

김해공항 활주로 양단 바람분석 (Wind profiler 지상바람자료 활용)

허성일 · 강춘희 · 김진일 · 김용호
김해공항기상실

1. 서론

항공기 운항에 있어서 바람(풍향·풍속)은 공항의 지형적인 요소인 활주로 방향과 함께 항공기의 이·착륙에 중요한 요소로 작용하고 있다. 이러한 기상요소로 인한 운항장애 현상은 공항을 이용하는 승객에게 항공기의 지연 또는 결항으로 영향을 주고 있다. 또한 바람시어는 대기 중 수평·수직거리 내에서 바람의 방향과 속도가 갑자기 변하는 현상으로 이·착륙 단계에서 갑자기 마주치는 바람시어가 항공기 운항에 미치는 악영향은 매우 크다고 할 수 있다.

항공기가 착륙 진입 시 갑작스럽게 바람시어를 만나게 되면 맞바람의 감소나 뒷바람이 증가하게 되는데 이때 항공기를 조정하는데 실패하면 항공기의 대기속도는 감소할 것이며, 항공기의 부력의 상실로 활주로에 못미쳐 착륙할 수 있다. 또 이륙 시 바람시어를 만나서 맞바람이 감소하거나 뒷바람이 증가하면 상승각이나 상승률이 더 낮아져 이륙에 실패할 수 있으며 이러한 상황들은 바로 항공기 사고로 이어질 수 있다.

따라서 본 연구에서는 2007년도에 김해공항에 설치 운영하고 있는 윈드시어탐지경보시스템(WSDS : Windshear Detection & Alert System)의 설치지점 지상바람자료와 김해공항 활주로의 양단(R36, R18) AMOS바람자료를 활용하여 주변지형에 대한 국지풍 특성 및 바람장의 변화경향을 수집·분석하여 윈드시어탐지경보시스템의 바람자료이용의 신뢰성을 확보하고 그 활용도를 향상시키고, 항공기 이·착륙예보 및 안전운항과 항공기상재해예방에 기여하고자 한다.

2. 활주로 양단 바람분석

2.1 조사자료 및 기간

2.1.1 AMOS 바람자료

- 가) 조사기간 : 2006년~2007년(2년간), 7~9월(여름철)
- 나) 조사자료 : 활주로 양단지점 풍향·풍속자료

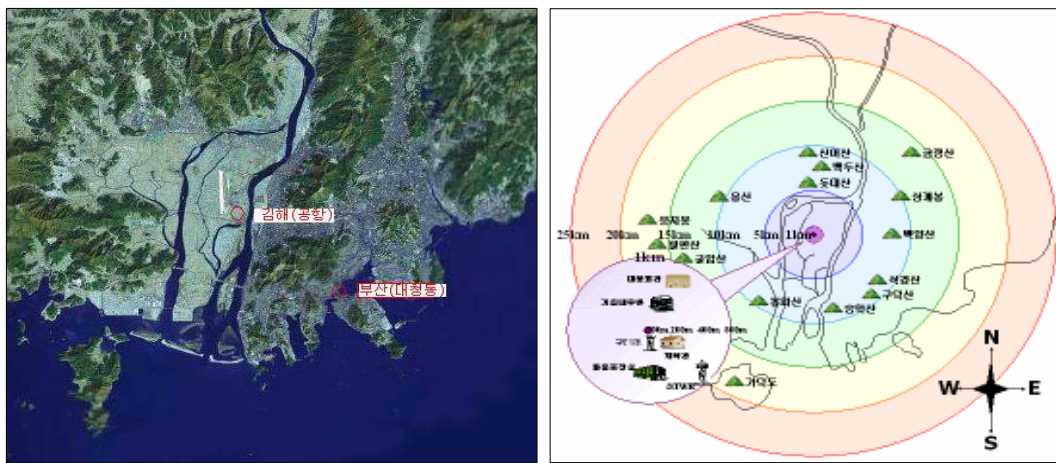
2.1.2 Wind profiler 바람자료

- 가) 조사기간 : 2007년 7~9월(여름철)
- 나) 조사자료 : 설치지점 양단지점 지상 풍향·풍속자료

2.2 김해공항 주변지형

김해공항은 부산광역시 강서구 대저2동의 낙동강 하구에 위치하고 있으며, 동으로는 부산시 사상구, 북으로는 양산시, 서쪽으로는 김해시가 위치해 있다.

주변의 지형은 북동으로는 태백산맥의 말단과, 북서쪽으로는 소백산맥이 놓여 있으며, 낙동강이 신어산(630.4m)과 금정산 사이로 흘러 들어와 주류와 지류로 나누어져 공항 동편으로는 주류, 서편으로는 지류가 되어 남쪽 녹산지역을 지나 바다와 접하며 해안선까지의 거리는 15km 이다.



[그림 1] 김해공항 지형도(좌) 및 주변 지형과의 거리(우)

2.3 장비위치 및 현황

2.3.1 김해공항의 활주로 현황

김해공항의 활주는 R36 - R18방향으로 2본의 평행활주로가 설치되어 있다. 기존의 구 활주로(1990. 12.)는 길이 2,743m, 폭 45m이며, 신활주로(1999. 12.)는 길이 3,200m, 폭 60m로 운영 중에 있다.

활주로 남쪽에서 북쪽으로 착륙(R36방향)시에는 ILS가 설치되어 있으며 VIS 800m, CIG 200ft의 최저기상조건치가 적용되고, 북쪽에서 남쪽으로 착륙(R18방향)시에는 시계 비행으로 VIS 3,200m, CIG 700ft(C급 항공기)의 최저기상 조건치를 적용함으로써 강수 현상이 동반될 경우 시정과 운고가 착륙 제한치 이하로 떨어지는 경우가 빈번한 착륙방향이다.

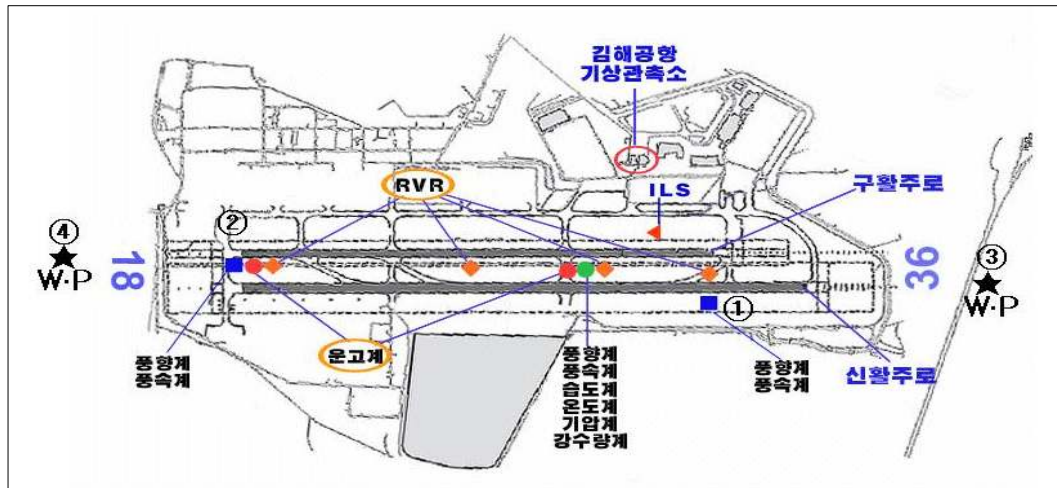
활주로 바람의 상태에 따라 민간 항공사에서는 이·착륙의 제한에 대한 권고 규정을 준수하고 있으며 보통 풍속은 배풍의 경우는 10kt 이상, 측풍은 25~30kt로 제한치를 두어 운항을 실시하고 있다. 따라서 김해공항은 여름철의 경우 남풍이 10kt 이상 불 때는 북쪽에서 남쪽으로 착륙하는 조건이 나빠지고, 반대로 북풍계열의 바람이 불 경우에는 남쪽에서 북쪽방향으로 착륙하는 조건이 좋은 상태로 변하게 된다.

2.3.2 AMOS 장비 및 Wind profiler(WP) 장비 설치현황

김해공항의 AMOS는 2005년 12월 장비를 새롭게 설치 운영되고 있으며, AMOS R36방향(①)과 R18방향(②)은 활주로 말단에서 320m 안쪽으로 설치되었으며, 활주로 양단의 AMOS의 간격은 2,560m를 보이고 있다.

또한 활주로 남쪽(R36방향)과 북쪽(R18방향)에는 프랑스 Degreane사의 Wind Profiler 2 식을 운영하고 있으며, 장비의 지상부근에는 기상청의 검증을 거친 풍향·풍속계 1조씩을 설치하여 운영중에 있다.

활주로의 거리는 남쪽(R36방향 ③)은 활주로 말단에서 1,050m 외곽의 MM지점에 위치하고, 북쪽(R18방향 ④)은 활주로 말단에서 500m 외곽의 VOR지점에 위치하고 있다.



[그림 2] 김해공항 활주로의 장비위치도

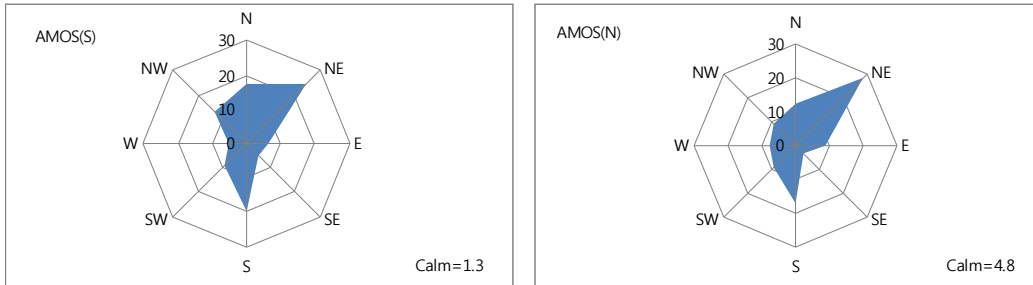
2.4 김해공항 AMOS 양단의 바람 분석

2.4.1 AMOS 양단(S/①, N/②) 풍향 분석

여름철 AMOS 양단의 풍향 빈도를 살펴보면 남단인 AMOS(S/①)에서는 NE이 24.4%로 가장 우세하였고 다음으로 S풍이 19.6%, N풍과 NW풍이 각각 17.3%와 12.6%의 순으로 나타났다. 북단의 AMOS(N/②)에서는 NE이 28.0%로 가장 빈도가 높았고 다음으로 S풍이 17.2%로 높게 나타났다. 양단 모두 NE풍과 S풍이 주풍인 것으로 나타났다.

