한 일정한 파고를 선미 쪽에서 받을 수 있어 유리하다.

이동 경로 (1)~(4)를 고려하면, 북태평양 서항 시에는 알류산열도 북측의 베링해를 통과하는 항로를 선정하면 대부분의 경우 온대저기압의 북측에 선박이 위치하게 되어 유리하다(Fig. 12 참조).

4. 요약 및 결론

겨울철에는 강력한 온대저기압이 발생, 발달하여 항해하는 선박의 안전에 매우 큰 영향을 미친다. 선박의 안전과 경제적인 항해를 위한 기초자료를 확보하기 위하여 최근 3개월(2019년 12월~2020년 2월) 동안의 자료를 이용하여 겨울철 제1태평양한대전선대 부근에서 발생, 발달하는 온대저기압에 관하여 분석하였다.

온대저기압은 총 41개가 발생하였고 현저하게 발달한 것은 8개로 전체의 약 20%의 높은 비율을 차지하였다. D구역(일본 동쪽 태평양)에서 16개로 가장 많이 발생하였고, 각 구역을 동일한 면적으로 가정하였을 때에는 B구역(동중국해)에서 가장 많이 발생하였다. 그 중 중심기압 947hPa의 초강력 온대저기압도 발생하였으며, 태풍 급의 세력을 보여 선박 항해자의 온대저기압에 대한 각별한 주의 및 대응이 요구된다.

온대저기압의 주요 이동 경로는 5가지로 구분할 수 있고, 대부분의 온대저기압은 알류산열도 방향을 향해 북동진한다는 사실을 알 수 있었다. 온대저기압이 강력하게 발달하는 겨울철에 북태평양을 항해하는 선박이 항해계획을 수립할 때 온대저기압의 이동 경로를 참고하는 것은 매우 중요하다.

온대저기압의 주요 이동 경로와 관련하여 항로 추천 관점에서 최적 항로를 제안하였다. 동항 시에는 풍파가 적고 뒷바람을 받는 온대저기압 중심의 남측을 통과하는 것이 유리하

다. 그에 대하여 서항의 경우는 비교적 단조로운 기상과 뒷바람을 받으며 짧게 온대저기압을 조우하는 온대저기압 중심의 북측(주로 알류산열도의 북측 베링해)을 통과하는 항로가 유리하다는 사실을 확인할 수 있었다. 따라서 선박의 항해자 및 해상 업무 종사자들은 안전과 경제적 관점에서 겨울철의 온대저기압에 대하여 특히 경각심을 가지고 대응하여야 한다. 추후 보다 더 장기간의 기상 데이터를 사용하여 온대저기압에 대한 특성을 체계적으로 분석할 필요성이 있다.

후 기

본 논문은 2020년도 해양수산부 및 해양수산과학기술진흥원 연구비 지원으로 수행된 ‘자율운항선박 기술개발사업(20200615, 자율운항선박 육상제어 기술개발)’의 연구 결과입니다.

References

- [1] Japan Meteorological Agency(2019-2020a), Surface weather Chart.
- [2] Japan Meteorological Agency(2019-2020b), Upper air chart(500hPa).
- [3] Jeong, K. C. and Seol, D. I.(2007), "A Selection of the Refuge Area in the West Sea for the National Fishery Supervision vessel according to the Trajectories of the Extratropical Cyclone in Winter Season", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 31, No. 6, pp. 555-562.
- [4] Korean Maritime Safety Tribunal(2017), "Lessons Learned From Marine Safety Investigation Report", pp. 62-103.
- [5] Korea Meteorological Administration(2019-2020), Surface weather Chart.
- [6] Seol, D. I.(2012), Maritime Weather forecast and Optimum Route, Dasom press, pp. 154-157.
- [7] Seol, D. I.(2020), Maritime Meteorology, Dasom press, pp. 250-266.
- [8] Yoon, J. D. et al.(1987), "A Theoretical Study on the Causes of the Sinking Disaster of M/V Hanjin-Inchon" Journal of Korean Navigation and Port Reserch Vol. 11, No. 2, pp. 33-52.

Received 20 October 2020

Revised 02 November 2020

Accepted 03 November 2020