

論文

인천국제공항 안개사례를 통한 경제적 재해 규모분석

박종길* · 정우식** · 이중우** · 최효진*** · 권태순*** · 백종호***

Analysis of the Economic Disaster Scale for Fog Case occurred at the Incheon International Airport

Jong-Kil Park, Woo-Sik Jung, Joong-Woo Lee, Hyo-Jin Choi, Tae-Sun Kwon,
and Jong-Ho Back

Abstract

Poor visibility is very important information in aviation meteorology factor, because secure safety, trust and economical efficiency increase for aircraft movements.

The Incheon International Airport 4 years recent times was to period aircraft movements delay and cancellation due to meteorology is 52% and 30%. And then fog is 63% and 43% in meteorology factor. Therefore, the analysis against the economic loss size of an airline due to the fog is necessary. This study is indirectly estimated economic disaster scale of flight return and cancellation due to the fog in the Incheon International Airport from 5 to 6 March 2006. This is based on an aviation operational statistics data and meteorology observation data.

Result of estimated, total 14 flights return to Gimpo, Jeju and Gimhae in this period are about 208,205,700 won. And estimated total 10 flights cancellation are about 718,657,000 won.

key words : Fog(안개), Incheon International Airport(인천국제공항), aviation meteorology (항공기상), the economic disaster scale(경제적 재해규모)

I. 서론

2006년 3월 5일 10UTC부터 6일 00UTC까지 인천공항과 김포공항을 비롯한 수도권을 중심으로 전국에 짙은 안개가 끼어 인천항 선박의 입·출항이 완전히 통제되고, 인천국제공항에 이·착륙할 예정이던 항공기 24편이 회항 또는 결항하였다. 2006년 4월 김해공항은 잦은 기상악화에 따른 항공기 결항으로 항공사들의 월별 수익이 10-15% 가량 떨어질 것으로 예상되기도 하였다. 이처럼 항공기상에서 비행에 영향을 주는 기상요소로는 안개, 착빙, 뇌우, 난류 등이 있다. 이들

요소 중 안개는 선행시간을 두고 정확하게 예측되지 못하였을 경우 항공기의 회항이나 계기착륙 등에 의해 승객의 안전이나 경제적 손실, 군작전 등에 지장을 초래하기도 한다(김지영, 2000). 이와 같이 항공기 운항에 악영향을 미치는 안개는 매우 작은 물방울이 지표 부근의 대기 중에 떠있는 현상으로서 수평시정이 1km 미만인 경우를 말하며, 발생 원인에 따라 복사무, 활승무, 전선무, 중발무, 이류무 등으로 분류되어진다(김광식, 1992). 이 중 해상에서 발생한 안개는 복사무와는 달리 일정 풍속이상에서 발생하여 바람에 의해 이동하며 특히 지속시간이 비교적 길고 일출 후에도 쉽게 소산되지 않는 특성을 가진다(항공기상대, 2002).

안개에 대한 국내 선행연구들은 안중배(2002), 서은진(2002), 서장원(2002), 김지영(2000), 임현호(2006) 등과 같이 안개의 특성과 특정지역을 대상으로 한 안개 예측기법에 대한 연구가 주를 이루는데 비해, 안개에 의해 발생하는 경제적 손실

† 2007년 3월 7일 접수 ~ 2007년 5월 23일 심사완료

* 인제대학교 환경공학부 교수

연락처, E-mail : envpjk@inje.ac.kr

경남 김해시 어방동 인제대학교 창조관 1층 108호

** 인제대학교 대기환경정보공학과 교수

*** 인제대학교 대기환경정보공학과 대학원

에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 국내 공항 중 최대 규모를 가진 인천국제공항을 대상으로 하여 안개에 의해 입을 수 있는 경제적 손실에 대한 사례연구를 실시하고자 한다.

