

기압계 유형별 분석을 통한 저시정 예측 Checklist 재구성

노경숙 · 박윤희

항공기상관리본부 김포공항기상대

1. 서론

항공기상에서 시정은 무엇보다도 중요한 기상요소 중의 하나이며, 또한 악시정의 대부분이 안개 발생에 의하여 이루어진다. George(1960)에 따르면 안개 인자는 기후유형, 지표면 상태, 대기 경계층 안정도와 수분 감율, 기온, 바람 등에 의해 결정된다고 하였다.

그 동안 김포공항기상대에서는 안개 발생에 관한 연구를 해 본 결과 안개 발생의 주원인을 복사냉각으로 규정짓고 이에 대한 checklist를 예보 분석에 활용해 왔다. 그러나 안개 발생의 원인을 단순히 복사로 규정짓고 접근하기에는 다른 기상요소의 분석이 제대로 반영되지 못하고 특히 이류성이 강할 경우와 강수 후 저시정 및 안장부상에서 발생한 경우는 바람 및 운량 등 기본적인 요소이외의 기상요소별 특징을 알 수가 없는 상태였다.

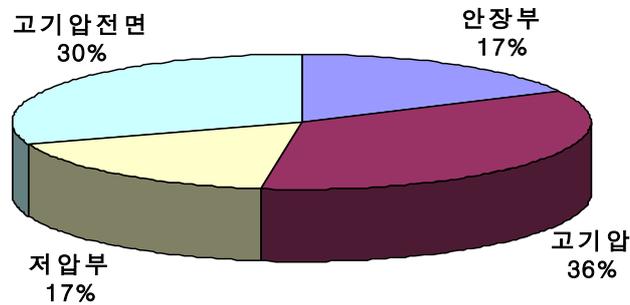
따라서 이러한 문제점을 극복하기 위한 방법으로 먼저 종관기압계에서 기압배치를 가장 우선적으로 분류하여 FAS 분석을 통해 정량적인 각 유형별 수치를 통계조사하여 체계적인 안개 분석이 이루어지고, 또한 수치모델에서 표출할 수 없는 강수 및 적설로 인한 지면효과에 대해서도 통계분석을 실시하여 추가적으로 보강한다면 보다 구체적인 분석이 이루어 질 것으로 판단하였다.

2. 자료 분석

2.1 자료 조사

자료 조사기간은 FAS에 파일 저장용량이 제한적이므로 2006~2007년을 대상으로 조사하였다. 기압계 유형별 안개 발생에 대한 기상요소별 수치를 구하기 위한 분석장 모델은 KLAPS 활용하였다. 안개 발생 일을 조사하기 위해서는 강수가 있을 경우, 특히 안개비 발생의 경우는 제외하였으며, 전일과 이어져 나타나는 경우는 한 건으로 분류하였다. [그림 1]은 기압계를 유형별로 분류하여 분석해 본 결과로써, 고기압권에서 복사냉각으로 인한 사례가 36%, 골 통과 후 고기압 전면에서 전일 강수로 인한 지면효과 및 복사냉각의 효과로 인한 사례가 30%, 안장부상에서 발생한 경우 17%, 변질된 고기압 영향을 받

다가 북쪽으로 저압부가 통과할 때가 17%에 해당되었다. 일반적으로 고기압권의 영향으로 크게 분류하던 것을 곧 통과 후 고기압 전면과 순수 고기압권으로 분류하여 안개 발생 원인을 분석해 본 결과 각각 36%, 30%의 발생빈도가 높게 나타났다.



[그림 1] 기압계 유형별 발생 빈도율(%)

2.2 분석 방법

안개 발생조건들을 분석해 보기 위해 수평장 분석으로 수증기 분포, 기온이류, 바람변화 등을 고려하였고, 연직장 분석은 주로 오메가 분포, 풍향, 850hPa 노점편차, 기온, 대기선도 등을 고려하였다. 실험분석으로는 MSAS의 기온장, 습도, 위성영상(근적외영상)을 이용하였다. 따라서 <표 1>과 같이 발생조건을 조사한 후 통계분석을 실시한 후 자료를 만들고 각 유형별 조건값을 산출하고자 하였다.

3. 분석 및 결과

3.1 분석 내용

먼저 유완규 외 '김포공항의 안개예보에 관한 연구'에 의하면 김포공항의 안개와 관련된 기압계의 유형은 다음과 같다.

- 1) 대륙성 고기압형(주로 10월부터 1월 사이에 형성): 북서쪽에 위치한 대륙성고기압이 남쪽 또는 남동쪽으로 확장하여 그 전면이 화남 또는 화중지방에서 등압선 간격이 넓어지는 형태.
- 2) 오호츠크해 고기압형(주로 장마철 전후에 형성): 북동쪽으로부터 오호츠크해 기단(고기압)이 남서쪽으로 확장해서 그 전면이 우리나라와 서해해상을 걸쳐 중국 화중지방까지 확장하는 기압계 유형.
- 3) 북태평양 고기압형(여름철에 주로 형성되는 기압계): 남동 및 동쪽에서 북태평양 고기압 세력이 확장하여 우리나라 서해 해상까지 확장하는 경우.

