

# 항공기사고 조사보고서

비행 중 엔진 정지로 불시착

청주대학교

DA-40NG, HL1251

전라남도 신안군 암태면 추포해수욕장

2017. 12. 3.



2019. 12. 18.

이 항공기사고 조사보고서는 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.”*고 규정하고 있으며,

국제민간항공조약 부속서 13, 3.1항과 5.4.1항에는

*“사고나 준사고 조사의 궁극적인 목적은 사고나 준사고를 방지하기 위함이며  
므로 비난이나 책임을 묻기 위한 목적으로 사용하여서는 아니 된다.  
비난이나 책임을 묻기 위한 사법적 또는 행정적 소송절차는 본 부속서의  
규정 하에 수행된 어떠한 조사와도 분리되어야 한다.”*고 규정하고  
있다.

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

만일 이 사고조사 보고서의 해석에 있어서 한글판과 영문판의 차이가 있을 때는 한글판이 우선한다.

## 항공기사고 조사보고서

항공·철도사고조사위원회, 비행 중 엔진 정지로 불시착, 청주대학교,  
HL1251, DA-40NG, 전남 신안군 암태면 추포해수욕장, 2017.12.3., 항  
공기사고 조사보고서, ARAIB/AAR1705, 대한민국 세종특별자치시

대한민국 항공·철도사고조사위원회는 독립된 항공사고조사를 위한 정부  
기구이며, 「항공·철도 사고조사에 관한 법률」 및 「국제민간항공조약」  
부속서 13의 규정에 의거하여 사고조사를 수행한다.

항공·철도사고조사위원회의 사고 또는 준사고 조사 목적은 비난이나  
책임을 묻고자 하는 것이 아니라 유사 사고 및 준사고의 재발을 방지  
하고자 하는 것이다.

주 사무실은 세종특별자치시에 위치하고 있다.

주소: 세종특별자치시 다솜2로 94, 국토교통부 5동 603호 우편번호: 30110

전화: 044-201-5447

팩스: 044-201-5698

전자우편: [araib@korea.kr](mailto:araib@korea.kr)

홈페이지: <http://www.araib.go.kr>

## 차례

표, 그림 차례 .....	iii
제목 .....	1
개요 .....	1
<b>1. 사실 정보 .....</b>	<b>2</b>
1.1 비행 경위 .....	2
1.2 인명 피해 .....	5
1.3 항공기 손상 .....	5
1.4 기타 손상 .....	6
1.5 인적 정보 .....	6
1.5.1 교관조종사 .....	6
1.5.2 학생조종사 .....	7
1.5.3 관속조종사 .....	8
1.6 항공기 정보 .....	9
1.6.1 항공기 일반정보 .....	9
1.6.2 장착 엔진 및 프로펠러 정보 .....	9
1.6.4 항공기 정비 이력 .....	10
1.6.4 중량 및 평형 .....	10
1.7 기상정보 .....	11
1.8 항행안전시설 .....	11
1.9 통신 .....	11
1.10. 비행장 일반정보 .....	13
1.11 비행기록장치 .....	13
1.12 잔해 및 충격정보 .....	14
1.12.1 동체 .....	14
1.12.2 날개 .....	15
1.12.3. 엔진 .....	15
1.12.4. 프로펠러 .....	15
1.13 의학 및 병리학적 정보 .....	15
1.14 화재 .....	15
1.15 생존분야 .....	16

1.16 시험 및 연구 .....	16
1.16.1 ECU 자료 .....	16
1.16.2 연료·엔진오일 분석 .....	17
1.16.3 엔진 검사 .....	18
1.16.3.1 4번 실린더 및 피스톤 정밀검사 .....	18
1.16.3.2 4번 커넥팅로드 .....	20
1.16.3.3 연료 분사기 검사 .....	22
1.17 조직 및 관리정보 .....	23
1.18 기타 사항 .....	25
1.18.1 진술에 의한 HL1251의 비행과정 .....	26
1.18.1.1 교관조종사의 진술 .....	26
1.18.1.2 학생조종사의 진술 .....	28
1.18.1.3 관속조종사의 진술 .....	29
<b>2. 분석 .....</b>	<b>31</b>
2.1 일반 .....	31
2.2 엔진 정밀검사 분석 .....	31
2.2.1 4번 연료분사기 결합 분석 .....	31
2.2.2 4번 피스톤 파손 분석 .....	32
2.3 엔진 결합 진행 분석 .....	34
2.4 ECU 자료 활용 .....	34
2.5 엔진오일 주기점검 .....	35
<b>3. 결론 .....</b>	<b>36</b>
3.1 조사결과 .....	36
3.2 원인 .....	37
<b>4. 안전 권고 .....</b>	<b>38</b>
4.1 청주대학교에 대하여 .....	38

## 표 차례

[표 1] 인명피해 .....	5
[표 2] 항공기 일반정보 .....	9
[표 3] 엔진 및 프로펠러 정보 .....	10
[표 4] 정시점검 수행현황 .....	10
[표 5] 전남 신안군 비금면 지당리 기상청 관측 자료 .....	11
[표 6] HL1251과 광주 접근관제소와의 교신내용 .....	12

## 그림 차례

[그림 1] HL1251의 비상착륙 경로(레이더 항적) .....	4
[그림 2] HL1251의 비행경로(진술서 및 레이더 항적 참고) .....	5
[그림 3] 항공기 파손상태 .....	6
[그림 4] 무안공항 활주로 현황도 .....	13
[그림 5] 불시착 잔해 모습 .....	14
[그림 6] ECU 자료 그래프 시현 .....	17
[그림 7] ①#4 실린더헤드, ②#4 피스톤 상단표면, ③#4 피스톤 상단표면 균열· 파손 부위, ④철사조각 자국 부위, ⑤균열파손 부위 확대사진 .....	20
[그림 8] 커넥팅로드, 커넥팅로드 스몰엔드 베어링, 파손부위 확대사진 .....	21
[그림 9] 엔진 연료 분사기 내부 “A throttle” Ball Valve Seat 사진 .....	22
[그림 10] 비행교육원 조직도 .....	24

## 비행 중 엔진 정지로 불시착

- 항공기 운영자: 청주대학교
- 항공기 제작사: 다이아몬드사
- 항공기 형식: DA-40NG
- 항공기 등록부호: HL1251
- 발생장소: 전라남도 신안군 암태면 추포해수욕장  
(E 34° 48' 32'', N 126° 3' 47'')
- 발생일시 : 2017년 12월 3일 14:15경(한국표준시각)<sup>1)</sup>

## 개 요

2017년 12월 3일 무안공항 남서쪽 20마일<sup>2)</sup> 비금도 공역에서 청주대학교 비행교육원 소속 교관조종사 등 3명이 탑승한 DA-40NG, 훈련용 비행기, HL1251이 비행훈련 중 엔진이 정지되어 비상선언 후 14:15경 전남 신안군 암태면 추포해수욕장에 불시착하였다.

이 사고로 조종사 2명이 중상을 입었으며 항공기는 전파되었다.

항공·철도사고조사위원회(이하“위원회”라 한다)는 사고의 원인을 「엔진 연료 분사기 내부부품 결함으로 과도한 연료가 공급되어 엔진 피스톤이 균열되고 커넥팅로드가 파손되어 엔진이 정지하였다」로 결정한다.

위원회는 사고 조사 결과에 따라서 청주대학교에 2건의 안전권고를 발행한다.

1) 이 보고서상의 모든 시간은 24시를 기준으로 한 한국표준시간 임.

2) 이 보고서상에는 미터법에 의한 측정단위 즉 국제단위계(SI) 길이 m, 질량 kg, 시간 s 등을 사용하며, 그 외 단위는 각주에 설명함. 마일(mile): 거리의 단위 1마일은 1.61km

## 1. 사실 정보

### 1.1 비행 경위

2017년 12월 3일 13:40경, 청주대학교 비행교육원(이하 “비행교육원”이라 한다) 소속 교관조종사, 학생조종사 및 관속조종사가 탑승한 훈련용 비행기 1251편, DA-40NG, HL1251(이하 “HL1251”이라 한다)가 전남 신안군 비금도 공역에서 학생조종사 비행훈련을 목적으로 무안공항을 이륙하였다.

14:05경 HL1251이 무안공항으로부터 남서쪽 약 20마일에 있는 비금도 공역 내, 고도 약 3,300피트에서 학생조종사의 공중조작 훈련 중에 엔진동력<sup>3)</sup>(이하 “동력”이라 한다)이 90%에서 85%까지 감소하였다.

HL1251의 동력이 85%까지 감소된 것을 확인한 교관조종사는 학생조종사에게 최대동력으로 상승시켜야 하는데 동력을 줄이느냐고 물었고, 학생조종사는 HL1251의 동력을 줄이지 않았다고 하였다.

다시 HL1251의 동력이 83%까지 감소된 것을 확인한 교관조종사는 항공기의 이상 징후를 느끼고 조종을 이양 받아 수평을 유지하면서 당사도 방향으로 기수를 변경하였다. 14:06:20경 HL1251은 광주접근관제소에 고도 3,100피트에서 시계비행으로 무안공항에 착륙하겠다고 보고하였다.

HL1251이 당사도 방향으로 비행 중에 “ECU<sup>4)</sup> Fail” 경고지시등이 켜지고 경고음이 울렸으나 다른 계기들은 모두 정상을 지시하였다. 그러나 HL1251의 엔진오일 압력이 서서히 떨어지고 동력도 함께 감소되며 순간적으로 약간의 기름 냄새가 난다고 느낀 교관조종사는 조종석의 벤트(vent)를 열어 냄새를 확인하였지만 더 이상의 기름 냄새는 나지 않았다고 하였다.

HL1251의 당시 고도는 2,900피트 정도, 동력 70%, 엔진오일 압력 2.4<sup>5)</sup>이

3) 엔진동력(power)

4) ECU(Engine Control Unit)



었고 그 외의 다른 계기는 모두 정상이었으며 당사도 방향으로 비행하면서 고도를 2,700 피트까지 강하하였다.

14:07:34경 광주접근관제소에서 HL1251에게 2,700피트를 계속 유지할 것인가를 물었고, 교관조종사는 엔진에 이상이 있어서 고도 2,700피트를 유지하겠다고 하였다. 이후 엔진오일 압력이 서서히 줄어들고 속도는 100노트<sup>6)</sup>, 동력 60%, 강하율은 350 fpm<sup>7)</sup>을 지시하였다.

14:09:14경 고도 2,500피트로 강하 중 광주접근관제소에서 HL1251에 문제가 있는지 물었고, 이에 교관조종사는 엔진과 엔진오일 압력에 문제가 있어 고도 유지가 어렵다고 대답하였다.

당사도로 계속 비행 중에 동력은 45%까지 감소되어 더 이상 감소되지 않았다. 다시 동력을 증가시켰지만 아무런 변화 없이 45%에 고정되어있고, 비행 중에 엔진오일 압력 1.7, 고도 2,000피트, 속도 95노트 정도이었다.