2003년 3월 19일에 개항한 인천국제공항은 영종도와 용유도 사이에 바다를 매립한 부지에 위치하며 해발 100-200m의 산들이 산재해 있다. 평균기온은 12.3℃, 연평균 풍속이 7.3knot로 바다와 근접해 있어 해상의 영향을 많이 받기 때문에 연평균 안개일수가 72일로 김포공항보다 많은 편이다. 인천국제공항은 355만평의 부지와 활주로 2본 등을 기반으로 연평균 24만회 운항과 3,000만명의 여객, 화물 27만톤을 처리할 수 있는 능력을 갖추고 있다(www.airport.or.kr). 2001년에는 총 운항편수가 86,720편으로 전국 항공운항의 19.3%를 차지하던 인천국제공항은 2003년에 총 130,175편으로 전국의 27.3%, 2005년에는 160,833편으로 전국의 36.4%를 차지할 만큼 수송 능력이 빠른 속도로 증가하였다(한국공항공사, 2006).

이처럼 국내 항공운항에 있어 상당부분을 차지하는 인천국제공항은 이류무에 의한 시정장애가 전체시정장애 현상의 70% 가량을 차지할 만큼 안개에 의한 피해를 많이 입고 있다(http://incheon.skyinfo.go.kr). 또한 항공운송의 역할 및 수요가 더욱 증가되는 현재 항공기 운항의 안전성 확보와 신뢰성 및 경제적 증대를 위해 수요자 중심의 생산성 높은 항공기상 정보가 필수적이며 그 가운데에서도 안개로 인한 악시정은 다른 항공기상요소에 비해 매우 중요한 정보로 인식, 요구되어진다(임현호, 2006). 그러나 인천국제공항은 개항 후 4월 18일에 처음으로 시정장애로 인한 항공기가 김포공항으로 회항하였으며, 그 이후로도 5월, 7월, 10월, 11월에 시정장애로 인한 항공기의 결항 및 회항이 일어났다(서장원, 2002). 항공기 운항에 있어 지연, 회항 및 결항의 원인은 항공기 접촉, 정비, 여객처리, 복합원인, 기상, 기타 원인으로 분류되는데, 인천국제공항은 2001년 7월 1일부터 2005년 6월 30일까지 최근 4년 동안 항공기 운항에 있어서 기상으로 인한 지연과 결항이 각각 52%, 30%를 차지하였으며 이 중에서 안개가 각각 63%, 43%를 차지하였다(임현호, 2006).

인천국제공항에 빈번하게 발생하는 이류무는 공항뿐만 아니라 이 지역의 해상 수송과 어로 작업의 시정에도 많은 영향을 끼치므로, 안개가 언제 발생하여 얼마나 지속될지에 대한 정확한 예측을 통해 지연, 결항으로 인한 항공사의 경제적 손실 또는 항공기 이용자들의 불편을 감소시킬

수 있다.

본 연구는 인천국제공항을 대상으로 항공운항 통계자료와 기상관측자료를 토대로 하여 항공기 운항에 있어서 안개로 인한 손실액을 회항과 결항으로 각각 구분하여 추정함으로써 공항에서 발생하는 안개로 인한 경제적 재해규모를 예측하고 재해를 줄이기 위한 안개 예측의 중요성과 단순 일기예보가 아닌 경제적 손실을 고려한 안개 예측 및 소산 기술 개발 연구의 필요성을 부여하고자 한다.

II. 자료 및 방법

2006년 3월 5일 00UTC부터 6일 03UTC까지 인천국제공항 기상대의 항공기상관측장치(Automatic Meteorological Observation System, AMOS)의 기온, 노점온도, 풍향, 풍속의 10분 자료와 일기도(850hPa, 지상), AWS 바람벡터·수렴도, 한반도 유선도, 구름위성을 이용하여 시정장애를 일으킨 안개에 대한 일기분석을 수행하였다. 또한 같은 기간 내 인천공항에서 발표된 시정 실황과 공항 예보, 지역별 안개발생 시각, 그리고 안개로 인해 회항·결항한 항공기의 노선, 시간, 기종, 좌석수, 비수기의 일반석을 기준으로 유류할증료와 TAX(공항사용료)를 제외한 항공료를 분석하여 정확하고 신속한 안개 예측을 통해 얻을 수 있는 경제적 이익을 추정하였다.

III. 결과 및 고찰

5일 06UTC 공항 예보(실체는 1시간전에 발표됨)에서는 12UTC를 전후로 1km 미만인 나타날 것으로 예상하였으며, 12UTC 예보에서는 점차 호전되어 17UTC부터 안개가 점차 박무로 변할 것으로 예상하였으나, 09UTC까지 시정이 2.5km 이상을 보이다가 10UTC를 전후로 하여 시정이 급격하게 악화되는 경향을 보였으며, 예측보다 안개지속시간이 길게 나타났다.