<표 1> 안개 분석 체크리스트

구분	내용	조건값	비고
복사	김포공항 안개 발생 기압배치에 해당되는가(그림 참조) A: 대륙고기압 E: 고압대 B: 오키나와 고기압 F: 동서고압대 C: 북태평양 고기압 G: 저압대 D: 이동성 고기압 F: 안장부	참고자료 (기압배치도)	
복사	예상 단열선도에 접지 역전층이 형성되어 있으며, 지면부근에서 포화가 예상되는가?	$\text{lapse rate} \leq 0$ $\text{Omega} \leq -3$	
복사	예상 최저기온이 낮 최고기온시의 노점온도부근까지 하락할 것인가?	$T_{\text{min}} - T_d \approx 0$	
복사	예상 최고기온이 전일에 비해 5°C 이상 상승할 것인 가?	기온예상도	
복사	낮 최고기온과 다음날 아침 예상 최저기온과의 차이가 11 ~ 12°C 이상 차이가 나겠는가?	$T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$	
복사	일몰 후 약한 국지풍이 예상되는가	복서 2~4kts	
복사	밤부터 맑은 구역이 유입될 전망인가?	운량 3okts이하	
복사	낮 동안 충분한 지면가열이 있었는가?		
이류	수증기 이류가 예상되는가	남서 5kts 이상 수증기속	
이류	예상 850hpa의 온도패턴에서 한반도 남서에서 북동을 향하는 온도능이 형성되어 있으며, 등온선의 북상이 예 상되는가?	850hPa 예상장 (등온선 분포)	
이류	해무가 있는 가운데 인천에 안개 발생과 더불어 남서 풍이 7kts 이상 예상되는가	근적외영상	
실황 분석	위성영상에서 서해 앞바다 및 경기만의 해무와 강화, 인천공항에 안개가 관측되고 낮 시정이 5km 이하로 유지될 전망인가?		
지면 상태	전일강수가 있었는가 적설시 연직습윤층이 850hPa까지 나타나는가? (풍속 \leq 3kts, $T_{\text{min}} \leq -10^\circ\text{C}$, 운량 \leq 4)		
모델 예상	김포시계열자료에서 18 ~ 23UTC 전후의 습도가 90% 이상이 예상되거나, 습도예상도에서 내륙으로 부터 김 포방향으로 90%이상의 습도를 예상하고 있는가? 단시간예측시스템 및 미공군 모델의 시정에 저시정이 나타나는가		

- 4) 이동성 고기압형(가을, 겨울, 봄철에 주로 발생): 북서쪽에 위치한 대륙고기압으로부터 분리되며, 북서쪽 또는 서쪽으로부터 접근한 이동성 고기압이 우리나라 전역에 위치하고 있는 기압계 유형으로 10월에 발생률이 가장 높음.
- 5) 동서 고압대형(가을철에 형성되는 기압계형): 우리나라 서해해상을 중심으로 동서 방향으로 고압대를 이루고 있는 기압계형으로 9월에 발생률이 가장 높음.
- 6) 마상형(여름철을 제외하고 계절에 관계없이 발생): 말의 안장형을 이루고 있는 기압계 유형으로 남쪽과 북쪽에 고기압, 동쪽과 서쪽에 저기압이 위치하거나, 반대로 남쪽과 북쪽에 저기압, 동쪽과 서쪽에 고기압이 위치하고 있는 기압계 유형.
- 7) 저압대형 (여름철에 형성되는 기압계형): 장마전선이 남부지방에 위치하고 있으며, 이 전선 북쪽에 광범위한 저압대를 이루고 있는 기압계 유형이라고 분류하였다.

그러나 실제로 예보업무에 임하다 보면 강수 후 저시정 및 안장부 상에서 발생하는 안개에 대한 지침이 부족한 것을 경험할 수 있었고, 대부분 고기압권에서 복사무 발생에 대한 체크리스트 목록으로 일괄작업을 하다보면 다른 안개 발생 유형에 대해 각각의 기상요소의 조건값과 기여정도가 실제로 매우 부족하게 되어 아쉬움이 많았다.

따라서 본 연구는 고기압, 골 후면 고기압 전면, 저압부, 안장부 영향으로 기압배치를 분류하여 보다 실질적으로 안개 발생 유형을 세분하여 각 요소에 대한 정량적인 수치를 제시하고자 하였다. 특히, 고기압 영향에는 대륙, 오츠크해, 북태평양, 동서 고압대 등을 포함하였으며, 고기압 전면은 상층골에 의한 지상 강수가 나타난 후 한기이류가 늦게 나타나거나 약해서 복사냉각 효과로 인해 안개가 발생하는 경우에 해당된다. 이런 경우 연직적으로는 상층의 하강기류가 지상까지 내려오지 못하고 대기 중하층에 나타나 오히려 차고 건조한 공기가 뚜껑과 같은 역할을 하여 공기의 확산을 저지하는 경우에 해당된다. 저압부 영향은 낮 동안에는 변질된 고기압 영향을 받다가 발해만에 이미 발생한 저압부 영향으로 인해 점차 습해지다가 새벽에 복사냉각 효과가 나타나 안개로 이어지는 경우에 해당된다.

