

碩士學位論文

56 年間 韓半島
降水 및 風速의 強度 變化



濟州大學校 大學院

漁業學科

崔義洙

2007年 12月

56 年間 韓半島
降水 및 風速의 強度 變化

지도교수 문 일 주

최 의 수

이 논문을 수산학 석사학위 논문으로 제출함.

2007년 12월

최의수의 수산학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장	김 석 조	(인)
위 원	문 일 주	(인)
위 원	이 기 호	(인)

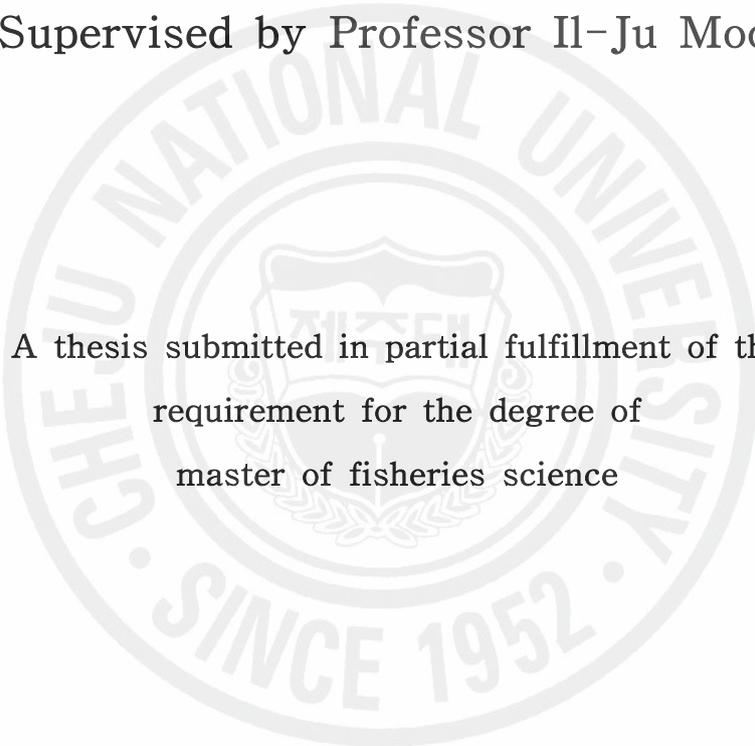
제주대학교 대학원

2007년 12월

The intensity change of wind speed and precipitation from 1951 to 2006 in Korea

Eu-Soo Choi

(Supervised by Professor Il-Ju Moon)



A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of master of fisheries science

DEPARTMENT OF FISHERIES SCIENCE
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2007. 12

목 차

LIST OF FIGURES	ii
LIST OF TABLES	x
SUMMARY	xi
I. 서론	1
II. 자료 및 분석과정	3
1. 자료수집 및 분석	3
2. 우리나라 관측환경의 변화	6
III. 결과	12
1. 년별 자료 분석	12
2. 지역별 분석	18
3. 태풍에 의한 일강수량과 최대순간풍속 자료 분석	51
4. 최저, 최고기온 극값 및 수온 변화 경향	59
5. 제주도의 일강수량과 최대순간풍속 극값 변화 경향	74
IV. 결론	86
요 약	89
참고문헌	92
감사의 글	95

List of Figures

Fig. 1. The increase of damage from disaster in Korea(1916~2005)	3
Fig. 2. The annual damage from disasters(1996~2005)	4
Fig. 3. The increase of observation sites in Korea	7
Fig. 4. The change of observation sites in Korea (1940~1970)	8
Fig. 5. The change of observation sites in Korea (1980~2007)	9
Fig. 6. The annual extreme value of daily precipitation observed over the Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 230mm/56yr)	12
Fig. 7. The number of daily precipitation over 150mm (Variation : 43times/56yr)	13
Fig. 8. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed over the Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 15m/s/56yr)	15
Fig. 9. The number of daily maximum instantaneous wind speed over 26m/s (Variation : 100times/56yr)	16
Fig. 10. The area observed extreme value of daily precipitation (1951~2006)	19
Fig. 11. The area observed extreme value of maximum instantaneous wind speed (1951~2006)	19
Fig. 12. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Jeju during 1951~2006 (Variation of extreme value : 20mm/56yr, Variation of sum : 0mm/56yr)	21
Fig. 13. Monthly precipitation in Jeju during 1951~2006	22
Fig. 14. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Gangneung during 1951~2006 (Variation of extreme value : 80mm/56yr, Variation of sum : 200mm/56yr)	22
Fig. 15. Monthly precipitation in Gangneung during 1951~2006	23

Fig. 16. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Busan during 1951~2006 (Variation of extreme value : 30mm/56yr, Variation of sum : 200mm/56yr)	23
Fig. 17. Monthly precipitation in Busan during 1951~2006	24
Fig. 18. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Gwangju during 1951~2006 (Variation of extreme value : 50mm/56yr, Variation of sum : 230mm/56yr)	25
Fig. 19. Monthly precipitation in Gwangju during 1951~2006	25
Fig. 20. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Mokpo during 1951~2006 (Variation of extreme value : 10mm/56yr, Variation of sum : 30mm/56yr)	26
Fig. 21. Monthly precipitation in Mokpo during 1951~2006	26
Fig. 22. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Ulsan during 1951~2006 (Variation of extreme value : 30mm/56yr, Variation of sum : 100mm/56yr)	27
Fig. 23. Monthly precipitation in Ulsan during 1951~2006	27
Fig. 24. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Inchoen during 1951~2006 (Variation of extreme value : 40mm/56yr, Variation of sum : 110mm/56yr)	28
Fig. 25. Monthly precipitation in Inchoen during 1951~2006	28
Fig. 26. The annual extreme value of daily precipitation observed 7 sites during 1951-2006(Variation : 120mm/56yr) and 15 sites during 1971-2006(Variation : 100mm/36yr)	29
Fig. 27. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Jeju(1951~2006)	33
Fig. 28. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Gangneung (1951~2006)	33
Fig. 29. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Busan (1951~2006) ..	33
Fig. 30. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Gwangju (1951~2006)	34

Fig. 31. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Mokpo (1951~2006)	· 34
Fig. 32. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Ulsan (1951~2006)	·· 34
Fig. 33. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Incheon (1951~2006)	35
Fig. 34. The change of precipitation intensity in 7 sites (1951~2006)	······ 36
Fig. 35. The annual extreme value (Variation : $-2\text{m/s}/52\text{yr}$) and average value (Variation : $-2\text{m/s}/52\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Ulleungdo during 1955~2006	······ 37
Fig. 36. The annual extreme value(Variation : $-1\text{m/s}/56\text{yr}$) and average value (Variation : $-2.5\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Jeju during 1951~2006	······ 38
Fig. 37. The annual extreme value(Variation : $-4\text{m/s}/46\text{yr}$) and average value(Variation : $-2\text{m/s}/46\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Seogwipo during 1961~2006	······ 38
Fig. 38. The annual extreme value(Variation : $-4\text{m/s}/47\text{yr}$) and average value(Variation : $-5\text{m/s}/47\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Mokpo during 1960~2006	······ 39
Fig. 39. The annual extreme value(Variation : $-3\text{m/s}/56\text{yr}$) and average value(Variation : $-5\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Busan during 1951~2006	······ 39
Fig. 40. The annual extreme value(Variation : $8\text{m/s}/43\text{yr}$) and average value(Variation : $2\text{m/s}/43\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Yeosu during 1964~2006	······ 40
Fig. 41. The annual extreme value(Variation : $-4\text{m/s}/46\text{yr}$) and average value(Variation : $-3\text{m/s}/46\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Gangneung during 1961~2006	······ 40
Fig. 42. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed 7 sites during 1951~2006(Variation : $6\text{m/s}/56\text{yr}$) and 15 sites during 1971~2006(Variation : $-2\text{m/s}/56\text{yr}$)	······ 41
Fig. 43. The annual extreme value(Variation : $-15\text{m/s}/56\text{yr}$) and average	

	value (Variation : $-10\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Ulleungdo during 1951~2006	42
Fig. 44.	The annual extreme value(Variation : $-6\text{m/s}/56\text{yr}$) and average value (Variation : $-6\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Jeju during 1951~2006	42
Fig. 45.	The annual extreme value(Variation : $-7\text{m/s}/46\text{yr}$) and average value (Variation : $-7\text{m/s}/46\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Seogwipo during 1961~2006	43
Fig. 46.	The annual extreme value(Variation : $-11\text{m/s}/56\text{yr}$) and average value (Variation : $-6\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Mokpo during 1951~2006	43
Fig. 47.	The annual extreme value(Variation : $-10\text{m/s}/56\text{yr}$) and average value (Variation : $-10\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Busan during 1951~2006	44
Fig. 48.	The annual extreme value(Variation : $1\text{m/s}/54\text{yr}$) and average value (Variation : $-0.5\text{m/s}/54\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Yeosu during 1953~2006	44
Fig. 49.	The annual extreme value(Variation : $-7\text{m/s}/54\text{yr}$) and average value (Variation : $-4\text{m/s}/54\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Gangneung during 1953~2006	45
Fig. 50.	The annual extreme value of maximum wind speed observed 7 sites during 1951~2006 (Variation : $-10\text{m/s}/56\text{yr}$) and 15 sites during 1971~2006(Variation : $-6\text{m/s}/56\text{yr}$)	46
Fig. 51.	The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Ulleungdo	47
Fig. 52.	The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Jeju	47
Fig. 53.	The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Seogwipo	48

Fig. 54. The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Mokpo	48
Fig. 55. The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Busan	49
Fig. 56. The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Yeosu	49
Fig. 57. The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Gangneung	50
Fig. 58. The number of extreme value observed monthly (1951~2006)	51
Fig 59. The change of extreme value of daily precipitation observed by tropical cyclones (TC) among the annual records during 1951~2006 (Variation : 250mm/56yr)	52
Fig. 60. The annual extreme value of daily precipitation by tropical cyclones (TC) over Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 250mm/56yr)	53
Fig. 61. The change of extreme value of maximum instantaneous wind speed by tropical cyclones (TC) among the annual records during 1951~2006 (Variation : 15m/s/56yr)	55
Fig. 62. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed by tropical cyclones (TC) over the Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 10m/s/56yr)	56
Fig. 63. The change of number that tropical cyclones (TC) affect over Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 0time/56yr)	58
Fig. 64. The change of extreme value of central pressure intensity that tropical cyclones (TC) affect over Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 10hPa/56yr)	59
Fig. 65. The annual highest temperature observed over Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 0.3°C/56yr)	60
Fig. 66. The annual lowest temperature observed over Korean peninsula	

during 1951~2006 (Variation : $-7^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	60
Fig. 67. The annual highest temperature observed in Deagu during 1951-2006 (Variation : $-0.6^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	61
Fig. 68. The annual highest temperature observed in Ulsan during 1951-2006 (Variation : $-0.3^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	61
Fig. 69. The annual highest temperature observed in Gwangju during 1951-2006 (Variation : $-0.8^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	62
Fig. 70. The annual highest temperature observed Pohang during 1951-2006 (Variation : $0.3^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	62
Fig. 71. The annual highest temperature observed Mokpo during 1951-2006 (Variation : $-1.2^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	63
Fig. 72. The annual highest temperature observed in Jeonju during 1951-2006 (Variation : $0.1^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	63
Fig. 73. The annual highest temperature observed Gangneung during 1951-2006 (Variation : $0.2^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	64
Fig. 74. The annual lowest temperature observed in Deagu during 1951~2006 (Variation : $3.5^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	64
Fig. 75. The annual lowest temperature observed in Ulsan during 1951~2006 (Variation : $2^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	65
Fig. 76. The annual lowest temperature observed in Gwangju during 1951~2006 (Variation : $1.8^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	65
Fig. 77. The annual lowest temperature observed in Pohang during 1951~2006 (Variation : $2.7^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	66
Fig. 78. The annual lowest temperature observed in Mokpo during 1951~2006 (Variation : $1.5^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	66
Fig. 79. The annual lowest temperature observed in Jeonju during 1951~2006 (Variation : $0.8^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	67
Fig. 80. The annual lowest temperature observed in Gangneung during 1951~2006 (Variation : $2^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)	67

Fig. 81. The annual extreme value of temperature observed in Sokcho during 1973-2006	69
Fig. 82. The annual extreme value of temperature observed in Tongyeong during 1973-2006	69
Fig. 83. The annual extreme value of temperature observed in Seosan during 1973-2006	69
Fig. 84. The annual extreme value of temperature observed in Yeosu during 1973-2006	70
Fig. 85. The annual extreme value of temperature observed in Uljin during 1973-2006	70
Fig. 86. The annual extreme value of temperature observed in Gunsan during 1973-2006	70
Fig. 87. Monthly records of sea surfacer temperature observed in deokjeokdo during 1999~2006(Variation : 1.3°C/8yr)	71
Fig. 88. Monthly records of sea surfacer temperature observed in Chilbaldo during 1999~2006(Variation : 1°C/8yr)	71
Fig. 89. Monthly records of sea surfacer temperature observed in Geomundo during 1999~2006(Variation : 1.8°C/8yr)	72
Fig. 90. Monthly records of sea surfacer temperature observed in Geojedo during 1999~2006(Variation : 1.9°C/8yr)	72
Fig. 91. The change of sea surfacer temperature at August(2001~2006).	73
Fig. 92. The annual extreme value of daily precipitation observed in Jeju-do during 1951~2007(Variation : 95mm/57yr)	74
Fig. 93. The annual extreme value of daily precipitation observed in Jeju-do during 1988~2007(Variation : 30mm/20yr)	75
Fig. 94. The annual extreme value of daily precipitation observed in Jeju during 1951~2007(Variation : 20mm/57yr)	76
Fig. 95. The annual extreme value of daily precipitation observed in Gosan during 1988~2007(Variation : 20mm/20yr)	76

Fig. 96. The annual extreme value of daily precipitation observed in Seogwipo during 1961~2007(Variation : 80mm/47yr)	77
Fig. 97. The annual extreme value of daily precipitation observed in Seongsan during 1973~2007(Variation : 55mm/35yr)	77
Fig. 98. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Jeju-do during 1951~2007(Variation : 10m/s/57yr)	78
Fig. 99. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Jeju-do during 1988~2007(Variation : 19.5m/s/20yr)	79
Fig. 100. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Jeju during 1951~2007(Variation : -2m/s/57yr)	79
Fig. 101. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Gosan during 1988~2007(Variation : 20m/s/20yr)	80
Fig. 102. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Seogwipo during 1962~2007(Variation : -4m/s/46yr)	80
Fig. 103. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Seongsan during 1993~2007(Variation : 9m/s/15yr)	81
Fig. 104. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Jeju-do during 1951-2007(Variation : 10.5m/s/57yr)	82
Fig. 105. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Jeju-do during 1988-2007(Variation : 19m/s/20yr)	82
Fig. 106. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Jeju during 1951~2007(Variation : -6m/s/57yr)	83
Fig. 107. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Gosan during 1988~2007(Variation : 19m/s/20yr)	83
Fig. 108. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Seogwipo during 1962~2007(Variation : -16m/s/46yr)	84
Fig. 109. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Seongsan during 1973~2007(Variation : 4m/s/35yr)	84

List of Tables

Table. 1. The order of damage from disasters	5
Table. 2. The list of observation sites (1)	10
Table. 3. The list of observation sites (2)	11
Table. 4. The annual extreme value of daily precipitation (1951~2007)	14
Table. 5. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed (1951~2006)	17
Table. 6. The area observed the extreme value of daily precipitation (1951~2006)	20
Table. 7. The area observed the extreme value of maximum instantaneous wind speed (1951~2006)	20
Table. 8. Classes of precipitation of Jeju (1951~2006)	30
Table. 9. Classes of precipitation of Gangneung (1951~2006)	31
Table. 10. Classes of precipitation of Busan (1951~2006)	31
Table. 11. Classes of precipitation of Gwangju (1951~2006)	31
Table. 12. Classes of precipitation of Mokpo (1951~2006)	32
Table. 13. Classes of precipitation of Ulsan (1951~2006)	32
Table. 14. Classes of precipitation of Incheon (1951~2006)	32
Table. 15. The number of tropical cyclones (TC) affect over the Korean peninsula during 1904~2006	52
Table. 16. The annual extreme value of daily precipitation by tropical cyclones (TC) over Korean peninsula during 1951~2006	54
Table. 17. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed by tropical cyclones (TC) over the Korean peninsula during 1951~2006	57

SUMMARY

Natural disasters occurring in Korea mostly has something to do with severe weathers like heavy rain in summer, typhoon, rainy spell in summer and heavy snowfall in winter. Entering the 21st century, the damages caused by heavy rainfall and strong wind are remarkably becoming larger and larger.

This paper studied the features of the changes in intensity of severe weather using the The annual extreme value of daily precipitation and maximum instantaneous wind speed from 1951 to 2006. As a result, there are some increases by 230mm over the last 56 years in daily precipitation extreme value and by 15m/s in maximum instantaneous wind speed.

The analysis was conducted in seven different positions to make away with possible impacts from changes in the number of observation position. The result was that while daily precipitation in all the positions showed somewhat to be risen, the extreme value of maximum instantaneous wind speed in most sites showed a downward tendency.

For more detailed study, the daily precipitation data was analyzed through the frequency and contribution assessment for certain class interval Karl and Knight used. According to the results, while the rate of days with low precipitation out of the whole rainy days showed a downward tendency in all the regions, the rates of days with high precipitation was on the rise. In addition, precipitation intensity the total precipitation divided by the number of days with precipitation gives turned out to be increasingly upward.

The change trend was researched of the extreme value of maximum wind speed for the seven positions, days with maximum wind speed above 14m/s, the reference point of the strong-wind advisory and days with maximum wind speed above 21m/s, the standard point of the strong-wind warning.

Despite most regions showing a downward trend, the extreme value of maximum wind speed decreased by 10m/s and the extreme value of

maximum instantaneous wind speed increased by 6m/s according to the change trend only in the seven points. But the analysis results in the fifteen points decreased by 2m/s, 6m/s in 56 years. This result represents that wind speed intensity decreased unlike daily precipitation in the Korea Peninsula. That is because friction increase by urbanization.

Actually, the increase of Korea's severe weather intensity shown in daily precipitation and maximum instantaneous wind speed has a close relationship with changes in typhoon's strength that hit the Korean territory. Typhoon made happen 23 times, 41% out of the daily precipitation extreme value and 27 times, 48% out of the maximum instantaneous wind speed extreme value over the last 56 years. Beside other factors, daily precipitation extreme values and maximum instantaneous wind speed extreme values by each year triggered only by typhoon showed a significantly upward trend.

While the number of typhoon that had made any damages in Korea wasn't risen, its strength kept its upward tendency. Indeed, the change trend of daily minimum air pressure extreme value observed during the typhoon attack showed the value keeping its downward trend on and on. Therefore, the increase of typhoon intensity can be seen as an important factor of increasing daily precipitation and maximum instantaneous wind speed in Korea.

As for the warming trend in Korea, the change trend of maximum and minimum temperature at the seven points showed that while maximum temperature in four regions decreased by around one degree, minimum temperature rose in all the sites by around one to three degrees. In addition, water temperature observed in four points of Buoy around Korean sea area increased by one to two degrees.

And from 2001 to 2006, sea surface temperature of Korea's neighboring waters in October showed an increasing curve, as well.

From these results, air and sea surface temperature increases triggered by warming trend in Korea are expected to make lethal changes threatening to

human survival like increasing severe weathers, changes in precipitation pattern, rise in sea-level, and strengthening typhoon intensity.

Finally, daily precipitation and maximum instantaneous wind speed were studied in Jeju-do which is affected relatively less than the continent due to its regional characteristics. Its extreme value of daily precipitation has increased by 30mm, extreme value of maximum instantaneous wind speed by 10m/s, and maximum wind speed by 10.5m/s over 57 years. But more detailed change trend by each regional part showed that while the extreme value of daily precipitation increased in most areas, maximum instantaneous wind speed and maximum wind speed showed an upward trend only in Gosan and Seongsan.

Gosan and Seongsan are naturally notorious for relatively stronger wind. But this case might especially result from regional features of Gosan exposed to north-west types of wind coming and Seongsan exposed to south-east types of wind coming from the ocean nearby.

Given all these results, the warming trend in Korea is under way, and the intensity of severe weathers is increasing, accordingly. In particular, daily precipitation increases triggered by typhoon intensity is a nationwide trend of Korea. And while urbanism is helping decrease the rates of days with strong wind speed and averaged wind speed, instantaneous wind speed in the case of severe weathers is becoming stronger and stronger. According to the IPCC report, if human activities dependent on fossil fuel are kept as it is now, averaged temperature of this planet would be increased by 6.4 degrees at most in the late 21st century. If things occur as this report says, Korea's severe weather intensity and frequency in the future would be expected to get higher than now.

I. 서론

우리나라에서 발생하는 자연재해에는 여름철 집중 호우, 태풍, 장마 및 겨울철 폭설 그리고 이에 동반된 강풍 등의 악기상과 관련된 재해가 대부분이다. 그 중에서도 특히 여름철 태풍이나 장마 등에 의한 호우 피해는 매년 계속 되풀이 되어 발생하고 있다. 특히 2002년에는 태풍 “루사”에 의해 강릉에서 일강수량 극값(870.5mm)의 기록이 갱신되고, 2006년에는 속초에서 최대순간풍속(63.7m/s) 극값이 갱신되는 등 2000년대 들어와서 악기상의 강도와 이로 인한 피해의 규모가 점점 커지고 있다. 이런 현상은 비단 우리나라뿐만이 아니라 전 세계적으로 발생하고 있는 현상으로, 지난 2005년 9월 루이지애나주 뉴올리언스를 덮친 허리케인 “카트리나”는 미국 역사에 기록될만한 엄청난 피해를 안겨주었다.

최근 발표된 많은 연구에서는 2000년대 들어서 4등급 이상의 강한 허리케인의 수와 지속시간 그리고 강도가 계속해서 증가하고 있으며(Webster, 2005), 이런 증가현상이 화석연료 배출에 따른 지구온난화 때문이라고 말하고 있다. 실제로 2007년 2월에 발표된 IPCC 4차 기후변화 평가보고서에서는 지난 백년(1906~2005년)동안 전 지구평균온도가 0.74℃ 상승했으며, 백년 중 가장 따뜻했던 해 12회 중 11회가 최근 12년 동안에 발생한 것으로 보고되었다. 또한 1961년부터 2003년까지 전 지구 해수면 상승률은 1.8mm/yr에 이르고 있으며, 위성자료에 의하면 1978년 이후 극지방 얼음은 10년마다 2.7%에서 7.4%까지 감소하고 있음을 나타내었다. 앞으로 화석연료에 의존한 대량소비형의 사회가 계속된다면, 2100년의 지구 평균기온은 최대 6.4도, 해수면은 59cm 상승한다고 전망하고 있다. 따라서 IPCC는 21세기말이 되면 북극 빙하가 완전히 녹아 없어질 것으로 예상하고 있다. 또한 미래에는 폭염과 집중호우 등 악기상의 강도가 높아지고 그 빈도수도 증가할 것으로 전망하고 있으며, 태풍과 허리케인 같은 열대폭풍은 열대 해수면 온도 상승과 더불어 그 위력은 강화될 것으로 전망하고 있다.

특히 지구온난화에 의한 지표면 온도의 상승은 고위도로 갈수록 훨씬 더 커질 수 있어(허창회, 1998), 중위도에 위치한 한반도에서 그 영향은 더욱 커질 것으로

예상된다.

한편 2000년대 들어와서 우리나라를 비롯해 전 세계적으로 발생하고 있는 이상기후 현상들을 단지 일시적으로 일어나는 현상이 아닌 지구온난화 현상과 연관된 장주기적인 기후변화에 기인하는 것으로 보는 견해가 많다. Chahine(1992)은 지구온난화 경향이 전구 규모로부터 지역규모에 이르기까지 다양한 규모의 물 순환 과정에 영향을 줄 것으로 예상하였고, Frei(1998) 등은 많은 기후모델의 모의 결과들이 온실가스의 증가로 초래된 지구온난화가 대기 중의 수분량을 증가시키며, 또한 물 순환 과정을 강화시키고 있음을 나타내었다.

우리나라에서도 지구온난화로 인한 기후변화가 뚜렷이 관측되고 있다. 28년간 60개 관측지점에 대하여 여름철 일 강우강도의 변화 경향을 분석한 자료를 보면 한반도 대부분의 지점에서 강우 강도가 증가하는 경향을 보이고 있으며(최영진, 2000), 또한 우리나라 여름철 악기상의 대부분을 차지하는 태풍도 한반도에서 55년간 꾸준히 그 강도가 증가하고 있다(문일주, 2007). 한편 태풍의 진로에 큰 영향을 주는 여름철 북태평양 고기압은 그 세기가 강화되었을 뿐만 아니라 서남쪽으로 확장되어 태풍의 전체적인 진로를 좀더 남서쪽으로 바꾸고 있다(허창희, 2002).

자연재해에 의한 극심한 피해는 보통 평균값보다는 극값을 기록할 때 잘 발생한다. 따라서 우리나라에서 기상재해를 일으키는 대표적인 기상요소인 최대풍속과 일강수량의 극값의 변화 양상을 조사하는 것은 의미가 깊다(문일주, 2006).

본 연구에서는 우리나라에서 관측된 대표적인 악기상 관측 자료인 일강수량과 최대순간풍속 극값을 분석하여 기후변화로 나타나는 한반도의 악기상 강도 변화를 조사하고자 한다. 특히 일강수량과 최대순간풍속의 변화에 많은 영향을 주는 여름철 태풍에 대해서 분석하여 한반도에 상륙한 태풍이 한반도 악기상 강도에 어떤 영향을 주었는지 알아보려고 한다. 또한, 우리나라에서 관측된 최고기온과 최저기온 그리고 수온 자료를 이용하여 전 세계적으로 발생하고 있는 이상기후 현상의 원인으로 지목되고 있는 지구온난화현상이 우리나라에서는 어떤 형태로 나타나고 있는지 분석해보고자 한다.

II. 자료 및 분석과정

1. 자료수집 및 분석

자료수집 및 분석과정을 설명하기에 앞서 1916년부터 2005년까지 우리나라의 재해로 인한 총 피해액의 변화 추세를 나타내보았다(재해연보, 2005). 아래의 자료를 보면 총 피해액의 규모는 최근 10년 사이 급격하게 증가하고 있으며, 특히 2002년도에 6조 7749억원의 재산피해가 발생하였는데, 이 재산피해액 중 태풍 “루사”에 의한 피해액이 5조 7031억원으로 약 85%를 차지한다.

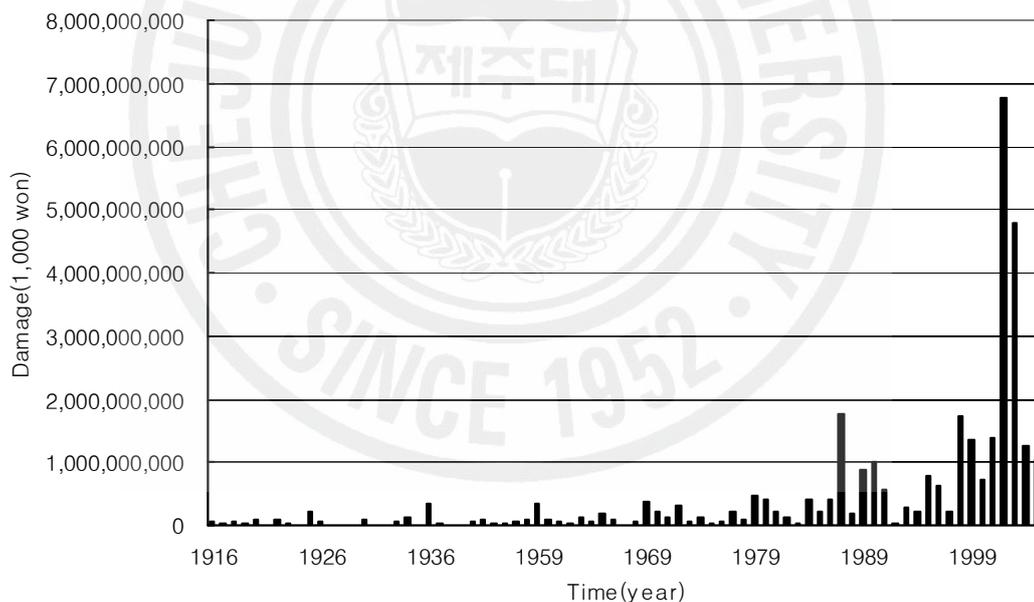


Fig. 1. The increase of damage from disaster in Korea(1916~2005)

여러 가지 자연재해 중 기상재해는 태풍·홍수 등으로 인한 풍수해, 큰 눈으로 인한 설해(雪害), 때 아닌 서리로 인해 농산물이 피해를 당하는 상해(霜害), 오랜

가뭄으로 인한 한해(旱害), 그리고 바닷물이 육지를 뒤덮는 해일(海溢), 추위·더위·우박·안개·낙뢰·습기·과도 등으로 입는 피해를 말한다. 많은 기상재해 가운데 우리나라는 특히 여름철 태풍이나 집중호우로 인한 홍수 등의 풍수해로 많은 피해를 입는다.

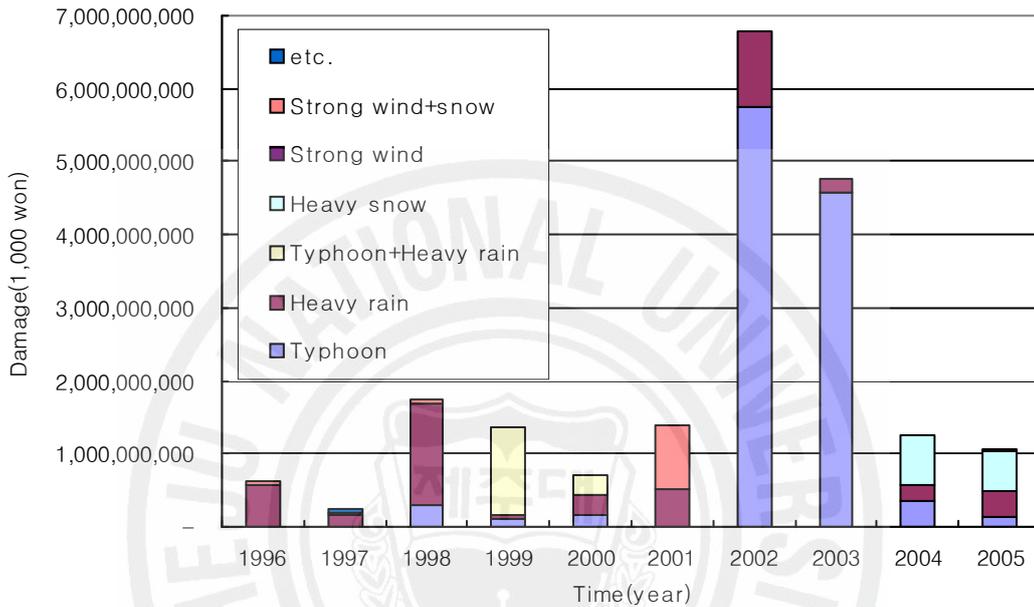


Fig. 2. The annual damage from disasters (1996~2005)

Fig. 2는 최근 10년간 원인별-년도별 자연재해로 인한 피해액을 나타낸 것이다. 자연재해 중 태풍 및 호우가 차지하는 비율이 상당히 큰 것을 알 수 있으며, 2002년과 2003년에는 태풍 및 호우로 인한 재해가 대부분을 차지했으며 그 피해액도 엄청났다.

Table. 1은 과거 주요재해로 인한 피해액의 순위를 1위에서 20위까지 나타내 본 것이다. 피해액이 가장 큰 재해는 2002년 태풍 “루사”로 인한 재해였으며, 이때 강릉에서 일강수량이 871mm 로 최대값을 기록하였다. 또한 큰 피해액을 기록한 많은 재해들은 최대순간풍속 및 일강수량이 최대값을 기록한 때였음을 알 수 있다.

Table. 1. The order of damage from disasters

Order	Year	Disasters	Wind Speed (m/s)		Precipitation (mm)		Damage (1,000 Won)
1	2002	RUSA	44	Jeju	871	Gangneung	5,703,186,511
2	2003	MAEMI	60	Jeju	453	Namhae	4,576,441,921
3	1998	Heavy Rain			481	Ganghwa	1,369,981,281
4	1999	Heavy Rain and OLGA	46	Wando	280	Cheorwon	1,176,425,732
5	2002	Heavy Rain			320	Yangpyeong	1,017,164,327
6	1990	Heavy Rain			331	Daegwallyeon g	803,122,256
7	2004	Heavy Snow					687,818,241
8	1987	THELMA	21	Wando	217	Goheung	655,643,216
9	1995	Heavy Rain and JANIS	19	Boryeong	362	Boryeong	602,669,473
10	1987	Heavy Rain			518	Buyeo	552,094,940
11	1996	Heavy Rain			268	Cheorwon	546,980,448
12	2005	Heavy Snow					520,614,626
13	1989	Heavy Rain	23	Wonju			473,198,380
14	1991	GLADYS	15	Busan	439	Busan	347,263,504
15	2005	Heavy Rain			382	Gangju	331,563,650
16	1989	YANNI	28	Jangheun g	516	Pohang	301,782,341
17	2000	Heavy Rain and PRAPIROON	58	Heuksand o	645	Gunsan	277,002,794
18	1984	Heavy Rain	12	Seoul	314	Sokcho	274,930,349
19	1959	SARAH	35	Busan	168	Jeju	269,888,386
20	1980	Heavy Rain	12	Seoul	217	Jeju	267,033,535

이처럼 자연재해에 의한 극심한 피해는 보통 그 기상현상의 평균치보다는 최대치를 기록할 때 많이 나타나는데 기상학적 용어로는 최대치를 극값이라고 표현하며 매년 산출하고 있다. 따라서 이 논문에서는 1951년부터 2006년 동안 기상청 전 관측지점에서 관측된 년별 일강수량 및 최대순간풍속 극값을 수집하여 분석해봄으로써 한반도 악기상의 강도가 어떻게 변화하고 있는지 살펴보았다.

본 연구에서는 우리나라 기상재해에 많은 부분을 차지하는 태풍에 대하여 분석해 보기 위해 기상청에서 1996년 발간된 태풍백서(Typhoon White Book) 및 태풍정보 DB의 자료를 이용하였다. 또한 태풍의 강도 증가와 깊은 관련이 있는

지구온난화가 우리나라에서도 실제로 나타나고 있는지 56년간 최고기온 및 최저기온 자료 및 우리나라 주변 해역의 수온 자료를 분석해보았다.

끝으로 우리나라 남단에 위치하며 육지의 영향이 비교적 적은 제주도에서 관측된 일강수량 및 최대순간풍속 극값 자료를 분석해 봄으로써 육지관측 자료와 비교해 보았다. 특히, 제주도는 2007년 태풍 '나리'로 인해 막대한 피해를 입었기 때문에 2007년까지 분석 기간에 포함시켰다.

2. 우리나라 관측환경의 변화

우리나라의 근대적인 기상관측은 1904년 3월 목포 등 5개소에 최초 임시기상관측소를 설치하면서부터 시작되었으며, 이 당시의 기상관측은 온도계, 우량계, 기압계 등과 같은 간단한 측기로 수행되었다. 근대적인 기상관측이 시작된 이후부터 1960년대까지는 주로 수은기압계와 수은온도계, 알콜 최저온도계, 풍신기와 풍속계, 원통형 우량계, 줄단 일조계 등의 재래식 기상관측장비를 사용하였다. 1965년부터 1969년 사이에 국제기구인 UNKRA, AID 및 UNDP의 자금지원을 받아 비로소 최근에 개발된 기상레이더를 비롯하여 기상위선 수신기(ATP) 등 현업에서 일기예보에 필요한 기상관측장비를 도입하였으며, 이 때부터 기상연구사업도 활발히 전개되어 농업기상관측 장비를 비롯한 강수강도계, 토양수분측정기, 광합성측정장비, 대형증발계, 지진계 등의 기상관측 및 연구개발장비가 도입·운영되기 시작하였다.

1970년 7월에 부산, 광주지대 및 76개 분실을 신설하면서 관측 지점의 비약적인 증가가 이루어졌으며, 1983년부터 OECF 차관사업으로 노후된 재래식 장비를 현대화된 기상장비로 교체 및 보강하는 사업이 시작되었다. 이 때부터 연차사업으로 관측망 확장과 신장비 도입에 많은 예산이 투자되었으며, 그 결과로 자동기상관측장비의 전국망이 구성되기 시작하였다.

2000년에 들어서면서 종관기상관측장비(Automated Surface Observation System : ASOS)의 도입으로 일부 목측관측요소 이외의 지상기상관측업무가 자

동화되었고, 자동기상관측시스템(Automatic Weather System : AWS)은 관측조밀도와 관측자료 수집주기가 각각 13km와 1분으로 일본 AMeDAS 관측망의 17km보다 우수한 중규모 기상관측망을 갖추게 되었다. 현재 기상청은 지상기상관측을 비롯하여 고층·해양·항공·레이더·지진 등 10개의 분류별 기상관측을 수행하고 있다. 지상기상은 77개소의 유인관측소와 464개소의 무인 자동기상관측망을 운영하고 있으며, 5개의 해양기상관측부이와 1척의 기상관측선을 운영하고 있다. 또한, 14개소의 고층기상관측, 운영, 10개소의 기상레이더관측, 10개 지점의 항공관측, 86개소의 지진관측과 21개소에서 낙뢰관측업무를 수행하고 있으며, 경기도청이 설치한 무인 자동기상관측장비 60대를 기상청 자동기상관측망에 연계하여 통합 운영 및 관측 자료를 실시간으로 공동 활용하고 있다(기상연감, 2006).

