

## 한반도 동남권역에 영향을 미친 태풍 관측 연구

정우식 · 박종길<sup>1)\*</sup> · 김은별

인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터,

<sup>1)</sup>인제대학교 환경공학부/대기환경정보연구센터

(2011년 8월 10일 접수; 2011년 8월 30일 수정; 2011년 9월 14일 채택)

### A Study on the Observation of the Typhoons that Affected Southeastern Region of the Korean Peninsula

Woo-Sik Jung, Jong-Kil Park<sup>1)\*</sup>, Eun-Byul Kim

*Department of Atmospheric Environment Information Engineering,*

*Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 621-749, Korea*

<sup>1)</sup>*School of Environmental Sciences Engineering, Atmospheric Environment Information Research Center,*

*Inje University, Gimhae 621-749, Korea*

(Manuscript received 10 August, 2011; revised 30 August, 2011; accepted 14 September, 2011)

#### Abstract

In case of Typhoon Dianmu, the temperature, wind speed, wind direction and the rainfall per hour changed dramatically when the center of the typhoon passed through Gimhae. Such a change was commonly found in the regions where the center of the typhoon passed through but almost not in the regions far away from it. For example, in the case of Typhoon Malou where the center of the typhoon was far away from the observation site, such a phenomenon was not observed.

The analysis of the vertical observation data showed that there was a little change in the wind speed and wind direction in the vertical direction in the case of Typhoon Dianmu of which center passed through Gimhae. There was a great change in the wind speed according to the height in the lower atmosphere just before the center of the typhoon approached the region. When the center of the typhoon was passing through the region, the vertical wind speed was decreased. However, the wind speed was rapidly increased again after the center of the typhoon had passed through the region. Unlike the Dianmu, the difference in the wind speed and wind direction between the upper layer and lower layer of the atmosphere was relatively great in the case of Malou.

**Key Words** : Typhoon, Natural disaster, Atmospheric observation, Center of typhoon, Climate change

#### 1. 서론

최근 우리나라에 피해를 주고 있는 자연재해를 원

인별로 구분하면, “호우, 호우·태풍, 태풍, 폭풍, 폭풍설(대설 포함), 낙뢰, 우박, 해일, 기타”로 구분할 수 있다. 1995년 이후부터는 이러한 자연재해로 인해 매년 1조원이 넘는 피해가 나타나고 있는데, 이러한 피해의 60% 이상이 태풍에 의해 나타나고 있어, 전체 자연재해 중에서 태풍에 의한 피해가 가장 크다(Lee와 Chang, 2009). 또한 Ryu와 Cho(2010)의 연구에서도 1999년부터 2008년까지 10년간 우리나라에 영향을 미친 태

\*Corresponding author : Jong-Kil Park, School of Environmental Sciences Engineering, Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 621-749, Korea  
Phone: +82-55-320-3250  
E-mail: envpjk@inje.ac.kr

풍에 의한 총 피해액이 약 12조 5000억 원으로 나타나서 태풍에 의한 피해의 심각성을 지적하고 있다.

IPC 2007년 보고서(IPC, 2007)에 따르면 점차적으로 강력한 열대성 저기압의 활동이 증가하고 태풍의 강도도 점차 강력해 질 것으로 예상한 바 있다. 또한 국립기상연구소(2009)에서도 A1B 시나리오에 따른 21세기말 동아시아지역에서의 태풍 강도를 예측한 결과, 한반도 주변해역에서의 해수온도의 상승과 열용량의 증가로 향후 태풍의 강도가 강력해질 가능성이 점차적으로 증가하고 있음을 보고한 바 있다. 이 밖에 지구온난화와 태풍과의 연관성을 살펴본 많은 연구에서도 지구 온난화가 지속적으로 진행되면 태풍의 발생 횟수는 감소하지만 태풍의 강도는 오히려 강력해 진다는 결과를 제시하고 있어(Broccoli와 Manage, 1990; Sugi 등, 2002; Oouchi 등, 2006), 향후 강력한 태풍에 의한 피해를 저감하거나 예방할 수 있는 전반적 측면에서의 관심과 지원이 필요하다 하겠다.

태풍에 의한 피해규모는 태풍의 강도뿐만 아니라, 해당 지역의 지리적, 지형적 특성에 따라서도 달라진다. 즉, 우리나라에 피해를 끼친 태풍 중에서 Rusa와 Maemi의 사례를 살펴보면, Rusa의 경우에는 주로 강원도 북부지역이 큰 피해를 입었고(박, 2002), Maemi는 부산을 비롯한 경남지역에 피해를 주었다(Seo, 2004). 이들 두 태풍 모두 큰 피해를 주었지만, 태풍 중심이 지나간 이동 경로 및 진행방향이 서로 달랐기 때문에 피해 지역의 분포가 다르게 나타난 것이다. 이와 같이 지역별 피해에 큰 영향을 미치는 태풍 중심의 진행경로가 과거에는 한반도 중서부지역을 통과하는 경우가 많았지만, 최근으로 올수록 태풍 중심의 진행경로가 남동쪽으로 편향하고 있다(Choi와 Kim, 2007). 이러한 경향은 한반도에 내습한 태풍을 7가지 경로로 구분하여 분석한 연구(Park 등, 2006)에서도 최근 들어 남해안에 상륙하는 경로를 보이는 태풍의 빈도가 증가하고 있으며 향후 그러한 추세가 계속될 것이라는 결과와 유사한 것이다.

이상에서 언급한 바와 같이, 점차적으로 태풍의 강도가 강한 슈퍼태풍의 발생 가능성이 높아지고 있고 태풍의 진행경로 또한 점차적으로 남동방향으로 편향할 가능성이 커지고 있다는 점을 인식해 볼 때, 결과적으로 우리나라에서는 부산, 울산을 포함한 동남권역

이 이러한 강력한 태풍의 영향권에 놓일 가능성이 높아지게 되고 이는 이 지역에서 태풍에 의한 피해증가가 집중적으로 늘어날 가능성이 높아지고 있다는 것을 의미하는 것이라 할 수 있다.

태풍에 의한 피해를 최소화하기 위해서는 태풍의 경로 및 강도에 따라 발생할 수 있는 피해를 정확히 예측하고 진단하는 것이 중요하다. 이와 관련된 선행연구들은 실제 관측적 측면에서의 접근보다는 주로 통계적 모델이나 수치적 모델 등을 이용하여 태풍의 진로나 예측의 정확도 등을 분석하는 경향을 보인다(Chang과 Lee, 1989; Kim 등, 2007; Choi 등, 2009). 그러나 태풍에 의한 피해는 해당지역에서의 지형적 특성 및 태풍의 특성(강우, 풍속 등)에 따라서 다양한 규모와 형태로 나타나기 때문에 태풍에 의한 피해를 효율적으로 저감하고 분석하기 위해서는 관심지역에서 기상요소별 입체관측과 분석이 필수적으로 요구된다. 김 등(2002)은 2002년 태풍 Rusa가 우리나라를 통과할 때 고층관측자료에 나타난 태풍 주변 대기의 연직구조 특성에 대한 분석을 수행하였고, Park 등(2007)은 태풍과 장마전선에서 형성된 중규모 저기압 사례에 대한 악기상 집중 관측을 수행한 바 있다. 국외에서는 2001년 홍콩에서 태풍 Utor를 대상으로 도플러 기상레이더와 비행기를 이용하여 관측을 수행한 바 있고(Lau와 shun, 2002), 2004년 일본에서는 태풍 Chaba 기간 동안 기상레이더, Radiosonde, 윈드프로파일러를 이용한 태풍의 연직 분포 특성 관측에 대한 연구가 수행된 바 있다(Fujita 등, 2005). 그 외에도 태풍이 내습한 시기에 태풍의 중심과 주변 대기에서의 연직기상구조를 관측한 연구들이 있다(Lin과 Lee, 2008; Kitabatake와 Tanaka, 2009).