실태분석에서는 수증기 분포에 대한 분석을 위해 낮부터 서해상에 습윤대가 나타나고 있는지 위성영상 및 한반도일기도의 습윤역을 분석하였고, 특히 15KST 당시의 노점편차와 노점온도와 다음 날 예상최저기온과 비교를 해 보고, 상대습도도 90% 이상 구역이 어디까지 위치해 있고 유입되고 있는지 여부를 판단하였다. 또한 일출 후에 Near IR 영상의 St 또는 안개가 서해중부해상에 존재하는가를 분석하였다. 대기선도 분석에서는 낮 동안에도 침강이 유지되면서 바람이 약하고 안정된 대기 상태에서 공기의 확산이 저지되는지 분석하였으며, 난기이류 및 낮 기온 상승 정도를 파악하기 위해, 낮최고기온을 전일과 비교하였다.

모델의 분석장 분석에 있어서는 먼저 연직단면에서 건조공기 활강여부를 보기위해 KLAPS의 Omega(-ubar/s)를 사용했고, 특히 경계층내의 역전층이 매우 중요한데 이것은 기온감률(Lapse Rate)의 음의 값에 해당되는 값으로 판단하였다. 즉 연직적으로 단열승온

이 나타나는 지를 분석하여 역전층을 분석하였다. FAS의 시간-고도장에는 하층 또는 지표 근처의 습윤 정도, 기온감률, 하강운동 등을 KLAPS 분석장을 통해 분석해 보았다. 바람장은 주로 국지풍과 유선을 모두 사용해서 복사무는 주로 바람이 약한 국지풍이 탁월해야 하고, 이류무는 유선이 조밀하게 유입되어야 하기 때문이다.

예상장은 지역모델(RDAPS30)에서 생산된 시계열을 중심으로 습도, 바람, 구름량 등을 분석하였다.

따라서 위의 조건에 해당하는지 점검하는 체크리스트를 <표 1>과 같이 구성하여 FAS 분석을 통해 각각의 기압계 유형별 조건값이 <표 2>와 같이 나타났다. 그러나 각각의 요소별 사례가 충분치 못해 앞으로 지속적으로 자료를 추가하여 분석해 나가야 할 것이다.

다음은 <표 2>에 나타난 기상요소와 기압배치별 특징을 살펴보고자 하며, 특히 계절별로 수치의 폭이 클 경우는 건기 10~4월, 우기 5~9월로 구분하였음을 미리 언급하고자 한다.

먼저, 고기압권 영향은 복사냉각효과가 중요한 요인으로 작용하므로 낮 동안 기온상승 효과는 0~2°C로 약하고 해상에 St는 나타나지 않는다. 그러나 850hPa 등온선 분포는 한반도 온도골, 한반도 북서쪽은 온도능의 형태를 보이면서 고기압 가장자리를 타고 북서계열의 바람이 난기를 동반한 채 유입되는 것으로 나타났다. 수증기 이류는 건기에는 -5~20, 우기에는 -20(g/kg/12h)이하가 나타나 계절간 큰 편차를 보이고 있다. 기온감율은 -5~0(°C/km)가 나타나 지면복사냉각이 활발히 일어나는 것으로 나타났다. 850hPa이하 역전층은 등온상태를 유지하는 경우가 많았다. 또한 가장 특징적인 것은 21KST에는 접지역전이 뚜렷이 나타나 고기압 상에서 복사냉각이 활발함을 알 수 있었다.

안장부의 영향으로 안개가 발생했을 경우는 낮 동안 수증기의 유입이 약하게 나타났으며, 오후 늦게는 해무가 나타나는 특징이 있다. 이 경우는 종관 온도장에서 난기이류의 영향을 받지 않는 것이 특징이며 15KST 노점온도와 익일 최저기온과의 차는 대기의 습한 정도 및 새벽의 복사냉각 정도를 분석하는 방법으로 모든 기압배치에서 예상 아침최저기온이 15KST 노점온도보다 낮아야 하는 것으로 나타났다. 전일 대비 기온 상승폭은 0~2°C로 그다지 크지 않았다. 침강은 사례별로 차이가 있긴 했지만 -8~1(-ubar/s)이 나타났으며 다른 유형보다는 하강기류가 다소 약하게 나타났다. 기온 감율은 21KST의 대기 선도에서 접지역전이 나타나 -2~0(°C/km)의 기온감률을 보이며, 고기압권에서의 복사무보다는 약하게 나타났다. 수증기속 수렴은 건기 -5~0, 우기 -20~-10(g/kg/12h)으로 나타나 저압부 영향에 비해 약하게 나타났다. 낮 동안 850hPa이하에서 역전층은 뚜렷하지 않았지만 21KST에서 접지역전은 나타났다. 바람은 약한 국지풍이 불어 복사냉각이 활발히 일어나게 했다.

