발 간 등 록 번 호
11-1360000-001713-01

OPEN 출처표시 상업용금지
공공누리 공공저작물 자유이용허락

해양기후 분석 보고서



기상청

목 차

제 1 장 서론 ····· 1

제 1 절 연구 배경 및 필요성 ····· 1

제 2 절 연구 목적 ····· 3

제 3 절 연구 내용 및 방법 ····· 3

제 2 장 해양기상 요소 장기 변화 분석 ····· 9

제 1 절 연평균 해양기후 변화 ····· 9

1. 평균/극한 유의파고 ····· 9

2. 평균/극한 풍속 ····· 29

3. 표층 수온 ····· 49

4. 파력 ····· 59

제 2 절 계절별 해양기후 변화 ····· 62

1. 평균/극한 유의파고 ····· 62

2. 평균/극한 풍속 ····· 100

3. 표층 수온 ····· 138

제 3 절 관측자료 기반 한반도 주변 해양기후 변화 ····· 157

1. 연평균 해양기후 변화 ····· 157

2. 계절별 해양기후 변화 ····· 165

제 3 장 종합 분석 ····· 177

제 1 절 전 지구 및 지역 해양기후 변화 ····· 177

1. 평균 유의파고 ····· 177

2. 극한 유의파고 ····· 178

3. 평균 풍속 ····· 179
4. 극한 풍속 ····· 180
5. 표층 수온 ····· 181
제 2 절 한반도 주변 해양기후 변화 ····· 182
제 3 절 결 론 ····· 185

참고문헌 ····· **189**

부록 ····· **193**

그림목차

<그림 1-1-1> 기상청 연 기후특성 보고서 분석 내용 예시 ····· 1

<그림 1-3-1> 해양기상부이 관측 지점 분포 현황 ····· 5

<그림 2-1-1> 연별 전 지구 유의파고 평균값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 9

<그림 2-1-2> 전 지구 구평년(상) 및 신평년(하) 평균 유의파고 공간분포도 ····· 10

<그림 2-1-3> 전 지구 평균 유의파고 편차 공간분포도 ····· 11

<그림 2-1-4> 연별 전 지구 평균 유의파고 편차 시계열 (편차 기준 : 1991~2020 년) ····· 11

<그림 2-1-5> 연별 동아시아 유의파고 평균값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 12

<그림 2-1-6> 동아시아 구평년(좌) 및 신평년(우) 평균 유의파고 공간분포도 ····· 13

<그림 2-1-7> 동아시아 평균 유의파고 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우) ····· 14

<그림 2-1-8> 연별 한반도 연근해 유의파고 평균값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 15

<그림 2-1-9> 한반도 연근해 10 년 간격 유의파고 평균 분포도 (1981~2020 년) ····· 16

<그림 2-1-10> 한반도 연근해 구평년(좌) 및 신평년(우) 평균 유의파고 공간분포도 ····· 17

<그림 2-1-11> 한반도 연근해 평균 유의파고 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우) · 18

<그림 2-1-12> 연별 전 지구 유의파고 극한값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 19

<그림 2-1-13> 전 지구 구평년(상) 및 신평년(하) 극한 유의파고 공간분포도 ····· 20

<그림 2-1-14> 전 지구 극한 유의파고 편차 공간분포도 ····· 21

<그림 2-1-15> 연별 전 지구 극한 유의파고 편차 시계열 (편차 기준 : 1991~2020 년) ····· 21

<그림 2-1-16> 연별 동아시아 유의파고 극한값 및 추세(1981~2020 년) ····· 22

<그림 2-1-17> 동아시아 구평년(좌) 및 신평년(우) 극한 유의파고 공간분포도 ····· 23

<그림 2-1-18> 동아시아 극한 유의파고 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우) ····· 24

<그림 2-1-19> 연별 한반도 연근해 유의파고 극한값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 25

<그림 2-1-20> 한반도 연근해 10 년 간격 유의파고 평균 분포도 (1981~2020 년) ····· 26

<그림 2-1-21> 한반도 연근해 구평년(좌) 및 신평년(우) 극한 유의파고 공간분포도 ····· 27
<그림 2-1-22> 한반도 연근해 극한 유의파고 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우) · 28
<그림 2-1-23> 연별 전 지구 풍속 평균값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 29
<그림 2-1-24> 전 지구 구평년(상) 및 신평년(하) 평균 풍속 공간분포도 ····· 30
<그림 2-1-25> 전 지구 평균 풍속 편차 공간분포도 ····· 31
<그림 2-1-26> 연별 전 지구 평균 풍속 편차 시계열 (편차 기준 : 1991~2020 년) ····· 31
<그림 2-1-27> 연별 동아시아 풍속 평균값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 32
<그림 2-1-28> 동아시아 구평년(좌) 및 신평년(우) 평균 풍속 공간분포도 ····· 33
<그림 2-1-29> 동아시아 평균 풍속 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우) ····· 34
<그림 2-1-30> 연별 한반도 연근해 풍속 평균값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 35
<그림 2-1-31> 한반도 연근해 10 년 간격 평균 풍속 분포도 (1981~2020 년) ····· 36
<그림 2-1-32> 한반도 연근해 구평년(좌) 및 신평년(우) 평균 풍속 공간분포도 ····· 37
<그림 2-1-33> 한반도 연근해 평균 풍속 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우) ····· 38
<그림 2-1-34> 연별 전 지구 풍속 극한값 및 추세(1981~2020 년) ····· 39
<그림 2-1-35> 전 지구 구평년(상) 및 신평년(하) 극한 풍속 공간분포도 ····· 40
<그림 2-1-36> 전 지구 극한 풍속 편차 공간분포도 ····· 41
<그림 2-1-37> 연별 전 지구 극한 풍속 편차 시계열 (편차 기준 : 1991~2020 년) ····· 41
<그림 2-1-38> 연별 동아시아 풍속 극한값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 42
<그림 2-1-39> 동아시아 구평년(좌) 및 신평년(우) 극한 풍속 공간분포도 ····· 43
<그림 2-1-40> 동아시아 극한 풍속 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우) ····· 44
<그림 2-1-41> 연별 한반도 연근해 풍속 극한값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 45
<그림 2-1-42> 한반도 연근해 10 년 간격 극한 풍속 분포도 (1981~2020 년) ····· 46
<그림 2-1-43> 한반도 연근해 구평년(좌) 및 신평년(우) 극한 풍속 공간분포도 ····· 47
<그림 2-1-44> 한반도 연근해 극한 풍속 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우) ····· 48
<그림 2-1-45> 연별 전 지구 표층수온 평균값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 49

<그림 2-1-46> 전 지구 구평년(상) 및 신평년(하) 평균 표층수온 공간분포도 ····· 50
<그림 2-1-47> 전 지구 평균 표층수온 편차 공간분포도 ····· 51
<그림 2-1-48> 연별 전 지구 평균 표층수온 편차 시계열 (편차 기준 : 1991~2020 년) ····· 51
<그림 2-1-49> 연별 동아시아 표층수온 평균값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 52
<그림 2-1-50> 동아시아 구평년(좌) 및 신평년(우) 평균 표층수온 공간분포도 ····· 53
<그림 2-1-51> 동아시아 평균 표층수온 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우) ····· 54
<그림 2-1-52> 연별 한반도 연근해 표층수온 평균값 및 추세(1981~2020 년) ····· 55
<그림 2-1-53> 한반도 연근해 10 년 간격 표층수온 분포도 (1981~2020 년) ····· 56
<그림 2-1-54> 한반도 연근해 구평년(좌) 및 신평년(우) 표층수온 공간분포도 ····· 57
<그림 2-1-55> 한반도 연근해 표층수온 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우) ····· 58
<그림 2-1-56> 전 지구, 동아시아, 한반도 연근해 연별 파력 평균 및 추세 (1981~2020 년) ··· 60
<그림 2-1-57> 한반도 연근해 10 년 간격 파력 평균 분포도 (1981~2020 년) ····· 61
<그림 2-2-1> 계절별/연별 전 지구 유의파고 평균 및 추세 (1981~2020 년) ····· 62
<그림 2-2-2> 구/신평년 전 지구 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (봄) ····· 65
<그림 2-2-3> 구/신평년 전 지구 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (여름) ····· 66
<그림 2-2-4> 구/신평년 전 지구 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (가을) ····· 67
<그림 2-2-5> 구/신평년 전 지구 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (겨울) ····· 68
<그림 2-2-6> 계절별/연별 전 지구 평균 유의파고 편차 시계열 ····· 69
<그림 2-2-7> 계절별/연별 동아시아 유의파고 평균 및 추세 (1981~2020 년) ····· 70
<그림 2-2-8> 구/신평년 동아시아 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (봄, 여름) ····· 73
<그림 2-2-9> 구/신평년 동아시아 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (가을, 겨울) ····· 74
<그림 2-2-10> 계절별/연별 동아시아 평균 유의파고 편차 시계열 ····· 75
<그림 2-2-11> 계절별/연별 한반도 연근해 유의파고 평균 및 추세 (1981~2020 년) ····· 76
<그림 2-2-12> 계절별 한반도 연근해 유의파고 구/신평년 평균 및 편차 공간분포도 ····· 79
<그림 2-2-13> 계절별/연별 한반도 연근해 유의파고 편차 시계열 ····· 80

<그림 2-2-14> 계절별/연별 전 지구 극한 유의파고 극한값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 81
<그림 2-2-15> 구/신평년 전 지구 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (봄) ····· 84
<그림 2-2-16> 구/신평년 전 지구 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (여름) ····· 85
<그림 2-2-17> 구/신평년 전 지구 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (가을) ····· 86
<그림 2-2-18> 구/신평년 전 지구 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (겨울) ····· 87
<그림 2-2-19> 계절별/연별 전 지구 극한 유의파고 편차 시계열 ····· 88
<그림 2-2-20> 계절별/연별 동아시아 극한 유의파고 및 추세 (1981~2020 년) ····· 89
<그림 2-2-21> 구/신평년 동아시아 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (봄, 여름) ····· 92
<그림 2-2-22> 구/신평년 동아시아 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (가을, 겨울) ····· 93
<그림 2-2-23> 계절별/연별 동아시아 극한 유의파고 편차 시계열 ····· 94
<그림 2-2-24> 계절별/연별 한반도 연근해 유의파고 극한값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 95
<그림 2-2-25> 계절별 한반도 연근해 구/신평년 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 ····· 98
<그림 2-2-26> 계절별/연별 한반도 연근해 극한 유의파고 편차 시계열 ····· 99
<그림 2-2-27> 계절별/연별 전 지구 풍속 평균 및 추세 (1981~2020 년) ····· 100
<그림 2-2-28> 구/신평년 전 지구 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (봄) ····· 103
<그림 2-2-29> 구/신평년 전 지구 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (여름) ····· 104
<그림 2-2-30> 구/신평년 전 지구 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (가을) ····· 105
<그림 2-2-31> 구/신평년 전 지구 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (겨울) ····· 106
<그림 2-2-32> 계절별/연별 전 지구 평균 풍속 편차 시계열 ····· 107
<그림 2-2-33> 계절별/연별 동아시아 풍속 평균 및 추세 (1981~2020 년) ····· 108
<그림 2-2-34> 구/신평년 동아시아 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (봄, 여름) ····· 111
<그림 2-2-35> 구/신평년 동아시아 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (가을, 겨울) ····· 112
<그림 2-2-36> 계절별/연별 동아시아 평균 풍속 편차 시계열 ····· 113
<그림 2-2-37> 계절별/연별 한반도 연근해 풍속 평균 및 추세 (1981~2020 년) ····· 114
<그림 2-2-38> 계절별 한반도 연근해 풍속 구/신평년 평균 및 편차 공간분포도 ····· 117

<그림 2-2-39> 계절별/연별 한반도 연근해 평균 풍속 편차 시계열 ····· 118
<그림 2-2-40> 계절별/연별 전 지구 풍속 극한값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 119
<그림 2-2-41> 구/신평년 전 지구 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (봄) ····· 122
<그림 2-2-42> 구/신평년 전 지구 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (여름) ····· 123
<그림 2-2-43> 구/신평년 전 지구 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (가을) ····· 124
<그림 2-2-44> 구/신평년 전 지구 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (겨울) ····· 125
<그림 2-2-45> 계절별/연별 전 지구 극한 풍속 편차 시계열 ····· 126
<그림 2-2-46> 계절별/연별 동아시아 풍속 극한값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 127
<그림 2-2-47> 구/신평년 동아시아 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (봄, 여름) ····· 130
<그림 2-2-48> 구/신평년 동아시아 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (가을, 겨울) ····· 131
<그림 2-2-49> 계절별/연별 동아시아 극한 풍속 편차 시계열 ····· 132
<그림 2-2-50> 계절별/연별 한반도 연근해 풍속 극한값 및 추세 (1981~2020 년) ····· 133
<그림 2-2-51> 계절별 한반도 연근해 구/신평년 극한 풍속 및 편차 공간분포도 ····· 136
<그림 2-2-52> 계절별/연별 한반도 연근해 극한 풍속 편차 시계열 ····· 137
<그림 2-2-53> 계절별/연별 전 지구 표층 수온 평균 및 추세 (1981~2020 년) ····· 138
<그림 2-2-54> 구/신평년 전 지구 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (봄) ····· 141
<그림 2-2-55> 구/신평년 전 지구 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (여름) ····· 142
<그림 2-2-56> 구/신평년 전 지구 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (가을) ····· 143
<그림 2-2-57> 구/신평년 전 지구 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (겨울) ····· 144
<그림 2-2-58> 계절별/연별 전 지구 표층 수온 편차 시계열 ····· 145
<그림 2-2-59> 계절별/연별 동아시아 표층 수온 평균 및 추세 (1981~2020 년) ····· 146
<그림 2-2-60> 구/신평년 동아시아 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (봄, 여름) ····· 149
<그림 2-2-61> 구/신평년 동아시아 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (가을, 겨울) ····· 150
<그림 2-2-62> 계절별/연별 동아시아 표층 수온 편차 시계열 ····· 151
<그림 2-2-63> 계절별/연별 한반도 연근해 표층 수온 평균 및 추세 (1981~2020 년) ····· 152

〈그림 2-2-64〉 계절별/연별 한반도 연근해 표층 수온 구/신평년 평균 및 편차 분포도 ····· 155
〈그림 2-2-65〉 계절별/연별 한반도 연근해 표층 수온 편차 시계열 ····· 156
〈그림 2-3-1〉 해역별 유의파고, 극한 유의파고 추세 그래프 ····· 157
〈그림 2-3-2〉 전체 해역 유의파고, 극한 유의파고 추세 그래프 ····· 158
〈그림 2-3-3〉 해역별 풍속, 극한 풍속 추세 그래프 ····· 159
〈그림 2-3-4〉 전체 해역 풍속, 극한 풍속 추세 그래프 ····· 160
〈그림 2-3-5〉 해역별 표층 수온 추세 그래프 ····· 161
〈그림 2-3-6〉 전체 해역 표층 수온 추세 그래프 ····· 162
〈그림 2-3-7〉 해역별 파력 추세 그래프 ····· 163
〈그림 2-3-8〉 전체 해역 표층 수온 추세 그래프 ····· 164
〈그림 2-3-9〉 계절별/연별 유의파고 추세 그래프 ····· 165
〈그림 2-3-10〉 계절별/연별 극한 유의파고 추세 그래프 ····· 166
〈그림 2-3-11〉 계절별/연별 풍속 추세 그래프 ····· 169
〈그림 2-3-12〉 계절별/연별 극한 풍속 추세 그래프 ····· 170
〈그림 2-3-13〉 계절별/연별 표층 수온 추세 그래프 ····· 173
〈그림 3-1-1〉 연별 분석 영역별 유의파고 추세 (1981~2020 년) ····· 177
〈그림 3-1-2〉 연별 분석 영역별 극한 유의파고 추세 (1981~2020 년) ····· 178
〈그림 3-1-3〉 연별 분석 영역별 풍속 추세 (1981~2020 년) ····· 179
〈그림 3-1-4〉 연별 분석 영역별 극한 풍속 추세 (1981~2020 년) ····· 180
〈그림 3-1-5〉 연별 분석 영역별 표층 수온 추세 (1981~2020 년) ····· 181
〈그림 3-2-1〉 한반도 주변 재분석장 및 관측자료 기반 유의파고 추세 (1981~2020 년) ····· 182
〈그림 3-2-2〉 한반도 주변 재분석장 및 관측자료 기반 극한 유의파고 추세 (1981~2020 년) · 183
〈그림 3-2-3〉 한반도 주변 재분석장 및 관측자료 기반 풍속 추세 (1981~2020 년) ····· 183
〈그림 3-2-4〉 한반도 주변 재분석장 및 관측자료 기반 극한 풍속 추세 (1981~2020 년) ····· 184
〈그림 3-2-5〉 한반도 주변 분석장 및 관측자료 기반 표층 수온 추세 (1981~2020 년) ····· 184

표 목 차

<표 1-3-1> 해양기상부이 관측 지점 정보 ····· 5

<표 2-1-1> 분석 영역별 평균 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 16

<표 2-1-2> 분석 영역별 극한 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 26

<표 2-1-3> 분석 영역별 평균 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 36

<표 2-1-4> 분석 영역별 극한 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 46

<표 2-1-5> 분석 영역별 표층수온 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 56

<표 2-2-1> 계절별 전 지구 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 63

<표 2-2-2> 계절별 동아시아 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 70

<표 2-2-3> 계절별 한반도 연근해 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 76

<표 2-2-4> 계절별 전 지구 극한 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 82

<표 2-2-5> 계절별 동아시아 극한 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 90

<표 2-2-6> 계절별 한반도 연근해 극한 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 96

<표 2-2-7> 전 지구 계절별 평균 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 101

<표 2-2-8> 계절별 동아시아 평균 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 109

<표 2-2-9> 계절별 한반도 연근해 평균 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 115

<표 2-2-10> 계절별 전 지구 극한 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 120

<표 2-2-11> 동아시아 계절별 극한 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 128

<표 2-2-12> 한반도 연근해 계절별 극한 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 134

<표 2-2-13> 계절별 전 지구 표층 수온 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 139

<표 2-2-14> 계절별 동아시아 표층 수온 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 147

<표 2-2-15> 계절별 한반도 연근해 표층 수온 변화율, 구/신평년값, 편차 ····· 153

〈표 2-3-1〉 연/해역별 유의파고 평균/극한값 ····· 158
〈표 2-3-2〉 해역별 평균 유의파고, 극한 유의파고 추세 ····· 158
〈표 2-3-3〉 연/해역별 풍속 평균/극한값 ····· 160
〈표 2-3-4〉 해역별 평균 풍속, 극한 풍속 추세 ····· 160
〈표 2-3-5〉 연/해역별 표층 수온 평균값 ····· 162
〈표 2-3-6〉 해역별 표층 수온 추세 ····· 162
〈표 2-3-7〉 연/해역별 파력 평균값 ····· 164
〈표 2-3-8〉 해역별 파력 추세 ····· 164
〈표 2-3-9〉 해역/계절별 유의파고 평균 및 극한 추세 ····· 166
〈표 2-3-10〉 해역 및 연/계절별 유의파고 평균값 ····· 167
〈표 2-3-11〉 해역 및 연/계절별 유의파고 극한값 ····· 168
〈표 2-3-12〉 해역/계절별 풍속 평균 및 극한 추세 ····· 170
〈표 2-3-13〉 해역 및 연/계절별 풍속 평균값 ····· 171
〈표 2-3-14〉 해역 및 연/계절별 풍속 극한값 ····· 172
〈표 2-3-15〉 해역/계절별 표층 수온 평균 추세 ····· 174
〈표 2-3-16〉 해역 및 연/계절별 표층 수온 평균 ····· 174
〈표 3-1-1〉 연/계절별 유의파고 추세 및 구/신평년값 ····· 177
〈표 3-1-2〉 연/계절별 극한 유의파고 추세 및 구/신평년값 ····· 178
〈표 3-1-3〉 연/계절별 풍속 추세 및 구/신평년값 ····· 179
〈표 3-1-4〉 연/계절별 극한 풍속 추세 및 구/신평년값 ····· 180
〈표 3-1-5〉 해역/계절별 표층 수온 추세 및 구/신평년값 ····· 181

제1장

서론

제1절 연구 배경 및 필요성

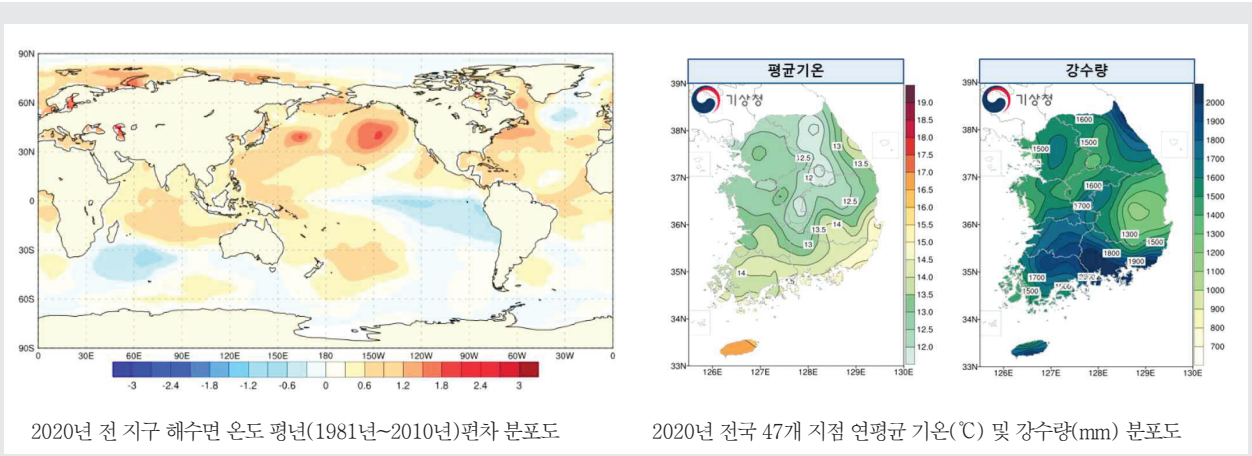
제2절 연구 목적

제3절 연구 내용 및 방법

제1장 서론

제1절 연구 배경 및 필요성

전 세계적으로 기후변화에 관한 관심이 높아짐에 따라 기후예측 등 다양한 분야에서 기후변화와 관련된 연구가 활발히 이루어지고 있다. 우리나라 정부 또는 연구기관에서는 관련 내용을 바탕으로 보고서 또는 보도자료를 통해 분석 내용을 관련 분야의 종사자 또는 국민에게 공개하고 있다. 대표적인 예로 기상청은 아래 그림과 같이 전 지구 해수면 온도, 전 지구와 우리나라의 기후특성, 북극 해빙 면적의 변화 등 기후 감시 요소에 대한 이해를 위해 2017년부터 매년 “연 기후특성 보고서”를 발간하고 있으며(기상청, 2021), 국립기상과학원은 “한반도 기후변화 전망보고서 2020” 을 통해 IPCC 6차 평가보고서(AR6)의 최신 온실가스 경로에 따른 동아시아 지역에서의 기후변화 시나리오(SSP1-2.6과 SSP5-8.5)에 대한 분석 및 예측 결과를 공개하였다(국립기상과학원, 2020). 또한 “지구대기감시 보고서”와 특별판을 통해 온실가스와 반응가스, 에어로졸과 대기복사, 성층권 오존, 자외선, 총 대기 침적에 대한 통계 및 추세분석 결과를 공개하였다(국립기상과학원, 2021). 환경부(2020)는 한반도를 대상으로 최신 국내·외 연구를 집대성해 수자원, 생태계, 산림, 농업, 해양 및 수산 등 9가지 분야의 기후변화와 관련된 주요한 내용에 대해 정리하였다.



2020년 전 지구 해수면 온도 평년(1981년~2010년)편차 분포도

2020년 전국 47개 지점 연평균 기온(℃) 및 강수량(mm) 분포도

<그림 1-1-1> 기상청 연 기후특성 보고서 분석 내용 예시

이렇듯 관련 정부와 연구기관 주제로 기후변화에 관한 많은 연구가 활발히 이루어졌지만, 해양에 대한 시공간적인 장기 변동 분석 또는 예측 등에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 그간 파랑 및 기상의 장기 변동에 관한 연구는 연구자별 특정 연구영역 또는 해역에서 장기적으로 관측된 자료를 이용한 연구가 주로 이루어졌다. 정 등(2012)은 부산항 신항 인근 해역의 10년간 관측된 자료를 이용하여 월/연별 파랑의 발생 특성을 파악하고 파랑의 특정 조건별 발생 확률을 분석하였다. 조 등(2012)은 속초 연안에서 8년간 관측된 자료를 이용하여 연/계절별 통계 분석을 수행하였으며, 강 등(2015)은 한반도 주변 해역에서 기상부이와 등표에서 관측된 자료를 이용하여 계절별 해상풍과 유의파고의 상관성을 분석하였다. 정 등(2016)은 동해에서 장기적으로 관측된 파랑 자료를 이용하여 연별 유의파고와 폭풍파 변동성을 분석하였으며, 고 등(2017)은 한반도 주변 해역 부이 6개 지점에서 관측된 자료와 ECMWF 재분석 자료를 비교하여 상관성과 장기 변동 양상을 분석하였다. 또한, 정 등(2019)은 동해에서 6년간 관측된 파랑 자료를 이용해 파고와 주기의 상관관계와 발생 확률 분석, 월별 파고와 주기의 최소/최대값 비교 등 파랑 변동성, 발생 확률을 분석하였다. 선행 연구들은 관측자료를 이용해 관측지점에서의 파랑 및 기상 변동 또는 발생 확률을 분석하는 데에 중점을 두었다. 하지만 관측자료에 기반한 분석방법은 특성상 공간적 분석은 이루어지지 못한 한계가 존재하였다.

해양에서의 파랑 등 해양기상 요소의 장기 변동을 분석하기 위해서는 관측지점뿐만 아니라 공간적인 변동 특성을 이해할 필요가 있다. 공간적인 분석을 위해서 활용할 수 있는 대표적인 자료로는 인공위성 자료와 재분석 자료가 있다. 인공위성 자료의 경우 재방문 주기, 국한된 관측 영역(swath)으로 시·공간적인 자료의 결측이 발생하는 단점이 있다. 반면 재분석 자료는 모델 자료, 관측자료를 자료 동화에 적용해 재산출한 자료로 시공간적으로 자료 공백이 없는 장점이 있다. 또한, 최근 사용할 수 있는 자료의 종류가 다양해지고 자료 동화 기법도 개선되고 있어 많이 사용되고 있다.

본 연구에서는 해양기상 요소의 시공간적인 변화를 분석하기 위해 전지구, 동아시아, 우리나라 주변 해역(동해, 남해, 서해, 전체)을 대상으로 재분석 자료와 해양기상부이 관측자료를 이용해 변동 특성을 분석하였다. 최근 장기간의 재분석 자료와 관측자료 수집이 가능해지고 금년에는 기존 기후평년(1981~2010년)에서 새로운 기후평년(1991~2020년)으로 전환되었다. 이에 신-구평년 기간 차이를 파악할 수 있게 되어 각 요소의 변동추세 및 구-신평년 기간 특성 분석에 대한 필요성이 제기되고 있다. 이에 본 보고서에서는 1981년부터 2020년까지 40년간의 장기 변동추세와 각 평년 기간별 특성을 분석하였는데, 이러한 분석은 시공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 파악할 수 있는 이점이 있다. 따라서 본 연구에서는 전 지구와 동아시아, 한반도 연근해 영역에서 나타난 해양 기상 요소의 변동 양상을 이해하고 구-신평년 간 발생한 차이를 정량적으로 분석하기 위하여 ERA5, ERSSTv5 자료를 이용하여

1981년부터 2020년까지 연별/계절별로 발생한 변화를 분석하였다. 또한, 2011년부터 2020년까지 해양기상부이에서 관측된 자료를 이용해 한반도 주변 해역에서 연별/계절별로 나타나는 추세를 분석하였다.

제2절 연구 목적

본 연구의 목적은 전 지구와 동아시아, 한반도 연근해 영역별로 해양기상요소의 장기적인 변화를 이해하고 변동 특성을 제시하는 데 있다. 또한, 해양기상 요소에 대한 기후 분석을 수행하거나 분석 정보를 참고하고자 하는 관련 분야 종사자에게 정량적인 분석 자료를 제공하고자 한다.

구체적인 목적은 다음과 같다.

- 전지구, 동아시아, 한반도 연근해 영역별 해양기상 요소의 장기적인 변동 양상 이해
- 해양기상 요소의 장기 변화 분석을 통한 변동 특성 제시
- 해양기상 요소의 장기 통계 분석 자료 제공

제3절 연구 내용 및 방법

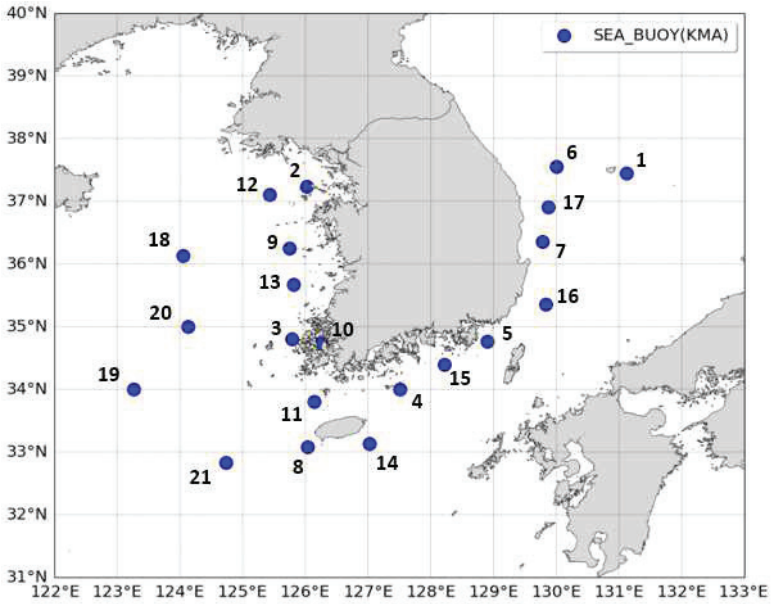
전 지구, 동아시아, 한반도 연근해 영역에서의 시·공간적인 장기 해양기상 변동 특성을 분석하기 위해 ECMWF의 ERA5(ECMWF Reanalysis v5) 재분석 자료와 NOAA의 ERSSTv5(NOAA, Extended Reconstructed Sea Surface Temperature V5) 수온 분석 자료를 사용하였다. 유의파고, 첨두주기, 풍속, 정보는 ECMWF ERA5 재분석 자료를 사용하였으며, 수온은 ERSSTv5 분석 자료를 사용하였다. ERA5 재분석 자료는 대기와 해양, 파랑 정보를 정규격자 형태로 제공하고 있고 대기 자료는 0.25°, 파랑 자료는 0.5° 해상도로 구성되어 있다. 또한, 1979년부터 지속적으로 업데이트가 이루어지고 있어 장기 해양기상 자료 수집이 가능하다. 본 연구에서는 전 지구 영역에 대한 한 시간 간격 유의파고와 풍속(U, V), 첨두주기 정보를 수집하여 사용하였다. 첨두주기는 파력을 계산하기 위해 수집하였다. ERSSTv5 표층 수온 자료는 공간 해상도는 2°, 자료의 시간 간격은 1개월이며

1854년부터 자료 수집이 가능하다. 본 연구에서는 구평년(1981~2010년), 신평년(1991~2020년) 기간을 포함하는 1981년부터 2020년 사이 40년 기간 동안 산출된 자료를 수집해 사용하였다.

또한, 한반도 주변 해역에서의 해양기상 변동 특성을 분석하기 위해 기상청 해양기상부이 자료를 수집하여 사용하였다. 해양기상부이는 기상, 파랑 등 해양 정보를 수집하고 있으며 외해에서 관측이 이루어지고 있어 섬, 해안 지형에 의한 영향으로부터 자유로운 이점이 있다. 전체 운영되는 지점 중 10년 이상 관측이 이루어진 지점을 선별하였으며 동해, 남해, 서해 해역별로 3개 지점씩 총 9개소를 선정하여 신뢰구간에 속한 자료를 분석에 사용하였다(울릉도, 덕적도, 칠발도, 거문도, 거제도, 동해, 포항, 마라도, 외연도). 관측자료 기반의 통계분석을 수행할 경우 자료의 기간도 중요하지만, 자료의 결측이나 품질이 분석 결과에 매우 큰 영향을 미친다. 이러한 이유로 기상청은 지침에 따라 일과 월, 연 평균값을 산출할 때에 자료 수집률 80% 이상일 때에만 통계값을 산출하고 있다. 하지만, 본 연구에서는 최대한 많은 관측자료의 확보 및 활용을 위하여 해역별로 세 지점의 자료를 하나로 취합해 사용하였으며 지점별 결측 구간이 많아 수집률은 고려하지 않고 통계분석을 수행하였다.

1981년부터 2020년 사이 산출된 ERA5, ERSSTv5 자료를 사용해 연별로 유의파고와 풍속, 파력, 표층 수온 평균값과 유의파고와 풍속 극한값을 산출하여 변동 양상을 파악하고 추세를 분석하였다. 유의파고와 풍속의 극한값은 분석 기간 중 상위 10%에 해당하는 값을 의미한다. 계절별로 추세를 분석하기 위해 연별로 봄(3, 4, 5월)과 여름(6, 7, 8월), 가을(9, 10, 11월), 겨울(12, 1, 2월, 해당 해의 12월과 다음 해의 1, 2월 의미)에 대한 자료를 수집한 뒤 각 요소의 평균값 및 극한값을 산출하였다. 또한, 구평년과 신평년 기간의 평균값을 산출해 비교하였으며 편차 등 분포도의 비교를 통해 공간적으로 발생한 변화를 분석하였다. 편차는 신평년 기간의 평균값에서 구평년 기간의 평균값을 뺀 값을 의미한다. 전지구, 동아시아, 한반도 주변 영역에 대한 연별/계절별 통계값을 계산할 때에는 면적 가중 평균을 적용해 산출하였다.

관측자료를 사용하여 우리나라 주변 해역 해양기상 요소의 변동 특성을 분석하기 위하여 해역별(동해, 남해, 서해, 전체)로 해양기상부이 관측 자료를 수집한 뒤 통계값을 산출하였다. 해역별 분석에는 각 해역에 속한 3개의 지점을 하나의 자료로 취합해 사용하였다. 유의파고와 풍속, 파력, 수온 일 평균값을 산출한 뒤 이를 이용해 월 평균값을 산출하였고 월 평균값을 이용해 연 평균값을 계산하였다. 유의파고와 풍속의 극한값은 분석 기간 동안 관측된 자료의 상위 10% 값을 산출하여 사용하였다. 즉 연별 극한값을 산출할 경우 1년 자료의 상위 10% 값을 산출하였으며, 연별/계절별 극한값은 1년의 자료 중 봄철 자료의 상위 10% 값을 산출하였다.



<그림 1-3-1> 해양기상부이 관측 지점 분포 현황

<표 1-3-1> 해양기상부이 관측 지점 정보

No.	지점번호	지점명	영문명	위도	경도	관측개시(교체시기)	신뢰구간
1	21229	울릉도	Ulleungdo	37°27′	131°07′	2011. 12.	
2	22101	덕적도	Deokjeokdo	37°14′	126°01′	1996. 07. (2005. 12)	1996. 07. 23
3	22102	칠발도	Chilbaldo	34°48′	125°47′	1996. 07. (2005. 12)	2012. 12. 12
4	22103	거문도	Geomundo	34°00′	127°30′	1997. 05. (2006. 10)	2006. 10. 04
5	22104	거제도	Geojedo	34°46′	128°54′	1998. 05. (2006. 10)	2006. 10. 04
6	22105	동해	Donghae	37°33′	130°00′	2001. 05. (2007. 10)	2011. 05. 08
7	22106	포항	Pohang	36°21′	129°47′	2008. 11.	2012. 02. 22
8	22107	마라도	Marado	33°05′	126°02′	2008. 11. (2009. 07)	2010. 11. 22
9	22108	외연도	Oeyeondo	36°15′	125°45′	2009. 11. (2011. 12)	2011. 09. 22
10	22183	신안	Shinan	34°44′	126°15′	2013. 06.	
11	22184	추자도	Chujado	33°48′	126°08′	2014. 01.	
12	22185	인천	Incheon	37°06′	125°26′	2015. 12	
13	22186	부안	Buan	35°40′	125°49′	2015. 12	
14	22187	서귀포	Seogwipo	33°08′	127°01′	2015. 12	
15	22188	통영	Tongyeong	34°24′	128°13′	2015. 12	
16	22189	울산	Ulsan	35°21′	129°50′	2015. 12	
17	22190	울진	Uljin	36°54′	129°52′	2015. 12	
18	22191	서해170	Seohae170	36°08′	124°03′	2019. 11	
19	22192	서해206	Seohae206	34°00′	123°16′	2019. 11	
20	22299	서해190	KOB190	35°00′	124°08′	2020. 11	
21	22300	남해239	KOB239	32°50′	124°44′	2020. 11	

제2장

해양기상 요소 장기 변화 분석

제1절 연평균 해양기후 변화

제2절 계절별 해양기후 변화

제3절 관측자료 기반 한반도 주변 해양기후 변화

제2장 해양기상 요소 장기 변화 분석

제1절 연평균 해양기후 변화

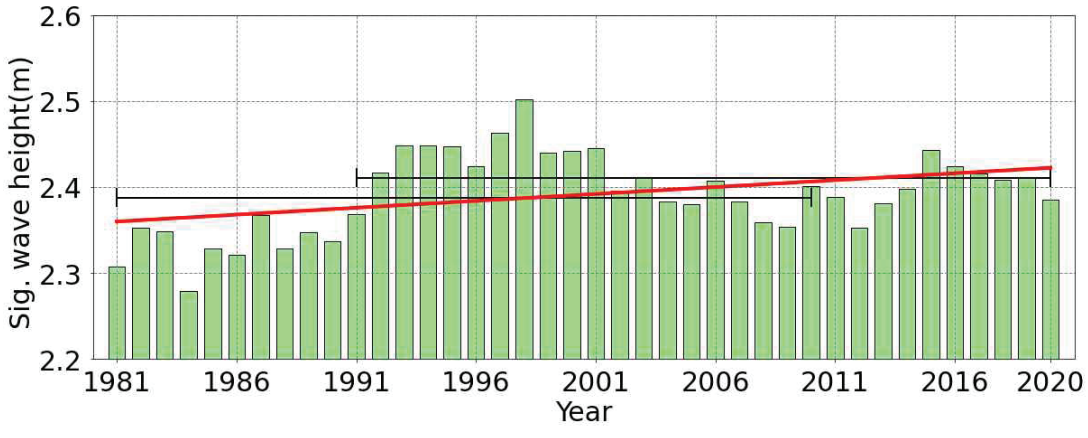
1. 평균/극한 유의파고

가. 평균 유의파고

(1) 전 지구

전 지구의 유의파고 변동 양상을 이해하기 위해 연별 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 유의파고 공간분포도를 산출하여 분포양상을 비교하였으며 신평년의 30년 평균값에서 구평년 30년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출해 지역별로 발생한 차이를 정량적으로 분석하였다. 또한 연별 유의파고 평균값에서 신평년 평균값을 뺀 편차 그래프를 산출하여 신평년 기준 편차의 변동 양상을 파악하였다.

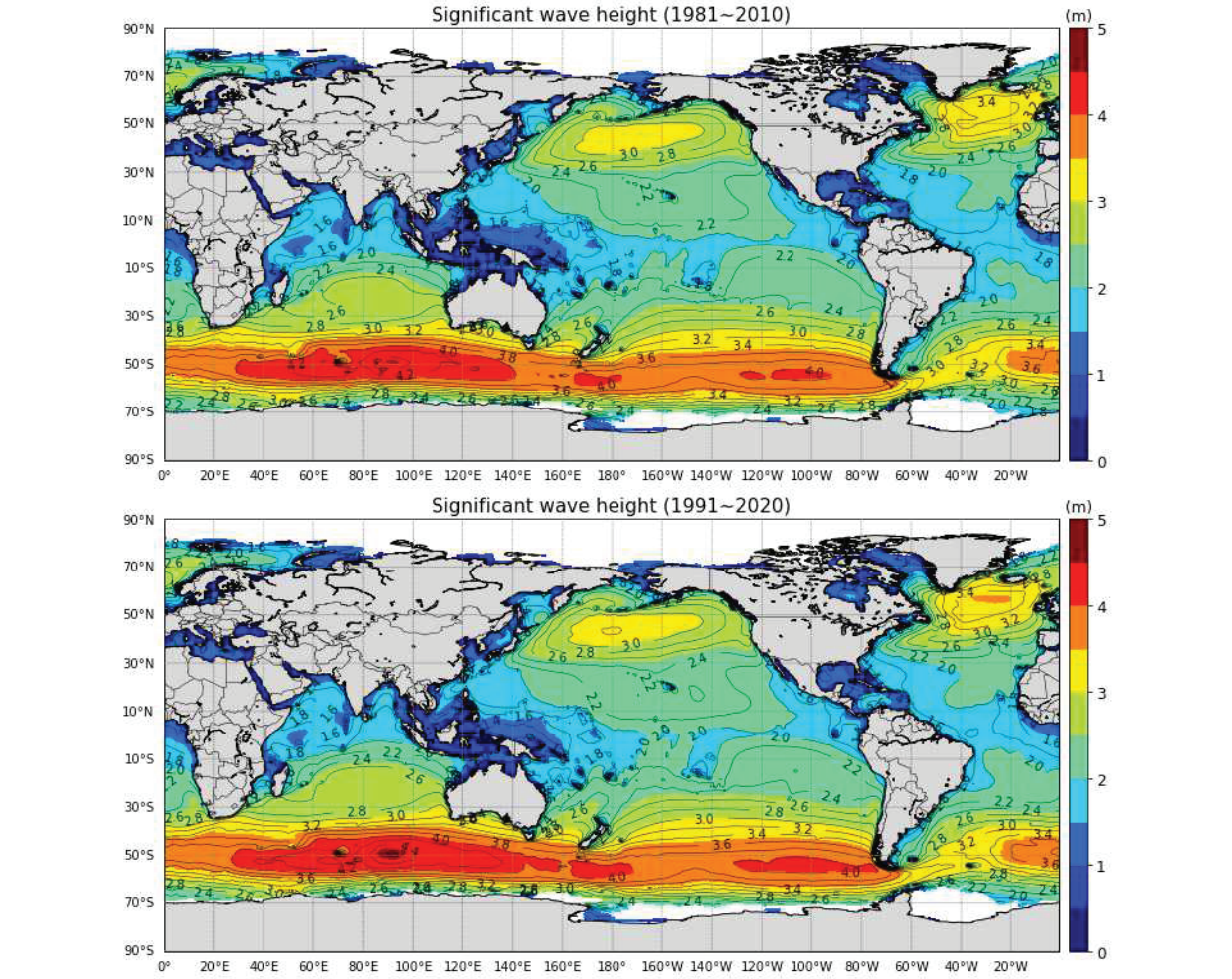
아래 시계열 그림은 전 지구 1981년부터 2020년까지 연별 유의파고 평균을 산출한 결과로 상승 및 하락 변동성을 나타내면서 상승하는 양상을 나타내었다. 그래프의 빨간색 선은 추세선으로 상승 추세를 나타내고 있으며, 변화율은 0.0016m/year 산출되었다. 두 개의 검은색은 각각 구평년과 신평년 평균값을 의미한다. 구/신평년 평균값과 편차를 산출한 결과 구평년값은 2.35m, 신평년값은 2.39m, 편차는 0.04m가 산출되어 구평년 보다 신평년 유의파고가 높은 값을 나타내었다.



<그림 2-1-1> 연별 전 지구 유의파고 평균값 및 추세 (1981~2020년)

구평년(1981년~2010년), 신평년(1991년~2020년) 유의파고 공간분포도를 산출한 결과는 아래 그림과 같다. 두 평년 기간의 유의파고 분포 양상을 살펴보면 구평년과 신평년에서 모두 가장 높은 유의파고가 분포한 지역은 인도양 남측 남극해 지역(40°S~60°S, 30°E~140°E)으로 약 4m 이상 유의파고가 분포하였다. 북태평양과 북대서양에서는 약 3m 이상인 유의파고가 분포해 남극해 다음으로 큰 유의파고가 분포하였다. 적도 부근 지역에서는 전반적으로 유의파고의 크기가 약 1~2.5m 나타내어 북태평양과 북대서양, 남극해 보다 파고 크기가 낮았다.

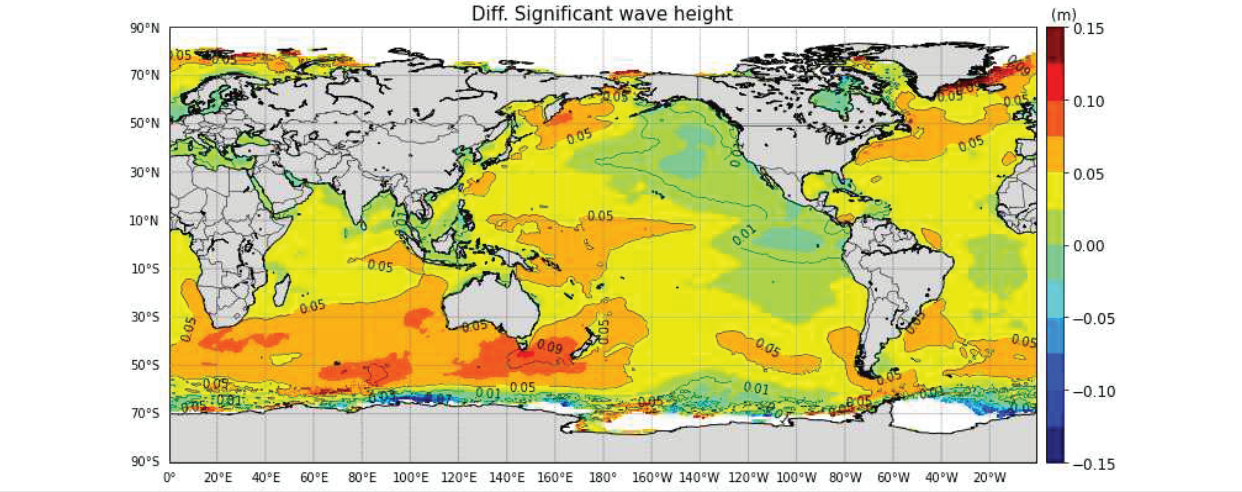
구평년과 신평년의 유의파고 분포도를 비교한 결과 전반적인 분포 양상은 유사하였지만 유의파고 크기 분포 범위에서는 차이를 보였다. 신평년에 3m 이상 유의파고가 분포하였던 남극해, 북태평양, 북대서양에서 유의파고가 상승하였으며, 상대적으로 작은 크기를 나타내었던 적도 부근에서도 상승하였다.



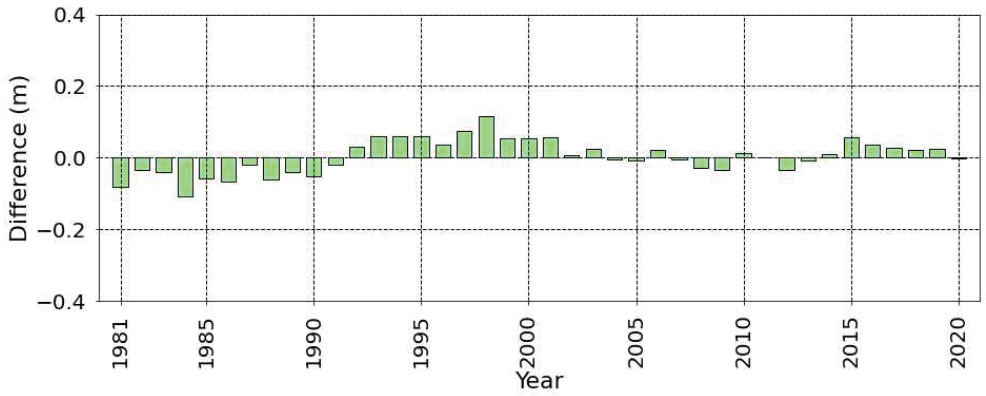
<그림 2-1-2> 전 지구 구평년(상) 및 신평년(하) 평균 유의파고 공간분포도

구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석하기 위해 신평년기간의 평균값에서 구평년 기간의 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출하였다. 편차 분포도를 살펴보면 동태평양 일부 지역을 제외한 대부분 지역에서 유의파고가 상승하였다. 지역별로 살펴보면 북서태평양 캄차카반도 주변과 일본 주변에서 약 0.05m 이상 상승하였으며, 적도 부근 인도차이나반도 주변에서도 약 0.05m 이상 상승하였다. 북대서양에서 약 0.05m 이상 상승하였으며, 남극해에서는 남아프리카와 호주 주변에서 전반적으로 약 0.05m 이상 상승하였고 지역에 따라 약 0.1m 이상 상승해 전 지구에서 가장 큰 상승폭을 나타내었다.

신평년 평균값을 기준으로 편차 시계열을 산출한 결과 1981년부터 1991년까지 신평년 평균값의 우세로 음수가 산출되었으나 1992년부터는 양수가 산출되는 빈도가 증가하였다. 증감 변동을 보이면서 비주기적으로 양수 또는 음수가 산출되었지만, 전반적으로 양수로 전환되어 상승하는 양상을 보였다.



<그림 2-1-3> 전 지구 평균 유의파고 편차 공간분포도

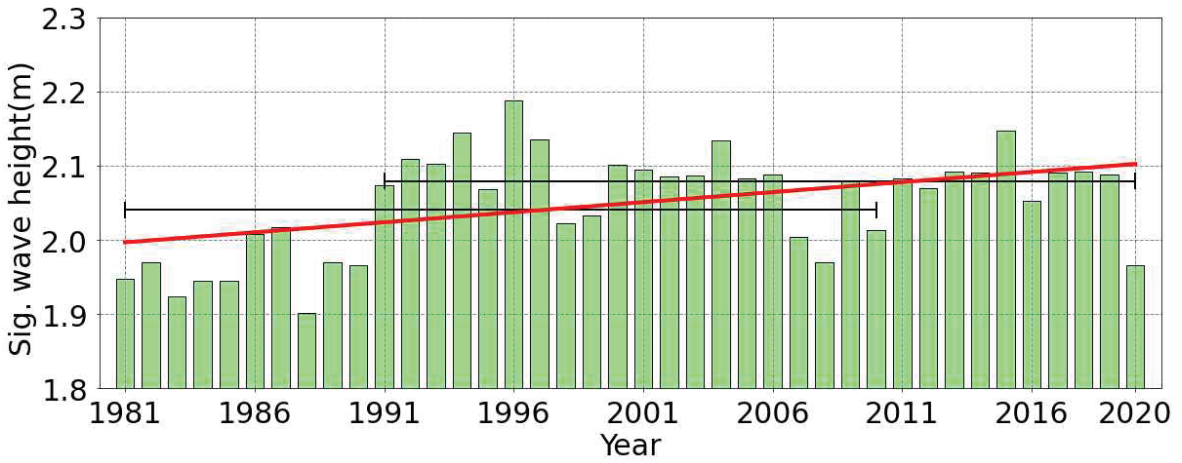


<그림 2-1-4> 연별 전 지구 평균 유의파고 편차 시계열 (편차 기준 : 1991~2020년)

(2) 동아시아

동아시아 지역(위도 10°N~70°N, 경도 105°E~180°E)에서 평균 유의파고의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출하여 분포 양상을 비교하였으며 신평년의 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별로 발생한 차이를 정량적으로 분석하였다. 또한, 연별 유의파고 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열을 산출하여 신평년 기준 편차의 변동 양상을 파악하였다.

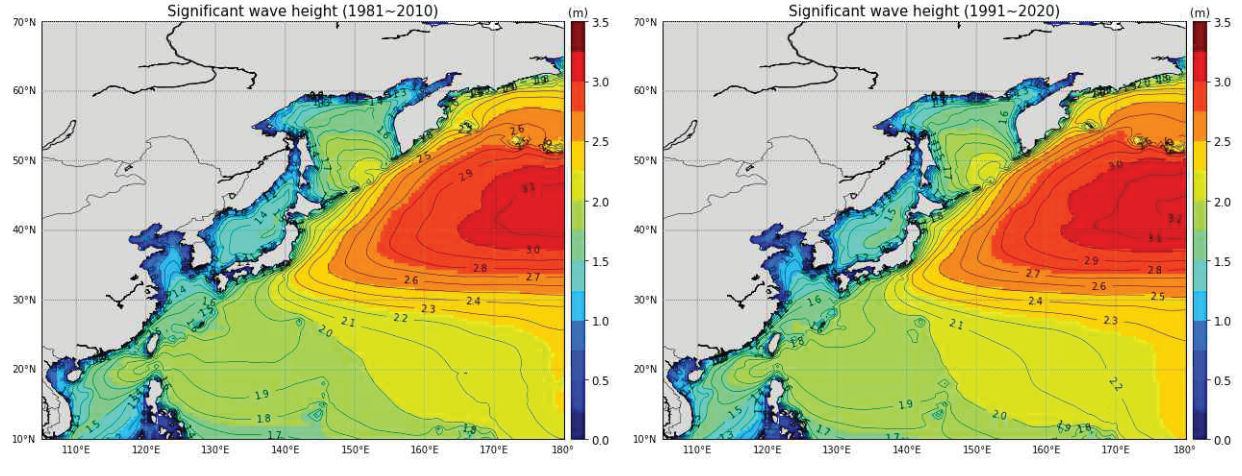
아래 시계열 그래프는 동아시아 영역에서 1981년부터 2020년까지 유의파고 평균값을 산출한 결과로 빨간색 선은 추세선이고 두 개의 검은색 선은 구평년, 신평년 평균값을 의미한다. 시계열 그래프를 살펴보면 1981년 이후 유의파고 평균값이 상승 및 하락 변동성을 나타내면서 장기적으로는 상승하는 양상을 나타내었다. 변화율은 0.0027m/year로 전 지구(0.0016m/year) 변화율보다 높았다. 구평년과 신평년의 평균값을 산출한 결과 구평년 값은 2.04m, 신평년 값은 2.08m, 편차는 0.04m가 산출되어 구평년 보다 신평년값이 높았다.



<그림 2-1-5> 연별 동아시아 유의파고 평균값 및 추세 (1981~2020년)

구평년과 신평년 유의파고 공간분포도를 산출한 결과 아래 그림과 같다. 두 평년 기간 분포를 비교한 결과 전반적으로 파고 크기별 분포 양상이 유사하였다. 두 평년 기간 모두 가장 높은 유의파고가 분포한 지역은 일본 동쪽 북서태평양(위도 39°N~50°N, 경도 170°E~180°E)으로 약 3m 이상 유의파고가 분포하였다. 오호츠크해에서는 약 1~2.3m, 베링해에서는 약 2~2.8m인 유의파고가 분포하였다. 우리나라 주변 해역에서는 전반적으로 약 0.5~1.5m인 유의파고가 분포하였으며 일본 남쪽 오키나와 제도 주변역에서 일본 남해안(위도 20°N~30°N, 경도 120°E~135°E)에 이르는 지역에서는 약 1.5~2m 유의파고가 분포하였다.

구평년과 신평년 분포도를 비교한 결과 전반적인 분포 양상은 유사하였으나, 유의파고 크기 분포 범위에서 차이를 보였다. 특히 구평년 대비 신평년에 전체적으로 유의파고가 상승하여 유의파고 크기별 분포 범위에서 차이가 나타났다. 지역별로 살펴보면, 구평년에 가장 높은 유의파고가 분포하였던 일본 동쪽 북서태평양 지역에서 유의파고가 상승하였으며, 해당 영역을 포함 일본 동쪽 북서태평양 전체(경도 140°E~180°E)에서 유의파고가 상승한 양상을 보였다. 오호츠크해, 베링해, 한반도 주변 해역도 상승한 양상을 나타내었으며, 상대적으로 남쪽에 위치한 대만과 필리핀해에서도 상승한 양상을 보여 동아시아 전체 영역에서 유의파고가 상승한 것으로 사료된다.

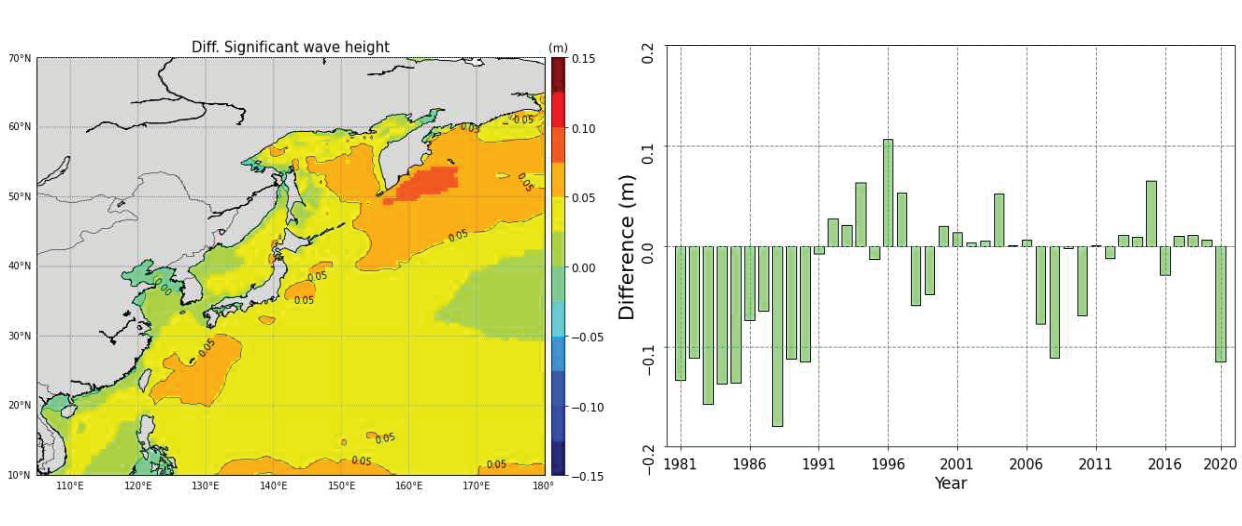


<그림 2-1-6> 동아시아 구평년(좌) 및 신평년(우) 평균 유의파고 공간분포도

구평년과 신평년 유의파고 공간분포도의 공간적인 차이를 정량적으로 분석하고 연별 유의파고의 변동 양상을 파악하기 위해 신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도와 연도별 유의파고 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 그래프를 산출하였다. 각 결과는 아래 그림과 같다.

먼저 유의파고 편차 분포도의 경우 구평년 대비 신평년에 동아시아 전 지역에서 유의파고가 상승하였음을 알 수 있다. 지역적으로 상승폭의 크기에서 차이가 존재하였는데, 3m 이상인 유의파고가 분포했던 북태평양 캄차카반도와 쿠릴열도 동측 지역, 베링해 주변 지역(위도 40°N~60°N, 경도 145°E~180°E)에서 약 0.05m 이상 상승하였다. 또한, 유의파고가 약 2m 이상 분포했던 오호츠크해도 약 0.05m 이상 상승해 전반적으로 40°N~60°N 캄차카반도 주변에서 약 0.05m 이상 상승한 양상을 나타내었다. 일본 동해 및 오키나와 제도 주변과 우리나라 남해와 동해에서도 상승하였다. 일본 동쪽에서는 약 0.02m 이상 상승하였으며, 오키나와 제도 남측 지역에서는 약 0.05m 이상 상승하였다. 우리나라 남해와 동해에서는 0.02m 이상 상승하였다.

신평년 값 기준 연별 편차 그래프를 산출한 결과 1981년부터 1990년까지는 신평년 값의 우세로 인해 음수가 산출되었으나 1991년부터 0 기준으로 증가 및 감소를 반복하는 변동성을 나타내었다. 1981년부터 1996년 사이에서는 양의 편차로 전환되는 양상을 보였으나 1996년 이후 비주기적으로 양수 또는 음수가 산출되는 동시에 편차의 크기가 증가 또는 감소하는 경향이 보이지 않아 뚜렷한 추세는 나타나지 않았다.



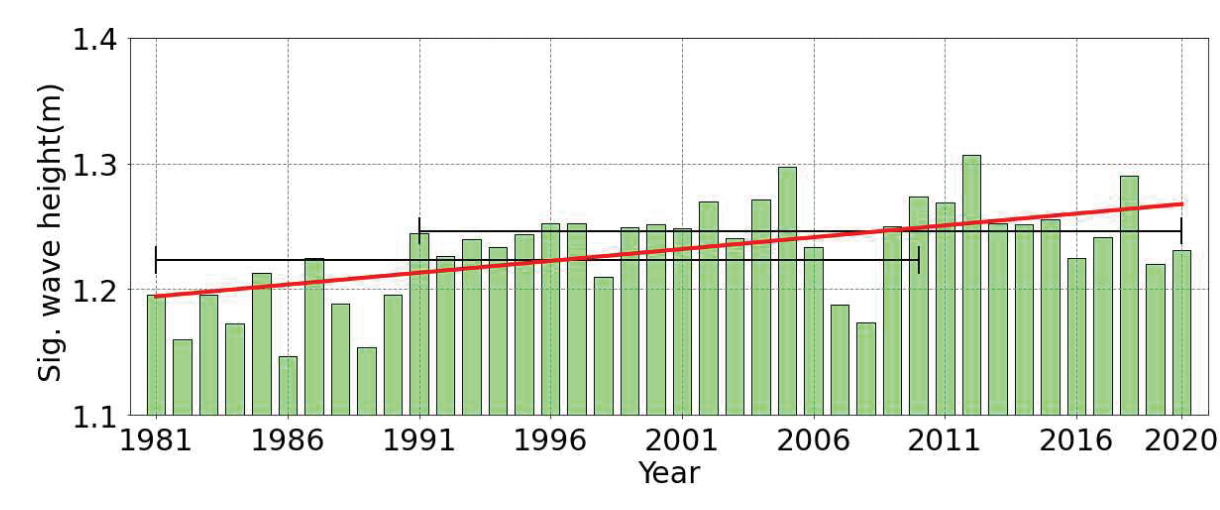
<그림 2-1-7> 동아시아 평균 유의파고 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우)

(3) 한반도 연근해

한반도 연근해(위도 28°N~45°N, 경도 120°E~135°E)에서 유의파고 변동 양상을 이해하기 위해 연별 평균 시계열 그래프를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년)의 공간 분포도를 산출하여 분포 양상을 비교하였고, 신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별로 발생한 차이를 정량적으로 분석하였다. 또한, 연별 유의파고 평균값에서 신평년 평균값을 뺀 편차 시계열 그래프를 산출해 신평년 값 기준의 편차 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 한반도 연근해에서 1981년부터 2020년까지 연별 유의파고 평균을 산출한 결과로 빨간색 선은 추세선이고 검은색 선은 구평년 및 신평년 평균값을 의미한다. 시계열 그래프를 살펴보면 유의파고 평균값이 상승 및 하락 반복하면서 장기적으로는 상승하는 양상을 나타내었다. 유의파고 변화율은 0.0019m/year로 전지구(0.0016m/year)보다는 높고 동아시아(0.0027m/year)보다는 낮았다. 구/신평년 평균값을 산출한 결과 구평년 값은 1.22m, 신평년 값은 1.25m 산출되어 신평년에 0.03m 상승하였다. 한반도 연근해 구/신평년 평균값은 전 지구와 동아시아 보다 작았으며 편차는 세 영역 모두 근사하였다.

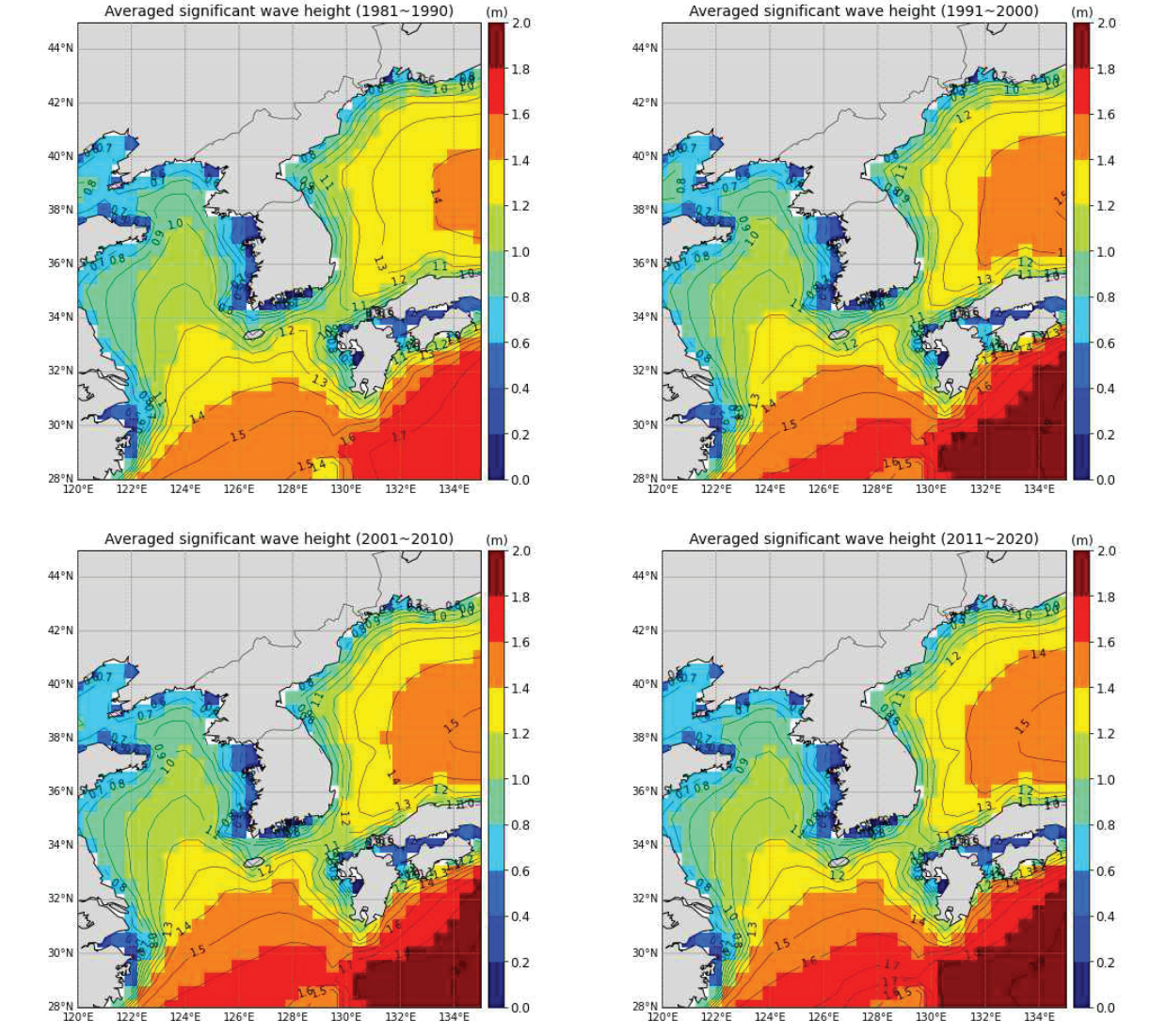
1981년부터 2020년까지 10년 간격으로 유의파고를 평균한 분포도를 <그림 2-1-9>에 도시하였다. 공간분포도를 살펴보면 1981년 이후 40년간 우리나라 동해와 남해에서 유의파고가 지속해서 상승한 양상을 나타내었다.



<그림 2-1-8> 연별 한반도 연근해 유의파고 평균값 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-1-1> 분석 영역별 평균 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
전 지구	0.0016	2.35	2.39	0.04
동아시아	0.0027	2.04	2.08	0.04
한반도 연근해	0.0019	1.22	1.25	0.03

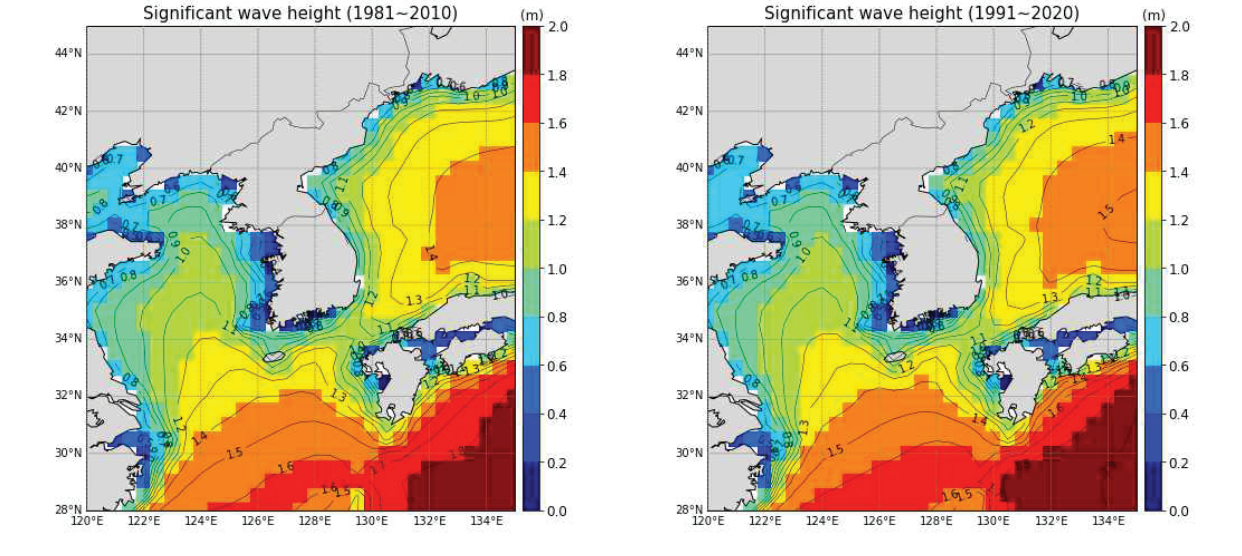


<그림 2-1-9> 한반도 연근해 10년 간격 유의파고 평균 분포도 (1981~2020년)

구평년과 신평년 유의파고 공간분포도를 산출한 결과 아래 그림과 같다. 두 평년 기간의 유의파고 크기별 공간적인 분포 특징을 살펴본 결과 구평년과 신평년 모두 동중국해에서는 약 1.2m 이상인 유의파고가 분포하였으며 일본 남해(위도 28°N~32°N, 경도 130°E~135°E)에서 약 1.7m 이상인 높은 유의파고가 분포하였다. 우리나라 동해와 남해에서는 약 1~1.5m인 유의파고가 분포하였으며, 서해에서는 약 0.6~1.2m인 유의파고가 분포하였다. 지역별로 유의파고의 크기를 보면 일본 남해에 가장 높은 유의파고가 분포하였으며 동중국해, 우리나라 동해 및 남해 순으로 높은 유의파고가 분포하였다.

구평년과 신평년 유의파고 분포도를 비교한 결과 분포 특징은 유사하였으나 신평년의 유의파고 상승에 따른 크기별 분포 범위에서 다른 양상을 보였다. 동해에서는 구평년 대비 신평년 유의파고가 상승하였으며 1.4m 이상 유의파고 분포 범위가 증가하였다. 남해에서도 상승하여 1.4m 이상 분포 범위가 우리나라 남해안 방향으로 증가하였다. 반면 서해에서는 동해, 남해에 비해 뚜렷한 변화가 나타나지 않았다. 동중국해와 일본 남해 지역(위도 28°N~32°N)에서는 1.4m 이상 유의파고 분포 범위가 증가하였다.

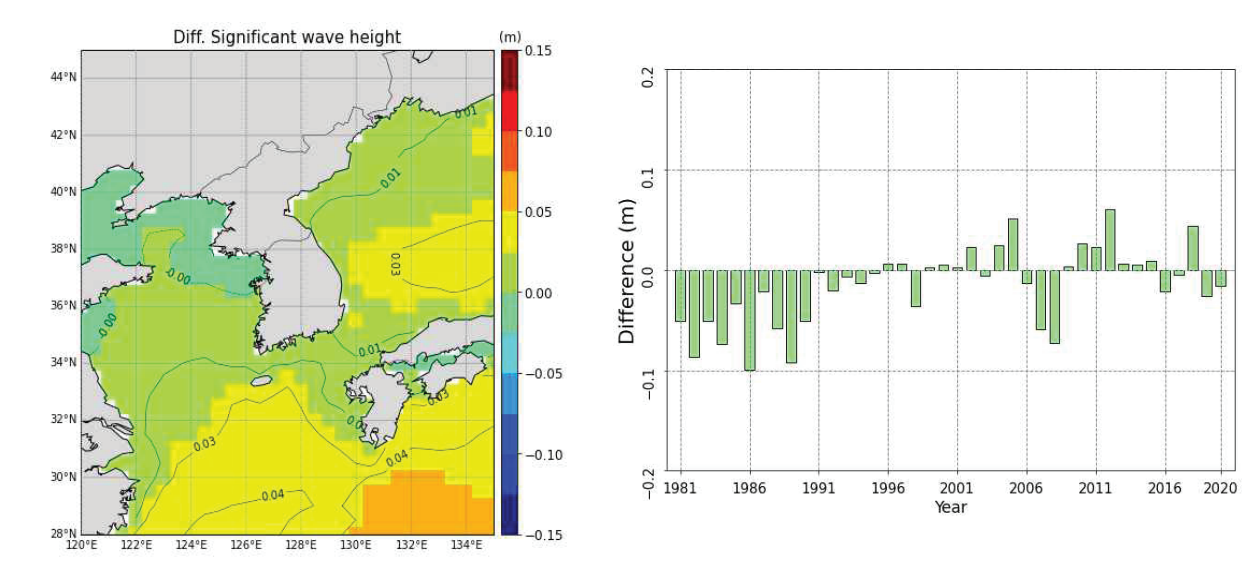
구평년과 신평년 공간분포도 비교 결과 우리나라 동해, 남해, 동중국해, 일본 남해에서 유의파고가 약 0.1m 상승한 양상을 보였으며 서해에서는 변동폭이 매우 작아 뚜렷한 변화가 나타나지 않았다.



<그림 2-1-10> 한반도 연근해 구평년(좌) 및 신평년(우) 평균 유의파고 공간분포도

신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도와 연별 유의파고 평균에서 신평년 평균값을 뺀 편차 그래프를 아래 그림과 같이 산출하였다. 분석결과, 구평년 대비 신평년에 한반도 연근해에 유의파고가 상승하였다. 동해에서는 약 0.01~0.03m가 상승하였으며 특히 동해 중심으로 하여 우리나라 동해안으로 약 0.03m 상승하였다. 남해에서는 약 0~0.04m 상승하였고, 제주도 이남에서 전체적으로 약 0.03m 이상 상승하였다. 서해에서는 약 0~0.02m 상승하여 동해와 남해보다 작은 상승폭을 나타내었다. 우리나라 주변 해역에서는 유의파고 상승 폭은 동해와 남해가 유사하였으며 서해에서 가장 작은 상승 폭을 나타내었다. 동중국해와 일본 남해(위도 28°N~32°N)는 전체적으로 약 0.03m 이상 상승하였다. 특히 일본 남해(위도 28°N~32°N, 경도 130°E~135°E)에서는 약 0.03m 이상 상승하였으며 최대 약 0.05m 이상 상승하여 가장 큰 상승 폭을 나타내었다. 평균 공간분포도와 편차 분포도를 분석한 결과 동해, 남해에서 전체적으로 파고가 상승하였으며, 일본 남해에서 가장 큰 상승 폭을 나타내었다.

신평년 값을 기준으로 연별 편차 그래프를 산출한 결과, 1981년부터 1990년까지는 상대적으로 작은 유의파고의 평균값과 신평년 값의 우세로 지속적으로 음수가 계산되었으나 1991년 이후에는 0을 기준으로 증가 및 감소 변동성을 나타내었다. 1990년대 이후 비주기적으로 음수 또는 양수가 산출되었지만 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하였으며 전반적으로 상승하는 변동 양상을 나타내었다.



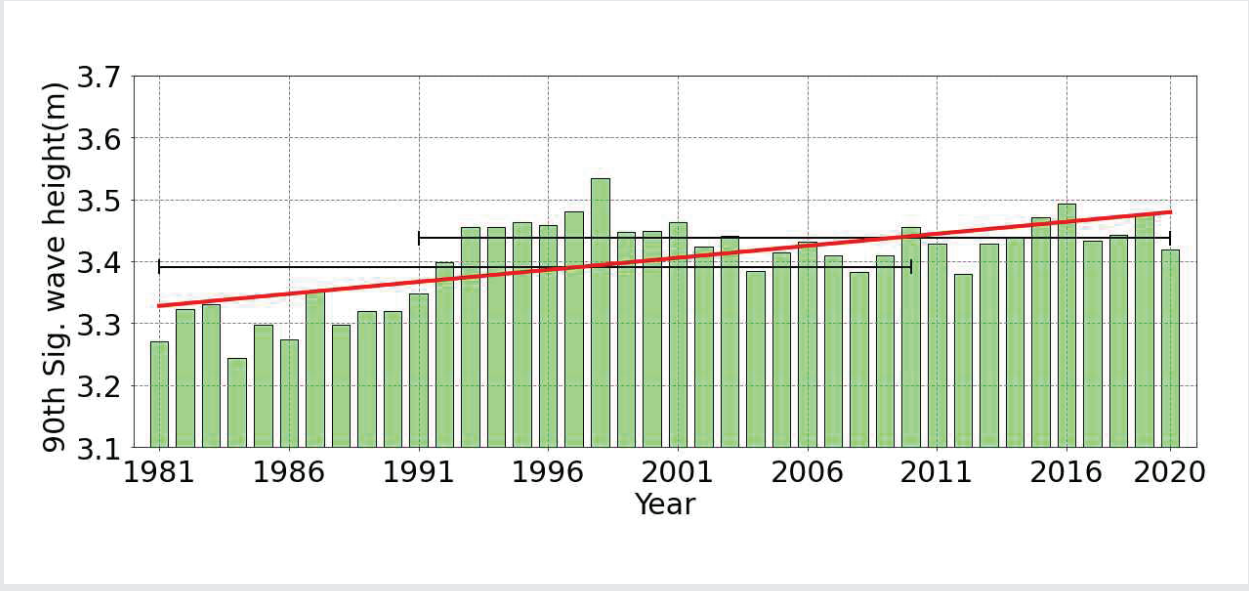
<그림 2-1-11> 한반도 연근해 평균 유의파고 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우)

나. 극한 유의파고

(1) 전 지구

전 지구의 극한 유의파고 변동 양상을 이해하기 위해 연별 극한 유의파고의 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년)의 극한 유의파고 공간분포도를 산출하여 분포 양상을 비교하였으며 신평년 극한값에서 구평년 극한값을 뺀 편차 분포도를 산출해 지역별로 발생한 차이를 정량적으로 분석하였다. 또한, 연별 유의파고 극한값에서 신평년 극한값을 뺀 편차 시계열 그래프를 산출하여 신평년 기준 편차의 변동 양상을 파악하였다. 극한값은 앞서 설명한 바와 같이 분석 기간 전체 자료 중 상위 10퍼센트 값을 의미하며, 공간에 대한 연별 또는 구/신평년 극한값을 산출할 경우에는 전체 격자점에서 산출된 유의파고 극한값을 평균하였다.

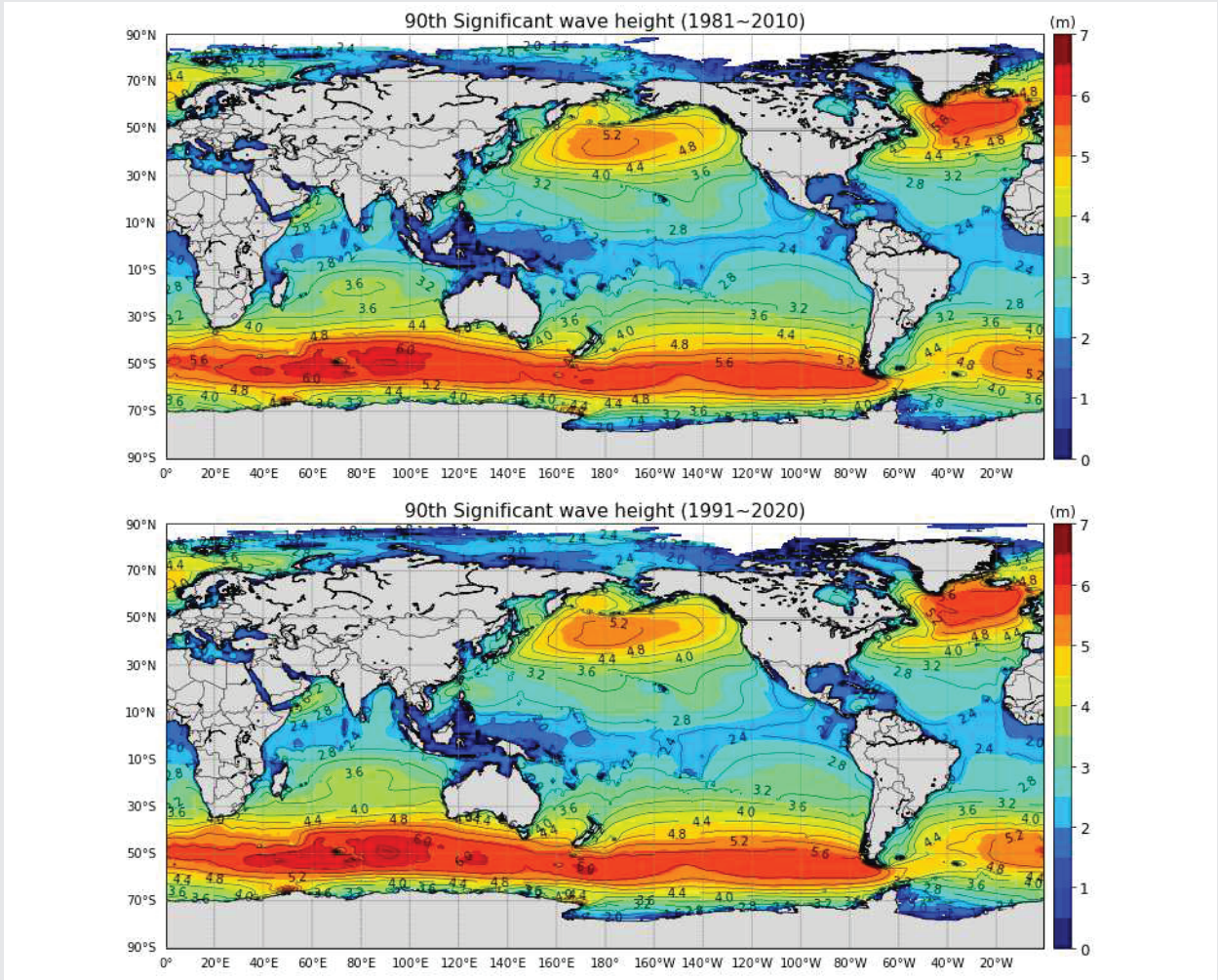
아래 시계열 그래프는 전 지구 영역에서 1981년부터 2020년까지 연별 극한 유의파고의 평균값을 산출한 결과로 빨간색 선은 추세선이고 두 개의 검은색 선은 구평년과 신평년 극한값을 의미한다. 시계열 그래프를 살펴보면 1981년 이후 극한 유의파고 평균값이 상승 및 하락하면서 장기적으로는 상승하는 변동 양상을 보여주고 있다. 변화율은 0.0039m/year이며 평균 유의파고(0.0016m/year)보다 높은 변화율을 나타내었다. 구/신평년 값을 산출한 결과 구평년 극한값은 3.38m, 신평년 극한값은 3.43m, 편차는 0.05m가 산출되어 구평년보다 신평년 값이 더 높았다.



<그림 2-1-12> 연별 전 지구 유의파고 극한값 및 추세 (1981~2020년)

구평년과 신평년 극한 유의파고 공간분포도를 산출한 결과 아래 그림과 같다. 두 평년 기간 극한 유의파고 분포 양상을 살펴보면 파고 크기별 분포 양상이 평균 유의파고와 유사하였다. 가장 높은 파고가 발생한 지역은 인도양 남측 남극해로 전반적으로 약 5m 이상 파고가 분포하였으며, 남아프리카와 호주 사이(30°E~110°E)에서 가장 높은 약 6m 이상인 파고가 분포하였다. 북태평양과 북대서양에서는 약 5m 이상 파고가 분포하였으며 적도 부근 지역에서는 약 2~3m인 파고가 분포하였다.

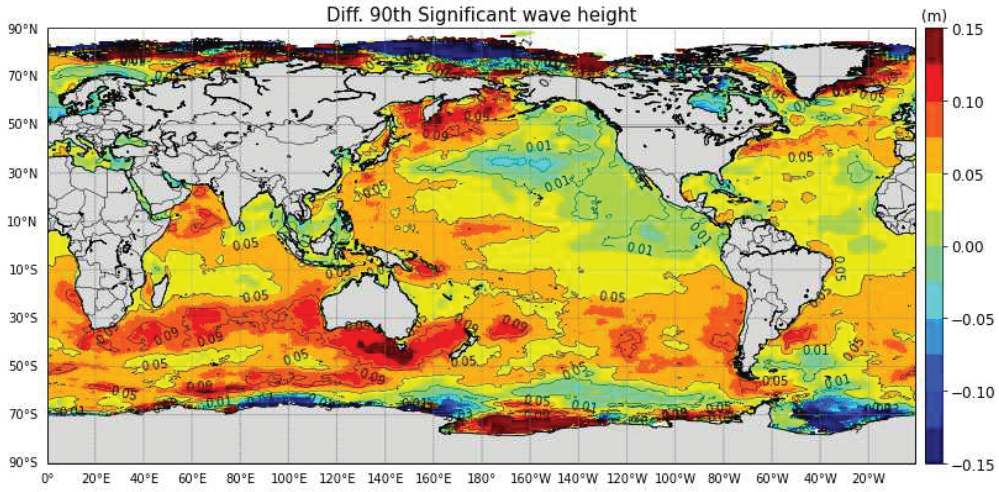
구평년과 신평년의 극한 유의파고 공간분포도를 비교한 결과 파고 크기별 분포 범위에서 차이를 보였다. 북태평양과 인도양 그리고 남극해에서 구평년 보다 파고가 상승한 양상이 나타났으며 적도 부근 지역에서는 큰 차이가 나타나지 않았다.



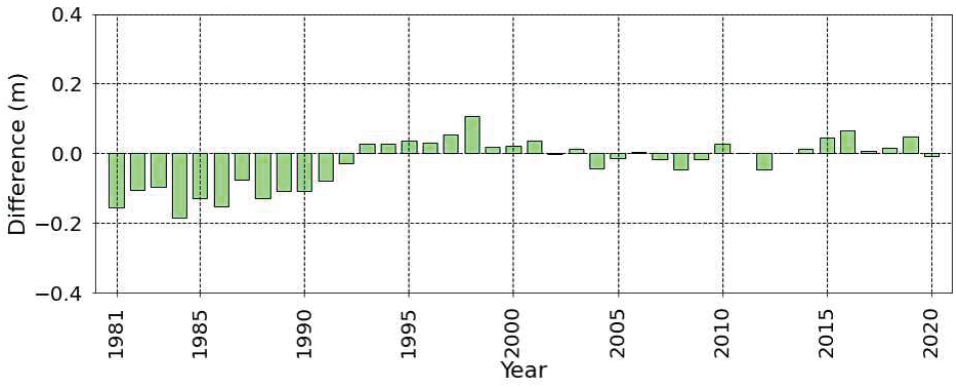
<그림 2-1-13> 전 지구 구평년(상) 및 신평년(하) 극한 유의파고 공간분포도

구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석하기 위하여 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도를 산출하였다. 편차 분포도를 살펴보면 북극해와 남극해 그리고 태평양 일부 지역을 제외한 전 해역에서 극한 유의파고가 상승하였다. 특히 서태평양과 인도양, 남극해에서 0.05m 이상 상승해 다른 지역에 비해 큰 상승폭을 나타내었다. 전반적인 분포 양상이 평균 유의파고의 분포와 유사하였으나 평균 유의파고 보다 상승폭이 컸다.

