
2010년도
기후변화 대응을 위한
온실가스 모니터링

2010. 12

온실가스 모니터링

1. 서 론

인류 생존에 있어서 기후변화가 21세기 가장 중요한 이슈로 자리 잡고 있다. 우리나라의 경우 태풍·계절성 집중호우로 인해 피해액이 매 10년 단위로 3.2배 증가하고, 폭염으로 10년('94~'05)간 2,127명 사망, 말라리아 환자가 2,227명('07) 증가하는 등 한반도의 기후변화 진행 속도는 세계 평균의 2배 이상을 상회하여 종합적이고 체계적인 대응 및 적응 계획 수립이 요구되고 있다(국무총리실, 2008). 이에 따라 2009년 11월 정부에서는 2020년 우리나라 온실가스 전망치의 30% 감축하는 안을 통과하였고, 2009년 12월 코펜하겐에서 열린 「제15차 기후변화 협약 당사국 총회」 이후 기후변화와 관련하여 우리나라의 책임 있는 노력이 국제사회에서 기대되고 있다. 인천광역시에서도 지자체 기후변화 대응 종합계획을 수립하고 있으며, 관내 대기 질 측정소에 온실가스 측정 장비를 설치하고 지속적으로 모니터링 하는 등 기후변화와 관련하여 사업을 확대 진행하고 있다.

본 사업은 인천지역의 온실가스 농도의 변화 및 특성을 대기오염물질과 기상요소 등의 환경인자와 비교 분석함으로써 온실가스의 변화특성을 조사하기 위해 수행하였다.

2. 조사 및 방법

관측지점은 이산화탄소 측정소 2개소와 메탄 측정소 3개소를 선정하였다. 이산화탄소 측정소인 계양측정소(계양구 장기동)는 인천의 교외의 지역으로 농림지역에 위치하고 있으며, 주변에 주거지역이 산재되어 있고, 오염원으로는 서울과 수도권매립지를 잇는 매립지수송도로(드림파크로)가 남쪽으로 200m 거리에 인접하고 있다. 송해측정소(강화군 송해면)는 전형적인 농림지역으로 오염원으로는 교통량이 많지 않은 왕복 2차선 도로가 접해 있다. 메탄측정소인 석바위, 부평역, 송현측정소는 교통량 및 사람의 이동이 많은 도심에 위치하여 도로변대기측정망으로 운영되고 있다. 본 조사는 상기 측정소에서 2005년부터 2009년까지 측정된 온실가

스 시간평균농도를 이용하여 연도별, 계절별, 요일별, 시간대별 추이자료를 대상으로 하였으며, 측정소에 설치된 대기오염 측정장비(SO₂, NO₂, CO, O₃, PM10, PM2.5) 및 기상장비(풍향, 풍속, 온도, 습도 등) 측정자료와 비교분석하였다. 또한 인천기상대에서 기록된 기상 현상별로 온실가스 농도를 구하여 기상여건에 따른 변화를 살펴보았으며, 송해측정소의 경우에는 고농도 이산화탄소 농도가 측정된 날짜의 기류를 역으로 추적하여 인천지역에 영향을 미치는 영향원을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이산화탄소

<표 2> 연도별 지역별 CO₂ 측정 농도

(단위: ppm)

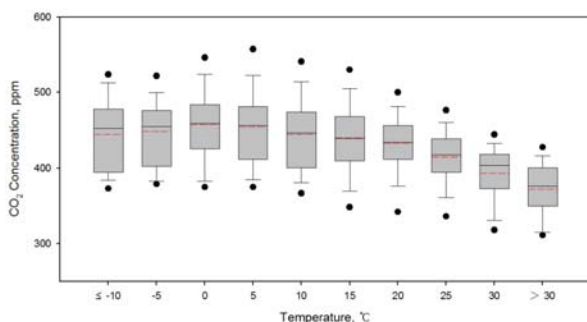
년도	안면도*	Mauna* Loa	Ryori*	서울 관악산	인천 계양	인천 송해
1999	370.7	368.1	371.2	-	-	-
2000	373.8	369.4	372.6	-	-	-
2001	376.9	371.1	373.4	-	-	-
2002	379.7	373.2	375.9	-	-	-
2003	382.6	375.8	378.6	-	-	-
2004	384.3	377.5	380.3	-	-	-
2005	387.2	379.8	382.5	-	-	-
2006	388.7	381.8	385.3	-	-	-
2007	389.9	383.7	386.6	-	455.6	
2008	391.4	385.6	388.2	-	422.5	
2009	392.5	-	389.7	405	431.3	389