우리나라에서도 일찍이 태풍에 대한 관측을 중요성을 인식하여, 전라남도 해남에 ‘국가 악기상 집중관측센터’와 제주 마라도 인근 이어도 해역에 ‘이어도 종합해양과학기지’를 구축하여 현재 운영 중에 있다. 하지만, 이러한 우수한 여건에도 불구하고, 현재까지 태풍에 대한 관측 및 분석 사례가 적어 태풍에 의한 우리나라의 피해 저감에 필요한 자료가 충분하지 않은 아쉬움이 있다. 하지만, 이보다 더 중요한 문제는 현재 운영 중인 이 두 관측시설이 모두 우리나라 서남권역에 위치하고 있다는 점이다. 물론 과거 우리나라에 영

향을 미친 태풍의 주된 경로가 우리나라 중서부를 통과하는 경로를 가지기 때문에 과거의 예로만 보자면 이들 관측시설이 위치한 지점들이 충분히 중요하고 효율적이었다고 할 수 있지만, 앞서 설명한 바와 같이, 최근으로 올수록 점차적으로 태풍의 진행경로가 남동쪽으로 편향하고 있고, 태풍의 강도가 점차적으로 강력해질 가능성이 높아지고 있다는 점을 인식해 보면 가까운 미래부터는 우리나라 동남권역이 이들 태풍의 영향에 더 많이 직접적으로 노출될 가능성이 높아지고 있으므로, 이 지역을 관측의 주된 대상으로 하는 집중관측시설이 반드시 필요한 시점이 되었다고 할 수 있는 것이다.

더욱이, 우리나라 동남권역은 우리나라의 6대 광역시 중 3개의 광역시(부산, 대구, 울산)가 위치한 대도시 밀집 지역이자, 여러 대규모 산업공단들이 집중적으로 배치되어 있어 경제·산업적인 제반 측면에서 그 중요성과 가치가 매우 높은 지역이다. 하지만 이러한 중요성에도 불구하고 향후 태풍의 진로 및 강도 변화에 따른 이 지역에서의 피해에 대한 대비가 상대적으로 매우 부족하다. 따라서 우리나라 동남권역을 대상으로 태풍을 비롯한 자연재해를 다각도로 분석, 연구할 수 있는 집중관측시설과 시스템의 구축이 매우 필요하다. 이에 본 연구에서는 이러한 관점에서, 우리나라 동남권역에 영향을 미친 태풍사례를 대상으로 태풍의 접근 및 상륙 시, 이 지역에서 나타난 지표 및

상층대기에서의 특성을 살펴봄으로써 향후 이 지역에서의 태풍에 의한 태풍에 의한 피해 저감의 기초자료를 마련하고자 하였다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1. 태풍 관측사례

본 연구에서는 2010년 한반도에 내습한 태풍 중 동남권역에 영향을 준 제4호 태풍 Dianmu와 제9호 태풍 Malou 시기에 관측을 직접 수행하였으며, 관측을 통해 수집된 지상관측자료 및 연직관측자료를 분석하였다. Dianmu는 2010년 8월 8일 21시에 타이완 타이베이 부근 해상에서 발생하여 8월 12일 15시 경에 일본 삿포로 부근 해상에서 온대저기압으로 변질되어 소멸되었다. 한반도에 영향을 준 기간(8월 10일 ~ 11일)동안 최저 중심기압은 985 hPa, 최대 중심풍속은 25.7 m/s였다. Malou는 2010년 9월 3일 일본 오키나와 남동쪽 부근 해상에서 발생하여 9월 9일 9시 일본 도쿄 동북쪽 부근해상에서 소멸하였다. 한반도에 영향을 준 기간(9월 6일 ~ 7일) 동안 최저 중심기압은 992 hPa, 최대 중심풍속은 25.7 m/s였다. 이들 두 태풍은 ‘Saffir-Simpson 규모분류’로 볼 때 ‘category 1’ 해당하는 소형급 태풍으로써 규모면에서는 거의 유사하였으나, Fig. 1에서 보는 바와 같이 태풍의 진행경로가 다른 형태를 보였다. 즉, Dianmu는 태풍의 중심이 삼

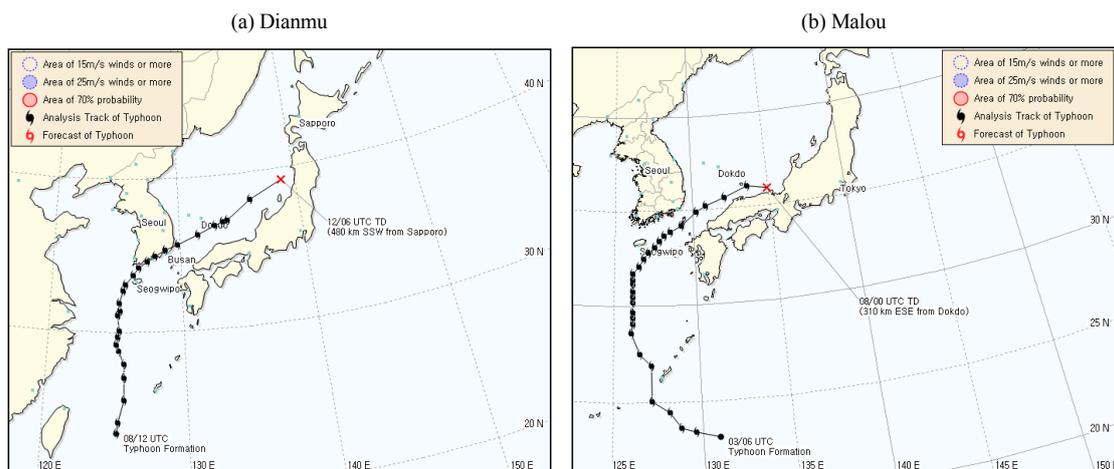


Fig. 1. The best track of typhoon.

천포를 비롯하여 부산이 위치한 남해안 지역을 따라서 지나가는 경로를 보이고 있으나, Malou는 태풍의 중심이 대한해협을 통과하는 경로를 보이고 있다. 선행연구에서 제시한 태풍 경로 분류(Park 등, 2006)에 따르면, Dianmu는 남해안에 상륙하여 진행하는 형태(Type 2)이며, Malou는 대한해협을 통과하여 동해북부로 빠져나가는 형태(Type 4)이다. 이러한 결과로 볼 때, 본 연구팀이 직접 관측한 이들 두 태풍은 한반도 동남권역에 모두 영향을 미칠 가능성은 있지만 진행경로의 세부적인 분류로 볼 때 서로 다른 유형으로 구분되고 있으므로 동남권역에 위치한 여러 지점의 기상자료에서도 유의한 차이가 있을 것으로 예상되었다.

두 태풍에 대한 관측은 각 태풍 기간 중에서 경상남도에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된 하루(24시간)동안 수행하였다. 즉, Dianmu의 경우에는 2010년 8월 10일 18시부터 11일 15시까지 관측하였으며, Malou의 경우에는 2010년 9월 6일 18시부터 7일 15시까지 관측을 수행하였다.

