



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](#)

석사학위논문

강우량과 풍속에 따른 한반도 영향 태풍의 분류 및 특성분석



제주대학교 대학원

해양기상학 협동과정

현 유 선

2015 년 2 월

강우량과 풍속에 따른 한반도 영향 태풍의 분류 및 특성

지도교수 문 일 주

현 유 선

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함



현유선의 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

제주대학교 대학원

2014年 12月

Classification of typhoons influenced the
Korean peninsula by rainfall intensity and
wind speed and analysis of group
Characteristics

Hyoun Yoosun
(Supervised by professor Il-Ju Moon)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree
of Master of Science



2014. 12.

This thesis has been examined and approved.

Interdisciplinary Postgraduate Program
in Marine Meteorology

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

LIST OF FIGURES	ii
LIST OF TABLES	iv
ABSTRACT	v
1. 서론	1
2. 자료 및 방법	4
2.1 관측자료	4
2.2 자료 및 분류	5
2.3 연구 방법	11
3. 연구결과	31
3.1 유형에 따른 이동속도, 중심기압, 진로밀도	31
3.2 월별 강우강도와 강풍의 분포	37
3.3 월별 대기중관 분석	42
3.4 태풍 유형별 확률 분포	47
3.5 월별 사례 분석	51
4. 요약 및 결론	57
참고문헌	59
감사의 글	62

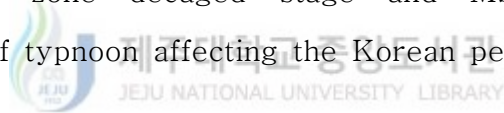
LIST OF FIGURE

Fig. 1. Map of meteorology observation stations.	5
Fig. 2. Typhoon emergency zone defined by the Korea Meteorological Administration.	9
Fig. 3. Using rain intensity Index of Typhoon POLLY and Typhoon SANBA, time-series data of rain intensity index (red line) and cube of rain intensity index (blue line) according to the typhoon period were obtained.	10
Fig. 4. Same as Fig. 3, but for the wind intensity Index.	11
Fig. 5. It shows accumulated rain (left panel) and Maximum of wind speed (right panel) of typhoon (RUSA) at each station.	19
Fig. 6. Time series of rainfall on Aug. 30–31, 2002, at station.	20
Fig. 7. Time series of wind speed on Aug. 30–31, 2002, at station.	25
Fig. 8. Moving Speed of the typhoon type. The boxes show the 25th and 75th percentile the lines in the boxes mark the median and the circles the values below (above) the 25th(75th) percentiles of the distributions.	31
Fig. 9. Distribution of mean central pressure typhoon from the emergence zone to the decayed stage. when typhoon enters emergency zone until its extinction (a), the mean central pressure of influencing Typhoons in the Korea peninsula (b).	32
Fig. 10. Typhoon track density of the typhoon type. Rain-dominant typhoon (left), Wind-dominant typhoon (middle) and Rain-Wind dominant typhoon (right).	35
Fig. 11. Scatter plot of intensity versus rain intensity. open circle indicated total typhoons and the black circles belongs to each month. (a) June, (b) July, and (c) August, (d) September respectively	37
Fig. 12. Moving speed for Aug.(left) and Sep.(right).	38

Fig. 13. The Central pressure for Aug.(left) and Sep.(right). (a) Mean Central pressure when typhoon enters emergency zone until its extinction and (b) the mean central pressure of influencing Typhoons in the Korea peninsula for Aug.(left) and Sep. (right).	39
Fig. 14. Typhoon track density for Aug. (left), and Sep. (right).	40
Fig. 15. Change of streamline at the 500 hPa and North pacific high(red line) for Aug. (left), and Sep. (right).	42
Fig. 16. 200 hPa Divergence (contour, $10E-6/sec$), 200 hPa Jet stream(shaded area, >30 kts) for Aug.(left), and Sep.(right).	45
Fig. 17. Climatological mean 850 hPa equivalent potential temperature(color, K) on (a) August and (b) September.	46
Fig. 18. 700 hPa Vertical Velocity (contour, hPa/hour) on Aug. (left), and Sep. (right).	47
Fig. 19. The ratio of landfalling and influencing Typhoons in the Korea peninsula.	49
Fig. 20. The case study analysis typhoons according they have landed on the Korean peninsula.(a) TEMBIN, (b) FRAN. The distribution of maximum wind speed (left), and Accumulated rainfall (right).	51
Fig. 21. Distribution of (a-b) 850 hPa Streamline and Isotach (shaded), and (c-d) 850 hPa Equivalent Potential Temperature, (e-f) 200 hPa Divergence (contours) [$10E*6/s$] and Isotach (shaded) and (g-h) 700 hPa Vertical vorticity (contour) [hPa/hour] for typhoon TEMBIN(left), and typhoon NABI (right).	52
Fig. 22. Same as Fig. 20, but for POLLY(left), BESS(right).	54
Fig. 23. Same as Fig. 21, but for POLLY(left), BESS(right).	55

LIST OF TABLE

Table 1. Map of meteorological observation stations.	4
Table 2. List of korea-affected typhoons during 1971-2012.	7
Table 3. Rain Intensity Index list belongs in the top 30%.	13
Table 4. Wind Intensity Index list belongs in the top 30%. List of Typhoon Name, Accumulated wind, Cumulative mean wind.	14
Table 5. List of rain-dominant typhoons.	16
Table 6. List of wind-dominant typhoons.	16
Table 7. List of rain-wind dominant typhoons.	17
Table 8. Comparison of central pressure of the typhoon type (MSLP1 is the central pressure of the typhoon from entering time of the emergency zone decaged stage and MSLP2 is the central pressure of typhoon affecting the Korean peninsula).	33



Abstract

This study classified the typhoons that influenced the Korean Peninsula (KP) between 1971 and 2012 in order to predict damage of approaching typhoons and analyzed their characteristics. Based on a statistical analysis of rain and wind intensity for each typhoon from entering stage into emergency area to its dissipation stage, typhoons were objectively classified as rain-dominant, wind-dominant, and rain-wind dominant typhoon. The analysis of rain and wind intensity for each month showed that the rain-wind dominant typhoons were frequently occurred in August and September, and while the rain-dominant typhoons were observed mainly in August but rarely in September. The number of wind-dominant typhoons in September was larger than that in August.

To explore this case, we compared monthly mean field for August, September particularly for atmospheric variables such 500 hPa geopotential height, 200 hPa Divergence, Jet stream, 850 hPa Equivalent Potential Temperature and 700 hPa Vertical velocity. we found that in August when typhoons moved northward to the middle latitudes where a jet stream is located, a divergence region is created with heavy precipitation. In September, relating a dry condition and hence less precipitation were shown up tropical air masses move southward as cold air masses approach the Korean Peninsula.

Key words: typhoon, rain-dominant typhoon, wind-dominant typhoon

1. 서론

태풍은 강풍, 집중호우, 폭풍해일을 동반하여 연간 13조 8158억 원의 재산피해를 주는 기상현상이다(소방방재청, 2002-2011). 태풍은 호우와 강풍을 동반하여 많은 인명피해와 재산피해를 발생시키지만 인위적으로 이를 완전히 근절시킬 수 없으므로 피해를 최소화하기 위해서는 철저한 방재가 필요하다(박종길 등, 2005). 현재 기상청에서는 태풍이 한반도에 영향을 미칠 경우에 예상경로와 강도에 대한 자세한 정보는 제공하지만, 강우나 강풍 등에 의한 피해유형을 미리 예측하여 제공하지는 않는다. 실제로 태풍 방재의 측면에서는 비 피해와 바람 피해는 그 대처방법에 있어 큰 차이가 있기 때문에 한반도로 접근하는 태풍에 대하여 정확한 진로와 강도 예측도 중요하지만, 태풍과 함께 수반된 호우나 강풍에 의한 피해유형을 미리 예측하는 것도 중요하다.

태풍 재해유형은 크게 호우와 강풍으로 구분 할 수 있다. 설동인 와 민병언(1992)은 기상재해를 비 태풍, 바람 태풍, 비바람 태풍으로 분류할 경우 여름철(7-9월)에 유형별 내습빈도 비율이 2:1:3임을 밝혔다. 또한, 사망과 실종자를 기준으로 한 인명피해의 경우 비 태풍이 바람 태풍보다 더 큰 재해를 일으킨다고 보고하였다. 關口 and 福岡(1964)는 강수량이 250억 톤 이상인 경우는 비 태풍, 200억 이하인 경우는 바람 태풍이라 정의하였으며, 단순히 비와 바람 태풍을 구분하는 것은 태풍의 구조적인 분류에서는 큰 의미가 없지만 응용적인 입장에서는 활용성이 높음을 언급하였다. 또한, 김백조 등(2006)은 태풍에 동반된 바람은 태풍의 운동에너지의 크기에 의존하며, 강수는 수증기의 수렴정도에 따라 달라짐을 밝혔으며, 이 같은 태풍 피해 유발 기상요소에 따라 누적강우량이 150 mm/2day가 20%이상인 경우 비 태풍(rainmaker typhoon), 17 m/s이상이 50% 이상인 경우 바람 태풍(windmaker typhoon)으로 분류 하였다.

태풍의 진로는 재해유형을 결정하는 중요한 요소로 알려져 있다. Cha et al., (2007)은 최근 10년 동안 동아시아에서 8-9월 강수량 증가의 원인 중 하나가 태풍의 진로변화 때문이라고 보고하였다. 박종길와 문승의(1989)는 태풍의 진로에 따라 강수량의 분포가 특정지역에 집중됨을 밝혔고, 태풍에 의한 강수량의 다

과는 태풍의 진로와 운동에너지 보다는 아열대 수렴대나 태평양 한대전선과 같은 다른 수렴대와 태풍의 결합여부가 더 크게 강수량을 결정한다고 밝혔다. 김백조 등(2006)은 태풍의 진로에 따라 한반도 상륙 후 바람과 재해의 특성을 조사하였다. 박두선 등(2008)은 경상북도에서의 태풍에 의한 영향을 재해의 양상에 따라 강풍과 호우로 구분하고 그 때의 태풍진로에 대한 특성을 분석하였다.

많은 이전 연구들이 태풍이 한반도에 영향을 줄 경우(태풍특보 발령 시)의 기간만 선택하여 태풍 중심 부근에서의 재해만을 연구하였으나, 최근 연구에서는 열대저기압이 원격으로도 강수피해에 영향을 줄 수 있음을 밝혔다. Byun and Lee(2012)는 통계적 분석을 통하여 한반도 관측 지점으로부터 3000 km 이내에 열대성 저기압이 위치하는 시각에 연평균 강수량이 658 mm로 29년 평균 강수량(1340 mm)의 49%에 해당함을 밝힘으로써 이를 바탕으로 원격 열대성 저기압이 한반도에 집중호우를 일으키는 중요한 환경요소가 될 수 있음을 주장하였다. 또한, 이 연구에서는 한반도 북서쪽의 종관 규모의 골, 남동쪽에 위치한 서태평양 아열대 고기압 그리고 남서쪽의 열대성 저기압이 집중호우를 일으키는 종관규모의 기압패턴으로 분석되었으며 이러한 기압패턴이 한반도 수렴지역과 대류의 불안정성을 유도함을 밝혔다. Murata(2009)는 일본이 태풍 메아리의 태풍중심으로부터 500 km에 위치하였지만, 일본에 많은 강수를 내리게 함을 보였다. 황호성 등(2008)은 태풍이 온대저기압으로 변질하면서 한반도에 많은 강수를 내릴 수 있으며, 강우강도는 약해지지만 강수범위는 넓어짐을 밝혔다.

본 연구에서 한반도에 영향을 준 태풍 중에 한반도에 태풍특보를 내린 상황뿐만 아니라 태풍이 비상구역에 진입 할 때부터 소멸 할 때까지의 모든 기간을 고려하여 강우량과 풍속에 따라 한반도 영향태풍에 대하여 객관적으로 분류하고 특성을 분석하여 최종적으로 한반도에 접근 하는 태풍의 피해유형을 미리 예측하는 데 목적이 있다. 이를 위해 먼저 비 태풍과 바람 태풍의 객관적인 분류기준을 정하기 위한 기초 통계분석을 실시하였으며, 각 태풍의 유형별 특징을 분석하고 태풍의 강우량 및 풍속에 따른 비 태풍, 바람 태풍, 비바람태풍의 특성을 월별에 따라 분석하였다. 제 2장에서는 본 연구에서 사용된 관측 자료와 연구방법에 대하여 서술하고 제 3장은 태풍을 기초 통계 분석한 결과와 그에 따른 유형별 특성 결과를 제시하고자 한다. 제 4장은 본 연구의 요약 및 결론을 제시한다.

2. 자료 및 연구방법

2.1 관측자료

본 연구에서는 태풍이 가지는 특성(호우, 강풍)에 대하여 분석하기 위하여 우선, 기상청 태풍백서에 게재된 한반도 영향태풍으로 지정 하였으며, 한반도 영향태풍의 총 개수는 128개이다. 열대저기압은 중심 최대풍속을 기준으로 4등급인 TD (Tropical Depression: 17m/s 미만), TS (Tropical Storm: 17~24m/s), STS (Severe Tropical Storm: 25~32m/s), TY (Typhoon: 33m/s 이상)로 분류하는데 본 연구에서는 TS 등급 이상의 경우를 태풍 이라고 정의하였다. 각 무인관측소 (AWS)자료는 장비의 고장 등으로 인한 부정확한 값이 간혹 있어서 연구에 부적합 하므로 유인관측소 (ASOS)에서 제공하는 자료 중 1시간강수량 및 10분 풍속 자료를 사용하였다. 또한, 태풍 활동에 대한 정보는 동경 지역 특별 기상센터(Regional Specialized Meteorological Centre, RSMC-Tokyo)에서 제공하는 최적 경로 자료를 사용하였다. 이 자료는 연도별 북서태평양 열대 저기압의 지표면 최저기압을 비롯한 위도와 경도, 열대 저기압의 유형, 중심최대풍속(Maximum Sustained Wind Speed, MSWS) 등이 6시간 간격으로 정리되어 있다. 태풍활동에 영향을 미친 대기 순환을 분석하기 위하여 National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR)에서 제공되는 Global Reanalysis (R1)자료를 사용하였다. 이 자료는 위·경도 수평 해상도가 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 격자이며, 수직으로는 17개 층으로 이루어져 있으며 사용 대기환경 변수는 850 hPa 상대습도, 대기온도, 500 hPa 지위고도 및 200 hPa 바람자료, 700 hPa 오메가 (dp/df)이다. RI자료는 1948년부터 제공되고 본 연구의 분석기간은 1971년부터 2012년까지이다.

2.2 자료 및 분류

1) 지점

한반도 영향 태풍에 대해 같은 조건에서 장기변화의 경향을 살펴 볼 수 있고, 자료의 연속성을 고려하기 위하여 일정한 기간에, 일정한 지점의 관측소를 선택하여 관측 자료를 분석 하였다. 본 연구에서는 1971년부터 2012년(41년)의 기간 동안 25개의 유인관측소에서 존재하는 관측 자료를 사용하였다 (Table 1, Fig. 1).

Table 1. Location of meteorology observation stations.

No.	Station	Latitude	Longitude
1	Sokcho	38.25	128.56
2	Chuncheon	37.9	127.7
3	Gangneung	37.7	128.89
4	Seoul	37.57	126.96
5	Incheon	37.47	126.62
6	Ulleungdo	37.48	130.89
7	Suwon	37.27	126.98
8	Seosan	36.77	126.49
9	Ulsan	36.99	129.41
10	Cheongju	36.63	127.44
11	Daejeon	36.37	127.3
12	Chupungnyeong	36.22	127.99
13	Pohang	36.03	129.37
14	Gunsan	36	126.76
15	Daegu	35.88	128.61
16	Jeonju	35.8	127.15
17	Ulsan	35.56	129.32
18	Gwangju	35.17	126.89
19	Busan	35.1	129.03
20	Tongyeong	34.84	128.43
21	Mokpo	34.81	126.38
22	Yeosu	34.73	127.74
23	Jeju	33.51	126.52
24	Seogwipo	33.24	126.56
25	Jinju	35.16	128.04

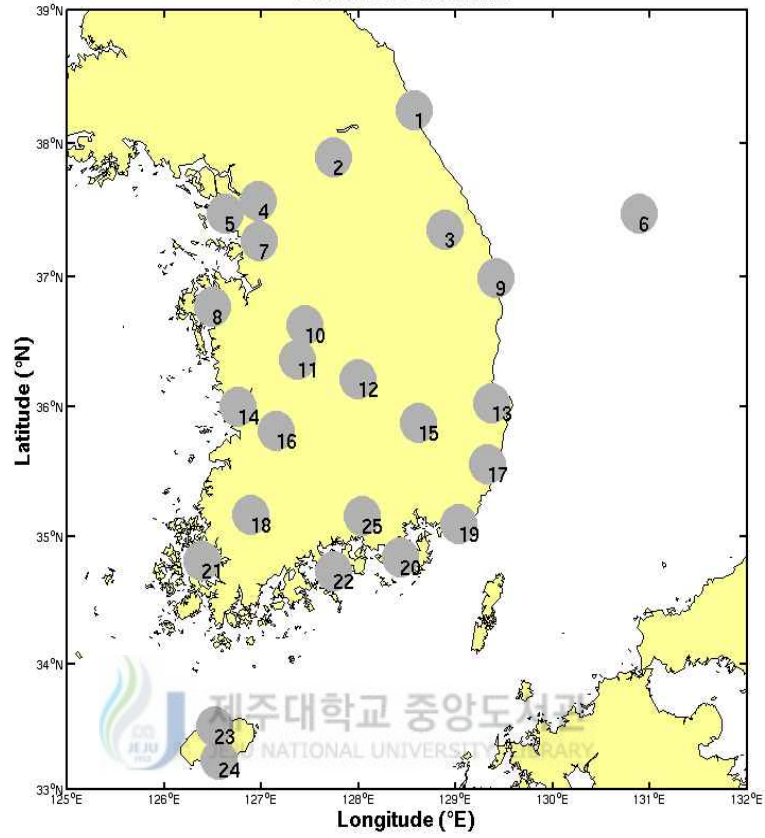


Fig. 1. Map of meteorological observation stations.

2) 기간

한반도에 영향을 미치는 태풍의 특성을 파악하기 위하여 1971년부터 2012년(41년)까지 한반도에 영향을 준 것으로 태풍백서에 정의된 한반도 영향태풍 128개를 선별 하였다(Table 2).

3) 지속시간

원격 열대성 저기압이 한반도의 집중호우를 일으킨다고 하였으며 Byun and Lee(2012), 황호성 등(2010)에 의하면, 태풍이 온대저기압으로 변질 되었을 때 주변 기상장이 태풍 북서쪽에 상풍의 발달된 잠재소용돌이도와 하층의 온도골이 위치하며, 상층제트에 의해 강한 발산역이 태풍의 북동쪽에 발생하고 이것은 강한 강수 영역이 넓게 형성되는 조건을 만들어 한반도 전역에 많은 강수를 준다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 태풍이 비상구역 진입 시부터 태풍이 소멸할 때까지의 모든 상황을 고려하였다. 태풍의 지속시간은 태풍의 중심이 기상청 방재기상업무 지침에서 정한 태풍의 비상구역(28° N, 132° E)에 해당하는 구역에 진입하여 소멸할 때까지의 시간에 대해서만 분석을 실시하며, 비상구역에 진입한 태풍은 최소한 TS (Tropical Storm: $17\sim 24\text{m/s}$)이상인 태풍으로 선정하였다(Fig. 2).

Table 2. List of Korea-affected typhoons during 1971-2012.

