

항공기 준사고 조사 보고서

착륙 접지 후 눈더미에 엔진 충돌

(주)대한항공

B747-400, HL7460

제주공항 활주로 25

2016. 1. 25.



2017. 10. 11.

이 항공기 준사고 조사 보고서는 대한민국「항공·철도 사고조사에 관한 법률」제25조에 따라 작성되었다.

대한민국 항공·철도 사고조사에 관한 법률 제30조에는

*“사고조사는 민·형사상 책임과 관련된 사법절차, 행정처분절차, 또는 행정쟁송절차와 분리·수행되어야 한다.”*라고 규정하고 있으며,

국제민간항공조약 부속서 13, 3.1과 5.4.1에는

*“사고나 준사고 조사의 궁극적인 목적은 사고나 준사고를 방지하기 위함이므로 비난이나 책임을 묻기 위한 목적으로 사용하여서는 아니 된다. 비난이나 책임을 묻기 위한 사법적 또는 행정적 소송절차는 본 부속서의 규정에 따라 수행된 어떠한 조사와도 분리되어야 한다.”*라고 규정하고 있다.

그러므로 이 보고서는 항공안전을 증진시킬 목적 이외의 용도로 사용하여서는 아니 된다.

만일 이 조사보고서의 해석에 있어서 한글판과 영문판의 차이가 있을 경우에는 한글판이 우선한다.

항공기 준사고 조사 보고서

항공·철도사고조사위원회, 착륙 접지 후 눈더미에 엔진충돌, (주)대한항공, HL7460, B747-400, 제주공항 활주로25, 2016. 1. 25. 항공기 준사고 조사 보고서 ARAIB/AIR1301, 대한민국 세종특별자치시

대한민국 항공·철도사고조사위원회는 독립된 항공·철도 사고조사를 위한 정부기구이며, 「항공·철도 사고조사에 관한 법률」 및 「국제민간항공조약」부속서 13에 따라 사고조사를 수행한다.

항공·철도사고조사위원회의 사고 또는 준사고 조사의 목적은 비난이나 책임을 묻고자 하는 것이 아니라 유사 사고 및 준사고의 재발을 방지하고자 하는 것이다.

주 사무실은 세종특별자치시에 위치하고 있다.

주소: 세종특별자치시 가름로 232 세종비즈니스센터 A동 6층 604호
우편번호 30121

전화: 044-201-5447

팩스: 044-201-5698

전자우편: araib@korea.kr

홈페이지: <http://www.araib.go.kr>

차 레

착륙 접지 후 눈더미에 엔진충돌	1
개 요	1
1. 사실 정보	3
1.1 제설작업 및 비행 경위	3
1.2 인명피해	6
1.3 항공기 손상	6
1.4 기타 손상	8
1.5 인적 정보	8
1.5.1 기장	8
1.5.2 부조종사	9
1.6 항공기 정보	9
1.6.1 항공기 일반정보	9
1.6.2 항공기 제원	10
1.6.3 엔진정보	10
1.6.4 항공기 정비이력	11
1.6.5 중량 및 평형	11
1.7 기상정보	12
1.7.1 제주 강설상황 (1월 23일~1월 25일)	12
1.7.2 공항정보자동방송 기상	13
1.7.3 HL7460의 착륙단계 바람	13
1.8 항행안전시설	14
1.9 통신	14
1.10 비행장 정보	15
1.10.1 비행장 일반정보	15
1.10.2 활주로 제설 상태	16
1.10.2.1 눈더미 최대 허용높이 기준	16
1.10.2.2 활주로제설 상태- 눈더미 최대허용높이 기준 초과	17
1.11 비행기록장치	20
1.11.1 비행자료기록장치	20

1.11.2 조종실음성기록장치	23
1.12 잔해와 충격정보	23
1.13 의학 및 병리학적 정보	24
1.14 화재	25
1.15 생존분야	25
1.16 시험 및 연구	25
1.17 조직 및 관리정보	25
1.17.1 제설대책본부의 구성 및 임무	25
1.17.2 제설 위기경보 단계별 조치	26
1.17.3 제주공항 제설관리	26
1.17.3.1 제주공항의 제설 장비	26
1.17.3.2 제주공항 활주로 제설작업 방식	28
1.17.4 제설작업내용	29
1.17.4.1 활주로폐쇄 및 활주로개방 항공고시보	29
1.17.4.2 1월 25일 제설작업관련 경과	30
1.17.5 설빙고시보 및 활주로 미끄럼측정	31
1.17.5.1 설빙고시보	31
1.17.5.2 활주로 미끄럼측정	32
1.17.6 활주로 점검	34
1.17.6.1 운항 전 점검	35
1.17.6.2 특별점검	36
1.17.6.2.1 제주지역본부(13:00~13:50)	36
1.17.6.2.2 제주지방항공청 (11:00~11:10)	37
1.17.7 제주지역본부 제설작업관련 교육	38
1.18 기타 사항	39
2. 분석	40
2.1 일반	40
2.2 운항분야	40
2.2.1 활주로 접지와 눈더미 충돌	40
2.2.2 HL7460의 측풍착륙 및 눈더미 충돌과정	43
2.2.2.1 측풍착륙비행방식	43
2.2.2.2 최종접근구간 Crab 비행방식 접근	43

2.2.2.3 Wing Low 비행방식으로 전환	44
2.2.2.4 활주로 접지 및 눈더미와 충돌	44
2.2.3 HL7460과 눈더미의 충돌과정에서 경사각	45
2.2.4 HL7460 횡적비행경로	46
2.3 보잉사의 QAR분석	49
2.3.1 HL7460의 횡적위치 및 4번 엔진의 지상 높이	49
2.3.2 활주로25에 착륙한 B747-400기종 4편의 QAR 분석	50
2.4 제설분야	52
2.4.1 제설작업	52
2.4.1.1 활주로07/25	52
2.4.1.2 활주로13/31	53
2.4.2 제설작업 후 활주로 점검	54
2.4.2.1 제주지역본부 눈더미 최대 허용높이 기준 초과 미인지	54
2.4.2.2 활주로 미끄럼측정 업무	54
2.4.2.3 이동지역 표면 및 지장물 점검표 개선	55
2.4.3 눈더미 최대 허용높이 기준 교육 필요	56
2.5 제주공항 운영 재개	56
2.5.1 제주공항 활주로 폐쇄 및 해제	56
2.5.2 제주지방항공청	57
3. 결론	59
3.1 조사결과	59
3.2 원인	62
4. 안전권고	63
4.1 한국공항공사에 대하여	63
4.2 제주지방항공청에 대하여	63

<표 차례>

[표 1] HL7460 기체 손상 내용	6
[표 2] HL7460 일반정보	10
[표 3] HL7460 엔진 정보	10
[표 4] HL7460 정비이력	11
[표 5] HL7460의 중량	12
[표 6] HL7460의 이륙 및 착륙 시 무게중심	12
[표 7] HL7460과 관제탑과의 주요교신 내용	14
[표 8] 한국공항공사 보유 제설장비	28
[표 9] 활주로 폐쇄 및 개방관련 항공고시보(1월 23일~1월 25일)	30
[표 10] 설빙고시보(1월 23일~1월 25일)	32
[표 11] 측정된 활주로 노면 마찰 계수 값	33
[표 12] 활주로의 기본 마찰계수 값	33
[표 13] 활주로 제설 작업 전 안전교육	39
[표 14] HL7460의 엔진이 활주로에 접촉되기 위한 경사각	46
[표 15] 1월 25일 제주공항에 착륙한 B747-400 항공기의 QAR자료 검토	51

<그림 차례>

[그림 1] 활주로 교차지역의 눈더미에 HL7460의 4번 엔진 충돌	4
[그림 2] HL7460 기체 손상 부위	7
[그림 3] 4번 엔진 내부 손상 상태	8
[그림 4] HL7460 제원 및 엔진의 위치	11
[그림 5] 1월 23~25일 제주 공항 시간당 강설량/누적 강설량	13
[그림 6] 제주공항 활주로 배치도	16
[그림 7] 눈더미의 최대높이 허용기준	17
[그림 8] 4번 엔진이 충돌한 활주로 교차지역의 눈더미	18
[그림 9] 활주로 제설작업결과- 눈더미 최대 허용높이 기준 초과	19
[그림 10] HL7460이 충돌한 활주로 교차지역의 눈더미	20
[그림 11] 활주로25 옆선 부근 제설상태	20
[그림 12] ASDE 영상에 포착된 잔해날림 장면	23
[그림 13] 활주로제원 및 HL7460 눈더미 충돌상황	24

[그림 14] 활주로에서 수거된 HL7460의 잔해	25
[그림 15] 제주공항 제설작업 형태	29
[그림 16] 미끄럼측정 결과서	34
[그림 17] 이동지역 표면 및 지장물 점검표(1월 25일)	37
[그림 18] KE1275 비행자료기록장치 자료_착륙단계	40
[그림 19] KE1275 비행자료기록장치 자료 분석_착륙단계	40
[그림 20] 4번 엔진이 충돌한 눈더미	41
[그림 21] 항공기자세와 엔진지상접촉 관계도	45
[그림 22] HL7460의 접지 후 지상경로와 눈더미 충돌	47
[그림 23] HL7460의 LOCALIZER ANTENNA 위치	49
[그림 24] HL7460의 QAR 분석_ Aero-B-BBA1-C-16-023(Boeing)	50
[그림 25] 1월 25일 제주공항에 착륙한 B747-400 항공기 QAR 분석	51
[그림 26] 제주공항 제설 작업	52
[그림 27] 활주로 옆선표지 부근의 제설작업 및 눈더미 형성	53

착륙 접지 후 눈더미에 엔진충돌

- 항공기 운영자: (주)대한항공
- 항공기 제작사: 보잉사
- 항공기 형식: B747-400
- 항공기 등록부호: HL7460
- 발생장소: 제주공항 활주로 25 (N33°30'44.53", E126°29'31.74")
- 발생일시 : 2016년 1월 25일 22:50경 (한국표준시각¹⁾)

개 요

2016년 1월 25일 20:55경 (주)대한항공 소속 1275편 B747-400, HL7460 여객 운송용 항공기(이하 “HL7460”이라 한다)가 공기비행²⁾으로 김포국제공항(이하 “김포공항”이라 한다)을 출발하여 22:50:18경 제주국제공항(이하 “제주공항”이라 한다) 활주로 25에 착륙하였다.

HL7460은 활주로25에 착륙 활주 중 활주로 내(활주로등 안쪽)에 제설작업 시 쌓아둔 눈더미에 4번 엔진이 부딪혀 손상되었다. HL7460은 4번 엔진계기의 비정상 지시를 확인하고 활주로를 개방하여 4번 엔진 정지절차를 수행하였다. 대한항공 정비사가 주기장에서 항공기 외부점검 시에 4번 엔진의 카울, 우측 주날개, 플랩 등이 손상되고 일부 부품이 탈락된 것을 확인하였다. 이 준사고로 인명피해는 발생하지 않았다.

항공·철도사고조사위원회(이하 ‘위원회’라 한다)는 이 준사고의 원인으로 「한국공항공사 제주지역본부의 부적절한 제설작업으로 눈더미가 없어야 할 활주로25 우측 활주로등 안쪽 노면에 약 1.5미터 높이의 눈더미가 형성되어 있었고 이 눈더미에 항공기 4번 엔진이 충돌되어 손상되었다.」로 결정한다.

1) 이 보고서상의 모든 시각은 24시를 기준으로 한 한국표준시각 임.

2) 공기비행(ferry flight): 승객, 화물 등 유상 탑재물을 탑재하지 않고 실시하는 비행을 의미한다. 제주공항은 폭설과 강한 바람으로 인하여 1월 23일 17:50부터 25일 12:24까지 약 43시간동안 폐쇄되었다. 이 항공기는 공항 폐쇄기간 동안 취소된 항공편들의 체류객 수송을 위해 투입되었던 항공기로 탑승객 없이 기장 외 9명의 승무원이 탑승하고 있었다.

기여요인으로 「① 한국공항공사 제주지역본부의 제설작업 및 점검에 대한 교육 미흡 ② 한국공항공사 제주지역본부의 제설작업 후 안전점검 미흡 ③ 제주지방항공청의 활주로07/25 개방 전 이동지역에 대한 최종점검 미흡」으로 결정한다.

위원회는 이와 관련하여 한국공항공사에 2건, 제주지방항공청에 1건의 안전권고를 발행한다.

1. 사실 정보

1.1 제설작업 및 비행 경위

제주공항에는 1월 23일부터 1월 25일까지 강한 바람과 한파를 동반한 강설이 지속되었고 이 기간 중 총 강설량은 16cm, 적설량은 11~12cm가 되었다.

강설로 인해 제주공항의 활주로07/25는 1월 23일 17:50부터 폐쇄되었고, 활주로13/31은 다음날 1월 24일 05:17부터 폐쇄되었다. 강설이 지속되며 활주로07/25와 활주로13/31은 1월 25일 20:00까지 폐쇄³⁾가 연장되었다. 이 당시 제주에는 출발예정승객 약 8만 여명이 체류⁴⁾하게 되었다.

한국항공공사 제주지역본부(이하 '제주지역본부'라 한다)는 1월 23일 13:32경부터 시작하여 총 16차례에 걸친 제설작업을 실시하였다. 활주로07/25의 제설작업은 1월 25일 05:26경에 완료하고 05:54~06:01과 11:03~11:07에 미끄럼측정을 2회 실시하였으며, 그 결과가 양호하였음을 제주지방항공청에 통보하였다.

항공기상청은 1월 25일 12:00부로 제주지역의 돌풍경보 및 대설주의보를 해제하였다. 기상특보가 해제됨에 따라 국토교통부는 1월 25일 12:00기준으로 제주공항 운항통제를 해제하였고 정상적인 운항은 15:00이후부터 가능하다는 보도자료를 1월 25일 12:04경 발표하였다.

제주지방항공청은 1월 25일 12:24부터 활주로07/25 폐쇄를 해제하는 항공고시보⁵⁾를 발행하였고 또한 14:28부터 활주로13/31 폐쇄를 해제하는 항공고시보⁶⁾를 발행하였다.

제주지역본부는 활주로13/31의 제설작업을 1월 25일 11:15경부터 시작하여

3) 항공고시보 C0236: 1.24. 21:54 발행

4) 국토교통부에서는 “비정상상황대책반”을 운영하였고 각 기관별로 “특별수송대책본부”를 설치하여 제설작업 및 시설물 안전점검, 제주/김포/김해공항 항공기 운항제한(Curfew)시간 해제, 각 항공사별 임시편 항공기 마련, 지하철 심야 연장운행, 심야 연계교통편 마련 등의 대책을 이행하였다.

5) 항공고시보 C0239: 1.25. 12:28 발행, 활주로13/31은 12:24~20:00까지 폐쇄유지

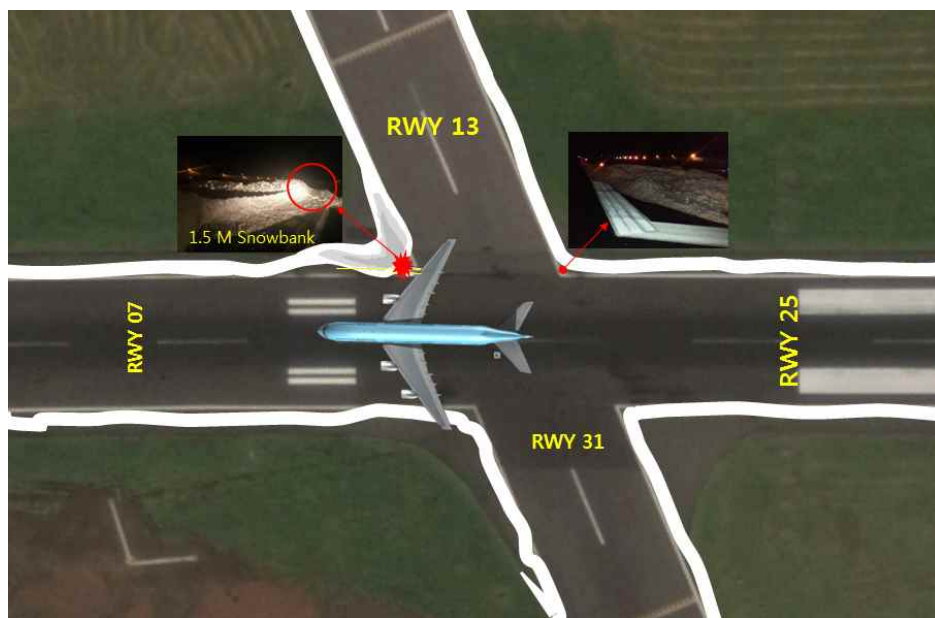
6) 항공고시보 C0241: 1.25. 14:31 발행

13:50경 완료하고 미끄럼측정을 마친 후 14:00경 활주로에서 철수하였다.

제주공항에서는 이스타항공236편이 14:47경 김포공항으로 출발하며 운항이 재개되었다.

제주지역본부는 활주로13/31의 제설작업을 마치고 주기장의 제거작업을 수행하여 16:00경 제주공항의 모든 제설작업을 마치고 제설상황반 근무를 종료하였다.

하지만 이때 활주로07/25와 활주로13/31 교차지역의 우측 활주로등⁷⁾ 안쪽 노면에는 [그림 1]과 같이 약 1.5미터의 눈더미가 있었다. 이 눈더미는 두 활주로의 반복되는 제설작업과정에서 누적된 것이었다.



[그림 1] 활주로 교차지역의 눈더미에 HL7460의 4번 엔진 충돌

HL7460은 2016년 1월 25일 20:55경 공기비행으로 김포공항에서 제주공항으로 출발하였다.

7) 활주로등은 활주로앞선에서 활주로 바깥쪽으로 3미터 거리의 위치에 활주로와 평행하게 일정 간격으로 설치되어 있으며 갓길노면으로부터 약 30cm 높이로 돌출되어 있다. 따라서 제설차가 활주로등 연결선상을 통행하며 제설작업을 할 수 없어 이 부근에 눈들이 남게 된다.

HL7460은 기장이 비행임무역할로 제주공항 활주로 25에 계기착륙접근을 하였고, 22:47경 제주관제탑으로부터 300도 방향의 10노트의 바람정보와 함께 착륙허가를 받았다.

HL7460은 최종접근경로에서 Crab⁸⁾비행방식으로 접근하였다. 바람은 HL7460이 최종접근 중 전파고도 200피트와 50피트사이에 284도에서 294도 사이에 17에서 19노트 정도 불었다. HL7460은 전파고도 22피트에서 WING LOW⁹⁾비행방식으로 전환하여 22:50:17.9경 활주로25 시단으로부터 약 1,805 피트에 접지하였다.

HL7460의 4번 엔진은 착륙 접지 직후인 22:50:18.4경 활주로25 시단으로부터 1,920피트에서 활주로25 우측 옆선과 활주로등 사이에 쌓인 눈더미에 [그림 1]과 같이 충돌되었다.

HL7460은 22:50:24경 4번 엔진의 역추력장치¹⁰⁾ 시스템이 비정상을 지시하는 것을 확인하고 2번, 3번 엔진 역추력장치만을 사용하여 감속하였다. 이후 4번 엔진의 N1 계기 및 오일 압력이 '0'을 지시하는 것을 확인 후, 활주로를 개방하여 4번 엔진을 정지¹¹⁾시키고 신속점검철(QRH)의 엔진 심한 손상 (Engine Severe Damage) 절차를 수행하였다.

대한항공 정비사가 주기장에서 HL7460 항공기 외부점검 시에 4번 엔진의 카울, 우측 주날개, 플랩 등이 손상되고 일부 부품이 탈락된 것을 확인하였다.