저압부 영향의 경우는 점차 난역에 들게 되고 수증기 이류도 약하긴 하지만 나타난다. 따라서 15KST 수증기속 수렴역이 서해상에 나타나고, 따라서 위성영상에는 18~21KST에는 St 또는 안개가 서해상에 나타나게 된다. 850hPa 등온선 분포는 한반도

온도골 북서쪽 온도능의 형태가 나타나지 않는다. 전일 대비 낮 기온 상승폭은 $-1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 의 분포가 나타나며, 익일 아침최저기온은 15KST 노점온도보다 낮게 나타났다. 하강운동에 있어서는 $-10\sim -1(-\text{ubar/s})$ 로 나타났다. 수증기속 수렴은 건기에는 $-20\sim 0$, 우기에는 $-20(\text{g/kg/12h})$ 이하가 나타났다. 기온감율은 $0(^{\circ}\text{C/km})$ 이상이 나타나 지면복사냉각이 약했던 것으로 나타나고 있다. 따라서 대기선도에도 15KST 및 21KST에는 대기하층이 포화된 상태가 나타나는 경우가 있었다. 바람은 3kts로 약하게 지속되었다.

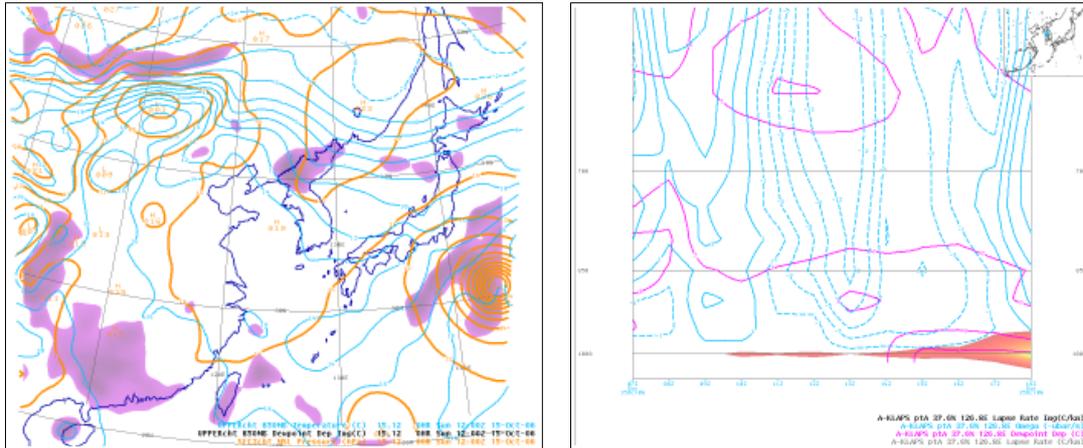
골 후면 고기압 전면에 해당되는 기압배치에도 안개 발생빈도가 30%로 나타나 높다. 위의 세 가지 유형에 비해 낮 동안에는 주로 강수 전후에 해당되므로 수증기 유입은 있었으나 오후늦게 St가 나타나는 경우가 아니라 강수 후 구름이 많이 끼어 있는 상태이다. 따라서 낮 기온 상승도 구름으로 인해 나타나지 않았다. 그리고 강수 현상이 나타난 후 한기이류가 발생하기 전, 또는 한기이류가 약해서 전일 강수로 인해 지면이 습한 경우 복사냉각이 가세함으로써 안개가 발생하는 경우에 해당되는 것으로써 이 경우는 바람의 세기가 가장 중요한 요소로 작용한다. 이때의 침강은 $-12\sim -8(-\text{ubar/s})$ 로 매우 높게 나타났는데 하강운동이 지면까지 나타나지 못하고 경계층 위까지 나타나 경계층 상단의 뚜껑과 같은 역할을 하여 건조공기와 혼합이 이루어지지 못해 안개가 발생한 경우로 분석된다. 전일 강수로 인해 수증기속 수렴은 건기 $-10\sim 5$, 우기 $-20\sim -10(\text{g/kg/12h})$ 로 우기에 비교적 높게 나타났다. 기온 감율은 $0(^{\circ}\text{C/km})$ 으로써 지면복사가 약하게 나타났으며 21KST 접지역전이 나타났다. 적설시 지면효과의 경우는 기온이 -14.8°C 가 나타나 눈과 과냉각수적 사이의 포화수증기압 차가 최대화되면서 활주로 주변은 낮 동안 눈의 증발로 인한 습윤층을 얇게 하는 효과가 나타나고 활주로는 재설 작업으로 인해 눈이 없으므로 눈의 과냉각수적의 흡습과정이 없기 때문에 안개가 발생할 수 있다고 볼 수 있다. 이 경우는 FAS의 연직 단면 습윤층이 850hPa이하에 나타나거나 익일 3KST 대기선도에 습윤층이 나타날 경우 그리고 아침최저기온이 -10°C 이하가 예상될 경우 최소한 활주로는 안개가 발생할 수 있다는 노경숙 외의 자료에 통계분석 된 바 있다. 또한 이 경우는 21KST 대기선도에는 접지역전이 나타났으며, 바람은 3kt 이하로 약하게 불었다.