## 2.2. 관측지점과 관측장비

연구 대상 태풍 기간 동안 지상기상관측(AWS)과 연직기상관측을 동시에 수행하였다. 지상 및 연직기상관측이 수행된 지역은 경상남도 김해시로서 경상남도에 위치한 여러 지역 중에서도 특히 태풍에 의한 피해액이 높은 지역이다(Park 등, 2005). 자료에 의하면 김해시는 경상남도에 위치한 시군 중에서 총 피해액이 약 3,830억 정도로 경상남도에서 가장 크게 나타난 지역이다.

지상기상관측은 부원동 김해시청 부근의 개활지에서 수행되었다(지점명 INJE AWS). 본 연구에서는 측정된 자료 중에서 해면기압, 기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 강수량자료를 사용하였다. 연직기상관측은 김해평야 내에 위치한 회현 배수펌프장 옥상에서 수행되었는데, 주변이 모두 논으로 이루어져 있어 주변 지형지물의 영향을 받지 않아 관측에 최적의 조건을 보였다(Fig. 2).

연직기상관측에 사용된 장비는 독일 GRAW의 GPS Radiosonde(GRS-KD-0030-en)로, 헬륨이 주입된 풍선을 이용해서 GPS radiosonde를 지상으로부터 비양시키면, 관측된 값이 안테나를 통해 수신되고, 자료처리부를 통해서 컴퓨터로 수집된다. 이때 수집되는 자료는 연직 고도별 기온, 기압, 습도, 풍향, 풍속이다.



Fig. 2. The observed site in this study(□ : Surface observation (INJE AWS), ○ : upper-air observation).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 지상관측자료 분석

#### 3.1.1. Dianmu 사례

지상관측장비에서 관측된 해면기압을 살펴보면(Fig. 3a), 8월 10일 오전 10시경부터 해면기압이 점차적으로 하강하기 시작하여 8월 11일 12시에 최저기압을 보이고, 이후 다시 기압이 상승하는 경향을 볼 수 있다. 이러한 결과는 태풍이 점차적으로 관측지점 부근으로 다가왔다가 지나가는 것을 나타내고 있는 것으로, 해면기압이 가장 낮게 나타난 8월 11일 12시가 관측지점이 태풍이 가장 근접한 시점이라 할 수 있다. 이와 함께, 기온의 변화를 살펴보면(Fig. 3b), 관측지점에서 비교적 멀리 떨어진 8월 9일과 10일에는 아침 7시경부터 기온이 급증하여 낮 12시의 30°C 가까이 상승한 후, 일정시간 고온을 유지하다가 18시 이후에 기온이 하강하는 전형적인 여름철 낮기온의 경향을 보이고 있다. 그러나 태풍이 관측지점에 다가온 11일에는 한낮인 12시에 오히려 일 중 최저기온을 보였다가 12시 이후에 다시 상승하는 경향을 보여 전형적인 여름철 기온변화 형태와 전혀 다른 모습을 보이고 있다. 이처럼 태풍이 근접한 11일 12시에 기온이 급감하고 상대습도가 100% 가까이 나타나며 12시 이후에 다시 기온이 상승하고 상대습도가 감소하는 것은 Moon 등(2010)의 연구에서 분석한 바와 같이, 태풍의 중심부근이 지나갈 때 나타나는 전형적인 현상과 동일한 것이다.

풍속과 풍향의 변화를 보면(Fig. 3c), 태풍이 관측

지점에 근접하는 8월 11일에는 풍속이 점차 증가하여 오전 9시에 최대풍속을 나타내었다가 이후 풍속이 급감하여 12시경에 최소풍속을 보이고 12시경 이후에 다시 풍속이 증가하는 경향을 알 수 있다. 그리고 풍향 변화를 살펴보면, 최소풍속이 나타났던 8월 11일 12시 이전까지는 15시간 가까이 남동풍이 지속적으로 균일하게 나타나고 있지만 8월 11일 13시부터는 서풍으로 급변하여 일정시간 지속되는 것을 볼 수 있다. 또한 강수량의 시간별 변화(Fig. 3d)를 보면, 8월 11일에 새벽 4시경부터 시간별 강수량이 증가하기 시작하여 09시에 최대 시간별 강수량을 보였다가 12시에 급감한 후 13시부터 다시 급증하는 현상을 볼 수 있다.

이상과 같이, 8월 11일 12시에 나타난 최저기압, 최소기온, 최소풍속, 풍향의 급변, 그리고 강수량의 급감과 같은 관측결과는 태풍의 중심이 관측지점 부근을 지나감으로써 나타난 현상으로 분석할 수 있다. 즉, Dianmu의 중심이 관측지점이 위치한 김해지역을 지나갔기 때문에 이러한 결과들이 나타난 것이다. 일반

적으로 반드시 ‘태풍의 중심’지역이 통과하지 않더라도 태풍이 다가오게 되면 해면기압은 점차적으로 낮아진다. 그리고 강수현상이 동반되면 낮이라 할지라도 기온이 낮아질 수는 있다. 따라서 본 관측에서 나타난 Fig. 3a, 3b의 결과만으로는 태풍의 중심이 관측지점을 통과하였다고 설명하기에는 어려움이 있다. 일반적으로 태풍의 중심부근인 ‘눈벽(eye wall)’으로 갈수록 풍속이 급격히 증가한다. 즉, 태풍의 중심인 ‘태풍의 눈’에서는 하강기류가 존재하여 강수가 없는 맑은 하늘과 약한 풍속을 보이지만, 태풍의 눈 바로 바깥은 태풍영역에서 가장 강한 바람과 가장 많은 비가 오는 ‘눈벽(eye wall)’지역이 존재한다(Lutgens 등, 2007). 따라서 이와 같은 사실을 참고해 보았을 때, 풍속 관측 결과(Fig. 3c)에서 나타난 바와 같이, 8월 11일 09시에 최대풍속과 최대 시간별 강수량이 나타났다가 12시에 최저기압, 최저기온과 더불어 최소풍속과 최소 시간별 강수량이 나타난 것은 태풍의 중심인 ‘태풍의 눈’지역이 관측지점을 통과한 것으로 판단할 수 있다.