1. 사례기간 기상분석결과

1) 풍향·풍속

인천국제공항내 바람은 Fig. 2와 같이 풍향의 경우 5일 00UTC 이후부터 06UTC까지 남서풍과 서풍의 바람이 관측되었으나, 09UTC 이후부터 북서풍이 5knot 이하로 약하게 관측되었고 18UTC에도 북동풍이 나타나면서 12UTC 이후 내륙의 한기가 이류되고 있음을 알 수 있다.

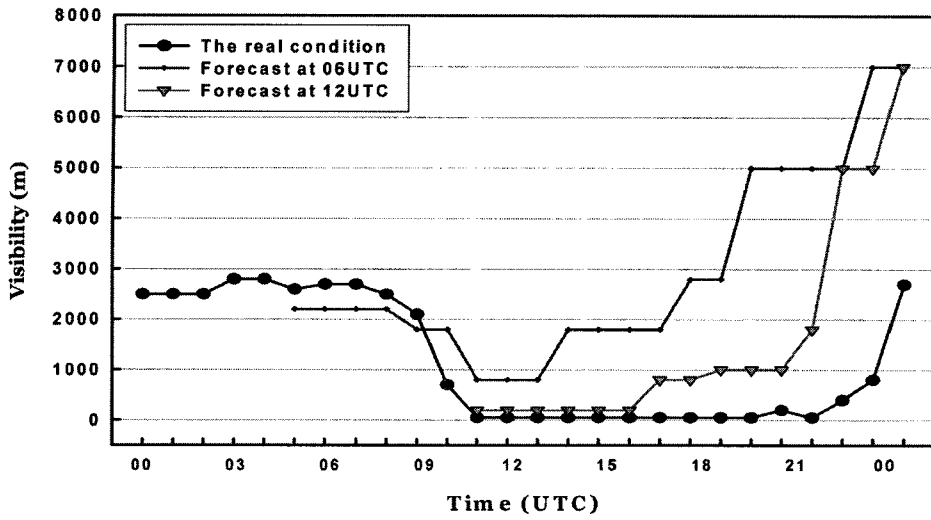


Fig. 1 2006년 3월 5일부터 6일까지 실시간 시정과 예측된 시정

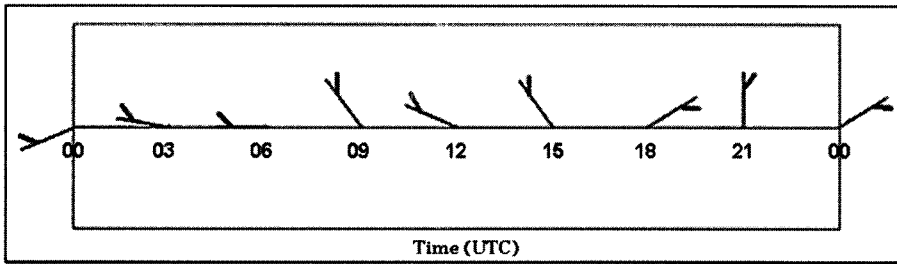


Fig. 2 2006년 3월 5일부터 6일까지 3시간 간격의 바람

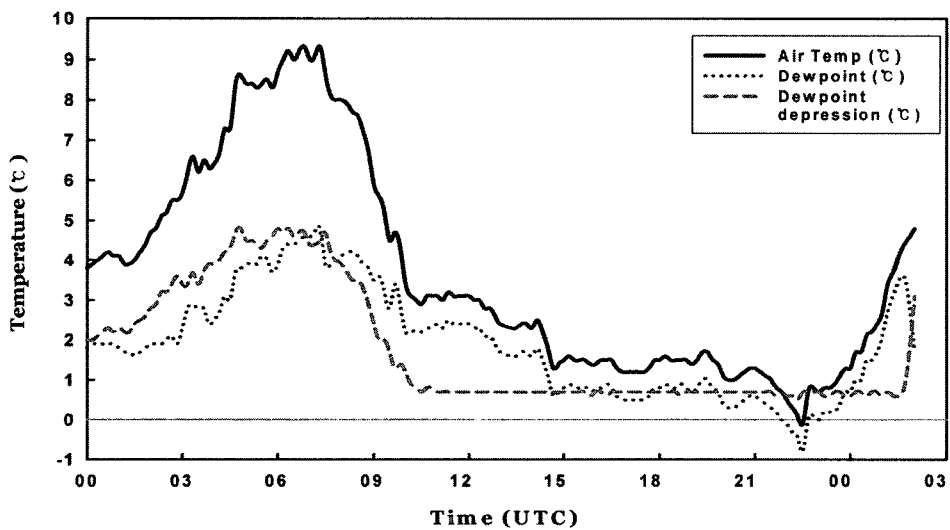


Fig. 3 2006년 3월 5일부터 6일사이의 기온, 노점온도, 습수의 시계열변화

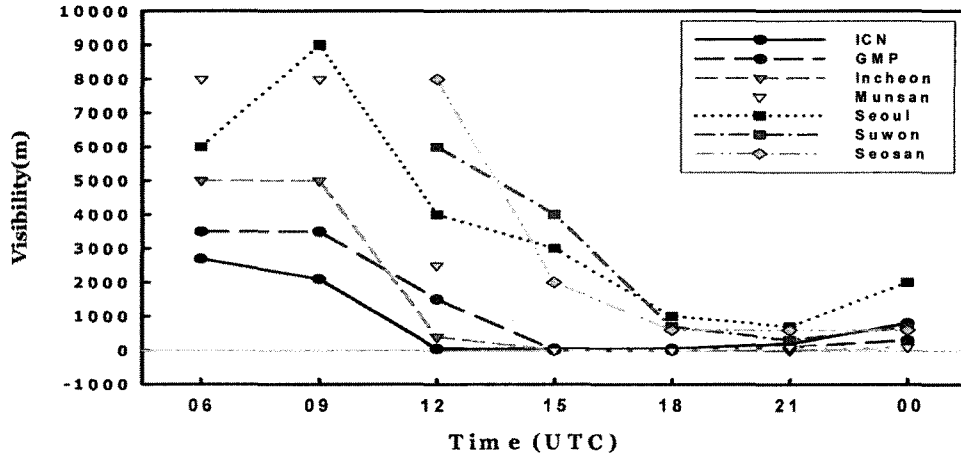


Fig. 4 인천국제공항 주변지역에서의 안개 발생 시각(2006. 3. 5-3. 6).

2) 기온·습도

이 기간 내 인천국제공항의 5일 06UTC에 기온과 이슬점 온도의 차가 4.3℃를 보이며 낮 동안에는 비교적 60% 미만의 낮은 습도분포를 보였으나, 09UTC를 전후로 습수가 낮아지면서 습도가 급격히 높아졌다. 12UTC 이후에는 습수가 1℃ 미만을 유지하면서 안개가 소멸될 때까지 지속되었으며 6일 0140UTC까지 습도가 90% 이상을 기록하였다.