주) *는 세계온실가스자료센터(WDCGG: World Data Center for Greenhouse Gases)에서 인용

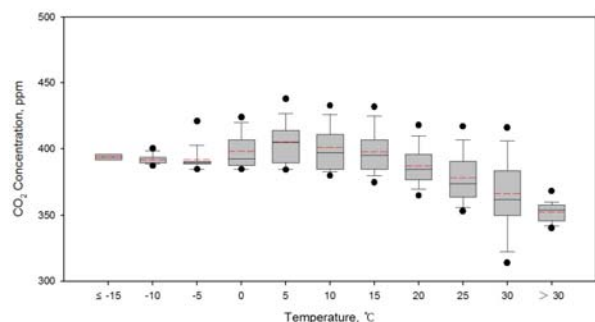
계양측정소의 2007~2009년 평균 이산화탄소농도는 436.5ppm으로 국가배경측정소(안면도, 2009년 392.5 ppm) 보다 약 40ppm 이상 높게 측정되고 있는데, 이는 매립지도로(드림파크로)와 같은 주변 오염원의 영향으로 판단된다. 계절별 농도는 광합성이 활발한 여름철이 407.0±39.7(n=4,899)ppm으로 가장 낮았으며, 일조량이

적고 화석연료 사용이 많은 겨울철이 453.6 ± 53.9 (n=5,036)ppm으로 가장 높았다. 계양측정소의 이산화탄소 농도 시간분포는 08시에 458.6 ± 61.2 (n=716)ppm으로 가장 높았고, 16시에 403.9 ± 44.1 (n=675)ppm으로 가장 낮게 조사되었으며, 송해측정소의 경우 최고값은 07시에 400.7 ± 20.2 (n=153)ppm, 최저값은 16시에 376.2 ± 19.6 (n=152)ppm으로 나타났다. 계양측정소의 경우 07~08시에 이산화탄소 농도의 증가는 교통정체에 의해 나타나는 영향이고, 송해측정소의 경우 06시~07시에 높게 증가하는 것은 아침 취사에 의한 영향으로 판단되며, 오후 16시에 최저 농도를 보인 것은 두 측정소가 동일하게 조사되었다.

기준성 대기오염물질과 이산화탄소 농도의 상관성을 조사결과 CO, NO₂, PM10, PM2.5와는 양의 상관관계를 보였지만, O₃은 음의 상관관계를 보였고, SO₂와는 유의한 결과를 얻지 못하였다.



[계양, 2007~2009]



[송해, 2009]

<그림 2> 기온 구간별 CO₂ 시간농도 분포

기상요소와의 관계를 살펴보면, 상대습도의 경우 50%(416.7ppm)의 구간까지는 감소하다가 60%부터 100% 구간까지는 증가되었는데, 이는 상대습도가 40~60%에서는 일반적인 기상에서 광합성이 가장 활발하였고, 60% 이상의 습도에서는 박무·비·흐림과 같은 광합성에 불리한 일기가 형성됨에 따라 이산화탄소 농도가 증가하는 것으로 판단된다.

기온에 따른 이산화탄소 농도는 0℃ 이후부터 기온이 높을수록 이산화탄소의 농도는 낮아졌는데, 이는 기온이 높은 하절기에 식물의 광합성작용이 활발히 이루어지기 때문인 것으로 판단된다. 기온이 0℃ 이하 일 경우에도 감소하는 경향을

보였는데, 이는 낙엽이나 목재 등의 유기물 분해속도가 감소되어 이산화탄소 농도가 증가하지 못한 것으로 판단된다.