<표 1> AMOS 양단의 풍향 빈도(단위 : %)

장비위치	Calm	정풍 배풍						측풍	
		NW	N	NE	SE	S	SW	E	W
AMOS(S/①)	1.3	12.6	17.3	24.4	4.4	19.6	8.8	6.2	5.3
AMOS(N/②)	4.8	9.3	12.1	28.0	2.7	17.2	9.1	9.0	7.8



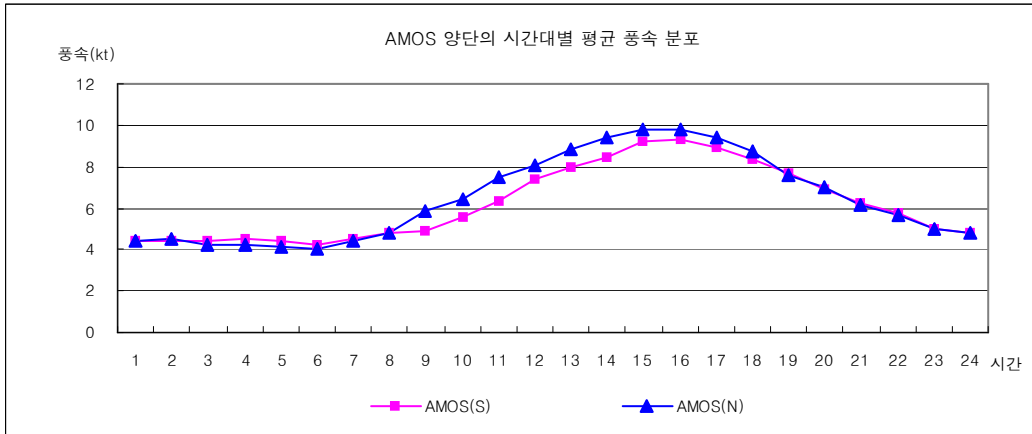
[그림 3] AMOS 양단의 풍향별 빈도

2.4.2 AMOS 양단(S/①, N/②) 시간대별 평균풍속 분석

여름철 AMOS 양단의 시간대별 평균풍속 빈도를 살펴보면 양단 모두 21시~익일 8시 사이에는 4.1~5.9kt 정도의 풍속 분포를 보이며, 9시 이후에 점차 풍속이 증가하여 14시~15시에 9.2~9.8kt로 가장 풍속이 강하게 불었음을 알 수 있다. 한편 19시~익일 8시 사이에는 양단의 풍속이 비슷한 세기의 분포를 보이다가 9시~18시 사이에는 북단인 AMOS(N/②)의 풍속이 남단인 AMOS(S/①)에 비해 평균 0.7kt 이상 더 높게 나타나고 있다.

<표 2> AMOS 양단의 시간대별 평균풍속 분포(단위 : kt)

장비위치	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	평균
AMOS(S/①)	4.4	4.4	4.6	4.4	4.3	4.5	4.8	4.9	5.6	6.4	7.4	7.9	8.5	9.2	9.3	9.0	8.4	7.7	6.9	6.2	5.7	5.0	4.8	4.5	6.2
AMOS(N/②)	4.5	4.2	4.2	4.2	4.1	4.4	4.8	5.9	6.4	7.5	8.0	8.8	9.4	9.8	9.8	9.4	8.7	7.6	7.0	6.2	5.7	5.0	4.8	4.4	6.4
①-②	-0.1	0.2	0.4	0.2	0.3	0.1	0	-1.0	-0.8	-1.1	-0.6	-0.9	-0.9	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	0.1	-0.1	0	0	0	0	0.1	-0.2



[그림 4] AMOS 양단의 시간대별 평균풍속 분포

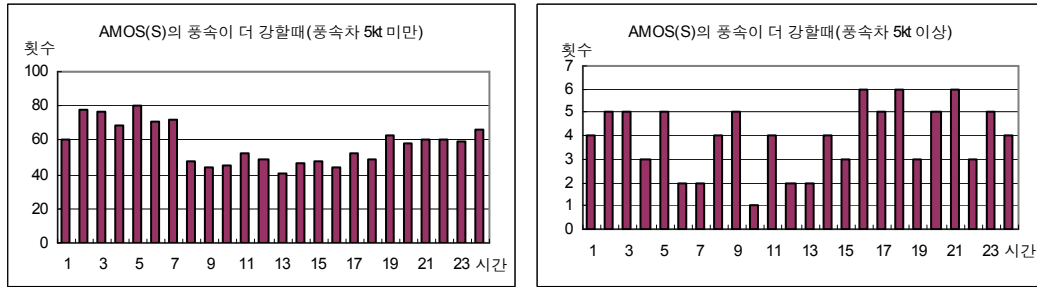
2.4.3 AMOS 양단(S/①, N/②) 풍속차에 대한 시간대별 분포

여름철 AMOS 양단의 풍속차에 대한 시간대별 분포를 살펴보면 남단인 AMOS(S/①)의 풍속이 북단인 AMOS(N/②)의 풍속보다 강한 경우에서, 그 차가 5kt 미만인 경우는 2시~7시 사이에 높게 나타났고, 풍속차가 5kt 이상인 경우는 18시~21시 사이에 비교적 높은 횟수를 나타냈다. 한편 북단인 AMOS(N/②)의 풍속이 남단인 AMOS(S/①)의 풍속보다 강한 경우에서, 그 차가 5kt 미만인 경우는 주로 8시~16시 사이에 많이 발생하는 것으로 나타났고, 풍속차가 5kt 이상인 경우는 6시~15시 사이에 발생횟수가 많은 것으로 나타나났다.

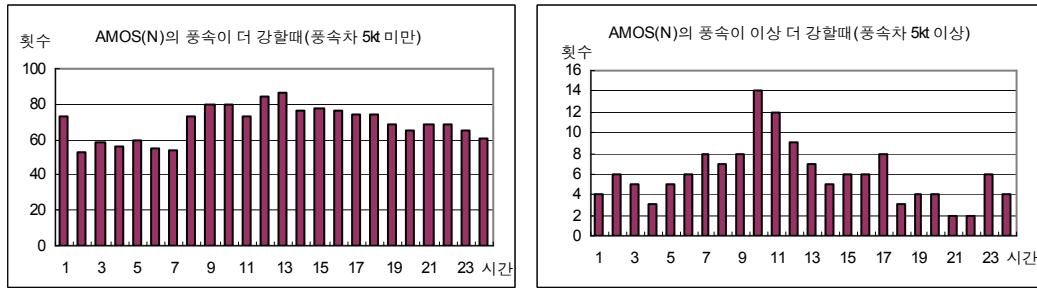
전반적으로 남단인 AMOS(S/①)의 풍속이 더 높게 나타나는 경우는 오후 늦게부터 익일 아침 시간대인 19시(일몰후)~ 익일 7시(일출전) 사이에 높게 나타나는 경향을 보이고 있으며, 북단인 AMOS(N/②)의 풍속이 더 높게 나타나는 경우는 반대로 낮 시간대인 8시~16시(일출 후) 사이에 더 자주 발생하는 것을 알 수 있다.

<표 3> AMOS 양단의 풍속차 발생에 대한 시간대별 분포(단위 : 횟수)

장비위치 \ 시간		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AMOS(S/①) 풍속이 더 강할 때	5kt 미만	60	78	77	69	80	71	72	48	44	45	52	49	41	47	48	44	52	49	63	58	60	60	59	66
	5kt 이상	4	5	5	3	5	2	2	4	5	1	4	2	2	4	3	6	5	6	3	5	6	3	5	4
AMOS(N/②) 풍속이 더 강할 때	5kt 미만	73	53	58	56	60	55	54	73	80	80	73	84	86	76	78	76	74	74	68	65	69	69	65	61
	5kt 이상	4	6	5	3	5	6	8	7	8	14	12	9	7	5	6	6	8	3	4	4	2	2	6	4



[그림 5] AMOS(S/①)의 풍속이 더 강할 때 시간대별 분포



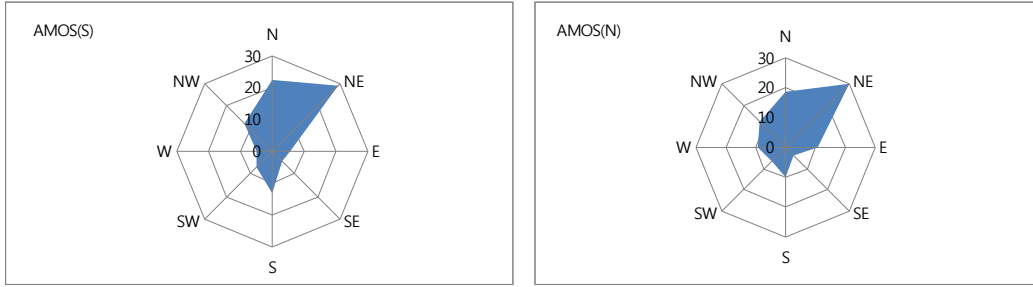
[그림 6] AMOS(N/②)의 풍속이 더 강할 때 시간대별 분포

2.4.4 한쪽에서 AMOS 풍속이 강할 경우의 양단(S/①, N/②)의 풍향 분포

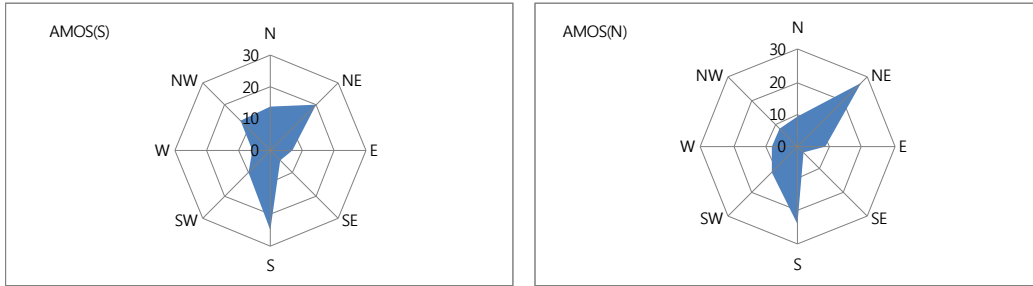
여름철 한쪽에서 AMOS 풍속이 강할 경우에 양단의 풍향 분포를 살펴보면, 남단인 AMOS(S/①)의 풍속이 북단보다 더 강했을 경우는 남단(S/①)에서는 NE풍과 N풍이 29.4%, 22.6%로 높게 나타났으며, 북단(N/②)에서는 NE풍과 N풍이 29.8%, 18.4%로 높게 나타나, 양단 모두 NE풍과 N풍이 가장 우세하였다. 또한 북단인 AMOS(N/②)의 풍속이 남단보다 더 강했을 경우는 남단(S/①)에서는 S풍이 25.3%, NE풍이 20.5%로 높게 나타났으며, 북단(N/②)에서는 NE풍이 27.8%, S풍이 24.1% 순으로 높게 나타났다. 양단 모두 S풍과 NE풍이 가장 우세하였다.