14:11:47경 교관조종사는 고도 1,800피트에서 항공기의 현재 상태로는 무안공항까지 비행할 수 없을 것으로 판단하였고, 강하하면서 광주접근관제소에 항공기의 이상으로 비상착륙을 선언하였다.

교관조종사는 비상착륙을 선언한 후에 엔진이 정지될 것을 예상하여, 암태면 해수욕장을 비상착륙장으로 정하고 고도 1,700피트, 엔진오일압력 0.6, 속도 90노트, 강하율 300fpm으로 강하하였다. 14:12:05경 암태면 해수욕장으로 선회 강하 중에 고도 1,400피트에서 엔진이 정지되었다.

HL1251은 항공기를 최적 활공속도(best glide speed) 88노트에 맞추고 해수욕장으로 활공을 시작하면서 14:12:25경 광주접근관제소에 “HL1251, 240Radial, 17Mile From 무안, Passing 1,400, 엔진 Fail, 엔진 Fail, 현 위치에

5) 엔진오일압력은 조종석 계기판에 막대그래프로 표시되며 1(bar)은 24.17psi, 정상범위: 2.5~6.0(bar)

6) 노트(Knot)는 속도 단위이며 1노트는 1시간에 1.853km를 이동하는 속도이다

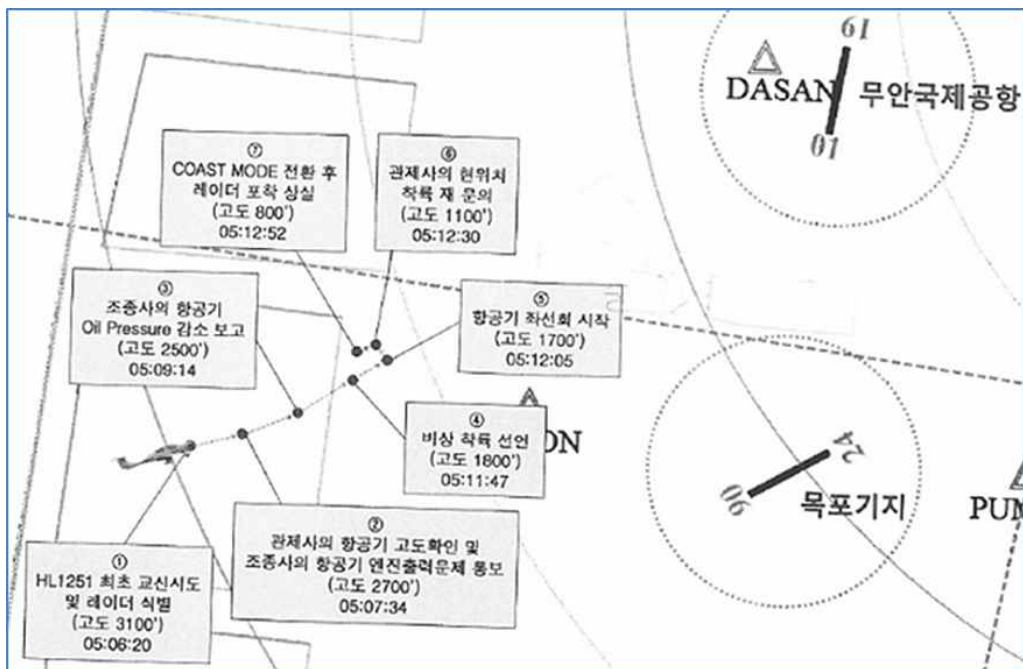
7) fpm(feet per minute): 분당 고도변화로 분당 상승률 또는 분당 강하율 표시

서 불시착할 것 같습니다”라고 보고하였다.

14:12:52경 HL1251은 고도가 800피트로 낮아져 광주접근관제소와 교신이 두절되었고, 광주접근관소의 레이더에는 더 이상 포착되지 않았다. HL1251의 비상착륙 경로는 [그림 1]과 같다.

HL1251은 계속 강하하면서 엔진 재시동을 시도하였지만 시동이 걸리지 않았고, 불시착으로 착륙거리를 줄이기 위해 바닷물에 수상착륙(ditching)<sup>8)</sup>을 시도하였으나 곧바로 정지되지 않고 바다물 위에서 3~4차례 튀며 나아갔다.

바닷물 위에서 튀며 나아가던 중 교관조종사는 방파제를 발견하고 정면으로 부딪치지 않기 위해 항공기 기수를 왼쪽으로 틀었으나, 추포해수욕장 북쪽 방파제와 부딪치면서 기체는 우측으로 90도 정도 회전하고 정지되었다. 이후 엔진 정지 절차를 수행하고 항공기에서 이탈하였다고 하였다. HL1251의 전체적인 비행경로는 [그림 2]와 같다.



[그림 1] HL1251의 비상착륙 경로(레이더 항적)

8) 수상착륙(Ditching): 항공기가 육지에 착륙이 불가할 경우 불가피하게 수면 상에 착륙, 수면 비상착수 또는 수상착륙이라고 부른다



[그림 2] HL1251의 비행경로(진술서 및 레이더 항적 참고)

### 1.2 인명 피해

이 사고로 교관조종사는 쇠골뼈 골절로 전라남도 목포시에 있는 병원에 입원 하였고 관속조종사는 허리통증으로 같은 병원에 입원하였으나, 학생조종사는 검사 결과 특이사항은 없었다. 인명피해는 [표 1]과 같다.

피해 정도	승무원	승객	기타
사 망	0	-	-
중 상	2	-	-
경상/무 피해	0/1	-	-
계	3	0	0

[표 1] 인명피해

### 1.3 항공기 손상

HL1251은 바다물 위에 착수하여 3~4회 튀며 전진하다가 방파제에 부딪쳐서

[그림 3]과 같이 전파되었다. HI1251은 기체보험<sup>9)</sup>, 승무원 및 승객보험, 대인·대물 등 제3자 피해보험에 가입되어 있었고, 사고 당일 보험은 유효기간 내에 있었다.



[그림 3] 항공기 파손상태

## 1.4 기타 손상

기타 손상 없음.

## 1.5 인적 정보

### 1.5.1 교관조종사

교관조종사(남, 만36세)는 유효한 사업용조종사 자격증명<sup>10)</sup>, 제1종 항공신체검사증명<sup>11)</sup>, 항공무선통신사자격증<sup>12)</sup>, 조종교육증명<sup>13)</sup>을 보유하고 있었다.

교관조종사는 2016년 3월 1일 비행교육원 비행교관으로 임용되었고, 총 비행시간은 1,048시간, 해당기종은 742시간 비행경험이 있으며, 최근 1주 동

9) 보험사: LLOYD'S AIRCRAFT POLICY AVIATION 1C, 보험기간: 2017.2.4.~2018.2.3.,

10) 사업용 조종사자격증명: 69\*\*(2008.10.10.)

11) 제1종 항공신체검사증명: 135-27\*\*(2018.1.31까지 유효)

12) 항공무선통신사자격증: 13-34-1-05\*\*(2014.1.20.)

13) 조종교육증명: 12-0100\*\*(2015.10.22.)

안 17.8시간, 30일 동안 55.6시간, 90일 동안 121.2시간의 비행경험이 있었다.

교관조종사의 사고발생 전 3일간 행적으로는 11월 30일부터 12월 2일까지 무안비행교육원에 오전 11시경 출근하여 오후에 2시간, 야간에 2시간 정도 학생조종사 훈련비행을 실시하고 오후 8:30경 퇴근하여 23:00경 취침하였다.

교관조종사는 사고 당일 12월 3일 11:00경 출근하여 학생조종사들과 함께 비행 전 브리핑을 실시하였으며, 점심식사 후 12:40경 HL1251의 외부점검을 하고 비행을 시작하였다.

교관조종사는 비행 전 24시간 이내에 음주나 허가되지 않은 약물을 복용하지 않았다고 하였다.

## 1.5.2 학생조종사

학생조종사(남, 만24세)는 유효한 자가용조종사자격증<sup>14)</sup>, 제1종 항공신체검사증명<sup>15)</sup>, 항공무선통신사 자격증<sup>16)</sup>을 보유하고 있었다.

학생조종사의 총 비행시간은 188시간, 해당기종은 104시간 비행경험이 있으며, 최근 비행경험은 1주 동안 8시간, 30일 동안 14시간, 90일 28시간의 비행경험이 있었다.

학생조종사의 사고 전 3일 간 행적으로는 11월 30일 무안비행교육원에 오전 11시경 출근하여 오후비행을 준비하고 대기하던 중 강풍으로 인하여 비행이 취소되어 자습하다가 20:00경 퇴근하였다. 12월 1일과 2일은 오전 11시경 출근하여 오후에 2시간 훈련비행 후 20:00경 퇴근하였고 24:00경 취침하였다.

14) 자가용조종사자격증명: 서13-0055\*\*(2015.08.24)

15) 제1종 항공신체검사증명: 188-001\*\*(2016 8. 31까지 유효)

16) 항공무선통신사자격증: 14-34-4-01\*\*(2014.7.29.)

사고 당일 12월 3일 11:00경 출근하여 교관조종사와 함께 비행 전 브리핑을 마치고, 점심식사 후 12:40경 HL1251의 외부점검을 하고 비행을 시작하였다.

학생조종사는 비행 전 24시간 이내에 음주나 허가되지 않은 약물을 복용하지 않았다고 하였다.

### 1.5.3 관속조종사

관속조종사(남, 만23세)는 유효한 자가용조종사자격증<sup>17)</sup>, 제1종 항공신체검사증명<sup>18)</sup>, 항공무선통신사 자격증<sup>19)</sup>을 보유하고 있었다.

관속조종사의 총 비행시간은 181시간이었다. 해당기종은 88시간 비행경험이 있으며, 최근 비행경험은 1주 동안 5시간, 30일 동안 19시간, 90일 동안 58시간의 비행경험이 있었다.

관속조종사의 사고 전 3일 간 행적으로는 11월 30일 무안비행교육원에 오전 6시에 출근하여 2시간 훈련비행을 하고 오후 2시경 퇴근하였으며, 저녁에는 자습하고 23:00경 취침하였다. 12월 1일은 오전 6시에 출근하여 2시간 평가비행을 실시하였고 오후 2시경 퇴근하여 휴식 후 23:00경 취침하였다. 12월 2일은 비행이 없었으며, 숙소에서 휴식하면서 다음 비행훈련과목을 자습하였다.

사고 당일 12월 3일은 오전 6시에 출근하여 2시간 동안 비행하였고, 오후에는 HL1251의 후방석에 탑승하여 관속 비행하였다.

관속조종사는 비행 전 24시간 이내에 음주나 허가되지 않은 약물을 복용하지 않았다고 하였다.

17) 자가용조종사자격증명: 13-0057\*\*(2015.08.24)

18) 제1종 항공신체검사증명: 188-001\*\*(2016.8.31까지 유효)

19) 항공무선통신사자격증: 13-34-4-00\*\*(2014.7.29.)

## 1.6 항공기 정보

### 1.6.1 항공기 일반정보

항공기 일반정보는 [표 2]와 같다.