3) 시정

안개 발생 추이를 알아보기 위하여 각 지점별 시정 변화를 살펴보았다. 각 지점별 안개발생시각을 나타낸 Fig. 4를 보면 인천과 인천공항에서 5일 12UTC 전후로 안개가 발생하였으며 15UTC 전후로 김포공항과 문산, 5일 18UTC를 전후로 서울과 수원, 서산까지 시정이 1km 미만으로 나타났다. 시간이 지남에 따라 안개는 점차 내륙까지 발생한 것으로 보아 경기만의 해무가 해안가에 먼저 발생한 후 점차 내륙으로 확산되었으며 북쪽으로부터 지속적인 한기 유입에 의한 내륙의 복사무까지 복합적으로 나타난 것으로 사료된다. 대개 이 지역은 북동풍이 유입될 경우 해무의 지속을 저해할 수 있으나, 18UTC에 북동풍이 유입되었음에도 06일 00UTC까지 시정이 1km미만으로 지속되어 복사무의 영향을 고려할 수 있다.

4) 종관기상상태

5일 00UTC에 850hPa 일기도를 보면 120°에 기압골과 115°에 온도골(thermal trough)이 발생하여 남서방향에서 난기가 유입되고, 12UTC에는

온도골이 중부지방까지 영향권에 들면서 북서쪽의 한기가 남하하고 있다(Fig. 5 참조).