No.	TC	Name	Period				Duration	
1	7119	OLIVE	1971-08-05	0:00	—	1971-08-08	6:00	72
2	7120	POLLY	1971-08-09	12:00	—	1971-08-13	0:00	96
3	7128	BESS	1971-09-23	18:00	—	1971-09-26	0:00	72
4	7207	RITA	1972-07-20	0:00	—	1972-07-27	12:00	168
5	7209	TESS	1972-07-20	6:00	—	1972-07-25	6:00	120
6	7220	HELEN	1972-09-16	0:00	—	1972-09-21	0:00	120
7	7303	BILLIE	1973-07-17	6:00	—	1973-07-20	0:00	72.
8	7305	DOT	1973-07-19	0:00	—	1973-07-21	0:00	48
9	7310	IRIS	1973-08-06	18:00	—	1973-08-15	0:00	216
10	7408	GILDA	1974-07-05	6:00	—	1974-07-17	6:00	288
11	7411	JEAN	1974-07-19	18:00	—	1974-07-21	0:00	48
12	7416	POLLY	1974-08-30	0:00	—	1974-09-05	0:00	144
13	7502	MAMIE	1975-07-29	18:00	—	1975-07-30	18:00	24
14	7505	PHYLLIS	1975-08-15	12:00	—	1975-08-20	0:00	120
15	7609	THERESE	1976-07-17	18:00	—	1976-07-27	0:00	240
16	7611	WILDA	1976-07-23	12:00	—	1976-07-24	18:00	24
17	7612	ANITA	1976-07-24	6:00	—	1976-07-27	0:00	72
18	7613	BILLIE	1976-08-11	12:00	—	1976-08-12	18:00	24
19	7615	DOT	1976-08-21	0:00	—	1976-08-25	12:00	96
20	7617	FRAN	1976-09-10	0:00	—	1976-09-16	6:00	144
21	7707	AMY	1977-08-23	0:00	—	1977-08-27	18:00	96
22	7709	BABE	1977-09-09	18:00	—	1977-09-12	0:00	72
23	7803	POLLY	1978-06-19	6:00	—	1978-06-24	0:00	120
24	7808	WENDY	1978-07-29	0:00	—	1978-08-08	6:00	240
25	7811	CARMEN	1978-08-15	18:00	—	1978-08-20	12:00	120
26	7818	IRMA	1978-09-13	12:00	—	1978-09-15	18:00	48
27	7910	IRVING	1979-08-15	18:00	—	1979-08-20	12:00	120
28	7911	JUDY	1979-08-24	0:00	—	1979-08-26	18:00	48
29	8007	IDA	1980-07-12	18:00	—	1980-07-15	0:00	72
30	8012	NORRIS	1980-08-29	6:00	—	1980-08-31	0:00	48
31	8013	ORCHID	1980-09-10	12:00	—	1980-09-16	0:00	144
32	8104	IKE	1981-06-15	0:00	—	1981-06-17	6:00	48
33	8105	JUNE	1981-06-21	12:00	—	1981-06-26	12:00	120
34	8110	OGDEN	1981-07-29	6:00	—	1981-08-01	18:00	72
35	8118	AGNES	1981-08-31	6:00	—	1981-09-06	12:00	144
36	8120	CLARA	1981-09-23	6:00	—	1981-10-02	18:00	216
37	8211	CECIL	1982-08-11	12:00	—	1982-08-15	6:00	96
38	8213	ELLIS	1982-08-25	18:00	—	1982-09-04	0:00	240
39	8219	KEN	1982-09-24	6:00	—	1982-09-27	0:00	72
40	8310	FORREST	1983-09-26	12:00	—	1983-09-30	18:00	96
41	8403	ALEX	1984-07-04	6:00	—	1984-07-06	0:00	48
42	8410	HOLLY	1984-08-19	18:00	—	1984-08-23	6:00	96
43	8412	JUNE	1984-09-01	12:00	—	1984-09-03	18:00	48
44	8505	HAL	1985-06-26	12:00	—	1985-06-27	12:00	24
45	8508	KIT	1985-08-05	0:00	—	1985-08-17	18:00	288
46	8509	LEE	1985-08-12	18:00	—	1985-08-16	12:00	96
47	8513	PAT	1985-08-30	12:00	—	1985-09-02	12:00	72
48	8520	BRENDA	1985-10-04	18:00	—	1985-10-08	18:00	96
49	8605	NANCY	1986-06-24	6:00	—	1986-06-25	12:00	24
50	8613	VERA	1986-08-26	18:00	—	1986-09-02	0:00	168
51	8616	ABBY	1986-09-20	6:00	—	1986-09-24	0:00	96
52	8705	THELMA	1987-07-14	18:00	—	1987-07-18	0:00	96

53	8708	ALEX	1987-07-27	18:00	--	1987-08-02	0:00	144
54	8712	DINAH	1987-08-30	0:00	--	1987-09-03	18:00	96
55	8906	ELLIS	1989-06-23	18:00	--	1989-06-25	18:00	48
56	8911	JUDY	1989-07-26	18:00	--	1989-07-29	6:00	72
57	9005	OFELIA	1990-06-24	0:00	--	1990-06-26	0:00	48
58	9007	ROBYN	1990-07-10	12:00	--	1990-07-14	6:00	96
59	9015	ABE	1990-08-31	0:00	--	1990-09-03	18:00	72
60	9019	FLO	1990-09-18	6:00	--	1990-09-22	6:00	96
61	9109	CAITLIN	1991-07-28	0:00	--	1991-07-30	12:00	48
62	9112	GLADYS	1991-08-20	0:00	--	1991-08-24	18:00	96
63	9113	--	1991-08-27	6:00	--	1991-08-31	0:00	96
64	9117	KINNA	1991-09-13	6:00	--	1991-09-16	18:00	72
65	9119	MIREILLE	1991-09-26	18:00	--	1991-10-01	0:00	120
66	9210	JANIS	1992-08-07	6:00	--	1992-08-13	12:00	144
67	9219	TED	1992-09-23	6:00	--	1992-09-27	12:00	96
68	9305	OFELIA	1993-07-26	18:00	--	1993-07-29	6:00	72
69	9306	PERCY	1993-07-29	6:00	--	1993-08-01	0:00	72
70	9307	ROBYN	1993-08-09	6:00	--	1993-08-14	12:00	120
71	9313	YANCY	1993-09-02	18:00	--	1993-09-07	12:00	120
72	9407	WALT	1994-07-21	12:00	--	1994-07-28	12:00	168
73	9411	BRENDAN	1994-07-31	6:00	--	1994-08-03	12:00	72
74	9413	DOUG	1994-08-08	18:00	--	1994-08-13	0:00	120
75	9414	ELLIE	1994-08-12	6:00	--	1994-08-19	18:00	168
76	9429	SETH	1994-10-10	18:00	--	1994-10-16	18:00	144
77	9503	FAYE	1995-07-22	6:00	--	1995-07-25	0:00	72
78	9507	JANIS	1995-08-24	18:00	--	1995-08-28	18:00	96
79	9514	RYAN	1995-09-23	6:00	--	1995-09-25	18:00	48
80	9606	EVA	1996-07-17	0:00	--	1996-07-27	6:00	240
81	9612	KIRK	1996-08-13	6:00	--	1996-08-18	18:00	120
82	9709	ROSIE	1997-07-25	6:00	--	1997-07-31	6:00	144
83	9711	TINA	1997-08-07	12:00	--	1997-08-10	18:00	72
84	9719	OLIWA	1997-09-14	0:00	--	1997-09-19	12:00	120
85	9809	YANNI	1998-09-29	12:00	--	1998-10-01	6:00	48
86	9810	ZEB	1998-10-16	12:00	--	1998-10-20	0:00	96
87	9905	NEIL	1999-07-26	6:00	--	1999-07-28	12:00	48
88	9907	OLGA	1999-08-02	6:00	--	1999-08-05	6:00	72
89	9908	PAUL	1999-08-06	6:00	--	1999-08-09	6:00	72
90	9917	ANN	1999-09-15	18:00	--	1999-09-20	12:00	120
91	9918	BART	1999-09-23	6:00	--	1999-09-29	6:00	144
92	0004	KAI-TAK	2000-07-09	18:00	--	2000-07-12	0:00	72
93	0006	BOLAVEN	2000-07-28	6:00	--	2000-08-02	0:00	120
94	0012	PRAPIROON	2000-08-30	6:00	--	2000-09-04	6:00	120
95	0014	SAOMAI	2000-09-14	0:00	--	2000-09-19	0:00	120
96	0111	PABUK	2001-08-19	12:00	--	2001-08-23	12:00	96
97	0205	RAMMASUN	2002-07-04	0:00	--	2002-07-06	0:00	48
98	0208	NAKRI	2002-07-12	18:00	--	2002-07-13	12:00	24
99	0209	FENGSHEN	2002-07-23	12:00	--	2002-07-27	0:00	96
100	0215	RUSA	2002-08-29	0:00	--	2002-09-01	18:00	72
101	0304	LINFA	2003-05-30	0:00	--	2003-06-04	18:00	120
102	0306	SOUDELOR	2003-06-18	18:00	--	2003-06-20	6:00	48
103	0310	ETAU	2003-08-07	12:00	--	2003-08-10	6:00	72
104	0314	MAEMI	2003-09-11	18:00	--	2003-09-14	6:00	72
105	0407	MINDULLE	2004-07-03	6:00	--	2004-07-04	12:00	24
106	0410	NAMTHEUN	2004-07-27	6:00	--	2004-08-01	0:00	120
107	0415	MEGI	2004-08-18	0:00	--	2004-08-20	18:00	48
108	0416	CHOBBA	2004-08-29	0:00	--	2004-08-31	0:00	48
109	0418	SONGDA	2004-09-05	12:00	--	2004-09-08	18:00	72

110	0514	NABI	2005-09-05	6:00	—	2005-09-08	18:00	72
111	0603	EWINIAR	2006-07-09	6:00	—	2006-07-10	0:00	24
112	0610	WUKONG	2006-08-15	0:00	—	2006-08-19	16:00	96
113	0613	SHANSHAN	2006-09-16	18:00	—	2006-09-19	18:00	72
114	0704	MAN-YI	2007-07-13	0:00	—	2007-07-17	12:00	96
115	0705	USAGI	2007-08-01	18:00	—	2007-08-04	12:00	72
116	0711	NARI	2007-09-15	6:00	—	2007-09-17	0:00	48
117	0807	KALMAEGI	2008-07-19	0:00	—	2008-07-20	18:00	24
118	1004	DIANMU	2010-08-09	0:00	—	2010-08-12	18:00	72
119	1007	KOMPASU	2010-08-31	18:00	—	2010-09-03	6:00	72
120	1009	MALOU	2010-09-05	0:00	—	2010-09-08	12:00	72
121	1105	MEARI	2011-06-25	12:00	—	2011-06-27	18:00	48
122	1109	MUIFA	2011-08-06	6:00	—	2011-08-09	12:00	72
123	1112	TALAS	2011-09-01	6:00	—	2011-09-05	6:00	96
124	1207	KHANUN	2012-07-17	18:00	—	2012-07-19	12:00	48
125	1210	DAMREY	2012-07-30	12:00	—	2012-08-03	18:00	96
126	1214	TEMBIN	2012-08-29	6:00	—	2012-08-31	0:00	48
127	1215	BOLAVEN	2012-08-27	0:00	—	2012-08-29	6:00	48
128	1216	SANBA	2012-09-16	6:00	—	2012-09-18	0:00	48

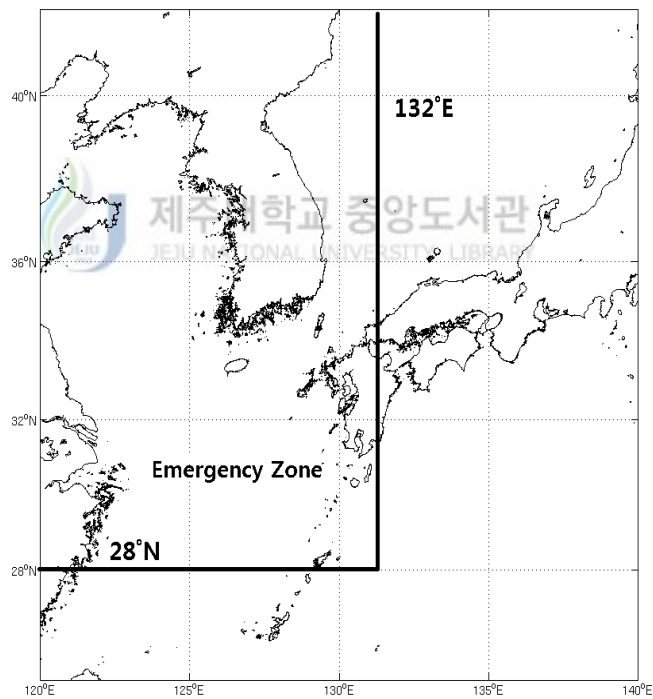


Fig. 2. Typhoon emergency zone defined by the Korea Meteorological Administration.

2.3 연구방법

1) 강우량

1시간동안 내린 강우의 양을 이용하여 이 값으로 평균누적강우(식 2.1)와 강우강도(식 2.2)를 계산하였다. 강우 또한 무 강우 지속시간을 제거하기 위하여 강우에 세제곱을 하여 아래의 식에 적용하였다(Fig. 3).

(1) 평균누적강우

$$\frac{1}{\text{전 관측지점}} (\sum \text{전 관측지점의 1시간강우량}^3) \quad \text{식 (2.1)}$$

(2) 강우강도 (Rain Intensity, RI index)

$$\frac{1}{\text{지속시간}} \left(\frac{1}{\text{전 관측지점수}} (\sum \text{전 관측지점의 1시간강우량}^3) \right) \quad \text{식 (2.2)}$$

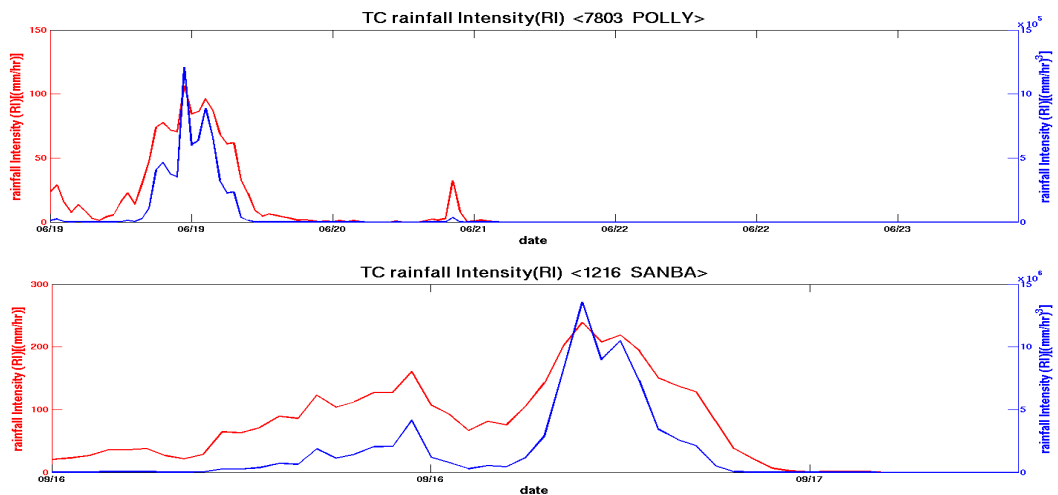


Fig. 3. Using rain intensity Index of Typhoon POLLY and Typhoon SANBA, time-series data of rain intensity index (red line) and cube of rain intensity index (blue line) according to the typhoon period were obtained.

2) 풍속

10분간의 1분 평균 풍속을 산술평균한 값인 10분 풍속을 사용하였으며, 태풍기간 동안 평균 강풍에너지의 파괴력은 풍속의 세제곱에 비례하기 때문에 풍속의 세제곱을 사용하였다(Thomas Ackerman, 2005). 이러한 과정을 수행 할 경우에 풍속의 큰 값을 더욱 부각 시켜주므로, 강한 강풍은 더욱 강하게, 약한 강풍은 약하게 구현 가능한 이점이 있다. 이 값으로 평균누적강풍(식 2.3)과 강풍 강도(식 2.4)를 계산하였다(Fig. 4).

(1) 평균누적풍속

$$\frac{1}{\text{전 관측지점}} (\sum \text{전 관측지점의 10분 풍속}^3) \quad \text{식 (2.3)}$$

(2) 풍속강도(Wind Intensity, WI index)

$$\frac{1}{\text{지속시간}} \left(\frac{1}{\text{전 관측지점}} (\sum \text{전 관측지점의 10분 풍속}^3) \right) \quad \text{식 (2.4)}$$

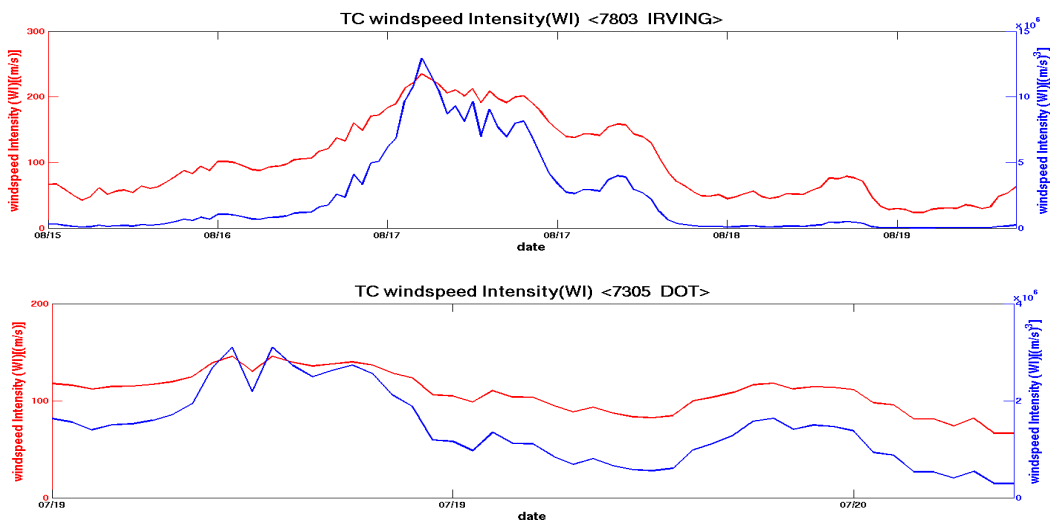


Fig. 4 Same as Fig. 3, but for the wind intensity Index.

3) 강우강도 및 풍속강도에 따른 태풍 분류

위의 식을 이용하여 강우강도 및 풍속강도를 계산하였으며, 상위부터 하위까지 내림차순으로 정렬하였다. 본 연구에서는 보고된 재산피해가 2,000억 원 이상이었던 태풍들이 태풍 유형의 구분에 포함 될 수 있도록 과거 태풍 피해 기록을 분석하여 상위 30%까지의 태풍만을 분석에 사용하였다. 총 누적강우는 25개 지점에 태풍기간 동안 내린 강우를 누적 한 것이며, 평균누적강우는 총 누적강우에 전 관측지점인 25개의 지점으로 나눠주었다. 이것은 25개 지점에서 평균적인 강우로 이것은 태풍이 발생한 후에 평균적으로 각 지점에서 내리는 강우를 나타낸다. 강우강도는 평균누적강우를 태풍이 비상구역진입시부터 소멸할 때까지의 지속시간으로 나눠주어 강우강도를 계산 하였다(Table 3).

Table 4에서 총 누적풍속은 41년간의 풍속자료를 더한 것이며, 평균누적풍속은 총 누적풍속을 25개의 지점으로 나눠준 것이다. 이것은 25개 지점에서 평균적인 풍속임을 보여준다. 마지막으로 풍속강도는 평균누적풍속을 태풍이 비상구역 진입 시부터 소멸 할 때까지의 시간인 지속시간으로 나눠주어 풍속강도를 계산하였다.



Table 4. Wind Intensity Index list belongs in the top 30%. List of Typhoon Name, Accumulated wind, Cumulative mean wind.

	Typhoon	Name	Accumulated wind	Cumulative -mean wind	Wind intensity (WI)
1	0603	EWINIAR	2.71E+04	1082.7	60.148
2	1215	BOLAVEN	58650	2346	43.445
3	1216	SANBA	4.22E+04	1688	40.19
4	0215	RUSA	87223	3488.9	38.766
5	9809	YANNI	4.02E+04	1609.6	38.323
6	8705	THELMA	6.56E+04	2622.2	33.618
7	7617	FRAN	1.24E+05	4956.2	33.041
8	0205	RAMMASUN	3.92E+04	1.57E+03	32.707
9	8412	JUNE	4.40E+04	1760.5	32.602
10	0314	MAEMI	4.88E+04	1950.4	32.507
11	9112	GLADYS	9.00E+04	3599.2	3.16E+01
12	0514	NABI	65702	2628.1	31.287
13	7910	IRVING	8.91E+04	3565.8	31.279
14	8613	VERA	1.16E+05	4642.3	30.948
15	7709	BABE	3.88E+04	1550.1	28.705
16	0014	SAOMAI	8.32E+04	3327.7	27.731
17	0012	PRAPIROON	8.17E+04	3.27E+03	27.237
18	8410	HOLLY	5.72E+04	2286.1	27.215
19	7305	DOT	3.25E+04	1298.5	27.052
20	9905	NEIL	3.60E+04	1441.6	26.696
21	8219	KEN	43087	1723.5	26.113
22	9503	FAYE	4.15E+04	1660.8	25.164
23	8310	FORREST	6.27E+04	2509.2	24.6
24	8118	AGNES	9.15E+04	3658.2	24.388
25	7303	BILLIE	4.00E+04	1599.9	24.241
26	7128	BESS	3.08E+04	1231	22.797
27	0004	KAI-TAK	3.07E+04	1226.3	22.71
28	1105	MEARI	3.06E+04	1225.1	22.686
29	7119	OLIVE	4.32E+04	1.73E+03	22.166
30	9109	CAITLIN	3.32E+04	1326.1	22.102
31	9015	ABE	4.96E+04	1985.7	22.063
32	9907	OLGA	3.97E+04	1588	22.056
33	7818	IRMA	2.98E+04	1190.2	22.04
34	9219	TED	5.61E+04	2245.8	22.018
35	7207	RITA	9.78E+04	3911.8	21.732
36	1109	MUIFA	4.24E+04	1694.8	21.729
37	9719	OLIWA	7.15E+04	2860	21.666
38	8211	CECIL	4.84E+04	1936.5	21.516

Table 3. Rain Intensity Index list belongs in the top 30%.