등록사항			
등록부호	HL1251	등록일자	2016. 02. 29.
등록업체(소유주)	청주대학교	사업구분	자가용
일반 현황			
제작사	Diamond Aircraft	형식	DA-40NG
제작연월일	2015.09.28.	제작번호	DA298
너비×길이×높이(m)	11.6×8.0×1.9	최대이륙중량	1,310kg
항속거리	1,482km	최대순항속도	287km/h
탑승좌석	4석	감항 증명	'17.3.18~'18.3.17
사용시간	1,200.2 <sup>20)</sup>	이착륙횟수(Cycle)	1,139

[표 2] 항공기 일반정보

### 1.6.2 장착 엔진 및 프로펠러 정보

HL1251은 아스트로 엔진 회사<sup>21)</sup>(이하 “엔진제작사”라 한다)에서 제작한 엔진과 Mt-Propeller사<sup>22)</sup>에서 제작한 가변피치 프로펠러가 장착되어 있었으며 엔진과 프로펠러의 정보는 [표 3]과 같다.

엔진은 2015년 7월 1일 제작되었고, 2015년 9월 9일 HL1251에 장착되었다. 엔진제작사에서 권고하는 현재 엔진의 오버홀 주기는 1,800시간이며, 2015년 4월 22일 1,500시간에서 1,800시간으로 연장<sup>23)</sup>되었다.

20) 총사용시간은 12.2일 1197.1 시간 및 1,137 L/D CYC 후 12.3일 2회 비행(총 3.1시간)후 사고 발생하여 보고서에는 항공기·엔진 등의 사용시간은 총 2,000.2 시간 및 1,139 CYC 로 기준함.

21) Austro Engine GmbH: 오스트리아 소재 소형항공기 엔진 제작업체

22) 독일 소재 항공기 복합 프로펠러 제작업체

23) 주기연장 근거문서: 엔진제작사 Service Information SI No. SI-E4-001/2(2015.4.22.)

엔진 정보			
제작사	Austro Engine GMBH	형식	E4-A300
제작일련번호	E4-A-00372	제작연월일	2015.07.21
장착일	2015.09.09	총사용시간	1,200.2('17.12.03.현재)

프로펠러 정보			
제작사	Mt-Propeller	형식	MTV-6-R/190-69
제작일련번호	150389	제작연월일	2015.07.01
장착일	2015.09.09	총사용시간	1,200.2('17.12.03.현재)

[표 3] 엔진 및 프로펠러 정보

### 1.6.4 항공기 정비 이력

HL1251의 정시점검은 청주대학교 무안비행교육원 정비업무절차 및 DA-40NG AMM<sup>24)</sup>에 의거 100·200·1,000·2,000시간 주기점검을 수행하도록 정하고 있다.

HL1251은 제작사 정비메뉴얼이 권고하는 검사프로그램에 따라 [표 4]와 같이 “100시간 점검”, “200시간 점검”, “1,000시간 점검”을 비행교육원소속 항공정비사가 수행하였다.

2017년 11월 1일 이후 탑재용 항공일지 결합 기록에는 계기 판넬 밝기조절 스위치 작동불량으로 동 부품을 교환한 기록만이 있었다.

점검종류	기체시간	엔진시간	수행일자
100 시간 점검	1,103.4	1,103.4	2017.11.02
200 시간 점검	1,003.0	1,003.0	2017.09.26

[표 4] 정시점검 수행현황

### 1.6.4 중량 및 평형

24) Aircraft Maintenance Manual Chapter05, Doc# 6.02.15 Rev.3(2017.Sep01)



해당사항 없음.

### 1.7 기상정보

HL1251이 비금도 공역에서 비행훈련중일 때, 비금도 지역의 기상은 [표 5]와 같이 바람은 남동쪽에서 남쪽으로 시속 4km~9km 정도, 시정은 16km 이상, 운고는 10,000피트 이상으로 시계비행 기상상태이었다.

[ 매분관측자료 ] 비금 743 (8m) / 2017.12.03.14:30 / 전라남도 신안군 비금면 지당리

시:분	강수	강수15	강수60	강수6H	강수12H	일강수	기온	풍향1	풍속1	풍향10	풍속10	습도		
14:30	○	0	0	0	0	0	13.3	207.2	SSW	2.4	213.8	SW	2.0	61
14:20	○	0	0	0	0	0	13.1	157.5	SSE	1.6	194.5	SSW	1.4	61
14:10	○	0	0	0	0	0	12.9	194.1	SSW	2.4	171.0	S	1.9	62
14:00	○	0	0	0	0	0	13.0	202.6	SSW	1.7	154.8	SSE	1.5	62
13:50	○	0	0	0	0	0	12.8	183.1	S	1.5	170.0	S	1.5	63
13:40	○	0	0	0	0	0	12.4	162.2	SSE	2.1	155.9	SSE	1.9	65
13:30	○	0	0	0	0	0	12.5	137.3	SE	1.2				63

[표 5] 전남 신안군 비금면 지당리 기상청 관측 자료

### 1.8 항행안전시설

해당사항 없음.

### 1.9 통신

HL1251이 광주접근관제소와 교신 시 통신장애는 없었으며, 주요교신 내용은 [표 6]와 같다.

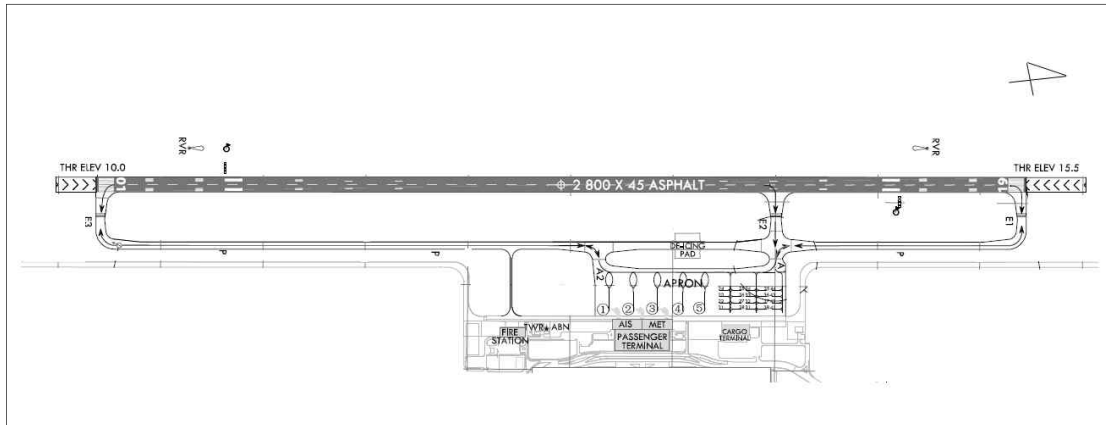
송신시간	송신자	교신내용
14:06:20	1251	Gwnagju Approach, HL1251, VFR to Muan Full Stop
14:06:26	C	HL1251, IDENT
14:06:52	C	HL1251, Radar CTC 49miles SW of KWJ, Maintain VFR
14:06:58	1251	Maintain VFR, 1251
14:07:34	C	HL1251, Say Passing Altitude
14:07:37	1251	HL1251, Maintain 2,700'e
14:07:44	C	HL1251, 2,700' 유지하실건가요?
14:07:46	1251	HL1251, 네 그렇습니다. 지금 엔진이 조금 출력이 문제가 있어서 2,700을 유지하도록 하겠습니다.
14:07:52	C	HL1251. Roger
14:09:22	1251	HL1251, 저희 지금 바로 당사도로 가고 있는데요, 지금 Oil Pressure가 계속 떨어지고 있거든요 그래서 일단은 계속 당사도 쪽으로 진행은 하는데, 중간에 다시 한 번 보고 드리도록 하겠습니다.(2,500')
14:09:37	C	HL1251, 뭐가 떨어지고 있다고요?
14:09:40	1251	Oil Pressure가 좀 계속 떨어지고 있고요, 아...엔진에 조금 문제가 생긴 것 같아요, 중간에 중간 중간 다시 보고 드리도록 하겠습니다.
14:09:50	C	HL1251, Roger
14:10:26	C	HL1251, Emergency Landing 선언하실 건가요?
14:10:30	1251	아, 현재는 그렇지 않습니다. (2,200')
14:11:04	C	HL1251, 고도는 계속 유지하실 건가요?
14:11:09	1251	고도는 유지 못하고 조금 조금씩 강하 중입니다.
14:11:47	1251	HL1251, 엔진 Fail 저희 Emergency Landing 합니다. 현재 위치는 HL1251 17miles.. 무안, 현재 위치에서 Emergency Landing 하도록 하겠습니다.(1,800')
14:12:03	C	HL1251, Roger Say Your Intention
14:12:06	1251	HL1251, 17miles 240radial from 무안, Passing 1,400', 현재 위치에서 Emergency Landing 하도록 하겠습니다
14:12:21	C	HL1251, B Point로 Direct으로 가시겠습니까?
14:12:25	1251	아닙니다. 현재 엔진 Failure 됐습니다. 현재 위치에서 그냥 Landing 하도록 하겠습니다.(1,300')
14:12:30	C	현 위치에서 Landing 하신다구요?
14:12:32	1251	네, 현재 강하 중입니다.(1,100')
14:12:41	C	HL1251, 그럼 현재 엔진 Failure 상태입니까?(900')
14:12:46	1251	Affirmative, 엔진 Failure 상태입니다.
14:12:49	C	Roger
14:12:51	1251	현재 제 위치 확인되셨나요?
14:12:53	C	HL1251, 현재 Radar Contact Lost 되고 있습니다.
14:13:03	C	HL1251, Radio Check

\* C: 광주접근관제소, 1251: HL1251.

[표 6] HL1251과 광주 접근관제소와의 교신내용

### 1.10. 비행장 일반정보

무안공항의 활주로는 [그림 4]와 같이 01/19 방향으로 길이 2,800m, 폭 45m 이며 아스팔트로 포장되어 있다.



[그림 4] 무안공항 활주로 현황도

### 1.11 비행기록장치

HL1251에는 비행기록장치 장착이 의무사항이 아니므로 장착되어있지 않았으나 항공기 조종실에 장착된 전기식 엔진제어장치(EECU<sup>25)</sup>, 이하 “ECU”라 한다) 자료를 활용하였다.

사고 당시 조사관이 현장에 출동하여 HL1251의 ECU 자료 중에, 추포해수욕장에 불시착하여 정지한 시각부터 역으로 1시간 분량의 자료를 내려 받았다. 그 후 HL1251의 잔해를 김포 사조위로 유치하여 ECU에 저장된 모든 데이터를 내려 받았으며, 엔진제작사에서 제공하는 프로그램<sup>26)</sup>을 사용하여 자료를 분석하였다.