같은 시각 지상일기도를 보면 00UTC에는 일본열도 남해상에 위치한 고기압(high pressure)이 제주 남쪽 해상을 통과하면서 난기이류(warm advection)를 형성하였고, 12UTC에는 동해안에 기압골(trough)이 통과하면서 서해상의 습한 공기가 유입되어 중부지방에서는 박무(mist)현상이 관측되었고, 북서쪽의 대륙성 고기압이 점차 남동진하고 있었다(Fig. 6 참조).

해상의 구름사진을 보면 5일 03UTC에 서해중부해상에 붉은색으로 폭넓게 해무가 분포하고 있으며, 06UTC에는 북한지방과 경기만으로 내륙까지 해무가 발생하였음을 알 수 있다(Fig. 7 참조).

AWS 바람벡터 자료는 앞선 풍향·풍속 자료와 같이 5일 12UTC 전후로 남서풍에서 북서풍으로 바뀌며 18UTC 이후로는 북동풍에 의해 북쪽의 한기가 유입되었음을 확인할 수 있었다.

종관기상 분석 결과 인천국제공항의 안개는 낮 시간에 남쪽의 난기이류의 유입과 기압골에 의한 내륙의 습수 증가, 그리고 대륙성 고기압의 찬 공기까지 유입되면서 생긴 이류무와 복사무의 복합 형태의 시정장애현상으로 볼 수 있다.

2. 항공기 회항 손실액 추정

Table 1은 2006년 3월 5일부터 6일 사이에 인천국제공항에서 안개로 인해 회항한 14편의 항공기에 대한 정보이다. 14편의 항공기 중에서 10편은 김포, 3편은 제주, 1편은 김해로 회항하였으며 이 자료를 이용하여 입을 수 있는 항공사의 경제

Table 1 제주, 김포, 김해로 회항한 항공기 정보(2006. 3. 5-3.6).

편 명	노 선 (출발지)	회항지	STA	기 종	좌 석	항공료
OZ8552	제주	김포	20:00	B767	260	92,900
MU5055	상하이	김포	20:05	AB6	269	330,000
PR488	세부	제주	20:05	A320	156	500,000
OX310	푸켓	김포	20:35	B741	350	480,000
TG8102	푸켓	김포	19:00	AB6	269	480,000
KE834	선양	김포	19:05	B737	188	270,000
MU5059	상하이	김해	20:15	AB6	269	330,000
MU5051	상하이	김포	20:40	AB6	269	330,000
MU5021	시안	김포	21:20	AB6	269	360,000
MW007	시애틀	김포	21:15	A332	243	1,100,000
KE782	후쿠오카	김포	21:45	A330	276	220,000
5J128	세부	김포	22:05	B752	179	500,000
NX9826	마카오	제주	22:10	A321	177	400,000
OZ7383	씨애틀	제주	06:00	A320	141	540,000

적 손실을 간접적으로 산정해보았다. 사례일인 3월 5일이 일요일임을 고려하여 본 연구에서 산정하는 항공료는 2006년 5월을 기준으로 비수기 주말의 일반석을 기준으로 하였다.

먼저 김포공항으로 회항한 10편에 대한 손실액을 추정하면, 원래 도착지인 인천국제공항을 기준으로 하여 김포공항에서 인천국제공항으로 이동하는 공항좌석버스의 최저 버스 요금을 회항한 항공기의 좌석수에 곱하여 산정하였다. 계산 결과 손실액은 11,574,000원으로 산정되었다.

$$Cfr1 = \sum_{i=1}^n Sni \cdot Be \tag{1}$$

여기서 Cfr1 는 회항에 따른 경제손실액, Be 는 교통비(Bus expenses)로 서울시 공항좌석버스 최저요금 4,500원(2006년도)으로 산정하였으며, Sni 은 편명에 따른 좌석 수(Seating capacity), i 는 항공기 편명이다.