표 2. 기압계 유형별 안개 발생 조건값

	기압계 유형	고기압권	안장부	저압부	골 통과 후 고기압 전면	
					강수 후 지면효과	적설 시 지면효과
종관 분석	발생 원인	복사냉각	바람 약함 복사냉각	높은 습도 복사냉각	강수 후 지면효과	적설 시 지면효과
수증기	15KST 수증기속이 수렴, 서해상에 존재	×	○	○	○	×
	18/21KST 서해상에 St/Fg가 존재	×	○	○	×	×
기온 (°C)	한반도 온도골 북서쪽 온도능	○	×	×	×	△
	기온 상승 (Tmax)	0~2	2	0~2	해당없음	-4
	15시 Td≥Tmin	○	○	○	○	○
연직 단면	침강(Omega) (-ubar/s)	-12 ~ -3	-8 ~ 1	-10 ~ -1	-12 ~ -8	-12 ~ -8
	Moist. Flux Div. (g/kg/12h)	건: -5~20 우: ≤-20	건: -5 ~0 우: -20~-10	건: -20 ~0 우: ≤-20	건: -10 ~5 우: -20~-10	-1
	Lapse Rate (°C/km)	-5~0	-2~0	≥0	0	5.5
대기 선도	15KST 850hPa이하 역전층	△(등온)	△(등온)	△(등온)	×	×
	21KST 접지역전 형 성	○	○	△	○	○
바람장	국지풍향, 풍속 유선/ 연직순환	○	○	○	○	○

3.2 사례 분석

3.2.1 고기압(2006. 10. 16.)



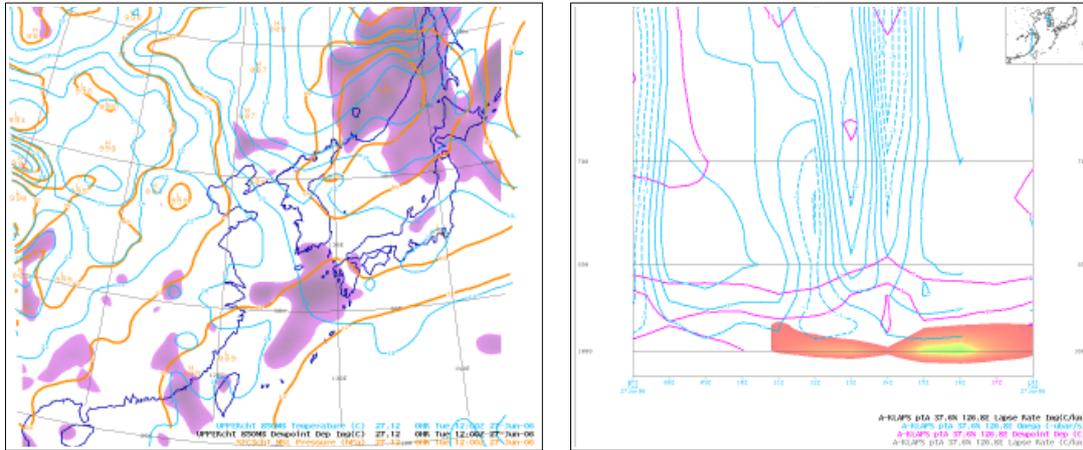
[그림2] 좌: SFC chart, 850hPa Temp., 850hPa T-Td(2006.10.15. 21KST),
우: Lapse rate($^{\circ}\text{C}/\text{km}$), Omega(-ubar/s), T-Td($^{\circ}\text{C}$)

이 사례는 안개가 2006.10.17. 02:22 ~17. 09:46KST에 발생하였다. 우리나라는 [그림 2]에서 보는 바와 같이 고기압 중심에 위치하고 있고, 850hPa 등온선은 온도골이 빠져나가고 온도능이 접근하고 있어 지상이 냉각된 상태에서 난기 유입이 나타나 지면포화가 나타날 수 있는 조건을 만족한다. 연직적으로는 낮 동안 850hPa에 노점편차가 3°C 이하인 곳이 나타나긴 하지만 전반적으로 대기가 매우 건조한 가운데 18KST이후부터는 복사냉각으로 인한 지상으로부터 연직적으로 단열승온이 나타나고 있다. 하강운동은 22KST에 $-12(-\text{ubar}/\text{s})$ 가 나타나 상층으로부터 강한 침강운동이 지면까지 활발하게 나타났음을 볼 수 있다. 즉 이 경우는 고기압 중심에서 오후 늦게부터 지면 복사냉각 및 상층에서 하강운동이 나타나 차고 건조한 공기가 지면까지 활발하게 나타난 경우에 해당된다.

<표 3>에서 낮 동안 수증기이류 수렴역과 St는 나타나지 않았다. 그러나 온도장에서는 한반도에 온도골, 북서쪽에는 온도능이 나타나 약한 난기이류가 발생하면서, 일출전까지 복사냉각이 최성기로 나타나는 시점에 안개가 나타나게 된다. 전일에 비해 기온 상승폭은 0.5°C 로 크지는 않았다. 익일 아침최저기온이 15시 노점온도보다 더 낮게 나타나 다음날 안개 가능성을 예측할 수 있었다. 침강역전은 $-12(-\text{ubar}/\text{s})$ 로 나타나 강수 후의 한기이류에 비해 강하지는 않았지만 지면포화에 중요한 요소로 작용했음을 알 수 있다. 수증기 이류 수렴은 $20(\text{g}/\text{kg}/12\text{h})$ 으로 수렴이 나타나지 않았다. 이것은 종관장에서 수증기이류가 없음을 뜻한다. 즉 순수 복사냉각 효과와 국지적인 효과가 복합적으로 안개 발생의 원인으로 작용했음을 알 수 있다. 이 사례는 보통의 사례와 다르게 연직적인 단열승온이 $0.5(^{\circ}\text{C}/\text{km})$ 로 그다지 크게 나타나지 않았다. 그러나 21KST에 접지역전이 나타나 지

면 복사냉각이 심하게 나타났음을 알 수 있었다. 즉 중관장에서 수증기 공급은 없는 가운데 순수 복사와 국지적인 효과가 안개 발생의 중요한 요인으로 작용했음을 알 수 있는 사례이다.