	TC	Name	Accumulated rain	Cumulative -mean rain	Rain intensity (RI)
1	0014	SAOMAI	2.49E+07	9.94E+05	8284.6
2	7119	OLIVE	1.55E+07	6.19E+05	7941.7
3	0004	KAI-TAK	8.41E+06	3.37E+05	6232.4
4	7120	POLLY	1.57E+07	6.28E+05	3491.4
5	0603	EWINIAR	1.36E+06	54559	3031.1
6	0215	RUSA	4.23E+06	1.69E+05	2258.4
7	9809	YANNI	2.27E+06	90913	2164.6
8	0711	NARI	1.89E+06	75666	1801.6
9	0012	PRAPIROON	5.29E+06	2.12E+05	1764.7
10	8412	JUNE	1.72E+06	68844	1274.9
11	1216	SANBA	9.80E+05	39208	933.53
12	0415	MEGI	1.47E+06	58981	893.65
13	8403	ALEX	9.28E+05	37138	884.23
14	7911	JUDY	1.37E+06	54889	831.65
15	9907	OLGA	1.43E+06	57162	793.91
16	0006	BOLAVEN	2.26E+06	90256	791.72
17	0314	MAEMI	1.13E+06	45398	756.63
18	0407	MINDULLE	5.26E+05	21032	701.05
19	0807	KALMAEGI	5.86E+05	23429	557.83
20	8118	AGNES	1.91E+06	76558	510.38
21	8705	THELMA	9.55E+05	38202	489.77
22	8712	DINAH	1.37E+06	54797	480.68
23	1109	MUIFA	8.51E+05	34050	436.54
24	8211	CECIL	9.13E+05	36516	405.73
25	8605	NANCY	2.81E+05	11253	375.1
26	1214	TEMBIN	3.89E+05	15564	370.57
27	8513	PAT	6.48E+05	25912	359.88
28	9112	GLADYS	1.02E+06	40882	358.61
29	8508	KIT	2.62E+06	1.05E+05	342.04
30	1215	BOLAVEN	4.02E+05	16089	297.95
31	9507	JANIS	6.87E+05	27485	286.31
32	7811	CARMEN	7.69E+05	30768	269.9
33	1207	KHANUN	2.80E+05	11219	267.11
34	9307	ROBYN	7.92E+05	31672	251.37
35	8509	LEE	5.63E+05	22531	250.35
36	8505	HAL	1.50E+05	5994.7	249.78
37	9413	DOUG	6.33E+05	25321	248.25
38	8012	NORRIS	2.54E+05	10171	242.17

4) 강우강도 및 풍속강도의 정의 :

앞의 분류 방법에 의하여 태풍의 순위를 산정 하였으며, 각 강우강도와 풍속강도의 내림차순에 따라 강우강도가 높은 순으로 태풍 38개를 선정하며, 풍속강도가 높은 순으로 38개의 태풍을 선정하였다. 여기서 본 연구는 강우강도와 풍속강도의 태풍 목록인 38개의 태풍 중에서 중복적으로 추출된 태풍 16개를 강우와 강풍의 특징을 모두 가진 태풍이기 때문에 비바람 태풍(Table 7)이라 정의하였으며, 그 외의 태풍 중 강우강도 목록의 21개 태풍을 비 태풍(Table 5), 풍속강도에 의해 추출된 태풍을 바람 태풍(Table 6)이라 정의하였다. 여기서, 재해연보에 따르면, 비바람 태풍은 인명피해와 재산피해 10위안에 많이 속해있었다. 인명피해 및 재산피해에 속한 비바람태풍은 RUSA, MAEMI, THELMA, AGNES, GLADYS, YANNI CECLIL 등이 있었다.



Table 5. List of rain-dominant typhoons.

Year	Mon.	Day	Time	TC	Name	RI
1971	8	3	12	7120	POLLY	3491.4
2007	9	15	3	0711	NARI	1801.6
2004	8	18	0	0415	MEGI	893.65
1984	7	4	6	8403	ALEX	884.23
1979	8	24	0	7911	JUDY	831.65
2000	7	28	3	0006	BOLAVEN	791.72
2004	7	3	6	0407	MINDULLE	701.05
2008	7	19	0	0807	KALMAEGI	557.83
1987	8	30	0	8712	DINAH	480.68
1986	6	24	6	8605	NANCY	375.1
2012	8	29	6	1214	TEMBIN	370.57
1985	8	30	12	8513	PAT	359.88
1985	8	5	0	8508	KIT	342.04
1995	8	24	18	9507	JANIS	286.31
1978	8	15	18	7811	CARMEN	269.9
2012	7	17	15	1207	KHANUN	267.11
1993	8	9	3	9307	ROBYN	251.37
1985	8	12	18	8509	LEE	250.35
1985	6	26	12	8505	HAL	249.78
1994	8	8	18	9413	DOUG	248.25
1980	8	29	6	8012	NORRIS	242.17

Table 6. List of wind-dominant typhoons.

Year	Mon.	Day	Time	TC	Name	WI
1976	9	10	0	7617	FRAN	33.041
2002	7	4	9	0205	RAMMASUN	32.707
2005	9	5	3	0514	NABI	31.287
1979	8	15	18	7910	IRVING	31.279
1986	8	26	18	8613	VERA	30.948
1977	9	9	18	7709	BABE	28.705
1984	8	19	18	8410	HOLLY	27.215
1973	7	19	0	7305	DOT	27.052
1999	7	26	3	9905	NEIL	26.696
1982	9	24	6	8219	KEN	26.113
1995	7	22	6	9503	FAYE	25.164
1983	9	26	12	8310	FORREST	24.6
1973	7	17	6	7303	BILLIE	24.241
1971	9	23	18	7128	BESS	22.797
2011	6	25	12	1105	MEARI	22.686
1991	7	28	3	9109	CAITLIN	22.102
1990	8	31	0	9015	ABE	22.063
1978	9	13	12	7818	IRMA	22.04
1992	9	23	6	9219	TED	22.018
1972	7	20	0	7207	RITA	21.732
1997	9	14	9	9719	OLIWA	21.666

Table 7. List of rain-wind dominant typhoons.

Year	Mon.	Day	Time	TC	Name	RI	WI
2006	7	9	3	0603	EWINIAR	3031.1	60.148
2012	8	27	0	1215	BOLAVEN	297.95	43.445
2012	9	16	6	1216	SANBA	933.53	40.19
2002	8	29	9	0215	RUSA	2258.4	38.766
1998	9	29	12	9809	YANNI	2164.6	38.323
1987	7	14	18	8705	THELMA	489.77	33.618
1984	9	1	12	8412	JUNE	1274.9	32.602
2003	9	11	18	0314	MAEMI	756.63	32.507
1991	8	20	0	9112	GLADYS	358.61	3.16E+01
2000	9	14	0	0014	SAOMAI	8284.6	27.731
2000	8	30	6	0012	PRAPIROON	1764.7	27.237
1981	8	31	6	8118	AGNES	510.38	24.388
2000	7	9	18	0004	KAI-TAK	6232.4	22.71
1971	8	5	0	7119	OLIVE	7941.7	22.166
1999	8	2	3	9907	OLGA	793.91	22.056
2011	8	6	3	1109	MUIFA	436.54	21.729
1982	8	11	12	8211	CECIL	405.73	21.516



5) 태풍사례: 루사(0215, RUSA)

강우강도와 풍속강도가 모두 상위층으로 비바람 태풍에 속하는 태풍 0215호 루사에 대하여 사례분석을 하였다. 태풍 루사는 이재민이 8만 8천여 명, 사망·실종이 246명, 재산피해 5조 1,419억 여 원 등 많은 호우를 동반하여 막대한 피해를 입혔다. 또한, 태풍 루사의 특징은 강한 세력을 가지며, 강한 폭풍과 호우를 동반한 태풍이었다(제주도 고산지역: 최대순간풍속 56.7 m/s, 강릉지방: 일강수량이 870 mm). 태풍 루사가 강한 세력을 유지한 원인으로 태풍백서(2011)에 의하면 태풍의 눈이 뚜렷하였으며, 매우 느리게 북상하여 35° N을 지나서 전향하였으며, 남해상의 해수면온도가 평년 보다 2~3° C정도 높았고, 우리나라 상층 주변장의 기압배치가 동서로 북태평양 고기압 세력이 유지되고 있어 상층의 편서풍대가 약해 태풍의 북상을 저지하며, 태풍의 진행과 전향에 필요한 상층기압골의 이동속도가 매우 느렸기 때문이라 분석 하였다. Fig. 5는 태풍이 비상구역이 진입 시부터 소멸할 때까지의 각 지점의 누적강우량(좌)과 최대풍속(우)을 나타낸 것이다. 누적강우량은 속초(1)과 강릉(3)지점이 가장 큰 값을 나타냄을 알 수 있다. 또한, 각 지점에서의 최대풍속을 살펴보면, 제주(23), 서귀포(24)에 큰 풍속을 보임을 알 수 있다(Fig. 5). 이렇게 누적강우량과 최대풍속은 각 지점마다 시간에따라 다른 양상을 보이며, 이것을 좀 더 자세히 살펴보기위하여 각 지점에서의 시계열을 나타내었다(Fig. 6, Fig. 7).

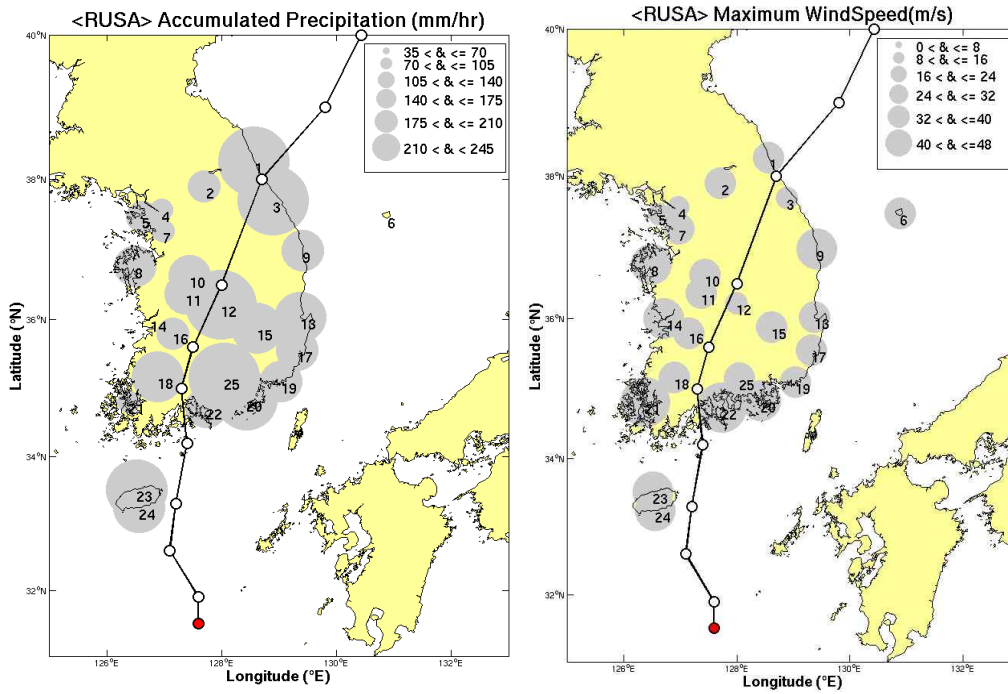


Fig. 5. It shows accumulated rain (left panel) and Maximum of wind speed (right panel) of typhoon (RUSA) at each station.

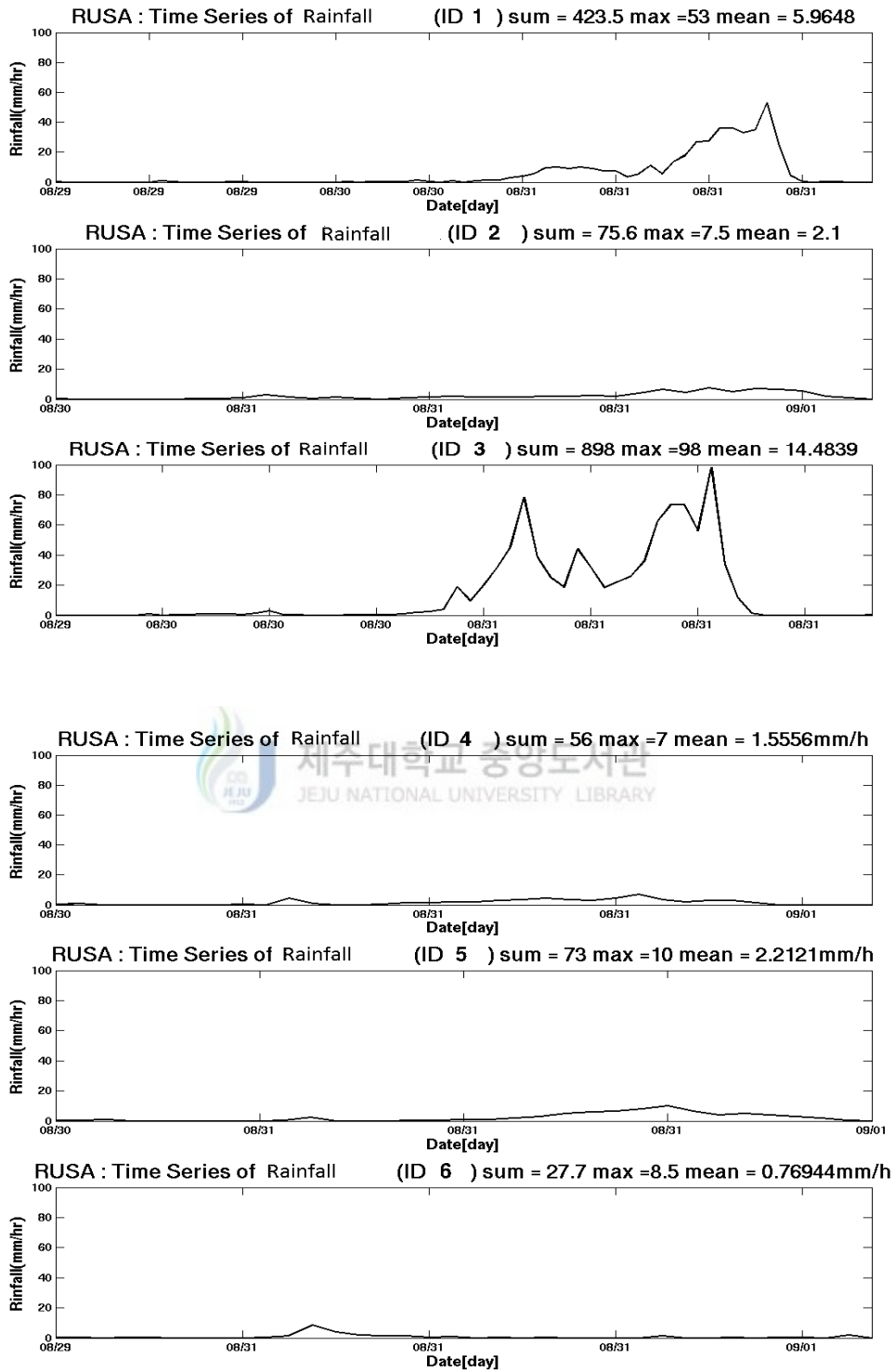


Fig. 6. Time series of rainfall on Aug. 30–31, 2002, at station.