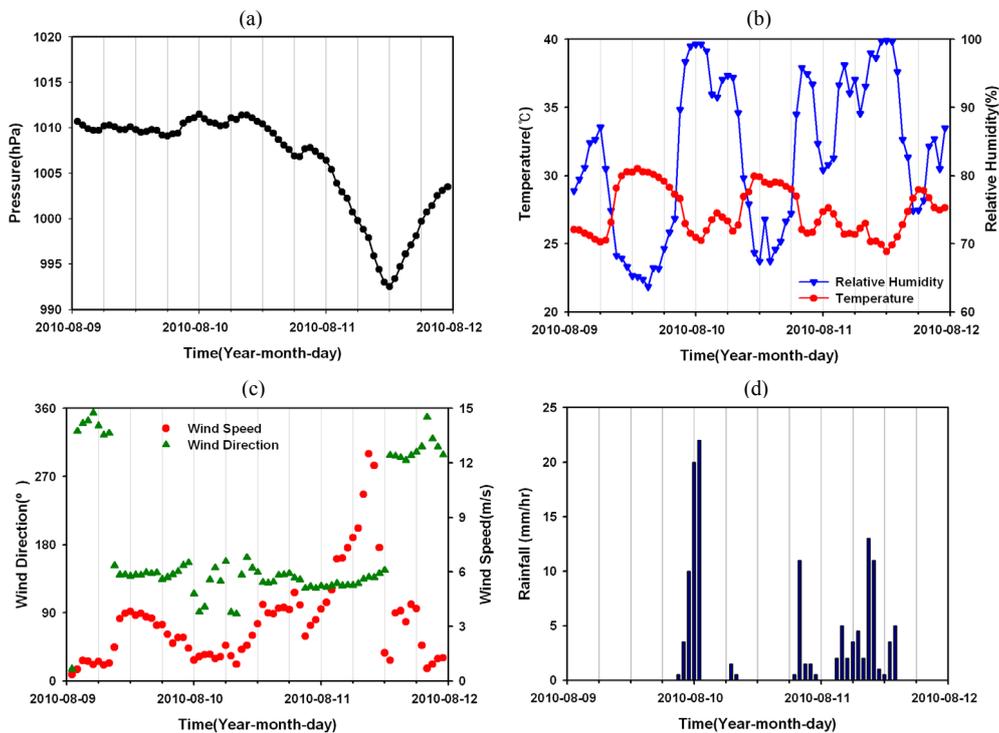


Fig. 3. Hourly AWS observation at INJE AWS site during 9-11 August, (a) sea-level pressure, (b) temperature and relative humidity, (c) wind speed and direction, (d) rainfall.

Fig. 4는 2004년 호주에서 태풍이 통과할 때 나타난 기압과 풍속의 시계열을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 마찬가지로 본 연구의 관측에서 나타난 결과와 동일한 경향을 볼 수 있다. 따라서 Fig. 3에 나타난 결과들은 Dianmu의 중심이 관측지점을 통과할 때 나타나는 현상이라 할 수 있다.

Fig. 1에 나타난 바와 같이, Dianmu의 중심이 경남 남해안지역을 따라서 진행하였다는 것은 경남 해안지역과 경남 내륙지역에서 관측(기상청 자료)된 기압과 풍속자료 분석을 통해 알 수 있다. 우선, 양산과 부산에서 관측된 해면기압과 풍속 관측결과를 보면, 두 지점 모두 8월 11일 12시에 최저기압이 나타나고 있고 해면기압도 큰 차이가 없다. 그러나 양산의 경우에는 태풍이 근접하기 전에 풍속의 급증하고 다시 급감하는 경향이 우리의 관측결과(김해)처럼 뚜렷하지 않은 반면, 부산의 경우에는 8월 11일 12시 전후에 나타난



Fig. 4. Measurements of surface pressure and wind speed during the passage of Cyclone Monty at Mardie Station in Western Australia between February 29 and March 2, 2004. The strongest winds are associated with the eye wall, and the weakest winds and lowest pressure are found in the eye(Lutgens et al., 2007).

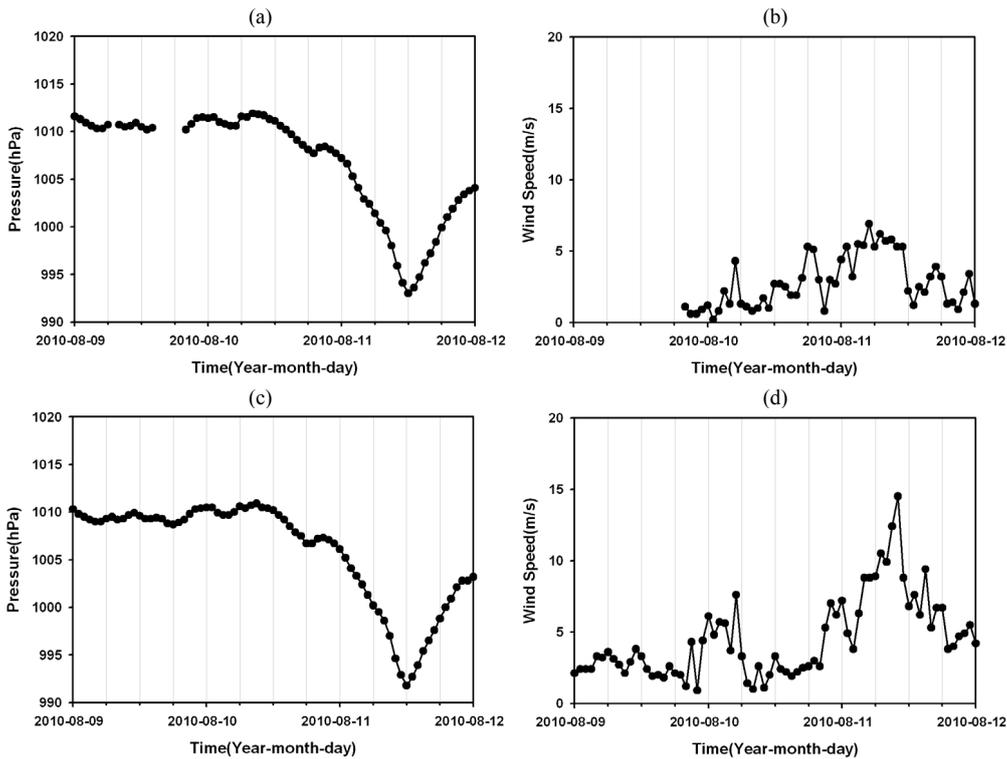


Fig. 5. Hourly AWS observation during 9-11 August, (a) sea level pressure and (b) wind speed at Yangsan, (c) sea level pressure and (d) wind speed at Busan, (e) sea level pressure and (f) wind speed at Samcheonpo, (g) sea level pressure and (h) wind speed at Jinju, (i) sea-level pressure and (j) wind speed at Uiryeong, (k) sea level pressure and (l) windspeed at sancheong.