두 번째로 제주(세부, 마카오, 씨애틀)와 김해(상하이)로 회항한 4편의 항공기에 대해서는 동남아 지역과 상하이의 경우 인천국제공항에 도착하는 항공료보다 제주와 김해에 도착하는 항공료가 더 높기 때문에 여기서 생기는 차액을 추가 항공료로 고려하였다. 세부, 마카오, 씨애틀에서 출발하여 제주도로 회항하였을 경우 출발지에서 인천과 제주에 도착하는 항공료의 차액은 모두 +76,700원이며, 상하이에서 김해로 회항할 경우 상하이에서 인천까지의 항공료와 상하이에서 김해까지 항공료의 차액은 +65,300원이 된다. 또한 회항하여 당일에 인천으로 귀환하지 못할 경우에

필요한 숙박료와 식비가 추가로 고려되어, 숙박료는 호텔 최저급인 3급을 기준으로 조사한 결과 일반적으로 100,000원, 식비는 회항한 당일 저녁과 다음날 아침을 호텔을 기준으로 각각 10,000원으로 책정하였다. 그리고 회항지인 제주와 김해에서 다시 인천으로 귀환하는 항공료(각각 92,900원, 78,400원)까지 포함하여 손실액을 산정하였다.

$$Cfr2 = \sum_{i,j,k=1}^n Sni \cdot (AA_{jk} + Hb + 2FE + RF_j) \tag{2}$$

- 여기서 AA_{jk} : 추가 항공료(Additional airfare, AA1k =76,700원, AA2k =65,300원)
- Hb : 숙박료(Hotel bill, 여기서는 3급 호텔에 1박 요금, 100,000원)
- FE : 식비(Food expense) = 10,000원
- RF_j : 귀환 항공료(Return flight fare, RF1=92,900원, RF2= 78,400원)
- i : 편명, j : 회항지, k : 출발지

따라서 인천국제공항에서 안개로 인해 제주와 김해에 회항한 총 4편의 항공기 가운데 제주로 회항한 3편과 김해로 회항한 1편에 대한 경제적 손실액을 간접적으로 추정한 결과, 제주의 경우 137,270,400원이었으며, 김해는 70,935,300원으로 나타났다.