8) 측풍에서 항공기 기수방향을 풍상쪽으로 측풍성분에 비례한 양만큼 틀어주어 편류각을 유지함으로써 활주로 중심선을 따라 비행궤적을 유지하는 비행방식

9) 측풍의 상황에서 비행경로를 유지하기 위하여 기수방향은 편류각이 없이 활주로 중심선 방향을 유지하고 편류각 대신에 풍상쪽으로 측풍성분에 비례한 양만큼의 항공기 경사각을 주어 활주로 중심선을 따라 비행궤적을 유지하는 비행방식

10) HL7460은 22:50:21경 역추력장치가 사용되었고 22:50:22경 1,2,3번 엔진은 모두 역추력장치가 정상적으로 전개되었음을 지시하였으나 4번 엔진 역추력장치만 계속 전환중임을 지시하였다.

11) 기장보고서(ASR)기록: ILS DME RWY 25 착륙 후 Reverser 사용 직전에 NO4 Engine의 thrust reverser indication이 amber color로 displayed되어 reverser를 NO2 & NO3(inboard only)만 사용하였음. RWY개방후 engine parameter 확인결과 N1 indication이 "0"로 display되고 oil pressure가 "0"로 display되어 NO4 engine shutdown 하였음.

1.2 인명피해

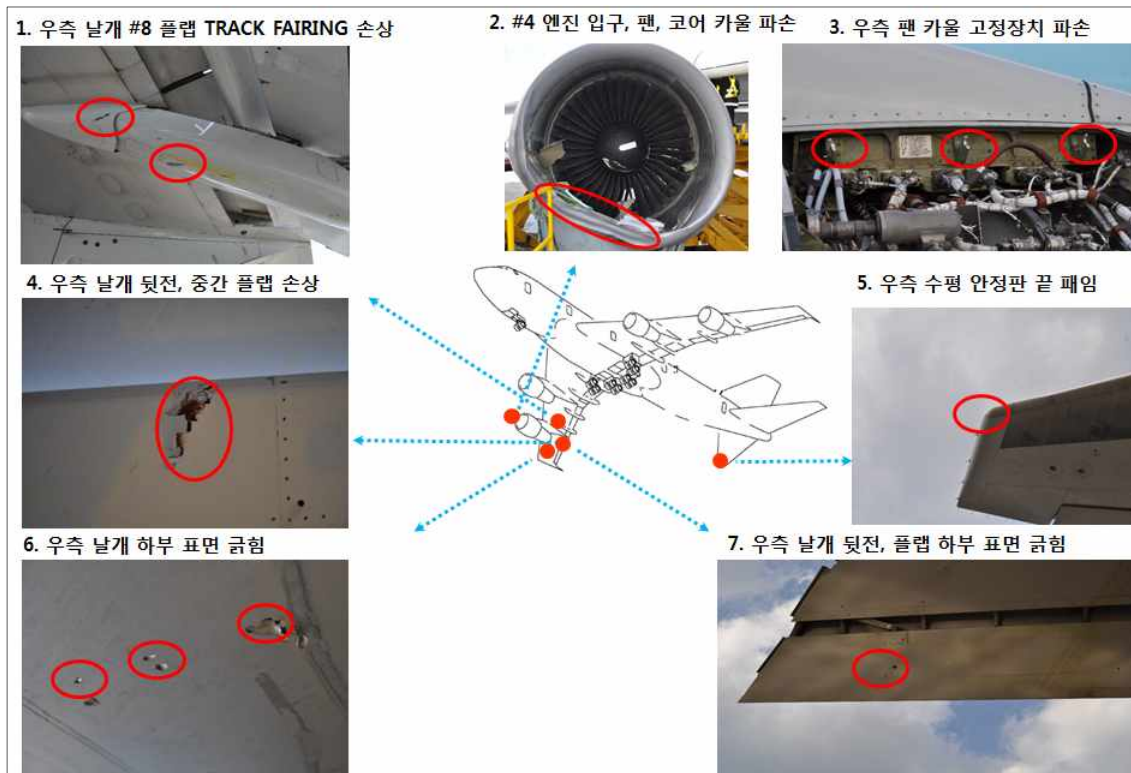
HL7460은 공기비행으로 운항승무원 2명, 객실승무원 8명이 탑승하였으며 인명 피해는 없었다.

1.3 항공기 손상

HL7460은 우측 부분에 위치한 4번 엔진, 주날개 아랫면, 플랩 그리고 꼬리날개 등에 손상이 발생하였다. 기체의 외부 손상 내용과 손상부위는 [표1], [그림 2]와 같다.

No	기체 손상 내용
1	우측 주날개 뒷전 8번 플랩 Track Fairing 손상
2	4번 엔진 입구 카울, 팬 카울, 코어 카울 파손
3	4번 엔진 우측 팬 카울 고정장치 파손
4	우측 주날개 뒷전 중간 플랩 앞부분 손상
5	우측 꼬리날개 수평안정판 끝 패임
6	우측 주날개 하부 표면 긁힘
7	우측 주날개 뒷전, 플랩 하부 표면 긁힘

[표 1] HL7460 기체 외부 손상 내용



[그림 2] HL7460 기체 손상 부위

HL7460의 4번 엔진 내부의 손상 상태는 [그림 3]과 같으며 팬 블레이드, 가이드 베인, 저압압축기, 고압압축기, 팬 배출 가이드 베인 등이 파손되거나 이탈되었다.



[그림 3] 4번 엔진 내부 손상 상태

1.4 기타 손상

없음

1.5 인적 정보

1.5.1 기장

기장(61세, 남)은 1990년 6월 4일 대한항공에 입사하여 1996년 9월 24일 B747-400 기장으로 임명되었으며 유효한 운송용조종사 자격증명¹²⁾, B747-400 한정증명¹³⁾, 제1종 항공신체검사증명¹⁴⁾, 항공무선통신사자격증¹⁵⁾을 보유하고 있었다. 기장의 총비행시간은 17,144시간, B747-400 기장시간은 9,270시간, 최근 3개월 비행시간은 170시간, 최근 1개월 비행시간은 55시간이었다.

기장은 2015년 9월 11일 모의비행장치로 정기훈련¹⁶⁾을 받은 후, 9월 12일 실시한 기량심사와 2015년 9월 24일 노선비행심사에 합격하였다. 기장은 2015년 6월 15일 ‘눈더미 상황과 운항 시 주의 사항’¹⁷⁾에 대한 지상교육을 받았다.

준사고 전 72시간 행적으로서 1월22일, 23일, 24일은 비행이 없었다. 1월 25일은 부기장과 함께 김포/제주/김포, 그리고 김포/제주 구간¹⁸⁾을 비행하였다. 기장은 준사고 비행 전 24시간 이내에 음주나 허가되지 않은 약물은 복용하지 않았으며 비행 당시 건강은 양호하였다고 진술하였다.

12) 자격번호: 815 (1992. 1. 13. 취득)

13) 취득일: 2012. 8. 6.

14) 발급번호: 103-11155 (2016. 11. 30.까지 유효)

15) 자격번호: 89-34-0-0281 (1989. 8. 22. 교부)

16) 최대 측풍 허용치 30kt 착륙 훈련(비정밀접근/Gust 포함) 실시

17) 2015년 3월 B747-400F 화물기가 뉴욕공항(JFK) 착륙 후 화물터미널 진입 중 유도로 상의 눈더미에 근접하며 눈이 4번 엔진으로 유입되었음. 후속 비행편 (JFK/ICN)으로 뉴욕공항 이륙 후 4번 엔진 팬 블레이드 싱글링(Fan Blade Shingling) 현상으로 고진동이 발생되어 미국 앵커리지공항으로 회항하였음

18) KE1271 김포-제주(06:20 주기장 출발~ 07:31 주기장 도착), KE1210 제주-김포(09:02~10:20), KE1275 제주-김포(11:45~14:06)

1.5.2 부조종사

부조종사(45세, 남)는 2009년 7월 6일 대한항공에 입사하여 2014년 4월 20일 B747-400 부기장으로 임명되었으며, 유효한 사업용조종사 자격증명¹⁹⁾, B747-400 한 정증명²⁰⁾, 제1종 항공신체검사증명²¹⁾, 항공무선통신사자격증²²⁾을 보유하고 있었다. 총비행시간은 4,073시간, B747-400 기종은 830시간, 최근 3개월 비행시간은 178시간, 최근 1개월 비행시간은 48시간이었다.

부조종사는 2015년 7월 22일 정기보수교육을 받았고 7월 23일 모의비행장치로 정기훈련²³⁾을 받은 후, 7월 24일 실시한 기량심사에 합격하였고, 2015년 4월 13일 노선비행심사에 합격하였다. 부조종사는 2015년 7월 31일 '눈더미 상황과 운항 시 주의 사항'에 대한 교육²⁴⁾을 받았다.

준사고 전 72시간 행적으로서 1월 22일, 23일은 비행이 없었다. 1월 24일에는 인천/천진/인천 구간을 비행하였다. 1월 25일은 기장과 함께 국내선 김포/제주/김포, 그리고 김포/제주 구간을 비행하였다. 부조종사는 준사고 비행전 24시간 이내에 음주나 허가되지 않은 약물은 복용하지 않았으며 비행 당시 건강은 양호하였다고 진술하였다.

1.6 항공기 정보

1.6.1 항공기 일반정보

HL7460 일반정보는 [표 2]와 같다.

19) 자격번호: 12-007199 (2009. 9. 29. 취득)

20) 취득일: 2014. 1. 28.

21) 발급번호: 103-10952 (2016. 11. 30.까지 유효)

22) 자격번호: 09-34-1-0691(2009. 12. 17. 교부)

23) 최대 추풍 허용치 30kt 착륙 훈련(비정밀접근/Gust 포함) 실시

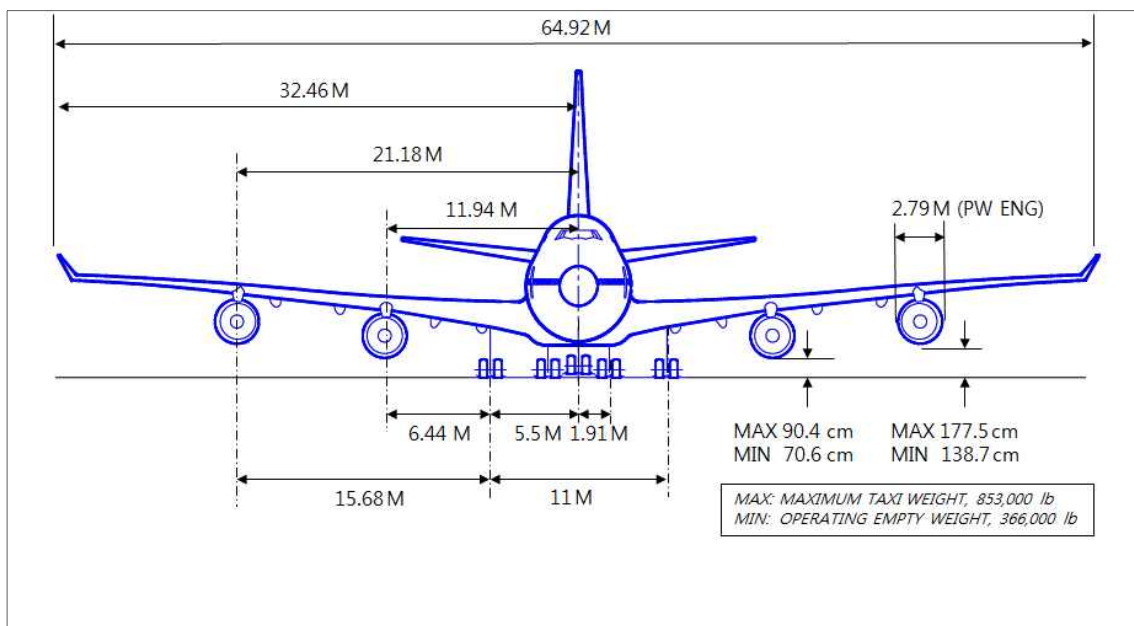
24) 2015년 3월 B747-400F 화물기가 뉴욕공항(JFK) 착륙 후 화물터미널 진입 중 No.4 엔진이 눈더미(Snowbank)에 근접하여 눈이 엔진으로 유입되었음. 후속 비행편 (JFK/ICN-ANC)으로 뉴욕공항(JFK) 이륙 후 No.4 엔진에서 고진동(High Vibration) 현상이 발생되어 미국 앵커리지공항으로 회항하였음. <원인>뉴욕 공항(JFK) 유도로 상의 눈이 4번 엔진에 유입되어 엔진 팬 블레이드 싱글링(Fan Blade Shingling) 현상 발생

형식	B747-400	제작일련번호	26404
제작사	Boeing	제작일	1997-02-26
표준감항증명서 번호	AB09047	표준감항증명 일자	2014-06-05
총 사용시간	79,504	착륙 횟수	12,043

[표 2] HL7460 일반정보

1.6.2 항공기 제원

HL7460의 제원 및 엔진의 위치는 아래 [그림 4]와 같다.



[그림 4] HL7460 제원 및 엔진의 위치

1.6.3 엔진정보

HL7460 엔진정보는 [표 3]와 같다.

PART NO	PW4056-3			
장착위치	#1	#2	#3	#4
일련번호	P727565CN	P717699CN	P717572CN	P724489CN
장착일자	2015. 8.12.	2012. 12. 10.	2013. 2. 4.	2013. 4. 1.

총시간/CYCLE	68,626/11,647	87,310/15,244	81,003/16,703	89,548/15,890
오버홀/사용시간(TSO/CSO)	10,603/2,306	10,640/2,965	10,331/2,735	10,016/2,488

[표 3] HL7460 엔진 정보

1.6.4 항공기 정비이력

HL7460은 2016년 1월 19일 KE657 (인천/방콕)편으로 인천공항에서 이륙하여 상승 중 4번 엔진 역추력계통에 “REV”가 황색²⁵⁾으로 깜빡거리며 지시되는 결함이 발생하였다. HL7460은 최소장비목록(MEL) 78-31-01A에 의거 4번 엔진 역추력장치를 부작동시키고 방콕을 출발하였다. 2016년 1월 21일 인천에 도착하여 [표 4]의 결함 수정 작업이 실시되었다. 결함 수정 작업 후에 준사고 이전 9편을 운항하는 동안 역추력장치는 정상 작동하였다.

구분	HL7460 결함 수정 내용
1	4번 엔진 우측 역추력장치 중앙잠금장치 프락시미티 교환
2	역추력장치 차단 밸브 부위에 유압유 누설 흔적이 있어서 차단 밸브 교환
3	4번 엔진 양 역추력장치 중앙잠금장치 프락시미티 목표 간격 점검
4	4번 엔진 양 역추력장치 중앙잠금장치 프락시미티 저항 점검

[표 4] HL7460 정비이력

1.6.5 중량 및 평형

HL7460의 중량 및 평형 정보는 [표 5], [표 6]과 같으며 이륙 및 착륙 시 무게 중심 위치는 허용범위 내에 있었다.

25) 역추력장치가 사용될 때 엔진계기 화면에 시현되는 계기지시로써, 초기 전환중일 때 황색의 ‘REV’가 시현되고 역추력장치가 완전히 전개되면 초록색으로 시현됨. 본 결함은 4번 엔진 역추력장치 중앙잠금장치 프락시미티 스위치(센서) 이상으로 발생하였음

단위: lbs

구분	중량	구분	중량
무연료중량	407,803	최대무연료중량	535,000
이륙연료	78,303	최대이륙중량	608,299
이륙중량	486,105	최대착륙중량	630,000
소모연료	29,302	편승승무원	1,322
착륙중량	456,803	화물중량	15,057

[표 5] HL7460의 중량

단위: C.G. % MAC

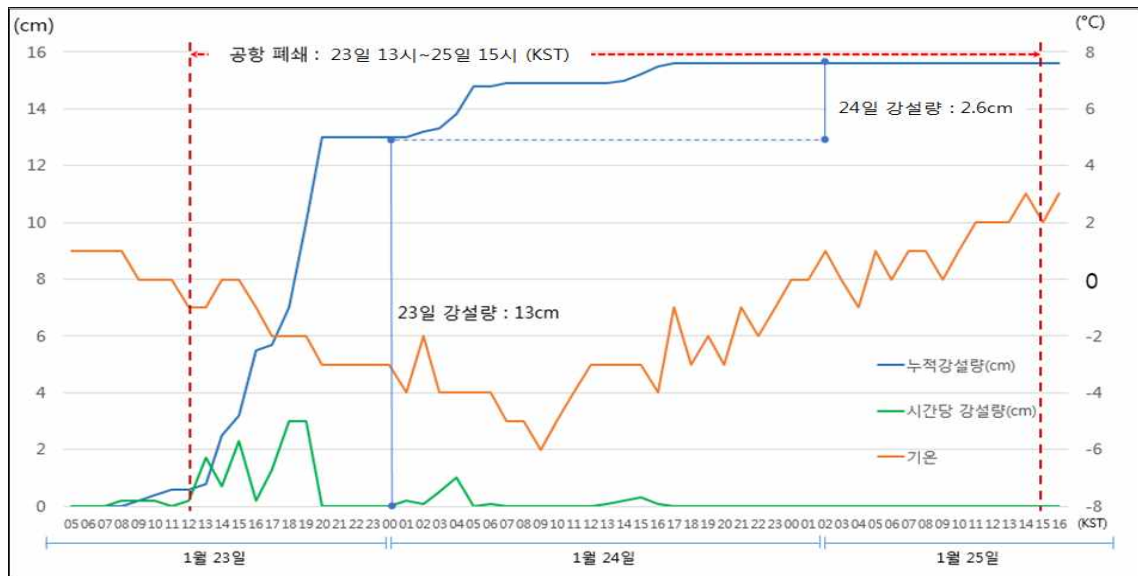
구 분	이륙중량 무게중심		착륙중량 무게중심	
	전방	후방	전방	후방
허용범위	10.1	32.1	15.2	32.1
실제 무게중심 위치	22.8		22.7	

[표 6] HL7460의 이륙 및 착륙 시 무게중심

1.7 기상정보

1.7.1 제주 강설상황 (1월 23일~1월 25일)

기상청 자료에 의하면 제주공항은 [그림 5]와 같이 1월 23일 07:00부터 눈이 내리기 시작하였으며 13:00부터는 강설이 급격히 증가하여 18:00경 시간당 3cm의 폭설이 내렸다. 1월 23~25일 총 강설량은 16cm이었으며 강설이 녹지 않아 적설량 11~12cm를 유지하였다. 당시 강한 한파가 동반되어 24일 평균 기온 섭씨 -3도, 최저 기온 -5.8도 및 최대 풍속이 초속 14.3m를 기록하였다.



[그림 5] 1월 23~25일 제주 공항 시간당 강설량/누적 강설량

제주공항은 1월 23일 17:50부터 25일 20:00까지 활주로가 폐쇄되었다는 항공고시보가 발행되었고, 제주 출발예정 승객 약 8만 여명이 제주에 체류²⁶⁾하게 되었다.

항공기상청은 1월 25일 12:00부로 제주지역의 돌풍경보 및 대설주의보를 해제하였다.

1.7.2 공항정보자동방송 기상

HL7460이 수신한 1월 25일 22:00 공항정보자동방송 기상은 활주로 25, 미끄럼수치 양호, 바람 300도에 14노트, 바람방향은 270도에서 330도까지 가변이었다. 시정은 10km 이상, 1,500피트에 약간의 구름, 3,000피트에 많은 구름, 온도 섭씨 4도, 윈드쉬어가 있었다.