25) EECU(Electric Engine Control Unit): ECU(Engine Control Unit) A 및 ECU B 로 구성되어 있으며 조종석 밑에 장착되어져 있음. 엔진의 주요자료를 받아 엔진작동을 제어하는 전자부품이며 조종사에게 주요작동 Parameter 시현 및 결함을 알려주고 자료를 축적하여 필요시 다운로드 가능

26) ECU Program: Austro Engine AE300-Wizard, 엔진 파라미터는 A·B Chanel에 Booster Pressure, Propeller Speed, Engine Oil Pressure 등 총 16개의 엔진 파라미터가 저장

## 1.12 잔해 및 충격정보

### 1.12.1 동체

H11251의 T-자형 꼬리날개는 항공기가 방파제에 부딪쳐 기수가 우측으로 갑자기 회전되면서 파손되었다. 이는 기체가 방파제에 부딪치면서 발생한 과도한 요 모멘트<sup>27)</sup>가 항공기 무게중심<sup>28)</sup>을 기준으로 굽힘으로 작용하였고, 복합소재로 만들어진 기체구조상 단면적이 작은 동체 후미 부분에 응력집중이 발생하여 꺾기며 파손된 것으로 판단된다.

또한, 동체 하부는 전반적으로 [그림 5]와 같이 엔진 손상으로 흘러나온 검고 끈적이는 엔진오일로 심하게 오염되었다.



[그림 5] 불시착 잔해 모습

27) 수직방향축(Vertical Axis)에 대한 요(Yaw) 모멘트

28) 항공기 DP(Datum Plane)으로부터 2.40~2.469m 사이.

### 1.12.2 날개

HL1251의 우측날개는 방파제와 부딪쳐 동체와 연결되는 부위에서 분리되어 파손되었으나, 좌측 날개는 위를 향하며 선회하여 손상을 입지 않았다.

### 1.12.3. 엔진

엔진의 상부는 [그림 5]와 같이 비교적 깨끗하였으나 하부는 엔진오일이 흘러나와 검게 오염되었다. 엔진 하부와 동체 전방 하부는 흘러나온 엔진오일로 검고 끈적이는 오염현상이 심하였다.

### 1.12.4. 프로펠러

프로펠러는 [그림 5]와 같이 블레이드 3개 중 아래 부분에 해당하는 2개의 블레이드가 뿌리로부터 1/3 지점에서 파손되었으나 윗부분에 위치한 블레이드는 손상을 입지 않았다. 12시 방향에 위치한 프로펠러가 손상을 입지 않은 이유는 HL1251이 불시착시 엔진이 정지되었거나 윈드밀링 등 저속상태이었음을 보여준다.

## 1.13 의학 및 병리학적 정보

해당사항 없음.

## 1.14 화재

이 사고로 화재는 없었다.

## 1.15 생존분야

안좌119안전센터는 14:17경 출동지령을 받고 14:37에 현장에 도착하였다. 현장에 도착한 안좌119안전센터 구급대원들이 항공기 탑승자 3명이 전원 탈출한 것을 확인하였다.

현장을 확인한 안좌119안전센터 구급대원들이 14:56경 소방헬기 출동을 요청하였고, 15:00경 환자상태를 확인하고 응급처치 후에 암태면 보건지소로 1차 이송하였다. 그 후에 15:40경 소방헬기로 1명을 목포에 위치한 병원으로 이송하였고 16:19경 귀소 하였다.

이 사고에 출동한 인원은 소방 13명, 경찰 2명, 기타 2명이었으며, 장비는 지휘차량 1대, 구급대 1대, 펌프 2대, 소방헬기 1대, 경찰차량 1대, 기타 1대로 전체 8대이었다.

## 1.16 시험 및 연구

### 1.16.1 ECU 자료

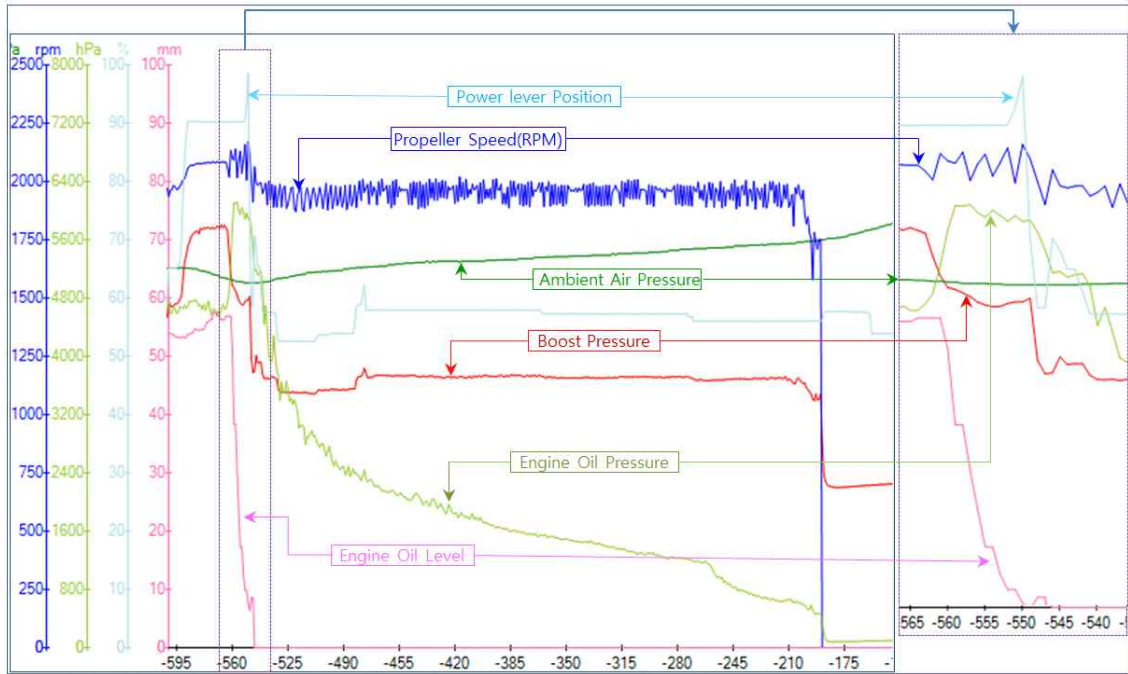
사고 당시 HL1251로부터 내려 받은 ECU 자료를 엔진제작사 프로그램을 사용하여 [그림 6]와 같이 그래프로 작성하였다. 그래프를 분석한 결과, 시간을 나타내는 X축 약 -565초<sup>29)</sup> 이후 약 10초간 파워 레버(power lever) 변동 없이 부스트 압력<sup>30)</sup>이 떨어지는 현상이 나타났고, 엔진오일 압력이 증가하였으나 오히려 오일 량이 감소하는 이상 현상이 나타났다. 이는 비정상적인 엔진작동이 시작되었음을 보여준다.

이후에 엔진(프로펠러)회전수에 변동이 심하였고, 부스트 압력은 낮은 상

29) ECU data 마지막 기록 시간으로부터 역으로 환산한 시간(초 단위)으로 마이너스(-) 단위가 붙으며 -565는 ECU 기록저장이 종료된 시점으로부터 565초전을 의미함.

30) 부스트 압력(Boost Pressure): 내연기관의 흡기압력. 보통 흡기관의 평균압력을 가리키며, 스톱밸브가 있을 때는 밸브 바로 뒤의 압력

태에 머물러 있었다. 또한 엔진오일압력은 계속 감소하였으며 동력이 줄어든 채로 엔진이 작동하였다. 동력이 줄어든 항공기는 하강하게 되었으며, 엔진 오일 레벨 감지기<sup>31)</sup>가 섬프(sump)내 오일이 없다는 것을 나타낸 후에도 엔진은 약 6분간 더 작동 후 멈췄다.



[그림 6] ECU 자료 그래프 시현

### 1.16.2 연료·엔진오일 분석<sup>32)</sup>

사고현장에서 HL1251의 연료 및 엔진오일을 채취하여 위원회 분석실에서 원소함량<sup>33)</sup>, 물질구조<sup>34)</sup> 및 수분함량<sup>35)</sup>을 분석한 결과 특이사항은 발견되지 않았다.

31) 엔진오일 레벨 감지기(Engine Oil Level Sensor): 오일량을 감지하는 센서. 물리적인 정보를 전기적인 신호로 바꾸주는 장치

32) 항공철도사고조사위원회 분석실 시험성적서('17.12.26)

33) ICP-OES(Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer)를 이용한 원소함량분석(Ag, Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Si, Sn, Ti, V, Zn 총 20종)

34) FT-IR(Fourier Transform Infrared Spectroscopy) Spectrum, GC-MS(Gas Chromatography Mass Spectrometry)물질구조 분석

35) Karl Fisher 시약과 물의 화학반응을 통해 시료의 수분함량을 측정하는 방법

아스트로 엔진의 100시간 검사항목<sup>36)</sup>에 따라 최근 수행한 엔진오일 분석 자료와 HL1251에서 채취한 엔진오일 분석 자료를 비교하려 했으나, 엔진오일을 엔진 제작사로 보내어 분석결과를 받아야하는 소요기간 문제로 의뢰하지 않고 있어 비교분석은 수행할 수 없었다.

### 1.16.3 엔진 검사

HL1251 추락 후 조사관이 현장에서 육안점검 당시 흘러나온 엔진오일로 엔진 하부는 오염이 심하였다. 항공기로부터 엔진을 장탈 하고 엔진하부를 육안 검사한 결과 4번 커넥팅로드가 작동되는 크랭크케이스 아래가 파손되어 구멍이 나있었다.

위원회는 사고 발생이전 엔진고장 또는 성능감소 가능성의 존재여부를 확인하기 위해, HL1251 엔진을 오스트리아 엔진제작사로 이송하여 2018년 5월 28일부터 5월 30일까지 한·오스트리아 합동<sup>37)</sup>으로 정밀조사를 수행하였다.

합동정밀조사에서 부품의 손상에 대한 외부 육안점검 결과, 엔진 4번 실린더의 피스톤과 커넥팅로드가 다른 실린더에 비해 심하게 손상된 것이 확인되어 4번 실린더의 관련 부품에 대해 집중적으로 정밀검사를 수행하였다.

#### 1.16.3.1 4번 실린더 및 피스톤 정밀검사<sup>38)</sup>

손상이 심했던 4번 피스톤은 [그림 7]의 ②와 같이 피로균열을 보였고, 이 균열은 [그림 7]의 ③, ⑤와 같이 피스톤 상단 표면<sup>39)</sup>과 연소 보울<sup>40)</sup> 사이의 경계 부분 하부에서 시작되었다. 이는 정상적으로 작동되지 않았던 연료 분사기(fuel

36) Scheduled Maintenance Check Cards(05-20-00), 100HRS 주기검사 점검카드의 05-20-09 Engine Oil

37) 위원회 조사관, 오스트리아 조사관, 제작사 전문가 참여

38) Examination Report(Analysis of a broken Piston), OGI-task-no.: 57.745(Austro Engine GmbH, 16.07.2018), Report File Name: 57745\_Austro\_Engine\_Examination\_Report\_#4 Piston.pdf

39) 피스톤 상단표면: Piston Crown, Piston Top Surface

40) 연소 보울(Combustion Bowl): 피스톤 상단표면(top) 움푹 들어간 부위를 연소 보울이라 칭함



injector)의 영향으로 인한 동적 굽힘 하중(dynamic bending loads)에 의해 발생하였다.