3. 항공기 결항 손실액 추정

2006년 3월 5~6일 사이에 인천국제공항에서 안개로 인해 인천에 도착 예정인 7편과 인천에서

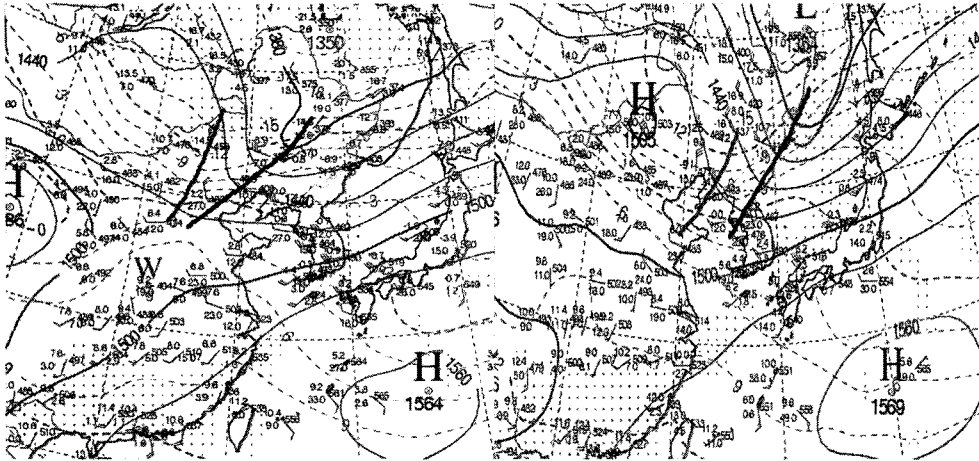


Fig. 5 2006년 3월 5일 00UTC(왼쪽), 12UTC(오른쪽)의 850hPa 상층일기도

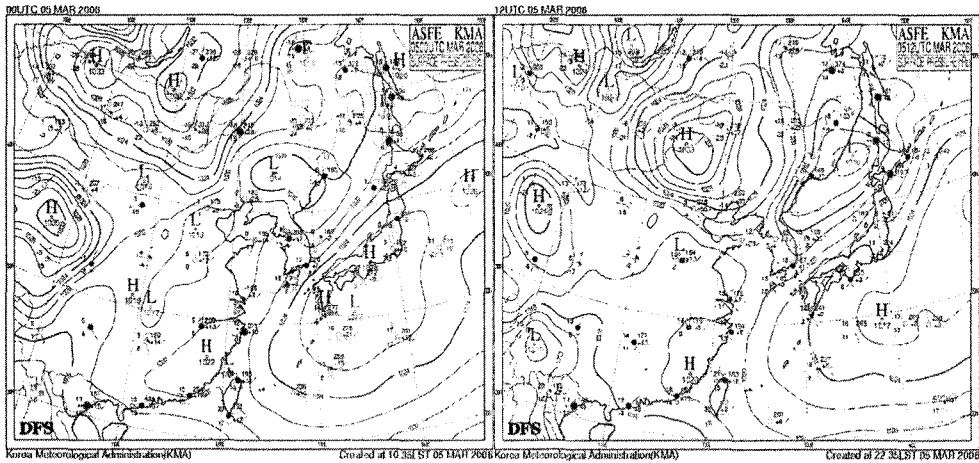


Fig. 6 2006년 3월 5일 00UTC(왼쪽), 12UTC(오른쪽)의 지상일기도

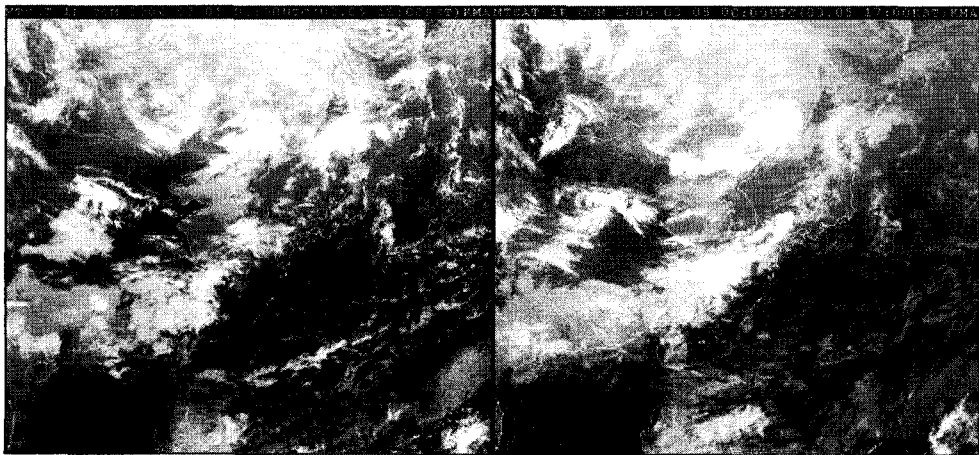


Fig. 7 2006년 3월 5일 03UTC(왼쪽), 06UTC(오른쪽)의 해무 실태

출발 예정이던 3편인 총 10편이 Table 2와 같이 결항하였다. 결항의 경우 손실액은 해당 항공기의 좌석수와 항공료에 대한 값을 곱해주는 방법으로 비수기와 성수기를 각각 산정하였다.

Table 2에 나와 있는 항공료는 비수기 주말 일 반석을 기준으로, 비수기의 경우를 계산하면 663,616,100원으로 약 6억 6천만원의 손실액이 발생한 것으로 볼 수 있다. 성수기의 경우에는 718,657,000원으로 약 7억 2천만원으로 산정되었다.

$$Cfr3 = \sum_{i,T=1}^n Sni \cdot AI \quad (3)$$

여기서 AI : 성수기와 비수기에 따른 항공료 (airfare)

I : 성수기(1)와 비수기(2) 구분 기호

이상과 같이 항공기의 회항과 결항으로 인한 경제적 손실은 위에 제시한 식(1)~(3)의 결과를 합한 금액으로 성수기의 경우, 938,436,700원이며 비수기의 경우 883,395,800원으로 나타났다. 2006년 3월 5일의 경우 비수기 주말이므로 실제 안개로 인한 재해 손실액은 약 8억 8천 3백만원 정도로 추정할 수 있었다.

IV. 결론

2006년 3월 5일 00UTC부터 6일 03UTC까지 인천국제공항 기상관측자료와 항공운항통계자료를 토대로 항공기의 회항 및 결항을 야기한 안개 발생의 원인은 해상에서 생성된 해무가 서해상에서 유입되는 난기이류로 내려가서 이동한 이류무가 일중 주요 원인이었으며, 이후 북서쪽에서 내려온 차가운 한기에 의한 복사무가 결합함으로써

장시간 악시정을 초래한 것으로 사료된다. 복사무의 경우 대개 일출과 함께 소산되나 이류무가 존재할 경우 안개소산 시각이 지연될 가능성이 높으며, 이류무의 소산시각을 정확히 예측하는 것은 매우 어려운 일이므로 향후 이류무의 발생과 소산에 대한 기술개발이 필요할 것으로 사료된다.