1.7.3 HL7460의 착륙단계 바람

26) 폭설기간(1.23~1.26) 중 제주공항은 총 989편(국적항공사 858편, 외항사 131편)이 운항하여 승객 146,248명을 수송하였다.

HL7460이 착륙한 22:50경 제주공항에 강설은 없었다. RVR 측정 자료에 의하면 2분 평균 바람은 290도 방향에서 평균 14노트, 최대 17노트이었고 10분 평균 풍향은 290도, 풍속은 평균 12노트, 최대 17노트이었다. 이는 활주로 25로 착륙할 경우 2분 평균 바람은 9노트에서 11노트 정도의 우측풍, 10분 평균 바람의 경우 7노트에서 11노트 정도의 우측풍이다.

1.8 항행안전시설

HL7460이 제주공항 활주로 25로 착륙할 때 제주접근관제소 레이더 유도과 계기착륙시설을 이용하였으며 모두 정상 작동하였다.

1.9 통신

HL7460이 제주공항으로 착륙하기 위해 제주공항 국지관제사와 교신, 그리고 착륙 후에 제주공항 지상관제사와 교신할 동안 통신장애는 없었으며 주요 교신내용은 [표 7]과 같다.

시간	송신자	송신내용
22:43:48	HL7460	Jeju Tower KE1275 Good Evening established Localizer 14DME
22:43:53	관제사	KE1275 Jeju Tower Continue approach Runway25 Surface wind 290 at 12
22:44:00	HL7460	Roger continue approach Runway25 KE1275
22:47:39	관제사	KE1275 Wind 300 at 10 runway25 cleared to land
22:47:43	HL7460	Cleared to land runway25 KE1275
22:51:26	HL7460	Ground KE1275
22:51:31	관제사	KE1275 Taxi via papa hold short of Golf 3
22:51:35	HL7460	Taxi via papa hold short of Golf 3
22:54:10	관제사	KE1275 Continue taxi via Golf 3
22:54:13	HL7460	Continue taxi via Golf 3 KE1275
22:55:52	관제사	KE1275 Taxi 문제 있으신가요?
22:55:55	HL7460	네 잠깐만요 1minute. OK continue taxi
22:56:00	관제사	Roger continue taxi Gate 1
22:57:26	HL7460	Ground KE1275

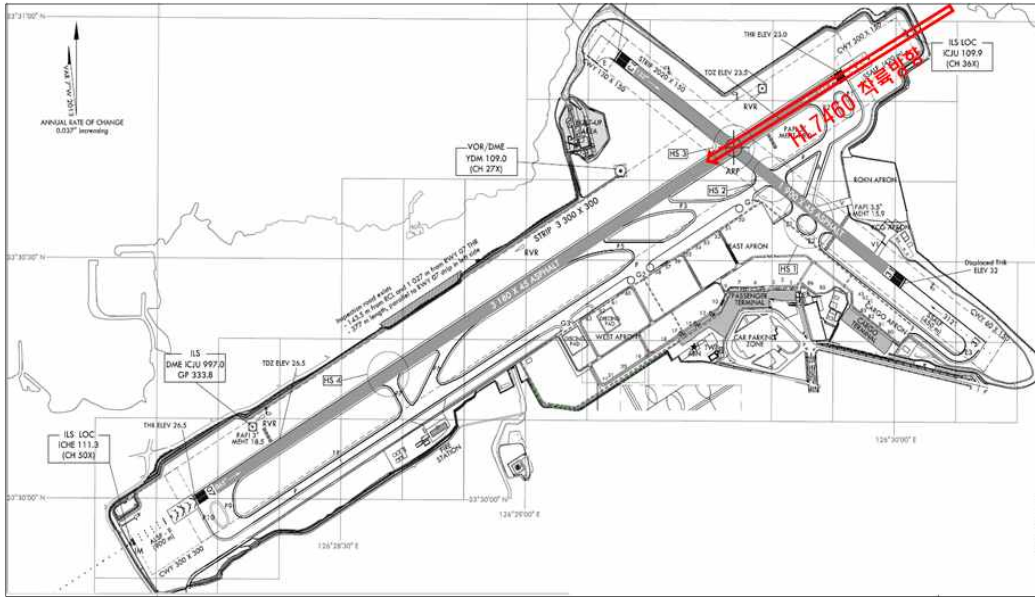
22:57:29	지상관제	KE1275 Go ahead
22:57:30	HL7460	아 우리 저 엔진에 약간의 Problem이 있어 가지고 Gat1 1에 대면은 아마 문제가 될 거 같아요. 그래서 우리가 Gate20, Spot20에 지금 항공기를 대면은 어떨까 싶어서요
22:57:42	지상관제	아 지금 무슨 문제가 있으시다구요?
22:57:44	HL7460	Number 4 engine에 problem이 있어서요 그래서 바로 dispatch가 안되고 점검이 필요합니다.
22:57:44	지상관제	네 알겠습니다. Spot check 할게요. Now hold your present position
22:57:54	HL7460	네 Hold for present position
22:57:57	지상관제	Roger
23:04:02	타항공기	Ground MU206S yes I want to tell you KE747 Ground existed I have observed No4 engine poorly damaged
23:04:26	HL7460	KE1275 Marshall 있어서 gate로 들어갑니다. Gate 20
23:04:31	지상관제	네 후방 항공기가 No4 engine damaged 된 것 같다고 하는데 정비쪽 부서에 연락드렸습니다.
23:04:37	HL7460	네 감사합니다. No 20으로 docking하겠습니다.

[표 7] HL7460과 관제탑과의 주요교신 내용

1.10 비행장 정보

1.10.1 비행장 일반정보

제주공항 활주로는 [그림 6]과 같으며, HL7460이 착륙한 활주로 25의 제원은 길이 3,180미터, 폭 45미터로 아스팔트로 포장되어 있다. 활주로 25 시단으로부터 550미터 지점에 교차되는 활주로13/31이 길이 1,900미터, 폭이 45미터의 아스팔트 활주로는 있다. 또한 활주로 25 시단으로부터 약 1,930미터 지점에 길이 342미터, 폭이 30미터의 고속개방유도로 P6이 있다.



[그림 6] 제주공항 활주로 배치도

1.10.2 활주로 제설 상태

1.10.2.1 눈더미 최대 허용높이 기준

공항안전운영기준[국토교통부고시 제2013-830호, 2013.12.26.] 제102조(눈더미의 최대 허용높이 기준)에서 공항운영자는 해당 공항에 취항하는 최대 기종을 기준으로 항공기 운항에 지장을 초래하지 않도록 활주로, 유도로 및 계류장 인접지역의 눈더미(Snowbank)를 제거하여야 하며, 그 기준²⁷⁾은 [그림 7]과 같다.

포장면상태 관리업무 매뉴얼²⁸⁾ [국토교통부예규 제101호, 2015.5.21.] 7.3.7에서 눈더미의 허용높이에 대하여 [그림 7]과 동일한 기준을 제시하며

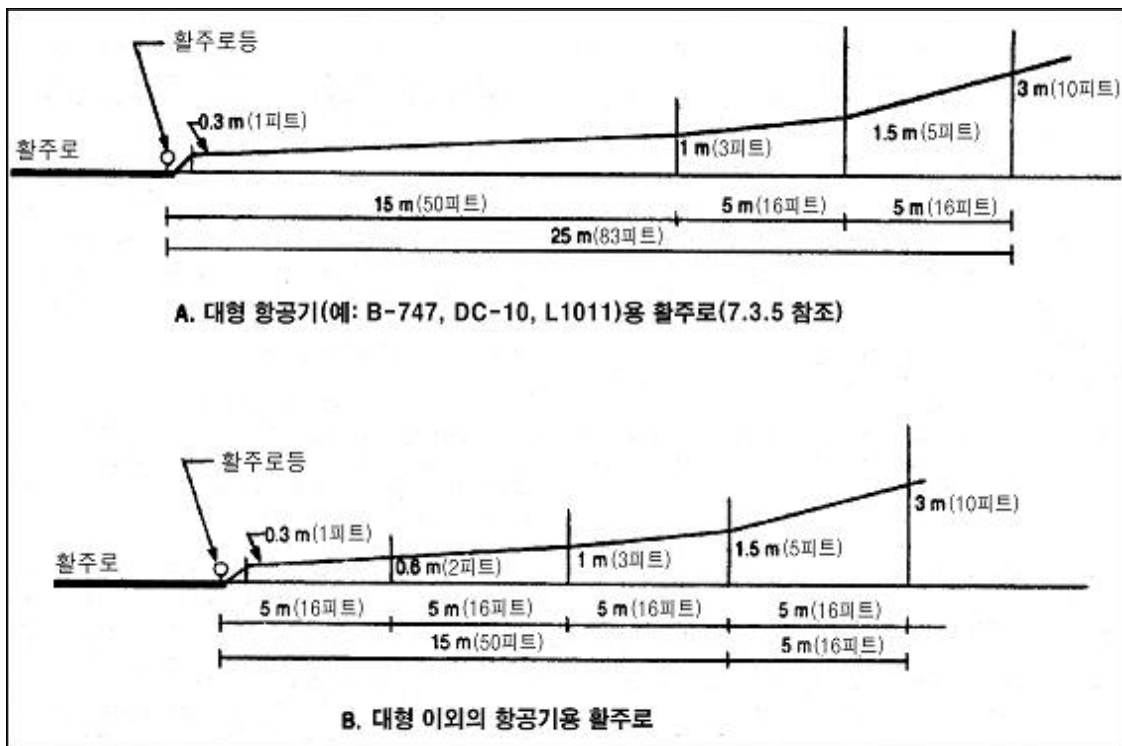
- 1) 활주로, 유도로 또는 계류장 인접구역에 있는 눈더미는 그 높이를 가능한 낮추어 얼음이 터빈 엔진에 들어가서 발생하는 운항상의 문제를 방지하고, 눈더미가 항공기 날개에 걸리는 일이 없도록 한다.
- 2) 길어깨 등 제설장비를 사용할 수 있는 구역에서는 눈을 지표면까지 완전히

27) 국제민간항공기구(ICAO) Doc 9137 Airport Services Manual의 Part 2 - Pavement Surface Conditions. 7.3 Permissible snowbank height_Maximum height of snow profile 기준 적용

28) 국제민간항공기구(ICAO) Doc 9137 Airport Services Manual의 Part 2 - Pavement Surface Conditions를 참조하여 작성

치우는 것을 목적으로 해야 한다. 특히, 보잉 747 기종을 위한 활주로에서는 가능하면 활주로 및 길어깨의 너비를 합해 최소 60미터는 확보해야 한다고 정하고 있다.

제주지역본부는 제주공항 공항제설계획(20151122)에서 활주로나 유도로에서의 눈더미 최대허용높이 기준은 제주공항에 취항하는 최대 항공기를 기준(활주로별)으로, 눈더미를 처리하며 활주로07/25는 [그림 7]에서 눈더미 최대허용높이 기준 A를 적용한다고 정하고 있다.



[그림 7] 눈더미 최대허용높이 기준

1.10.2.2 활주로제설 상태- 눈더미 최대허용높이 기준 초과

위원회 조사관이 1월 26일 04:00경 현장조사 시에 [그림 8]과 같이 제주공항 활주로25 시단에서 약 1,920피트 거리이며 활주로25의 우측 활주로 옆선표지와 활주로31의 좌측 옆선표지가 교차되는 지역에 약 1.5미터 높이의 눈더미가 있었다.

이 눈더미는 활주로25 중심선에서 우측으로 20.3미터에서 시작되어 넓게 이어져 있었으며 활주로25 중심선에서 우측으로 23.4미터에 HL7460의 엔진 하단 중앙부위가 통과하며 깎여 나간 형태가 있었고 그 높이는 약 0.9미터였다.



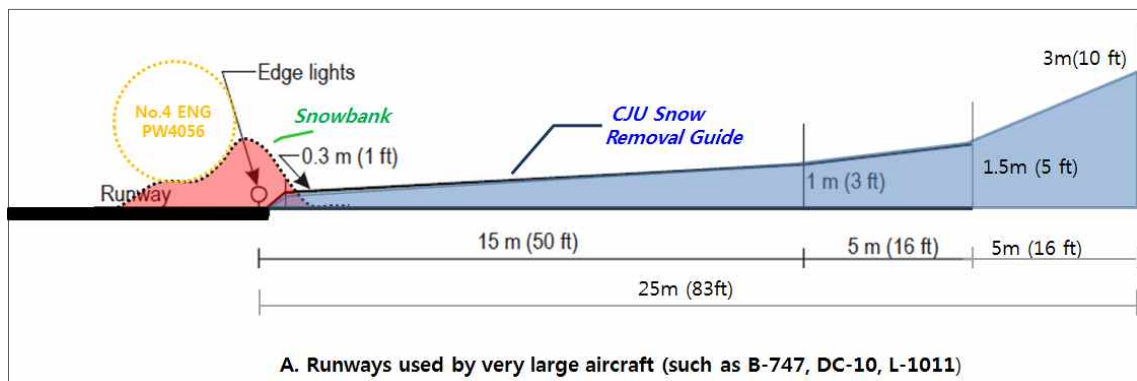
[그림 8] 4번 엔진이 충돌한 활주로 교차지역의 눈더미

제주공항 공항운영규정과 ICAO 규정²⁹⁾에 명시된 눈더미 최대허용높이 기준³⁰⁾에 의하면 [그림 9]에서 활주로등 바깥쪽으로 회색부분의 높이 까지만 눈더미가 허용되었다. HL7460이 충돌한 눈더미의 위치는 활주로25 옆선과 활주로등 사이의 지역으로 여기에는 눈더미가 있어서는 안 되는 곳이었다.

29) 국제민간항공기구(ICAO) Doc 9137 Airport Services Manual의 Part 2 - Pavement Surface Conditions

30) 제주공항의 07-25 활주로는 폭이 45미터이며 B-747, DC-10, L-1011 등 대형항공기의 경우 활주로 중심선에서 30미터까지는 눈더미가 제거되어야 한다.

[그림 9]에서 붉은색 부분은 활주로07/25와 활주로13/31의 활주로의 교차 지역에 쌓였던 눈더미 형태이며 회색부분은 허용되는 눈더미의 높이를 나타낸다. 회색 부분을 제외한 지역에는 눈더미가 없어야 한다. 따라서 붉은색의 눈더미에서 회색 부분을 벗어난 붉은색 부분은 제주공항 제설규정의 눈더미 최대 허용높이 기준을 초과한 것으로 제설작업결과가 불량하였음을 나타낸다.



[그림 9] 활주로 제설작업결과- 눈더미 최대 허용높이 기준 초과

[그림 10]은 HL7460의 4번 엔진이 충돌한 직후 활주로07/25와 활주로13/31의 교차지역에 쌓인 눈더미를 촬영한 모습이다.



[그림 10] HL7460이 충돌한 활주로 교차지역의 눈더미

[그림 11]은 활주로25 옆선과 활주로등 부근의 지역을 촬영한 모습이다. 활주로07/25의 제설상태는 활주로등 바깥의 비상도로는 눈이 제거된 상태였으나 활주로 옆선표지 내측 약 10cm 부터 활주로 바깥쪽으로 폭 120~130cm, 높이 약 20~40cm의 눈더미가 활주로 옆선과 평행하게 활주로 전반에 걸쳐 쌓여 있었다. 이 또한 눈더미의 최대 허용높이 기준을 초과한 것으로 제설작업결과가 불량하였다.



[그림 11] 활주로25 옆선 부근 제설상태

1.11 비행기록장치

1.11.1 비행자료기록장치

위원회는 HL7460의 비행자료기록장치(FDR)³¹⁾에 저장된 자료 중에, 김포 공항 이륙활주부터 제주공항에 착륙 후 엔진정지까지 약 1시간 42분간의 비행관련 파라미터를 추출하여 조사하였다.

본 보고서에 사용된 데이터의 수치 값의 부호는 항공기가 상승, 우선회가 되는 방향이 양의 값(CRT = +)이 되도록 변환했다. 조사한 비행구간에서 준 사고발생의 중요 사실인 NO.4 엔진파손과 관련이 있어 보이는 부분으로 착륙 직후인 22:50:19경에 엔진의 N1 및 N2값의 변화가 관측되었으며 이를 사

31)제작사/ 모델: Honeywell사/ Solid-state SSFDR (P/N 980-4700-042, S/N 2696)

건발생 시점으로 삼았다.

- HL7460은 21:09:59경 김포공항 활주로를 이륙하였다.
- 22:43:36경 제주공항으로부터 약 15마일에서 로칼라이저 경로(localizer³²)에 진입되었다.
- 13:44:57경 강하경로에 진입(GS capture)되었다.
- 22:45:13경, 고도 약 3,680피트에서 착륙바퀴가 내려졌고 이 때 풍향은 286도, 풍속은 22노트였다.
- 22:49:06경 고도 838피트에서 자동조종장치가 해제되었다.
- 22:50:09경 전파고도 52피트에서 접지까지 경사각은 -1.8~4.2도, 로칼라이저 경로의 벗어남은 0.025~0.071dot³³)이었다.
- 착륙 6초전인 22:50:12경 전파고도는 37피트이고 경사각이 -1.1도에서 1.9도로 변화하였으며, 이 때 조종대(control column position) 값은 0.4→3.2→6.3도로 변화였고, 조종핸들(control wheel position) 값은 1.4→9.5→11.2도로 변화가 있었다. 풍향은 289도 이었으나 풍속은 17~19에서 11노트로 약해졌다.
- 22:50:09경 전파고도 52피트, 바람은 284도 19노트, 22:50:13경 전파고도 14피트에서 바람은 289도 11노트, 접지단계 13:50:17경 전파고도 0피트에서 바람은 225도 5노트로 기록되었다.

32) localizer: 계기비행시 접근하는 활주로의 중앙선을 연장한 선상으로 비행하도록 최종경로(localizer course)로부터 상대위치를 알려주는 방위각시설임. 항공기가 최종경로를 비행하면 계기표식은 중앙에 위치하고, 항공기가 최종경로의 좌측으로 비행하면 계기표식은 우측에 위치하여 우측으로 비행하여야 최종경로에 진입할 수 있음을 나타냄

33) 공항의 localizer 시설에서 항공기의 localizer 안테나(현재위치)를 연결한 경로가 최종경로(localizer course)로부터 벗어난 상대각도, 즉 최종경로에서 현재위치가 수평으로 벗어난 정도를 나타내며 HL7460의 경우 항공기의 localizer 수신안테나는 항공기 기수부분의 레이돔 부근에 위치하며 localizer 1dot는 1°의 벗어남을 나타냄. +0.03dot의 경우, 활주로 중앙선에서 항공기의 벗어난 거리=공항의localizer 시설까지의 거리 X tan0.030.03=(300+3,180-585) X tan0.03=1.52m, 즉 항공기 기수부분은 활주로 중앙선에서 1.52m 좌측에 위치함을 의미한다.