신평년 값 기준 연별 편차 시계열을 산출한 결과 1981년부터 1992년까지 신평년 평균값의 우세로 음수가 산출되었으나 이후 양수가 산출하였으며 0을 기준으로 증감 변동을 나타내었다. 1992년 이후 양의 값이 산출되는 빈도가 증가하였으나 상승하는 양상은 나타나지 않았다.



<그림 2-1-14> 전 지구 극한 유의파고 편차 공간분포도



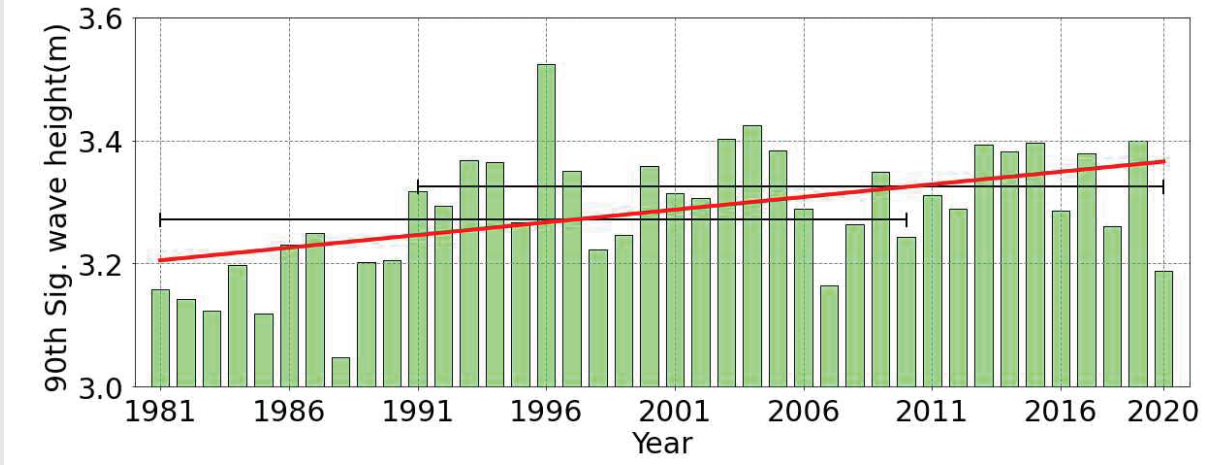
<그림 2-1-15> 연별 전 지구 극한 유의파고 편차 시계열 (편차 기준 : 1991~2020년)

(2) 동아시아

동아시아 영역(위도 10°N~70°N, 경도 105°E~180°E)의 극한 유의파고의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 극한 유의파고의 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 극한 유의파고 공간분포도를 산출하여 분포 양상을 비교하였고 신평년 극한값에서 구평년 극한값 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별로 발생한 차이를 분석하였다. 또한 연별 유의파고 극한값에서 신평년 극한값을 뺀 편차 시계열을 산출해 신평년 평균값을 기준으로 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 동아시아 영역 1981년부터 2020년까지 연별 극한 유의파고 평균값을 산출한 결과로 빨간색 선은 추세선이고 두 개의 검은색 선은 각각 구평년과 신평년 극한값을 의미한다. 시계열 그래프를 살펴보면 극한값이 상승 및 하락을 반복하며 장기적으로 상승하는 양상을 나타내었다. 변화율은 0.0041m/year로 평균 유의파고 0.0027m/year 보다 높았다. 또한 전 지구 극한 유의파고의 변화율(0.0039m/year)과 비교한 결과 동아시아 영역에서의 변화율이 더 높았다.

구/신평년 극한값과 편차를 산출한 결과 구평년 극한값은 3.28m, 신평년 극한값은 3.33m, 편차는 0.05m가 산출되어 구평년 대비 신평년에 0.05m 상승하였다. 전 지구 구/신평년 극한값과 비교하면(구평년 : 3.38m, 신평년 : 3.43m) 구평년과 신평년 극한값 모두 0.1m 작았다.

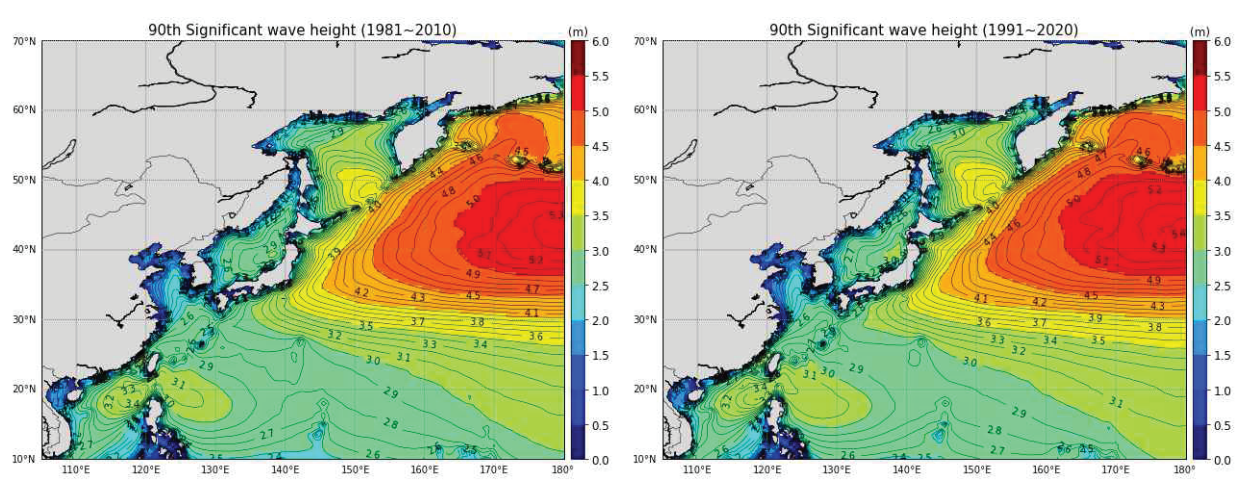


<그림 2-1-16> 연별 동아시아 유의파고 극한값 및 추세(1981~2020년)

구평년과 신평년 유의파고 극한값 공간분포도를 산출한 결과 아래 그림과 같다. 두 평년 기간 극한 유의파고 분포를 비교한 결과 전반적인 분포 양상은 유사하였다. 가장 높은 파고가 분포한 해역은 일본 동쪽 북서태평양 지역(위도 39°N~50°N, 경도 170°E~180°E)으로 약 5m 이상 파고가 분포하였다. 오호츠크해에서는 약 2~4m, 베링해에서는 약 3.5~5m인 파고가 분포하였다. 우리나라 주변 해역에서는 약 2~3m인 유의파고가 분포하였으며 오키나와 제도 주변에서는 약 2.5~3m, 대만과 필리핀해 주변에서는 약 2.5~3.5m인 유의파고가 분포하였다.

구평년과 신평년 극한값 공간분포도를 비교한 결과 전반적인 분포 양상은 유사하였으나 파고 크기 분포 범위에서 차이를 보였다. 구평년 대비 신평년에 전체적으로 파고가 상승하여 파고 크기별 분포 범위에서 차이가 나타났다. 지역별로 비교한 결과 일본 동쪽 북서태평양 지역과 오호츠크해, 베링해에서 파고가 상승한 양상이 나타났다. 우리나라 동해에서도 파고가 상승하였는데, 동해, 오호츠크해, 베링해, 일본 동쪽 북서태평양 지역에서 파고가 상승한 양상이 나타난 것으로 미루어보아 위도 30°N 기준 북쪽 지역에서 전체적으로 파고가 상승한 것으로 판단된다. 또한, 위도 30°N 이하 남쪽 해역에서도 파고가 상승한 양상을 보였다. 동중국해에서는 큰 차이를 나타내지 않았으나 대만 주변 해역과 필리핀해에서는 파고가 상승한 양상을 나타내었다.

구평년과 신평년 극한 유의파고의 공간적인 차이를 정량적으로 확인하고 연별로 극한 유의파고 변동 양상을 파악하기 위해 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 극한 유의파고 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 그래프를 산출하였다.

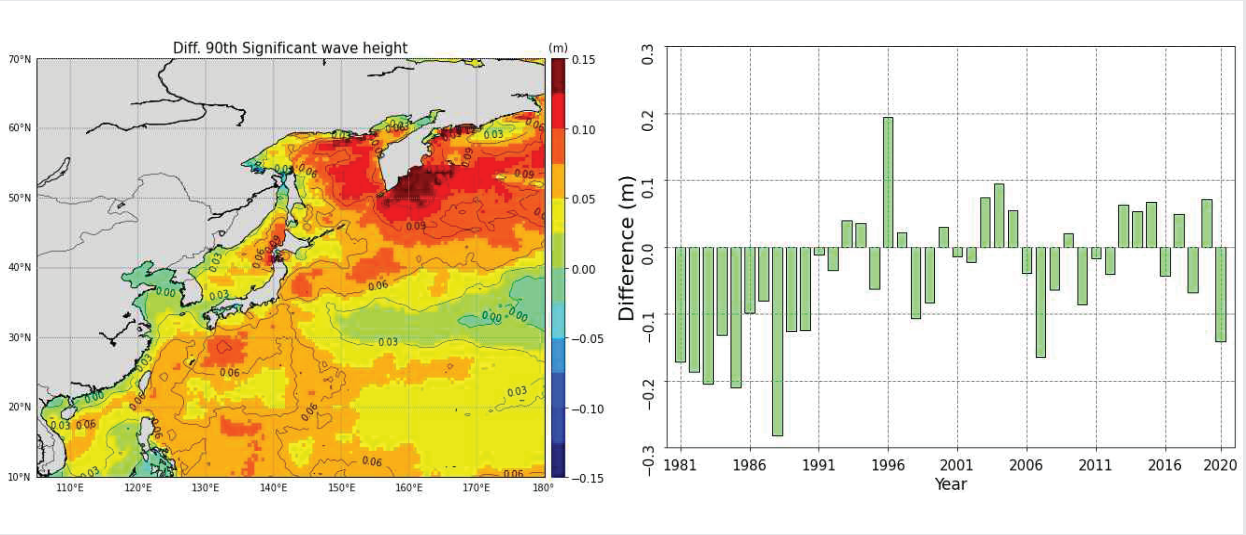


<그림 2-1-17> 동아시아 구평년(좌) 및 신평년(우) 극한 유의파고 공간분포도

편차 분포도에서 나타난 파고 상승지역은 평균 유의파고 편차 분포도와 공간적으로 유사해 보였으나 보다 복잡한 양상을 보였다. 오호츠크해에서 캄차카반도, 베링해 주변 지역(위도 40°N~60°N, 경도 145°E~180°E)에 걸쳐 약 0.05m 이상 상승하였으며, 그 중 캄차카반도 동쪽 지역에서 0.12m 이상 상승하여 가장 큰 상승 폭을 나타내었다. 또한 일본 동해와 남해, 오키나와 제도 주변, 필리핀해에서 약 0.05m 이상 상승하였으며 그 중 일본 남해 오키나와 제도 주변 지역에서 0.07m 이상 상승하였다. 우리나라 동해와 남해에서도 극한 유의파고가 상승하였으며 특히 일본 홋카이도 주변 해역에서 큰 상승 폭을 나타내었다.

편차 분포도 분석결과 평균 유의파고 편차 분포도와 상승지역 및 분포 특징은 유사하였지만 지역적으로 상승 폭의 크기와 분포에서는 차이를 보였다. 전반적으로 극한 유의파고의 상승 폭이 평균 유의파고 보다 컸으며, 국지적으로 나타나는 편차 크기별 분포가 더 복잡한 양상을 나타내었다. 큰 상승폭을 나타낸 지역은 오호츠크해와 캄차카반도 주변, 일본 홋카이도 주변 그리고 일본 남해에서 필리핀해에 이르는 영역으로 전반적으로 약 0.05m 이상 상승하였고 그 중 캄차카반도 주변에서의 상승 폭이 가장 컸다.

신평년 값 기준 연별 편차 시계열 그래프를 산출한 결과 1981년부터 1990년까지 음수를 나타내지만 1991년 이후에는 0을 기준으로 증가 및 감소를 반복하는 변동성을 나타내었다. 1991년 이후 비주기적으로 음수 또는 양수가 산출되었으나 뚜렷한 추세는 나타나지 않았다.



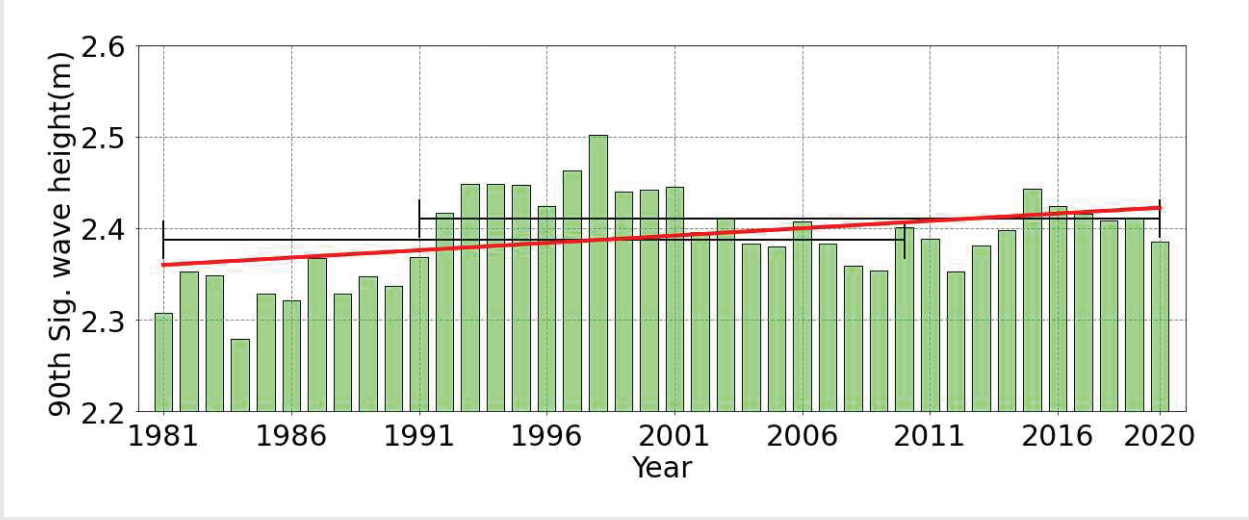
<그림 2-1-18> 동아시아 극한 유의파고 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우)

(3) 한반도 연근해

한반도 연근해에서 극한 유의파고 변동 양상을 이해하기 위해 연별 극한 유의파고 평균값 시계열 그래프를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출하여 분포 양상을 비교하였으며 신평년 극한값에서 구평년 극한값을 뺀 편차 분포도를 산출해 지역별로 발생한 차이를 분석하였다. 또한 연별 유의파고 극한값에서 신평년 극한값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별로 발생한 차이를 분석하였으며, 연별 유의파고 극한값에서 신평년 극한값을 뺀 편차 시계열 그래프를 산출하여 신평년 기준 편차의 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 한반도 연근해 영역에서 1981년부터 2020년까지 연도별 극한 유의파고의 평균값을 산출한 결과로 빨간색 선은 추세선이고 검은색 선은 각각 구평년 및 신평년 극한값을 의미한다. 시계열 그래프를 살펴보면 극한 유의파고 평균값이 상승 및 하락하면서 장기적으로 상승하는 양상을 나타내었다. 변화율은 0.0028m/year로 평균 유의파고 변화율인 0.0019m/year 보다 높게 나타났다. 또한 전 지구(0.0039m/year)와 동아시아(0.0041m/year)보다 낮은 변화율을 나타내었다.

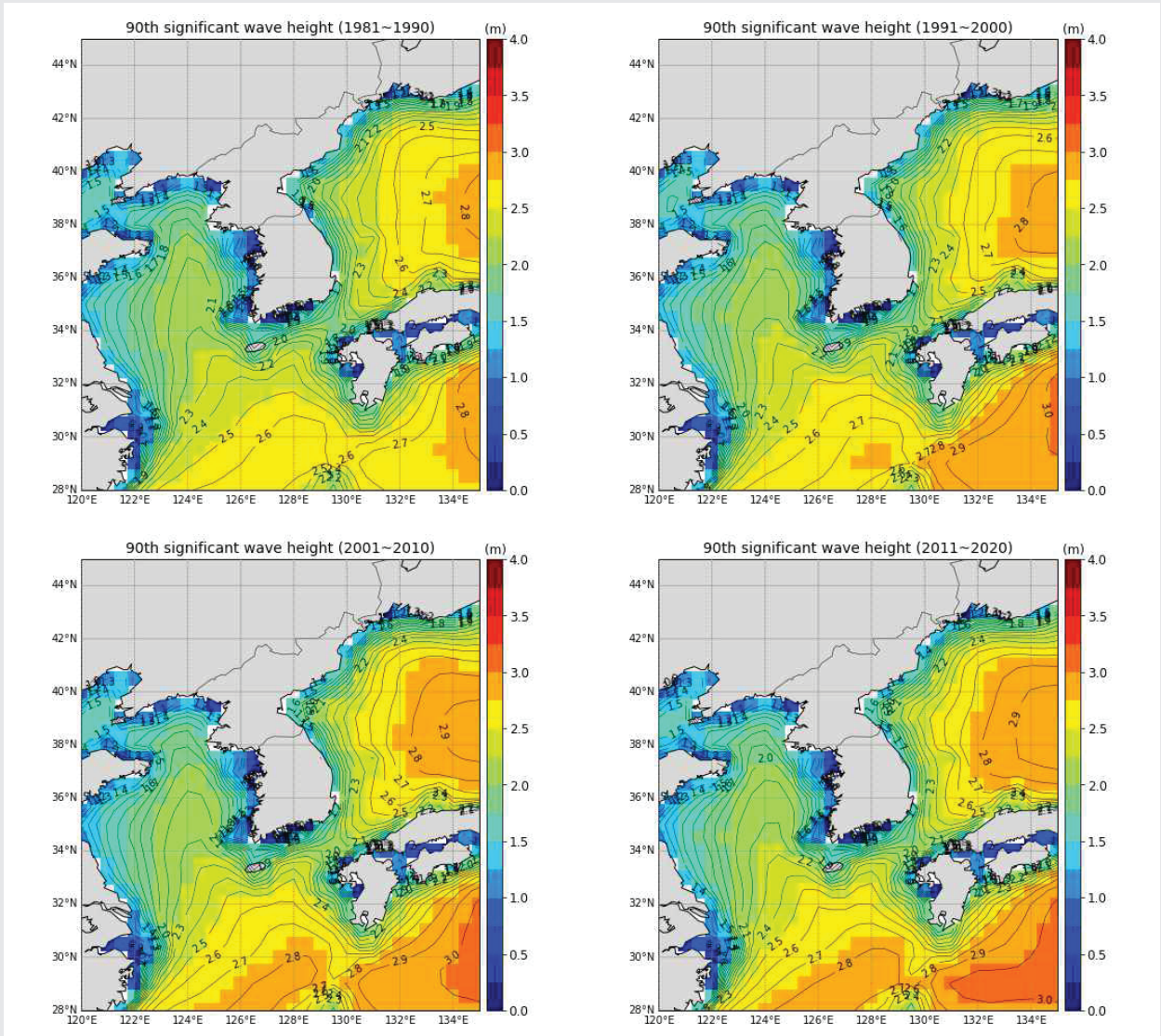
분석 영역별 변화율, 구/신평년값, 편차 값을 비교한 결과 극한 유의파고의 변화율은 동아시아, 전 지구, 한반도 연근해 순으로 컸으며, 구-신평년값의 편차는 각각 0.05m, 0.05m, 0.03m로 한반도 연근해에서의 변화율과 편차가 가장 작았다.



<그림 2-1-19> 연별 한반도 연근해 유의파고 극한값 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-1-2> 분석 영역별 극한 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
전 지구	0.0039	3.38	3.43	0.05
동아시아	0.0041	3.28	3.33	0.05
한반도 연근해	0.0028	2.18	2.21	0.03

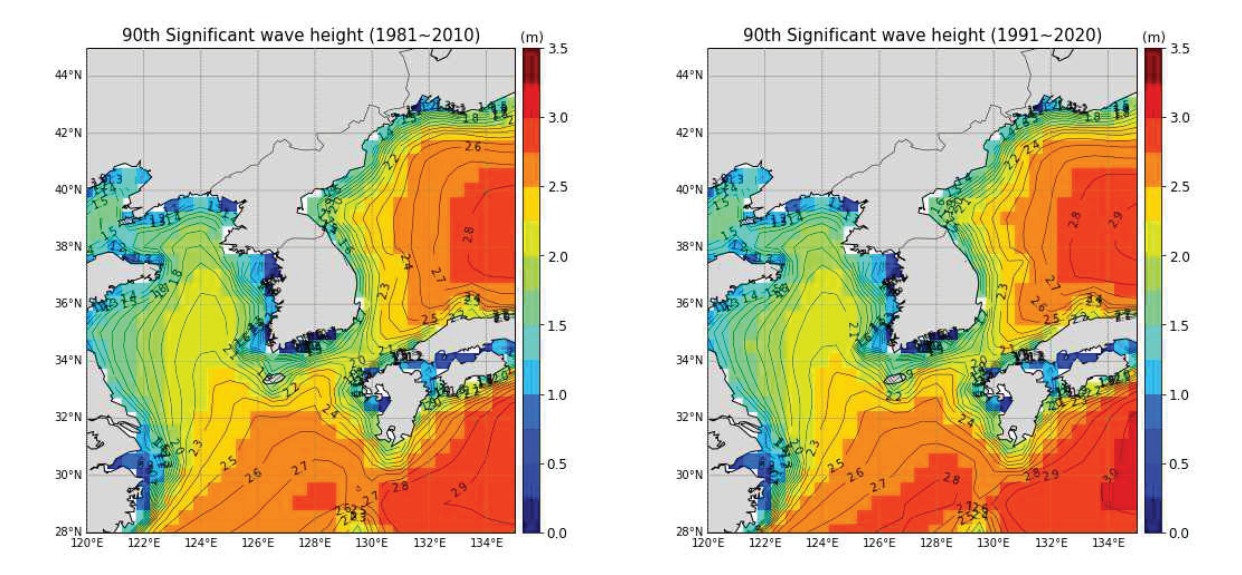


<그림 2-1-20> 한반도 연근해 10년 간격 유의파고 평균 분포도 (1981~2020년)

구평년과 신평년 기간의 극한 유의파고 공간분포도를 산출한 결과는 아래 그림과 같다. 두 평년 기간의 극한 유의파고의 공간분포도를 통해 전체적인 분포 양상은 평균 유의파고 분포도와 유사하였지만 공간적으로 파고의 크기에서 차이를 나타내었다.

두 평년 기간 분포도 모두 가장 높은 극한 유의파고가 발생한 지역은 일본 남해(위도 28°N~32°N, 경도 130°E~135°E)로 약 2~3.0m 사이 분포를 나타내었다. 우리나라 동해에서도 약 2~3m인 유의파고가 분포하였으며 서해에서는 약 1.5~2.5m인 파고가 분포하였다.

구평년과 신평년 극한 유의파고 공간분포도를 비교한 결과 분포 특징은 유사하였으나 구평년과 비교해 신평년에 파고 상승에 따른 파고 크기 분포 범위에서 다른 양상을 보였다. 가장 뚜렷한 변동 양상이 나타난 지역은 동중국해와 일본 남해(위도 28°N~32°N)로 구평년보다 약 2.7m 이상인 파고 분포 범위가 넓은 지역에 걸쳐 상승하였다. 그 중 구평년에 가장 높은 극한 유의파고가 분포하였던 일본 남해 지역에서 파고가 상승하여 약 2.8~3.0m 분포를 나타내었다. 동해에서도 파고가 상승하였으며, 특히 중앙부를 중심으로 동해 전역에서 상승한 양상을 나타내었다. 남해에서는 제주도 남쪽 지역에서 전체적으로 파고가 상승한 양상을 보였다. 서해에서도 구평년보다 파고가 상승한 양상을 보였으나, 동해와 남해에 비해 작은 변동 폭을 나타내어 뚜렷한 변동 양상이 나타나지 않았다.

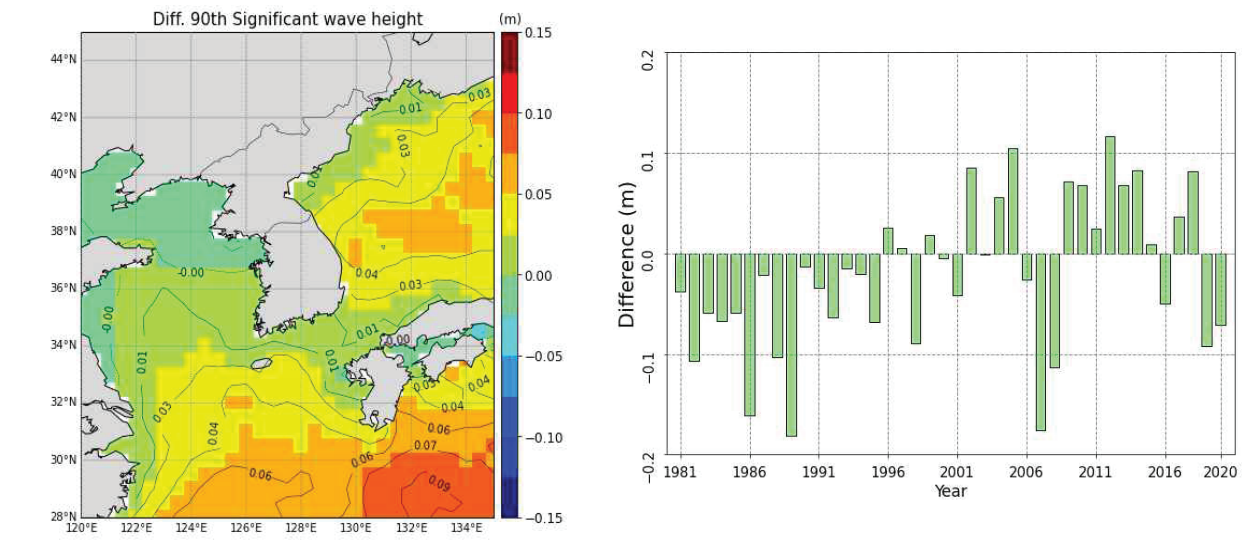


<그림 2-1-21> 한반도 연근해 구평년(좌) 및 신평년(우) 극한 유의파고 공간분포도

구평년과 신평년 극한 유의파고 공간분포도의 공간적인 차이를 정량적으로 확인하고 연별 극한 유의파고의 변동 양상을 파악하기 위해 신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도와 연별 유의파고의 극한값에서 신평년 극한값를 뺀 편차 그래프를 산출하였다. 각 결과는 아래 그림과 같다.

편차 공간분포도를 살펴본 결과 평균 유의파고 편차 분포도와 분포가 유사하였지만 상승 폭이 더 크고 복잡한 특징을 보였다. 가장 뚜렷한 상승 변동을 나타낸 지역은 동중국해와 일본 남해(위도 28°N~32°N)로 구평년 대비 약 0.05m 이상 상승하였으며, 일본 남해 일부(위도 28°N~32°N, 경도 130°E~135°E)에서는 약 0.09m 이상 상승해 가장 큰 상승 폭을 나타내었다. 동해에서는 약 0.03m 이상 상승하였으며, 특히 동해 중심부에서 우리나라 동해안에 걸쳐 약 0.05m 이상 상승해 주변 지역보다 큰 상승 폭을 나타내었다. 남해에서는 제주도를 기준으로 남쪽 지역에서 약 0.03m 이상 상승하였으며 서해에서는 약 0~0.02m 상승하여 동해와 남해보다 작은 폭으로 상승하였다.

신평년 값 기준 연별 편차 그래프를 산출한 결과 1981년부터 1990년까지 지속적으로 음수가 산출되었으며 1991년 이후에는 0 기준으로 증가 및 하락을 반복했다. 1990년대 이후 비주기적이지만 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하였으며, 전반적으로 편차가 상승하는 추세를 나타내었다.



<그림 2-1-22> 한반도 연근해 극한 유의파고 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우)

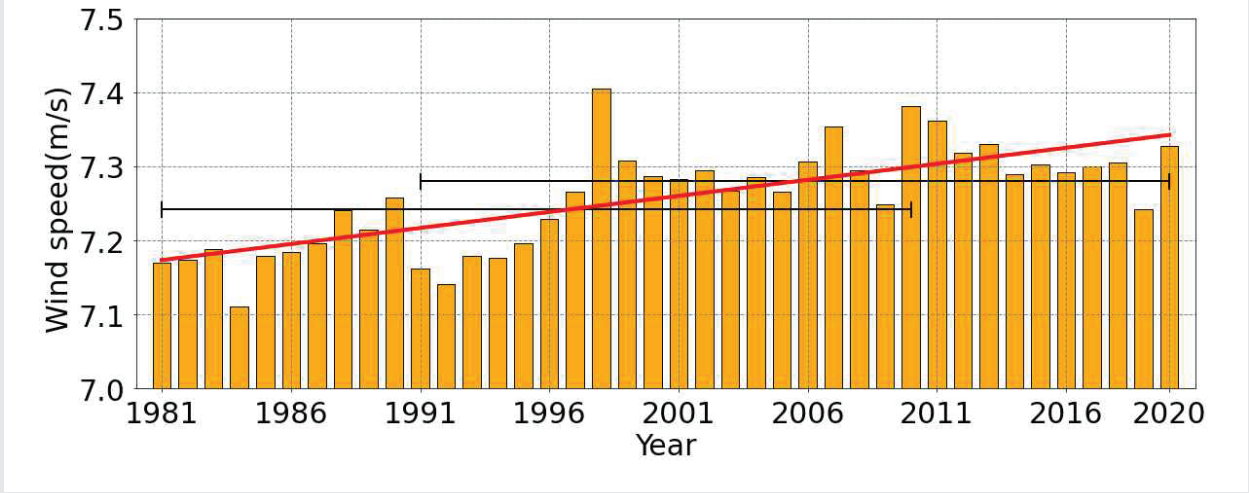
2. 평균/극한 풍속

가. 평균 풍속

(1) 전 지구

전 지구의 평균 풍속 변동 양상을 이해하기 위해 연별 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출해 분포 양상을 비교하였고 신평년에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별로 발생한 차이를 정량적으로 분석하였다. 또한 연별 풍속 평균값에서 신평년 평균값을 뺀 편차 그래프를 산출하여 신평년을 기준으로 편차의 변동 양상을 파악하였다.

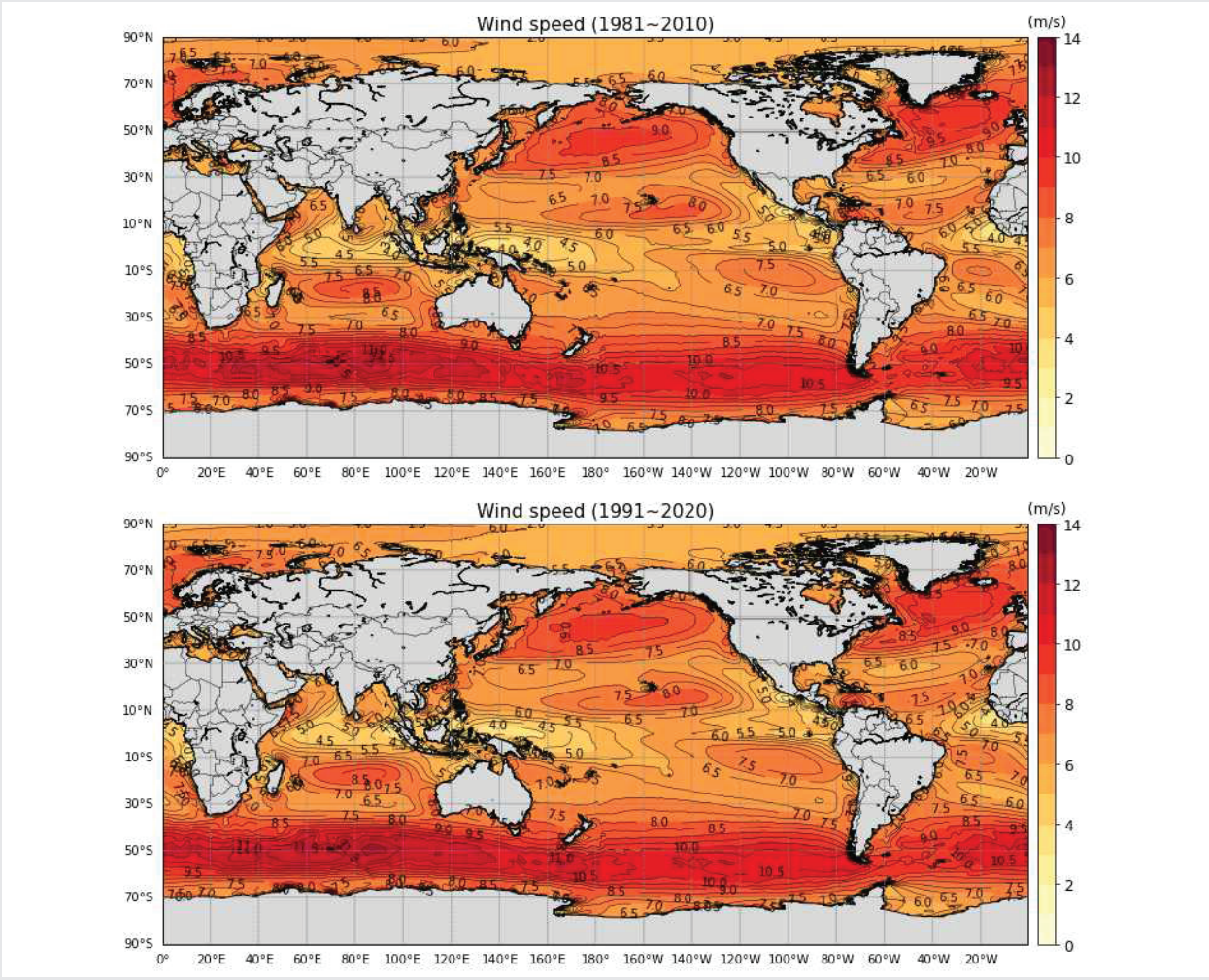
아래 시계열 그림은 전지구 영역에서 1981년부터 2020년까지 연별 풍속 평균값을 산출한 결과로 증가 및 감소 변동을 나타내면서 장기적으로는 증가하는 양상을 나타내었다. 그래프의 빨간색 선은 추세선으로 증가 추세를 나타내고 있으며, 변화율은 0.0043ms^{-1}/year가 산출되었다. 두 개 검은색 선은 각각 구평년과 신평년 평균값을 의미한다. 구/신평년 값과 편차 산출한 결과 구평년은 7.24m/s, 신평년은 7.28m/s, 편차는 0.04m/s가 산출되어 구평년 보다 신평년의 풍속이 컸다.



<그림 2-1-23> 연별 전 지구 풍속 평균값 및 추세 (1981~2020년)

구평년(1981년~2010년), 신평년(1991년~2020년) 공간분포도 산출 결과는 아래 그림과 같다. 두 평년 기간 풍속의 공간적인 분포 양상을 비교한 결과 구평년과 신평년 모두 풍속 크기가 가장 큰 지역은 평균 유의파고와 같이 인도양 남측 남극해 지역(40°S~60°S, 30°E~140°E)로 약 7~12m/s 분포를 나타내었으며, 북태평양에서는 약 7~9m/s, 북대서양에서는 약 7~9.5m/s 이상 분포를 나타냈다. 적도 지역(10°S~10°N)에서는 약 4~6m/s 분포 범위를 보여 다른 지역에 비해 풍속이 작았다.

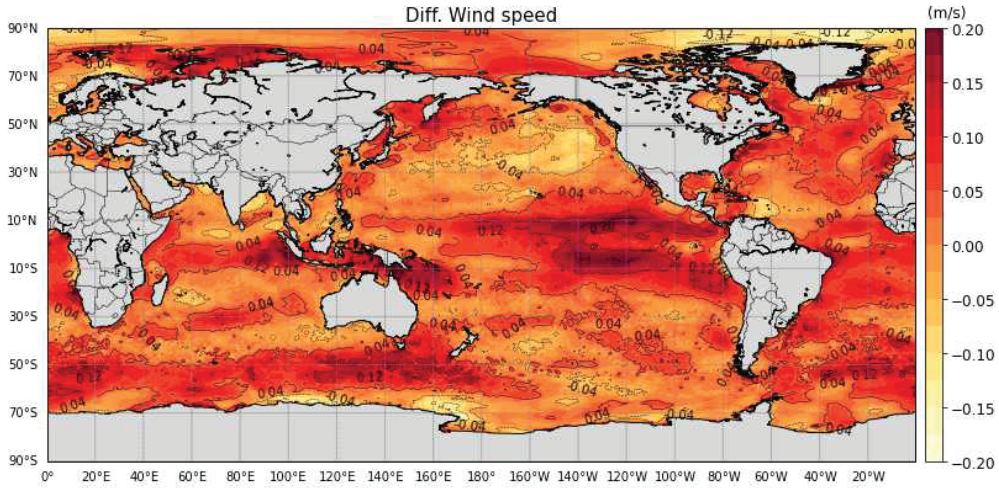
구평년과 신평년 분포도를 비교한 결과 공간적 분포 특징이 유사하였다. 지역적으로 비교한 결과, 풍속의 크기 및 분포 범위에서 차이를 나타내었지만, 전반적으로 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다.



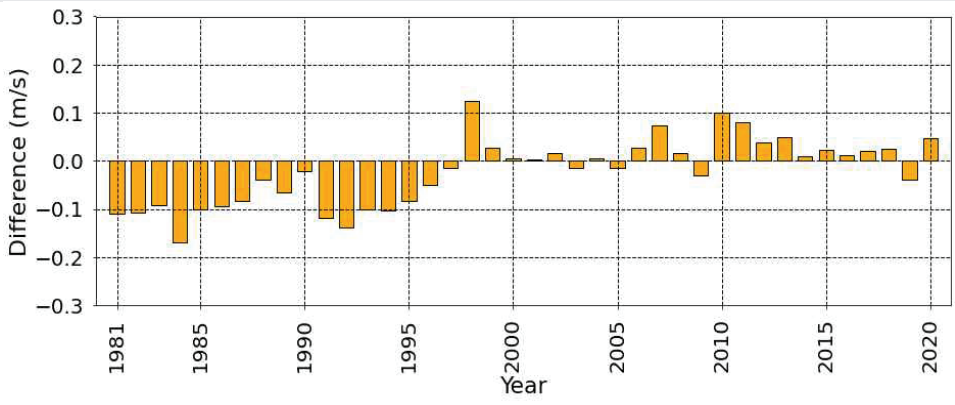
<그림 2-1-24> 전 지구 구평년(상) 및 신평년(하) 평균 풍속 공간분포도

구평년과 신평년 공간적인 차이를 이해하기 위해 신평년 값에서 구평년 값을 빼 아래 그림과 같이 편차 공간분포도를 산출하였다. 편차 분포도 확인 결과, 북동태평양 지역과 북극을 제외한 대부분 지역에서 풍속이 증가하였다. 호주 남측 남극해와 적도 지역(10°S~10°N) 서/동태평양에서 풍속이 약 0.1m/s 이상 증가해 다른 지역보다 큰 증가폭을 나타내었다.

연별 풍속 평균값에서 신평년 평균값을 뺀 편차 시계열을 산출한 결과 1981년부터 1997년까지 음의 값이 산출되었으나 1997년 이후에 양의 값이 산출되는 빈도가 증가하였다. 비주기적으로 양수 또는 음수가 산출되었지만, 전반적으로 편차가 증가하는 양상을 나타내었다.



<그림 2-1-25> 전 지구 평균 풍속 편차 공간분포도

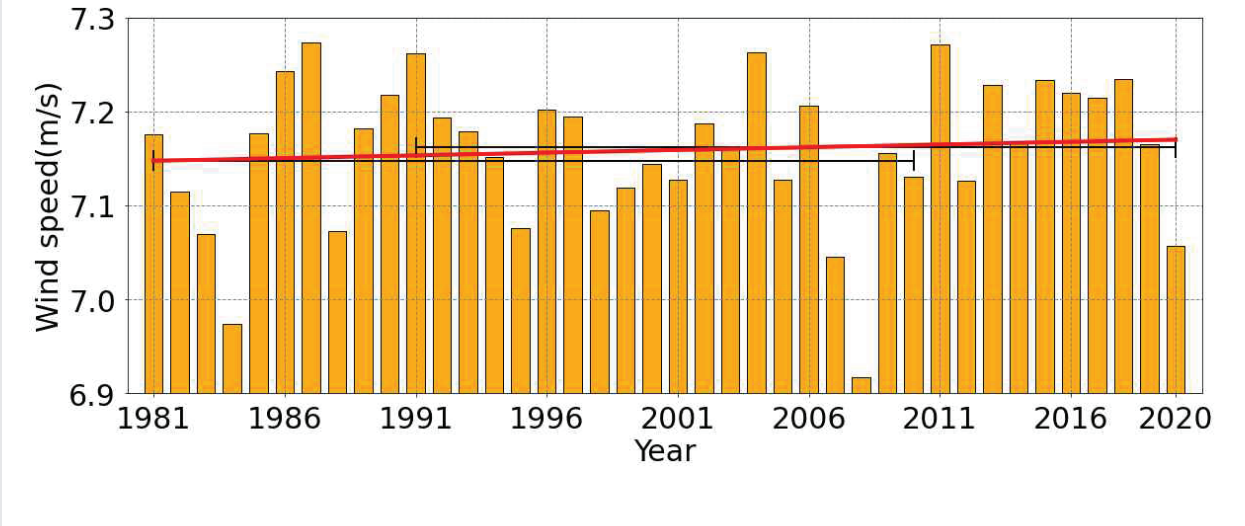


<그림 2-1-26> 연별 전 지구 평균 풍속 편차 시계열 (편차 기준 : 1991~2020년)

(2) 동아시아

동아시아 지역(위도 10°N~70°N, 경도 105°E~180°E)에서 평균 풍속의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 풍속 평균 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출햐 분포 양상을 비교하였으며 신평년 평균값에서 구평년 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별로 발생한 차이를 정량적으로 분석하였다. 또한 연별 풍속 평균에서 신평년 평균값을 뺀 편차 그래프를 산출하여 신평년 기준 편차의 변동 양상을 파악하였다.

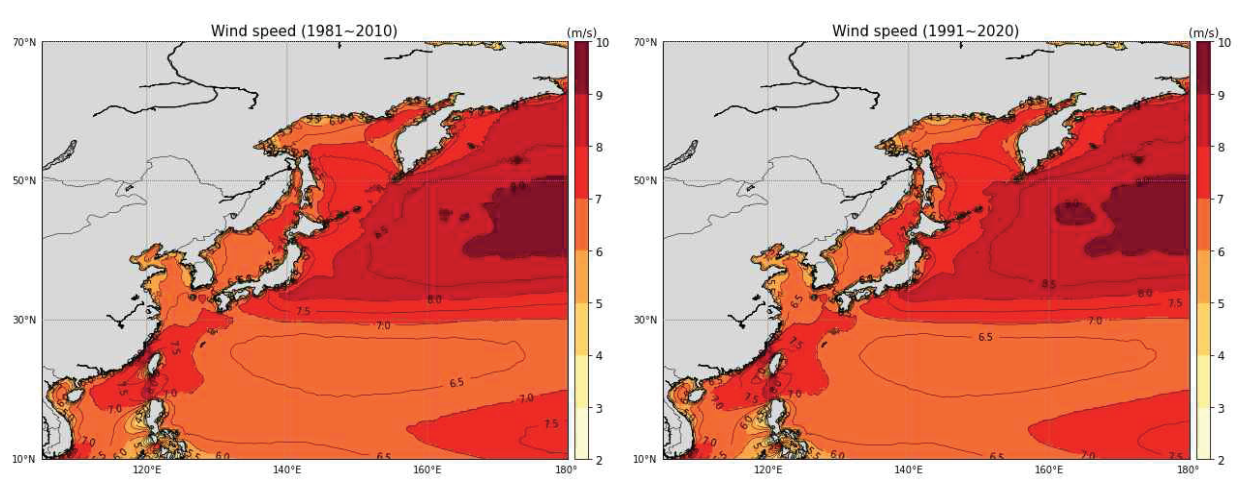
아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 연별 풍속 평균값을 산출한 결과로 1981년 이후 증가 및 감소 변동을 나타내면서 장기적으로 증가하는 양상을 나타내었다. 빨간색 선은 추세선으로 상승 추세를 나타내고 있으며 변화율은 0.0006ms^{-1}/year로 전 지구 변화율(0.0043ms^{-1}/year)보다 작게 산출되었다. 구/신평년 평균값을 산출한 결과, 구평년 값은 7.15m/s, 신평년 값은 7.16m/s가 산출되어 구평년 대비 신평년에 0.01m/s 증가하였다. 편차도 전 지구(0.04m/s) 영역에 비해 작은 증가 폭을 나타내었다. 연별 평균값과 변화율, 구/신평년값, 편차 분석결과 전 지구보다 변화율 및 편차가 작게 산출되었으며, 구평년 보다 신평년 풍속이 증가하였고 증가 추세를 나타내었지만, 매우 작은 변동 양상을 보였다.



<그림 2-1-27> 연별 동아시아 풍속 평균값 및 추세 (1981~2020년)

구평년과 신평년의 공간분포도를 산출한 결과 아래 그림과 같다. 두 평년 기간 모두 풍속의 전체적인 분포 양상은 유사하였지만, 풍속 증가에 의한 풍속 크기 분포 범위에서 차이가 나타났다. 풍속 크기별 공간적인 분포 양상을 비교한 결과 구평년, 신평년 모두 풍속의 크기가 가장 큰 지역은 일본 동쪽 북서태평양 지역으로 약 8~10m/s인 풍속이 분포하였다. 오호츠크해에서 약 6~7m/s 풍속이 분포하였으며, 일본 남해에서 오키나와 제도, 대만 동해를 포함하는 영역에서 약 6~7m/s인 풍속이 분포하였다. 동중국해 및 대만 주변 해역에서는 약 7~8m/s인 풍속이 분포하는 양상을 보였다.

구평년과 신평년 분포도를 비교한 결과 풍속 크기 분포 양상이 유사하였지만, 구평년과 비교하여 신평년에 풍속이 증가하여 풍속 크기별 분포 범위에서 차이를 보였다. 가장 큰 차이를 보인 지역은 일본 동측 북태평양 지역(위도 35°N~50°N, 경도 160°E~180°E)으로 구평년 보다 신평년에 약 9m/s 이상인 풍속의 분포 범위가 증가하여 풍속의 증가 양상을 나타내었다. 오호츠크해에서도 약 7~8m/s 풍속 분포가 증가하였으며, 동중국해 및 오키나와 제도 주변, 우리나라 남해에서도 약 7~8m/s 풍속 분포가 증가하였다. 대만 주변 지역에서는 한반도 주변보다 큰 풍속을 보이고 있지만 구/신평년 간에 큰 변화는 나타나지 않았다. 우리나라 서해에서도 뚜렷한 변화가 나타나지 않았고 동해에서는 일본 홋카이도 주변에서 증가 양상을 나타내었다.

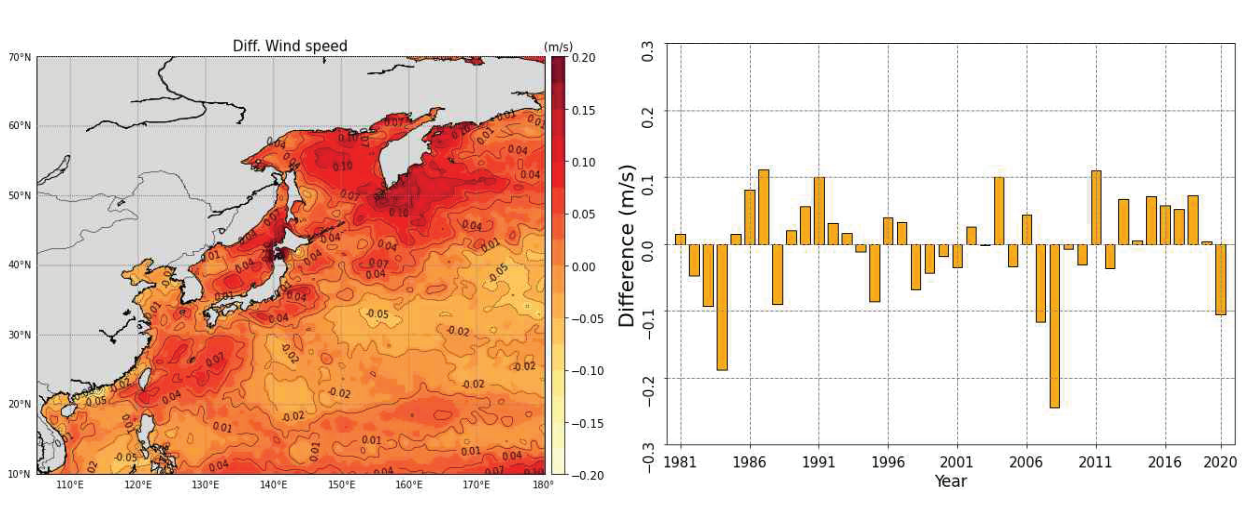


<그림 2-1-28> 동아시아 구평년(좌) 및 신평년(우) 평균 풍속 공간분포도

구평년과 신평년의 공간분포도의 공간적인 차이를 정량적으로 비교하고 연별 평균 풍속의 변동 양상을 파악하기 위해 신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도와 연별 풍속 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열 그래프를 산출하였다. 각 결과는 아래 그림과 같다.

편차 분포도 산출결과 북서태평양 일부를 제외한 대부분 지역에서 구평년보다 풍속이 증가하였다. 지역별로 살펴보면 오호츠크해에서는 약 0~0.1m/s 증가하였으며, 캄차카반도 주변 지역에서는 약 0~0.1m/s 증가하였다. 우리나라 동해와 일본 동해에서는 약 0~0.07m/s 증가하였다. 남쪽에 있는 동중국해와 오키나와 제도, 대만 주변 지역에서는 약 0~0.07m/s 증가해 우리나라 동해와 일본 동해에서의 증가 폭과 유사하였다. 편차 분포도 분석결과 전반적으로 대만 주변 지역에서 일본 오키나와 제도, 우리나라와 일본 주변, 쿠릴열도, 오호츠크해, 캄차카반도 주변을 포함한 광범위한 영역에서 풍속이 증가한 양상을 보였다. 반면 발해만과 남중국해, 필리핀 주변 지역, 북서태평양 일부 지역에서는 풍속이 감소하였다. 특히 일본 동쪽 북서태평양 일부(위도 20°N~45°N, 경도 150°E~180°E)에서 광범위하게 풍속이 감소한 특징을 보였다.

신평년 값 기준 연별 편차 그래프를 산출한 결과 1981년부터 증가, 감소하는 변동을 나타내었다. 비주기적으로 양수 또는 음수가 산출되어 0을 기준으로 증감 변동을 나타내었으나 편차의 크기가 약 -0.1 ~0.1m/s 범위에서 산출되었으며, 뚜렷한 추세는 나타나지 않았다.

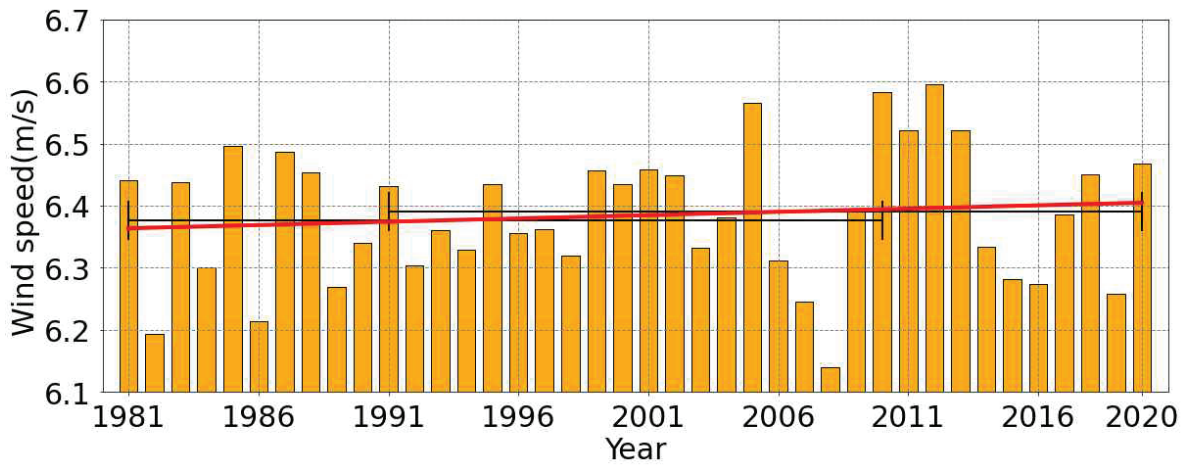


<그림 2-1-29> 동아시아 평균 풍속 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우)

(3) 한반도 연근해

한반도 연근해(위도 28°N~45°N, 경도 120°E~135°E)에서 평균 풍속의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 풍속 평균 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출하여 분포 양상을 비교하였으며 신평년에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별로 발생한 차이를 정량적으로 분석하였다. 또한, 연별 풍속 평균값에서 신평년 평균값을 뺀 편차 시계열 그래프를 산출하여 신평년 기준 편차의 변동 양상을 파악하였다.

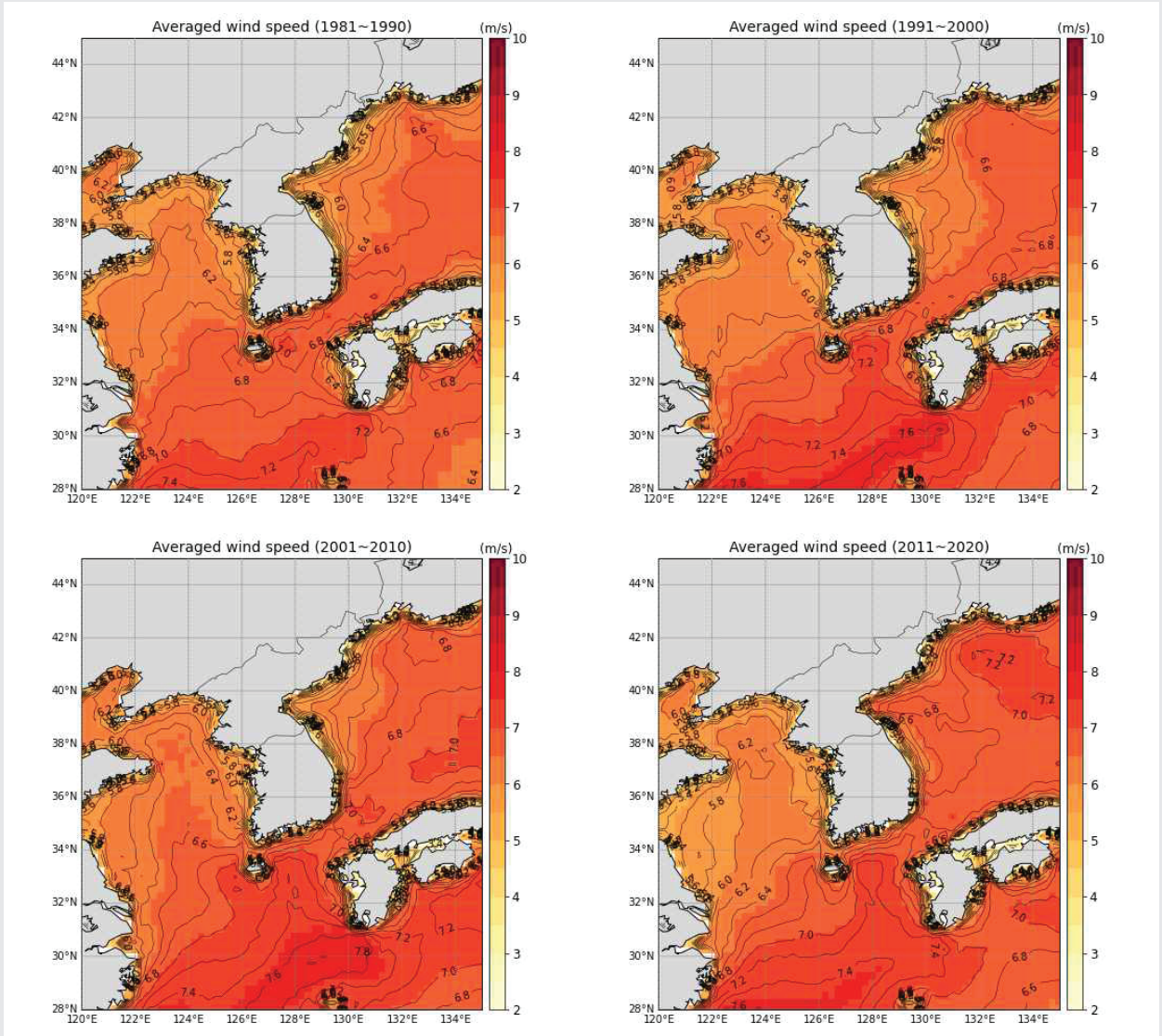
아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 연별 풍속 평균값을 산출한 결과로 1981년 이후 증가 및 감소 변동을 나타내면서 장기적으로는 증가하는 양상을 나타내었다. 빨간 선은 추세선으로 상승 추세를 나타내고 있으며 변화율은 0.0011ms^{-1}/year로 전 지구(0.0043ms^{-1}/year)보다는 작고 동아시아(0.0006ms^{-1}/year) 영역보다는 컸다. 구/신평년 평균값을 산출한 결과 구평년 값 6.38m/s, 신평년 값은 6.39m/s 산출되어 구/신평년 평균값 모두 전 지구와 동아시아 영역보다 작았다. 편차는 0.01m/s가 산출되어 동아시아 영역과 동일하였으며 전 지구보다는 작았다.



<그림 2-1-30> 연별 한반도 연근해 풍속 평균값 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-1-3> 분석 영역별 평균 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
전 지구	0.0043	7.24	7.28	0.04
동아시아	0.0006	7.15	7.16	0.01
한반도 연근해	0.0011	6.38	6.39	0.01

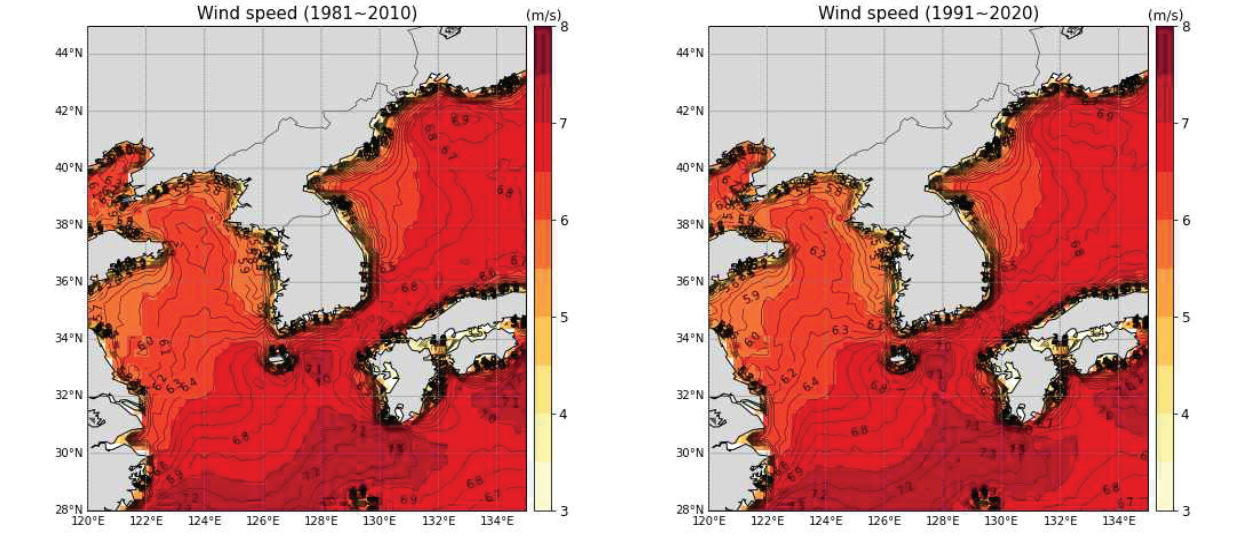


<그림 2-1-31> 한반도 연근해 10년 간격 평균 풍속 분포도 (1981~2020년)

구평년과 신평년의 공간분포도를 산출한 결과는 아래 그림과 같다. 두 평년 기간의 분포도 모두 풍속 크기별 분포 양상이 유사하였다. 동해에서는 6.5m/s 이상 풍속이 분포하고 남해에서는 전반적으로 6.5m/s 이상 풍속이 분포하였으나 일부 제주도 동쪽에서 7m/s 이상 풍속이 분포하였다. 서해에서는 6m/s 이상 풍속이 분포하는 특징을 나타내었다.

구평년과 신평년 풍속 공간분포도를 비교한 결과 분포 특징은 유사하였으나 신평년 풍속 증가에 따른 크기별 분포 범위에서 다른 양상을 보였다. 동해에서는 구/신평년 간 동해안 주변 지역에서는 큰 변동을 나타내지 않았으나, 동해 중심부에서는 풍속이 증가하여 6.8~6.9m/s 분포 범위가 증가하였다. 반면 남해에서는 전체적으로 풍속이 증가하였다. 제주도 주변에서는 7m/s 이상 분포 범위가 증가하였으며 제주도 남쪽 지역에서도 6.8m/s 이상 분포가 증가하였다. 서해에서도 증가한 양상을 보였지만 지역적으로는 큰 차이는 알 수 없었다. 동중국해와 일본 오키나와 제도와 남해 지역에서는 풍속이 증가하여 7m/s 이상 풍속 분포 범위가 증가한 양상을 나타내었다.

구평년과 신평년의 공간분포도 비교 결과 우리나라 주변 해역과 동중국해 및 일본 오키나와 제도 주변 지역에서 풍속이 증가한 양상을 보였다. 동해 중심부와 남해, 서해에서 풍속이 증가하였으며 특히 동중국해와 오키나와 제도 주변에서 풍속 증가에 따른 7m/s이상 풍속의 분포 변화가 우리나라 주변 해역보다 뚜렷하게 나타났다.

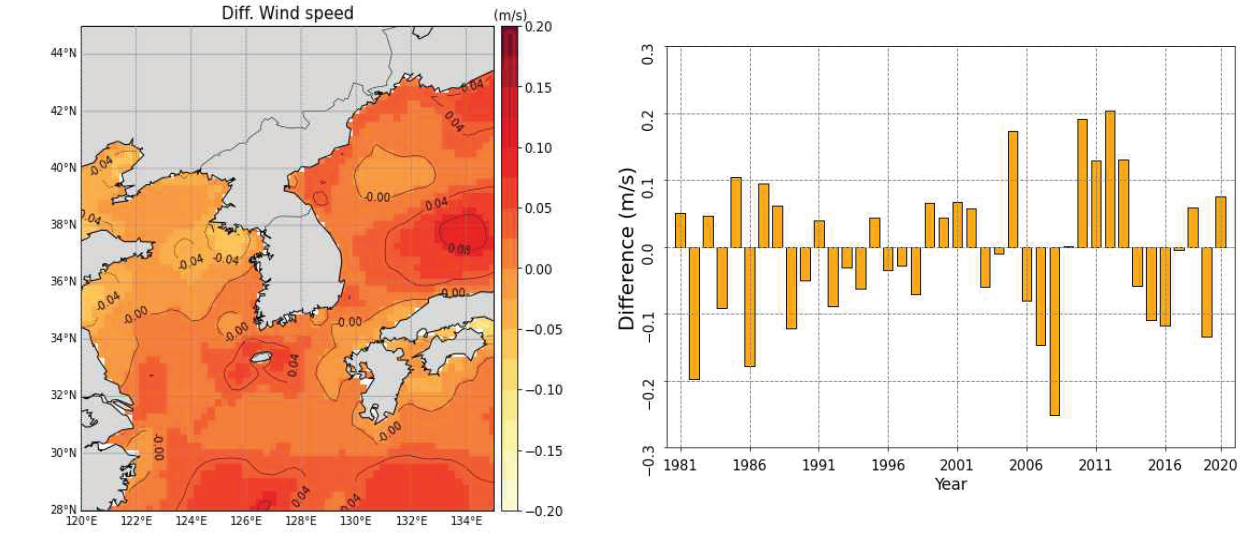


<그림 2-1-32> 한반도 연근해 구평년(좌) 및 신평년(우) 평균 풍속 공간분포도

구평년과 신평년 간 공간적으로 나타난 풍속의 차이를 확인하고 연별 평균 풍속 변동 양상을 파악하기 위해 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 풍속 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 그래프를 산출하였다. 각 결과는 아래 그림과 같다.

지역별로 풍속의 편차 크기 분포 특징을 분석한 결과 다른 변동 양상을 알 수 있었다. 우리나라는 동해안 북동쪽 해역에서는 편차가 0m/s에 근사해 변동을 알 수 없었다. 동해안 동쪽 해역에서는 0.02m/s 이상 증가하였는데, 특히 동해 중심부에서(위도 36°N~40°N, 경도 130°E~135°E) 약 0.04~0.08m/s 증가하였다. 우리나라 남해에서도 풍속이 증가하였으며 특히 제주도 주변 지역에서 0.04m/s 이상 증가하였다. 동중국해, 일본 남해(위도 28°N~30°N, 경도 123E~135°E)에서는 전체적으로 풍속이 증가하였으며, 증가 폭은 유사하였으며 특히 풍속의 증가 범위가 한반도 연근해에서 가장 큰 특징을 나타내었다. 우리나라 서해에서도 풍속이 증가하였으나 증가 폭은 다른 해역보다 작았으며, 서해 중심부 및 중국 발해만에서는 감소하여 동해 및 남해와는 다른 양상을 보였다.

신평년 값 기준 연별 편차 그래프를 산출한 결과 2004년까지 비주기적인 변동을 보이면서 감소하는 양상을 보였으며 2005년부터 0을 기준으로 비주기적인 증가 및 감소 변동을 나타내었다. 비주기적으로 음수 또는 양수가 산출되었지만, 전반적으로 편차가 상승하는 양상을 나타내었다.



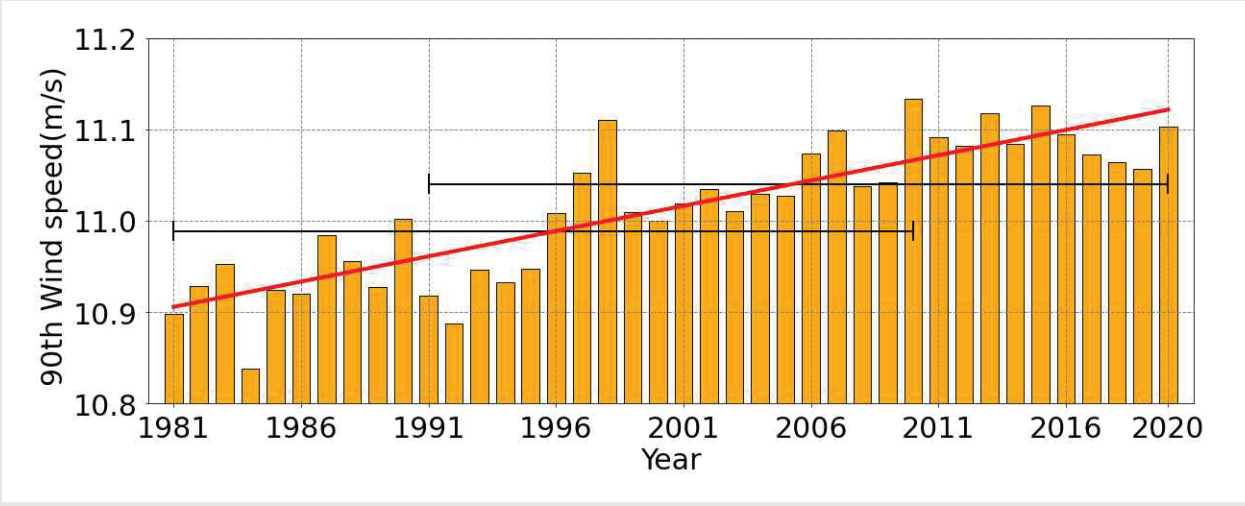
<그림 2-1-33> 한반도 연근해 평균 풍속 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우)

나. 극한 풍속

(1) 전 지구

전 지구의 극한 풍속의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 극한 풍속의 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년)의 공간분포도를 산출하여 분포 양상을 비교하였으며 신평년 극한값에서 구평년 극한값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별로 발생한 차이를 분석하였다. 또한, 연별 풍속 극한값에서 신평년 극한값을 뺀 편차 그래프를 산출하여 신평년 기준으로 편차 변동 양상을 파악하였다.

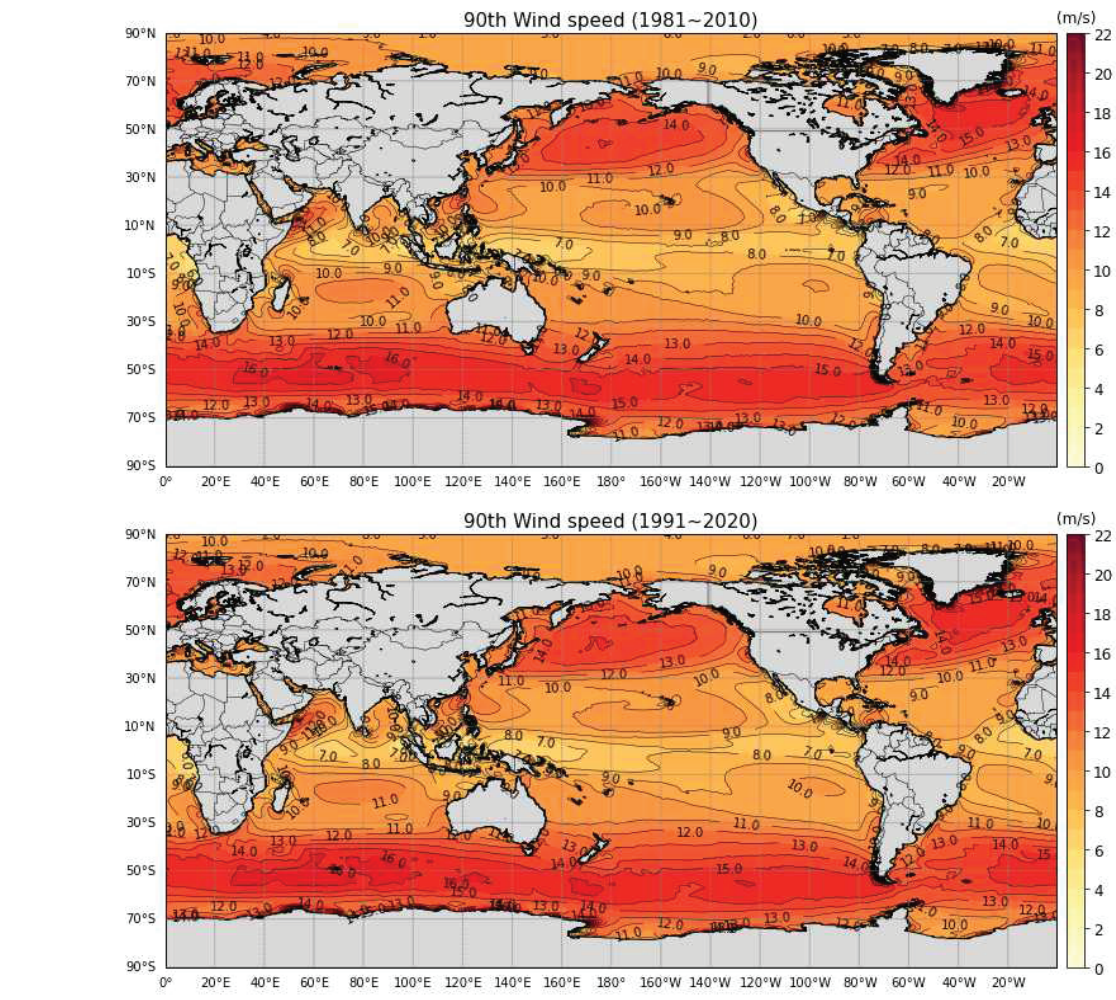
아래 시계열 그래프는 전 지구 영역에서 1981년부터 2020년까지 연별로 풍속 극한값을 산출한 결과로 증가 및 감소 변동을 나타내면서 장기적으로는 증가하는 양상을 나타내었다. 그래프 빨간색 선은 추세선으로 상승 추세를 나타내고 있으며 변화율은 0.0055ms^{-1}/year로 평균 풍속 변화율인 0.0043ms^{-1}/year보다 높은 변화율을 나타내었다. 두 개의 검은색 선은 각각 구평년과 신평년 극한값을 의미한다. 구/신평년 극한값 산출한 결과 구평년 극한값은 10.99m/s, 신평년 극한값은 11.04m/s가 산출되어 신평년에 구평년 대비 0.05m/s 증가하였다. 편차는 평균 풍속 신/구평년 평균값(7.24m/s, 7.28m/s) 편차와(0.04m/s) 동일하였다. 변화율과 구/신평년 극한값, 편차를 산출하여 분석한 결과 전 지구에서 극한 풍속이 증가 추세를 나타내고 있었으며 평균 풍속과 편차는 유사하였지만, 변화율은 더 큰 값을 나타내었다.



<그림 2-1-34> 연별 전 지구 풍속 극한값 및 추세(1981~2020년)

구평년과 신평년 기간의 공간분포도를 산출한 결과 아래 그림과 같다. 두 평년 기간 극한 풍속의 공간적인 분포 특징을 확인한 결과 남극해와 북태평양, 북대서양에서 약 10m/s 이상인 풍속이 분포하였다. 지역적으로 비교한 결과 남극해 전체 영역에 12~16m/s 풍속이 분포하였으며, 인도양 남측 남극해(30°E~110°E)에서 가장 큰 풍속이 분포하였다. 북태평양에서는 약 11~14m/s 풍속이 분포하였으며, 북대서양에서는 11~15m/s 이상 분포를 나타내어 유사하였다.

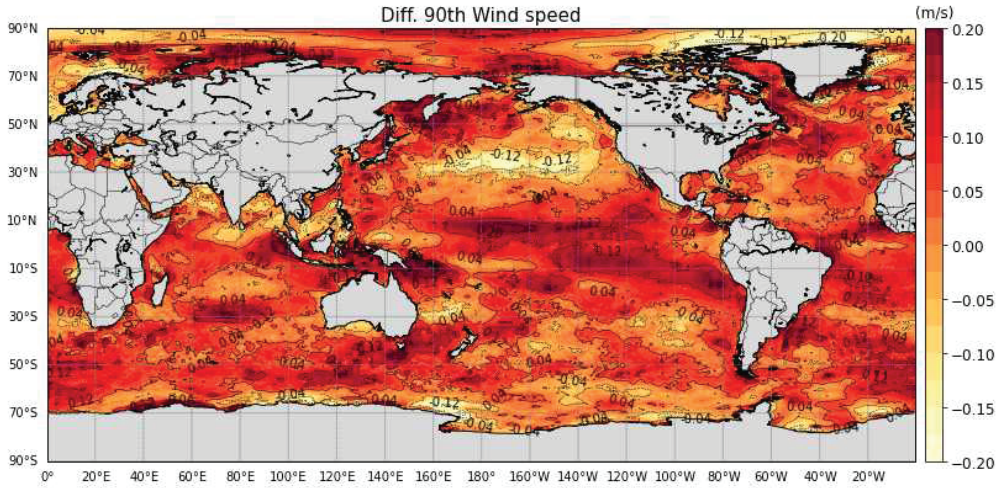
구평년과 신평년 분포도를 비교한 결과 풍속 크기별 분포 특징은 유사하였다. 구평년 대비 편차 발생으로 인해 풍속 크기 구간별 분포 범위에서 차이가 발생하였지만 뚜렷한 변동은 나타나지 않았다.



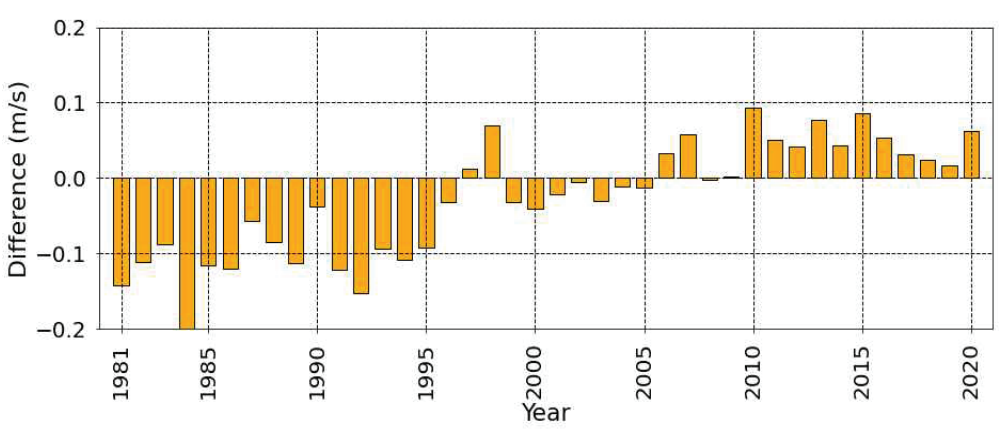
<그림 2-1-35> 전 지구 구평년(상) 및 신평년(하) 극한 풍속 공간분포도

신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도를 산출한 결과는 아래 그림과 같다. 극한 풍속 크기의 구간별 분포는 평균 풍속과 유사하였지만, 지역적으로는 더 복잡한 양상으로 나타났다. 북태평양과 북극해 그리고 국소 지역을 제외한 대부분 지역에서 극한 풍속이 증가하였다. 전반적으로 서태평양, 적도 부근 지역, 인도양, 남극해, 대서양에서 극한 풍속이 증가한 양상을 나타내었다.

신평년 값을 기준으로 연별 편차 시계열을 산출한 결과 1995년까지 음수가 산출되었으나, 이후 연별 극한 평균값이 증가하여 평년값 보다 커짐에 따라 1995년 이후에는 양의 편차가 산출되었다. 이후 비주기적으로 양수 또는 음수가 산출되었으나 전반적으로 양수가 증가하며 상승하는 양상을 보였다.



<그림 2-1-36> 전 지구 극한 풍속 편차 공간분포도



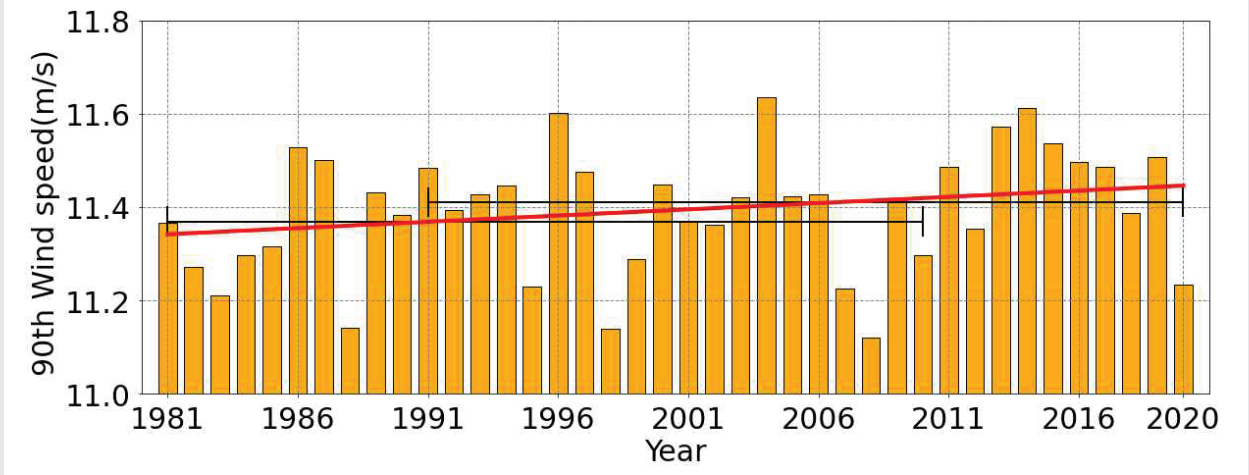
<그림 2-1-37> 연별 전 지구 극한 풍속 편차 시계열 (편차 기준 : 1991~2020년)

(2) 동아시아

동아시아 지역에서 극한 풍속의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 극한 풍속 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 극한 풍속 공간분포도를 산출하여 분포 양상을 비교하였으며 신평년에서 구평년 극한값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별 특성을 정량적으로 분석하였다. 또한, 연별 풍속의 극한값에서 신평년 극한값을 뺀 편차 시계열 그래프를 산출해 신평년 기준 편차의 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 동아시아 영역에서 1981년부터 2020년까지 연별로 극한 풍속의 평균값을 산출한 결과로 증가 및 감소 변동을 나타내면서 장기적으로는 증가하는 양상을 나타내었다. 그래프 빨간색 선은 추세선으로 증가 추세를 나타내며 변화율은 0.0027ms^{-1}/year이 산출되었다. 구평년의 극한값 11.39m/s, 신평년 극한값 11.43m/s가 산출되어 구평년 대비 신평년에 0.04m/s 증가하였다.

평균 풍속의 편차(0.01m/s), 변화율(0.0006ms^{-1}/year)과 비교한 결과 극한 풍속의 증가 추세가 평균 풍속보다 크게 나타났다. 전 지구에서의 극한 풍속 변화율, 구/신평년 극한값, 편차와 비교하면 (변화율: 0.0055ms^{-1}/year, 구평년: 10.99m/s, 신평년: 11.04m/s, 편차: 0.05m/s) 동아시아 영역의 극한 풍속이 전 지구보다 변화율은 작지만 구/신평년 값은 더 컸으며, 편차는 유사하였다. 동아시아 영역에서의 극한 풍속 통계분석 결과, 평균 풍속보다 큰 증가 추세를 나타내었으며 전 지구와 비교하여 변화율은 작았지만 구/신평년 극한값은 더 컸다.

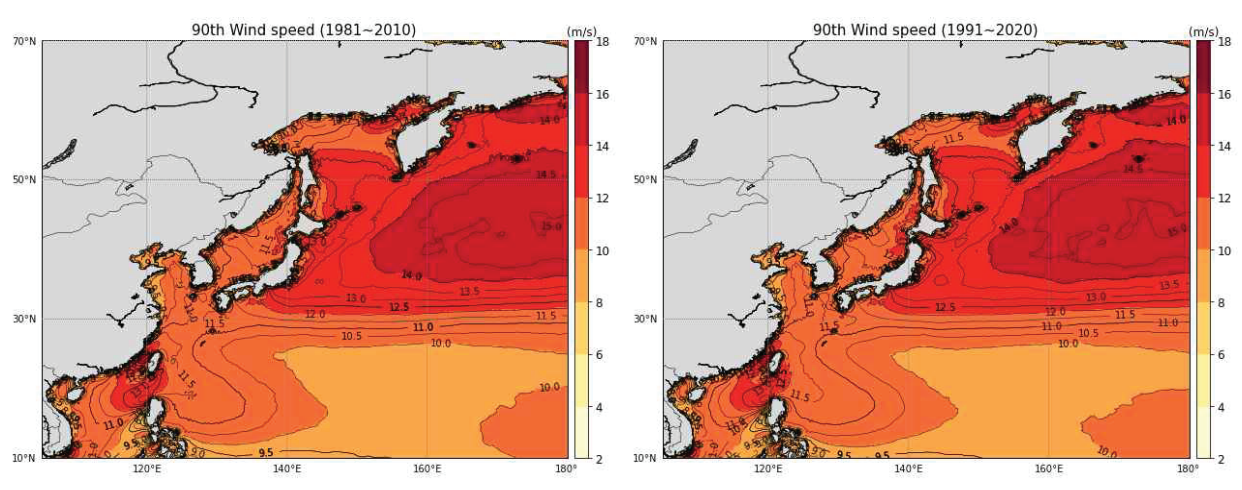


<그림 2-1-38> 연별 동아시아 풍속 극한값 및 추세 (1981~2020년)

구평년과 신평년 풍속 극한값의 공간분포도를 산출한 결과 아래 그림과 같다. 두 평년 기간 풍속 크기별 공간적인 분포 특징을 확인한 결과 구평년과 신평년 모두 풍속 크기가 가장 큰 지역은 일본 동쪽 북태평양 지역(위도 30°N~50°N, 경도 140°E~180°E)으로 약 12~15m/s 풍속이 분포하였다. 오호츠크해에서는 약 10~14m/s인 풍속이 분포하였으며, 일본 남해 및 오키나와 제도 주변에서는 약 10~12m/s, 대만 주변 지역에서는 약 10~14m/s인 풍속이 분포하였다.

구평년과 신평년 공간분포도를 비교한 결과, 풍속 크기 분포 특징이 유사하였으나 풍속 변동으로 인해 공간적으로 풍속 크기별 분포 범위에서 차이가 나타났다. 가장 큰 차이가 나타난 지역은 일본 동측 북태평양 지역(위도 30°N~60°N)으로 전체적으로 풍속이 증가하였으며 특히 약 14m/s 이상 풍속의 분포 범위 변동 양상이 뚜렷하게 나타났다. 오호츠크해에서도 풍속이 증가하여 약 12~14m/s 풍속 분포가 증가한 양상을 보였다. 반면 동중국해 및 오키나와 제도 주변, 대만 주변에서는 풍속의 변동은 발생하였지만 변동 폭이 작아 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다. 우리나라 주변 해역에서도 큰 차이는 나타나지 않았으나 일본 홋카이도 주변에서 약 12m/s 이상 풍속 분포 범위가 증가한 양상이 나타났다.

두 평년 기간 극한 풍속 공간분포도 분석결과 전반적으로 풍속이 증가한 양상을 보였다. 오호츠크해와 캄차카반도 주변, 일본 홋카이도 및 동쪽 북서태평양, 대만과 필리핀 주변에서 풍속이 증가하여 동아시아 대부분 지역에서 구평년 보다 풍속이 증가한 양상을 보였다.



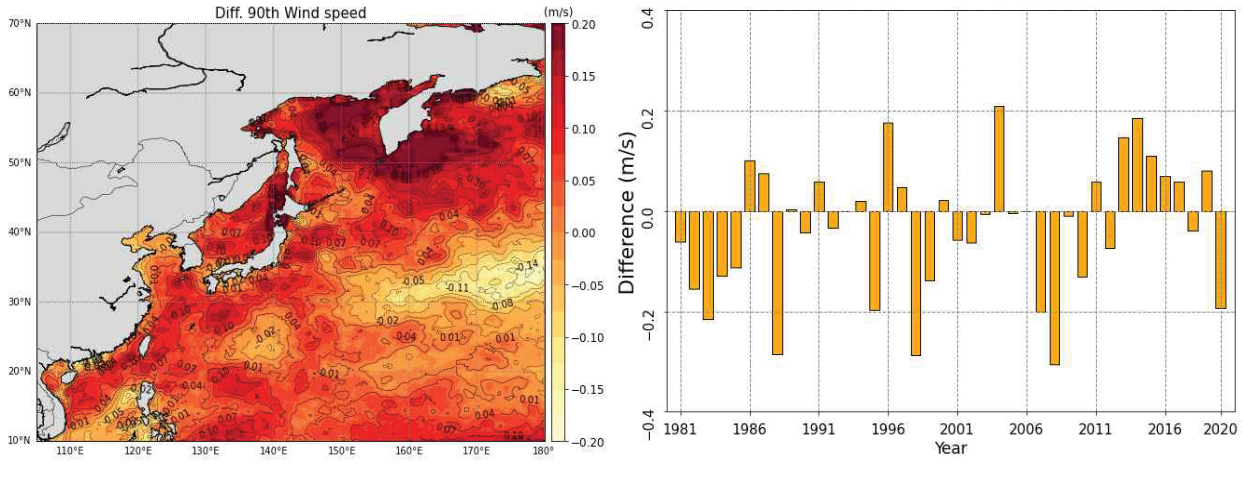
<그림 2-1-39> 동아시아 구평년(좌) 및 신평년(우) 극한 풍속 공간분포도

연별 풍속 극한값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열 그래프를 산출하였다. 또한, 구/신평년 간 공간적으로 발생한 편차를 분석하기 위해 신평년에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도를 산출하였다. 결과는 아래 그림과 같다.