연료가 분사되는 지점에서의 피스톤 상단표면 재질강도와 탄성률은 비정상적으로 작동하는 연료분사기의 냉각효과로 주변의 재질보다 더 높게 유지되었다. 따라서 주변의 재질과 비교했을 때 피스톤 재질의 국부적인 인장능력(elongation capabilities)은 줄어든 채로 있었다.

이러한 국부적인 재질 상태로 인해, 피스톤 재질의 국부적인 피로한계를 초과하는 동적부하가 축적되어 동적 다축 열기계적 응력장<sup>41)</sup>이 발생할 수 있었다.

최초 균열 부위의 옆 표면에서는 응력이 집중되는 국부 노치효과<sup>42)</sup>는 발견되지 않았으며 미세 조직에서도 차이점은 보이지 않았다.

[그림 7]의 ②, ④와 같이 균열부위 옆의 피스톤 상단 표면을 손상시킨 작은 철사조각(wire piece)을 SEM<sup>43)</sup>으로 분석하였다. 분석결과 철사조각은 저 합금 실리콘-크롬-망간-철로 구성되어 있었으며 이는 오일 링 스프링 와이어에 사용된 재질<sup>44)</sup>과 유사한 것이었다.

그러므로 이 철사조각은 결함으로 생성된 것이지 결함의 원인은 아니다. 또한 피스톤 균열이 피스톤 링 홈(ring groove)에 도달하였을 때 오일 링은 손상되었고, 오일 링으로 부터 분리된 스프링 조각은 피스톤 상단 표면으로 들어가 타격을 가하였다. 이 때문에 철사조각이 [그림 7]의 ①과 같이 실린더 헤드<sup>45)</sup>에 닿을 때 더 많은 균열이 진전되었고, 균열 길이 또한 증가되면서 추가적인 하중이 가해졌다.

41) Dynamic Multiaxial Thermomechanical Stress Field(동적 다축 열기계적 응력장), 열기계적 응력 장: 온도차가 반복되어 형성되는 기계적 피로현상 즉 응력이 작용하는 공간

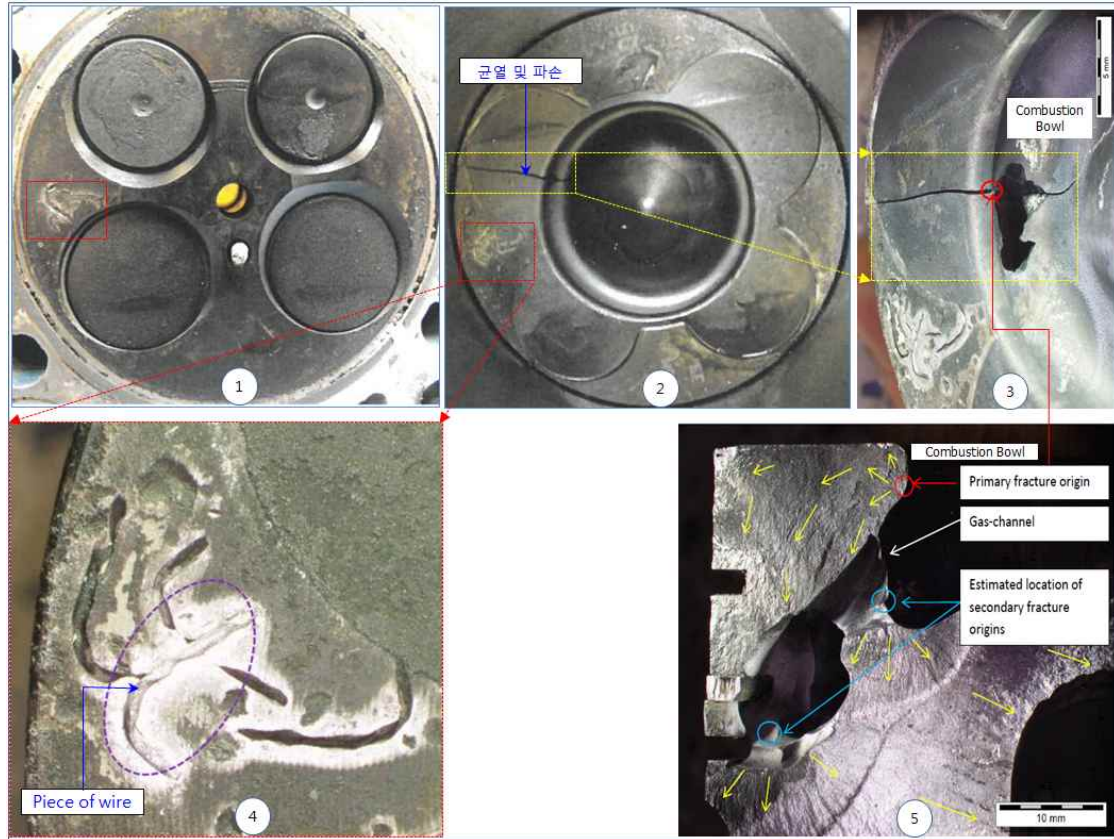
42) Notch Effect: 물체표면에 움푹하게 파인 곳에 응력이 집중되는 효과

43) SEM (Scanning Electron Microscope): 주사전자현미경

44) Steel 1.7102

45) Cylinder Head: 실린더 윗부분을 씌우는 덮개로 피스톤, 실린더와 함께 연소실을 형성하고, 흡입·배기통로를 개폐하는 밸브기구가 있는 부품

4번 피스톤 상단의 균열 및 파손으로 하우징 내 압력은 증가되었고, 커넥팅로드 베어링 시스템에서 오일이 유실되었다. 이로 인한 오일 부족으로 베어링 결함이 발생했고, 결국 피스톤이 실린더 헤드에 닿게 되었다.



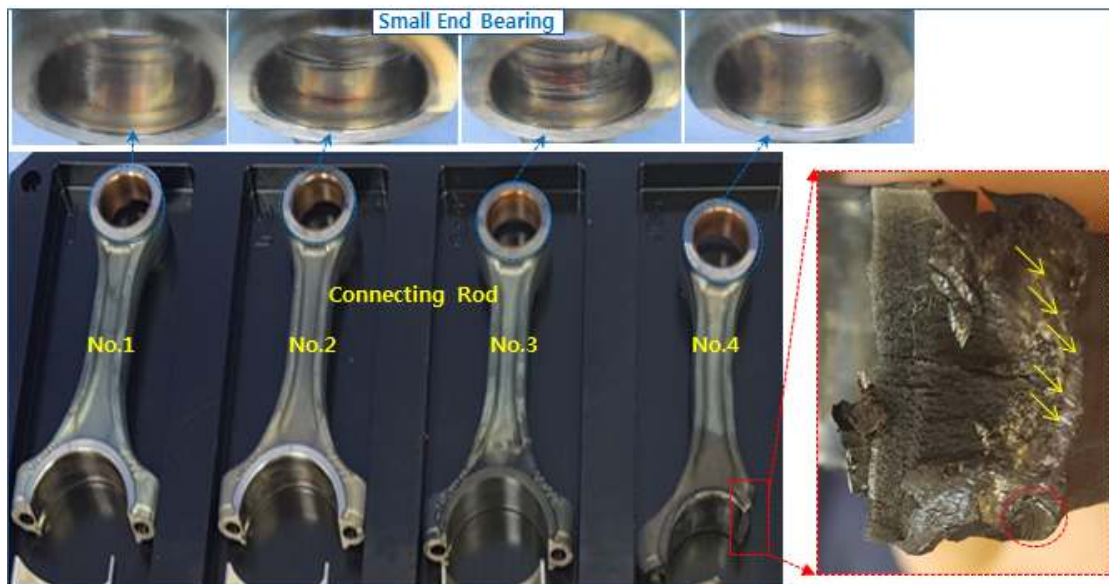
[그림 7] ① #4 실린더헤드, ② #4 피스톤 상단표면, ③ #4 피스톤 상단표면 균열·파손 부위, ④ 철사조각 자국 부위, ⑤ 균열파손 부위 확대사진

### 1.16.3.2 4번 커넥팅로드

엔진 분해조사에서 [그림 8]과 같이 4번 커넥팅로드 아래 베어링부위가 파손(cracked) 되고 로드 중간부위가 변형된 것이 확인되었다. 피스톤 핀에 연결되는 스몰엔드(small end) 베어링에는 약간의 마모와 가장자리 방향으로 마모가 증가한 현상이 있었다.

4번 커넥팅로드 스몰엔드 베어링은 2번·3번 커넥팅로드 스몰엔드 베어링과 같이 변색 현상은 발견되지 않았다. 변색되지 않은 가능성은, 4번 피스톤 상부면의 연소 보울의 균열로 연소 압력이 빠져나가 연소실 점화가 이루어지지 않고 이로 인해 상부 베어링에 작용되는 힘은 낮아졌기 때문이다.

또한 잔여 오일은 이 베어링을 윤활하기에 충분하여 변색되지 않았다고 추정되며, 이러한 현상은 오일 압력 감소이전 균열이 발생하였음을 나타낸다.



[그림 8] 커넥팅로드, 커넥팅로드 스몰엔드 베어링, 파손부위 확대사진

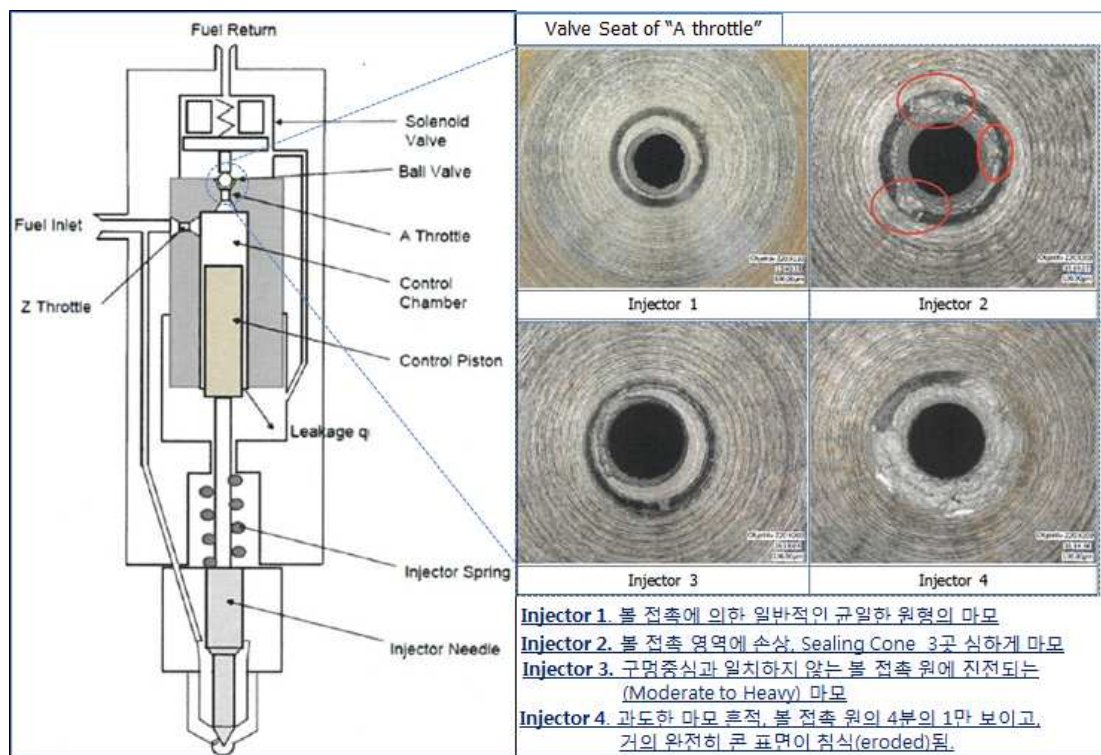
피스톤의 피로균열은 비정상적으로 작동한 연료분사기가 국부적으로 재질을 냉각시켜 연료분사 지점(spot)에서 국부적으로 추가 동적 다축 응력장이 발생하게 되어 국부적인 피로 한계가 초과되어 발생하였다.