3.2.2 안장부(2006. 6. 28.)



[그림3] 좌: SFC chart, 850hPa Temp., 850hPa T-Td(2006. 6.27. 21KST)
우: Lapse rate($^{\circ}\text{C}/\text{km}$), Omega(-ubar/s), T-Td($^{\circ}\text{C}$)

이 사례의 경우 안개는 2006. 6.29. 00:00~07:00KST에 발생하였다. 우리나라는 [그림 3]에서 보는 바와 같이 지상 기압배치는 안장부에 위치하였으며 850hPa 등온선 분포는 온도골에 들어 있다. 낮 동안 동쪽에 위치한 기압골이 완전히 빠져 나가지 못한 상태였다. 연직적으로 볼 때 상승기류가 오후에 나타났으며 20KST부터 지면 복사냉각이 활발하게 나타났다. 골 후면의 고기압의 영향을 받기까지 많은 시간이 소요되기 때문에 하강운동은 크게 나타나지 못하고 있다.

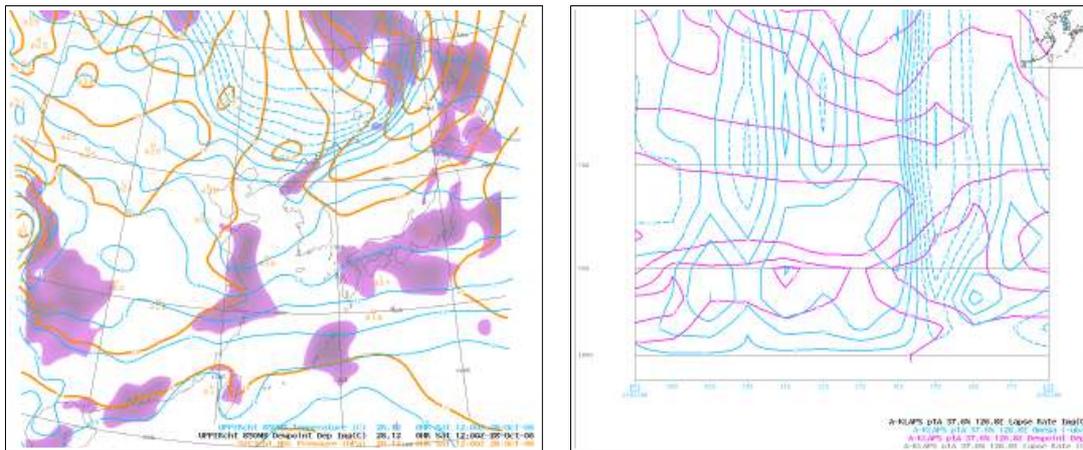
<표 3>에서 보면 낮 동안 수증기 수렴은 나타났고, 저녁 무렵 해상에서 St가 나타나 안개예측이 비교적 쉬운 상황이었다. 온도장은 고기압권에 나타나는 것처럼 한반도 온도골에 들어있고 전면에 온도능에 들어있었지만 난기이류는 나타나지 않았다. 이 유형은 침강이 매우 약한 것이 특징이다. 왜냐하면 고기압권의 하강기류가 나타나지 않기 때문이다. 단지 골이 통과 하고 능이 들어오는 시기가 매우 늦어 안장부의 기압배치를 보이고 있고 바람이 약해 공기가 확산이 되지 못하는 가운데 밤부터 자체 지면냉각으로 인한 지면 포화가 발생하는 경우에 해당된다. 그러나 수증기속 수렴은 $-20(\text{g}/\text{kg}/12\text{h})$ 으로 매우 강하게 나타났다. 낮 동안 골상에서 수증기가 수렴되어 저녁에 기온 감율은 $-2(^{\circ}\text{C}/\text{km})$ 로 강하게 나타나 지면 복사냉각이 가세함으로써 안개 발생의 중요한 요인으로 작용했음을 알 수 있다. 바람은 국지풍이 매우 약했다. 즉 약한 바람으로 인해 대기가 확산이 되지

못하고 지면 복사냉각 효과와 더불어 안개발생의 지배적인 요인으로 작용하는 경우에 해당된다.