평균 풍속 편차 분포도의 풍속 증가 지역 및 분포 양상은 유사하였지만 지역적으로 증가 크기와 분포 범위에서는 차이를 보였다. 전반적으로 극한 풍속의 증가 폭이 평균 풍속보다 크고 국지적으로 나타나는 편차 크기별 분포가 더 복잡한 양상을 나타내었다.

극한 풍속 편차 분포도에서 나타난 상승지역은 앞서 언급한 바와 같이 평균 풍속 분포도와 공간적으로 유사하였다. 오호츠크해에서 캄차카반도, 베링해 주변(위도 45°N~60°N, 경도 140°E~180°E)에 이르는 영역에서 풍속이 증가하였으며 최대 약 0.2m/s 증가해 동아시아에서 가장 큰 증가 폭을 나타내었다. 일본 동해와 남해, 오키나와 제도 주변, 필리핀해에서 약 0.05m/s 이상 증가하였으며 그 중 일본 오키나와 제도 주변에서 약 0.1m/s 이상 증가하였다. 우리나라 동해와 남해에서도 극한 풍속이 증가하였으며 특히 일본 홋카이도 주변 해역에서 큰 증가 폭을 나타내었다.

신평년 값 기준 연별 편차 시계열 분석 결과, 1981년부터 증가, 감소하는 변동 특성을 나타내었다. 1981년부터 2012년까지 비주기적으로 양수 또는 음수가 산출되었고 대부분 음수가 산출되었으나 2013년부터 2017년까지 5년간 양의 편차가 연속적으로 산출되었다. 과거에 비해 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하였으며 전반적으로 상승하는 양상을 보였다.



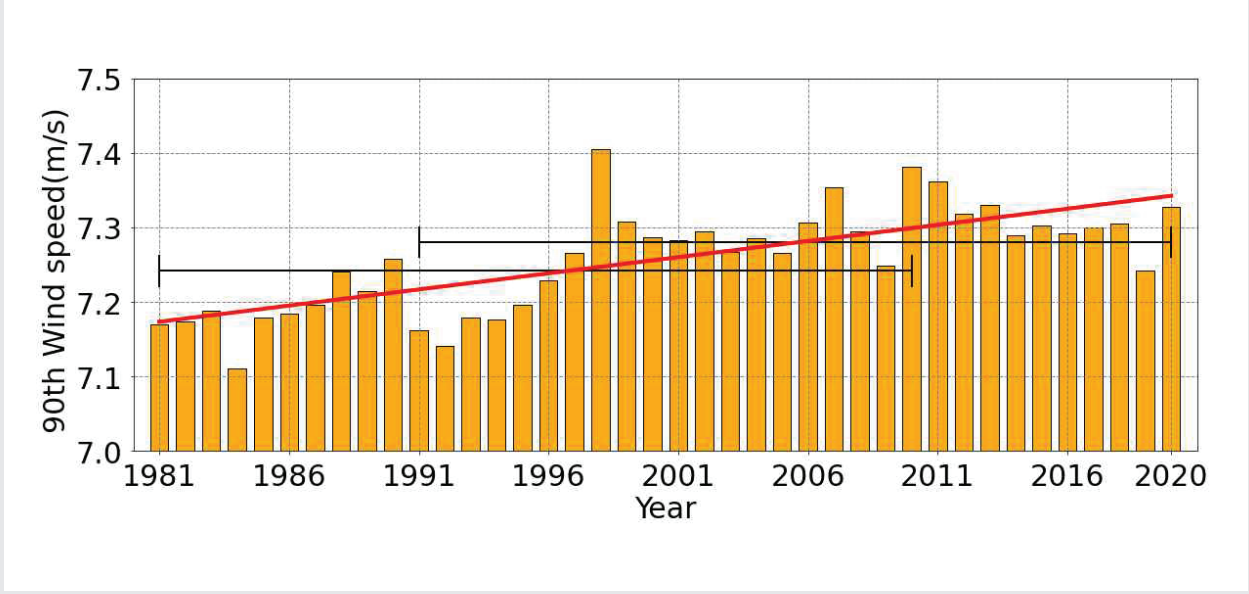
<그림 2-1-40> 동아시아 극한 풍속 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우)

(3) 한반도 연근해

한반도 연근해에서의 극한 풍속 평균값, 추세 시계열 그래프를 산출해 변동성을 분석하고, 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출해 각 평년 기간 극한 풍속의 분포 특징을 비교하였다. 또한, 편차 공간분포도와 연별 풍속 극한값에서 신평년 극한값을 뺀 편차 시계열을 산출하여 신평년 평균값을 기준으로 편차의 변동 양상을 파악하였다.

아래 그래프는 연별 극한 풍속 시계열 그래프로 시간에 따른 극한 풍속 평균값의 변동을 나타내고 있으며 추세선은 증가 추세를 나타내고 있다. 극한 풍속의 변화율은 0.0037ms^{-1}/year로 평균 풍속 0.0011 ms^{-1}/year 보다 크게 나타났다. 영역별로 비교하면 전 지구(0.0055ms^{-1}/year)보다 작고 동아시아(0.0027ms^{-1}/year) 보다 컸다. 구/신평년 평균값과 편차값을 비교한 결과 한반도 연근해의 극한 풍속 크기는 전 지구와 동아시아보다 작았으며, 편차는 0.05m/s로 전 지구(0.05m/s)와 같고, 동아시아(0.04m/s) 보다 컸다.

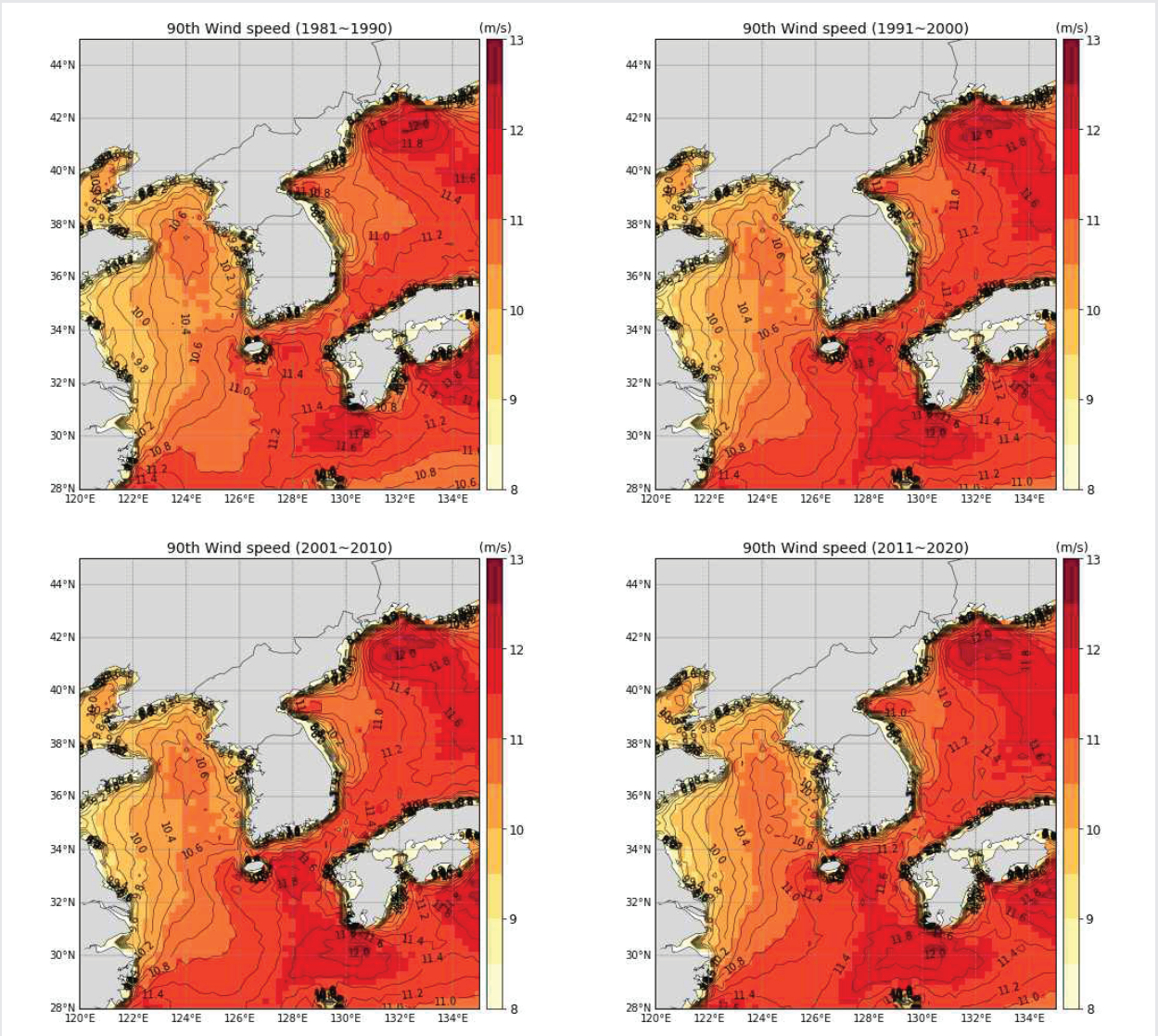
연별 극한 풍속의 평균값과 변화율, 구/신평년 극한값, 편차 분석결과 한반도 연근해 영역에서의 극한 풍속은 전 지구보다는 낮고 동아시아 영역보다는 큰 증가 추세를 나타내었다. 또한, 구/신평년 평균값의 크기는 전 지구 영역보다 크게 나타났으나, 동아시아 영역보다 작았으며 편차는 전 지구와 동아시아 영역과 근사하였다.



<그림 2-1-41> 연별 한반도 연근해 풍속 극한값 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-1-4> 분석 영역별 극한 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
전 지구	0.0055	10.99	11.04	0.05
동아시아	0.0027	11.39	11.43	0.04
한반도 연근해	0.0037	10.58	10.63	0.05

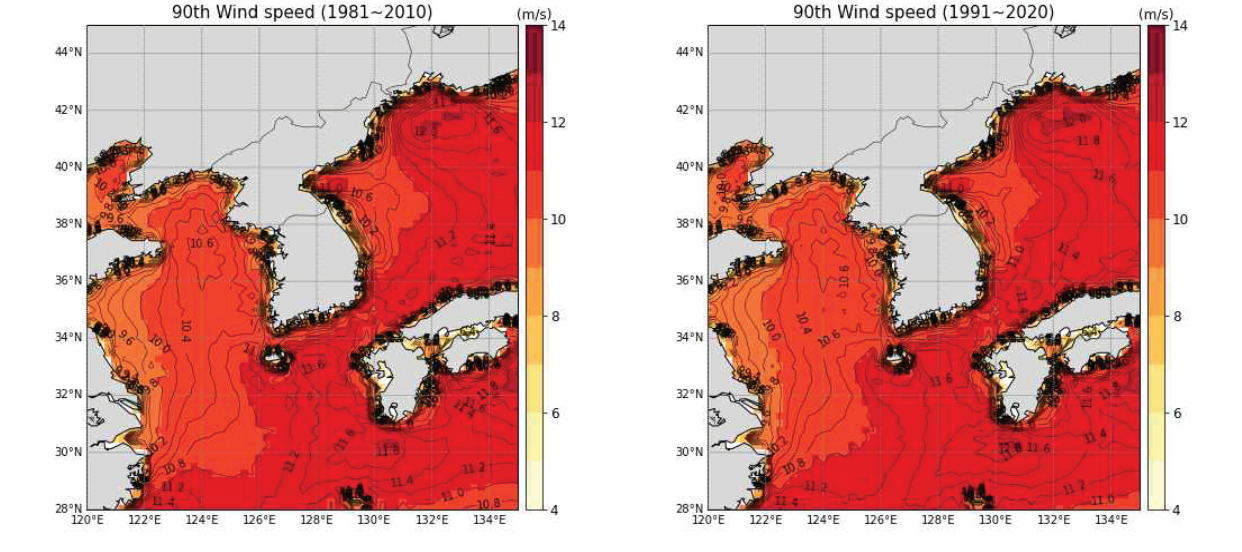


<그림 2-1-42> 한반도 연근해 10년 간격 극한 풍속 분포도 (1981~2020년)

구평년과 신평년의 공간분포도를 산출한 결과 아래 그림과 같다. 두 평년 기간 산출된 풍속 공간분포도 모두 풍속 크기별 분포 양상이 유사하였다. 동해에서는 약 10m/s 이상인 풍속이 분포하였고 중심부에서 가장 큰 풍속이 분포하였다. 남해에서 약 11m/s 이상 풍속이 분포하였으며 서해에서는 약 10m/s 이상인 풍속이 분포하여 상대적으로 서해에 분포한 극한값이 동해와 남해보다 작았다.

구평년과 신평년 극한값 공간분포도를 비교한 결과 두 공간분포도의 분포는 유사하였으나 신평년 풍속 증가에 따른 크기별 분포 범위에서 차이를 나타내었다. 동해에서는 차이를 나타내지 않았으나, 동해 중심부에서는 증가한 양상을 나타내었다. 남해에서는 전체적으로 풍속이 증가하였다. 제주도 주변에서 풍속이 증가하여 약 11m/s 이상인 풍속 분포 범위가 증가하였으며, 특히 제주도 남쪽 지역에서는 광범위한 영역에서 11m/s 이상인 풍속 분포가 증가하였다. 서해에서도 증가한 양상을 보였지만 지역적으로 큰 변화는 나타나지 않았다. 동중국해와 일본 오키나와 제도 및 남해 지역에서도 풍속이 증가한 양상을 보였다.

구/신평년 풍속 극한값 공간분포도를 살펴본 결과 우리나라 주변 해역과 동중국해, 일본 오키나와 제도와 남해 지역에서 증가한 양상이 나타났다. 동해 중심부와 남해, 서해, 동중국해, 일본 오키나와 제도 및 남해에서도 풍속의 증가 양상이 뚜렷하게 나타났다.

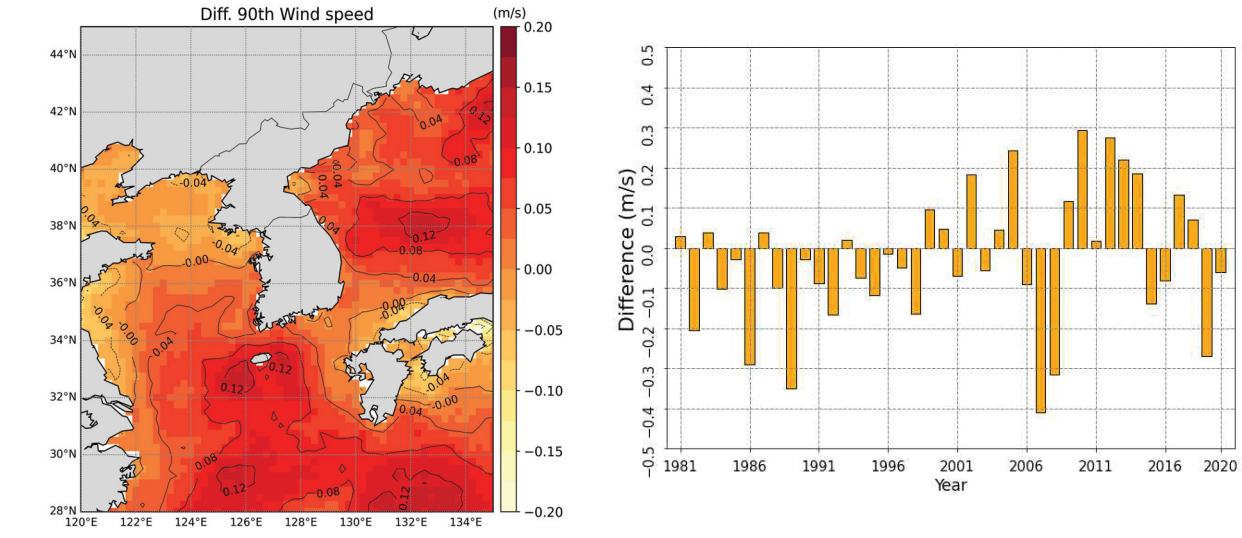


<그림 2-1-43> 한반도 연근해 구평년(좌) 및 신평년(우) 극한 풍속 공간분포도

구평년과 신평년 극한 풍속의 공간적인 차이를 정량적으로 비교하기 위해 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별 변동 양상을 분석하였다. 또한, 연별 풍속 극한값에서 신평년 극한값을 뺀 편차 시계열을 산출해 신평년 값 기준 변동 양상을 파악하였다.

편차 분포도를 산출한 결과 해역별 풍속 증가 및 감소 변동이 양상이 뚜렷하게 나타났다. 상대적으로 큰 상승폭을 나타낸 지역은 동해, 남해, 동중국해, 일본 남해로 약 0.1m/s 이상 증가한 양상을 보였다. 해역별로 살펴보면, 동해에서는 전체적으로 풍속이 증가하였으며 특히 동해 중심부와 북부 지역에서 약 0.04~0.12m/s 증가하여 주변보다 큰 증가 폭을 나타내었다. 남해에서도 약 0~0.12m/s 증가해 동해와 유사한 상승 폭을 보였으며, 특히 제주도 주변에서 증가 폭이 큰 특징을 나타내었다. 반면 서해에서는 매우 작은 변동 폭을 보였는데, 서해 중심부를 기준으로 남쪽에서는 증가한 반면 북쪽 발해만 주변 지역에서는 감소한 양상을 나타내었다.

신평년 값 기준 연별 편차 시계열을 산출한 결과 1981년 이후 0 기준으로 증가 및 감소하는 변동 특성을 보였다. 1981년부터 2020년까지 신평년 값의 우세로 대부분 음수가 산출되었으나, 2000년 이후에는 비주기적이지만 양수가 산출되는 빈도가 증가하는 동시에 양의 편차가 상승하는 양상을 보였다.



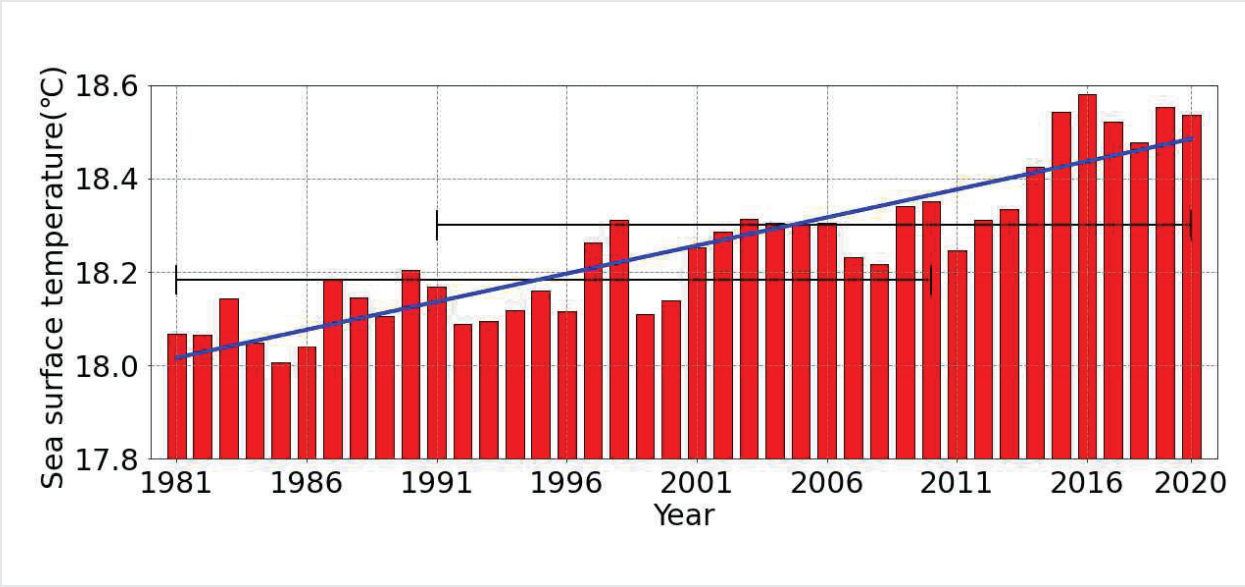
<그림 2-1-44> 한반도 연근해 극한 풍속 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우)

3. 표층 수온

가. 전 지구

전 지구에서 표층 수온의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 수온 평균 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출하여 분포 양상을 비교하였으며 신평년에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별로 발생한 차이를 정량적으로 분석하였다. 또한, 연별 수온 평균값에서 신평년 평균값을 뺀 편차 시계열 그래프를 산출해 신평년 기준 편차의 변동 양상을 파악하였다.

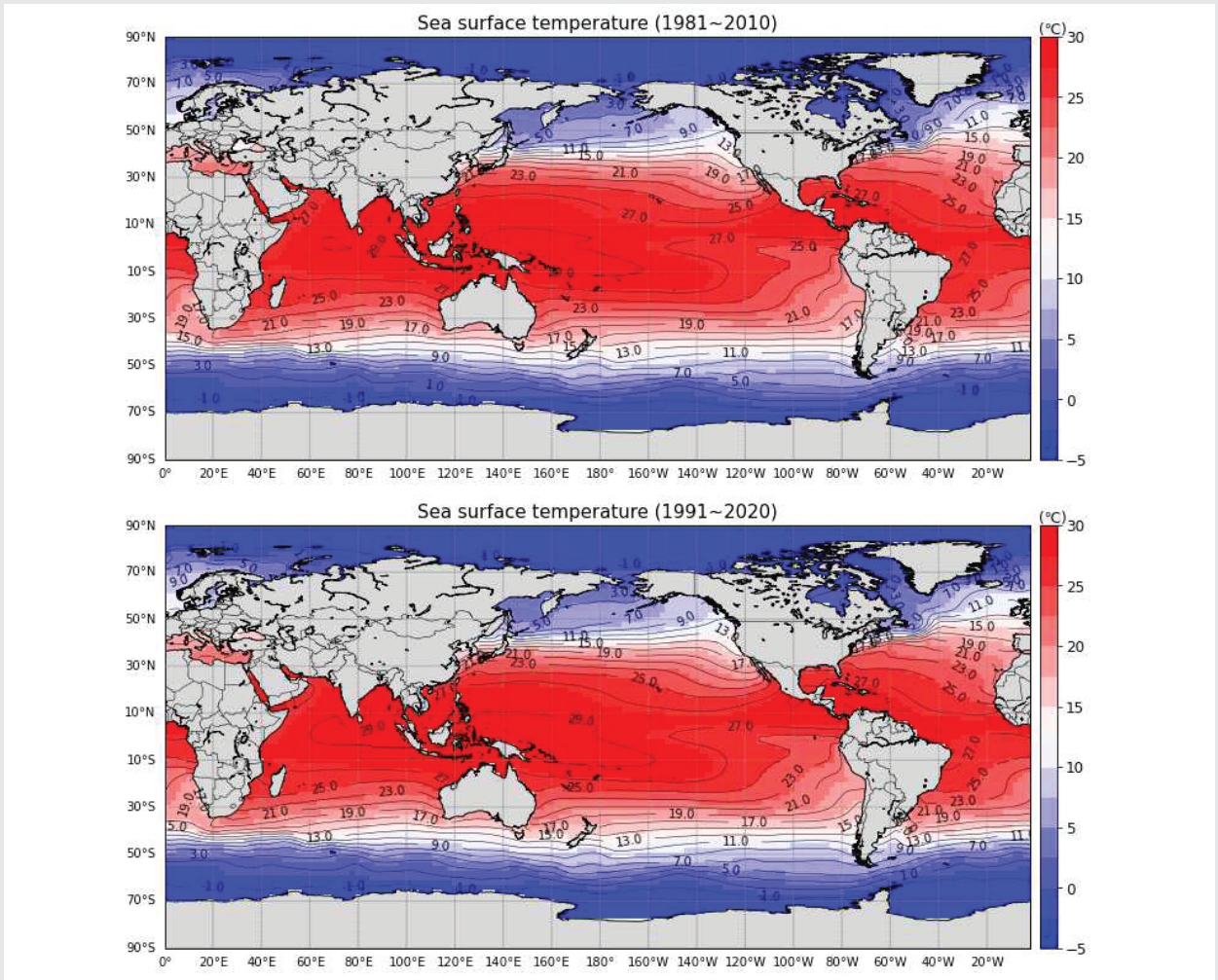
아래 시계열 그림은 전 지구에서 1981년부터 2020년까지 연별 표층 수온 평균값을 산출한 결과, 1981년 이후 수온이 지속적으로 상승하는 양상을 나타내고 있다. 파란색 선은 추세선이고 두 개의 검은색 선은 각각 구평년과 신평년 평균값을 의미한다. 시계열 그래프를 살펴보면 1981년 이후에 표층 수온이 상승 및 하락 변동을 나타내면서 장기적으로는 상승하는 양상이 나타났다. 변화율은 0.0120℃/year 산출되었으며 구/신평년 평균값과 편차는 각 18.18℃, 18.30℃, 0.12℃ 산출되었다. 연별로 표층 수온이 상승 및 하락하는 변동을 나타내었지만, 전반적으로 상승하는 변동 양상을 보였으며, 이는 유의파고, 풍속보다 상승 양상이 뚜렷하였다.



<그림 2-1-45> 연별 전 지구 표층수온 평균값 및 추세 (1981~2020년)

구평년(1981년~2010년)과 신평년(1991년~2020년) 수온 평년값의 공간분포도를 산출한 결과 아래 그림과 같다. 두 평년 기간의 공간적인 분포 특징을 확인한 결과, 구평년과 신평년 모두 적도 지역에서 가장 높고 북극과 남극을 향할수록 수온이 낮아지는 공간적인 분포 특성은 유사하였다.

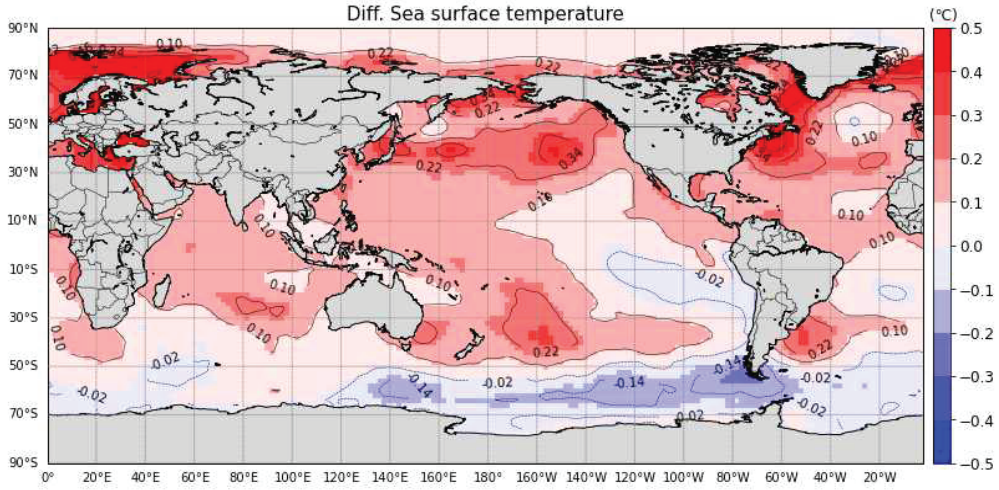
구/신평년 분포도에서 공간적으로 발생한 차이를 비교한 결과, 지역별로 수온 상승에 따른 변동 양상이 나타났다. 특히 인도차이나반도, 인도네시아가 위치한 동남아시아 지역(위도 28°N~32°N, 경도 80°E~135°E)을 중심으로 29°C 분포 범위가 증가하였다. 또한, 남반구 동태평양 남아메리카 해역에서도 신평년에 25°C 수온 분포 범위가 증가하여 적도 부근 지역에서의 수온 상승이 뚜렷하게 나타났다. 다른 지역에서도 수온이 상승하였으나 분포도 비교를 통해서는 정량적인 분석에 한계가 존재하였다.



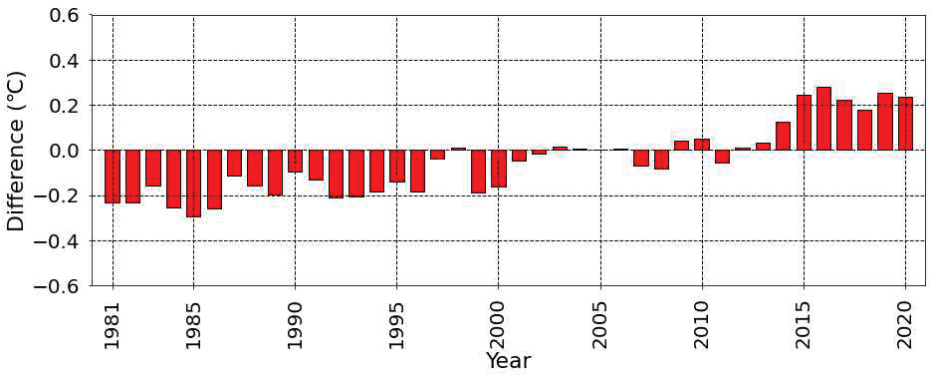
<그림 2-1-46> 전 지구 구평년(상) 및 신평년(하) 평균 표층수온 공간분포도

신평년 값에서 구평년 값을 뺀 수온 편차 분포는 아래 그림과 같다. 편차 분포도 분석결과 북극과 북태평양, 북대서양, 남반구 중위도 지역에서의 수온 상승 양상이 다른 지역에 비해 뚜렷하게 나타났다. 태평양 지역은 서태평양과 동태평양 지역별로 다른 양상을 보였는데, 서태평양에서는 전체적으로 상승한 반면 동태평양 남아메리카 지역에서는 하락하였다.

연별 수온 평균에서 신평년 평균값을 뺀 편차 시계열을 산출한 결과, 수온이 점진적으로 상승한 양상을 보였다. 1981년부터 2000년까지 음수가 지속적으로 산출되었으며 2000년 이후에는 0℃를 기준으로 상승 및 하락을 반복하는 변동을 나타내었다. 2012년부터 연별 평균값이 평년값보다 크게 산출되어 전반적으로 양의 편차가 상승하는 양상을 보였다.



<그림 2-1-47> 전 지구 평균 표층수온 편차 공간분포도

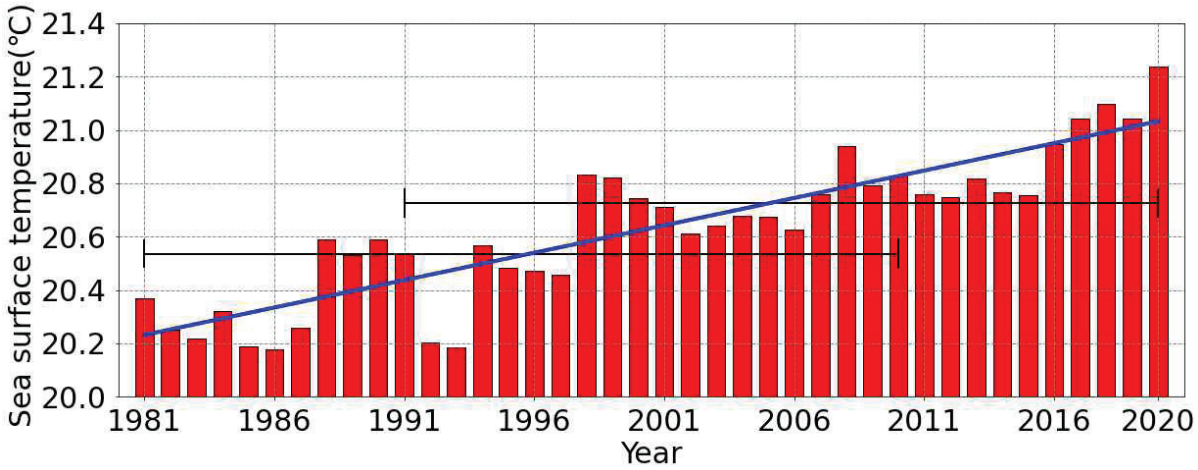


<그림 2-1-48> 연별 전 지구 평균 표층수온 편차 시계열 (편차 기준 : 1991~2020년)

나. 동아시아

동아시아 영역에서 표층 수온의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 수온 평균 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출하여 분포 양상을 비교하였으며 신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별로 발생한 차이를 정량적으로 분석하였다. 또한, 연별 평균값에서 신평년 평균값을 뺀 편차 시계열을 산출하여 신평년 기준 편차의 변동 양상을 파악하였다.

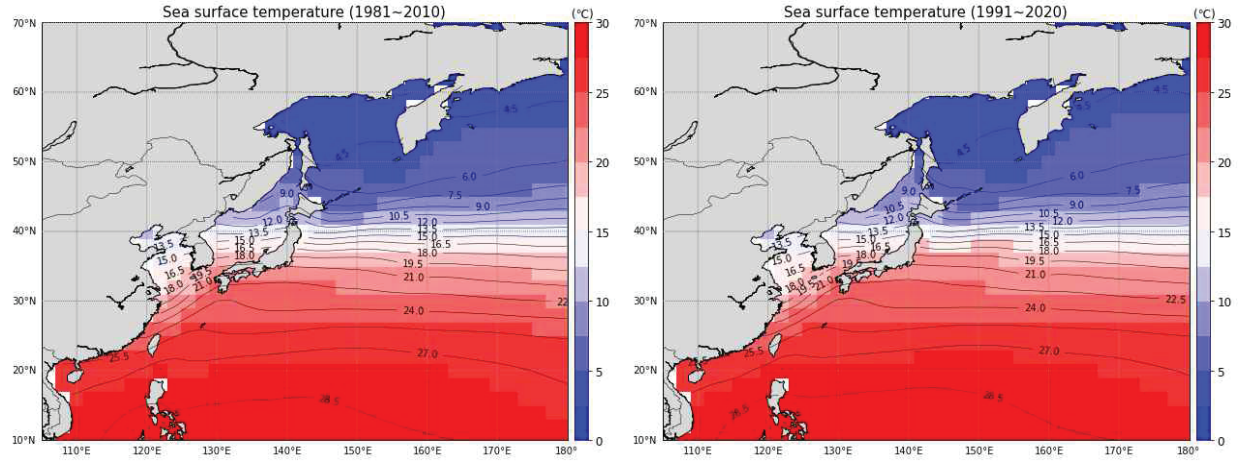
아래 시계열 그래프는 동아시아 영역에서 1981년부터 2020년까지 연별로 표층 수온의 평균값을 산출한 결과로 지속적으로 상승한 표층 수온의 변동을 나타내고 있다. 파란색 선은 추세선이고 두 개의 검은색 선은 각각 구평년과 신평년 평균값을 의미한다. 시계열 그래프를 살펴보면 1981년 이후 표층 수온이 상승 및 하락 변동을 나타내면서 장기적으로는 상승하는 양상이 나타났다. 변화율은 0.0205°C/year를 나타내어 전 지구 변화율(0.0120°C/year) 보다 높았다. 구/신평년 값 산출결과, 구평년 값은 20.54°C, 신평년 값은 20.73°C가 산출되어 구평년 대비 신평년에 0.19°C 상승하였다. 편차도 전 지구(0.12°C) 보다 커 동아시아 영역에서의 상승 추세가 전 지구보다 높게 나타났다.



<그림 2-1-49> 연별 동아시아 표층수온 평균값 및 추세 (1981~2020년)

구평년과 신평년 표층수온 공간분포도는 아래 그림과 같다. 두 평년 기간 표층 수온 분포도 모두 전체적인 분포 양상은 유사하였으며 지역별로 분포 차이가 나타났지만 뚜렷한 큰 차이는 나타나지 않았다. 따라서 두 표층 수온 공간분포도를 통한 변동을 이해하기 위해 지역별로 비교하였다. 먼저 오호츠크해와 베링해에서 표층 수온 크기별 분포를 비교한 결과 두 표층 수온 공간분포가 다른 분포 양상을 보였다. 구평년 대비 신평년에 전반적으로 수온이 상승하였는데, 수온 크기별 분포 범위 및 4.5℃, 6℃ 등고선의 변동이 이를 나타내고 있다. 한반도 주변 해역에서는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으며, 일본 동측 태평양 지역에서는 수온 크기별 분포 차이가 뚜렷하게 나타났다. 구평년 대비 신평년에 전반적으로 수온이 상승하였으며 크기별 분포 범위가 증가하여 상승 효과를 나타내었다. 인도차이나 반도 및 남중국해에서도 분포 차이가 나타났지만, 국소적으로 큰 차이는 나타내지 않았으며 필리핀해 동측 태평양 지역에서도 전반적으로 수온이 상승한 특징을 나타내었다.

지역별로 구/신평년 수온 분포를 비교한 결과 구평년 대비 신평년에 오호츠크해 및 쿠릴열도 주변 지역과 일본 동측 태평양 지역, 남중국해와 필리핀해 동측 태평양 등에서 수온이 상승하여 동아시아 전체 영역에서 수온이 상승한 양상을 보였다.

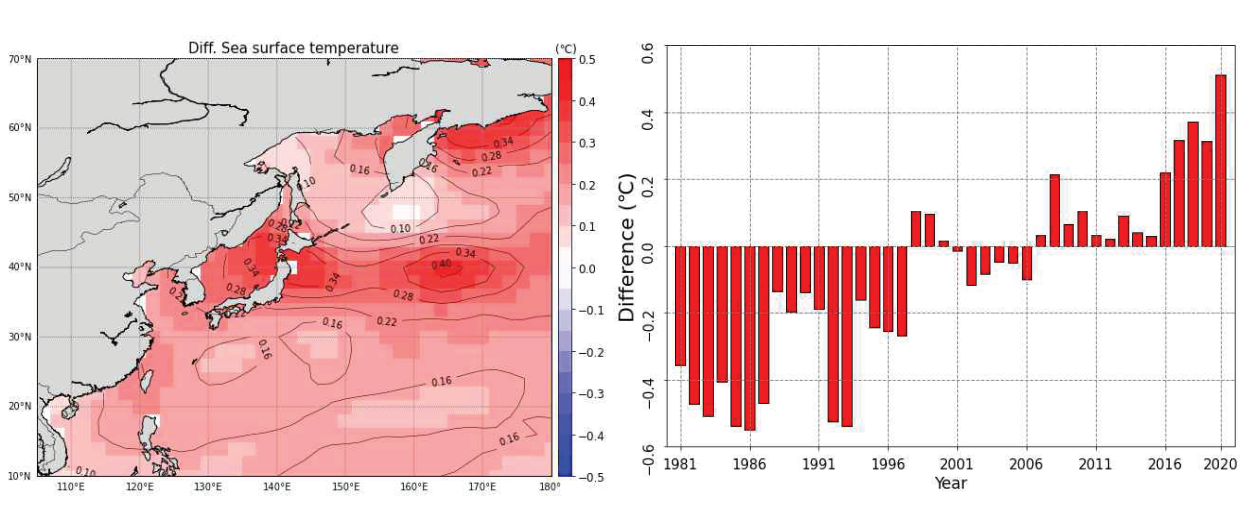


<그림 2-1-50> 동아시아 구평년(좌) 및 신평년(우) 평균 표층수온 공간분포도

구평년과 신평년 기간 분포도가 공간적으로 나타내는 차이를 정량적으로 확인하고 연별로 수온의 변동 양상을 파악하기 위해 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 수온 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 그래프를 산출하였다. 각 결과는 아래 그림과 같다.

수온 편차 분포도 산출결과 구평년 대비 신평년에 동아시아 전체 영역에서 양수가 산출되어 수온 상승을 나타내었다. 전반적으로 수온이 상승하였지만, 지역적으로는 상승 폭에서 차이를 보였다. 상대적으로 큰 상승폭을 나타낸 지역은 베링해, 우리나라 동해 및 일본 동해, 일본 동측 태평양 지역(위도 30°N~45°N, 경도 155°E~175°E)으로 약 0.3°C 이상 상승 폭을 나타내었다. 지역별로 수온 변동을 분석한 결과 오호츠크해에서는 약 0.1°C 상승하였으며, 쿠릴열도 주변 지역과 베링해에서는 공간적으로 약 0.1~0.4°C 상승하였다. 우리나라 동해에서는 0.2°C 이상 상승하였으며, 특히 동해 중심부 및 일본 서해에서는 0.3°C 이상 상승하였다. 또한, 일본 동해와 동쪽 태평양 지역에서는 약 0.2°C 상승하였으며 큰 상승 폭이 나타난 지역에서는 0.4°C 이상 상승하였다. 인도차이나 반도와 남중국해, 필리핀해 및 동쪽 태평양 지역에서는 약 0.1°C 이상 상승하였다.

신평년 값 기준 연별 편차 그래프를 산출한 결과 1981년부터 1997년까지 지속적으로 음의 값이 산출되었으며, 1998년 이후에는 편차가 감소하여 0을 기준으로 상승 및 하락을 반복하였다. 2016년 이후에는 양의 편차가 급격히 증가하여 전반적으로 편차가 상승하는 양상을 나타내었다.

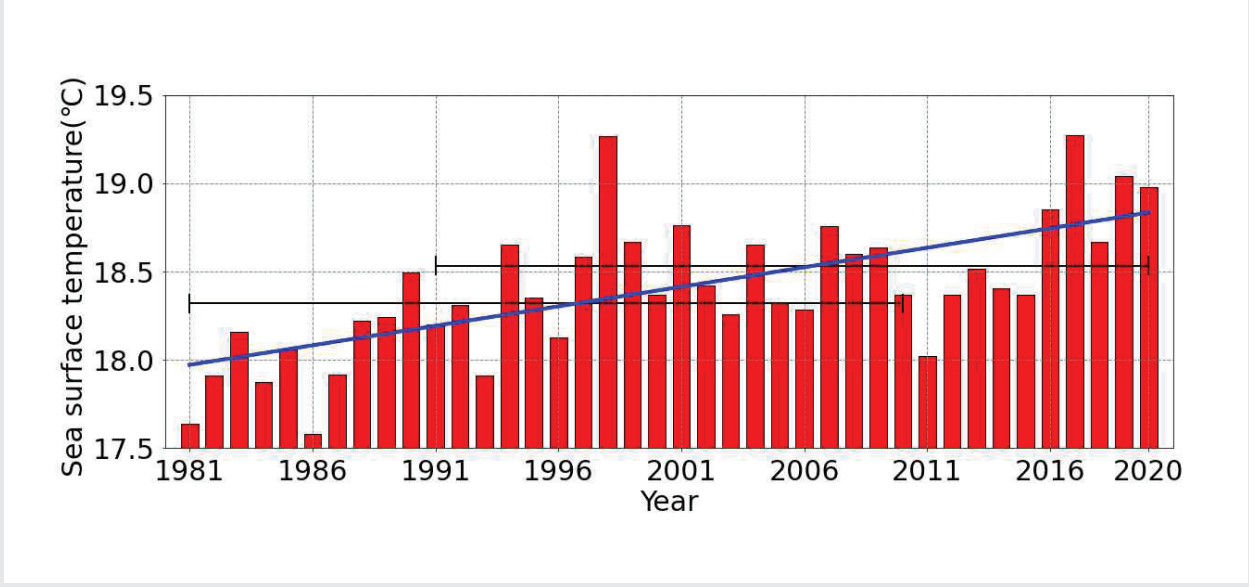


<그림 2-1-51> 동아시아 평균 표층수온 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우)

다. 한반도 연근해

한반도 연근해(위도 28°N~45°N, 경도 120°E~135°E) 표층 수온의 변동 양상을 이해하기 위해 해당 범위에 속한 자료를 이용해 연별 평균 시계열 자료를 산출하였다. 또한 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출하여 각 평년 기간 수온의 분포 양상을 비교하였으며 신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 지역별로 차이를 정량적으로 분석하였다. 또한, 연별 표층 수온 평균값에서 신평년 평균값을 뺀 편차 시계열을 산출하여 신평년 기준 편차의 변동 양상을 파악하였다.

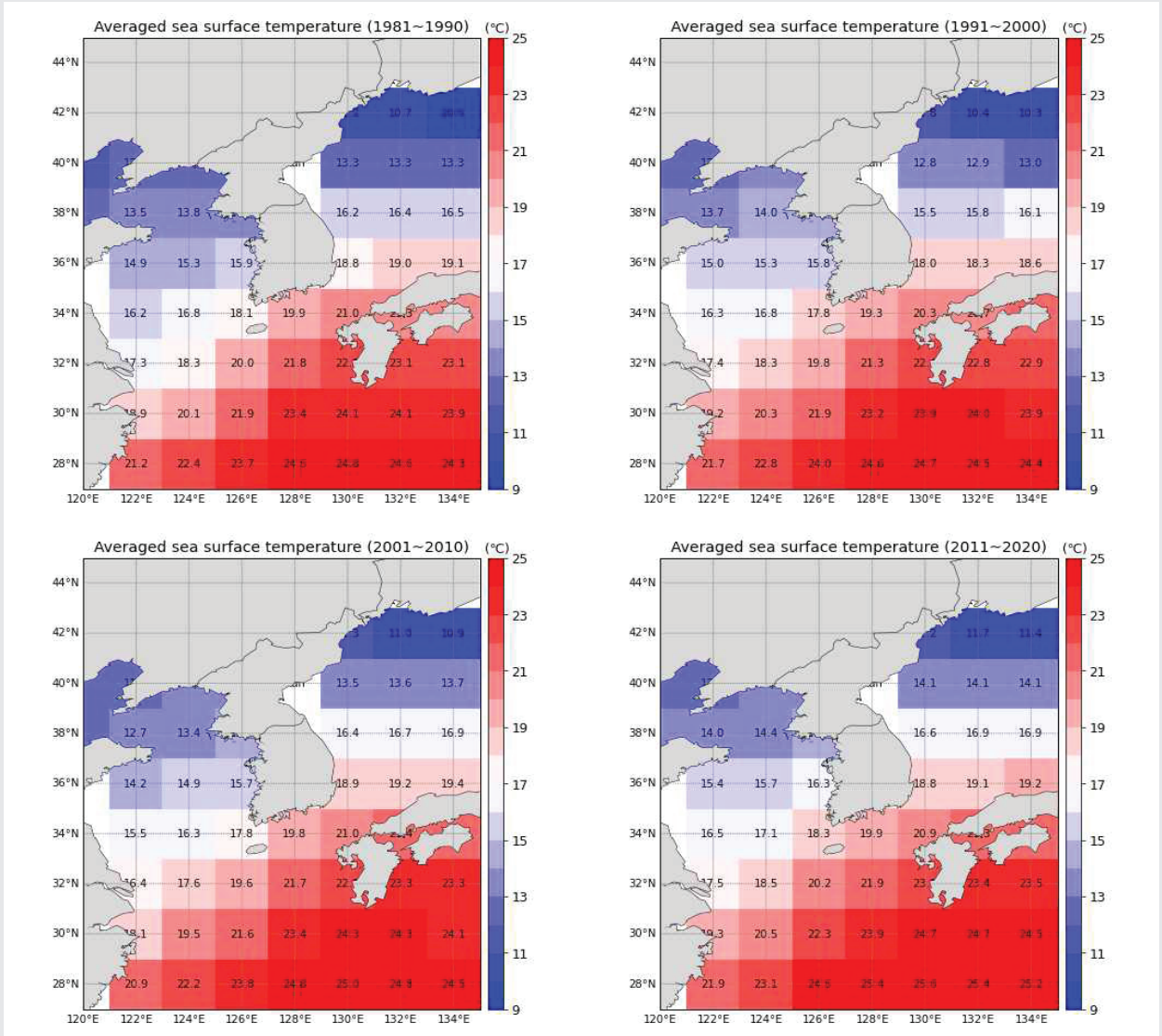
아래 시계열 그래프는 한반도 연근해의 1981년부터 2020년까지 연별로 표층 수온 평균을 산출한 결과로 지속적으로 상승한 표층 수온의 변동을 나타내고 있다. 파란색 선은 추세선, 두 개의 검은색 선은 구평년과 신평년 평균값을 의미한다. 시계열 그래프를 살펴보면, 1981년 이후 수온이 상승 및 하락을 반복하는 변동을 나타내었지만 전 지구와 동아시아 영역과 같이 점진적으로 상승하는 변동 특성을 보였다. 변화율은 0.0221°C/year가 산출되어 전 지구, 동아시아보다 높은 변화율을 나타내었다. 구/신평년값은 각각 18.32°C, 18.53°C가 산출되어 구평년 대비 신평년에 0.21°C 상승하였다. 편차도 전 지구, 동아시아보다 커 한반도 연근해에서의 수온 상승 추세가 전 지구와 동아시아보다 높게 나타났다.



<그림 2-1-52> 연별 한반도 연근해 표층수온 평균값 및 추세(1981~2020년)

<표 2-1-5> 분석 영역별 표층수온 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
전 지구	0.0120	18.18	18.30	0.12
동아시아	0.0205	20.54	20.73	0.19
한반도 연근해	0.0221	18.32	18.53	0.21

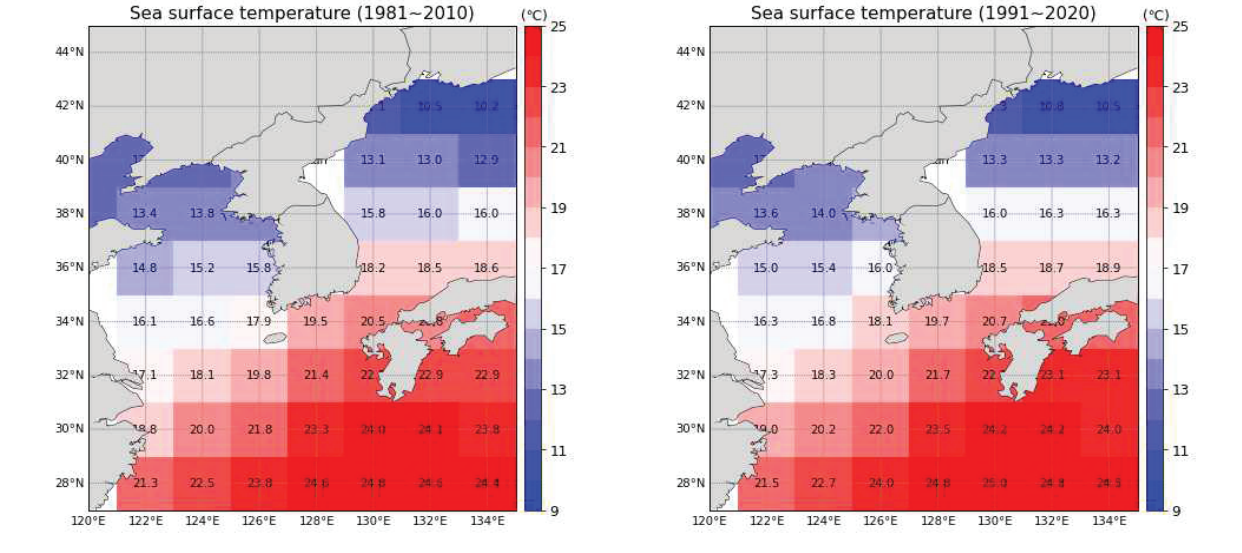


<그림 2-1-53> 한반도 연근해 10년 간격 표층수온 분포도 (1981~2020년)

구평년과 신평년 공간분포도를 산출한 결과 아래 그림과 같다. 두 평년 기간 산출된 공간분포도 모두 수온 크기별 분포 양상이 유사하였다. 두 평년 기간의 분포도 모두 공통적으로 한반도 연근해 남측 지역(위도 27°N)에서 가장 높은 수온을 나타내고 있으며, 발해만과 동해 북동측 해역 방향인 북쪽을 향할수록 수온이 낮아졌다. 해역별로 수온 분포 특성을 살펴보면, 동해에서는 수온이 10~19°C 분포를 나타냈으며, 남해에서는 16~24°C, 서해에서는 13~20°C 분포를 나타내었다.

구/신평년 기간 동해, 남해, 서해 해역별 수온 분포를 비교해 수온 변동에 의한 차이를 분석하였다. 먼저 동해에서는 전체 영역에서 구평년 보다 신평년 수온이 높았다. 우리나라 동해안에서 수온이 0.2°C 상승하였으며 동해 중심부에서는 0.3°C 상승해 동해에서의 수온 상승폭 0.2~0.3°C 를 나타내었다. 남해에서도 구평년 보다 신평년 수온이 더 높은 결과를 나타내었다. 우리나라 남해에서는 0.2°C 상승하였으며 국소적으로 제주도 남서쪽에서 0.3°C 상승하여 동해와 같이 수온 상승폭이 약 0.2~0.3°C 를 나타내었다. 서해에서도 전체 영역에서 수온이 상승하였으며 수온 상승폭은 0.2°C를 나타내었다. 동중국해 및 일본 남해(위도 27°N~31°N)에서도 수온이 상승하였으며 수온 상승폭은 해당 범위에서 모두 0.2°C를 나타내었다.

구/신평년 수온 분포도 비교 결과 동해, 남해, 서해, 동중국해 및 일본 남해 모두 구평년 대비 신평년에 수온이 상승하였으며 해역별로 수온 상승 폭이 유사하였다.

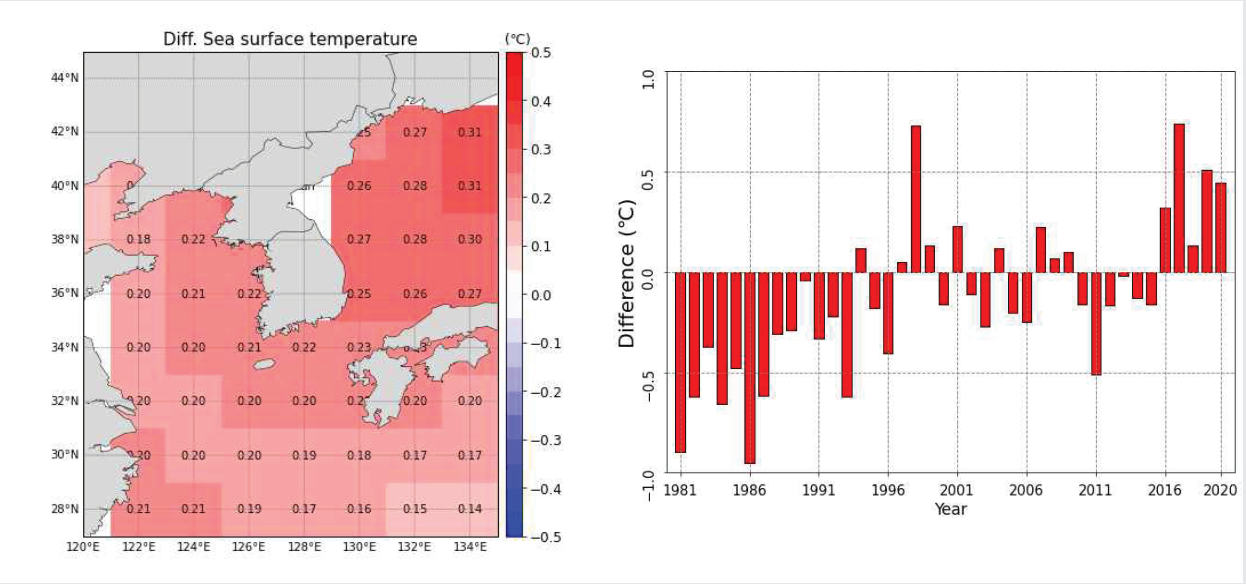


<그림 2-1-54> 한반도 연근해 구평년(좌) 및 신평년(우) 표층수온 공간분포도

구평년과 신평년 기간의 공간분포도가 공간적으로 나타내는 차이를 정량적으로 분석하고 연별로 수온의 변동 양상을 파악하기 위해 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 수온 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 그래프를 산출하였다. 각 결과는 아래 그림과 같다.

수온 편차 분포도를 산출한 결과, 구평년 대비 신평년에 한반도 주변 전체 해역에서 수온 상승이 나타났다. 전체 해역에서 수온이 상승하였지만, 해역별 수온 상승 폭이 다른 양상을 보였다. 동해에서는 동해안에서 최소 0.25℃, 표트르대제만 주변(위도 41°N~43°N, 경도 131°E~135°E)에서는 최대 0.31℃ 상승하였으며 공간적으로 0.25~0.31℃ 상승 범위를 나타내었다. 남해와 서해에서는 수온 상승 폭이 약 0.2℃를 나타냈으며, 동중국해 및 일본 남해(위도 27°N~31°N)에서는 최소 0.14℃에서 최대 0.21℃ 상승하였으며 공간적으로 0.14~0.21℃ 상승 범위를 나타내었다. 한반도 연근해에서 수온 상승 폭이 가장 큰 지역은 앞서 설명한 바와 같이 동해 표트르대제만 주변 지역에서의 수온 상승 폭이 가장 컸으며 일본 남해 수온 상승 폭(0.14℃)이 가장 작았다. 해역별 수온 상승 폭을 비교하면 동해에서의 상승 폭이 가장 컸으며, 남해와 서해는 유사하였다. 동중국해 및 일본 남해에서의 상승 폭도 우리나라 주변 해역보다는 작았지만 유사하였다.

신평년 값 기준 연별 편차 그래프를 산출한 결과 1981년부터 편차가 증감 변동성을 가지고 감소하였으며, 1994년 이후에는 양의 편차가 산출되어 0℃를 기준으로 상승 및 하락을 반복하였다. 2016년부터는 연별 수온 평균값이 신평년 값보다 우세하여 양의 편차가 지속적으로 산출되었으며, 전반적으로 상승하는 양상을 나타내었다.



<그림 2-1-55> 한반도 연근해 표층수온 편차 공간분포도(좌) 및 연별 편차 시계열(우)

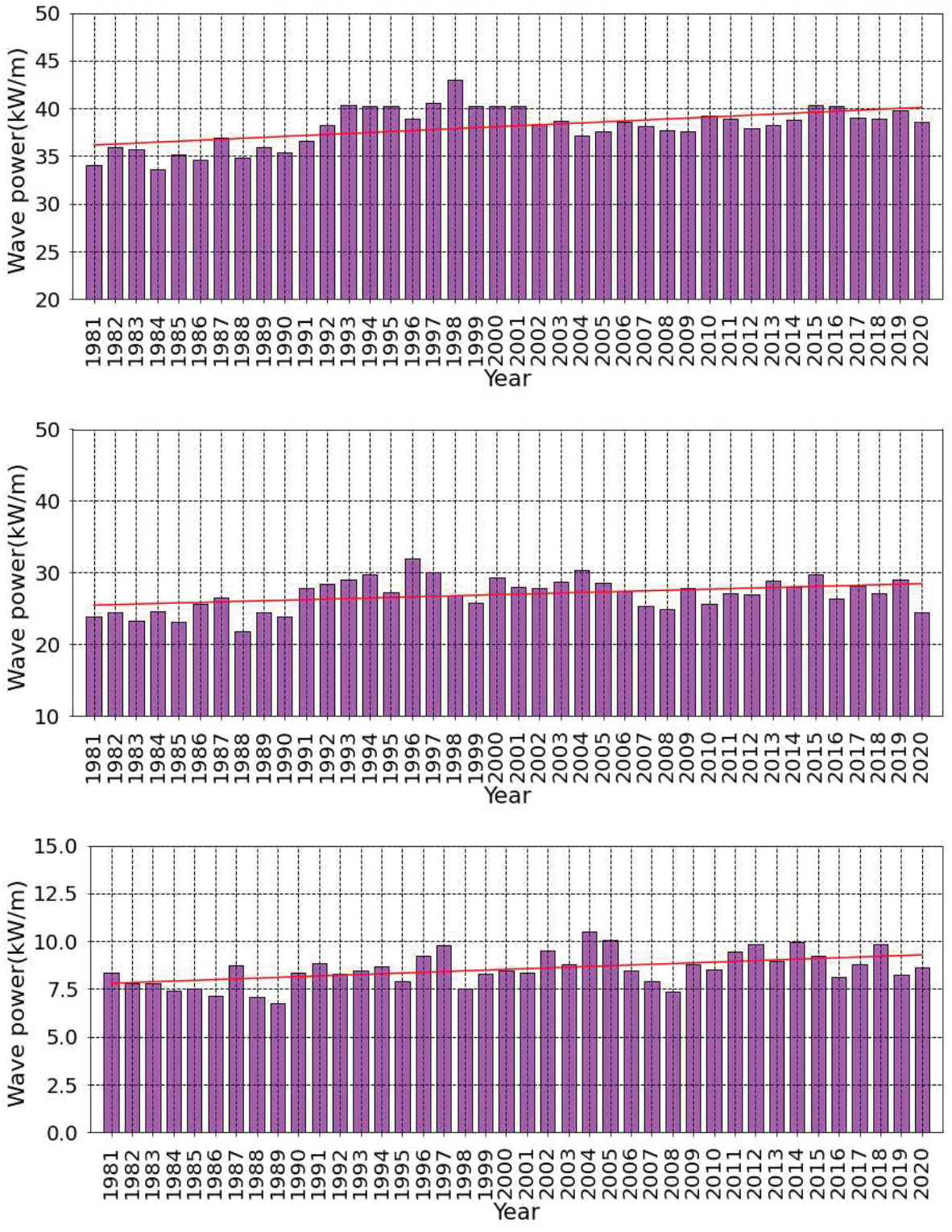
4. 파력

전 지구, 동아시아, 한반도 연근해의 파력 변동 양상 및 추세를 파악하기 위해 ERA5 유의파고와 파주기 재분석 자료를 이용해 파력을 계산한 다음 연별 평균값을 산출하였다. 또한, 한반도 주변의 공간적인 분포 특성을 파악하기 위해 1981년부터 2020년까지 10년 단위 파력 분포도를 산출하여 변동 양상을 분석하였다.

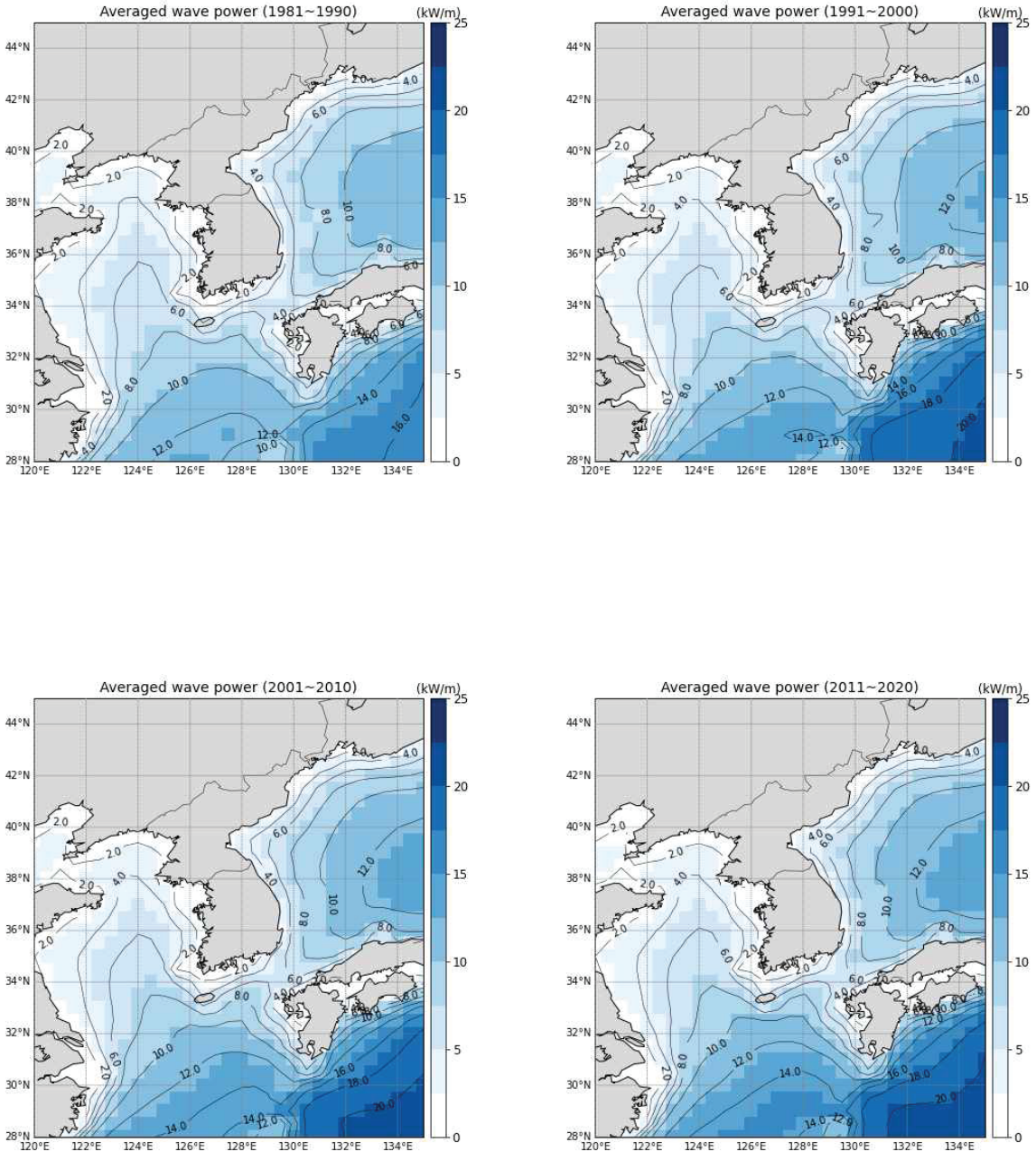
<그림 1-3-56>은 1981년부터 2020년까지 각 영역에서 연별로 파력 평균값을 산출한 결과로 위에서 아래로 전 지구, 동아시아, 한반도 연근해 산출된 결과를 나타내고 있다. 산출결과, 분석 영역에서 모두 파력이 증가 및 감소를 반복하는 변동을 나타냈지만, 점진적으로는 증가하는 추세를 나타내었다. 각 영역에서의 연별 파력 평균값 크기는 전 지구, 동아시아, 한반도 연근해 순으로 컸으며, 변화율 또한 전 지구 0.1044 kWm^{-1}/year, 동아시아 0.0767 kWm^{-1}/year, 한반도 연근해 0.0382 kWm^{-1}/year로 동일한 순서를 나타내었다. 전 지구적으로 파력이 증가하는 추세를 나타내고 있으며, 동아시아 영역은 상대적으로 작은 변화율을 나타내고 한반도 연근해에서는 변동성이 더욱 감소하여 가장 작은 상승 추세를 나타내었다. 이는 한반도 연근해에서 발생하는 유의파고 크기가 전 지구와 동아시아에서 발생하는 유의파고 보다 작으므로 파력 또한 작게 산출된 것으로 사료된다.

한반도 연근해 영역에서 1981년부터 2020년까지 10년 단위로 공간분포도를 산출한 결과 해역별 파력의 분포 양상이 다르게 나타났으며, 특히 최근을 향할수록 특정 해역에서의 파력 증가 양상이 뚜렷하게 나타났다. 해역별로 살펴보면, 동해에서는 1981~1990년 이후 전체적으로 파력이 증가해 상승 추세를 나타내었다. 변동 양상이 가장 뚜렷하게 나타난 지역은 동해 중심부로 1981~1990년에 파력이 10kW/m 이상인 분포가 나타났으나 시간이 지남에 따라 증가하여 2011~2020년에는 12kW/m 이상인 분포가 증가하였다. 남해에서도 파력이 증가하는 변동을 나타냈으며 특히 제주도 주변 및 남측지역에서의 증가 양상이 뚜렷하게 나타났다. 서해에서는 동해와 남해와 비교해 변동이 작았다. 서해 중심부에서는 파력이 점진적으로 증가하였지만 증가 폭이 매우 작았다. 동중국해 및 일본 남해(위도 28°N~32°N)에서도 전체적으로 파력이 증가하였고, 변동 폭이 우리나라 주변 해역보다 크게 나타났다.

기간별 파력 공간분포도를 분석한 결과 유의파고의 공간분포도와 분포 양상이 유사하였다. 유의파고와 파력의 분포가 유사하게 나타난 이유는 유의파고와 주기를 이용해 파력을 계산하는 추정식 특성 때문으로 지역별로 나타나는 유의파고 분포 양상과 파력이 유사하게 나타난 것으로 사료된다.



<그림 2-1-56> 전 지구, 동아시아, 한반도 연근해 연별 파력 평균 및 추세 (1981~2020년)



<그림 2-1-57> 한반도 연근해 10년 간격 파력 평균 분포도 (1981~2020년)

제2절 계절별 해양기후 변화

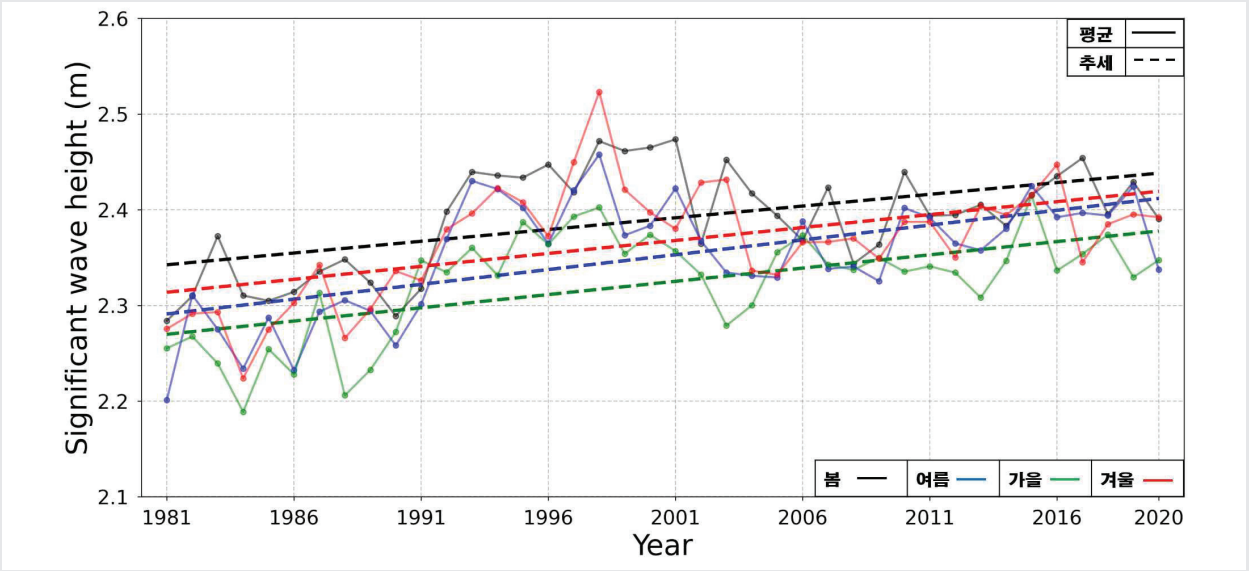
1. 평균/극한 유의파고

가. 평균 유의파고

(1) 전 지구

전 지구 계절별 유의파고 변동특성을 이해하기 위해 연별 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 또한 계절별로 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출해 각 기간 공간적 분포 양상을 비교하였다. 또한, 계절별로 신평년에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도와 연별 유의파고 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열을 산출해 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 유의파고 평균값과 추세선을 나타내었다. 전 지구에서는 사계절 모두 1981년 이후 상승 및 하락을 반복하면서 점진적으로 상승하는 변동 특성을 나타내었다. 변화율은 봄에 0.0025m/year, 여름 0.0031m/year, 가을 0.0028m/year, 겨울 0.0027m/year로 사계절 모두 변화율이 유사하였다. 구평년 및 신평년 평균값과 편차를 산출한 결과 사계절 모두 유사한 값을 나타냈으며 구평년 대비 신평년에 약 0.04~0.05m 상승하였다. 계절 변화율 및 편차 분석결과 사계절 모두 변화율과 편차가 유사하여 특정 계절의 상승 추세가 강세를 나타내지는 않았다.



<그림 2-2-1> 계절별/연별 전 지구 유의파고 평균 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-1> 계절별 전 지구 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0025	2.39	2.43	0.04
여름	0.0031	2.34	2.39	0.05
가을	0.0028	2.32	2.36	0.04
겨울	0.0027	2.37	2.41	0.04

전 지구 계절별 구/신평년 유의파고 평균 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한, 신평년에서 구평년 평균값을 뺀 편차 공간분포도를 산출하여 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철 구/신평년의 공간분포도 비교 결과, 두 평년 기간 모두 유의파고 크기별 분포 특징은 유사하였다. 전반적으로 남극해(위도 40°S~70°S)에서 약 3~5m인 높은 유의파고가 분포하였으며, 그 중 인도양 남측 남극해(위도 40°S~60°S 경도 30°E~140°E)에서 가장 높은 유의파고가 분포하였다. 북태평양과 북대서양에서 3m 이상 유의파고가 분포한 반면 적도 부근에서는 상대적으로 낮은 유의파고가 분포하였다.

구평년과 신평년의 유의파고 크기별 분포를 비교한 결과, 구평년 대비 신평년 유의파고가 다른 지역에 비해 상대적으로 높게 나타난 북태평양과 북대서양, 남극해에서 유의파고가 상승하였다. 편차 분포도를 통해 지역별 변동 폭을 산출한 결과 -0.05~0m 편차를 나타낸 동태평양과 북서태평양 일부 지역, 아라비아해, 남극해 일부를 제외한 나머지 지역에서는 양의 편차로 유의파고가 상승하였음을 나타내었다. 남아프리카 남측지역에서 호주 남측지역 사이 약 0.05~0.15m 상승 폭을 나타냈으며 그중 호주 남측지역에서 가장 큰 상승 폭을 나타내었다. 북대서양에서도 전반적으로 0.05~0.15m 상승하였다.

· 여름 구/신평년 공간분포도 비교 결과, 두 평년 기간 모두 북반구에서는 낮은 유의파고가 분포한 반면 남반구 중위도에서는 높은 유의파고가 분포하는 특징을 나타내었다. 지역별로 보면, 인도양 남측 지역과 남극해에서 3m 이상 유의파고가 분포하였으며 그 중 남아프리카 남측과 호주 남측 지역(위도 40°S~60°S 경도 30°E~140°E)에서 가장 높은 유의파고가 분포하였다. 반면 북태평양에서는 전반적으로 유의파고의 높이가 약 2m 이하를 나타냈으며, 북대서양에서도 가장 높은 값을 나타낸 유의파고의 높이가 약 2~2.2m를 나타내었다.

편차 분포도를 통해 지역별 상승 및 하락 변동을 살펴본 결과, 북반구 동태평양과 남극해 일부 지역을 제외한 다른 지역에서는 유의파고가 상승하였다. 태평양에서는 북반구 동태평양에서는 -0.05~0m 하락하였지만 북서태평양과 적도 부근, 남태평양에서는 0~0.15m 상승하였다. 남반구에서는 전체적으로 유의파고가 상승하였으며 그 중 남아프리카 남측 지역과 호주 남측지역, 동태평양 남아메리카 지역에서 0.05~0.15m 상승하여 다른 지역보다 큰 상승 폭을 나타내었다.

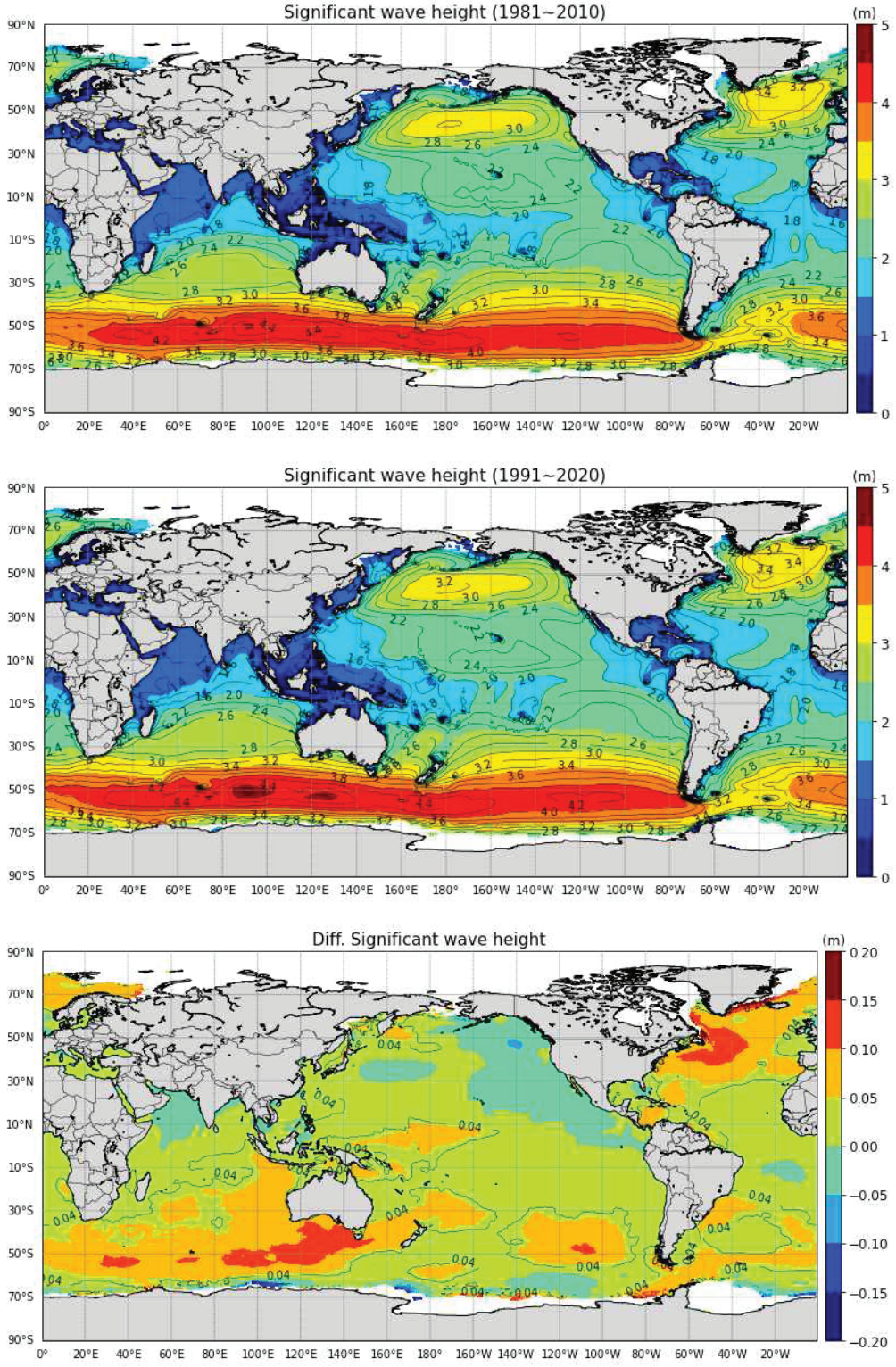
· 가을철 구/신평년 공간분포도 산출결과, 여름과 다른 양상을 보였다. 남극해에서 4m 이상 높은 유의파고가 분포하였으며, 북대서양과 북태평양에서는 3m 이상인 유의파고가 분포하였다. 반면 적도 지역 부근에서는 2m 이하 유의파고가 분포해 북태평양과 남극해에 비해 작은 분포를 나타내었다.

편차 분포도를 분석한 결과, 국소적인 영역을 제외하면 전 지구적으로 유의파고가 상승하였다. 태평양 일부 지역을 제외하면 전체적으로 상승하였으며, 베링해와 동아시아, 적도 부근(위도 0~10°N), 남서태평양에서 약 0.05~0.15m 상승하였다. 남아프리카에서 호주 주변에 걸친 영역에서도 약 0.05~0.15m 상승하였으며, 북대서양과 남대서양 남아메리카 인근에서의 상승 폭도 유사하였다.

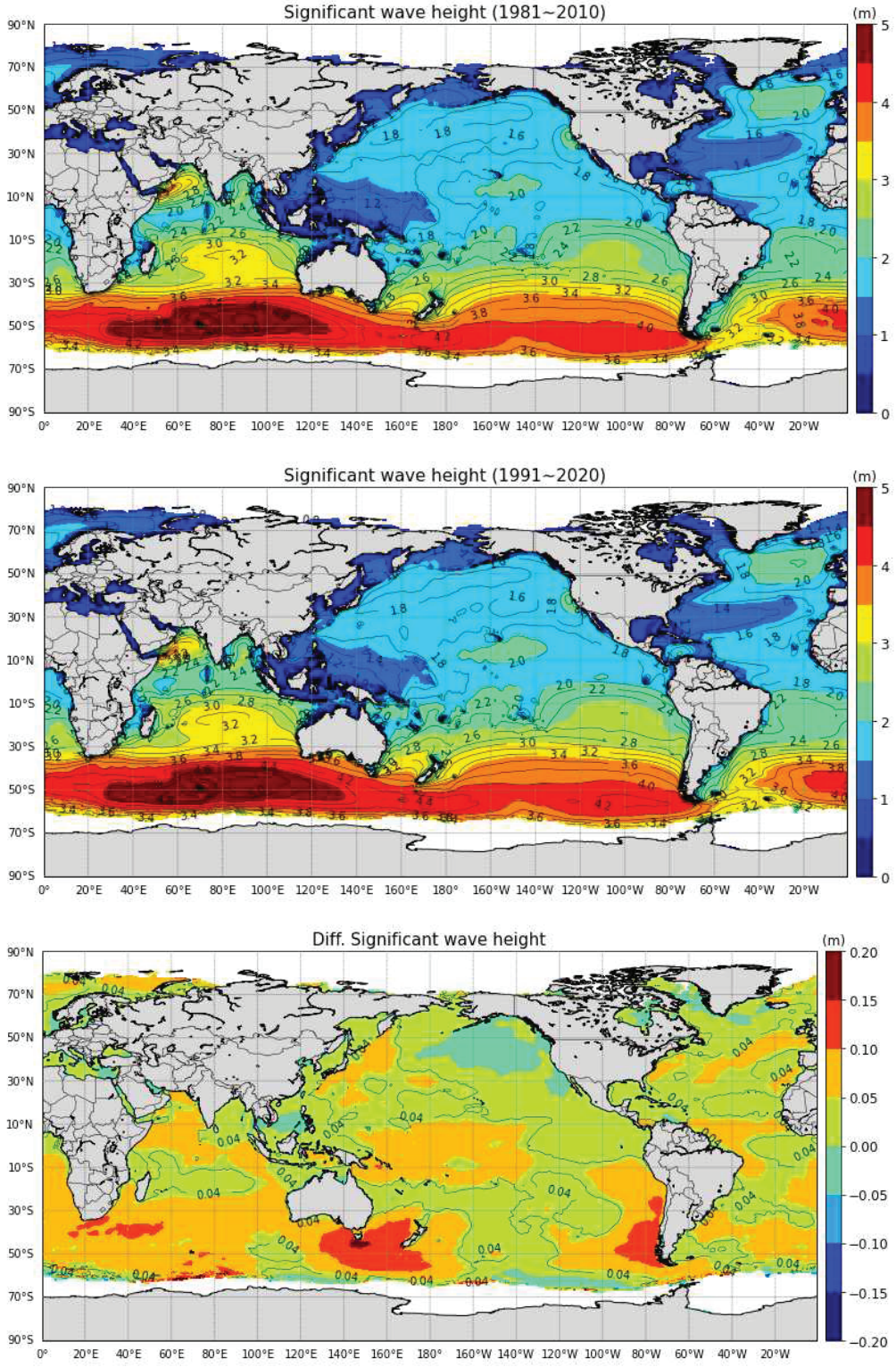
· 겨울은 상대적으로 남반구에서 고파랑이 분포했던 다른 계절과는 달리 상대적으로 남반구보다 북반구에서 고파랑이 분포하는 특징을 보였다. 구/신평년 기간 모두 북태평양에서 4m 이상 유의파고가 분포하였으며 적도 지역에서는 파고가 약 0~2.5m, 남태평양에서는 0~4m인 유의파고가 분포하였다. 북대서양에서 4m 이상인 유의파고가 분포해 가장 높은 유의파고가 분포하였다.

편차 분포도 분석결과, 태평양에서는 서태평양에서 전체적으로 유의파고가 상승하였으며 특히 북서태평양 쿠릴열도 및 캄차카반도 동측 지역에서 상승 폭이 약 0.05~0.2m를 나타내었다. 반면 위도 30°N 부근 지역과 동태평양에서는 하락하였다. 남아프리카와 호주 사이 대부분 지역에서는 약 0.05~0.1m 상승하였으며, 남극해(위도 50°S~60°S)에서는 약 0.05~0.15m 상승하였다.

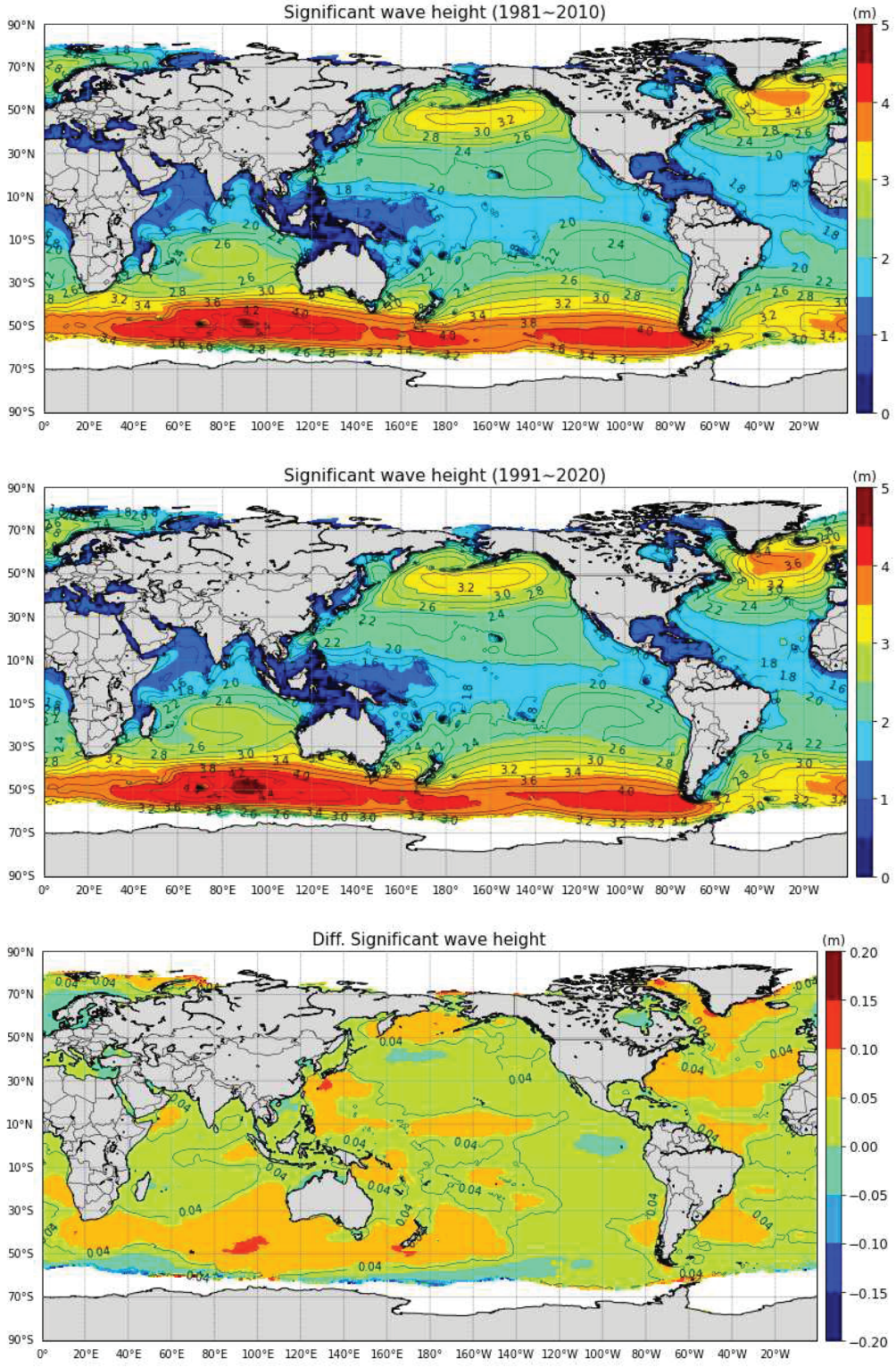
신평년 값 기준 계절별/연별 편차 산출결과 사계절 모두 1981년부터 1991년 사이 기간에는 음의 편차가 산출되었으며 이후 편차가 감소하여 1991년 이후에는 0을 기준으로 증가 및 감소를 반복하였다. 1991년 이후 편차의 절대 크기는 과거보다 작아졌으며 전반적으로 편차가 상승하는 양상을 나타내었다.