피로균열은 피스톤 상단의 연료분사 지점 내에서 연소 보울로 유도되었고 피스톤 전체를 거의 쪼개 놓게 되었다.

### 1.16.3.3 연료 분사기 검사

엔진 합동정밀검사 시 엔진 연료분사 특성에 대한 점검 및 정밀검사가 필요하다고 판단되어 연료 분사기 정밀검사를 실시하였다.

[그림 9]는 연료 분사기를 분해 후 내부를 촬영한 사진이다. 분사기 내부를 육안으로 정밀 검사한 결과, 4번 연료 분사기 A 스로틀 밸브 시트에 과도한 마모가 발견되었으며, 2번 연료 분사기는 마모 결함이 시작되었음을 알 수 있다. 그 외 다른 연료 분사기 부품에서 과도한 마모는 보이지 않았다.



[그림 9] 엔진 연료 분사기 내부 "A throttle" Ball Valve Seat 사진

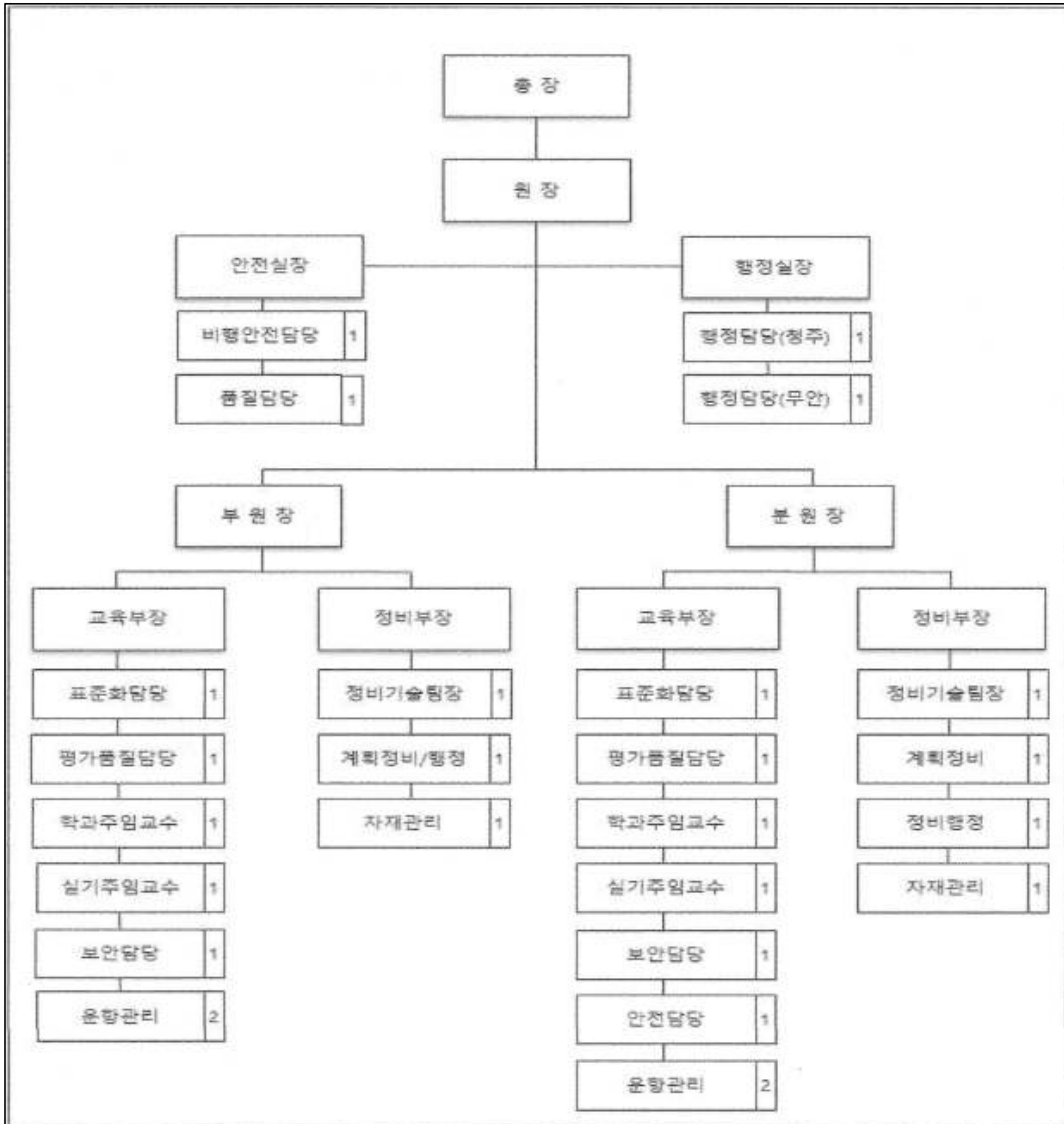
4번 연료분사기와 같이 A 스로틀 밸브 시트 마모가 심하여 제어실(control chamber) 압력이 누설로 인해 감소되면, 솔레노이드 밸브가 열릴 때 제어실의 압력이 정상보다 빠르게 떨어져서 오프닝 압력 균형이 조기에 도달하게 될 것이고, 연료분사기 니들(injector needle)은 평소보다 더 빨리 열리게 될 것이다. 이는 결국 연료분사의 시작을 앞당겨 진행되도록 만든다.

솔레노이드 밸브가 닫힐 때 제어실의 압력은 올라가며, 제어피스톤(control

piston)과 스프링에 가해진 압력이 니들에 가해진 노즐실 압력보다 크면 니들은 닫히게 된다. A 스로틀 밸브 시트 마모가 심하여 누설이 정상보다 많으면 제어실의 압력은 정상보다 천천히 증가하게 되고 니들은 더 늦게 닫힌다. 이는 정상 경우와 비교해볼 때 연료분사량이 더 증가하게 되는 결과를 가져온다.

### 1.17 조직 및 관리정보

청주대학교 비행교육원은 충청북도 청주시에 위치한 본원과 전라남도 무안군에 위치한 무안분원으로 조직을 운영하고 있다. 무안분원은 무안분원을 총괄하는 분원장과 교육부, 정비부가 있고 각 부는 부장과 부원으로 구성되어 있으며 조직도는 [그림 10]과 같다.



[그림 10] 비행교육원 조직도

비행교육원에서는 기본교육과정으로 계기비행한정과정, 사업용조종사과정과 선택교육과정으로 다발한정과정, 조종교육증명과정, 비행경력추가과정을 운영하고 있다.

교육부는 부장 외 비행교관 6명, 운항관리 2명이 교육계획 수립 및 운영, 조종훈련생 관리 및 지원, 비행훈련원 대외업무 총괄, 회의체 및 위원회 운영관리, 기타 교육운영 관련 업무를 담당하고 있으며, 지상학술, 비행실기 및 모의비행장치 교육, 조종훈련생 면담 및 지도, 시험비행, 안전 및 표준화회의



주관, 학술교육과 모의비행훈련장치 교육을 실시한다.

또한, 비행교육교안의 최신자료유지 및 학술교육, 모의비행훈련장치, 비행교육 관련 업무, 비행표준화 교육, 정기보수교육, 조종훈련생 비행실기 및 지상학술평가, 조종훈련생 비행교육 진도관리를 한다.

정비부는 부장 외 4명이 감항 검사, 항공기 부품확보 및 관리, 항공기 정비 및 관리 검사, 항공기 정비스케줄 관리, 정비기록문서의 보관 및 관리를 담당한다.

### 1.18 기타 사항

교관조종사는 비행교육원에서의 교관연성과정 지상교육 교과과정에 따라 과목 11에서 비상조치과목으로 가상 엔진고장 시 처치훈련<sup>46)</sup>(simulated engine flame-out), 비상착륙(forced landing)훈련, 수상착륙 훈련에 대한 이론교육을 받았다.

교관연성과정 비행교육 교과과정에 따라 비행훈련은 2016년 3월 1일부터 4월 8일까지 실시하였고 총 18회/25시간의 훈련과정 중 TR(training, 공중조작) - 4, 14, 15에서 가상 엔진고장 시 처치훈련을, TR-14, 15에서는 비상착륙훈련과 수상착륙훈련을 실시하였다.

또한, 교관조종사는 년 1회 평가관과 동승하여 가상엔진고장 시 처치훈련, 비상착륙훈련에 대한 훈련비행 및 평가비행을 실시하였다.

학생조종사 2명은 사업용 과정 훈련을 받고 있었으며, 가상 엔진고장 시 처치훈련, 비상착륙훈련, 수상착륙훈련에 대한 이론교육은 청주대학교 본교의 지상학과과정에서 이수하였으며, 무안교육원에서는 비행 전 브리핑 시 교

46) 가상 엔진고장 시 처치훈련: SFO(simulated engine flame-out)

관과 함께 비상처치절차를 다시 숙지하고 비행하고 있었다.

학생조종사는 18회(32.1시간) 비행훈련을 실시하였으며, 비행교육 중 TR-4, 5, 6, 7, 8에서 비상조치과목으로 가상 엔진고장 시 처치훈련, 비상착륙훈련을, TR-9에서 가상 엔진고장 시 처치훈련, 비상착륙훈련과 수상착륙훈련을 실시하였고, 관속조종사는 2회(3.3시간) 비행훈련을 실시하여 비상조치과목 실기훈련은 하지 못하였다.

### 1.18.1 진술에 의한 HL1251의 비행과정

#### 1.18.1.1 교관조종사의 진술

사고당일 13:40경, 교관조종사는 조종학생 훈련비행으로 무안공항에서 이륙 후 무안공항국지절차에 따라 비행하여 비금도 공역에 진입 후 고도 3,000피트에서 첫 번째 훈련과목인 샹델(chandelle)<sup>47)</sup>을 실시하였다.

첫 번째는 멀리 보이는 섬 2개를 참조하여 왼쪽부터 샹델 과목을 실시한 다음 오른쪽으로 샹델 과목을 수행하던 중 동력(power)이 92%에서 85%까지 감소하여 학생조종사에게 “최대 동력으로 상승해야 하는데 동력을 왜 줄이냐?”고 지적하였고, 학생조종사는 동력을 줄이지 않았다고 응답하여 즉시 비행계기를 점검하였는데 서서히 동력이 감소되었다.