풍향에 의한 이산화탄소 농도는 계양측정소의 경우 주로 남풍계열 및 무풍(calm)구간에서 고농도를 보였는데 이는 측정소 남쪽 도로(드림파크로)의 영향과 바람이 거의 없는 무풍 시 대기정체로 인해 측정소 주변으로 대기확산이 불리하였던 것으로 예상되고, 송해측정소의 경우에는 측정소 북서방향에 위치한 민가의 난방 및 취사의 영향으로 북서방향 및 무풍 시 이산화탄소 농도가 증가한 것으로 판단된다.

풍속에 의한 이산화탄소 농도는 전반적으로 풍속이 강해짐에 따라 이산화탄소 농도가 낮아지는 추이를 보였는데, 계양의 경우 2~5m/s 구간에서 CO₂ 농도가 다소 높았는데, 이때의 풍향이 앞에서 고농도로 확인되었던 남풍, 남동풍, 남남동풍의 비율이 증가할 경우 높게 측정되었다.

일기현상별 이산화탄소 농도는 박무, 안개, 연무 등의 대기정체 현상 시 높은 농도를 나타내었다.

3.2 메탄

<표 3> 연도별 지역별 CH₄ 측정 농도

(단위: ppm)

년도	안면도*	Mauna* Loa	Ryori*	서울 관악산	인천 석바위	인천 부평역	인천 송현
1999	1.883	1.787	1.840	-	-	-	-
2000	1.862	1.785	1.845	-	-	-	-
2001	1.882	1.785	1.853	-	-	-	-
2002	1.890	1.785	1.852	-	-	-	-
2003	1.899	1.792	1.863	-	-	-	-
2004	1.894	1.790	1.860	-	-	-	-
2005	1.885	1.789	1.858	-	2.013	1.963	-
2006	1.890	1.788	1.859	-	2.265	2.173	-
2007	1.891	1.796	1.868	-	2.157	2.084	-
2008	1.888	1.800	1.876	-	2.308	2.320	2.477
2009	1.906	-	1.878	1.943	2.328	1.929	2.320

주) *는 세계온실가스자료센터(WDCGG: World Data Center for Greenhouse Gases)에서 인용

2009년 우리나라 배경대기(기상청, 안면도측정소)에서 연평균 메탄농도는 1.906ppm이었고, 이 값은 1999년 우리나라 배경대기의 연평균 메탄 농도값 1.883ppm 대비 23ppb(1.2%)가 증가한 것이다. 수도권은 관악산이 2009년 평균 1.943 ppm을 나타냈으며, 인천은 연평균 농도가 1.929 ~ 2.477ppm으로 다소 높게 측정되었다.

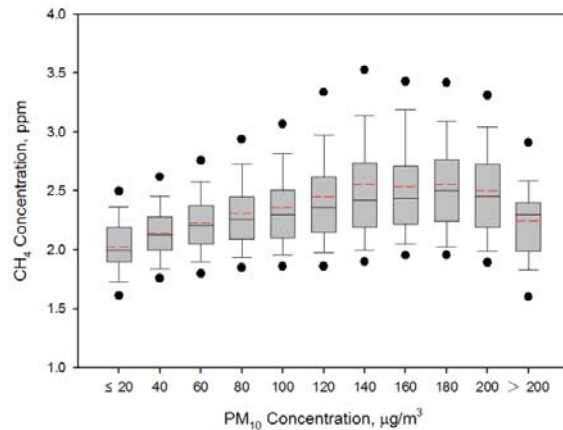
계절별 평균메탄 농도는 석바위 측정소의 경우 겨울철이 2.323 ± 0.443 (n=8,235) ppm으로 가장 높았으며 겨울 > 가을 > 봄 > 여름 순으로 높게 나타났다. 부평역 측정소는 가을에 최고값이 2.106 ± 0.378 (n=10,539)ppm을 나타냈고, 가을 > 봄 > 겨울 > 여름 순이었다. 송현측정소는 다른 지역과 반대로 여름철이 2.429 ± 0.861 (n=4,366) ppm으로 가장 높은 농도를 보였고 여름 > 봄 > 겨울 > 가을 순으로 조사되었다.