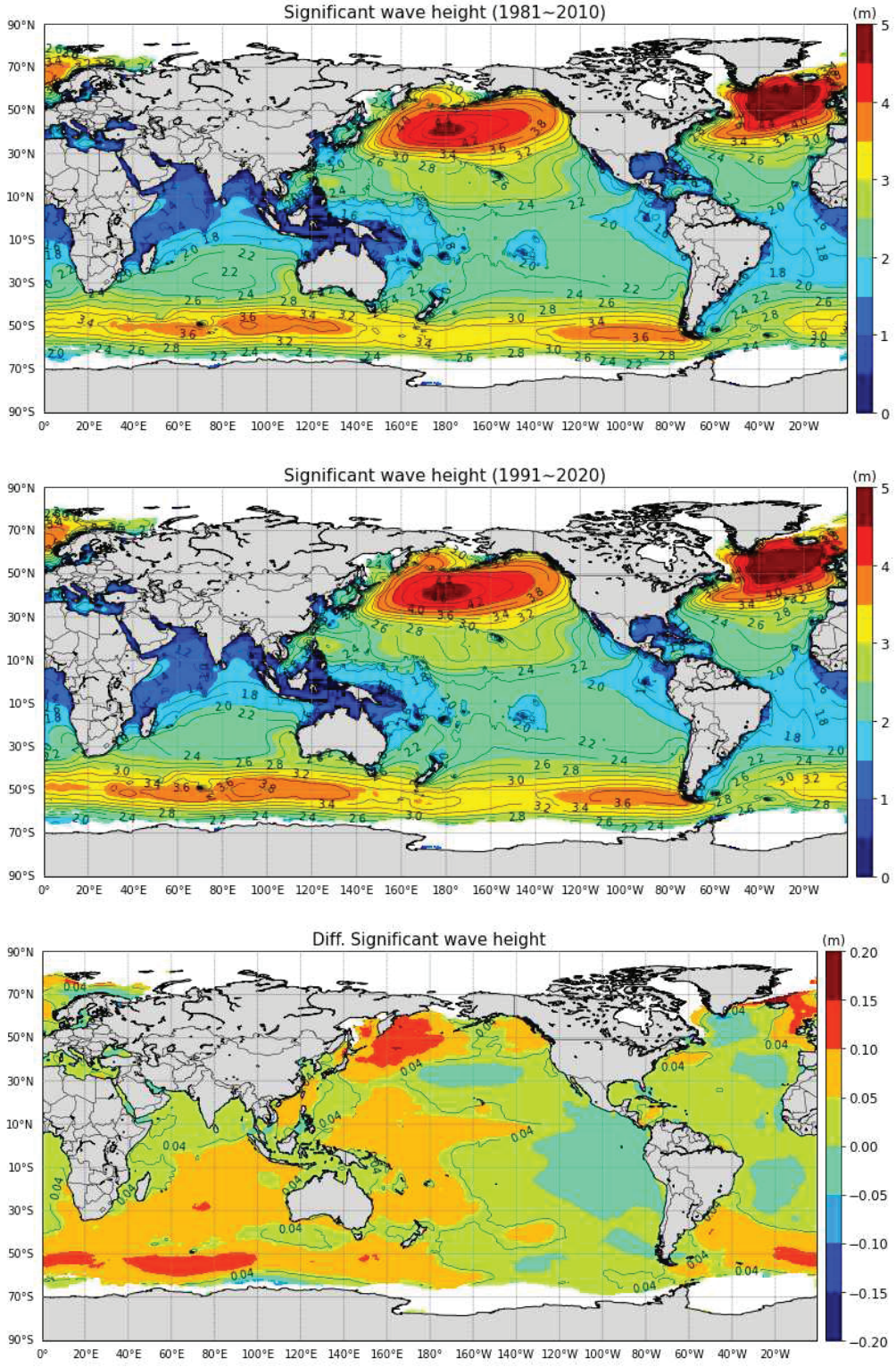
<그림 2-2-2> 구/신평년 전 지구 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (봄)



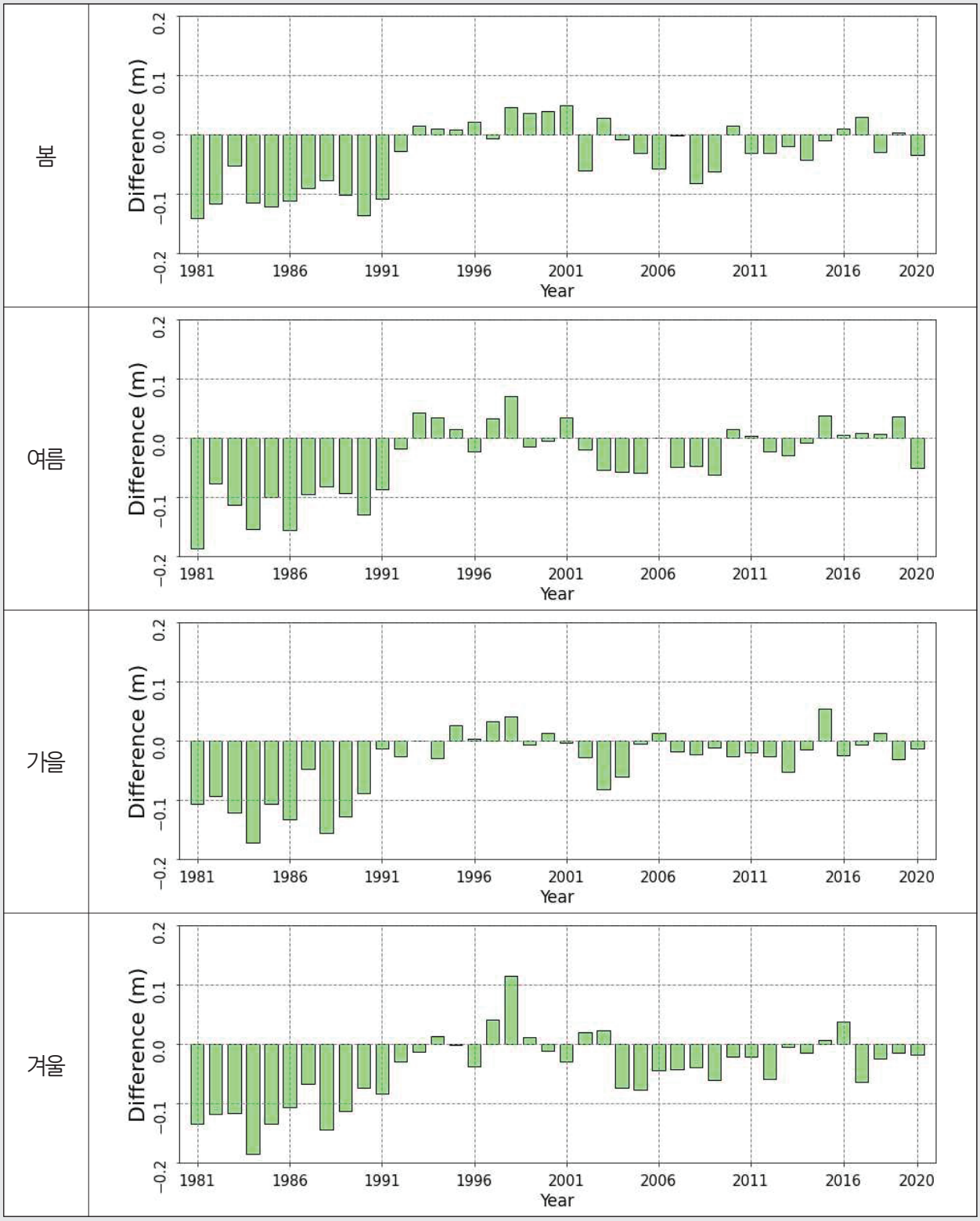
<그림 2-2-3> 구/신평년 전 지구 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (여름)



<그림 2-2-4> 구/신평년 전 지구 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (가을)



<그림 2-2-5> 구/신평년 전 지구 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (겨울)

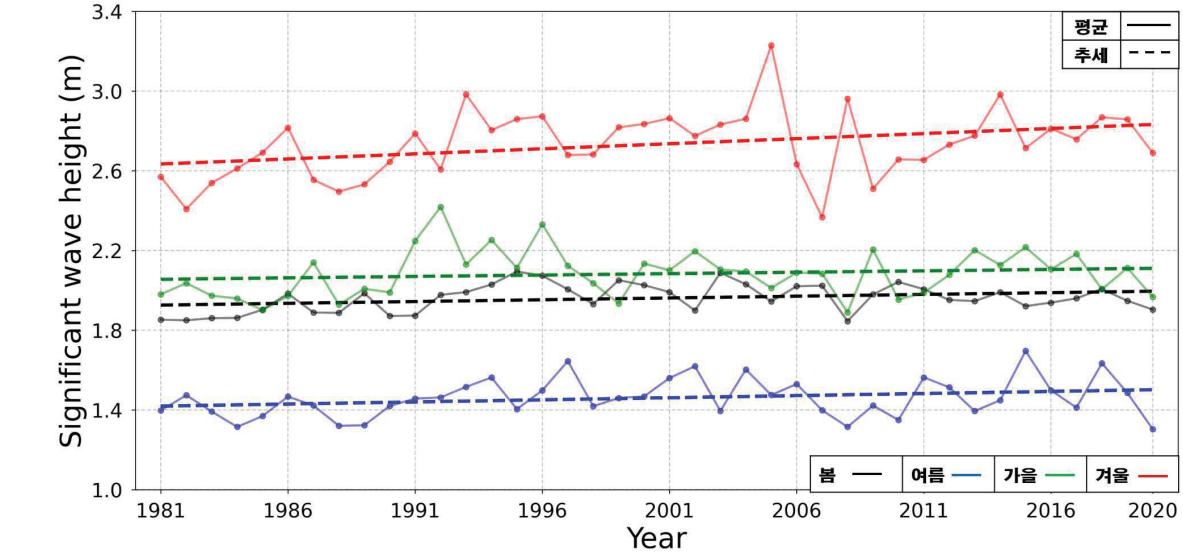


<그림 2-2-6> 계절별/연별 전 지구 평균 유의파고 편차 시계열

(2) 동아시아

동아시아 영역에서 계절별 유의파고 변동 양상을 이해하기 위해 연별 시계열을 산출하였다. 또한 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 평균 공간분포도를 산출하여 각 기간의 유의파고 공간적 분포 양상을 비교하였다. 또한, 계절별로 신평년 값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도, 연별 유의파고 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열을 산출해 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 유의파고 평균값과 추세선을 나타내고 있다. 동아시아 영역에서는 사계절 모두 1981년 이후 유의파고가 상승 및 하락을 반복하면서 점진적으로 상승하는 변동 특성을 나타내었다. 변화율은 봄에 0.0018m/year, 여름 0.0021m/year, 가을 0.0014m/year, 겨울 0.0051m/year로 겨울철 변화율이 다른 계절보다 높았다. 구평년, 신평년 평균값 산출결과 겨울철 구/신평년 평균값과 편차가 다른 계절에 비해 크게 산출되었다.



<그림 2-2-7> 계절별/연별 동아시아 유의파고 평균 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-2> 계절별 동아시아 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0018	1.96	2.00	0.04
여름	0.0021	1.45	1.49	0.04
가을	0.0014	2.08	2.12	0.04
겨울	0.0051	2.73	2.79	0.06

동아시아 영역에서 계절별 구/신평년 유의파고 평균 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 공간분포도를 산출해 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석하여 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철 구/신평년의 유의파고 평균 공간분포도 산출결과 두 평년 기간 모두 유의파고 크기별 분포 특징은 유사하였다. 구/신평년 모두 가장 높은 유의파고가 분포한 지역은 일본 동해와 쿠릴열도, 캄차카반도 동측 태평양 지역(위도 35°N~50°N, 경도 160°E~180°E)으로 3m 이상 유의파고가 분포하였다. 일본 오키나와 제도 주변 지역과 대만 동측 및 필리핀해에서는 약 높이가 1.5~2m인 유의파고가 분포하였다.

구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 살펴본 결과 가장 높은 유의파고가 분포했던 일본 동측 태평양 지역에서 구평년 대비 신평년에 유의파고가 상승하여 파고 크기별 분포 차이가 나타났다. 또한 대만 및 필리핀해 동측 지역에서도 유의파고가 상승에 따른 분포 양상이 다르게 나타났다. 편차 분포도 산출 결과, 약 -0.04~0m 하락한 일본 동측 태평양 지역(위도 30°N~40°N, 경도 145°E~180°E)을 제외하면 대부분 지역에서는 유의파고가 상승하였다. 상대적으로 큰 상승폭을 나타낸 지역은 오호츠크해와 캄차카반도 동측 지역, 일본 서해안, 필리핀해 동측 지역으로 유의파고가 약 0.04~0.08m 상승하였다.

· 여름 구/신평년 유의파고 평균 공간분포도 산출결과, 두 평년 기간 모두 일본 동측 태평양 지역에서 약1.8m 이상인 유의파고가 분포해 다른 지역보다 상대적으로 높은 유의파고가 분포하였다. 동아시아 영역 내에서 상대적으로 높은 유의파고 분포를 나타낸 지역은 봄철과 같이 일본 동해와 쿠릴열도, 캄차카 반도 동측 태평양 지역으로 전반적으로 약 1.5m 이상 유의파고가 분포하였으며 그 중 일본 동해부터 태평양 지역(경도 140~180)에 이르는 영역에서 약 1.8m 이상 유의파고가 분포하였다. 일본 오키나와 제도, 대만 및 필리힌해 동측 지역에서도 약 1.5m 이상인 유의파고가 분포하였다.

구/신평년 기간 공간적 차이를 살펴본 결과, 구평년 대비 신평년에 일본 동측 태평양 지역에서 유의파고 상승에 따른 분포 변화가 뚜렷하게 나타났다. 편차 분포도 산출결과, 오호츠크해와 우리나라 주변 해역과 동중국해, 대만 및 필리핀해 주변 지역에 약 0~0.04m 상승하였으며, 일본 동측 및 남측 태평양 지역에서는 약 0.04~0.08m 상승하였다.

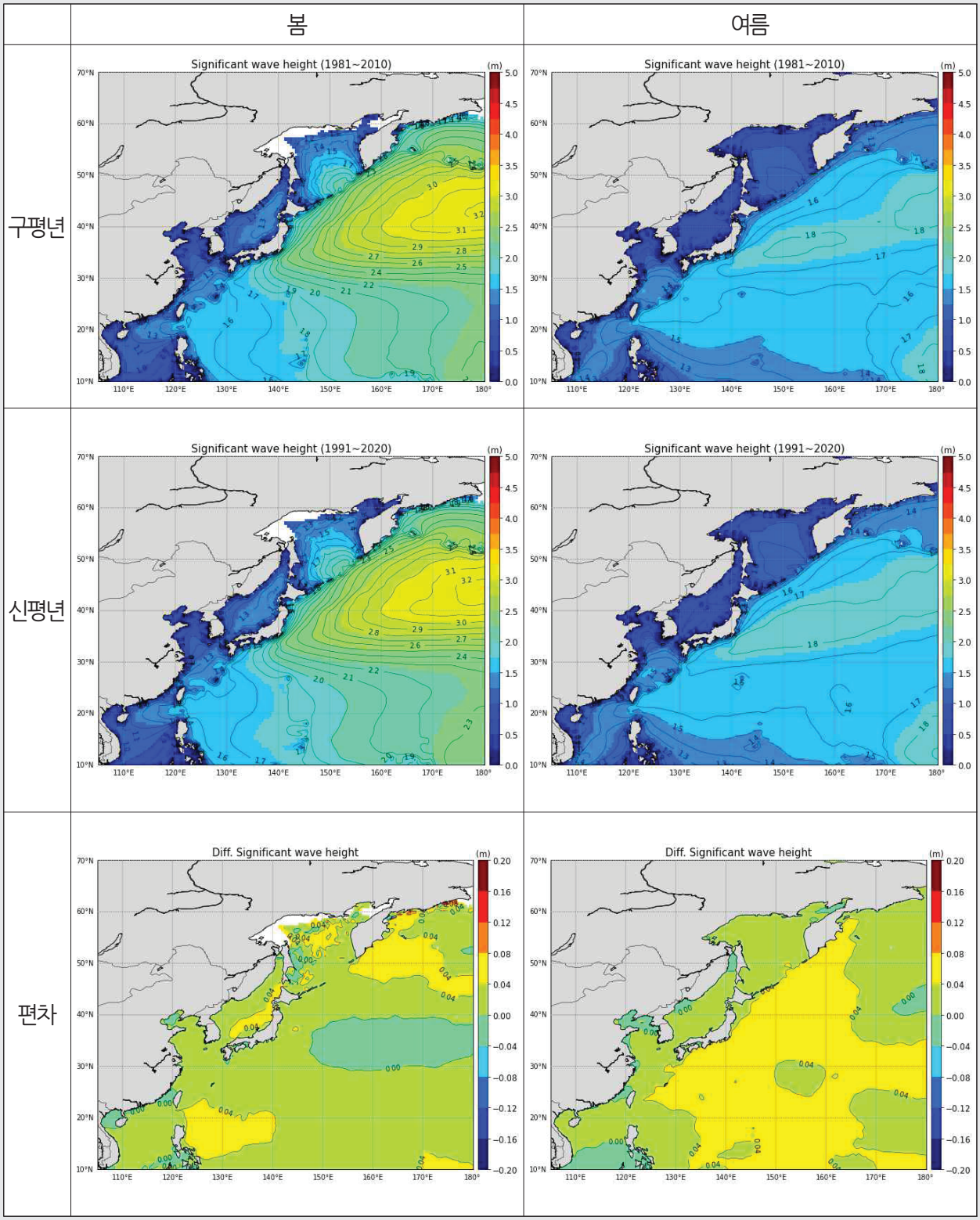
· 가을 구/신평년 공간분포도 산출결과, 두 분포 양상이 유사하였다. 가장 높은 유의파고가 분포한 지역은 쿠릴열도 동측 태평양 지역(위도 40°N~50°N, 경도 160°E~180°E)으로 약 3m 이상인 유의파고가 분포하였다. 오호츠크해와 일본 동해에서는 약 3m 이하인 유의파고가 분포하였으며 일본 남해와 오키나와 제도 남측 지역 그리고 대만 동측 지역에서는 약 0~2.2m 유의파고가 분포하였다.

구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 살펴본 결과, 가장 높은 유의파고가 분포했던 쿠릴열도 동측 태평양 지역을 중심으로 하여 유의파고 상승이 뚜렷하게 나타났다. 또한, 유의파고가 상승한 태평양 지역을 중심으로 파고 크기별 분포 양상이 달라짐에 따라 베링해, 오호츠크해에서의 분포 양상이 다르게 나타났다. 지역에 따른 정량적인 분석을 위해 편차 분포도를 산출한 결과, 오호츠크해와 캄차카반도 동측 지역(위도 50°N~60°N)에서 유의파고가 약 0~0.12m 상승하였다. 또한, 일본 남해와 오키나와 제도 주변, 필리핀해 동측을 포함한 태평양 지역에서도 약 0.04~0.12m의 상승하였다.

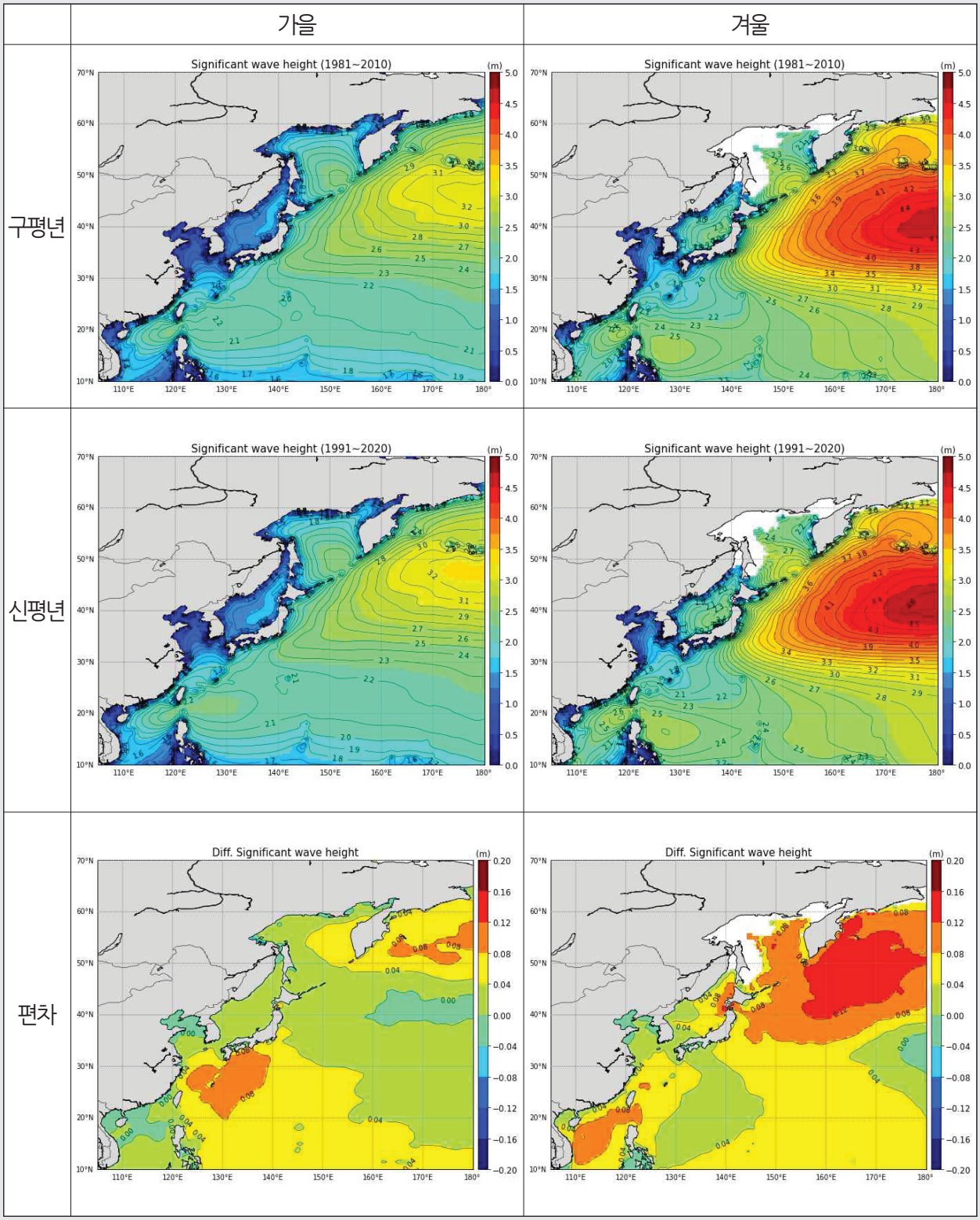
· 겨울철에는 봄, 여름, 가을철보다 높은 유의파고가 분포하였다. 가장 높게 나타난 지역은 일본 동측 태평양 지역으로 구/신평년 모두 4.5m 이상인 유의파고가 분포하였다. 일본 남해, 오키나와 제도 남측 지역 그리고 대만 동측 지역에서는 약 0~2.5m에 달하는 유의파고가 분포하였다.

두 평년 기간 간 공간적으로 차이를 살펴본 결과 신평년 유의파고 상승에 따라 지역적으로 분포 양상이 다르게 나타났다. 일본 동측 태평양과 일본 남해, 필리핀해 동측에서 유의파고가 상승해 파고 크기별 분포 범위가 다른 특징을 보였다. 공간적으로 정량적인 분석을 수행하기 위해 편차 분포도를 산출한 결과 동해, 오호츠크해, 쿠릴열도와 캄차카반도 주변 지역과 태평양 지역(위도 30°N~65°N, 경도 130°E~180°E)에 걸친 광범위한 영역에서 유의파고가 약 0.04~0.16m 상승하였다. 봄, 여름, 가을에서 지역적으로 나타난 유의파고 상승 양상과 비교하면 가장 큰 상승폭과 범위를 나타내었다. 남/동중국해와 필리핀해 그리고 오키나와 제도 주변 지역에서도 약 0.04~0.12m 상승하였다.

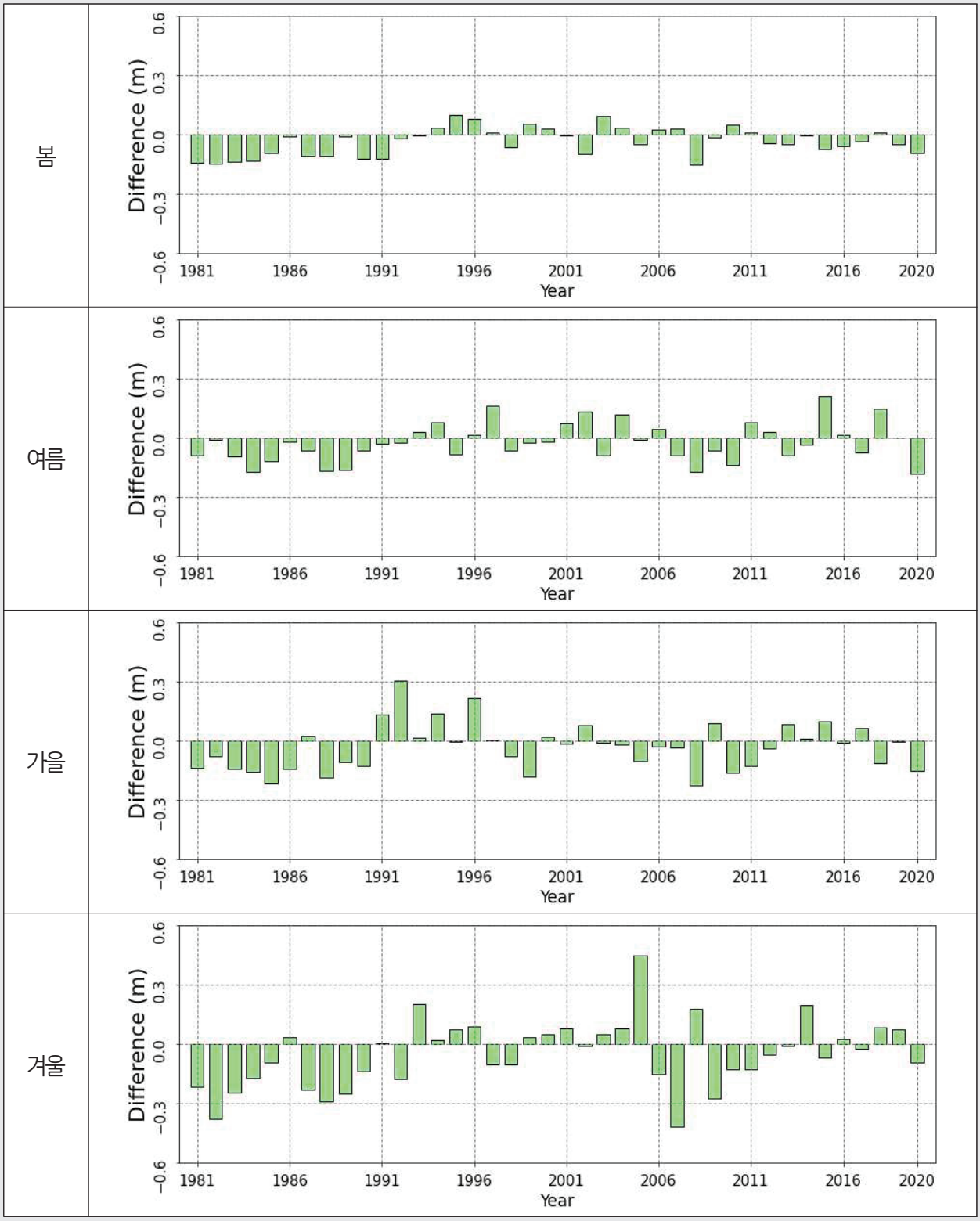
신평년 값 기준 계절별/연별 편차 산출결과, 사계절 모두 1991년 이전에는 평년값의 우세하여 1987년 가을을 제외하고 전부 음의 편차가 산출되었으나 이후에는 편차가 감소하여 0을 기준으로 증감 변동성을 나타내었다. 사계절 모두 1991년 이후 연별 평균값의 우세로 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하였으며 전반적으로 상승하는 양상을 보였다.



<그림 2-2-8> 구/신평년 동아시아 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (봄, 여름)



<그림 2-2-9> 구/신평년 동아시아 유의파고 평균 및 편차 공간분포도 (가을, 겨울)

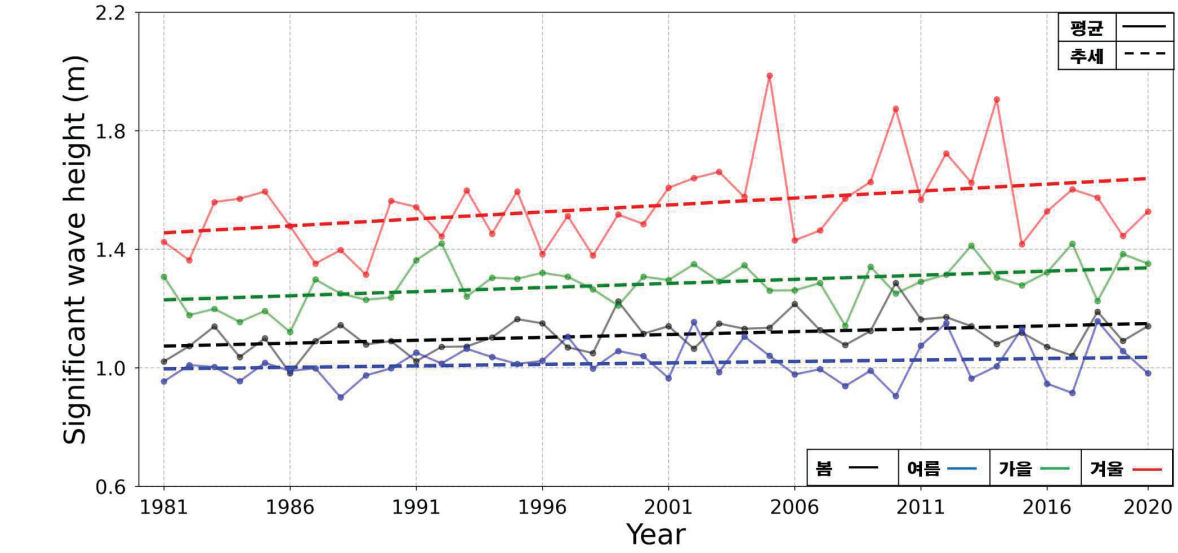


<그림 2-2-10> 계절별/연별 동아시아 평균 유의파고 편차 시계열

(3) 한반도 연근해

한반도 연근해에서의 계절별 변동 양상을 이해하기 위해 연별 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 또한 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출해 각 평년 기간 유의파고의 분포 양상을 비교하였다. 또한, 계절별로 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 유의파고 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열을 산출해 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 유의파고 평균값과 추세선을 나타내고 있다. 한반도 연근해에서는 사계절 모두 유의파고가 상승하는 추세를 나타냈으며, 특히 겨울철 유의파고의 상승 추세가 다른 계절보다 높은 특징을 보였다. 계절별 변화율은 봄철 0.0020 m/year, 여름 0.0010 m/year, 가을 0.0028 m/year, 겨울 0.0047 m/year로 겨울철에 변화율이 가장 높았다. 구평년, 신평년 평균값과 편차를 산출한 결과에서도 겨울철 평균값 및 편차가 가장 크게 산출되었다.



<그림 2-2-11> 계절별/연별 한반도 연근해 유의파고 평균 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-3> 계절별 한반도 연근해 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0020	1.11	1.12	0.01
여름	0.0010	1.01	1.03	0.02
가을	0.0028	1.27	1.31	0.04
겨울	0.0047	1.53	1.58	0.05

한반도 연근해 영역의 계절별 구/신평년 유의파고 평균 공간분포도를 산출해 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출하여 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철 구/신평년 유의파고 평균 공간분포도를 산출한 결과 해역별 분포 양상이 다르게 나타났다. 두 평년 기간 모두 공통적으로 나타내는 특징을 살펴보면, 동해에서는 약 0~1.3m에 달하는 유의파고가 분포하며, 특히 동해 중심부에서 가장 높은 파고가 분포하였다. 남해에서는 약 0~1.4m, 서해에서는 약 0~1.1m의 파고가 분포하였다. 동중국해 및 일본 남해(위도 28°N~34°N)에서는 약 0~2m에 달하는 유의파고가 분포하였으며 한반도 연근해 영역에서 가장 높은 분포를 보였다.

구/신평년 공간분포도가 나타내는 차이를 해역별로 비교한 결과 유의파고 상승으로 인한 다른 분포 양상이 나타났다. 동해에서는 유의파고가 전체적으로 상승하였으며 특히 동해 중심부에서 큰 상승 폭을 나타내었다. 남해와 서해에서도 전체적으로 상승하였고 특정 지역에서는 큰 상승 폭을 나타내지는 않았다. 편차 분포도를 살펴본 결과 동해에서 약 0~0.04m 상승하였으며 동해 중심부 상승 폭이 컸다. 서해와 남해, 동중국해와 일본 남해에서는 약 0~0.01m가 상승하여 동해보다 상승 폭이 작았다.

· 여름철 구/신평년 공간분포도 비교 결과, 남해와 동중국해, 일본 남해에서의 유의파고 분포 및 변동 양상이 뚜렷하게 나타났다. 두 평년 기간 모두 동해에서는 약 0~1m인 유의파고가 분포하였으며 남해에서는 약 0~1.4m, 서해에서는 약 0~1m인 유의파고가 분포하였다. 동중국해와 일본 남해에서는 약 0~1.8m인 유의파고가 분포하였으며 일본 남해에서 가장 높은 유의파고가 분포하였다.

구/신평년 공간분포도를 해역별로 비교한 결과, 신평년에 동해, 남해, 동중국해, 일본 남해에서 유의파고가 상승하였다. 해역별로 유사하게 상승하였는데 공간적으로 나타난 상승 변화를 정량적으로 분석하기 위해 편차 분포도를 산출한 결과 봄철과는 다른 양상이 나타났다. 동해에서는 전체적으로 약 0~0.02m 상승하였으며, 서해에서도 상승 폭이 유사하였다. 남해에서는 상승 폭이 약 0~0.03m 나타내며 동해와 서해보다 크게 나타났으며, 특히 제주도를 기준으로 남쪽으로 하여 상승 폭이 뚜렷하게 나타났다. 동중국해와 일본 남해에서는 약 0~0.05m의 편차 분포를 나타내 우리나라 주변 해역보다 높은 상승 폭을 나타내었다.

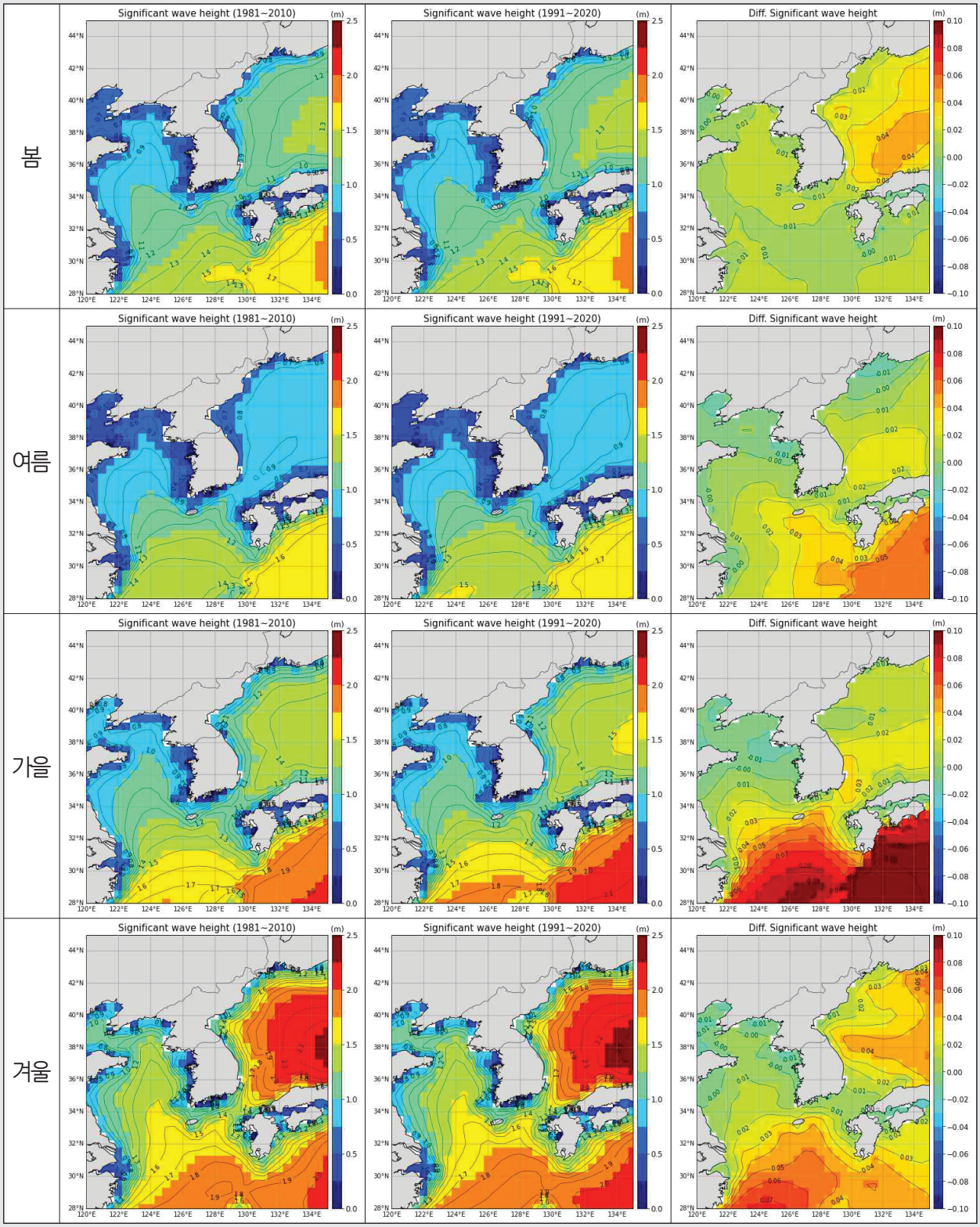
· 가을철에는 두 평년 기간 모두 동해에서는 약 0~1.5m인 유의파고가 분포하였으며 남해에서는 0~1.6m, 서해에서는 0~1m인 유의파고가 분포하였다. 해역별/계절별로 유의파고 분포 양상을 살펴본 결과 봄, 여름보다 높은 유의파고가 분포하였다.

구/신평년 공간분포도를 이용해 해역별로 살펴보면 신평년에 유의파고 상승에 의한 차이가 나타났다. 동해와 남해에서는 전체적으로 유의파고가 상승해 뚜렷한 분포 차이를 보였다. 서해에서도 유의파고가 상승한 경향을 보였으나 변동 폭이 크지 않아 명확히게 판단할 수는 없었다. 동중국해와 일본 남해에서는 전체적으로 유의파고가 약 0.1m 상승하여 가장 큰 상승 폭을 보였다. 편차 분포도를 산출한 결과 동해에서는 구평년 대비 신평년에 약 0~0.03m가 상승하였으며 우리나라 동해안에서의 상승 폭이 가장 컸다. 서해는 -0.01~0.01m 사이 범위를 가져 매우 작은 변동 폭을 나타내었다. 남해와 동중국해, 일본 남해에서는 약 0.03~0.1m 상승해 다른 해역에 비해 매우 큰 상승 폭을 나타내었다.

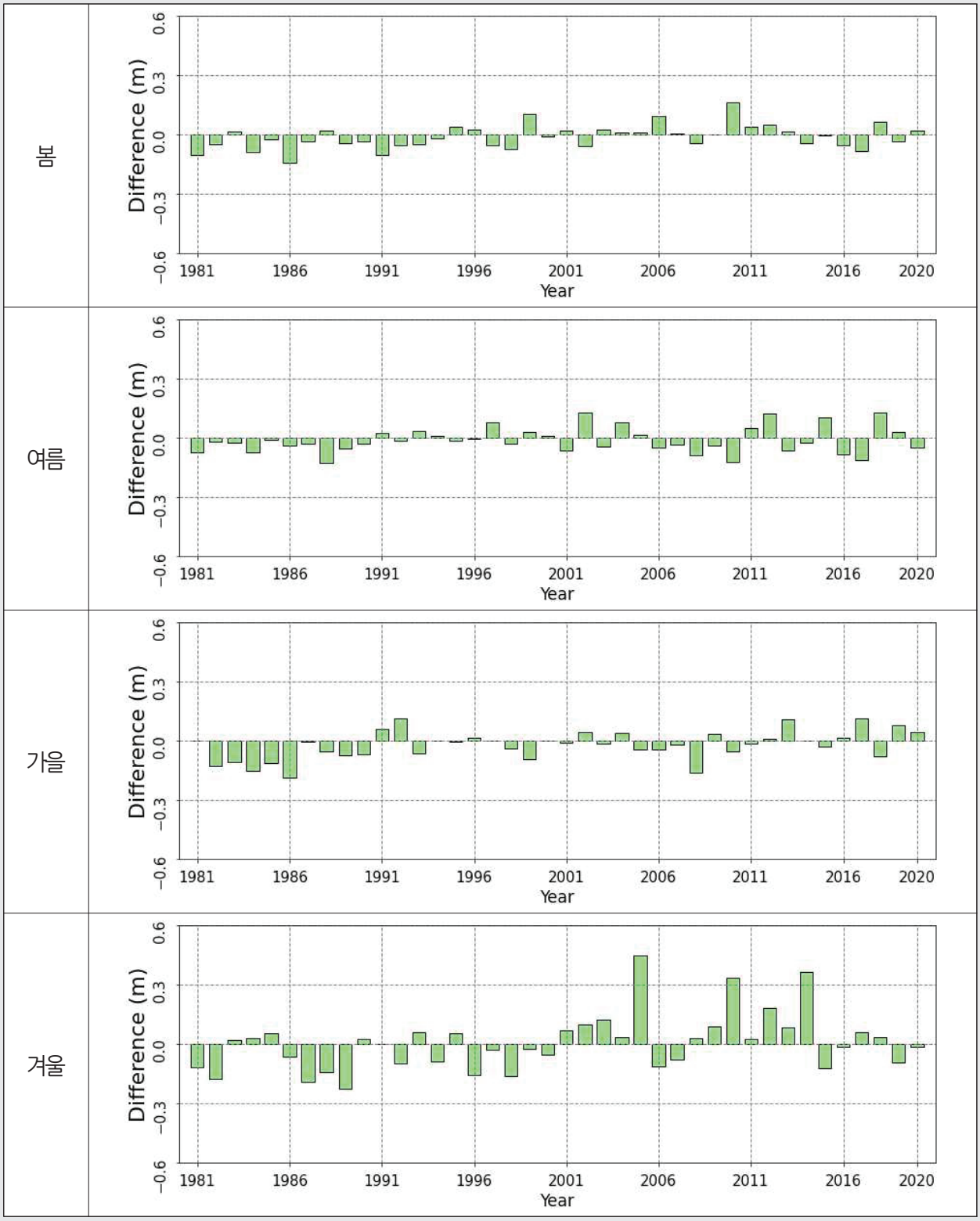
· 겨울철에는 두 평년 기간 모두 동해에서의 유의파고 강세가 뚜렷하게 나타났다. 두 공간분포도 모두 동해에서는 약 0~2.4m 유의파고가 분포하였으며 동해 중심부에서 가장 높은 파고가 분포하였다. 남해에서는 약 0~1.7m 유의파고가 분포하였으며 동중국해와 일본 남해에서는 약 0~2m 유의파고가 분포하여 다른 해역보다 높은 유의파고가 분포하였다.

구/신평년 공간분포도를 해역별로 비교해보면, 유의파고 상승에 따른 분포 변화가 보였다. 먼저 가장 높은 유의파고가 분포한 동해에서는 동해 중심부를 기준으로 상승한 양상을 보였으며, 동해 연안에서는 뚜렷한 변동 양상은 나타나지 않았다. 남해에서는 제주도 남측에서 상승 변동이 뚜렷하게 나타났다. 동중국해와 일본 남해에서도 유의파고가 상승하여 구/신평년 간 유의파고 크기별 분포 범위가 큰 차이를 보였다. 편차 분포도 산출결과, 동해에서는 공간적으로 약 0~0.05m 상승하였으며, 남해에서는 약 0~0.04m가 상승하였다. 서해에서는 약 -0.01~0.01m 분포를 나타내어 다른 해역에 비해 매우 작은 변동성을 보였다. 동중국해와 일본해에서 약 0~0.07m 상승하였으며 특히 동중국해에서의 상승 폭이 가장 크게 나타났다.

신평년 값 기준 계절별/연별 편차 산출결과, 사계절 모두 1991년 이전에는 평년값의 우세로 대부분 음수가 산출되었으나 1990년 이후 편차가 감소해 0을 기준으로 증가 및 감소하는 변동성을 보였다. 1991년 이후 비주기적으로 연 평균값이 우세하여 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하였으며 전반적으로 편차가 상승하는 양상을 나타내었다.



<그림 2-2-12> 계절별 한반도 연근해 유의파고 구/신평년 평균 및 편차 공간분포도



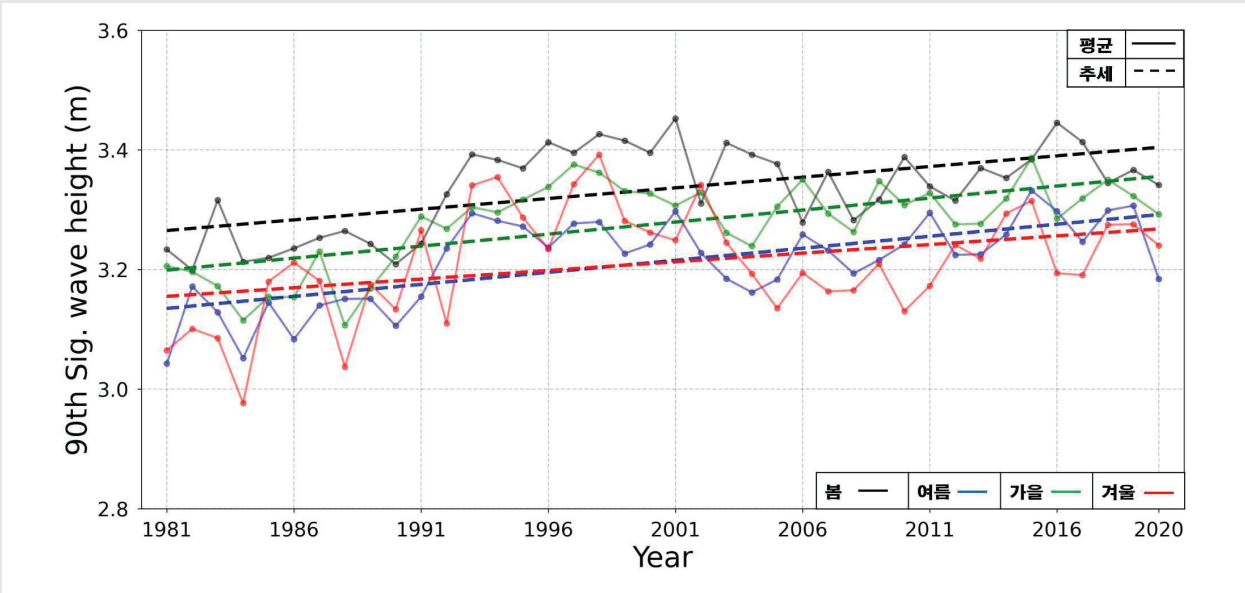
<그림 2-2-13> 계절별/연별 한반도 연근해 유의파고 편차 시계열

나. 극한 유의파고

(1) 전 지구

전 지구 계절별 극한 유의파고 변동 양상을 이해하기 위해 연별 극한 유의파고의 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 극한 유의파고 공간 분포도를 산출해 각 기간의 공간적인 분포 양상을 비교하였다. 또한 계절별로 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 극한 유의파고 평균값에서 신평년 극한값을 뺀 편차 시계열을 산출하여 편차의 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 극한값과 추세선을 나타내고 있다. 사계절 모두 1981년 이후 연별 극한 유의파고 평균값이 상승 및 하락을 반복하면서 상승하는 변동 특성을 나타내었다. 계절별 변화율은 봄 0.0036m/year, 여름 0.0041m/year, 가을 0.0040m/year, 겨울 0.0029m/year로 여름철 변화율이 가장 높게 산출되었으나 계절 간 차이는 크지 않았다. 계절별로 구평년 및 신평년 극한값과 편차를 산출한 결과 사계절 모두 유사한 값을 나타냈으며, 구평년 대비 신평년에 약 0.03~0.04m 상승하였다. 계절별 변화율, 구/신평년 평균값과 편차를 산출한 결과 사계절 모두 변화율과 편차가 유사해 특정 계절의 상승 추세가 강세를 나타내지는 않았다.



<그림 2-2-14> 계절별/연별 전 지구 극한 유의파고 극한값 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-4> 계절별 전 지구 극한 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0036	3.33	3.36	0.03
여름	0.0041	3.21	3.25	0.04
가을	0.0040	3.27	3.31	0.04
겨울	0.0029	3.28	3.32	0.04

계절별 구/신평년 극한값 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한, 신평년 극한값에서 구평년 극한값을 뺀 편차 공간분포도를 산출하여 구/신평년 간에 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철에는 두 평년 기간 모두 극한 파고의 분포 양상은 유사하였다. 전반적으로 남극해(위도 40°S~70°S)에서 약 5~6m 파고가 분포하였으며, 특히 남극해 경도 60°E~160°E 부근 지역에서 가장 높은 파고가 분포하였다. 북태평양에서는 약 4m 이상 파고가 분포하였으며 북대서양에서도 약 5m 이상인 파고가 분포하였다. 반면 적도 부근에서는 약 2~3m 파고가 분포하여 상대적으로 다른 지역보다 낮은 특징을 나타내었다.

구/신평년 공간분포도를 해역별로 비교해 살펴보면 신평년에 극한 유의파고 상승으로 인한 분포 차이가 나타났다. 남극해에서 극한 유의파고가 상승하여 분포 차이가 나타났으며, 특히 6m 이상 파고의 분포 범위가 증가하였다. 또한, 북태평양에서도 상승 변동이 나타나 5m 이상 파고의 분포 범위가 증가하였으며, 북대서양 지역(위도 50°N~70°N, 경도 40°W~20°W)에서도 5m 이상의 파고 분포 범위가 증가한 양상을 나타내었다.

· 여름철에는 두 평년 모두 남아프리카와 호주 사이 남극해에서 6.5m 이상 분포하여 다른 지역에 비해 높은 분포를 나타내었다. 북태평양에서는 극한 유의파고가 상대적으로 높게 분포한 지역에서는 약 2~2.5m인 파고가 분포하였으며, 북대서양에서는 약 2~3m 파고가 분포하여 남극해보다 작은 분포를 나타내었다.

구/신평년 공간분포도를 해역별로 비교해 살펴본 결과 신평년 극한 유의파고 상승에 따른 분포 차이가 나타났다. 가장 큰 차이가 나타난 지역은 인도양 남측 지역과 남극해로, 인도양 남측 지역에서는 약 4m 이상 파고의 분포 범위가 증가하였으며, 남극해에서는 6m 이상 분포 범위가 증가

하여 파고 상승 양상이 뚜렷하게 나타났다. 편차 분포도를 살펴본 결과 지역적으로 변화가 뚜렷하게 나타났다. 서태평양에서 전반적으로 약 0.05m 이상 상승하였으며, 북서태평양 지역에서는 약 0.1m 이상 상승하였다. 북동태평양에서는 하락한 양상을 보였으며, 남동태평양에서 약 0.05m 이상 상승하였다. 남아프리카 주변 지역과 호주 남측지역에서는 약 0.1m 이상 상승하였다.

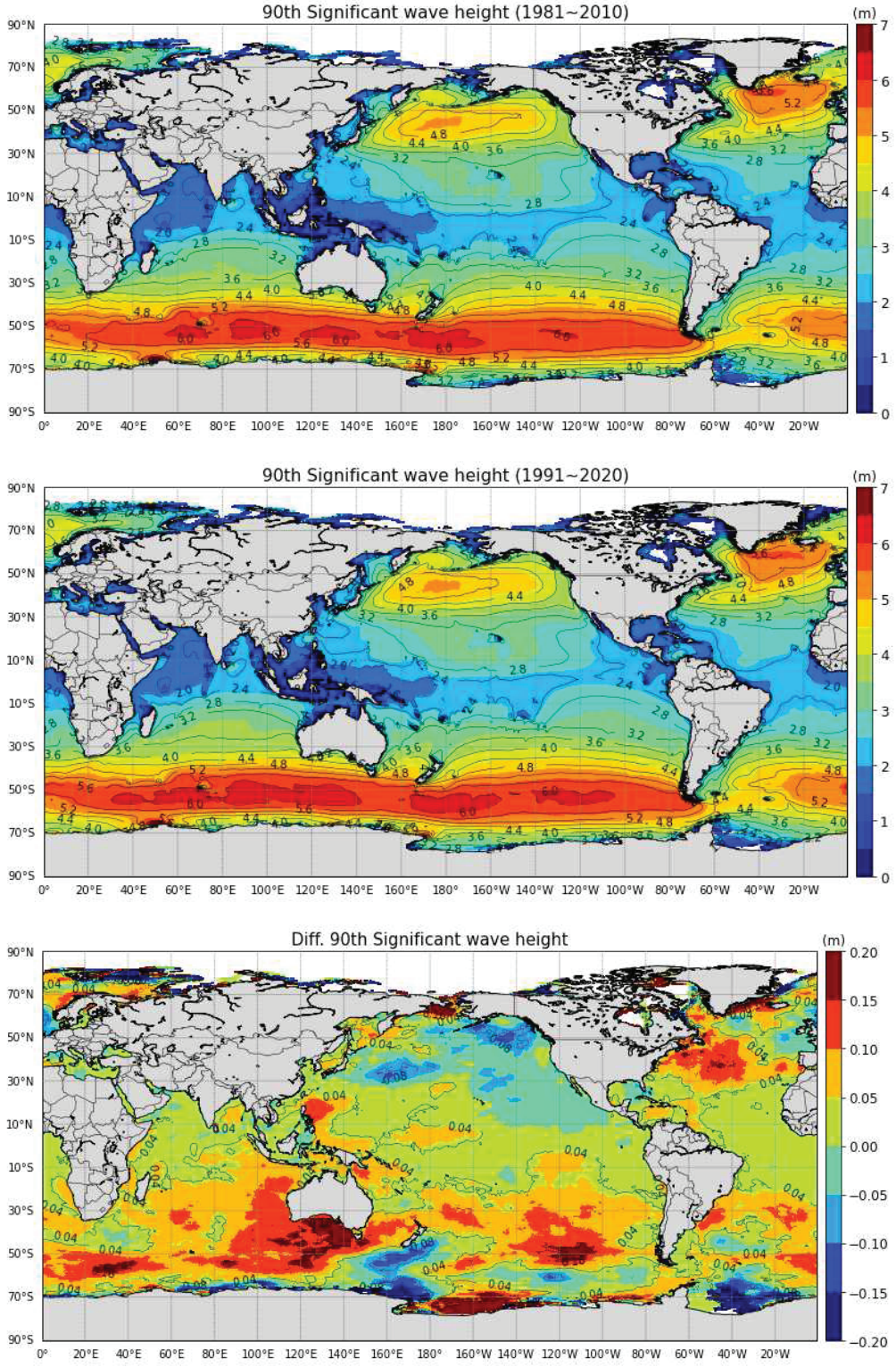
· 가을철에는 두 평년 기간 모두 남극해에서 약 6m 이상인 파고가 분포하였으며 북태평양과 북대서양에서는 약 5m 이상 파고가 분포한 특징을 나타냈다. 적도 지역에서는 파고가 약 1~2.5m를 나타내어 상대적으로 다른 지역보다 낮은 파고가 분포하였다.

구/신평년 공간분포도를 지역별로 비교해 살펴보면 신평년에 북태평양과 남극해에서 극한 유의파고가 상승하였다. 편차 분포도 산출결과, 북태평양 베링해와 동아시아, 아라비아해에서 약 0.05m 상승하였으며 그 중 상대적으로 큰 상승 폭을 나타낸 영역에서는 0.1m 이상 상승하였다. 남아프리카에서 호주, 남아메리카를 포함한 남반구 중위도 지역에서는 전반적으로 상승하였으며, 그중 호주 서쪽 및 남극해 일부 지역에서는 약 0.1m 이상 상승하였다.

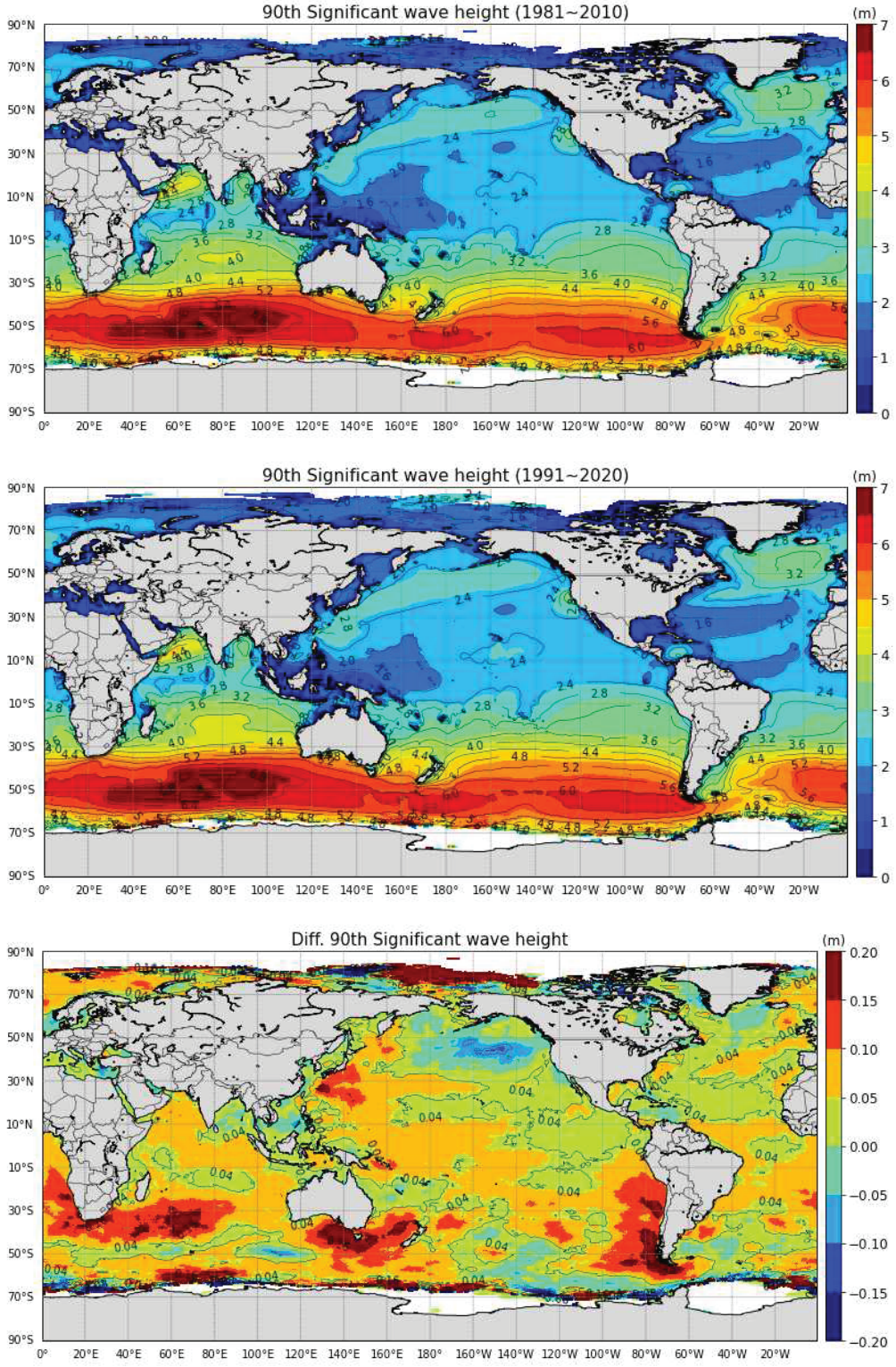
· 겨울 구/신평년 극한값 공간분포도를 산출한 결과 두 평년 분포 모두 남극해에서 가장 높은 극한 유의파고가 분포했던 다른 계절과는 다른 양상을 나타내었다. 가장 높은 극한 유의파고가 분포한 지역은 북대서양으로 전반적으로 약 3m 이상 크기를 나타냈으며 최대 약 6.8m에 달했다.

구/신평년 공간분포도를 지역별로 비교해 살펴보면, 북태평양에서는 신평년에 극한 유의파고가 상승해 파고 크기별 분포 범위가 구평년 보다 증가하였다. 남극해에서 5m 이상 크기를 나타내는 분포가 증가해 극한 유의파고가 상승한 변동 양상을 나타내었다. 편차 분포도 산출결과, 서태평양에서는 전반적으로 상승하였으며 특히 캄차카반도 주변에서의 상승 폭이 크게 나타났다. 인도양, 남극해에서도 전체적으로 상승하였으며 상대적으로 큰 상승 폭을 나타낸 지역에서는 약 0.15m 이상 상승하였다. 편차 분포도 분석 결과, 서태평양과 인도양, 남극해에서 상승 변동이 뚜렷하게 나타났으며 동태평양에서는 알레스카를 제외하고 하락하는 변동 특성을 보였다. 북대서양에서는 공간적으로 상승 및 하락 변동이 복합적으로 나타났다.

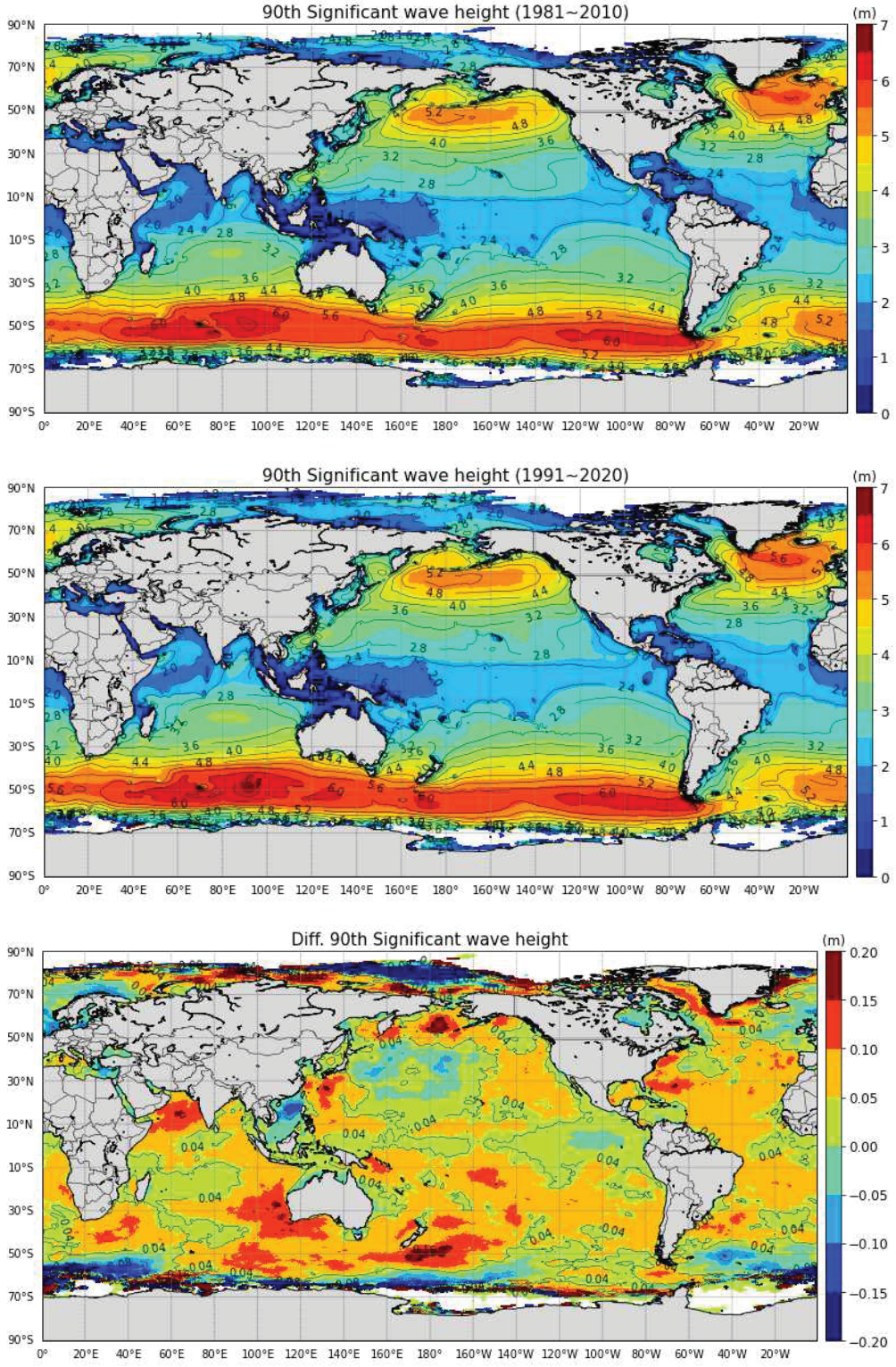
신평년 값을 기준으로 계절별 편차를 산출한 결과 사계절 모두 1981년 이후 편차가 감소하는 경향으로 나타났다. 1981년부터 1990년대 이전에는 음의 편차, 1991년 이후 0을 기준으로 약 ±0.1 m 증가 및 감소를 반복하는 변동성을 나타내었으며 전반적으로 상승하는 양상을 나타내었다.



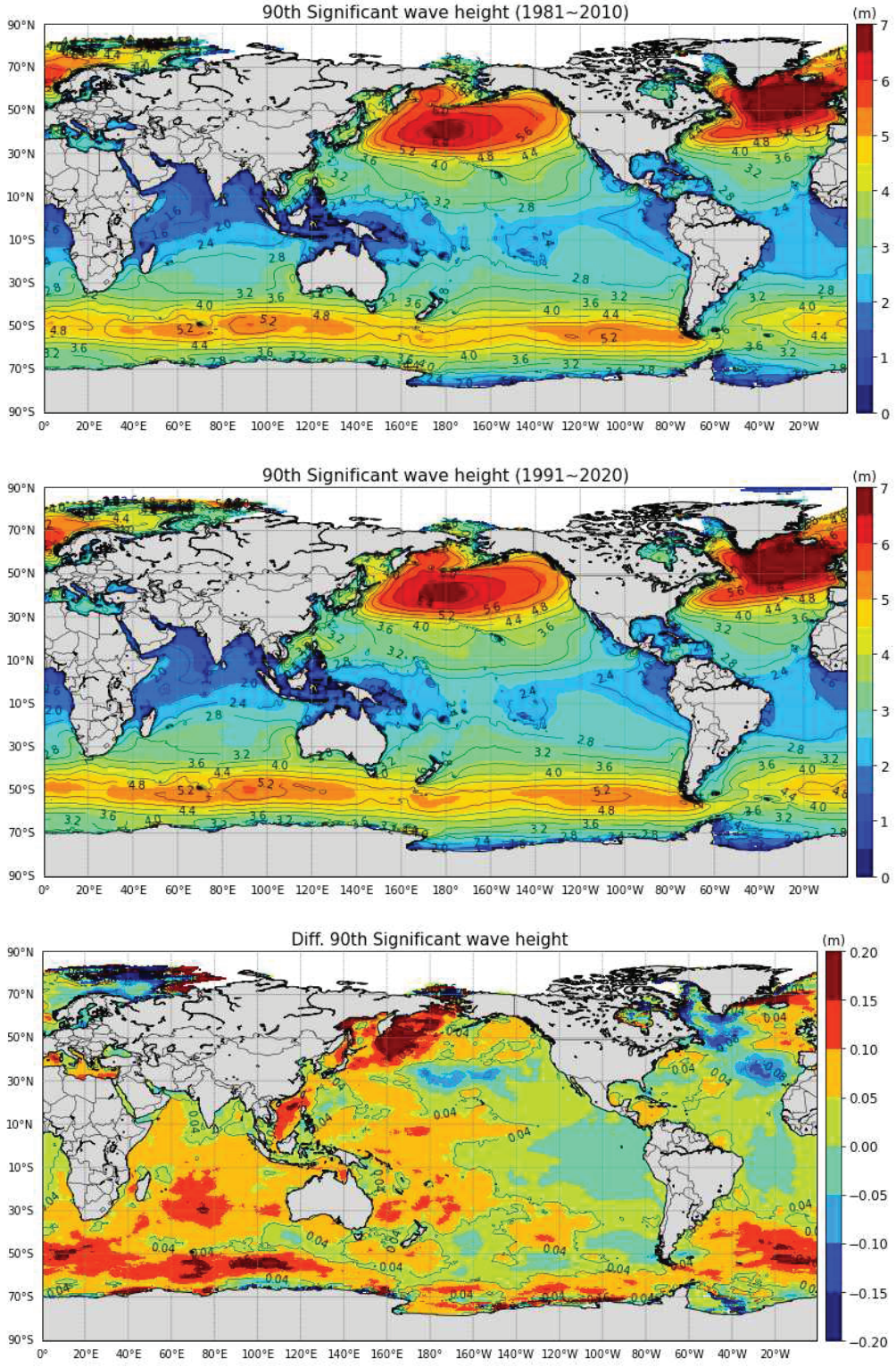
<그림 2-2-15> 구/신평년 전 지구 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (봄)



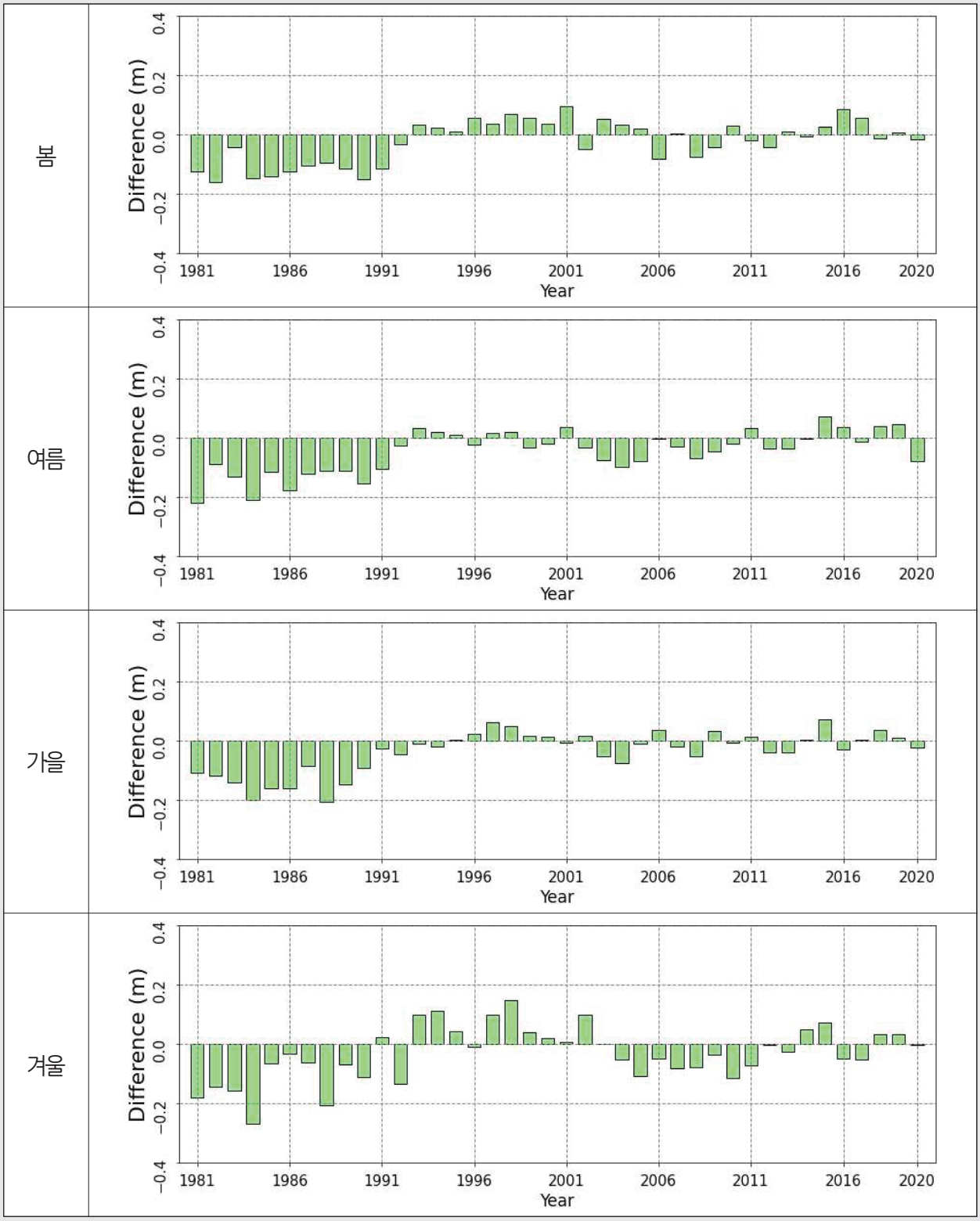
<그림 2-2-16> 구/신평년 전 지구 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (여름)



<그림 2-2-17> 구/신평년 전 지구 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (가을)



<그림 2-2-18> 구/신평년 전 지구 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (겨울)

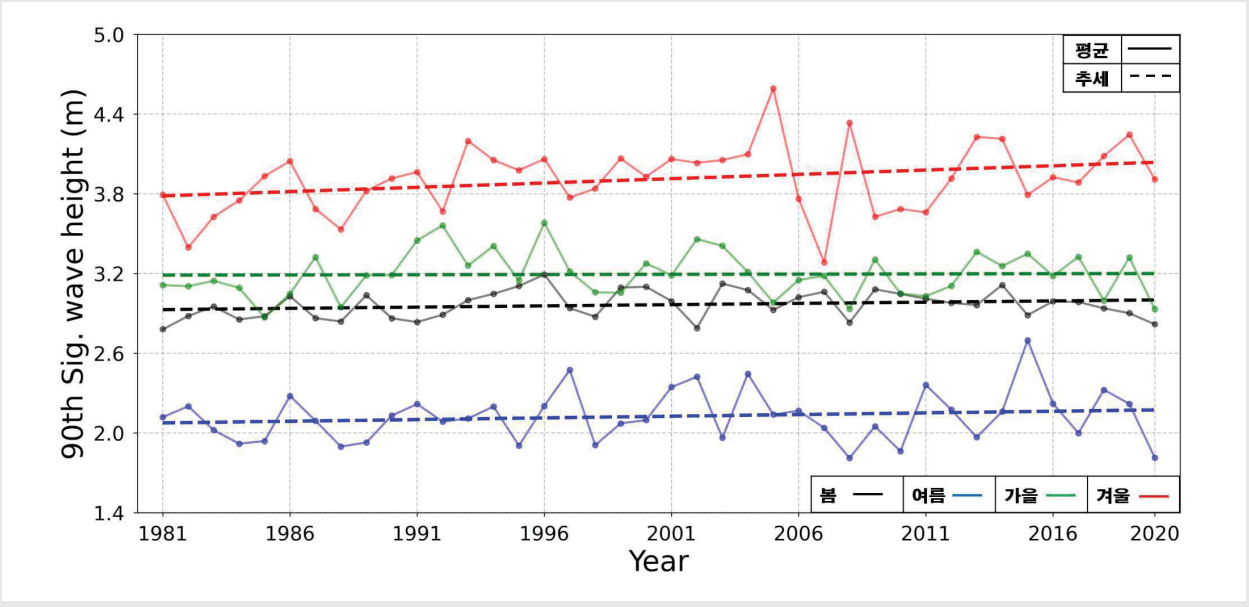


<그림 2-2-19> 계절별/연별 전 지구 극한 유의파고 편차 시계열

(2) 동아시아

동아시아 영역에서 계절별 극한 유의파고의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 극한 유의파고 평균 시계열 자료를 산출하였다. 시계열 자료의 극한값은 분석 영역에서 각 격자점 별로 산출한 극한값의 평균을 의미한다. 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년)에 대한 극한 유의파고 공간분포도를 산출해 각 평년 기간의 공간적인 분포 양상을 비교하였으며, 계절별로 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 극한 유의파고 평균값에서 신평년 평년값을 뺀 편차 시계열을 산출해 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 극한값과 추세선을 나타내고 있다. 동아시아 영역에서는 사계절 모두 1981년 이후 연별 극한값이 상승 및 하락을 반복하면서 상승하는 변동 특성을 나타내었다. 변화율은 봄철 0.0019m/year, 여름 0.0025m/year, 가을 0.0003m/year, 겨울 0.0065m/year로 겨울철에 변화율이 가장 높았으며 가을철에 가장 낮았다. 계절별 구/신평년 극한값을 산출한 결과 겨울철 평년값이 가장 컸으며 여름철 평년값이 가장 작았다. 편차 산출 결과 봄 0.01, 여름 0.05, 가을 0.03, 겨울 0.08m가 산출되어 겨울철 편차가 가장 컸다. 계절별 변화율과 구/신평년 평균값을 비교해 보면 겨울철 극한 유의파고가 다른 계절보다 높게 발생할 뿐만 아니라 상승 추세 또한 가장 높은 특징을 나타내었다.



<그림 2-2-20> 계절별/연별 동아시아 극한 유의파고 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-5> 계절별 동아시아 극한 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0019	2.98	2.99	0.01
여름	0.0025	2.11	2.16	0.05
가을	0.0003	3.21	3.24	0.03
겨울	0.0065	3.93	4.01	0.08

계절별 구/신평년 극한값 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년 극한값에서 구평년 극한값을 뺀 편차 공간분포도를 산출하여 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철에는 두 평년 기간 모두 파고의 분포 양상은 유사하였다. 가장 높은 극한 유의파고가 분포한 지역은 일본 동해와 쿠릴열도, 캄차카반도 동측 태평양(위도 35°N~50°N, 경도 160°E~180°E)으로 5m 이상인 파고가 분포하였다. 일본 오키나와 제도 주변과 대만 동측, 그리고 필리핀해에서 전반적으로 약 2m 이상인 파고가 분포하였다.

구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 살펴보면 가장 높은 극한 유의파고가 분포한 일본 동측 태평양과 대만 및 필리핀해 동측 지역에서 파고 상승에 따른 분포 양상이 다르게 나타났다. 편차 분포도 산출결과 약 -0.12~-0.04m 감소한 일본 동측 태평양 지역(위도 30°N~40°N, 경도 145°E~180°E)을 제외한 다른 지역에서는 전체적으로 파고가 상승하였다. 상대적으로 높은 상승폭을 나타낸 지역은 오호츠크해, 캄차카반도 주변 지역, 필리핀해 동측 지역으로 약 0.04~0.16m 상승하였다. 우리나라 주변 해역에서도 극한 유의파고가 상승하였으며, 특히 동해에서 약 0.04~0.08m 상승해 서해와 남해보다 높은 상승 폭을 나타내었다.

· 여름철에는 봄철 파고 분포와 다른 양상을 보였다. 두 평년 기간 모두 필리핀 및 대만 동측 지역에서 오키나와 제도, 일본 남해, 캄차카반도 남동쪽에 이르는 광범위한 영역에서 약 2m 이상인 극한 유의파고가 분포하였다. 반면 서해와 동해 그리고 오호츠크해에서는 약 2m 이하의 분포를 나타내어 상대적으로 작은 크기를 나타내었다.

구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 살펴본 결과 신평년에 동아시아 영역에서 전체적으로 극한 유의파고가 상승하였다. 편차 분포도를 산출한 결과 대만 동측 지역과 오키나와 제도 주변 지역 그리고 일본 남해를 포함한 영역(위도 10°N~40°N, 경도 125°E~155°E)에서의 상승 양상

이 뚜렷하게 나타났으며 특히 오키나와 제도 주변 지역에서 약 0.16m 이상 상승해 가장 큰 상승폭을 나타내었다.

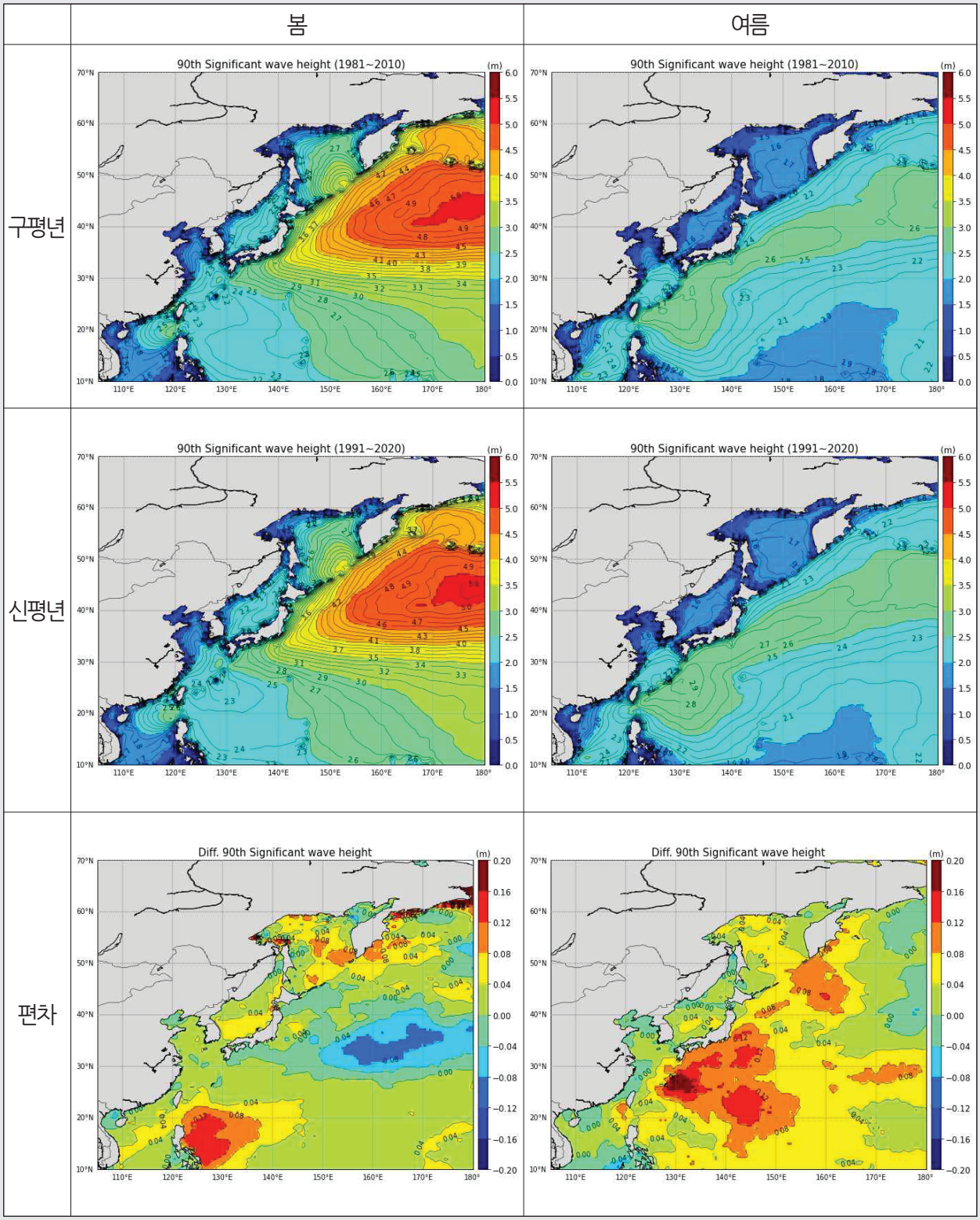
· 가을철에 두 평년 기간 모두 분포 양상은 유사하였다. 가장 높은 극한 유의파고가 분포한 지역은 쿠릴열도, 캄차카반도 동측 태평양 지역(위도 35°N~50°N, 경도 160°E~180°E)으로 약 5m 이상 극한 유의파고가 분포하였다. 오호츠크해에서는 약 2.5~3m인 파고가 분포하였으며, 일본 동해에서는 약 2~3m, 일본 남해와 오키나와 제도 남측 그리고 대만 동측 지역에서는 약 3~4m의 파고 분포를 나타내었다.

구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 살펴보면 가장 높은 극한 유의파고가 분포한 쿠릴열도 동측 태평양 지역을 중심으로 극한 유의파고 상승에 의한 차이가 뚜렷하게 나타났다. 베링해와 오호츠크해, 대만, 필리핀 주변에서도 파고 상승에 의한 분포 차이를 보였다. 편차 분포도를 살펴보면 상대적으로 높은 상승 폭이 나타난 지역은 오호츠크해와 캄차카반도 주변 지역, 동중국해와 일본 남측 지역(위도 10°N~35°N, 경도 120°E~140°E)으로 약 0.04m 이상 상승하였으며 특히 오키나와 제도 동측 지역에서 약 0.16m 이상 상승해 가장 큰 상승폭을 나타내었다.

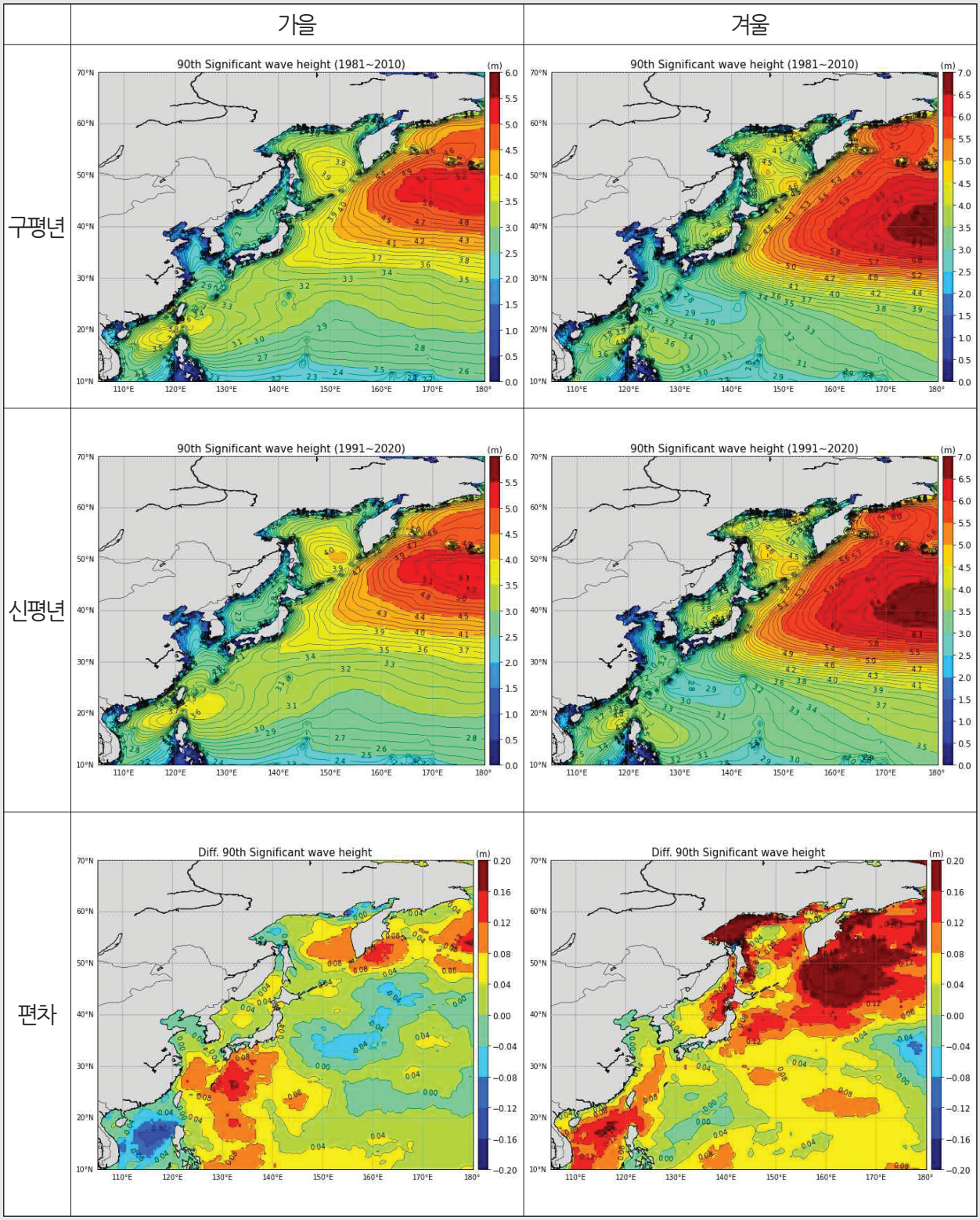
· 겨울철은 봄과 여름, 가을보다 높은 파고 분포가 나타났다. 가장 높은 지역은 일본 동측 태평양 지역(위도 30°N~50°N, 경도 140°E~180°E)으로 구/신평년 모두 약 6m 이상 파고가 분포하며 사계절 중 가장 높은 파고가 분포하였다.