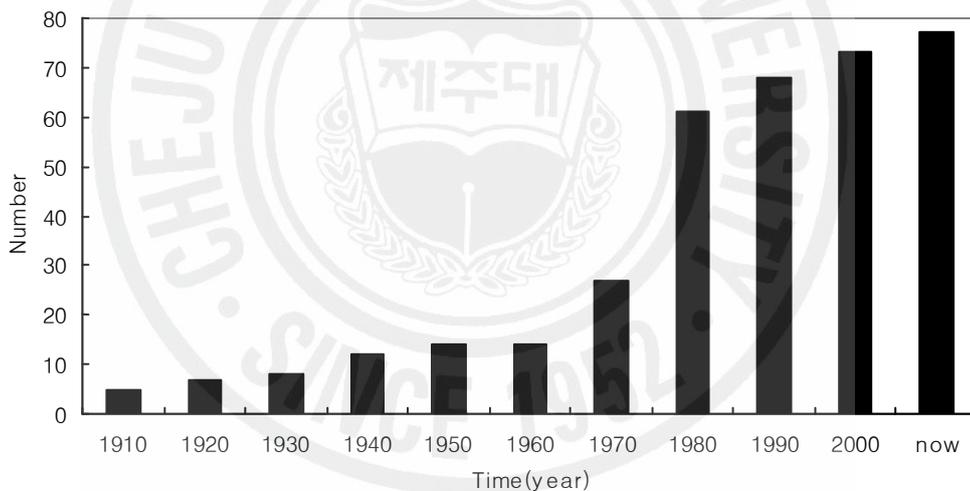
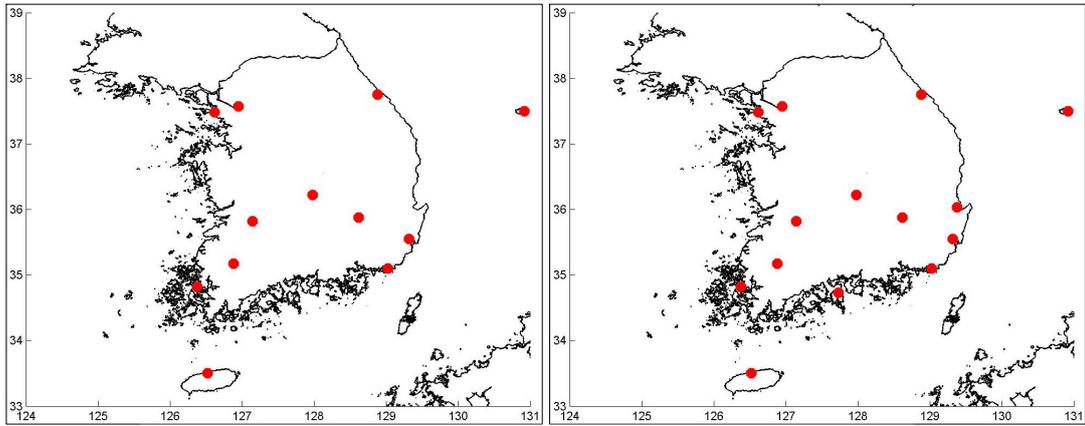
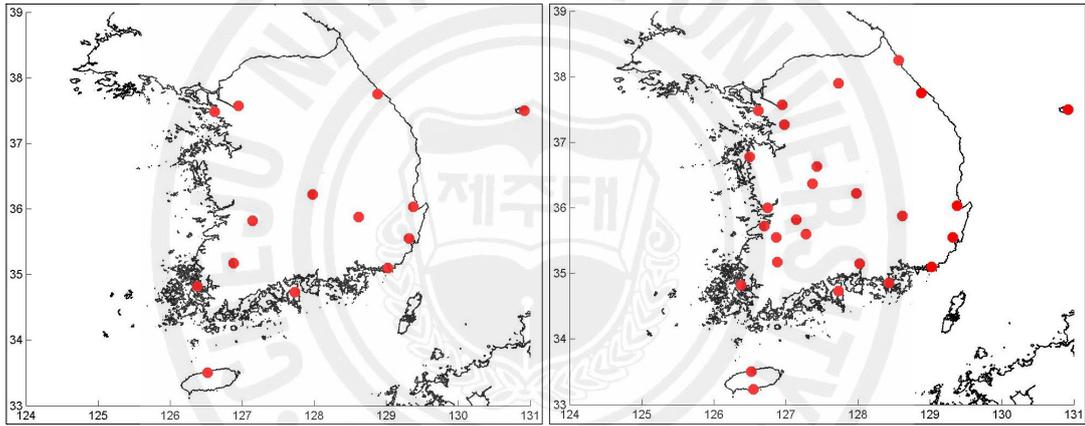


Fig. 3. The increase of observation sites in Korea



(a) Until 1940

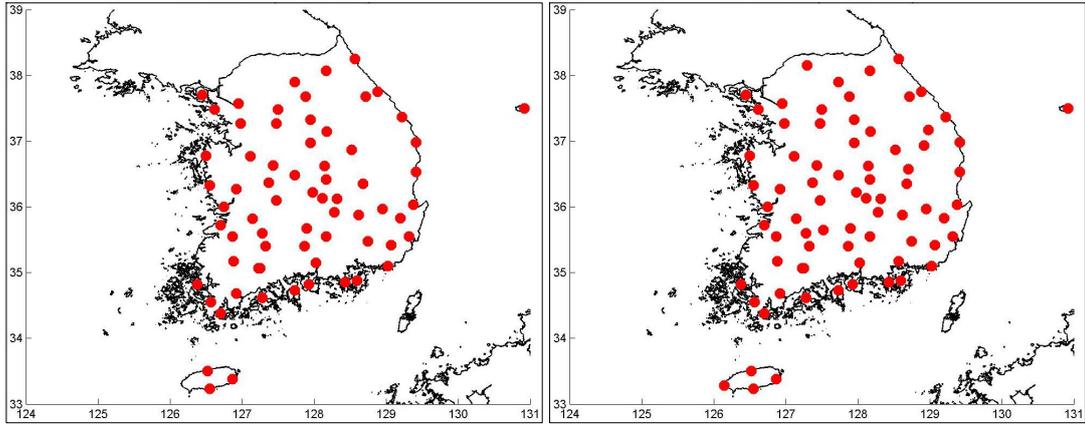
(b) Until 1950



(c) Until 1960

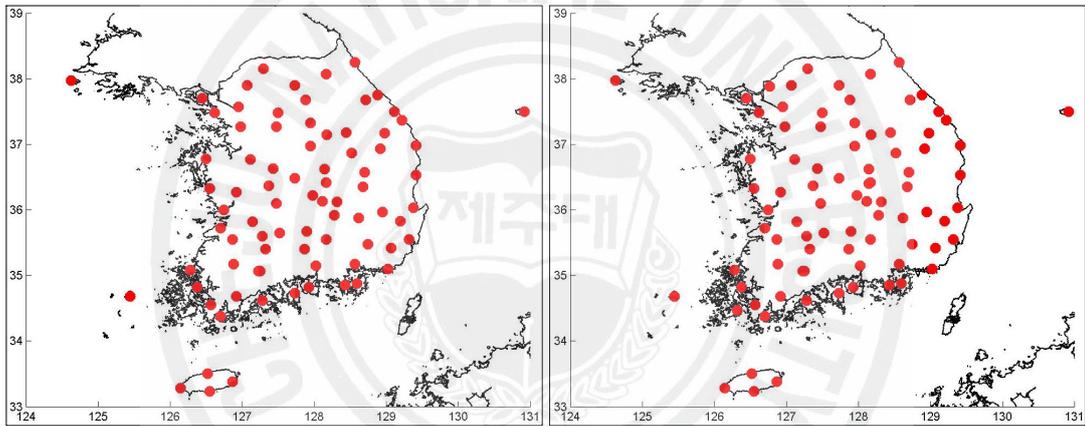
(d) Until 1970

Fig. 4. The change of observation sites in Korea (1940~1970)



(a) Until 1980

(b) Until 1990



(c) Until 2000

(d) Until 2007

Fig. 5. The change of observation sites in Korea (1980~2007)

Table 2. The list of observation sites (1)

Number	Name	Latitude	Longitude	First observation
90	Sokcho	38.15	128.34	1968.01.01
95	Cheorwon	38.09	127.18	1988.01.01
98	Dongducheon	37.54	127.04	1998.02.01
99	Munsan	37.53	126.46	2002.01.01
100	Daegwallyeong	37.41	128.43	1971.07.11
101	Chuncheon	37.54	127.44	1966.01.01
102	Baengnyeongdo	37.58	124.38	2000.11.01
105	Gangneung	37.45	128.53	1911.10.01
106	Donghae	37.3	129.07	1992.05.01
108	Seoul	37.34	126.57	1907.10.01
112	Incheon	37.29	126.37	1904.04.10
114	Wonju	37.2	127.57	1971.09.01
115	Ulleungdo	37.3	130.55	1938.08.10
119	Suwon	37.16	126.59	1964.01.01
121	Yeongwol	37.11	128.27	1995.01.01
127	Chungju	36.58	127.57	1971.01.01
129	Seosan	36.47	126.3	1968.01.01
130	Uljin	36.59	129.25	1971.01.01
131	Cheongju	36.38	127.26	1967.01.01
133	Daejeon	36.22	127.22	1969.01.01
135	Chupungnyeong	36.13	127.59	1935.09.01
136	Andong	36.34	128.42	1982.04.06
137	Sangju	36.24	128.09	2002.01.01
138	Pohang	36.02	129.23	1943.01.01
140	Gunsan	36	126.45	1968.01.01
143	Daegu	35.53	128.37	1907.01.07
146	Jeonju	35.49	127.09	1918.05.15
152	Ulsan	35.33	129.19	1931.07.01
155	Masan	35.1	128.34	1985.07.01
156	Gwangju	35.1	126.53	1938.10.01
159	Busan	35.06	129.02	1904.04.09
162	Tongyeong	34.51	128.26	1967.01.01
165	Mokpo	34.49	126.23	1904.04.01
168	Yeosu	34.44	127.44	1942.04.01
169	Heuksando	34.41	125.27	1997.01.01
170	Wando	34.23	126.42	1971.05.01
175	Jindo	34.28	126.19	2002.01.01
184	Jeju	33.3	126.31	1923.05.01
185	Gosan	33.17	126.09	1988.01.01
187	Seongsan	33.23	126.52	1971.01.01
189	Seogwipo	33.14	126.33	1961.01.01
192	Jinju	35.09	128.02	1969.03.01
410	Seoul(Sindeabang)	37.29	126.55	1998.12.22

Table. 3. The list of observation sites (2)

Number	Name	Latitude	Longitude	First observation
201	Ganghwa	37.42	126.27	1971.01.01
202	Yangpyeong	37.29	127.3	1971.02.01
203	Icheon	37.16	127.29	1971.01.01
211	Inje	38.04	128.1	1971.09.01
212	Hongcheon	37.41	127.53	1971.07.01
216	Taebaek	37.1	128.59	1985.09.01
221	Jecheon	37.09	128.11	1971.01.01
226	Boeun	36.29	127.44	1971.06.16
232	Cheonan	36.46	127.07	1971.01.01
235	Boryeong	36.2	126.33	1971.12.10
236	Buyeo	36.16	126.55	1971.01.01
238	Geumsan	36.06	127.29	1971.07.01
243	Buan	35.43	126.42	1969.05.11
244	Imsil	35.36	127.17	1969.05.11
245	Jeongeup	35.33	126.52	1969.05.11
247	Namwon	35.24	127.2	1971.01.01
248	Jangsu	35.39	127.31	1988.01.01
256	Suncheon	35.04	127.14	1971.06.01
260	Jangheung	34.41	126.55	1971.01.01
261	Haenam	34.33	126.34	1971.02.01
262	Goheung	34.37	127.17	1971.01.01
271	Bonghwa	36.56	128.55	1988.01.01
272	Yeongju	36.52	128.31	1971.01.01
273	Mungyeong	36.37	128.09	1971.01.01
277	Yeongdeok	36.32	129.25	1971.01.01
278	Uiseong	36.21	128.41	1971.01.01
279	Gumi	36.07	128.19	1971.01.01
281	Yeongcheon	35.58	128.57	1971.01.01
284	Geochang	35.4	127.54	1971.01.01
285	Hapcheon	35.33	128.1	1971.01.01
288	Miryang	35.29	128.45	1971.01.01
289	Sancheong	35.24	127.52	1971.01.01
294	Geoje	34.53	128.36	1971.04.01
295	Namhae	34.49	127.56	1971.01.01

Ⅲ. 결과

1. 년별 자료 분석

먼저 전체적인 일강수량 및 최대순간풍속의 변화 경향을 알아보기 위해 1951년부터 2006년까지 56년간의 우리나라 전 지역에서 관측된 자료 중에서 년도 별 일강수량 극값 자료 및 최대순간풍속 극값 자료를 수집하여 그 변화 경향을 시계열로 나타내 보았다.

1) 일강수량 변화분석

Fig. 6는 년도 별로 일강수량 극값을 산출하여 그 변화경향을 추세선 및 5년 이동평균으로 나타내 본 것이다. 추세선 및 이동평균을 살펴보면 그 값들이 서서히 상승하고 있는 것으로 보이는데, 1950년대에 비해서 2000년대 들어와서 약 230mm 이상의 증가를 보였다. 특히 가장 큰 값을 기록한 년도는 2002년으로 강릉에서 기록한 870.5mm이며, 또한 가장 많은 일강수량을 기록한 날들 중 1위에서 10위까지가 모두 1980년대 이후에 발생하였다.

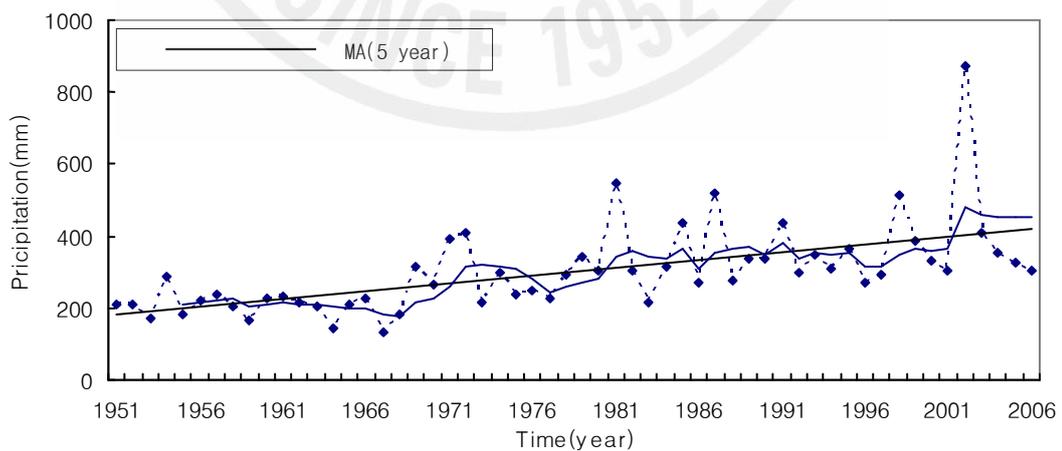


Fig. 6. The annual extreme value of daily precipitation observed over the Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 230mm/56yr)

단시간에 많은 비가 오는 것을 강우 또는 집중호우라고 하고, 반드시 단시간에 한하지 않고 총강수량이 많은 것을 호우라고 하는데, 홍수 및 침수 등의 피해를 발생하게 하는 정도의 많은 비를 가리킨다. 기상청에서 발표하는 호우주의보 기준은 12시간 강우량이 80mm 이상 예상될 때 이므로 일강수량 80mm 이상이면 호우로 볼 수 있다. 호우를 발생시키는 원인으로는 주로 여름철 장마전선 상에서 나타나는 경우가 많고, 태풍 내습 시에도 호우를 동반한다. 또한 봄철에 발달한 저기압이 한반도를 통과할 때도 많은 비가 오는 경우가 많다.

또한 기상청에서는 12시간 강우량이 150mm 이상 예상될 때는 호우경보를 발표하고 있는데, 따라서 Fig. 7에는 1951년부터 2006년까지 우리나라에서 관측된 자료 중 일강수량이 150mm가 넘는 횟수를 년도 별로 나타내 보았다.

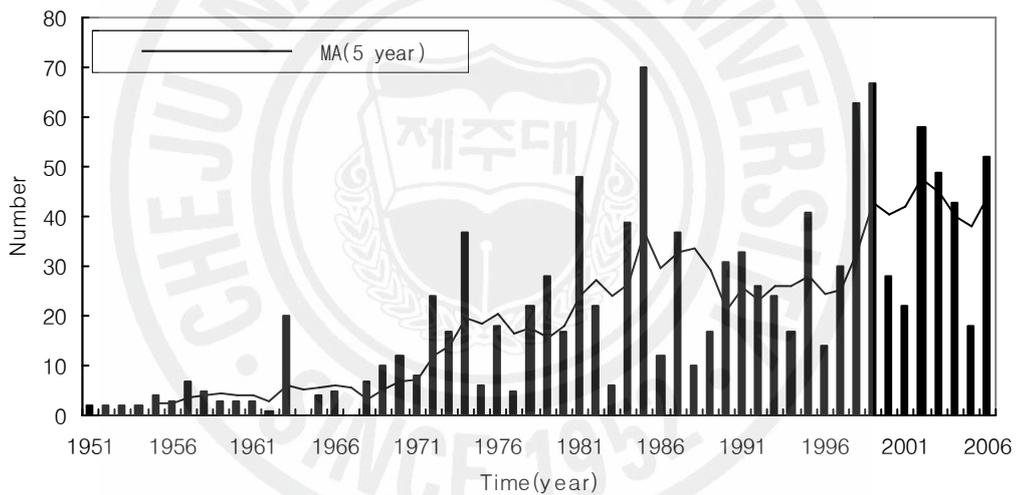


Fig. 7. The number of daily precipitation over 150mm (Variation : 43times/56yr)

위의 그림을 보면 150mm 이상의 강수량을 기록한 날의 횟수가 점점 증가하고 있음을 알 수 있는데, 1950년대에 비해 2000년대 들어 40회 이상 증가했다. 특히 전체 평균 횟수가 약 20회 정도인데 1990년도 이후에는 대부분의 년도가 평균 횟수를 상회한다는 것을 알 수 있다. Table. 4은 1951년부터 2006년까지 년도 별 일강수량 극값 자료를 표로 나타내 본 것이다.

Table. 4. The annual extreme value of daily precipitation (1951~2007)

Year	Site	Month	Day	The extreme value	Typhoon	Order
1951	Jeju	7	12	207.9		46
1952	Gwangju	9	11	207.5		47
1953	Incheon	8	13	172		53
1954	Gangneung	9	13	287.1	5412	30
1955	Mokpo	7	13	183.1		52
1956	Seoul	6	22	219.9		42
1957	Jeju	6	26	236.6	5705	37
1958	Jeonju	9	4	202.2		50
1959	Jeju	9	17	168.1	5914	54
1960	Ulleungdo	9	18	227		40
1961	Jeju	9	14	233.7		38
1962	Busan	8	24	217.3		43
1963	Mokpo	6	19	204	6304	49
1964	Seqwipo	5	18	141.6		55
1965	Busan	8	12	207.2		48
1966	Seoul	7	15	226.3		41
1967	Chuncheon	7	20	135.2		56
1968	Suwon	8	23	184.1		51
1969	Ulsan	9	15	315.8		19
1970	Gangneung	7	6	267.0	7002	34
1971	Samchok	8	5	390.8	7119	9
1972	Haenam	8	20	407.5	7214	8
1973	Gimhae	9	9	213.8		45
1974	Jangheung	8	30	297.0	7420	26
1975	Yangpyeong	7	25	239.8		36
1976	Wonju	8	13	248.6	7613	35
1977	Incheon	7	8	228.4		39
1978	Namhae	6	18	291.0	7803	29
1979	Tongyeong	8	25	340.5	7911	14
1980	Boeun	7	22	302.6		25
1981	Jangheung	9	2	547.4	8118	2
1982	Daegwallyeong	8	27	303.0	8213	23
1983	Jeju	9	27	214.5	8310	44
1984	Sokcho	9	2	314.2		20
1985	Geoje	5	5	438.3		6
1986	Ganghwa	7	24	271.5		32
1987	Buyeo	7	22	517.6		3
1988	Jecheon	7	20	276.5		31
1989	Gwangju	7	25	335.6		16
1990	Taebaek	9	11	338.5		15
1991	Busan	8	23	439.0	9112	5
1992	Seongsan	8	12	296.5		27
1993	Daegwallyeong	8	10	349.0	9307	13
1994	Samchok	10	12	307.5	9429	21
1995	Seqwipo	7	2	365.5		11
1996	Cheorwon	7	27	268.1		33
1997	Ganghwa	8	3	293.0		28
1998	Pohang	9	30	516.4	9809	4
1999	Geoju	7	29	387.5	9905	10
2000	Suwon	7	22	333.2		17
2001	Namhae	6	24	303.0		23
2002	Gangneung	8	31	870.5	215	1
2003	Namhae	9	12	410.0	314	7
2004	Wando	8	18	353.5	415	12
2005	Ulsan	9	6	327.5	514	18
2006	Gangneung	10	23	304.0		22

2) 최대순간풍속 변화분석

기상청에서는 풍속을 최대순간풍속과 최대풍속으로 나누어 관측한다. 풍속은 일반적으로 관측시각 전부터 10분 평균된 바람의 세기를 말하며 순간풍속은 관측시각에 있어서 순간 값을 말한다. 최대순간풍속과 최대풍속은 하루 동안 관측된 각각의 값들 가장 큰 값을 말한다.

Fig. 8는 56년간의 년도 별 최대순간풍속 극값을 시계열로 나타낸 것이다. 최대순간풍속도 일강수량 시계열 자료와 마찬가지로 그 경향이 서서히 증가하고 있으며, 추세선 및 이동평균도 증가하고 있음을 알 수 있는데, 1950년대와 비교해서 2000년대 들어서 약 15m/s 증가하였음을 알 수 있다. 최고로 높았던 값을 기록한 년도는 2006년 10월 23일에 속초에서 기록한 63.7 m/s 이며, 순위로 봤을 때 1위에서 10위까지의 값들이 대부분 1990년대 이후에 기록되었음을 알 수 있다.

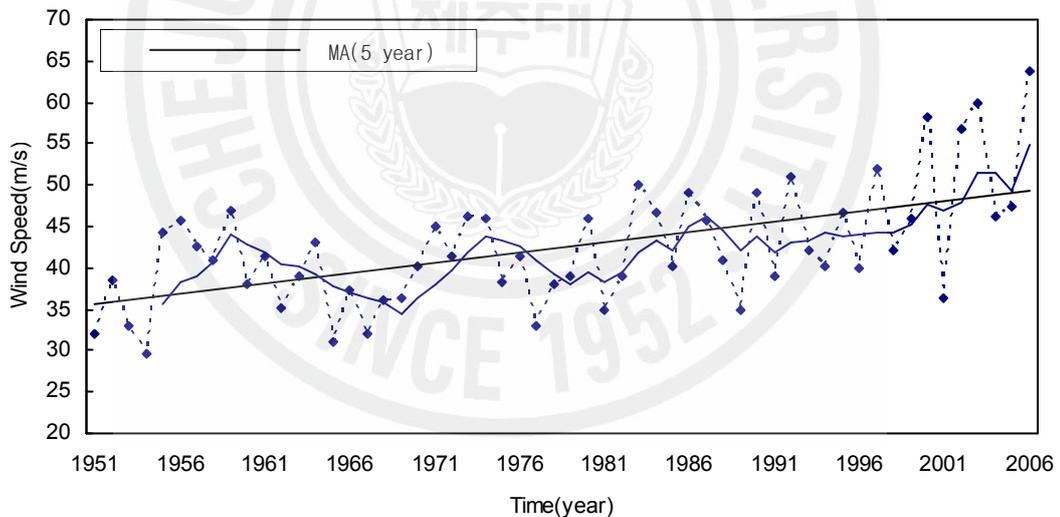


Fig. 8. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed over the Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 15m/s/56yr)

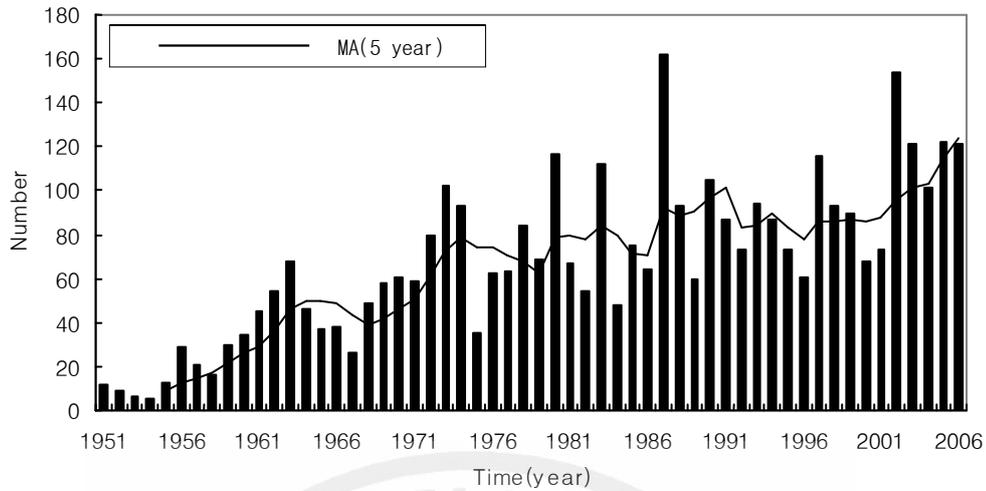


Fig. 9. The number of daily maximum instantaneous wind speed over 26m/s (Variation : 100times/56yr)

기상청에서는 육상에서 풍속이 14m/s 이상 또는 순간풍속 20m/s 이상이 예상될 때 강풍주의보를 발효하고(산지는 풍속 17m/s 이상 또는 순간풍속 25m/s 이상이 예상될 때), 육상에서 풍속이 21m/s 이상 또는 순간풍속이 26m/s 이상이 예상될 때는 강풍경보를 발효한다(산지는 풍속 24m/s 이상 또는 순간풍속 30m/s 이상이 예상될 때). 위의 그림은 강풍경보의 기준인 최대순간풍속이 26 m/s를 넘었던 횟수를 년도 별로 나타낸 것이다. 일강수량 자료와 마찬가지로 점점 그 횟수가 증가하는데 그 증가는 1950년대에 비해 2000년대 100회 이상 증가하였음을 알 수 있으며, 최고 횟수를 기록한 년도는 1987년도의 162회였다. 최대순간풍속이 26m/s 가 넘었던 횟수의 평균은 68회 정도인데, 1990년대 이후로는 1991년의 61회를 제외하고는 모두 68회를 상회했음을 알 수 있다.

Table. 5는 1951년부터 2006년까지 년별 최대순간풍속 극값을 표로 나타내 본 것이다.

Table. 5. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed (1951~2006)

Year	Site	Month	Day	The extreme value	Typhoon	Order
1951	Busan	1	11	32.1		53
1952	Jeju	8	18	38.6	5209	40
1953	Jeju	1	7	33.1		51
1954	Yeosu	9	25	29.6	5415	56
1955	Ulleungdo	9	30	44.3	5522	22
1956	Yeosu	9	10	45.7	5612	19
1957	Ulleungdo	7	7	42.5		24
1958	Ulleungdo	12	26	40.8		30
1959	Jeju	9	17	46.9	5914	11
1960	Ulleungdo	1	16	38		43
1961	Ulleungdo	8	4	41.4	6110	28
1962	Mokpo	8	2	35.1	6209	48
1963	Busan	6	20	39	6304	36
1964	Seqwipo	8	2	43	6411	23
1965	Ulleungdo	6	5	31		55
1966	Seqwipo	8	30	37.3	6617	44
1967	Mokpo	12	7	32		54
1968	Gangneung	11	9	36		47
1969	Gunsan	8	19	36.4		45
1970	Seqwipo	8	30	40.2	7011	33
1971	Ulleungdo	1	4	45		21
1972	Jeju	7	26	41.5	7207	27
1973	Ulleungdo	10	28	46.2		14
1974	Sokcho	4	22	46		16
1975	Tongyeong	4	5	38.2		41
1976	Gunsan	10	28	41.3		29
1977	Ulleungdo	12	1	33		52
1978	Gunsan	12	1	38.1		42
1979	Sokcho	2	10	39		36
1980	Sokcho	4	19	46		16
1981	Seqwipo	9	1	35	8118	49
1982	Ulleungdo	9	25	38.9	8219	39
1983	Uljin	4	27	50		7
1984	Ulleungdo	5	2	46.6		12
1985	Ulleungdo	8	31	40.2	8513	33
1986	Uljin	8	28	49	8613	8
1987	Daegwallyeong	4	21	45.7		19
1988	Daegwallyeong	11	12	40.8		30
1989	Daegwallyeong	12	4	35		49
1990	Ulleungdo	12	11	49		8
1991	Ulleungdo	9	27	39	9119	36
1992	Ulleungdo	9	25	51	9219	6
1993	Ulleungdo	8	10	42	9307	26
1994	Ulleungdo	10	21	40.3		32
1995	Tongyeong	7	23	46.6	9503	12
1996	Gosan	12	22	40		35
1997	Uljin	1	1	51.9		5
1998	Heuksando	9	30	42.1	9809	25
1999	Wando	8	3	46	9907	16
2000	Heuksando	8	31	58.3	12	3
2001	Gosan	1	28	36.4		45
2002	Gosan	8	31	56.7	215	4
2003	Jeju	9	12	60	314	2
2004	Ulleungdo	8	19	46.1	415	15
2005	Ulleungdo	9	7	47.3	514	10
2006	Sokcho	10	23	63.7		1

2. 지역별 분석

앞에서 우리나라의 관측환경에 대하여 설명했듯이 우리나라의 관측 지점은 1970년대에서 1980년대로 넘어오면서 그 수가 급격히 증가하였다. 따라서 단순히 관측된 횟수만을 놓고 분석한다는 건 관측소의 개수의 증가에서 오는 영향을 피할 수 없다. 따라서 여기서는 자료의 균질성을 유지하기 위해 자료 별로 7개의 지점을 선별하여 그 지점에서의 변화 경향을 분석해 보기로 하였다.

우선 지점을 선별하기 위해 일강수량과 최대순간풍속이 가장 많이 나타난 지점을 집계해보았다. 아래의 표는 지역별로 극값이 나타난 횟수를 집계해 본 것이다. 56년 동안 일강수량 극값이 가장 많이 나타난 지역은 5회를 기록한 제주이며, 그 외 강릉이 4회, 남해와 부산이 3회씩 기록하였다. 또한 최대순간풍속 극값을 기록한 지역은 울릉도가 19회로 가장 많았으며, 제주가 5회, 서귀포와 속초가 3회씩 기록하였다. 일강수량 및 최대순간풍속 극값이 많이 나타난 지역별 분포를 살펴보면 해안지역에 많이 분포해 있다는 것을 알 수 있는데, 이는 그 지역의 지형분포 및 기압 배치에 기인하는 것으로 보인다. 일강수량의 경우 많은 수증기를 동반한 저기압성 소용돌이가 육지와 만나면서 상층의 찬 공기와 부딪쳐 비구름대를 형성, 집중호우를 발생시키기 때문에 내륙보다는 해안지역에서 일강수량 극값이 나타날 확률이 높으며, 최대순간풍속의 경우에도 내륙으로 갈수록 지형의 영향으로 인한 풍속의 감쇄효과가 나타나기 때문에 내륙보다는 해안지역에서 강한 풍속이 나타날 가능성이 많다.

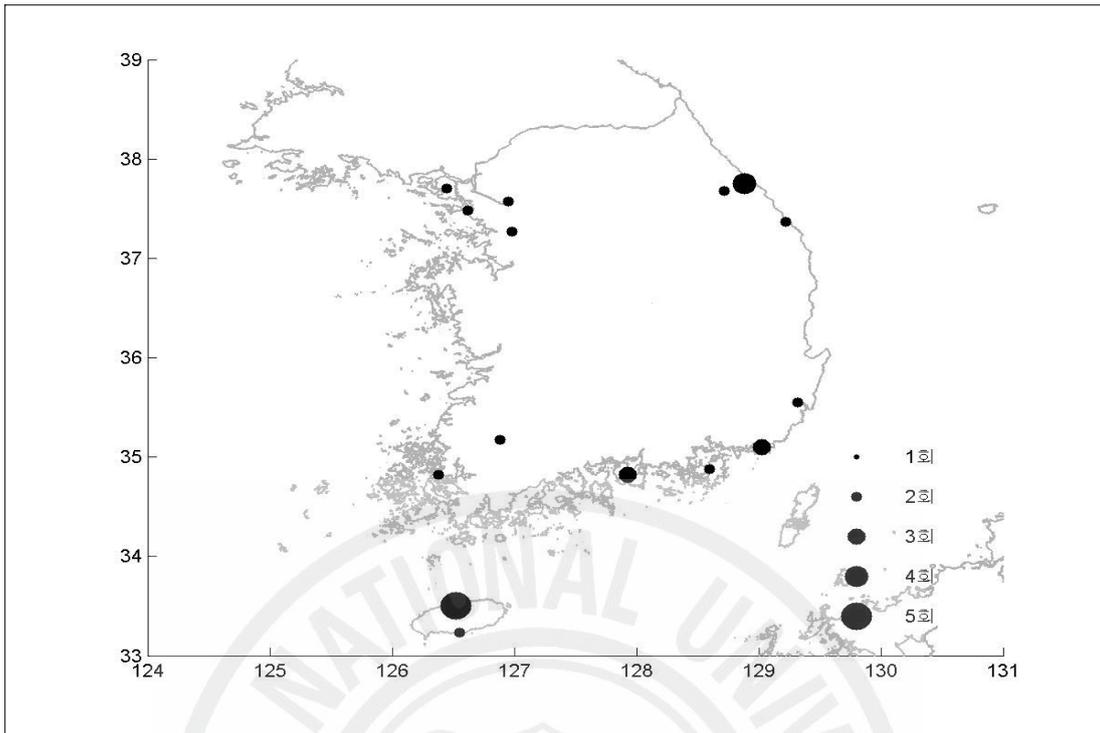


Fig. 10. The area observed extreme value of daily precipitation (1951~2006)

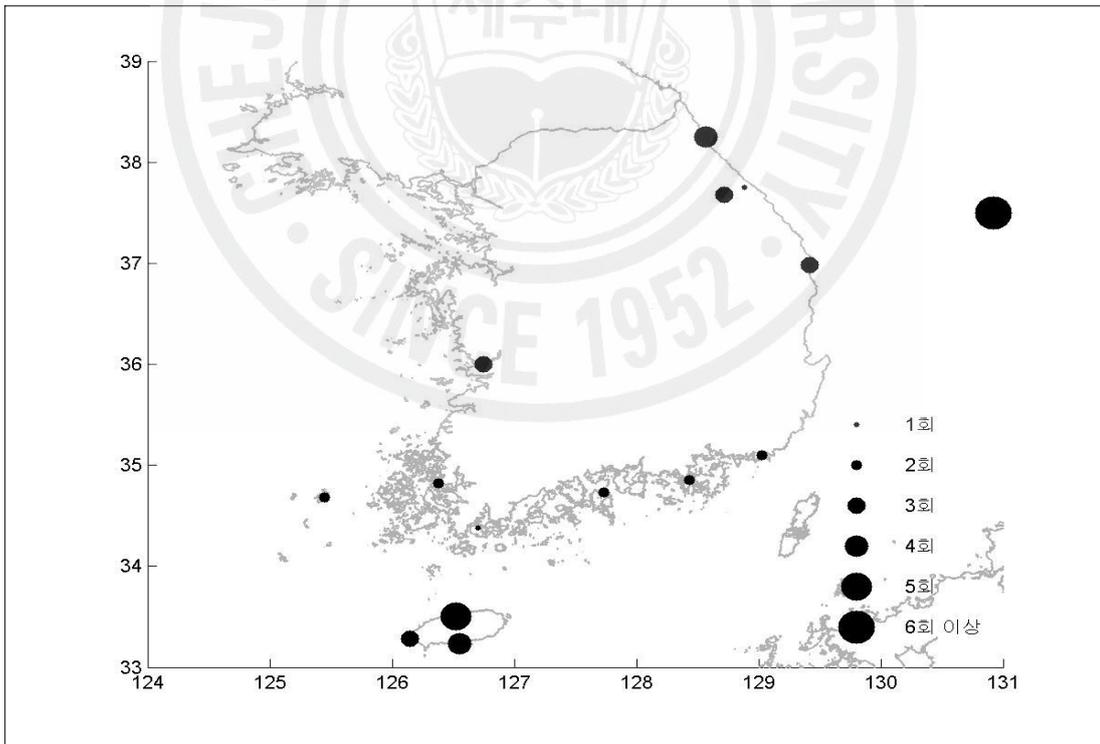


Fig. 11. The area observed extreme value of maximum instantaneous wind speed (1951~2006)

Table. 6. The area observed extreme value of daily precipitation (1951~2006)

Site	Latitude	Longitude	Time
Jeju	33.3	126.31	5
Gangneung	37.45	128.53	4
Namhae	34.49	127.56	3
Busan	35.06	129.02	3
Ganghwa	37.42	126.27	2
Geoje	34.53	128.36	2
Gwangju	35.1	126.53	2
Daegwallyeong	37.41	128.43	2
Mokpo	34.49	126.23	2
Samchok	37.22	129.13	2
Segwipo	33.14	126.33	2
Seoul	37.34	126.57	2
Suwon	37.16	126.59	2
Ulsan	35.33	129.19	2
Incheon	37.29	126.37	2
Jangheung	34.41	126.55	2
Beeun	36.29	127.44	1
Buyeo	36.16	126.55	1
Seongsan	33.23	126.52	1
Sokcho	38.15	128.34	1
Yangpyeong	37.29	127.3	1
Wando	34.23	126.42	1
Ulleungdo	37.3	130.55	1
Wonju	37.2	127.57	1
Jeonju	35.49	127.09	1
Jechen	37.09	128.11	1
Cheorwon	38.09	127.18	1
Chuncheon	37.54	127.44	1
Taebaek	37.1	128.59	1
Tongyeong	34.51	128.26	1
Pohang	36.02	129.23	1
Haenam	34.33	126.34	1

Table. 7. The area observed extreme value of maximum instantaneous wind speed (1951~2006)

Site	Latitude	Longitude	Time
Ulleungdo	37.3	130.55	19
Jeju	33.3	126.31	5
Segwipo	33.14	126.33	4
Sokcho	38.15	128.34	4
Gosan	33.17	126.09	3
Gunsan	36	126.45	3
Daegwallyeong	37.41	128.43	3
Uljin	36.59	129.25	3
Mokpo	34.49	126.23	2
Busan	35.06	129.02	2
Yeosu	34.44	127.44	2
Tongyeong	34.51	128.26	2
Heuksando	34.41	125.27	2
Gangneung	37.45	128.53	1
Wando	34.23	126.42	1

1) 지역별 일강수량 변화분석

지역별 일강수량 변화를 분석해 보기위해 우선 일강수량 극값이 많이 나타났던 지역 중 1951년부터 자료가 관측된 지점 7군데를 선별하였다. 선별된 지점 7군데는 각각 제주, 강릉, 부산, 광주, 목포, 울산, 인천이다.

아래의 그림은 7개의 지점별로 년별 강수량 극값 및 총 강수량 합계의 변화 경향을 시계열 및 5년 이동평균으로 나타낸 것이다.

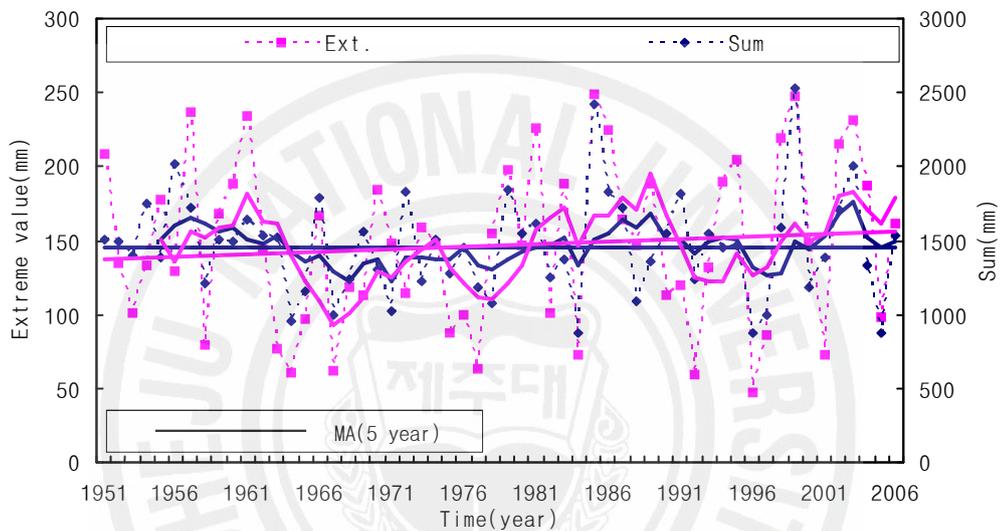


Fig. 12. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Jeju during 1951~2006 (Variation of extreme value : 20mm/56yr, Variation of sum : 0mm/56yr)

제주지역의 일강수량 극값 및 총강수량의 5년 이동평균을 살펴보면 주기성의 띠면서 변화하고 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 총강수량은 56년간 거의 증가하지 않았으나, 극값은 56년간 20mm 가량 증가하였다.