- 22:50:17~22:50:18경 접지단계에서 경사각은 3.2~2.1도, 기수자세는 3.3~3.2도 로컬라이저 경로의 벗어남은 0.035~0.04dot이었다.
- 착륙 1초전인 22:50:17경에 풍향이 289→225도로 변화가 있었고 이후 257→249도로 변화였다. 풍속은 8노트로 변화가 없었다.
- 22:50:18경 수정속도 128노트, 지상속도 119노트에서 공중/지상 모드 값이 공중(AIR)에서 지상(GND)으로 바뀌어 착륙 접지를 나타내었다. 진행방향 가속도 값은 -0.071G, 수직가속도 값은 1.239G이었다. 이때 풍향은 225도, 풍속은 8노트 조종간위치 값은 44.6도이었고, 4번 엔진의 N1과 N2값은 각각 36과 71.5(%rpm)이었다.
- 접지 후 5초간 경사각은 2.1~3.9도, 기수자세는 3.3~-0.2도, 로컬라이저 경로의 벗어남은 0.005~0.04dot였다. 접지후 22:50:20에 최대 우경사 3.9도, 로컬라이저 경로의 벗어남은 0.015dot가 되었다.
- 22:50:18경~22:50:19경³⁴⁾ 기수자세는 3.2~2.2도 경사각은 2.1~2.6도이며 로컬라이저 경로의 벗어남은 0.04~0.02dot 였다.
- 접지 후 약 2초가 지난 22:50:20에 4번 엔진 N1은 35→21, N2 70.6→52, 22:50:22에는 4번 엔진 오일 저압력(oil low pressure)이 기록되었고, 22:50:39에 4번 엔진 N2 '0'가 기록되었다. 이는 엔진 손상으로 인한 값의 변화로 보인다.
- 접지 후 약 2초가 지난 22:50:21에 '역추력장치 전환 중(TR in transit)'이 1초 동안에 OFF→ON→OFF로 변화가 있었으나, 4번 엔진만은 OFF로 회복되지 못하고 ON상태가 계속 이어졌다. 이 값은 HL7460이 정지할 때까지 유지되었다.
- 22:50:21경 4개 엔진 모두 '역추력장치 전환중'이 시작되었고 22:50:22에 3개 엔진은 역추력장치 '전개(DEPLOY)'가 기록되었으나 4번 엔진만 전개되지 않음(NOT)과 '전환 중(intransit)' 기록이 지속되었다. 22:50:54 경에 4개 엔진 모두 전개되지 않음(NOT)이 기록되었다.

34) HL7460은 22:50:18.4경 1,920피트(585미터)지점에서 지상장애물과 충돌하였다.

1.11.2 조종실음성기록장치

HL7460의 조종실음성기록장치³⁵⁾는 IC메모리를 자료저장매체로 사용하는 Solid-state 타입이다. 저장된 2시간의 음성기록에는 김포공항을 이륙하여 약 20분이 지난 시점부터 제주공항에 착륙하여 정지까지 사고비행 구간이 포함되어 있었으며 착륙 후 장애물과 충돌은 녹음 시작부분으로부터 약 1시간 20분 45초가 지난시점이다. 위원회는 전체 녹음구간을 청취한 후 사고비행 구간에 대하여 녹취록을 작성하였다.

1.12 잔해와 충격정보

제주공항의 ASDE³⁶⁾ 영상에는 [그림 12]와 같이 HL7460이 교차지역의 눈더미를 통과한 직후 4번 엔진부분에서 잔해가 날리는 장면이 녹화되었다.

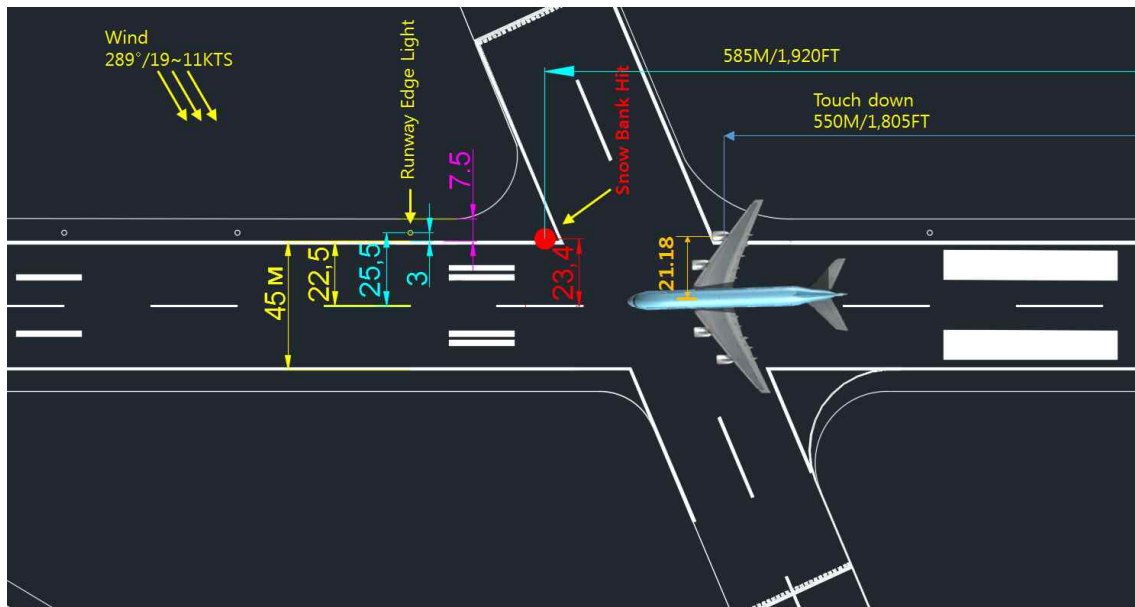


[그림 12] ASDE 영상에 포착된 잔해날림 장면

HL7460의 4번 엔진이 활주로25에 접지 후 눈더미에 충돌한 상황과 활주로 옆선표지 및 활주로등의 위치는 [그림 13]과 같다.

35) 조종실음성기록장치(CVR): 제작사/모델: L-3COM사/ Solid-state S200(P/N S200-0012-00, S/N 000178926)

36) 공항지역 지상감시장비(ASDE: Airport Surface Detection Equipment): 비행장의 활주로나 유도로, 비행장내의 지표면에서 정지 또는 이동하고 있는 모든 항공기나 차량 등의 형태, 위치 및 이동상황을 탐지하여 비행장내의 모든 지상 이동물체를 관제하기 위해 사용되는 지상 레이더 장비.



[그림 13] 활주로제원 및 HL7460 눈더미 충돌상황

대부분의 엔진잔해는 활주로 교차지역의 눈더미를 지난 후부터 주로 발견되었고 일부 잔해는 활주로25 좌측 지역에서도 발견되었다. 수거된 잔해는 [그림 14]와 같다.



[그림 14] 활주로에서 수거된 HL7460의 잔해

1.13 의학 및 병리학적 정보

해당사항 없음

1.14 화재

해당사항 없음

1.15 생존분야

해당사항 없음

1.16 시험 및 연구

해당사항 없음

1.17 조직 및 관리정보

공항안전운영기준³⁷⁾[국토교통부고시 제2013-830호, 2013.12.26.] 제101조에 공항운영자는 매년 동절기(12월~다음해 2월) 시작 최소 1개월 전에 제설계획을 수립하여야 한다고 정하고 있다.

한국공항공사 제주지역본부는 제설계획이 포함된 제주공항 공항운영규정³⁸⁾을 2003년 11월 24일 제정하여 2015년 2월 26일 37차 개정을 하였고 이에 따라 제설작업을 수행하고 있다.

1.17.1 제설대책본부의 구성 및 임무

제설대책본부는 제설작업을 총 지휘하는 본부장(제주지역 본부장)과 본부장을 보좌하고 본부장의 명을 받아 제설작업을 지휘하고 감독하는 통제단장(시설단장), 그 하위에 상황반, 관리지역 통제실장(운영단장), 이동지역 통제

37) 공항의 안전운영체계를 위하여 필요한 인력·시설·장비 및 운영절차 등에 관한 기술기준을 정함을 목적으로 한다.

38) 제주공항 제설계획은 공항운영규정의 일부로서 제주공항 내 상주기관 등에 배포되어 활용됨. 공항운영규정은 국토교통부(공항안전환경과)로부터 인가를 득하여 시행하며 매년 공항운영증명 검사 시 수검을 받는 문서임

실장(토목팀장)으로 구성된다.

1.17.2 제설 위기경보 단계별 조치

동절기 제주공항 내 이동지역과 관리지역은 [표 8]과 같이 위기경보 단계에 따라 관심(예보), 1단계(주의), 2단계(경계) 및 3단계(심각)로 구분하며 제주공항 제설계획에 따라 제설활동을 실시한다.

1.17.3 제주공항 제설관리

1.17.3.1 제주공항의 제설 장비

포장면상태 관리업무 매뉴얼(국토교통부 예규 제101호/2015.5.21) 7.8.4 제설 목록의 확보에서 연간 40,000회 이상의 정기 운항편이 있으며, 30분 내에 2.5cm의 눈을 치워야 하는 공항에서는 밀도가 400kg/m³인 눈을 최소한 30m를 날려버리기에 충분한 능력을 가진 하나 이상의 고속 제설차를 최소 권장장비에 포함시켜야 한다고 기술하고 있다.

또한 동 매뉴얼 7.8에서 공항운영자는 경제성, 시설규모, 예비부품 및 수리 시설, 날씨 등의 요소를 고려하여 제설·제빙장비를 선택할 수 있게 하였다. 이는 일년 중에 아주 짧은 기간 동안 가끔씩만 필요하게 될 고가의 대형 제설장비를 구입하는 것은 경제적으로 합리적이지 못한 점을 기술하여 공항운영자가 강설량 및 경제성을 고려하여 제설장비를 선정할 수 있도록 하였다.

한국공항공사는 공항별로 요구되는 제설작업 능력을 충족하기 위하여 [표 8]과 같이 필요한 제설장비를 공항제설계획에 명시하여 운용하고 있다.

제주지역본부는 제설계획에서 주력제설장비로 일체식제설차 4대, 덤프트럭 1대, 청소차 1대, 제설삽날 1대, 제설제살포기 1대, 요소살포기 1대를 설정하였다.

제주지역본부는 설정한 주력제설장비로 제주공항의 2.5cm 적설 시 제설능력은 23.7분³⁹⁾으로 산출하였다.

제주공항의 제설작업능력 산출기준은 1순위 제설작업구역 면적이 294,639 m²⁴⁰⁾이며, 제설작업능력 산출기준⁴¹⁾에 따라 제주공항 제설작업량은 눈의 부피 (294,639m²×0.025m=7,366m³), 중량(7,366m³×400kg/m³=2,946,390kg), 장비 효율 (2,946,390kg/0.7=4,209,128kg≒4,209t)을 근거로 하였다.

한국공항공사는 당시 양양공항, 김포공항에는 [표 8]과 같이 고속송풍기를 보유하고 있으나 제주공항에는 고속송풍기 제설장비를 보유하고 있지 않았다.

39) 일체식 제설차량: 2,250t/h×4대=9,000t/h, 제설삽날(덤프): 1,200t/h×1대=1,200t/h, 제설 스워퍼: 450t/h×1대=450t/h, 소계: 9,000t/h+1,200t/h+450t/h=10,650t/h, 제설장비의 제설능력: 4,209t÷10,650t/h =0.395h≒23.7분

40) 제1순위 제설작업구역= 주활주로(07-25: 3,180m×45m=143,100m²)+연결유도로(124,539m²)+계류장 유도선(27,000m²)=제설작업구역 면적(294,639m²)

41) 시간간격=1/2시간(연간 40,000회 이상의 정기운항편이 있는 공항), 온도=-4℃, 풍속=0km/h, 눈의 밀도=400kg/m³, 눈 청소기 효율=0.7(통상적인 기계효율을 근거로 함), 눈의 두께=2.5cm 등

구 분	제설장비 보유현황					필수장비- 공항 운 영 규 정 「제 설 계 획」상 제설작업능 력에 포함되는 장비
	일체식 제설차	고속 송풍기	다목적 제설차	덤프 등 (제설삽 날)	제설제 살포기	
김포	○	○	○	○	○	일체식제설차, 덤프(삽날), 제설제살포기
김해	○	×	○	○	○	일체식제설차, 덤프(삽날), 다목적(삽날), 제설제살포기
제주	○	×	×	○	○	일체식제설차, 덤프(삽날), 제설제살포기
대구	×	×	○	×	○	다목적(삽날), 제설제살포기
울산	○	×	×	○	○	일체식제설차, 덤프(삽날), 제설제살포기
청주	○	×	○	×	○	일체식제설차, 제설제살포기
양양	○	○	○	○	○	일체식제설차, 청소차(삽날), 제설제살포기
무안	○	×	○	○	○	일 체 식 제 설 차, 덤프 (삽 날), 유니 목 (삽날), 제 설 제 살포기
광주	×	×	×	○	○	덤프(삽날), 트랙터(삽날), 제설제살포기
여수	○	×	×	○	○	일체식제설차, 덤프(삽날), 제설제살포기
사천	×	×	×	○	○	청소차(삽날), 제설제살포기
포항	×	×	○	○	○	다목적(삽날), 트랙터(삽날), 제설제살포기
군산	×	×	○	×	○	다목적제설차, 제설제살포기
원주	×	×	×	○	○	덤프(삽날), 제설제살포기

[표 8] 한국공항공사 보유 제설장비

1.17.3.2 제주공항 활주로 제설작업 방식

제주지역본부는 일체식 제설차 4대와 스위퍼(청소차) 1대, 제설삽날(덤프 트럭) 1대를 투입하여 [그림 15]와 같이 활주로 중심에서 제설차량이 우측으로 먼저

밀어내고 다음 제설차량이 다시 우측으로 밀어내는 방식으로 제설작업을 하였다.



[그림 15] 제주공항 제설작업 형태

1.17.4 제설작업내용

1.17.4.1 활주로 폐쇄 및 활주로 개방 항공고시보

제주공항에는 1.23일 07:00경부터 강설이 시작되어 16:30경 누적적설량이 5.5cm가 되었고 1.24일 02:00경 누적적설량은 13cm, 1.25일 00:50경 누적적설량은 15.7cm가 되었다. 제주공항은 1월 23일 17:50 활주로07/25가 폐쇄되어 1월 25일 14:28 활주로13/31 개방까지 제주지방항공청이 발행한 항공고시보는 [표 9]와 같다.

발행 일시	번호	기간	내용	사유
1.23. 17:55	C0227	1.23. 17:50~1.24. 06:00	활주로07/25 폐쇄	눈
1.24. 05:27	C0230	1.24. 05:17~12:00	활주로07/25 및 활주로13/31 폐쇄	눈
1.24. 10:19	C0235	1.24. 10:12~1.25. 09:00	활주로07/25 및 활주로13/31 폐쇄연장	눈
1.24. 21:54	C0236	1.24. 21:49~1.25. 20:00	활주로07/25 및 활주로13/31 폐쇄연장	눈
1.25. 12:28	C0239	1.25. 12:24~1.25. 20:00	활주로13/31 폐쇄유지	눈
		1.25. 12:24~	활주로07/25 개방	
1.25. 14:31	C0241	1.25. 14:28~	활주로13/31 개방	

[표 9] 활주로 폐쇄 및 개방관련 항공고시보(1월 23일~1월 25일)

1.17.4.2 1월 25일 제설작업관련 경과

제주지역본부는 1.23일 13:32경 최초 제설작업을 시작하여 1.25일 14:28경 활주로13/31의 개방까지 총 16회의 제설작업을 하였고 활주로 미끄럼측정은 활주로07/25 총 6회, 활주로13/31 총 1회를 하였다.

제주지역본부는 1월 24일 23:37부터 1월 25일 00:51까지 제13차례의 제설작업을 하였고 1월 25일 04:00부터 05:26까지 일체식 제설차 4대를 투입하여 활주로07/25, 유도로, 계류장에 대한 제14차 제설작업을 하였다. 당일 기온이 낮아 활주로07/25 결빙방지를 위한 제설제를 살포하였고 활주로07/25 제설작업은 05:26경 완료되었다. 05:54부터 06:01까지 활주로07/25의 미끄럼측정을 하였다.

제주지역본부는 06:02부터 일체식 제설차 4대를 투입하여 14:45까지 계획된 유도로, 항공기 주기장에 대한 제15차 제설작업을 시작하였다. 11:03부터 11:07까지 활주로07/25의 미끄럼측정을 하였다.

제주지역본부는 11:00경 제주관제탑으로부터 활주로13/31에 대한 제설요청을

받고 제설계획을 변경하여 11:15부터 13:50까지 일체식 제설차 1대를 투입하여 활주로13/31에 대한 제16차 제설작업을 시작하였다.

제주지방항공청은 12:28경 12:24부터 활주로07/25를 개방하는 수정 항공고시보를 발행하였다. 동 항공고시보에서 활주로13/31은 12:24~20:00까지 폐쇄유지를 통보하였다. 제주지역본부는 12:41부터 12:45까지 활주로07/25의 미끄럼측정을 하였다.

제설작업팀은 활주로13/31 제설작업 중 13:00경 항무통제실로부터 항공기 운항이 20:00에서 15:00로 앞당겨 재개된다는 연락을 받고서야 활주로를 조기개방이 됨을 인지하였다고 하였다.

13:30경 제주관제탑으로부터 활주로13/31의 미끄럼측정을 위하여 철수지시를 받은 제주지역본부는 13:50경 보조활주로 제설작업을 완료하고 철수하였다. 제주지역본부는 13:57부터 14:00까지 활주로13/31의 미끄럼측정을 하였다.

제주지역본부는 13:30부터 16:00까지 굴삭기 1대와 덤프 1대를 투입하여 계류장지역 눈더미 등 잔설제거작업을 하였다.

제주지방항공청은 14:31경 14:28부터 활주로13/31이 개방되었다는 항공고시보를 발행하였다. 제주공항에는 14:47경 ZE236편(제주->김포)부터 항공기운항이 재개되었다. 16:00경 제주지역본부의 제설상황반 근무가 종료되었다. 이때까지 총 누적적설량은 16.1cm이었다.

1.17.5 설빙고시보 및 활주로 미끄럼측정

1.17.5.1 설빙고시보

제주공항 운영규정(제주국제공항 공항증명번호 제12호/2013.11.22) 4.1.3.8에 의하면 항무팀장은 이동지역내의 눈, 진창, 얼음 및 서리 또는 이와 결합된 물

에 대한 사항에 대하여 설빙고시보⁴²⁾ 발행을 위한 미끄럼측정결과 등 관련 자료를 제주지방항공청 항공정보실에 제공하여야 한다.

설빙고시보는 이동지역 내에 중대한 변화가 있을 경우나 24시간 이상 지속될 경우 추가발행을 위한 정보를 제공하여야 한다고 정하고 있다. 제주지방항공청이 1월 23일부터 1월 25일까지 발행한 주요 설빙고시보는 [표 10]과 같다.

발행일시	위 치	오염정도(%)
1월 23일 13:40	활주로07/25	100
1월 23일 14:10	활주로07/25	50
1월 25일 12:45	활주로07/25	0 ⁴³⁾
	유도로	10
	주기장	25
1월 25일 14:00	활주로13/31	0
1월 25일 20:03	활주로07/25	0
	유도로	10
	주기장	50

[표 10] 설빙고시보(1월 23일~1월 25일)

1.17.5.2 활주로 미끄럼측정

제주지역본부 항무통제팀은 제설작업 중에 활주로07/25에 6회, 활주로13/31에 1회의 활주로 미끄럼측정을 실시하였다. 1월 25일은 활주로07/25에 대하여 3회, 활주로13/31에 대하여 1회의 미끄럼측정을 실시한 후 결과를 제주관제탑, 항공정보실 및 제설대책본부 상황반에 보고⁴⁴⁾하였다.

제주지역본부 항무통제실은 1월 25일 11:03~11:07과 12:41~12:45에 표면마찰시험기⁴⁵⁾로 활주로07/25의 미끄럼을 측정한 결과는 [표 11]과 같으며 마찰계수

42) 설빙고시보(SNOWTAM)): 이동지역 내의 눈, 진창눈, 얼음, 서리, 고여 있는 물 또는 이들과 연관된 물에 대한 위험상태의 존재 또는 제거에 관한 사항을 담은 지표면 상태를 보고하는 표준양식에 제공된 일련의 특별한 항공고시보를 말한다.