<표 4> 한쪽에서 AMOS 풍속이 강할 경우의 양단의 풍향 분포(%)

장비위치		정풍 배풍						측 풍	
		NW	N	NE	SE	S	SW	E	W
AMOS(S/①) 풍속이 더 강할 때	남단(S/①)	12.5	22.6	29.4	4.5	13.1	7.4	5.4	5.1
	북단(N/②)	12.1	18.4	29.8	3.2	10.1	6.6	10.4	9.5
AMOS(N/②) 풍속이 더 강할 때	남단(S/①)	12.9	13.8	20.5	4.6	25.3	10.2	7.0	5.8
	북단(N/②)	8.3	9.4	27.8	2.7	24.1	11.4	8.5	7.8



[그림 7] AMOS(S/①)의 풍속이 더 강할 때의 풍향 분포(%)



[그림 8] AMOS(N/②)의 풍속이 더 강할 때의 풍향 분포(%)

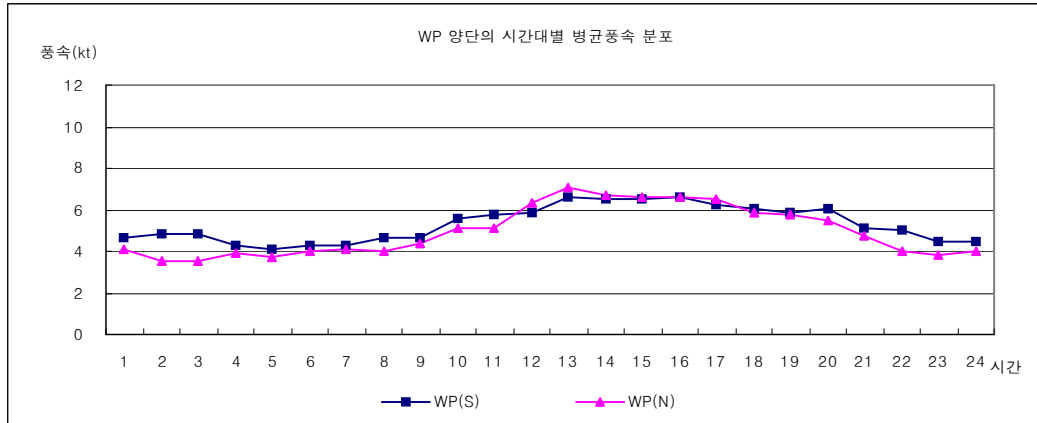
2.5 김해공항 Windprofiler(WP) 양단의 바람 분석

2.5.1 WP 양단(S/③, N/④) 시간대별 평균풍속 분석

여름철 WP 양단의 시간대별 평균풍속 빈도를 살펴보면 전시간대에 3.5~7.1kt의 분포를 보이고 있으며, 양단의 평균 풍속차(③-④)는 12시~17시 사이에 0.5kt 이하로 북단(N/④)의 풍속이 더 높게 나타났으며, 18시~익일 11시 사이에는 0.1~1.4kt로 남단(S/③)의 풍속이 더 높게 나타났다. 하지만 양단의 평균풍속 차이는 1.5kt 이하로 큰 차이를 보이지는 않았다.

<표 5> WP 양단의 시간대별 평균풍속 분포(단위 : kt)

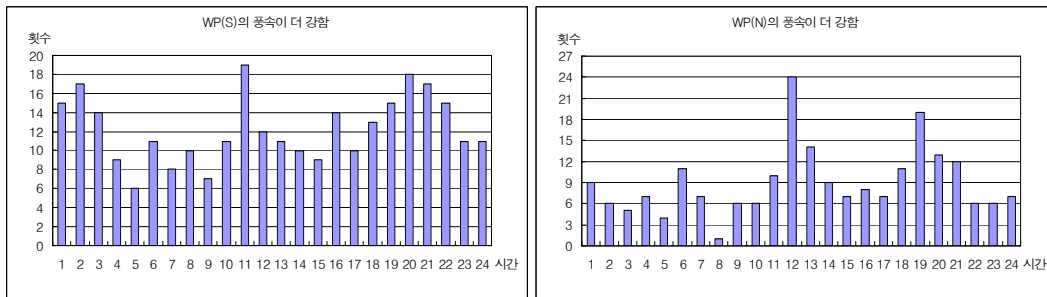
장비위치	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	평균
WP (S/③)	4.7	4.9	4.9	4.3	4.1	4.3	4.3	4.7	4.6	5.6	5.7	5.9	6.6	6.5	6.5	6.6	6.2	6.0	5.8	6.0	5.1	5.0	4.4	4.4	5.3
WP (N/④)	4.1	3.6	3.5	3.9	3.7	4.0	4.1	4.0	4.4	5.1	5.1	6.4	7.1	6.7	6.6	6.6	6.5	5.9	5.7	5.5	4.8	4.0	3.8	4.0	4.9
③-④	0.6	1.3	1.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.6	0.3	0.5	0.6	-0.4	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	-0.2	0.1	0.1	0.6	0.3	1.0	0.7	0.4	0.4



[그림 9] WP 양단의 시간대별 평균풍속 분포

2.5.2 WP 양단(S/③, N/④) 풍속차가 5kt 이상일 때 시간대별 분포

여름철 WP 양단의 풍속차에 대한 시간대별 분포를 살펴보면 남단인 WP(S/③)의 풍속이 북단인 WP(N/④)의 풍속보다 5kt 이상 강했을 경우는, 11시에 19회로 가장 많이 발생했다. 한편 북단인 WP(N/④)의 풍속이 남단인 WP(S/③)의 풍속보다 더 강했을 경우는 12시에 24회로 가장 많이 발생한 것으로 나타났다. 전반적으로 북단(N) 보다는 남단(S)의 WP에서 풍속이 더 강하게 관측되고 있음을 알 수 있다.



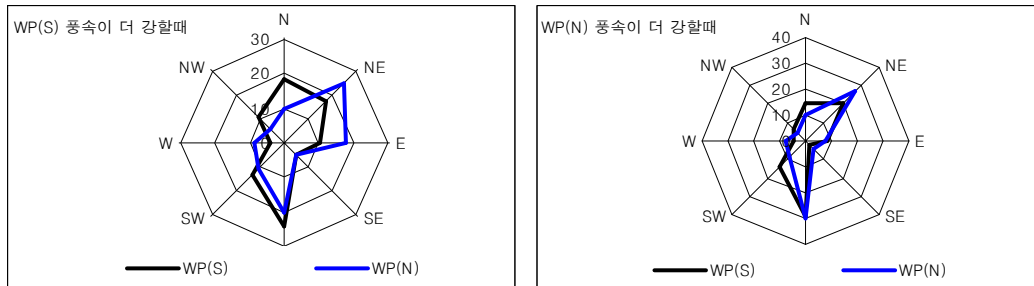
[그림 10] WP 양단의 풍속차가 5kt 이상일 때 시간대별 분포

2.5.3 한쪽 WP 풍속이 5kt 이상 강할 때의 양단(S/③, N/④) 풍향 분포

여름철 한쪽에서 WP 풍속이 더 강할 경우에 양단의 풍향 분포를 살펴보면 남단인 WP(S/③)의 풍속이 북단보다 더 강할 경우의 풍향은 WP(S/③)은 S풍이 23.5%, N풍이 18.3%로 높은 분포를 보였고, WP(N/④)는 NE풍 24.0%, S풍이 19.6%를 보였으며 특히, 측풍에 해당되는 E풍이 17.3%로 탁월한 경향을 보였다. 북단인 WP(N/④)의 풍속이 남단보다 더 강할 경우의 풍향은 WP(N/④)는 S풍 30.3%, NE풍이 27.7%를 높은 분포를 보였으며, WP(S/③)은 S풍이 29.0%로 높은 분포를 보였다.

<표 6> 한쪽 WP의 풍속이 5kt 이상 강할 때 풍향 빈도(단위 : %)

지 점		정풍, 배풍						측풍	
		NW	N	NE	SE	S	SW	E	W
WP(S/③) 풍속이 더 강할 때	WP(S/③)	10.0	18.3	16.2	4.9	23.5	13.2	9.9	4.1
	WP(N/④)	5.6	9.7	24.0	4.8	19.6	10.2	17.3	8.7
WP(N/④) 풍속이 더 강할 때	WP(S/③)	6.4	14.5	20.9	2.6	29.0	13.7	8.2	4.6
	WP(N/④)	4.1	9.7	27.7	3.6	30.3	9.6	7.6	7.3



[그림 11] 한쪽 WP의 풍속이 5kt 이상 강할 때 풍향 빈도

2.6 여름철 AMOS와 WP 바람 분석

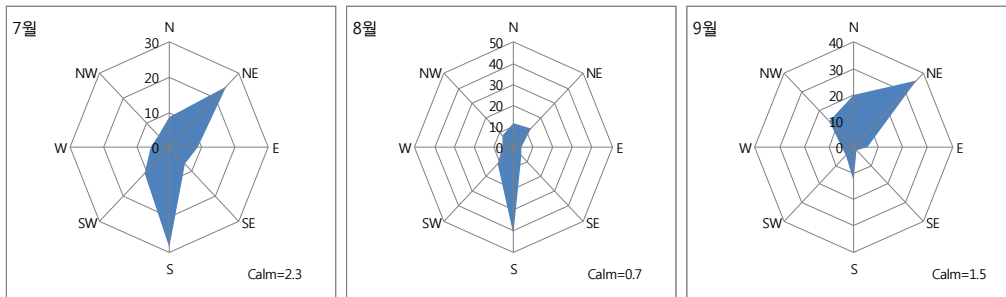
2.6.1 AMOS 와 WP 양단의 월별 풍향 특성

AMOS(S/①, N/②)와 WP(S/③, N/④)의 월별 풍향을 살펴보면, 7월의 경우 AMOS는 남단(S/①)은 S풍과 N풍이 각각 28.4%, 24.3%로 우세하였으며, 북단(N/②)에서는 NE풍과 S풍이 각각 26.7%와 25.2%로 가장 우세하였다. WP는 남단(S/③)에서는 S풍이 25.9%, NE풍이 21.7%의 순으로 높게 나타났고, 북단(N/④)에서는 NE풍, S풍, E풍이 각각 27.5%, 21.9%, 20.1%의 순으로 나타났다. 즉 7월은 AMOS와 WP 모두 남단에서는 S풍과 NE풍이, 북단에서는 NE풍, S풍의 순으로 높게 나타나며 W/P북단(N/④)에서는 E풍인 측풍이 강하게 유입하고 있는 특성을 보였다.