Fig. 13은 제주지역의 월별 강수량을 나타낸 그림이다. 월별 강수량 분포를 살펴보면 7,8,9월 달이 차지하는 비중이 많음을 알 수 있다.

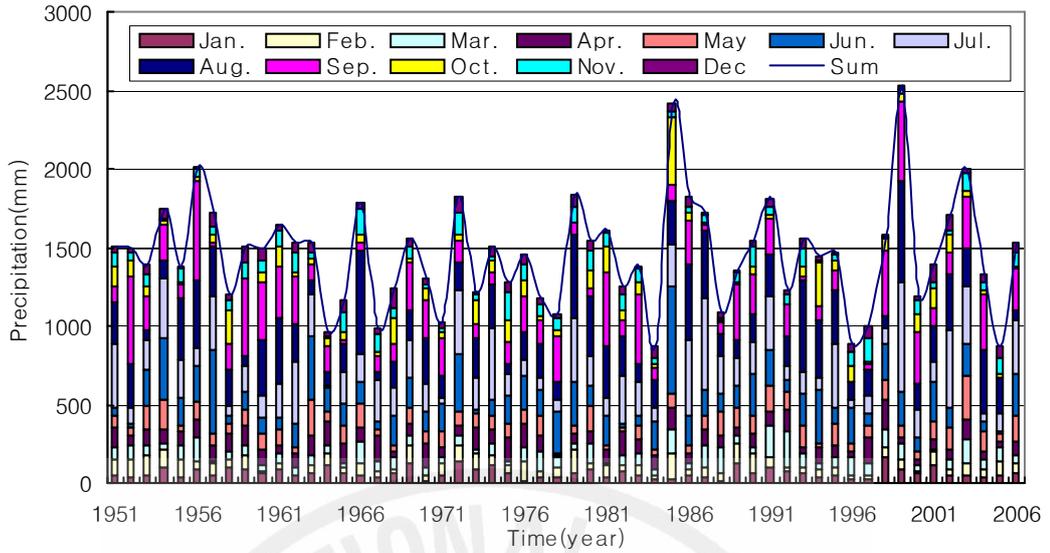


Fig. 13. Monthly precipitation in Jeju during 1951~2006

Fig. 14는 강릉지역의 일강수량 극값 및 총강수량의 변화를 나타낸 그래프이다. 강릉지역의 일강수량 극값 및 총강수량의 5년 이동평균도 주기적인 변화를 보이고 있으며 2000년 이후로 증가하는 경향을 보이고 있다. 강릉지역의 일강수량 극값은 56년간 80mm 증가하였으며, 총강수량도 56년간 200mm 증가하였다.

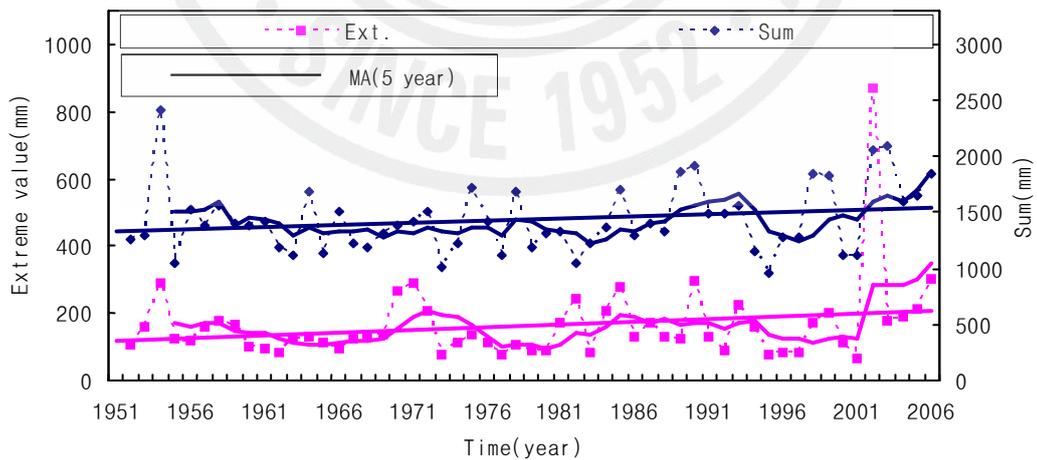


Fig. 14. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Gangneung during 1951~2006 (Variation of extreme value : 80mm/56yr, Variation of sum : 200mm/56yr)

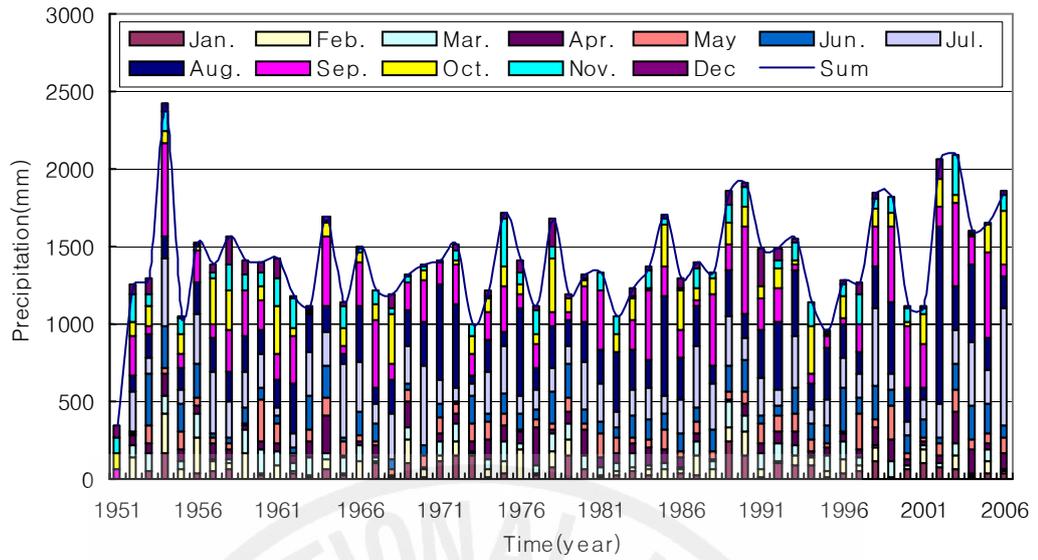


Fig. 15. Monthly precipitation in Gangneung during 1951~2006

Fig. 15는 강릉지역의 월별 강수량을 나타낸 그림이다. 8월 강수량이 차지하는 비율이 과거에 비해 점점 더 커지고 있음을 알 수 있다.

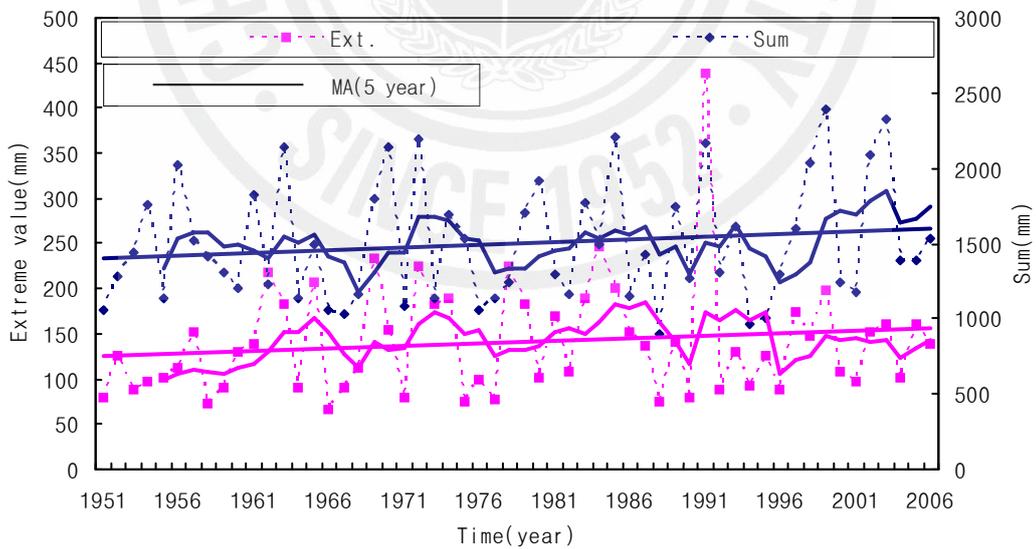


Fig. 16. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Busan during 1951~2006 (Variation of extreme value : 30mm/56yr, Variation of sum : 200mm/56yr)

Fig. 16은 부산지역의 일강수량 극값 및 총강수량의 56년간 변화를 나타낸 그림이다. 일강수량 극값은 30mm 증가하였으며, 총강수량은 200mm 증가하였다.

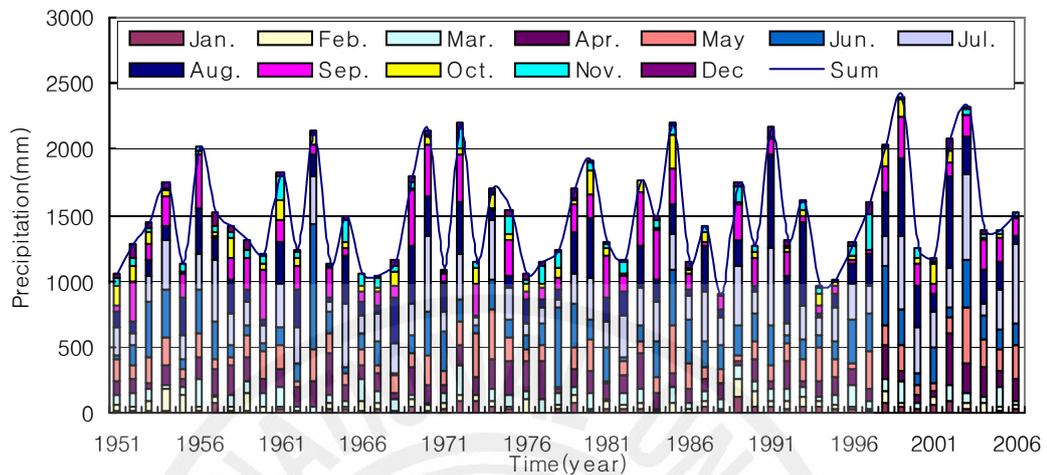


Fig. 17. Monthly precipitation in Busan during 1951 ~ 2006

부산지역의 월별강수량을 나타낸 그림을 보면 2000년대 이후 7, 8월이 차지하는 비율이 높아지고 있음을 알 수 있다.(Fig. 17.)

Fig. 18은 광주지역의 일강수량 극값 및 총강수량의 변화경향을 나타낸 것이다. 광주지역의 총강수량은 56년간 230mm 증가하였으며, 일강수량 극값도 50mm 증가하였다. 광주지역의 월별강수량 분포를 살펴보면 7,8,9월이 차지하는 비중이 큼을 알 수 있다.

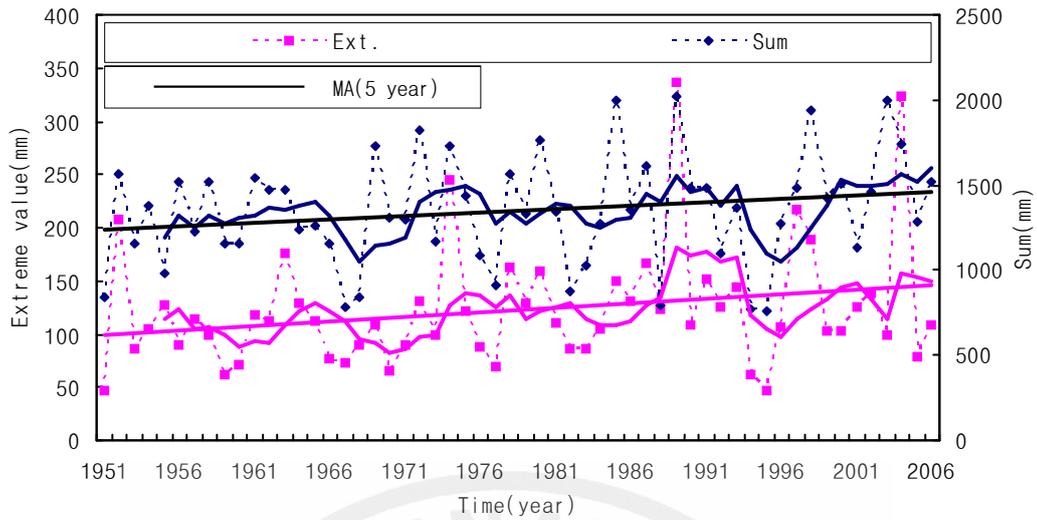


Fig. 18. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Gwangju during 1951~2006 (Variation of extreme value : 50mm/56yr, Variation of sum : 230mm/56yr)

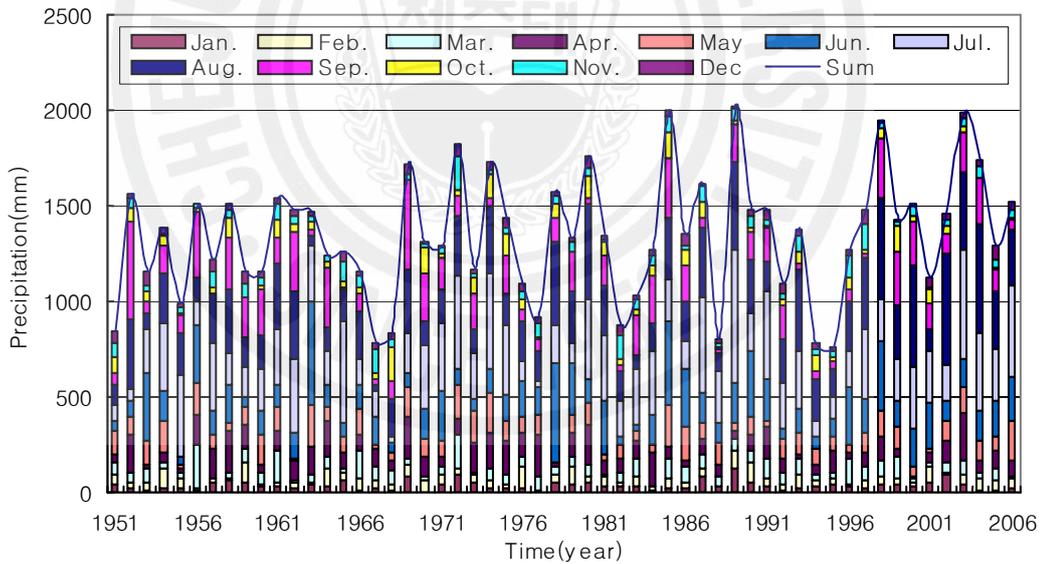


Fig. 19. Monthly precipitation in Gwangju during 1951~2006

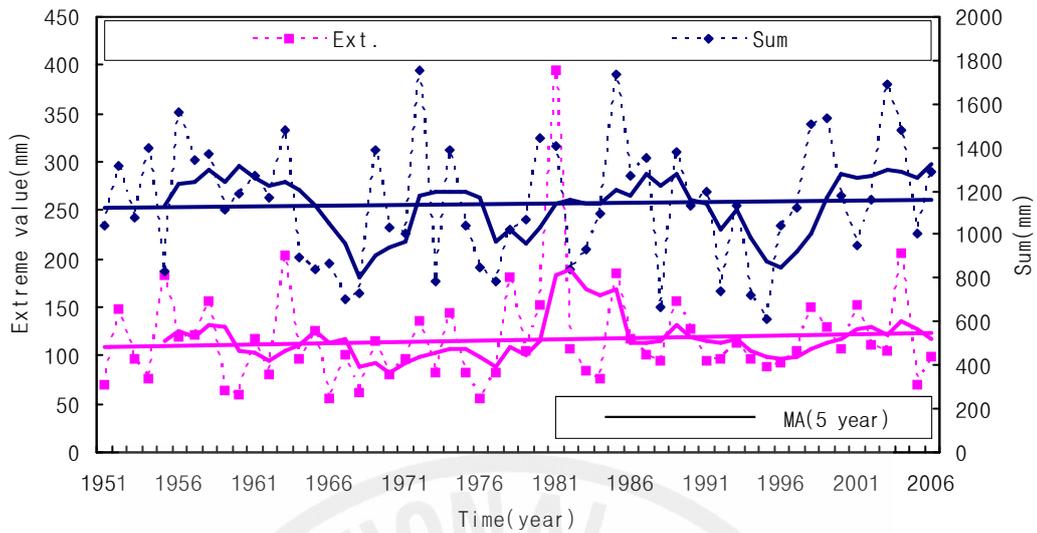


Fig. 20. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Mokpo during 1951~2006 (Variation of extreme value : 10mm/56yr, Variation of sum : 30mm/56yr)

목포의 일강수량 극값은 주기적인 변화는 심하나 그 증가량은 10mm 정도였으며, 총강수량도 30mm 정도의 증가값을 보였다. 월별강수량 분포도 7,8월 강수량이 차지하는 비율이 큰 것을 알 수 있다.

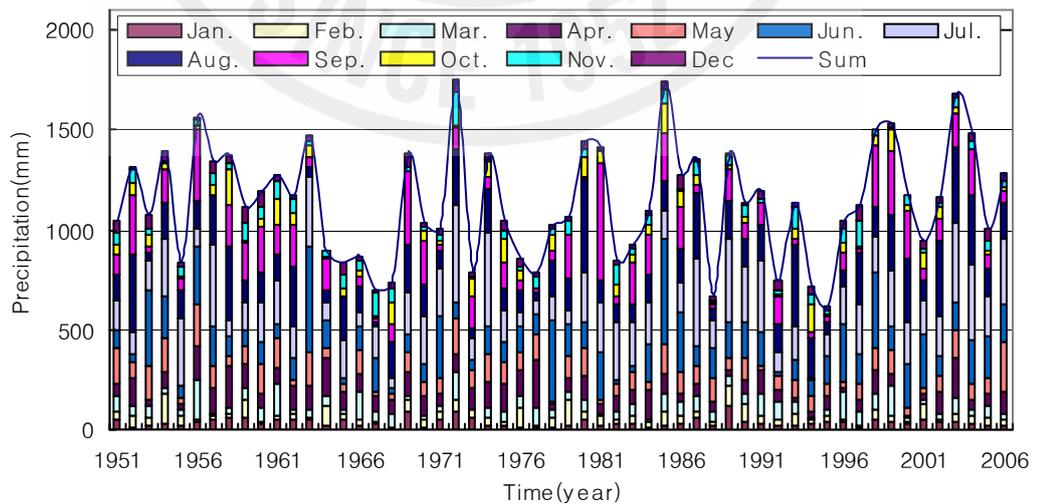


Fig. 21. Monthly precipitation in Mokpo during 1951~2006

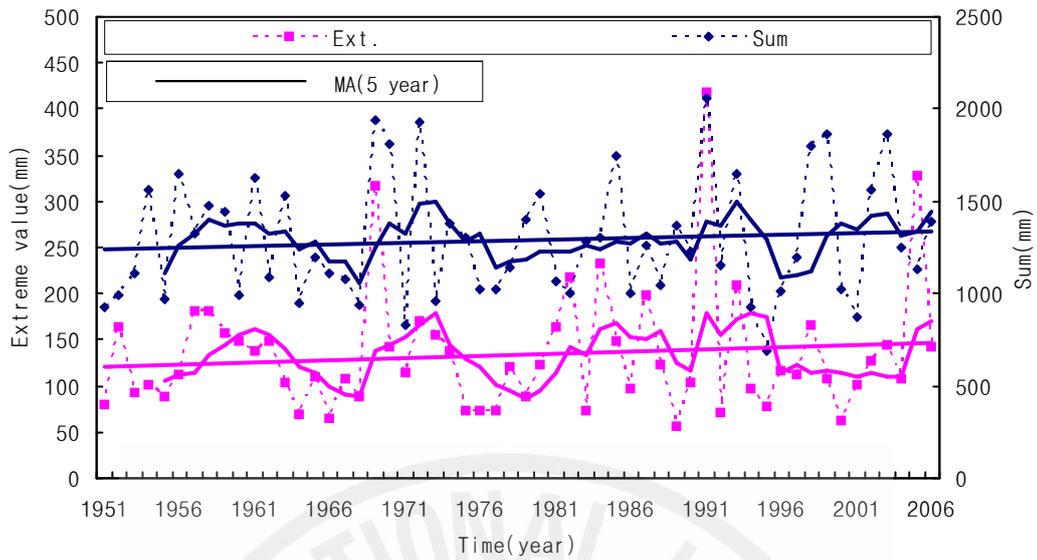


Fig. 22. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Ulsan during 1951~2006 (Variation of extreme value : 30mm/56yr, Variation of sum : 100mm/56yr)

목포의 일강수량 극값은 56년간 30mm의 증가량을 보였으며, 총강수량도 100mm 증가하였다.(Fig. 22.). 목포의 월별강수량 분포는 8월이 차지하는 비율이 가장 크게 나타났다.

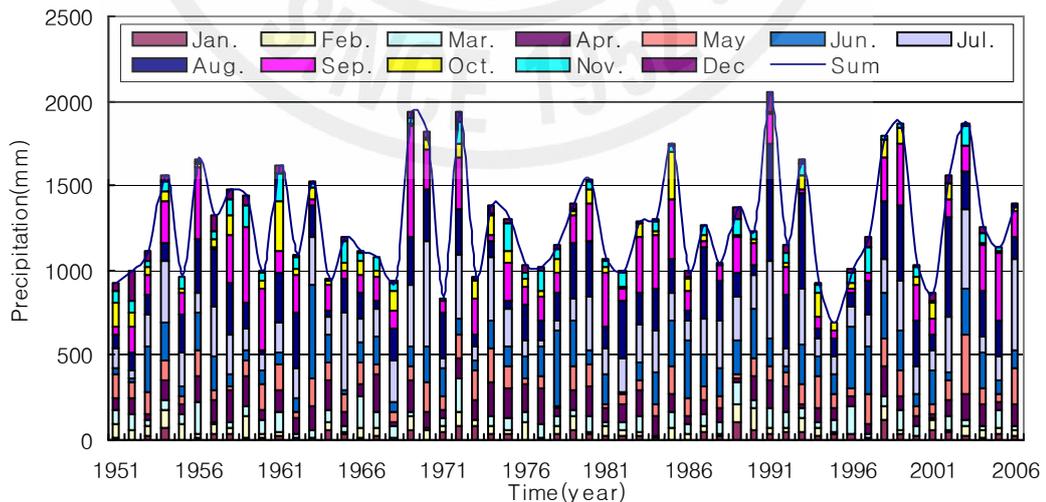


Fig. 23. Monthly precipitation in Ulsan during 1951~2006

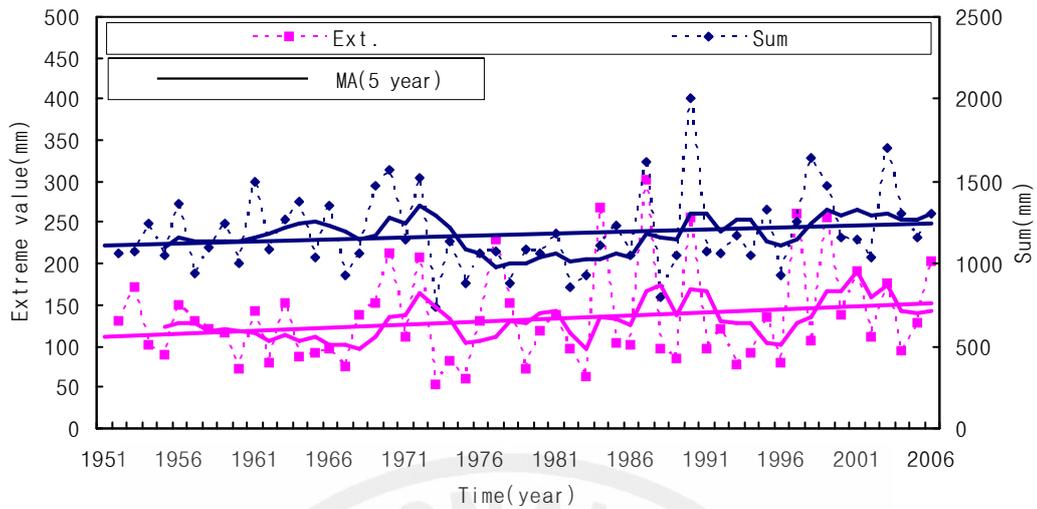


Fig. 24. The annual extreme value and sum of daily precipitation observed in Inchoen during 1951~2006 (Variation of extreme value : 40mm/56yr, Variation of sum : 110mm/56yr)

인천의 일강수량 극값의 변화경향 역시 40mm 증가하였으며, 총강수량도 110mm 증가하였다(Fig. 24.). 월별강수량 분포에서 8월이 차지하는 비중이 가장 크게 나타났다.

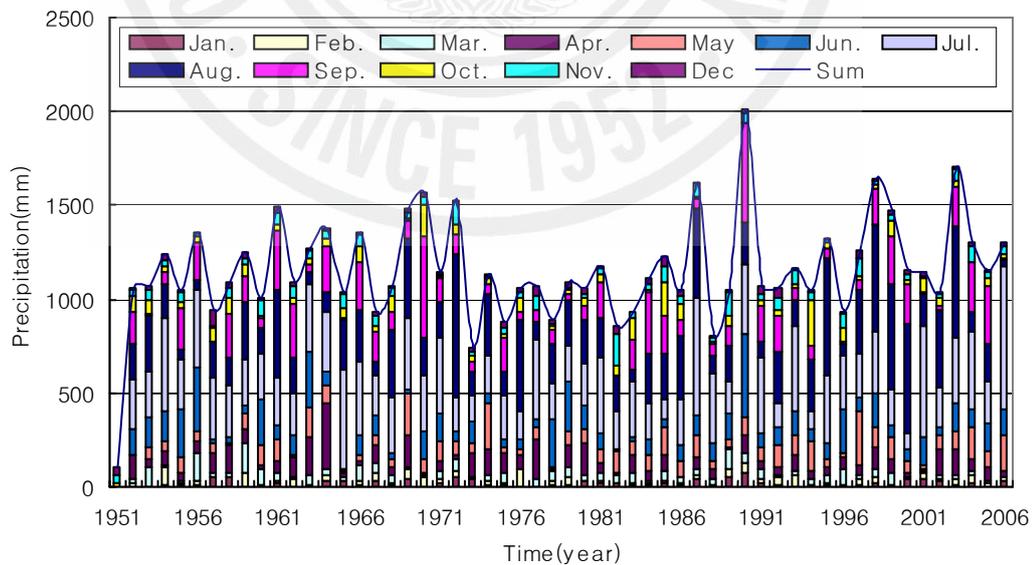


Fig. 25. Monthly precipitation in Inchoen during 1951~2006

지역별 일강수량 극값 변화 경향을 살펴보면 주기적으로 변화하고 있으며 전체적으로 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다. 가장 많은 증가를 기록한 지역은 80mm를 기록한 강릉 이었으며, 이 증가값은 2002년 태풍 “루사”로 인해 기록한 870.5mm가 큰 영향을 준 것으로 보인다. 그 외에 큰 증가를 보인 지역은 광주가 50mm였으며 그 외의 지역에서도 10~40mm의 증가값을 보였다. 총강수량도 제주를 제외한 대부분의 지역에서 증가하였으며, 광주가 230mm로 가장 큰 증가값을 보였다. 그 외 강릉과 부산이 200mm, 인천이 110mm, 울산이 100mm, 목포가 30mm로 대부분의 지역에서 증가하는 경향을 보였다.

아래의 그림은 1951년부터 관측 자료가 있는 7개 지점(제주, 강릉, 부산, 광주, 목포, 울산, 인천)부터의 56년간 일강수량 극값자료의 변화경향과 1971년부터 관측 자료가 있는 15개 지점(속초, 춘천, 수원, 서산, 울진, 청주, 대전, 포항, 군산, 대구, 전주, 부산, 통영, 여수, 진주)의 36년간 일강수량 극값자료 변화경향을 나타낸 그림이다. 우리나라 전체 지점을 고려한 경우보다는 그 증가경향이 약하지만 7개 지점 자료는 120mm, 15개 지점 자료는 약 100mm정도 증가하였다..

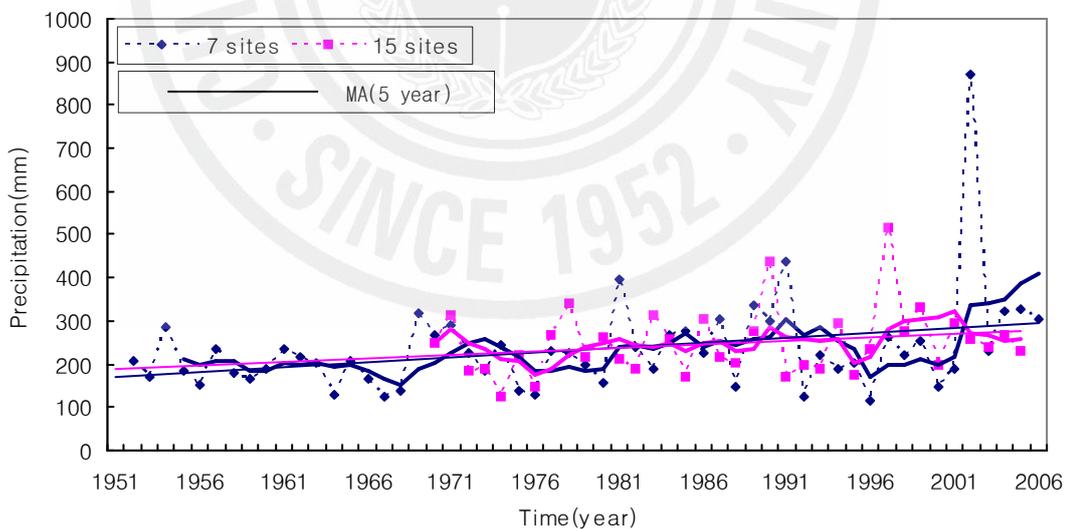


Fig. 26. The annual extreme value of daily precipitation observed 7 sites during 1951-2006(Variation : 120mm/56yr) and 15 sites during 1971-2006(Variation : 100mm/36yr)

단순히 강수량의 증가 경향만으로는 한반도 호우의 증가 경향을 설명할 수 없다. 따라서 여기에서는 앞의 월강수량 분포자료에서 호우가 집중해서 나타난 7,8,9월 달의 강우 강도를 분석해봄으로써 우리나라에 발생하는 호우의 변화경향을 살펴보기로 한다.

7,8,9월의 일 강수 강도 추세를 분석하기 위해서 우선 3달 동안의 일강수량이 0.1mm 이상 기록한 날의 횟수를 세어 총 강수일수를 구하였으며, 강수일의 강수 총량을 구하였다. 강우 강도 추세를 분석에는 Karl and Kinght(1998)이 사용한 특정한 계급 구간에 대한 빈도와 기여도 계산방법을 이용하였으며, 강수의 계급은 Osborn et al(2000)이 사용한 방법을 참고하여 총 7개 지점의 56년간의 여름철에 대해 모든 강수일의 강수량을 올림차순으로 정렬하고, 작은 순으로 더하여 전체 강수량의 10%가 되는 구간마다 각 계급으로 정하였다.(최영진, 2001). 이 방법은 모든 강수 계급이 전체 강수 변동 추세에 기여하는 정도가 각각 동등한 기회를 가지는데, 이는 다시 말하면 최상위 계급이 전체 강수일수에서 차지하는 비율이 미미하더라도 총량으로 분석하기 때문에 그 변화 경향이 충분히 고려된다는 것이다.

다음은 각 지역의 계급별 개수와 비율을 나타낸 것이며, 각 지점의 Class 1과 Class10의 비율 변화를 년도 별로 나타내 보았다.

Table. 8. Classes of precipitation of Jeju (1951~2006)

Class	Amount quantile	lower cutoff	wet days in each class	
			Number	%
1	0-10	0.1	1245	62%
2	10-20	11.5	241	12%
3	20-30	20.8	150	7%
4	30-40	31.5	106	5%
5	40-50	41.3	80	4%
6	50-60	53.8	61	3%
7	60-70	72.6	44	2%
8	70-80	98.5	35	2%
9	80-90	126	26	1%
10	90-100	166.3	19	1%

Table. 9. Classes of precipitation of Gangneung (1951~2006)

Class	Amount quantile	lower cutoff	wet days in each class	
			Number	%
1	0-10	0.1	1447	62%
2	10-20	10.2	283	12%
3	20-30	18.8	174	8%
4	30-40	27.8	120	5%
5	40-50	38.3	90	4%
6	50-60	50.1	71	3%
7	60-70	64	53	2%
8	70-80	87.9	38	2%
9	80-90	118.7	28	1%
10	90-100	190.4	14	1%

Table. 10. Classes of precipitation of Busan (1951~2006)

Class	Amount quantile	lower cutoff	wet days in each class	
			Number	%
1	0-10	0.1	1180	60%
2	10-20	12	236	12%
3	20-30	20.5	150	8%
4	30-40	31.1	104	5%
5	40-50	41.7	81	4%
6	50-60	51	65	3%
7	60-70	65	53	3%
8	70-80	77.8	42	2%
9	80-90	104.5	31	2%
10	90-100	139.5	20	1%

Table. 11. Classes of precipitation of Gwangju (1951~2006)

Class	Amount quantile	lower cutoff	wet days in each class	
			Number	%
1	0-10	0.1	1317	60%
2	10-20	10.8	260	12%
3	20-30	19.7	160	7%
4	30-40	28.8	115	5%
5	40-50	38.5	92	4%
6	50-60	46.4	74	3%
7	60-70	57.4	62	3%
8	70-80	68.8	50	2%
9	80-90	90.1	38	2%
10	90-100	115.5	24	1%

Table. 12. Classes of precipitation of Mokpo (1951~2006)

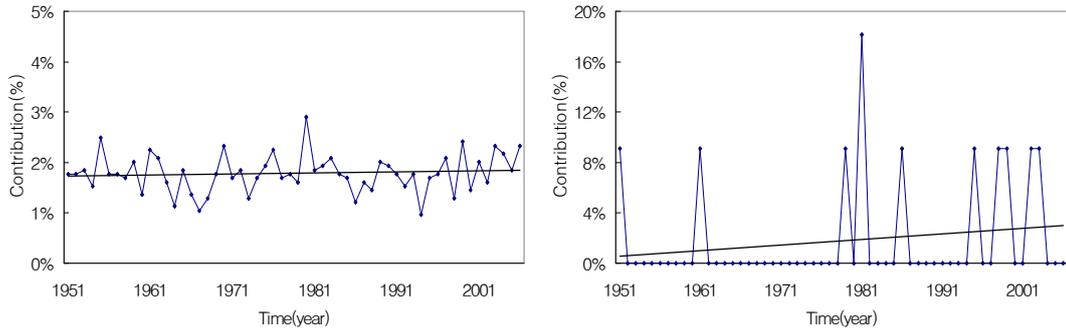
Class	Amount quantile	lower cutoff	wet days in each class	
			Number	%
1	0-10	0.1	1165	62%
2	10-20	9.8	214	11%
3	20-30	18.5	134	7%
4	30-40	25.6	99	5%
5	40-50	33.9	79	4%
6	50-60	42.2	62	3%
7	60-70	53	50	3%
8	70-80	65.5	40	2%
9	80-90	85.1	29	2%
10	90-100	115.7	19	1%

Table. 13. Classes of precipitation of Ulsan (1951~2006)

Class	Amount quantile	lower cutoff	wet days in each class	
			Number	%
1	0-10	0.1	1160	60%
2	10-20	11	237	12%
3	20-30	19.1	150	8%
4	30-40	27.6	109	6%
5	40-50	36.5	82	4%
6	50-60	46.7	66	3%
7	60-70	59.2	52	3%
8	70-80	74.6	39	2%
9	80-90	101.9	28	1%
10	90-100	148.6	17	1%

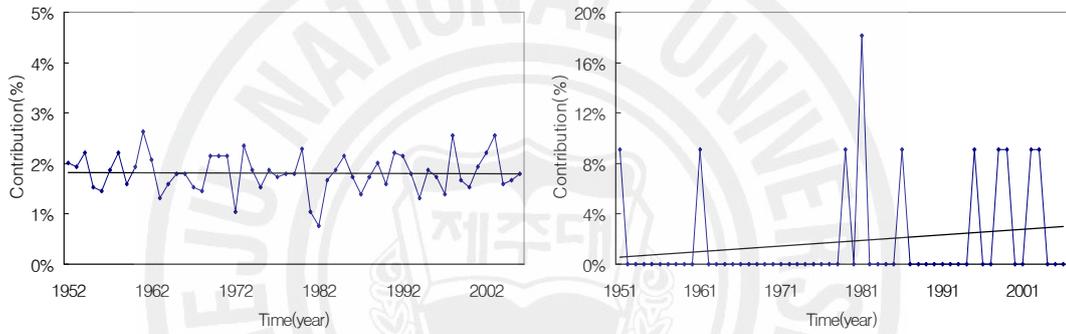
Table. 14. Classes of precipitation of Incheon (1951~2006)

Class	Amount quantile	lower cutoff	wet days in each class	
			Number	%
1	0-10	0.1	1148	59%
2	10-20	11.8	246	13%
3	20-30	20	151	8%
4	30-40	30.8	110	6%
5	40-50	40.3	86	4%
6	50-60	49.8	69	4%
7	60-70	64	52	3%
8	70-80	82.6	42	2%
9	80-90	103.5	32	2%
10	90-100	137.1	20	1%



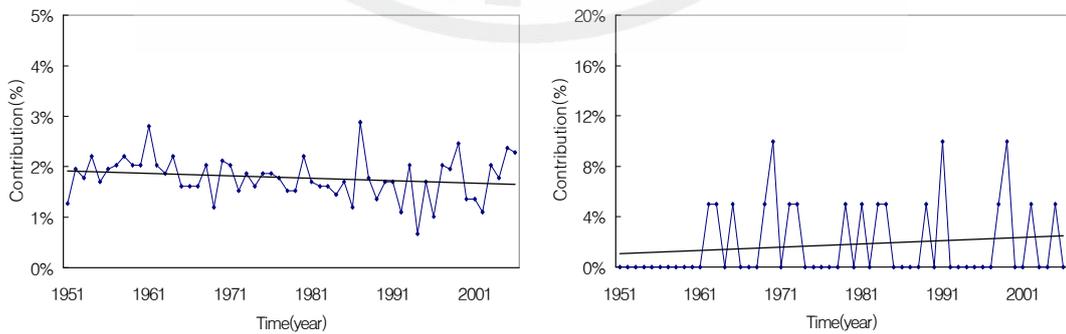
(a) Class 1 (Variation : 0%/56yr) (b) Class 10 (Variation : 3%/56yr)

Fig. 27. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Jeju(1951~2006)