43) 오염정도도 0%라는 것은 활주로07/25에 오염이 발견되지 않았으므로 항공기 운항에 장애가 없음을 나타낸다.

44) 「제주국제공항 제설계획」 2.8.4와 2.8.5에 근거하여 제공

평균은 0.91과 0.90으로 이는 [표 12]에서 0.40이상의 제동상태 양호에 해당하므로 활주로07/25에 항공기 이착륙이 가능한 상태였다.

또한 활주로13/31에 대하여 1월 25일 13:57~14:00에 측정한 미끄럼측정 결과는 평균 0.9로 양호하였다.

구분	측정일/시각	A지역	B지역	C지역	평균
07	1.25/11:03	0.89	0.92	0.90	0.90
25	1.25/11:07	0.89	0.96	0.95	0.93
평균		0.89	0.91	0.91	0.91
07	1.25/12:41	0.90	0.89	0.93	0.91
25	1.25/12:45	0.88	0.94	0.90	0.90
평균		0.89	0.91	0.91	0.90

[표 11] 측정된 활주로 노면 마찰 계수 값

측정계수	추정 제동상태	코드
0.40 이상	Good(양호)	5
0.39~0.36	Medium~Good(보통~양호)	4
0.35~0.30	Medium(보통)	3
0.29~0.26	Medium~Poor(보통~부족)	2
0.25 이하	Poor(부족)	1

[표 12] 활주로의 기본 마찰계수 값

제주지역본부는 활주로07/25에 대하여 12:41~12:45에 실시한 활주로 미끄럼측정에 결과를 [그림 16]과 같이 '미끄럼측정 결과 및 전파'와 '미끄럼 측정결과서'를 작성하였다.

제주지역본부가 작성한 '미끄럼측정 결과 및 전파'와 '미끄럼 측정결과서'에 의하면 활주로07/25의 미끄럼측정 결과는 항공기 운항에 어려움이 없는 상태이며, SNOW BANK는 없는 것으로 기록되어 있다. 또한 제설작업 실시여부에 대하여 '완료'로 기록하였다.

45) 표면마찰시험기(SFH: Surface Friction Tester high-pressure tire)는 트렁크 내에 마찰계수를 측정하기 위한 별도의 바퀴(제 5의 바퀴)가 붙어있는 전륜구동형 차량이다.

미끄럼측정 결과 및 전파

결재	담당	차장	팀장

1. 측정일시 2016.01.25 <12:41 / 12:44>

2. 측정자 :

3. 측정사유 : 눈(강설) 요청에 의거 요청자 성명 :

4. 기상상태

5. 측정결과

구분	측정결과			평균	비고
	1000M(A)	2000M(B)	3000M(C)		
주활주로	07→25	90 (5)	89 (5)	93 (5)	91 (5)
	25→07	88 (5)	94 (5)	90 (5)	90 (5)
보조활주로	13→31				
	31→13				

미끄럼 측정결과서

1. 점검자 :

2. 측정장비 : SFH 차량형(☒), SFH 트레일러형(☐)

3. 측정결과

구분	활주로		유도로	계류장	비고
	07/25	13/31			
① 상태	2		2	5	
② 피적물 종류 (고인물, 서리, 마른눈, 젖은눈, 글은눈, 진창, 얼음, 동결눈 등)	wet		wet	젖은눈	
③ 측정계수 및 표면마찰	0.90 (5)				
④ 측정장비	SFH				
⑤ SNOW BANK	없음		없음	인근지역	
⑥ 제빙작업 실시 여부	완료		작업완료	실시중	
⑦ 기타사항 (활주로 오염범위 등)	0%		3%	20%	

[그림 16] 미끄럼측정 결과서

1.17.6 활주로 점검

제주공항 공항운영규정에는 이동지역을 일일점검 후에 그 결과를 ‘이동지역 표면 및 지장물점검표’에 기록하도록 정하고 있다.

제주지역본부는 1월 25일 오전에 ‘운항 전 안전점검’을 2회 실시하였고 제주 지역본부의 항무팀, 토목팀, 전력시설팀이 1월 25일 13:00부터 13:50까지 차량을 이용하여 이동지역을 육안으로 특별점검을 실시하였다.

제주지방항공청은 점검팀(안전담당, 운항과장)을 구성하여 11:00부터 11:11까지 차량을 이용하여 활주로 개방 전 특별점검을 실시하였다.

1.17.6.1 운항 전 점검

공항안전 자체점검 매뉴얼⁴⁶⁾[국토교통부예규 제101호/2015.5.21.]에는 점검주기에 따라 정기점검, 지속감시점검, 주기적인 상태점검 그리고 특별점검으로 자체점검의 종류를 구분하고 있다. 제6장 정기점검에서 정기점검은 최소 하루에 한번 이상 실시하여야 한다. 정기 점검 방법에는 활주로 및 유도로 측면의 눈더미 및 표류물과 항공기 날개 끝, 엔진 및 프로펠러와의 충분한 이격거리가 확보되었는지 점검, 제설작업으로 인하여 외부 물질이 포장지역에 남아 있는지 점검하여야 한다.

제주지역본부가 2016년 1월 25일 이동지역에 대하여 운항 전에 안전점검을 실시한 내용과 결과는 [그림 17]과 같다.

○ 1차 안전점검(04:50 ~ 05:40)

1차 운항 전 점검의 결과는 활주로07/25의 제설작업이 완료되어 노면상태를 '양호'로 기록하였다. 포장구역의 FOD(이물질) 방치여부는 '불량(눈)'으로 기록하였는데 이는 활주로13/31 및 유도로, 계류장 지역의 제설작업이 진행 중인 상태이어서 '불량'으로 기록하였다. 또한 작업구역의 기타 항공기 안전 위험요소는 없음으로 기록되었다.

○ 2차 안전점검(08:10 ~ 09:00)

2차 운항 전 점검의 결과는 1차 운항 전 점검결과와 같이 활주로07/25의 제설작업이 완료되어 노면상태를 '양호'로 기록하였다. 포장구역의 FOD(이물질) 방치여부는 '불량(눈)'으로 기록하였는데 이는 활주로13/31 및 유도로, 계류장 지역의 제설작업이 진행 중인 상태이어서 '불량'으로 기록하였다. 또한 작업구역의 기타 항공기 안전위험요소는 '없음'으로 기록되었다.

46) 국토교통부 및 지방항공청 공항안전검사관으로 하여금 공항운영증명업무에 관한 사항을 효율적으로 지도·감독할 수 있도록 “공항안전자체점검”에 관한 내용이 기술되었다.

1.17.6.2 특별점검

1.17.6.2.1 제주지역본부(13:00 ~ 13:50)

공항안전운영기준[국토교통부고시 제2013-830호, 2013.12.26] 제106조에 공항 운영자는 공사 작업 중이나 항공기 안전운항에 영향을 미칠 수 있는 기상악화 등 비정상적인 상황인 때 특별점검(자체 안전점검)을 실시하여야 한다고 정하고 있다.

제주공항 공항운영규정의 4. 5 이동지역 표면 및 지장물 점검에 의하면 활주로 또는 유도로 폐쇄 후 개방하는 경우와 이동지역 내 주요공사 완료 후 및 제설, 제빙, 제수작업 후에는 제주지방항공청 항공정보실과 합동으로 특별점검을 실시하여야 하고, 점검방법은 항무팀, 토목팀, 전력시설팀으로 구성하여 차량을 이용한 육안 점검을 원칙으로 하되, 필요한 경우 적절한 장비를 사용하거나, 도보로 이동하면서 점검할 수 있다고 정하고 있다.

1월 25일 실시한 특별점검의 결과는 [그림 17]과 같이 활주로07/25의 제설작업이 완료되어 노면상태를 '양호'로 기록하였다. 포장구역의 FOD(이물질) 방치여부는 '불량(눈)'으로 기록하였는데 이는 활주로13/31 및 유도로, 계류장 지역의 제설작업이 진행 중인 상태이어서 '불량'으로 기록하였다. 또한 작업구역의 기타 항공기 안전위험요소는 '없음'으로 기록되었다. 특별점검의 결과는 1차 안전점검과 2차 안전점검의 결과와 동일하게 기록되어 있었다.

이동지역 표면 및 지상물 점검표

2016년 1월 25일 월요일

※ 활주로(1일4회), 유도로/계류장(1일2회) : 인근 비포장구역 포함

※ 기타 비포장구역 : 제주 화요일 1회 점검

점제	차장	팀장

		점검지역	활주로, 유도로, 계류장, 기타 비포장구역	활주로, 유도로, 계류장	활주로	활주로
		점검시간	09:00 ~ 11:00	09:30 ~ 11:00	09:10 ~ 09:40	09:40 ~ 11:00
		기상	맑음	맑음	맑음	맑음
		점검자	함무	함무	함무	함무
		점검항목	점검결과			
항목 분류	지상물 및 장애물	지상물의 표지, 장애물의 적정성	적정	적정	적정	적정
		불합지상물 및 장애물의 유무	없음	없음	없음	없음
	야생동물	생태 및 죽은새 등을 존경여부	있음	있음	있음	있음
	불위험	불위험 등 야생동물관리 환경요소	없음	없음	없음	없음
	작업 구역	금지구역 표지 및 조형	적정	적정	적정	적정
		장비 및 비상을 방지	이탈리	이탈리	이탈리	이탈리
		기타 항공기 안전위험요소	없음	없음	없음	없음
	포장구역	연출 등 피트박스 달개상태	없음	없음	없음	없음
		FOD(이물) 방지 여부	부적(3)	부적(3)	부적(3)	부적(3)
		주기장 상태(정착설비, 유 등)	정상	정상	정상	정상
차량정비 정비상태		정상	정상	정상	정상	
보목 분류	포장 구역	활주로 고무피복상태	정상	정상	정상	정상
		노면파손, 용기, 침하, 균열	없음	없음	없음	없음
		도로관련 현상물개 상태	없음	없음	없음	없음
		배수 및 물고임(깊이측정)상태	Wet(양수)	Wet(양수)	Wet(양수)	Wet(양수)
	비포장 구역	포장·비포장 경계면 단차	없음	없음	없음	없음
		표지의 퇴색, 변형	없음	없음	없음	없음
		착륙대 침하, 유실, 파손자국 등 지반상태	정상	정상	정상	정상
		비지정 지역 제초 및 풀 제거상태	없음	없음	없음	없음
		정지구역 정비상태	없음	없음	없음	없음
		배수, 침수, 물고임 유실상태	Wet(양수)	Wet(양수)	Wet(양수)	Wet(양수)
활공 분류	포장구역	포장면 경계지역의 단차	없음	없음	없음	없음
		중단 안전구역 관리상태	없음	없음	없음	없음
		동화시설 상태(정착, 불발파손)	정상	정상	정상	정상
		ALS, 사단등 손상여부	없음	없음	없음	없음
	비포장 구역	동화, 표시물의 상태 및 식별장애	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
		표지판의 상태 및 식별장애	없음	없음	없음	없음
기타	전력관련 현상물개 상태	없음	없음	없음	없음	
	사설물 지지대 단차여부	없음	없음	없음	없음	

주 1) 만족 : 양호, 불만족 또는 보완조치 필요시 : 점검결과 기재

2) Wet : 이동지역 평면도(비정상 사항 발견시, 위치, 내용 및 조치사항 기록)

3) 배수 및 물고임 상태 표기(보목조경분야) : 습기(DAMP), 습윤(WET), 고인물(STANDING WATER)

※ 비 또는 눈으로 포장지역에 물이 존재하는 경우 반드시 표기

[그림 17] 이동지역 표면 및 지상물 점검표(1월 25일)

1.17.6.2.2 제주지방항공청 (11:00 ~ 11:10)

제주지방항공청의 항공교통안전점검47) 수행지침[시행 2015.2.2.] [제주지방

47) 교통안전법 [법률 제13678호, 2015.12.29.] 제33조, 동법 시행령 제20조에 근거하여 제정된 국토교통부 교통안전점검·평가지침[국토교통부훈령 제235호, 2013.5.27.]에는 '항공기·공항(비행장) 및 항공분야의 교통체계에 관한 안전을 확보하고 체계적이고 효과적인 교통안전관리체계를 구축'을 항공교

항공청훈령 제10호, 2015.2.2. 제정]에는 해당 점검의 자격을 가진 자로 점검반을 구성하여 정기점검과 특별점검을 하여야하고 특별점검은 항공운영 또는 운항체계의 결함에 관한 보고를 접수한 경우, 항공운영 또는 운항체계에 중대한 변경이 있어 안전상 문제의 유무를 확인할 필요가 있는 경우 수행하여야 한다고 정하고 있다.

제주공항관제탑의 기동지역 무선통신(VHF, FM) 내용을 확인한 결과 제주지방항공청 점검반(안전담당, 운항과장)은 주 활주로 개방 전 특별점검목적으로 1월 25일 11:01:31경 활주로07/25에 진입하였고 11:10:35경 활주로 제설상황 점검을 마치고 철수하였다. 그러나 제주지방항공청의 활주로 특별점검결과에 대한 기록은 확인되지 않았다.

1.17.7 제주지역본부 제설작업관련 교육

제주지역본부에서는 [표 13]과 같이 동절기 제설작업에 대비하여 총 3회에 걸쳐 제설모의훈련과 안전교육을 실시하였다. 이동지역통제실장(제주 토목팀장)이 주관하여 제주공항 제설계획에 의거 기상상황, 작업절차, 제설 우선순위, 관제탑 교신방법 및 기타 안전관리 등에 관한 내용을 교육하였다 .

그러나 제주지역본부의 동절기 제설작업에 대비하여 제설모의훈련과 안전교육 그리고 제설작업에 투입되기 전에 실시되는 제설작업 전 안전교육 내용 중에 활주로 눈더미 최대 허용높이 기준 등에 대한 교육 기록은 확인되지 않았다.

통안전점검의 목적으로 하여 안전점검의 방법과 절차 등에 대한 지침을 정하고 있다.

교육일자	강사	교육참석자	교육내용
1.23(12:30-13:00)	OOO	XXX외 5명	○제설작업 우선순위에 의한 신속한 작업 실시 ○관제탑과 무전교신 철저 ○작업 중 안전거리유지 및 안전수칙 준수 ○졸음방지를 위한 차량 내 환기철저 ○장비 장애발생이 없도록 수시점검
1.23(22:20-22:45)	OOO	XXX외 8명	
1.24(03:00-03:25)	OOO	XXX외 8명	
1.24(09:30-09:50)	OOO	XXX외 11명	
1.25(05:10-05:30)	OOO	XXX외 11명	

[표 13] 활주로 제설 작업 전 안전교육

1.18 기타 사항

해당사항 없음

2. 분석

2.1 일반

HL7460의 운항승무원은 비행에 필요한 항공종사자자격증명과 유효한 항공신체검사증명을 보유하고 있었다. HL7460은 항공법 및 관련 규정에 따라 유효한 감항증명서와 운항에 적합한 기능을 유지하였고 중량 및 평형은 제한범위 내에 있었다.

HL7460은 2016년 1월 19일 4번 엔진의 역추력장치 지시결함이 발생하였으나 2016년 1월 21일 정비작업 수행 후 결함이 수정되었다

위원회는 HL7460과 눈더미의 충돌과정, 운항승무원의 측풍착륙조작, 제주지역본부의 제설작업 및 안전점검, 활주로개방, 제설관련규정 등에 관하여 중점적으로 분석하였다.

2.2 운항분야

비행자료기록장치, 조종실음성기록장치, 신속접근기록(QAR)의 자료에 근거하여 HL7460과 눈더미의 충돌과정, 운항승무원의 측풍착륙 조작을 분석하였다.

2.2.1 활주로 접지와 눈더미 충돌

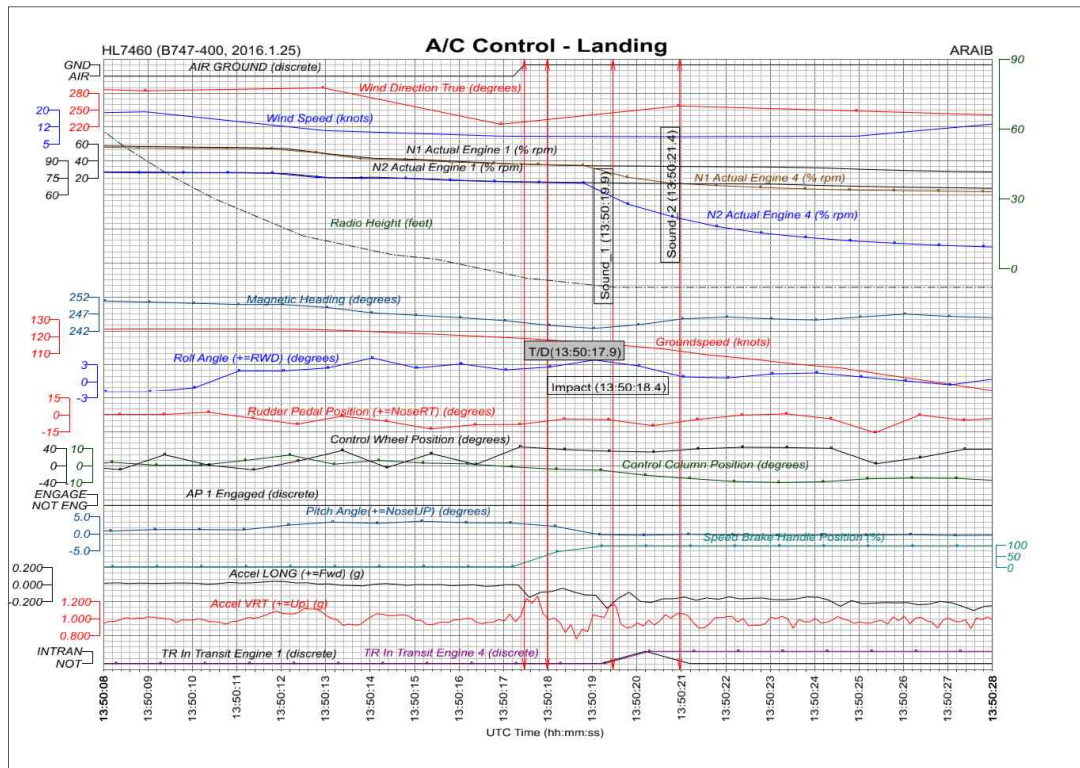
HL7460의 활주로 접지는 [그림 18]과 [그림 19]에서 공중모드에서 지상모드로 전환, 전파고도 수치, 속도감속기 작동, 수직가속도 증가, 종가속도 감소 등에 근거하여 22:50:17.9경 활주로25 시단으로부터 1,805피트에 접지한 것으로 분석되었다.

[그림 18]과 [그림 19]에서 종가속도의 감소, 수직가속도의 변화, 엔진파라

미터 변화 등의 비행자료기록장치 자료와 조종실음성기록장치의 음성기록을 검토한 결과, HL7460은 22:50:18.4경 지상 장애물과 충돌한 것으로 분석되었다.