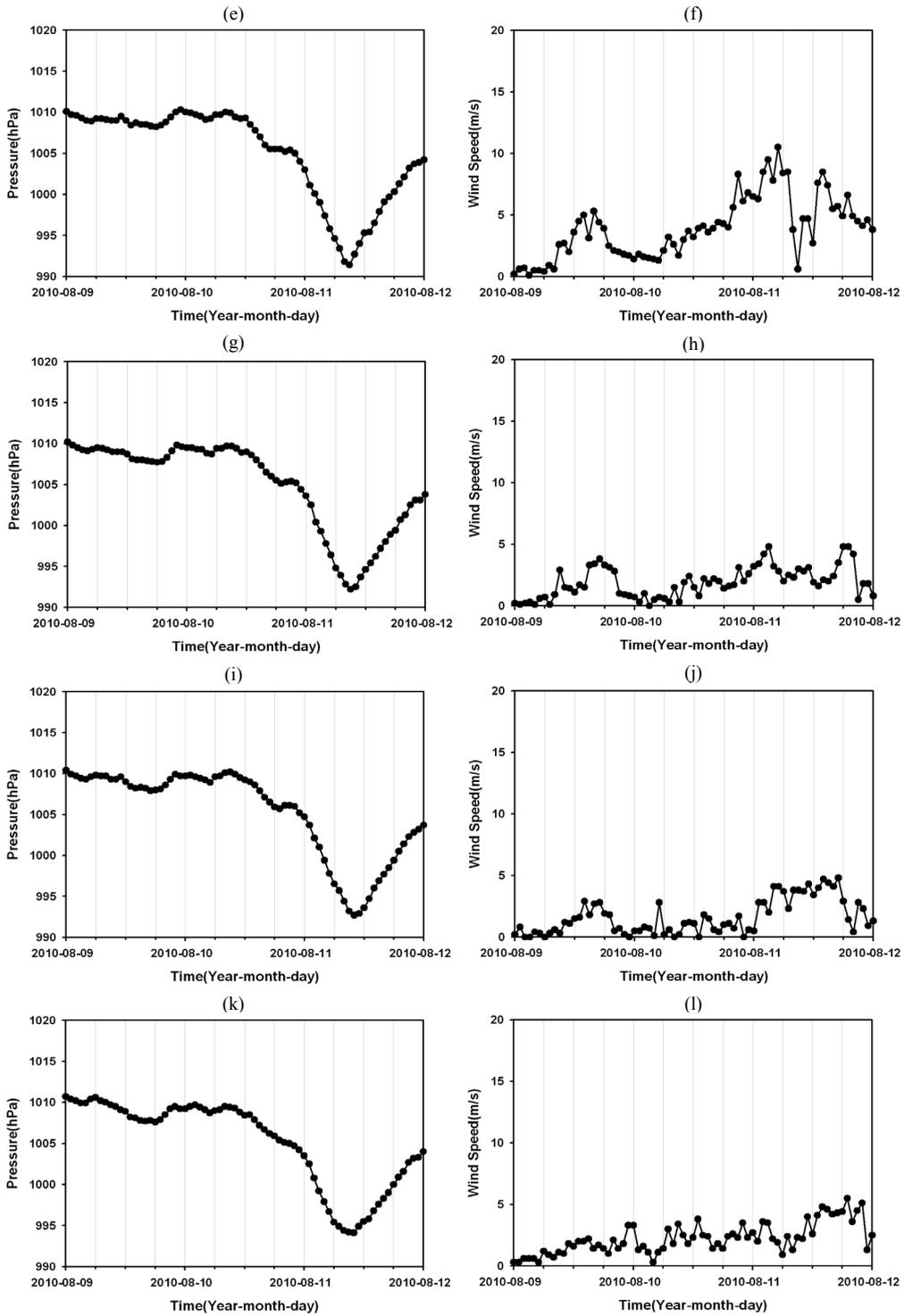


Fig. 5. Continued.

풍속의 급증과 급감이 김해와 유사하게 나타난다. 또한 Dianmu가 김해에 도달하기 전에 지나간 삼천포와 진주에서도 8월 11일 09시를 기준으로 풍속의 급증과 급감현상이 삼천포에서는 나타났지만, 진주에서는 보이지 않는다. 이와 더불어 경남 내륙지역인 의령과 산청에서도 8월 11일 10시에 최저기압이 나타나지만 김해와 삼천포와 달리 풍속의 급증과 급감이 나타나고 있지 않다. 이러한 결과를 통해 Dianmu의 중심이 경남 내륙이 아닌 남해 연안에 위치한 삼천포, 김해, 부산을 따라 지나간 것을 알 수 있다.

이상에서 분석한 바와 같이 Dianmu 관측은 태풍의 중심이 통과한 사례를 관측한 것으로써 두 가지 측면에서 중요한 의미가 있다. 하나는, 우리나라는 태풍이 발생하면 기상청에서 태풍의 진로를 예보하고 있지만 태풍의 진행방향이나 경로에 대한 예보는 대단히 확률적이므로 태풍의 중심 이동경로를 정확히 예측한 후 미리 이동하여 태풍 중심부의 특징을 직접 관측한다는 것이 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서 수행한 태

풍 중심이동 경로에서의 관측자체가 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다. 하지만, 어려운 관측을 성공적으로 수행하였다는 그 자체는 실제 활용적 측면에서 큰 의미가 없다. 따라서, 본 관측이 가지는 실질적인 중요한 의미는 ‘최대풍속이 나타나는’ 태풍 중심을 관측하였다는 것이다. 즉, 태풍이 내습하는 경우 강한 바람은 태풍의 중심에 인접한 영역에서 나타나므로 태풍 중심이 통과하는 것을 관측하였다는 것은 최대풍이 나타나는 경로를 관측하였다는 것이다. 이것은 방재적인 측면에서 볼 때, 강풍에 대한 정보를 제공할 수 있는 최대풍 경로를 관측했다는 것에 큰 의미가 있는 것이다.

### 3.1.2. Malou 사례

Malou의 경우에는 태풍이 관측지점에 가장 근접한 시점(최저기압이 나타난 시점)이 2010년 9월 7일 05시였다. Dianmu에서 분석한 방법과 동일하게, 태풍이 가장 근접한 시점을 기준으로 태풍의 통과 전후 기온 변화(Fig. 6a)를 살펴본 결과, Dianmu와 마찬가지로 최저기압이 나타난 9월 7일 05시와 동일한 시간에 최

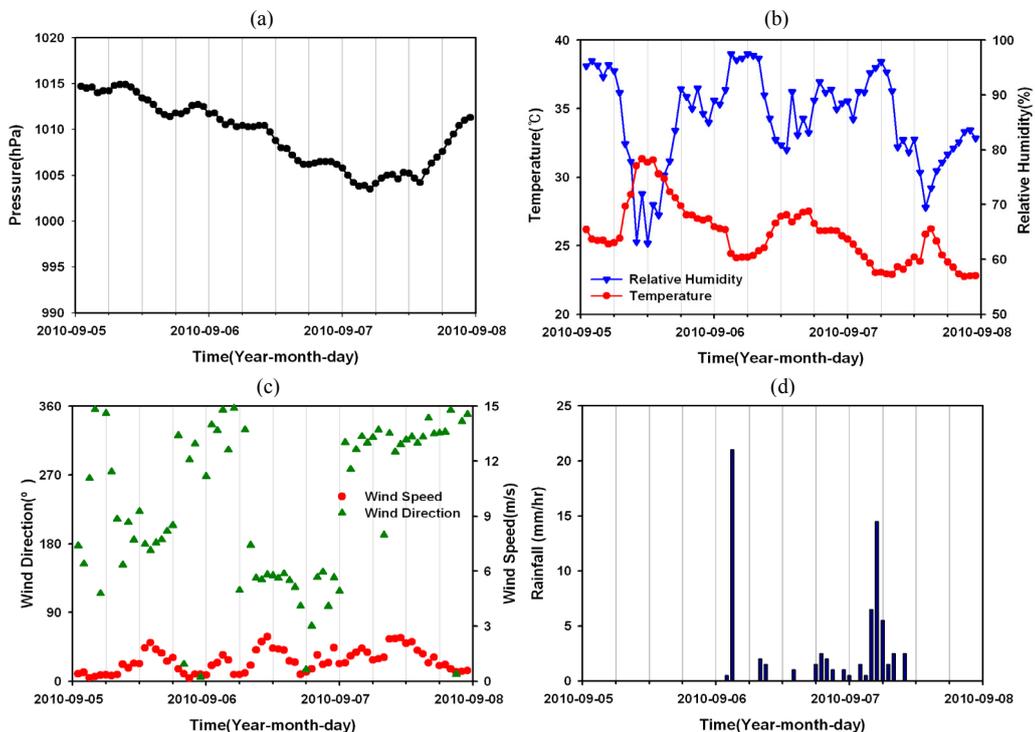


Fig. 6. Hourly AWS observation at INJE AWS site during 5-7 September, (a) sea level pressure, (b) temperature and relative humidity, (c) wind speed and wind direction, (d) rainfall.