<표 3> 기압계 유형별 안개 발생 조건값

	해당일	2006.6.28	2006.10.16	2006.10.29	2006.12. 1	비 고
종관분석	기압계 유형	안장부	고기압권	저압부	골 후면 고기압 전면	
수증기	15KST 수증기속이 수렴, 서해상에 존재	○	×	○	○	
	18/12KST 서해상에 St/Fg가 존재	○	×	○	×	
기온 (°C)	한반도 온도골 북서쪽 온도능	×	○	×	×	
	기온 상승 (Tmax)	20.9/20.0	24.0/24.5	18.4/20.2	4.9/3.4	
	15시 Td ≥ Tmin	20.9/20.0	15.8/12.9	11.8/6.4	1.3/-3.0	
연직 단면	침강(Omega) (-ubar/s)	< 1	-12	-10	-10	
	Moist. Flux Div. (g/kg/12h)	-20	20	-20	-20	
	Lapse Rate (°C/km)	-2	0.5	0	3	
대기 선도	15KST 850hPa이하 역전층	×	nil	×	하층포화	
	21KST 접지역전 형성	지면포화	○	○	하층포화	
바람장	국지풍향, 풍속 유선/ 연직순환	북서 ≤3kts	북서 ≤3kts	북서 ≤3kts	북서 ≤3kts	

3.2.3 저압부(2006. 10. 29.)



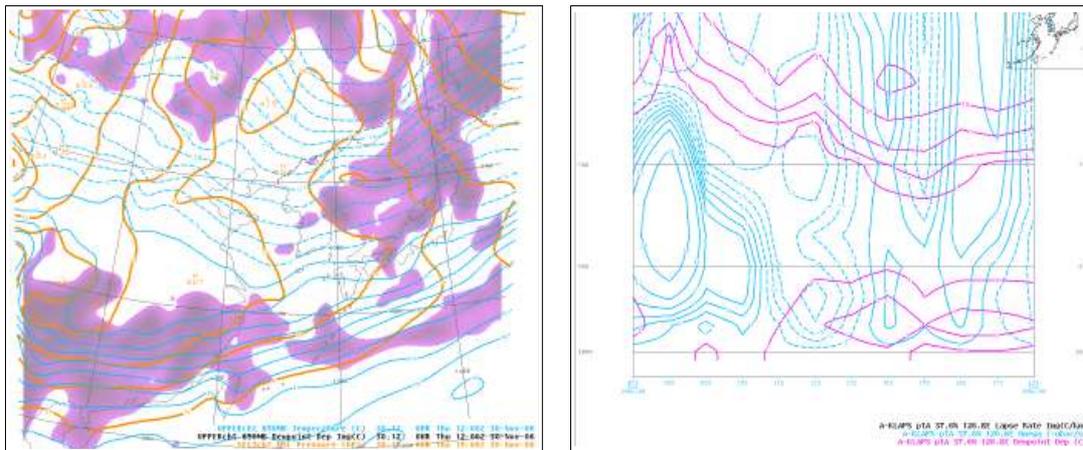
[그림 4] 좌: SFC chart, 850hPa Temp., 850hPa T-Td(2006.10.28. 21KST)
 우: Lapse rate(°C/km), Omega(-ubar/s), T-Td(°C)

이 사례의 경우 안개는 2006.10.29. 06:38~08:26KST에 발생하였다. 우리나라는 [그림 4]에서 기압골에 들어 있고, 850hPa 온도장은 낮 동안 온도능에 든 후 점차 온도골에 위치하였으며 지상 저압부 후면으로 위도 40도 윗부분에서 동서로 나란하게 온도조밀 구역이 나타나고 있다. 그러나 이 골 후면의 한기이류는 등고선이 조밀하지 못해 한기이류가 약하다는 특징이 있다. 연직적으로 볼 때는 850hPa 노점편차를 보면 낮 동안 1°C이하의 구역이 나타나 골 영향을 받는 시점에 해당되며, 23KST이후에는 다시 지면으로 1°C이하 구역이 나타나 한기이류가 약하기 때문에 나타나는 지면포화가 원인으로 분석된다.

<표 3>에는 낮 동안 수증기이류 수렴역이 나타났으며 이로 인해 해상에 St가 나타났다. 기온 상승은 전일에 비해 2°C가 상승했다. 하강운동은 -12로 나타나 한기이류가 강하게 나타났다. 골이 통과하면서 수증기속 수렴이 -20(g/kg/12h)가 나타나 지상이 매우 습한 상태였으며 이때 한기이류가 약해 습한 공기를 소산시키지 못 하면 안개 발생의 좋은 조건으로 작용하게 된다. 연직 단열 승온은 등온으로 나타나 지면 복사냉각이 그다지 크게 작용하지는 못 했다. 그러나 오산 대기선도 자료에는 21KST에 접지역전이 나타나 연직 단열승온이 있었던 것으로 분석된다.

즉 이 경우는 변질된 고기압을 낮 동안 받으면서 수증기가 약하게 이류되다가 새벽까지 북쪽으로 지나가는 골의 끝자락에 들어 지면이 습한 가운데 복사냉각 효과가 최대화되는 새벽에 안개가 나타나게 된다.

3.2.4 골 후면 고기압 전면(2006. 12. 1.)