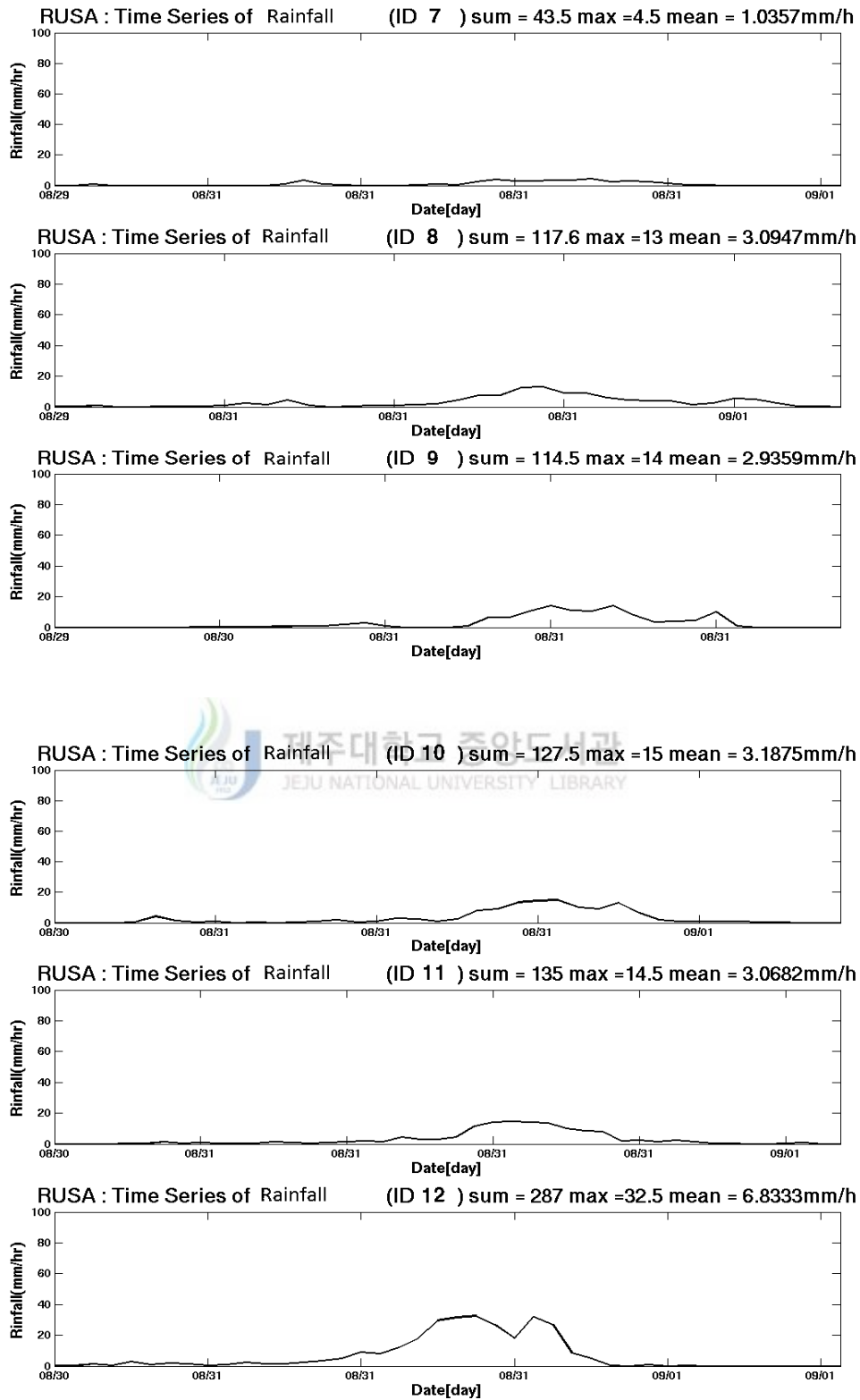


Fig. 6. Continued

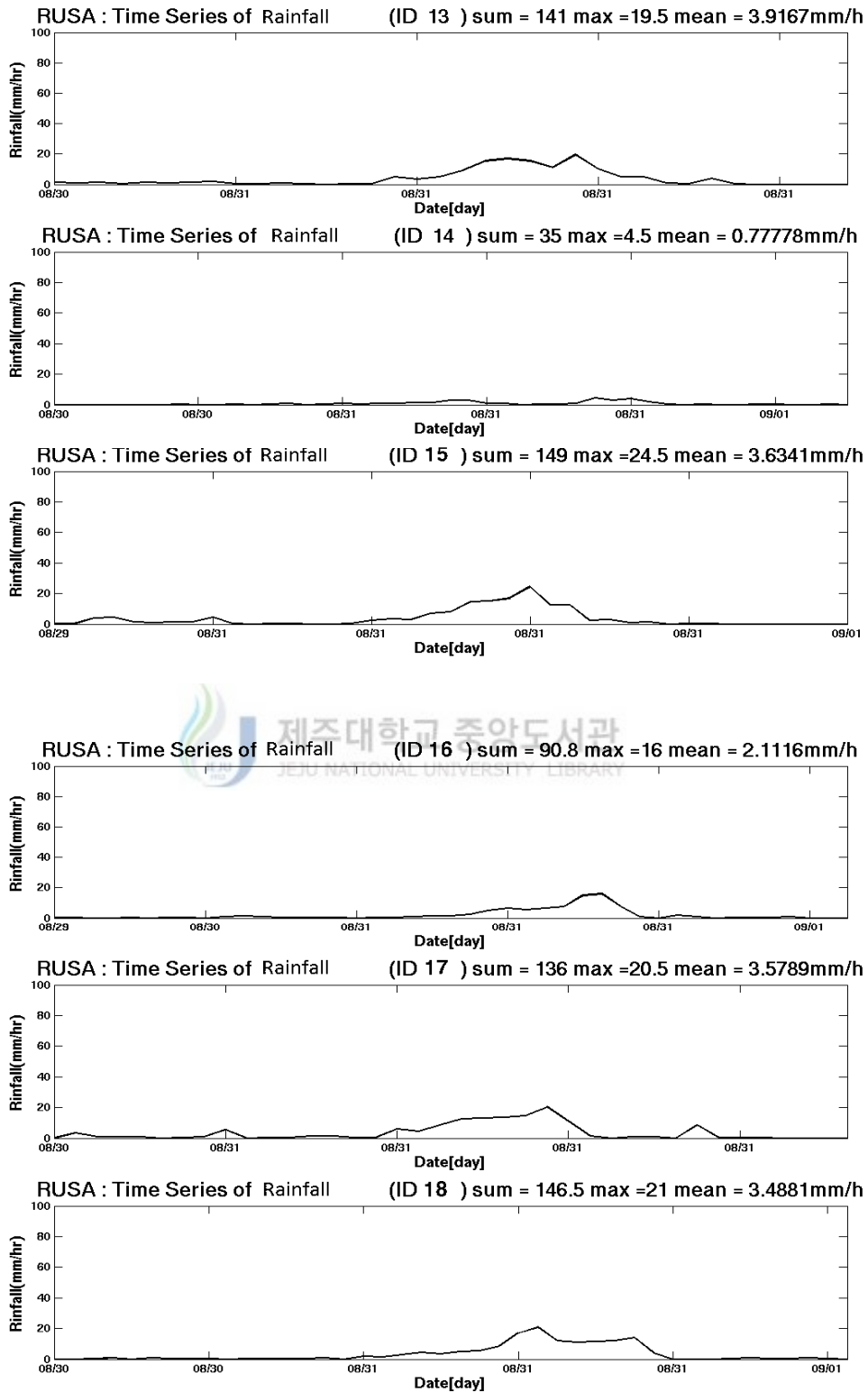


Fig. 6. Continued

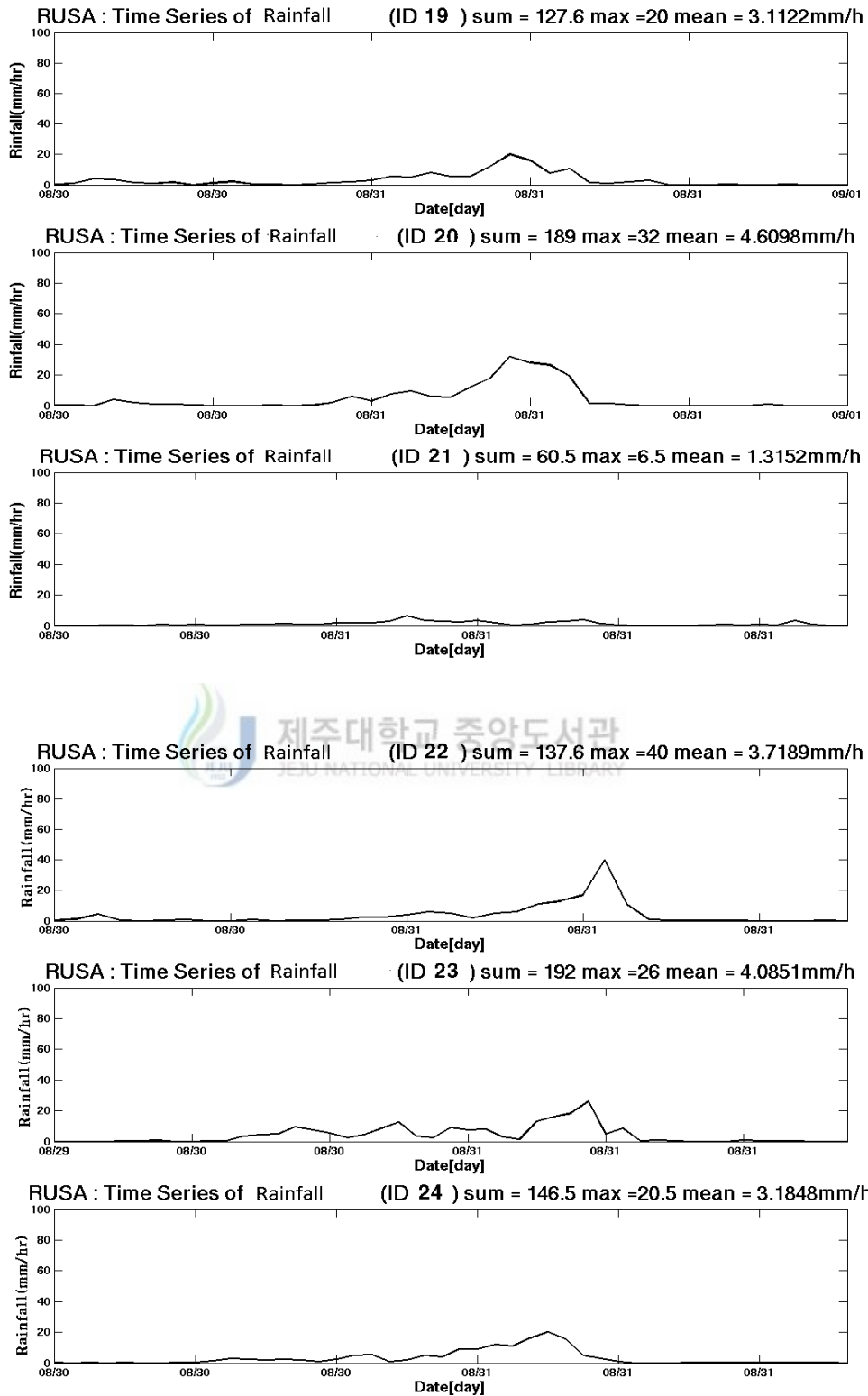


Fig. 6. Continued

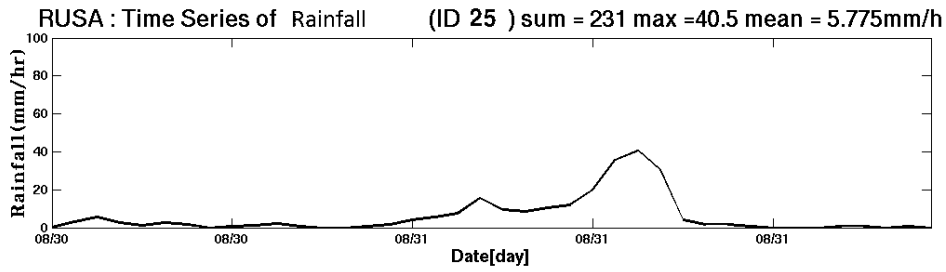


Fig. 6. Continued.

Fig. 6은 본 연구에서 선정된 25개 지점에서 태풍이 비상구역에 진입 시부터 소멸까지의 시간에 따른 강우를 시계열로 나타내었다. 또한, 태풍의 총 강우량과 최대강우량 그리고 평균 강우량을 보여준다. 태풍이 비상구역에 진입 시부터 시간이 지남에 따라 각 지점에서의 최성기가 달라지고 있음을 알 수 있다. 각 지점에서의 시계열을 살펴보면 강릉지역(ID 3)에서 전체누적강수량이 898 mm 였으며 그 중 최대강수는 98 mm/h, 평균 강수가 14.48 mm/h로 매우 높은 강수를 보였다. 또한, 태풍의 한반도영향기간인 8월 31일부터 최성기를 보였다. 그에 반해 경기도 및 서울은 매우 낮은 강우량을 보여준다.

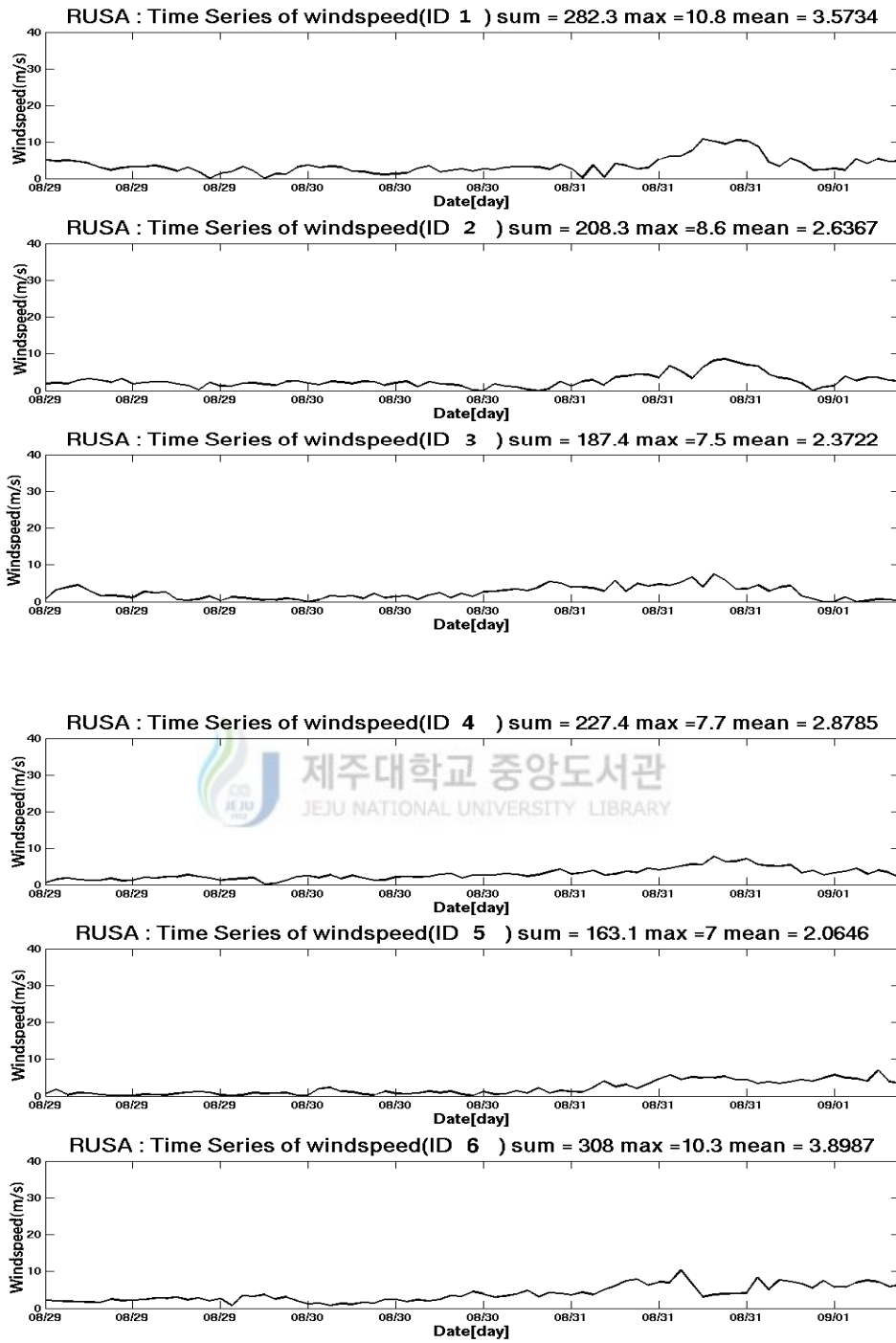


Fig. 7. Time-series of wind speed when typhoon enters emergency zone until its extinction.

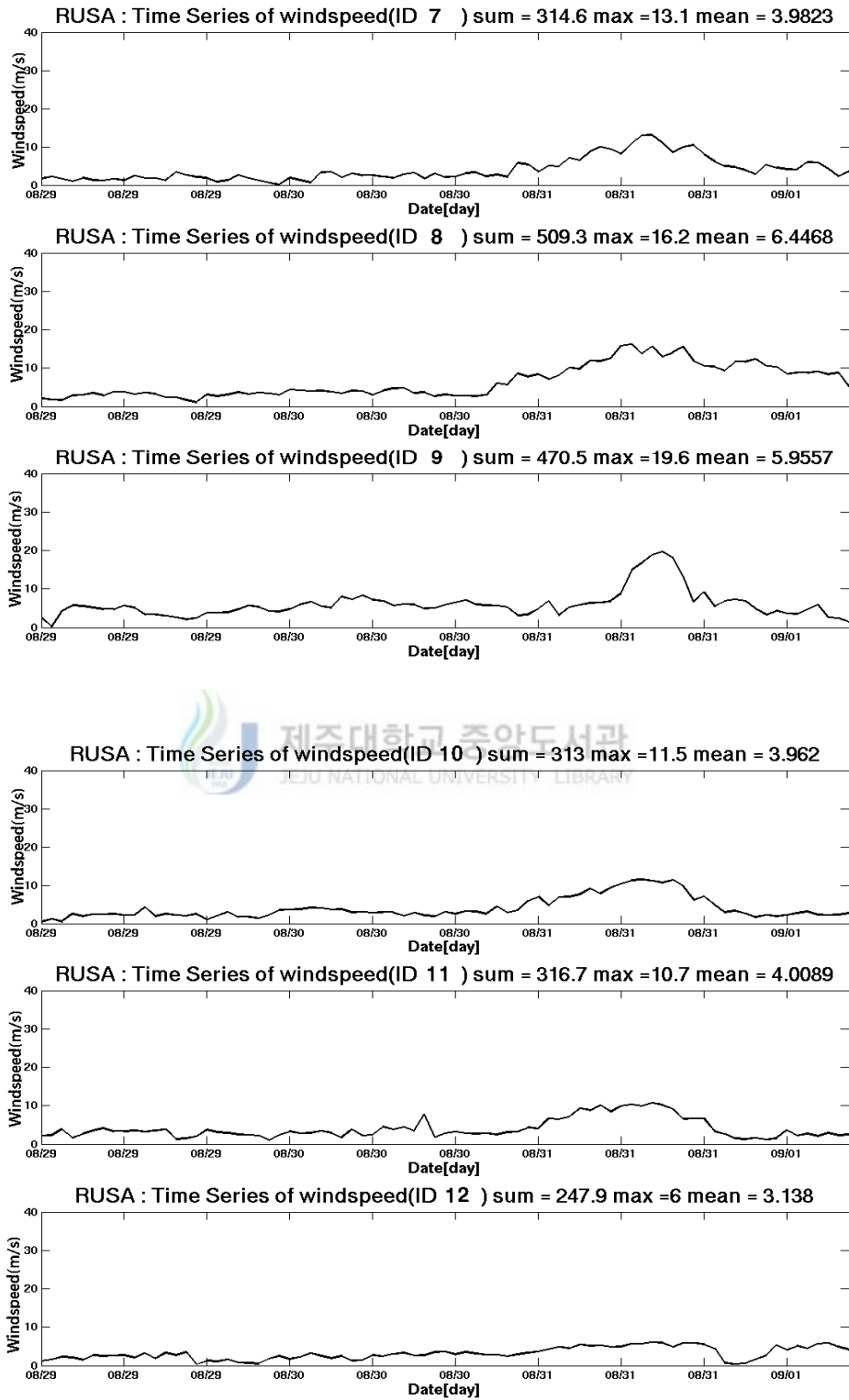


Fig. 7. Continued

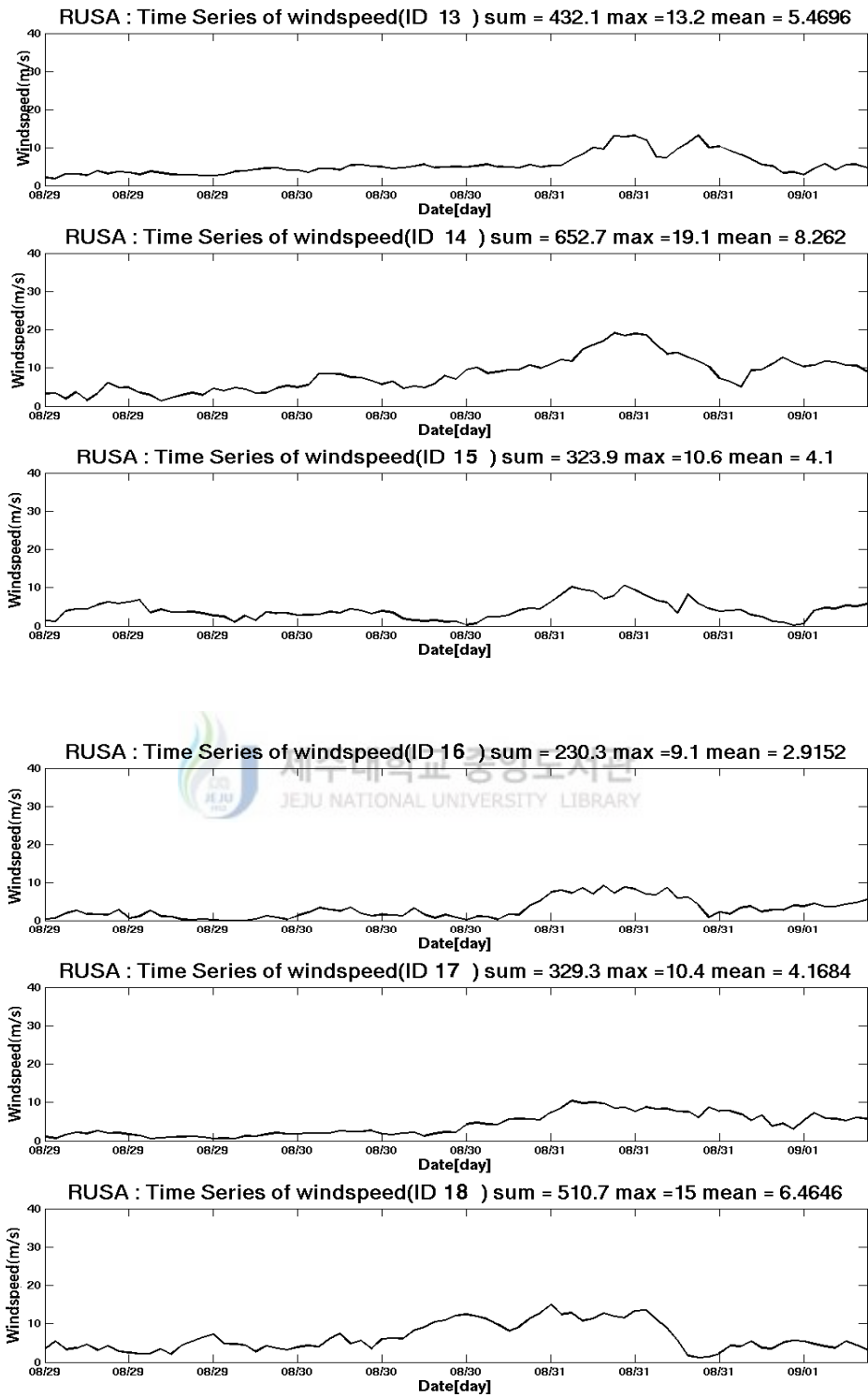


Fig. 7. Continued

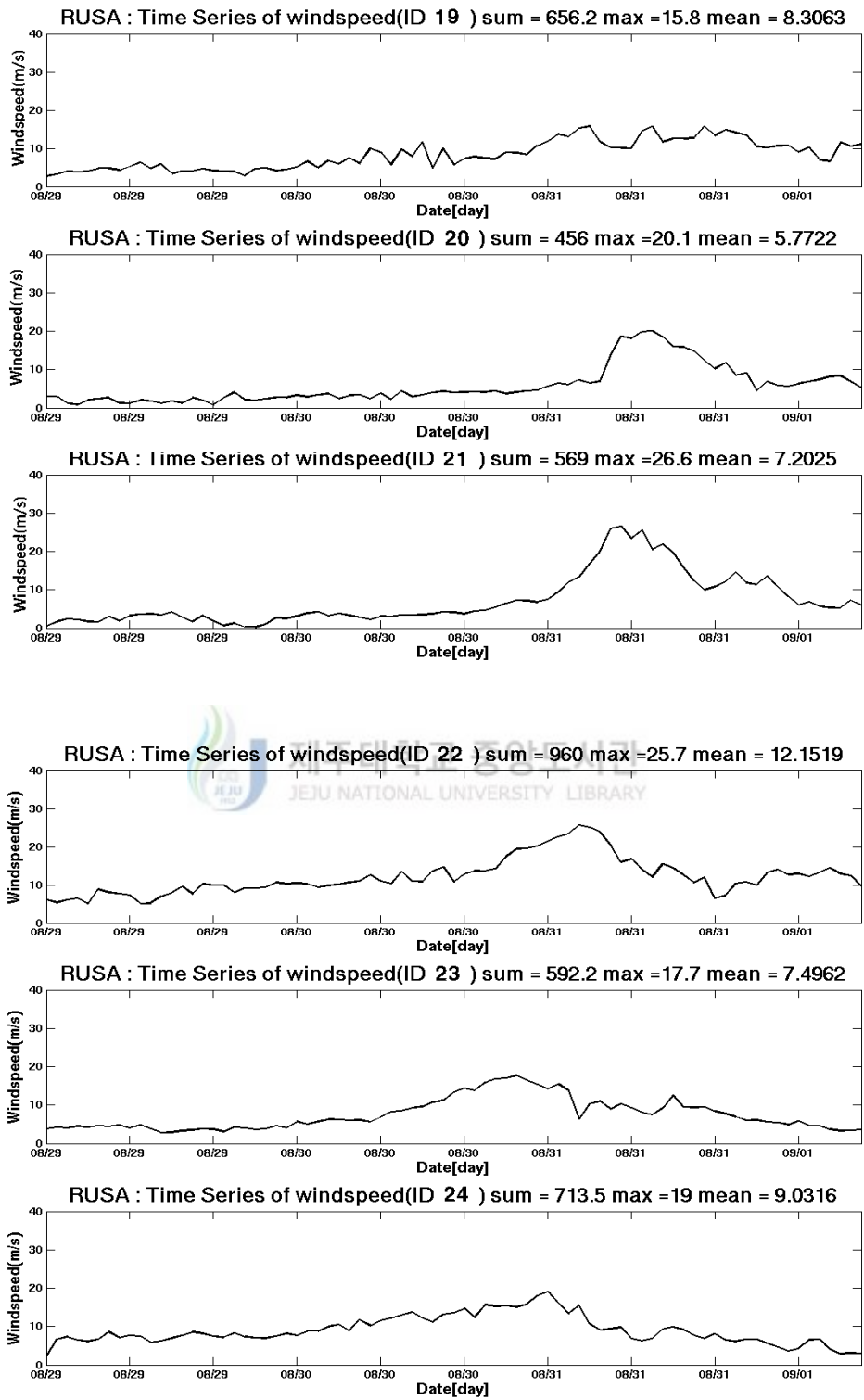


Fig. 7. Continued

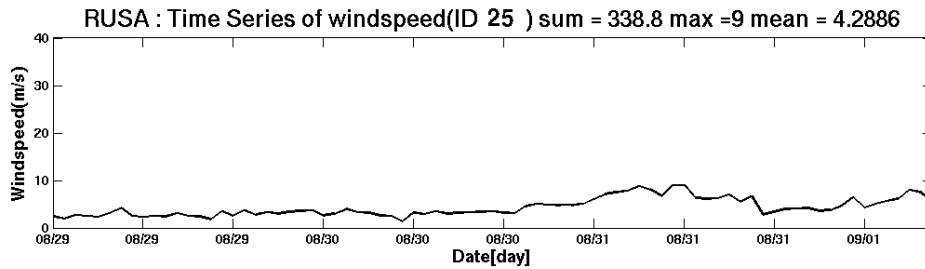


Fig. 7. Continued

Fig. 7에서의 최대풍속은 Fig. 5와 같이 제주(ID 23)과 서귀포(ID 24)에 높게 나왔음을 보인다. 다음의 시계열 또한, 태풍이 시간이 지남에 따라 각 지점마다 다른 양상의 값이 나타남을 알 수 있다. 특히, 지점 1번부터 6번까지는 시간이 지남에 따라 비슷한 값의 시계열을 보이고 있으나, 19-21번은 태풍이 소멸할 시점에 최성기를 보이며, ID 22-24번의 지점은 전체적으로 태풍의 지속시간 동안 높은 값을 나타내고 있음을 보인다. 따라서 태풍 루사의 진행하는 진로에 따라 태풍의 강우 및 풍속이 지점마다 다르게 변함을 보인다.