저기온을 보이고 있다. 하지만, 이 시간대 자체가 일중 최저기온이 나타날 수 있는 시간이므로 05시에 최저기온이 나타난 것이 태풍의 영향이라고 하기에는 무리가 있다. 다만, 기온의 하강에 일정부분 영향은 미쳤을 것으로는 생각할 수 있을 것이라 생각된다. 풍속과 풍향의 변화(Fig. 6c)를 살펴보면 최저기압과 최저기온이 나타난 9월 7일 05시를 중심으로 풍속의 급증과 급감이 없이 다른 날과 유사한 경향을 보이고 있다. 또한 풍향의 경우에도 최저기압이 나타난 05시 전후로 풍향 변화가 급격하지 않고 점차적으로 나타나고 있다. 이와 더불어 시간별 강수량의 변화(Fig. 6d)를 보더라도 최저기압이 나타난 시간에 최소 시간별 강수량을 보인 Dianmu와 달리 Malou의 경우에는 최대 시간별 강수량을 나타내고 있다(9월 6일 새벽에 더 많은 시간별 강수량이 있지만, 이는 태풍의 직접적인 강수가 아니고 태풍 전면에 형성된 구름대에 의한 선강수

이므로 태풍에 의한 강우분석에서는 제외하였다). 이상에서 분석한 바와 같이 최저기압이 나타난 9월 7일 05시를 기준으로 풍속의 급증과 급감, 풍향의 급변, 시간별 강수량의 급감현상이 나타나지 않았다는 것은 태풍의 중심이 관측지점 부근을 지나가지 않았다는 것이다. Fig. 1을 보면 Malou의 중심이 대한해협을 따라 진행하고 있어 관측지점인 김해에서 멀리 떨어져 있음을 알 수 있다.

3.3. 연직관측자료 분석

태풍기간 동안 풍속, 풍향의 연직분포 특징을 살펴 보기 위하여 독일의 GRAW의 GPS radiosonde를 이용하여 관측을 수행하였다.

Dianmu 기간 동안 관측된 풍속의 연직분포를 살펴 보면, 대기 전 층에 걸쳐 전반적으로 풍향이 유사한 경향을 보이고 있다. 또한 풍속분포 또한 지표부근을 제외하면 대부분의 시간대에서 큰 차이를 보이지 않는

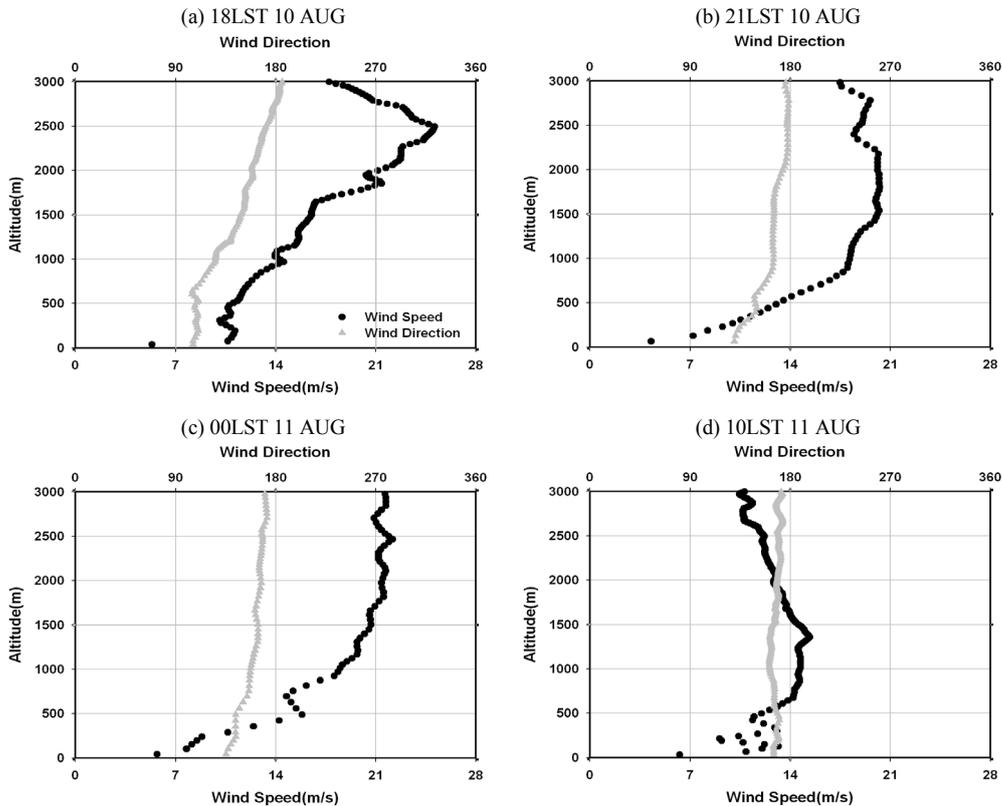


Fig. 7. Vertical structure of wind speed and direction of typhoon Dianmu.

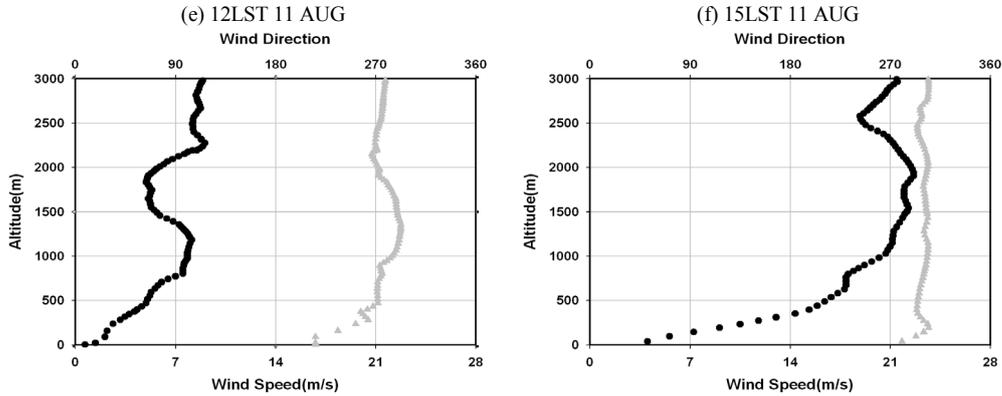


Fig. 7. Continued.

다. 이것은 태풍 중심 부근에 형성되어 있는 강력한 바람으로 인해 전 층에 걸쳐 균일한 풍향과 풍속을 보이는 것으로 분석할 수 있다. 이와 같은 결과는 태풍이 근접할 때 전 고도에서 풍속이 약해지며 태풍의 눈 중심에서는 상층대기까지도 약한 풍속을 나타낸다는 것 (한국기상학회, 2005)과 동일한 결과이다. 물론, 지표에 가까운 저층대기에서는 바람에 저항을 일으키는 제반 지면 마찰요소들로 인해 풍속의 감소가 나타난 것으로 볼 수 있다.

태풍의 중심이 통과한 8월 11일 12시 이전 시간대의 풍향자료를 보면 전반적으로 상하층에 걸쳐 남풍 계열의 바람이 비교적 일률적으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 하지만, 12시에는 전 층에 걸쳐 서풍으로 급변한 후 태풍 중심이 통과한 15시까지도 전 층에 걸쳐 계속 서풍이 나타나고 있다. 또한 12시 이전부터

전 층에 걸쳐 풍속이 감소하기 시작하여 태풍의 중심이 위치한 12시에는 가장 약한 풍속분포를 보였다가 태풍의 중심이 통과한 이후인 15시에는 다시 풍속이 급증하는 것을 뚜렷이 볼 수 있다. 특히, 8월 11일 09시에 저층대기(고도 500 m 이하)에서 고도별로 풍속의 편차가 매우 크게 나타나는데, 이러한 현상이 Dianmu만의 특징인지 아니면 태풍의 중심이 통과할 때 일반적으로 나타나는 현상인지 정확히 알 수는 없다. 하지만 결과로 나타난 현상에 대해서만 볼 때, 지표부근에 존재하고 있는 다양한 인공적 구조물들이 연직방향의 풍속편차로 인해 구조적 안전에 영향을 받을 수 있으므로 강풍에 대한 자연재해 예방의 측면에서 이러한 현상은 좀 더 집중적으로 살펴볼 필요가 있다고 사료된다.