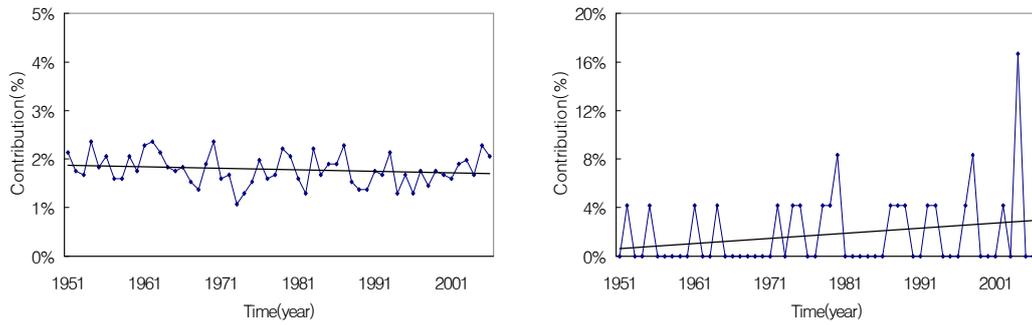
(a) Class 1 (Variation : -0.3%/56yr) (b) Class 10 (Variation : 2%/56yr)

Fig. 28. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Gangneung (1951~2006)



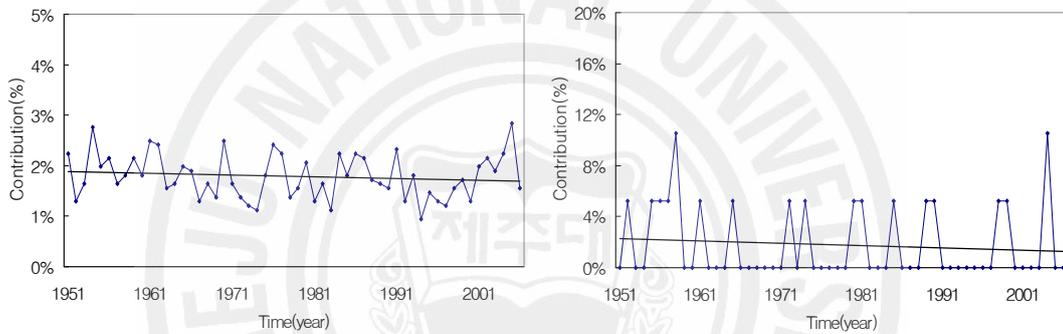
(a) Class 1 (Variation : -0.2%/56yr) (b) Class 10 (Variation : 3%/56yr)

Fig. 29. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Busan (1951~2006)



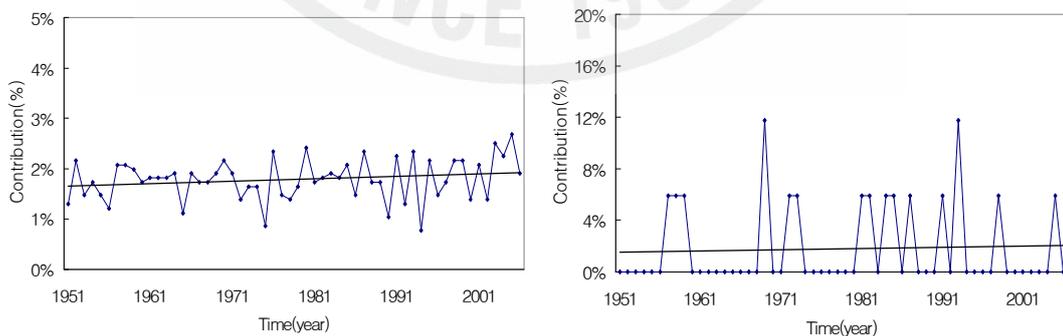
(a) Class 1 (Variation : $-0.2\%/56\text{yr}$) (b) Class 10 (Variation : $2\%/56\text{yr}$)

Fig. 30. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Gwangju (1951~2006)



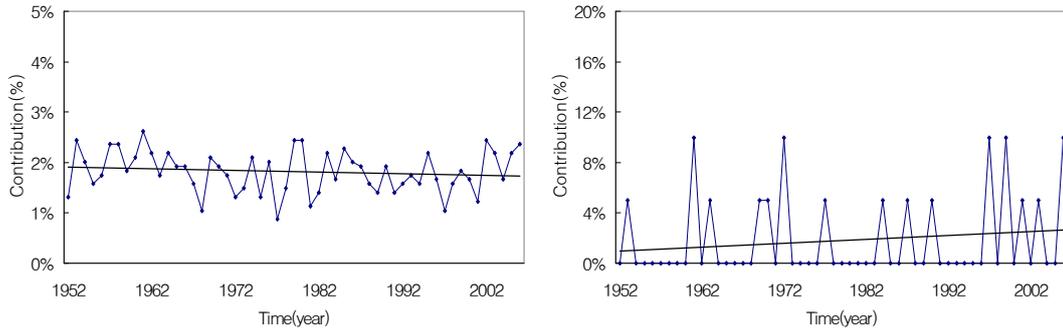
(a) Class 1 (Variation : $-0.2\%/56\text{yr}$) (b) Class 10 (Variation : $-1\%/56\text{yr}$)

Fig. 31. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Mokpo (1951~2006)



(a) Class 1 (Variation : $0.2\%/56\text{yr}$) (b) Class 10 (Variation : $0.5\%/56\text{yr}$)

Fig. 32. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Ulsan (1951~2006)



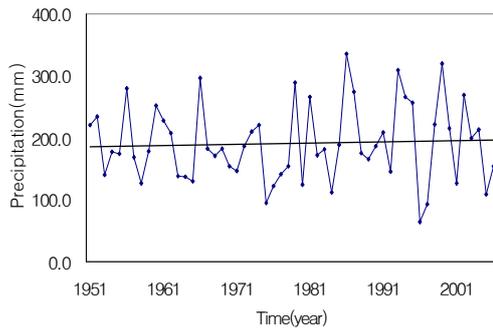
(a) Class 1 (Variation : $-0.2\%/56\text{yr}$) (b) Class 10 (Variation : $1.5\%/56\text{yr}$)

Fig. 33. The change of Class 1(a) and Class 10(b) at Incheon (1951~2006)

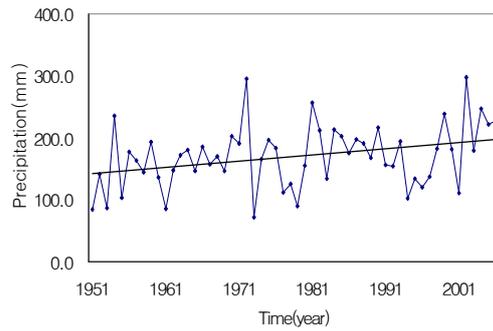
거의 대부분의 지점에서 Class 1의 비율이 점차 떨어지고 있는 것에 비해 Class 10의 비율은 점점 증가하고 있다. 즉 약한 비가 전체에서 차지하는 비율은 줄고, 강한 비가 차지하는 비율은 점점 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

다음은 7개의 관측지점에 대해 7,8,9월의 전체 강수량을 강수일수로 나누어, 56년간의 강우 강도 변화 추세를 살펴보았다. 아래의 변화 경향을 보면 대부분의 지역에서 10~60mm 정도의 강우 강도가 증가 하고 있음을 알 수 있다.

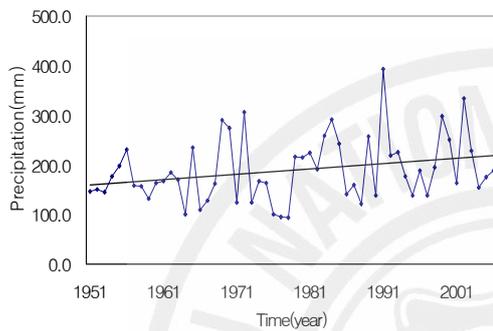
이상의 사실들로 볼 때 한반도의 강수 경향은 그 강도가 점점 강해지고 있음을 알 수 있다.



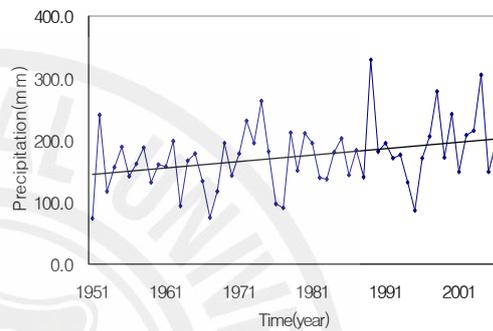
(a) Jeju (Variation : 10mm/56yr)



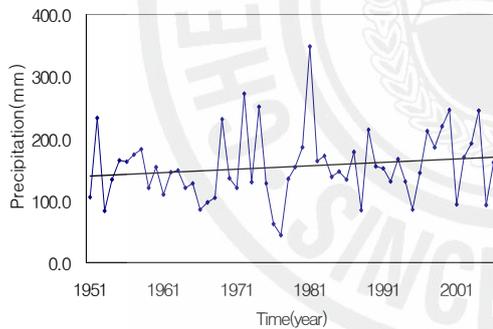
(b) Gangneung (Variation : 60mm/56yr)



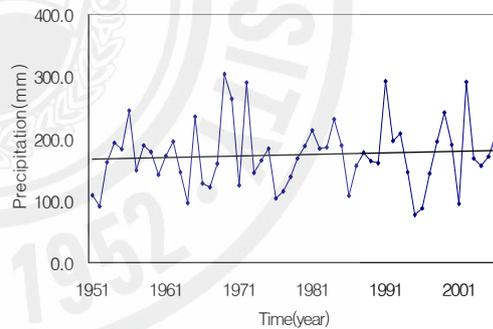
(c) Busan (Variation : 60mm/56yr)



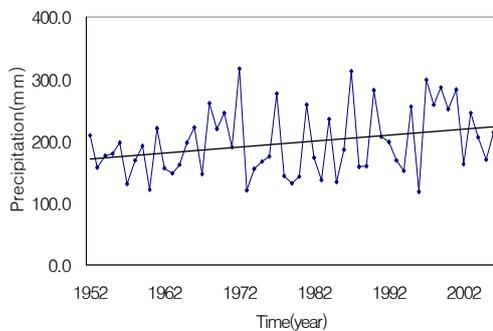
(d) Gwangju (Variation : 60mm/56yr)



(e) Mokpo (Variation : 30mm/56yr)



(f) Ulsan (Variation : 15mm/56yr)



(g) Incheon (Variation : 50mm/56yr)

Fig. 34. The change of precipitation intensity in 7 sites (1951~2006)

2) 지역별 최대순간풍속 및 최대풍속 변화분석

아래의 자료는 지역별로 최대순간풍속이 가장 많은 극값을 기록한 지역 중 비교적 자료가 장기간 관측된 지점 7군데를 선별하여 그 변화 경향을 시계열로 나타낸 것이다. 최대순간풍속의 변화과정을 나타낸 지점 7군데는 각각 울릉도, 제주, 서귀포, 목포, 부산, 여수, 강릉이다.

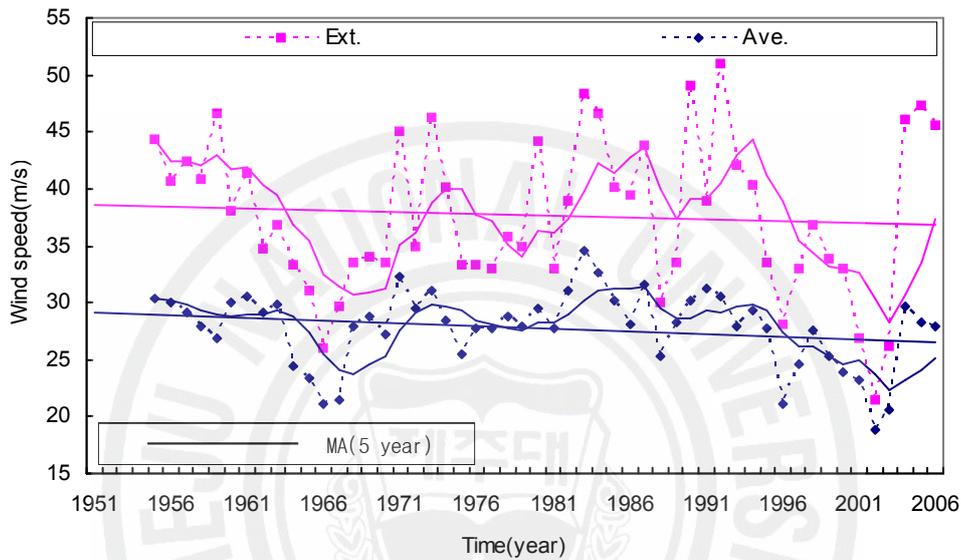


Fig. 35. The annual extreme value (Variation : $-2\text{m/s}/52\text{yr}$) and average value (Variation : $-2\text{m/s}/52\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Ulleungdo during 1955~2006.

위의 그림은 최대순간풍속 극값이 가장 많이 나타난 울릉도 지역의 최대순간 풍속 극값과 최대순간풍속 평균값의 변화경향을 나타낸 것이다. 최대순간 풍속 극값은 52년간 -2m/s 감소하였으며, 평균값 역시 -2m/s 감소하였다.

제주 지역의 최대순간풍속 극값도 울릉도 지역과 마찬가지로 56년간 -1m/s 감소하였으며, 평균값은 -2.5m/s 로 극값보다 더 크게 감소하였다(Fig. 36)

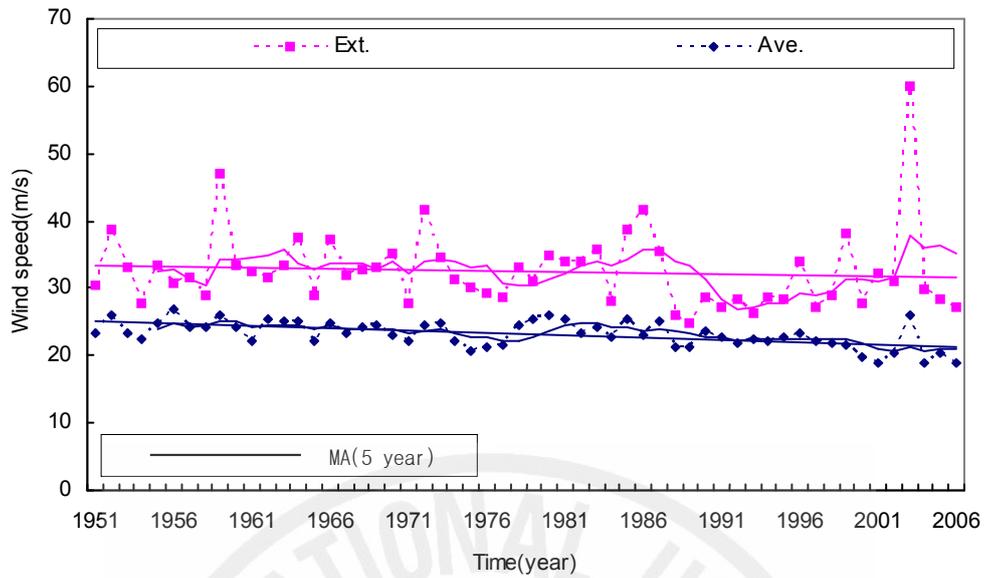


Fig. 36. The annual extreme value (Variation : $-1\text{m/s}/56\text{yr}$) and average value (Variation : $-2.5\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Jeju during 1951~2006

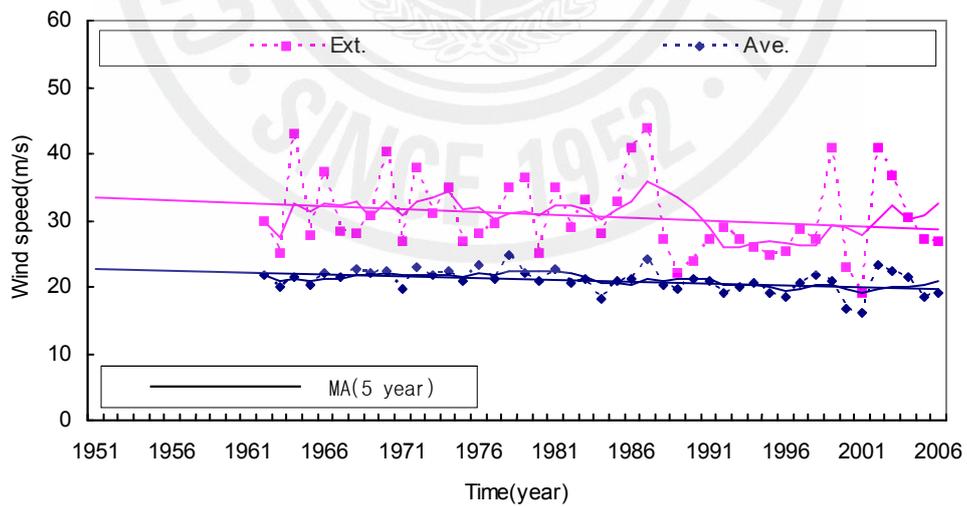


Fig. 37. The annual extreme value (Variation : $-4\text{m/s}/46\text{yr}$) and average value (Variation : $-2\text{m/s}/46\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Seogwipo during 1961~2006

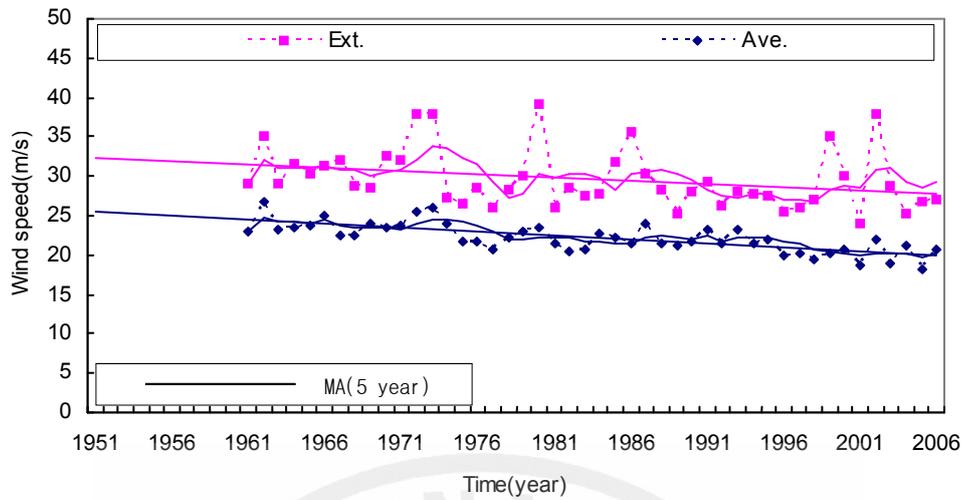


Fig. 38. The annual extreme value (Variation : $-4\text{m/s}/47\text{yr}$) and average value (Variation : $-5\text{m/s}/47\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Mokpo during 1960~2006

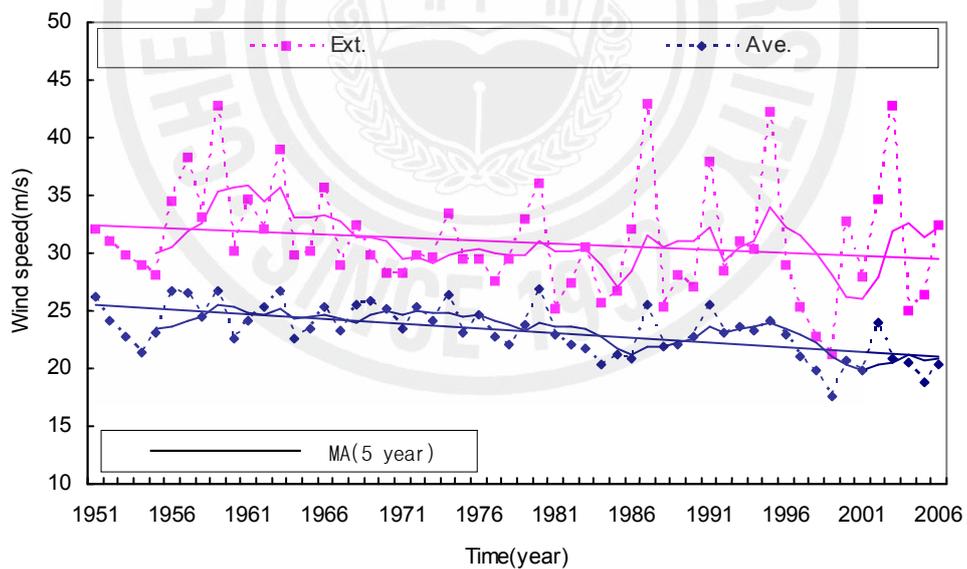


Fig. 39. The annual extreme value (Variation : $-3\text{m/s}/56\text{yr}$) and average value (Variation : $-5\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum instantaneous wind speed observed in Busan during 1951~2006

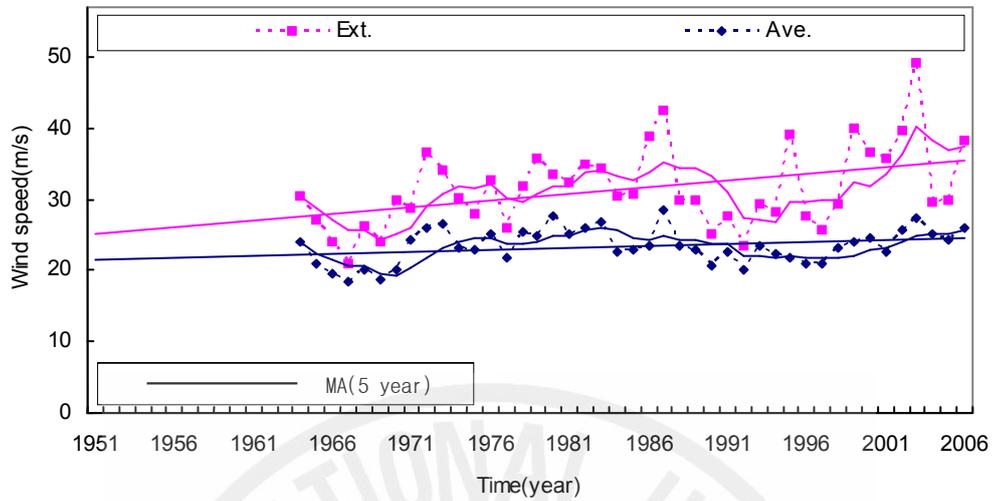


Fig. 40. The annual extreme value(Variation : 8m/s/43yr) and average value (Variation : 2m/s/43yr) of maximum instantaneous wind speed observed in Yeosu during 1964~2006

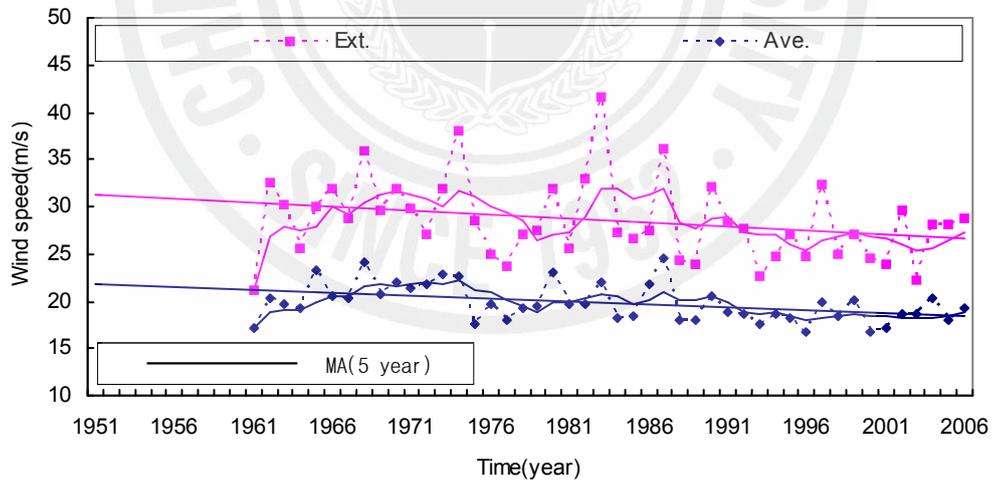


Fig. 41. The annual extreme value(Variation : -4m/s/46yr) and average value (Variation : -3m/s/46yr) of maximum instantaneous wind speed observed in Gangneung during 1961~2006

7개 지점의 최대순간풍속의 극값 및 평균값의 변화 경향을 살펴본 결과 여수를 제외하고는 전 지역에서 감소하는 경향을 보였다. 여수는 극값은 43년간 8m/s 증가하였으며, 평균값은 2m/s 증가하였다. 극값이 가장 많이 감소한 지역은 서귀포와 목포, 강릉에서 4m/s 감소하였으며, 평균값은 목포와 부산에서 5m/s로 가장 크게 감소하였다.

지역별 최대순간풍속의 극값과 평균값의 감소경향은 도시화로 인한 지형 변화에 기인한 것으로 보이는데 아래에 7개 지점(울릉도, 제주, 서귀포, 목포, 부산, 여수, 강릉)의 56년간 최대순간풍속 극값과 15개 지점(속초, 춘천, 인천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 울산, 광주, 통영)의 36년간 최대순간풍속 극값을 나타내보았다. 7개 지점의 최대순간풍속 극값은 증가하는 경향을 보였으나, 15개 지점의 최대순간풍속 극값은 -2m/s 감소하였다.

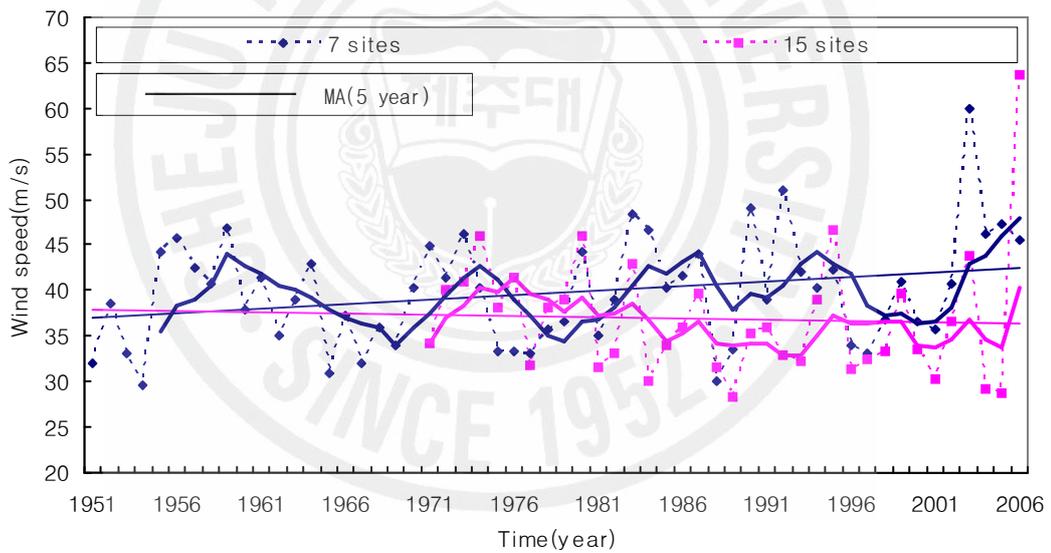


Fig. 42. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed 7 sites during 1951~2006(Variation : 6m/s/56yr) and 15 sites during 1971~2006(Variation : -2m/s/56yr)

좀더 자세한 풍속 변화 경향을 알아보기 위해 7개 지점의 최대풍속 극값 및 평균값의 변화경향과 5년 이동평균을 나타내보았다.

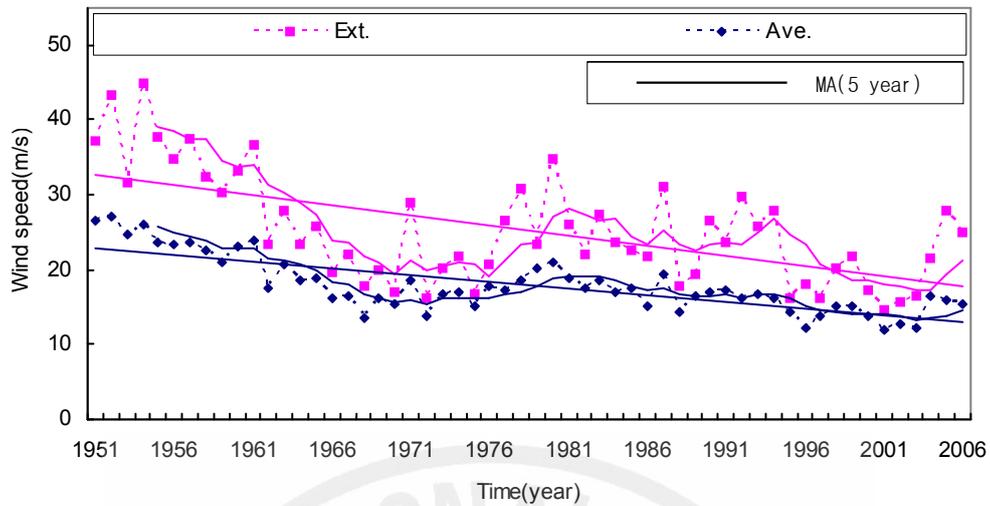


Fig. 43. The annual extreme value(Variation : $-15\text{m/s}/56\text{yr}$) and average value (Variation : $-10\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Ulleungdo during 1951~2006

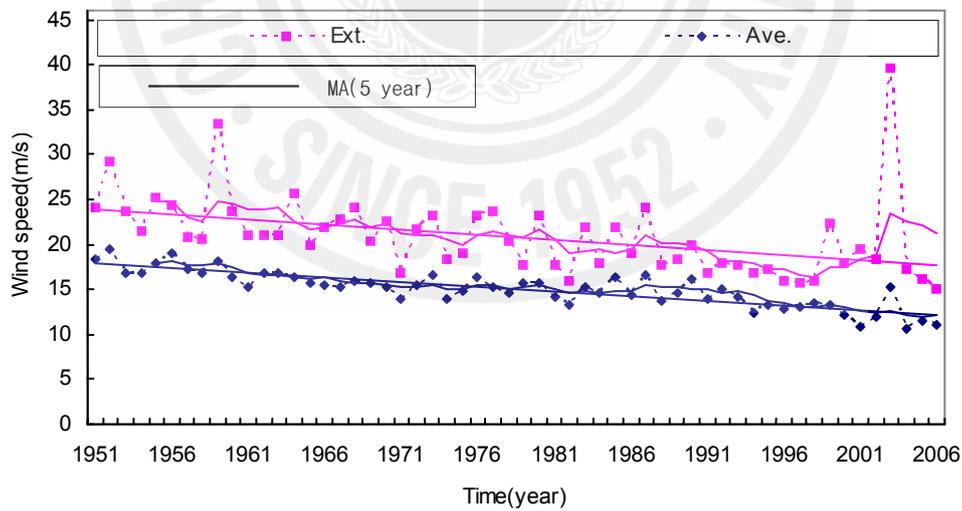


Fig. 44. The annual extreme value(Variation : $-6\text{m/s}/56\text{yr}$) and average value (Variation : $-6\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Jeju during 1951~2006

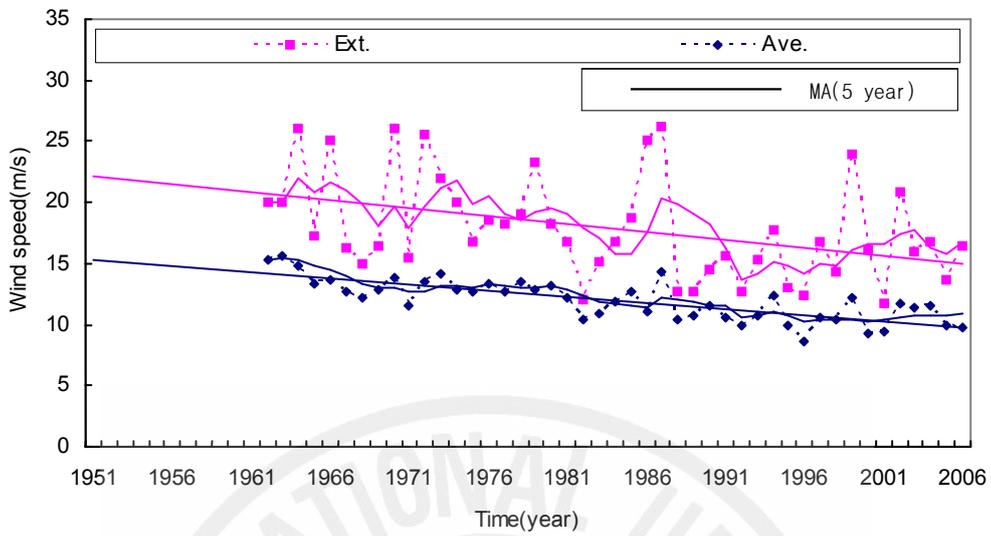


Fig. 45. The annual extreme value(Variation : $-7\text{m/s}/46\text{yr}$) and average value(Variation : $-7\text{m/s}/46\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Seogwipo during 1961~2006

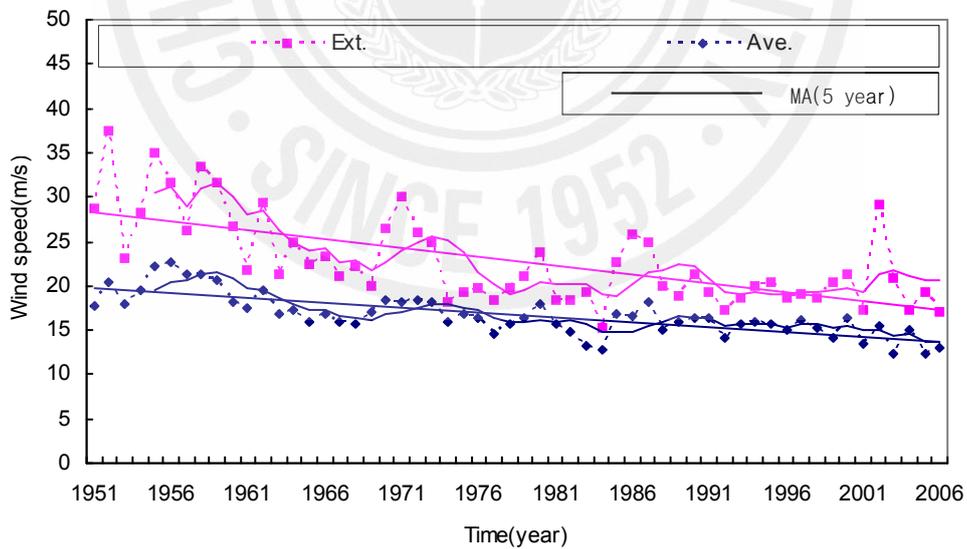


Fig. 46. The annual extreme value(Variation : $-11\text{m/s}/56\text{yr}$) and average value(Variation : $-6\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Mokpo during 1951~2006

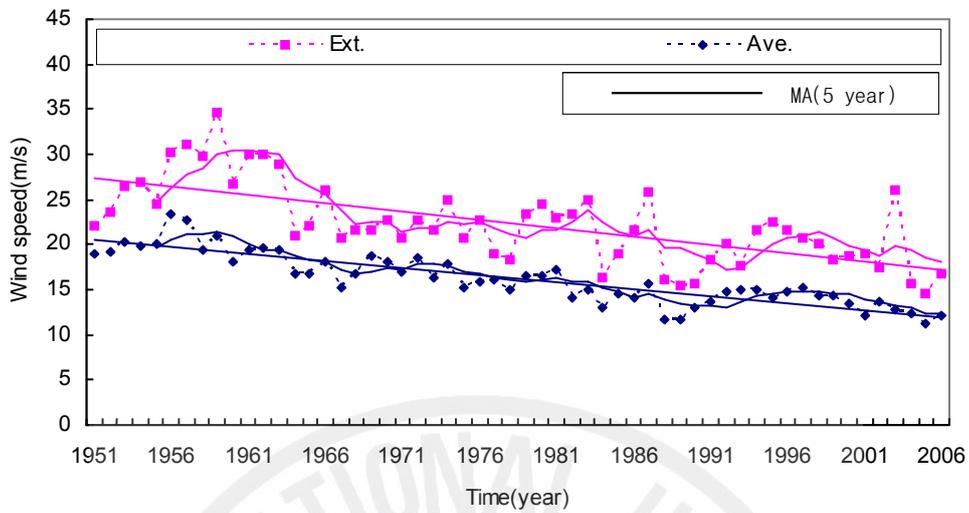


Fig. 47. The annual extreme value (Variation : $-10\text{m/s}/56\text{yr}$) and average value (Variation : $-10\text{m/s}/56\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Busan during 1951~2006

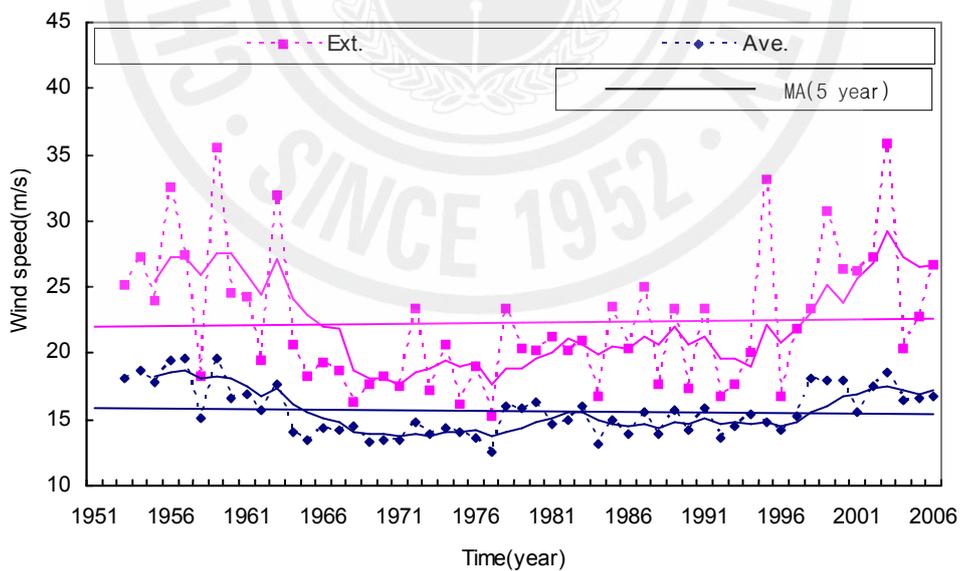


Fig. 48. The annual extreme value (Variation : $1\text{m/s}/54\text{yr}$) and average value (Variation : $-0.5\text{m/s}/54\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Yeosu during 1953~2006

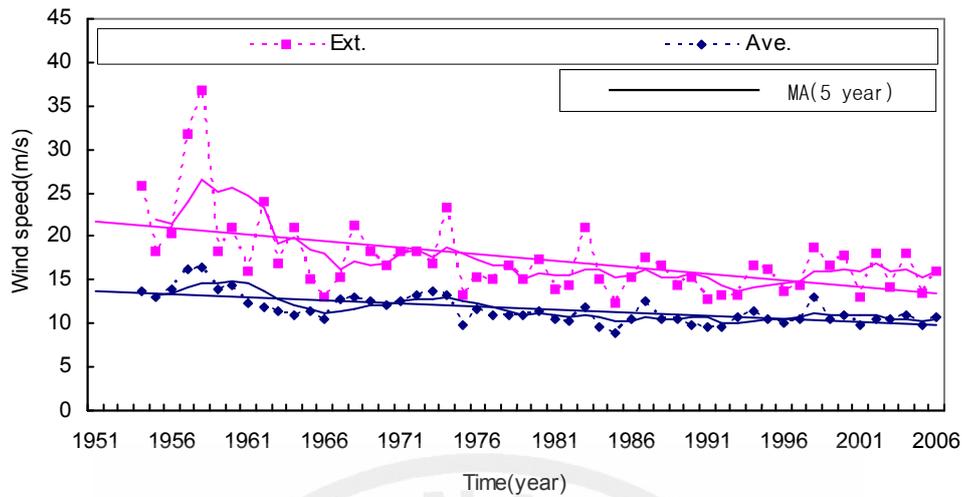


Fig. 49. The annual extreme value (Variation : $-7\text{m/s}/54\text{yr}$) and average value (Variation : $-4\text{m/s}/54\text{yr}$) of maximum wind speed observed in Gangneung during 1953~2006

최대풍속 극값의 지역별 변화경향도 최대순간풍속 극값처럼 여수를 제외하고는 감소하는 추세를 보였다. 지역별로 살펴보면 울릉도의 최대풍속 극값은 56년간 15m/s 의 큰 값으로 감소하였으며, 목포의 최대풍속 극값 역시 11m/s 감소하였고, 그 외 부산과 서귀포, 강릉, 제주에서 $6\sim 10\text{m/s}$ 로 감소하였다. 최대풍속의 평균값도 울릉도와 부산에서 10m/s 감소하였으며, 강릉과 제주, 서귀포, 목포에서 $4\sim 7\text{m/s}$ 로 감소하였다. 여수는 최대풍속 극값은 1m/s 증가하였으나, 평균값은 0.5m/s 감소하였다.