3. 연구 결과

3.1 재해유형에 따른 태풍의 이동속도, 중심기압, 진로밀도

(1) 이동속도

비 태풍 바람 태풍 그리고 비바람 태풍에 대하여 태풍이 비상구역에 진입 시 부터 소멸 할 때까지 각각의 위·경도에서 거리 차를 지속시간으로 나누어 이동 속도를 구하였다. 비 태풍의 평균 이동속도는 10.3 m/s이며, 바람태풍의 이동속도는 8.3 m/s 이며, 비바람 태풍의 이동속도는 11.8 m/s 임을 알 수 있다. 고헤영 등(2009)에 따르면, 호우를 유발하는 태풍은 하층에 다량의 수증기를 유입 되는 조건 하에서 태풍 전면에 정체전선과 같은 수렴대나 블로킹을 유발하는 요소가 있음으로써 태풍의 지속시간이 긴 특징을 갖는다고 밝힌 바 있다. 그러나 본 연구에서 태풍 이동속도는 비 태풍이 바람태풍보다 빠름을 보이는데 이것은 이전의 연구와 상반된 관계를 보이지만, Fig. 8의 박스그림에서 비 태풍의 이동 속도는 바람태풍에 비해 오차범위가 넓으며, 평균의 차이도 작아 이전의 연구와 비교하기 힘들다. 또한, 일반적으로 p값이 0.05보다 낮으면 귀무가설이 95%의 유의수준으로 기각된다. 그러나 바람 태풍과 비 태풍의 p값은 0.05보다 큰 값을 보여 95% 신뢰수준에서 무의미함을 보였다.

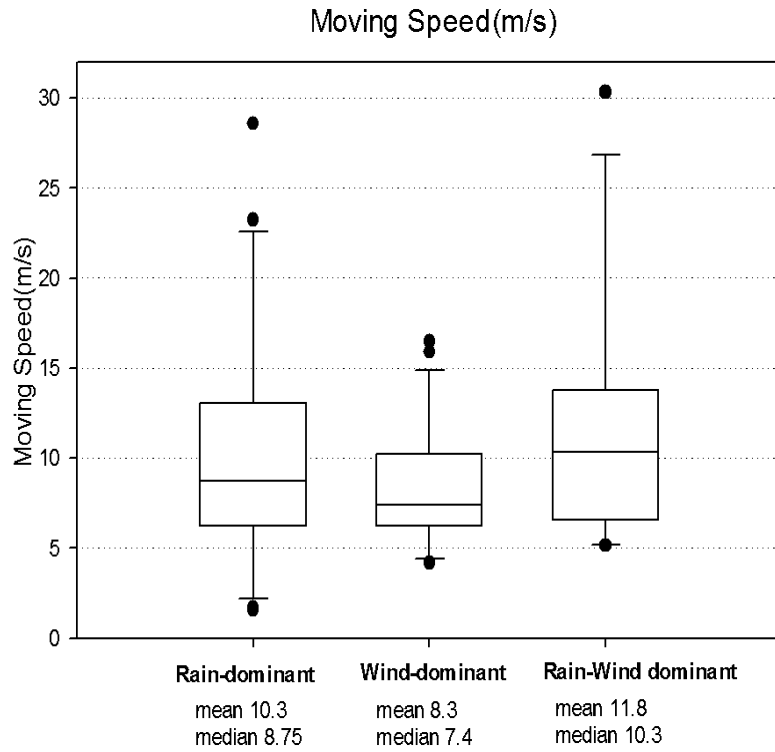


Fig. 8. Moving speed of the typhoon type. The boxes show the 25th and 75th percentiles, the lines in the boxes mark the median and the circles the values below (above) the 25th (75th) percentiles of the distributions.

2) 중심기압

중심기압은 두 가지의 방법으로 분석 하였다. 첫 번째는 본 연구의 지속시간과 연관하여 비상구역에 태풍이 진입 할 때부터 소멸 할 때까지의 중심기압을 평균 하여 나타내었고(Fig. 9(a)), 두 번째는 태풍이 한반도에 영향을 준 시기를 평균 하여 나타내었다(Fig. 9(b)). 전자에서는 바람태풍의 중심기압이 평균 979 hPa 로 가장 낮으며, 그 다음 비바람 태풍, 비 태풍의 순으로 중심기압이 낮았다. 그러나 후자일 경우에는 비바람 태풍의 중심기압이 가장 낮았으며, 비 태풍과 바람 태풍의 중심기압은 1 hPa 차이가 남을 알 수 있다. 그러나 중심기압의 비교는 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하지 않았다. 여기서, 비바람태풍은 전체적으로 빠른 이동속도(Fig. 8)와 낮은 중심기압을 보여 강한강도의 태풍임을 알 수 있다.

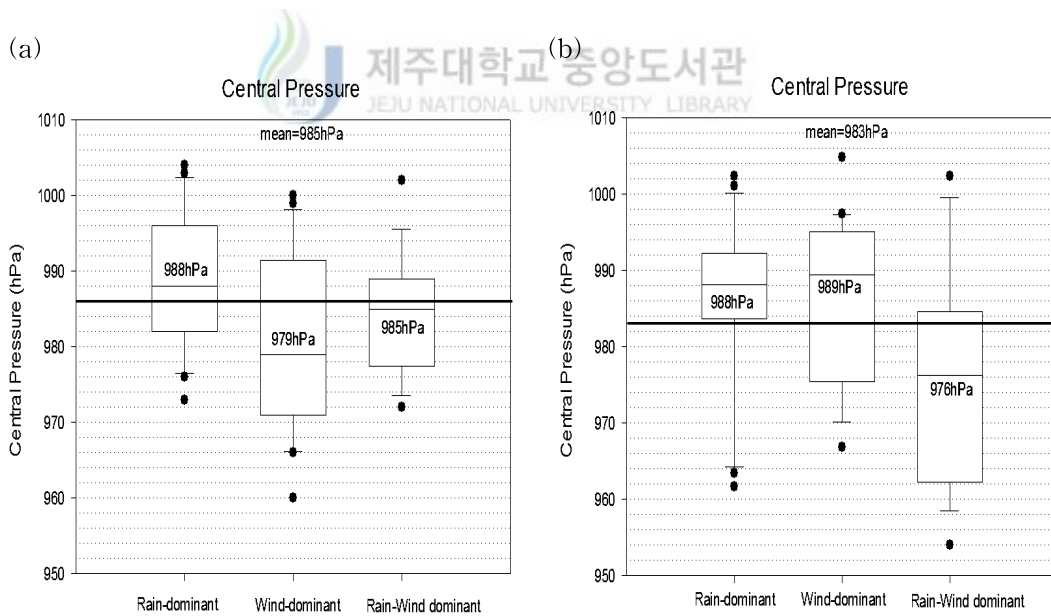


Fig. 9. Distribution of mean central pressure typhoon from the emergence zone to the decayed stage, when typhoon enters emergency zone until its extinction (a), the mean central pressure of influencing Typhoons in the Korea peninsula (b).

Table 8. Comparison of central pressure of the typhoon type (MSLP1 is the central pressure of the typhoon from entering time of the emergency zone degraded stage and MSLP2 is the central pressure of typhoon affecting the Korean peninsula).

Rain-dominant			Wind-dominant			Rain-Wind dominant		
TC	MSLP1 (hPa)	MSLP2	TC	MSLP1 (hPa)	MSLP2	TC	MSLP1 (hPa)	MSLP2
7120	1004	985.3	7617	1000	989.4	0014	982	959.6
0711	980	963.4	0205	978	989.4	7119	993	976.2
0415	976	967.6	0514	971	984.8	0004	994	998.9
8403	978.6	1001.1	7910	971	970.2	0603	990	975.9
7911	986	987.1	8613	983	966.8	0215	975	962.6
0006	992	988.3	7709	968	995.2	9809	985	978
0407	989	983	8410	975	976.2	0012	985	980.1
0807	1000	993.6	7305	995	992	8412	1002	993.2
8712	973	961.7	9905	988	980.7	1216	974	964.6
8605	994	996.2	8219	990	997.5	9907	988	974.6
1214	998	984.5	9503	979	970.2	0314	976	954
8513	984	988.2	8310	967	991.4	8118	972	985.2
8508	988	990.9	7303	975	992	8705	979	961.5
9507	996	990.8	7128	999	996.5	1109	986	982
7811	980	986.4	1105	984	985.2	8211	985	1002.4
1207	995	986.8	9109	960	974.8	9112	980	984.1
9307	988	973.6	9015	993	995.4	1215	981	961.9
8509	986	989.6	7818	978	995			
8505	996	996	9219	994	990.8			
9413	987	990.1	7207	966	971.9			
8012	1003	1002.4	9719	986	1004.9			
Total	20774	20707	Total	20600	20710	Total	16727	16595
Mean	989.2	986.0	Mean	981.0	986.2	Mean	983.9	976.2
Median	988	988.2	Median	979	989.4	Median	985	976.2

3) 진로밀도

비 태풍과 바람태풍, 비바람 태풍으로 정의된 태풍목록을 이용하여 태풍의 전체 진로밀도를 비교분석하였다(Fig. 10). 비 태풍의 개수는 총 21개였으며, 전체적으로 한반도에 상륙하는 태풍이 많았다. 특히, 진로밀도에서 대만 동쪽으로 많은 태풍이 통과하였으며, 따라서 이 비 태풍의 진로밀도는 열대해역을 긴 시간 이동하면서 수증기함유량이 많아져 한반도에 많은 강수를 내리게 한 것으로 분석된다(Fig. 10(a)). 두 번째로 바람태풍은 총 21개의 태풍이며, 진로밀도는 비 태풍보다 대만에서 더 동쪽해양으로 지나가며, 좀 더 동쪽에서 전향을 하기 때문에 한반도에 상륙하지 않은 경향을 보이며, 일본의 후쿠오카를 상륙하여 대한해협을 통과하는 경향을 보인다. 또한, 중국내륙에 강풍반경이 위치하면서 한반도에 상륙할 시 수증기의 양이 적어진 것으로 분석되어진다(Fig. 10(a)). 마지막으로 비바람 태풍은 총 16개의 태풍이며, 한반도가 태풍의 위험반원에 위치하면서 강한 기압경도와 긴 거리를 이동해오는 유선으로 강한바람을 동반하며, 많은 강수량을 가진 태풍의 진로밀도로 분석되어진다. 여기서 비 태풍과 비바람 태풍의 진로밀도는 서해안으로 진입하여 한반도가 위험반원에 있었기 때문에 많은 강수를 가진 특성이 있는 것으로 분석되어진다. 또한, 태풍이 한반도 서해상으로 진입하는 경우 대부분 태풍의 위력이 감소하여 강풍은 기록되지 않지만, 태풍에 의해 많은 양의 수증기가 한반도로 유입되면서 폭우를 발생시켰다는 연구결과와 일치함을 알 수 있다(Park et al., 2006; Choi and Kim, 2007). 따라서 강수를 갖는 특징을 갖는 비 태풍과 비바람 태풍이 서해안으로 진입하는 경향이 많은 원인을 분석하고자 좀 더 세부적인 월별로 분류하였다. 이것은 다음 3.4에서 자세히 살펴본다.

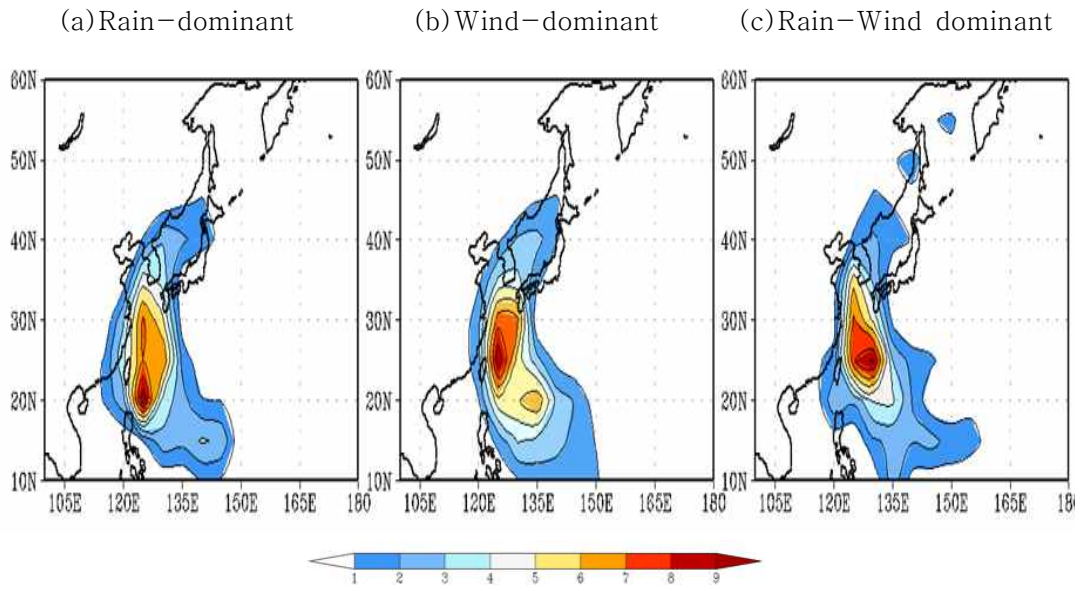


Fig. 10. Typhoon track density of the typhoon type. Rain-dominant typhoon (a), Wind-dominant typhoon (b) and Rain-Wind dominant typhoon (c).

3.2 강우강도와 풍속강도의 분포

6월에서 8월의 몬순기간에는 장마전선이나 태풍 등에 의한 강수가 빈발하며, 이 기간의 강수량이 연강수량의 50%정도를 차지하는 등 계절적인 특성이 뚜렷함을 밝혔다(허창희 등, 1988; 최지영와 신기창, 2011). 또한, 설동인과 민병언(1992)는 태풍재해유형에 따라 월별로 분류 하여 나타내었으며, 비 태풍과 비바람 태풍은 8월에 많으며 비 태풍이 바람태풍보다 더 큰 재해를 일으킴을 밝혔다. 따라서 본 연구에서는 월별 강우강도와 풍속강도의 상관성을 파악하기 위하여 산포도를 나타내었다(Fig. 11). x축을 풍속강도로 나타냈으며, y축을 강우강도로 나타내었다. 빈 원은 전체의 128개의 태풍을 나타낸 것이며, 검정원은 각 월에 해당하는 태풍을 나타낸 것이다. 즉, 왼쪽에는 강우 특성의 태풍이 많음을 뜻한다. 실선은 상위30%를 나타내며, 회색음영(왼쪽 위)은 비 태풍이며, 8월(c)에는 비 태풍의 21개의 태풍 중 61%에 해당하는 13개가 있었으나, 9월(d)에는 4.8%에 해당하는 1개의 비 태풍이 있었음을 보인다. 또한, 오른쪽 아래는 바람 특성을 나타내며, 회색음영(오른쪽 아래)은 바람태풍이다. 8월의 바람태풍의 개수는 4개였으며, 9월에는 9개로 8월과 9월의 비 태풍과 바람태풍의 구분되는 특징을 보임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 8월과 9월의 특성을 파악하여 왜 8월에 비 태풍이 많으며, 9월에 바람태풍이 많았는지 분석하고자 한다. 여기서 짙은 회색음영은 비바람 태풍이다.

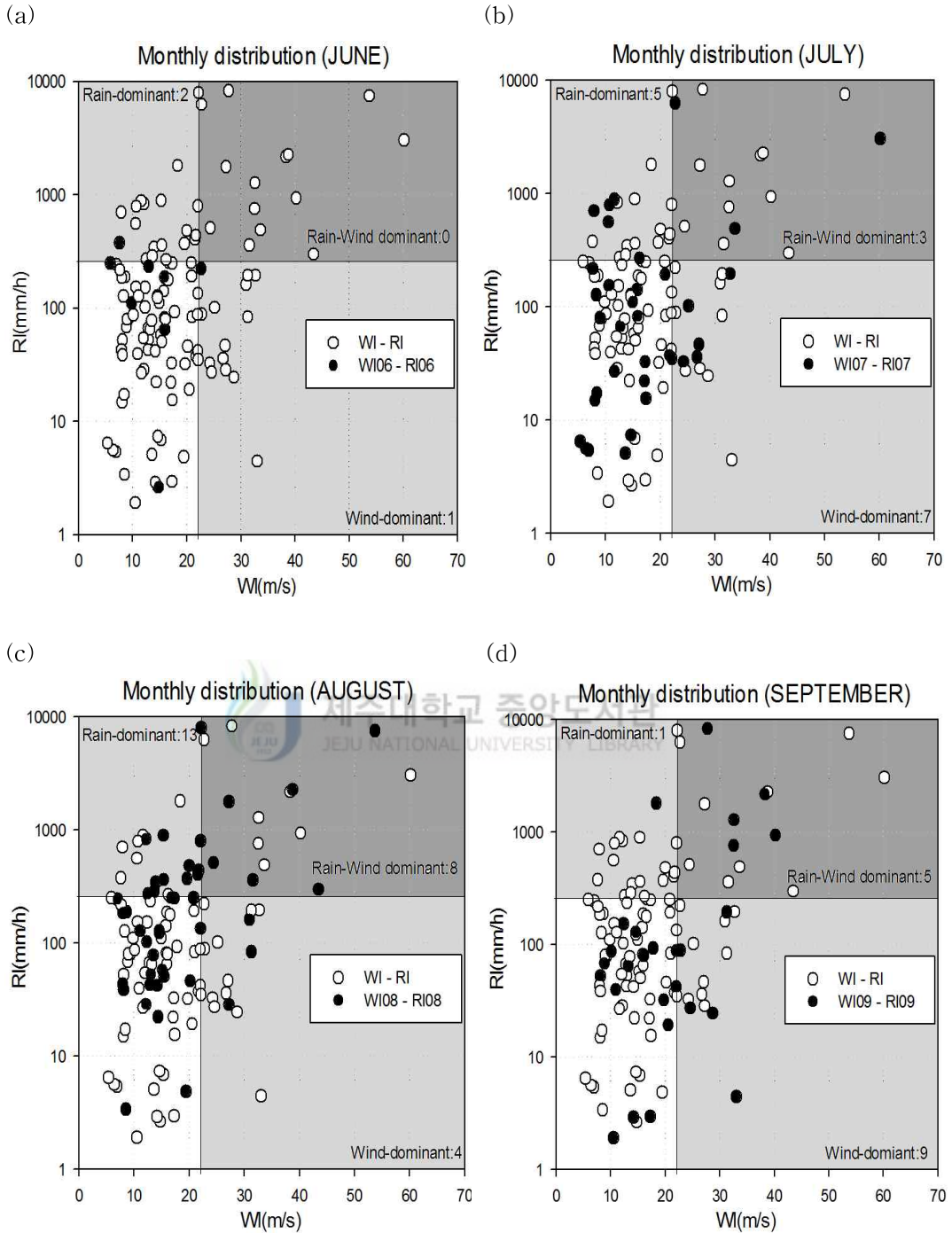


Fig. 11. Scatter plot of typhoon intensity versus rain intensity. open circle indicated total typhoons and the black circles belongs to each month. (a) June, (b) July, and (c) August, and (d) September, respectively

1) 월별 이동속도

상위 30%안에 속한 모든 태풍들에 대해서 8월에 있었던 태풍과 9월에 있었던 태풍들의 이동속도를 나타내었다. 이동속도를 나타내는 Fig. 12는 8월에는 평균이동속도가 10.2 m/s였으며, 9월의 평균 이동속도는 9.5 m/s로 8월의 이동속도가 빨랐다. 그러나 평균이동속도의 차이가 0.7 m/s 차이일 뿐이며, 오차 범위 또한 크지 않았다. 또한, P값이 0.05보다 큰 값을 가지며, 통계적으로 유의하지 않음을 보였다.