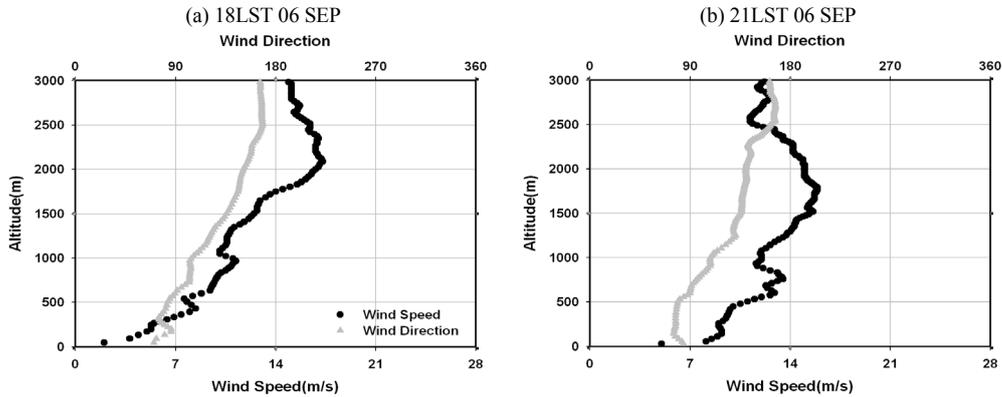


Fig. 8. Vertical structure of wind speed and direction of typhoon Malou.

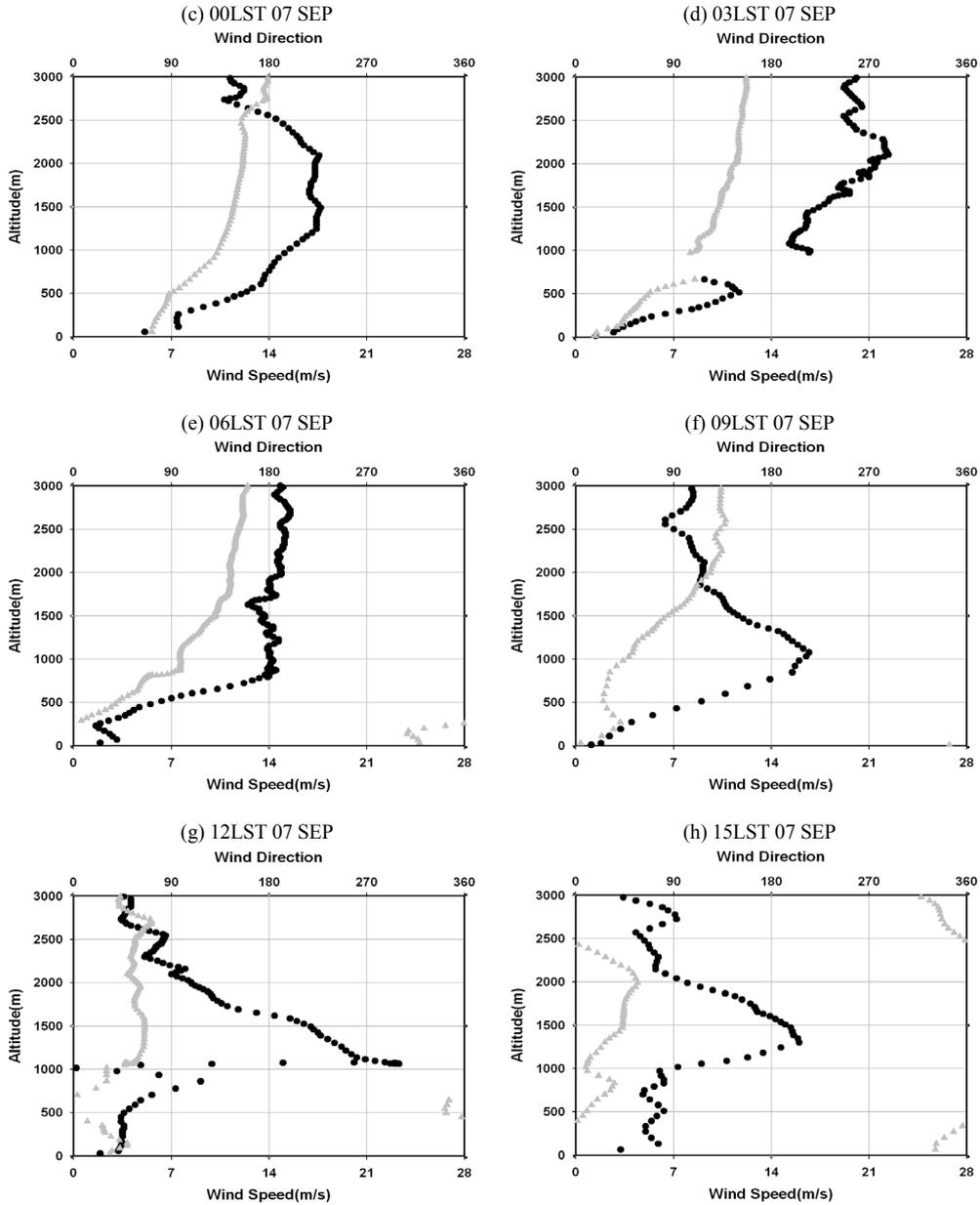


Fig. 8. Continued.

Malou의 연직관측 결과를 살펴보면, 전체적으로 고도가 증가함에 따라 풍속이 증가하고 풍향이 지속적으로 변하는 경향을 보이고 있다. 이는 상하층에 걸쳐 풍속과 풍향의 분포가 비교적 균일한 경향을 보인 Dianmu의 경우와는 다른 특징이다.

#### 4. 결론

2010년 8월 관측한 Dianmu는 우리나라 동남권역에 영향을 미친 태풍으로써 관측지점이 태풍 중심의 이동경로를 위치했던 사례이며 2010년 9월에 관측한

Malou는 대한해협을 통과하는 경로를 보여 태풍의 중심이 관측지점과 멀리 떨어진 사례였다. 태풍의 중심이 이동하는 경로에서는 태풍에 의한 최대풍이 나타날 가능성이 크기 때문에 방재적 측면에서 재해지역 및 재해규모를 예측하고 진단하는데 있어 중요한 정보를 제공할 수 있다.

Dianmu 사례기간 중 지상관측자료를 분석한 결과, 태풍의 중심이 통과하는 시간(최저기압이 나타나는 시간)을 기준으로 기온의 급감, 풍속의 급증과 급감, 풍향의 급변, 시간별 강수량의 급증과 급감이 뚜렷이 나타났다. 이러한 현상은 태풍의 중심이 지나간 지역에서는 공통적으로 나타났지만 태풍의 중심에서 벗어난 지역에서는 거의 나타나지 않았다. Dianmu와 규모와 경로를 보였지만 태풍 중심이 관측지점에서 멀리 떨어진 Malou의 관측결과에서는 이러한 경향이 거의 나타나지 않았다.