두 평년 간 공간적으로 발생한 차이를 살펴본 결과 지역별 분포 양상이 다르게 나타났다. 신평년 일본 동측 태평양 지역과 일본 남해, 필리핀해 동측 지역에서 극한 유의파고가 상승해 파고 크기 분포 범위가 다른 특징을 보였다. 편차 분포도 산출결과, 동해와 오호츠크해, 쿠릴열도, 캄차카반도 주변 지역과 태평양 지역(위도 30°N~65°N, 경도 130°E~180°E)에 걸친 광범위한 영역에서 약 0.04~0.2m 상승하였다. 봄, 여름, 가을철에 지역적으로 나타난 극한 유의파고의 상승 양상과 비교하면 가장 큰 상승 폭과 범위를 나타내었다. 남/동중국해와 필리핀해 그리고 오키나와 제도 주변 지역에서도 약 0.04~0.2m 상승하였다.

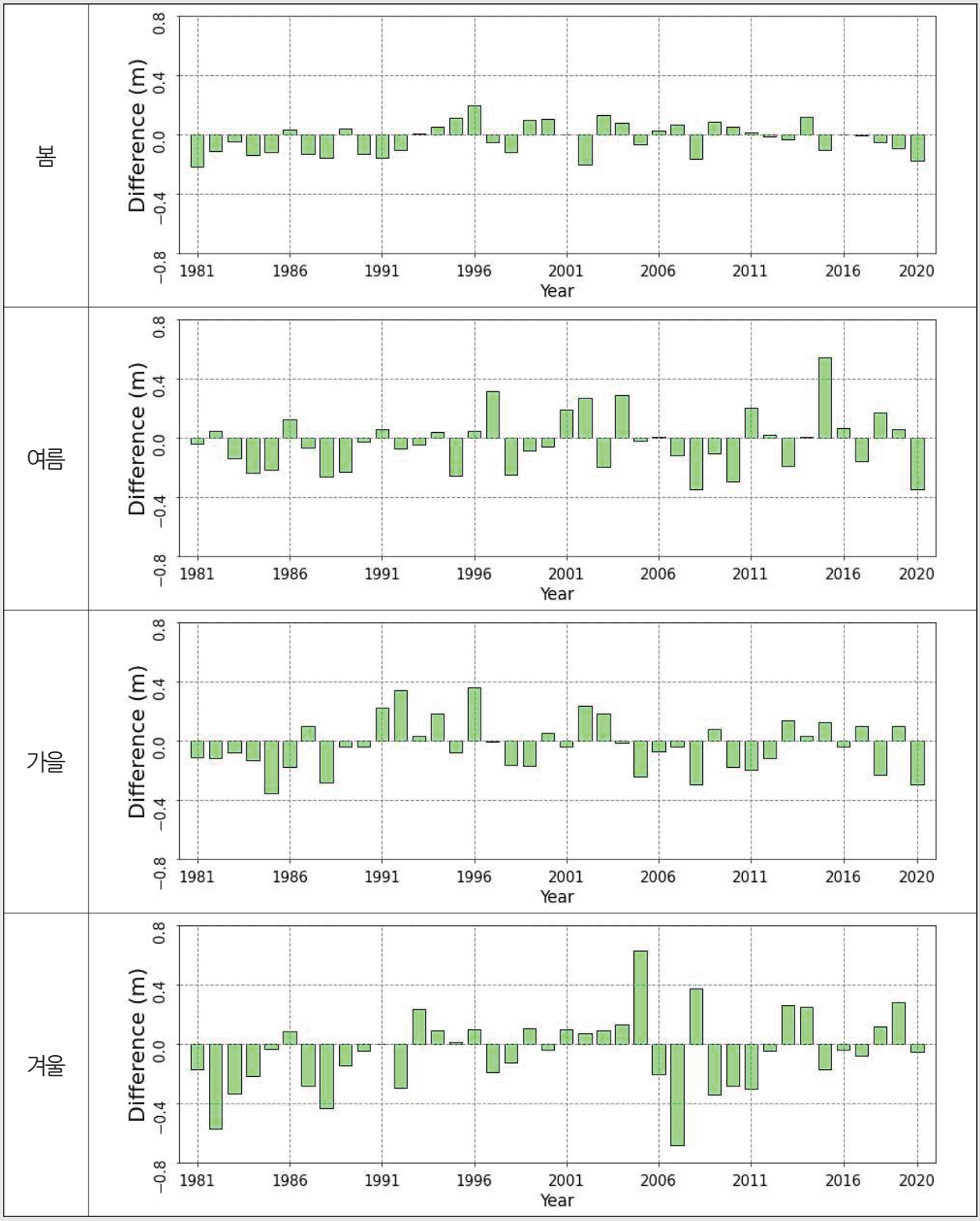
신평년 값 기준 계절별로 연별 편차를 산출한 결과 사계절 모두 1981년 이후 편차가 증가 및 감소하는 경향을 보였다. 사계절 모두 1990년대 이후 연별 평년값 우세로 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하였으며, 특히 사계절 중 여름과 겨울철 편차가 상승하는 양상을 나타내었다.



<그림 2-2-21> 구/신평년 동아시아 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (봄, 여름)



<그림 2-2-22> 구/신평년 동아시아 극한 유의파고 및 편차 공간분포도 (가을, 겨울)

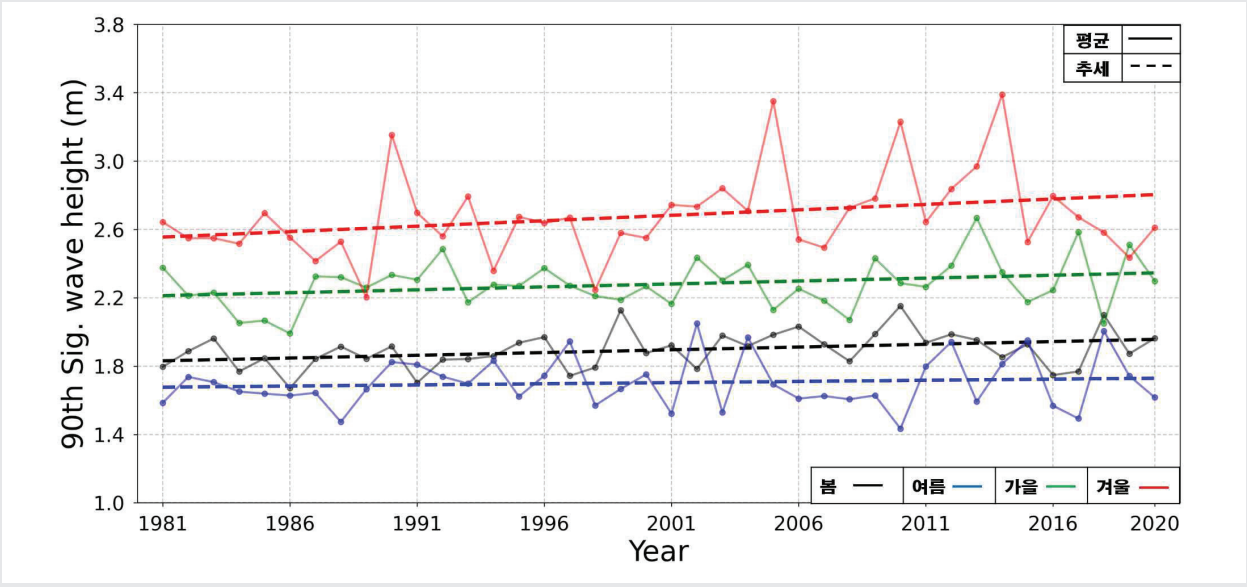


<그림 2-2-23> 계절별/연별 동아시아 극한 유의파고 편차 시계열

(3) 한반도 연근해

한반도 연근해에서의 계절별 극한 유의파고 변동 양상을 이해하기 위해 연별 극한값 시계열 자료를 산출하였다. 시계열 자료의 극한값은 분석 영역에서 각 격자점 별로 산출한 극한값의 평균을 의미한다. 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 극한 유의파고 공간분포도를 산출하여 각 평년 기간의 공간적인 분포 양상을 비교하였으며, 계절별로 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 극한 유의파고 평균값에서 신평년 평균값을 뺀 편차 시계열을 산출하여 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별/연별 유의파고의 극한값과 추세선을 나타내고 있다. 한반도 연근해에서는 사계절 모두 1981년 이후 연별 극한값이 상승 및 하락을 반복하며 상승하는 변동 특성을 나타내었다. 계절별 변화율은 봄 0.0032 m/year, 여름 0.0014 m/year, 가을 0.0034 m/year, 겨울 0.0064 m/year로 겨울에 변화율이 가장 높았으며 여름에 가장 작았다. 계절별 구/신평년 극한값은 겨울철이 가장 컸으며 여름철이 가장 작았다. 편차는 봄 0.02, 여름 0.03, 가을 0.05, 겨울 0.05m가 산출되어 가을과 겨울 편차가 같았다. 계절별 변화율과 구/신평년의 평균값을 비교해 살펴보면 동아시아와 같이 한반도 연근해의 겨울철에 발생하는 극한 유의파고 크기 및 상승 추세가 다른 계절보다 우세한 특징을 나타내었다.



<그림 2-2-24> 계절별/연별 한반도 연근해 유의파고 극한값 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-6> 계절별 한반도 연근해 극한 유의파고 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0032	1.89	1.91	0.02
여름	0.0014	1.69	1.72	0.03
가을	0.0034	2.25	2.30	0.05
겨울	0.0064	2.66	2.71	0.05

계절별 구/신평년 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한, 신평년 극한값에서 구평년 극한값를 뺀 편차 분포도를 산출하여 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철에는 해역별 분포 양상이 다르게 나타났다. 두 평년 기간 모두 공통적으로 나타내는 특징을 살펴보면, 동해 극한 유의파고의 크기는 약 0~2.5m를 나타냈으며 동해 중심부에서 가장 높았다. 제주도 남측 지역에서는 약 0~2.5m, 서해에서는 약 0~2m 크기를 가지고 분포하였다. 가장 높은 극한 유의파고가 분포하는 지역은 일본 남해(위도 28°N~34°N, 경도 130°E~135°E)로 약 2.8m 이상에 달하는 파고가 분포하였다.

구/신평년 공간분포도가 나타내는 차이를 해역별로 비교한 결과 극한 유의파고 상승으로 인한 다른 분포 양상이 나타났다. 동해에서는 극한 유의파고가 전체적으로 상승하였으며 특히 중심부에서 큰 차이를 나타내었다. 남해와 서해에서도 전체적으로 상승한 양상을 보였다. 편차 분포도를 살펴본 결과 동해에서는 전반적으로 약 0~0.06m 상승하며 중심부에서의 상승 폭이 가장 컸다. 서해와 남해에서는 약 0~0.05m 상승하였으며 특히 서해에서의 상승 폭이 남해보다 컸다.

· 여름철에는 남해, 동중국해, 일본 남해에서의 유의파고 변동이 뚜렷하게 나타났다. 두 평년 기간 모두 동해에서는 극한 유의파고가 전반적으로 약 0~1.6m 크기를 가지고 분포하였으며 남해에서 약 0~2.2m, 서해에서는 약 0~1.5m 분포를 나타내었다. 동중국해와 일본 남해에서는 극한 유의파고가 약 0~3m를 나타냈으며 일본 남해에서 가장 높은 파고가 분포하였다.

구/신평년 공간분포도를 해역별로 비교한 결과 신평년에 동해, 남해, 동중국해, 일본 남해에서 극한 유의파고가 상승하여 분포 차이가 나타났다. 편차 분포도를 산출한 결과 동해에서는 전체적으로 약 0~0.05m 상승하였으며, 서해에서는 약 0~0.03m, 남해 제주도 주변 지역에서는 약 0~0.04m 상승하였다. 일본 남해에서는 약 0~0.1m 상승하여 가장 큰 상승 폭을 나타내었다.

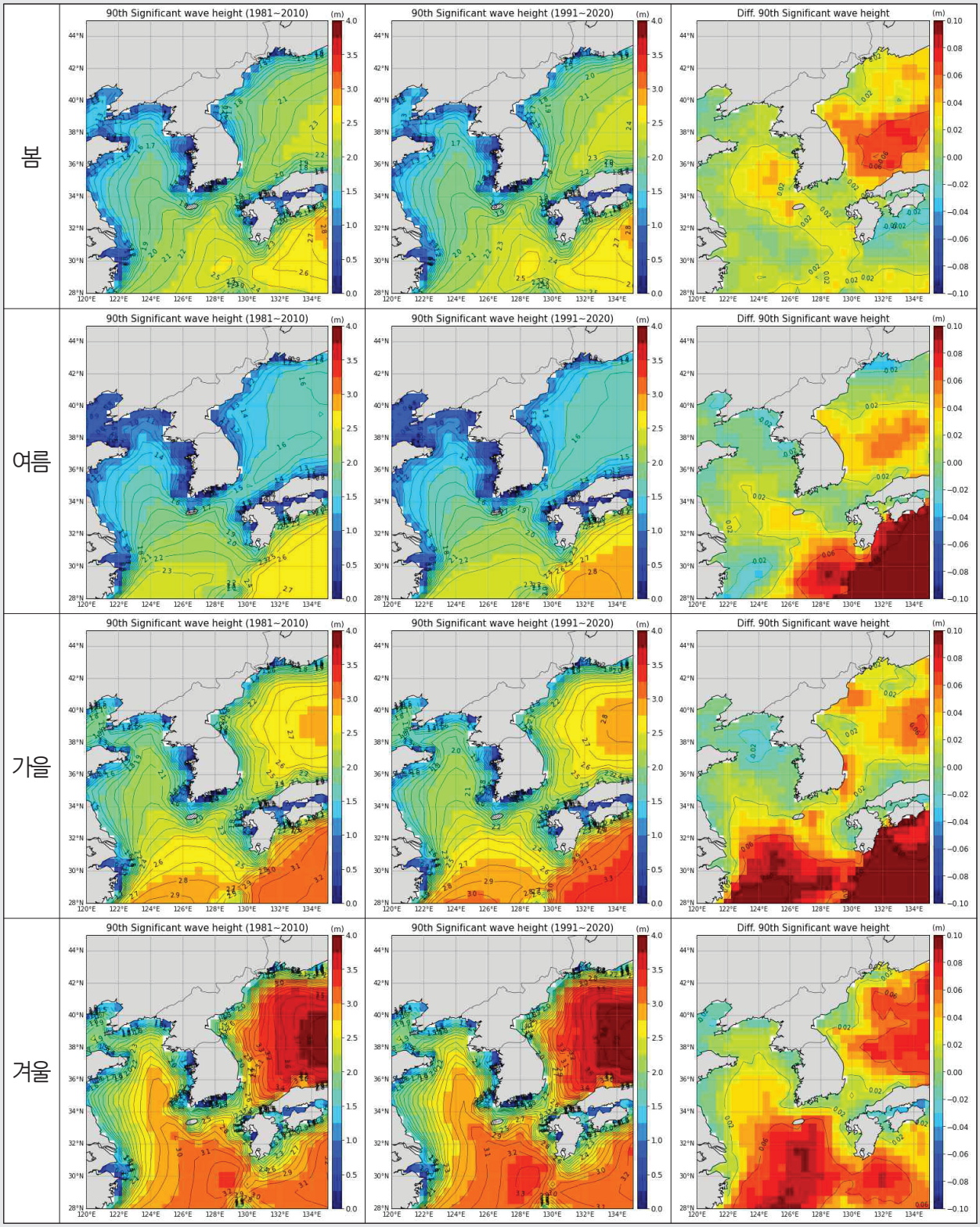
· 가을철에 두 평년 기간 모두 동해와 남해에서는 극한 유의파고가 약 0~3m 크기를 나타냈으며, 서해에서는 0~2.2m 크기를 나타내었다. 동중국해와 일본 남해에서는 극한 유의파고의 크기가 약 2.5~3.5m를 나타냈으며 일본 남해에 분포한 파고 크기가 가장 높았다.

공간분포도를 이용해 해역별로 살펴보면, 신평년에 파고 상승으로 인한 분포 차이가 뚜렷하게 나타났다. 파고 크기별 분포 범위를 비교한 결과 동해에서는 중심부를 기준으로 파고가 상승하였으며 남해에서는 제주도 남측 지역에서 전체적으로 파고가 상승하였다. 동중국해와 일본 남해에서도 전체적으로 파고가 약 0.1m 상승한 양상을 보였다. 동해와 남해, 동중국해와 일본 남해에서 극한 유의파고 상승 변동이 뚜렷하게 나타났지만, 서해에서는 변동이 작게 나타났다. 편차 분포도 산출결과 동해에서 신평년에 약 0~0.06m 상승하였으며 남해에서는 약 0.02~0.06m 상승하였다. 동중국해와 일본 남해에서는 전반적으로 약 0.06~0.1m 상승하여 가장 큰 상승 폭을 나타내었다.

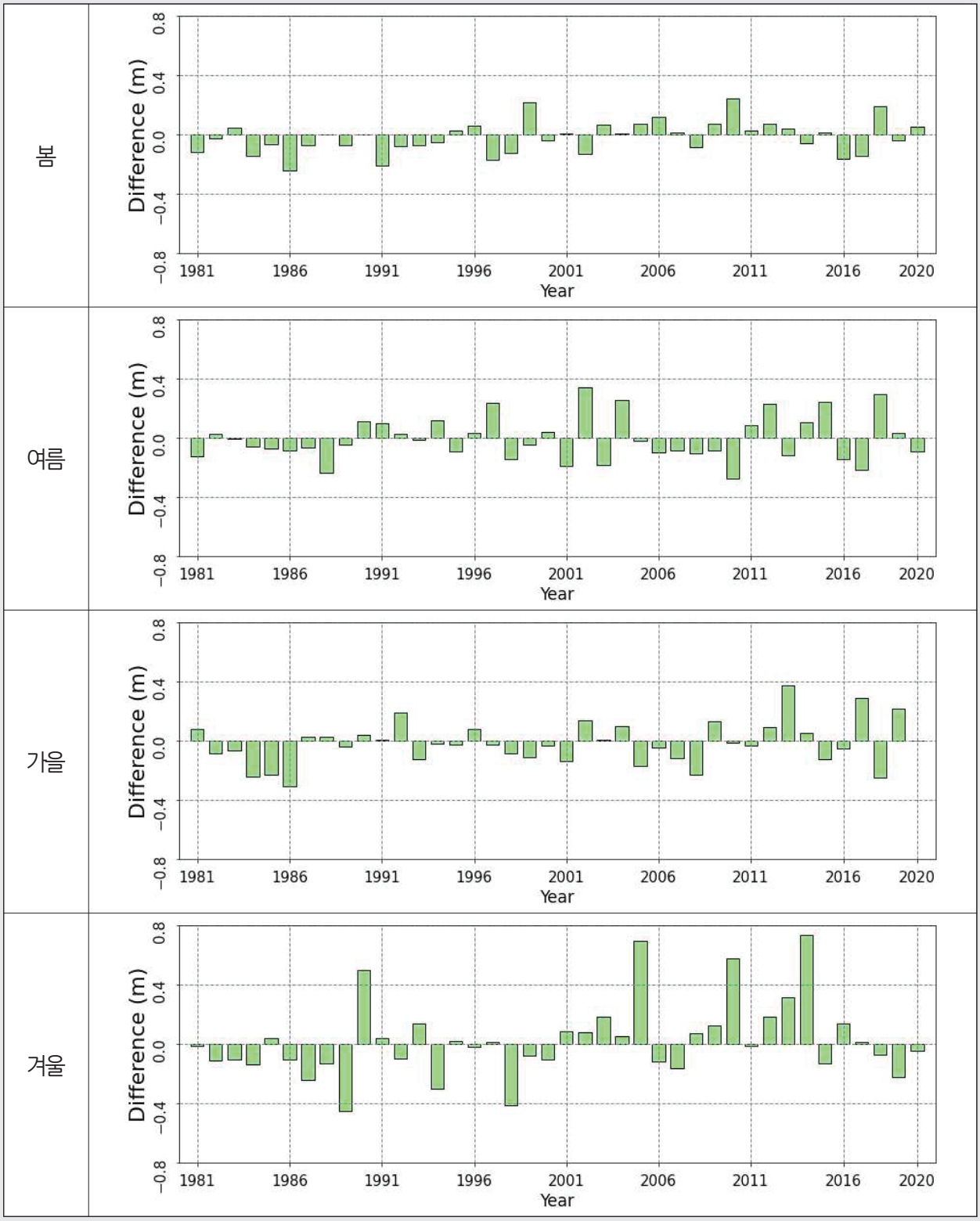
· 겨울철에는 두 평년 기간 모두 동해에서 극한 유의파고 강세가 뚜렷하게 나타났다. 공간분포도 모두 동해에서는 극한 유의파고가 약 0~4m 크기를 가지고 분포하였으며 동해 중심부에서 가장 큰 값을 나타내었다. 남해에서는 약 0~3m 크기를 가지고 분포하였으며 동중국해와 일본 남해에서는 0~3.5m 크기를 나타내 다른 해역보다 높은 유의파고가 분포하였다.

구/신평년 공간분포도를 해역별로 보면 극한 유의파고 상승에 따른 분포 변화가 나타났다. 먼저 가장 높은 극한 유의파고가 분포한 동해에서는 동해 중심부를 기준으로 상승한 양상을 보였다. 남해에서는 제주도 남측 지역에서의 상승 변동이 뚜렷하게 나타났다. 동중국해, 일본 남해에서도 파고가 상승하여 구/신평년 간 파고 크기별 분포 범위가 큰 차이를 보였다. 편차 분포도 산출결과, 동해에서는 공간적으로 약 0~0.08m 상승하였으며, 남해에서는 약 0~0.1m 상승하였다. 서해에서는 0~0.04m 분포를 나타내 다른 해역에 비해 매우 작은 변동성을 보였다. 동중국해와 일본해에서는 약 0~0.1m 상승하였으며 특히 동중국해에서의 상승 폭이 가장 크게 나타났다.

신평년 값 기준으로 계절별/연별 편차 산출결과, 사계절 모두 1990년 이전에는 평년값이 우세하여 대부분 음수가 산출되었으나 1990년 이후에는 0 기준으로 증가 및 감소하는 변동을 보였다. 사계절 모두 1990년대 이후 비주기적으로 연 평균값 우세로 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하는 특징을 보였으며 편차가 상승하는 변동 양상을 나타내었다.



<그림 2-2-25> 계절별 한반도 연근해 구/신평년 극한 유의파고 및 편차 공간분포도



<그림 2-2-26> 계절별/연별 한반도 연근해 극한 유의파고 편차 시계열

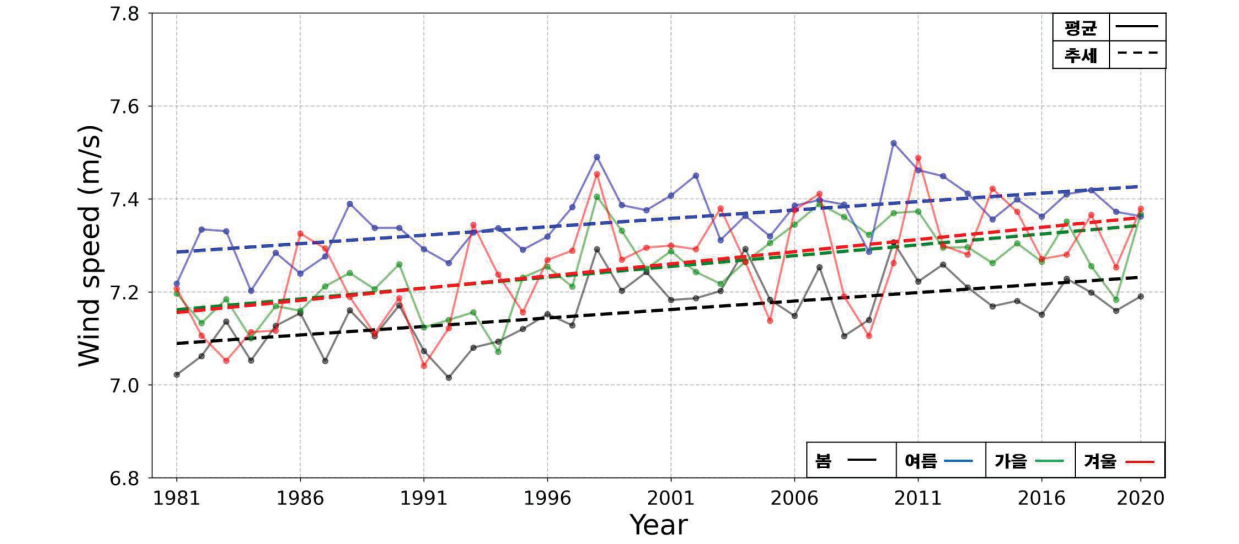
2. 평균/극한 풍속

가. 평균 풍속

(1) 전 지구

전 지구 계절별 풍속의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 또한 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 평균 공간분포도를 산출해 각 평년 기간 풍속의 공간적 분포 양상을 비교하였다. 또한, 계절별로 신평년에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 풍속 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열을 산출해 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 풍속 평균값과 추세선을 나타내고 있다. 전 지구에서는 사계절 모두 1981년 이후 증가 및 감소를 반복하며 장기적으로 증가하는 변동 양상을 나타내었다. 변화율은 봄 0.0037ms^{-1}/year, 여름 0.0036ms^{-1}/year, 가을 0.0046 ms^{-1}/year, 겨울 0.0052ms^{-1}/year로 사계절 모두 변화율이 유사하였으며 겨울철 변화율이 가장 컸다. 구평년 및 신평년 평균값을 산출한 결과 여름철 평년값이 봄, 가을, 겨울보다 크게 산출되었다. 편차는 봄 0.03m/s, 여름 0.04m/s, 가을 0.03m/s, 겨울 0.05m/s가 산출되어 겨울철에 변화율과 편차가 가장 컸다. 계절별 풍속 변화율과 평년값, 편차를 분석한 결과 겨울철 풍속이 다른 계절보다 구평년 대비 신평년에 가장 큰 증가 폭을 나타내었으며 변동 양상 또한 가장 큰 상승 추세를 나타내었다.



<그림 2-2-27> 계절별/연별 전 지구 풍속 평균 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-7> 전 지구 계절별 평균 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0037	7.15	7.18	0.03
여름	0.0036	7.34	7.38	0.04
가을	0.0046	7.24	7.27	0.03
겨울	0.0052	7.24	7.29	0.05

전 지구 영역에서의 계절별 구/신평년 풍속 평균 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년에서 구평년 평균값을 뺀 편차 공간분포도를 산출하여 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철에 두 평년 기간 모두 풍속 크기별 분포 양상은 유사하였다. 전반적으로 남극해(위도 40°S~70°S)에서 약 8~12m/s 크기를 가지고 분포하였으며, 그 중 인도양 남측 남극해(위도 40°S~70°S, 경도 30°E~140°E)에서 가장 큰 풍속이 분포하였다. 북태평양과 북대서양에서는 약 8~10m/s에 달하는 풍속이 분포해 남극해 다음으로 큰 풍속이 분포하였다. 반면 적도 부근 지역(위도10°S~10°N)에서는 풍속의 크기가 약 4~8m/s를 나타내어 풍속 크기가 작았다.

구/신평년 평균 공간분포도를 지역별로 비교해 살펴보면 신평년에 인도양과 남극해에서 지역적으로 풍속이 증가하였다. 편차 분포도를 통해 지역별 변동 폭을 산출한 결과 일본, 필리핀, 인도네시아 주변 지역에서 풍속이 증가하였다. 또한, 인도양과 남아프리카 남측에서 호주 남측에 이르는 영역에서도 풍속이 증가하였으며 동태평양 적도 부근 지역 그리고 북대서양에서도 풍속의 증가 양상이 뚜렷하게 나타났다.

· 여름철에는 두 평년 기간 모두 봄철과는 다른 풍속 크기별 분포 양상을 나타내었다. 지역별 풍속 크기는 남극해와 인도양, 적도 부근 지역, 북태평양, 북대서양 순으로 크게 나타났으며, 가장 큰 풍속이 분포한 지역은 남극해로 봄철과 유사하였지만, 북태평양과 북대서양에서의 풍속 크기는 봄철보다 작았다.

구/신평년 공간분포도를 살펴보면 지역적으로 풍속 크기별 분포 차이가 나타났지만 변동 폭이 매우 작았다. 편차 분포도를 통해 지역별 변동 폭을 살펴본 결과 지역별로 다른 변동 양상이 나타났다. 전 지구에서 상대적으로 풍속이 많이 증가한 지역은 적도 부근 지역과 동태평양 그리고 호주 남측 지역으로 약 0~0.2m/s 상승해 다른 지역보다 많이 증가한 양상을 보였다.

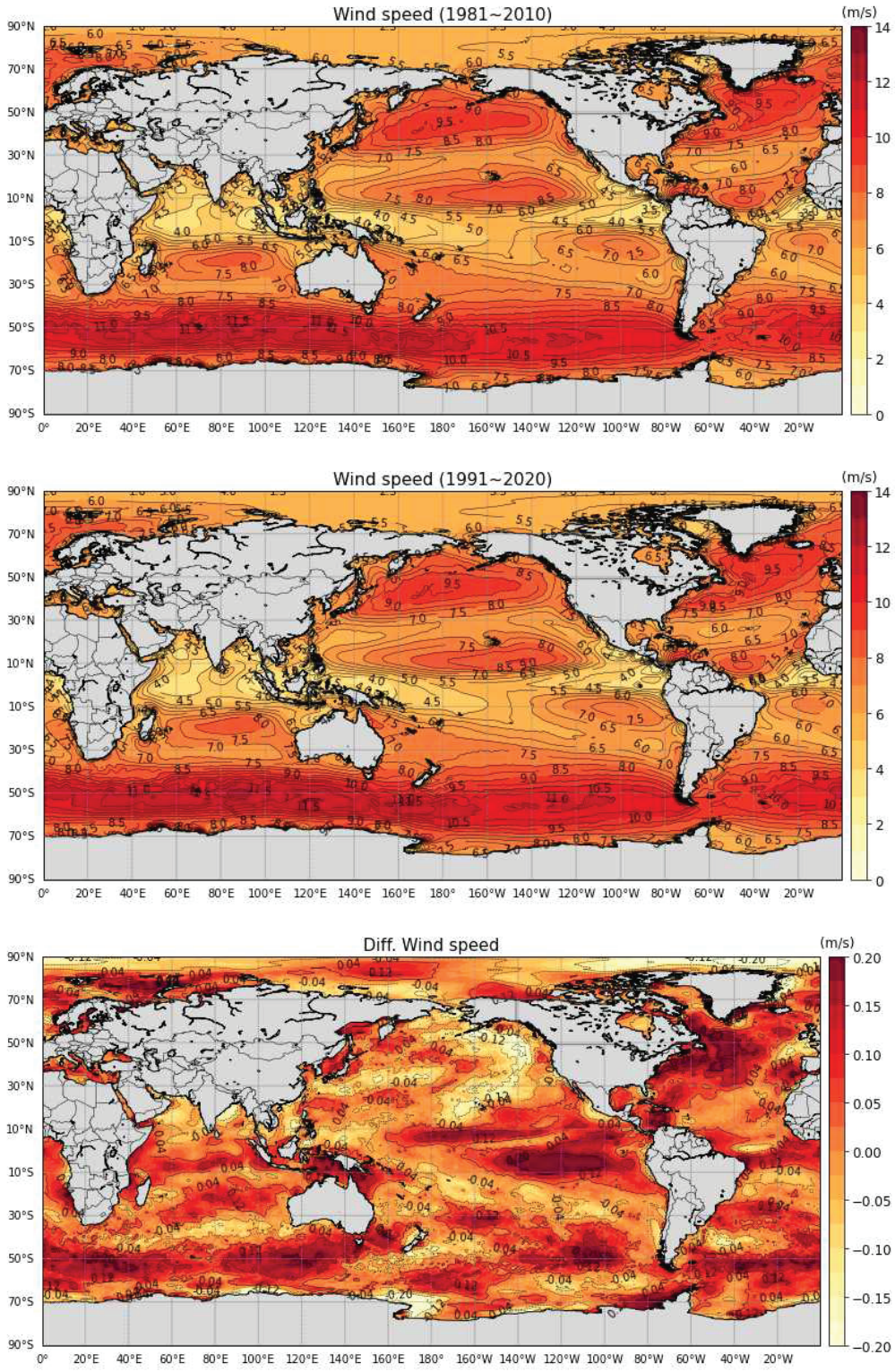
· 가을철은 봄철 평년 공간분포도와 유사한 분포 양상을 나타내었다. 두 평년 기간 모두 남극해가 다른 지역보다 큰 풍속이 분포한 양상을 나타냈고, 특히 인도양 남측 남극해에서 가장 큰 풍속이 분포하였다. 남극해 다음으로 큰 풍속이 분포한 지역은 북태평양과 북대서양으로 약 8~10m/s에 달하는 풍속이 분포하였다. 반면 적도 부근 지역(10°S~10°N)에 위치한 인도와 인도네시아 주변 지역에서는 풍속 크기가 약 4~6m/s를 나타내어 작은 값을 나타내었다.

구/신평년 공간분포도를 산출해 비교한 결과 신평년에 남극해에서 국소적으로 풍속이 증가하는 양상이 나타났지만 지역별로 증가 및 감소 변동을 명확하게 판단할 수는 없었다. 지역별로 편차 분포도를 산출한 결과 북극해와 적도 부근지역, 그리고 인도네시아 주변 지역에서의 편차가 다른 지역보다 큰 약 0.1~0.2m/s를 나타내어 증가 양상이 뚜렷하게 나타났다. 동중국해와 우리나라, 일본 주변 지역에서도 풍속이 증가한 특징을 보였다.

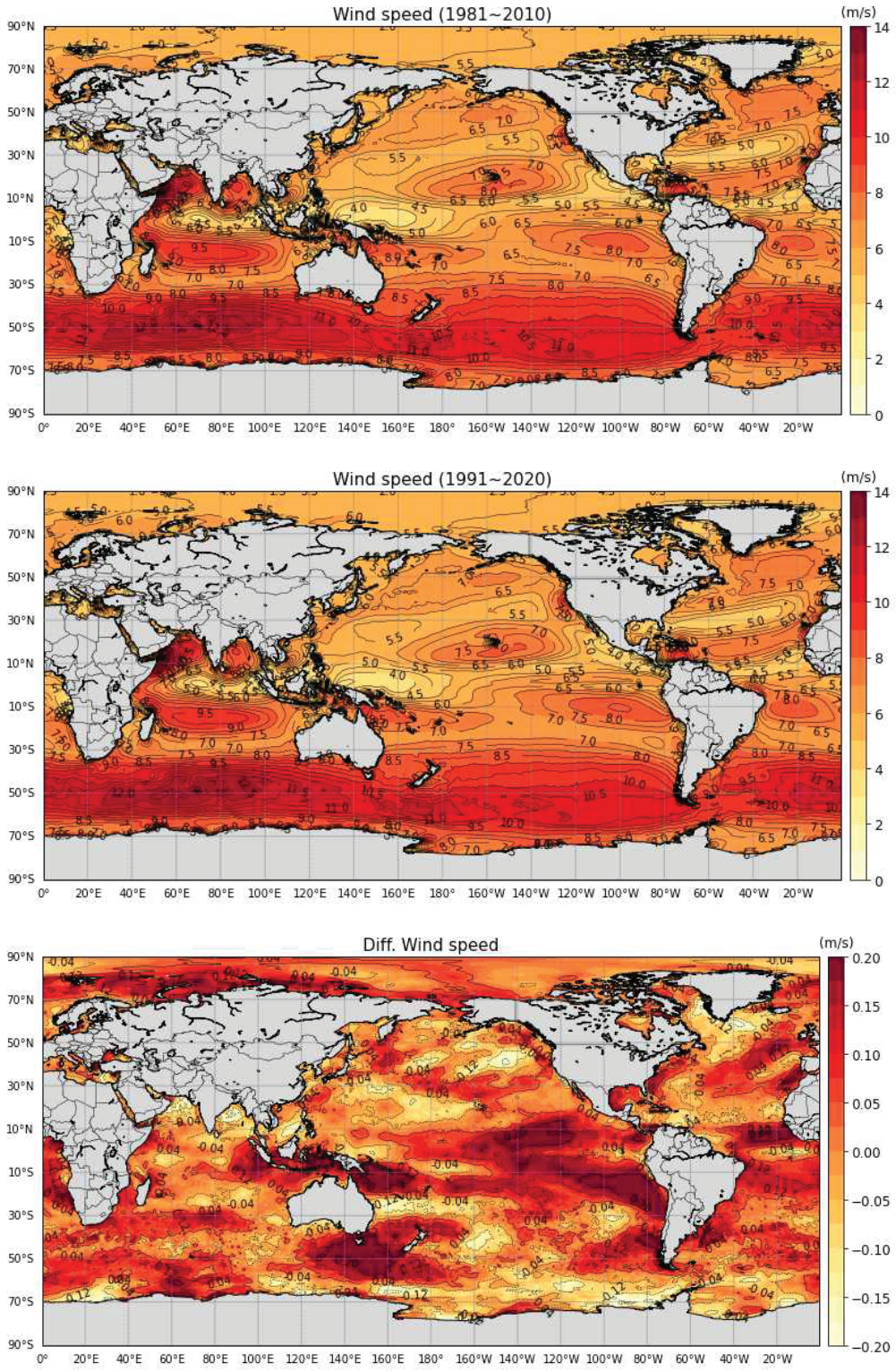
· 겨울철에는 두 평년 기간 모두 북태평양과 북대서양에서 약 8~12m/s에 달하는 풍속이 분포하였고, 남극해에서는 약 8~11m/s 풍속이 분포하는 특징을 보여 남극해에서 가장 큰 풍속이 분포했던 다른 계절과는 다른 양상으로 나타났다. 적도 부근 및 남쪽 지역(위도 10°N~40°S)에서는 상대적으로 작은 풍속 분포를 보였다. 인도양에서는 풍속이 약 4~8m/s, 인도네시아 주변에서는 5m/s 이하 크기를 나타냈으며, 태평양과 대서양에서도 약 4~7m/s 풍속 크기를 가지고 분포하는 특징을 보였다.

편차 분포도를 통해 지역별 변동 폭을 살펴보면 봄, 여름, 가을과 달리 대부분 지역에서 풍속이 증가하였다. 북극해, 북서태평양, 적도 부근, 인도양, 남극해, 대서양 등에서도 증가하였다. 북서태평양에서는 동중국해에서 한반도, 일본, 캄차카반도 지역에 걸친 광범위한 영역에서 다른 지역보다 큰 폭으로 풍속이 증가하였다.

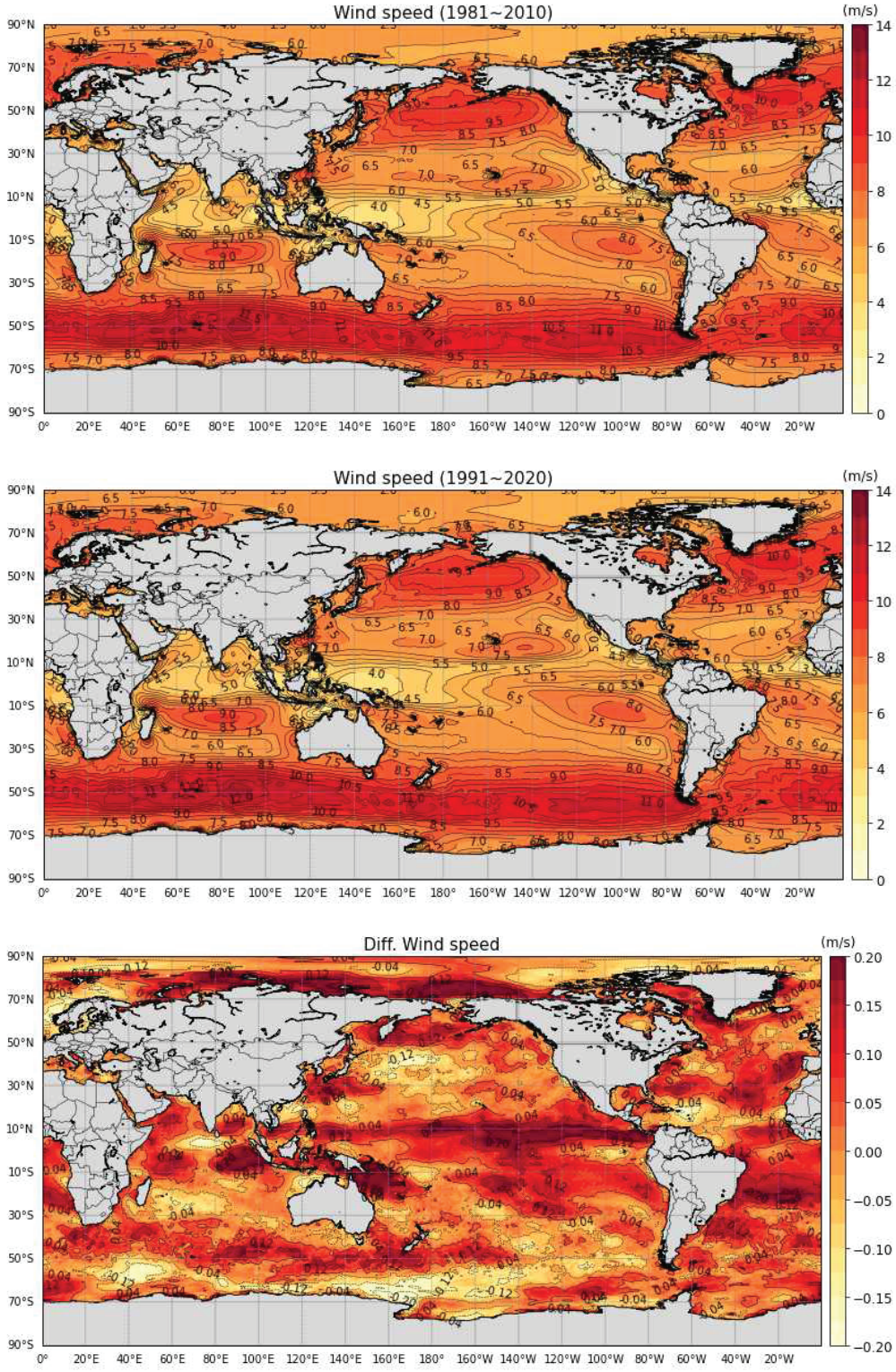
신평년 값 기준 계절별/연별 편차 산출결과 사계절 모두 1995년 이전에는 평년값의 우세하여 음의 편차가 산출되었으나 1995년 이후에는 연 평균값의 상승으로 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하였으며 0 기준으로 증가 및 감소하는 변동성을 보였다. 1995년 이후 대부분 양의 편차로 전환되는 경향이 나타났으며, 전반적으로 상승하는 변동 양상을 나타내었다.



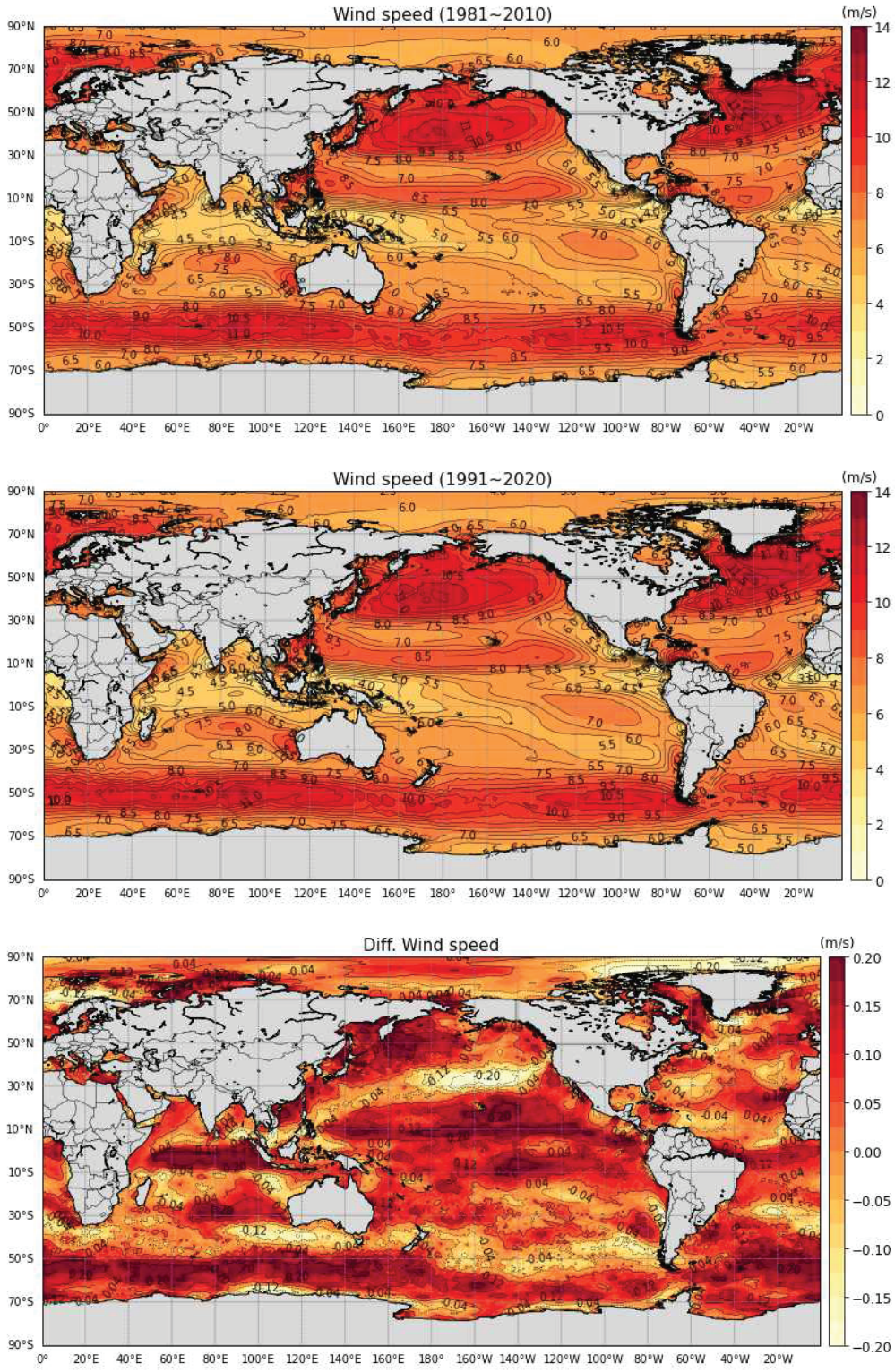
<그림 2-2-28> 구/신평년 전 지구 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (봄)



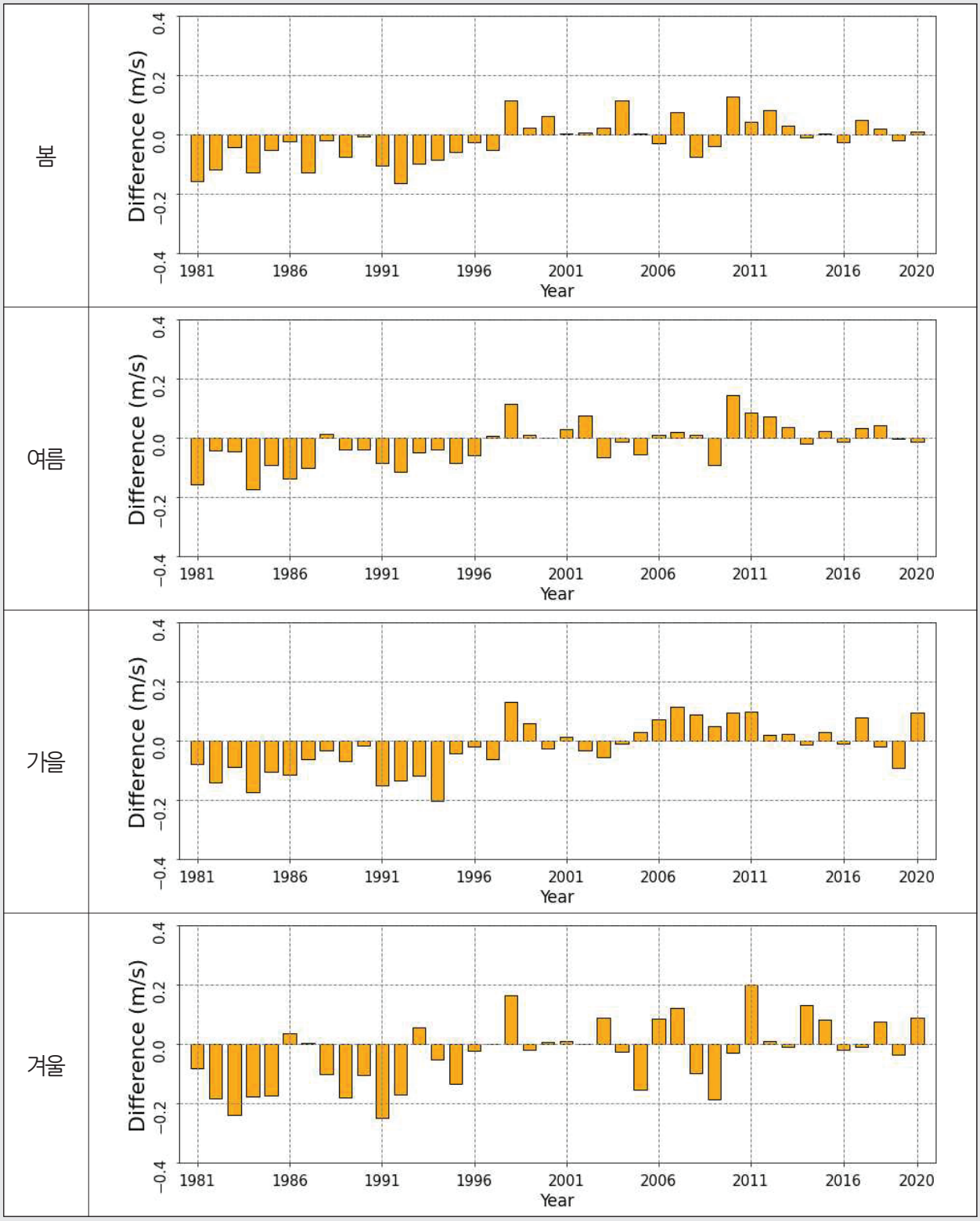
<그림 2-2-29> 구/신평년 전 지구 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (여름)



<그림 2-2-30> 구/신평년 전 지구 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (가을)



<그림 2-2-31> 구/신평년 전 지구 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (겨울)

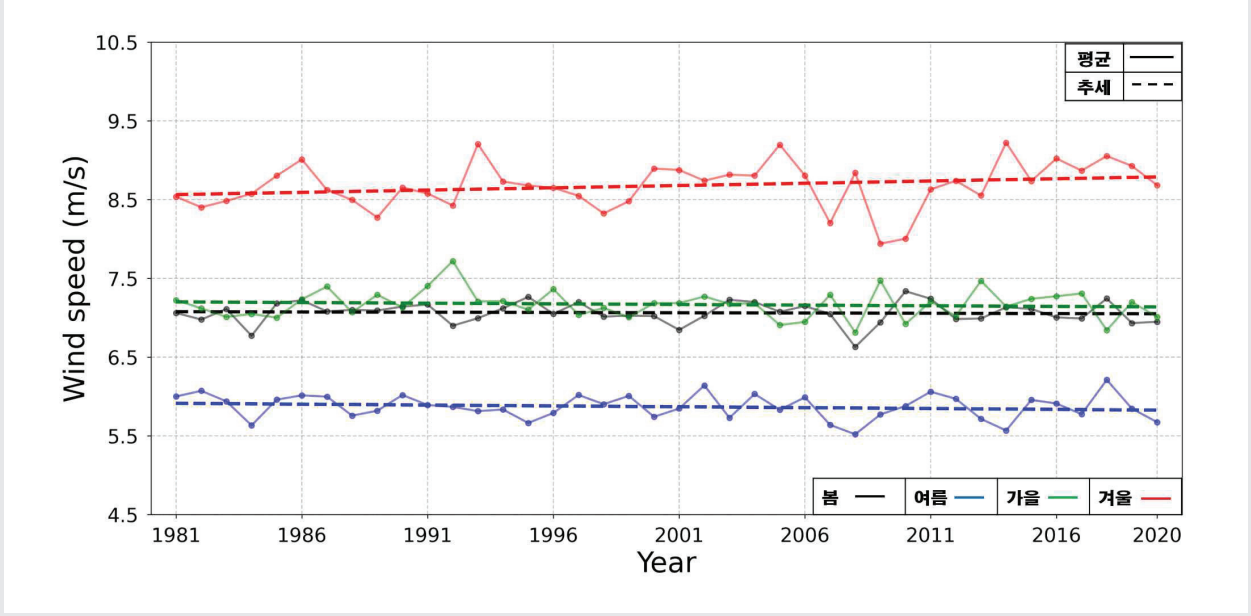


<그림 2-2-32> 계절별/연별 전 지구 평균 풍속 편차 시계열

(2) 동아시아

동아시아 영역에서의 계절별 풍속의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 또한 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년)의 공간분포도를 산출하여 각 평년 기간 풍속의 공간적인 분포 양상을 비교하였다. 또한 계절별로 신평년에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 풍속에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열을 산출해 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별/연별 풍속 평균값과 추세선을 나타낸다. 시계열 그래프를 살펴보면 겨울철 풍속은 증가하는 추세를 보였으나 다른 계절에는 하락하는 변동 특성을 보였다. 계절별 변화율을 산출한 결과 봄 $-0.0007ms^{-1}$/year, 여름 $-0.0022ms^{-1}$/year, 가을 $0.0017ms^{-1}$/year, 겨울 $0.0058ms^{-1}$/year가 산출되어 봄철에는 변동성이 매우 작았으며 겨울에는 가장 큰 변화율을 나타내었다. 구평년 및 신평년 평균값을 산출한 결과 겨울철 평년값이 봄, 여름, 가을보다 크게 산출되었다. 편차는 봄 $-0.01m/s$, 여름 $-0.02m/s$, 가을 $0.01m/s$, 겨울 $0.09m/s$가 산출되어 겨울철 변화율과 편차가 가장 컸다. 계절별 변화율과 평년값, 편차를 분석한 결과 봄, 여름, 가을에는 풍속이 하락하는 추세로 나타났으며 편차도 음수 또는 0에 근사한 값을 나타내었다. 반면 겨울철에는 구/신평년 모두 다른 계절보다 클 뿐만 아니라 구평년 대비 신평년에 증가하였고, 변동 양상 또한 증가 추세를 나타내는 특징을 보였다.



<그림 2-2-33> 계절별/연별 동아시아 풍속 평균 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-8> 계절별 동아시아 평균 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	−0.0007	7.07	7.06	−0.01
여름	−0.0022	5.87	5.85	−0.02
가을	−0.0017	7.17	7.18	0.01
겨울	0.0058	8.62	8.71	0.09

동아시아 영역에서의 계절별 구/신평년 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출해 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철에는 두 평년 기간 모두 풍속의 크기별 분포가 유사하였다. 구/신평년 모두 가장 큰 풍속이 분포하는 지역은 일본 동쪽 태평양(위도 30°N~60°N, 경도 160°E~180°E)으로 약 8~10m/s에 달하는 풍속이 분포하였다. 일본 남해와 오키나와 제도 주변 지역 그리고 대만 주변 지역에서는 약 6~8m/s 풍속이 분포하였다.

구/신평년 기간 공간적으로 발생한 차이를 살펴본 결과 가장 큰 풍속이 분포한 일본 동측 태평양 지역에서 구평년 대비 신평년에 풍속 크기의 변동으로 인해 풍속 크기별 분포 범위에서 차이를 보였다. 편차 분포도를 살펴보면 지역별로 뚜렷한 증가 또는 감소한 변동 특징이 나타났다. 먼저 풍속이 증가한 지역을 살펴보면, 오호츠크해와 캄차카반도 주변 지역 그리고 동해와 일본 주변 지역에서 약 0~0.15m/s 증가해 동아시아에서 가장 큰 증가 폭을 나타내었다. 대만 동쪽 지역과 필리핀해에서도 약 0~0.07m/s 증가하였으나 우리나라와 일본 주변 해역보다 증가 폭이 작았다. 반면 인도차이나 반도와 남중국해, 태평양 일부 지역에서는 감소하였다.

· 여름철에는 두 평년 기간 모두 인도차이나 반도부터 동중국해, 오키나와 제도, 일본 남해를 거쳐 일본 동쪽 태평양 지역에 이르는 광범위한 영역에서 약 6~7m/s인 풍속이 분포하였다.

구/신평년의 공간적으로 발생한 차이를 살펴보면 국소적으로 나타난 풍속 변동으로 인하여 분포 양상이 다르게 나타났으나 뚜렷한 변화는 나타나지 않았다. 편차 분포도를 산출한 결과 지역별로 복잡한 증가 및 감소 변동을 나타내어 풍속이 증가한 지역 위주로 분석하였다. 먼저 대만 주변 및 동쪽 지역 그리고 일본 주변 해역에서 약 0~0.06m/s 증가하였다. 또한 쿠릴열도 주변과 캄차카

반도 남쪽 지역에서는 약 0~0.12m/s 증가해 동아시아 영역에서 가장 큰 증가 폭을 나타내었다. 북서태평양 일부 지역(위도 25°N~40°N, 경도 165°E~180°E)에서도 약 0~0.06m/s 증가하였다.

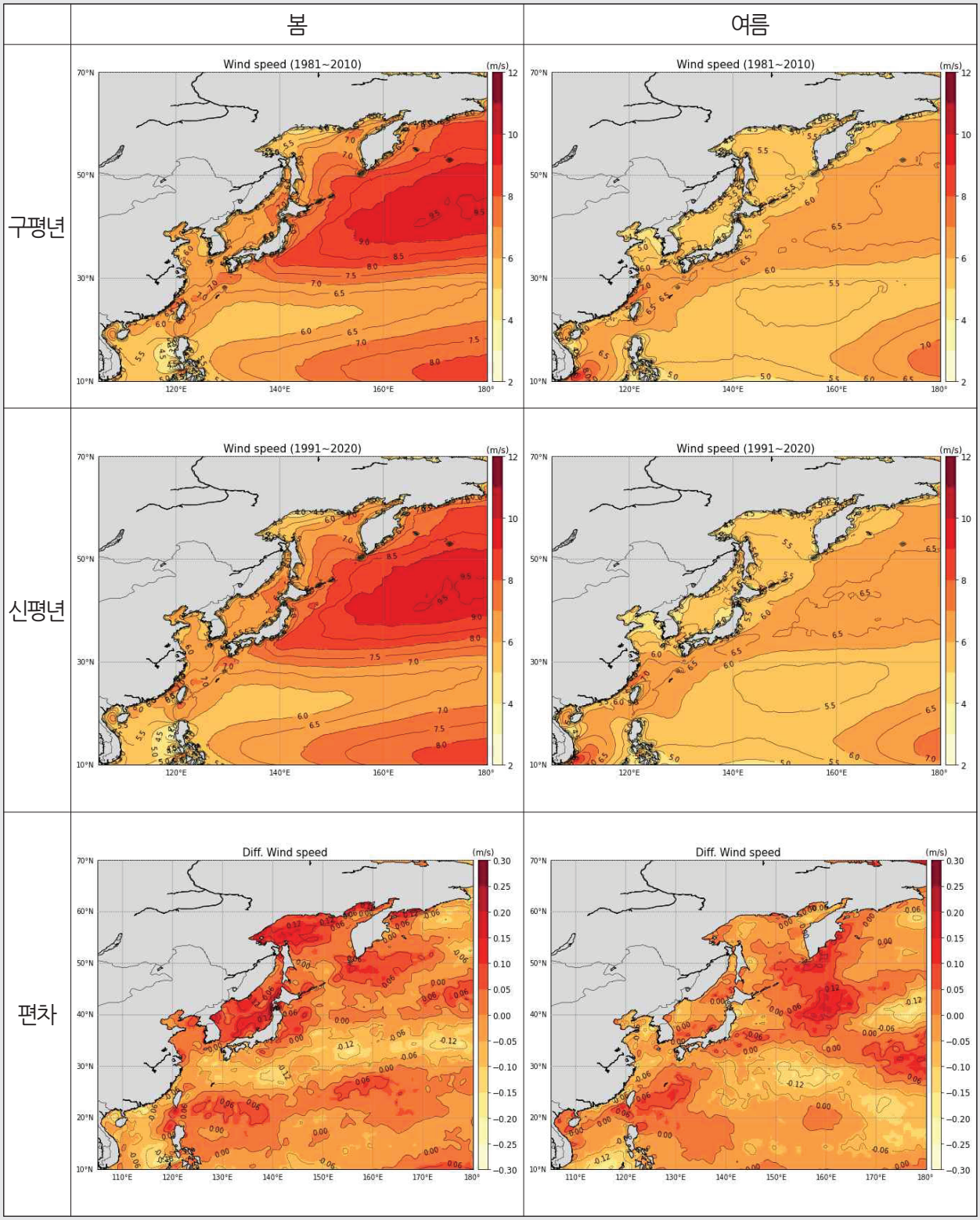
· 가을철에는 두 평년 모두 쿠릴열도와 캄차카반도 동쪽(위도 40°N~60°N, 경도 160°E~180°E)에서 가장 큰 풍속이 분포하였으며 풍속 크기는 약 8~10m/s를 나타내었다. 또한 오호츠크해와 일본 북부 지역에서는 약 7~8.5m/s, 남중국해 및 대만 주변에서는 약 7~9m/s 풍속이 분포하여 지역별로 뚜렷한 분포 양상을 보였다.

구/신평년 평균 공간분포도를 이용해 지역별로 나타난 차이를 살펴본 결과 뚜렷한 차이는 나타나지 않았지만 편차 분포도를 산출한 결과 공간적으로 정량적인 분석이 가능하였다. 먼저 오호츠크해와 캄차카반도 주변에서 신평년에 약 0~0.2m/s 증가하였다. 또한 동중국해, 우리나라 남해, 일본 남해 지역에서도 약 0~0.2m/s 증가하여 다른 지역보다 큰 증가 폭을 나타내었다. 반면 남중국해와 일본 동쪽 북서태평양 지역에서는 약 -0.12~0m/s 감소해 다른 양상을 보였다.

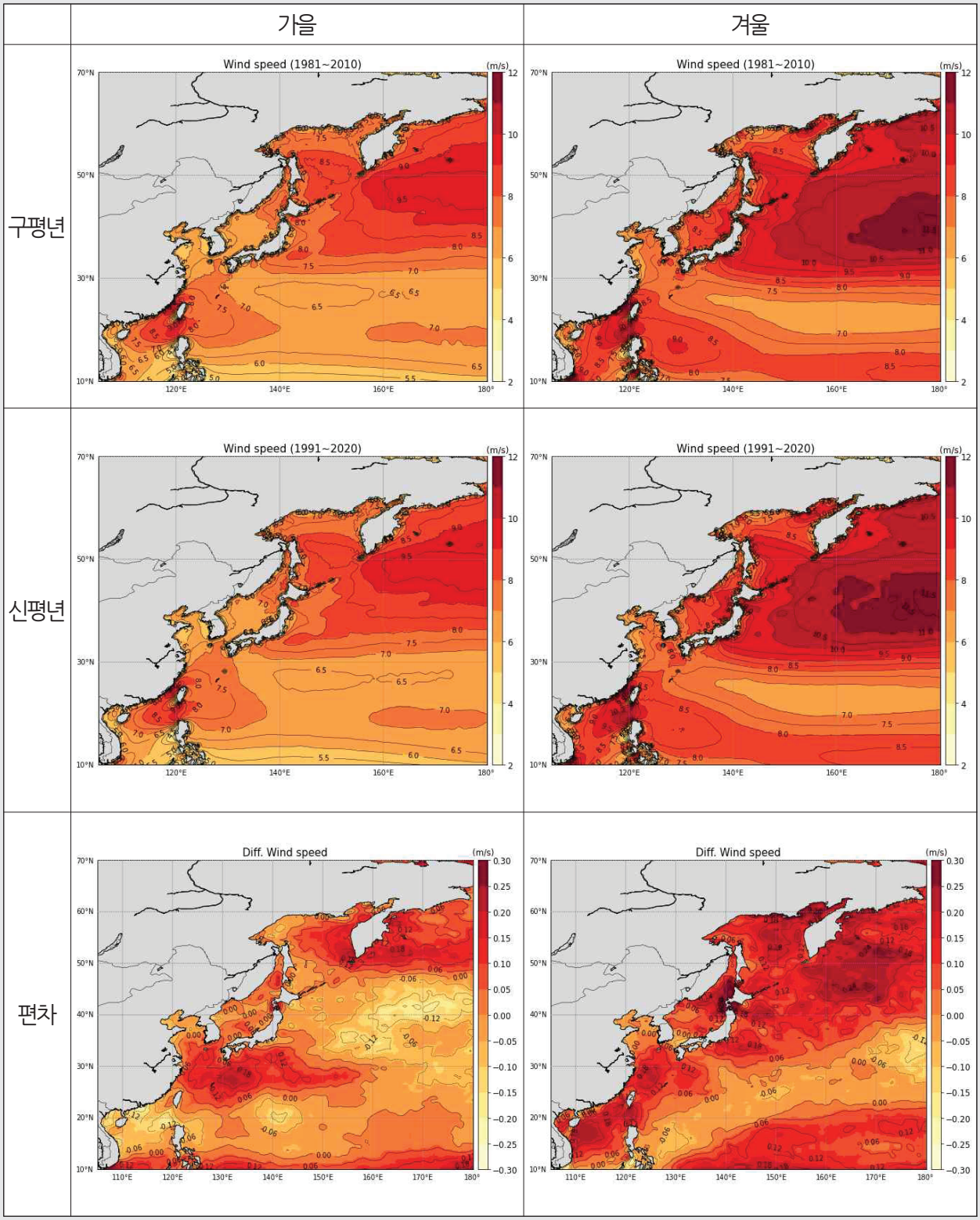
· 겨울철은 다른 계절보다 풍속 크기별 분포 양상이 뚜렷하게 나타났다. 두 평년 기간 모두 일본 동쪽 태평양 지역에서 가장 큰 풍속이 분포하였으며 풍속의 크기는 약 10~12m/s 크기를 나타내었다. 오호츠크해와 우리나라 동해에서도 약 8~10m/s에 달하는 풍속이 분포하였으며 남중국해 및 대만 주변 지역에서도 풍속이 약 8~10m/s를 나타내었다.

구/신평년 평균 공간분포도를 이용해 지역별로 분포 차이를 비교해보면 가장 큰 풍속이 분포했던 일본 동쪽 태평양 지역에서의 풍속 증가가 뚜렷하게 나타났다. 풍속 증가로 풍속 크기별 분포 범위가 증가하였는데, 특히 10m/s 이상의 분포 범위가 크게 증가하였다. 편차 분포도를 살펴본 결과 중국과 우리나라, 일본, 러시아 캄차카반도에 이르는 광범위한 영역에서 풍속이 증가하였다.

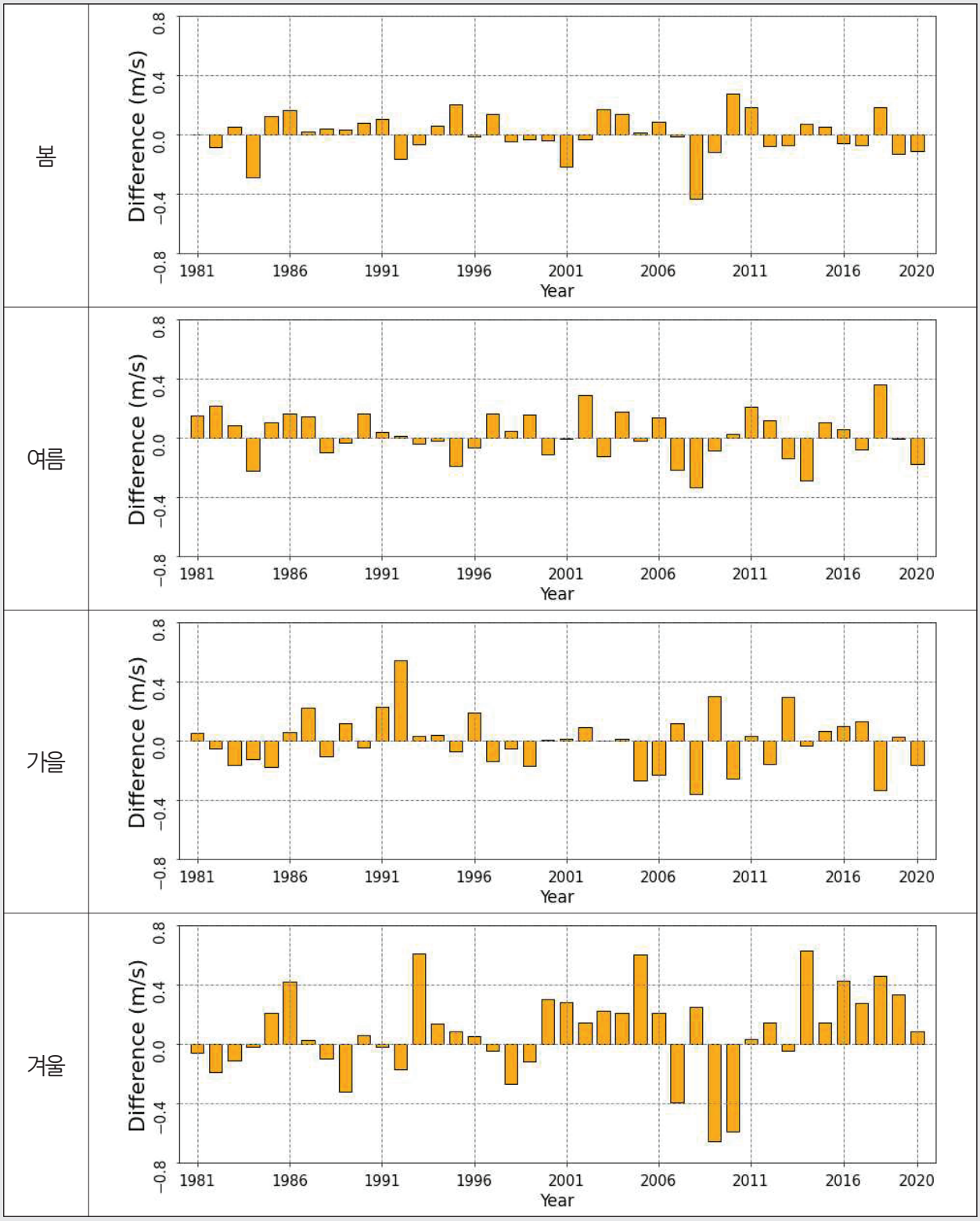
신평년 값 기준 계절별/연별 편차 산출결과 사계절 모두 0을 기준으로 증가 및 감소하는 변동성을 보였다. 봄, 여름, 가을에는 비 주기적으로 음 또는 양의 편차가 산출되어 뚜렷한 변동 특성은 나타내지 않았다. 하지만 겨울에는 장기적으로 시간에 따라 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하였으며 상승하는 양상을 나타내었다.



<그림 2-2-34> 구/신평년 동아시아 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (봄, 여름)



<그림 2-2-35> 구/신평년 동아시아 풍속 평균 및 편차 공간분포도 (가을, 겨울)

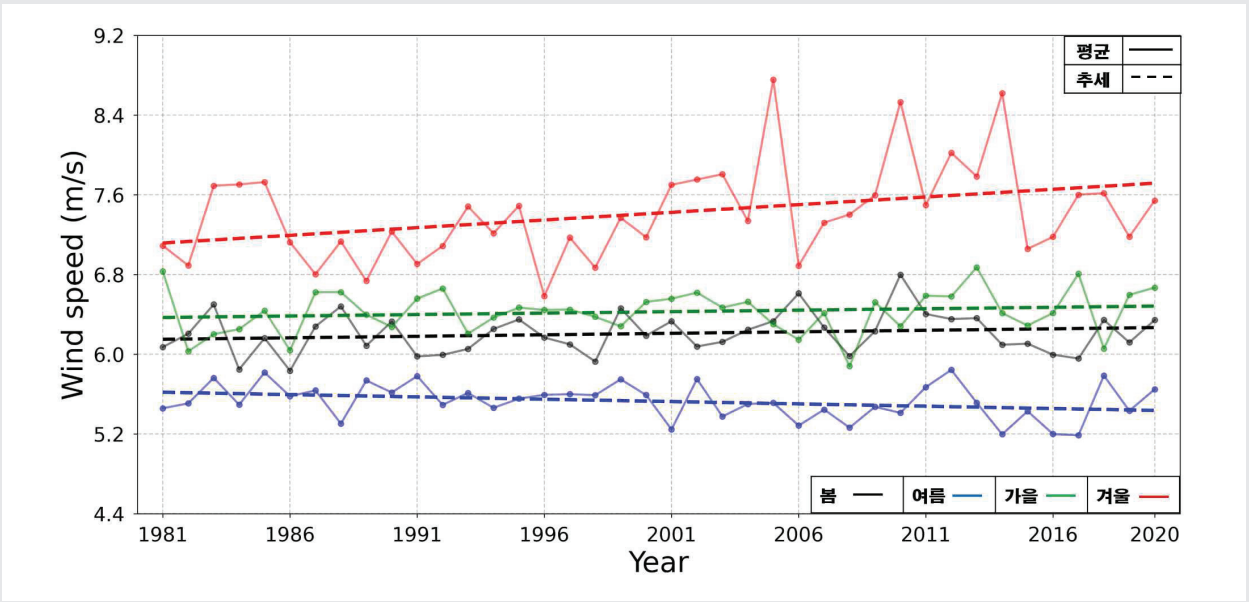


<그림 2-2-36> 계절별/연별 동아시아 평균 풍속 편차 시계열

(3) 한반도 연근해

한반도 연근해에서의 계절별 풍속의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 또한 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출해 각 평년 기간 풍속의 공간적인 분포 양상을 비교하였다. 또한 계절별로 신평년에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도와 연별 풍속 평균값에서 신평년 평균값을 뺀 편차 시계열을 산출해 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 풍속 평균값과 추세선을 나타내고 있다. 시계열 그래프를 살펴보면 겨울철 풍속은 증가하는 추세를 나타냈으나 다른 계절에는 감소하는 변동 특성을 보였다. 변화율을 산출한 결과 봄 0.0030ms^{-1}/year, 여름 −0.0047ms^{-1}/year, 가을 0.0029ms^{-1}/year, 겨울 0.0154ms^{-1}/year가 산출되어 겨울철 변화율이 가장 컸다. 구평년, 신평년 평균값을 산출한 결과 겨울철 평년값(구평년 : 7.35m/s, 신평년 : 7.49m/s)이 봄과 여름, 가을보다 크게 산출되었다. 편차는 봄 0.01m/s, 여름 −0.03m/s, 가을 0.06m/s, 겨울 0.14m/s산출되어 겨울철 변화율과 편차가 가장 컸다. 계절별 변화율과 평년값, 편차를 분석한 결과 겨울철 변화율과 평년값, 편차가 가장 크게 나타났다. 반면 여름철은 구평년 대비 신평년에 -0.03m/s 감소하였으며 변화율도 음수가 산출되어 감소하는 추세를 나타내었다.



<그림 2-2-37> 계절별/연별 한반도 연근해 풍속 평균 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-9> 계절별 한반도 연근해 평균 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0030	6.21	6.22	0.01
여름	−0.0047	5.54	5.51	−0.03
가을	0.0029	6.39	6.45	0.06
겨울	0.0154	7.35	7.49	0.14

한반도 연근해에서의 계절별 구/신평년 풍속 공간분포도를 산출하여 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년에서 구평년 평균값을 뺀 편차 공간분포도를 산출하여 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철에 두 평년 기간 모두 풍속 크기별 분포 특징은 유사하였다. 구/신평년 모두 가장 큰 풍속이 분포한 지역은 일본 남해(위도 29°N~31°N, 경도 128°E~132°E)로 약 7~7.4m/s에 달하는 풍속이 분포하였다. 우리나라 동해와 남해에서는 풍속이 약 6~7m/s 크기를 가지고 분포하였으며 서해에서는 풍속 크기가 약 5~6.2m/s를 나타내었다.

구/신평년 기간 공간적으로 발생한 분포 차이를 살펴보면 해역별로 다른 분포 양상이 나타났다. 동해에서는 동해 중심부와 북쪽 표트르대제만에 이르는 영역에서 풍속이 증가하였다. 남해, 서해에서도 풍속이 증가하였고 남해보다 서해에서 풍속 증가 양상이 뚜렷하게 나타났다. 편차 분포도 산출결과 동해에서의 풍속 증가 양상이 뚜렷하게 나타났다. 서해에서도 전반적으로 풍속이 증가하였으며, 남해에서는 남해안과 제주도 주변에서는 증가한 반면 제주도 남쪽 지역에서는 감소하였다.

· 여름철에는 두 평년 기간 모두 남해에서의 풍속이 동해와 서해보다 큰 값을 나타내었다. 동해와 서해에서는 약 4.5~6m/s인 풍속이 분포한 반면 남해에서는 약 5~7m/s 풍속이 분포하였다. 가장 큰 풍속이 분포한 지역은 동중국해로 풍속 크기가 약 6~7m/s를 나타내었다.

구/신평년 기간 공간적으로 발생한 분포 차이를 살펴보면 신평년에 동해안 북부 연안 부근 지역에서 풍속이 작아진 반면 동해 중심부와 북부 지역에서는 큰 차이가 나타나지 않았다. 서해에는 중앙부에서 풍속이 감소해 동해 일부 지역과 서해 중심부에서 풍속 감소 양상이 나타났다. 남해에서는 큰 변동을 나타내지 않았으나 큰 풍속이 분포했던 동중국해에서는 풍속이 감소한 양상을

보였다. 편차 분포도를 살펴보면 동해안 동쪽 지역에서는 풍속이 증가하였지만 동해 북부 지역과 서해 중앙부에서는 풍속이 감소하였으며, 남해에서는 편차가 0에 근사해 뚜렷한 변동을 보이지 않았다. 동중국해에서는 풍속이 감소한 반면 일본 남해 지역에서는 증가하였다.

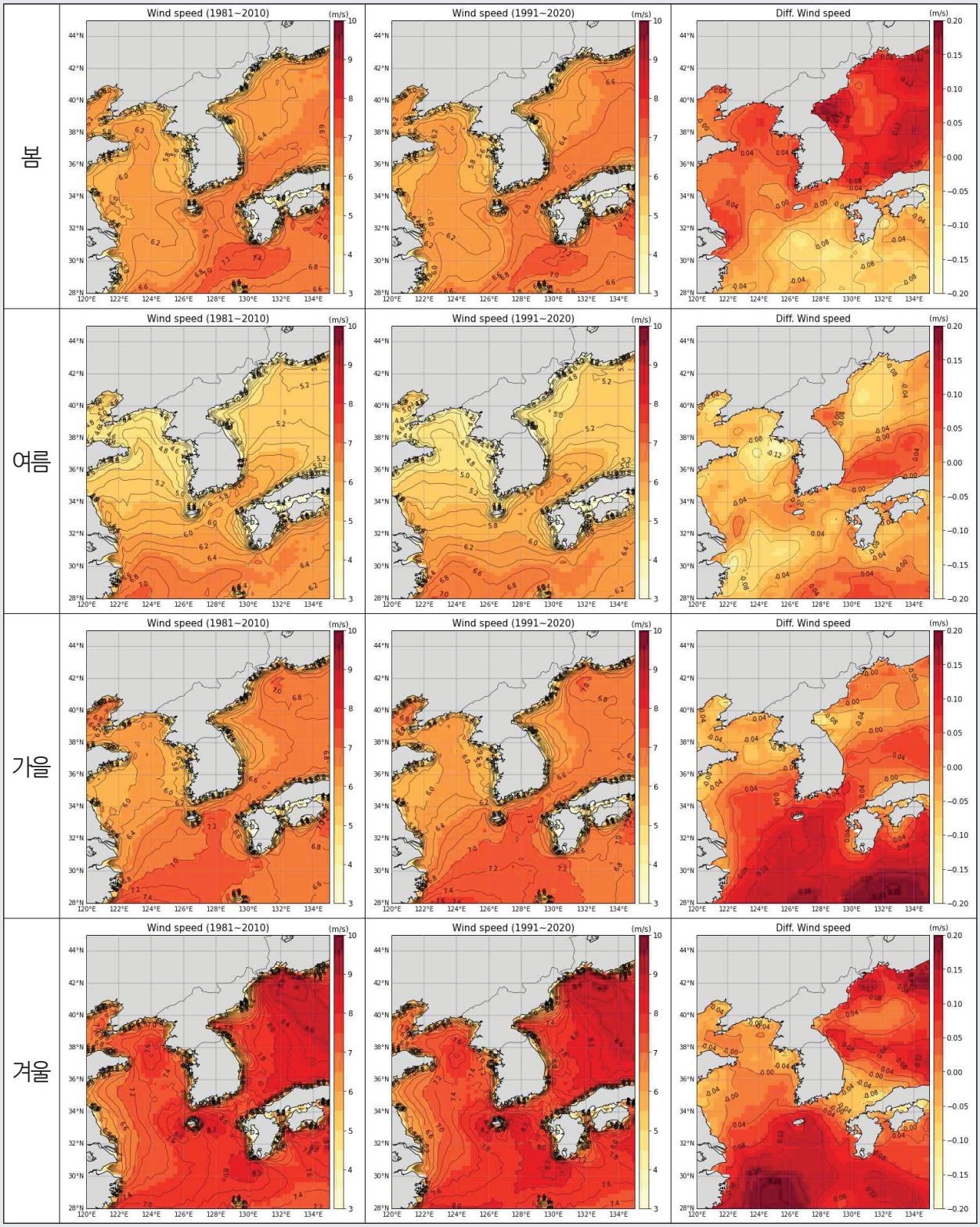
· 가을철에는 두 평년 기간 모두 여름철과 같이 남해에 분포한 풍속의 크기가 동해와 서해보다 큰 양상을 나타내었다. 동해에서는 풍속이 약 6~7m/s 크기를 가지고 분포하였으며 서해에서는 풍속 크기가 약 5.5~6.5m/s를 나타내었다. 남해에서는 약 6.5~7.5m/s의 풍속이 분포해 동해와 서해보다 풍속의 크기가 컸다.

구/신평년 풍속 평균 공간분포도를 살펴보면 동해와 서해에서는 큰 변동이 나타나지 않은 반면 남해에서는 풍속 증가 양상이 뚜렷하게 나타났다. 편차 분포도를 살펴보면, 동해 중심부와 서해 중심부 및 남쪽 지역에서 풍속이 증가하였으며, 남해에서는 전체적으로 풍속이 증가하였다. 제주 남쪽 지역과 동중국해, 일본 남쪽 지역에서 약 0.1m/s 이상 증가하였으며, 특히 일본 남쪽 지역은 약 0.2m/s 이상 증가해 가장 큰 증가 폭을 나타내었다.

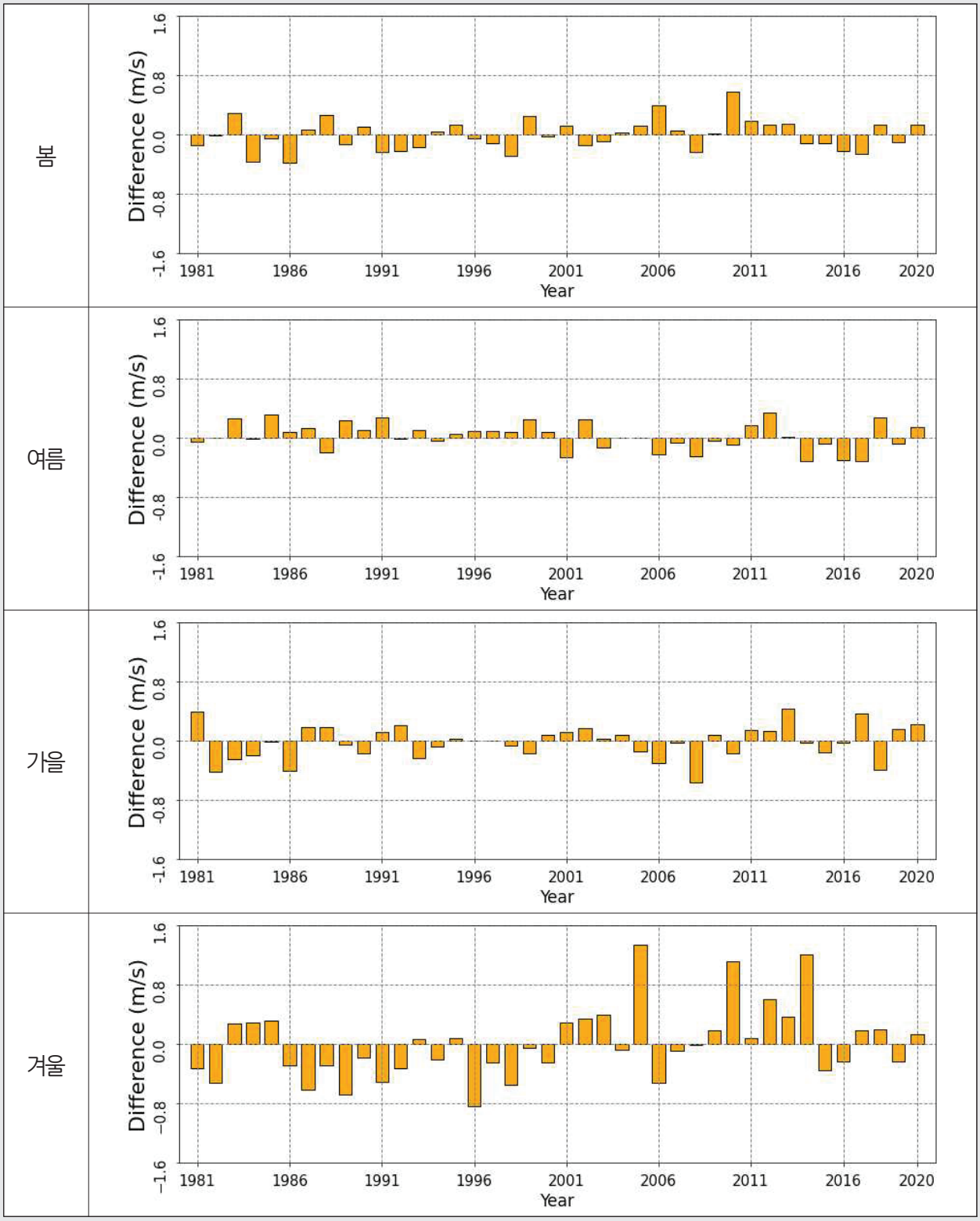
· 겨울철 구/신평년 풍속 평균 공간분포도를 살펴본 결과 두 평년 기간 모두 해역마다 다른 계절에 비해 큰 풍속이 분포한 양상을 보였다. 동해에서는 약 7~9m/s인 풍속이 분포하였으며, 특히 동해 중심부와 북부 지역에서 가장 큰 풍속이 분포하였다. 서해에서는 전반적으로 약 6~8m/s 풍속이 분포하였으며, 남해에서는 약 7~9m/s인 풍속이 분포하였다.