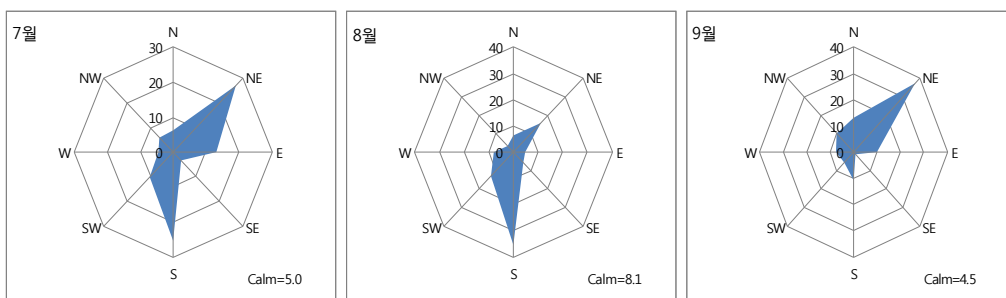
8월의 경우 AMOS 남단(S①)과 북단(N/②)에서 각각 41.2%와 35.4%, WP 남단(S/③)과 북단(N/④)에서 각각 37.5%와 36.2%로 나타났다. 즉 8월은 모두 S풍이 가장 우세하게 나타났다. 또한 9월의 경우 AMOS 남단(S①)의 경우 NE풍과 N풍이 35.6%, 19.6%의 순으로 북단(N/②)의 경우는 37.2%, 13.2%의 순으로 나타났으며, WP의 경우의 남단(S/③)의 경우는 N풍과 NE풍이 24.2%, 23.5%의 순으로 높게 나타났으며, 북단(N/④)의 경우는 NE풍과 N풍이 34.8%, 16.5%의 순으로 나타났다. 즉 양단 모두 NE풍이 가장 우세하였으나, WP(S/③)에서 N풍과 NE풍이 비슷한 경향으로 높은 분포를 보였다.

<표 7> AMOS와 WP의 여름철 풍향 빈도 분포(%)

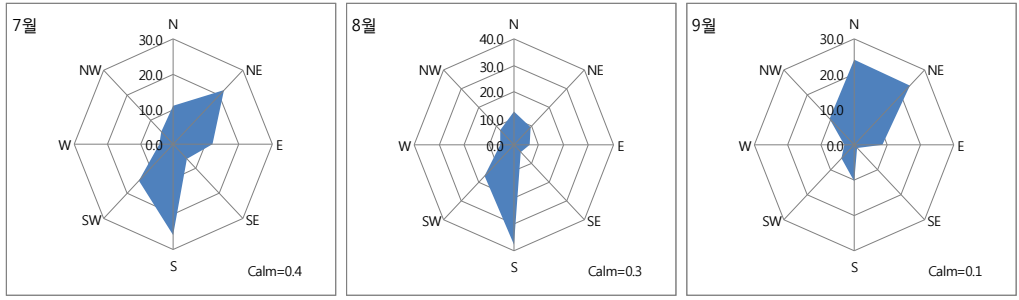
	장비위치	정풍 배풍							측 풍	
		Calm	NW	N	NE	SE	S	SW	E	W
7월	AMOS(S/①)	2.3	4.8	8.6	24.3	6.9	28.4	10.4	8.7	5.6
	AMOS(N/②)	5.0	5.9	6.3	26.7	3.3	25.2	10.1	13.0	4.5
	WP(S/③)	0.4	5.0	10.9	21.7	5.8	25.9	14.4	11.8	4.0
	WP(N/④)	2.6	4.6	6.7	27.5	2.8	21.9	7.4	20.1	6.5
8월	AMOS(S/①)	0.7	7.8	11.2	12.7	5.6	41.2	11.4	4.0	5.4
	AMOS(N/②)	8.1	3.6	6.5	15.7	5.4	35.4	12.5	4.9	7.8
	WP(S/③)	0.3	7.9	12.6	9.4	3.9	37.5	16.9	6.1	5.5
	WP(N/④)	1.5	3.3	7.3	15.9	7.5	36.2	12.0	9.1	7.2
9월	AMOS(S/①)	1.5	13.7	19.6	35.6	1.6	12.8	4.7	5.6	4.8
	AMOS(N/②)	4.5	10.4	13.2	37.2	1.2	10.7	5.4	9.9	7.5
	WP(S/③)	0.1	10.3	24.2	23.5	1.1	10.4	5.7	8.5	2.9
	WP(N/④)	0.6	6.1	16.5	34.8	1.9	12.9	7.6	9.3	10.3



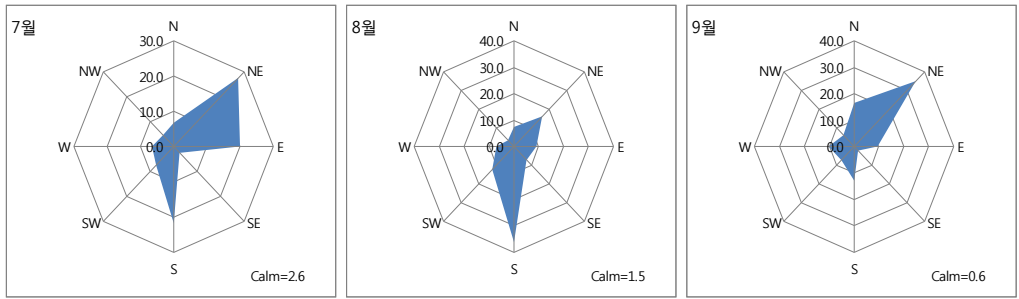
[그림 12] AMOS(S/①)의 월별 풍향 빈도(%)



[그림 13] AMOS(N/②)의 월별 풍향 빈도(%)



[그림 14] WP(S/③)의 월별 풍향 빈도(%)



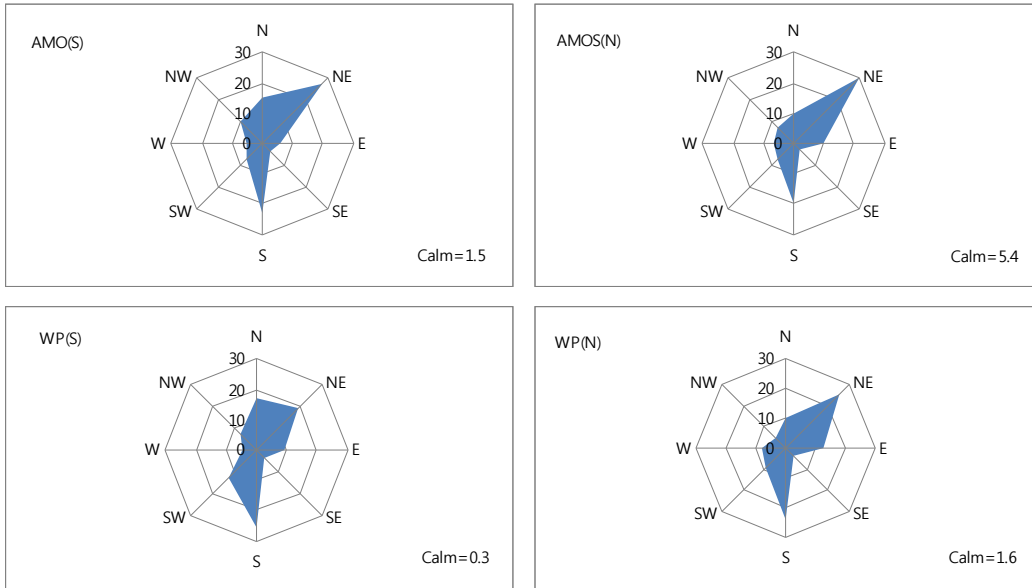
[그림 15] WP(N/④)의 월별 풍향 빈도(%)

또한 AMOS(S/①, N/②)와 WP(S/③, N/④)의 여름철 풍향별 빈도를 살펴보면, AMOS의 경우는 남단(S/①)에서 NE풍과 S풍이 각각 27.7%와 22.9%, 북단(N/②)에서는 29.9%와 19.8%로 높은 빈도를 보여 모두 NE풍과 S풍이 우세한 것으로 나타났다.

WP의 경우는 남단(S/③)에서 S풍과 NE풍이 각각 25.7%와 19.0%로 남풍이 더 높게 나타났다. 북단(N/④)의 경우는 NE풍과 S풍이 각각 25.6%, 24.2%로 높은 분포를 보였다. 즉 WP 남단(S/③)에서는 지형적인 영향으로 여름철에는 타 지점보다는 NE풍의 빈도가 낮게 분포하고 S풍과 SW풍의 영향을 많이 받고 있다..

<표 8> AMOS와 WP의 여름철 풍향별 빈도(%)

장비위치	Calm	정풍, 배풍						측풍	
		NW	N	NE	SE	S	SW	E	W
AMOS(S/①)	1.5	10.2	15.1	27.7	3.8	22.9	7.6	6.0	5.2
AMOS(N/②)	5.4	7.8	10.0	29.9	2.7	19.8	8.1	9.5	6.8
WP(S/③)	0.3	8.1	16.7	19.0	3.7	25.7	12.9	9.2	4.3
WP(N/④)	1.6	4.6	9.9	25.6	4.2	24.2	9.1	12.9	7.9



[그림 16] AMOS와 WP의 여름철 풍향별 빈도

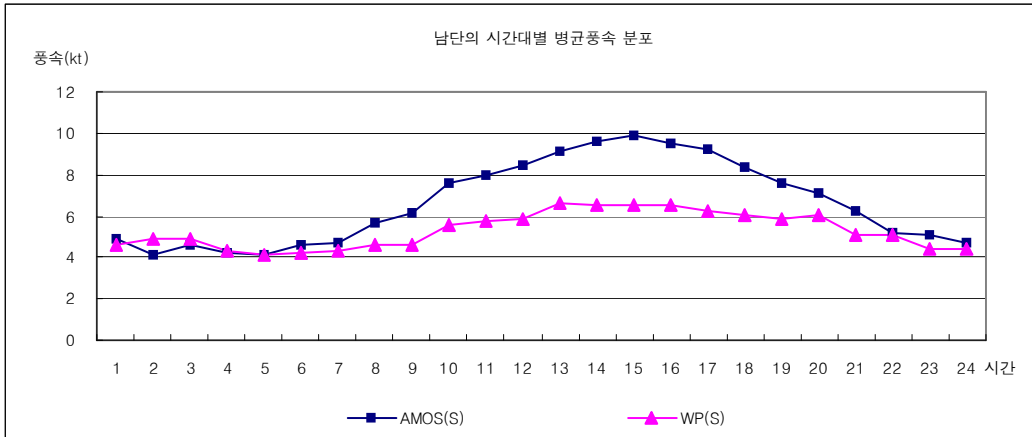
2.6.2 AMOS와 WP 양단의 풍속차에 대한 평균풍속 분포

여름철 AMOS와 WP의 양단의 풍속차에 대한 시간대별 분포를 살펴보면 남단(①, ③)에서 AMOS 풍속(①)은 4.7~9.8kt의 분포, WP 풍속(③)은 4.1~6.6kt의 분포로 AMOS의 풍속(①)이 평균 1.3kt 더 높게 나타났으며, 북단(②, ④)에서는 AMOS 풍속(②)은 4.1~9.1kt, WP 풍속(④)이 3.1~7.1kt의 분포를 보여 AMOS의 풍속(②)이 평균 1.4kt 더 높은 분포를 보여 전체적으로 AMOS의 풍속이 더 높게 관측되고 있다.