당시 고도는 3,300피트였고 동력은 83%였으며, 항공기 엔진에 이상 징후를 느낀 교관조종사는 즉시 조종간을 이양 받아 항공기를 수평상태로 유지하고 기수를 당사도로 돌린 후 광주접근관제소에 교신하여 무안공항으로 귀환하겠다고 하였다.

당사도를 향하여 비행하면서 비행계기를 점검하던 중 “ECU FAIL” 경고

47) Chandelle: 조종사가 급격하게 180도 Turn 또는 Climb 하는 순간이 왔을 시 대처하기 위한 기동훈련



표시가 나타나면서 경고음(warning horn)이 울렸다. 당시 고도는 2,900피트, 엔진동력은 70%, 엔진오일 압력은 2.4를 지시하였으며, 다른 비행계기들은 정상이었다.

교관조종사는 항공기 고도가 계속 강하되어 2,500피트까지 내려가자 광주 접근관제소에 항공기 엔진에 이상이 있어 현재고도로 당사도로 진입하겠다고 통보하였다. 당시 항공기 속도는 100노트, 엔진동력은 60%, 강하율은 350fpm을 지시하였다.

광주접근관제소에서는 항공기 이상 현상 확인을 요청하였으며, 교관조종사는 엔진오일 압력에 이상이 있어 고도유지가 곤란하니 모니터를 해달라고 하였다. 계속하여 항공기 상태는 동력은 45%, 엔진오일 압력은 1.7 까지 떨어졌고 고도는 2,000피트까지 강하되었다.

교관조종사는 학생조종사들에게 엔진이 꺼질 수 있으니 안전벨트를 착용하라고 하였고 항공기가 불시착 할 수 있는 장소를 찾아보던 중 11시 방향에 작은 해수욕장이 있는 암태도를 발견하였다.

당시 항공기 고도가 1,700피트, 엔진오일 압력은 0.6, 속도 90노트, 강하율 300fpm으로 계속 강하 중이었다. 교관조종사는 학생조종사들에게 항공기 엔진이 꺼지면 암태도 해수욕장에 불시착한다고 하고, 기수를 암태도로 돌리는 중에 엔진이 꺼졌다.

엔진이 꺼진 상태에서 활공속도인 88노트를 유지하고 해수욕장으로 활공하면서 광주접근관제소에 비상상황을 통보한 후 엔진 재시동을 시도하였으나 시동이 걸리지 않았다.

해수욕장으로 활공하던 중 밀물<sup>48)</sup>때라서 비상착륙할 수 있는 모래사장의 길이가 짧아 수상착륙을 결심했다. 수상착륙중 항공기가 수면 위에서 3~4회

---

48) 바닷물이 들어오는 시간대

튀면서 전진하였다.

교관조종사는 전방에 있는 방파제를 확인하였고, 방파제에 정면으로 부딪치지 않기 위해 기수를 약간 왼쪽으로 틀었으나 방파제에 충돌(접근) 시 갑자기 우측으로 기수가 틀어졌다.

방파제에 부딪친 후 항공기에서 내려서 방파제로 걸어서 올라갔고, 지역 주민이 119구급대로 사고신고를 하였다고 하였다. 지역 주민에게 여기가 어디냐 물었고 지역주민은 추포해수욕장이라고 대답하였다.

공군, 서울지방항공청, 부산지방항공청, 무안공항비행정보실 에서 전화가 와서 사고 상황을 알려주었고, 즉시 인근보건소로 이동하여 승무원들의 몸 상태를 확인하였으며, 긴급 출동한 119구급헬기를 탑승하고 목포에 있는 병원으로 이송되었다.

#### 1.18.1.2 학생조종사의 진술

사고당일 13:40경, 훈련비행을 위해 무안공항을 이륙하여 광주접근관제소에 교신하고 비금도 공역에 진입하였으며 이때 시각은 13:55경으로 기억함. 고도 4,000피트로 비금도공역에 진입한 후 공역중심부에 들어서면서 고도를 3,000피트까지 강하하였다.

공중조작과목인 상텔을 왼쪽으로 연습한 후 오른쪽으로 상텔을 실시하던 중 동력이 급격하게 떨어지는 것을 느껴 계기를 보니 동력이 85%로 떨어졌음을 확인하였고 실속경고음이 들렸다. 교관조종사가 엔진동력을 왜 줄이냐 지적하여 동력을 줄이지 않았다고 하였다.

항공기 엔진에 이상 징후를 감지한 교관조종사가 항공기 조종을 이양 받았고, 엔진계기를 확인하던 중 엔진오일 압력이 서서히 감소하였으며, 광주

접근관제소에 엔진고장으로 무안공항으로 회항을 보고한 후 당사도 방향으로 비행 중 주계기 판넬<sup>49)</sup>에 엔진고장 메시지(ECU A, B FAIL)가 나타났다.

항공기가 당사도로 비행 중 동력은 70%를 지나 60%까지 떨어졌고 엔진오일 압력이 계속 감소하였으며, 고도가 2,500피트 이하로 강하되었다. 교관조종사가 무안공항으로 귀환할 수 없으니 비상착륙장소를 찾아보라고 하였고 항공기는 고도 2000피트 이하로 내려가고 있었다.

교관조종사가 광주접근관제소에 항공기 엔진에 문제가 생겨 고도유지가 어렵다고 통보하였다. 항공기 고도 1,500ft에서 엔진오일 압력이 '0'로 떨어지면서 엔진이 정지되었고 계기판에는 빨간색 엔진경고 메시지가 나타나면서 엔진경고음이 계속해서 들렸다.

교관조종사가 광주접근관제소에 현 위치에서 비상착륙을 하겠다고 여러 차례 통보하였으나, 항공기 고도가 낮아 송신이 안 되는 것 같았다. 광주접근관제소에서 레이더에서 사라졌다는(radar contact lost) 무전을 들었으며, 당시 고도는 1,000피트 이하이었다.

작은 해수욕장이 보이는 모래사장을 발견 후 비상착륙을 결심하였고, 교관조종사는 항공기 속도를 88~80kts를 유지하면서 활공하였다. 해수욕장 모래사장에 비상착륙을 하려고 하였지만 모래사장의 길이가 짧아서 수상착륙을 하였다. 항공기가 방파제에 부딪친 후 교관조종사와 함께 연료, 엔진, 전기 계통 스위치를 끄고 항공기에서 내려 방파제로 위로 걸어서 올라갔다.

### 1.18.1.3 관속조종사의 진술

사고당일 1:30경, 사고항공기 후방석에 탑승하여 무안공항을 이륙하였으며, 항공기가 비금도공역에 도착하여 고도를 3,000ft까지 강하하는 동안 지형지물

49) PFD(Primary Flight Display), 주계기 판넬

을 확인하고 학생조종사가 무엇을 보고 어떻게 조작하는지를 보고 있었다.

학생조종사가 상텔을 왼쪽으로 실시한 다음 오른쪽으로 실시하던 중 동력이 90% 이상이어야 하는데 85%로 되어있어, 교관조종사가 학생조종사에게 동력을 왜 낮췄냐고 하였으며, 학생조종사는 동력을 줄이지 않았다고 대답하였다.

교관조종사는 엔진이상 징후를 발견하고 항공기를 직접 조종하면서 엔진 계기를 점검하였고, 광주접근관제소에 엔진이상으로 무안공항으로 귀환하겠다고 했으며, 무안공항으로 가던 중 계기판에 엔진고장 메시지(ECU FAIL)가 나타나고 엔진오일 압력이 내려가는 것을 보았다.

항공기 엔진은 엔진오일 압력이 계속 떨어졌고, 경고음이 들리기 시작하였다. 그때 교관조종사가 학생조종사들에게 좌석벨트를 꼭 조이고 비상착륙할 장소를 찾아보라고 말하였으며, 교관조종사가 전방 작은 섬에 있는 모래사장을 발견 후 기수를 모래사장 쪽으로 돌리고 광주접근관제소에 현 위치에서 비상착륙을 시도하겠다고 통보하였다.

## 2. 분석

### 2.1 일반

위원회는 HL1251이 비행 중 엔진오일 압력이 떨어지고 엔진 정지로 불시착하게 된 사고의 원인 및 관련 요소들을 중점적으로 분석 하였다.

### 2.2 엔진 정밀검사 분석

위원회는 HL1251이 비행 중 엔진오일 압력이 떨어지고 엔진 정지에 대한 원인을 밝히고자 엔진을 오스트리아 엔진제작사로 보내 합동 정밀검사를 수행하였으며 정밀검사 내용 중 사고원인으로 추정되는 특정 부품 정밀검사에 대해 분석하였다.

#### 2.2.1 4번 연료분사기 결함 분석

4개의 연료분사기를 분해하여 정밀 검사한 결과, 4번 연료분사기에서 [그림 9]와 같이 A 스톱 밸브시트에 마모가 심한 것이 발견되었다.

이러한 4번 연료 분사기 A 스톱 밸브시트의 심한 마모는 4번 실린더 연료 공급을 정상보다 일찍 시작하고 늦게 정지함으로써, 다른 실린더보다 많은 연료가 과다 분사되는 결함으로 이어졌다.

4번 연료분사기의 다른 연료 분사기 에서 과도한 마모는 발견되지 않았다. 따라서 오염된 연료로 인해 연료 분사기의 결함이 유발되었을 가능성은 없었다.

4번 연료 분사기 밸브시트에서 발생한 과도한 마모 발생 원인을 캐비테이션 침식<sup>50</sup>(cavitation erosion)으로 판단한다. 밸브시트에서 마모가 발생한 것은 고속유체가 갑자기 느리게 진행되어 발생된 결과이다.

즉 연료흐름 진행 중 오리피스 내부 고속지역에서 증기기포(vapor bubbles)가 형성되며 오리피스를 빠져나가며 붕괴된다. 이러한 현상이 금속표면 근처에서 발생하게 되면 재질은 변형되고 과도한 응력을 받게 된다. 이러한 현상 뒤에는 입자 쪼개짐이 뒤따르는데 이를 침식(erosion)이라고 한다.

일부 밸브시트가 더욱 마모된 요인에는 밸브시트 경도, 표면 거칠기, 연료 및 표면 온도, 기하학적 차이 및 서로 다른 제어 플런저 스프링 힘 등이 있다

## 2.2.2 4번 피스톤 파손 분석

ECU 분석과 조종사 진술을 종합하면, 먼저 부스트 압력이 떨어짐과 동시에 오일 압력증가 현상이 뒤따랐으며 이와 반대로 오일량은 감소하였다. 이후 엔진 회전속도의 변동이 심해졌고, 부스터 압력이 낮아진 상태에서 엔진은 동력이 줄어든 상태로 약 6분정도 비행하였다.

이는 4번 피스톤 상부의 파손으로 실린더 내부 압력이 오일 계통으로 전달되어 오일 압력이 상승하고 오일은 누유 되는 현상과 유사하다.

