

■ 論 文 ■

운송용항공기의 이륙단념속도 개선에 관한 연구

A Study on Takeoff Decision Speed Improvement of Air Transport Airplane

노 건 수

(대한항공(주) 운항훈련원 수석교관)

최 연 철

(한국항공안전교육원 교수)

유 광 의

(한국항공대학교 항공교통물류학부 교수)

목 차

- I. 서론
- II. 이륙단념속도의 개념 및 절차 고찰
 - 1. 이륙단념의 개념
 - 2. 이륙단념의 절차
- III. 이륙단념 사고의 분석
- IV. 실증분석
- V. 결론
- 참고문헌
- 1. 이륙단념 상황에 대한 인식
- 2. 이륙단념 모의실험
- 3. 현행 이륙단념절차에 대한 대안

Key Words : 이륙단념, FAA 인증기준, V_1 속도, 모의비행장치, 활주로 이탈

요 약

항공기 운항에서 이륙과 착륙단계는 가장 어려우며 많은 사고가 발생하는 위험한 과정이다. 이륙단계에서 발생할 수 있는 비상상황 가운데 가장 심각한 것은 이륙단념이다. 이륙단념 관련 사고의 대부분은 활주로 이탈사고로 연결되었는데 이와 관련하여 미국 NTSB는 사고발생의 주원인을 이륙이나 정지를 결심하는 시간지연으로 분석하였다. 본 연구는 이와 같은 이륙단념속도(시간)에 대한 조종사들의 인지도와 적합성을 검토하였는데, 먼저 현장에서 항공기를 운용하는 조종사를 대상으로 한 이륙단념 설문을 통하여 이와 관련된 인지여부를 비롯한 기초자료를 측정하였고, 그 후 무작위로 선정된 조종사를 대상으로 모의비행장치(Simulator)를 이용하여 이륙단념 상황을 부여하고 이에 따른 반응시간을 측정하여 현재 적용하는 기준과 비교하였다.

설문 결과, 일부 조종사들은 비행규정에 적용된 이륙단념의 기준과 현행 절차를 불만족스럽게 생각하고 있었다. 모의비행장치의 측정결과, 현장조종사의 이륙단념시간이 항공기 비행규정보다 1.5 초 더 소요되는 것으로 나타났으며 결국 현행 규정에 의한 V_1 속도에서 이륙단념을 하는 경우, 활주로 이탈로 이어질 가능성이 높은 것으로 분석되었다. 따라서 이륙단념 사고를 줄이기 위해서는 관련 규정에 대한 지속적인 교육이 필요하며, 실제로 안전한 이륙단념을 위하여 V_1 속도를 6노트 줄여서 사용하여야 이륙단념에 대한 안전성이 확보될 것이다.

Rejected Takeoff Accidents are not common, but if occurred, it leads to big disaster. From the year of 1959, when Jet Transport service opened, to the year of 2000, Rejected Takeoff accidents/incidents occurred total of 94 cases. All cases led to overrun, and major cause is to initiate stopping maneuvers over V_1 , takeoff decision speed, according to National Transport Safety Board of America.

Similar results are represented in Aviation Safety Reporting System of National Aeronautics and Space Administration. So I believe that it is worth studying if Airplane Flight Manual, which is the reference performance criteria, is appropriate to operations of line pilots. The definition of V_1 has been revised a couple of times and Rejected Takeoff Certification Standards for Transport Airplanes was changed in 1998. It shows that up to now there are some portions unreasonable. This study focused on gathering the pilot's tendency for current Rejected Takeoff Procedures of K airlines and analyze the factors they concern. I chose B777 airplane and actually measured the recognition and reaction time of the rejected takeoff transitions through Simulators. And compared the results with the data of flight test and Airplane Flight Manual.

I. 서론

항공운송은 1903년 라이트형제의 동력비행 이후 불과 100여 년에 지나지 않으나 여타의 운송수단과는 비교가 안 될 정도로 급속한 발전을 가져왔다. 2003년의 자료에 의하면 항공기의 안전도는 운송용 제트항공기의 경우 10만 시간당 0.02건(최대이륙중량 2,250 kg 이상의 항공기 기준)으로 운송수단 중 가장 낮은 사고율을 보이고 있다(ICAO, 2003).

항공기의 조종은 고도의 기술이 필요하며 이 가운데에서도 이륙과 착륙이 가장 어려우므로 이 단계에서 항공기 사고가 많이 발생되고 있다(Boeing, 2004).

항공기의 이륙은 가장 높은 추력으로 운용되며 급속한 가속으로 인하여 엔진이나 타이어 고장이 발생할 확률이 상대적으로 높다. 이륙단계의 비상상황 중에 가장 심각한 문제가 될 수 있는 것이 이륙단념(Rejected Takeoff: RTO)이다.