56년간 7개 지점(울릉도, 제주, 서귀포, 목포, 부산, 여수, 강릉)의 최대풍속 극값과 15개 지점(속초, 춘천, 인천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 울산, 광주, 통영)의 36년간 최대풍속 극값을 나타내보면 각각 10m/s 와 6m/s 로 감소하고 있다(Fig. 50).

지역별로 최대순간풍속과 최대풍속의 극값 및 평균값 자료를 살펴본 결과 일강수량 극값 변화경향과는 달리 그 값이 감소하는 경향을 나타냄을 알 수 있는데 이는 앞서 말했던 것처럼 도시화로 인한 지형변화에 기인하는 것으로 보인다.

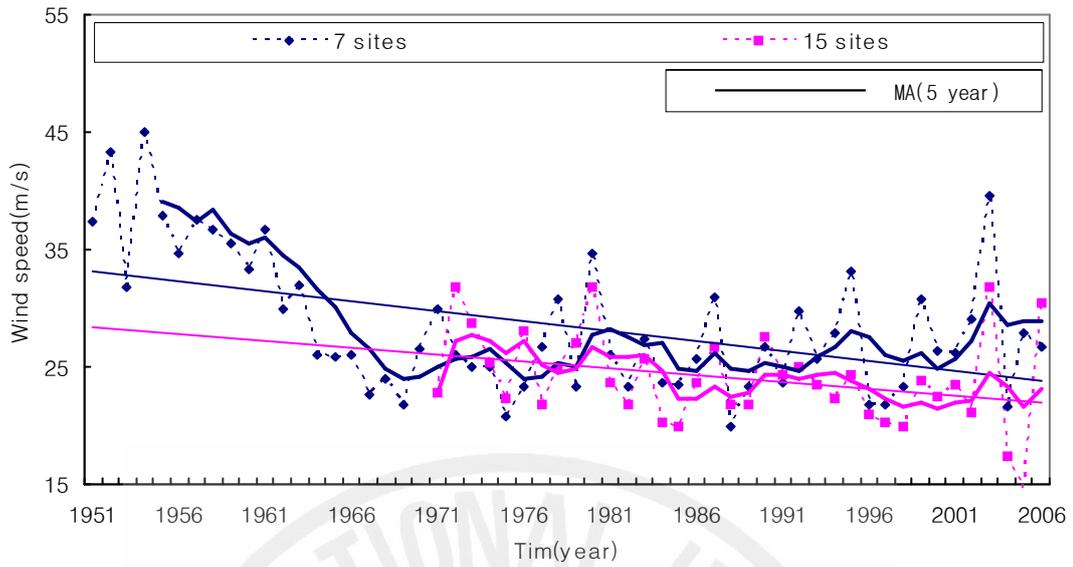


Fig. 50. The annual extreme value of maximum wind speed observed 7 sites during 1951~2006 (Variation : $-10\text{m/s}/56\text{yr}$) and 15 sites during 1971~2006 (Variation : $-6\text{m/s}/56\text{yr}$)

다음으로는 지역별로 강풍이 발생하는 빈도수의 변화를 살펴보았다. Fig. 51~57 은 지역별로 강풍주의보의 발효기준인 최대풍속 14m/s 를 넘은 일수와 강풍경보 발효기준인 최대풍속 21m/s 를 넘은 일수를 나타낸 것이다.

7개 지점의 자료를 살펴보면 거의 대부분의 지역에서 강풍이 발생하는 빈도수는 감소하는 경향을 보인다. 이 사실로 볼 때 풍속의 변화경향은 강수량의 경우처럼 뚜렷한 증가경향을 보이지 않는다는 것을 알 수 있다.

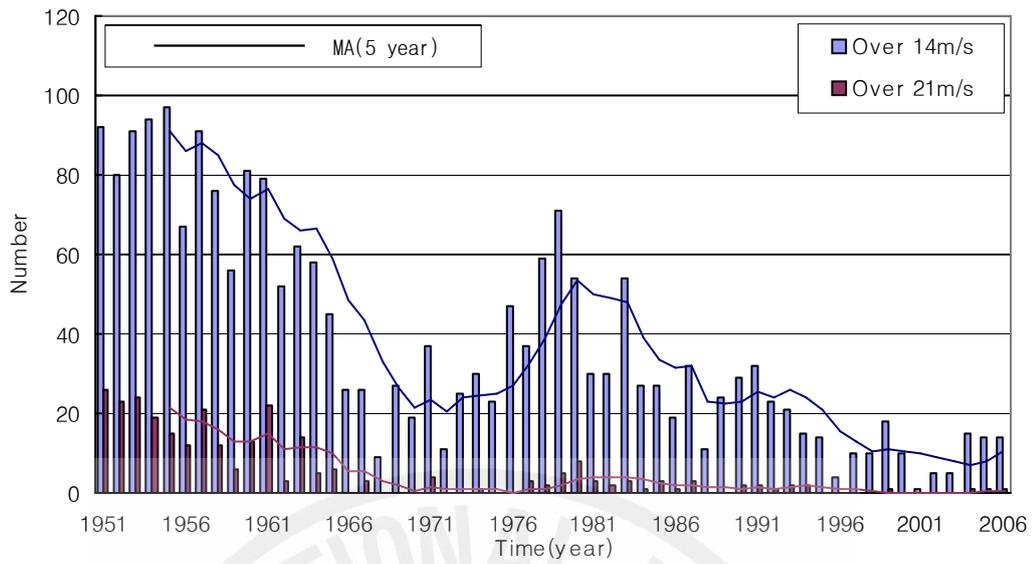


Fig. 51. The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Ulleungdo.

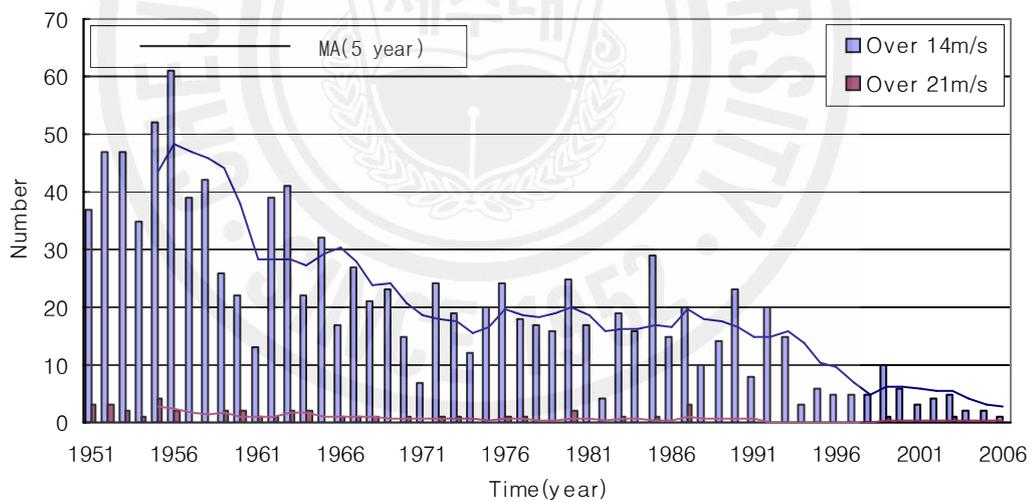


Fig. 52. The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Jeju.

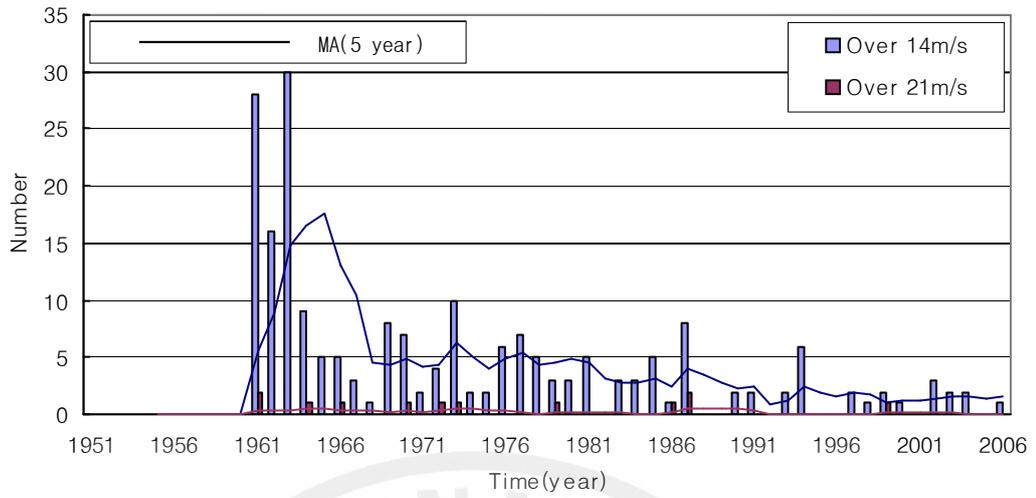


Fig. 53. The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Seogwipo.

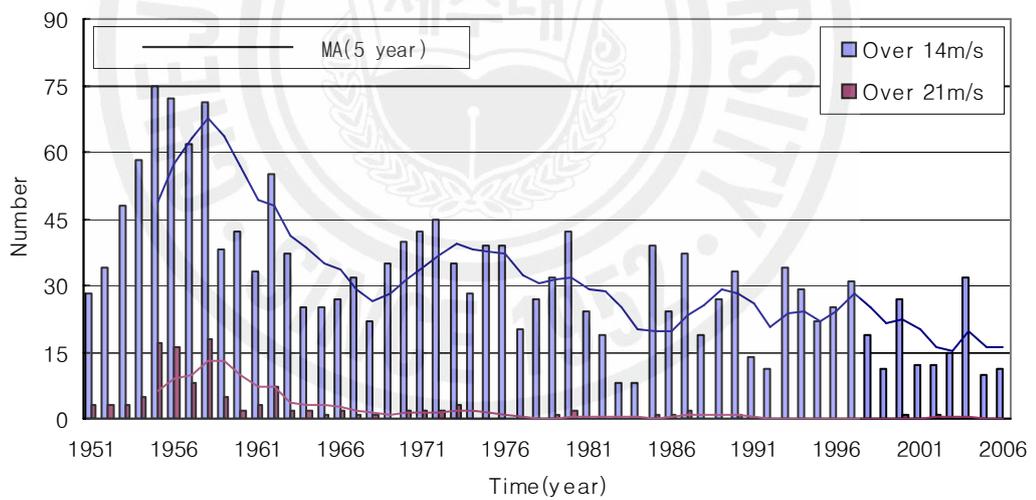


Fig. 54. The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Mokpo.

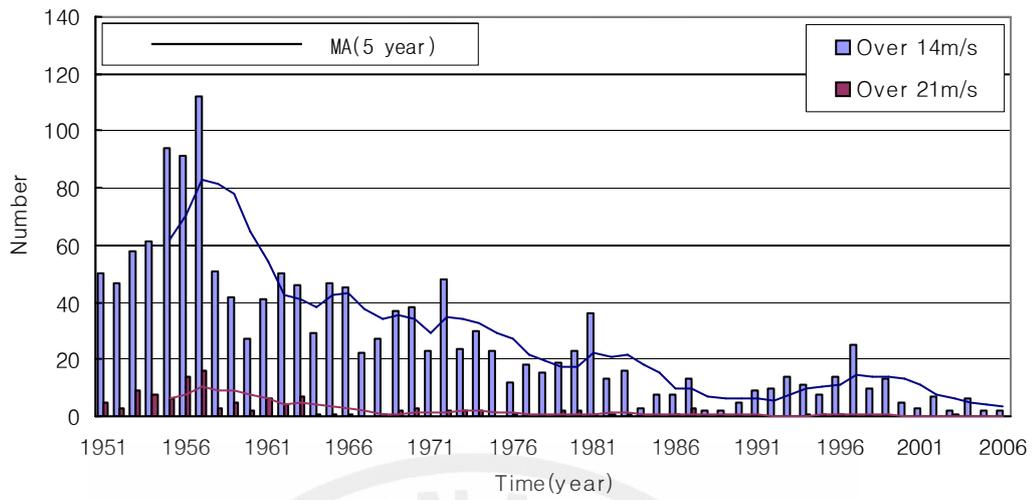


Fig. 55. The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Busan.

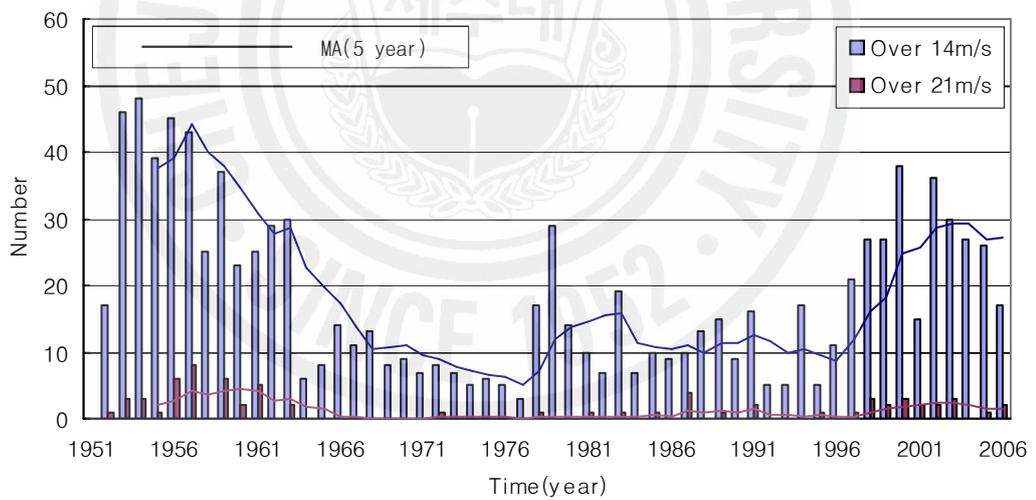


Fig. 56. The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Yeosu.

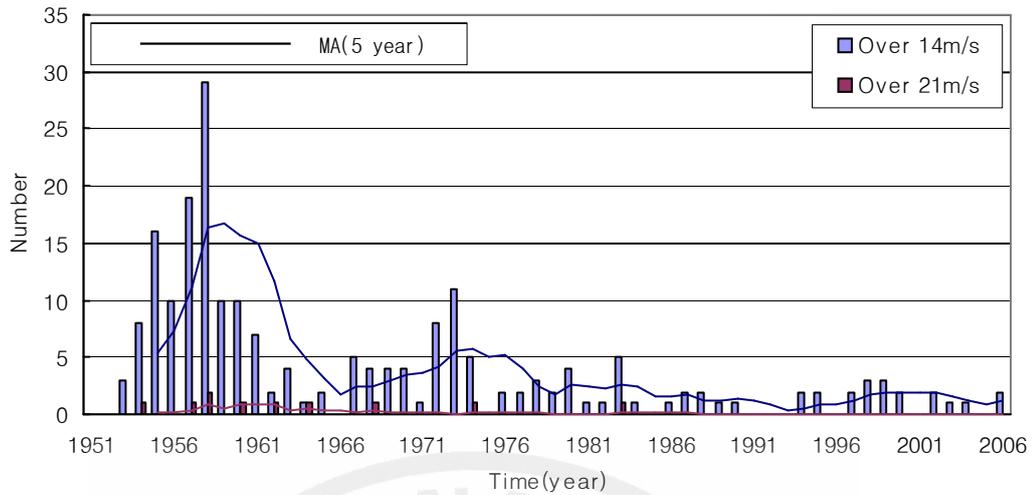


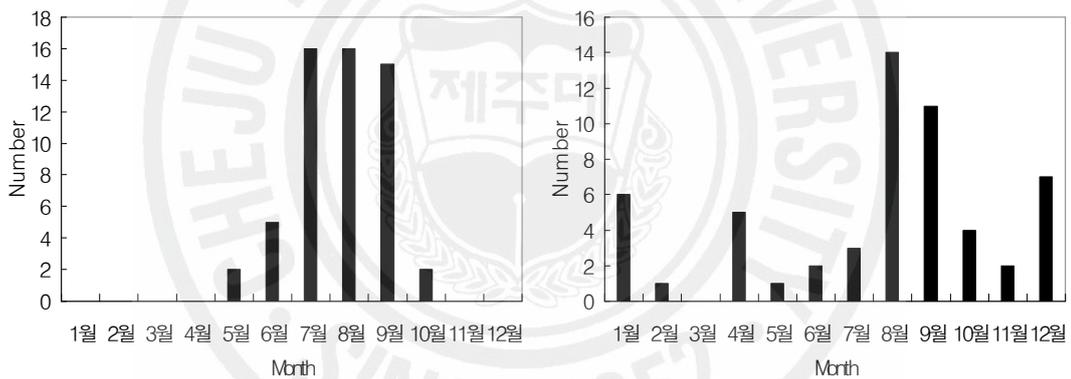
Fig. 57. The number of daily maximum wind speed over 14m/s and 21m/s in Gangneung.

지점별 최대순간풍속과 최대풍속 극값 경향을 살펴보면 7개 지점에서의 경향은 여수를 제외하고는 감소하는 추세를 보였으며, 강풍 출현 빈도는 모든 지점에서 감소하는 추세를 보였다. 이런 사실로 보아 한반도 전 관측지점에서 관측된 최대순간풍속 극값의 증가경향은 단순히 관측지점의 증가에 따른 영향을 받았기 때문이라는 사실을 배제할 수 없다.

지금까지의 분석결과로 봤을 때 지역별 일강수량 극값과 총강수량은 뚜렷한 증가추세를 보이고 있으나, 지역별 최대순간풍속 극값과 평균값은 오히려 감소하는 추세를 보임을 알 수 있다. 최대순간풍속의 감소에는 도시화로 인한 지형의 변화가 그 원인이나 일강수량의 증가에는 여러 가지 원인이 있을 수 있다. 여기에서는 일강수량 및 최대순간풍속 극값이 여름철에 많이 집중되어 있다는 사실을 염두에 두어 우리나라 여름철 악기상 중 많은 부분을 차지하고 있는 태풍에 대하여 살펴보기로 하자.

3. 태풍에 의한 일강수량과 최대순간풍속 자료 분석

일강수량과 최대순간풍속 극값이 나타나는 원인에는 여러 가지가 있을 수 있겠으나 그 월별 횟수를 살펴보면, 일강수량 극값의 월별 횟수는 5월에서 10월 사이에 집중해서 나타났다. 그 중에서도 특히 7월과 8월, 그리고 9월에 가장 많이 나타났는데, 일강수량 극값이 가장 많이 나타난 달은 7월과 8월의 16회이다. 최대순간풍속 극값의 월별 횟수는 3월을 제외하고는 모든 월에 나타났는데, 특히 8월과 9월에 많이 나타났으며, 가장 많이 나타난 달은 8월의 14회이다. 이처럼 일강수량과 최대순간풍속의 극값이 여름에 집중되어 있는 것은 여름철에 우리나라에 내습하는 태풍의 영향을 많이 받았기 때문인 것으로 보인다.



(a) The extreme precipitation (b) The maximum instantaneous wind speed

Fig. 58. The number of extreme value observed monthly (1951~2006)

아래의 표는 1904년부터 2006년까지 우리나라에 영향을 미친 태풍의 수를 월별로 나타내 본 것이다. 보통 한해에 3개 정도의 태풍이 우리나라에 영향을 미치며, 태풍내습의 최다 월은 8월, 7월, 9월의 순이고, 7월, 8월, 9월 석 달 동안 내습한 태풍 수는 전체의 91%이다.

Table. 15. The number of tropical cyclones (TC) affect over the Korean peninsula during 1904~2006

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sum	Average
time	-	-	-	-	2	20	90	121	79	8	-	-	320	3.1

Fig. 59는 1955년부터 2006년까지의 일강수량 극값 자료 중에서 태풍에 의해 발생한 호우를 나타내 본 것이다. 56년 동안 태풍에 의한 극값 발생은 총 23번을 기록하였으며, 이는 비율로 보면 약 41% 정도를 차지한다.

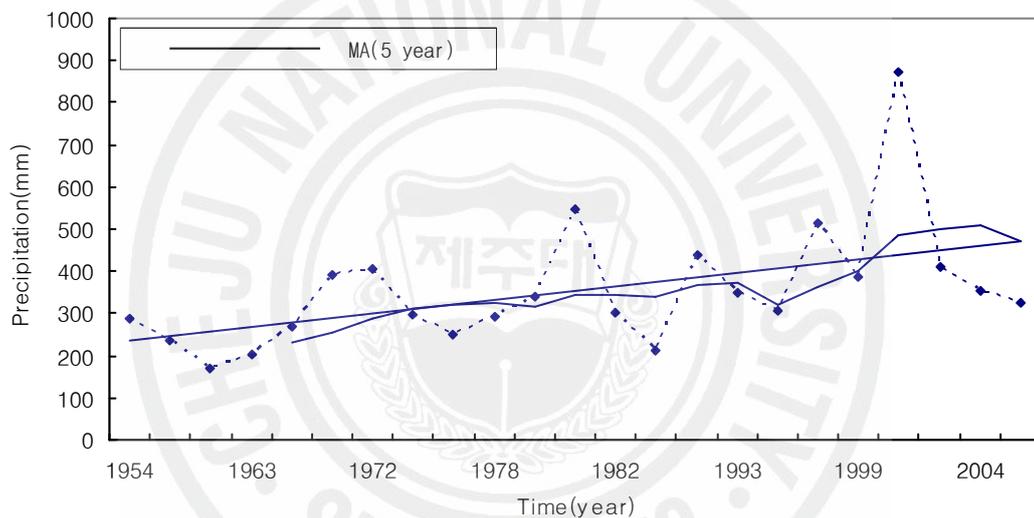


Fig. 59. The change of extreme value of daily precipitation observed by tropical cyclones (TC) among the annual records during 1951~2006 (Variation : 250mm/56yr)

위의 시계열 자료를 보면 태풍에 의해 기록된 일강수량 극값의 경향이 서서히 증가하고 있다는 것을 알 수 있는데, 1950년대에 비해서 2000년대 들어와서 약 200 mm 정도 증가했다.

56년간 태풍에 의해 극값을 기록한 23번을 제외한 나머지 년도는 각기 장마 또는 집중호우 등의 영향을 받았다. 그러면, 매년 우리나라에 영향을 주는 태풍에 의해 기록된 극값들은 어떤 경향을 보이는지 분석해 보았다. Fig. 60은 56년

동안 태풍에 의한 일강수량 극값 자료를 조사하여 나타내 본 것이다.

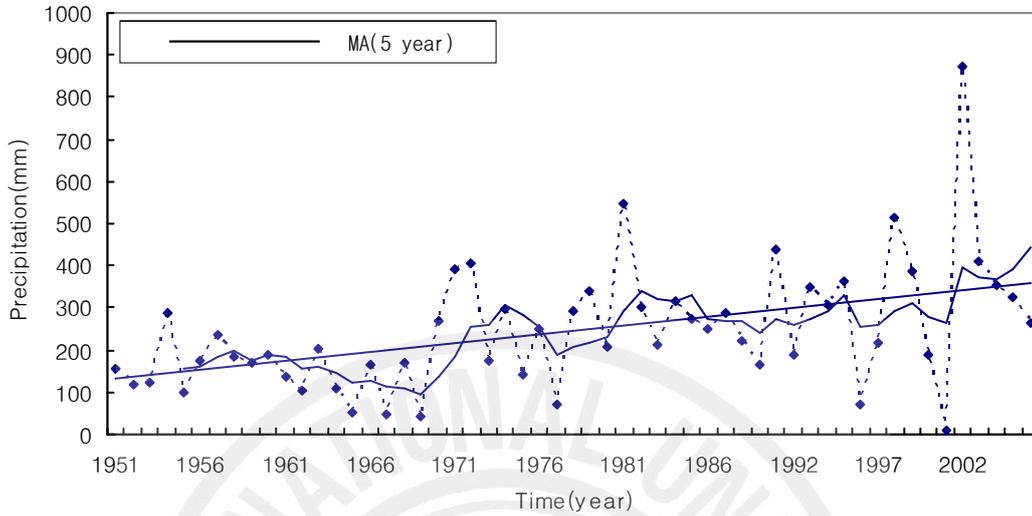


Fig. 60. The annual extreme value of daily precipitation by tropical cyclones (TC) over Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 250mm/56yr)

위의 자료를 보면 매년 태풍에 의해 기록된 일강수량 극값도 서서히 증가하고 있음을 알 수 있다.

Table. 16은 56년간 태풍에 의해 기록된 일강수량 극값과 태풍의 이름을 나타낸 것이다. 1988년은 태풍이 없었던 해로써 그 값이 기록되지 않았으며, 극값의 순위를 보면 1980년대 이후로 갈수록 높은 순위의 값들이 나타남을 알 수 있다.

Table. 16. The annual extreme value of daily precipitation by tropical cyclones (TC) over Korean peninsula during 1951~2006

지점명	년	월	일	극값	태풍	순위
제주	1951	8	21	157.6	5111	42
광주	1952	8	17	115.6	5209	46
인천	1953	7	4	122.3	5304	45
강릉	1954	9	13	287.1	5412	20
목포	1955	9	30	100.6	5522	49
서울	1956	9	9	176.4	5612	36
제주	1957	6	26	236.6	5705	26
전주	1958	9	6	181.8	5819	35
제주	1959	9	17	168.1	5914	39
울릉도	1960	8	22	188.2	6015	34
제주	1961	10	6	138.2	6123	44
부산	1962	8	2	103.9	6209	48
목포	1963	6	19	204	6304	31
서귀포	1964	7	18	106.7	6407	47
부산	1965	7	29	52.2	6513	52
서울	1966	8	30	166.3	6617	41
춘천	1967	7	27	46.1	6710	53
수원	1968	8	16	170	6807	38
울산	1969	9	30	44.2	6911	54
강릉	1970	7	6	267.0	7002	22
삼척	1971	8	5	390.8	7119	7
해남	1972	8	20	407.5	7214	6
김해	1973	8	16	176.0	7310	37
장흥	1974	8	30	297.0	7420	17
양평	1975	7	31	140.0	7502	43
원주	1976	8	13	248.6	7613	25
성산	1977	8	23	71.5	7707	50
남해	1978	6	18	291.0	7803	18
통영	1979	8	25	340.5	7911	12
보은	1980	8	29	207.0	8012	30
장흥	1981	9	2	547.4	8118	2
대관령	1982	8	27	303.0	8213	16
제주	1983	9	27	214.5	8310	29
속초	1984	9	2	314.2	8412	14
거제	1985	8	10	275.9	8508	21
강화	1986	8	28	249.4	8613	24
부여	1987	7	15	287.3	8705	19
-	1988	-	-	-	-	-
광주	1989	7	28	221.0	8911	27
장흥	1990	6	25	166.6	9005	40
부산	1991	8	23	439.0	9112	4
성산	1992	9	24	189.5	9219	32
대관령	1993	8	10	349.0	9307	11
삼척	1994	10	12	307.5	9429	15
서귀포	1995	8	25	361.5	9507	9
광주	1996	8	12	70.6	9609	51
밀양	1997	6	26	216.5	9708	28
포항	1998	9	30	516.4	9809	3
거제	1999	7	29	387.5	9905	8
장흥	2000	7	10	189.5	0004	32
보은	2001	8	22	7.5	0111	55
강릉	2002	8	31	870.5	0215	1
남해	2003	9	12	410.0	0314	5
완도	2004	8	18	353.5	0415	10
울산	2005	9	6	327.5	0514	13
강릉	2006	7	10	264.5	0603	23

그럼, 태풍이 최대순간풍속 극값에는 어떤 영향을 끼쳤는지 살펴보자. Fig. 61 56년간의 최대순간풍속 자료 중 태풍에 의해 극값이 나타난 날만을 추려내어 그려 본 것이다. 56년 동안 태풍에 의해서 최대순간풍속이 나타난 년도는 총 27번으로 약 48%를 차지하는데, 아래 자료의 변화 경향을 살펴보면, 태풍에 의한 최대순간풍속 극값의 변화경향도 증가하고 있음을 알 수 있다.

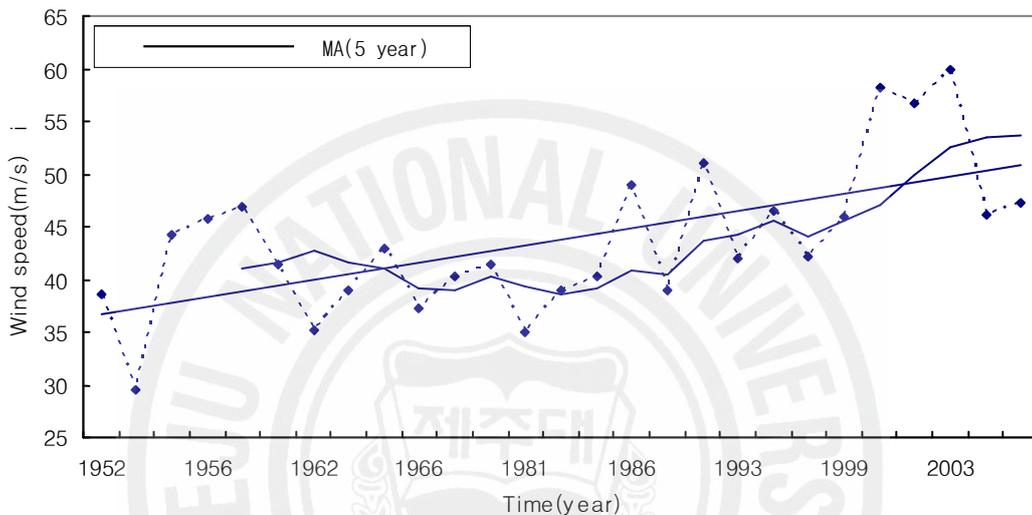


Fig. 61. The change of extreme value of maximum instantaneous wind speed by tropical cyclones (TC) among the annual records during 1951~2006 (Variation : 15m/s/56yr)

태풍 이외에 최대순간풍속 극값을 기록하게 하는 요인에는 이동성저기압 또는 겨울철 시베리아고기압의 확장에 의한 강풍현상 등을 들 수 있다. 그럼 그런 요인들을 제외하고 순수하게 태풍에 의해서만 기록된 56년간의 최대순간풍속 극값의 변화경향을 살펴보자. Fig. 62은 태풍에 의해 기록된 최대순간풍속 극값만을 조사하여 그 변화 경향을 나타내 본 것이다. Fig. 61과 마찬가지로 증가하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

Table. 17은 56년간 태풍에 의해 기록된 최대순간풍속 극값과 태풍의 이름을 나타낸 것이다.

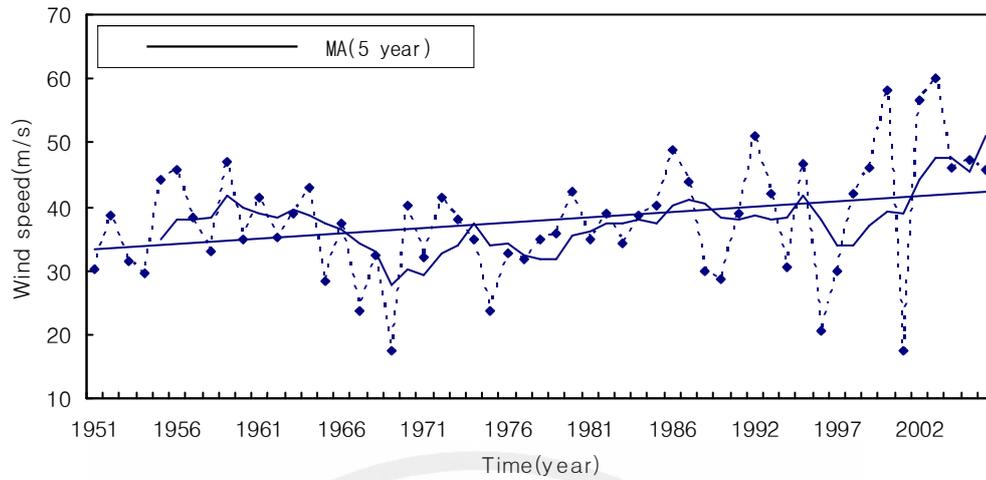


Fig. 62. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed by tropical cyclones (TC) over the Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 10m/s/56yr)

위의 자료들을 보면 태풍에 의해 기록된 일강수량 및 최대순간풍속의 극값은 증가경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 이런 증가 경향의 원인을 살펴보기 위해 우리나라에 영향을 미친 태풍의 56년간 년별 개수 및 태풍 기간동안 우리나라에서 관측된 일최저기압 극값의 변화 경향을 그래프로 나타내 보았다. 56년간 우리나라에 영향을 미친 태풍의 개수를 년별로 살펴보면 가장 많은 수의 태풍이 우리나라에 영향을 미친 해는 1959년 이었으며, 그 개수는 7개였다. 반면 1998년에는 우리나라에 영향을 미친 태풍이 없었다(Fig. 63).

전체적인 경향을 봤을 때 우리나라에 영향을 미친 태풍의 횟수 경향은 뚜렷한 증가추세는 보이지 않고 있다. 하지만 일최저기압 극값의 변화 경향을 살펴봤을 때 그 값은 꾸준히 하강하고 있으며, 1950년대에 비해 2000년대 들어와서 약 10hPa 이상의 하강하였고, 80년대 이후로 큰 폭으로 하강한 값들이 많음을 알 수 있다(Fig. 64).

Table. 17. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed by tropical cyclones (TC) over the Korean peninsula during 1951~2006

지점명	년	월	일	극값	태풍	순위
부 산	1951	8	21	30.2	5111	45
제 주	1952	8	18	38.6	5209	26
제 주	1953	7	6	31.3	5304	43
여 수	1954	9	25	29.6	5415	48
울릉도	1955	9	30	44.3	5522	13
여 수	1956	9	10	45.7	5612	11
울릉도	1957	8	21	38.3	5707	28
울릉도	1958	9	6	33.1	5819	38
제 주	1959	9	17	46.9	5914	7
울릉도	1960	8	23	34.8	6015	35
울릉도	1961	8	4	41.4	6110	20
목 포	1962	8	2	35.1	6209	32
부 산	1963	6	20	39	6304	23
서귀포	1964	8	2	43	6411	15
울릉도	1965	7	29	28.2	6513	50
서귀포	1966	8	30	37.3	6617	30
서귀포	1967	7	26	23.6	6710	52
강 릉	1968	8	16	32.4	6807	40
부 산	1969	9	29	17.5	6911	55
서귀포	1970	8	30	40.2	7011	21
울릉도	1971	8	10	32	7120	41
제 주	1972	7	26	41.5	7207	19
울릉도	1973	8	17	38	7310	29
속 초	1974	7	6	34.8	7408	35
통 영	1975	7	31	23.8	7502	51
군 산	1976	9	14	32.8	7617	39
울릉도	1977	8	24	31.8	7707	42
군 산	1978	9	15	35	7818	33
속 초	1979	8	17	35.9	7910	31
속 초	1980	9	11	42.3	8013	16
서귀포	1981	9	1	35	8118	33
울릉도	1982	9	25	38.9	8219	25
울 진	1983	9	28	34.4	8310	37
울릉도	1984	8	22	38.6	8410	26
울릉도	1985	8	31	40.2	8513	21
울 진	1986	8	28	49	8613	5
대관령	1987	8	30	44	8712	14
-	1988	-	-	-	-	-
대관령	1989	7	28	30	8911	46
울릉도	1990	7	12	28.5		49
울릉도	1991	9	27	39	9119	23
울릉도	1992	9	25	51	9219	4
울릉도	1993	8	10	42	9307	18
울릉도	1994	8	1	30.4	9411	44
통 영	1995	7	23	46.6	9503	8
고 산	1996	8	14	20.6	9612	53
고 산	1997	9	15	29.8	9719	47
후산도	1998	9	30	42.1	9809	17
완 도	1999	8	3	46	9907	10
후산도	2000	8	31	58.3	12	2
고 산	2001	8	22	17.6	111	54
고 산	2002	8	31	56.7	215	3
제 주	2003	9	12	60	314	1
울릉도	2004	8	19	46.1	415	9
울릉도	2005	9	7	47.3	514	6
속 초	2006	9	18	45.6	613	12

태풍 내습 시 일최저기압은 태풍의 경로나 생존주기 등의 영향을 받기도 하지만 이런 꾸준한 하강 경향으로 볼 때, 우리나라에 영향을 주는 태풍의 강도가 점점 강해지고 있다는 가설도 충분히 생각해 볼 수 있다. 이런 변화 경향들을 분석해보면 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 개수에는 변화가 없으나 태풍의 강도는 점차 증가하고 있는 것으로 볼 수 있으며, 이런 태풍의 강도 증가가 우리나라의 일강수량극값 및 최대순간풍속 극값의 증가와도 관련이 있을 것으로 사료된다

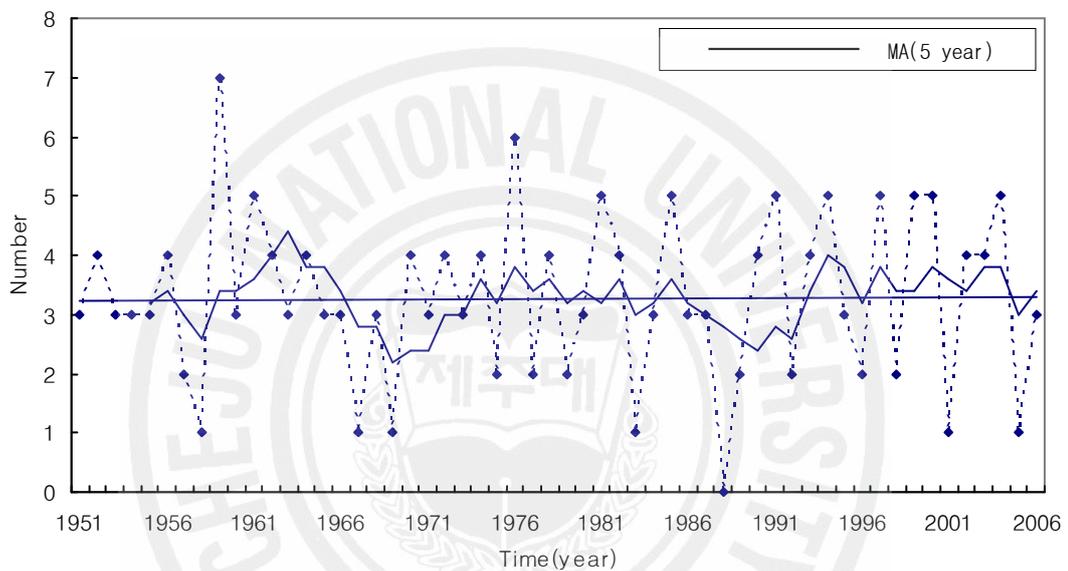


Fig. 63. The change of number that tropical cyclones (TC) affect over Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 0time/56yr)

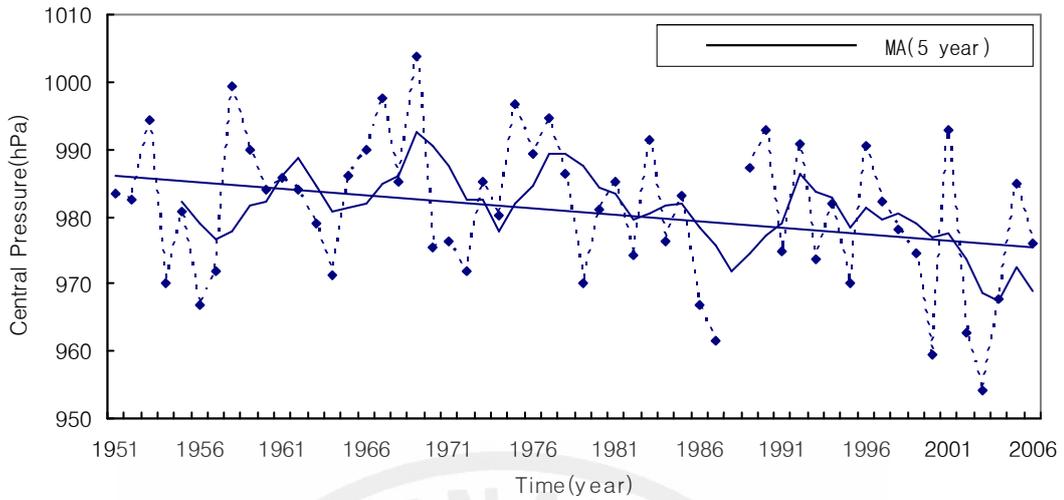


Fig. 64. The change of extreme value of central pressure intensity that tropical cyclones (TC) affect over Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : 10hPa/56yr)

4. 최저, 최고기온 극값 및 수온 변화 경향

이러한 태풍 강도의 증가 경향은 앞서 얘기한 것처럼 지구온난화와 깊은 연관이 있다. 그러면 실제로 우리나라의 기온변화 경향은 어떠한지 지난 56년 동안 우리나라에서 관측된 최고 및 최저기온은 변화 경향을 분석해보았다.