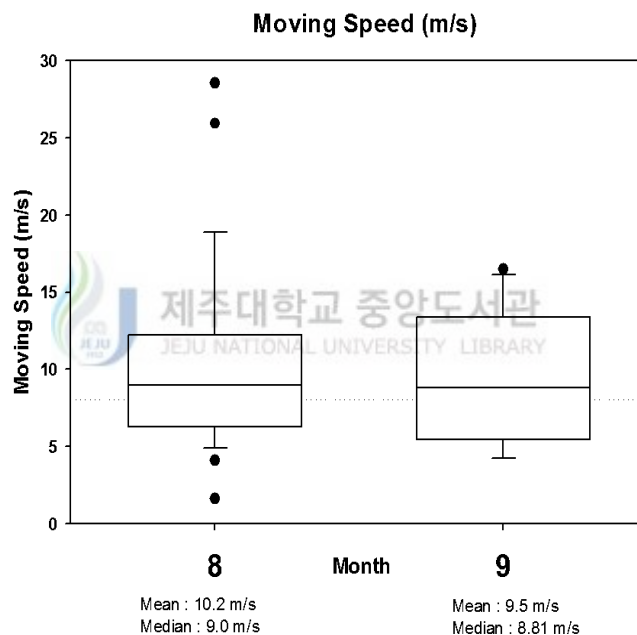


Fig. 12. Moving speed for Aug. (left) and Sep. (right).

2) 월별 중심기압

월별 중심기압을 나타내었다. Fig. 13(a)는 태풍이 비상구역에 진입 할 때부터 소멸 할 때까지의 중심기압을 월별로 나타내었다. 8월의 평균 중심기압은 985 hPa이며, 9월의 평균중심기압은 983.4 hPa로 9월의 평균중심기압이 낮았음을 알 수 있다. 또한, 태풍이 한반도에 영향을 줄 기간 동안의 평균중심기압 (Fig. 13(b))은 8월에는 981.3 hPa, 9월은 983.8 hPa로 큰 차이를 보이지 않으며, 다만 9월의 오차범위가 8월에 비해 큼을 알 수 있다. 또한 각 중심기압을 t-test검정을 거친 결과 모두 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하지 않음을 보였다. 이렇게 9월의 오차범위가 큰 원인으로 남해안으로 상륙하는 태풍이 많으며, 9월 북태평양고기압이 동쪽으로 수축함에 따라 한반도를 상륙하지 않는 태풍이 많기 때문에 지형마찰에 의한 태풍의 강도의 감소가 적었기 때문인 것으로 분석된다.

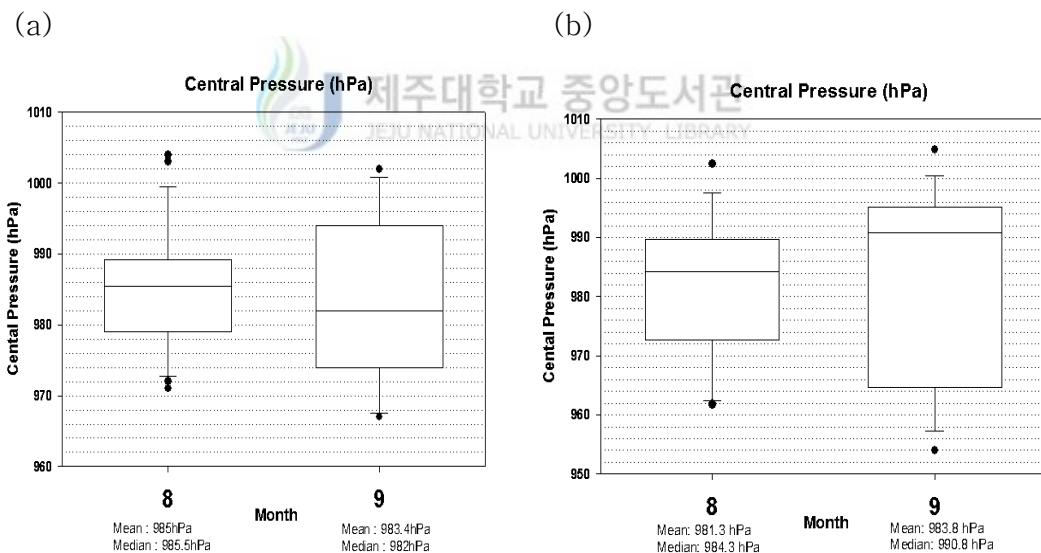


Fig. 13. The Central pressure for Aug.(left) and Sep.(right). (a) Mean Central pressure when typhoon enters emergency zone until its extinction and (b) the mean central pressure of influencing Typhoons in the Korea peninsula for Aug.(left) and Sep.(right).

3) 월별 진로밀도

Cha et al.(2007)은 한반도의 여름철 강수량의 20-30%의 원인을 태풍에 의한 것 이며, 최근 10년 동안 동아시아에서 8-9월 강수량이 증가하는 경향이 뚜렷하다. 그 원인 중의 하나가 태풍의 진로 때문이라고 밝혔다. 따라서 월별 진로 비교를 하였다. Fig. 14(a)는 8월에 비상구역에 진입한 태풍들의 특징을 보여준다. 8월의 진로밀도는 태풍이 서해안으로 진입하여 한반도에 상륙하여 동해안으로 통과하는 진로밀도가 많았다. 그러나 9월태풍의 진로밀도는 전체적으로 8월의 태풍 진로밀도보다 좀 더 동쪽으로 통과하거나 남해안으로 상륙하는 경향을 보인다(Fig. 14(b)). 이것은 Fig. 10에서 비 태풍과 비바람 태풍은 8월의 평균 진로밀도와 비슷하며, 바람 태풍은 9월의 평균진로 밀도와 비슷함을 보여준다. 안숙희(2008)는 서해로 통과하는 태풍은 7월과 8월에 주로 영향을 주고, 동해를 통과하는 태풍은 주로 8월과 9월에 영향을 주는 것으로 나타남을 보여 이전 연구와 일치함을 보인다. 따라서 이렇게 월별에 따른 진로변화를 보이는 원인을 다음 장에서 대기 종관을 통해 분석해보고자 한다.

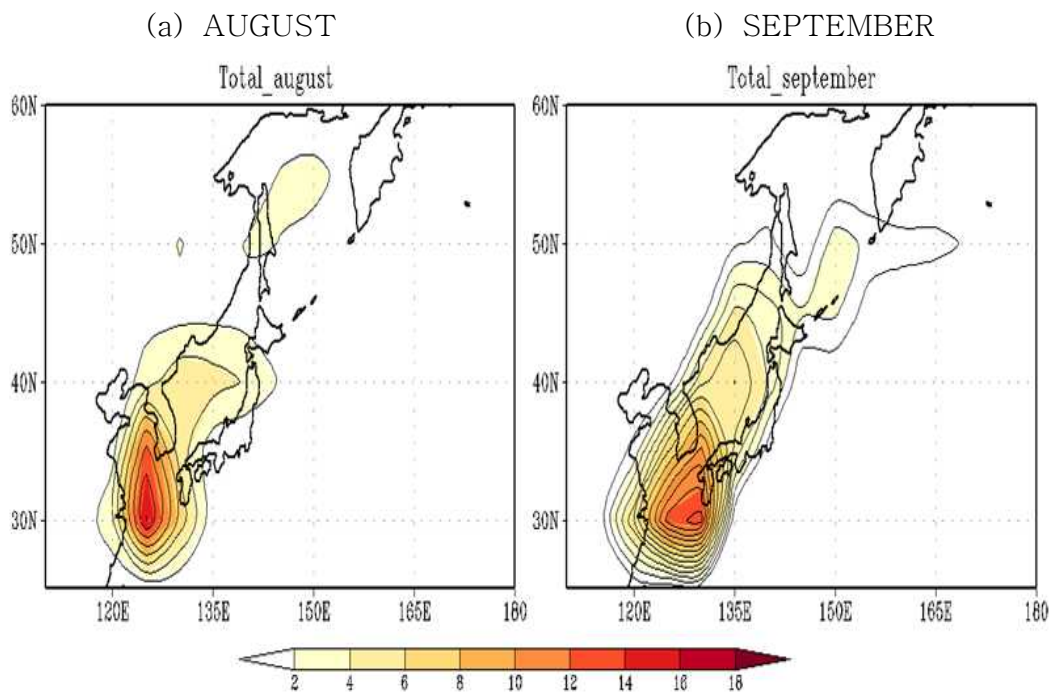


Fig. 14. Typhoon track density for Aug.(left), and Sep.(right).

3.3 월별 대기종관 분포

1) 500 hPa고기압과 500 hPa유선도

태풍백서(2011)에 따르면, 태풍의 진로는 북태평양 고기압을 우측으로 보면서 그 가장자리를 따라 시계방향으로 진행하며, 이 고기압의 기압마루 상에서 전향한다. 전향점의 위치는 북태평양 고기압의 성쇠와 밀접한 관계가 있으므로, 고기압의 위치와 세력은 진로의 예상에 큰 영향을 미친다라고 밝혔다(Ho et al., 2004, 2005; Wu et al., 2005). 따라서 태풍의 진로가 월별에 따라 달라지는 원인을 분석하고자 500 hPa에서의 북태평양 고기압과 유선도를 나타내었다. Fig. 15는 각 월에 비상구역에 진입한 태풍에 따른 500 hPa 유선도와 북태평양 고기압을 나타내었다. 8월의 500 hPa 북태평양고기압(5880 gpm)은 서쪽으로 확장되고 남쪽으로 치우쳐 있어서 태풍의 진로가 대만동쪽에서 전향하여 서해안으로 진입하는 경향을 만들었으며(Fig. 15(a)), 9월의 500 hPa 고기압(5880 gpm)은 8월의 북태평양고기압보다 좀 더 동쪽과 북쪽으로 수축되어 태풍의 진로가 8월의 진로보다 좀 더 동쪽으로 수축하는 형태를 보여준다(Fig. 15(b)). 또한, 8월 진로밀도와 9월의 진로밀도를 살펴보면 8월의 태풍의 진로가 서해안으로 진입하여 일본 후쿠시마 쪽으로 이동하는 경향을 보인다. 이것은 태풍과 중위도시스템의 상호작용의 영향임을 알 수 있다.

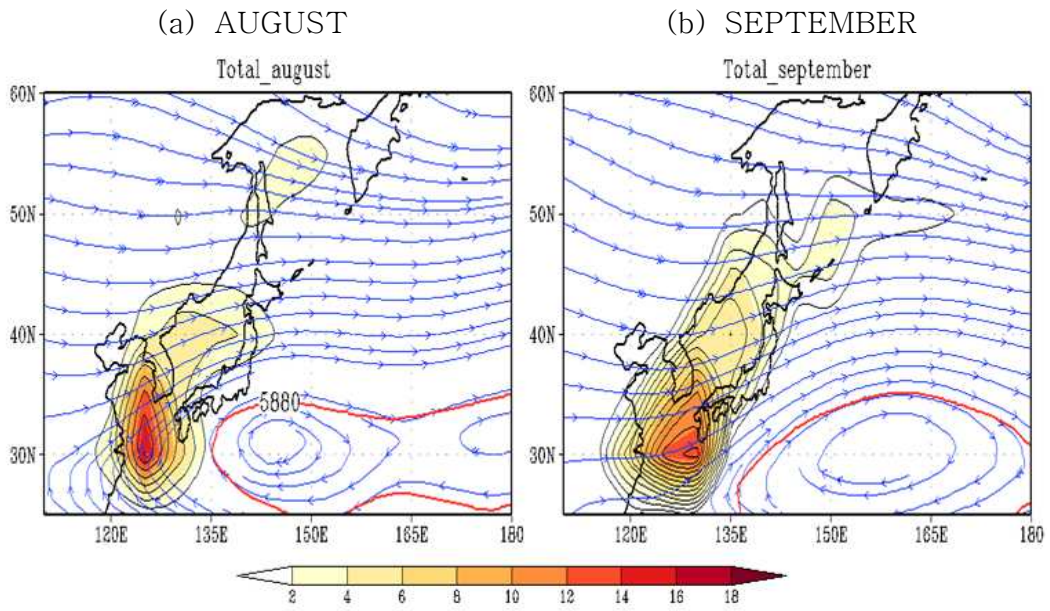


Fig. 15. Change of streamline at the 500 hPa and North pacific high (red line) for Aug. (left), and Sep. (right).

2) 200 hPa 제트기류 및 상층 발산

대기 상층에서 풍속 25 m/s 이상의 강한 바람영역인 제트기류(jet stream)가 존재한다. 이것은 한반도가 위치한 중위도에 발생을 하며, 1년 내내 고도 9~12 km 부근에 발생한다. 이 제트기류 입구에는 발산이 발생하며, 하층에는 수렴이 발생하는데 이것은 공기의 상승과 하강운동을 시킨다. 그렇기 때문에 한반도에 영향을 주는 태풍은 제트기류의 위치에 따라 강수량과 강수의 분포형태가 달라진다. 또한 제트기류는 태풍이 소멸 할 때도 영향을 준다(Harr et al., 2000).

황호성 등(2010)에 의하면, 전선 및 온대저기압은 상층 제트로부터 에너지를 공급받으면 더욱 발달하며, 태풍이 중위도 접근 시 태풍의 북동쪽에 상층 200 hPa 제트기류의 입구 및 기압골이 위치하면 태풍중심에서 상승기류가 강해져 상대습도가 증가하고 강우강도가 강해진다고 밝혔다. 또한, 하층제트는 수증기의 수송과 온난이류를 하며 호우나 장마의 경우에 보여주나, 상층제트는 호우역의 역학적 불안정을 유도함과 동시에 찬 공기의 유입을 이끌어 호우역의 공기를 불안정시키는 역할을 한다.

따라서 본 연구에서 태풍이 중위도로 북상할 조건에서 호우가 발생할 수 있는 대기 조건하에서 분석하려고 하였고, 태풍이 상층제트기류에 의해 약해지지 않고 강해져 한반도에 주는 영향을 보기 위함이다. 또한 Shi et al.,(1997); Roders et al.,(1991)은 허리케인 Florence(1988)가 중위도로 북상할 때 허리케인의 북동쪽에 상층 제트기류 및 기압골이 위치하여 허리케인 주변 상승기류가 강해지고, 상대습도가 증가하게 되어 강우강도가 강해졌다고 밝혔다. 따라서 본 연구는 이전연구들과 마찬가지로 상층제트와 맞물려있는 상층발산장을 함께 살펴보았다. Fig. 16는 8월과 9월의 200 hPa 발산역과 200 hPa 제트기류를 나타낸 것이다. Fig. 16(a) 제트기류 입구 남쪽에 한반도가 위치하며, 이곳에 강한 발산역이 유도가 되어 강한 강수가 오랫동안 노출된 것으로 분석된다. 9월의 제트기류는 8월의 제트기류보다 강하며, 8월보다 남하하여, 제트기류 입구가 일본위에 위치함을 알 수 있다. 즉, 8월의 대기환경은 9월에 비하여 강수가 많은 환경이며, 비 태풍이 많은 환경이었음을 확인 하였다.

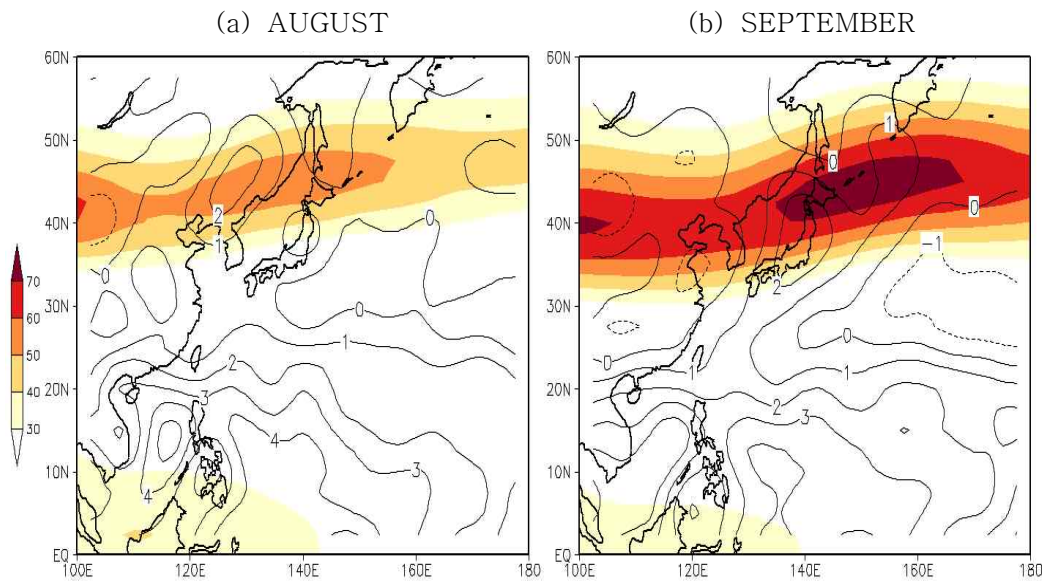


Fig. 16. 200 hPa Divergence (contour, $10E-6/sec$), 200 hPa Jet stream (shaded area > 30 kts) for Aug. (left), and Sep. (right).

3) 850 hPa 상당온위(Equivalent Potential Temperature)

일반적으로 태풍이 중위도에 위치한 우리나라에 접근하거나 상륙 할 때는 강도가 약화되어 태풍 자체보다는 태풍이 북상 할 때 동반되는 온난 습윤한 공기와 중위도 기상현상과 상호작용 때문에 집중호우가 발생하기 좋은 조건을 형성한다 (황호성 등, 2008). 따라서 이러한 조건을 추적하기 위하여 상당온위를 이용하여 분석 하였다. 상당온위는 공기덩어리가 자신이 가지고 있는 습기를 방출시키고 그 결과로 나온 잠열을 이용하여 대기를 데우는데 사용하였을 때 그 공기덩어리가 가지게 되는 온위를 일컫는다. 보통 구름의 발달과 관련된 습윤 단열과정에서도 보존되는 양으로 여름철 북태평양고기압 기단을 추적하는데 효과적이다. 또한, 잠열과 현열을 모두 감안한 공기의 성질로서 남쪽의 전선대와 기단의 경계를 파악 할 수 있으며, 온도와 습도를 동시에 고려하기 때문에 기단의 열역학적 성질을 정의할 수 있다. 서경환 등(2011)에 따르면, 상당온위 남북경도의 최소 값은 온난다습한 열대기단(상당온위 335 K이상)과 한랭 건조한 기단(상당온위 335 K이하)의 경계를 나타내며, 상반된 기단들의 대치로 인해 정체 전선이 형성되고 많은 양의 비가 내리게 된다고 밝혔다.

다음의 Bolton (1980)의 식을 사용하여 상당온위를 계산 하였다.

$$T_L = \frac{1}{\ln\left(\frac{R}{100}\right)} + 55 \quad (1)$$

$$\theta_e = T_K \left(\frac{1000}{P}\right)^{0.2854(1-0.28 \times 10^{-3}r)} \times \exp\left[\left(\frac{3.376}{T_L} - 0.00254 \times r(1+0.81 \times 10^{-3}r)\right)\right] \quad (2)$$

여기서 T_L 은 상승응결고도에서의 절대 온도이고, r 은 상대습도, T_K 는 절대온도이다. (1)의 식에 의해 계산되어진 T_L 을 이용하여 (2)의 식에 대입하면 된다.

Fig. 17의 상당온위를 살펴보면 열대기단을 나타내는 333 K이상이 8월에는 남부와 동해안으로 북상하여 온난 습윤한 공기의 이류가 강하고 온위경도가 한반도 북쪽까지 형성되었기 때문에 이곳에 태풍이 진입하면, 강우를 많이 갖는 태풍이 된다. 그에 반해 9월의 상당온위를 보면, 북쪽에서 내려온 한기로 인하여 상당온위 333 K선이 북상하지 못하고 해상에서 온난 습윤한 공기의 이류가 약함을 보이며 이것은 8월보다 강우를 많이 갖는 대기조건이 아님을 보인다. 따라서 8월에 한반도에 진입하는 태풍이 비 태풍이 많았으며, 9월의 태풍이 상대적으로 강우보다 강풍이 많았던 조건으로 분석되어진다.

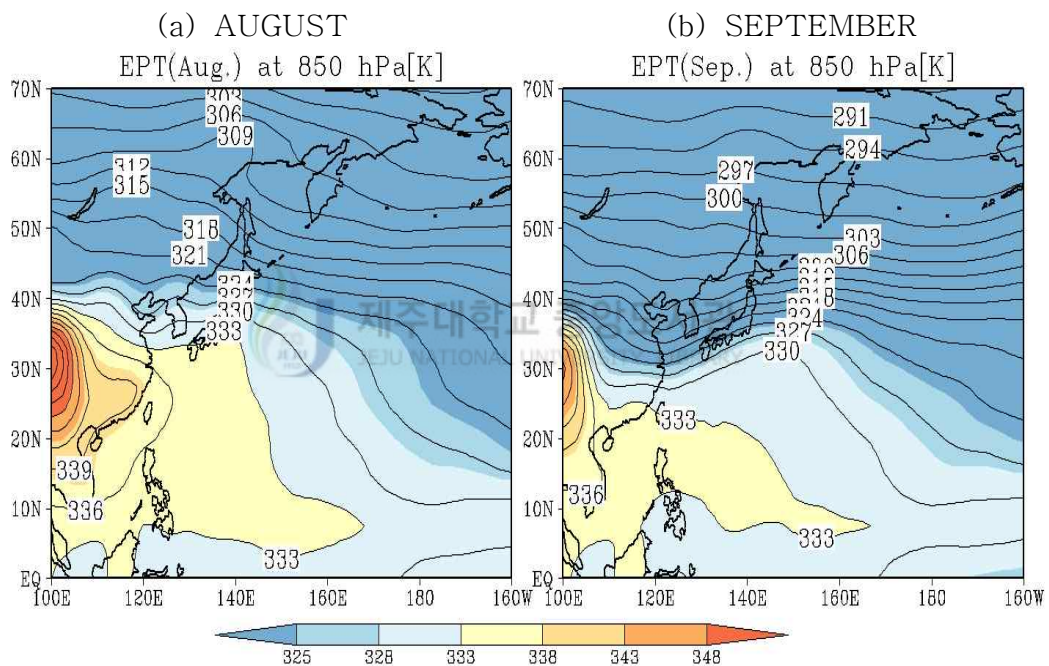


Fig. 17. Climatological mean 850 hPa equivalent potential temperature(color, K) on (a) August and (b) September.