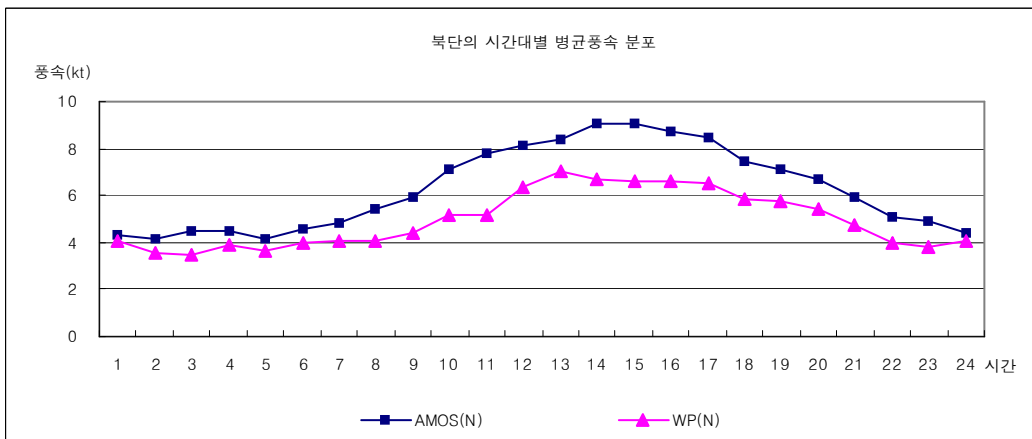
<표 9> AMOS와 WP의 양단의 평균풍속 분포(단위 : kt)

장비위치\시간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	평균	
남단 (S)	AMOS (S/①)	4.9	4.1	4.6	4.3	4.1	4.6	4.7	5.7	6.1	7.6	7.9	8.5	9.1	9.6	9.8	9.5	9.3	8.3	7.6	7.1	6.2	5.2	5.1	4.7	6.6
	WP (S/③)	4.7	4.9	4.9	4.3	4.1	4.3	4.3	4.7	4.6	5.6	5.7	5.9	6.6	6.5	6.5	6.6	6.2	6.0	5.8	6.0	5.1	5.0	4.4	4.4	5.3
	①-③	0.2	-0.8	-0.2	0	0	0.4	0.4	1.1	1.5	2.0	2.2	2.6	2.5	3.1	3.3	2.9	3.0	2.3	1.8	1.0	1.2	0.2	0.7	0.3	1.3
북단 (N)	AMOS (N/②)	4.3	4.2	4.5	4.5	4.1	4.6	4.9	5.4	6.0	7.1	7.8	8.1	8.4	9.0	9.1	8.7	8.5	7.5	7.1	6.7	6.0	5.1	4.9	4.4	6.3
	WP (N/④)	4.1	3.6	3.5	3.9	3.7	4.0	4.1	4.0	4.4	5.1	5.1	6.4	7.1	6.7	6.6	6.6	6.5	5.9	5.7	5.5	4.8	4.0	3.8	4.0	4.9
	②-④	0.3	0.6	1.0	0.6	0.4	0.6	0.8	1.4	1.6	2.0	2.6	1.8	1.3	2.3	2.5	2.2	2.0	1.6	1.4	1.2	1.2	1.0	1.1	0.4	1.4

풍속 차는 9시~19시에 큰 차이를 보이며 남단(①, ③)에서는 1.5~3.3kt의 차를 보이고, 북단(②, ④)에서는 1.6~2.3kt의 풍속차를 보였다. 그러나 양단 모두 20시~익일 7시 사이에는 1kt 미만으로 일출을 전후한 풍속차가 큰 것을 보였다.



[그림 17] AMOS와 WP의 남단(S)에서 평균풍속 분포

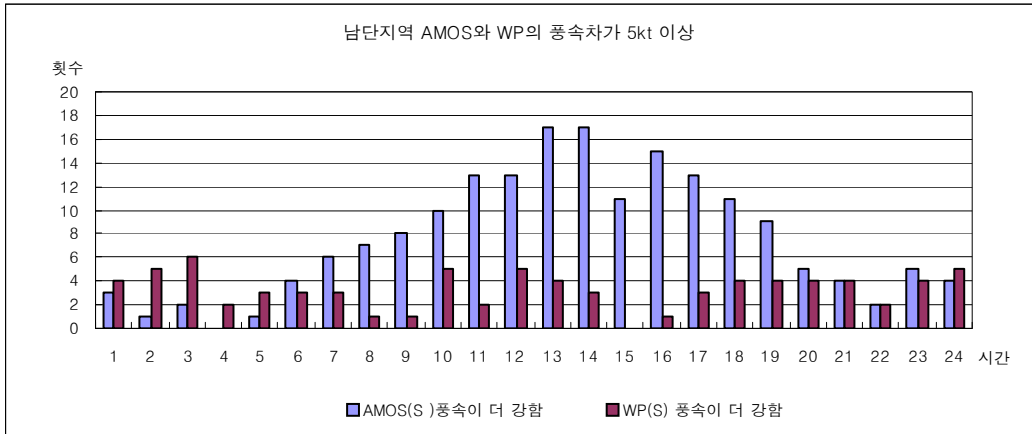


[그림 18] AMOS와 WP의 북단(N)에서 평균풍속 분포

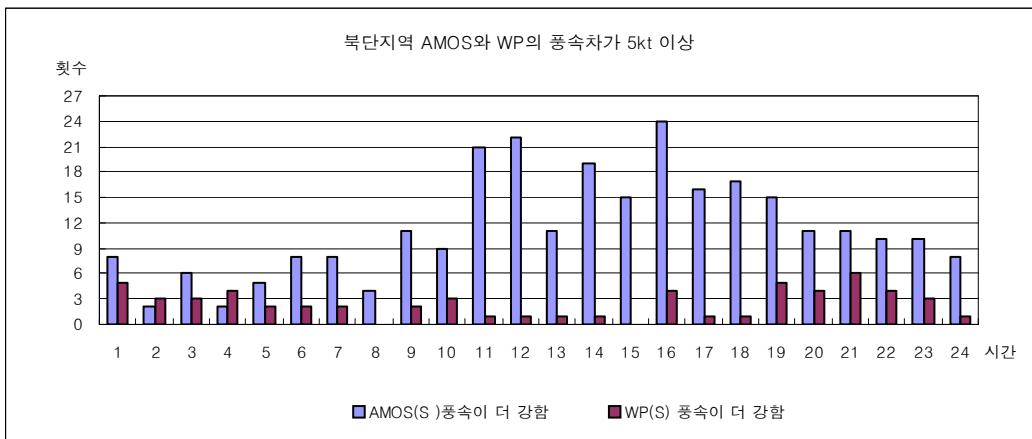
2.6.3 AMOS와 WP의 풍속차가 5kt 이상일 경우

여름철 활주로 남단(S)에서 AMOS의 풍속(①)이 WP의 풍속(③)보다 5kt 이상 더 강했을 경우는 일출 후 점차 증가하여 13시~14시에 17회로 가장 많이 발생하였고 이후 점차 감소하였다. 그리고 WP의 풍속(③)이 AMOS 풍속(①)보다 더 강했을 경우는 발생 횟수가 현저히 적게 나타나고 뚜렷한 경향을 보이지는 않았다.

북단(N)에서 AMOS 풍속(②)이 WP 풍속(④)에 비해 5k t이상 높게 나타난 경우는 16시에 24회로 가장 많이 발생하였으며, 11~19시 사이에 높은 분포를 보였다. 그리고 WP의 풍속(④)이 AMOS 풍속(②) 보다 더 강했을 경우는 발생분포는 낮으나 일몰 후에 더 자주 발생하는 경향을 보이고 있다.



[그림 19] 남단(S)에서 AMOS와 WP의 풍속차(①-③)가 5kt 이상 일때 분포



[그림 20] 북단(N)에서 AMOS와 WP의 풍속차(②-④)가 5kt 이상 일때 분포

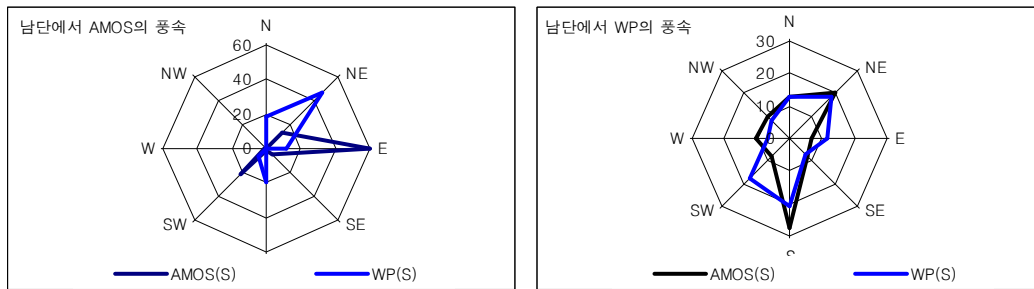
또한 풍속차가 5kt 이상 일 때 풍향분포를 살펴보면 남단(S)에서 AMOS의 풍속(①)이 더 강했을 경우는 AMOS 풍향은 E풍이 58.6%로 가장 탁월하였고, 다음으로 SW풍이 21.5%로 높게 나타났으며, WP 풍향은 NE풍이 45.3%로 가장 탁월하였다. 그리고 WP의 풍속(③)이 더 강했을 경우는 WP 풍향은 S풍이 20.5%로 높게 나타났으며, AMOS 풍향은 S풍이 26.9%로 높게 나타났다. 이 때의 활주로의 측풍에 해당되는 E풍이 58.6%로 높게 분포하는 것은 김해공항 활주로 동쪽에 백양산과 구덕산 사이로 긴 골이 형성되어 부산 앞바다에서 불어오는 강한 E풍이 계속 김해공항까지 유입되는 지형적인 특성을 잘 보여주고 있다.