Fig. 65은 56년간 우리나라에서 관측된 년별 최고기온 극값의 변화경향을 나타내본 것이다. 그림을 보면 최고기온은 점차 상승하고 있음을 알 수 있는데, 1950년도에 비해 2000년대 들어와서 약 0.3도 정도 증가하였다.

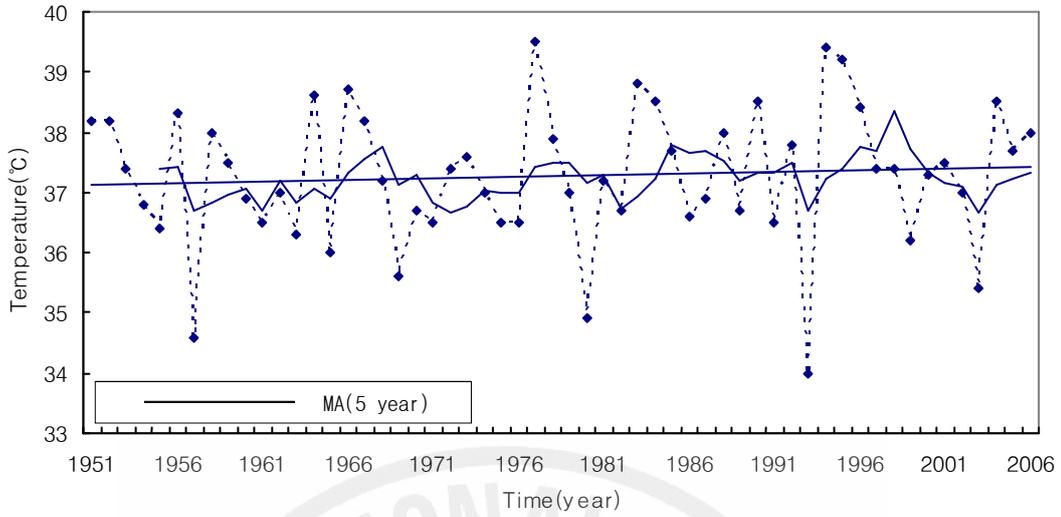


Fig. 65. The annual highest temperature observed over Korean peninsula during 1951-2006 (Variation : $0.3^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

Fig. 66은 56년간 최저기온 극값의 변화 경향을 나타내본 것이다. 최저기온 극값은 56년간 약 7도 정도로 감소하였는데 이는 관측지점 증가에 의한 영향을 받은 것으로 보인다.

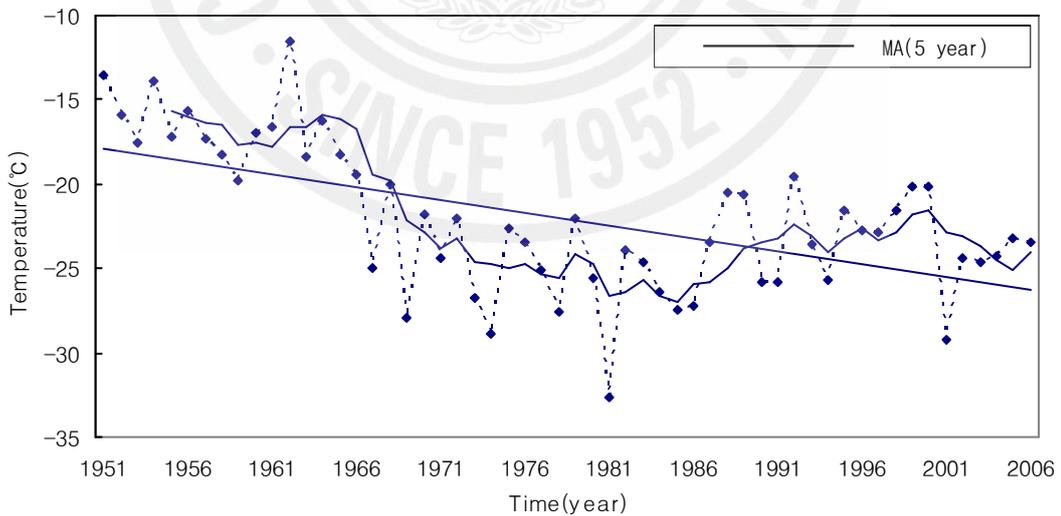


Fig. 66. The annual lowest temperature observed over Korean peninsula during 1951~2006 (Variation : $-7^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

최고기온 및 최저기온도 관측지점의 증가에서 오는 영향을 배제하기 위해 대구, 울산, 광주, 포항, 목포, 전주, 강릉의 7개의 지점을 선별하여 그 변화 경향을 분석해보았다. Fig. 67~71는 각 지점의 최고기온 변화 경향을 나타낸 것이다.

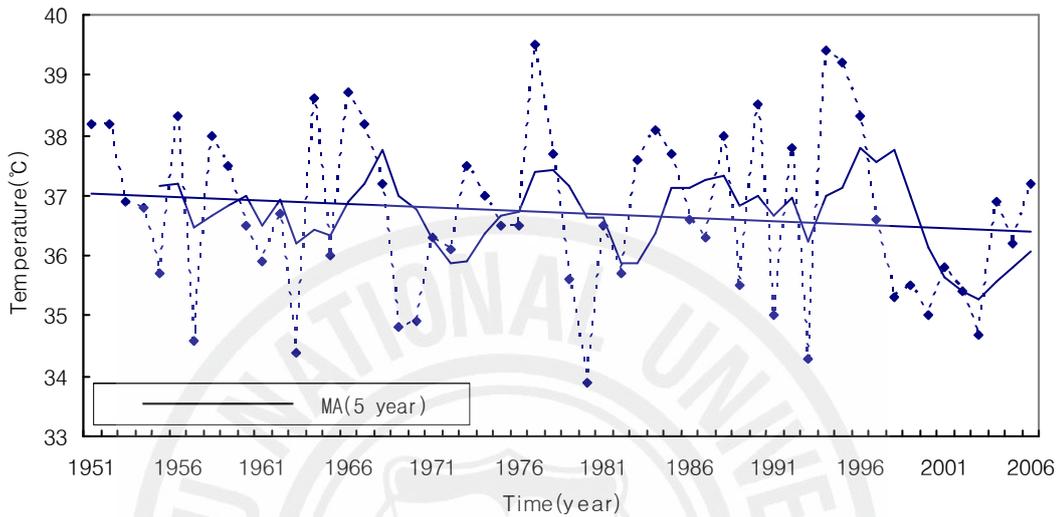


Fig. 67. The annual highest temperature observed in Deagu during 1951-2006 (Variation : $-0.6^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

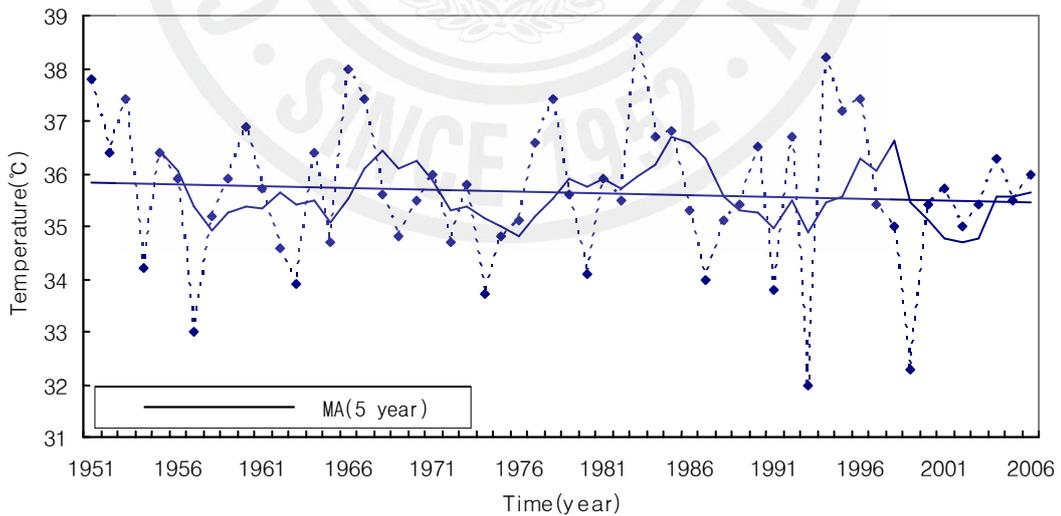


Fig. 68. The annual highest temperature observed in Ulsan during 1951-2006 (Variation : $-0.3^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

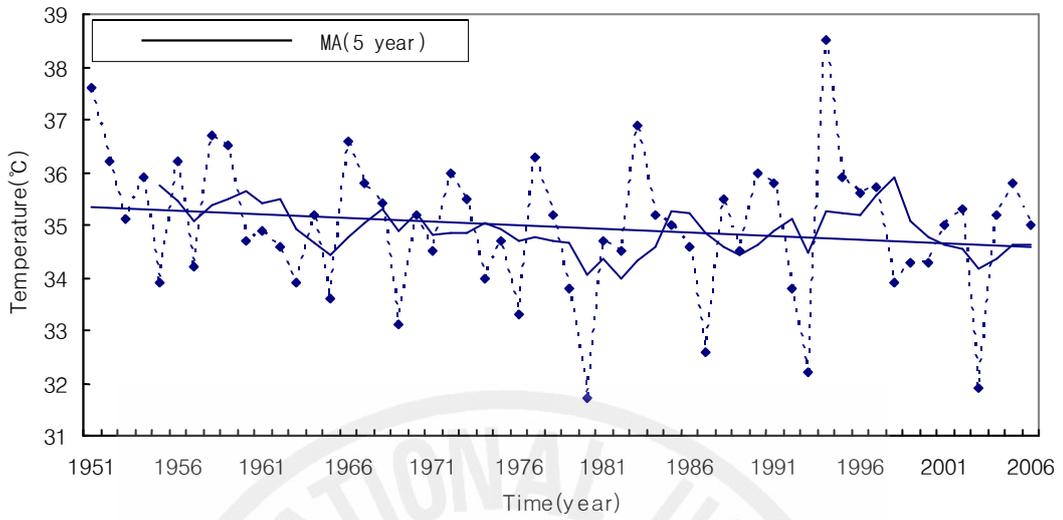


Fig. 69. The annual highest temperature observed in Gwangju during 1951–2006 (Variation : $-0.8^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

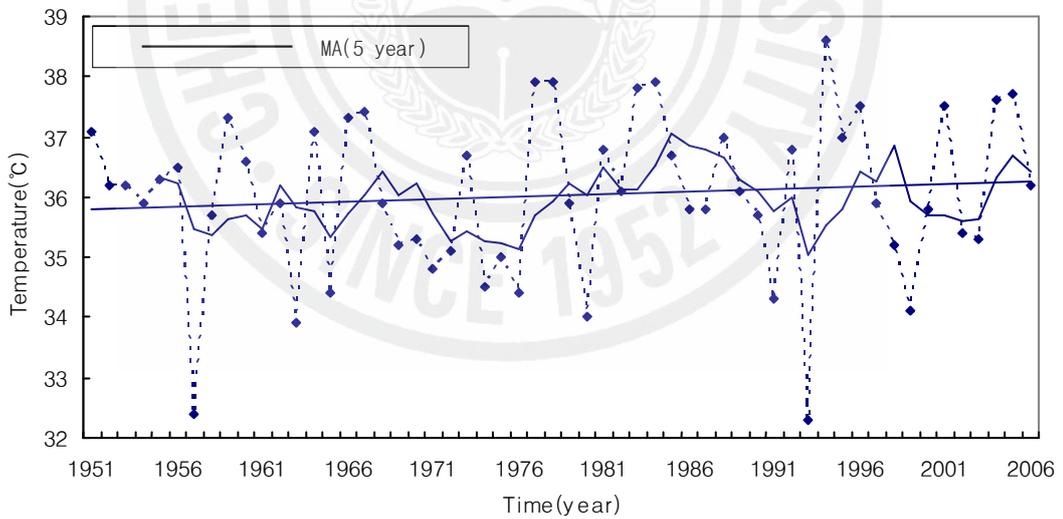


Fig. 70. The annual highest temperature observed Pohang during 1951–2006 (Variation : $0.3^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

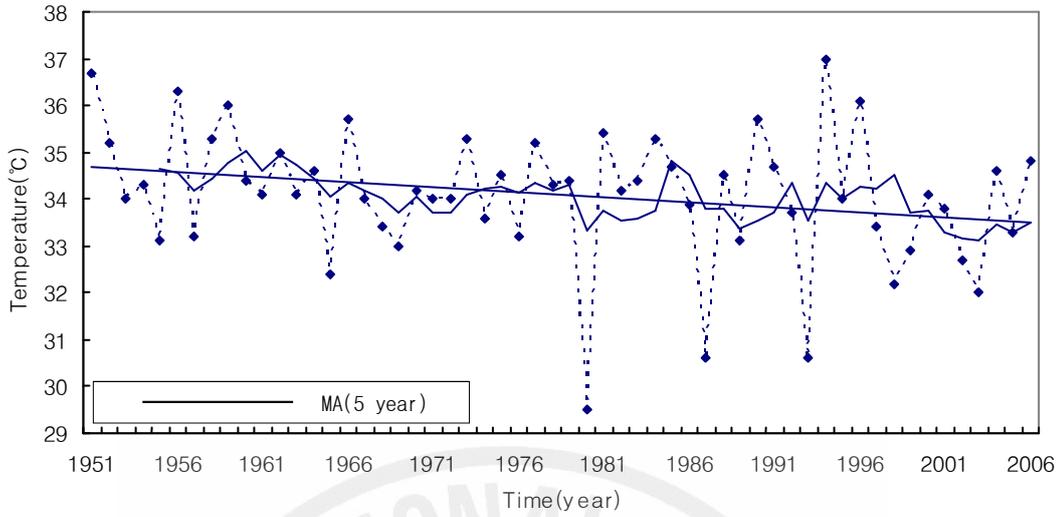


Fig. 71. The annual highest temperature observed Mokpo during 1951-2006 (Variation : $-1.2^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

대구, 울산, 광주, 목포에서의 최고기온 극값은 오히려 감소하는 경향을 보였으며, 포항에서는 56년간 0.3도 증가, 강릉 및 전주는 각각 0.1도씩 증가하는 경향을 보였다.

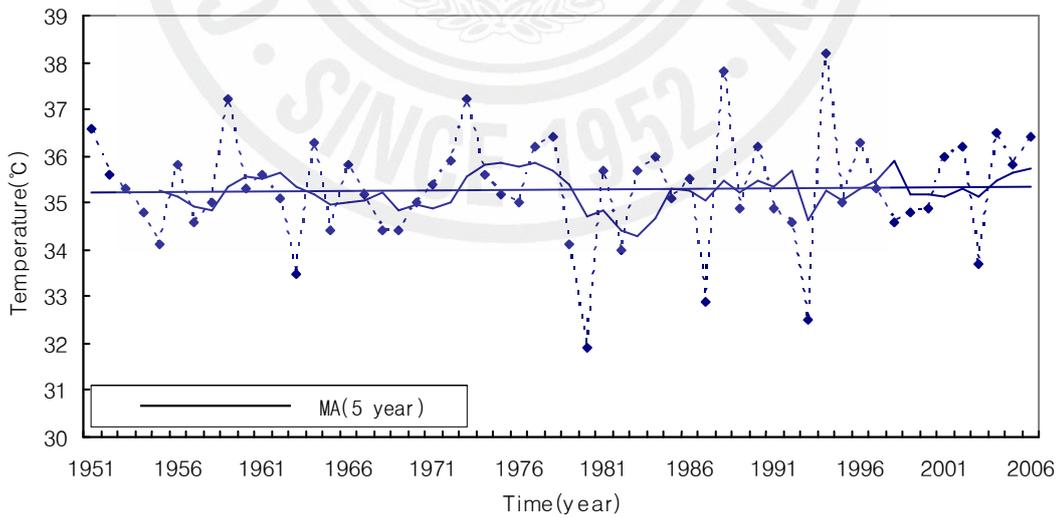


Fig. 72. The annual highest temperature observed in Jeonju during 1951-2006 (Variation : $0.1^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

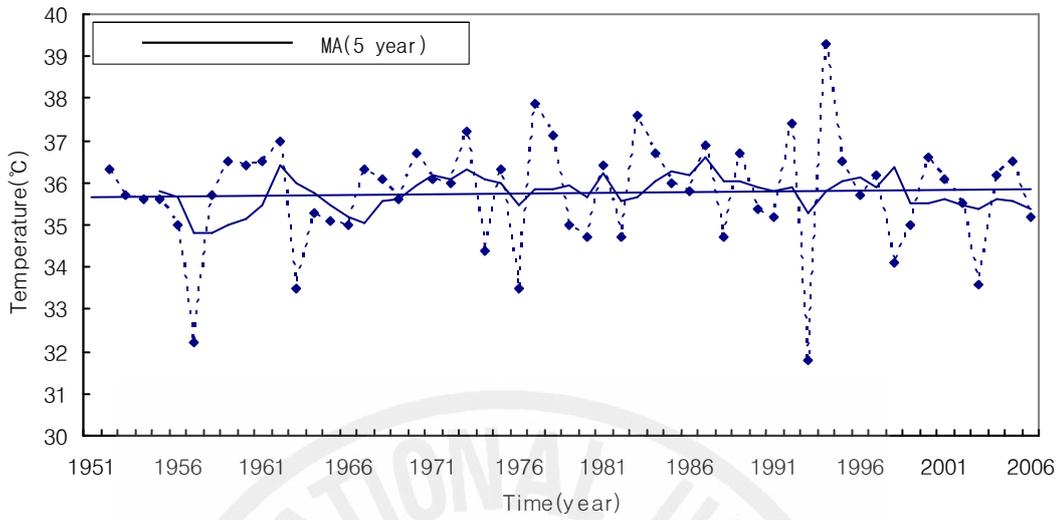


Fig. 73. The annual highest temperature observed Gangneung during 1951-2006 (Variation : $0.2^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

다음은 56년간 지점별 최저기온의 변화 경향을 시계열 자료로 나타내 본 것이다.

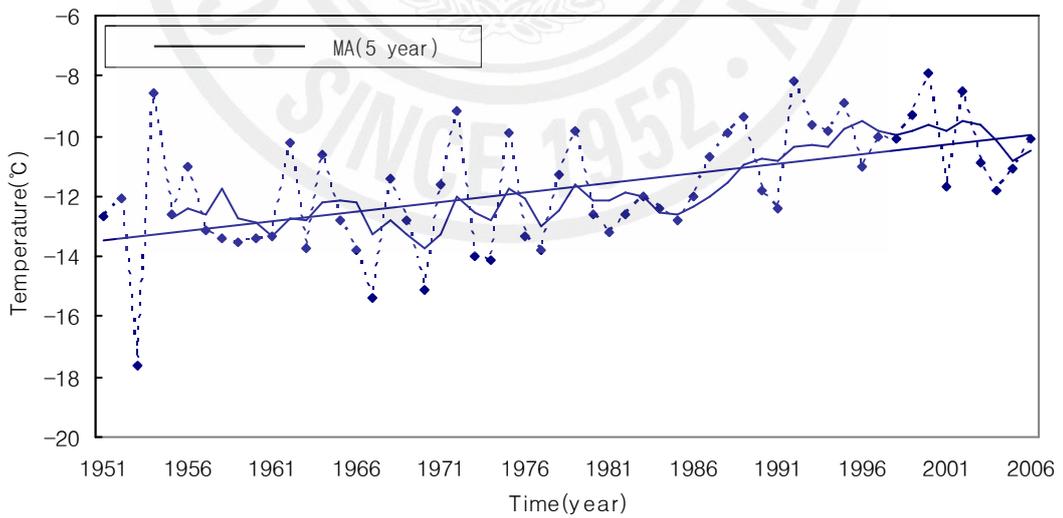


Fig. 74. The annual lowest temperature observed in Deagu during 1951~2006 (Variation : $3.5^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

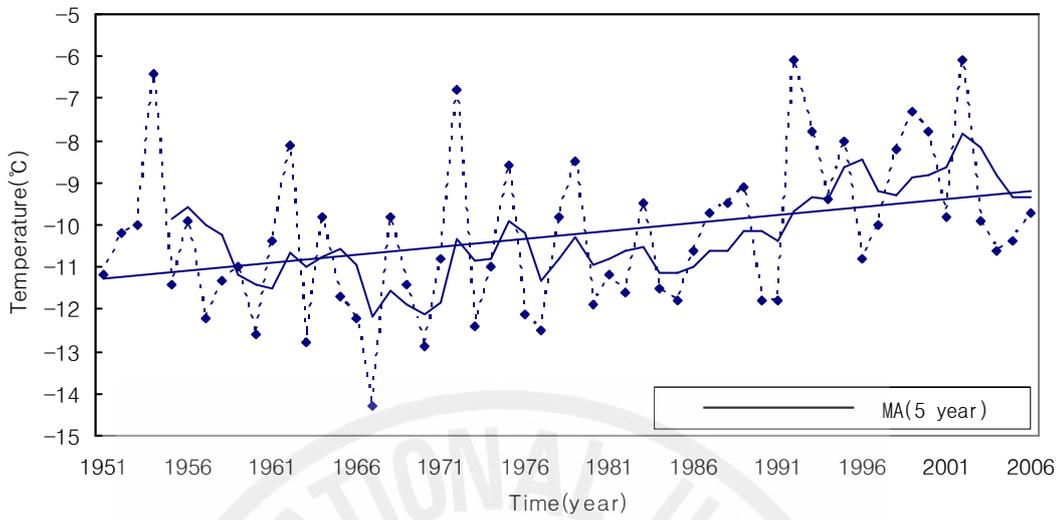


Fig. 75. The annual lowest temperature observed in Ulsan during 1951~2006 (Variation : $2^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

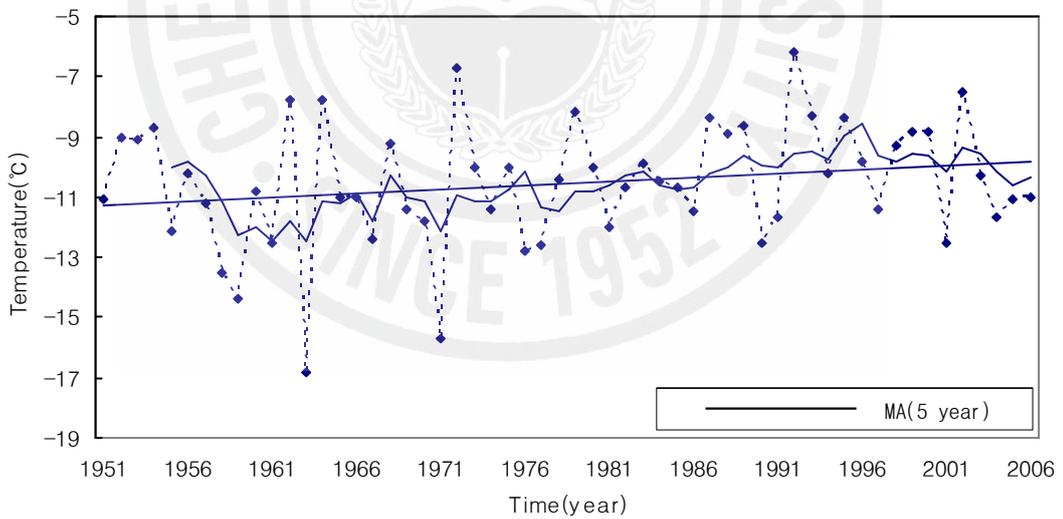


Fig. 76. The annual lowest temperature observed in Gwangju during 1951~2006 (Variation : $1.8^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

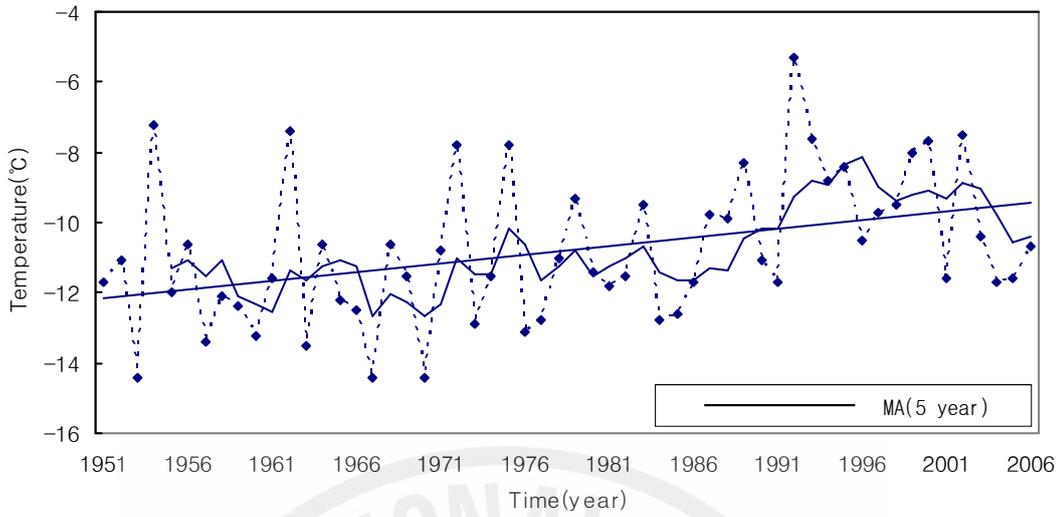


Fig. 77. The annual lowest temperature observed in Pohang during 1951~2006 (Variation : 2.7°C/56yr)

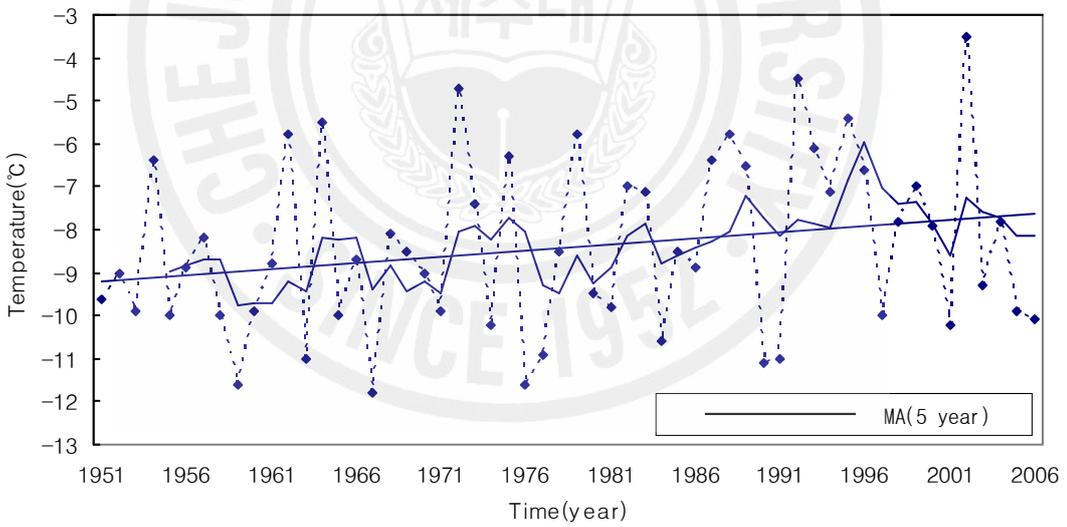


Fig. 78. The annual lowest temperature observed in Mokpo during 1951~2006 (Variation : 1.5°C/56yr)

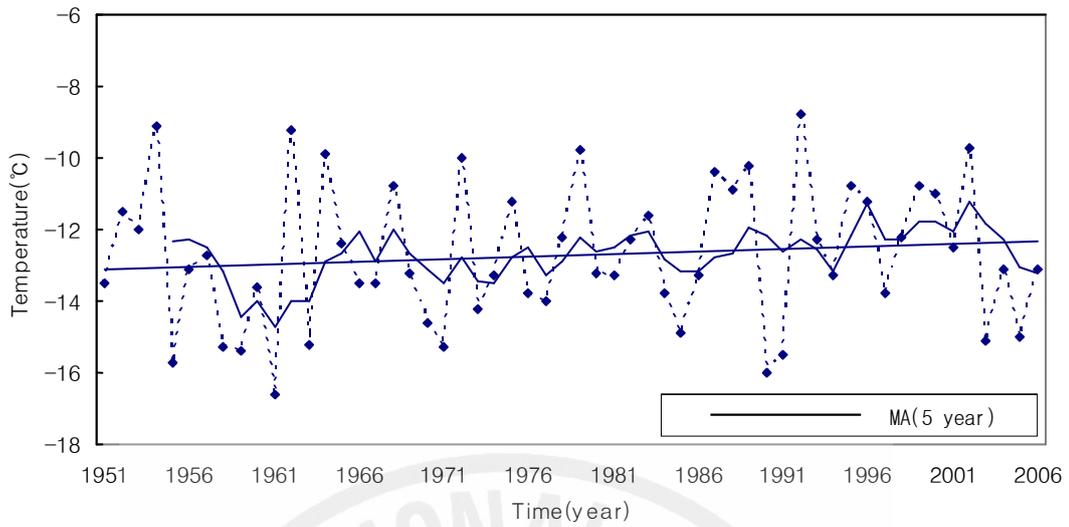


Fig. 79. The annual lowest temperature observed in Jeonju during 1951~2006 (Variation : $0.8^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

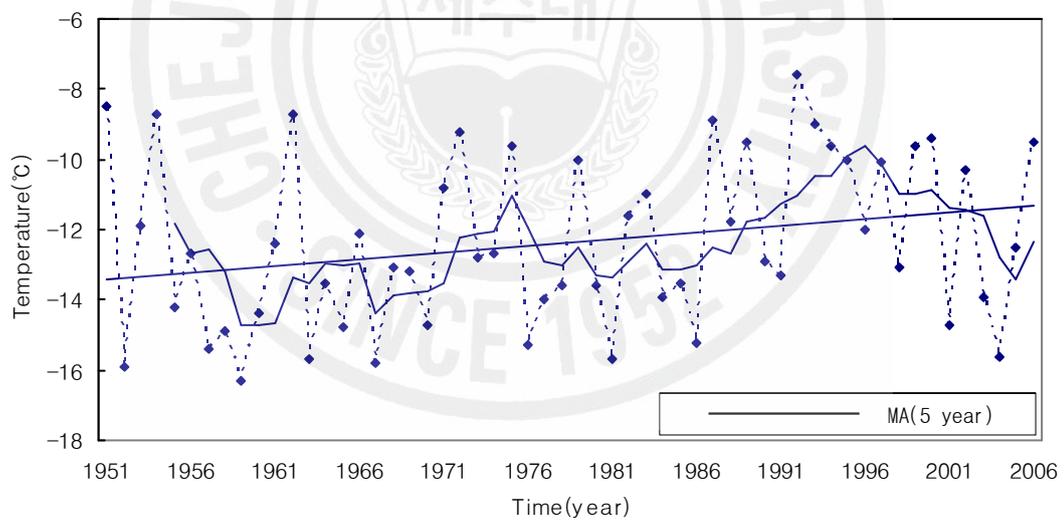


Fig. 80. The annual lowest temperature observed in Gangneung during 1951~2006 (Variation : $2^{\circ}\text{C}/56\text{yr}$)

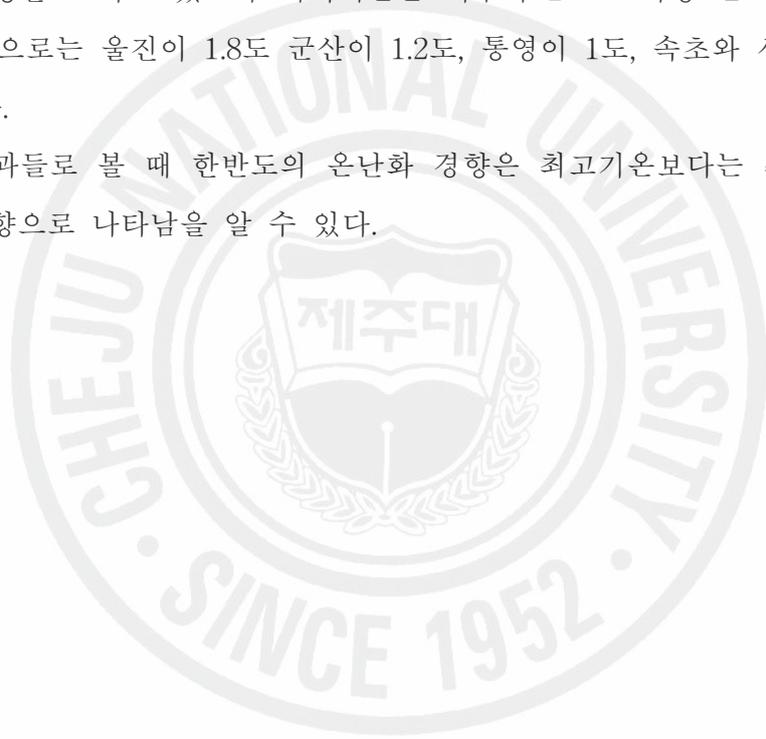
최저기온 극값의 변화경향은 최고기온 극값 경향과는 달리 거의 모든 지역에서 상승하는 경향을 보였다. 최고기온은 각 지역별로 그 변화 경향이 다양하지

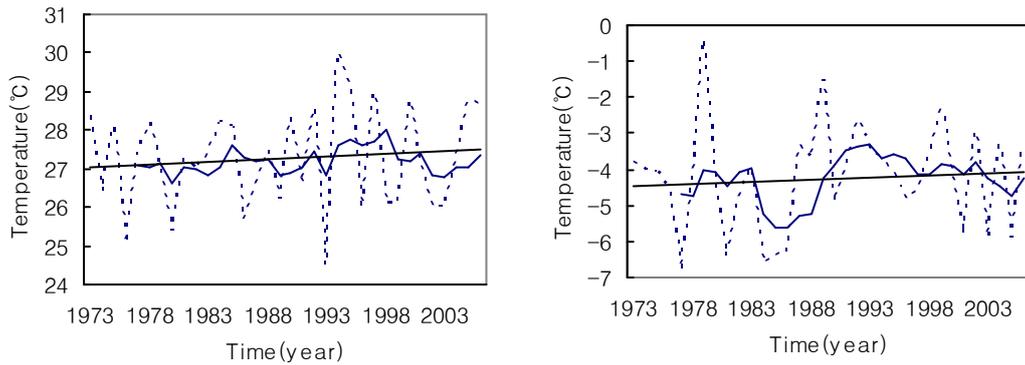
만 최저기온의 상승 폭은 모든 지점에서 크게 나타나기 때문에 전 지점의 평균 기온은 상승하고 있다고 할 수 있다. 즉 7개의 지점별로 나누어 분석해 봤을 때 한반도에 온난화 경향이 나타나고 있음을 알 수 있다.

위에 나온 7개 지점은 도시화가 많이 진행되어 있는 지점으로 도시화가 많이 진행되지 않은 해안지역의 온난화 경향은 어떻게 이루어지고 있는지 Fig. 81~86에 6개 지점(속초, 통영, 서산, 여수, 울진, 군산)으로 나타내 보았다.

해안지역 역시 앞의 7개 지점과 마찬가지로 최고기온보다는 최저기온이 증가하는 경향을 보이고 있다. 여수와 울진 그리고 군산의 최고기온은 0.1~0.7도 감소하는 경향을 보이고 있으나 최저기온은 여수가 2도로 가장 큰 값으로 상승했으며, 다음으로는 울진이 1.8도 군산이 1.2도, 통영이 1도, 속초와 서산이 0.5도로 상승하였다.

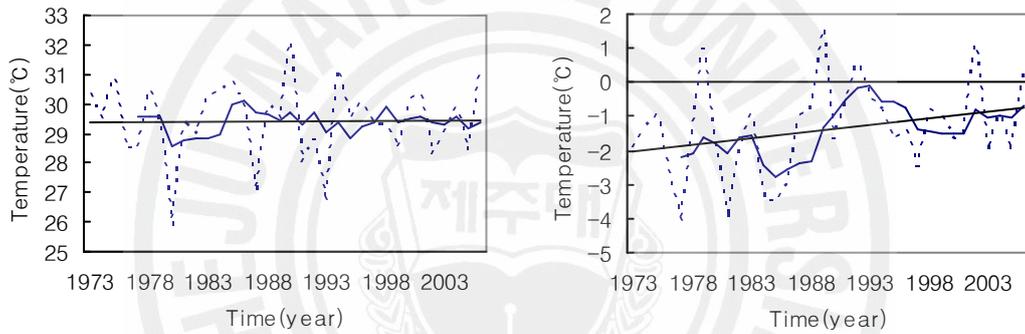
위의 결과들로 볼 때 한반도의 온난화 경향은 최고기온보다는 최저기온이 상승하는 경향으로 나타남을 알 수 있다.