연직관측자료를 분석한 결과, 태풍의 중심이 통과한 Dianmu의 경우에 전반적으로 상하층간에 풍속과 풍향의 편차가 작게 나타났다. 또한 태풍이 근접하기 직전 저층대기에서 고도가 증가함에 따라 풍속이 급변하는 경향을 보였다. 이처럼 지상 부근 저층대기에서의 고도별 풍속의 큰 변동성은 지상의 인공적 구조물에 직접적으로 피해를 줄 수 있으므로 방재적 측면에서 그 중요성이 높다. 태풍의 중심인 '태풍의 눈' 영역이 통과하는 시간대에는 연직 대기 전 층에 걸쳐 다른 시간대에 비해 약한 풍속을 나타냈다. 하지만 태풍 중심이 통과한 후에는 다시 풍속이 급증하였으며 풍향 또한 이전시간에 비해 상하층에 걸쳐 균일하게 급변하였다. 태풍의 중심이 관측지점에서 멀리 떨어져 있던 Malou의 경우에는 Dianmu와 달리 상하층간에 풍속과 풍향의 편차가 비교적 크게 나타나고 변화도 서서히 나타났다.

본 연구에서는 2010년에 한반도의 동남권에 영향을 미친 태풍을 대상으로 관측을 수행하고 그 결과를 분석하였지만, 차후에는 두 개의 태풍 사례 외의 보다 많은 사례 관측과 이를 바탕으로 추가적인 분석연구가 진행되어야 한다. 뿐만 아니라, 점차 한반도에 영향을 미치는 태풍의 강도가 증가하고 태풍의 경로가 남동쪽으로 편향함에 따라서 사회·경제적인 측면에서 중요한 동남권역을 대상으로 태풍을 비롯한 악기상

관련 집중관측시스템의 구축과 마련도 필요하다. 따라서 향후 지속적으로 수행될 더 많은 사례에 대한 관측과 이에 대한 분석이 이루어진다면, 태풍으로 인한 피해 저감에 활용될 수 있는 구체적인 연구결과가 도출될 것으로 생각된다.

## 감사의 글

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (2010-0028715).

## 참고 문헌

- 국립기상연구소, 2009, 기후변화이해하기 II -한반도 기후변화: 현재와 미래-, 국립기상연구소, 46-49.
- 김정훈, 김백조, 이성주, 조천호, 전효상, 2002, 태풍 'RUSA' 통과시 3시간별 고층관측자료에 나타난 태풍주변 대기 연직구조 특성 분석, 대기지, 12(3), 620-623.
- 박창근, 2002, 8월 태풍 루사에 의한 영북지역 피해현장 조사, 한국토목학회지, 50(10), 66-72.
- 한국기상학회, 2005, 대기과학개론, 시그마프레스, 개정판, 191-201.
- Broccoli, A. J., Manabe, S., 1990, Can existing climate models be used to study anthropogenic changes in tropical cyclone climate?, Geophysical research letters, 17(11), 1917-1920.
- Chang, D. E., Lee, D. K., 1989, A simulation study of the tropical cyclone vera using a mesoscale numerical model, Asia-Pacific Journal of atmospheric sciences, 25(3), 148-167(in Korean).
- Choi, K. S., Kim, B. J., 2007, Climatological characteristics of tropical cyclones making landfall over the Korean Peninsula, Journal of the Korean Meteorological Society, 43(2), 97-109.
- Choi, K. S., Kang, K. R., Kim, D. W., Kim, T. R., 2009, Prediction of tropical cyclone intensity and track over the Western North Pacific using the artificial neural network method, Journal of Korean earth science society, 30(3), 294-304(in Korean).
- Fujita, H., Teshiba, M., Hashibuchi, H., Umemoto, Y., 2005, Structural transition of Typhoon 0416 observed by weather radars, radiosondes and wind

- profilers, 11th Conference on Mesoscale Processes, American Meteorological Society, NM, JP2J.1.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, The physical science basis, summary for policymakers, contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1~21.
- Kim, B. J., Cho, C. H., Nam, J. C., Chung, H. S., Kim, J. H., 2003, Preliminary analysis of intensive observation data produced by the National Center for Intensive Observation of severe weathers (NCIO) in 2002, *Atmosphere*, 13(4), 57-70(in Korean).
- Kim, J. H., Choo, G. M., Kim, B. J., Won, S. H., Kwon, H. J., 2007, Performance of MTM in 2006 typhoon forecast, *Atmosphere*, 17(2), 207-216(in Korean).
- Kirabatake, N., Tanaka, Y., 2009, Observed Low Level Jets Associated with Typhoon Higos(0221) over the Kanto Plain, *SOLA*, 5, 105-108.
- Lau, S. Y., Shun, C. M., 2002, Terrain-induced wind shear during the passage of Typhoon Utor near Hong Kong in July 2001, 10th Conference on Mountain Meteorology and MAP Meeting 2002, American Meteorological Society, Utah, P3.13.
- Lee, S. S., Chang, E. M., 2009, Application of GIS to typhoon risk assessment, *The journal of GIS association of Korea*, 17(2), 243-249(in Korean).
- Lin, P. H., Lee, C. S., 2008, The Eyewall-Penetration Reconnaissance Observation of Typhoon Longwang (2005) with Unmanned Aerial Vehicle, *Aerosonde, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 25(1), 15-25.
- Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J., Denis, T., 2007, *The Atmosphere*, Tenth edition, Prentice Hall, New Jersey, USA, 324.
- Moon, I. J., Shim, J. S., Lee, D. Y., Lee, J. H., Min, I. K., Lim, K. C., 2010, Typhoon researches using the Jeodo Ocean Research Station : Part I. Importance and present status of typhoon observation, *Atmosphere*, 20(3), 247-260(in Korean).
- Oouch, K., Yoshimura, J., Yoshimura H., Mizuta, R., Kusunoki, S., Noda, A., 2006, Tropical Cyclone Climatology in a Global-Warming Climate as Simulated in a 20 km-Mesh Global Atmospheric Model: Frequency and Wind Intensity Analyses, *Journal of Meteorological Society of Japan*, 84(2), 259-276.
- Park, J. K., Jang, E. S., Choi, H. J., 2005, Investigation of characteristics and states of natural disasters for water resources disasters control in Gyeongsangnam-do, *Journal of the environmental sciences*, 14(6), 621-627(in Korean).
- Park, J. K., Kim, B. S., Jung, W. S., Kim, E. B., Lee, D. G., 2006, Change in statistical characteristics of typhoon affecting the Korean Peninsula, *Atmosphere*, 16(1), 1-17(in Korean).
- Park, Y. Y., Park, C. G., Choi, Y. J., Cho, C. H., 2007, Sensitivity analysis of simulated precipitation system to the KEOP-2004 intensive observation data, *Atmosphere*, 17(4), 435-453(in Korean).
- Ryu, M. H., Cho, S. K., 2010, A Study on national economic impact by natural disaster -A case of typhoon-, *Productivity review*, 24(3), 273-290(in Korean).
- Seo, K. W., 2004, Disaster characteristics analysis at Busan coastal areas by typhoon maemi in 2003, *Journal of ocean engineering and technology*, 18(2), 25-32(in Korean).
- Sugi, M., Noda, A., Sato, N., 2002, Influence of the global warming on tropical cyclone climatology: An experiment with the JMA global model, *Journal of Meteorological Society of Japan*, 80, 249-272.