UTC Time (hh:mm:ss)	Radio Height (feet)	HL7460 SITUATION	Computed Airspeed (knots)	Groundspeed (knots)	Pitch Angle(+NoseUP) (deg)	Roll Angle(+RWD) (degrees)	Magnetic Heading (degrees)	Control Column Position (deg)	Rudder Pedal Position (+NoseRT) (degrees)	G/S Dev (+FND) (dots)	LOC Dev - DDM (+RT) (DDM)	Wind Direction True (degrees)	Wind Speed (knots)	Speed Brake Handle Position (%)	N1 Actual Engine 4 (% rpm)	N2 Actual Engine 4 (% rpm)	TR Deployed Engine 3	TR Deployed Engine 4	TR In Transit Engine 3	TR In Transit Engine 4	Accel LONG (+Fwd) (g)	Accel VRT (+Up) (g)	CVR VOICE ORIGIN	CVR TRANSCRIPT
13:50:08	66		136 124 1.5	-1.9	251.4	-0.7	0.4	-0.8	0												0.013	0.958		
13:50:09	52	국풍편류각 5.8도	138 124 0.8	-1.8	250.8	2.1	0.4	-0.9	0.003			284	19	4	55.5	79.6	NOT	NOT	NOT	NOT	0.019	0.992		
13:50:10	40	활주로25 시단종과	139 124 1.2	-1.8	250.5	0.4	0.4	-0.8	0.002					4	55	79.6	NOT	NOT	NOT	NOT	0.02	0.999	A/C	50, 40, 30, 20
13:50:11	30		139 124 1.2	-1.1	250.1	0.4	2.4	-0.6	0.002					4	54.8	79.6	NOT	NOT	NOT	NOT	0.026	0.964		
13:50:12	22	DECRAB 조작	136 124 1.1	1.9	249.8	3.2	-3	-0.7	0.002					4	54.4	79.4	NOT	NOT	NOT	NOT	0.04	1.003		
13:50:13	14	당김조작	139 124 2.5	1.9	249.8	6.3	-8.3	0.4	0.002			289	11	4	49.9	75.5	NOT	NOT	NOT	NOT	0.007	1.072		
13:50:14	10		132 124 3.4	2.5	248.9	1	-1.1	1.8	0.005					4	42.9	74.8	NOT	NOT	NOT	NOT	-0.014	0.921		
13:50:15	6		136 122 3.1	4.2	247.3	3.2	-5.5	2.3	0.005					4	41.4	74.8	NOT	NOT	NOT	NOT	-0.007	1.038	A/C	10
13:50:16	4		133 121 3.7	2.5	246.6	1.7	-12.4	1.2	0.005					4	39	73	NOT	NOT	NOT	NOT	-0.011	0.928		
13:50:17	0		131 120 3.3	3.7	245.9	1.1	-8.7	0.8	0.003			275	8	4	37.4	71.9	NOT	NOT	NOT	NOT	-0.014	0.958		
13:50:18	-4	착륙경지	128 119 3.2	2.1	245	-0.6	-8.4	-2.7	0.003					4	36	71.1	NOT	NOT	NOT	NOT	-0.09	1.038		[Seems like sound of T/D]
13:50:19	-6	눈더미 충돌	132 117 2.2	2.6	243.6	-2	-3.7	-5.8	0.002					70	35	70.6	NOT	NOT	NOT	NOT	-0.119	0.836	F/O	Speed brakes UP
13:50:20	-8	우경사(최대)	128 115	-0	3.9	242.8	-2.5	-4.2	-4.2	0.001				95	21	52	NOT	NOT	NOT	NOT	-0.089	1.15		쿠르릉~ [unintelligible sound, 1.1 sec long]
13:50:21	-8	역추력사용	127 113	-0	2.8	243.8	-5.5	-9.6	0.1	0		257	8	95	14	40.9	NOT	NOT	INTRAN	INTRAN	-0.165	0.925		착~ [0.6sec long]
13:50:22	-8	4번역추력이상	122 109	-0	0.9	245.6	-7.5	-4	2.4	0.001				95	11.2	32.2	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.172	0.891	F/O	와~
13:50:23	-8		117 107	-0	0.7	246.1	-9.2	-0.3	-1.7	0.001				95	9	26.5	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.157	1.001		
13:50:24	-8		115 104	-1	1.4	245.6	-9.8	0.9	-3.5	0.001				95	7.2	22.6	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.143	1.003	CAP	어... 안된다고 number 4
13:50:25	-8		110 102	-0	1.6	245.2	-9.4	-3.4	-3.2	0.002		249	8	95	6	19.6	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.187	0.983		
13:50:26	-8		108 98	-0	0.9	246.1	-7.6	-15.7	-1.2	0				95	5.4	17.5	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.214	0.971	CAP	Interlock only
13:50:27	-8		105 94	-0	0.2	247	-7.2	-0.2	-3.8	-0.002				95	4.6	15.6	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.196	1.017		
13:50:28	-8		102 90	-1	-0.5	246.3	-7.4	-4.7	-1.1	-0.002				95	4	14.4	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.253	0.987		
13:50:29	-8		97 86	-0	0.5	245.9	-8.8	-2.5	-3.5	-0.002		239	16	95	3.5	13.2	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.191	0.987	CAP	Number 4 엔진 뭐야? ***가
13:50:30	-8		91 82	-0	1.4	244.9	-8.6	0.8	-2.3	-0.002				95	3	12.1	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.189	0.969		
13:50:31	-8		85 79	-0	0.7	244.5	-8.5	-2.8	-2.6	0				95	2.5	11.1	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.242	0.999		
13:50:32	-8		84 75	-1	0.2	245	-8.4	-2.8	-2.1	-0.001				95	2.1	10.2	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.257	0.99		
13:50:33	-8		77 70	-0	-0.2	245.6	-8.5	0.2	-3.4	-0.001		241	32	95	1.6	8.8	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.252	0.907		
13:50:34	-8		73 65	-0	-0.4	245.6	-8.5	0.2	-2.7	0				96	1.1	7.6	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.277	0.953		
13:50:35	-8		71 60	-0	-0.2	245.6	-8.3	0.1	-3.1	0				96	0.6	6.5	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.232	0.994	F/O	엔진 꺼져버렸***
13:50:36	-8	N1=0	65 56	-0	-0.2	245.7	-8.2	0.8	-2.5	0				95	0	5.2	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.25	0.964		
13:50:37	-8		62 52	-0	-0.2	245.9	-8.5	0.3	-2.5	0		240	49	95	0	3.6	DEPLOY	NOT	NOT	INTRAN	-0.176	0.992		

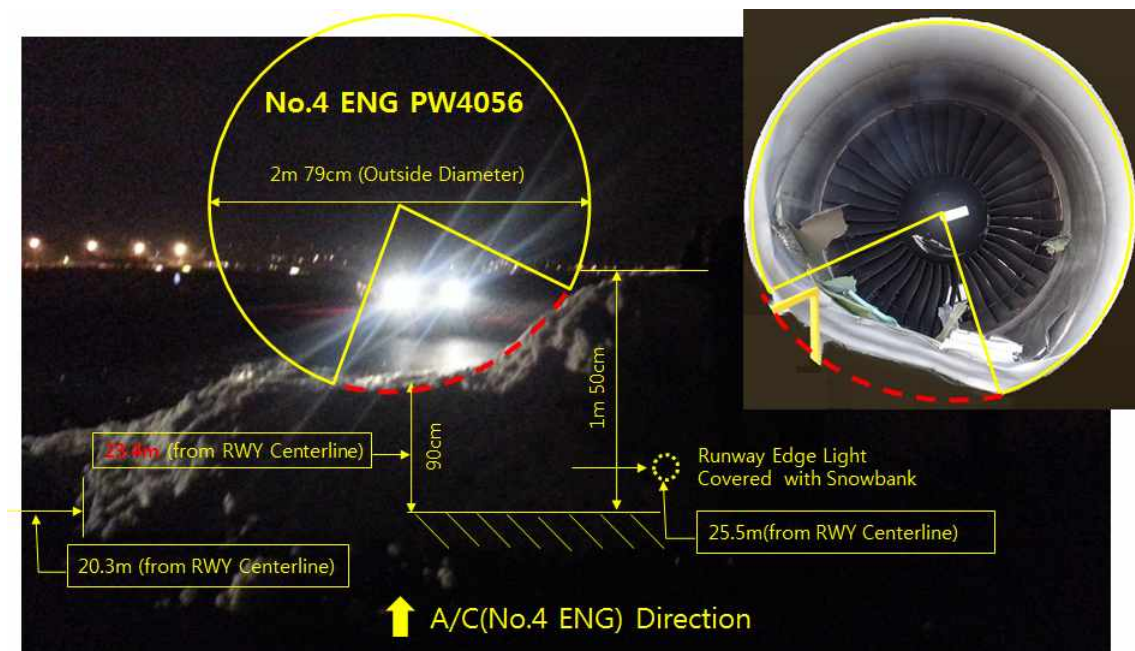
[그림 18] KE1275 비행자료기록장치 자료_착륙단계



[그림 19] KE1275 비행자료기록장치 자료 분석_착륙단계

비행자료기록장치 및 조종실음성기록장치 자료, ASDE의 잔해이탈 영상, 잔해의 수거 위치, [그림 20]의 눈더미의 흔적 등을 종합하면, HL7460의 4번 엔진은 활주로25시단에서 약 1,920피트, 활주로25의 중심선으로부터 우측으로 약 23.4미터의 위치에 쌓였던 눈더미에 충돌한 것으로 분석된다.

따라서 HL7460은 동체 중심부분이 활주로25 중심선에서 우측으로 약 2미터 22cm⁴⁸⁾ 벗어난 상태에서 4번 엔진 하부가 활주로표면으로부터 약 90cm의 높이로 눈더미에 부딪히며 통과하였을 것으로 분석된다.



[그림 20] 4번 엔진이 충돌한 눈더미

22:50:20에 4번 엔진 N1계기의 분당회전수가 35->21% rpm 으로 N2 계기의 분당회전수가 70.6->52% rpm으로 급감한 것은 4번 엔진이 지상장애물과 충돌하여 엔진손상이 발생하였음을 나타낸다.

48) 활주로 중심선에서 HL7460의 동체 중심까지의 거리(우측)=4번 엔진 눈더미 통과위치-HL7460(기축선)에서 4번 엔진(중심)까지 거리=23.4m-21.18m=2.22m [그림 12]참조

22:50:21에 4개의 엔진 역추력장치 사용이 시작되어 4개 엔진 모두 '전환 중 (TR in Transit)'이 기록되었고 22:50:22에 3개의 엔진은 역추력장치 '전개 (DEPLOY)'가 되었으나, 4번 엔진은 역추력장치가 '전개되지 않았음(NOT)'이 기록되어 지상 장애물과 충돌되어 손상되었음을 나타낸다.

2.2.2 HL7460의 측풍착륙 및 눈더미 충돌과정

2.2.2.1 측풍착륙비행방식

Crab비행방식에서 Wing Low비행방식으로 전환하는 조작을 De-Crab⁴⁹⁾이라 한다. 대한항공 운항승무원훈련교범 6.36 측풍착륙요령에 언급된 Wing Low⁵⁰⁾ 비행방식으로 전환하는 조작은 아래와 같다.

Wing Low비행방식으로 전환요령은 항공기 기수를 활주로 중심선 연장선과 일치시켜 접근 후 활주로 중앙에 접지하는 방법으로 Crab방식을 유지하고 접근하다가 착륙자세변화 단계에서 풍하쪽 방향타와 풍상쪽 보조익을 사용하여 비행경로를 유지한다. 이때 항공기는 풍상쪽으로 적은 경사가 들어가게 되며 풍상쪽 주륜이 먼저 접지되고 후에 풍하쪽 주륜이 접지하게 된다.

2.2.2.2 최종접근구간 Crab 비행방식 접근

HL7460의 비행자료기록장치에 의하면 제주공항 활주로25에는 전파고도 200피트에서 50피트까지 바람이 284~294도 방향에서 17~19노트⁵¹⁾정도 불었다. HL7460이 접지 시까지 풍속은 11노트에서 8노트까지 감소하였다. 접지 직전에 풍향은 289도에서 225도로 변하여 우측풍에서 좌측풍으로 바뀌었다.

49) CRAB비행방식에서 유지하던 편류각을 해제하고 기축선을 활주로 중심선에 맞추어 WING LOW 비행방식으로 전환하는 조작을 의미함.

50) 측풍의 상황에서 비행경로를 유지하기 위하여, 기수방향은 편류각 없이 진입활주로방향을 유지하고, 편류각 대신에 풍상쪽으로 측풍성분에 비례한 양만큼의 항공기 경사각을 주어 진입활주로 중심선을 연장한 상공으로 비행패적을 유지하며 접근하는 비행방식

51) 활주로25의 방위는 245도 이므로 우측풍 성분은 11~14노트가 된다.

HL7460은 자동 조종과 자동 추력조절을 각각 878피트, 818피트에서 해제하였고, 전파고도 200피트 이하에서 전파고도 30피트까지 우측 6°의 편류각으로 횡적경로를 유지하며 강하경로에 맞추어 Crab방식으로 접근하였다.

2.2.2.3 Wing Low 비행방식으로 전환

HL7460은 Crab방식으로 접근하면서 활주로 시단통과 전에 전파고도 52피트에서 피치각을 일차 변경하였고 전파고도 22피트에서 좌측으로 방향타 페달과 우측으로 보조익을 사용하는 De-crab 조작을 시작하여 Wing Low방식으로 전환하였다. 방향타 페달은 전파고도 4피트에서 좌측으로 사용이 최대가 되었고, 접지 후 역추력장치 사용을 시작할 때까지 좌측으로 사용이 지속되었다.

항공기 경사각은 De-crab 조작 시 우측으로 들어가기 시작하여 전파고도 4피트에서 최대 4.2도가 되었고 접지직전 경사각 3.2도⁵²⁾ 피치각 3.3도 로칼라이저 경로의 벗어남은 0.035dot이었다.

2.2.2.4 활주로 접지 및 눈더미와 충돌

HL7460은 22:50:17.9경 활주로25 시단으로부터 1,805피트 지점에 접지할 때 경사각은 2.1도, 피치각은 3.2도 로칼라이저 경로의 벗어남은 0.04dot였다.

HL7460은 22:50:18.4경⁵³⁾ 활주로25 시단으로부터 1,920피트(585미터)에서 눈더미에 충돌할 때 항공기 경사각 우측 2.6도, 피치각 2.2도, 로칼라이저 경로의 벗어남은 0.02dot이었다.

충돌 직후 22:50:20⁵⁴⁾에 경사각이 우측으로 최대 3.9도까지 진입되었다.

52) 3.2°경사각에서 4번 엔진의 지상 간격(Ground Clearance)은 약 0.8미터 감소된다.

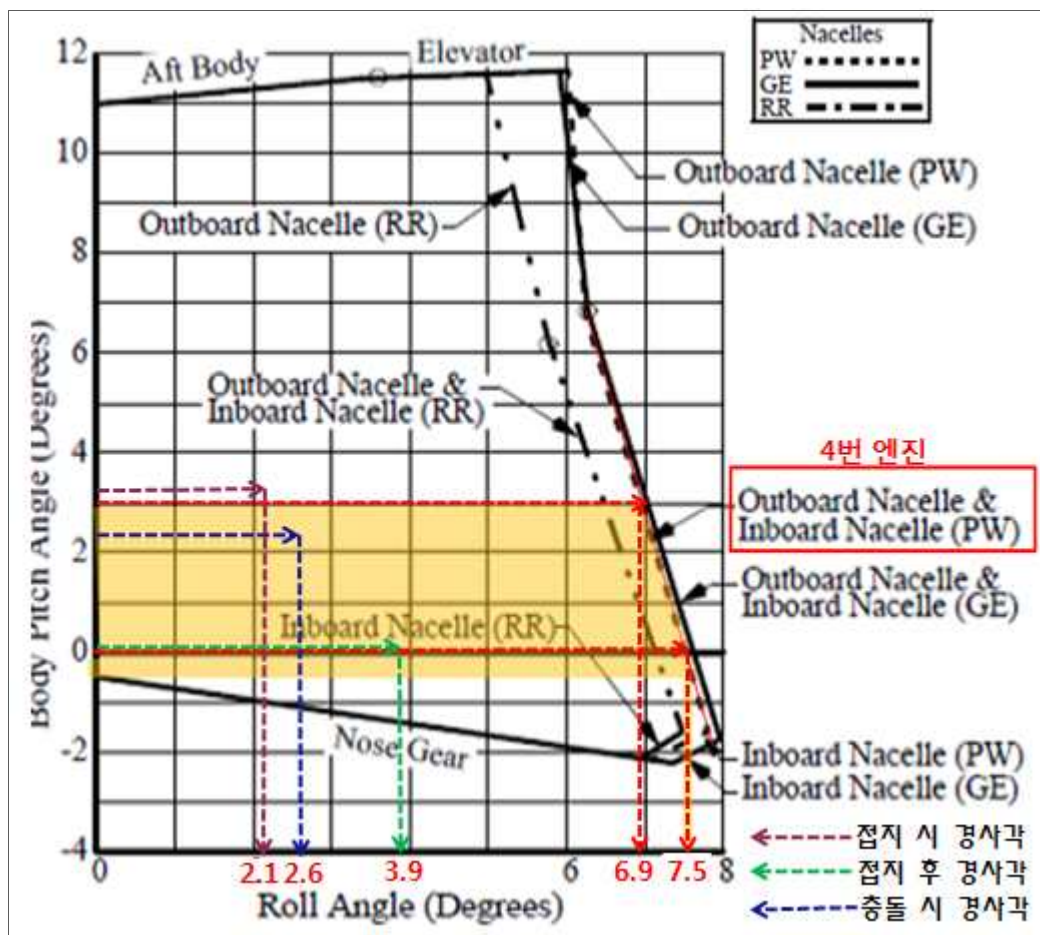
53) 기수방향 243.6도, 비행경로(Track)는 245.6도

54) Localizer deviation 0.015dot, 기수방향 242.8도, 비행경로(Track) 245도

접지 후 5초간 경사각은 2.1~3.9도, 피치각은 3.3~-0.2도, 로칼라이저 경로의 벗어남은 0.005~0.04dot이었다.

HL7460의 착륙접지조작은 정상적으로 수행한 것으로 분석되었다.

2.2.3 HL7460과 눈더미의 충돌과정에서 경사각



[그림 21] 항공기자세와 엔진지상접촉 관계도 (FCTM 6.17)

[그림 21]은 정상 착륙 시에 항공기 피치각(Pitch Angle)에 따라 항공기의 엔진이 지면에 닿을 수 있는 경사각(Roll Angle)을 나타낸다. 예를 들어 PW 엔진의 경우 피치각이 3도일 때 약 6.9도의 항공기경사각이 발생하면 엔진이 지면에 닿을 수 있으며, 접지 후 기수가 지면에 닿는 0도의 피치각에서

는 경사각이 약 7.5도가 되면 지면에 닿을 수 있다. 그러나 접지 시에 항공기 기체의 탄성으로 인해 더 적은 경사각에서도 지면에 닿을 수 있다.

HL7460의 경사각은 De-crab 조작단계에서 우측으로 들어가기 시작하여 전파고도 4피트에서 최대 4.2도가 되었고 접지직전 3.2도, 접지시 2.1도였다. 눈더미 충돌 시에 경사각은 2.6도 접지 후 최대경사각은 3.9도이었으므로 활주로 표면으로부터 4번 엔진까지의 안전간격은 충분하였다.

충돌 직후 경사각이 3.9도까지 증가한 것은 접지단계에서 풍향의 변화, 눈더미와 충돌로 인한 마찰력 증가 등의 요인이 작용한 것으로 추정된다.

HL7460의 피치각과 경사각의 관계는 대하여 [그림 21]에서 산출된 엔진이 활주로(지상)에 접촉될 수 있는 경사각에서 어느 정도의 여유가 있었는지를 검토한 결과는 [표 14]와 같다. HL7460의 4번 엔진은 [표 14]의 각 열에서 경사각의 차이에 비례한 만큼 지상 장애물과 여유 경사각이 확보되었음을 알 수 있다.