구/신평년 풍속 평균 공간분포도 산출결과 동해와 남해에서 풍속 증가로 인한 차이가 나타났다. 편차 분포도를 살펴보면 동해와 남해, 동중국해, 일본 남해에서 풍속 증가 양상이 뚜렷하게 나타났다. 동해에서는 전체적으로 풍속이 증가하며 증가 폭은 약 0.05~0.12m/s를 나타냈다. 서해는 큰 변동이 나타나지 않은 반면 남해에서는 제주도 남쪽과 동중국해, 일본 남해 지역을 포함하는 광범위한 영역에서 약 0.1m/s 이상 증가하였다. 특히 동중국해 동쪽에서 약 0.2m/s 이상 증가해 가장 큰 증가 폭을 나타내었다.

신평년 값 기준 계절별/연별 편차 산출결과 사계절 모두 0을 기준으로 증가 및 감소하는 변동성을 보였다. 사계절 모두 비주기적으로 양 또는 음의 편차가 산출되어 뚜렷한 추세를 나타내지는 않았지만 40년 동안의 전체적인 양상을 살펴보면, 여름과 가을철에는 뚜렷한 경향이 나타나지 않은 반면 봄과 겨울철에는 편차가 상승하는 양상을 나타내었다.



<그림 2-2-38> 계절별 한반도 연근해 풍속 구/신평년 평균 및 편차 공간분포도



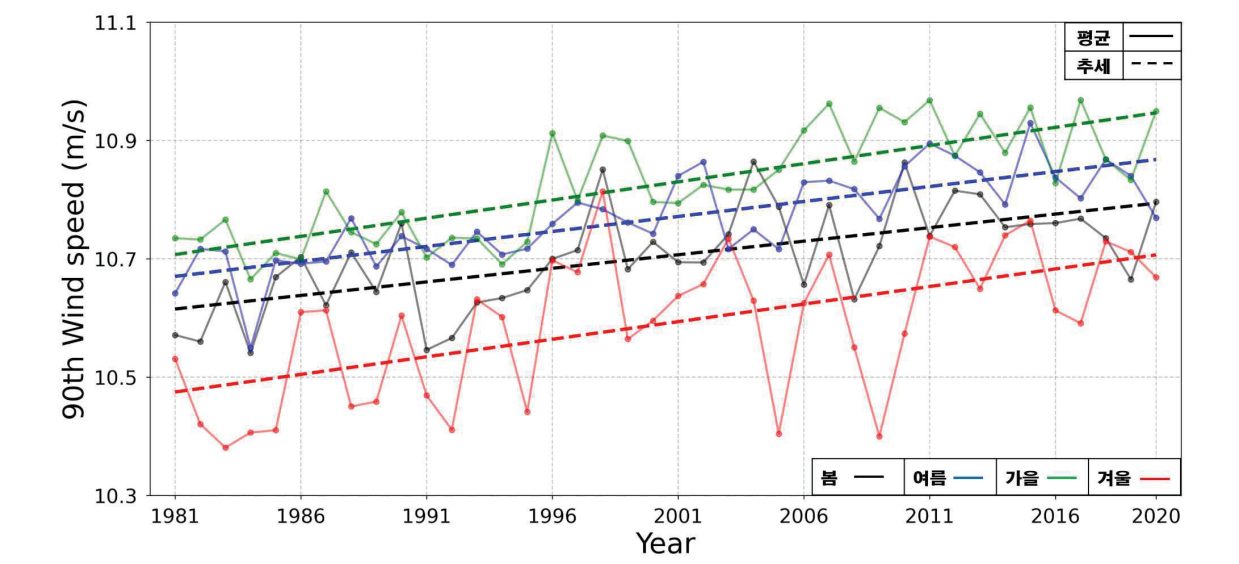
<그림 2-2-39> 계절별/연별 한반도 연근해 평균 풍속 편차 시계열

나. 극한 풍속

(1) 전 지구

전 지구 계절별 극한 풍속의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 극한 풍속의 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 시계열 자료의 극한값은 분석 영역에서 각 격자별로 산출한 극한값의 평균을 의미한다. 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 극한 풍속 공간분포도를 산출해 각 평년 기간의 공간적인 분포 양상을 비교하였다. 또한 계절별 신평년 극한값에서 구평년 극한값을 뺀 편차 분포도와 연별 극한 풍속 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열을 산출해 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 극한 풍속 평균값과 추세선을 나타내고 있다. 전 지구 영역에서는 사계절 모두 1981년 이후 증가 및 감소를 반복하였으며 장기적으로 증가하는 변동 양상을 나타내었다. 변화율은 봄 0.0047ms^{-1}/year, 여름 0.0050ms^{-1}/year, 가을 0.0062ms^{-1}/year, 겨울 0.0059ms^{-1}/year로 사계절 모두 변화율이 유사하였으며 가을에 변화율이 가장 컸다. 구평년 및 신평년 극한값를 산출한 결과 가을철 평년값이 봄, 가을, 겨울보다 크게 산출되었다. 편차는 봄 0.03m/s, 여름 0.05m/s, 가을 0.06m/s, 겨울 0.06m/s 산출되어 겨울철 변화율과 편차가 가장 컸다. 계절별 극한 풍속 변화율과 평년값, 편차를 분석한 결과 사계절 모두 증가 추세를 나타내었으며 구평년 보다 신평년에 극한 풍속의 크기가 큰 특징을 나타내었다.



<그림 2-2-40> 계절별/연별 전 지구 풍속 극한값 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-10> 계절별 전 지구 극한 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0047	10.75	10.78	0.03
여름	0.0050	10.81	10.86	0.05
가을	0.0062	10.86	10.92	0.06
겨울	0.0059	10.78	10.84	0.06

전 지구 영역에서의 계절별 구/신평년 풍속 극한값 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년 극한값에서 구평년 극한값을 뺀 편차 공간분포도를 산출해 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철에는 두 평년 기간 모두 풍속 크기별 분포 양상은 유사하였다. 남극해(위도 40°S~70°S)에서는 풍속이 약 11~16m/s로 분포하였으며, 그중 인도양 남측 남극해(위도 40°S~70°S, 경도 20°E~140°E)에서 가장 큰 풍속이 분포하였다. 북태평양과 북대서양은 약 10~15m/s에 달하는 풍속이 분포해 남극해 다음으로 큰 풍속이 분포하였다. 반면 적도 부근 지역(위도 10°S~10°N)에서는 풍속의 크기가 약 6~9m/s를 나타내어 풍속 크기가 작았다.

구/신평년 극한 풍속 공간분포도를 지역별로 비교해보면 신평년에 인도양과 남극해에서 국소적으로 풍속이 증가하였다. 편차 분포도를 통해 지역별 변동 양상을 살펴보면 북서태평양과 오호츠크해, 캄차반 반도, 필리핀과 인도네시아 주변에서 풍속이 증가하였고, 인도양과 남아프리카 남측 지역에서 호주 남측지역에 이르는 영역에서도 증가하였다. 북대서양에서도 전반적으로 풍속이 증가하였으며, 상대적으로 작은 풍속이 분포했던 동태평양 적도 부근에서도 풍속이 증가하였다.

· 여름철을 살펴보면 두 평년 기간 모두 봄철보다 북반구 중위도에서는 풍속이 감소하고 남반구 중위도 및 남극해에서는 풍속이 증가하는 양상을 보였다. 가장 큰 풍속이 분포하는 지역은 남극해로 약 11~17m/s크기를 가지고 분포하였으며 그중 인도양 남측 남극해가 가장 큰 풍속이 분포하였다. 북태평양에서는 약 9~11m/s, 북대서양에서는 약 9~12m/s, 적도 부근에서는 7~10m/s 풍속이 분포하였다.

구/신평년 기간에 공간적으로 발생한 차이를 살펴보면 북태평양에서는 풍속이 감소하고 남극해

에서는 증가하는 양상을 보였다. 편차 분포도는 지역적으로 복잡하게 나타났으나 전 지구적으로 살펴보면 북극해와 적도, 남반구 중위도 지역에서 극한 풍속이 증가한 양상이 나타났다. 북태평양에서는 캄차카반도 남쪽 지역과 북태평양 중앙부, 동중국해와 일본 남쪽을 제외하고 풍속이 감소하였다. 하지만 인도네시아와 호주 주변 지역에서는 증가하였으며, 적도 부근 지역과 동태평양 남아메리카 지역에서도 풍속이 증가하였다.

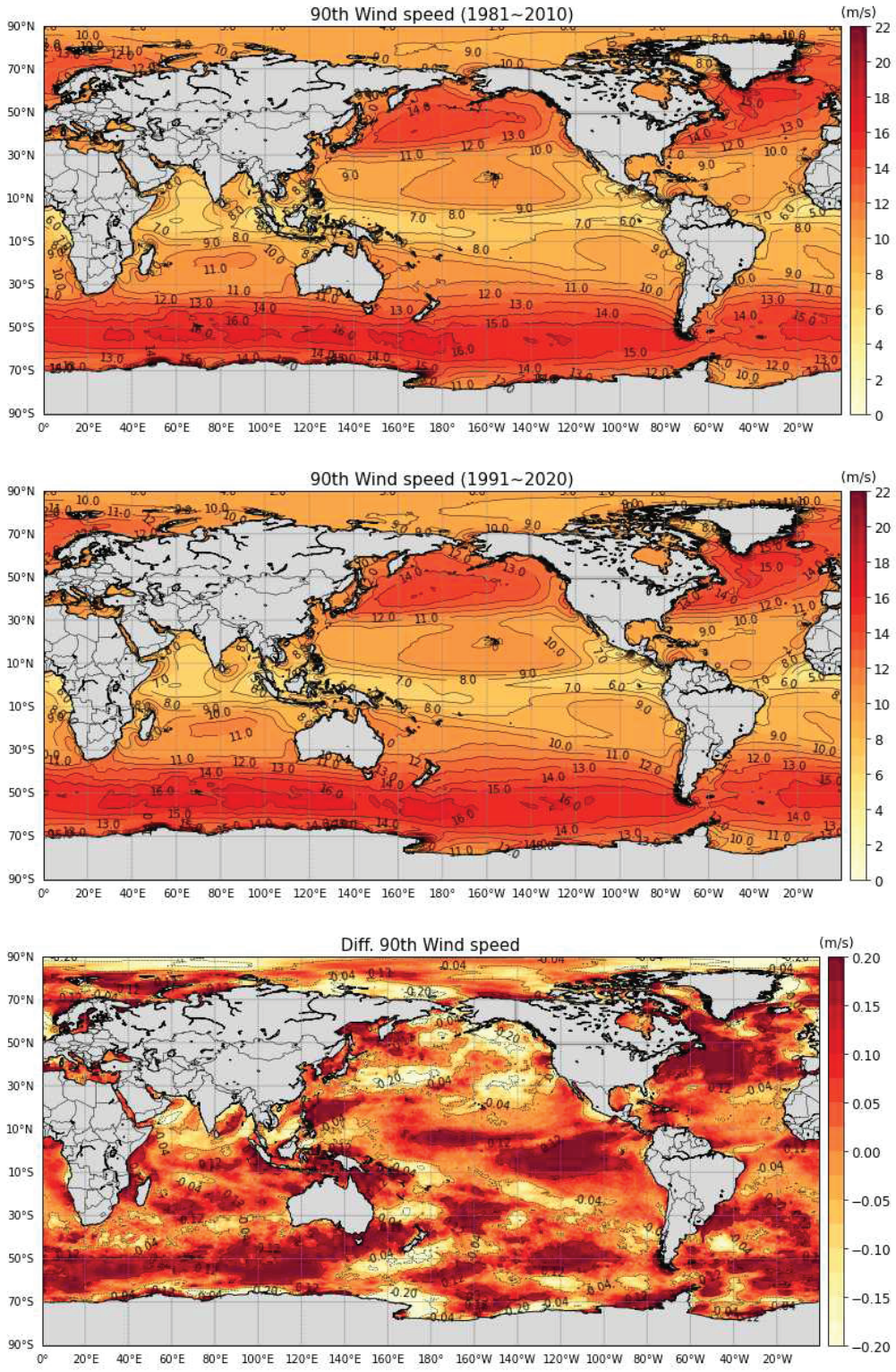
· 가을철에는 두 평년 기간 모두 여름철 풍속이 감소했던 북태평양과 북대서양에서 풍속이 다시 강해지는 특징을 나타내었다. 가장 큰 풍속이 분포한 지역은 남극해로 약 11~16m/s 풍속이 분포하였으며, 북태평양과 북대서양에서는 약 10~15m/s인 풍속이 분포하였다.

구/신평년 극한 풍속 공간분포도를 지역별로 비교해 살펴보면 북태평양과 남극해에서 풍속이 증가한 양상을 나타내었다. 편차 분포도 산출결과 지역별로 뚜렷한 증가 및 감소 양상이 나타났다. 북극해, 베링해, 동중국해와 일본 남쪽에서 풍속이 증가하였으며, 적도 부근(위도 10°S~10°N)에서는 남중국해와 인도차이나 반도 주변 지역을 제외하고 전체적으로 증가하였다. 대서양에서는 전체적으로 증가한 반면 남극해에서는 지역별로 복잡한 증감 변동을 나타내었다.

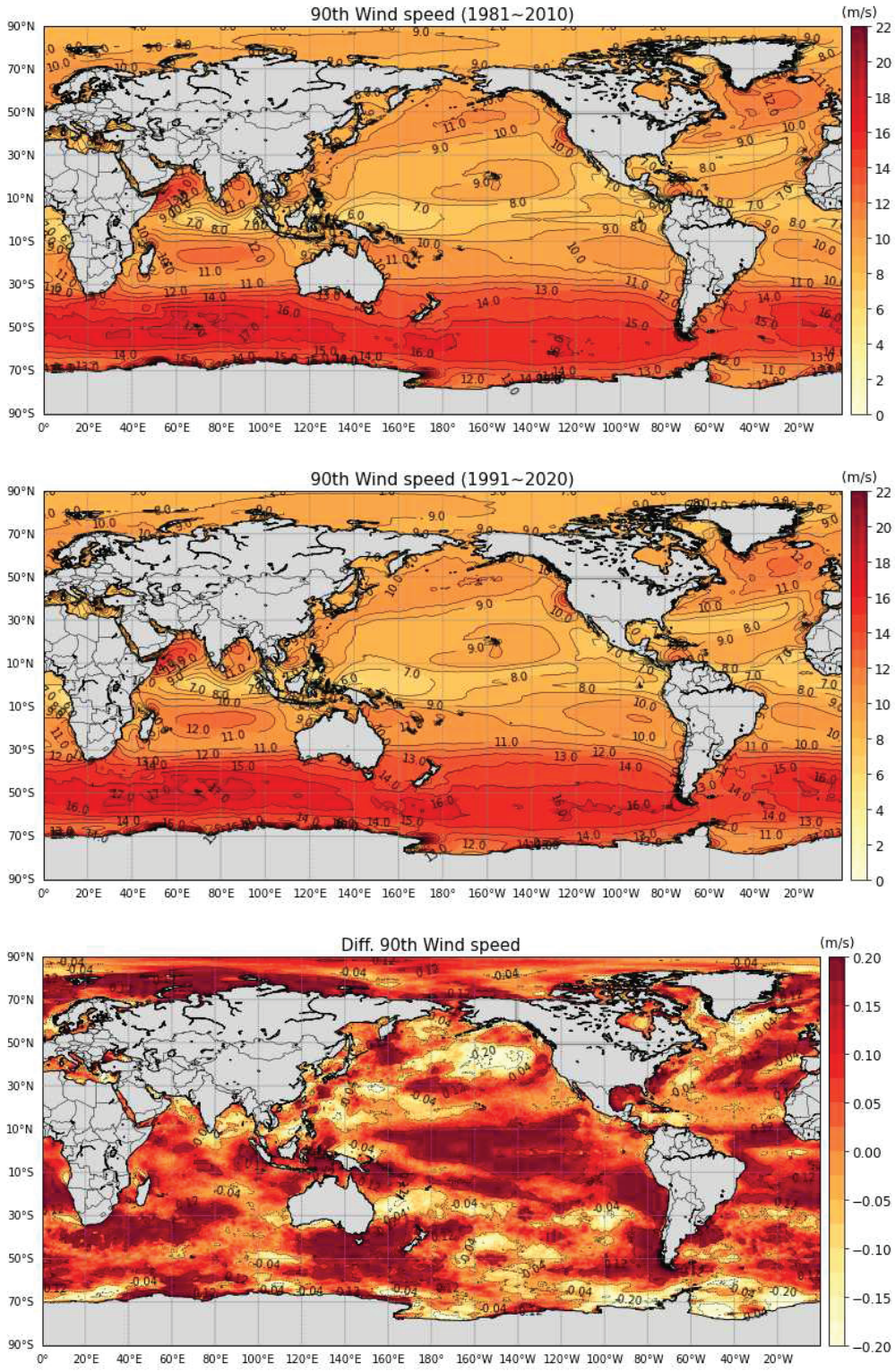
· 겨울철은 남극해에서 가장 큰 풍속이 분포했던 다른 계절과는 다르게 북반구 중위도 북태평양과 북대서양에서 발생한 풍속이 남극해에서 발생한 풍속보다 컸다. 북태평양과 북대서양에서는 약 10~17m/s인 풍속이 분포하였으며 남극해에서는 전반적으로 약 10~15m/s인 풍속이 분포해 풍속 크기에서 차이를 보였다.

구/신평년 극한 풍속 공간분포도를 지역별로 비교해 살펴보면 국소적으로 변동 차이를 나타내었지만 전반적인 변화 양상은 보이지 않았다. 하지만 편차 분포도를 산출한 결과 지역별로 풍속의 증가 및 감소 양상이 뚜렷하게 나타났다. 동태평양과 적도 부근 지역에서는 전체적으로 풍속이 증가하였고 인도양과 호주 주변 지역 그리고 남극해에서도 전반적으로 풍속이 증가하였다. 다른 계절에 비해 동태평양과 적도 부근 지역, 그리고 남극해 대부분 지역에서 풍속이 증가한 특징을 나타내었다.

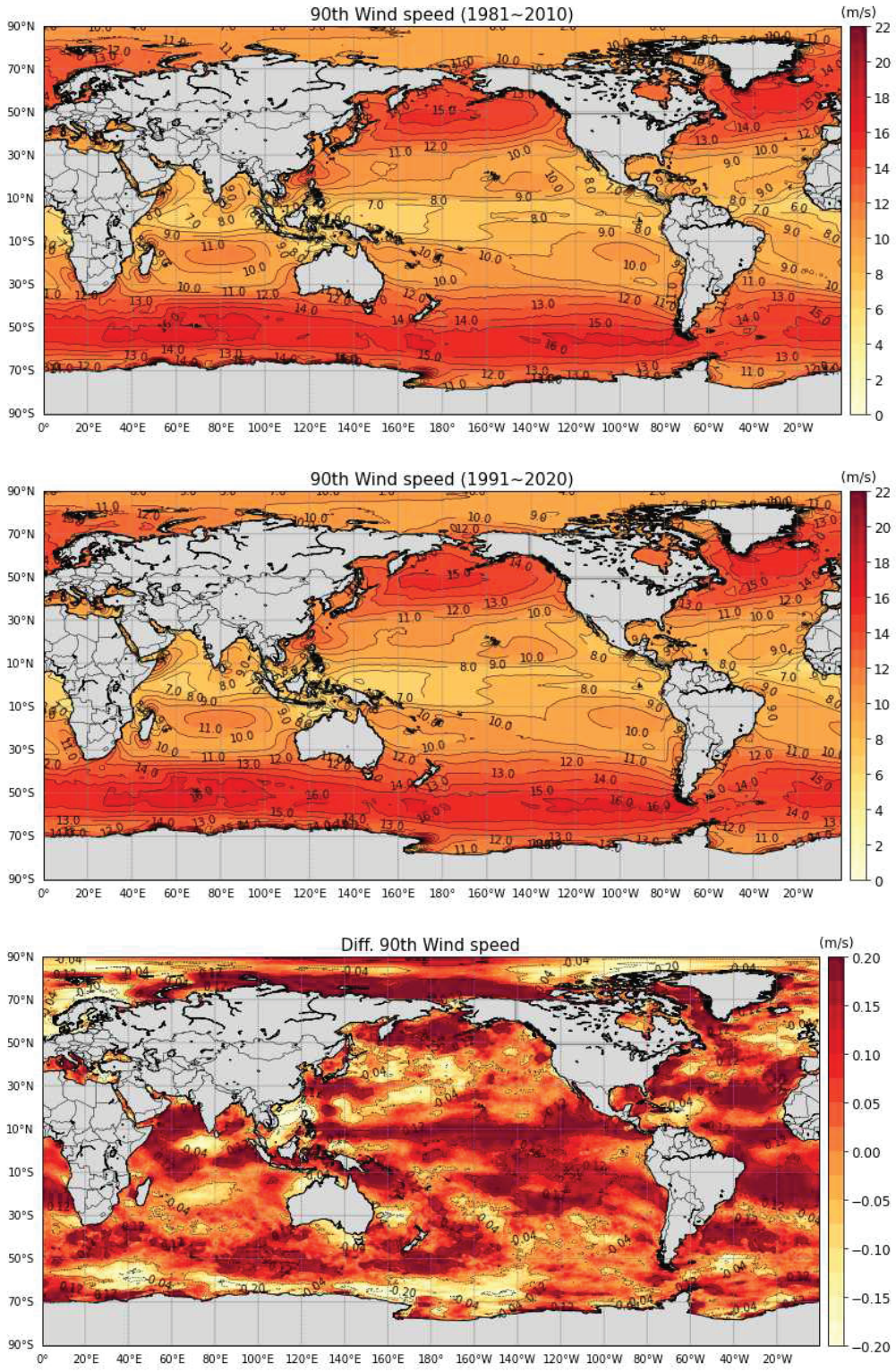
신평년 값 기준 계절별/연별 편차 산출결과 사계절 모두 1981년부터 1997년까지는 연별 극한값이 커 음수가 산출되었다. 이후에는 편차가 감소하기 시작해 비주기적으로 양수가 산출되었으며, 여름, 가을, 겨울철의 경우 장기적으로 편차가 상승하는 경향을 나타내었다.



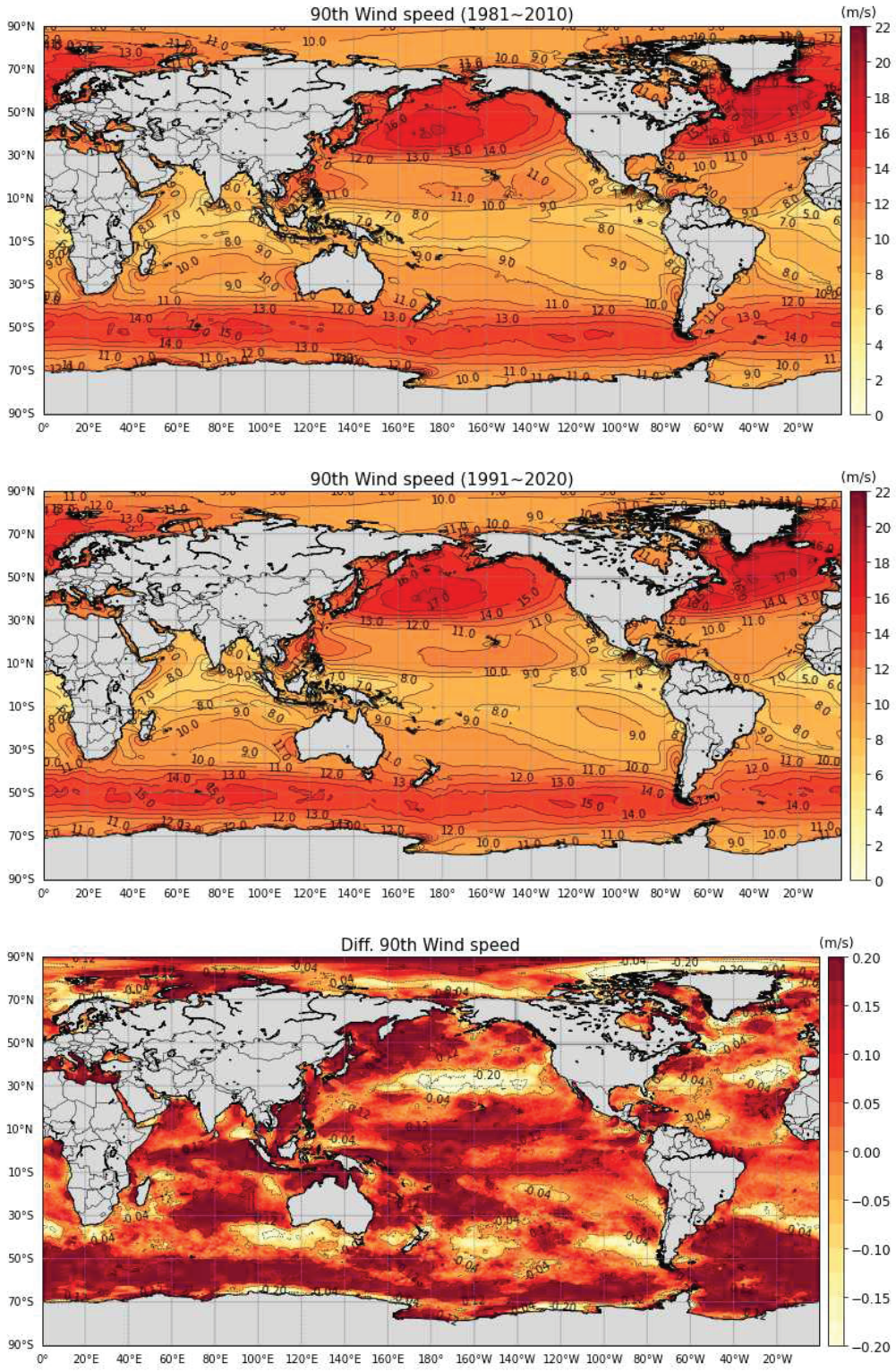
<그림 2-2-41> 구/신평년 전 지구 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (봄)



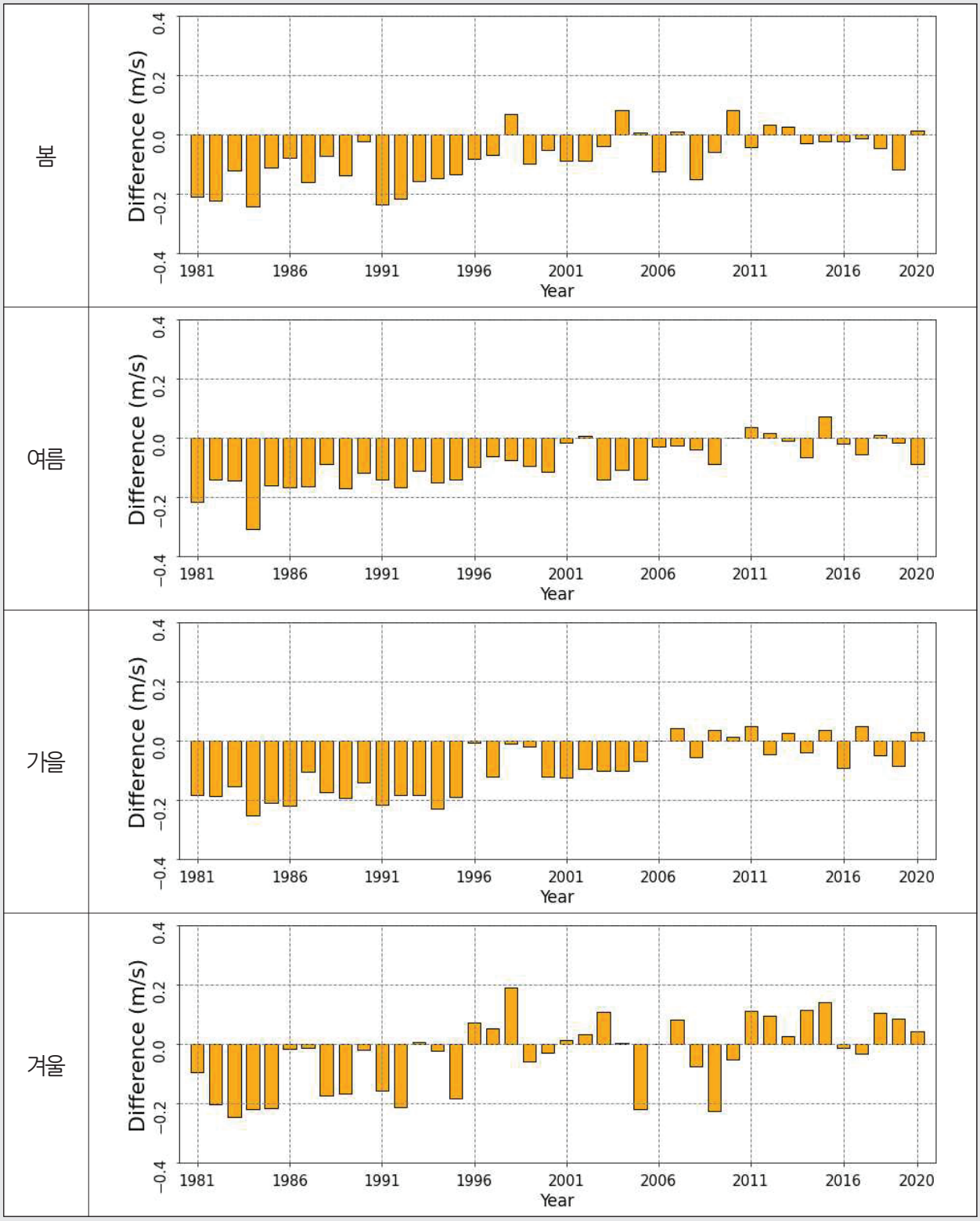
<그림 2-2-42> 구/신평년 전 지구 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (여름)



<그림 2-2-43> 구/신평년 전 지구 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (가을)



<그림 2-2-44> 구/신평년 전 지구 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (겨울)

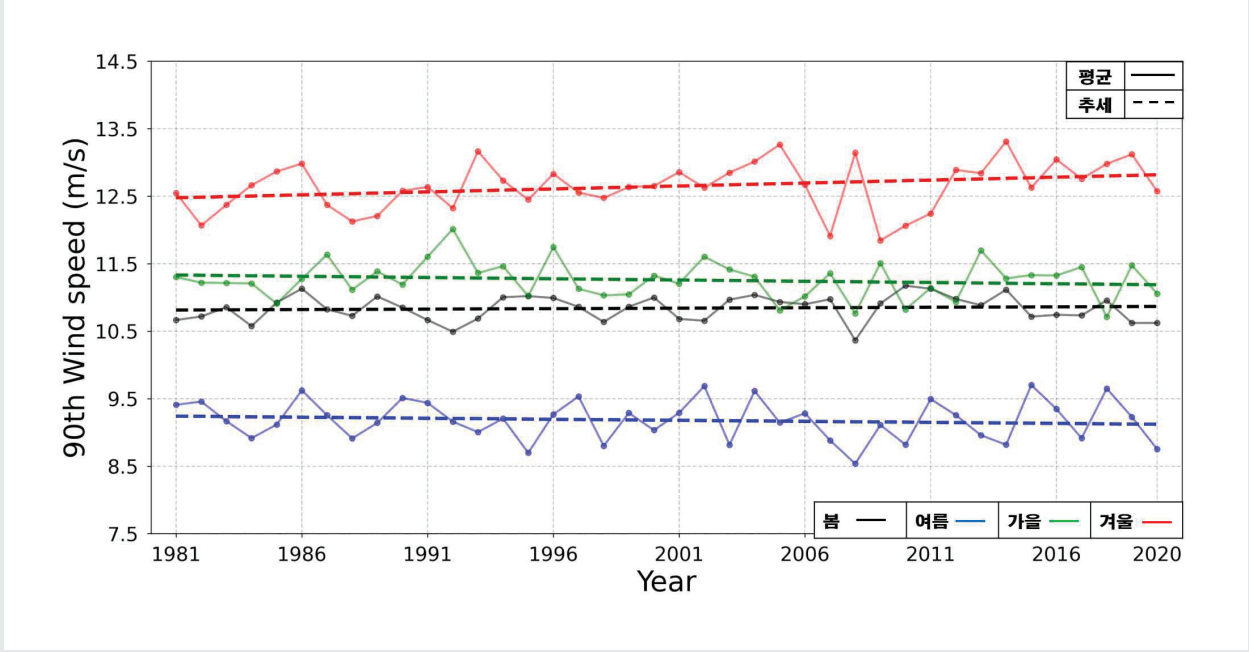


<그림 2-2-45> 계절별/연별 전 지구 극한 풍속 편차 시계열

(2) 동아시아

동아시아 영역의 계절별 극한 풍속 변동 양상을 이해하기 위해 연별 시계열 자료를 산출하였다. 또한 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 극한 풍속 공간분포도를 산출하여 각 평년 기간의 공간적인 분포 양상을 비교하였다. 또한 계절별 신평년 극한값에서 구평년 극한값을 뺀 편차 분포도와 연별 극한 풍속 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열을 산출하여 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 극한값과 추세선을 나타내고 있다. 시계열 그래프를 살펴보면 계절별로 다른 추세를 나타내고 있다. 봄과 겨울은 증가 추세를 나타내고 있지만 여름과 가을은 뚜렷한 양상을 나타내지 않았다. 계절별 변화율은 봄 0.0013ms^{-1}/year, 여름 −0.0031ms^{-1}/year, 가을 −0.0037ms^{-1}/year, 겨울 0.0087ms^{-1}/year로 겨울철 변화율이 가장 크게 나타났다. 구평년, 신평년 평균값을 산출한 결과 가을이 봄, 가을, 겨울보다 크게 산출되었다. 편차는 봄 0m/s, 여름 −0.01m/s, 가을 0m/s, 겨울 0.12m/s가 산출되어 겨울철 변화율과 편차가 가장 컸다. 계절별 변화율과 평년값, 편차를 분석한 결과 봄, 여름, 가을철은 매우 작은 변화율을 나타낸 반면 겨울철에는 뚜렷한 증가 추세를 나타내었으며, 구/신평년 평균값과 편차도 다른 계절보다 컸다.



<그림 2-2-46> 계절별/연별 동아시아 풍속 극한값 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-11> 동아시아 계절별 극한 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0013	10.84	10.84	0.00
여름	−0.0031	9.17	9.16	−0.01
가을	−0.0037	11.27	11.27	0.00
겨울	0.0087	12.58	12.70	0.12

동아시아 영역에서의 계절별 구/신평년 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년 평균값에서 구평년 극한값을 뺀 편차 공간분포도를 산출해 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철은 두 평년 기간 모두 풍속의 크기별 분포 특징이 유사하였다. 두 평년 기간 모두 일본 동쪽 태평양 지역(위도 30°N~60°N, 경도 150°E~180°E)에서 가장 큰 풍속이 분포하였으며, 풍속의 크기는 약 13~15m/s를 나타내었다. 오호츠크해에서는 약 8~14m/s인 풍속이 분포하였으며 동해에서는 약 8~12m/s인 풍속이 분포하였다. 대만 주변 지역과 오키나와 제도 주변에서는 풍속이 약 10~12m/s를 나타내었다.

구/신평년 기간 공간적으로 발생한 차이를 살펴본 결과 뚜렷한 변동 양상은 보이지 않았다. 편차 분포도 산출결과 지역별로 뚜렷한 증감 및 감소 변동 특징이 나타났다. 오호츠크해와 캄차카반도 주변에서는 약 0~0.25m/s 증가하였고, 동해에서는 약 0~0.15m/s 증가하였다. 대만과 필리핀해 동쪽 지역에서도 약 0~0.25m/s 증가하였는데 증가 폭에 따른 분포 양상을 살펴보면 다른 지역에 비해 가장 넓은 영역에서 큰 폭으로 증가하였다.

· 여름철에는 두 평년 기간 모두 인도차이나 반도부터 동중국해, 오키나와 제도, 일본 남해를 거쳐 일본 동쪽 태평양 지역에 이르는 광범위한 영역에서서 약 10~12m/s인 풍속이 분포하였다. 우리나라 서해와 동해, 오호츠크해와 캄차카반도 주변에서는 풍속 크기가 약 8~10m/s를 나타내었다.

구/신평년 기간의 공간적으로 발생한 차이를 살펴보면 신평년 풍속의 증가로 국소적으로 분포 차이가 나타났다. 특히 풍속이 약 10m/s 이상 나타낸 지역에서는 다른 분포 양상을 보였다. 편차 분포도 산출결과 지역별로 복잡한 증가 및 감소 변동을 나타내었으나 약 10m/s 이상 풍속이 분포했던 영역을 따라 다른 지역에 비해 큰 폭으로 증가한 양상을 보였다.

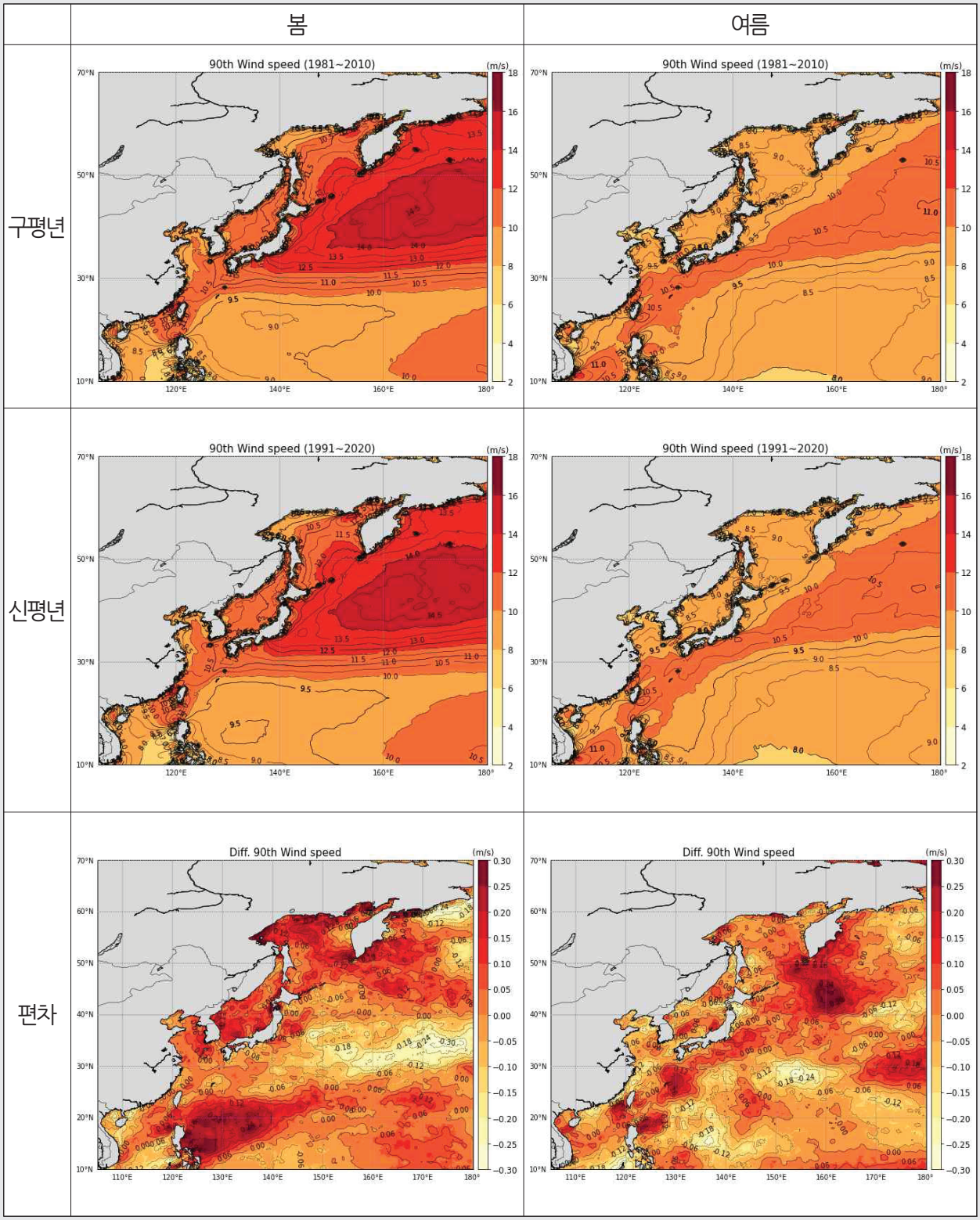
· 가을철에는 두 평년 기간 모두 쿠릴열도와 캄차카반도 동쪽 지역(위도 40°N~60°N, 경도 160°E~180°E)에서 가장 큰 풍속이 분포하였고 풍속 크기는 약 14~15m/s를 나타내었다. 또한 오호츠크해와 일본 북부 지역 및 동해에서는 약 12~14m/s, 남중국해 및 대만 주변 지역에서도 약 12~14m/s인 풍속이 분포해 지역별로 뚜렷한 분포 양상을 보였다. 우리나라 주변 해역에서는 풍속이 약 10~12m/s를 나타내 앞 지역들보다 상대적으로 풍속이 작았다.

구/신평년 극한값 공간분포도를 이용해 지역별로 나타난 차이를 살펴본 결과 뚜렷한 차이는 나타나지 않았지만 편차 분포도를 산출한 결과 공간적으로 정량적 분석이 가능하였다. 풍속이 증가한 지역 중 뚜렷한 증가 양상을 보인 지역으로는 오호츠크해와 캄차카반도 동쪽 지역, 동중국해와 일본 남쪽(위도 10°N~50°N, 경도 120°E~145°E)으로 상대적으로 다른 지역에 비해 풍속이 큰 폭으로 증가하였다.

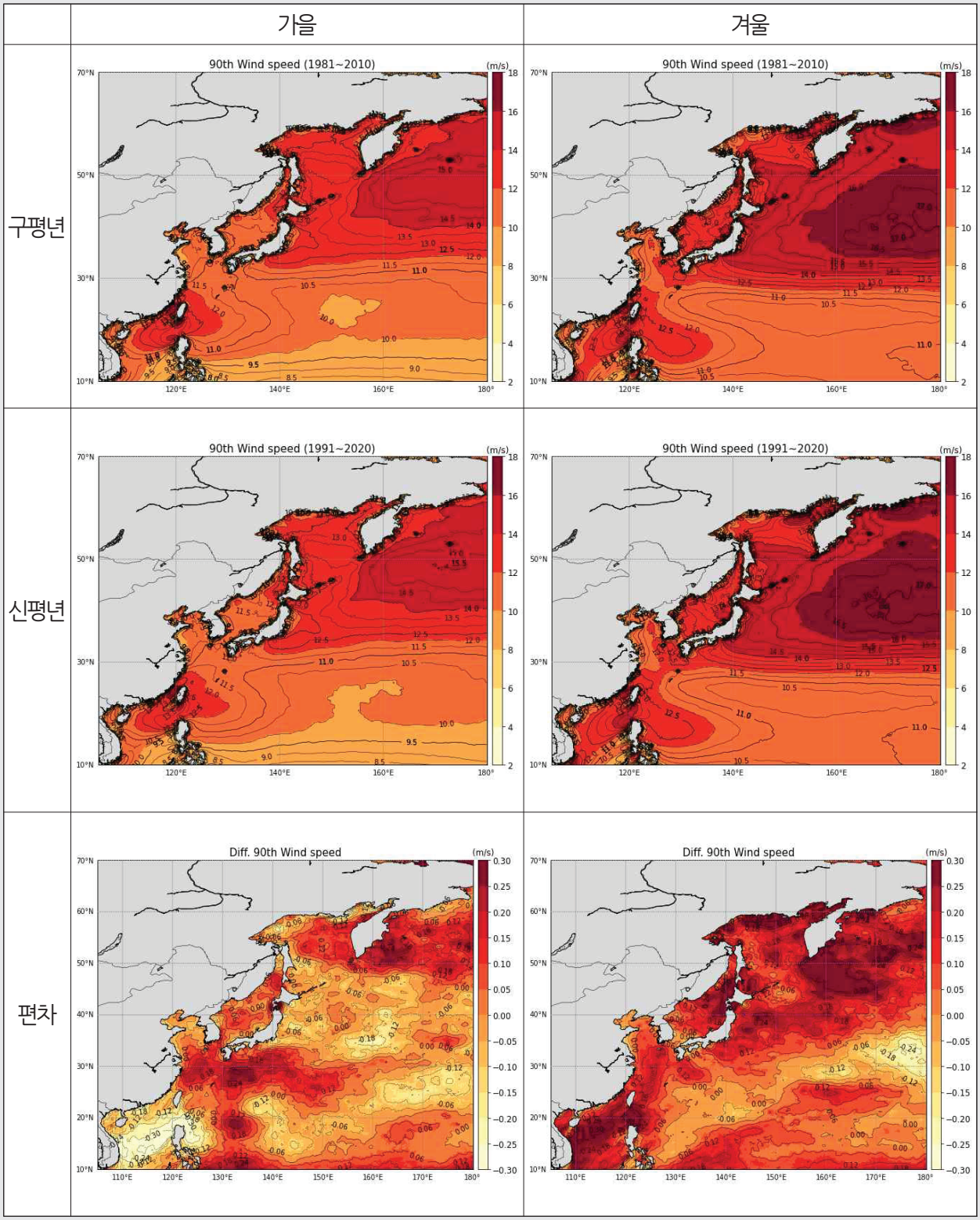
· 겨울철은 다른 계절보다 풍속 크기별 분포 양상이 뚜렷하게 나타났다. 두 평년 기간 모두 일본 동쪽 태평양 지역에서 가장 큰 풍속이 분포하였으며 풍속의 크기는 약 14~18m/s 크기를 나타내었다. 오호츠크해와 우리나라 동해에서도 약 12~16m/s에 달하는 풍속이 분포하였으며 남중국해 및 대만 주변 지역에서도 풍속이 약 12~16m/s를 나타내었다.

구/신평년 평균 공간분포도를 이용해 지역별로 분포 차이를 비교해보면 가장 큰 풍속이 분포한 일본 동쪽 태평양 지역에서의 풍속 증가가 뚜렷하게 나타났다. 풍속의 증가로 풍속 크기별 분포 범위가 증가하였는데, 특히 16 m/s 이상 풍속의 범위가 크게 증가하였다. 편차 분포도를 산출해 살펴본 결과 다른 지역에 비해 중국, 우리나라, 일본, 러시아 캄차카반도 주변 지역에 이르는 광범위한 영역에서 큰 폭으로 풍속이 증가하였다.

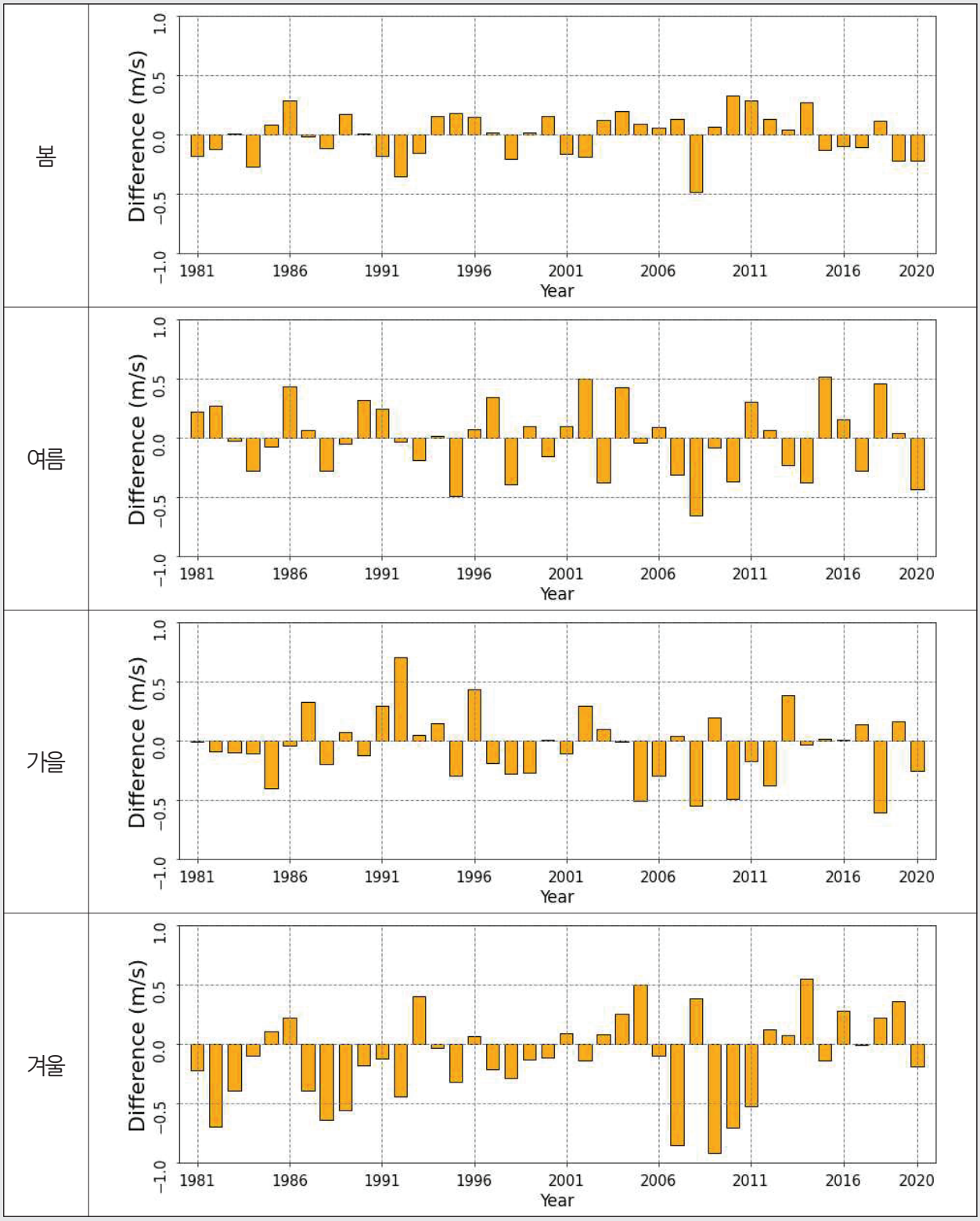
신평년 값을 기준으로 계절별/연별 편차 산출결과 사계절 모두 1981년 이후 0을 기준으로 증가 및 감소하는 변동성을 보였으나 겨울철을 제외하고 뚜렷하게 상승하는 양상은 나타나지 않았다. 여름, 가을 편차 시계열을 살펴보면 1981년 이후 비주기적으로 음 또는 양의 편차가 산출되었으며 장기적으로 증가 및 감소하는 추세는 보이지 않았다. 반면 봄, 겨울철에는 1981년 이후 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하는 양상을 보였으며 장기적으로 상승하는 추세를 나타내었다.



<그림 2-2-47> 구/신평년 동아시아 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (봄, 여름)



<그림 2-2-48> 구/신평년 동아시아 극한 풍속 및 편차 공간분포도 (가을, 겨울)

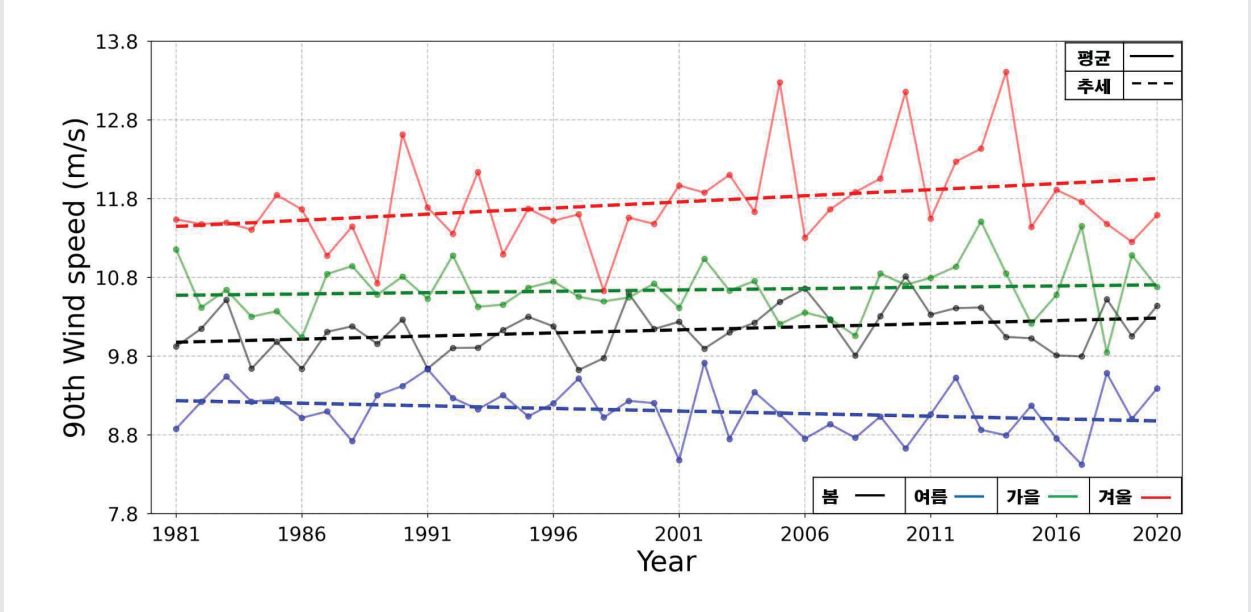


<그림 2-2-49> 계절별/연별 동아시아 극한 풍속 편차 시계열

(3) 한반도 연근해

한반도 연근해 영역에서의 계절별 극한 풍속의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 극한 풍속의 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 또한 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 극한 풍속 공간분포도를 산출해 각 평년 기간의 공간적인 분포 양상을 비교하였다. 또한 계절별로 신평년 극한값에서 구평년 극한값을 뺀 편차 분포도와 연별 극한 풍속 평균값에서 신평년 극한값을 뺀 편차 시계열을 산출해 편차의 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 풍속 극한값과 추세선을 나타내고 있다. 시계열 그래프를 살펴보면 겨울철 풍속은 증가하는 추세를 나타냈으나 다른 계절에는 감소하는 변동 특성을 보였다. 변화율을 산출한 결과 봄 0.0079ms^{-1}/year, 여름 −0.0066ms^{-1}/year, 가을 0.0034ms^{-1}/year, 겨울 0.0155ms^{-1}/year가 산출되어 겨울철 변화율이 가장 컸다. 구평년, 신평년 평균값을 산출한 결과 겨울철 평년값(구평년 : 11.70m/s, 신평년 : 11.83m/s)이 봄, 여름, 가을보다 크게 산출되었다. 편차는 봄 0.05m/s, 여름 −0.03m/s, 가을 0.06m/s, 겨울 0.13m/s로 산출되었으며 겨울철 편차가 가장 컸다. 계절별 풍속 변화율과 평년값, 편차를 분석한 결과 겨울철 변화율과 평년값, 편차가 가장 크게 나타났다. 반면 여름철에는 평균 풍속과 같이 평년값이 구평년 대비 신평년에 -0.03m/s 감소하였으며 변화율도 감소하는 추세를 나타내었다.



<그림 2-2-50> 계절별/연별 한반도 연근해 풍속 극한값 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-12> 한반도 연근해 계절별 극한 풍속 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0079	10.11	10.16	0.05
여름	−0.0066	9.12	9.09	−0.03
가을	0.0034	10.59	10.65	0.06
겨울	0.0155	11.70	11.83	0.13

한반도 연근해에서의 계절별 구/신평년 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년 평균값에서 구평년 극한값을 뺀 편차 공간분포도를 산출해 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철 두 평년 기간 모두 풍속의 크기별 분포 특징은 유사하였다. 구/신평년 모두 가장 큰 풍속이 분포한 지역은 일본 남해로 약 10~12m/s인 풍속이 분포하였다. 우리나라 동해는 약 8~11m/s의 크기를 가지고 분포하였으며 남해에서는 약 10~12m/s, 서해에서는 약 8~10m/s 풍속이 분포해 우리나라 주변 해역 중 남해에 분포한 풍속이 가장 큰 값을 나타내었다.

구/신평년 기간의 공간적인 분포를 살펴보면 해역별로 다른 분포 양상이 나타났다. 동해에서는 전체적으로 풍속이 증가하였으며 남해에서는 제주도 주변에서 증가하였다. 서해에서도 중심부를 기준으로 풍속이 증가해 우리나라 주변 해역에서 모두 풍속이 증가한 양상으로 나타났다. 편차 분포도 산출결과 동해에서의 풍속 증가 양상이 뚜렷하게 나타났다. 서해에서도 전반적인 풍속이 증가하였으며, 남해에서는 제주도 주변 지역에서 증가하였다.

· 여름철은 모두 봄철과 다른 분포 양상을 보였다. 동중국해 및 일본 남해부터 북쪽을 향할수록 풍속이 감소하는 경향을 보였으며, 동해와 서해에서는 풍속이 약 7~9m/s를 나타낸 반면 남해에서는 약 9~10m/s, 동중국해와 일본 남해에서는 약 10m/s 이상인 풍속이 분포하였다.

구/신평년 기간의 공간적 변동 양상을 비교한 결과 국소적인 지역에서 풍속 크기별 분포 차이가 나타났지만 큰 변동은 나타나지 않았다. 편차 분포도를 보면 동해안 북부 지역과 동해 중심부에서는 풍속이 증가하였지만 다른 지역에선 대체로 감소하였다. 대한해협에서는 감소하였고 서해에서는 변동성이 매우 작았다. 제주도 주변에서는 풍속이 증가하였지만 제주도 남쪽에서는 감소하였다. 동중국해에서는 감소한 반면 일본 남쪽 지역에서는 풍속이 증가하였으며 증가 폭이 약 0.1~0.16m/s에 달하여 가장 큰 증가 폭을 나타내었다.

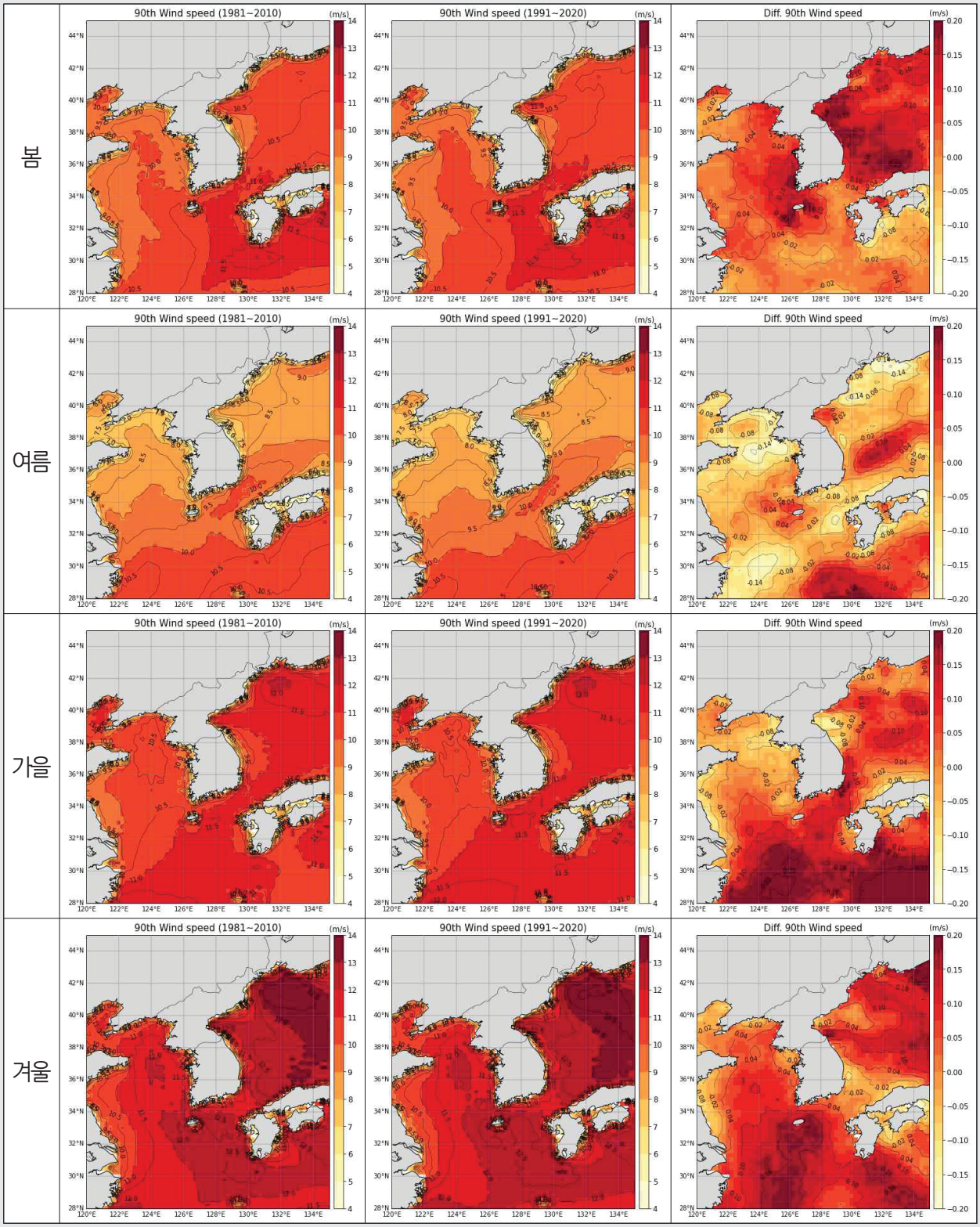
· 가을철에는 두 평년 기간 모두 분포 양상은 유사하였다. 동해에서는 약 9~13m/s인 풍속이 분포하였으며 특히 표트르대제만 남쪽에서 12m/s 이상 가장 큰 풍속이 분포하였다. 남해에서는 약 9~12m/s인 풍속이 분포하였으며, 서해에서는 약 9~11m/s 풍속이 분포하여 동해, 남해, 서해 순으로 풍속이 컸다.

구/신평년 기간 공간적 변동 양상을 비교한 결과 동해와 남해에서 전반적으로 풍속이 증가하는 양상이 나타났다. 반면 서해에서는 공간적인 변동 폭이 매우 작아 뚜렷한 증감 양상이 나타나지 않았다. 편차 분포도를 살펴보면, 동해에서는 동해안 북부 지역에서는 감소한 반면 중앙부에서는 증가하였으며, 서해에서는 전반적으로 풍속이 감소하는 양상을 나타내었다. 남해에서는 풍속이 증가하였고, 우리나라 남해뿐만 아니라 동중국해와 일본 남해에서 전체적으로 풍속이 증가하였다.

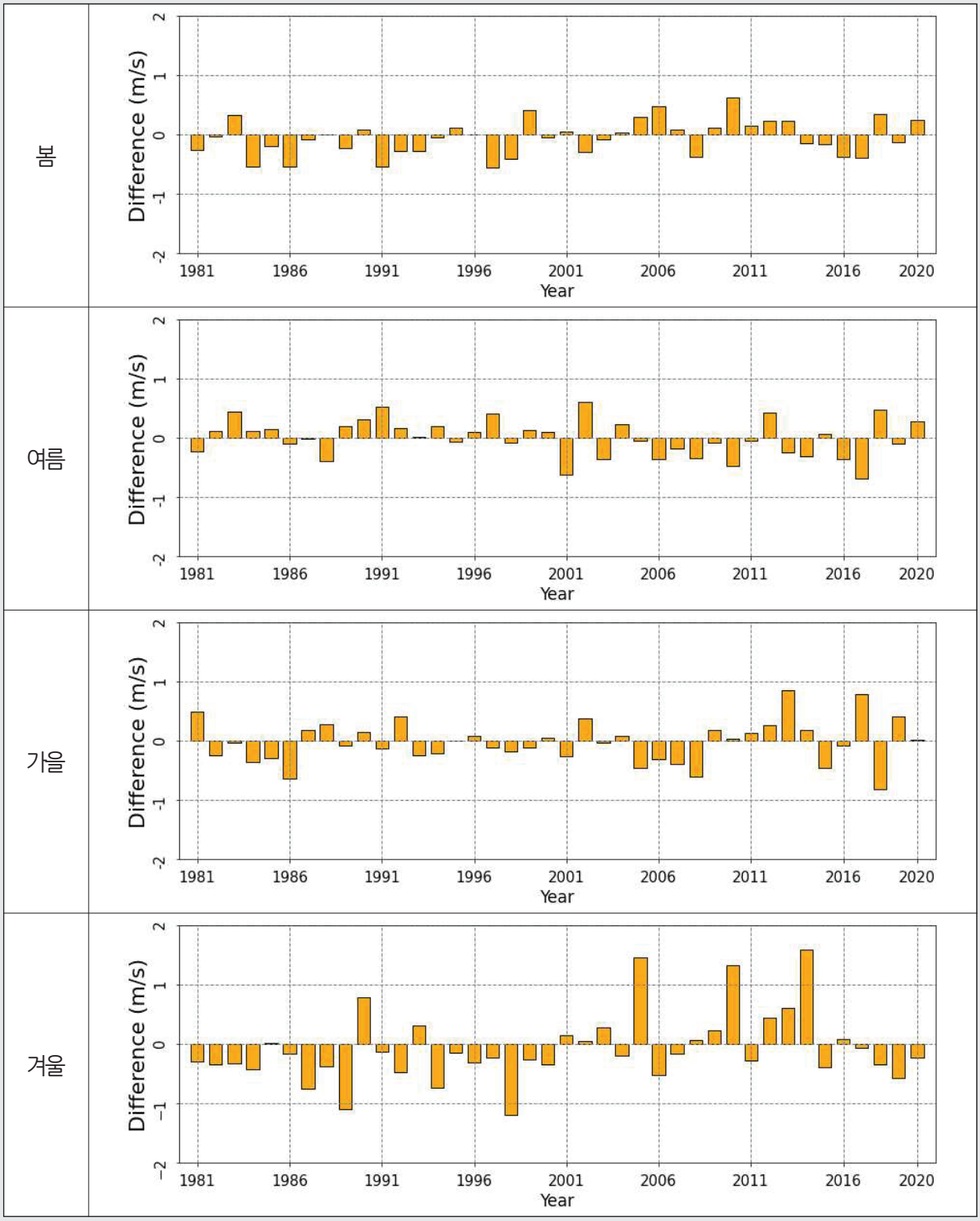
· 겨울철에는 두 평년 기간 모두 봄, 여름, 가을보다 큰 풍속이 분포하였다. 동해에서는 약 11~14m/s인 풍속이 분포하였으며 특히 표트르대제만과 연해주 남쪽에서 동해 중앙부에 이르는 영역에 가장 큰 풍속이 분포하였다. 남해에서는 약 11~13m/s, 서해에서는 약 11~12m/s 풍속이 분포해 동해에서 분포한 풍속이 가장 컸다.

구/신평년 기간에 공간적인 분포 변동 양상을 비교한 결과 신평년에 모든 해역에서 풍속이 증가하였다. 동해에서는 동해 중심 및 북부 지역을 중심으로 풍속이 증가하였으며, 남해에서도 전체적으로 풍속이 증가하였다. 서해에서도 중앙부를 중심으로 풍속이 증가한 양상을 나타내었다. 편차 분포도 산출하여 분석한 결과 동해와 남해, 동중국해, 일본 남쪽에서 다른 지역에 비해 큰 폭으로 풍속이 증가하였다. 서해에서는 전체적으로 증가하였지만 동해와 남해에 비교해 풍속 증가 폭이 작았다.

신평년 값 기준 계절별/연별 편차 산출결과 사계절 모두 1981년 이후 0 기준으로 증가 및 감소하는 변동성을 보였다. 봄, 가을, 겨울 편차 시계열을 살펴보면 2020년을 향할수록 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하는 동시에 편차 크기가 증가해 상승하는 양상을 보였다. 반면 여름에는 증감 변동을 반복하면서 음수가 산출되는 빈도가 증가해 편차가 감소하는 양상을 나타내었다.



<그림 2-2-51> 계절별 한반도 연근해 구/신평년 극한 풍속 및 편차 공간분포도



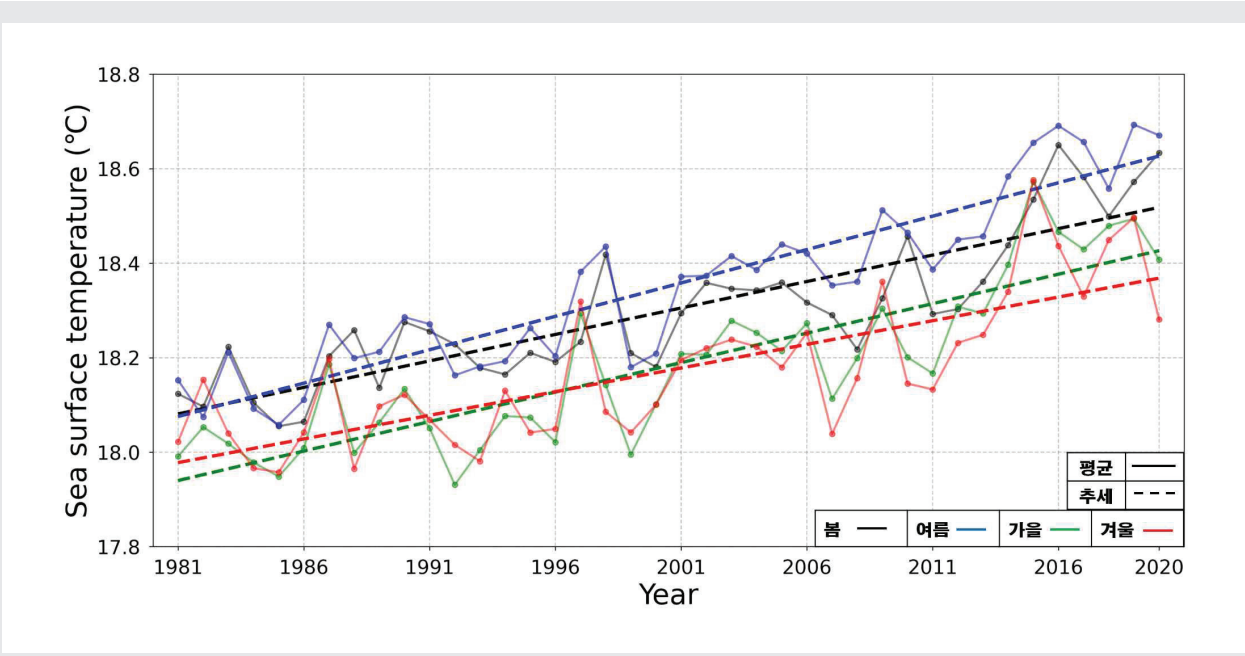
<그림 2-2-52> 계절별/연별 한반도 연근해 극한 풍속 편차 시계열

3. 표층 수온

가. 전 지구

전 지구의 계절별 표층 수온의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 또한 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 평균 공간분포도를 산출해 각 평년 기간 풍속의 공간적인 분포 양상을 비교하였다. 또한 계절별로 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 수온 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열을 산출해 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 수온 평균값과 추세선을 나타내고 있다. 사계절 모두 1981년 이후 상승 및 하락을 반복하면서 점진적으로 상승하는 변동 특성을 나타내었다. 변화율은 봄 0.0112℃/year, 여름 0.0142℃/year, 가을 0.0125℃/year, 겨울 0.0100℃/year로 사계절 모두 변화율이 유사하였으며 여름철 변화율이 가장 컸다. 구평년 신평년 평균값을 산출한 결과 여름철 평년값이 봄, 가을, 겨울보다 크게 산출되었다. 편차는 봄 0.11℃, 여름 0.14℃, 가을 0.12℃, 겨울 0.10℃가 산출되어 여름철 변화율과 편차가 가장 컸다. 계절별 수온 변화율과 평균값, 편차를 분석한 결과 여름철 수온이 다른 계절보다 구평년 대비 신평년에 가장 큰 상승 폭을 나타내었으며 변동 양상 또한 가장 큰 상승 추세를 나타내었다.



<그림 2-2-53> 계절별/연별 전 지구 표층 수온 평균 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-13> 계절별 전 지구 표층 수온 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0112	18.24	18.35	0.11
여름	0.0142	18.27	18.41	0.14
가을	0.0125	18.11	18.23	0.12
겨울	0.0100	18.11	18.21	0.10

전 지구의 계절별 구/신평년 수온 평균 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출해 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철은 수온 크기별 분포 특징은 유사하였다. 적도에서 가장 높고 북극과 남극을 향할수록 낮아지는 일반적인 특징을 나타내었으며, 북태평양 중위도 지역(위도 30°N~60°N)에서 약 1~20℃ 나타내었고 적도를 중심으로 위도 30°S~30°N 지역에서는 약 20~29℃, 남극해에서는 약 10℃ 이하를 나타내었다.

구/신평년 기간 공간적으로 발생한 분포 차이를 살펴보면 적도 부근 지역에서 수온 상승에 따른 분포 차이가 나타났다. 신평년 수온 상승이 뚜렷하게 나타난 지역은 인도양과 태평양으로 수온 크기별 분포에서 차이를 보였다. 편차 분포도 산출결과 남극해와 일부 지역을 제외하고 대부분 지역에서의 수온 상승 양상이 나타났다. 태평양에서는 북서태평양 일부 지역과 남반구 동태평양 일부 지역(위도 0°N~30°S)을 제외한 전 지역에서 수온이 상승하였다. 인도양에서는 전체 지역에서 상승하였으며, 대서양도 북대서양 일부 지역을 제외한 대부분 지역에서 상승하였다. 북극해에서도 상승하였으나 남극해에서는 하락하였다.

· 여름철에는 두 평년 기간 모두 전체적으로 봄철보다 높은 수온이 분포하였다. 북태평양 중위도 지역(위도 30°N~60°N)에서는 약 7~25℃를 나타내어 가장 큰 차이를 보였으며, 적도 부근 지역(30°S~30°N) 지역에서는 약 20~29℃를 나타내어 수온의 크기 범위는 봄철과 유사하지만 지역별로 큰 차이를 보였다.

구/신평년 기간에 공간적으로 발생한 분포 차이를 살펴보면 인도양과 태평양에서 수온 상승에 따른 분포 차이가 나타났다. 가장 큰 변화를 보인 지역은 동남아시아 지역으로 29℃에 해당하는

수온이 구평년 보다 넓게 분포한 특징을 보였다. 편차 분포도를 산출해 분석한 결과 북반구에서는 북대서양 일부 지역을 제외한 대부분 지역에서 수온이 상승하였다. 남반구에서는 인도양과 서태평양에서는 수온이 상승한 반면 남아프리카 남동쪽 지역과 적도 동태평양 페루 연안, 남극해에서는 수온이 감소하였다. 전반적으로 태평양에서의 수온 상승 폭이 다른 지역보다 컸으며, 특히 서태평양에서는 전체적으로 상승한 특징을 나타내었다.

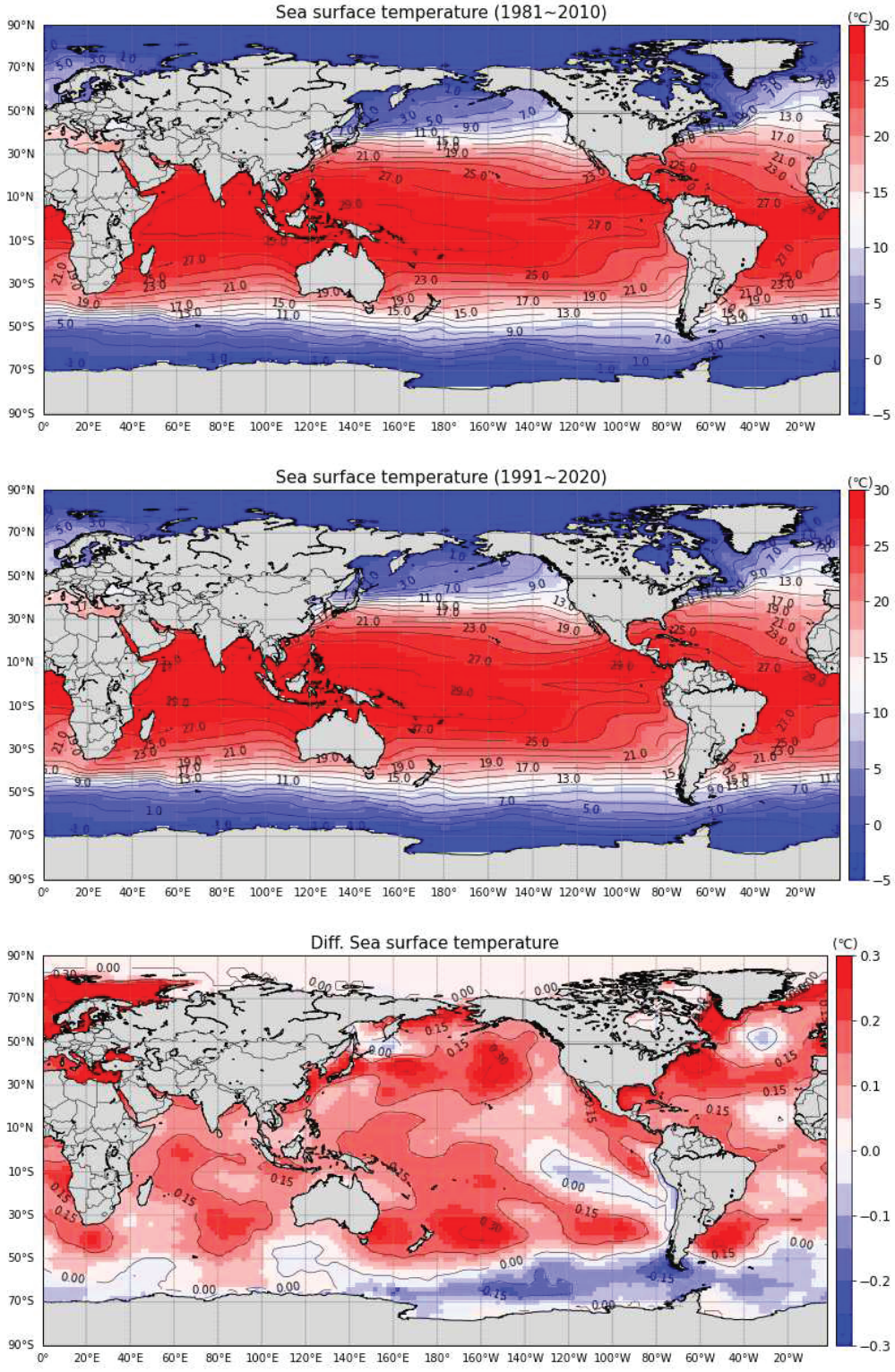
· 가을철은 여름철보다 하락한 양상을 보였다. 태평양과 대서양, 적도 부근에서 여름철보다 모두 하락하였다.

구/신평년 기간의 공간적인 분포 차이를 살펴보면 신평년에 적도 부근 지역에서 수온이 상승한 양상이 나타났지만 변동 폭이 작아 지역별로 정량적인 비교 분석은 불가능하였다. 편차 분포도를 살펴보면 지역별 수온 변동이 뚜렷하게 나타났다. 북반구에서는 전체 영역에서 수온이 상승하였으며, 그 중 북태평양에서는 전반적으로 약 0.1~0.3℃ 상승하였다. 남반구에서는 지역별로 다른 양상을 보였는데, 인도양과 서태평양에서는 수온이 상승한 반면 적도 동태평양 남아메리카 주변 지역과 남대서양, 남극해에서는 하락하였다.

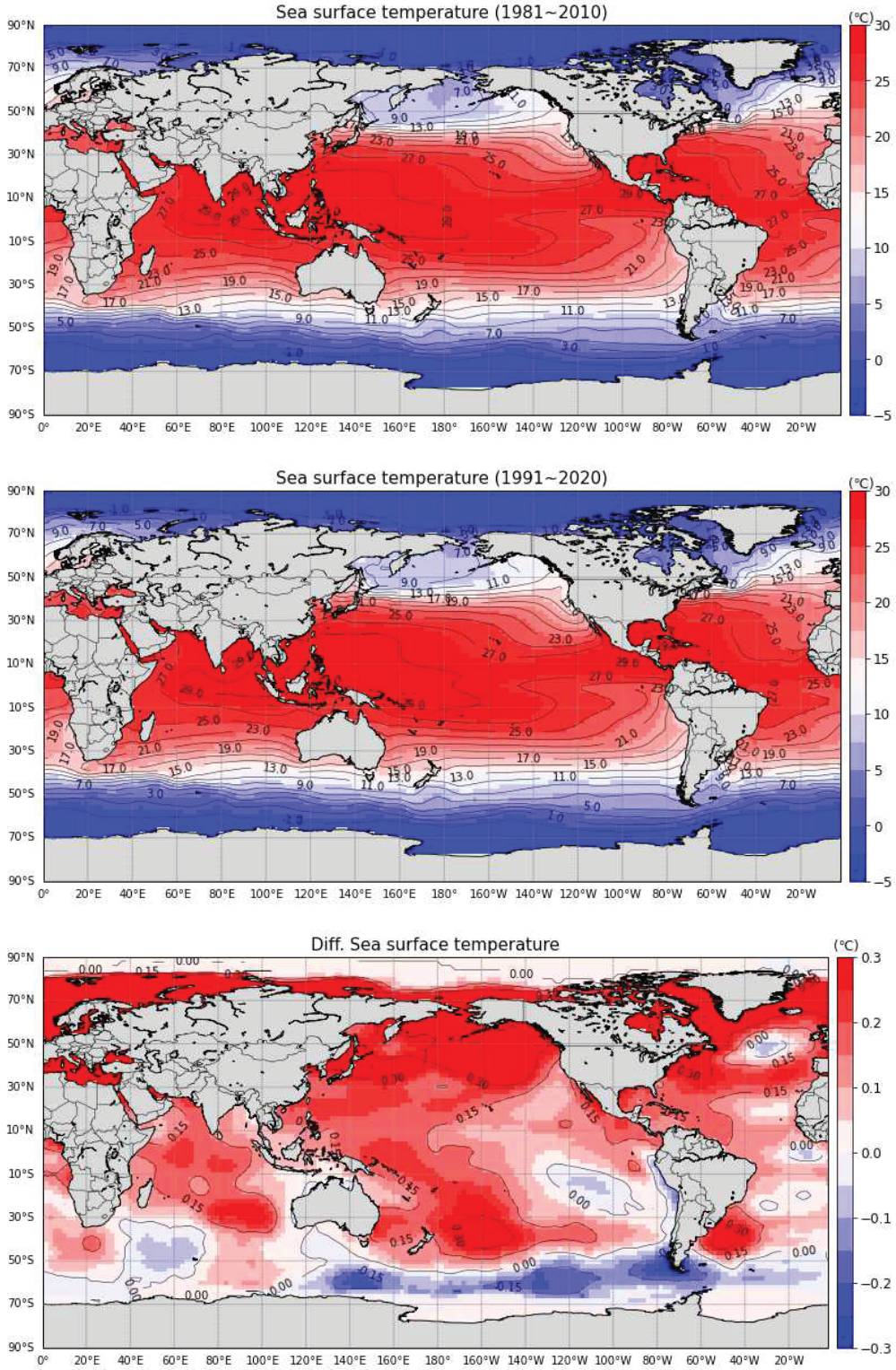
· 겨울철 구/신평년 수온 평균 공간분포도를 산출한 결과 두 평년 기간 모두 다른 계절 보다 낮은 수온 분포를 보였다. 태평양과 인도양, 대서양에서 다른 계절에 비해 낮은 분포를 나타내었다.

구/신평년 기간 공간적으로 발생한 분포 차이를 살펴보면 신평년에 동남아시아 인도네시아 주변 지역과 적도 동태평양에서 수온이 상승한 양상을 나타내었다. 다른 지역에서도 수온 변동이 나타났지만 변동 폭이 작아 정량적인 비교 분석은 불가능하였다. 편차 분포도를 살펴보면, 서태평양에서는 캄차카반도 주변 지역을 제외한 대부분 지역에서는 수온이 상승하였다. 반면 적도 동태평양 남아메리카 주변 지역에서는 하락하였다. 인도양과 호주 주변 지역, 북대서양에서도 수온이 상승하였으나 남극해에서는 하락하였다.

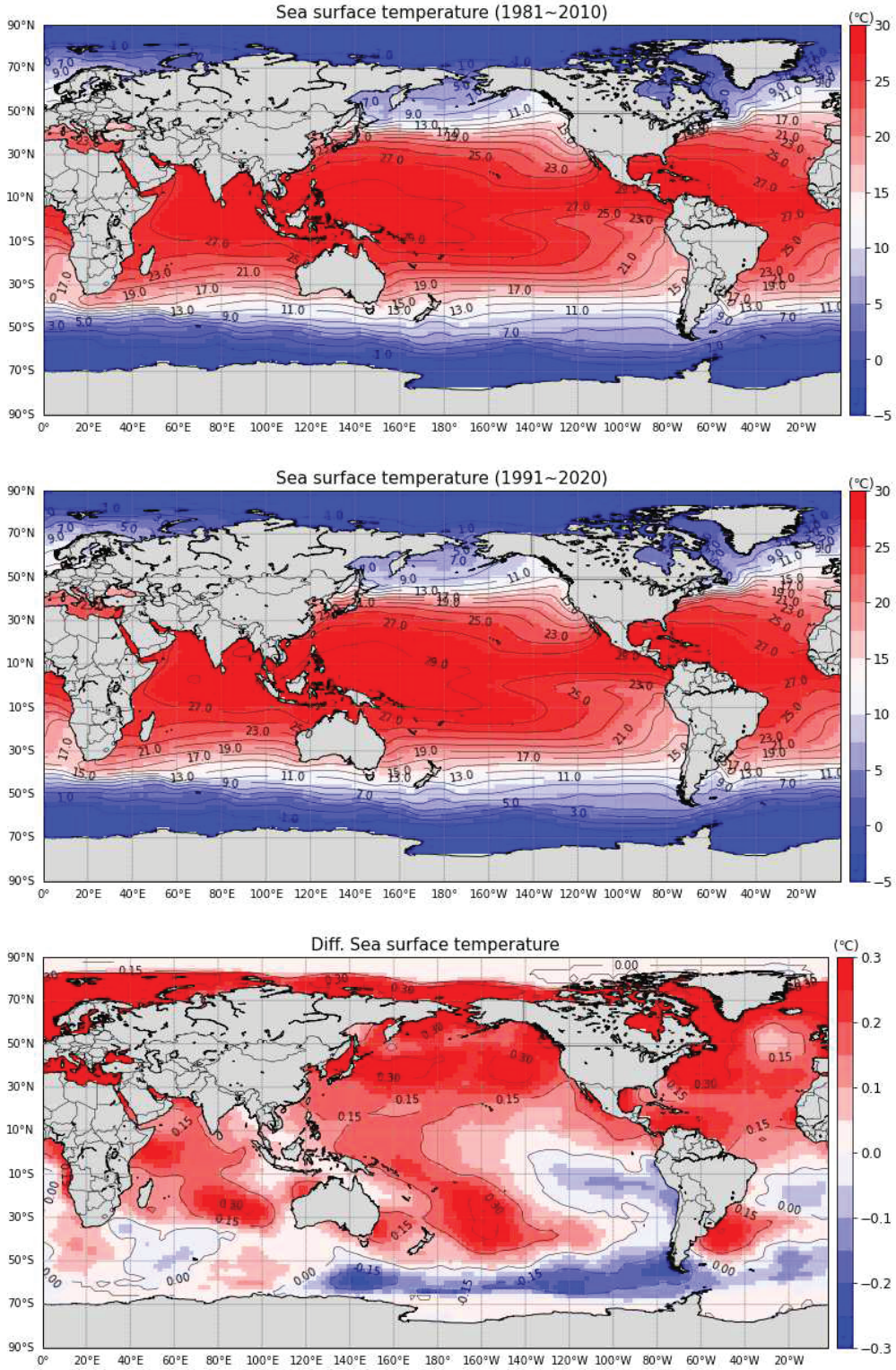
신평년 값을 기준으로 계절별/연별 편차 산출결과 사계절 모두 1981년 이후부터 1995년까지는 음의 값이 산출되었으나, 이후 편차가 감소하여 1995년 이후에는 연별 평균값의 우세해 양수가 산출되었다. 시간에 따라 양의 값이 증가하였으며 상승하는 추세를 나타내어 2013년 이후에는 평년의 평균값 보다 연별 평균값의 우세가 지속되었다.