4) 700 hPa 상승속도(Verticial Velocity)

대기의 상승 및 하강운동을 파악하는데 이용된다. 여기서 연직속도는 p-velocity로서 시간당 기압의 변화량을 말하며 음의 구역이 공기의 상승구역이고, 양의 구역이 하강구역이다. 또한, 대기 하층부에서 공기의 상승속도가 클수록 기상이 악화된다(최지영, 2011). Fig. 18(a)는 8월 상승속도를 나타내며, Fig. 18(b)는 9월 상승속도를 나타낸다. 우선, 8월의 상승속도는 한반도에서 음의 값을 보이는데 이것은 한반도에 상승류가 발달하고 수증기의 상승에 따라 포화로 인해 응결함으로서 많은 강수가 발생할 가능성이 크다. 그에 반해 9월 상승속도는 한반도 서해안 쪽에 양의 값을 보이며, 일본에 음의 값을 보임을 알 수 있다. 이러한 특징은 8월의 대기환경은 많은 강수를 발생할 가능성으로 인하여 약한 태풍이 있어도 9월보다 강수를 많이 갖는 태풍으로 분석된다.

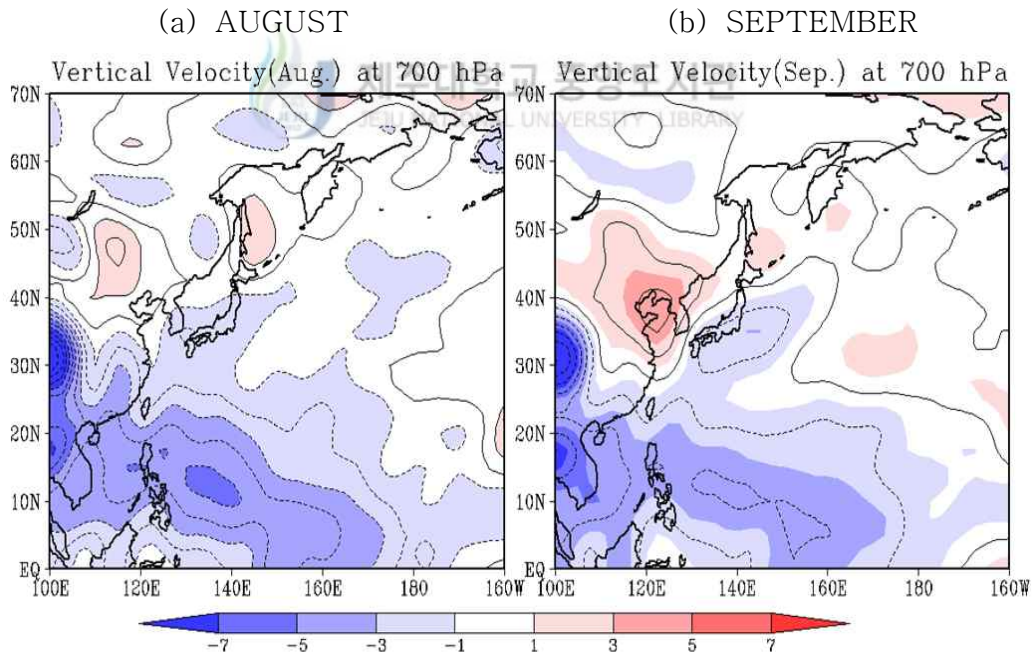


Fig. 18. Climatological mean 700 hPa vertical velocity (hPa/hour) on (a) August and (b) September.

3.4 태풍유형별 확률분포

Fig. 14에서 월별 태풍의 진로는 8월 태풍은 한반도에 서해안으로 진입하여 상륙한 태풍이 많았으며, 9월은 남해안으로 상륙하거나 일본에 상륙하여 영향을 준 태풍이 많았다. 또한, Fig. 10에서 비 태풍 및 비바람 태풍의 평균진로밀도도 한반도에 많이 상륙하는 경향을 보였다. 이를 태풍이 한반도 상륙여부에 따른 비 태풍과 바람 태풍을 분류하였으며, 각 8월과 9월의 분포 또한 어떻게 다른지 비교하기 위하여 모식도를 나타내었다.

Fig. 19는 한반도에 상륙한 태풍과 상륙하지 않은 태풍에 대하여 비 태풍과 바람태풍으로 나누고 각 비 태풍에서 월별로 분류하였으며, 바람태풍 또한 월별로 분류하여 나타낸 모식도이다. 8월과 9월에 비상구역에 진입한 태풍 중 상륙한 태풍은 46.4%로 상륙하지 않은 태풍과 큰 차이를 갖지 않았다. 그러나 상륙한 태풍 중 62%가 비 태풍이었으며, 그 중 87%가 8월 태풍이었다. 또한, 상륙하지 않은 태풍 중 53%가 바람태풍이며, 9월에 88%의 태풍이 바람태풍임을 보여준다. 따라서 8월에 비상구역에 진입한 태풍은 비 태풍이 될 확률이 높으며, 9월에 비상구역에 진입한 태풍은 바람태풍이 될 확률이 높음을 보여준다.

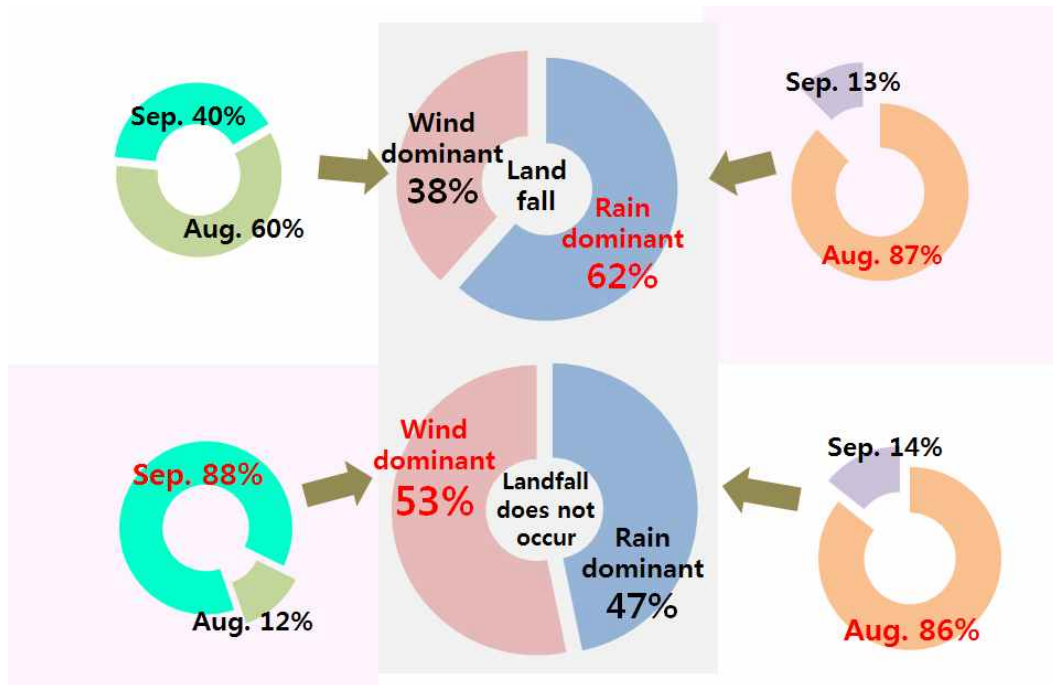


Fig. 19. Ratio of landfalling and influencing Typhoons in the Korea peninsula.

3.5 월별 사례분석

1) 한반도에 태풍 상륙 여부에 따른 사례비교

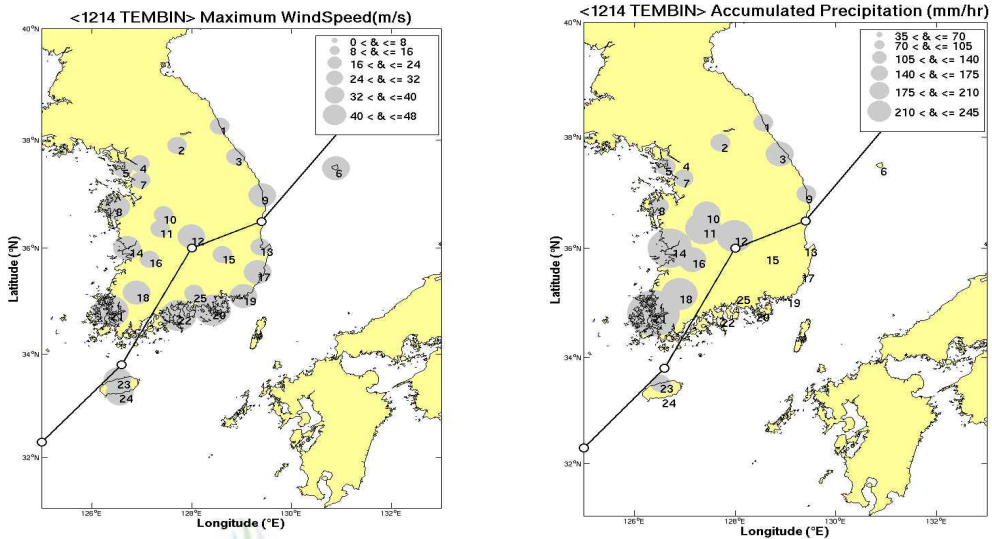
한반도에 상륙한 태풍 중 8월 태풍인 TEMBIN(1214)와 한반도에 상륙하지 않았지만 한반도에 영향을 주며, 9월태풍인 FRAN(7617)를 비교하여 나타내었고, 각 태풍에 대하여 본 연구에서 기준으로 삼은 25개 지점에서의 최대강풍과 누적강우량을 나타내었다(Fig. 20). TEMBIN(1214)의 평균중심기압은 998 hPa이며, FRAN(7617)의 평균중심기압은 1000 hPa로 강도의 차이는 크지 않다. 우선, 최대강풍은 두 개의 사례가 비슷함을 보이며, 9월의 태풍(Fig.20(b))이 조금 더 풍속이 큰 것을 알 수 있다. 반면에 누적강우량은 8월 태풍(Fig.20(a))이 9월 태풍(b)에 비해 눈에 띄게 높은 강수량을 가졌음을 알 수 있다.

본 연구에서는 이러한 양상을 갖는 원인을 분석하고자 850 hPa 유선도와 상층제트기류 및 발산, 하층상당온위, 700hPa 상승속도를 보였다(Fig. 21). 850 hPa 유선도는 대류권 하층에서의 기류의 흐름을 파악할 수 있다. 두 사례의 850 hPa 유선도와 강풍구역은 Fig.21(a)에 비해 (b)가 한반도에서 높은 기류의 수렴이 보이며, 한반도 주변으로 강한 강풍구역이 있음을 보인다. 두 번째로 상층 제트기류와 상층발산을 분석 하였다.

Fig.21(c)에서의 제트기류의 남쪽 입구에 한반도가 위치하며, 높은 발산이 있음을 볼 수 있으며, 이것은 태풍중심에서 상승기류가 강해져 상대습도가 증가하고 강우강도가 강해져 한반도에 많은 강수를 내리게 하는 요인임을 알 수 있다. (e)의 850 hPa 상당온위는 열대기단인 333 K이상이 상층제트의 위치에 의해 북상하지 못하고 한반도와 일본에 걸쳐있어 상반된 기단들의 대치로 인해 많은 강수를 보임을 알 수 있다. 그러나 (f)는 상층제트가 한반도 중간에 걸쳐 있어 열대기단이 북상을 하지 못해 상당온위의 한대기단이 한반도를 전체적으로 덮어 있음을 보이는데 이것은 (c)보다 강수를 많이 가질 수 없는 환경으로 분석된다. 마지막으로 (g-h)를 살펴보면 (g)의 상승속도는 제주도부터 중부까지 음의 값이 커 호우가 큰 조건의 환경이며, 그에 비해 (h)의 상승속도는 서해안에 양의

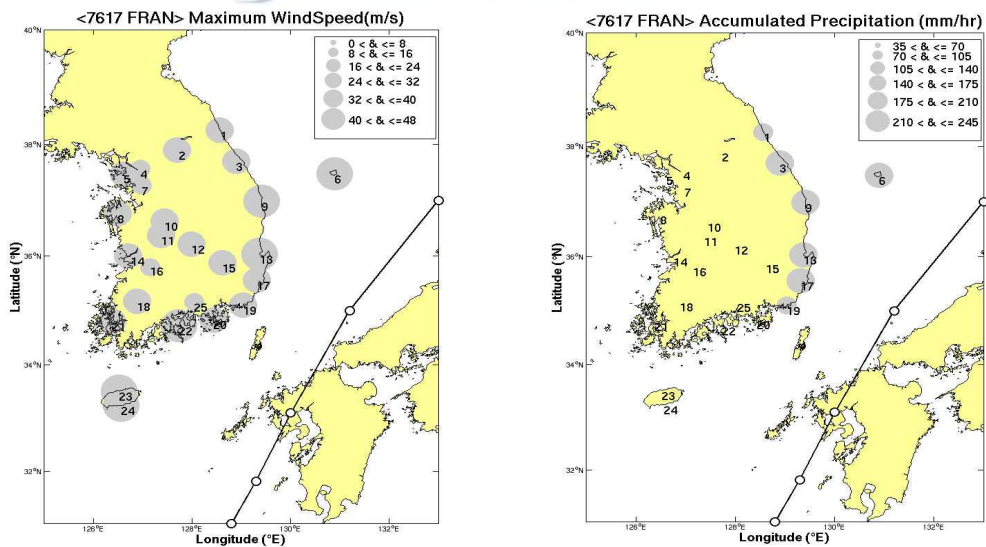
값을 보임을 알 수 있다. 또한, 일본에는 강한 음의 값을 보인다. 즉, 한반도에 상륙한 태풍이 강수를 많이 내리게 하며, 8월의 태풍은 한반도에 강수를 많이 가져오는 대기환경을 갖고 있기 때문에 9월의 태풍보다 많은 수증기를 몰고 오를 수 있다.

(a) TEMBIN (1214): 12082906-12083100



Maximum Windspeed Accumulated rainfall

(b) FRAN(7617) : 76091000-76091606



Maximum Windspeed Accumulated rainfall

Fig. 20. The case study analysis typhoons according they have landed on the Korean peninsula. (a)TEMBIN, (b)FRAN. The distribution of maximum wind speed (left), and Accumulated rainfall (right).

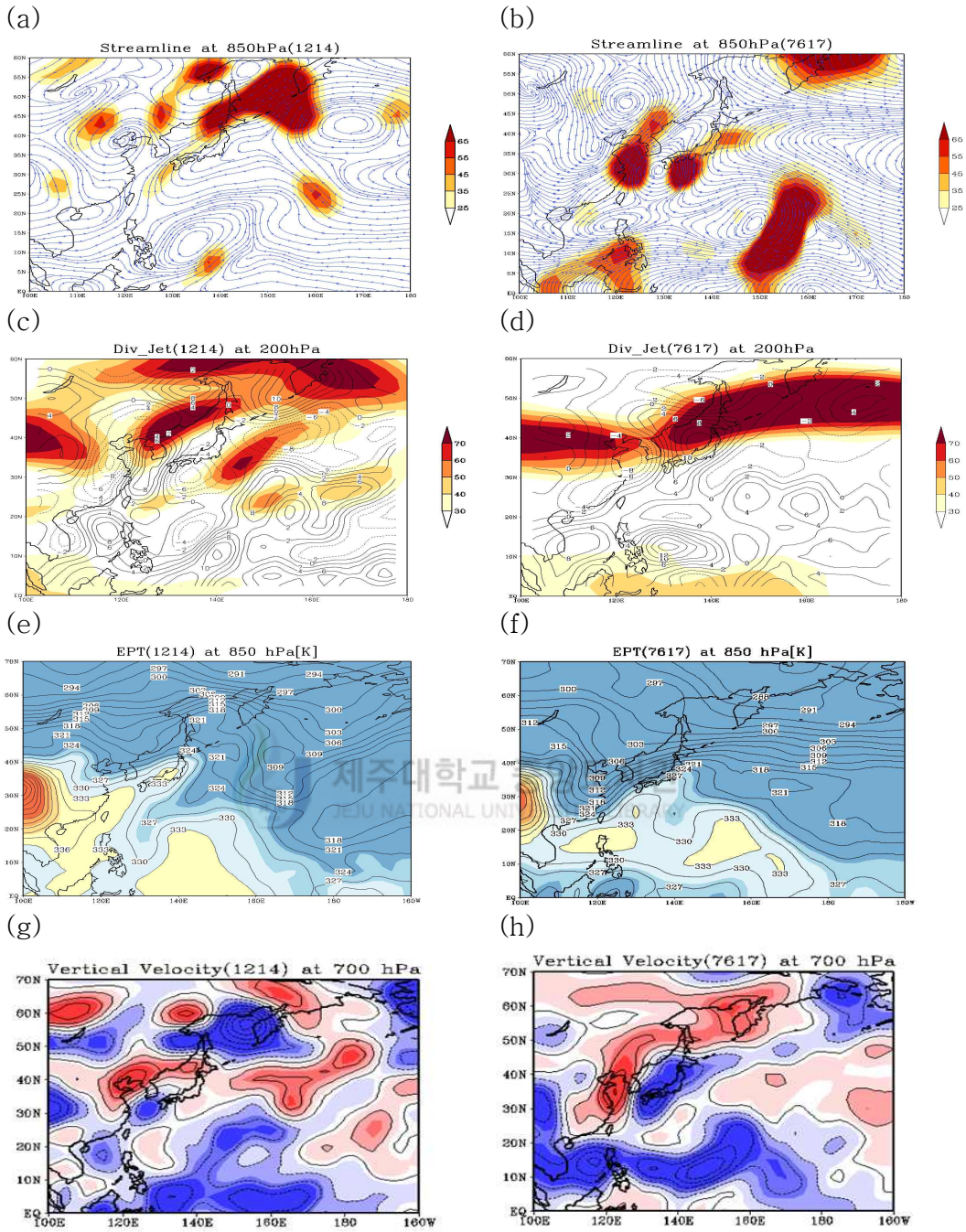


Fig. 21. Distribution of (a–b) 850 hPa streamline and isotach (shaded), and (c–d) 200 hPa divergence (contours) [$10E^6/s$] and isotach (shaded), (e–f) 850 hPa Equivalent Potential Temperature and (g–h) 700 hPa Vertical vorticity (contour) [$hPa/hour$] for typhoon TEMBIN (left), and typhoon NABI (right).

2) 한반도에 상륙한 태풍의 특징에 따른 월별 비교

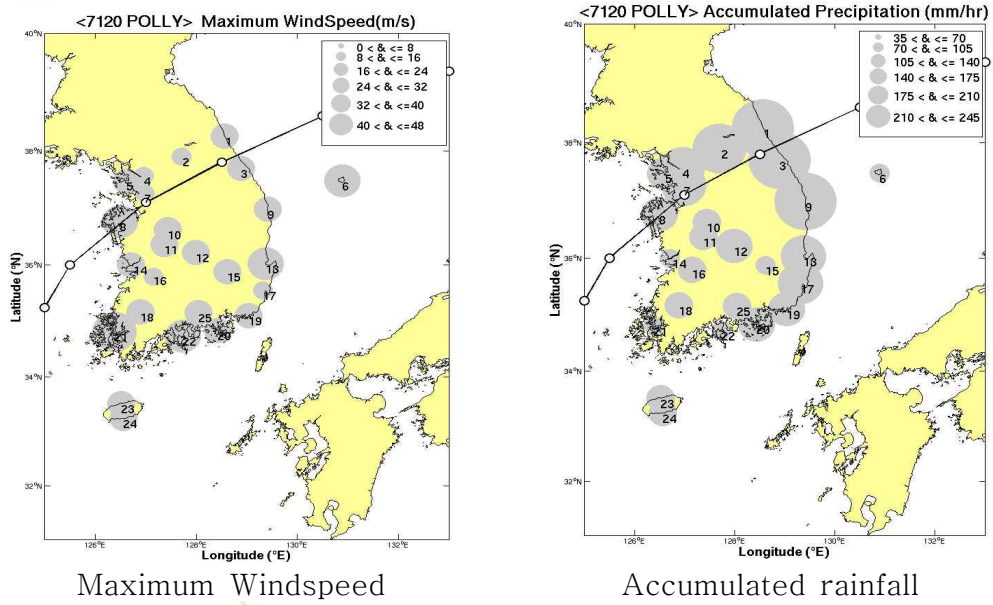
한반도에 상륙한 태풍 중 8월 태풍인 POLLY(7120)와 POLLY와 비슷한 진로를 가지는 9월태풍인 BESS(7128)를 비교하여 나타내었다(Fig. 22). 이 두 사례 또한, 최대강풍은 비슷한 양상을 보인다. 그러나 누적강수량은 8월 태풍(Fig.22(a))이 9월 태풍(Fig.22(b))에 비해 많은 강수량을 가진다. POLLY(7120)의 평균중심기압은 1004 hPa이며, BESS(7128)의 평균중심기압은 999 hPa로 강도의 차이는 크지 않다.