월평균 메탄농도는 석바위 측정소의 경우 최고농도는 2월에 2.456 ± 0.423 (n=1,912)ppm, 최저농도는 8월에 2.019 ± 0.348 (n=2,580)ppm으로 조사되었고, 부평역측정소의 최고농도는 12월에 2.263 ± 0.312 (n=1,664)ppm, 최저농도는 1월에 1.919 ± 0.385 (n=2,121)ppm, 송현측정소의 최고농도는 5월에 2.669 ± 1.035 (n=1,478)ppm, 최저농도는 3월에 2.159 ± 0.561 (n=631)ppm으로 조사되는 등 계절적 차이는 거의 나타나지 않았다.

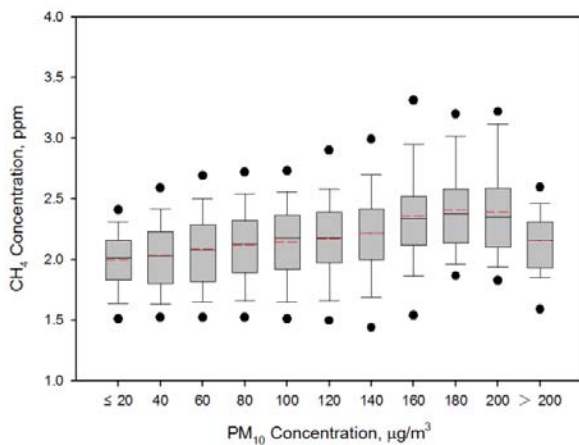
요일별 최고농도는 석바위측정소의 경우 목요일에 2.246ppm으로 평균대비 1.1% point 높았고, 최저농도는 토요일에 2.195ppm으로 평균대비 -1.2% point 낮았다. 부평역측정소의 요일별 평균 최고농도는 수요일에 2.091ppm으로 평균대비 0.5% point 높았고, 일요일은 2.068ppm으로 평균대비 -0.6% point 낮았다. 송현측정소의 경우 주간평균 최고농도는 월요일에 2.402ppm으로 평균대비 1.6% point 높았고, 최저농도는 일요일에 2.324ppm로 평균대비 -1.8% point 낮았다. 주간메탄농도 분석결과 주중이 높은 농도를 보였고, 교통량이 적은 일요일에는 낮게 측정되었다.

시간대별 메탄의 평균농도 분포는 대체로 가정 및 수송상의 활동도가 높은 오전 06~08시에 높은 농도를 보였고, 오후 17~18시에 최저농도를 보이는 것으로 조사되었다.

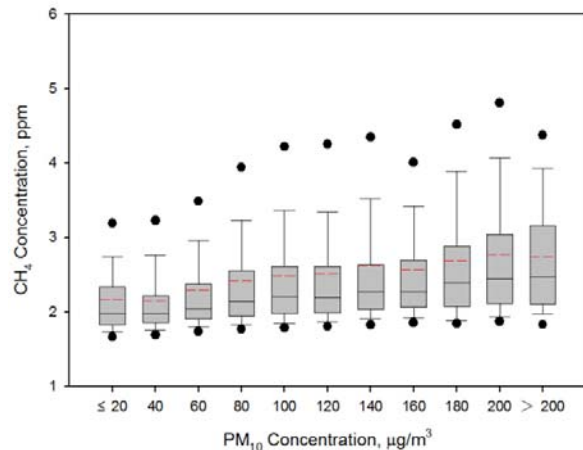
기준성 대기오염물질과 메탄 농도와의 상관성을 분석하면 CO, NO₂, SO₂, PM10, PM2.5와는 양의 상관관계가 얻어졌지만, O₃과는 유의한 결과를 얻지 못하였다.