북단(N)에서 AMOS의 풍속(②)이 더 강했을 경우는 AMOS 풍향은 NE풍이 47.6%로 가장

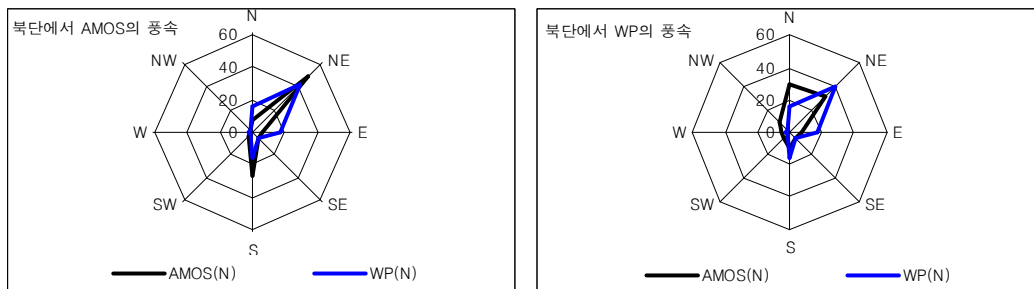
탁월하였으며 다음으로 S풍이 26.4%로 높게 나타났고, WP 풍향은 NE풍이 40.3%로 가장 탁월하다. 그리고 WP의 풍속(④)이 더 강하게 불었을 때는 WP 풍향은 NE풍이 40.3%로 가장 탁월하였으며, AMOS 풍향은 NE풍과 N풍이 각각 30.5%와 28.8%로 높게 나타났다.

<표 10> AMOS와 WP의 풍속차가 5kt 이상 일 때 풍향 빈도(단위 : %)

장비위치		풍향	정풍, 배풍						측풍	
			NW	N	NE	SE	S	SW	E	W
남단(S)	AMOS(S/①)	AMOS(S/①)	0.0	0.0	12.7	4.4	1.1	21.5	58.6	1.7
	풍속이 더 강함	WP(S/③)	0.6	18.2	45.3	0.0	18.8	5.5	11.0	0.6
	WP(S/③)	AMOS(S/①)	9.0	12.8	19.2	7.7	26.9	7.7	6.4	10.3
	풍속이 더 강함	WP(S/③)	7.7	12.8	17.9	6.4	20.5	16.7	11.5	6.4
북단(N)	AMOS(N/②)	AMOS(N/②)	2.6	7.7	47.6	5.1	26.4	3.3	6.6	0.7
	풍속이 더 강함	WP(N/④)	1.8	15.4	40.3	5.1	15.4	2.6	16.8	2.6
	WP(N/④)	AMOS(N/②)	8.5	28.8	30.5	5.1	10.2	5.1	6.8	5.1
	풍속이 더 강함	WP(N/④)	1.8	15.4	40.3	5.1	15.4	2.6	16.8	2.6



[그림 21] 남단(S)에서 AMOS와 WP의 풍속차가 5kt 이상 일 때 풍향



[그림 22] 북단(N)에서 AMOS와 WP의 풍속차가 5kt 이상 일때 풍향

2.6.4 AMOS와 WP의 양단의 풍향차 발생 분포

AMOS 양단(①, ②)의 풍향차가 90°이상인 경우는 전체 발생건수의 7%로 나타났으며, 그 중 양단의 풍향이 완전히 상반되는 160°이상의 풍향차를 보이는 경우도 1.4%로 나타났다. WP 양단(③, ④)의 풍향차가 90°이상인 경우는 전체 발생건수의 16%로 AMOS의 2배 이상으로 높게 나타났고, 그 중 160°이상의 풍향차를 보이는 경우는 3.4%로 AMOS보다 2배 이상 높은 분포를 보여 AMOS의 양단의 풍향차에 비해 WP의 양단간의 풍향차가 더 많이 발생하는 것을 보였다.

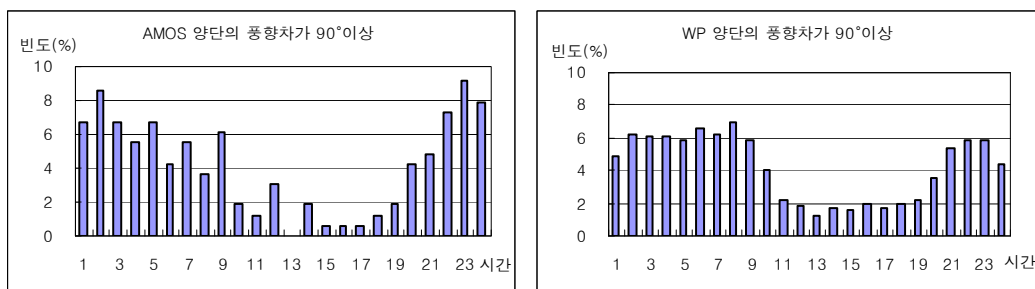
<표 11> 양단의 풍향차 발생 빈도(단위 : %)

장비위치	양단의 풍향차				합계
	90°미만	90°-120°	130°-150°	160°-180°	
AMOS 양단(S/①, N/②)	93.4	3.0	2.2	1.4	100
WP 양단(S/③, N/④)	83.8	9.1	3.7	3.4	100

그리고 양단의 풍향차가 90°이상일 때 시간대별 빈도 분포를 살펴보면, AMOS 양단(①, ②)의 경우 10~19시 사이에는 1.8% 이하의 낮은 빈도를 보이다 20시 이후에는 크게 증가하고 있으며 특히 22시~익일 2시 상이에는 7.3~8.5%로 빈도가 가장 높게 나타나고 있다. WP 양단(③, ④)의 경우 10~18시 사이에는 1.2~2.1%의 낮은 빈도를 보이다 19시 이후에 점차 증가하여 익일 9시 까지 4.4~6.9%의 빈도 분포를 보이고 있다. 이는바다와 낙동강에 인접한 김해공항의 지형적인 특성 때문인 것으로 분석되었다.

<표 12> 양단의 풍향차가 90°이상일 때 시간대별 빈도 분포 (단위 : %)

장비	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	합계
AMOS	6.7	8.5	6.7	5.5	6.7	4.3	5.5	3.7	6.1	1.8	1.2	3.0	0.0	1.8	0.6	0.6	0.6	1.2	1.8	4.3	4.9	7.3	9.1	7.9	100
WP	6.3	6.1	6.1	5.8	6.6	6.3	6.9	5.8	4.0	2.1	1.8	1.2	1.7	1.5	2.0	1.7	2.0	2.1	3.5	5.4	5.8	5.8	4.4	4.4	100

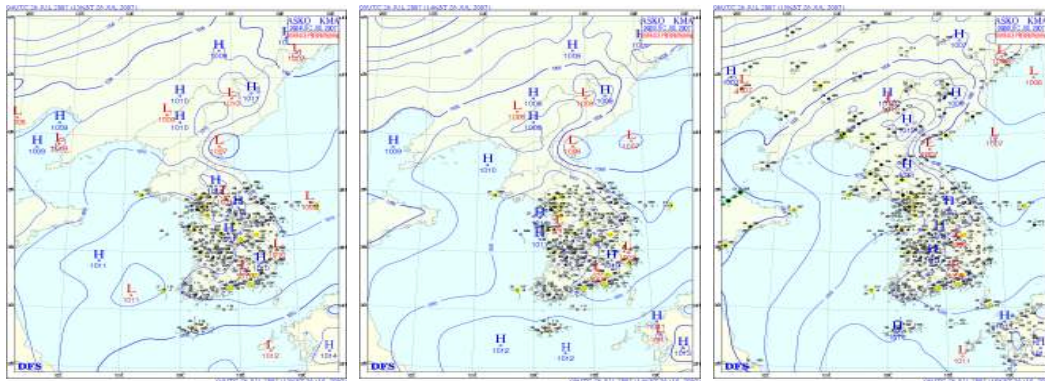


[그림 23] 양단의 풍향차가 90°이상일 때 시간대별 발생 분포

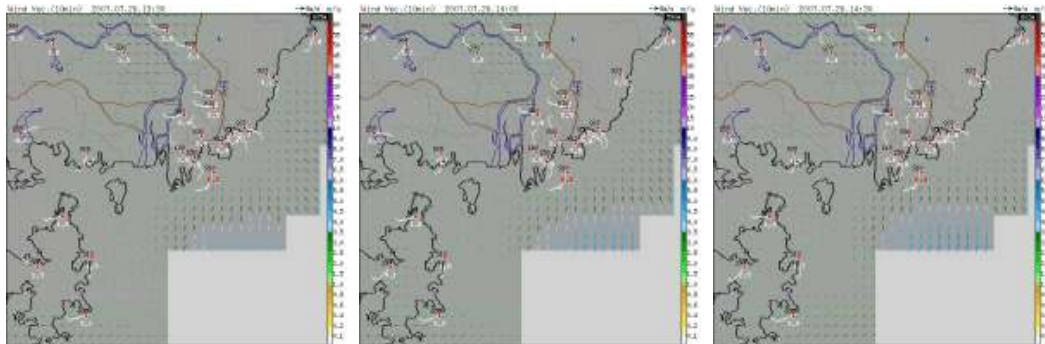
2.7 사례분석

2.7.1 AMOS 남단(S/①)과 북단(N/②)의 풍향이 반대인 경우(2007. 7. 26)

2007년 7월 26일 14KST에 AMOS 남단(S/①)에서 190도(S풍) 8.3kt로 불고, 북단(N/②)에서는 330도(NNW풍) 5.6kt의 풍향·풍속을 보여, 활주로 양단에서 서로 반대되는 경향의 풍향이 관측되었다. 이 날 13시, 14시, 15시 한반도 일기도를 보면 남부지방으로 작은 저기압이 형성되어 통과하면서 김해공항은 수렴역에 위치하고 있었다. 13:30~14:30KST 사이에 김해공항 주변의 바람벡터를 보면 AMOS 남단(S/①)R36의 풍향은 남풍의 영향을 계속 받고 있으나, 북단(N/②)의 풍향은 김해공항으로 수렴역이 강해지고 W풍에서 NNW풍으로 바뀌는 것을 알 수 있었다.