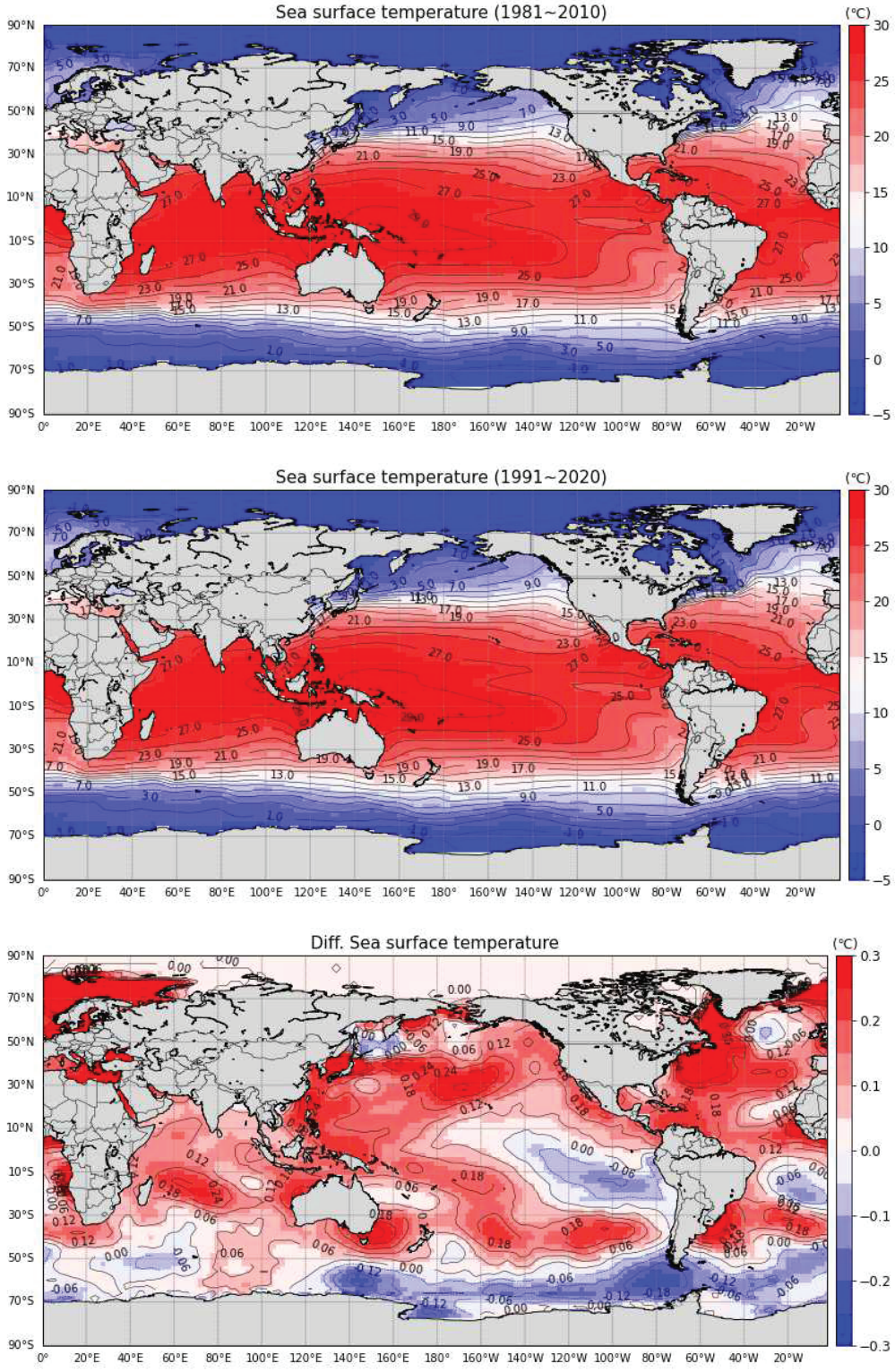
<그림 2-2-54> 구/신평년 전 지구 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (봄)



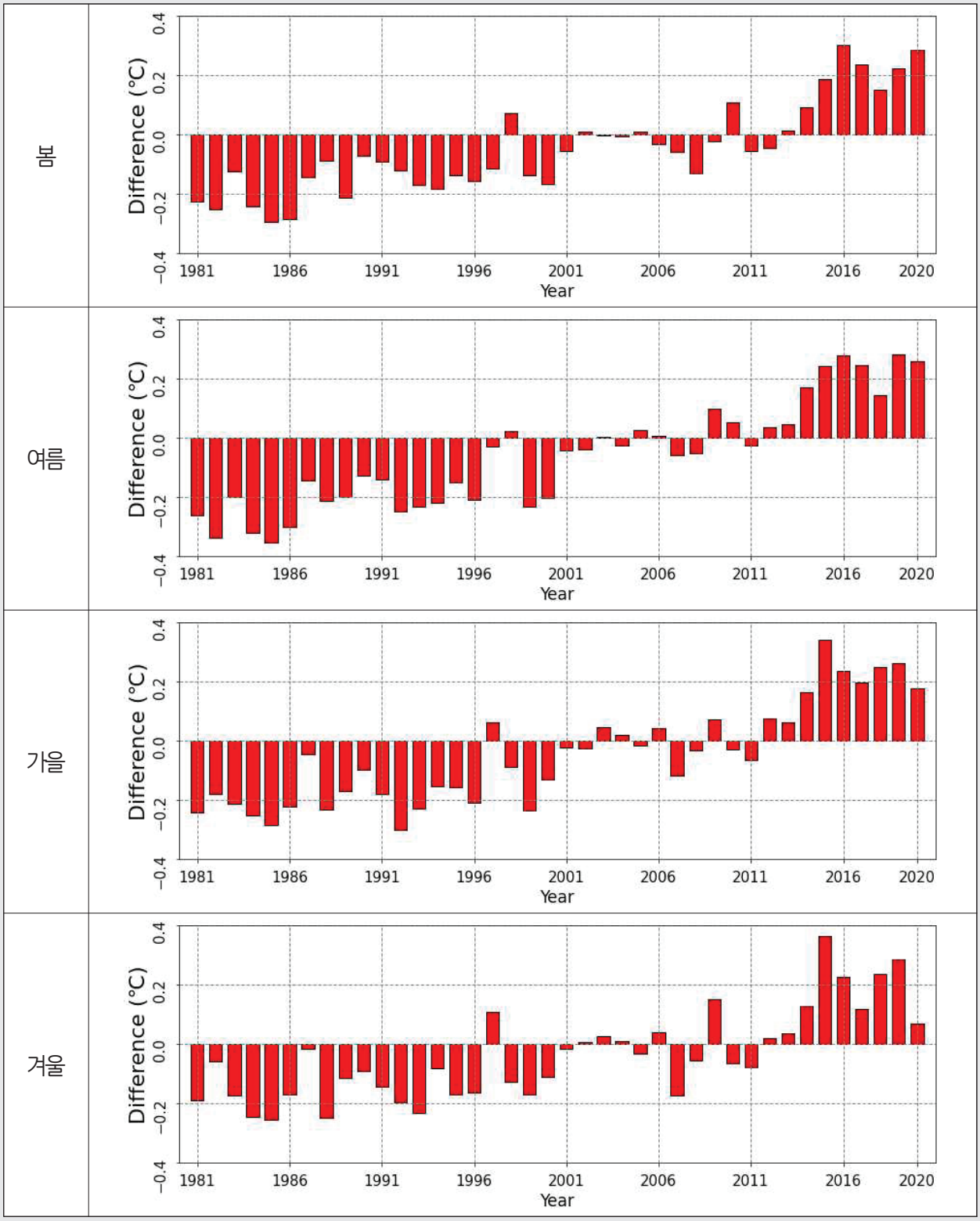
<그림 2-2-55> 구/신평년 전 지구 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (여름)



<그림 2-2-56> 구/신평년 전 지구 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (가을)



<그림 2-2-57> 구/신평년 전 지구 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (겨울)

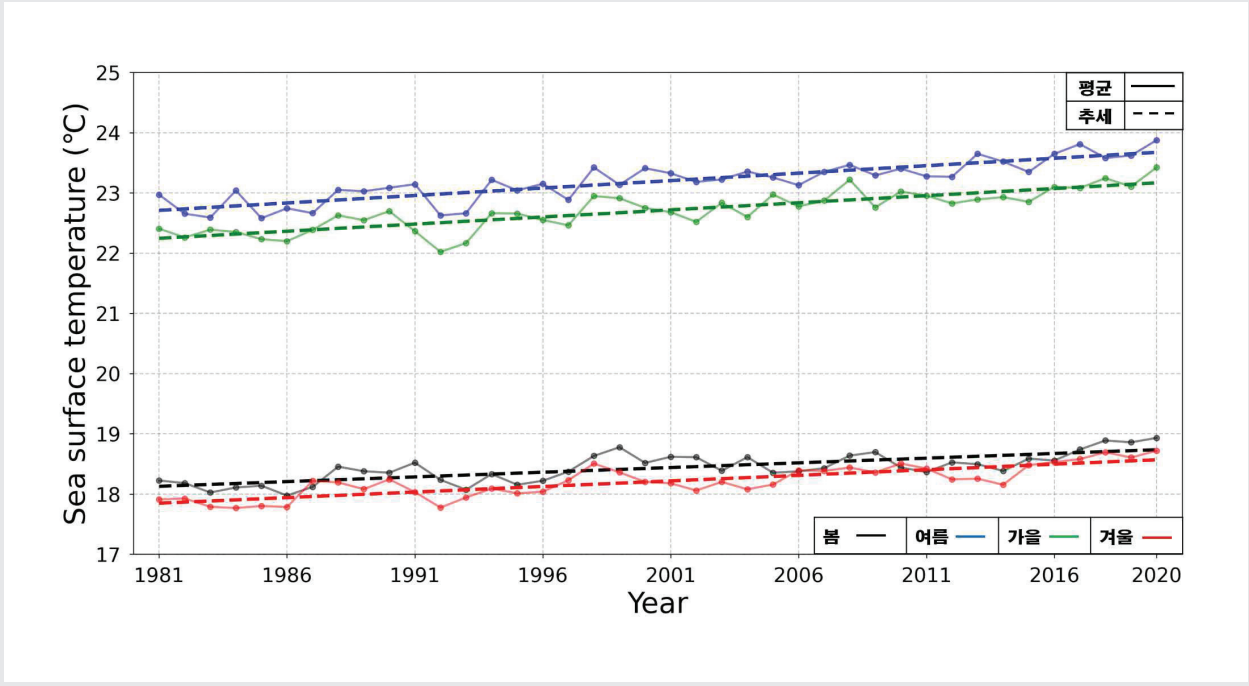


<그림 2-2-58> 계절별/연별 전 지구 표층 수온 편차 시계열

나. 동아시아

동아시아 영역에서의 계절별 표층 수온의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 또한 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출해 각 평년 기간 풍속의 공간적인 분포 양상을 비교하였다. 또한 계절별로 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열을 산출해 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 수온 평균값과 추세선을 나타내고 있다. 전 지구에서는 사계절 모두 1981년 이후 상승 및 하락을 반복하며 점진적으로 상승하는 변동 특성을 나타내었다. 계절별 변화율은 봄 0.0156℃/year, 여름 0.0247℃/year, 가을 0.0236℃/year, 겨울 0.0185℃/year로 여름철 변화율이 가장 높았다. 구평년, 신평년 평균값을 산출한 결과 여름철 평년값이 봄, 가을, 겨울보다 크게 산출되었다. 편차는 봄 0.14℃, 여름 0.24℃, 가을 0.21℃, 겨울 0.17℃가 산출되어 여름철 변화율과 편차가 가장 컸다. 계절별 변화율과 평년값, 편차의 분석결과, 여름철 수온이 다른 계절보다 구평년 대비 신평년에 가장 큰 상승 폭을 나타냈으며 변동 양상 또한 가장 높은 상승 추세를 나타내었다.



<그림 2-2-59> 계절별/연별 동아시아 표층 수온 평균 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-14> 계절별 동아시아 표층 수온 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0156	18.37	18.51	0.14
여름	0.0247	23.07	23.31	0.24
가을	0.0236	22.60	22.81	0.21
겨울	0.0185	18.12	18.29	0.17

동아시아 영역에서 계절별 구/신평년 수온 평균 공간분포도를 산출해 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 공간분포도를 산출해 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 변동 양상을 파악하였다.

· 봄철은 두 평년 기간 모두 수온 크기별 분포 양상이 유사하였다. 전반적으로 위도에 따라 수온 크기의 범위가 결정되는 양상을 보였지만 지역별 크기의 분포 차이는 존재하였다. 우리나라 주변 해역에서는 약 4~18℃ 나타내었으며 일본 동쪽 태영양(위도 30°N~45°N, 경도 140°E~180°E)에서는 약 3~19.5℃를 나타내었다. 오호츠크해와 캄차카반도 주변 지역(위도 45°N~60°N, 경도 140°E~180°E)에서는 약 4℃ 이하로 분포해 동아시아에서 가장 낮은 수온 분포를 나타내었다.

구/신평년 기간에 공간적으로 발생한 분포 차이를 보면 구평년 대비 신평년에 일본 동쪽 태평양 지역, 동중국해와 일본 남해, 그리고 대만과 필리핀 동쪽에서 수온이 상승한 분포를 나타내었으며 약 위도 40°N 남쪽 지역에서는 전체적으로 상승한 양상을 보였다. 편차 분포도를 산출해 분석한 결과 오호츠크해와 캄차카반도 남쪽을 제외한 대부분 지역에서도 수온이 상승하였다. 우리나라 주변 해역에서는 전반적으로 약 0.1~0.25℃ 상승하였으며, 일본 동해 및 동쪽 태평양 지역에서는 약 0.2~0.35℃ 상승하였다. 우리나라와 일본 남쪽에서는 전체적으로 상승하였으며 공간적으로 다른 상승 폭을 나타내었지만 전반적으로 약 0.1~0.2℃ 상승하였다.

· 여름철에는 두 평년 기간 모두 전체 영역에서 봄철보다 수온이 상승하였다. 우리나라 주변 해역에서는 수온이 약 13~25.5℃를 나타내었으며 일본 동쪽 태평양 지역에서는 약 10~26℃를 나타내었다. 오호츠크해와 캄차카반도 주변 지역에서는 약 10℃ 이하인 수온이 분포하였다.

구/신평년 기간 공간적으로 발생한 분포를 살펴보면 동아시아 전체에서 수온이 상승한 양상이 나타났다. 편차 분포도 산출결과 동아시아 전체 영역에서 수온이 구평년 보다 상승하였다. 상대적

으로 높은 상승 폭을 보인 지역은 베링해와 우리나라 동해, 일본 동쪽 태평양으로 베링해는 약 0.3~0.5℃, 우리나라 동해에서 약 0.2~0.4℃, 일본 동쪽 태평양에서는 약 0.3~0.5℃ 상승하였다.

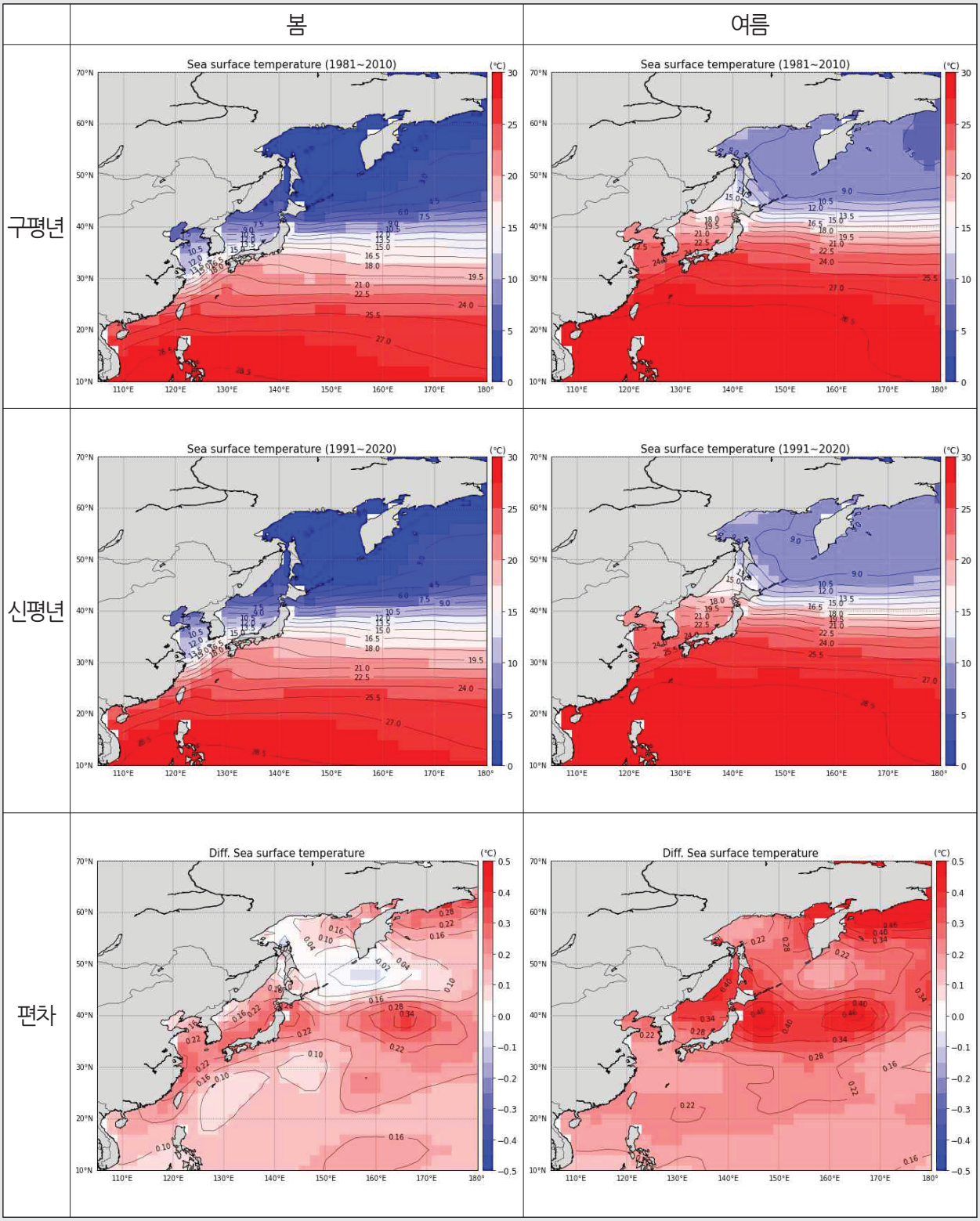
· 가을철은 두 평년 기간 모두 전체 영역에서 여름철 보다 수온이 낮아진 양상을 보였다. 두 공간분포도 모두 전반적인 수온 크기별 분포 양상은 유사하였지만 지역별 분포 특징을 보면 신평년 수온 상승에 의한 분포 차이가 나타났다.

지역적으로 변동을 분석하기 위해 편차 분포도를 산출한 결과 여름철과 유사하였다. 동아시아 전체 영역에서 수온이 상승하였으며 상대적으로 베링해와 우리나라 동해, 일본 동쪽 태평양 지역 높은 상승 폭을 나타내어 여름철 편차 분포도의 분포 양상과 유사하였다. 지역별 상승 폭을 살펴보면 베링해는 약 0.2~0.5℃, 우리나라 동해에서는 약 0.2~0.5℃, 일본 동쪽 태평양 지역에서는 약 0.3~0.5℃ 상승하였다.

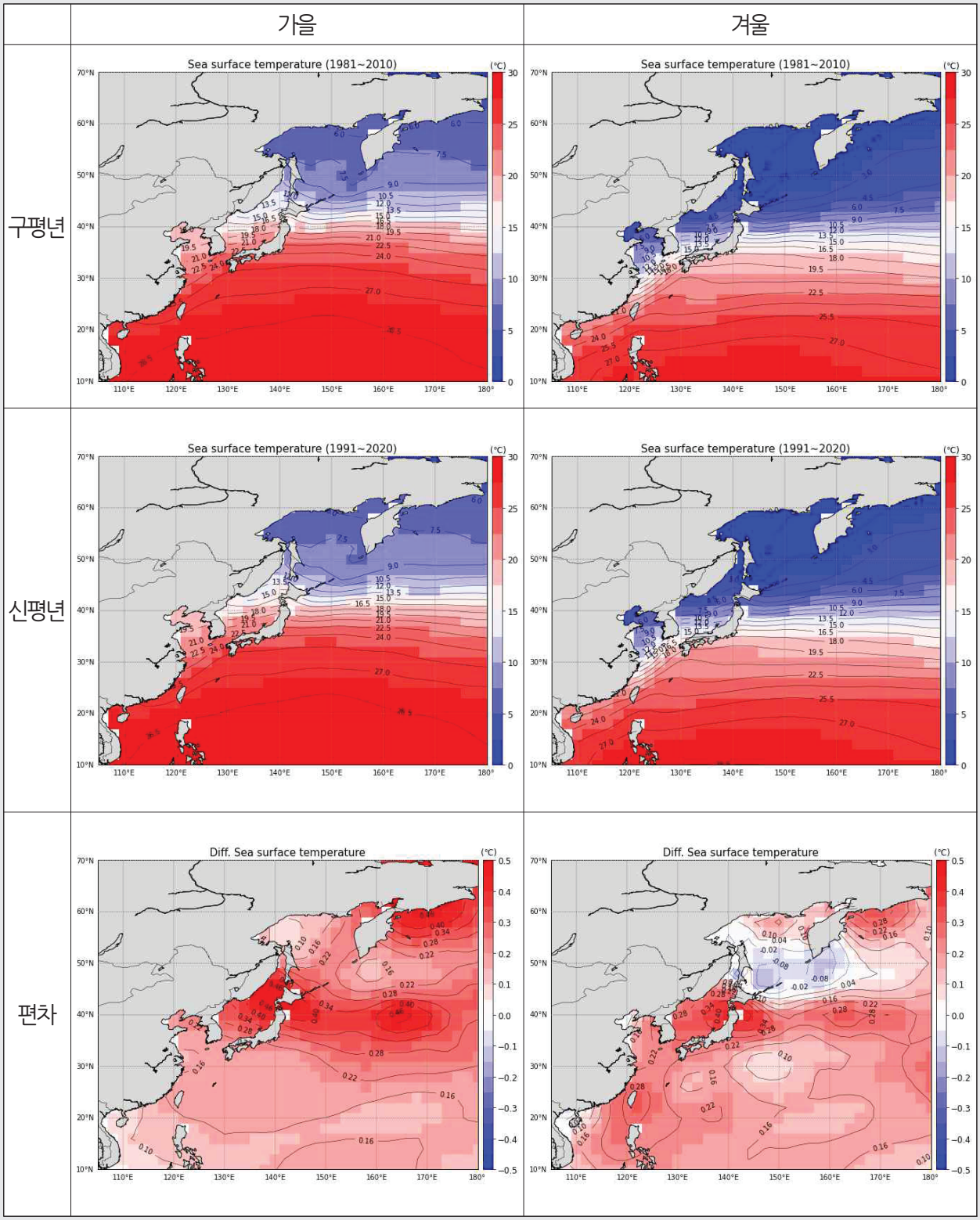
· 겨울철은 모두 전체 영역에서 다른 계절보다 낮은 수온이 분포하였다. 두 공간분포도 모두 전반적인 분포 양상은 유사하였지만 신평년 수온 상승에 의한 크기별 분포 범위에서 차이가 나타났다.

지역적으로 발생한 변동을 분석하기 위해 편차 분포도를 산출한 결과 분포 양상이 봄철과 유사하였다. 오호츠크해와 캄차카반도 남쪽을 제외한 대부분 지역에서 수온이 상승하였다. 우리나라 주변 해역에서는 전반적으로 약 0.2~0.4℃ 상승하였으며, 일본 동해 및 동쪽 태평양 지역에서는 약 0.2~0.35℃ 상승하였다. 우리나라와 일본 기준 남쪽 지역에서는 전체적으로 수온이 상승하였으며 공간적으로 다른 상승 폭을 나타내었지만 전반적으로 약 0.1~0.2℃ 상승하였다.

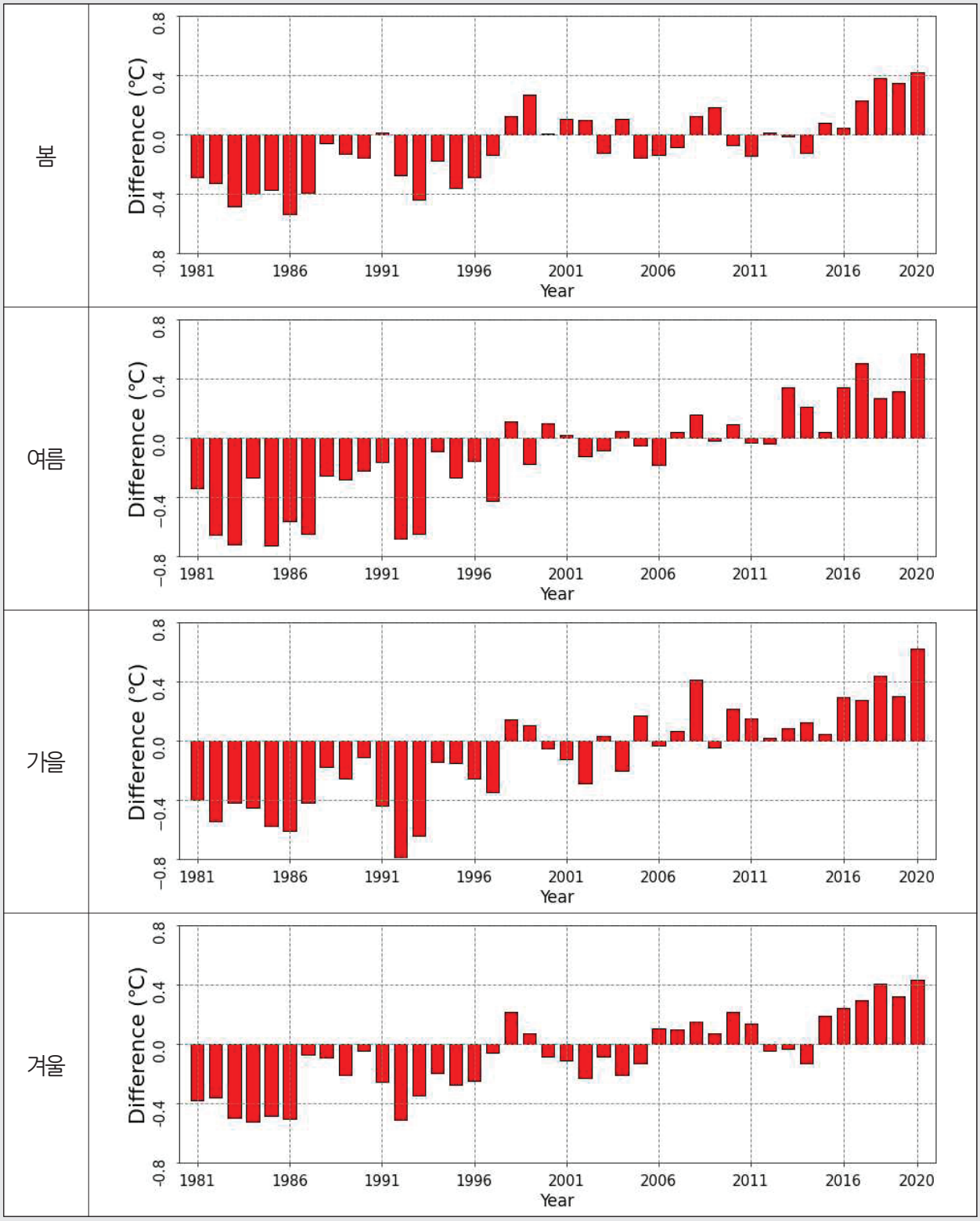
신평년 값 기준 계절별/연별 편차 산출결과 1981년 이후부터 1995년까지 1991년 봄철을 제외한 모든 해에서 음의 편차가 산출되었으나, 1995년 이후에는 연별 평균값의 우세로 양의 편차가 산출되었다. 2015년 이후에는 신평년 평균값 보다 연 평균값의 우세가 지속되어 양의 편차가 산출되었으며 상승하는 추세를 나타내었다.



<그림 2-2-60> 구/신평년 동아시아 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (봄, 여름)



<그림 2-2-61> 구/신평년 동아시아 표층 수온 평균 및 편차 공간분포도 (가을, 겨울)

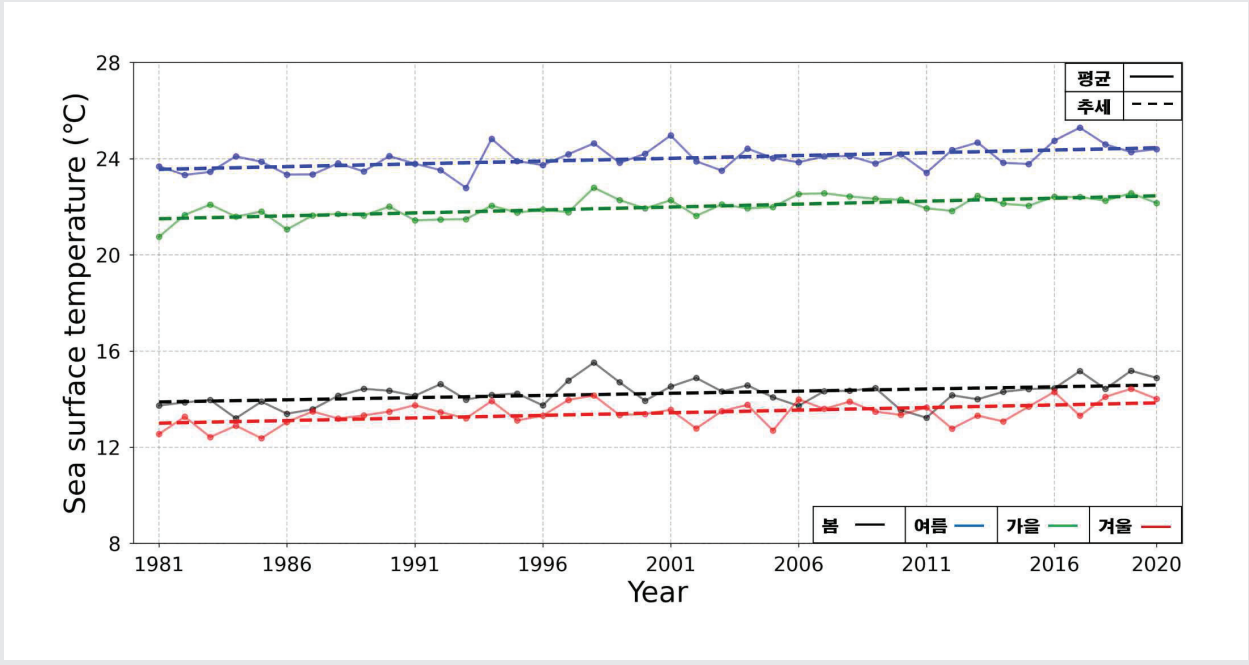


<그림 2-2-62> 계절별/연별 동아시아 표층 수온 편차 시계열

다. 한반도 연근해

한반도 연근해에서의 계절별 표층 수온의 변동 양상을 이해하기 위해 연별 평균값 시계열 자료를 산출하였다. 또한 계절별 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 공간분포도를 산출해 각 평년 기간 풍속의 공간적인 분포 양상을 비교하였다. 또한 계절별로 신평년 값에서 구평년 값을 뺀 편차 분포도와 연별 수온 평균값에서 신평년 값을 뺀 편차 시계열을 산출해 변동 양상을 파악하였다.

아래 시계열 그래프는 1981년부터 2020년까지 계절별로 연별 수온 평균값과 추세선을 나타내고 있다. 전 지구에서는 사계절 모두 1981년 이후 상승 및 하락을 반복하며 장기적으로 상승하는 변동 특성을 나타내었다. 계절별 변화율은 봄 0.0180℃/year, 여름 0.0230℃/year, 가을 0.0245℃/year, 겨울 0.0216℃/year로 사계절 변화율이 유사하였으며 그 중 가을철 변화율이 가장 높았다. 구평년 및 신평년 평균값을 산출한 결과 여름철 평년값(구평년 : 23.89℃, 신평년 : 24.12℃)이 봄과 가을, 겨울보다 크게 산출되었다. 편차는 봄 0.19℃, 여름 0.23℃, 가을 0.20℃, 겨울 0.22℃가 산출되어 사계절 편차가 유사하였으며, 여름철이 가장 커 가장 높은 상승 폭을 나타내었다. 계절별 변화율과 평년값, 편차를 분석한 결과 변화율은 가을철이 가장 높았으며 평년값과 편차는 여름철이 가장 컸다.



<그림 2-2-63> 계절별/연별 한반도 연근해 표층 수온 평균 및 추세 (1981~2020년)

<표 2-2-15> 계절별 한반도 연근해 표층 수온 변화율, 구/신평년값, 편차

	변화율	구평년	신평년	편차
봄	0.0180	14.17	14.36	0.19
여름	0.0230	23.89	24.12	0.23
가을	0.0245	21.90	22.10	0.20
겨울	0.0216	13.34	13.56	0.22

한반도 연근해에서의 계절별 구/신평년 수온 공간분포도를 산출하여 두 평년 기간에 공간적으로 나타난 분포 특징을 비교 분석하였다. 또한 신평년 평균값에서 구평년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출해 구/신평년 간 공간적으로 발생한 차이를 정량적으로 분석해 지역별 변동 양상을 파악하였다.

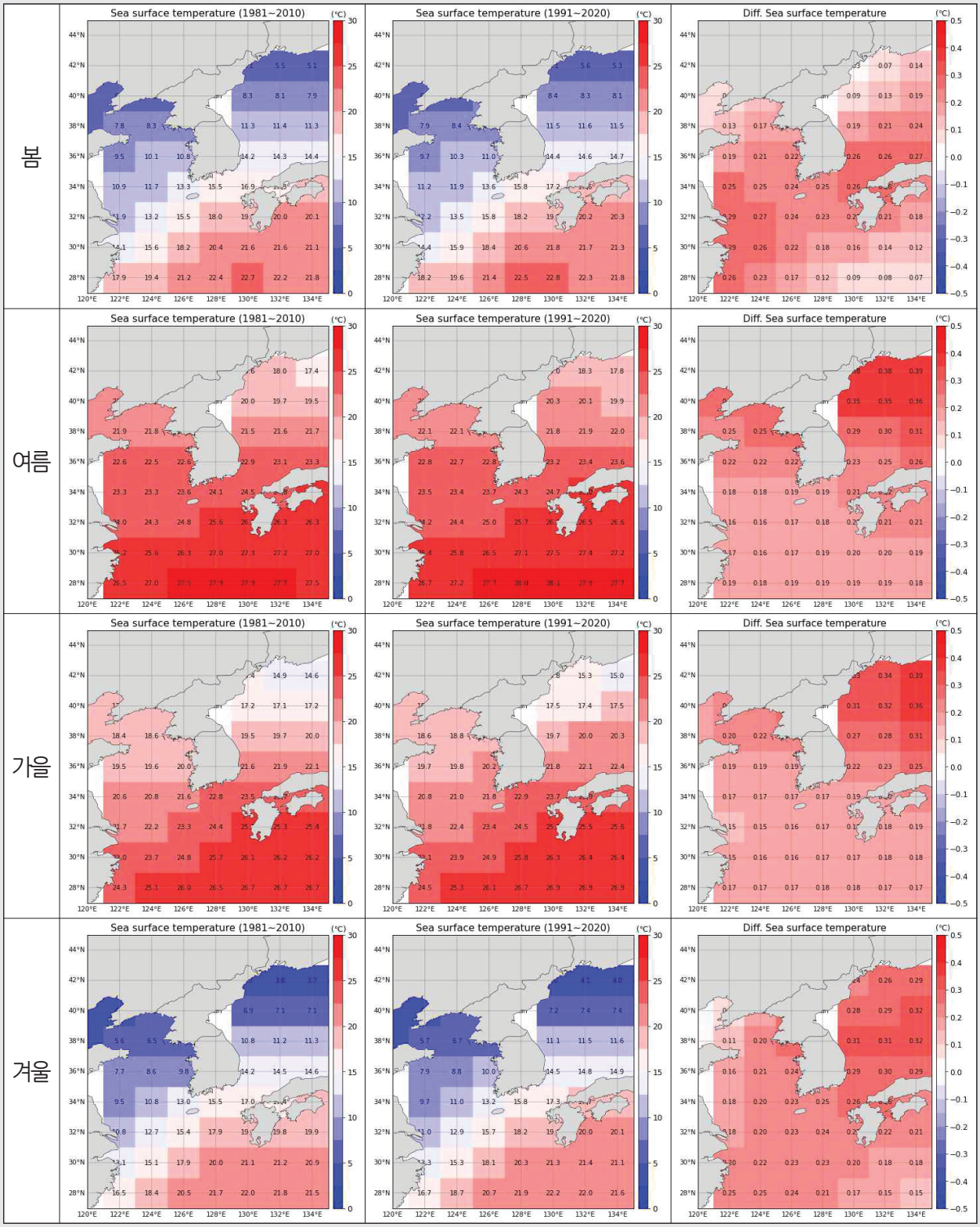
· 봄철은 수온 상승으로 인해 구평년보다 신평년에 더 높은 수온이 분포하여 공간적으로 차이가 나타났다. 해역별로 살펴보면, 우리나라 동해, 남해, 서해 그리고 동중국해, 일본 남해에서 수온이 상승하여 한반도 연근해 전체에서 수온이 상승한 결과를 나타내었다. 편차 분포도를 보면, 동해에서는 전체적으로 약 0~0.3℃ 상승하였으며, 포항 동쪽에서 큰 상승 폭을 나타내었다. 남해에서도 전체적으로 수온이 상승하였으며, 제주도 주변에서 약 0.23~0.26℃ 상승하였다. 서해에서는 약 0.13~0.25℃ 상승하여 동해와 남해보다 상승 폭이 낮은 양상을 보였다. 동중국해와 일본 남해에서도 수온이 상승하였으며, 특히 동중국해에서의 수온 상승 폭이 약 0.23~0.3℃를 나타내어 일본 남해보다 수온 상승 폭이 크게 나타났다. 구/신평년 공간분포도, 편차 분포도를 분석한 결과 우리나라 동해와 동중국해에서의 수온 상승 폭이 다른 지역보다 큰 양상이 나타났다.

· 여름철은 봄철과 마찬가지로 구평년 보다 신평년에 더 높은 수온이 분포하였다. 해역별로 살펴보면, 우리나라 동해, 남해, 서해 그리고 동중국해와 일본 남해에서 수온이 상승하여 전체적으로 상승한 결과를 나타내었다. 편차 분포도를 살펴보면 동해에서 수온이 공간적으로 약 0.2~0.4℃ 상승하여 다른 지역보다 큰 상승 폭을 나타내었다. 서해 중앙부와 북쪽 지역에서는 약 0.2℃ 이상 상승하였다. 남해, 동중국해, 일본 남해에서 약 0.2℃ 상승하여 동해, 서해, 남해 순으로 상승 폭이 큰 특징을 보였다. 여름철 구/신평년 평균 공간분포도와 편차 분포도를 분석한 결과 전체 영역에서 수온이 상승하였으며 특히 동해에서의 상승 폭이 다른 지역보다 큰 양상을 보였다.

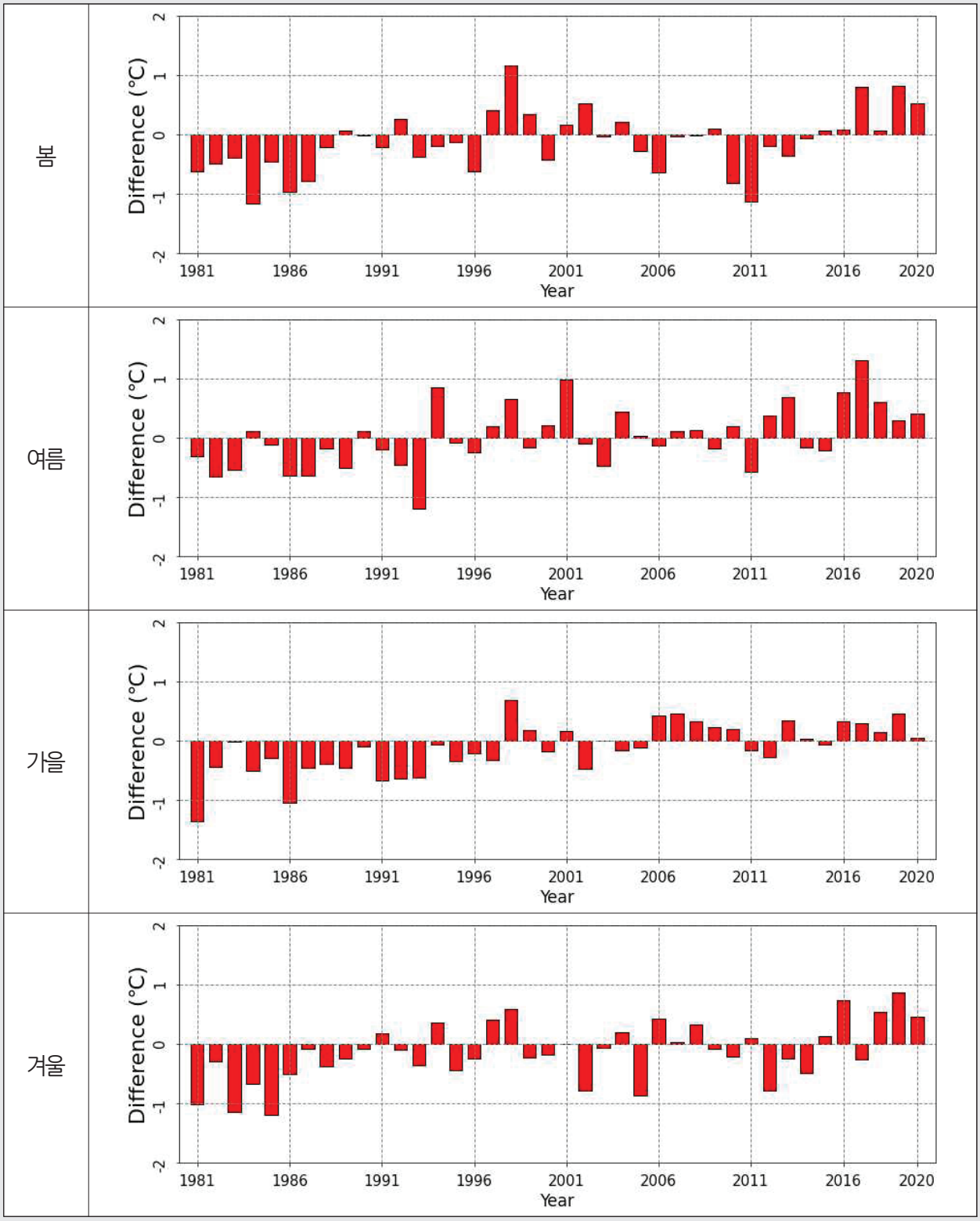
· 가을철은 봄, 여름과 같이 수온 상승으로 인해 구평년보다 신평년에 더 높은 수온이 분포하였다. 공간분포도를 이용해 해역별 살펴보면 우리나라 주변 해역을 포함한 전체 지역에서 수온이 상승하였으며 편차 분포도를 살펴본 결과 해역별 상승 양상이 여름철과 유사하였다. 동해는 수온이 전반적으로 약 0.2~0.4℃ 상승하였고 남해와 서해에서는 약 0.15~0.2℃ 상승하였다. 동중국해와 일본 남해에서는 약 0.15~0.2℃ 상승하였고 일본 남해의 상승 폭이 동중국해 보다 크게 나타나 여름철과는 다른 양상을 보였다. 해역별로 수온 상승 폭을 비교 분석한 결과 한반도 연근해 전체 영역에서 수온이 상승하였으며 그 중 동해 수온 상승 폭이 다른 지역보다 큰 양상을 보였다.

· 겨울철에는 신평년 수온 평균 공간분포도가 구평년 수온 평균 공간분포도 보다 높은 양상을 보였다. 공간분포도를 이용해 해역별로 살펴보면 우리나라 주변 해역을 포함 전체 지역에서 수온이 상승하였으며 편차 분포도를 산출한 결과 여름, 가을철과 같이 동해에서의 상승 폭이 다른 지역보다 큰 양상을 나타내었다. 동해에서는 수온이 전반적으로 약 0.25~0.32℃ 상승하였고 남해와 서해에서는 약 0.2~0.26℃ 상승하였다. 동중국해에서는 약 0.18~0.25℃, 일본 남해에서는 약 0.15~0.22℃ 상승하여 동중국해에서 상승 폭이 일본 남해보다 크게 나타났다. 해역별로 분석한 결과 한반도 연근해에서 수온이 상승하였으며 여름, 가을철과 마찬가지로 동해에서의 수온 상승 폭이 다른 지역보다 큰 양상을 보였다.

신평년 값 기준 계절별/연별 편차 산출결과 사계절 모두 1981년에서 1990년까지 신평년 평균값의 우세로 음수가 산출되었으나 점차 편차가 감소하여 1990년대 이후부터 비주기적으로 양수가 산출되었다. 사계절 모두 0을 기준으로 증가 및 감소하는 변동성을 나타내었으나 전반적인 양상을 살펴보면 양의 편차가 산출되는 빈도가 증가하는 양상을 보였으며 장기적으로 상승하는 추세를 나타내었다.



<그림 2-2-64> 계절별/연별 한반도 연근해 표층 수온 구/신평년 평균 및 편차 분포도



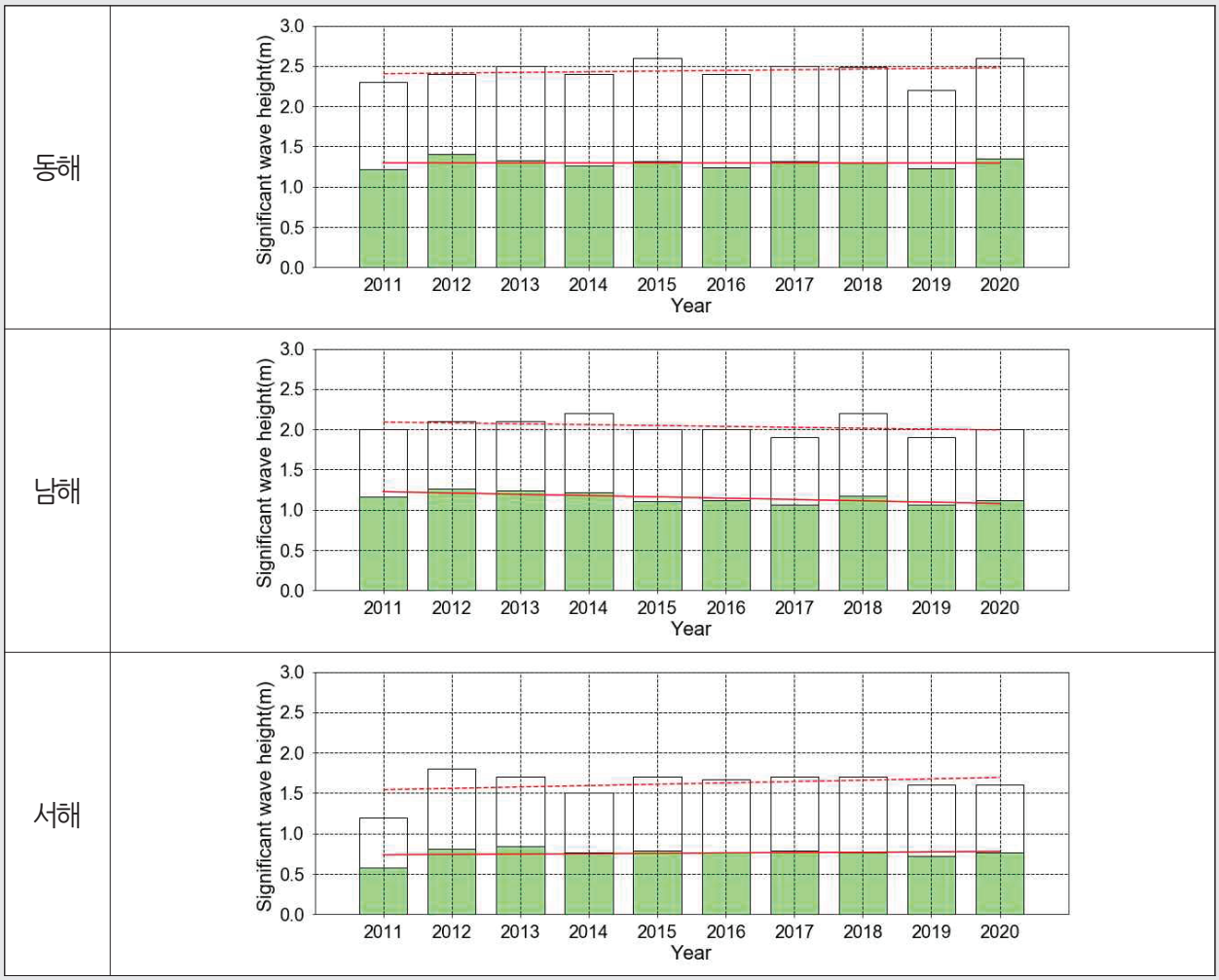
<그림 2-2-65> 계절별/연별 한반도 연근해 표층 수온 편차 시계열

제3절 관측자료 기반 한반도 주변 해양기후 변화

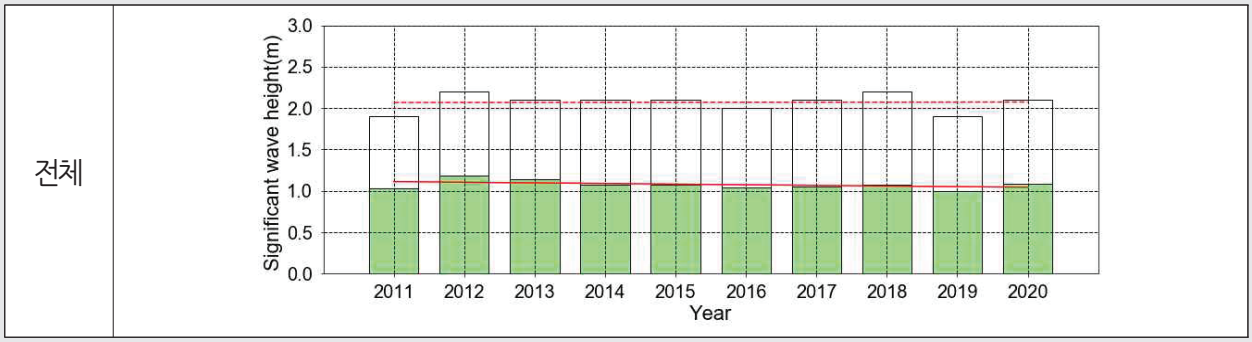
1. 연평균 해양기후 변화

가. 평균/극한 유의파고

해역별로 연별 유의파고와 극한 유의파고의 통계값을 산출한 결과 아래 그림과 같다. 그래프에서 녹색 막대그래프는 평균 유의파고, 흰색 막대그래프는 극한값을 의미하며 빨간 선은 추세선을 의미한다. 유의파고는 서해에서 상승 추세를 보이고 나머지 해역에서는 하락 추세를 나타내었다. 반면 극한 유의파고는 동해와 서해에서 상승 추세를 보이는 반면 남해에서는 하락 추세를 나타내었다.



<그림 2-3-1> 해역별 유의파고, 극한 유의파고 추세 그래프



<그림 2-3-2> 전체 해역 유의파고, 극한 유의파고 추세 그래프

<표 2-3-1> 연/해역별 유의파고 평균/극한값

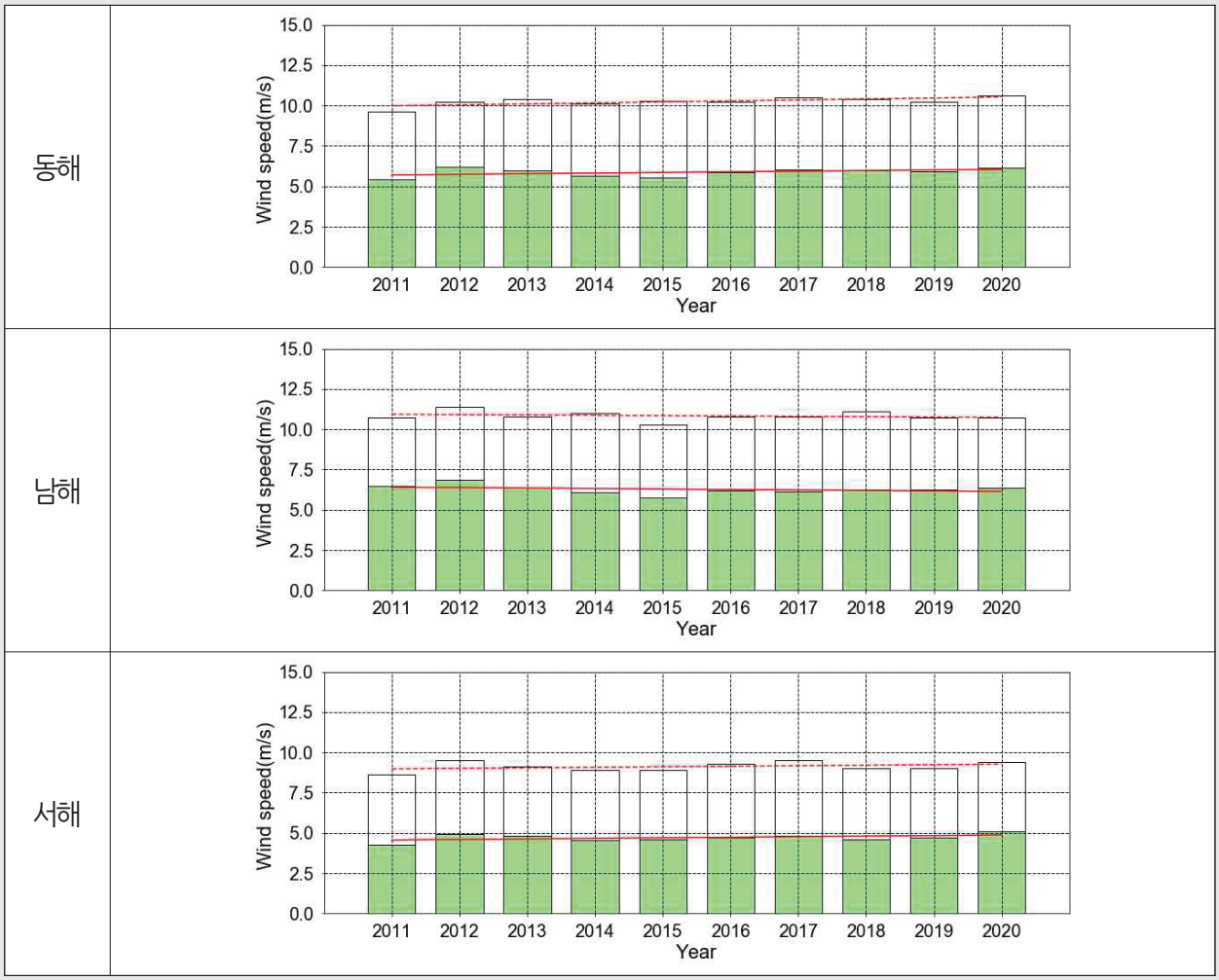
연도	동해		남해		서해		전체 해역	
	평균	극한	평균	극한	평균	극한	평균	극한
2011	1.21	2.30	1.17	2.00	0.57	1.20	1.03	1.90
2012	1.40	2.40	1.26	2.10	0.81	1.80	1.18	2.20
2013	1.33	2.50	1.24	2.10	0.84	1.70	1.14	2.10
2014	1.26	2.40	1.22	2.20	0.76	1.50	1.07	2.10
2015	1.31	2.60	1.11	2.00	0.79	1.70	1.08	2.10
2016	1.24	2.40	1.11	2.00	0.77	1.67	1.04	2.00
2017	1.32	2.50	1.06	1.90	0.78	1.70	1.06	2.10
2018	1.30	2.49	1.17	2.20	0.76	1.70	1.08	2.20
2019	1.22	2.20	1.06	1.90	0.72	1.60	1.00	1.90
2020	1.35	2.60	1.12	2.00	0.77	1.60	1.08	2.10

<표 2-3-2> 해역별 평균 유의파고, 극한 유의파고 추세

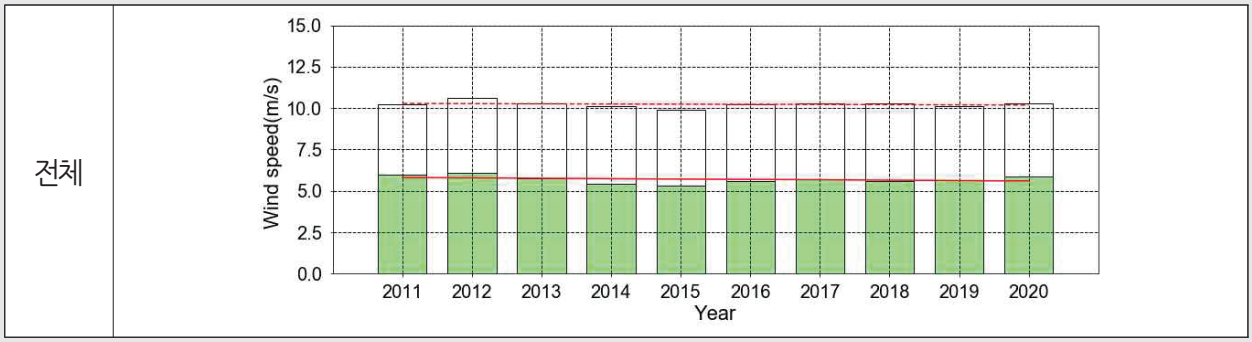
	동해		남해		서해		전체	
	평균	극한	평균	극한	평균	극한	평균	극한
변화율	−0.0004	0.0082	−0.0163	−0.0109	0.0046	0.0168	−0.0076	0.0006

나. 평균/극한 풍속

연별 풍속과 극한 풍속의 통계값을 산출한 결과 아래 그림과 같다. 평균 풍속은 동해와 서해에서 증가 추세를 나타내고 있는 반면 남해에서는 감소 추세를 나타내었다. 극한 풍속은 평균 풍속과 마찬가지로 동해와 서해에서 증가 추세를 나타내며, 남해에서는 감소 추세를 나타내었다. 유의파고, 극한 유의파고 추세 분석 결과에서 평균 유의파고는 서해에서 상승 추세, 극한 유의파고는 동해와 서해에서 상승 추세를 나타내었는데, 극한 유의파고의 해역별 추세가 극한 풍속의 추세와 일치하는 경향을 보였다.



<그림 2-3-3> 해역별 풍속, 극한 풍속 추세 그래프



<그림 2-3-4> 전체 해역 풍속, 극한 풍속 추세 그래프

<표 2-3-3> 연/해역별 풍속 평균/극한값

연도	동해		남해		서해		전체 해역	
	평균	극한	평균	극한	평균	극한	평균	극한
2011	5.42	9.60	6.45	10.70	4.29	8.60	5.97	10.20
2012	6.17	10.20	6.84	11.40	4.93	9.50	6.11	10.60
2013	5.99	10.40	6.37	10.80	4.80	9.10	5.76	10.30
2014	5.67	10.10	6.09	11.00	4.55	8.90	5.43	10.10
2015	5.56	10.30	5.77	10.30	4.60	8.90	5.33	9.90
2016	5.85	10.20	6.20	10.80	4.69	9.30	5.58	10.20
2017	6.01	10.50	6.16	10.80	4.84	9.50	5.67	10.30
2018	5.98	10.40	6.23	11.10	4.62	9.00	5.62	10.30
2019	5.94	10.20	6.27	10.70	4.72	9.00	5.66	10.10
2020	6.15	10.60	6.36	10.70	5.09	9.40	5.88	10.30

<표 2-3-4> 해역별 평균 풍속, 극한 풍속 추세

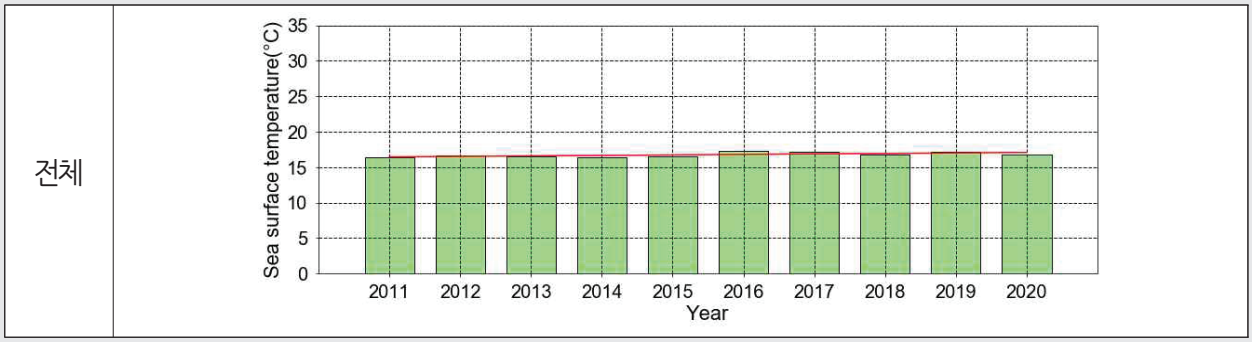
	동해		남해		서해		전체	
	평균	극한	평균	극한	평균	극한	평균	극한
변화율	0.0381	0.0612	−0.0292	−0.0212	0.0354	0.0327	−0.0226	−0.0103

다. 표층 수온

해역별 연별 표층 수온의 평균값과 추세를 도시한 결과 아래 그림과 같다. 표층 수온은 유의파고, 풍속과 달리 모든 해역에서 상승하는 변동 양상을 보였으며 상승 추세를 나타내었다. 동해에서 2011년에 대한 통계값이 없는 이유는 겨울철 기간 자료가 결측되었기 때문에 통계 분석에서 제외하였기 때문이다. 해역별 수온 변화율은 동해, 남해, 서해, 전체 해역 순서로 0.0687, 0.1194, 0.2132, 0.0699℃/year를 나타내어 서해에서의 수온 상승률이 가장 높은 특징을 나타내었다.



<그림 2-3-5> 해역별 표층 수온 추세 그래프



<그림 2-3-6> 전체 해역 표층 수온 추세 그래프

<표 2-3-5> 연/해역별 표층 수온 평균값

연도	동해	남해	서해	전체 해역
2011		17.71	11.71	16.33
2012	17.37	18.60	13.10	16.71
2013	17.42	18.44	13.08	16.57
2014	17.02	18.30	13.93	16.37
2015	17.02	18.26	13.89	16.51
2016	18.19	19.29	14.45	17.30
2017	18.00	19.30	14.04	17.12
2018	17.23	19.00	13.97	16.73
2019	18.30	19.23	14.17	17.23
2020	17.40	18.66	14.20	16.78

<표 2-3-6> 해역별 표층 수온 추세

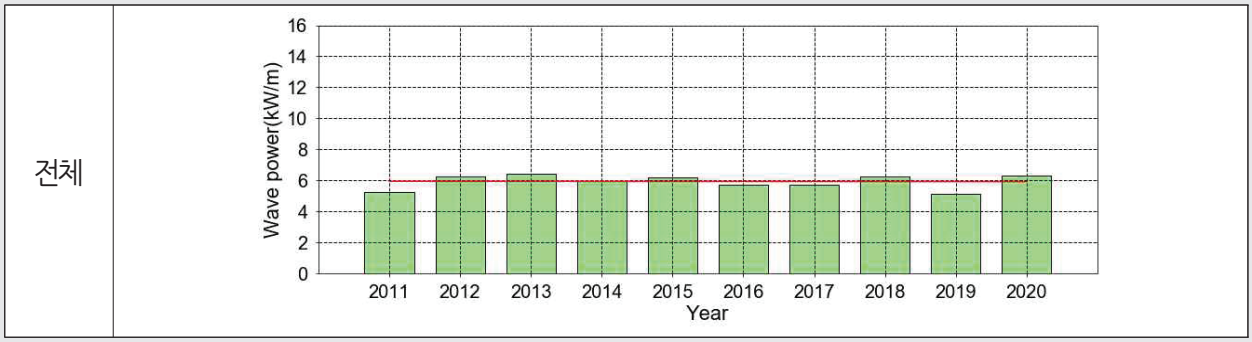
	동해	남해	서해	전체
변화율	0.0687	0.1194	0.2132	0.0699

라. 파력

해역별로 연별 파력의 평균값과 추세를 산출한 결과 아래 그림과 같다. 해역별로 연도별 파력의 평균값을 비교한 결과 동해, 남해, 서해 순으로 파력이 컸다. 특히 동해에서의 파력이 다른 해역보다 클 뿐만 아니라 증가 추세를 나타내었다. 전 해역에서 뚜렷한 증감 추세가 나타나지 않았다. 해역별 파력 변화율은 동해, 남해, 서해, 전체 순으로 0.1055, −0.1244, 0.0452, −0.0019 kWm^{-1}/year를 나타내었다.



<그림 2-3-7> 해역별 파력 추세 그래프



<그림 2-3-8> 전체 해역 표층 수온 추세 그래프

<표 2-3-7> 연/해역별 파력 평균값

연도	동해	남해	서해	전체 해역
2011	7.36	6.35	1.48	5.24
2012	7.50	7.44	3.51	6.28
2013	8.85	6.55	3.86	6.42
2014	8.00	7.23	2.91	5.97
2015	9.56	5.59	3.18	6.21
2016	8.23	5.58	3.36	5.75
2017	8.77	5.04	3.35	5.74
2018	8.44	7.12	3.17	6.24
2019	7.17	5.49	2.75	5.13
2020	9.67	6.00	3.12	6.33

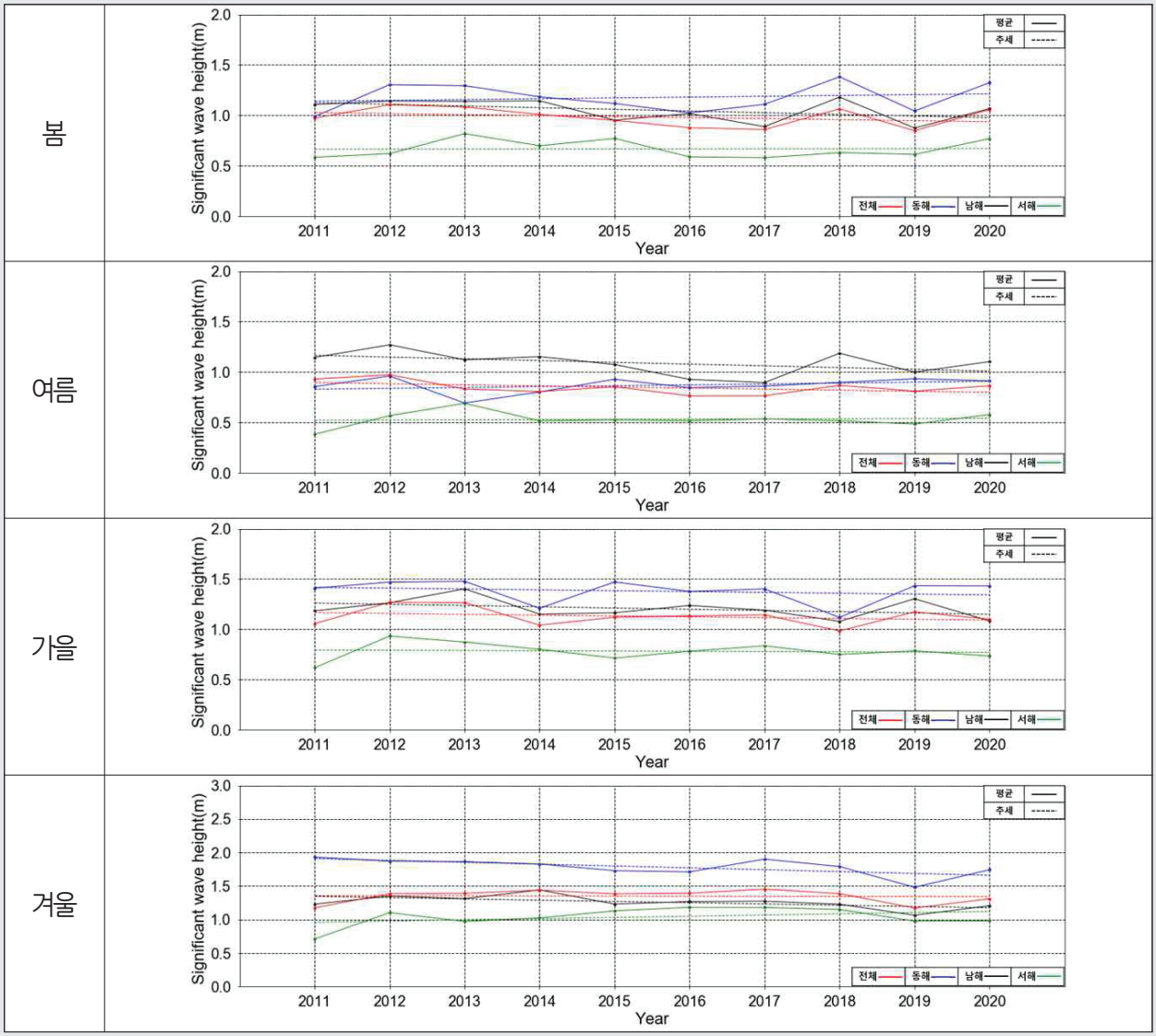
<표 2-3-8> 해역별 파력 추세

	동해	남해	서해	전체
변화율	0.1055	−0.1244	0.0452	−0.0019

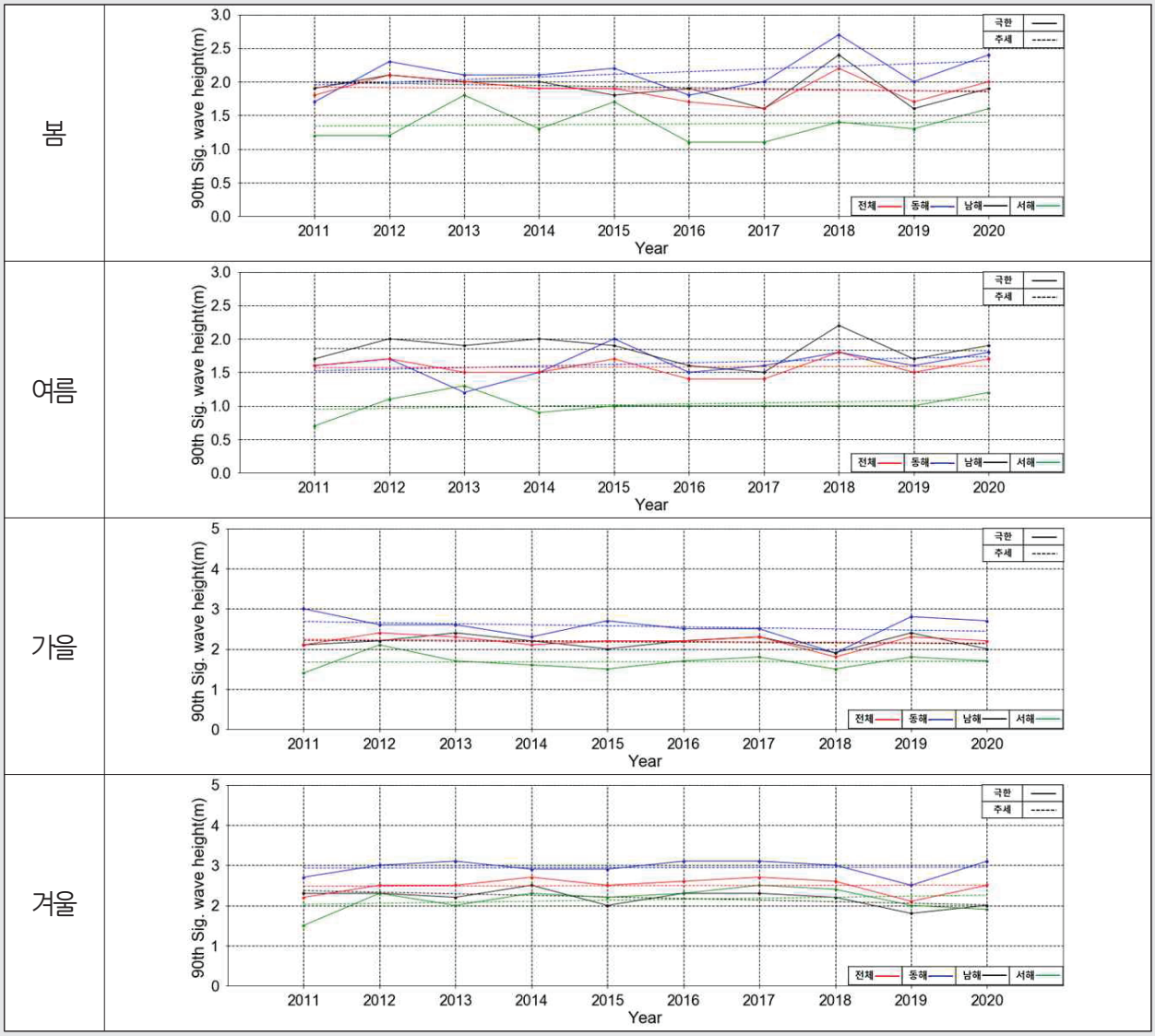
2. 계절별 해양기후 변화

가. 평균/극한 유의파고

계절별/해역별 유의파고의 평균, 극한값을 연별로 산출한 결과 아래 그림과 같다. 유의파고는 봄/여름철 동해와 서해에서 상승 추세를 나타내었으며, 가을철에는 동해-남해-서해 모두 감소 추세를 나타내었다. 극한 유의파고는 봄/여름철에는 동해와 서해에서 상승 추세를 나타내었으며 가을철에 서해에서, 겨울철에는 동해와 서해에서 상승 추세를 나타내었다.



<그림 2-3-9> 계절별/연별 유의파고 추세 그래프



<그림 2-3-10> 계절별/연별 극한 유의파고 추세 그래프

<표 2-3-9> 해역/계절별 유의파고 평균 및 극한 추세

		동해	남해	서해	전체
봄	평균	0.0079	-0.0163	0.0004	-0.0096
	극한	0.0394	-0.0158	0.0067	-0.0067
여름	평균	0.0084	-0.0175	0.0027	-0.0102
	극한	0.0236	-0.0036	0.0158	0.0024
가을	평균	-0.0086	-0.0122	-0.0019	-0.0090
	극한	-0.0267	-0.0091	0.0024	-0.0103
겨울	평균	-0.0279	-0.0187	0.0181	-0.0015
	극한	0.0024	-0.0394	0.0255	0.0030

<표 2-3-10> 해역 및 연/계절별 유의파고 평균값

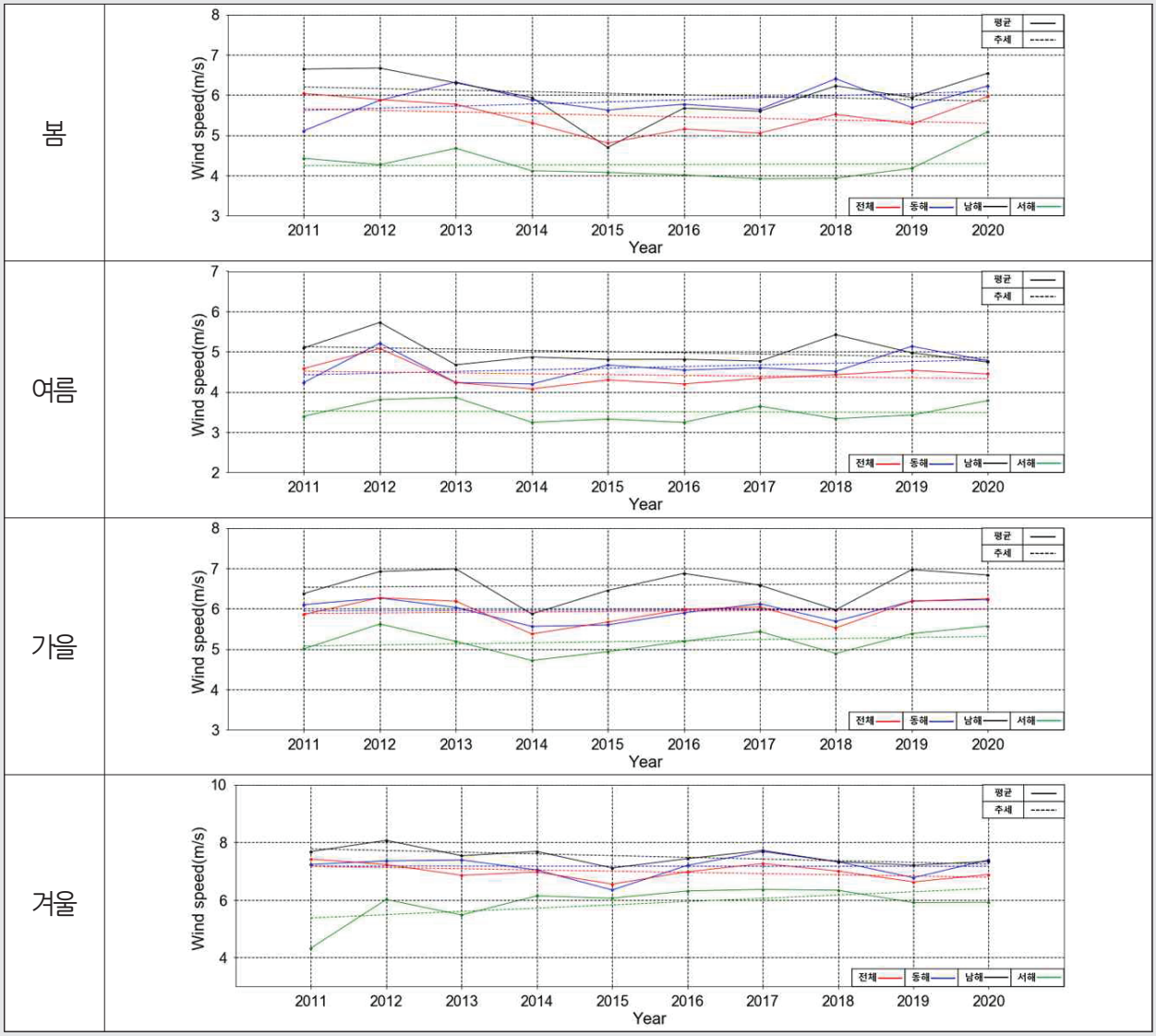
	연도	봄	여름	가을	겨울
동해	2011	0.99	0.86	1.41	1.93
	2012	1.30	0.96	1.47	1.87
	2013	1.29	0.69	1.48	1.86
	2014	1.18	0.80	1.21	1.83
	2015	1.12	0.93	1.47	1.73
	2016	1.03	0.85	1.38	1.71
	2017	1.11	0.86	1.40	1.90
	2018	1.38	0.90	1.12	1.79
	2019	1.04	0.93	1.43	1.48
	2020	1.32	0.91	1.43	1.74
남해	2011	1.11	1.15	1.18	1.23
	2012	1.14	1.27	1.26	1.35
	2013	1.14	1.12	1.40	1.31
	2014	1.15	1.15	1.15	1.44
	2015	0.95	1.08	1.16	1.23
	2016	1.02	0.93	1.24	1.27
	2017	0.89	0.90	1.19	1.27
	2018	1.18	1.19	1.08	1.23
	2019	0.88	1.00	1.30	1.06
	2020	1.07	1.10	1.08	1.21
서해	2011	0.59	0.38	0.62	0.71
	2012	0.62	0.57	0.93	1.10
	2013	0.82	0.69	0.87	0.97
	2014	0.70	0.52	0.80	1.03
	2015	0.77	0.53	0.71	1.13
	2016	0.59	0.52	0.78	1.18
	2017	0.58	0.54	0.84	1.18
	2018	0.63	0.52	0.75	1.15
	2019	0.61	0.49	0.79	0.98
	2020	0.77	0.58	0.74	0.98
전체	2011	0.97	0.93	1.06	1.17
	2012	1.11	0.97	1.27	1.39
	2013	1.08	0.83	1.27	1.39
	2014	1.01	0.81	1.04	1.44
	2015	0.95	0.86	1.12	1.38
	2016	0.88	0.76	1.13	1.39
	2017	0.86	0.77	1.14	1.45
	2018	1.07	0.87	0.98	1.39
	2019	0.85	0.81	1.17	1.17
	2020	1.06	0.87	1.10	1.31

<표 2-3-11> 해역 및 연/계절별 유의파고 극한값

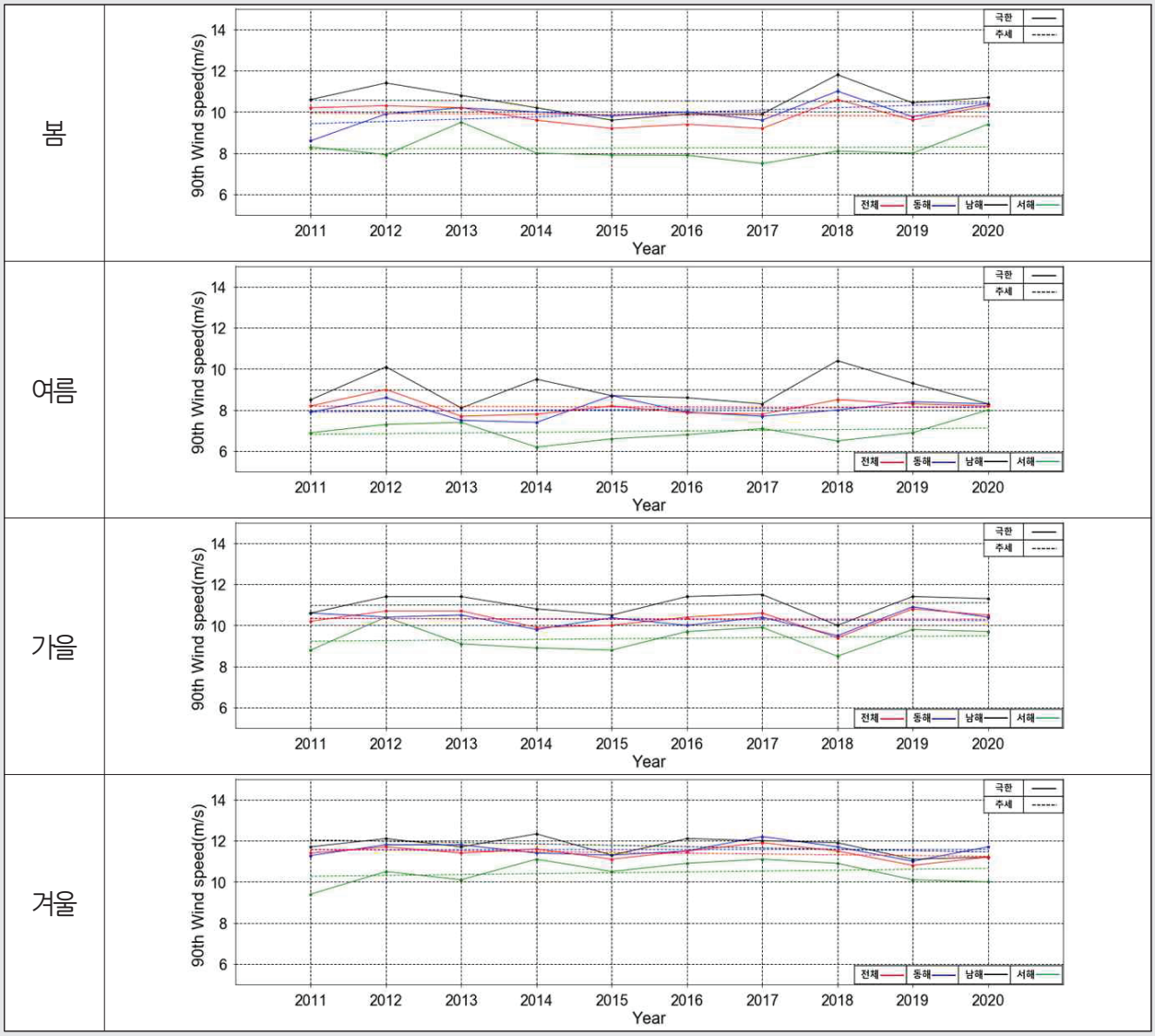
	연도	봄	여름	가을	겨울
동해	2011	1.70	1.60	3.00	2.70
	2012	2.30	1.70	2.60	3.00
	2013	2.10	1.20	2.60	3.10
	2014	2.10	1.50	2.30	2.90
	2015	2.20	2.00	2.70	2.90
	2016	1.80	1.50	2.50	3.10
	2017	2.00	1.60	2.50	3.10
	2018	2.70	1.80	1.90	3.00
	2019	2.00	1.60	2.80	2.50
	2020	2.40	1.80	2.70	3.10
남해	2011	1.90	1.70	2.10	2.30
	2012	2.10	2.00	2.20	2.30
	2013	2.00	1.90	2.40	2.20
	2014	2.00	2.00	2.20	2.50
	2015	1.80	1.90	2.00	2.00
	2016	1.90	1.60	2.20	2.30
	2017	1.60	1.50	2.30	2.30
	2018	2.40	2.20	1.90	2.20
	2019	1.60	1.70	2.40	1.80
	2020	1.90	1.90	2.00	2.00
서해	2011	1.20	0.70	1.40	1.50
	2012	1.20	1.10	2.10	2.30
	2013	1.80	1.30	1.70	2.00
	2014	1.30	0.90	1.60	2.30
	2015	1.70	1.00	1.50	2.20
	2016	1.10	1.00	1.70	2.30
	2017	1.10	1.00	1.80	2.50
	2018	1.40	1.00	1.50	2.40
	2019	1.30	1.00	1.80	2.00
	2020	1.60	1.20	1.70	1.90
전체	2011	1.80	1.60	2.10	2.20
	2012	2.10	1.70	2.40	2.50
	2013	2.00	1.50	2.30	2.50
	2014	1.90	1.50	2.10	2.70
	2015	1.90	1.70	2.20	2.50
	2016	1.70	1.40	2.20	2.60
	2017	1.60	1.40	2.30	2.70
	2018	2.20	1.80	1.80	2.60
	2019	1.70	1.50	2.30	2.10
	2020	2.00	1.70	2.20	2.50

나. 평균/극한 풍속

계절별 풍속의 연별 평균 및 극한값을 산출한 결과 아래 그림과 같다. 연별 평균, 극한값 시계열을 통해서는 뚜렷한 변동 영상을 확인할 수 없었다. 추세를 분석한 결과 평균 풍속의 경우 봄철에는 동해와 서해, 여름철에는 동해에서 상승 추세를 나타내었다. 가을철에 동해, 남해, 서해 모든 해역에서 상승 추세를 나타내었고 겨울철에는 서해에서 상승 추세를 나타내었다. 극한 풍속은 봄철에 동해와 서해, 여름철에는 모든 해역에서 상승 추세를 나타내었으며 가을철에 남해와 서해에서, 겨울철에는 동해와 서해에서 상승 추세를 나타내었다.