[석바위, 2005~2009]



[부평역, 2005~2009]



[송현, 2008~2009]

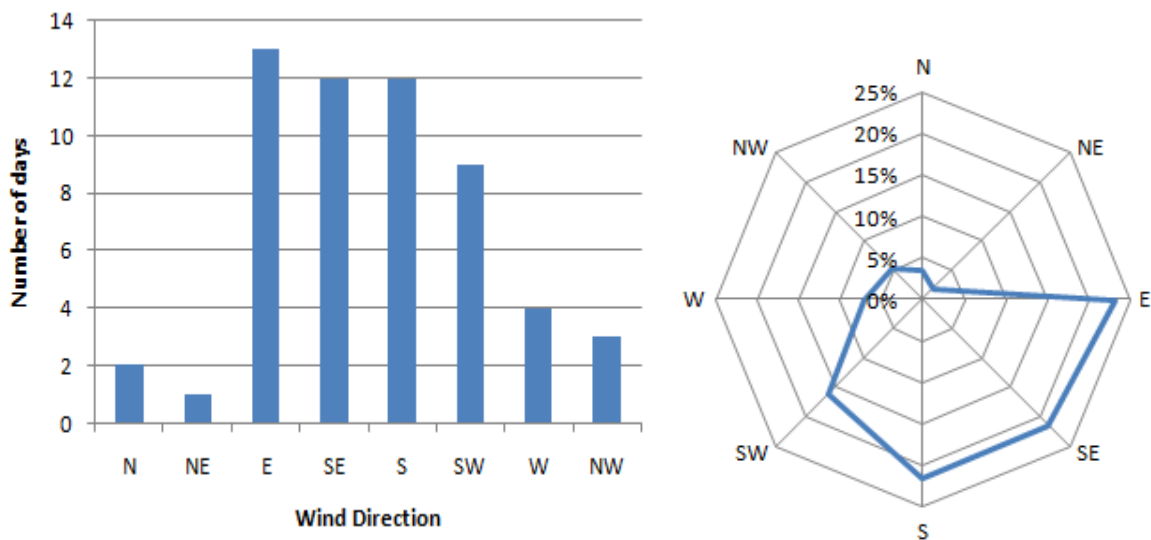
<그림 3> PM₁₀ 농도 구간별 CH₄ 시간농도 분포

습도가 높을수록 메탄농도는 다소 증가하는 경향을 나타내었고, 기온 구간별 메탄농도의 변화추이는 이산화탄소 경향과 유사하게 0~5℃ 구간에서 최고농도로 조사되었고, 전후구간에서 농도가 감소하는 경향을 보였다. 풍향의 영향은 석바위 측정소는 북풍, 북북동풍, 무풍에서 높은 농도의 메탄이 측정되었으며, 송현측정소의 경우 서풍, 서북서풍, 북서풍 및 무풍에서 높은 농도로 측정되었다. 그러나 메탄농도는 풍속과는 반비례하는 경향을 나타내었으며, 일사량과 메탄의 관계는 이산화탄소처럼 뚜렷하게 구분되지 않았다. 석바위, 부평역, 송현 등 3개 측정소 모두 안개가 발생 했을때 메탄 농도가 가장 높게 나타났고, 일기조건은 박무, 연무시 높은 농도를 보였으며, 시정거리와 메탄 농도는 반비례하는 경향을 보였다.