[그림 5] 좌: SFC chart, 850hPa Temp., 850hPa T-Td(2006.11.30. 21KST)
우: Lapse rate(°C/km), Omega(-ubar/s), T-Td(°C)

이 사례의 경우 안개는 2006.12. 1. 17:50 ~2. 00:40KST에 발생하였다. [그림 5]에 의하면 우리나라는 동해상으로 빠져나간 기압골에 의한 영향으로 전일 낮 동안 강설 현상이 나타 지면이 매우 습한 상태이고, 850hPa 등온선은 골 후면에서 온도골이 점차 내려오는 모습을 보이지만 등고선이 조밀하지 못해 이류가 약한 것으로 나타나고 있다. 이런 경우는 연직적으로는 21KST에 -8(-ubar/s)의 강한 하강기류가 나타나 일시적으로 시정이 좋게 나타나다가 바람이 점차 약해지면서 하강기류가 나타나지 않는 시점인 23KST에는 시정이 서서히 떨어지기 시작하였다. 850hPa의 노점편차는 대기하층에서 밤으로 갈수록 값이 작아지기 시작하여 점점 습해짐을 알 수 있다. 또한 밤까지 구름량이 많아 지면의 복사냉각이 일어나지 못하는 것이 특징이다.

<표 3>에 의하면 골에 의해 낮 동안 수렴역은 나타나지만 해상에 St가 나타나지 않고 한반도가 온도골, 전면 온도능에 위치하는 난기이류의 모습은 보이지 않았다. 전일에 비해 최고기온이 상승하지 못하고 골의 영향을 받았다. 하강운동은 21KST에는 강하게 지상까지 내려왔지만 새벽에는 -12(-ubar/s) 하강기류가 강하긴 했지만 지상까지 내려오지 못해 안개발생을 저지하지 못했다. 수증기속 수렴은 -20(g/kg/12h)로 나타나 수증기량이 낮 동안 매우 많았음을 알 수 있다. 바람은 3kt 이하로 매우 약하게 불어 안개 발생의 호조건을 제공했다.

4. 요약 및 결론

김포공항의 안개는 주로 복사무로써 고기압권에서 복사냉각에 의해 발생한다. 그러나 실질적으로 안개발생을 예측할 경우에는 모델의 습도예상도 및 일기도의 기압배치에 의

한 경험칙에 의해 안개 발생을 예측하고 있고 체크리스트를 점검하고 있지만 주로 고기압권에서 발생하는 복사무 위주의 내용이다. 그러나 본 연구는 여러 고기압 기단의 성질 별로 세분화된 된 기압배치를 고기압으로 묶고, 그 외에 안장부, 골 후면 고기압 전면, 변질된 고기압 영향 후 북쪽으로 지상 저압부 등으로 보다 세분하여 기압배치를 재분류 하였다. 따라서 일기도 유형에 따른 안개 예측에 쉽게 접근하도록 할 수 있고, 또한 FAS의 분석장을 통해 각각의 유형에 따른 기상요소별 조건값을 제시하여 안개분석이 용이하도록 하였다.

각 유형별 특징을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 고기압권의 특징은 850hPa 온도장에서 한반도 온도골, 북서쪽 온도능이 나타나 약한 난기이류가 나타나고, 21KST 접지역전이 나타나며 침강은 $-3\sim-12(-\text{ubar/s})$ 까지 매우 강하게 나타나는 특징이 있다.

둘째, 안장부는 낮 동안에는 수증기속이 수렴되어 저녁에는 해무가 나타나는 경향이 있다. 침강은 고기압권보다 약하게 나타나며, 수증기속 수렴은 고기압권과 비슷하게 나타난다. 지면에서부터 단열승온은 고기압권보다 작다. 따라서 능도 골도 아닌 상태로 바람이 약하고 대기 확산이 잘 안되는 가운데 새벽에 복사냉각이 최대화되는 시점에 안개로 이어지는 특징이 있다.

셋째, 저압부의 특징은 낮 동안 변질된 고기압의 영향을 받다가 저녁 이후부터 북서쪽 골의 끝자락이 점차 접근하게 된다. 이 경우는 강수는 없지만 수증기속 수렴이 다른 유형에 비해 가장 크며, 차차 습해지다가 새벽에 복사냉각의 영향을 받게 되는 유형이다. 따라서 낮 동안 수증기속 수렴역이 나타나고 저녁에는 해무가 나타나는 특징이 있으며 Omega는 고기압권보다 작고 안장부 보다는 크다. 즉 낮 동안 서서히 시작되는 수증기 유입이 밤 동안 복사냉각의 작용으로 인해 안개가 발생하게 된다.

넷째, 기압골 후면 고기압 전면은 골에 의해 낮 동안 비가 내려 지면이 매우 습한 상태에서 뒤따르는 한기가 약하거나 이동 속도가 느려 복사냉각의 효과로 인해 안개가 발생하는 경우에 해당된다. 즉 지면효과가 중요한 요인으로 작용하는데 이때의 하강운동인 Omega 값이 강수 후 한기이류로 인해 다른 유형에 비해 가장 높게 나타난다.

이렇게 유형별 분류 및 조건값을 제시함으로써 보다 객관적이고 정량적인 안개 예보기법을 제시하여 공항예보 정확도 향상에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

항공기상대, 2002: 항공기상예보기술지침, 121~123pp.

노경숙, 정현화 2007: 김포공항 활주로상에 발생하는 복사무 분석

유완규, 윤용훈, 박정규, 이충구, 1989: 김포공항의 안개예보에 관한 연구

허기영, 하경자, 2004: 한반도 연안 안개의 발생과 연관된 중관 기압계 분류. *한국기상학회지* 40.5, 541-556.