단위: 도

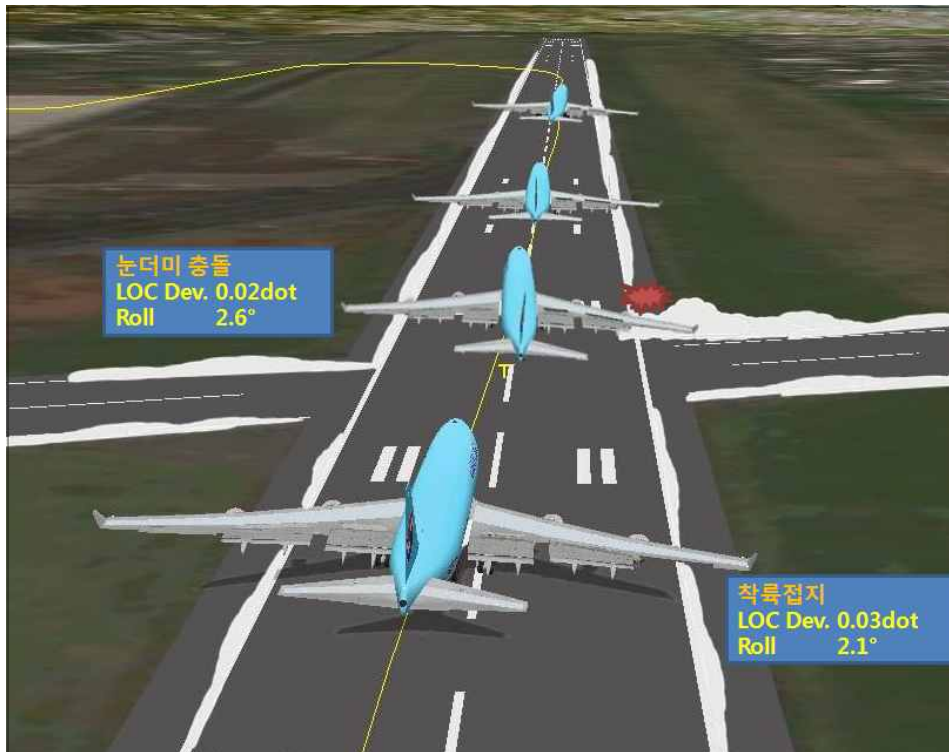
구분	피치각	경사각	엔진이 지면에 접촉될 수 있는 경사각	여유 경사각
착륙 접지 시	3.2	2.1	6.9	4.8
눈더미 충돌 시	2.2	2.6	7.1	4.5
접지 후 최대 경사각	0	3.9	7.5	3.6

[표 14] HL7460의 엔진이 활주소에 접촉되기 위한 경사각

2.2.4 HL7460 횡적비행경로

HL7460이 활주로25 시단을 전파고도 약 40피트로 통과할 때 항공기 위치는 우측 편류각 4.5도, 비행경로(Track) 244.7도, 최종경로의 벗어남은

0.03dot로 활주로25 중심 연장선의 좌측에 위치하였다.



[그림 22] HL7460의 접지 후 지상경로와 눈더미 충돌

HL7460은 시단을 통과하며 [그림 22]와 같이 활주로25 중심선의 좌측에서 접근하게 됨으로써 De-crab조작단계에서 활주로25중심선 방향으로 진입을 하기 위한 조작을 하게 되었을 것이다.

HL7460은 De-crab 조작 초기단계인 전파고도 30피트에서 전파고도 14피트까지 평균 로칼라이저 경로의 벗어남은 0.03dot로 활주로 중심선에서 약간 좌측부근에 위치하였다. 전파고도 14피트에서 기수방향은 249.8도, 비행경로는 244.8도⁵⁵⁾, 로칼라이저 경로의 벗어남은 0.03dot 였다.

De-crab 조작 중간단계인 전파고도 10피트에서 4피트 사이에서 기수방향 249.8도에서 246.6도로 편류각이 줄어들음에 따라 로칼라이저 경로의 벗어

55) 제주공항 활주로25 중심선의 방위는 245도이다. 항공기 편류각은 기수방향(249.8) - 활주로 중심선 방위(245)=4.8도이며 비행경로는 245-244.8=-0.2로 활주로 중심선에서 좌측으로 흐름을 나타낸다.

남은 0.07~0.06dot로 증가하였으나 비행경로는 244.8도에서 245.2도로 활주로25 중심선의 좌측 위치에서 점차 활주로중심을 향하였다.

De-crab 조작 후반단계인 전파고도 4피트에서 접지까지 로칼라이저 경로의 벗어남은 감소하여 접지 시 0.03dot, 기수는 245도로 활주로 방향과 일치되었고, 비행경로는 245.6도 정도로 유지되어 비행경로는 우측으로 향하였다.

이러한 요인으로 HL7460은 횡적비행경로가 활주로25 중심선을 향하여 우측으로 흐르면서 접지⁵⁶⁾하였다. HL7460의 횡적비행경로는 눈더미에 충돌⁵⁷⁾할 때까지 활주로25 중심선에서 우측으로 흐름이 지속되었고, 충돌 후⁵⁸⁾ 활주로25와 평행한 비행경로가 유지되었다.

HL7460의 로칼라이저 안테나는 [그림 23]과 같이 항공기 앞부분의 레이돔 안에 있고 4번 엔진은 로칼라이저 안테나로부터 후방 31.14미터⁵⁹⁾에 위치한다.

HL7460이 활주로 접지부터 눈더미에 충돌할 때까지 HL7460의 로칼라이저 안테나는 활주로25 중심선에서 좌측(Localizer deviation 0.03~0.02 dot⁶⁰⁾)에 있었지만 항공기의 동체 중심은 활주로25 중심선을 우측으로 벗어난 상태에서 눈더미에 충돌된 것으로 분석된다.

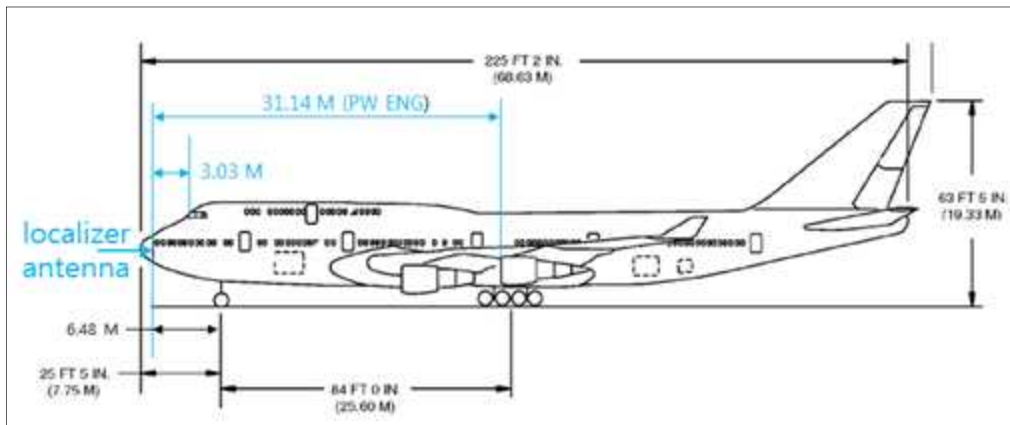
56) 항공기 경사각 우측 2.1도, Localizer deviation 0.030dot, 기수방향 245도, 비행경로 245.6도

57) Localizer deviation 0.020dot, 기수방향 243.6도, 비행경로(Track)는 245.6도, 피치각 2.2도, 항공기 경사각 우측 2.6도

58) 충돌 직후 Localizer deviation 0.015dot, 기수방향 242.8도, 비행경로(Track)는 245도, 항공기 경사각은 우측3.9도

59) 기수방향에 따라서 활주로중앙선으로부터 localizer antenna와 4번 엔진의 상대적인 위치가 다르게 된다. 4번 엔진은 항공기를 옆면에서 보았을 때 동체중앙 부분에 위치한다.

60) 0.030dot의 경우, localizer antenna는 활주로25 중심선에서 좌측 5.6피트(1.7미터)에 위치한 것이 된다.



[그림 23] HL7460의 LOCALIZER ANTENNA 위치

종합하면 HL7460은 우측풍에서 최종접근, 측풍착륙 및 접지 조작을 교범에 따라 정상적으로 수행한 것으로 분석되었다.

2.3 보잉사의 QAR분석

2.3.1 HL7460의 횡적위치 및 4번 엔진의 지상 높이

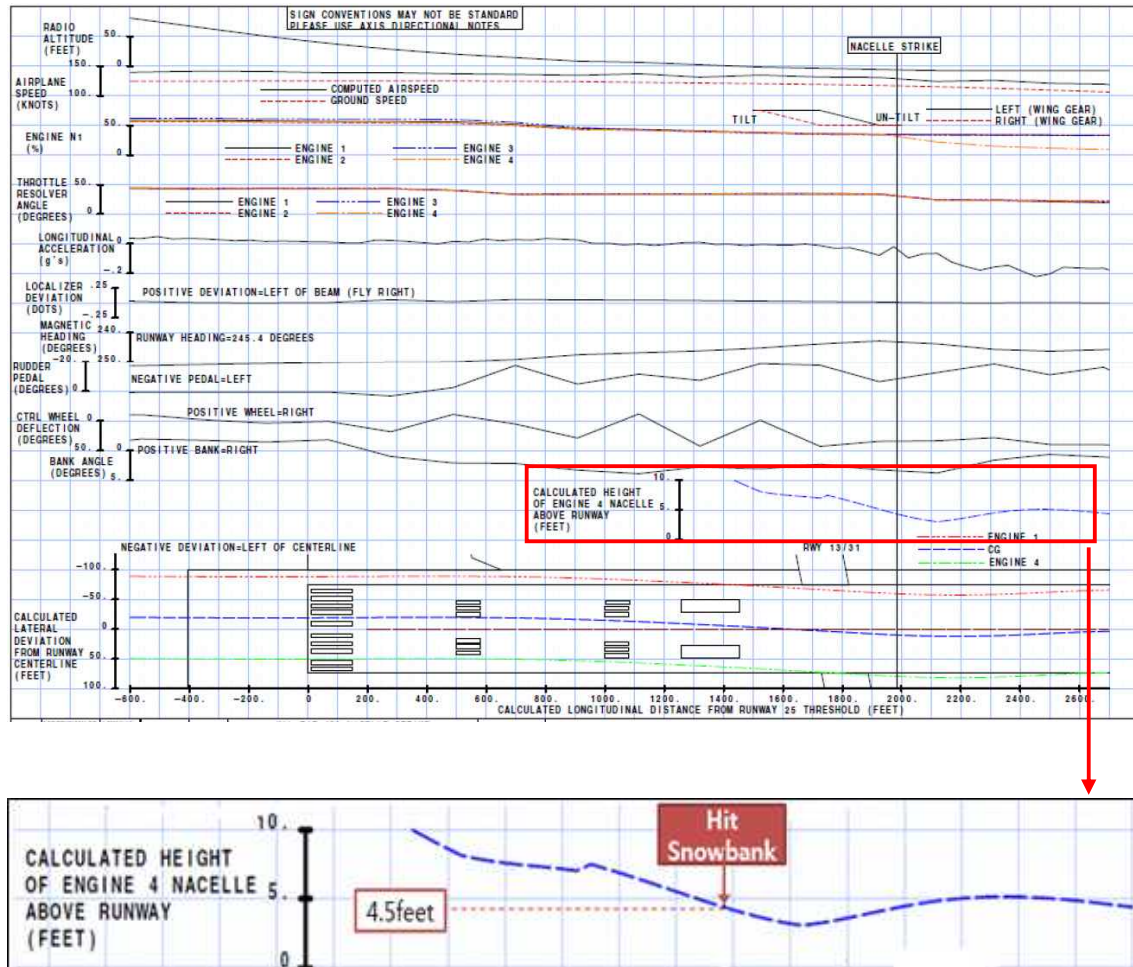
HL7460을 포함하여 2016년 1월 25일 제주공항 활주로25에 착륙한 총 4대의 B747-400 항공기 QAR 자료에 대한 분석을 보잉사에 의뢰하였다.

보잉사는 항공기 경사각, 항공기 날개 하부로부터 4번 엔진까지의 길이, 날개의 연료적재, 양력으로 인한 날개의 휨과 접지 이후의 날개의 굽혀짐을 고려하여 HL7460의 4번 엔진의 설계상 지상 높이는 최대 5.8피트(1.78미터), 최소 4.56피트 (1.39미터)로 산출하였다.

HL7460은 [그림 24]와 같이 활주로 시단으로부터 약 1,750피트 지점에 접지하였고, 접지 1초 후 약 1,900피트 지점에서 No.4 엔진이 지상장애물에 접촉되었다. HL7460은 접지 시 활주로 중앙으로부터 좌측으로 5.7피트(1.7미터), 지상장애물에 접촉 시 우측으로 5피트(1.5미터)에 위치하였다.

HL7460이 활주로 접지 시 4번 엔진의 지상 높이는 약 7피트(2.1미터), 지상장애물과 접촉 시 4번 엔진의 지상 높이는 4.5피트(1.37미터), 최소 3

피트(0.9미터)까지 감소 후 다시 5피트(1.5미터) 높이로 안정되었다고 분석하였다.

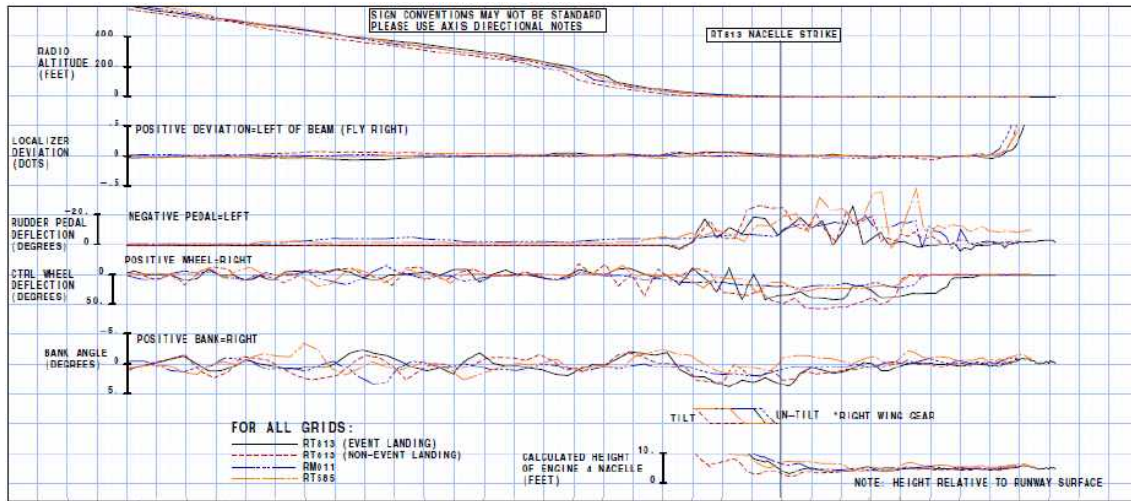


[그림 24] HL7460의 QAR 분석_ Aero-B-BBA1-C-16-023(Boeing)

2.3.2 활주로25에 착륙한 B747-400기종 4편의 QAR 분석

KE1275편을 포함하여 1월 25일 제주공항 활주로 25에 착륙하였던 4대의 B747-400항공기 모두 우측풍 상태에서 착륙하였다.

보잉사는 [그림 25]와 같이 최종접근구간에서 접근하여 착륙 후 개방할 때까지 4대의 B747-400 항공기에 대한 경사각과 로칼라이저 경로의 벗어남, 방향타와 조종간의 사용 등을 비교하여 분석하였다.



[그림 25] 1월 25일 제주공항에 착륙한 B747-400 항공기의 QAR 분석자료_ Aero-B-BBA1-C-16-023(Boeing)

다른 B747-400 항공기 3대가 HL7460이 눈더미에 충돌한 지점을 통과할 때, 로칼라이저 경로의 벗어남, 경사각, 4번 엔진의 지상 높이에 대하여 보잉사의 분석 결과는 [표 15]와 같다.

다른 B747-400 항공기들이 눈더미와 충돌되지 않았던 것은 [표 16]과 같이 KE1271편은 항공기가 활주로 중앙에 위치하였고, KE1493 및 KE1277편은 4번 엔진의 지상 높이가 활주로 가장자리에 있던 눈더미보다 높았던 것으로 분석된다.

편명(비행구간)	착륙 시각	접지 지점 (피트)	눈더미 지점 통과 시		
			Localizer Deviation	경사각	4번 엔진하부 지상 높이
KE1271 (GMP/CJU)	16:22	1,040	0.01	2.7°	3피트 (0.9미터)
KE1493 (ICN/CJU)	17:01	1,478	0.03	1.2°	7피트 (2.1미터)
KE1277 (GMP/CJU)	19:34	1,930	-0.01	1.3°	7피트 (2.1미터)
KE1275 (GMP/CJU)	22:50	1,750	0.025	3.5°	4.5피트(1.37미터)

[표 15] 1월 25일 제주공항에 착륙한 B747-400 항공기의 QAR자료 검토

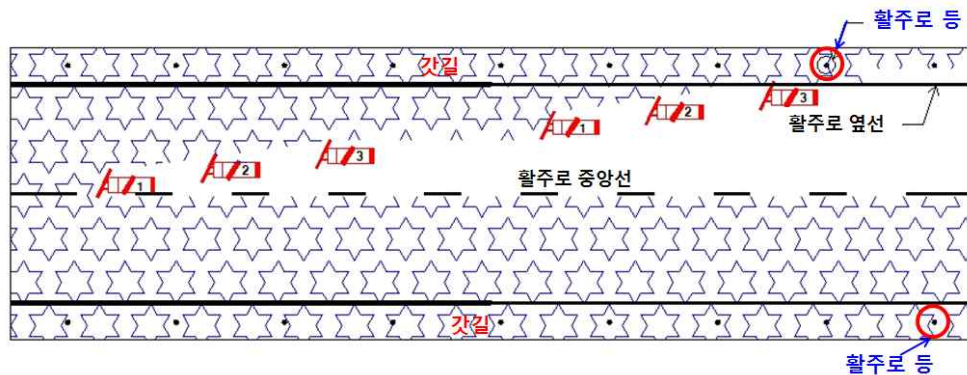
2.4 제설분야

2.4.1 제설작업

2.4.1.1 활주로07/25

제주지역본부는 일체식 제설차 4대와 스위퍼(청소차) 1대, 제설삽날(덤프 트럭) 1대를 활주로 제설작업에 투입하였다.

일체식 제설차 3대는 [그림 26]과 같이 한 대의 제설차량이 활주로 중앙에서 우측으로 먼저 밀어내고 다음 제설차량이 다시 우측으로 밀어내는 방식으로 활주로를 왕복하며 활주로 옆선표지까지 눈을 밀어내었다.



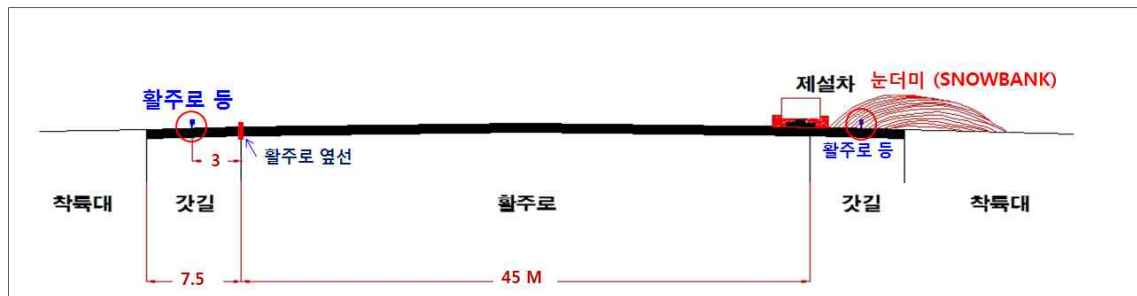
[그림 26] 제주공항 제설 작업

일체식 제설차 한 대는 갓길에 위치한 약 30cm 높이의 활주로등을 보호하기 위해 활주로 옆선표지를 따라 운행하며 활주로 중앙에서 활주로 옆선표지까지 밀려나온 눈을 활주로등 쪽으로 더 밀어내고 활주로 밖으로 불어내는 방식으로 제설작업을 실시하였다.