두 태풍을 대기 종관환경과 같이 살펴보면(Fig. 23), 첫 번째로 두 사례의 850 hPa 지향류와 강풍구역(Fig.23(a-b))는 두 사례 모두 한반도에서 높은 기류의 수렴을 보이며, 한반도 주변으로 강한 강풍구역이 있음을 보인다. 두 번째로 상층제트와 발산역을 살펴보면(Fig.23(c-d)), (c)에서 한반도에 강한 발산역이 보인다. 이 위치에 상층제트의 오른쪽 입구가 있어 많은 강수를 일으킬 수 있음을 보이며, (d)의 상층제트는 8월의 상층제트(c)에 비해 점차 하강하여 위치함을 알 수 있다. 세 번째로 850 hPa 상당온위(Fig.23(e))에서 열대기단은 한반도에서 좀 더 북쪽 까지 열대기단이 있어 한반도에 습윤한 환경을 조성하고, 상층 제트기류의 남쪽 입구에 한반도가 위치하며 발산이 있음을 알 수 있다. 이것은 태풍 또한, 8월에 많은 강수를 가지는 환경임을 보인다. 이에 반해 상당온위(f)를 살펴보면 상층제트의 하강으로 인하여 열대기단이 북상하지 못하고, 한대기단이 한반도를 전체적으로 덮어 남쪽으로 하강한 것을 알 수 있다.

Fig.23(g-h)는 하층 상승속도를 나타낸다. (g)는 8월의 상승속도의 특징을 가지며, 한반도에 음의 값을 보여 기상이 악화됐음을 보여주나, (h)는 이전의 특징과 반대로 강한 상승속도를 보여줄 수 있다. 이러한 원인으로 우선 (b)의 850 hPa 지향류에서 한반도에 태풍이 아닌 강한 저기압이 발생함을 볼 수 있으며, 이러한 저기압으로 인하여 (d)에서 강한 발산이 보이고, (f)에서 한반도에 강한 기압경도를 보인다. 따라서 (h)에서 태풍이 아닌 다른 저기압으로 인한 강한 상승구역이 한반도에 발생한 것으로 보인다. 그러나 수증기를 많이 함유한 환경의 조건이 아니었으므로, 적은 비를 내렸음을 알 수 있다. 비슷한 진로의 8월 태풍과 9월 태풍의 사례를 선정하여 분석해 본 결과 8월의 태풍은 강수를 많

이 갖는 태풍의 환경이며, 9월은 상대적으로 8월의 태풍보다 강수를 적게 내리게 하는 환경인 것으로 분석된다.

(a) POLLY(7120) : 71080912-71081300



(b) BESS (7128) : 71092318-71092600

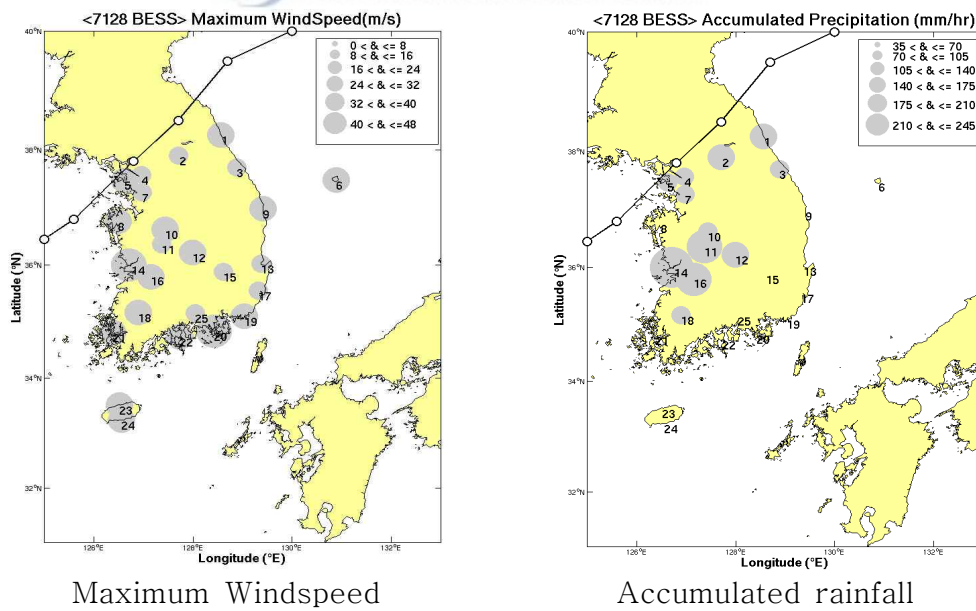


Fig. 22. Same as Fig. 19, but for POLLY (left), BESS (right).

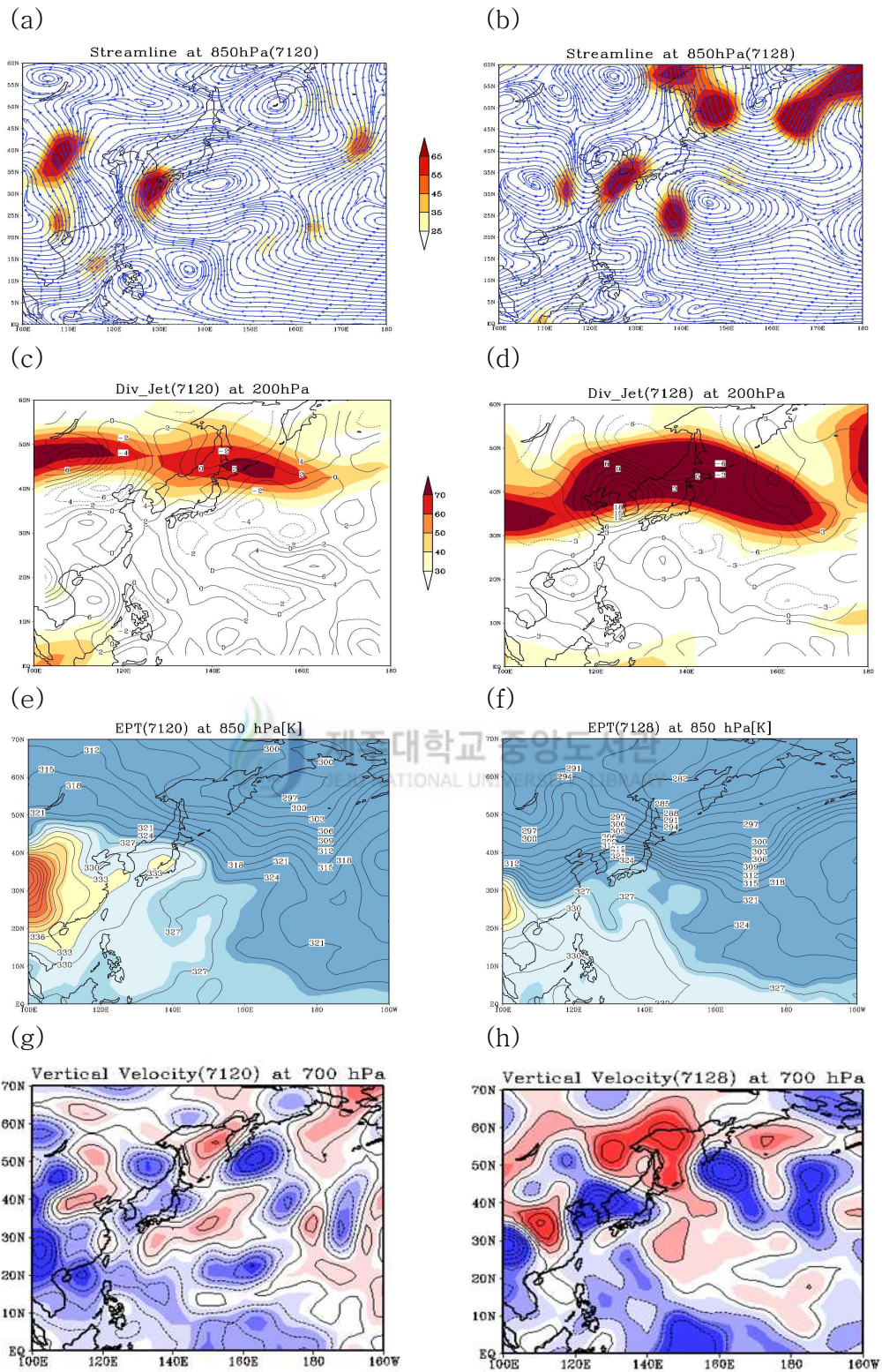


Fig. 23. Same as Fig. 20, but for POLLY (left), BESS (right).

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 한반도에 접근하는 태풍의 유형을 미리 예측하기 위하여 1971-2012년 동안 한반도 영향 태풍이 비상구역에 진입 할 때부터 소멸 할 때까지의 누적 강우량과 풍속강도를 구하여 태풍재해를 유형별로 비 태풍, 바람 태풍, 비바람 태풍으로 분류하고 그 특성을 분석하였다. 분류된 유형의 특징을 요약하면 다음과 같다.

1. 분류된 유형에 따른 태풍의 이동속도와 중심기압은 통계적으로 유의할 정도로 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 그러나 비 태풍과 비바람 태풍의 평균 진로밀도는 바람 태풍에 비해 서해안으로 진입하는 경우가 많았다. 이 경우는 태풍의 위험반원과 나선강우대가 한반도에 위치하여 강수를 많이 내린 것으로 분석되며, 이것은 이전의 연구(박두선 등, 2008)와 잘 일치한다.



2. 월별 강우강도와 풍속강도의 분포의 상관도를 분석한 결과 비바람 태풍은 8월(8개)과 9월(5개)에 모두 많이 발생 하였으며, 특히 8월에 비 태풍(13개)이 많았으며, 상대적으로 9월에 비 태풍(1개)은 매우 적었다. 그러나 9월은 8월보다 바람 태풍(9개)의 개수가 다소 많은 특징을 보였다.
3. 월별 태풍 진로를 분류한 결과 8월의 태풍진로밀도는 서해안으로 진입하거나 남해안으로 상륙하는 태풍의 진로 밀도를 보였으며, 9월의 태풍진로는 남해안으로 상륙하거나, 일본을 상륙하는 경향을 보였다. 이는 8월에 북태평양 고기압이 북서쪽으로 확장하고, 9월에 북태평양 고기압이 동쪽으로 수축하기 때문이다. 8월은 태풍이 중위도로 북상하면서 전면에 제트기류가 위치하게 되면 태풍 전면에 강한 상승기류역이 형성되어 태풍 전면에 수렴 역을 형성시켜 많은 강수를 유발한다. 열대기단을 추적하는 상당온위에서 8월은 333 K 이상의 열대기단이 한반도를 뒤덮여 한반도가 습윤한 환경인 조

건이 되어 비 태풍이 발생 할 수 있는 환경이 되었다. 그에 반해 9월은 한 반도에 한랭기단이 내려오면서 열대기단이 남쪽으로 하강하여 상대적으로 건조한 조건을 만들어 8월에 비해 적은 강수 조건의 환경을 조성 하였다.

4. 한반도 상륙태풍과 비 상륙 태풍으로 분류하면, 상륙한 태풍 중 비 태풍이 62%로 가장 높고, 그 중에 8월에 생긴 태풍이 87%였다. 또한, 비 상륙 태풍 중 53%가 바람 태풍이었으며, 그 중에 88%의 태풍이 9월에 발생하였다. 즉, 8월에는 강수에 유리한 환경이기 때문에 비 태풍이 많았으며, 9월에는 상대적으로 8월보다 강수에 불리한 환경으로 바람 태풍이 많은 것으로 분석된다.

특정태풍의 정보를 파악하기 위하여 가장 보편적으로 사용하는 것은 최저기압과 최대풍속이다. 그러나 이것은 태풍의 강도를 중심부근의 특징으로만 나타내므로, 태풍의 종합적인 영향을 숫자로 표현하기에는 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서 나타난 누적강우강도와 풍속강도에 대한 분류는 태풍강도뿐만 아니라 태풍을 동반한 대기환경 요인도 포함한 지수이다. 예를 들어 강우강도는 태풍의 대류운뿐만 아니라 장마전선의 요인도 포함된다. 또한 풍속강도는 태풍의 진로와 한반도와의 위치 관계, 태풍의 이동속도 등이 포함되어 있다. 또한, 본 연구에서는 태풍 자체의 강도 뿐 만 아니라 태풍의 진로변화와 월별 환경적인 기타요인이 한반도 피해에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

즉, 본 연구에서 분석된 강우강도와 풍속강도는 태풍 자체의 강도뿐 아니라 그 주변의 기상상황들을 포함한 영향의 크기를 계산한 것이라는 의의가 있다. 또한, 태풍에 따른 재해원인은 태풍 자체의 강도보다는 태풍 반경 및 주변 환경에 따라 달라질 수 있다. 비록 약한 태풍이더라도 주변 상황에 따라 영향은 매우 달라질 수도 있기 때문이다. 이러한 태풍의 위험을 보다 더 잘 예측하려면 더 많은 강도지수를 개발하여 다양하게 비교하여야 할 것이다.

참고문헌

- 기상청, 2011. 태풍백서, 34
- 김백조, 이성로, 김호경, 박종길, 최병철, 2007. 한반도 상륙 태풍 진로에 따른 태풍 피해 특성 분석. 2007년 한국기상학회 봄 학술대회 논문집, *한국기상학회지*, 486-487.
- 박두선, 허창희, 황종국, 2008. 경상북도에서 태풍에 의한 영향과 유형별 진로 특성 분석, *대기*, **18**, 525-532
- 박종길, 장은숙, 최효진, 2005. 한반도에서 발생하는 기상재해 분석. *한국환경과학회지*, **14**, 613-619
- 박종길, 문승의, 1989. 우리나라의 태풍에 의한 강수의 특성. 한국기상학회 논문집, *한국기상학회지*, **25(2)**, 45-55
- 서경환, 손준혁, 이준이, 2011. 장마의 재조명. *한국기상학회지*, **21**, 109-121.
- 소방방재청 중앙재난안전대책본부, 2012: 재해연보 2012, 소방방재청 복구지원과, 841
- 설동일, 민병언, 1992. 태풍에 의한 우리나라의 기상재해에 관한 통계적 연구. 한국항해학회논문집, *한국항해학회지*, **14**, 47-54
- 최지영, 신기창, 류찬수, 2011. 장마전선상에서 하층제트유입으로 인한 집중호우에 관한 연구. *조선자연과학논문지*, **14**, 44-57
- 최의수, 문일주, 2008. 한반도 강수 및 풍속의 극값 변화. *대기*, **18**, 397-416.
- 안숙희, 김백조, 이성로, 김호경, 2008. 한반도 영향 태풍의 이동경로에 따른 재해 특성. *한국방재학회논문집*, **8(3)**, 29-36
- 허창희, 강인식, 1988. 한국지역강수의 변동성에 관한 연구, *한국기상학회지*, **24**, 38
- 황호성, 차은정, 고성원, 양경조, 원성희, 김동호, 2008. 한반도영향태풍 진로와 강수분포 특징에 관한 연구, *한국방재학회지*, **8**, No.4, 49-54.
- 關口, 福岡 1964: 雨台風と風台風, **11**, No.2, 53-57
- Byun K-Y and T-Y, Lee, 2012. Remote effects of tropical cyclones on

- heavy rainfall over the Korean peninsula—statistical and composite analysis, *Tellus A*, **64**, 49–83
- Bolton, D., 1980. The computation of equivalent potential temperature. *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1046–1053.
- Cha, E.-J., Kimoto, M., Lee, E.-J., and Jhun, J.-G., 2007. The recent increase in the heavy rainfall events in August over the Korean Peninsula, *Journal of Korean Earth Science Society*, **28(5)**, pp. 585–597.
- Harr, P.A., Elsberry, R.L., and Hogan, T.F., 2000. Extratropical transition of tropical cyclones over the western North Pacific. Part II: The impact of midlatitude circulation characteristics. *Monthly Weather Review*, **128**, 2634–2653.
- Ho, C.-H., and I.-S. Kang, 1988. The variability of precipitation in Korea. *J. Korean Meteor. Soc.*, **24**, 38–48.
- Ho, C.-H., J.-Y. Lee, M.-H. Ahn, and H.-S. Lee, 2003: A sudden change in summer rainfall characteristics in Korea during the late-1970s. *International J. Climatology*, **23**, 117–128.
- Ho, C.-H., L.-J. Baik, J.-H. Kim, D.-Y. Gong, and C.-H. Sui, 2004. Interdecadal changes in summer time typhoon tracks, *J. Clim.*, **17**, 1767–1776.
- Ho, C.-H., B. Lee, K.-M. L, K.-M. Kim, and D.-Y. Gong, 2005. Interdecadal changes in heavy rainfall in China during the northern summer, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **16**, 1163–1176
- Murata, A. 2009: A mechanism for heavy precipitation over the Kii peninsula accompanying typhoon Meari (2004). *J. Meteorol. Soc. Jpn.* **87**, 101–117.
- Rodgers, E.B., S. W. Chang, J. Stout, J. Sreranka, and J. J. Shi, 1991. Satellite Observations of variations tropical cyclone convection caused by upper-tropospheric troughs, *J. Appl. Meteorol.*, **30**, 1163–1184
- Ragheb, M., “Wind Power Systems. Harvesting the Wind.” <https://netfiles.uiuc.edu/margheb/www,2011>

- Shi, J.J., Chang, S., and Raman, S., 1997. Interaction between Hurricane Florence (1988) and an upper-tropospheric westerly trough. *Journal of Atmospheric Sciences*, **54**, 1231–1247.
- Thomas Ackerman, Ed. “Wind Power in Power Systems,” John Wiley and Sons, Ltd., 2005.
- Wu, L., B. Wang, and S. Geng, 2005. Growing typhoon influence on east Asia, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L18703.
- Wang, Y., Wang, Y. and Fudeyasu, H. 2009. The role of Typhoon Songda (2004) in producing distantly located heavy rainfall in Japan. *Mon. Wea. Rev.* **137**, 3699–3716.



감사의 글

먼저, 석사과정 동안 연구에 매진할 수 있도록 아낌없는 격려와 지도를 해주신 문일주 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 저의 논문 심사를 맡아주시고, 소중한 충고와 조언을 해주셨던 강기룡 연구관님, 송상근 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한, 제 학위 논문 연구를 할 수 있었던 배경이 되었던 국가태풍센터 윤원태 센터장님을 비롯한 직원 모든 분들께도 감사의 말씀 전합니다.

석사과정 시절에 함께하고 많은 도움을 주셨던 해양기상학 협동과정의 선배님들과 후배님들께 깊은 감사드립니다. 최의수 선배님, 강경식 선배님, 김지희 선배님 그리고 강미영 선배님께도 감사의 마음을 전합니다. 부산 싸나이 오상명 선배님, 수 천 KM 키만 조인성 김성훈 선배님, 은매 찢 (은근 매력찌는) 김민영 선배님, 화북귀염둥이 김광석 선배님, 곧 잘생김 고철민 선배님, 우리 현서엄마! 이쁘고 착하고 귀엽고 깜찍한 정영윤 선배님, 너가 성격은 짱이다 우리 오유, 은근 로맨티스트 태운이, 위성은 너꺼! 유현이 밝은 웃음을 갖는 혜지, 귀여운 지희, 막내 은별이 모두 항상 좋은 일만 가득하길 바랄게요. 그 동안 제 투정 받아 주시느라 정말 감사했습니다. 앞으로도 업그레이드 된 투정으로 찾아가겠습니다.

학교는 다니는 것 맞냐고, 졸업은 할 수 있는 것 맞냐고 매일 스트레스 주셨던 우리 부모님 정말 감사합니다. 부모님 덕택에 저 해냈어요!! 정말 감사하고 정말 사랑합니다. 그리고 우리 언니 우리 형부 그리고 우리 우리 아꿈 준형이 정말 감사합니다. 또 하나뿐인 내 동생 규빈이. 누나가 올해 밭에 갈 수 가없었어. 어쩔 수 없어! 누나도 졸업은 해야잖니? 내년부터 너 도와서 밭에 잘 갈게!

그리고 우리 지연언니 임명순! 땡큐 베리 감사! 그대들 덕분이요. 그대들이 있어 내가 석사 학위를 마친것이요. 나도 드디어 그대들의 학위와 같아졌단 말이요.

지면을 통해서 일일이 언급을 못하였지만 많은 배려를 해주신 국가태풍센터 기획팀, 연구팀, 예보팀 직원 여러분, 그리고 우리 청원경찰님들 도움이 없었더라면 학위논문을 마치지 못 했을 것입니다. 앞으로도 정말 잘 부탁드립니다. ^^

마지막으로, 우리 용균오빠 매일 논문을 써야 된다고 데이트 할 때도 논문 도와주고, 내 노가다 작업도 두 팔 걷어 도와준 오빠 덕택인 것 같아요. 정말 감사합니다.

앞으로 더욱 발전하고 매사에 감사 할 줄 아는 제가 되겠습니다.