당시 조종사의 진술에서 언급된 엔진 오일 및 동력 손실의 원인은 4번 피스톤 손상에 의한 가능성이 가장 높다. 이로 인하여 오일 누유현상과 엔진이 거칠게 작동되었고, 동체 하부에 누유현상이 발생 하였으며 이후 엔진이 정지 되었다.

4번 피스톤의 주요 균열은 실린더가 기계고장으로 파괴되어 구멍이 발생하기 이전에 생겨난 것으로 파악되었다. 피스톤의 균열은 그 어느 흔적 중에서도 최초 원인을 찾지는 못하였으나 연소실 가장자리의 하부 반경에서 시작되었다고 추정된다.

50) 침식(erosion): 재료가 국부적으로 충격적인 힘을 받음으로써 손상을 입는 현상. 고체뿐 아니라 액체 중의 기포나 기체중의 물방울 등의 충돌에 의해 발생할 수도 있다.

연료 분사기가 피스톤에 열 과부하를 발생시켰는지의 여부를 알기 위해, 엔진제작사에서 4개의 모든 연료 분사기의 분사특징에 대한 시험<sup>51)</sup>을 진행했다.

시험 결과는 4번 연료분사기에서, 최대부하 조건에서 심하게 증가한 분사량<sup>52)</sup>과 증가된 역류량<sup>53)</sup>이 확인되었다. 역류량은 연료분사기 내부에서의 마모에 대한 지표이다. 그러므로 4번 피스톤은 높은 분사량에 의한 열 부하(thermal load) 증가상태에 있다고 가정해 볼 수 있다. 다른 모든 연료 분사기들은 정상범위 내에 있었다.

연료 분사량 증가로 과열된 피스톤과 그로인해 재료강도 특성이 감소함이 균열의 근본원인일 가능성이 높다.

### 2.3 엔진 결합 진행 분석

조사결과, 4번 연료 분사기의 A 스토틀 밸브시트가 캐비테이션 침식으로 거의 완전히 손상되어 4번 실린더 내 연료 분사량이 증가되었으며, 이로 인해 과열된 피스톤과 재료강도 특성 변화가 4번 피스톤 균열의 근본원인일 가능성이 높다. 조사결과를 요약하면 다음의 이벤트 과정이 추정된다.

- 4번 실린더 연료 분사기 내부에 캐비테이션 침식이 진행되었고, 노즐 단힘을 유지하는 내부압력 균형이 방해받아 정상보다 많은 연료가 분사되었다.
- 연료분사 특성 변화로 인해, 4번 실린더 피스톤이 열 부하의 결과로 강도가 감소하여 균열이 생기기 시작했다.
- 4번 피스톤 상부 균열로 구멍이 뚫렸고, 불충분한 압축으로 4번 실린더에 점화가 발생하지 않았다. 이로 인해 엔진 분당회전수 변동이 생겼고 더욱이 오일 스크래퍼 스프링의 파편이 균열로 생긴 가스통로를 통해 연소실로 빨려 들어가 충격을 가중 시켰다.

51) report\_DISU\_6000\_2500bar\_C\_0445110324\_2018-06-18\_1544, \_1604, \_1622, \_1638

52) 실제값: 359mm<sup>3</sup>/행정(정상: 18~175mm<sup>3</sup>/행정)

53) backflow volume, 실제값: 152mm<sup>3</sup>/행정(정상: 080mm<sup>3</sup>/행정)

- 연소실과 크랭크케이스의 연결로 피스톤 냉각노즐에 의해 분사된 오일이 연소실로 들어가 오일이 손실되었고, 이 오일은 배기통을 통해 빠져나갔다.
- 각각의 흡입행정 중 크랭크케이스는 증가된 흡입공기로 초과 압력을 받았고, 이로 인해 엔진 오일 분리기를 통해 공기 유량을 증가시키게 되었으며, 일부 오일은 브리더 호스로 빠져나갔다.
- 엔진오일 일부는 배기통으로, 일부는 브리더 계통을 통해 빠르게 감소하였다.
- 엔진오일 압력이 줄어들어 엔진내부 베어링 마찰은 증가되었다. 특히 메인 베어링과 커넥팅로드 베어링 셀에서 그러하였다.
- 베어링 셀은 작동하는 엔진의 마찰에 의해 열이 증가하였다.
- 커넥팅 로드 베어링 셀의 재질은 연해졌고 변형되었으며, 피스톤은 상사점을 초과하여 움직일 수 있게 되었고, 이는 피스톤과 실린더 헤드 접촉으로 이어지게 되었다
- 과열된 4번 실린더의 커넥팅로드는 높은 펀칭 힘(punching force)에 추가되었다.
- 4번 실린더의 커넥팅로드는 가장 약한 부위에서 과응력(over stress)으로 인해 손상되었다.
- 손상된 커넥팅로드에 의해 크랭크 케이스는 구멍이 뚫렸고 엔진은 정지되었다.

## 2.4 ECU 자료 활용

ECU 자료에는 A·B Chanel에 엔진의 부스터 압력, 프로펠러 속도, 엔진오일 압력 등 총 16개의 엔진 파라미터가 장시간 축적되어 있다.

HL1251의 ECU 자료에는 불시착 발생 이전에 결함으로 추정되는 사전 징후는 발견되지 않았으나, 자료에 대한 활용은 필요하다고 본다.

비행교육원의 정비부는 결함발생시 고장탐구를 위해 ECU 자료를 다운로드하여 특이사항을 분석하고 있지만, 정기적으로 변화추이 등을 분석하거나 보고하지는 않고 있다.



ECU 자료에 대한 적절한 분석 프로그램을 개발하여 운용한다면 엔진 상태를 예측할 수 있고, 비행훈련 자료로도 활용할 수 있다. 또한 사고예방을 위해 ECU 자료를 사전에 분석하여 항공기를 관리할 수 있는 체계화된 시스템이 필요하다고 판단된다.

따라서 체계적이고 정형화된 ECU 자료 활용에 필요한 절차가 요구되며 조종·정비·품질관리 등의 관련자가 참여하는 정기적인 종합분석 회의체와 회의결과에 따른 조치가 제대로 이루어지는지 평가하는 품질관리 시스템 구축이 필요하다.

## 2.5 엔진오일 주기점검

아스트로 엔진의 100시간 주기점검 항목 중 하나인 엔진오일 교환 시, 사용했던 엔진오일은 서비스 키트(service kit)에 채취하여 엔진제작사로 보내어 검사토록 되어있다. 그러나 비행교육원은 엔진제작사로부터 엔진오일 검사 결과를 받아보는데 장시간이 소요된다는 실효성에 대한 문제로 이를 수행하지 않고 있다.

이번 사고가 엔진오일에 관련한 문제로 볼 수는 없으나, 사고조사 중 확인된 사항으로 비행교육원은 엔진의 100시간 주기점검 엔진오일 검사 의뢰에 대해 실효성 제고를 위한 검토가 필요하다고 본다.

### 3. 결론

#### 3.1 조사결과

1. HL1251의 교관 및 학생조종사들은 비행에 필요한 유효한 자격증명을 보유하고 있었으며, 비행에 영향을 미칠 수 있는 비행 전 특이 사항이나 장애요소는 없었다고 하였다.
2. HL1251는 항공안전법에서 정한 절차에 따라 적법한 항공기등록증명서, 감항증명서, 운용한계지정서 및 무선국허가증을 보유하고 있었다.
3. HL1251는 운항에 필요한 기체보험, 승무원 및 대인·대물 피해보험에 가입되어 있었고 사고 당시 유효기간 내에 있었다.
4. 불시착 당시 비금도 지역의 바람은 남동쪽에서 남쪽으로 시속 4~9km 정도, 시정은 16km 이상, 운고는 10,000피트 이상으로 시계비행이 가능한 기상상태이었다.
5. 교관조종사의 비행교관 임용관련 학술 및 비행훈련, 교관 임용 후 정기 평가와 학생조종사의 학술 및 비행교육 실적 자료 등을 검토하였으나 문제점은 없었다.
6. 사고 발생 전에 기체·엔진·시스템에 결함이 있었다는 증거는 발견되지 않았으며, 항공기 정비 및 점검은 규정에 따라 적절하게 수행되었으나 엔진 제작사에 의뢰하는 엔진오일 검사 정시점검 항목은 수행하지 않았다.
7. HL1251은 비행 중 갑자기 엔진오일 압력이 떨어지며 엔진이 정지되었고, 재시동을 걸었으나 걸리지 않아 암태면 추포 해변에 비상착륙하였다.
8. 엔진제작국인 오스트리아 사고조사관과 함께 엔진제작사에서 합동 엔진

점검을 진행하였으며 특정 부품은 정밀검사를 수행하였다.

9. 연료분사기 정밀점검 중, 4번 연료 분사기의 연료조절과 관련된 내부 부품에서 심한 마모가 발견되었으며 이로 인해 과도한 연료가 공급되었다고 판단하였다.
10. 엔진제작사는 연료분사기 내부부품의 조기 마모로 인한 연료 과다공급이 엔진정지를 유발할 수 있으므로 이에 대한 개선대책이 필요하다.
11. 비행교육원은 엔진 ECU 자료 분석 강화방안을 검토하여 항공기 관리와 비행 및 정비자료로 활용할 수 있는 체계화된 시스템이 필요하다고 판단된다.

### 3.2 원인

항공·철도사고조사위원회는 이 사고의 원인을 「엔진 연료 분사기 내부 부품 결함으로 과도한 연료가 공급되어 엔진 피스톤이 균열되고 커넥팅로드가 파손되어 엔진이 정지하였다」라고 결정한다.

#### 4. 안전 권고

2017년 12월 3일 14:15경 비행훈련 중 엔진정지로 전라남도 신안군 암태면 추포해수욕장에 불시착한 HL1251 항공기사고 조사과정에서 엔진제작사는 사고 예방을 위해 연료분사기 사용시간에 따라 강제 조기장탈하는 기술회보(MSB-E4-025, 2018.10.1)를 발행하였으며, 유럽연방항공안전청(EASA)은 후속조치로 매뉴얼 개정 및 정비 프로그램을 보완하는 감항성개선지시(AD 2019-0041, 2019.2.25.)를 발행하였다.

또한, 위원회는 이 사항을 이행토록 하는 안전권고를 발행하였으며 최종 조사 결과에 따라 다음과 같이 안전권고를 추가하여 발행한다.

##### ※ 안전권고(문서번호: 사무국-2549호, 2018.11.16.)

- (운영기관) 엔진 연료분사기를 제작사 발생 기술회보(MSB E4-025)에 따라 반드시 조기에 강제 교환하고 엔진작동상태(엔진오일 온도 등)를 모니터링할 것
  - \* 대상: Austro Engine 장착 비행기 21대(청주대9, 초당대11, 항공대1)
- (지방항공청) 대상 비행기의 해당 기술회보 적기 수행여부 확인 및 감독 철저

#### 4.1 청주대학교에 대하여

1. 엔진 ECU 자료를 체계적으로 분석·활용할 수 있는 시스템 구축 방안 검토(AAR1705-1)
2. 엔진제작사에 의뢰하는 엔진오일 분석의뢰 항목에 대한 실효성 제고 방안 검토(AAR1705-2)