<그림 2-3-11> 계절별/연별 풍속 추세 그래프



<그림 2-3-12> 계절별/연별 극한 풍속 추세 그래프

<표 2-3-12> 해역/계절별 풍속 평균 및 극한 추세

		동해	남해	서해	전체
봄	평균	0.0519	-0.0392	0.0061	-0.0400
	극한	0.1108	-0.0086	0.0114	-0.0182
여름	평균	0.0410	-0.0302	-0.0044	-0.0201
	극한	0.0291	0.0024	0.0333	-0.0075
가을	평균	0.0053	0.0118	0.0262	0.0119
	극한	-0.0113	0.0139	0.0291	-0.0036
겨울	평균	-0.0008	-0.0592	0.1141	-0.0421
	극한	0.0017	-0.0648	0.0424	-0.0382

<표 2-3-13> 해역 및 연/계절별 풍속 평균값

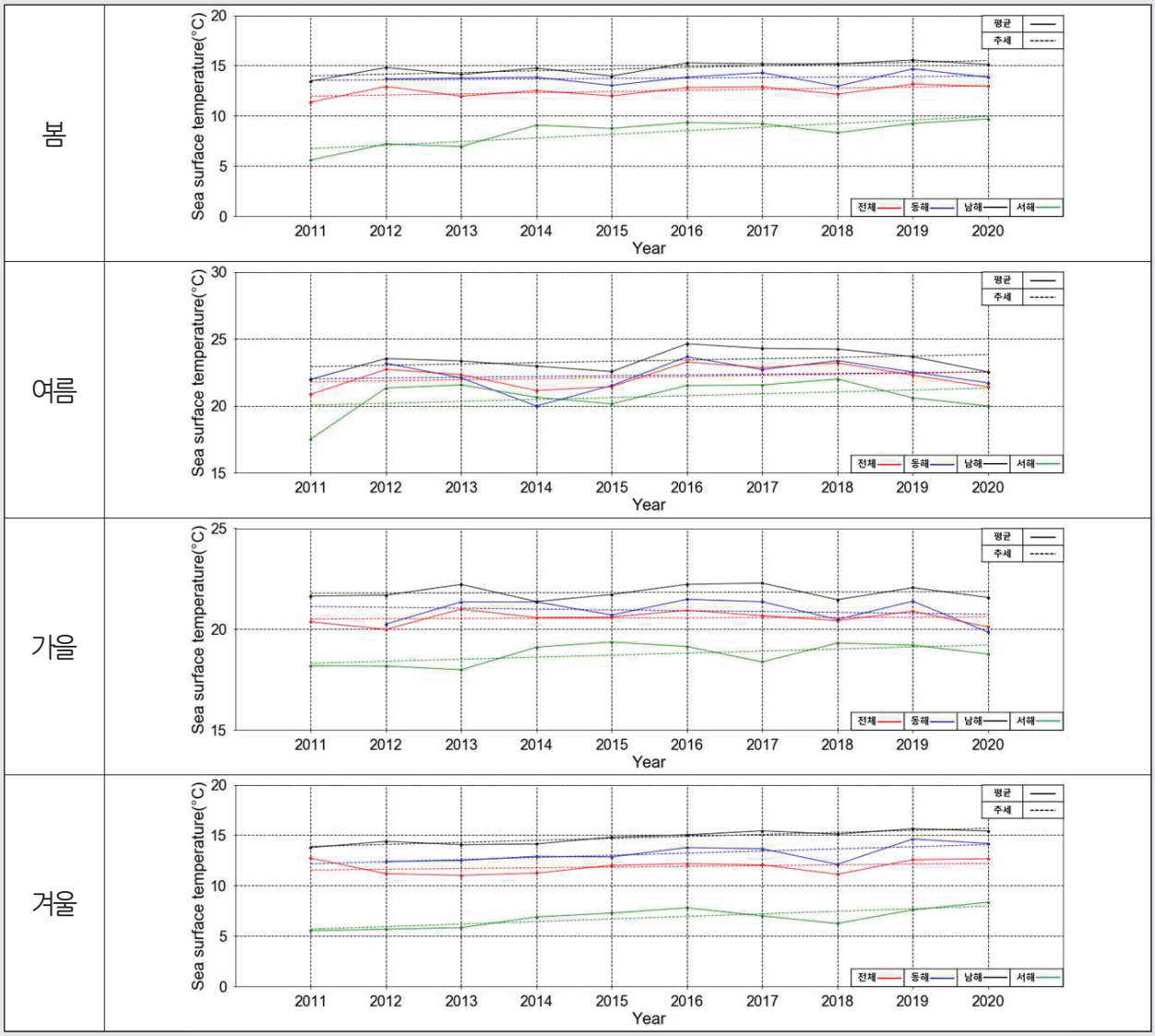
	연도	봄	여름	가을	겨울
동해	2011	5.11	4.23	6.10	7.23
	2012	5.87	5.21	6.26	7.35
	2013	6.32	4.23	6.03	7.39
	2014	5.88	4.20	5.56	7.04
	2015	5.62	4.67	5.60	6.34
	2016	5.77	4.54	5.90	7.20
	2017	5.64	4.60	6.12	7.68
	2018	6.40	4.51	5.69	7.33
	2019	5.69	5.13	6.19	6.77
	2020	6.22	4.77	6.22	7.39
남해	2011	6.64	5.09	6.37	7.68
	2012	6.67	5.72	6.92	8.07
	2013	6.30	4.67	6.99	7.53
	2014	5.94	4.87	5.87	7.68
	2015	4.70	4.81	6.45	7.11
	2016	5.67	4.81	6.87	7.43
	2017	5.60	4.76	6.58	7.72
	2018	6.22	5.42	5.97	7.32
	2019	5.94	4.97	6.97	7.20
	2020	6.54	4.74	6.83	7.34
서해	2011	4.42	3.39	5.00	4.33
	2012	4.27	3.81	5.62	6.01
	2013	4.68	3.86	5.19	5.48
	2014	4.11	3.24	4.72	6.14
	2015	4.08	3.32	4.94	6.06
	2016	4.01	3.24	5.19	6.31
	2017	3.92	3.65	5.43	6.36
	2018	3.93	3.33	4.89	6.34
	2019	4.18	3.42	5.38	5.91
	2020	5.09	3.78	5.57	5.92
전체	2011	6.04	4.58	5.86	7.42
	2012	5.88	5.08	6.27	7.22
	2013	5.77	4.23	6.18	6.85
	2014	5.31	4.07	5.37	6.97
	2015	4.80	4.30	5.67	6.55
	2016	5.15	4.20	5.98	6.98
	2017	5.05	4.34	6.04	7.26
	2018	5.52	4.43	5.52	7.00
	2019	5.28	4.53	6.19	6.63
	2020	5.96	4.45	6.25	6.88

<표 2-3-14> 해역 및 연/계절별 풍속 극한값

	연도	봄	여름	가을	겨울
동해	2011	8.60	7.90	10.60	11.28
	2012	9.90	8.60	10.40	11.80
	2013	10.20	7.50	10.50	11.80
	2014	10.00	7.40	9.80	11.40
	2015	9.80	8.70	10.37	11.30
	2016	10.00	7.90	10.00	11.50
	2017	9.60	7.70	10.40	12.20
	2018	11.00	8.00	9.50	11.70
	2019	9.77	8.40	10.90	11.00
	2020	10.40	8.30	10.40	11.70
남해	2011	10.60	8.50	10.60	11.70
	2012	11.40	10.10	11.40	12.10
	2013	10.80	8.10	11.40	11.70
	2014	10.20	9.50	10.80	12.33
	2015	9.60	8.70	10.50	11.30
	2016	9.90	8.60	11.40	12.10
	2017	9.90	8.30	11.50	12.00
	2018	11.80	10.40	10.00	11.90
	2019	10.44	9.30	11.40	11.10
	2020	10.70	8.30	11.30	11.20
서해	2011	8.30	6.90	8.80	9.40
	2012	7.93	7.30	10.40	10.50
	2013	9.50	7.40	9.10	10.10
	2014	8.00	6.20	8.90	11.10
	2015	7.91	6.60	8.80	10.50
	2016	7.90	6.80	9.70	10.90
	2017	7.50	7.10	9.90	11.10
	2018	8.10	6.50	8.50	10.90
	2019	8.00	6.90	9.80	10.10
	2020	9.40	8.00	9.70	10.00
전체	2011	10.20	8.20	10.20	11.40
	2012	10.30	9.00	10.70	11.70
	2013	10.20	7.70	10.70	11.40
	2014	9.60	7.80	9.90	11.60
	2015	9.20	8.20	10.00	11.10
	2016	9.40	7.87	10.40	11.50
	2017	9.20	7.80	10.60	11.90
	2018	10.60	8.50	9.40	11.50
	2019	9.60	8.30	10.80	10.80
	2020	10.30	8.20	10.50	11.20

다. 표층 수온

계절별 수온의 연별 평균값을 산출한 결과 아래 그림과 같다. 시계열 분석 결과 계절별/해역별로 표층 수온이 상승하는 변동 양상을 보였다. 분석결과 가을철 동해에서 감소 추세를 보이는 결과를 제외하고 모든 해역 및 계절에서 상승하는 추세를 나타내었다. 해역별로 동해와 남해에서는 겨울철 가장 높은 상승 추세를 나타내었고 서해에서는 봄에 가장 높은 상승 추세를 나타내었다. 전체 해역에서는 사계절 모두 상승 추세를 나타내었으며 봄철 변화율이 가장 높고 가을철에 가장 낮았다.



<그림 2-3-13> 계절별/연별 표층 수온 추세 그래프

<표 2-3-15> 해역/계절별 표층 수온 평균 추세

	동해	남해	서해	전체
봄	0.0475	0.1701	0.3579	0.1138
여름	0.0575	0.0993	0.1406	0.0804
가을	-0.0420	0.0090	0.1011	0.0112
겨울	0.2117	0.1987	0.2524	0.0747

<표 2-3-16> 해역 및 연/계절별 표층 수온 평균

	연도	봄	여름	가을	겨울
동해	2011				
	2012	13.68	23.18	20.25	12.39
	2013	13.76	22.08	21.35	12.51
	2014	13.85	19.99	21.35	12.91
	2015	13.03	21.52	20.70	12.85
	2016	13.85	23.66	21.48	13.78
	2017	14.29	22.70	21.36	13.66
	2018	12.96	23.37	20.48	12.11
	2019	14.67	22.53	21.39	14.62
	2020	13.84	21.72	19.86	14.18
남해	2011	13.45	21.98	21.64	13.78
	2012	14.81	23.53	21.69	14.39
	2013	14.13	23.35	22.22	14.06
	2014	14.75	22.96	21.37	14.14
	2015	13.96	22.56	21.72	14.81
	2016	15.27	24.63	22.22	15.05
	2017	15.18	24.29	22.28	15.43
	2018	15.18	24.23	21.46	15.11
	2019	15.55	23.67	22.06	15.64
	2020	15.12	22.53	21.58	15.41
서해	2011	5.60	17.52	18.19	5.54
	2012	7.21	21.34	18.17	5.67
	2013	6.95	21.56	17.99	5.84
	2014	9.07	20.64	19.11	6.90
	2015	8.75	20.15	19.37	7.28
	2016	9.33	21.51	19.14	7.81
	2017	9.22	21.55	18.38	6.99
	2018	8.32	21.99	19.31	6.25
	2019	9.25	20.60	19.21	7.60
	2020	9.70	19.98	18.77	8.35
전체	2011	11.37	20.86	20.37	12.72
	2012	12.92	22.72	19.99	11.18
	2013	11.96	22.33	20.99	11.02
	2014	12.51	21.14	20.58	11.25
	2015	11.98	21.43	20.60	12.02
	2016	12.82	23.27	20.94	12.18
	2017	12.90	22.85	20.67	12.06
	2018	12.15	23.20	20.43	11.13
	2019	13.16	22.29	20.90	12.57
	2020	12.94	21.41	20.11	12.66

제3장

종합 분석

제1절 전 지구 및 지역 해양기후 변화

제2절 한반도 주변 해양기후 변화

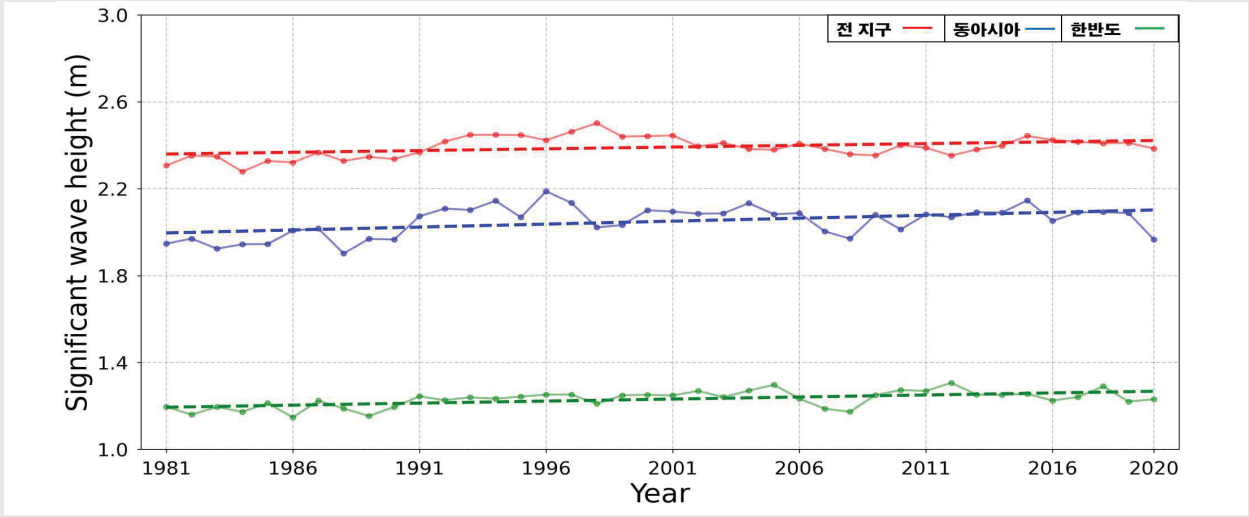
제3절 결 론

제3장 종합 분석

제1절 전 지구 및 지역 해양기후 변화

1. 평균 유의파고

전 지구 유의파고 장기 변화를 분석한 결과 상승하는 추세가 나타났으며, 이러한 양상은 동아시아, 한반도 연근해에서도 나타났다. 사계절 모두 상승한 추세를 나타내었으며 구/신평년 기간 평균값을 산출한 결과 연별, 계절별 모두 신평년 평균값이 구평년 평균값보다 높았다. 구/신평년 유의파고의 공간적인 분포 양상을 살펴보면 우리나라 주변 동해와 남해에서 높은 유의파고가 분포하였으며, 구평년 대비 신평년에 각 해역에서 전체적으로 상승한 양상을 보였다.



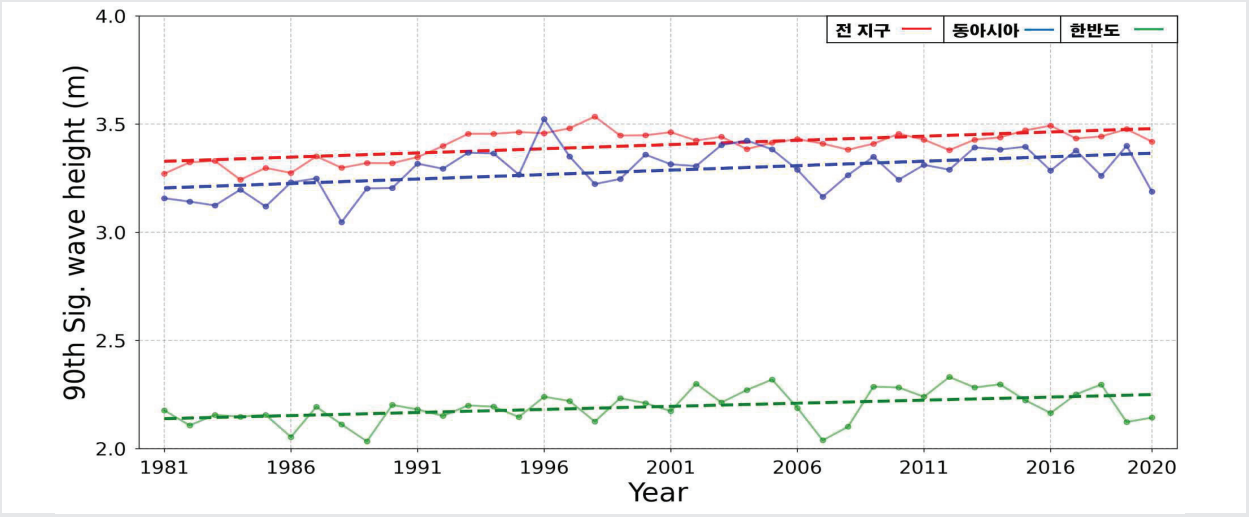
<그림 3-1-1> 연별 분석 영역별 유의파고 추세 (1981~2020년)

<표 3-1-1> 연/계절별 유의파고 추세 및 구/신평년값

		전 지구	동아시아	한반도 연근해
유의파고	연평균	0.0016 (2.35 → 2.39)	0.0027 (2.04 → 2.08)	0.0019 (1.22 → 1.25)
	봄	0.0025 (2.39 → 2.43)	0.0018 (1.96 → 2.00)	0.002 (1.11 → 1.12)
	여름	0.0031 (2.34 → 2.39)	0.0021 (1.45 → 1.49)	0.001 (1.01 → 1.03)
	가을	0.0028 (2.32 → 2.36)	0.0014 (2.08 → 2.12)	0.0028 (1.27 → 1.31)
	겨울	0.0027 (2.37 → 2.41)	0.0051 (2.73 → 2.79)	0.0047 (1.53 → 1.58)

2. 극한 유의파고

극한 유의파고의 장기 변화를 분석한 결과 유의파고와 같이 전 지구, 동아시아, 한반도 연근해 영역 모두 상승하는 추세가 나타났다. 각 분석 영역에서 계절별 변화율 및 평년값을 산출한 결과 사계절 모두 상승 추세가 나타났으며, 신평년 값이 구평년 값보다 높았다. 또한 구/신평년 공간분포도와 편차 공간분포도에서 주목할 만한 점은 각 분석 영역에서의 분석 기간별 변화율의 크기로, 유의파고의 연/계절별 변화율보다 높게 산출되어 극한 유의파고가 평균 유의파고 보다 가파른 상승 추세를 나타내었다.



<그림 3-1-2> 연별 분석 영역별 극한 유의파고 추세 (1981~2020년)

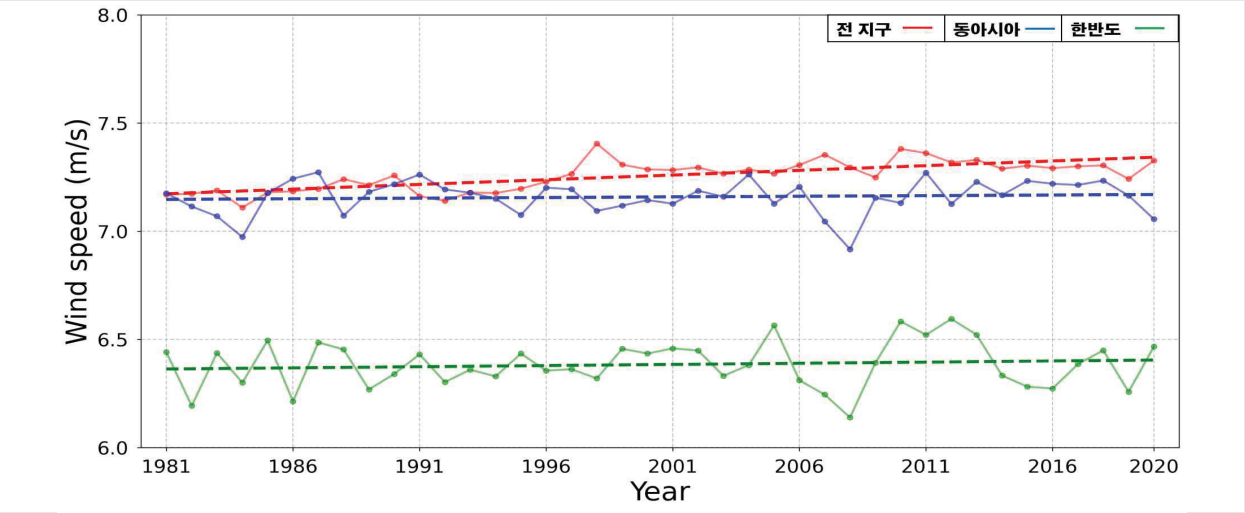
<표 3-1-2> 연/계절별 극한 유의파고 추세 및 구/신평년값

		전 지구	동아시아	한반도 연근해
극한 유의파고	연평균	0.0039 (3.38 → 3.43)	0.0041 (3.28 → 3.33)	0.0028 (2.18 → 2.21)
	봄	0.0036 (3.33 → 3.36)	0.0019 (2.98 → 2.99)	0.0032 (1.89 → 1.91)
	여름	0.0041 (3.21 → 3.25)	0.0025 (2.11 → 2.16)	0.0014 (1.69 → 1.72)
	가을	0.004 (3,27 → 3.31)	0.0003 (3.21 → 3.24)	0.0034 (2.25 → 2.30)
	겨울	0.0029 (3.28 → 3.32)	0.0065 (3.93 → 4.01)	0.0064 (2.66 → 2.71)

3. 평균 풍속

풍속은 전 지구, 동아시아, 한반도 연근해 영역 모두 증가 추세를 나타내었으며, 전 지구에 비교해 한반도 연근해, 동아시아 영역에서는 상대적으로 작은 증가 추세를 나타내었다. 계절별로 살펴보면 전 지구에서는 모든 계절에서 증가 추세가 나타난 반면 동아시아와 한반도 연근해에서는 계절별로 다른 결과가 나타났다. 특히 한반도 연근해에서는 여름에는 감소하고 봄, 가을, 겨울에는 증가하는 추세가 나타났다. 특히 겨울철에 한반도 연근해에서 풍속의 추세는 다른 영역 및 계절보다 가파른 증가 추세를 보였다.

동아시아, 한반도 연근해 영역에서 구/신평년 풍속 공간분포도와 편차 공간분포도를 분석한 결과 동중국해와 일본 남해에서 가장 큰 풍속이 분포하였으며, 동중국해와 일본 남해, 우리나라 동해와 남해에서 다른 지역에 비해 큰 폭으로 증가하는 양상을 보였다.



<그림 3-1-3> 연별 분석 영역별 풍속 추세 (1981~2020년)

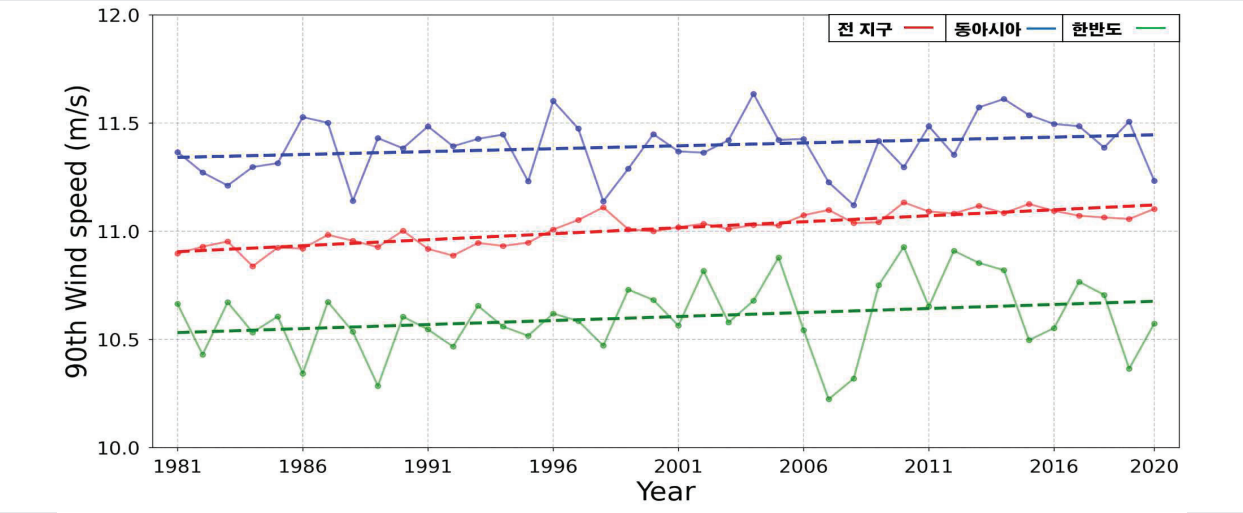
<표 3-1-3> 연/계절별 풍속 추세 및 구/신평년값

		전 지구	동아시아	한반도 연근해
풍속	연평균	0.0043 (7.24 → 7.28)	0.0006 (7.15 → 7.16)	0.0011 (6.38 → 6.39)
	봄	0.0037 (7.15 → 7.18)	−0.0007 (7.07 → 7.06)	0.003 (6.21 → 6.22)
	여름	0.0036 (7.34 → 7.38)	−0.0022 (5.87 → 5.85)	−0.0047 (5.54 → 5.51)
	가을	0.0046 (7.24 → 7.27)	−0.0017 (7.17 → 7.18)	0.0029 (6.39 → 6.45)
	겨울	0.0052 (7.24 → 7.29)	0.0058 (8.62 → 8.71)	0.0154 (7.35 → 7.49)

4. 극한 풍속

극한 풍속은 전 지구적으로 증가하는 양상을 보였으며, 이러한 증가 양상은 동아시아, 한반도 연근해에서도 나타났다. 계절별로 살펴보면 전 지구에서는 모든 계절에서 증가 추세가 나타난 반면 동아시아와 한반도 연근해에서는 계절별로 다른 결과를 보였으며, 특히 한반도 연근해에서 여름에 감소하고 봄, 가을, 겨울에 증가 추세가 나타났다. 또한 평균 풍속과 같이 겨울철 한반도 연근해에서의 극한 풍속의 추세가 다른 영역 및 계절보다 가파른 증가 추세를 보였다.

한반도 주변에서의 구/신평년 극한 공간분포도와 편차 공간분포도를 분석한 결과는 평균 풍속과 분포 양상이 유사하였다. 연/계절별로 지역에 따라 다른 분포 양상을 나타내었지만 주로 동중국해 및 일본 남해, 우리나라 동해와 남해가 다른 지역에 비해 풍속이 크고 증가하는 양상이 뚜렷하였다.



<그림 3-1-4> 연별 분석 영역별 극한 풍속 추세 (1981~2020년)

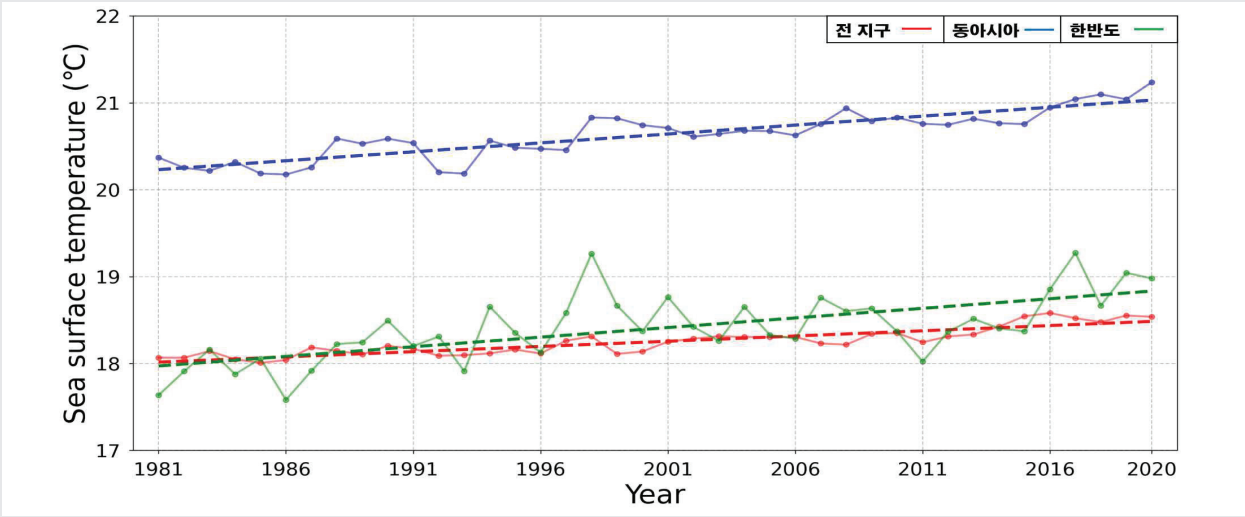
<표 3-1-4> 연/계절별 극한 풍속 추세 및 구/신평년값

		전 지구	동아시아	한반도 연근해
극한 풍속	연평균	0.0055 (10.99 → 11.04)	0.0027 (11.39 → 11.43)	0.0037 (10.58 → 10.63)
	봄	0.0047 (10.75 → 10.78)	0.0013 (10.84 → 10.84)	0.0079 (10.11 → 10.16)
	여름	0.005 (10.81 → 10.86)	−0.0031 (9.17 → 9.16)	−0.0066 (9.12 → 9.09)
	가을	0.0062 (10.86 → 10.92)	−0.0037 (11.27 → 11.27)	0.0034 (10.59 → 10.65)
	겨울	0.0059 (10.78 → 10.84)	0.0087 (12.58 → 12.70)	0.0155 (11.70 → 11.83)

5. 표층 수온

전 지구, 동아시아, 한반도 연근해 영역에서 표층 수온의 변동 양상을 분석한 결과 전 지구적으로 발생하고 있는 수온 상승 현상이 동아시아 및 한반도 연근해에서도 나타났다. 분석 영역별로 연별/계절별 모두 상승 추세를 나타내었으며 신평년 수온이 구평년보다 높았다. 주목할 만한 점은 한반도 연근해 영역에서의 상승 추세로 변화율을 분석한 결과에서 연별/계절별 모두 전 지구, 동아시아보다 가파른 상승세를 나타내었다.

한반도 연근해에서의 구/신평년 풍속 공간분포도와 편차 공간분포도를 분석한 결과 전체적으로 수온이 상승하였으며 특히 동해에서의 수온 상승 폭이 다른 해역보다 높은 특징을 나타내었다.



<그림 3-1-5> 연별 분석 영역별 표층 수온 추세 (1981~2020년)

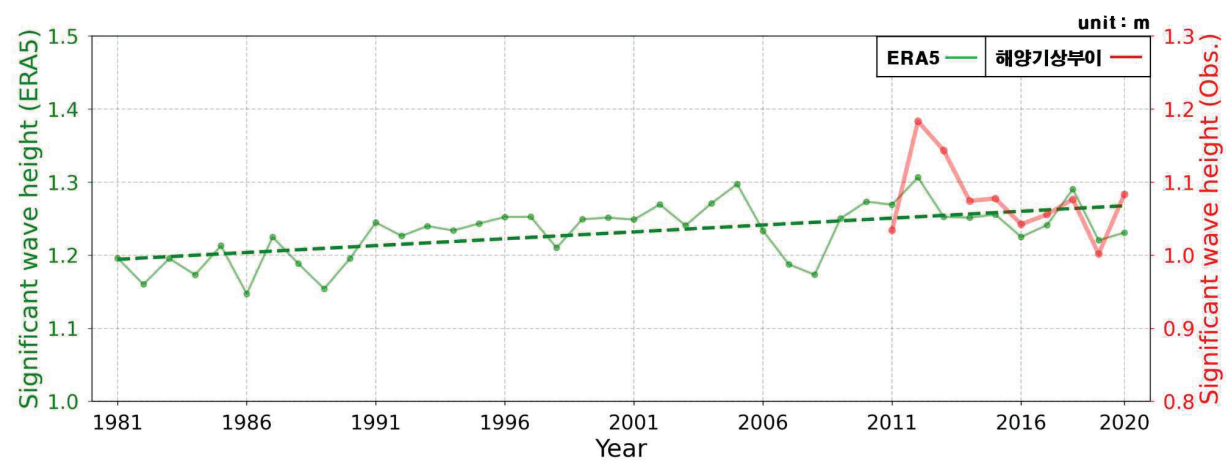
<표 3-1-5> 해역/계절별 표층 수온 추세 및 구/신평년값

		전 지구	동아시아	한반도 연근해
표층 수온	연평균	0.012 (18.18 → 18.30)	0.0205 (20.54 → 20.73)	0.0221 (18.32 → 18.53)
	봄	0.0112 (18.24 → 18.35)	0.0156 (18.37 → 18.51)	0.018 (14.17 → 14.36)
	여름	0.0142 (18.27 → 18.41)	0.0247 (23.07 → 23.31)	0.023 (23.89 → 24.12)
	가을	0.0125 (18.11 → 18.23)	0.0236 (22.60 → 22.81)	0.0245 (21.90 → 22.10)
	겨울	0.01 (18.11 → 18.21)	0.0185 (18.12 → 18.29)	0.0216 (13.34 → 13.56)

제2절 한반도 주변 해양기후 변화

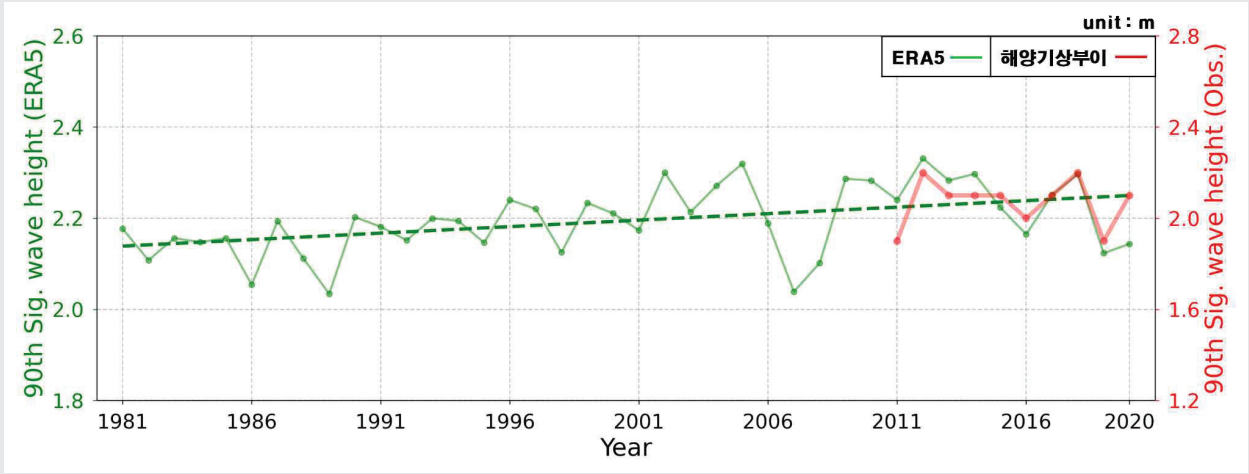
해양기상 요소별로 한반도 연근해 영역과 한반도 주변에서 나타나는 장기 변동 양상을 비교하기 위해 ERA5, ERSSTv5 자료와 해양기상부이 관측자료를 이용하여 연별 통계값을 비교 분석하였다. 재분석 자료는 1981년부터 2020년 까지 산출된 결과를 이용하였으며 해양기상부이 관측자료는 2011년부터 산출된 결과를 이용해 비교하였다.

<그림 3-2-1> 시계열 그래프는 ERA5 재분석 자료를 이용하여 한반도 연근해 영역 연별 유의파고의 평균값[1]을 산출한 결과와 해양기상부이(9개 지점) 관측자료를 이용하여 평균값을 산출한 결과를 비교한 그림으로 두 자료의 변동 양상을 보여주고 있다. 아래 연별 유의파고 평균값 비교한 결과 2011년부터 2020년 최근 10년 두 자료의 변동양상이 유사하였다. 재분석과 관측자료의 분석 결과 간 변동 양상이 유사하게 나타나는 특징은 유의파고 극한값을 도시한 시계열 그래프 <그림 3-2-2>에서도 나타났다. 관측자료의 평균값이 재분석 자료의 평균값보다 작은 이유는 관측하는 지점이 주로 연안에 위치해 있어 외해에서 발생한 높은 파가 관측되지 않았기 때문으로 판단된다. 분석 결과 간 파고의 크기는 다르지만 변동 양상이 유사한 결과를 토대로 한반도 연근해 영역에서 발생하는 유의파고의 변동 특성이 관측지점에서도 유사하게 나타난 것으로 사료된다.



<그림 3-2-1> 한반도 주변 재분석장 및 관측자료 기반 유의파고 추세 (1981~2020년)

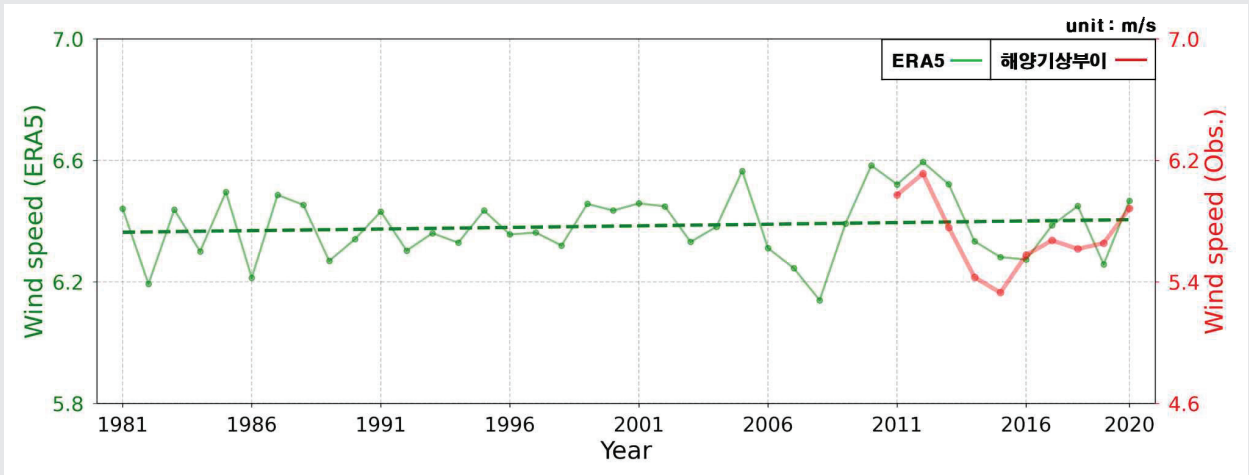
1) 면적 가중 평균을 적용하지 않은 단순 평균 값



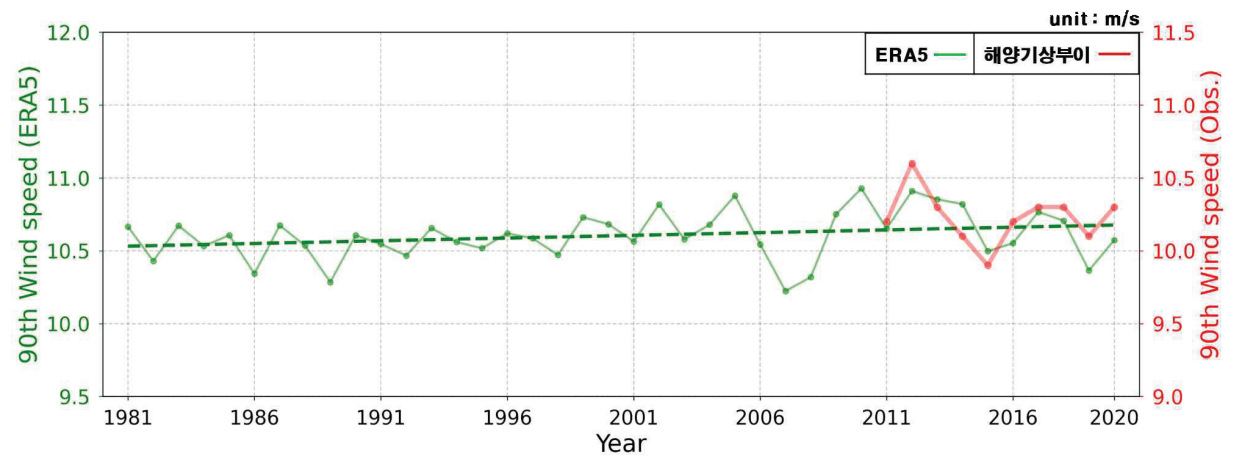
<그림 3-2-2> 한반도 주변 재분석장 및 관측자료 기반 극한 유의파고 추세 (1981~2020년)

재분석 자료와 관측자료를 이용해 연별 풍속과 극한 풍속의 평균값을 산출해 비교한 결과 <그림 3-2-3>, <그림 3-2-4>와 같다. 연별 통계값을 비교한 결과 풍속 차이는 있었지만 변동 양상은 유사하였다. 앞서 유의파고, 풍속 관측자료를 이용한 추세 분석한 결과에서는 두 요소 모두 감소하는 추세가 나타났는데, 이는 짧은 관측자료 분석 기간이 큰 영향을 미친것으로 판단된다.

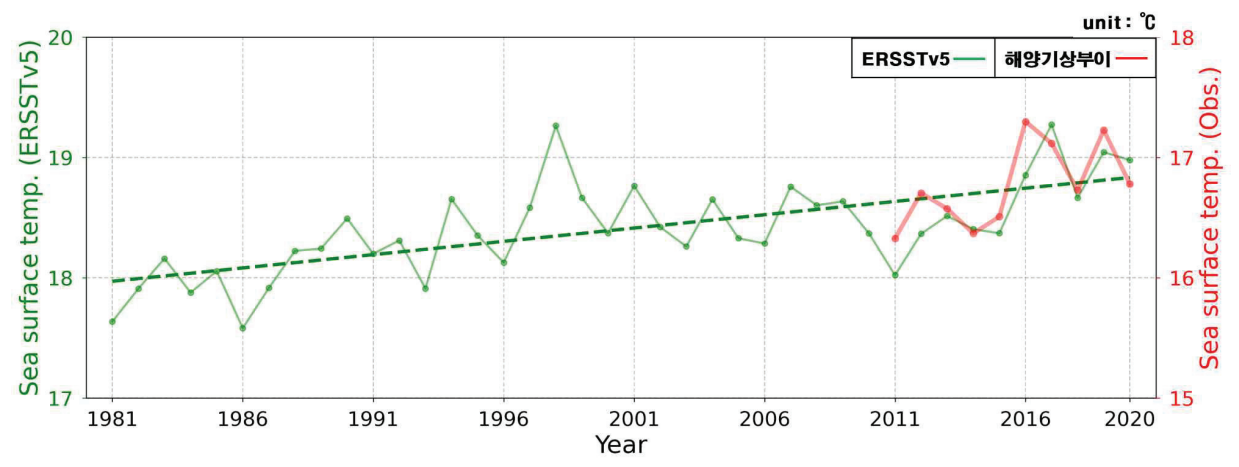
ERSSTv5 표층 수온 자료와 관측자료를 이용해 연별 평균값을 산출해 비교한 결과를 <그림 3-2-5>에 도시하였다. 연별 수온 평균값을 비교한 결과 유의파고, 풍속과 같이 연별 수온 평균값 차이는 발생하였지만 전반적인 변동 양상과 추세는 유사하게 나타났다.



<그림 3-2-3> 한반도 주변 재분석장 및 관측자료 기반 풍속 추세 (1981~2020년)



<그림 3-2-4> 한반도 주변 재분석장 및 관측자료 기반 극한 풍속 추세 (1981~2020년)



<그림 3-2-5> 한반도 주변 분석장 및 관측자료 기반 표층 수온 추세 (1981~2020년)

ERA5, ERSSTv5 자료를 이용해 한반도 연근해의 해양기상 요소의 연별 통계값을 산출한 결과와 해양기상부이 관측자료를 이용하여 산출한 통계값을 분석한 결과 요소별 크기는 차이를 보였지만 변동 양상과 추세는 유사하게 나타났다. 요소별로 통계값의 크기에서 차이가 발생한 이유는 분석에 사용한 9개 관측지점의 위치에 따른 해양기상 요소의 특성 때문으로 판단된다. 이러한 이유로 해양기상 요소별로 연별 통계값 크기에서 차이는 존재하지만, 전반적인 변동 양상과 추세가 유사한 점을 살펴보면 한반도 연근해 영역에서 나타나는 해양기상 요소의 변동 특성이 관측지점에서도 나타나는 것으로 사료된다.

제3절 결 론

본 연구에서는 전 지구, 동아시아, 한반도 연근해에서 발생하는 해양기상 요소의 장기 변화를 이해하기 위하여 1981년부터 2020년까지 산출된 ERA5 재분석 자료와 ERSSTv5 분석 자료를 이용하여 변동 특성을 분석하였다. 또한 기상청 해양기상부이 관측자료를 이용하여 한반도 주변의 해양기상 요소의 변동 특성을 분석하였으며, 분석 결과를 ERA5, ERSSTv5 자료를 이용한 한반도 연근해의 통계 분석 결과와 비교해 변동 양상을 비교하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 전 지구에서 유의파고와 풍속의 평균/극한, 표층 수온의 변동 특성을 분석한 결과 모든 요소가 상승하는 추세를 나타내었으며, 이러한 변동 양상은 동아시아, 한반도 연근해에서도 동일하게 나타났다. 한반도 연근해에서 해양기상 요소의 연/계절별 추세를 다른 영역과 비교한 결과, 유의파고와 풍속의 평균/극한값과 추세가 전 지구, 동아시아 보다 작은 경향을 나타내었다.

- 전 지구, 동아시아, 한반도 연근해 영역별 유의파고와 풍속의 평균/극한값의 추세를 살펴보면 극한값의 변화율이 평균값의 변화율보다 크게 산출되어 극한 유의파고/풍속의 상승 추세가 더 가파른 특징을 나타내었다.

- 해양기상부이 관측 자료를 이용하여 연별/해역별로 해양기상 요소의 변동 특성을 분석한 결과 재분석장 자료를 이용한 분석 결과와 다른 양상이 나타났다. 이러한 차이는 관측 지점의 위치에 따른 해양기상 특성과 자료의 결측 및 짧은 분석 기간이 영향을 미친것으로 판단된다. 9개 전체 지점에서 관측된 자료를 취합하여 한반도 주변 해역에서의 해양기상 요소별 변동 특성을 분석한 결과 한반도 연근해 영역에서 나타나는 변동 양상 및 추세가 유사하였다.

전 지구, 동아시아, 한반도 연근해 영역에서 해양기상 요소별로 장기 변동을 분석한 결과 각 영역별로 모든 요소가 상승하는 추세를 나타내었으며, 이러한 양상은 한반도 주변 지역에서도 나타났다. 한반도 주변에서 유의파고와 풍속의 평균/극한값과 표층 수온의 상승 추세가 지속될 경우에 다음을 예측할 수 있다. 수온 상승에 의해 어장 환경이 변화하고 풍속 및 유의파고의 상승에 따라 인명 및 재산 피해의 발생 빈도가 증가할 것으로 전망된다. 이에 대비하기 위해서는 해양기상 요소에 대한 모니터링과 변동 예측을 위한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

참고문헌

강윤희, 석현배, 방진희, 김유근. (2015). 한반도 주변해역의 기상부이와 등표에서 관측된 계절별 해상풍과 유의파고 특성. 한국환경과학회지, 24(3), pp. 291-302

고동휘, 정신택, 조홍연, 서경식. (2017). KMA와 ECMWF 자료를 이용한 연안 유의파고의 분포 및 추세분석. 한국해안·해양공학회논문집, 29(3), pp. 129-138

국립기상과학원. (2020). 한반도 기후변화 전망보고서 2020

국립기상과학원. (2021). 2020 지구대기감시 보고서

국립기상과학원. (2021). 2020 지구대기감시 보고서 특별판

기상청. (2021). 2020 연 기후특성 보고서

정원무, 오상호, 조홍연, 백원대. (2019). 우리나라 동해안 중부 해역에서 6년간 연속 관측된 파랑의 특성. 한국해안·해양공학회논문집, 31(2), pp. 88-99

정원무, 류경호, 오상호, 백원대. (2016). 장기실측 파랑자료 분석을 통한 동해안 폭풍파 출현 추세. 한국해안·해양공학회논문집, 28(2), pp. 109-115

정원무, 오상호, 백원대, 채장원. (2012). 최근 10년간 장기연속관측에 근거한 부산항 신항 인근 해역의 파랑특성. 한국해안·해양공학회논문집, 24(2), pp. 109-119

조홍연, 정원무, 백원대, 김상익. (2012). 속초 연안의 파랑환경 변화양상 분석. 한국해안·해양공학회논문집, 24(2), pp. 120-127

환경부. (2020). 한국 기후변화 평가보고서 2020 - 기후변화 영향 및 적응

부록

[부록-1] 전지구 연/요소별 평균, 극한값

연도	유의파고	풍속	수온	파력	극한 파고	극한 풍속
1981	2.31	7.18	18.07	34.02	3.27	10.90
1982	2.35	7.17	18.07	35.89	3.32	10.93
1983	2.35	7.19	18.14	35.71	3.33	10.95
1984	2.28	7.11	18.05	33.59	3.24	10.84
1985	2.33	7.18	18.01	35.11	3.30	10.92
1986	2.32	7.19	18.04	34.64	3.27	10.92
1987	2.37	7.20	18.19	36.92	3.35	10.98
1988	2.33	7.24	18.15	34.85	3.30	10.96
1989	2.35	7.21	18.11	35.91	3.32	10.93
1990	2.34	7.26	18.20	35.39	3.32	11.00
1991	2.37	7.16	18.17	36.58	3.35	10.92
1992	2.42	7.14	18.09	38.30	3.40	10.89
1993	2.45	7.18	18.10	40.36	3.46	10.95
1994	2.45	7.18	18.12	40.23	3.46	10.93
1995	2.45	7.20	18.16	40.27	3.46	10.95
1996	2.42	7.23	18.12	38.94	3.46	11.01
1997	2.46	7.27	18.26	40.56	3.48	11.05
1998	2.50	7.41	18.31	42.94	3.53	11.11
1999	2.44	7.31	18.11	40.21	3.45	11.01
2000	2.44	7.29	18.14	40.21	3.45	11.00
2001	2.45	7.28	18.25	40.25	3.46	11.02
2002	2.40	7.30	18.29	38.38	3.42	11.04
2003	2.41	7.27	18.31	38.72	3.44	11.01
2004	2.38	7.29	18.31	37.12	3.38	11.03
2005	2.38	7.27	18.30	37.64	3.41	11.03
2006	2.41	7.31	18.31	38.55	3.43	11.07
2007	2.38	7.35	18.23	38.10	3.41	11.10
2008	2.36	7.30	18.22	37.72	3.38	11.04
2009	2.35	7.25	18.34	37.55	3.41	11.04
2010	2.40	7.38	18.35	39.29	3.46	11.13
2011	2.39	7.36	18.25	38.87	3.43	11.09
2012	2.35	7.32	18.31	37.90	3.38	11.08
2013	2.38	7.33	18.33	38.29	3.43	11.12
2014	2.40	7.29	18.43	38.75	3.44	11.08
2015	2.44	7.30	18.54	40.35	3.47	11.13
2016	2.42	7.29	18.58	40.24	3.49	11.09
2017	2.42	7.30	18.52	38.98	3.43	11.07
2018	2.41	7.30	18.48	38.92	3.44	11.06
2019	2.41	7.24	18.55	39.80	3.48	11.06
2020	2.39	7.33	18.54	38.53	3.42	11.10

[부록-2] 동아시아 연/요소별 평균, 극한값

연도	유의파고	풍속	수온	파력	극한 파고	극한 풍속
1981	1.95	7.18	20.37	23.93	3.16	11.37
1982	1.97	7.11	20.25	24.49	3.14	11.27
1983	1.92	7.07	20.22	23.35	3.12	11.21
1984	1.94	6.97	20.32	24.63	3.20	11.30
1985	1.95	7.18	20.19	23.17	3.12	11.31
1986	2.01	7.24	20.18	25.57	3.23	11.53
1987	2.02	7.27	20.26	26.46	3.25	11.50
1988	1.90	7.07	20.59	21.76	3.05	11.14
1989	1.97	7.18	20.53	24.48	3.20	11.43
1990	1.97	7.22	20.59	23.88	3.20	11.38
1991	2.07	7.26	20.54	27.79	3.32	11.49
1992	2.11	7.19	20.20	28.37	3.29	11.39
1993	2.10	7.18	20.19	29.03	3.37	11.43
1994	2.14	7.15	20.57	29.73	3.36	11.45
1995	2.07	7.08	20.48	27.28	3.27	11.23
1996	2.19	7.20	20.47	31.96	3.52	11.60
1997	2.13	7.19	20.46	30.07	3.35	11.48
1998	2.02	7.09	20.83	26.81	3.22	11.14
1999	2.03	7.12	20.82	25.83	3.25	11.29
2000	2.10	7.14	20.74	29.25	3.36	11.45
2001	2.10	7.13	20.71	28.05	3.31	11.37
2002	2.09	7.19	20.61	27.81	3.31	11.36
2003	2.09	7.16	20.64	28.81	3.40	11.42
2004	2.13	7.26	20.68	30.36	3.42	11.64
2005	2.08	7.13	20.68	28.57	3.38	11.42
2006	2.09	7.21	20.63	27.39	3.29	11.43
2007	2.00	7.05	20.76	25.29	3.16	11.23
2008	1.97	6.92	20.94	24.97	3.26	11.12
2009	2.08	7.16	20.79	27.89	3.35	11.42
2010	2.01	7.13	20.83	25.60	3.24	11.30
2011	2.08	7.27	20.76	27.09	3.31	11.49
2012	2.07	7.13	20.75	27.00	3.29	11.35
2013	2.09	7.23	20.82	28.85	3.39	11.57
2014	2.09	7.17	20.77	28.00	3.38	11.61
2015	2.15	7.23	20.76	29.74	3.40	11.54
2016	2.05	7.22	20.95	26.44	3.29	11.50
2017	2.09	7.21	21.04	28.15	3.38	11.49
2018	2.09	7.23	21.10	27.07	3.26	11.39
2019	2.09	7.17	21.04	28.99	3.40	11.51
2020	1.97	7.06	21.24	24.42	3.19	11.23

[부록-3] 한반도 연근해 연/요소별 평균, 극한값

연도	유의파고	풍속	수온	파력	극한 파고	극한 풍속
1981	1.20	6.44	17.64	8.36	2.18	10.66
1982	1.16	6.19	17.91	7.78	2.11	10.43
1983	1.20	6.44	18.16	7.80	2.16	10.67
1984	1.17	6.30	17.88	7.39	2.15	10.53
1985	1.21	6.50	18.06	7.50	2.16	10.61
1986	1.15	6.21	17.58	7.12	2.05	10.34
1987	1.22	6.49	17.92	8.73	2.19	10.67
1988	1.19	6.45	18.22	7.07	2.11	10.54
1989	1.15	6.27	18.24	6.73	2.03	10.29
1990	1.20	6.34	18.49	8.32	2.20	10.61
1991	1.24	6.43	18.20	8.83	2.18	10.55
1992	1.23	6.30	18.31	8.28	2.15	10.47
1993	1.24	6.36	17.91	8.45	2.20	10.66
1994	1.23	6.33	18.65	8.67	2.19	10.56
1995	1.24	6.43	18.35	7.91	2.15	10.52
1996	1.25	6.36	18.13	9.24	2.24	10.62
1997	1.25	6.36	18.58	9.77	2.22	10.59
1998	1.21	6.32	19.27	7.54	2.13	10.47
1999	1.25	6.46	18.67	8.31	2.23	10.73
2000	1.25	6.44	18.37	8.45	2.21	10.68
2001	1.25	6.46	18.76	8.37	2.17	10.56
2002	1.27	6.45	18.42	9.49	2.30	10.82
2003	1.24	6.33	18.26	8.80	2.21	10.58
2004	1.27	6.38	18.65	10.48	2.27	10.68
2005	1.30	6.57	18.33	10.04	2.32	10.88
2006	1.23	6.31	18.29	8.46	2.19	10.54
2007	1.19	6.25	18.76	7.89	2.04	10.22
2008	1.17	6.14	18.60	7.34	2.10	10.32
2009	1.25	6.39	18.64	8.77	2.29	10.75
2010	1.27	6.58	18.37	8.53	2.28	10.93
2011	1.27	6.52	18.02	9.43	2.24	10.65
2012	1.31	6.59	18.37	9.85	2.33	10.91
2013	1.25	6.52	18.51	8.96	2.28	10.85
2014	1.25	6.33	18.40	9.95	2.30	10.82
2015	1.26	6.28	18.37	9.26	2.22	10.50
2016	1.22	6.27	18.85	8.13	2.16	10.55
2017	1.24	6.39	19.27	8.81	2.25	10.77
2018	1.29	6.45	18.67	9.86	2.30	10.71
2019	1.22	6.26	19.04	8.25	2.12	10.37
2020	1.23	6.47	18.98	8.61	2.14	10.57

[부록-4] 전지구 연/계절별 유의파고 평균값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	2.28	2.20	2.26	2.28
1982	2.31	2.31	2.27	2.29
1983	2.37	2.28	2.24	2.29
1984	2.31	2.23	2.19	2.22
1985	2.30	2.29	2.25	2.27
1986	2.31	2.23	2.23	2.30
1987	2.34	2.29	2.31	2.34
1988	2.35	2.31	2.21	2.27
1989	2.32	2.29	2.23	2.30
1990	2.29	2.26	2.27	2.34
1991	2.32	2.30	2.35	2.33
1992	2.40	2.37	2.33	2.38
1993	2.44	2.43	2.36	2.40
1994	2.44	2.42	2.33	2.42
1995	2.43	2.40	2.39	2.41
1996	2.45	2.36	2.36	2.37
1997	2.42	2.42	2.39	2.45
1998	2.47	2.46	2.40	2.52
1999	2.46	2.37	2.35	2.42
2000	2.47	2.38	2.37	2.40
2001	2.47	2.42	2.36	2.38
2002	2.36	2.37	2.33	2.43
2003	2.45	2.33	2.28	2.43
2004	2.42	2.33	2.30	2.34
2005	2.39	2.33	2.36	2.33
2006	2.37	2.39	2.37	2.37
2007	2.42	2.34	2.34	2.37
2008	2.34	2.34	2.34	2.37
2009	2.36	2.33	2.35	2.35
2010	2.44	2.40	2.34	2.39
2011	2.39	2.39	2.34	2.39
2012	2.39	2.36	2.33	2.35
2013	2.41	2.36	2.31	2.40
2014	2.38	2.38	2.35	2.39
2015	2.42	2.42	2.41	2.42
2016	2.44	2.39	2.34	2.45
2017	2.45	2.40	2.35	2.35
2018	2.40	2.39	2.37	2.38
2019	2.43	2.42	2.33	2.40
2020	2.39	2.34	2.35	2.39

[부록-5] 동아시아 연/계절별 유의파고 평균값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	1.85	1.40	1.98	2.57
1982	1.85	1.47	2.04	2.41
1983	1.86	1.39	1.97	2.54
1984	1.86	1.32	1.96	2.61
1985	1.90	1.37	1.90	2.69
1986	1.98	1.47	1.97	2.82
1987	1.89	1.42	2.14	2.55
1988	1.89	1.32	1.93	2.50
1989	1.99	1.32	2.01	2.53
1990	1.87	1.42	1.99	2.65
1991	1.87	1.46	2.25	2.79
1992	1.98	1.46	2.42	2.61
1993	1.99	1.52	2.13	2.98
1994	2.03	1.56	2.25	2.80
1995	2.09	1.40	2.11	2.86
1996	2.07	1.50	2.33	2.87
1997	2.01	1.65	2.12	2.68
1998	1.93	1.42	2.04	2.68
1999	2.05	1.46	1.93	2.82
2000	2.03	1.47	2.13	2.84
2001	1.99	1.56	2.10	2.86
2002	1.90	1.62	2.20	2.78
2003	2.09	1.40	2.11	2.83
2004	2.03	1.60	2.10	2.86
2005	1.94	1.48	2.01	3.23
2006	2.02	1.53	2.09	2.63
2007	2.02	1.40	2.08	2.37
2008	1.85	1.32	1.89	2.96
2009	1.98	1.42	2.21	2.51
2010	2.04	1.35	1.95	2.66
2011	2.01	1.56	1.99	2.66
2012	1.95	1.51	2.08	2.73
2013	1.95	1.39	2.20	2.78
2014	1.99	1.45	2.13	2.98
2015	1.92	1.70	2.22	2.71
2016	1.94	1.50	2.11	2.81
2017	1.96	1.41	2.18	2.76
2018	2.01	1.63	2.01	2.87
2019	1.95	1.49	2.11	2.86
2020	1.90	1.30	1.97	2.69

[부록-6] 한반도 연근해 연/계절별 유의파고 평균값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	1.02	0.95	1.31	1.43
1982	1.07	1.01	1.18	1.36
1983	1.14	1.00	1.20	1.56
1984	1.04	0.96	1.16	1.57
1985	1.10	1.02	1.19	1.60
1986	0.98	0.99	1.12	1.48
1987	1.09	1.00	1.30	1.35
1988	1.14	0.90	1.25	1.40
1989	1.08	0.97	1.23	1.31
1990	1.09	1.00	1.24	1.56
1991	1.02	1.05	1.36	1.54
1992	1.07	1.01	1.42	1.44
1993	1.07	1.06	1.24	1.60
1994	1.10	1.04	1.30	1.45
1995	1.16	1.01	1.30	1.60
1996	1.15	1.02	1.32	1.38
1997	1.07	1.11	1.31	1.51
1998	1.05	1.00	1.27	1.38
1999	1.22	1.06	1.21	1.52
2000	1.12	1.04	1.31	1.49
2001	1.14	0.97	1.30	1.61
2002	1.06	1.15	1.35	1.64
2003	1.15	0.99	1.29	1.66
2004	1.13	1.11	1.35	1.58
2005	1.14	1.04	1.26	1.99
2006	1.22	0.98	1.26	1.43
2007	1.13	1.00	1.29	1.46
2008	1.08	0.94	1.14	1.57
2009	1.12	0.99	1.34	1.63
2010	1.29	0.90	1.25	1.87
2011	1.16	1.08	1.29	1.57
2012	1.17	1.15	1.31	1.72
2013	1.14	0.96	1.41	1.62
2014	1.08	1.01	1.31	1.91
2015	1.12	1.13	1.28	1.42
2016	1.07	0.95	1.32	1.53
2017	1.04	0.92	1.42	1.60
2018	1.19	1.16	1.23	1.57
2019	1.09	1.06	1.38	1.45
2020	1.14	0.98	1.35	1.53

[부록-7] 전지구 연/계절별 유의파고 극한값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	3.23	3.04	3.21	3.06
1982	3.20	3.17	3.20	3.10
1983	3.32	3.13	3.17	3.09
1984	3.21	3.05	3.12	2.98
1985	3.22	3.14	3.15	3.18
1986	3.24	3.08	3.15	3.21
1987	3.25	3.14	3.23	3.18
1988	3.26	3.15	3.11	3.04
1989	3.24	3.15	3.17	3.18
1990	3.21	3.11	3.22	3.13
1991	3.24	3.15	3.29	3.27
1992	3.33	3.24	3.27	3.11
1993	3.39	3.29	3.30	3.34
1994	3.38	3.28	3.30	3.35
1995	3.37	3.27	3.32	3.29
1996	3.41	3.24	3.34	3.23
1997	3.40	3.28	3.38	3.34
1998	3.43	3.28	3.36	3.39
1999	3.42	3.23	3.33	3.28
2000	3.40	3.24	3.33	3.26
2001	3.45	3.30	3.31	3.25
2002	3.31	3.23	3.33	3.34
2003	3.41	3.18	3.26	3.25
2004	3.39	3.16	3.24	3.19
2005	3.38	3.18	3.31	3.14
2006	3.28	3.26	3.35	3.19
2007	3.36	3.23	3.29	3.16
2008	3.28	3.19	3.26	3.17
2009	3.32	3.22	3.35	3.21
2010	3.39	3.24	3.31	3.13
2011	3.34	3.30	3.33	3.17
2012	3.32	3.22	3.28	3.24
2013	3.37	3.23	3.28	3.22
2014	3.35	3.26	3.32	3.29
2015	3.38	3.33	3.39	3.31
2016	3.45	3.30	3.29	3.19
2017	3.41	3.25	3.32	3.19
2018	3.34	3.30	3.35	3.27
2019	3.37	3.31	3.32	3.28
2020	3.34	3.18	3.29	3.24

[부록-8] 동아시아 연/계절별 유의파고 극한값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	2.78	2.12	3.11	3.79
1982	2.88	2.20	3.10	3.40
1983	2.95	2.02	3.15	3.63
1984	2.85	1.92	3.09	3.75
1985	2.88	1.94	2.87	3.93
1986	3.03	2.28	3.05	4.05
1987	2.86	2.09	3.32	3.69
1988	2.84	1.90	2.95	3.53
1989	3.04	1.93	3.19	3.82
1990	2.86	2.13	3.19	3.92
1991	2.84	2.22	3.45	3.96
1992	2.89	2.09	3.56	3.67
1993	3.00	2.11	3.26	4.20
1994	3.05	2.20	3.41	4.05
1995	3.11	1.91	3.15	3.98
1996	3.19	2.20	3.58	4.06
1997	2.94	2.48	3.22	3.77
1998	2.88	1.91	3.06	3.84
1999	3.09	2.07	3.06	4.07
2000	3.10	2.10	3.28	3.93
2001	2.99	2.35	3.19	4.06
2002	2.79	2.42	3.46	4.03
2003	3.12	1.96	3.41	4.05
2004	3.08	2.45	3.21	4.10
2005	2.93	2.14	2.98	4.59
2006	3.02	2.17	3.15	3.76
2007	3.06	2.04	3.18	3.28
2008	2.83	1.81	2.93	4.33
2009	3.08	2.05	3.31	3.63
2010	3.05	1.86	3.05	3.69
2011	3.01	2.36	3.03	3.66
2012	2.98	2.18	3.11	3.92
2013	2.96	1.97	3.36	4.23
2014	3.11	2.16	3.26	4.21
2015	2.89	2.70	3.35	3.79
2016	2.99	2.22	3.18	3.93
2017	2.99	2.00	3.33	3.89
2018	2.94	2.33	3.00	4.08
2019	2.90	2.22	3.32	4.25
2020	2.82	1.81	2.93	3.91

[부록-9] 한반도 연근해 연/계절별 유의파고 극한값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	1.80	1.59	2.38	2.64
1982	1.89	1.74	2.21	2.55
1983	1.96	1.71	2.23	2.55
1984	1.77	1.65	2.05	2.52
1985	1.85	1.64	2.07	2.70
1986	1.67	1.63	1.99	2.55
1987	1.84	1.64	2.33	2.42
1988	1.91	1.47	2.32	2.53
1989	1.84	1.66	2.26	2.20
1990	1.92	1.82	2.33	3.15
1991	1.70	1.81	2.31	2.70
1992	1.84	1.74	2.49	2.56
1993	1.84	1.70	2.17	2.79
1994	1.86	1.83	2.28	2.36
1995	1.94	1.62	2.27	2.67
1996	1.97	1.74	2.37	2.64
1997	1.74	1.94	2.27	2.67
1998	1.79	1.57	2.21	2.25
1999	2.13	1.67	2.19	2.58
2000	1.88	1.75	2.27	2.55
2001	1.92	1.52	2.16	2.74
2002	1.78	2.05	2.44	2.73
2003	1.98	1.53	2.30	2.84
2004	1.92	1.97	2.39	2.71
2005	1.98	1.69	2.13	3.35
2006	2.03	1.61	2.25	2.54
2007	1.93	1.62	2.18	2.49
2008	1.83	1.61	2.07	2.73
2009	1.99	1.63	2.43	2.78
2010	2.15	1.43	2.29	3.23
2011	1.94	1.80	2.26	2.64
2012	1.99	1.94	2.39	2.84
2013	1.95	1.59	2.67	2.97
2014	1.85	1.81	2.35	3.39
2015	1.93	1.95	2.18	2.53
2016	1.75	1.57	2.24	2.80
2017	1.77	1.49	2.58	2.67
2018	2.10	2.01	2.05	2.58
2019	1.87	1.74	2.51	2.43
2020	1.96	1.62	2.30	2.61

[부록-10] 전지구 연/계절별 풍속 평균값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	7.02	7.22	7.20	7.21
1982	7.06	7.33	7.13	7.11
1983	7.14	7.33	7.18	7.05
1984	7.05	7.20	7.10	7.11
1985	7.13	7.28	7.17	7.12
1986	7.15	7.24	7.16	7.33
1987	7.05	7.28	7.21	7.29
1988	7.16	7.39	7.24	7.19
1989	7.11	7.34	7.21	7.11
1990	7.17	7.34	7.26	7.19
1991	7.07	7.29	7.12	7.04
1992	7.02	7.26	7.14	7.12
1993	7.08	7.33	7.16	7.34
1994	7.09	7.34	7.07	7.24
1995	7.12	7.29	7.23	7.16
1996	7.15	7.32	7.25	7.27
1997	7.13	7.38	7.21	7.29
1998	7.29	7.49	7.41	7.45
1999	7.20	7.39	7.33	7.27
2000	7.24	7.38	7.25	7.30
2001	7.18	7.41	7.29	7.30
2002	7.19	7.45	7.24	7.29
2003	7.20	7.31	7.22	7.38
2004	7.29	7.36	7.26	7.26
2005	7.18	7.32	7.31	7.14
2006	7.15	7.39	7.34	7.38
2007	7.25	7.40	7.39	7.41
2008	7.11	7.39	7.36	7.19
2009	7.14	7.29	7.32	7.11
2010	7.31	7.52	7.37	7.26
2011	7.22	7.46	7.37	7.49
2012	7.26	7.45	7.30	7.30
2013	7.21	7.41	7.30	7.28
2014	7.17	7.36	7.26	7.42
2015	7.18	7.40	7.30	7.37
2016	7.15	7.36	7.26	7.27
2017	7.23	7.41	7.35	7.28
2018	7.20	7.42	7.26	7.37
2019	7.16	7.37	7.18	7.25
2020	7.19	7.36	7.37	7.38

[부록-11] 동아시아 연/계절별 풍속 평균값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	7.06	6.00	7.22	8.54
1982	6.98	6.07	7.12	8.40
1983	7.11	5.94	7.01	8.49
1984	6.77	5.63	7.05	8.58
1985	7.18	5.96	7.00	8.80
1986	7.22	6.02	7.24	9.01
1987	7.08	6.00	7.40	8.62
1988	7.10	5.76	7.07	8.50
1989	7.09	5.82	7.29	8.27
1990	7.14	6.02	7.13	8.65
1991	7.17	5.89	7.40	8.58
1992	6.90	5.87	7.72	8.43
1993	7.00	5.82	7.21	9.21
1994	7.12	5.84	7.21	8.73
1995	7.27	5.66	7.10	8.68
1996	7.05	5.79	7.36	8.65
1997	7.20	6.02	7.04	8.55
1998	7.02	5.90	7.13	8.33
1999	7.03	6.01	7.01	8.48
2000	7.02	5.74	7.19	8.90
2001	6.85	5.85	7.19	8.88
2002	7.03	6.14	7.27	8.74
2003	7.23	5.73	7.18	8.82
2004	7.20	6.03	7.19	8.81
2005	7.08	5.83	6.91	9.20
2006	7.15	5.99	6.95	8.81
2007	7.05	5.64	7.29	8.20
2008	6.63	5.52	6.81	8.84
2009	6.94	5.77	7.47	7.94
2010	7.34	5.88	6.92	8.00
2011	7.24	6.06	7.21	8.63
2012	6.98	5.97	7.02	8.74
2013	6.99	5.72	7.47	8.55
2014	7.13	5.57	7.14	9.22
2015	7.11	5.96	7.24	8.74
2016	7.01	5.91	7.27	9.02
2017	6.99	5.78	7.31	8.87
2018	7.24	6.21	6.84	9.06
2019	6.93	5.85	7.20	8.93
2020	6.95	5.68	7.01	8.68

[부록-12] 한반도 연근해 연/계절별 풍속 평균값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	6.07	5.46	6.83	7.09
1982	6.21	5.51	6.03	6.89
1983	6.50	5.76	6.20	7.69
1984	5.85	5.49	6.25	7.71
1985	6.16	5.82	6.44	7.73
1986	5.84	5.58	6.04	7.13
1987	6.28	5.64	6.62	6.80
1988	6.48	5.30	6.62	7.13
1989	6.09	5.74	6.40	6.74
1990	6.33	5.62	6.27	7.23
1991	5.98	5.78	6.56	6.91
1992	5.99	5.49	6.66	7.09
1993	6.05	5.61	6.21	7.48
1994	6.25	5.46	6.37	7.21
1995	6.35	5.56	6.47	7.49
1996	6.17	5.59	6.44	6.58
1997	6.10	5.60	6.45	7.17
1998	5.93	5.59	6.38	6.87
1999	6.46	5.75	6.28	7.37
2000	6.19	5.59	6.53	7.18
2001	6.33	5.25	6.56	7.70
2002	6.08	5.75	6.62	7.75
2003	6.13	5.38	6.47	7.81
2004	6.25	5.50	6.53	7.34
2005	6.33	5.51	6.30	8.76
2006	6.61	5.29	6.15	6.89
2007	6.27	5.45	6.41	7.32
2008	5.98	5.26	5.88	7.40
2009	6.23	5.47	6.52	7.60
2010	6.80	5.41	6.28	8.53
2011	6.40	5.67	6.59	7.50
2012	6.35	5.84	6.58	8.02
2013	6.36	5.51	6.87	7.78
2014	6.10	5.20	6.41	8.62
2015	6.11	5.43	6.29	7.06
2016	6.00	5.20	6.41	7.18
2017	5.96	5.19	6.81	7.60
2018	6.34	5.79	6.06	7.62
2019	6.12	5.43	6.60	7.18
2020	6.35	5.65	6.67	7.54

[부록-13] 전지구 연/계절별 풍속 극한값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	10.57	10.64	10.73	10.53
1982	10.56	10.72	10.73	10.42
1983	10.66	10.71	10.77	10.38
1984	10.54	10.55	10.67	10.41
1985	10.67	10.70	10.71	10.41
1986	10.70	10.69	10.70	10.61
1987	10.62	10.70	10.81	10.61
1988	10.71	10.77	10.75	10.45
1989	10.64	10.69	10.73	10.46
1990	10.76	10.74	10.78	10.60
1991	10.55	10.72	10.70	10.47
1992	10.57	10.69	10.74	10.41
1993	10.63	10.75	10.73	10.63
1994	10.63	10.71	10.69	10.60
1995	10.65	10.72	10.73	10.44
1996	10.70	10.76	10.91	10.70
1997	10.71	10.80	10.80	10.68
1998	10.85	10.78	10.91	10.81
1999	10.68	10.76	10.90	10.56
2000	10.73	10.74	10.80	10.60
2001	10.69	10.84	10.79	10.64
2002	10.69	10.86	10.83	10.66
2003	10.74	10.72	10.82	10.73
2004	10.86	10.75	10.82	10.63
2005	10.79	10.72	10.85	10.40
2006	10.66	10.83	10.92	10.63
2007	10.79	10.83	10.96	10.71
2008	10.63	10.82	10.86	10.55
2009	10.72	10.77	10.96	10.40
2010	10.86	10.86	10.93	10.57
2011	10.74	10.90	10.97	10.74
2012	10.82	10.87	10.87	10.72
2013	10.81	10.85	10.95	10.65
2014	10.75	10.79	10.88	10.74
2015	10.76	10.93	10.96	10.76
2016	10.76	10.84	10.83	10.61
2017	10.77	10.80	10.97	10.59
2018	10.74	10.87	10.87	10.73
2019	10.67	10.84	10.83	10.71
2020	10.80	10.77	10.95	10.67

[부록-14] 동아시아 연/계절별 풍속 극한값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	10.67	9.41	11.30	12.55
1982	10.72	9.46	11.22	12.07
1983	10.86	9.17	11.21	12.37
1984	10.58	8.91	11.21	12.66
1985	10.92	9.12	10.91	12.87
1986	11.13	9.62	11.28	12.98
1987	10.82	9.25	11.64	12.37
1988	10.73	8.91	11.11	12.13
1989	11.01	9.14	11.39	12.21
1990	10.85	9.51	11.19	12.58
1991	10.66	9.44	11.60	12.64
1992	10.49	9.16	12.01	12.32
1993	10.69	9.01	11.36	13.17
1994	11.00	9.21	11.46	12.73
1995	11.02	8.70	11.02	12.45
1996	10.99	9.27	11.75	12.83
1997	10.86	9.53	11.13	12.55
1998	10.64	8.80	11.03	12.48
1999	10.86	9.29	11.05	12.64
2000	11.00	9.03	11.32	12.65
2001	10.68	9.29	11.20	12.86
2002	10.66	9.69	11.60	12.63
2003	10.97	8.82	11.41	12.85
2004	11.04	9.61	11.31	13.01
2005	10.93	9.15	10.81	13.27
2006	10.90	9.28	11.02	12.67
2007	10.97	8.88	11.36	11.91
2008	10.36	8.54	10.76	13.14
2009	10.91	9.11	11.51	11.84
2010	11.17	8.82	10.82	12.06
2011	11.13	9.49	11.14	12.24
2012	10.98	9.26	10.93	12.89
2013	10.88	8.96	11.70	12.84
2014	11.11	8.82	11.28	13.31
2015	10.72	9.70	11.33	12.63
2016	10.74	9.35	11.32	13.05
2017	10.74	8.91	11.45	12.76
2018	10.96	9.65	10.71	12.98
2019	10.62	9.23	11.48	13.12
2020	10.62	8.75	11.06	12.57

[부록-15] 한반도 연근해 연/계절별 풍속 극한값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	9.92	8.88	11.16	11.54
1982	10.15	9.22	10.42	11.48
1983	10.52	9.54	10.64	11.50
1984	9.64	9.22	10.30	11.41
1985	9.98	9.25	10.37	11.85
1986	9.64	9.02	10.04	11.66
1987	10.11	9.10	10.84	11.08
1988	10.18	8.72	10.95	11.45
1989	9.96	9.30	10.58	10.72
1990	10.27	9.42	10.81	12.62
1991	9.64	9.63	10.53	11.69
1992	9.90	9.27	11.08	11.35
1993	9.91	9.13	10.43	12.14
1994	10.13	9.30	10.45	11.09
1995	10.30	9.04	10.67	11.67
1996	10.18	9.20	10.75	11.52
1997	9.63	9.52	10.56	11.60
1998	9.77	9.02	10.50	10.63
1999	10.59	9.23	10.55	11.56
2000	10.14	9.20	10.72	11.48
2001	10.24	8.48	10.41	11.97
2002	9.90	9.72	11.04	11.88
2003	10.10	8.75	10.63	12.10
2004	10.23	9.34	10.76	11.63
2005	10.49	9.07	10.21	13.28
2006	10.66	8.75	10.36	11.30
2007	10.26	8.94	10.27	11.66
2008	9.81	8.76	10.06	11.88
2009	10.31	9.03	10.85	12.06
2010	10.81	8.63	10.70	13.16
2011	10.33	9.06	10.80	11.55
2012	10.41	9.53	10.94	12.27
2013	10.42	8.87	11.51	12.44
2014	10.04	8.79	10.85	13.41
2015	10.03	9.17	10.21	11.44
2016	9.81	8.76	10.58	11.91
2017	9.80	8.42	11.45	11.76
2018	10.52	9.58	9.85	11.48
2019	10.05	9.00	11.08	11.25
2020	10.44	9.39	10.68	11.59

[부록-16] 전지구 연/계절별 수온 평균값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	18.12	18.15	17.99	18.02
1982	18.10	18.07	18.05	18.15
1983	18.22	18.21	18.02	18.04
1984	18.10	18.09	17.98	17.97
1985	18.05	18.06	17.95	17.96
1986	18.06	18.11	18.01	18.04
1987	18.20	18.27	18.19	18.20
1988	18.26	18.20	18.00	17.96
1989	18.14	18.21	18.06	18.10
1990	18.28	18.29	18.13	18.12
1991	18.26	18.27	18.05	18.07
1992	18.23	18.16	17.93	18.02
1993	18.18	18.18	18.00	17.98
1994	18.16	18.19	18.08	18.13
1995	18.21	18.26	18.07	18.04
1996	18.19	18.20	18.02	18.05
1997	18.23	18.38	18.29	18.32
1998	18.42	18.44	18.14	18.09
1999	18.21	18.18	18.00	18.04
2000	18.18	18.21	18.10	18.10
2001	18.29	18.37	18.21	18.20
2002	18.36	18.37	18.21	18.22
2003	18.35	18.42	18.28	18.24
2004	18.34	18.39	18.25	18.22
2005	18.36	18.44	18.21	18.18
2006	18.32	18.42	18.27	18.25
2007	18.29	18.35	18.11	18.04
2008	18.22	18.36	18.20	18.16
2009	18.33	18.51	18.30	18.36
2010	18.46	18.46	18.20	18.15
2011	18.29	18.39	18.17	18.13
2012	18.30	18.45	18.31	18.23
2013	18.36	18.46	18.29	18.25
2014	18.44	18.58	18.40	18.34
2015	18.53	18.65	18.57	18.58
2016	18.65	18.69	18.47	18.44
2017	18.58	18.66	18.43	18.33
2018	18.50	18.56	18.48	18.45
2019	18.57	18.69	18.49	18.50
2020	18.63	18.67	18.41	18.28

[부록-17] 동아시아 연/계절별 수온 평균값

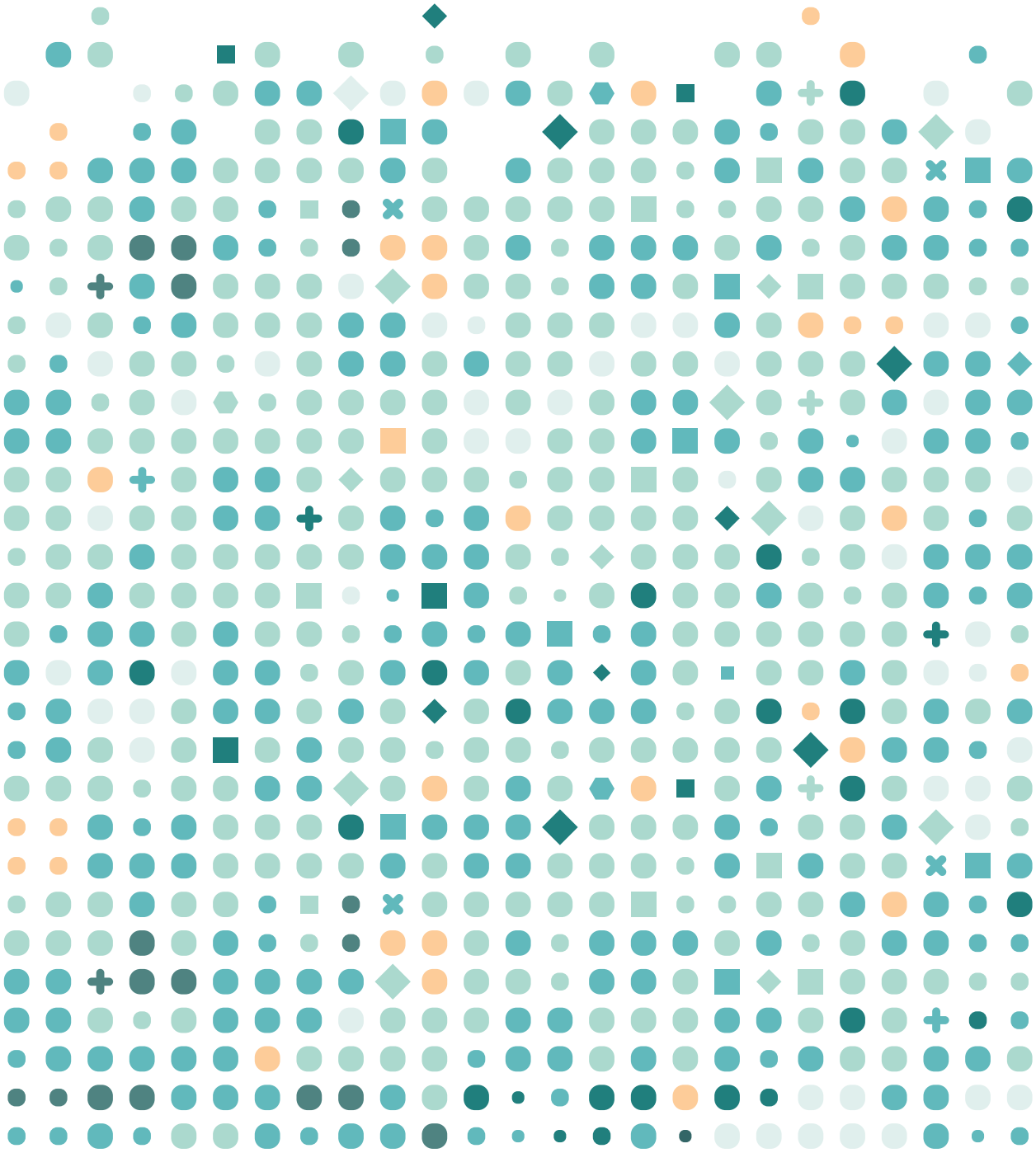
연도	봄	여름	가을	겨울
1981	18.22	22.97	22.41	17.91
1982	18.18	22.66	22.26	17.93
1983	18.03	22.59	22.39	17.79
1984	18.11	23.04	22.35	17.77
1985	18.14	22.58	22.23	17.80
1986	17.97	22.75	22.20	17.78
1987	18.12	22.66	22.39	18.22
1988	18.46	23.05	22.63	18.19
1989	18.38	23.03	22.55	18.08
1990	18.35	23.09	22.70	18.24
1991	18.52	23.14	22.37	18.03
1992	18.24	22.63	22.02	17.78
1993	18.07	22.66	22.17	17.94
1994	18.33	23.22	22.66	18.09
1995	18.15	23.04	22.66	18.01
1996	18.22	23.15	22.55	18.04
1997	18.37	22.89	22.46	18.23
1998	18.63	23.42	22.95	18.51
1999	18.78	23.13	22.91	18.36
2000	18.52	23.41	22.75	18.20
2001	18.62	23.33	22.68	18.18
2002	18.61	23.18	22.52	18.06
2003	18.39	23.22	22.84	18.20
2004	18.61	23.36	22.60	18.08
2005	18.35	23.26	22.97	18.16
2006	18.38	23.13	22.78	18.39
2007	18.43	23.35	22.87	18.38
2008	18.64	23.47	23.22	18.44
2009	18.70	23.29	22.76	18.36
2010	18.44	23.40	23.02	18.51
2011	18.36	23.28	22.96	18.42
2012	18.53	23.27	22.83	18.24
2013	18.50	23.65	22.89	18.25
2014	18.38	23.52	22.93	18.15
2015	18.59	23.35	22.85	18.48
2016	18.56	23.65	23.10	18.53
2017	18.74	23.81	23.08	18.58
2018	18.89	23.58	23.25	18.69
2019	18.86	23.62	23.11	18.61
2020	18.93	23.88	23.42	18.72

[부록-18] 한반도 연근해 연/계절별 수온 평균값

연도	봄	여름	가을	겨울
1981	13.73	23.68	20.75	12.55
1982	13.86	23.32	21.66	13.27
1983	13.96	23.45	22.09	12.42
1984	13.20	24.09	21.59	12.90
1985	13.90	23.87	21.80	12.37
1986	13.39	23.34	21.06	13.05
1987	13.58	23.34	21.64	13.49
1988	14.14	23.81	21.71	13.19
1989	14.43	23.47	21.64	13.32
1990	14.35	24.11	22.01	13.48
1991	14.14	23.79	21.44	13.75
1992	14.62	23.53	21.47	13.46
1993	13.98	22.79	21.49	13.20
1994	14.17	24.83	22.05	13.92
1995	14.23	23.90	21.75	13.11
1996	13.74	23.73	21.89	13.31
1997	14.77	24.19	21.77	13.97
1998	15.52	24.64	22.79	14.15
1999	14.70	23.83	22.28	13.34
2000	13.94	24.20	21.93	13.38
2001	14.52	24.97	22.27	13.55
2002	14.88	23.89	21.62	12.78
2003	14.32	23.50	22.10	13.50
2004	14.57	24.42	21.93	13.76
2005	14.08	24.02	21.99	12.70
2006	13.72	23.85	22.53	13.99
2007	14.33	24.09	22.56	13.60
2008	14.35	24.11	22.43	13.89
2009	14.46	23.80	22.33	13.48
2010	13.54	24.19	22.30	13.35
2011	13.23	23.42	21.94	13.66
2012	14.16	24.36	21.83	12.77
2013	13.99	24.67	22.45	13.31
2014	14.30	23.83	22.13	13.07
2015	14.42	23.78	22.04	13.69
2016	14.45	24.75	22.42	14.30
2017	15.16	25.29	22.41	13.31
2018	14.42	24.60	22.26	14.10
2019	15.18	24.27	22.57	14.43
2020	14.88	24.40	22.15	14.01

발행일 2021년 12월
발행처 기상청 기후과학국 해양기상과
작 성 (주)아라종합기술, 기상청 기후과학국 해양기상과
* 본 보고서는 해양기상 맞춤형 서비스 기술개발(IV) 사업을 통해 작성되었습니다.

기상청



ISBN: 979-11-92180-45-8(93450)