[그림 24] 2007년 7월 26일 13시, 14시, 15시 한반도 일기도



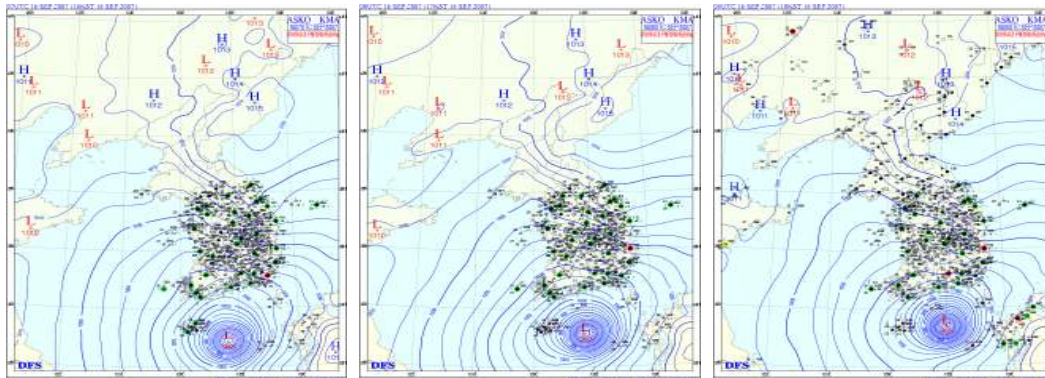
[그림 25] 2007년 7월 26일 13:30,14:00,14:30 김해공항 주변 바람벡터

<표 13> AMOS 남단과 북단의 풍향이 반대인 경우(2007. 7. 26)(단위 : kt)

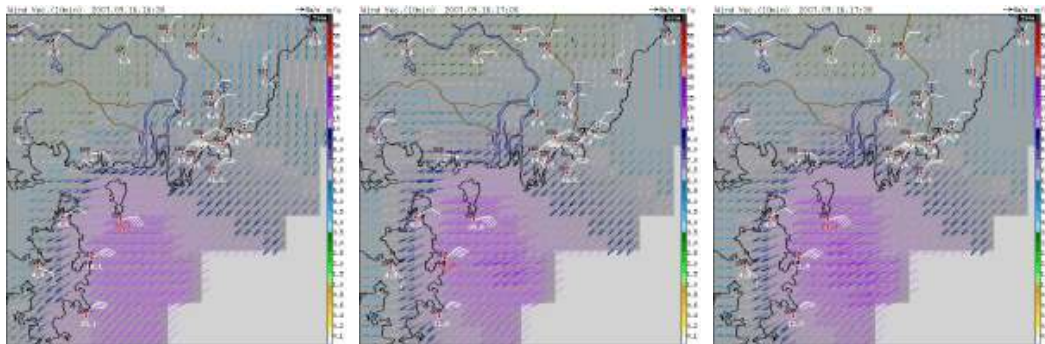
장비위치\시간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AMOS(S/①)	7.5	6.1	8.4	7.2	9.8	9	10.2	10.9	12.9	14	17.2	16	14.6	18.3	20.8	13.6	11.3	20.6	22.3	24.1	25.7	15.1	12.2	4.7
AMOS(N/②)	7.4	7.3	8.3	6.6	9.4	7.6	9.4	9.6	11.8	11.9	15.9	17.4	19.5	14.4	20	17.5	14	21.8	21.2	16	25.1	16.3	14.6	4.4
①-② 풍속차	0.1	-1.2	0.1	0.6	0.4	1.4	0.8	1.3	1.1	2.1	1.3	-1.4	-4.9	3.9	0.8	-3.9	-2.7	-1.2	1.1	8.1	0.6	-1.2	-2.4	0.3

2.7.2 AMOS 북단(N/②)이 남단(S/①)의 풍속 보다 10kt 이상 강한 경우(2007. 9. 16)

2007년 9월 16일 16:30~17:30KST 사이에 AMOS 북단(N/②)의 풍속은 21~23kt, 남단(S/①)의 풍속은 4~9kt로 활주로 양단 풍속차가 12~19kt로 나타났다. 16시30분에 19.1kt, 17시30분에 12.5kt의 양단 풍속차가 발생하였다. 이 날 16시, 17시, 18시 한반도 일기도를 보면 제11호 태풍 나리의 중심은 여수 남남서쪽 약 100km 부근 해상에서 약 30km/h로 북북동진하고 있고, 김해공항 주변의 바람벡터는 태풍 나리의 영향으로 남해상에는 20kt 이상의 강풍이 불고 있으며, 김해공항 주변 육상에서는 해안과 가까울수록 높은 풍속을 나타내고 있어 AMOS 북단(N/②)의 풍속이 남단(S/①)의 풍속보다 10kt 이상 강하게 나타났다.



[그림 26] 2007년 9월 16일 16시, 17시, 18시 한반도 일기도



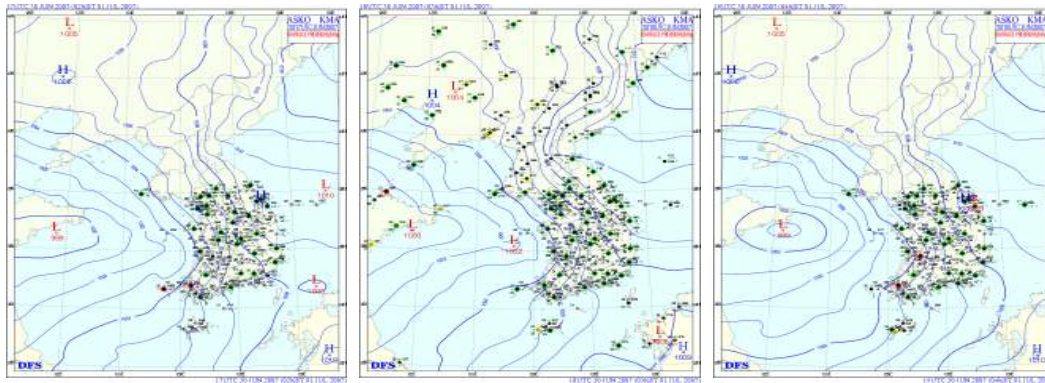
[그림 27] 2007년 9월 16일 16:30, 16:00, 17:30 김해공항 주변 바람벡터

<표 14> AMOS 북단이 남단의 풍속 보다 강한 사례(2007. 9. 16)(단위 : kt)

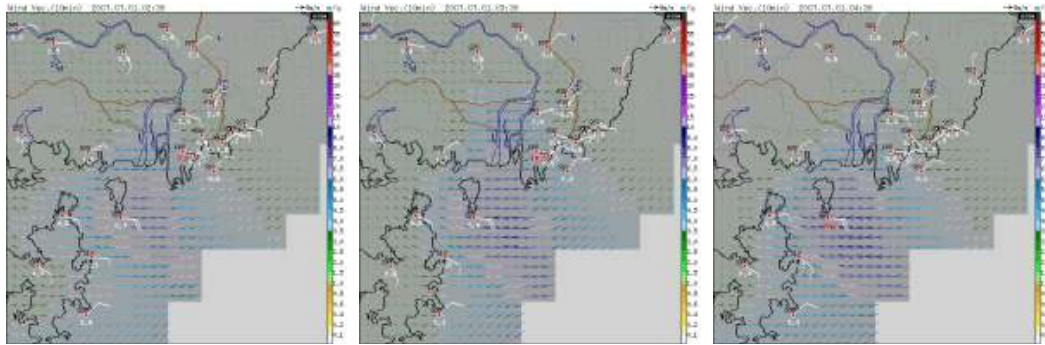
장비위치\시간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AMOS(S/①)	7.5	6.1	8.4	7.2	9.8	9	10.2	10.9	12.9	14	17.2	16	14.6	18.3	20.8	13.6	11.3	20.6	22.3	24.1	25.7	15.1	12.2	4.7
AMOS(N/②)	7.4	7.3	8.3	6.6	9.4	7.6	9.4	9.6	11.8	11.9	15.9	17.4	19.5	14.4	20	17.5	14	21.8	21.2	16	25.1	16.3	14.6	4.4
①-② 풍속차	0.1	-1.2	0.1	0.6	0.4	1.4	0.8	1.3	1.1	2.1	1.3	-1.4	-4.9	3.9	0.8	-3.9	-2.7	-1.2	1.1	8.1	0.6	-1.2	-2.4	0.3

2.7.3 WP 양단(③,④)이 AMOS 양단(①,②)의 풍속보다 강한 경우(2007. 7. 1.)

2007년 7월 1일 2:30KST에 남단(S)의 경우 AMOS는 8.4kt, WP는 25kt로 풍속차가 16.6kt를 보였으며, 3:00KST 북단(N)의 경우 AMOS는 2.8kt, WP는 9.4kt로 6.6kt의 풍속차가 나타났으며, 해안에 인접한 AMOS 남단(S/①,③)의 경우 북단(N/②,④)보다 풍속이 강하게 나타났으면 풍속차 또한 크게 나타났다.



[그림 28] 2007년 7월 1일 2시, 3시, 4시 한반도 일기도



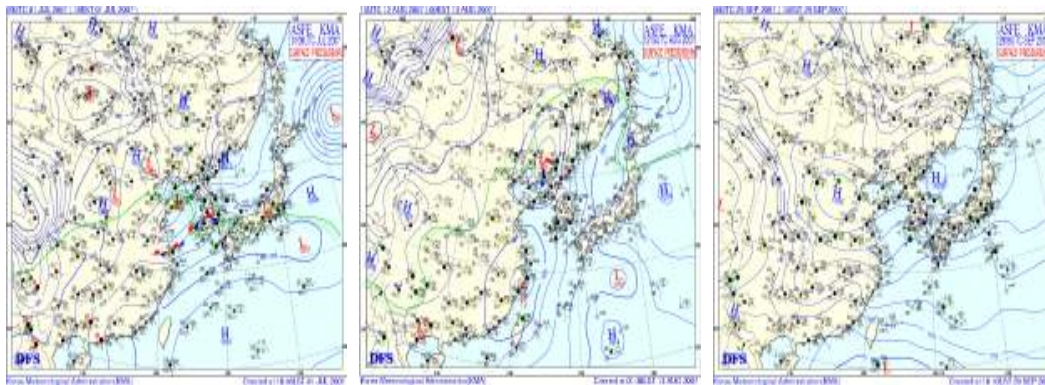
[그림 29] 2007년 7월 1일 16:30, 16:00, 17:30 김해공항 주변 바람벡터

<표 15> AMOS 북단이 남단의 풍속 보다 강한 사례(2007. 7. 1)(단위 : kt)

장비위치\시간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AMOS(S/①)	4	6	7.4	8.0	10.0	6.0	1.4	10.0	2.0	6.2	10.7	3.5	5.0	3.0	7.0	4.0	2.0	4.4	2.8	5.0	5.0	0.8	2.4	5.0
AMOS(N/②)	7	9	2.8	6.0	9.0	6.0	7.1	7.0	1.1	3.6	5.1	6.3	9.0	6.0	6.0	2.0	0.0	3.4	3.7	5.0	5.0	5.2	5.3	4.0
①-② 풍속차	-3	0.4	3	1	0	0.4	-0.4	2.8	-6.6	-0.8	1.3	-6.9	-6.2	-1.6	-4.6	1.8	-1.4	0.8	-1	3.4	1.4	-2.2	-0.6	-1.4
WP(S/③)	7	5.6	4.4	7	10	5.6	1.8	7.2	8.6	7	9.4	10.4	11.2	4.6	11.6	2.2	3.4	3.6	3.8	1.6	3.6	3	3	6.4
WP(N/④)	9.6	6.6	9.4	7	13.2	9.2	7	9.6	1.6	6.8	8.4	4.2	7	7.6	8.2	2.8	3.4	1.2	1.8	4	7.6	7	2.6	12
③-④ 풍속차	-2.6	2.4	-6.6	-1	-4.2	-3.2	0.1	-2.6	-0.5	-3.2	-3.3	2.1	2	-1.6	-2.2	-0.8	-3.4	2.2	1.9	1	-2.6	-1.8	2.7	-8

이 날 2시, 3시, 4시의 한반도 일기도를 보면 화중지방에서 저기압이 동진하고 있으며, 동해안은 북동기류의 영향을 받고 있다. 이 시간대에 김해공항 주변 바람벡터를 보면 해상에서 풍속이 강하게 나타나고 있으며, 내륙지방은 풍속이 약하게 나타나고 있다. 김해공항은 내륙과 해안의 영향을 받아 풍속이 2:30~4:30KST 사이에 풍속이 급변함을 알 수 있다.