제주공항의 일체식 제설차는 삽날, 브러쉬, 송풍기를 장착하고 있다. 이 송풍기⁶¹⁾의 성능으로는 활주로 중앙으로부터 활주로 옆선표지까지 밀려나온 눈들을 활주로등 바깥으로 어느 정도 불어낼 수 있으나 활주로 포장구역을 지나 녹지대까지 멀리 불어 낼

61) SELF PROFELLED RUNWAY SNOW SWEEPER(FRESIA F2000): Air blower 용량-500m³/min, Air speed-500km/h

수는 없다. 따라서 일부 눈들은 활주로등 부근 갓길에 조금씩 남게 되고 폭설로 제설 작업 횟수가 16차례 반복되며 쌓이는 양이 증가하며 바람의 영향으로 눈들이 점차 활주로등 안쪽으로 침범하여 들어와 [그림 27]과 같이 활주로 옆선표지까지 쌓이게 되었다.



[그림 27] 활주로 옆선표지 부근의 제설작업 및 눈더미 형성

2.4.1.2 활주로13/β1

제주지역본부는 1월 25일 11:00경 제주관제탑의 활주로13/31 제설요청으로 일체식 제설차 1대로 11:15부터 활주로13/31의 제설작업을 하였다. 이들은 13:00경에 야 활주로 07/25 개방시각이 20:00에서 15:00로 앞당겨졌음을 인지하였고 또한 13:30경 관제탑으로부터 15:00 활주로 개방으로 활주로13/31 미끄럼측정을 하여야 하므로 제설작업을 마무리하여 달라는 요청을 받고 활주로13/31 제설작업을 마무리하고 13:50경 철수하였다.

두 활주로 교차지역의 활주로등 부근에는 이미 이전의 활주로07/25 제설과정에서 쌓인 눈더미가 있었으므로 여기에 활주로13/31 제설작업 과정에서 밀어낸 눈들이 더하여져 [그림 10]과 같이 최대 높이 약 1.5미터의 눈더미가 형성되었다.

눈더미가 있어서는 안되는 위치에 눈더미가 형성된 데는 활주로개방이 당겨짐으로써 이를 늦게 인지한 제설작업 요원들이 활주로13/31의 제설작업을 주도적이며 계획적으로 하지 못한 요인과 임박한 활주로 개방시간에 맞추어 서둘러 제설작업을 마무리하여야만 한 요인이 있을 수 있다.

하지만 근본적인 요인은 제설작업 관련요원이 눈더미 최대 허용높이 기준을 숙지하지 못하여 이를 제설작업에 반영하지 못한 것이라고 판단한다. 즉 제설작업 관련요원들은 활주로 옆선표지 안쪽에만 눈이 제거되면 되는 것으로 판단하였고 활주로 옆선표지부터 활주로등 바깥부분까지 쌓인 눈들이 대형항공기의 이착륙 시 엔진 등과 접촉될 수 있는 안전저해 요인임을 인식하지 못하였던 것이다.

2.4.2 제설작업 후 활주로 점검

2.4.2.1 제주지역본부 눈더미 최대 허용높이 기준 초과 미인지

제주지역본부는 1월 25일 활주로07/25에 대하여 3회, 활주로13/31에 대하여 1회 미끄럼측정을 실시하였고, 오전에 2회의 안전점검과 13:00부터 13:50까지 특별점검을 실시하였다. 제주지역본부의 미끄럼측정 결과와 안전점검 및 특별점검 결과는 모두 양호⁶²⁾로 활주로07/25 운항이 가능함을 확인하였다.

제주지역본부는 수차례의 활주로 점검과정에서 활주로07/25의 전반에 걸쳐 갓길에 쌓인 눈들이 눈더미 최대 허용높이 기준을 초과하였음을 인지하지 못하였다. 특히 활주로13/31 제설작업과정에서 활주로07/25의 교차지역에 쌓이게 된 1.5미터 높이의 큰 눈더미가 활주로07/25에 이착륙하는 항공기들에게 안전저해요인이 됨을 인지하지 못하였다.

2.4.2.2 활주로 미끄럼측정 업무

공항운영규정에 의하면 활주로 미끄럼측정은 $65 \pm 5 \text{ km/h}$ 속도를 유지하며 활주로 중심선으로부터 양 측면으로 5미터의 지점을 따라 왕복으로 주행하며 이루어진다.

62) 이동지역 표면 및 지장물점검표의 포장구역의 FOD(이물질) 방치여부 항목에 '불량'이라고 기록하였으나 이는 활주로13/31에 제설작업이 진행되는 중이어서 곧 치워질 활주로 상의 잔설을 의미한 것이었다.

제주지역본부는 1월 25일 12:41~12:45까지 활주로 미끄럼측정 후 미끄럼측정결과서에 [그림 16]과 같이 활주로07/25에 대하여 ⑤ SNOW BANK 항목에 '없음' ⑥ 제설작업 실시 여부 항목에 '완료'로 기록하였다.

활주로 미끄럼측정자는 활주로07/25의 활주로 옆선표지 바깥의 눈더미 상태를 포함하여 제설작업 상태를 별도로 점검한 후 이에 대한 결과를 기록한 것이 아니고 단지 미끄럼측정결과서 양식에 있는 항목이기에 활주로 미끄럼을 측정하면서 활주로 내에 '눈더미 없음'과 '제설작업이 실시되었음'의 의미로 기록한 것이었다. 즉 활주로 미끄럼측정자는 미끄럼측정 외에 눈더미와 제설작업상태의 점검은 그들의 업무로 인식하지 않은 것이다.

2.4.2.3 이동지역 표면 및 지장물 점검표 개선

또한 1월 25일의 이동지역 표면 및 지장물 점검표에는 항무, 토목, 항공등화 점검자들이 당일 총 4회에 걸쳐 분야별 점검한 내용이 구분된 항목에 따라 점검표에 기록하였다.

그러나 점검표에는 눈더미 최대 허용높이 기준 등에 대한 점검 항목은 없었다. 항무, 토목, 항공등화 점검자들이 전문분야별 관점에서 점검할 수 있도록 하는 양식이었지만 눈더미 최대허용높이 기준 준수 확인 등 제설작업에 대한 종합적인 점검을 통하여 미흡한 부분을 기록하고 시정 조치를 취할 수 있는 양식이 아니었다.

안전관리시스템에 의해 수행한 1월 특별 자체안전점검의 점검표 양식에도 설빙관리(동절기) 점검항목은 있었으나 눈더미 최대높이허용 기준 충족 여부 등 제설작업결과가 구체적으로 점검될 수 있도록 구분되어있지 않았다.

제주지역본부의 제설관련 점검에서는 눈더미 최대허용높이 기준 충족여부를 누가 어떤 점검에서 확인하여야 하는 지가 정해지지 않아 간과될 수 있는 부분이 있었다.

한국공항공사는 눈더미 최대허용높이 기준 초과 등 제설작업관련 안전저해요인 항목들을 발췌하여 이들이 충족된 상태로 제설작업이 완료되고 제설작업 후 점검과정에서 안전저해 요인들이 발견되어 조치될 수 있도록 관련 점검표 양식을 보완하거나 개발하고 관련 제설규정에 점검업무분장을 명확히 하는 것이 필요하다.

2.4.3 눈더미 최대 허용높이 기준 교육 필요

제주지역본부의 동절기 제설작업에 대비하여 제설모의훈련과 안전교육 그리고 제설작업에 투입되기 전에 실시되는 제설작업 전 안전교육 실시 내용 중에 활주로 눈더미 최대허용높이 기준 등에 대한 교육 사항은 확인되지 않았다.

제주지역본부의 제설작업관련요원들은 제설작업과정과 제설작업 후 점검과정에서 활주로등 주변의 눈더미가 최대허용높이 기준을 초과하였음과 항공기 운항의 안전저해 요인임을 인식하지 못하여 이를 제거하지 못하였다.

제주지역본부는 활주로, 유도로, 주기장 등의 제설관련 요원들에게 눈더미 최대허용높이 기준에 대한 교육을 강화하여야 한다.

2.5 제주공항 운영 재개

2.5.1 제주공항 활주로 폐쇄 및 해제

제주지방항공청은 지속되는 강설로 인해 1월24일 21:54에 항공고시보를 발행하여 활주로07/25와 활주로13/31의 폐쇄를 1월25일 20:00까지 연장하였다.

제주도는 내륙과 육로교통 수단이 없어 기상(폭설)으로 인하여 제주공항 출발 예정승객 약 8만 명이 체류 중에 있었으며, 제주공항은 가능한 빠른

시간 내에 공항운영 재개가 필요한 상황이었다.

제주지역본부는 1월25일 05:26경 활주로07/25의 제설작업을 완료하였고, 활주로 미끄럼측정 2회(05:54~06:01, 11:03~11:07), 활주로 안전점검 2회(04:50~05:40, 08:10~09:00) 그리고 활주로 개방 전 특별점검 1회(13:00~13:50)를 실시하였다. 그러나 제주지역본부의 제설작업팀, 점검반 등은 활주로 제설작업과 점검과정에서 활주로07 방향과 활주로13 방향의 교차 지역에 쌓인 눈더미가 최대허용높이 기준이 초과된 사실을 발견하지 못하였고 제설작업이 완료되었음을 제주지방항공청에 통보하였다.

또한 제주지방항공청도 활주로개방 전 특별점검(11:00~11:10)을 실시하였으나 눈더미가 최대허용높이 기준을 초과하였음을 발견하지 못하였다.

항공기상청은 1월25일 12:00부로 돌풍경보 및 대설주의보를 해제하였고, 국토교통부는 1월25일 12:00기준으로 제주지역 운항통제를 해제하였으며 15:00시 이후부터 정상적인 운항이 가능할 것으로 보인다고 보도참고자료를 발표하였다.

강설로 인해 1월25일 20:00까지 모든 활주로를 폐쇄한다고 발행했던 항공고시보에 관련하여, 제주지방항공청은 1월25일 12:24에 활주로07/25가 개방되었다는 항공고시보를 12:28에 발행하였고, 14:28에 활주로13/31가 개방되었다는 항공고시보를 14:31에 다시 발행하였다.

2.5.2 제주지방항공청

제주지방항공청은 공항운영자의 제설작업상황 등 보고된 내용의 확인과 활주로 개방 전에 안전저해 요인들에 대해 최종점검을 실시하는 역할을 할 필요가 있다.

제주지방항공청은 공항운영자의 제설작업 상황에 대한 감독활동과 활주로

개방 전 특별점검을 수행하였으나 활주로 교차지역에 쌓인 눈이 눈더미 최대 허용높이 기준을 벗어났음과 활주로25에 착륙하는 항공기에 안전장애 요인이 될 수 있음을 인지하지 못하였다.

제주지방항공청은 활주로 개방 전 특별점검 등 제설작업을 수행하는 공항 운영자와 상호 관련된 업무에 관련된 규정의 절차 및 내용을 보완하고 해당 관계자에 대한 교육을 강화할 필요가 있다.

3. 결론

3.1 조사결과

1. 제주공항은 1월 23일부터 1월 25일까지 총 강설량 약 16cm, 적설량 11~12cm이었고 24일 평균기온 -3°C, 최저 기온 -5.8°C였다.
2. 제주공항은 강설로 1월23일 17:50경 활주로07/25 폐쇄되었고 지속되는 강설로 1월25일 20:00까지 전 활주로를 폐쇄하는 항공고시보가 발행되었다.
3. 제주지역본부는 1월 23일 13:32경 처음 제설작업을 시작하여 1월25일 14:28경 활주로13/31 개방까지 총 16회의 제설작업을 하였고, 활주로 07/25에 대한 미끄럼측정은 총 6회, 활주로13/31에 대한 미끄럼측정은 1회 실시하였다.
4. 제주지역본부는 1월 25일 05:26경 활주로07/25의 제설작업을 완료하였고 05:54~06:01, 11:03~11:07, 12:41~12:45에 수행한 활주로07/25의 미끄럼측정 결과는 모두 양호였다.
5. 제주공항은 1월 23일 17:50경부터 1월 25일 20:00까지 활주로는 폐쇄되며 출발예정 승객 약 8만 명이 체류하게 됨에 따라 빠른 활주로 개방이 요구되는 상황이었다.
6. 제주지방항공청은 기상이 호전되며 1월 25일 12:24부터 폐쇄되었던 활주로07/25를 개방하는 항공고시보를 발행하였고 15:00부터 제주공항에 항공기운항을 시작하기로 하였다.
7. 1월25일 11:00경 관제탑요청으로 활주로31/13 제설작업에 투입된 제주 지역본부 제설작업팀은 활주로07/25 개방시각이 20:00에서 15:00로 앞

당겨졌음을 13:00경 인지하였고 13:50경 활주로31/13 제설작업을 완료하고 철수하였다. 13:57부터 14:00까지 활주로13/31의 미끄럼측정 결과는 양호하였다. 제주지역본부는 주기장지역 잔설작업을 마친 후 1월25일 16:00에 제설상황반 근무를 종료하였다.

8. 제주공항은 1월 25일 14:47경 ZE236편이 김포공항을 향하여 출발하며 항공기운항이 재개되었다. 이때 활주로07/25의 제설상태는 활주로 07/25 옆선표지 내측 약 10cm 부터 활주로 바깥쪽으로 폭 120~130cm, 높이 20~40cm의 눈더미가 옆선과 평행하게 활주로07/25 전반에 걸쳐 쌓여 있었다. 이는 눈더미 최대허용높이 기준을 초과한 것으로 제주지역본부의 활주로07/25 제설작업결과는 불량하였다
9. 제주공항의 운항이 재개되었을 때 활주로07/25와 활주로13/31의 교차지역 부근에 최대 약 1.5미터 높이의 눈더미가 생성되어 있었다. 이는 눈더미 최대허용높이 기준을 초과한 것으로 제주지역본부의 활주로 31/13 제설작업은 불량하였다.
10. 제주지역본부는 1월 25일 3회 이동지역 제설상태 점검을 하였으나 활주로07/25 옆선표지 부근의 눈더미와 양 활주로 교차지역의 눈더미가 최대허용높이 기준을 초과하였음과 이는 항공기 이착륙 시 안전저해 요인임을 인지하지 못하였다.
11. 제주지역본부 이동지역 표면 및 지장물점검표와 특별 자체안전점검의 점검표의 양식에는 눈더미 최대허용높이 기준 충족 등 제설작업결과에 대한 점검항목은 없었고, 활주로 미끄럼측정 양식에는 '눈더미'와 '제설작업 실시여부' 항목이 있으나 미끄럼 측정자는 이를 활주로 내의 제설상태로 국한하여 인식하였고 갓길의 눈더미 최대허용높이 기준 충족여부는 그들의 업무로 인식하지 않았다.
12. 제주지역본부의 제설관련 점검에서는 눈더미 최대 허용높이 기준 충족여

부를 누가 어떤 점검에서 확인하여야 하는 지가 정하여 있지 않았다.

13. 한국공항공사는 지속되는 강설의 경우 눈더미 최대허용높이 기준을 충족하기 위한 활주로등 부분의 제설방법 및 대책 등을 제설계획에 명시하여 이행할 필요가 있다.
14. 한국공항공사는 제설작업 및 안전점검에 관련된 요원들에 대하여 눈더미 최대허용높이 기준과 제설규정에 관한 교육이 부족하였다.
15. 제주지방항공청은 활주로개방 전 특별점검에서 활주로 교차지역의 눈더미가 최대허용높이 기준을 초과한 안전저해요인임을 발견하여 제거하지 못하였다.
16. 운항승무원은 유효한 항공종사자자격증명과 항공신체검사증명을 보유하고 있었고, 비행에 영향을 미칠 수 있는 특이사항이나 건강에 장애요소는 없었다.
17. HL7460은 항공법 및 관련 규정에 따라 유효한 감항증명서와 운항에 적합한 기능을 유지하였고 중량 및 평형은 제한범위 내에 있었다.
18. HL7460은 2016년 1월 19일 4번 엔진의 역추력장치 지시결함이 발생하였으나 2016년 1월 21일 정비작업 수행 후 결함이 수정되었다.
19. HL7460이 전파고도 52피트에서 제주공항의 바람은 284도 19노트, 전파고도 14피트에서 바람은 289도 11노트, 접지단계인 전파고도 0피트에서 바람은 225도 5노트로 기록되었다.
20. HL7460은 우측풍 착륙조작으로 전파고도 22피트에서 WING LOW 비행 방식으로 전환하였고 22:50:17.9경 활주로25 시단으로부터 약 1,805 피트(550미터) 지점에 접지하였다.

21. HL7460은 22:50:18.4경 1,920피트(585미터)지점에서 동체 중심부분이 활주로25 중심선에서 우측으로 약 2.22미터 벗어난 상태에서 4번 엔진이 눈더미에 충돌하였다. 이때 로컬라이저 경로의 벗어남은 0.02dot, 항공기 기수자세 2.2도, 경사각 우측 2.6도로 HL7460은 착륙접지조작을 정상적으로 수행하였다.
22. HL7460은 착륙 시 기수자세가 3°일 때 약 6.9°의 경사각, 접지 후 0°의 기수자세에서는 약 7.5°의 경사각에서 엔진이 활주로에 닿을 수 있다. 접지 전 1초부터 접지 후 5초까지 HL7460의 기수자세는 3.3~-0.3도, 경사각은 2.1~3.9도였다. 따라서 HL7460은 교범에 따라 측풍착륙조작이 정상적으로 수행되었다.

3.2 원인

위원회는 대한항공 HL7460 착륙 중 엔진손상 준사고의 원인을 다음과 같이 결정한다.

「한국공항공사 제주지역본부의 부적절한 제설작업으로 눈더미가 없어야 할 활주로25 우측 활주로등 안쪽 노면에 약 1.5미터 높이의 눈더미가 형성되어 있었고 이 눈더미에 항공기 4번 엔진이 충돌되어 손상되었다.

기여요인은 「① 한국공항공사 제주지역본부의 제설작업 및 점검에 대한 교육 미흡 ② 한국공항공사 제주지역본부의 제설작업 후 안전점검 미흡 ③ 제주지방항공청의 활주로07/25 개방 전 이동지역에 대한 최종점검 미흡」으로 결정한다.

4. 안전 권고

2016년 1월 25일 제주공항에서 발생한 대한항공 HL7460 착륙 중 엔진손상 준사고 조사결과에 따라 항공.철도사고조사위원회는 다음과 같이 안전권고를 발행한다.

4.1 한국공항공사에 대하여

1. 눈더미의 최대허용높이 기준이 충족된 상태로 제설작업이 완료되도록 공항별 제설계획을 보완하고 제설 관련 요원을 교육 (AIR1601-1)
2. 눈더미 최대허용높이 기준의 충족 여부를 확인할 수 있는 방법을 미끄럼 측정결과서와 이동지역 표면 및 지장물 점검표의 양식에 반영하여 적용 (AIR1601-2)

4.2 제주지방항공청에 대하여

1. 눈더미 최대허용높이 기준이 충족된 상태로 활주로 개방이 되도록 관련 규정과 최종점검절차를 보완하고 관련 요원을 교육 (AIR1601-3)