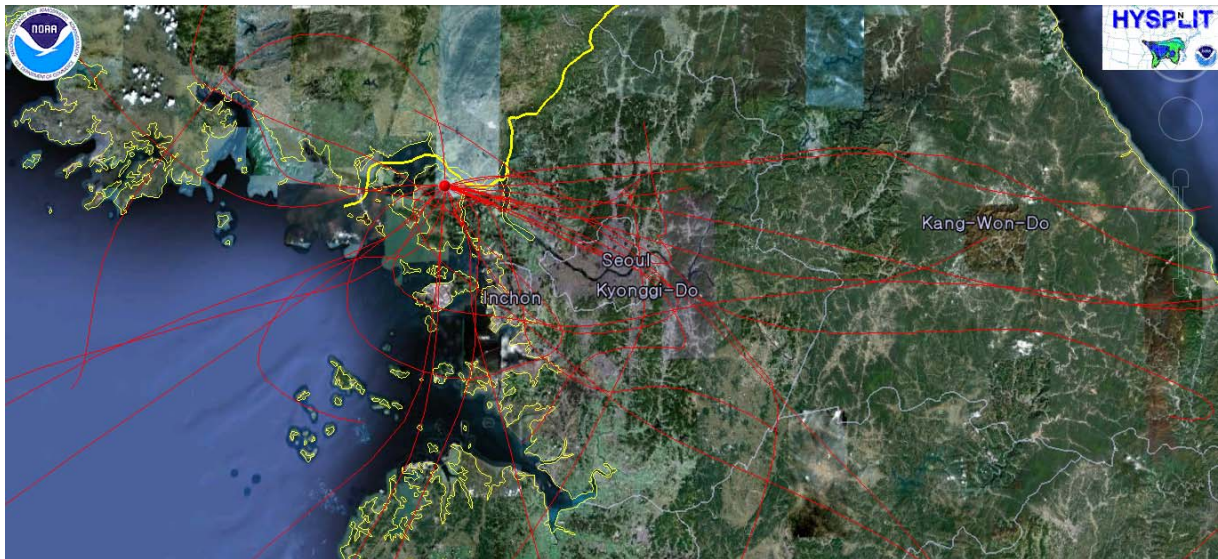
3.3 온실가스 역궤적분석

인천에서 온실가스 배경농도를 측정할 수 있는 송해측정소에서 측정된 이산화탄소 시간평균 농도를 이용하여 고농도 이산화탄소 측정 시 측정소 주변 기류를 역궤적 분석을 실시하였는데, 인천시에 도착하는 기류의 중·장거리 이동 경로를 파악과 송해측정소 이산화탄소 농도에 미치는 간접적 영향원을 파악하기 위해 미국의 NOAA/ARL에 의하여 개발된 HYSPLIT-4 (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) 모델을 사용하였으며, 동경 126.463, 북위 37.764(송해측정소)를 도착지점으로 24시간(50 m 상공), 72시간(500 m 상공) 역궤적(Back-Trajectory) 경로를 모사하기 위하여 미국 NCEP (National Center for Environmental Prediction)의 GDAS (Global Data Assimilation System) 자료가 사용되었다.

분석결과 50m 상공 24시간 분석에서는 동쪽에서의 영향이 13회로 가장 많았으며 북동이 1회로 가장 적었고, 방향별 순위는 동(13) > 남동·남(12) > 남서(9) > 서(4) > 북서(3) > 북(2) > 북동(1) 순으로 조사되었으며, 빈도분포를 살펴보면 동, 남동, 남쪽에서의 기류가 주요한 영향을 미친 것으로 나타났다.

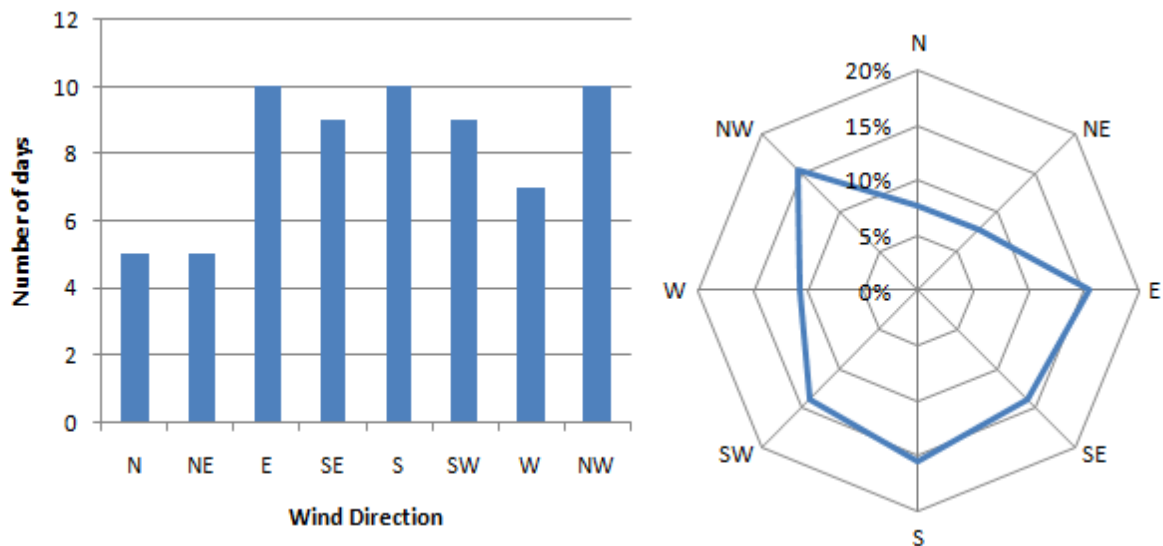


<그림 4> 역궤적분석 기류 이동방향 연간빈도(좌), 빈도분포(우), (50m, 24시간 역궤적 분석)