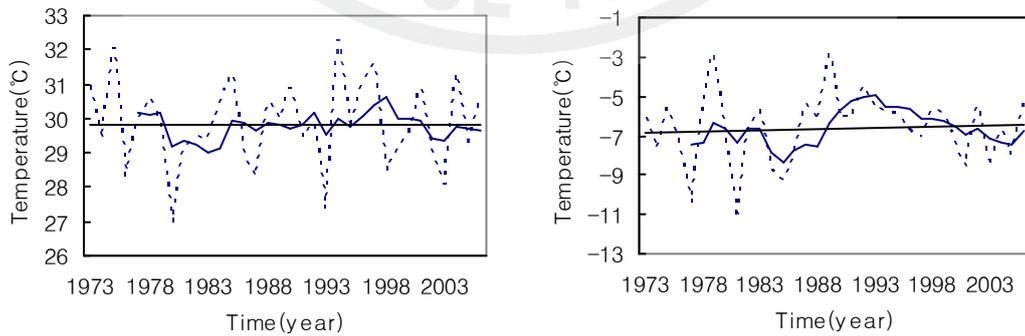
(a) The highest temperature($0.5^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$) (b) The lowest temperature($0.5^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$)

Fig. 81. The annual extreme value of temperature observed in Sokcho during 1973–2006



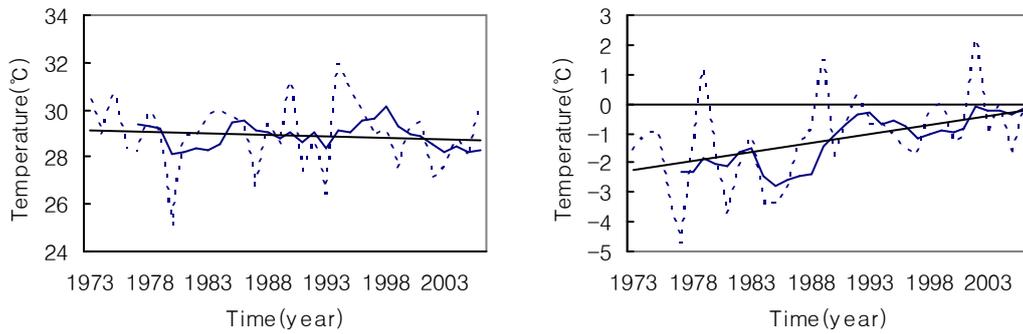
(c) The highest temperature($0^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$) (d) The lowest temperature($1^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$)

Fig. 82. The annual extreme value of temperature observed in Tongyeong during 1973–2006



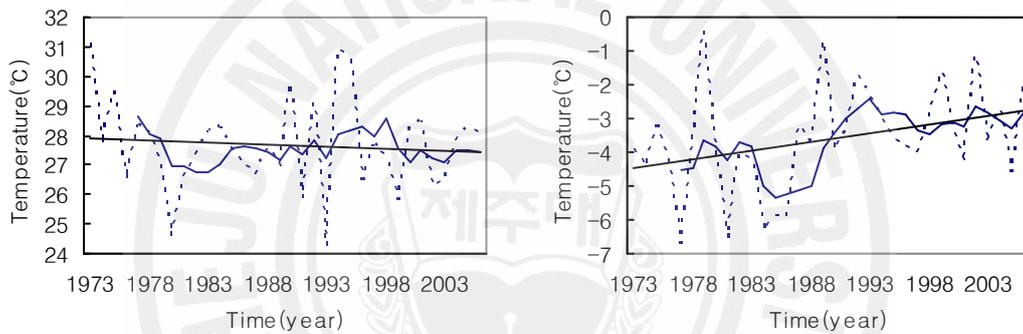
(e) The highest temperature($0^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$) (f) The lowest temperature($0.5^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$)

Fig. 83. The annual extreme value of temperature observed in Seosan during 1973–2006



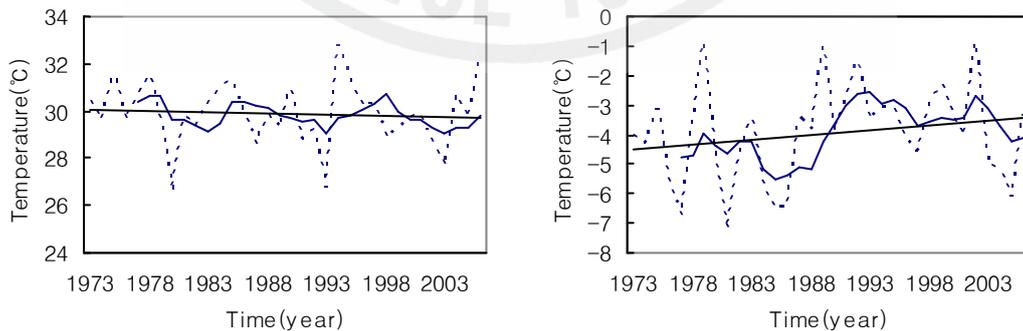
(a) The highest temperature($-0.5^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$) (b) The lowest temperature($2^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$)

Fig. 84. The annual extreme value of temperature observed in Yeosu during 1973–2006



(c) The highest temperature($-0.7^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$) (d) The lowest temperature($1.8^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$)

Fig. 85. The annual extreme value of temperature observed in Uljin during 1973–2006



(e) The highest temperature($-0.1^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$) (f) The lowest temperature($1.2^{\circ}\text{C}/33\text{yr}$)

Fig. 86. The annual extreme value of temperature observed in Gunsan during 1973–2006

다음으로는 한반도 주변 해역의 수온의 변화 경향을 살펴보았다. 수온의 분포는 태풍의 강도에 큰 영향을 미치는 요소들 중의 하나이다. 여기서는 한반도의 온난화 경향이 한반도 주변의 수온 분포에 어떠한 영향을 미치는지 1999년부터 2006년까지 기상청에서 관측한 덕적도, 칠발도, 거문도, 거제도의 Bouy 자료를 이용하였다.

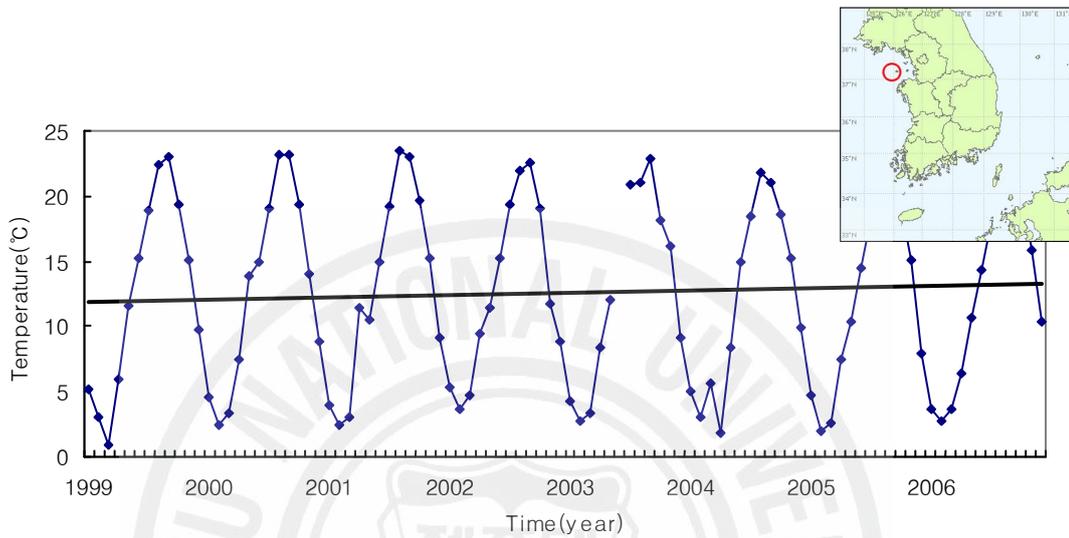


Fig. 87. Monthly records of sea surfacer temperature observed in deokjeokdo during 1999~2006 (Variation : $1.3^{\circ}\text{C}/8\text{yr}$)

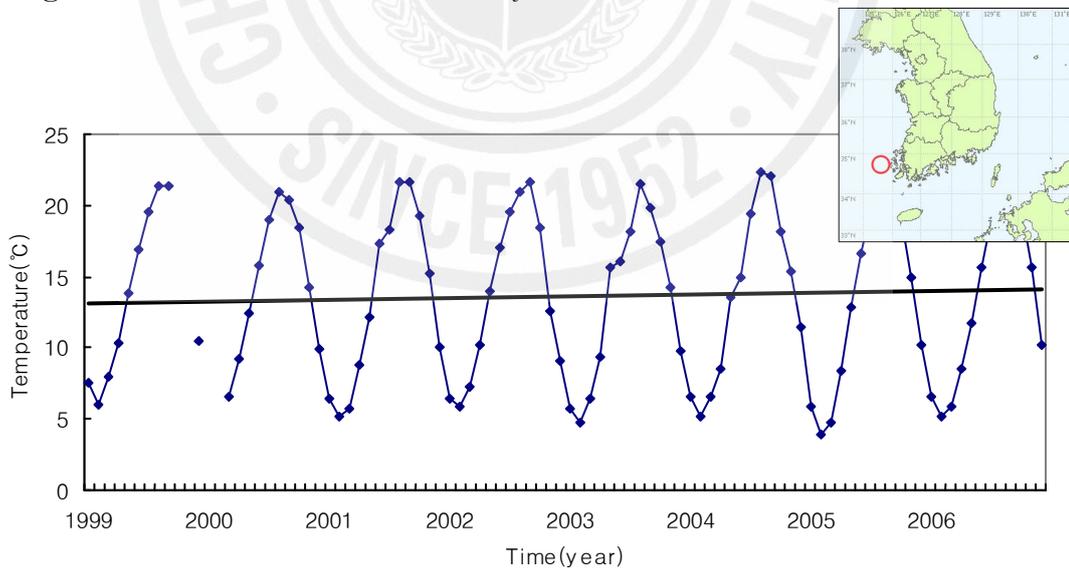


Fig. 88. Monthly records of sea surfacer temperature observed in Chilbaldo during 1999~2006 (Variation : $1^{\circ}\text{C}/8\text{yr}$)

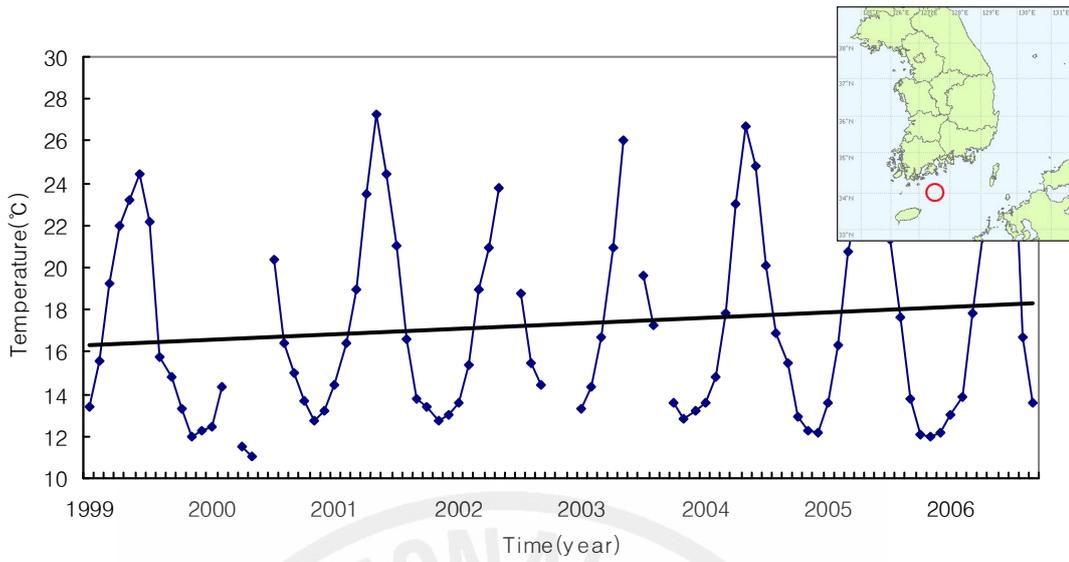


Fig. 89. Monthly records of sea surfacer temperature observed in Geomundo during 1999~2006 (Variation : 1.8°C/8yr)

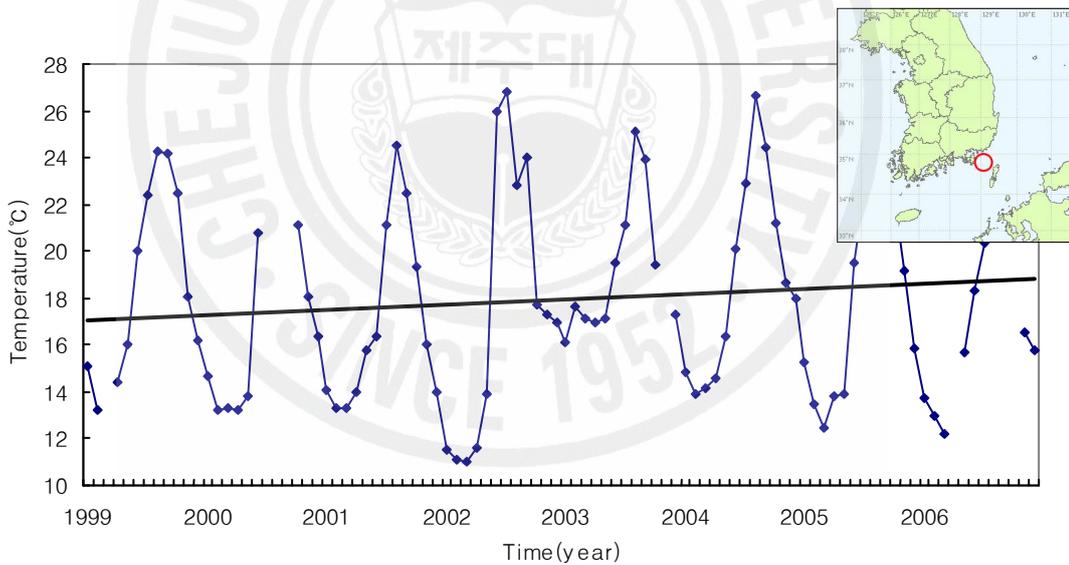


Fig. 90. Monthly records of sea surfacer temperature observed in Geojedo during 1999~2006 (Variation : 1.9°C/8yr)

각기 4군데의 Bouy 자료를 분석해본 결과 4군데 모두 해수면 온도는 상승하고 해가 갈수록 상승하고 있는 경향을 보이고 있으며, 8년 동안의 증가값은 덕적도

에서 1.3도, 칠발도에서 1도, 거문도에서 1.8도, 거제도에서 1.9도로 1도에서 2도 사이의 큰 폭의 증가가 있었다.

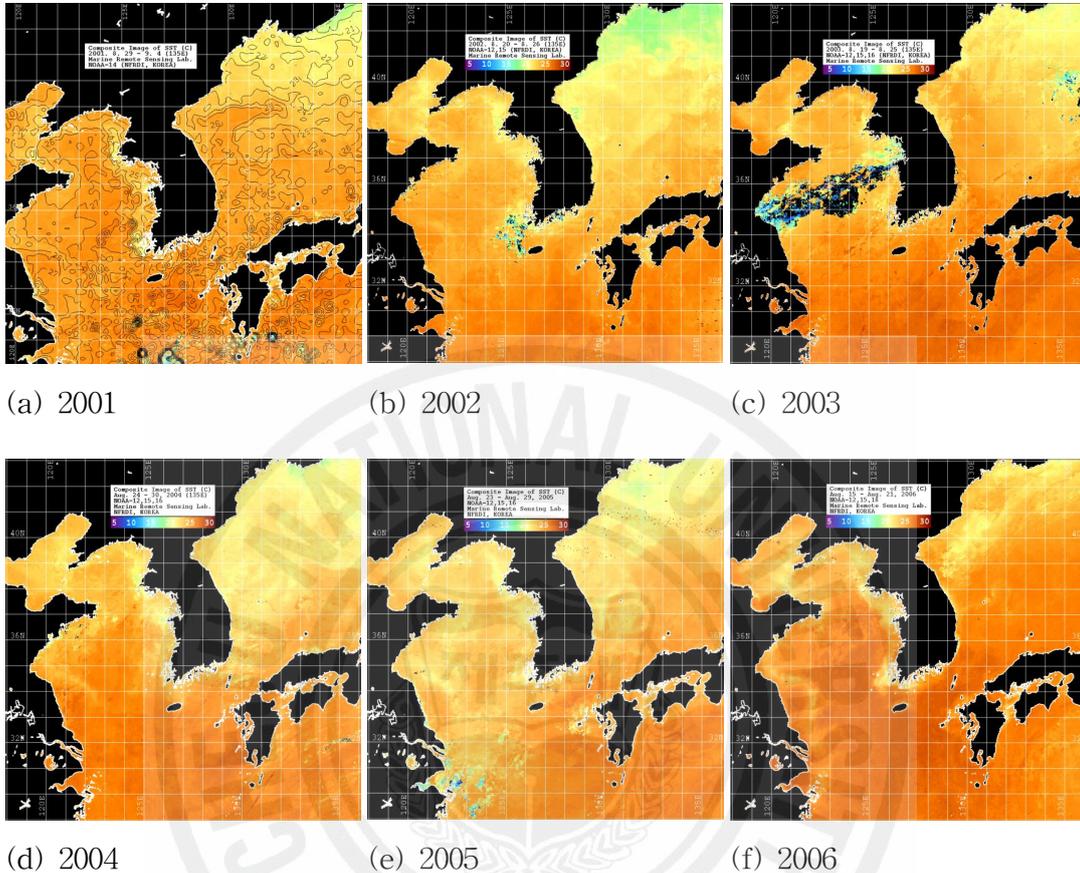


Fig. 91. The change of sea surface temperature at August (2001~2006)

위의 그림은 2001년부터 2006년까지 우리나라 8월의 근해 표층수온을 나타내 본 것이다. 위의 그림을 보면 해가 지날수록 점점 표층수온이 높아지는 경향을 보이고 있음을 알 수 있는데, 2006년의 근해 표층수온은 다른 년도에 비해 상당히 높았다는 것을 알 수 있다. 이런 해수면 온도 상승의 원인은 지난 100년에 걸친 온실 기체의 급격한 증가에 의한 지구 온난화 때문이라는 견해가 지배적이다. 지구 온난화로 인한 평균 기온 상승 및 해수면 온도의 상승은 악기상의 발생 횟수의 증가, 강수대의 변화와 해면 고도의 상승, 태풍 강도 강화 등 인류 생존에 직결되는 많은 변화를 일으킬 것으로 사료된다.

5. 제주도의 일강수량과 최대순간풍속 극값 변화 경향

앞의 분석에서 한반도의 일강수량 및 풍속의 강도 경향은 점점 증가하는 추세를 보이고 있으며, 기온 및 주변 해역 수온도 점차 증가하고 있는 경향을 보이고 있음을 알게 되었다. 하지만 제주도는 그 지리적 위치상 한반도의 최남단에 위치한 섬 지형으로써 일반적인 기후분류상 아열대기후대에서 온대기후대로의 전이 지대에 위치하고 있다. 이러한 지리적 특성 때문에 제주도는 대륙성 기후보다는 해양성 기후의 특징을 가지고 있기 때문에 한반도 내의 다른 지점과는 다른 기후특성을 보인다.

여기서는 제주도 내 4개 지점에서의 일강수량 및 최대순간풍속 극값의 변화를 살펴보고 제주도에서는 어떠한 변화 경향을 보이고 있는지 분석해보았다.

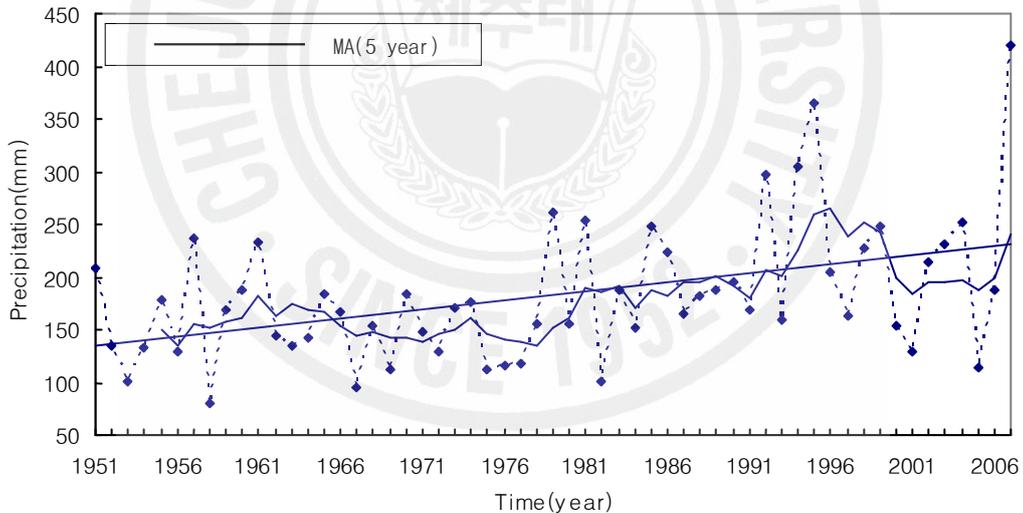


Fig. 92. The annual extreme value of daily precipitation observed in Jeju-do during 1951~2007 (Variation : 95mm/57yr)

Fig. 92는 제주도 내 4개 지점에서 관측된 일강수량 극값자료의 변화 추이를 나타낸 것이다. 특히 제주도는 2007년 제 11호 태풍 ‘나리’에 의해 큰 피해를 입

있기 때문에 여기서는 2007년의 자료까지 추가하였다. 위의 자료를 보면 1950년대보다 2000년대 들어와서 일강수량 극값이 무려 100mm 이상 증가하였다는 것을 알 수 있다.

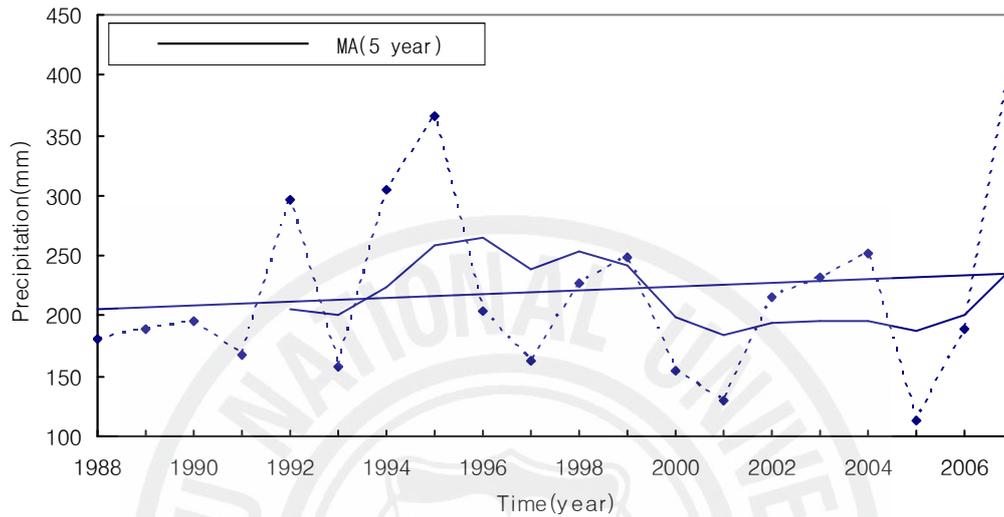


Fig. 93. The annual extreme value of daily precipitation observed in Jeju-do during 1988~2007 (Variation : 30mm/20yr)

Fig. 93는 1988년부터 2007년까지의 제주도의 일강수량 극값 변화 경향을 나타내본 것이다. 1988년부터 2007년까지 기간을 설정한 이유는 제주도 고산 지점의 관측이 1988년부터 시작되었기 때문이다. 1988년부터의 변화 경향은 1951년부터 나타낸 자료보다는 그 증가경향이 덜하나 역시 상승하고 있는 경향을 보임을 알 수 있다.

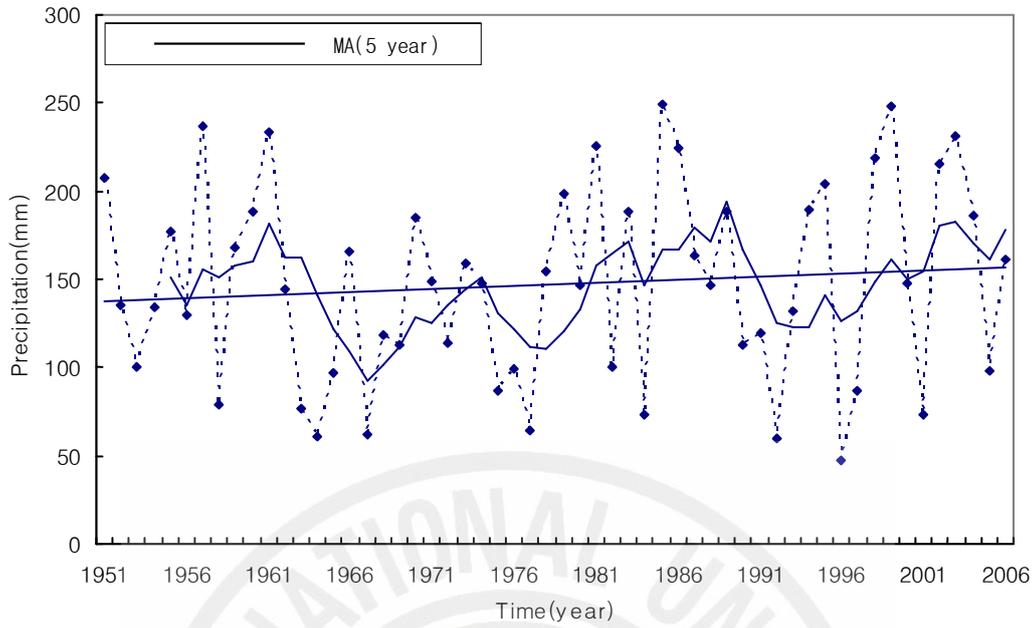


Fig. 94. The annual extreme value of daily precipitation observed in Jeju during 1951~2007 (Variation : 20mm/57yr)

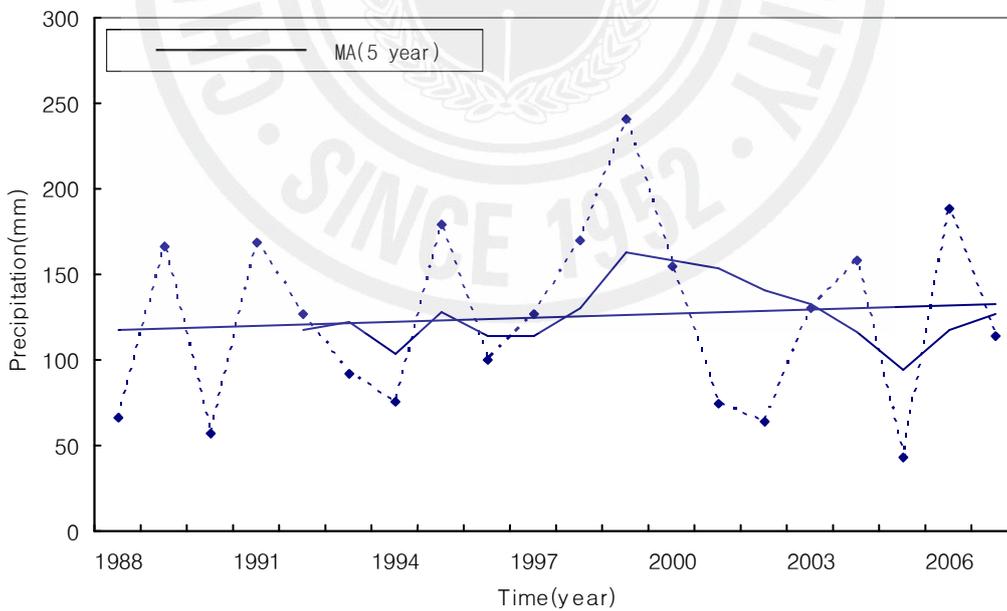


Fig. 95. The annual extreme value of daily precipitation observed in Gosan during 1988~2007 (Variation : 20mm/20yr)

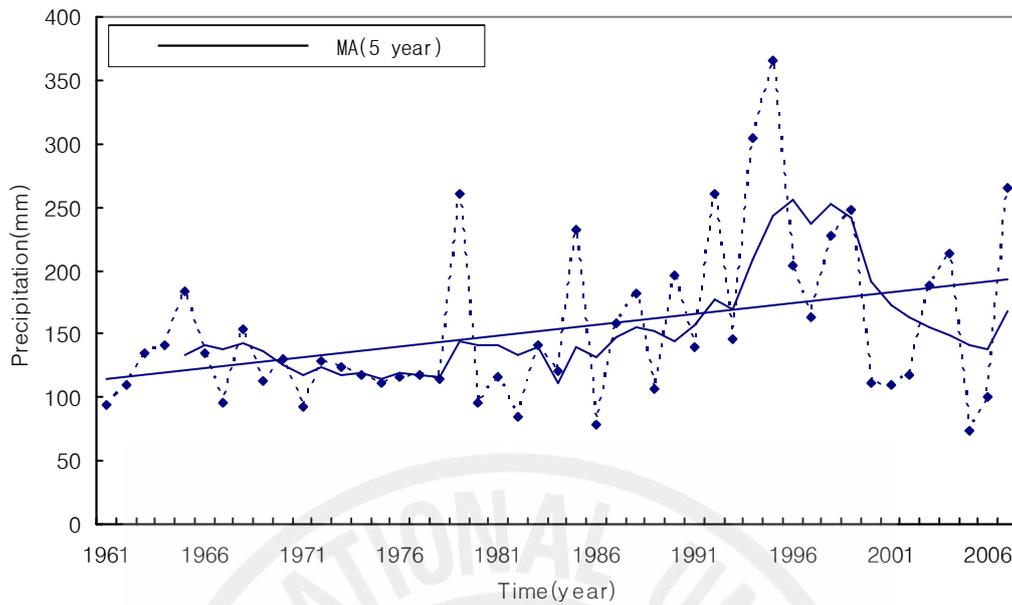


Fig. 96. The annual extreme value of daily precipitation observed in Seogwipo during 1961~2007 (Variation : 80mm/47yr)

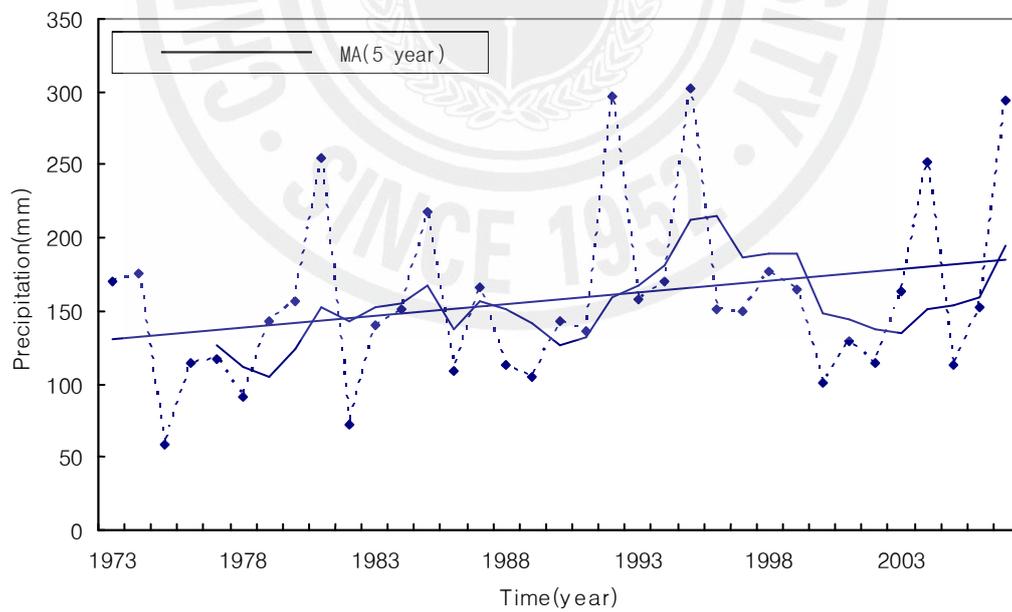


Fig. 97. The annual extreme value of daily precipitation observed in Seongsan during 1973~2007 (Variation : 55mm/35yr)

위의 그림은 제주도 내 4개 지점에서의 년별 일강수량 극값 자료를 시계열로 나타내 본 것이다. 거의 모든 지역에서 증가하고 있는 경향을 볼 수 있는데, 가장 많은 증가를 기록한 곳은 서귀포인데 1961년부터 2007년까지 80mm 이상 강수량이 증가하였다.

다음은 제주도내의 최대순간풍속 극값 자료를 나타낸 자료이다. 역시 일강수량과 마찬가지로 증가하고 있는 경향을 보이고 있으며 1988년부터 기간을 설정한 자료역시 증가하는 경향을 보인다.

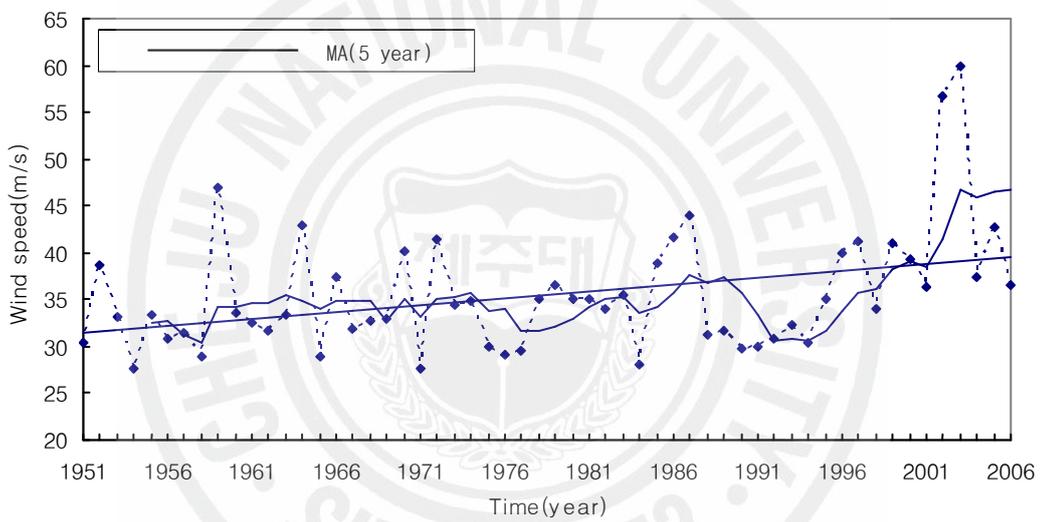


Fig. 98. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Jeju-do during 1951~2007 (Variation : 10m/s/57yr)

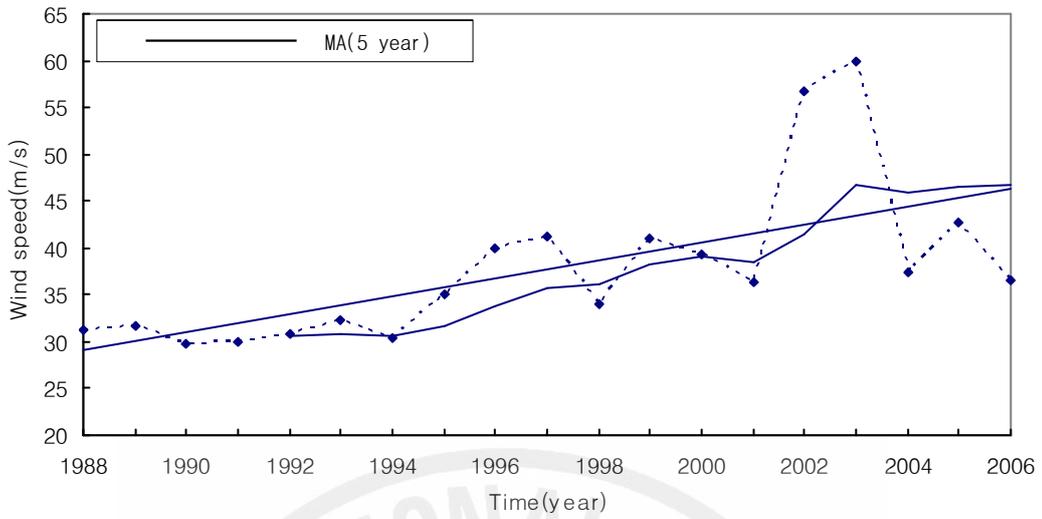


Fig. 99. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Jeju-do during 1988~2007 (Variation : 19.5m/s/20yr)

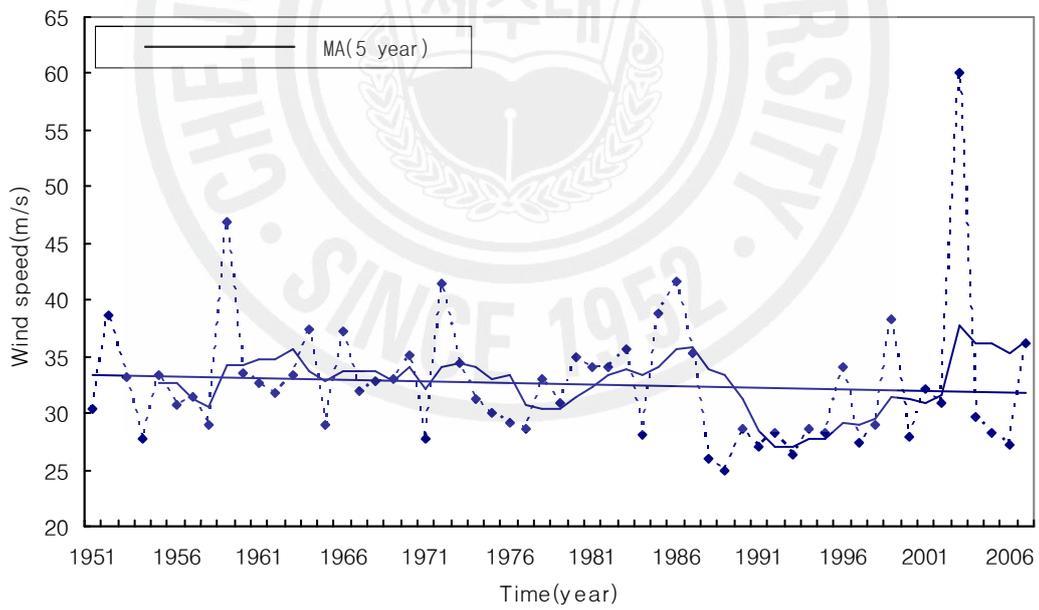


Fig. 100. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Jeju during 1951~2007 (Variation : -2m/s/57yr)