인천국제공항에서 2006년 3월 5~6일에 발생한 안개 재해로 인한 경제적 손실액을 비교적 객관적으로 소요되는 비용을 위주로 추정해보았다. 그 결과 김포, 제주, 김해로 회항한 14편에 대하여 약 2억 2천만원이, 결항한 10편에 대해서는 약 6억 6천만원(비수기)으로 산정되어 8억 8천만원 정도의 경제적 손실을 초래하였으며 성수기의 경우 더 많은 손실을 초래할 수 있다. 그러나 이는 회항과 결항에 따른 손실액을 단순히 항공료와 교통비, 숙박비를 통해 개략적으로 산정한 것이므로, 좀 더 정확한 손실 산정을 위해서 고려해야 할 항공사의 기타 부대비용을 고려한다면 안개와 같은 기상재해로 인한 손실액이 훨씬 증가할 것이다.

이처럼 안개에 의한 항공 운항의 손실을 줄이기 위해서는 안개 예측률을 높이기 위한 기법을 연구하는 것도 중요하지만, 안개가 사전에 예보되었을 때 경제적 손실액을 예측하고 안개 소산 기술의 활용 여부를 빠르게 판단하고 대처할 수 있는 공항안개재해 방제시스템이 요구된다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업 (CATER 2006-3303)의 지원으로 수행되었습니다.

Table 2 인천국제공항에서 결항된 항공기 정보(2006. 3.5-3.6.).

편 명	노 선 (출발지)	STA	기 종	좌 석	항공료
CA147	위해	19:36	B737	188	220,000
JL959	나리타	20:40	B767	260	342,500
CZ675	대련	20:35	A321	181	264,900
CA137	북경	21:25	B737	188	330,000
KE1424	제주	20:55	B737	188	92,900
OZ105	나리타	23:10	B767	260	342,500
CA133	칭다오	21:00	B737	188	240,000
CZ676	인천→대련	21:35	A321	181	264,000
CZ684	인천→하얼빈	21:05	MD82	141	280,000
OX311	인천→푸켓	22:05	B747	384	480,000

V. 참고문헌

- [1] 한국공항공사, "항공통계", 2006.
- [2] 김광식, "기상학 사전", 향문사, 1992.
- [3] 김지영, 오성남, 전영신, 최재천, 부경은, 민회경, "김포국제공항의 안개예측(I)-안개의 발생 특성", 한국기상학회 봄 학술발표회, 2000, pp. 223-230.
- [4] 변희룡, 이동규, 이화운, "동해 및 그 주변에서 발생하는 해무의 특성과 예측가능성 조사", 한국기상학회지, 제33권 제1호, 1997, pp. 42-62.
- [5] 안중배, 남재철, 서장원, 이해진, "한반도 안개 특성 연구", 한국기상학회, 제12권 제12호, 2002, pp. 1-3.
- [6] 서은진, 이호준, 서장원, 남재철, "양양 신공항의 안개 특성 조사", 한국기상학회, 제12권 제1호, 2002, pp. 1-4.
- [7] 서장원, 오희진, 황승언, 남재철, "영종도와 김포공항의 안개발생 특성 비교", 한국기상학회, 제12권 제1호, 2002, pp. 1-3.
- [8] 서장원, 남재철, 김유철, "영종도 주변지역 안개발생 사례에 대한 특성분석", 제11권 제1호, 2001, pp. 300-303.
- [9] 항공기상대, "인천국제공항의 안개 예측기법 연구", 2002.
- [10] 임현호, "인천국제공항 안개발생의 메커니즘과 항공기상학적 예측기법 개발", 박사학위논문, 2006.
- [11] 인천국제공항기상대, <http://incheon.skyinfo.go.kr>.
- [12] 인천국제공항, www.airport.or.kr.
- [13] 허인혜, "한국의 안개 분포와 지역별 특성", 대한지리학회, 제 1998권 제1호, 1998, pp. 56-59.