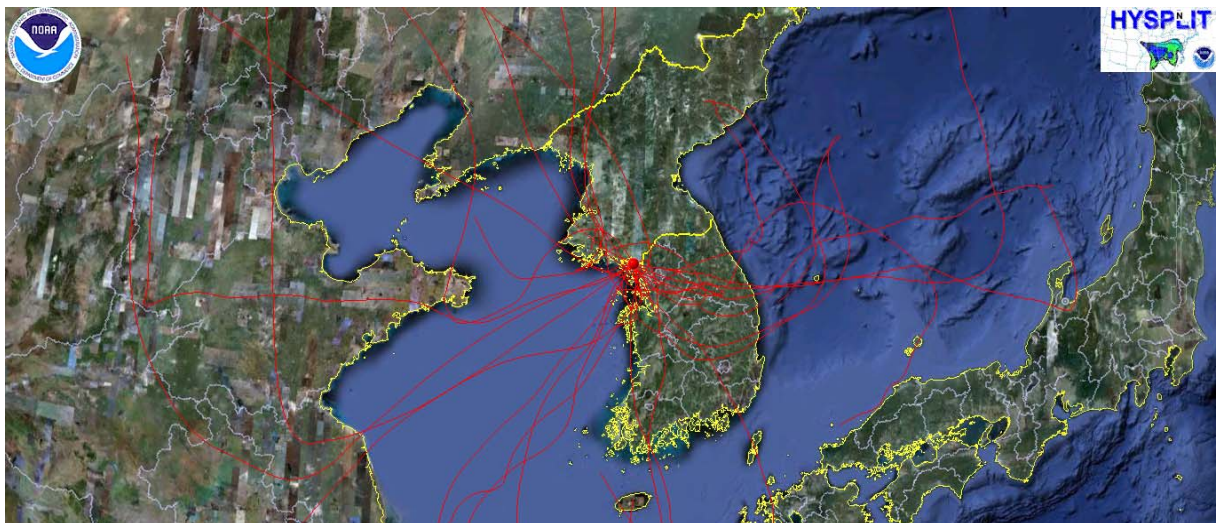
<그림 5> 송해측정소 50m 상공, 24시간 역궤적 분석결과, 2009.8~2010.7

500m 상공 72시간 역궤적 분석결과 동·남·북서쪽에서의 영향이 10회로 가장 많았으며 북·북동 방향이 5회로 가장 적었다. 방향별 순위는 동·남·북서(10) > 남동·남서(9) > 서(7) > 북·북동(5) 순으로 조사되었고, 빈도분포를 살펴보면 동, 남동, 남쪽에서의 기류가 주요한 영향을 미친 것으로 나타났다.



<그림 6> 역궤적분석 기류 이동방향 연간빈도(좌), 빈도분포(우) (500m, 72시간 역궤적 분석)

500m 상공 72시간 역궤적 분석결과와 50m 상공 24시간 분석결과와 다르게 나타났다. 50m 상공에서는 수도권이 위치한 동, 남동, 남쪽 방향에서의 기여도가 66.1%로 높았으나, 500m 상공 분석자료에서는 수도권의 기여도는 44.6%로 21.5% point 감소하고, 북서쪽에서의 기여도가 10.0 % point 증가, 북동 5.9 % point 증가, 북 4.1 % point 증가, 서 3.6 % point 증가하는 등 중국, 북한이 위치한 방향의 기여도가 증가하였다. 남서방향은 상하이, 항저우, 난징, 옌청, 쑤저우 등이 위치하고 있으며, 서쪽으로는 지난, 웨이팡, 북서방향으로는 베이징, 톈진, 다롄, 북쪽으로는 북한 평안도 지역과 중국 선양, 지린 등의 영향을 받은 것으로 나타났다.



<그림 7> 송해측정소 500m 상공, 72시간 역궤적 분석결과, 2009.8~2010.7