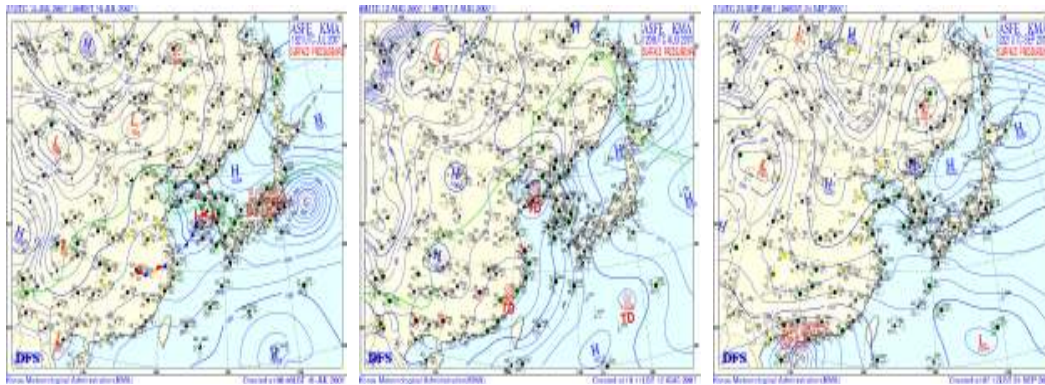
2.7.4 AMOS 남단(S/①)이 북단(N/②) 풍속보다 5kt 이상 큰 경우의 일기도 패턴



[그림 30] AMOS 남단이 북단 보다 큰 경우 7월(좌) 8월(중) · 9월(우) 일기도

AMOS 남단(S/①)이 북단(N/②) 보다 풍속보다 5kt 이상 큰 경우는 7월(좌)은 김해공항이 저기압의 전면에 있거나 저기압의 영향을 직접적으로 받는 일기도에서 주로 나타났으며, 8월(중)의 경우는 저기압의 중부지방 이북으로 통과하는 경우에 많이 나타났다. 또한 9월(우)은 저기압이나 태풍의 영향권에 직·간접적인 영향을 받을 경우가 전체 13회 중 6회를 보였고, 고기압 영향권에 들었을 경우에 나머지 7회가 나타났다.

2.7.5 AMOS 북단(N/②)이 남단(S/①) 풍속보다 5kt이상 큰 경우 일기도 패턴



[그림 31] AMOS 북단이 남단 풍속보다 큰 경우 7월(좌)·8월(중)·9월(우) 일기도

AMOS 북단(N/②)이 남단(S/①)보다 풍속보다 5kt이상 큰 경우는 7월(좌)은 저기압이 접근하여 통과하는 일기도에서 주로 나타났으며, 8월(중)의 경우는 열대성 저기압이 발해만에 위치할 때 나타났다. 또한 9월(우)의 경우는 저기압이나 태풍이 남쪽으로 통과하거나 위치하는 경우가 전체 12회 중 8회를 나타냈으며, 고기압의 영향권에 위치할 때 나머지 4회가 나타났다.

3. 결론

3.1 AMOS 양단의 바람 분석

- 1) 여름철은 AMOS 양단(①, ②) 모두 NE풍과 S풍이 주풍인 것으로 나타났다.
- 2) AMOS 양단(①, ②)의 시간대별 평균풍속 분석의 경우는 양단 모두 9시 이후에 점차 풍속이 증가하여 14시~15시에 가장 풍속이 강했고, 이후 점차 감소하는 경향을 보였다. 또한 9시~18시 사이에는 북단(②)의 풍속이 남단(①)에 비해 조금 더 높게 나타나고 있다.
- 3) AMOS 양단(①, ②)의 풍속차에 대한 시간대별 분포는 남단(①)의 풍속이 더 높게 나타나는 경우는 오후 늦게부터 익일 아침 시간대인 19시(일몰후) ~ 익일 7시(일출전) 사이에, 북단(②)의 풍속이 더 높게 나타나는 경우는 반대로 낮 시간대인 8시~16시(일출 후) 사이에 더 자주 발생하였다
- 4) 한쪽에서 AMOS 풍속이 강할 경우의 양단(①, ②)의 풍향 분포는 남단(①)이 우세한 경우는 E풍과 N풍이, 북단(②)이 우세한 경우는 S풍과 NE풍의 빈도가 높았다.

3.2 김해공항 Windprofiler(WP) 양단의 바람 분석

- 1) WP 양단(③, ④)의 시간대별 평균풍속 분포는 12~17시 사이에는 북단(④)이, 18시~익일 11시 사이에는 남단(③)의 풍속이 더 높게 나타났다. 하지만 그 차이는 1.5kt 이하로 작았다.
- 2) WP 양단(③, ④) 풍속차가 5kt 이상일 때 시간대별 풍속의 분포는 남단(③)의 풍속이 북단보다 5kt 이상 강했을 경우는 11시에 19회, 북단(④)의 풍속이 남단보다 더 강했을 경우는 12시에 24회로 가장 높았으며 전반적으로 북단(④) 보다는 남단(③)의 풍속이 더 강하게 관측되었다.
- 3) 한쪽 WP 풍속이 5kt 이상 강할 때의 양단의 풍향 분포는 남단(③)의 풍속이 북단보다 더 강할 경우는 남단(③)에는 S풍과 N풍이, 북단(④)에서는 S풍과 NE풍의 빈도가 높았으며 특히 측풍에 해당되는 E풍이 탁월한 경향을 보였다. 북단(④)의 풍속이 남단보다 더 강할 경우는 양단(③, ④) 모두 S풍과 NE풍이 우세하였다.

3.3 여름철 AMOS와 WP 바람 분석

- 1) AMOS 와 WP 양단의 월별 풍향 특성은 7월은 AMOS와 WP 모두 남단(①, ③)에서는 S풍과 NE풍의 빈도가 높았으며, 특히 WP의 북단(④)에서는 E풍인 활주로의 측풍이 강하게 유입되는 특성을 보였다. 8월은 양단 모두 S풍이 가장 우세하게 나타났다. 9월의 경우는 양단 모두 NE풍이 가장 우세하였으나, WP에서는 N풍도 높은 분포를 보여다.
- 2) AMOS와 WP 양단의 여름철 풍향 분석은 AMOS와 WP의 양단 모두 NE풍과 S풍이 우세하였으나 WP의 남단(③)에서는 NE풍의 빈도가 낮고 N풍과 SW풍의 영향을 많이 받는 특성을 보였다.
- 3) AMOS와 WP의 양단의 풍속차에 대한 평균풍속 분포는 양단 모두 AMOS(①, ②)의 풍속이 WP보다 더 높게 나타났으며 특히 일출을 전후로 풍속차가 커지는 경향을 보였다.
- 4) AMOS와 WP의 풍속차가 5kt 이상일 경우에는 AMOS의 경우 양단(①, ②) 모두 일출 후 점차 증가하는 경향을 보여 11시~19시 사이에 높은 분포를 보였고, WP의 경우는 발생분포가 낮아 뚜렷한 경향을 찾기는 어려우나 북단(④)의 경우 일몰 후에 더 자주 발생하는 것으로 나타났다.
- 5) AMOS와 WP의 풍속차가 5kt 이상 일 때 풍향 분포는 남단(①, ③)에서 AMOS의 풍속(①)이 더 강했을 경우는 AMOS에서는 E풍과 SW풍이, WP에서는 NE풍이 탁월하였고, WP의 풍속(③)이 더 강했을 경우는 AMOS와 WP 모두 S풍이 강하게 불었다. 북단(②, ④)에서 AMOS의 풍속(②)이 더 강했을 경우는 AMOS 풍향은 NE풍과 S풍이 높게 나타났고, WP에서는 NE풍이 탁월하였다. 그리고 WP의 풍속(④)이 더 강하게 불었을 때는 WP에서는 NE풍이, AMOS는 NE풍과 N풍이 탁월하였다.
- 6) 양단의 풍향차 발생 분포의 경우는 양단에서의 풍향차가 90°이상인 경우는 AMOS

7%, WP 16%로 WP가 AMOS 보다 2배 정도 높았고, 양단의 풍향이 완전히 상반되는 160°이상의 풍향차를 보일 때도 AMOS 1.4%, WP 3.4%로 2배 정도 높은 발생빈도를 보여 AMOS풍향(①, ②) 보다 WP풍향(③, ④)이 풍향 차이가 큰 경우(상호 반대방향의 경우)가 더 많이 발생함을 보였다. 양단의 풍향차가 90°이상일 때 시간대별 발생 빈도는 AMOS와 WP 모두 10시~18시 사이에는 낮은 빈도를 보이며, 일몰 후(19시)에 점차 증가하여 익일 9시 까지 높은 빈도 분포를 보이고 있으며, 이는 바다와 낙동강에 인접한 김해공항의 지형적인 특성 때문인 것으로 분석되었다.

4. 참고문헌

- 항공기상대, 2001~2006 : 항공기상 현업연구집.
- 항공기상대, 2002 : 착륙예보 기술지침(공항기상관측소)
- 항공기상대, 2002 : 항공기상예보기술지침
- 건설교통부, 2001 : 항공정보간행물(AIP).
- 건설교통부, 2000 : 표준항공교통관계절차