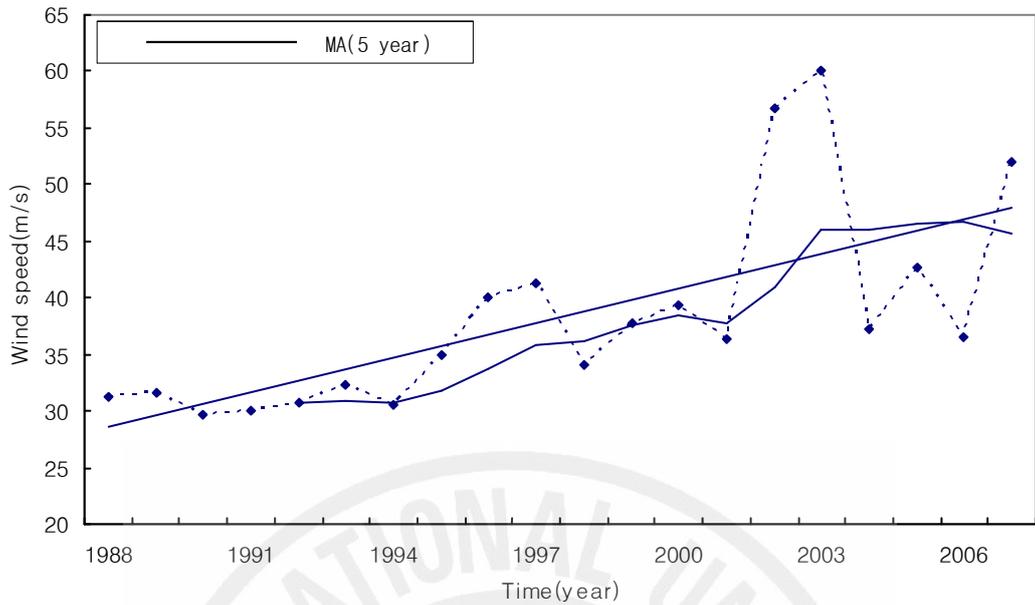


Fig. 101. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Gosan during 1988~2007 (Variation : 20m/s/20yr)

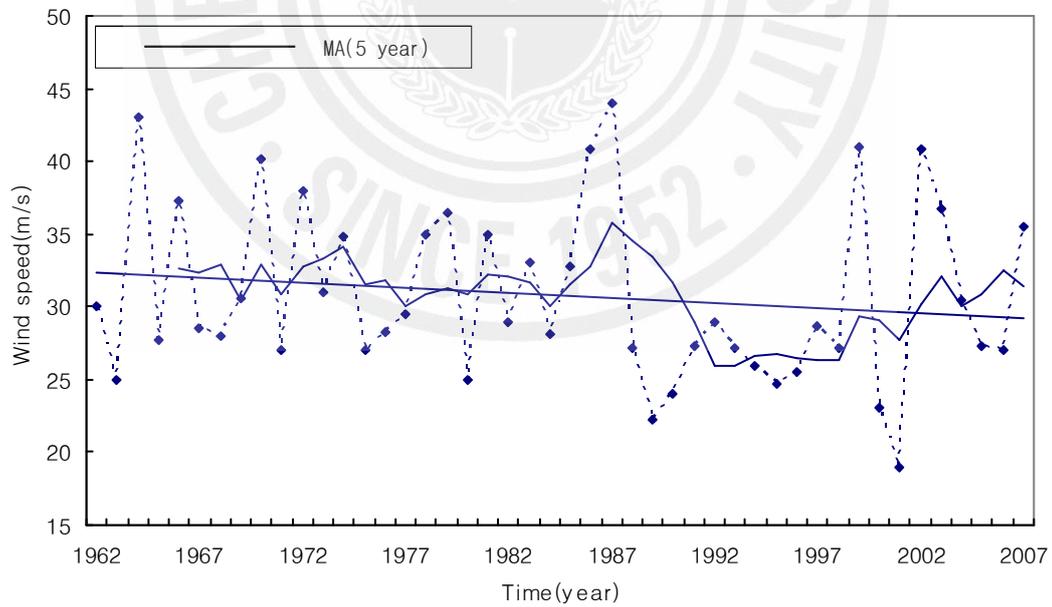


Fig. 102. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Seogwipo during 1962~2007 (Variation : -4m/s/46yr)

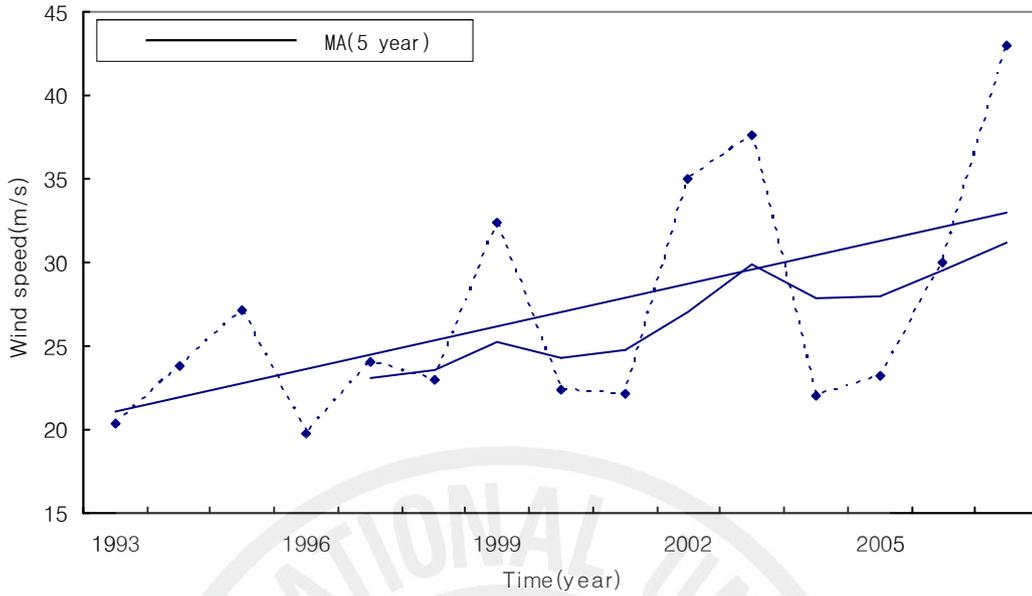


Fig. 103. The annual extreme value of maximum instantaneous wind speed observed in Seongsan during 1993~2007 (Variation : 9m/s/15yr)

Fig. 104은 제주도의 최대풍속 극값 변화를 나타내본 것이다. 그 변화 경향을 보면 앞에서 7개 지점을 가지고 살펴봤을 때 감소 경향이 나타났던 것과는 달리 그 값이 증가하고 있음을 알 수 있다.

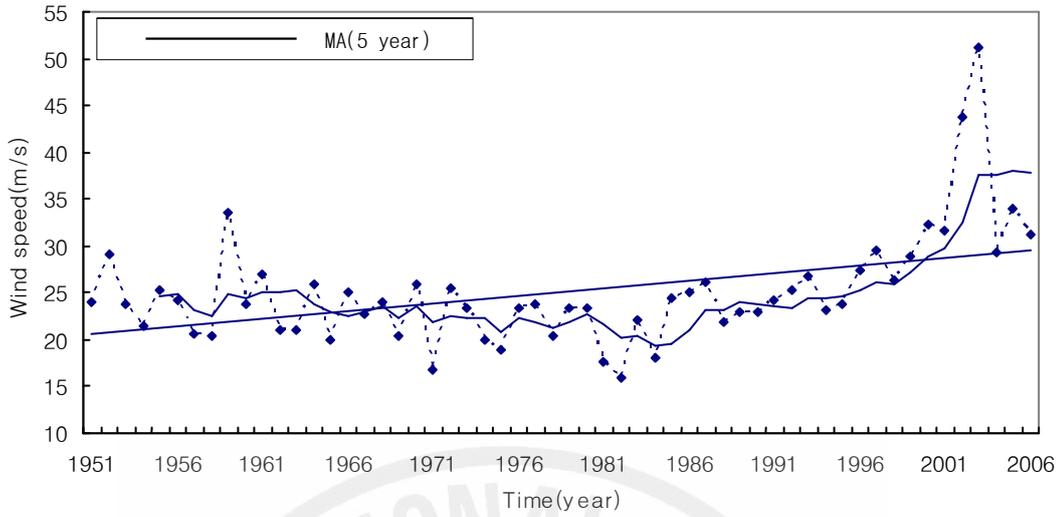


Fig. 104. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Jeju-do during 1951-2007 (Variation : 10.5m/s/57yr)

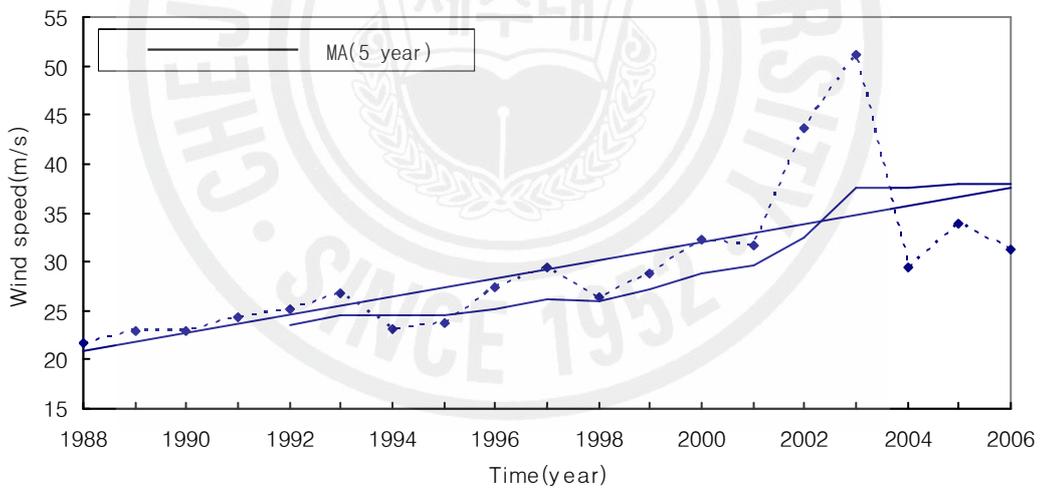


Fig. 105. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Jeju-do during 1988-2007 (Variation : 19m/s/20yr)

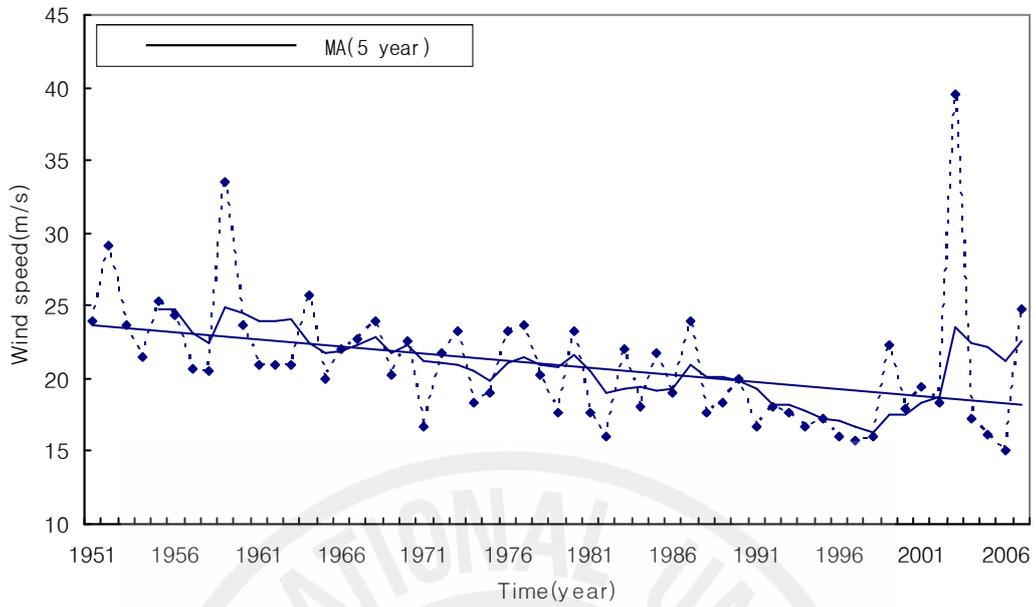


Fig. 106. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Jeju during 1951~2007 (Variation : $-6\text{m/s}/57\text{yr}$)

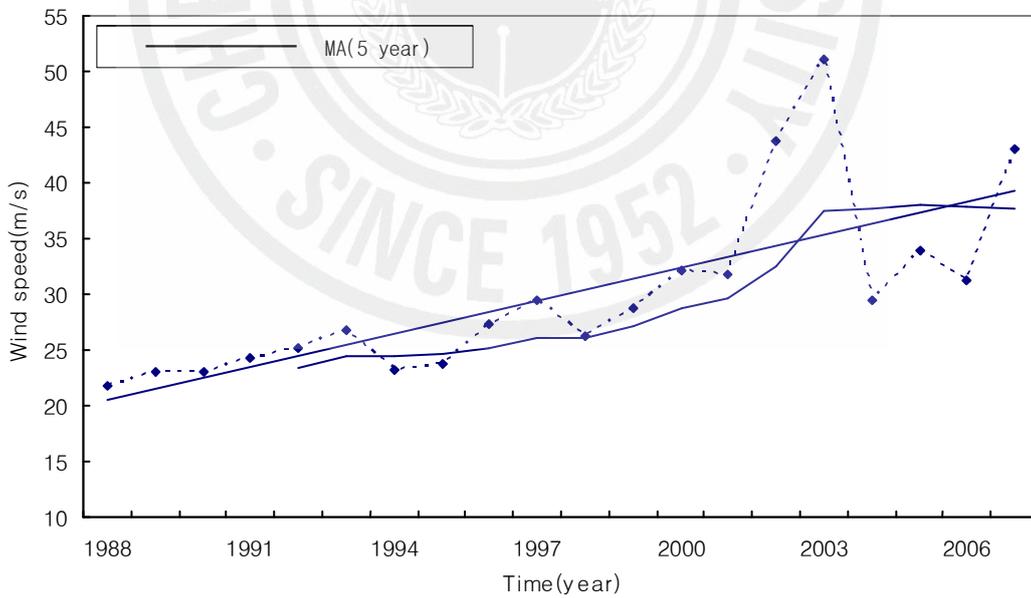


Fig. 107. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Gosan during 1988~2007 (Variation : $19\text{m/s}/20\text{yr}$)

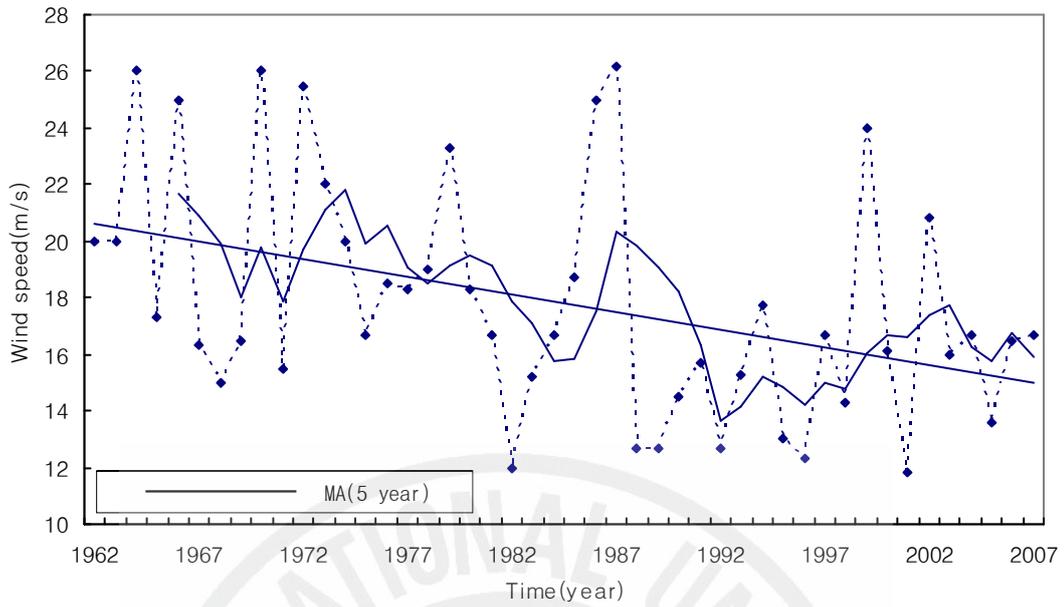


Fig. 108. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Seogwipo during 1962~2007 (Variation : -16m/s/46yr)

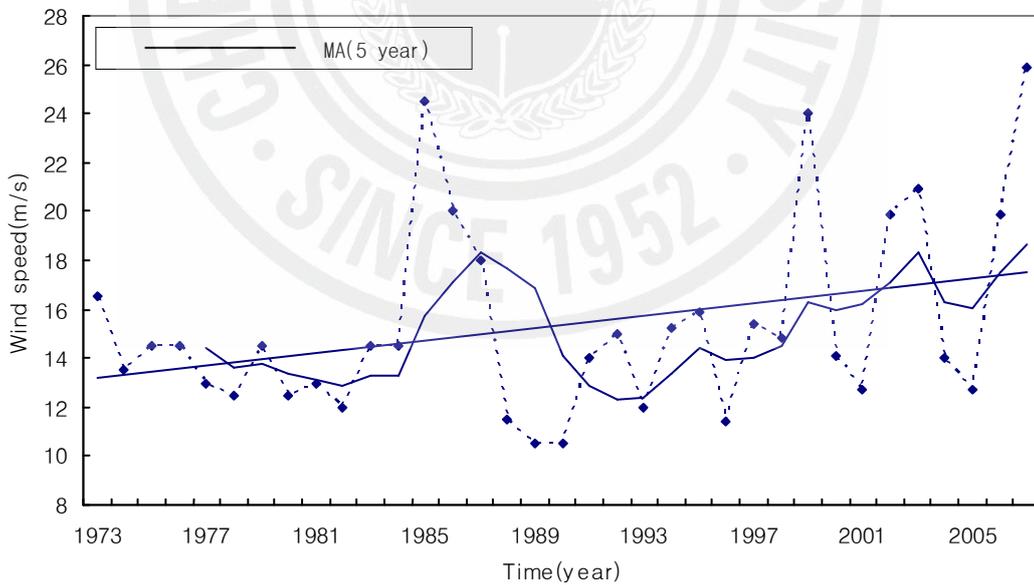


Fig. 109. The annual extreme value of maximum wind speed observed in Seongsan during 1973~2007 (Variation : 4m/s/35yr)

변화 경향을 좀더 자세히 알아보기 위해 제주도 4개 지점별로 변화경향을 나

타내 보았다. 최대순간풍속을 보면 고산과 성산은 증가하고 있는 반면 제주와 서귀포는 일정하거나 약간 감소하는 경향을 보였다. 최대풍속의 변화경향도 고산과 성산은 확실히 증가하고 있는 경향을 보이거나, 나머지 지점은 감소하고 있는 경향을 보였다. 고산과 성산의 증가 경향은 관측 지점의 지형적인 특색 때문인 것으로 사료된다.



IV. 결론

56년간 한반도에서 관측된 일강수량과 최대순간풍속 극값을 분석하여 한반도 악기상의 장주기 변화를 살펴보았다. 분석을 위해 우선 우리나라 전 지역에서 관측된 기상 자료 중 년별 극값자료의 변화과정을 나타내었고 관측 지점의 증가에서 오는 영향을 피하기 위해 각각의 기상자료 별로 7개 지점을 선별하여 지역별로 변화 경향을 나타내었다.

지난 56년간 모든 관측 자료를 이용하여 구한 일강수량의 년별 극값 변화 경향을 보면 과거 56년간 일강수량이 230mm 증가하였다. 지점별 일강수량 극값자료를 보면 제주 20mm, 강릉 80mm, 부산 30mm, 광주 50mm, 목포 100mm, 울산 30mm, 인천 40mm의 증가 경향을 보였다. 56년간 연속적인 자료가 존재하는 7개 지점만을 놓고 분석해 보았을 때는 120mm의 증가경향을 보였다. 자세한 분석을 위해 연속된 자료가 존재하는 36년간 15개 지점을 분석해 본 자료도 100mm 증가를 보였다.

강수 강도 분석은 지점별로 Karl and Kinght(1998)이 사용한 특정한 계급 구간에 대한 빈도와 기여도 계산방법을 이용하여 분석하였다. 여기서 모든 지점에서 낮은 계급, 즉 강수량이 적은 날이 전체 강수일수에서 차지하는 비율은 감소하고, 강수량이 많은 날이 전체 강수일수에서 차지하는 비율은 증가하는 추세를 보였다. 또한 전체 강수량을 강수일수로 나눈 연간 강수강도를 보면, 점점 증가하는 경향을 보였다. 이런 결과들은 한반도에서의 호우 경향은 점점 더 증가하고 있음을 나타낸다.

모든 관측 자료를 이용한 최대순간풍속 극값은 56년 동안 15m/s의 증가경향을 보였으나, 지점별로 분석해보면 여수만이 8m/s 증가량을 보였고 나머지 지점은 모두 감소하는 추세를 보였다. 좀 더 자세한 분석을 위해 7개 지점의 최대풍속 극값자료를 분석해 본 결과도 최대순간풍속 자료와 마찬가지로 여수를 제외하고 모두 감소하는 경향을 보였다.

강풍이 나타난 빈도수를 살펴보면, 강풍주의보의 기준인 최대풍속이 14m/s를

넘었던 날 수의 56년간 변화 경향을 보면 울산이 80회, 제주가 40회, 서귀포가 15회, 목포가 40회, 부산이 65회, 여수가 10회, 강릉이 15회, 울릉도가 20회로 감소하였다. 그리고 강풍경보의 기준인 최대풍속이 21m/s를 넘었던 날 수 역시 전 지점에서 감소하는 추세를 보였다. 마지막으로 7개 지점 만을 두고 최대순간풍속 극값과 최대풍속 변화경향을 보면 최대순간풍속은 56년간 6m/s 증가하는 반면 최대풍속은 10m/s로 감소하였다. 하지만 36년간 15개 지점의 분석결과는 2m/s, 6m/s로 감소하였다. 이것은 한반도의 풍속 강도는 강수량의 경우와는 달리 감소하는 경향을 보임을 알 수 있다. 이는 도시화로 인한 마찰의 증가가 그 원인인 것으로 보인다.

일강수량 극값과 최대순간풍속 극값이 나타나는 비율을 월별로 살펴보면 일강수량 극값은 7, 8, 9월, 최대순간풍속은 8, 9월에 집중되었음을 알 수 있는데 이것은 여름철에 우리나라에 영향을 주는 태풍과 밀접한 관련이 있다. 실제로 56년간 일강수량 극값 자료 중 41%인 23번, 최대순간풍속 극값 자료 중 48%인 27번이 태풍시기에 관측되었다. 실제로 56년간 다른 요인은 배제하고 오직 태풍에 의해서만 기록된 년별 일강수량 극값자료와 최대순간풍속 극값자료를 추려내어 분석해본 결과 일강수량 극값은 56년간 250mm 증가하였고, 최대순간풍속은 10m/s로 증가하였다.

그러나 그에 반해 매년 우리나라에 영향을 주는 태풍의 개수를 분석해보면 56년간 증가하는 경향은 보이지 않았다. 결론적으로 우리나라에 영향을 미친 태풍의 개수는 증가하는 경향을 보이지 않지만 그 강도는 점점 더 강해지고 있음을 알 수 있다. 실제로 태풍이 내습한 기간에 한반도에서 관측된 일최저기압 극값의 변화 경향을 살펴보면 그 값은 56년간 10hPa 이상의 하강하였고, 80년대 이후로 큰 폭으로 하강한 값들이 많음을 알 수 있다.

한반도의 온난화 경향을 살펴보기 위해 대구, 울산, 광주, 포항, 목포, 전주, 강릉의 7개 지점을 선정하여 최고기온과 최저기온의 지점별 변화 경향을 살펴보면, 최고기온은 대구, 울산, 광주, 목포에서는 1℃ 내외로 감소하는 반면 최저기온은 모든 지점에서 1℃에서 3℃ 정도로 증가하였다. 이것은 최저기온의 상승이 한반도의 온난화의 주요요인으로 작용하고 있음을 나타낸다.

기온 상승과 더불어 한반도 주변 해역의 수온도 상승하고 있다. 덕적도, 칠발

도, 거문도, 거제도 Buoy의 수온 자료를 분석해 보면 1999년부터 2007년 동안 덕적도 1.3℃, 칠발도 1℃, 거문도 1℃, 거제도 1.9℃로 증가하였고, 2001년부터 2006년까지 우리나라 8월의 근해 표층수온의 변화를 살펴보아도 수온이 점점 증가하고 있음을 알 수 있다.

이렇듯 한반도의 온난화에 기인한 기온 상승 및 해수면 온도의 상승은 악기상의 발생 횟수의 증가, 강수대의 변화와 해면 고도의 상승, 태풍 강도 강화 등 인류 생존에 직결되는 많은 변화를 일으킬 것으로 사료된다.

끝으로 우리나라 남단에 위치하며 육지의 영향이 비교적 적은 제주도에서 일강수량과 최대순간풍속이 극값을 조사하였다. 제주도의 일강수량은 57년간 30mm로 증가하였고, 최대순간풍속은 10m/s, 최대풍속은 10.5m/s의 증가하였다. 하지만 각 지역별로 그 변화경향을 살펴보면 일강수량은 지역별로 증가하는 경향을 보이지만 최대순간풍속과 최대풍속은 고산과 성산에서만 증가하는 경향을 보였다.

고산과 성산은 다른 지역에 비해 풍속이 센 구역인데 이는 해양과 접해있어 고산은 북서풍 계열의 바람, 성산은 남동풍 계열의 바람을 직접적으로 받는 지형적인 특색에서 오는 결과인 것으로 사료된다.

이상의 결과들을 종합하면 한반도의 온난화 경향은 계속 진행 중에 있으며 그로 인해 발생하는 악기상의 강도는 점점 증가하고 있는 것으로 사료된다. 특히 태풍의 강도 증가로 인한 일강수량 증가는 한반도 전 지역에서 공통적으로 발생하고 있는 현상이며 도시화로 인해 강한 풍속이 나타나는 비율과 평균적인 풍속은 점점 줄어들고 있는 추세이나 악기상시 순간적인 강도는 강해지고 있다.

IPCC 보고서에 따르면 지금과 같이 화석연료에 의존한 인간 활동이 지속된다면 21세기말(2090~2099년)에 지구의 평균기온은 최대 6.4도 상승할 것으로 전망했다. 이 전망이 맞다면, 미래에 한반도에서 악기상 강도는 발생률은 현재보다 더욱 증가할 것으로 예상된다.

요 약

우리나라에서 발생하는 자연재해에는 여름철 집중 호우, 태풍, 장마 및 겨울철 폭설 그리고 이에 동반된 강풍 등의 악기상과 관련된 재해가 대부분이다. 특히 2000년대 이후 집중 호우나 강풍에 의한 피해가 점점 더 증가하고 있다.

본 연구에서는 1951년부터 2006년까지 연간 일강수량과 최대순간풍속의 극값 자료를 이용하여 한반도 악기상 강도의 변화 특성을 조사하였다. 그 결과 일강수량 극값은 56년간 230mm, 최대순간풍속 극값은 15m/s 증가한 것으로 나타났다.

관측 지점 수의 변화에서 오는 영향을 배제하기 위해 각각 7개 지점으로 나누어서 분석해본 결과 일강수량 모든 지점에서 증가하는 경향을 보였지만 최대순간풍속 극값 자료는 대부분의 지역이 감소하는 경향을 보였다.

좀 더 자세한 분석을 위해 일강수량 자료는 지점별로 Karl and Knight(1998)이 사용한 특정한 계급 구간에 대한 빈도와 기여도 계산방법을 이용하여 분석하였다. 그 결과 모든 지점에서 강수량이 적은 날이 전체 강수일수에서 차지하는 비율은 감소하는 추세를 보였고, 강수량이 많은 날이 전체 강수일수에서 차지하는 비율은 증가하는 추세를 보였다. 또한 전체 강수량을 강수일수로 나눈 강수강도도 점점 증가하는 경향을 보였다.

풍속의 자세한 변화 경향을 살펴보기 위해 7개 지점의 최대풍속 극값자료 및 강풍주의보의 기준인 최대풍속이 14m/s를 넘었던 날과 강풍경보의 기준인 최대풍속이 21m/s를 넘었던 날 수의 변화경향을 살펴보았다. 대부분의 지역에서 감소하는 경향을 보였지만 7개 지점 만을 두고 최대순간풍속 극값과 최대풍속 변화경향을 나타낸 자료에는 최대풍속은 10m/s의 감소하였고, 최대순간풍속은 6m/s로 증가하였다. 하지만 36년간 15개 지점의 분석결과는 2m/s, 6m/s로 감소하였다. 이것은 한반도의 풍속 강도는 강수량의 경우와는 달리 감소하는 경향을 보임을 알 수 있다. 이는 도시화로 인한 마찰의 증가가 그 원인인 것으로 보인다.

실제로 일강수량과 최대순간풍속에서 나타난 한반도 악기상 강도의 증가는 한반도에 영향을 미친 태풍의 강도 변화와 밀접한 관련이 있다. 56년간 일강수량

극값 자료 중 41%인 23번, 최대순간풍속 극값 자료 중 48%인 27번이 태풍에 의한 영향으로 발생하였으며, 56년간 다른 요인은 배제하고 오직 태풍에 의해서만 기록된 년별 일강수량 극값자료와 최대순간풍속 극값도 크게 증가하는 경향을 보였다. 한반도에 영향을 준 태풍의 개수와 강도를 살펴보면 그 개수는 증가하는 경향을 보이지 않았으나 그 강도는 점점 증가하는 것으로 나타났다. 실제로 태풍 내습이 기간에 한반도에서 관측된 일최저기압 극값의 변화 경향을 살펴보면 그 값은 점점 더 하강하는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 태풍강도의 증가가 한반도에서 일강수량과 최대순간풍속의 극값을 증가시키는 중요한 요인인 것으로 사료된다.

한반도의 온난화 경향을 살펴보기 위해 7개 지점을 선정하여 그 변화 경향을 살펴보면, 최고기온은 1도 내외로 감소하는 지역이 4곳이었던 반면 최저기온은 모든 지점에서 1도에서 3도 정도로 증가하였다. 또한 한반도 주변 해역의 4군데 Buoy에서 관측된 수온 자료는 1~2도로 증가하였으며 2001년부터 2006년까지 우리나라 8월의 근해 표층수온의 변화를 살펴보아도 수온이 점점 증가하고 있음을 알 수 있다.

이렇듯 한반도의 온난화에 기인한 기온 상승 및 해수면 온도의 상승은 악기상의 발생 횟수의 증가, 강수대의 변화와 해면 고도의 상승, 태풍 강도 강화 등 인류 생존에 직결되는 많은 변화를 일으킬 것으로 사료된다.

끝으로 우리나라 남단에 위치하며 육지의 영향이 비교적 적은 제주도에서 일강수량과 최대순간풍속이 극값을 조사하였다. 제주도의 일강수량은 57년간 30mm로 증가하였고, 최대순간풍속은 10m/s, 최대풍속은 10.5m/s의 증가하였다. 하지만 각 지역별로 그 변화경향을 살펴보면 일강수량은 지역별로 증가하는 경향을 보이지만 최대순간풍속과 최대풍속은 고산과 성산에서만 증가하는 경향을 보였다.

고산과 성산은 다른 지역에 비해 풍속이 센 구역인데 이는 해양과 접해있어 고산은 북서풍 계열의 바람, 성산은 남동풍 계열의 바람을 직접적으로 받는 지형적인 특색에서 오는 결과인 것으로 사료된다.

이상의 결과들을 종합하면 한반도의 온난화 경향은 계속 진행 중에 있으며 그로 인해 발생하는 악기상의 강도는 점점 증가하고 있는 것으로 사료된다. 특히

태풍의 강도 증가로 인한 일강수량 증가는 한반도 전 지역에서 공통적으로 발생하고 있는 현상이며 도시화로 인해 강한 풍속이 나타나는 비율과 평균적인 풍속은 점점 줄어들고 있는 추세이나 악기상시 순간적인 강도는 강해지고 있다. IPCC 보고서에 따르면 지금과 같이 화석연료에 의존한 인간 활동이 지속된다면 21세기말(2090~2099년)에 지구의 평균기온은 최대 6.4도 상승할 것으로 전망했다. 이 전망이 맞는다면, 미래에 한반도에서 악기상 강도는 발생률은 현재보다 더욱 증가할 것으로 예상된다.



참고문헌

- 권태영 · 오성남 · 박상욱. 1998. 한반도 여름 강우의 장기변동과 지역적 특성, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 34 : 20-30.
- 김맹기 · 강인식 · 곽종흠. 1999. 최근 40년간 한반도 도시화에 따른 기온 증가량의 추정, *한국기상학회지*, 35(1) : 118-126.
- 기상청. 1996. 태풍백서, TYPHOON WHITE BOOK, pp. 22-31, 202.
- 기상청. 2006. 기상연감, pp. 394-395.
- 기상청. 1984. 한국태풍 80년보, TYPHOON REPORT OF KOREA, pp. 1904-1983, 353-364.
- 김주홍 · 허창희 · 백종진 · Gong, Daoyi. 2002. 1951~1999년 동안의 북서 태평양의 태풍 활동 변화, *대기(한국기상학회보)*, pp. 119-122.
- 김주홍 · 허창희 · 백종진. 2002. 1951~2001년 동안 한반도 주변을 통과하는 태풍에 관한 연구, *대기(한국기상학회보)*, pp. 436-440.
- 류상범. 2001. 장마의 어원과 정의에 대하여, *한국기상학회지*, 대기 11 : 6-12.
- 백희정 · 권원태. 1994. 도시화로 인한 한반도 기온의 변화 경향 분석, *기상연구논문집*, 11(1) : 12-26.
- 문일주 · 최의수 · 심재설 · 박광순. 2007. 기후변화에 따른 한반도상륙 태풍강도 변화, 2007년 한국기상학회 봄 학술대회 논문집, pp. 312-313.
- 문일주 · 최의수 · 강석구 · 오상명 · 임명순. 2007. 한반도 상륙 태풍강도를 결정하는 해양의 요소, 2007년 한국기상학회 봄 학술대회 논문집, pp. 320-321.
- 문일주. 2006. 지구온난화와 슈퍼태풍, 제4차 기후변화학술대회 논문집, 제주도 서귀포, 11월 23~24일.
- 문일주 · 심재설 · 민인기 · 최의수. 2007. 이어도 과학기지의 해양·기상학적 중요성, 이어도 연구회 학술세미나 논문집, 제주도, 3월 9일.
- 이명인 · 강인식. 1997. 도시화에 의한 기온 상승. *한국기상학회지*, 33(3) : 429-443.
- 최영진 · 문자연. 2000. 한국의 여름철 일 강우강도 변화경향, pp. 339-342.
- 차은정 · 전종갑 · 정효상. 1999. 엘니뇨/라니냐 해의 우리나라 기후 특성에 관한

- 연구, Journal of the Korean Meteorological Society, 35(1) : 98-117.
- Byun H.R. · Lee D.K. · 2002. Defining Three Rainy Seasons and the Hydrological Summer Monsoon in Korea using Availavle Water Resource Index, J.Meteor.Soc.Japan, 80(1) : 33-44.
- Choi, Y.-E. · H.-S. Jung · K.-Y. Nam · W.-T. Kwon. 2003. Adjusting urban bias in the regional mean surface temperature series of South Korea, 1968-99. Int. J. Climatol., 23 : 577-591.
- Easterling, D. R. · B. Horton, P.D. · Jones, T. C. · Peterson, T. R. · Karl, D. E. · Parker, M. J. · Salinger, V. · Razuvayev, N. · Plummer, P. · Jamason, C. K. Folland. 1997. Maximum and minimum temperature trends for the globe, Science, 277 : 364-367.
- Emanuel, K.. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years, Nature, 436 : 686-688.
- Han S.U. · Byun H.R.. 2006. The Existence and the Climatological Characteristics of the Spring Rainy Period in Korea, Int.J.Climatol, 20 : 637-654.
- Ha K.J. · Yun K.S. · Jhun J.G. · Park C.K.. 2005. Definition of Onset/Retreat and Intensity of Changma during the Boreal Summer Monsoon Season, Journal of the Korean Meteorological Society, 41(6) : 927-942.
- Ha K.J. · Park S.K. · Kim K.Y.. 2005.: On interThe annual characteristics of climate prediction center merged analysis precipitation over the korean peninsula curing the summer monsoon season, Int.J.Climatol, 25 : 99-116.
- Karl, T. R. · R. W. Knight. 1995. Secular trends of precipitation amount, frequency and intensity in the United States, Bull. Amer. Meteor, Soc, 79 : 231-241.
- KMA. 1995. Meteorological Stations Circumstance. Korea Meteorological Adminstration, Seoul (in Korean).
- Karl, T. R. · H. F. Dias · H. Kukla. 1988. Urbanization: its detection and effect in the United States climate record, J. Clim., 1 : 1099-1123.

- Landsberg. H. E.. 1981. The Urban climate. Academic Press, pp. 285
- Webster, et al.. 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment, Science, 309, : 1844-1846.
- Frei, C. Schar. 1998. Heavy precipitation processes in a warmer climate, Geophy. Res, Lett, 25 : 1431-1434.
- Weihong Qian · Lee D.K.. 2000. Seasonal March of Asian Summer Monsoon, Int.J.Climatol, 20 : 1371-1386.



감사의 글

학문에 대한 열의 하나로 무작정 뛰어들 2년여의 학위과정 동안 직장생활과 학업을 병행한다는 것이 얼마나 어렵고 고달픈 일인지 새삼 깨닫게 되었습니다.

늘 시간에 쫓기고 부족함이 많았던 저에게 늦은 시간까지 학교에 남으셔서 많은 가르침을 주신 문일주 교수님의 큰 은혜에 깊은 감사를 드립니다. 아울러 논문을 심사함에 있어 부족한 내용을 지적해주시고 많은 조언을 해주신 김석중 교수님과 이기호 교수님, 해양과학대학 학장님이시면서 바쁜 일정 속에서 저의 논문에 많은 관심을 가져주신 안장영 교수님, 학위과정 동안 부족한 저에게 많은 가르침을 주신 서두옥 교수님, 안영화 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 어업학과의 든든한 버팀목이 되어주신 김병엽 박사님과 김성호 선배님, 논문이 완성되기까지 물심양면으로 도움을 아끼지 않았던 강경범 조교, 힘들고 어려운 여건 속에서 항상 믿고 따르던 해양기상학 실험실 강경식, 오상명, 김성훈, 임명순, 이여울 후배님에게 감사드립니다.

그리고 바쁜 직장생활 속에서 학업에 열중할 수 있도록 많이 도와주시고 배려해주신 제주지방기상청 전상식 청장님과 김재호 예보과장님, 오봉학 사무관님, 강태진 계장님, 강희선 주임님 그리고 지면이 부족하여 다 적진 못하지만 제주지방기상청의 많은 동료 여러분들께도 깊은 감사의 마음을 전합니다.

오늘이 있기까지 멀리 대구에서 늘 저를 위해 기도해주시고 지금까지 온갖 정성과 깊은 사랑으로 저를 키워주신 어머니, 늘 든든하게 뒤에서 저를 지켜봐주시는 아버지, 지금은 멀리 있지만 항상 마음속으로 의지가 되는 저의 형님께 깊은 감사를 드립니다.

끝으로 힘든 타지 생활동안 늘 따뜻한 웃음과 관심으로 저를 지켜주고 보살피주는 양정임 양에게도 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

석사학위를 받기까지 힘들고, 어려운 시간들이 많았지만 옆에서 항상 지켜봐주시고 많은 도움을 주신 여러분들이 있었기에 무사히 마칠 수 있었습니다. 앞으로도 저를 지켜봐주시는 여러분을 실망시키지 않도록 노력하는 모습을 보여드리겠습니다. 다시 한번 머리 숙여 감사드립니다.