제트가 본격적으로 운용되기 시작한 1959년부터 2000년까지 총 94건의 이륙단념과 관련된 사고가 발생되었고, 이 가운데 대부분은 활주로 이탈사고로 이어졌다. 미국교통안전위원회(NTSB)는 사고발생의 주된 원인이 이륙단념을 결심하고 반응하는 시간이 지연된 것이라고 분석하고 있다.

이륙단념속도에 대한 정의는 미국연방항공법(FAR)에 명시되어 있으며 2회(1978년, 1998년)에 걸쳐서 개정이 되었는데, 이는 이륙단념 사고를 줄이기 위한 노력으로 해석된다. 이러한 정의(Definition)에 대한 개정과는 별도로, 미국 에버그린(Evergreen) 항공사는 1991년부터 미국연방항공청 및 보잉사와 협동하여 자체 항공사에 적합한 이륙단념절차를 연구하기 시작했으며, 1993년에 최종적으로 미국연방항공청으로부터 개정된 이륙단념절차를 인가받아 사용하고 있다. 그 주요 내용은 V_1 을 8노트 줄여서 사용하는 것이며, 세부 내용은 보잉사의 Aero Magazine에 소개된 바 있다(2000, Boeing Aero Magazine, No. 11).

본 연구는 이와 같은 이륙단념속도에 대한 조종사들의 인지도와 적합성을 검토하여 항공안전을 도모하고자 한다. 이를 위하여 우선적으로 우리나라의 "K" 항공사

에서 근무하는 조종사를 대상으로 한 설문을 기초로 하여 이륙단념과 관련된 조종사들의 성향을 분석하였다. 또한, 무작위로 선정된 조종사들에게 모의비행장치를 이용하여 이륙단념을 수행해야 하는 상황을 부여하고, 이에 따른 반응시간을 측정하여 상황판단과 결심 및 조작에 소요되는 시간을 산출한 후 현재의 기준과 비교하였다. 이를 통하여 이륙단념과 관련된 문제점 및 개선 방안을 제시함으로써 항공안전에 기여하는데 연구의 목적을 두었다.

II. 이륙단념속도의 개념 및 절차 고찰

1. 이륙단념의 개념

이륙단념은 이륙활주 중에 타이어 고장이나 엔진고장을 포함한 사건(event)이 발생하여 활주로 상에서 항공기를 정지시키는 것을 말한다. 조종사들에게는 달갑지 않으나 피할 수 없는 중대한 의사결정의 하나이다. 항공기의 엔진고장과 타이어의 파손을 비롯한 여러 상황에 따라 이륙단념을 결심하는 경우 항공기의 조종 문제로 인하여 발생하는 위험한 상황에 직면할 수 있다. 미국연방항공청(FAA)에 의하면 운송용 제트항공기는 매 3,000회 이륙 당 1회의 확률로 이륙단념이 발생하는 것으로 조사되나, 사고로 연결되지 않은 경우에는 보고가 누락되는 경우가 대부분이므로 실제로는 약 2,000회의 이륙마다 이륙단념이 발생하는 것으로 추정된다³⁾(FAA, 1992).

항공기가 이륙을 위해 고속으로 지상활주를 하는 동안 이륙단념속도 이전에 이륙에 심각한 영향을 미치는 고장이 발생되면 조종사는 이륙이나 정지 중에 하나를 결심해야 한다. 이때 이륙과 정지를 결심하는 기준속도를 V_1 속도라고 하며, 이는 주어진 조건에서 성공적인 정지를 시킬 수 있거나 이륙을 계속할 수 있는 2가지 성능을 동시에 충족시킬 수 있는 속도이다.

현재 사용되는 V_1 속도의 정의를 종합하면 이륙 중 가속-정지거리 내에서 항공기를 정지시키기 위해 조종사가 최초의 조작(브레이크를 밟거나, 추력을 줄이거나, 스피드 브레이크를 올리거나)을 취해야 하는 최대

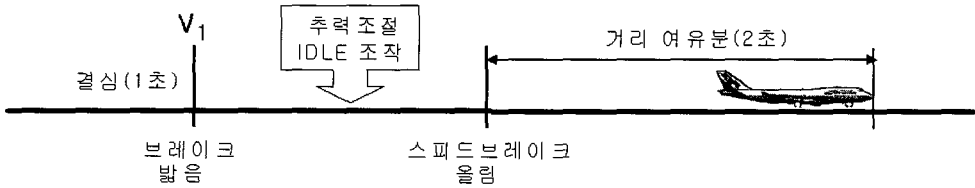
1) Federal Aviation Regulations Part 1 Abbreviation & Definition.

2) FSF, International Regulations Redefine V_1 , Flight Safety Digest(1998, Oct).

3) 예컨대 조종사가 이륙활주 중 이륙경고음으로 인하여 저속에서 이륙을 단념한 후 다시 이륙을 계속하는 경우 실제로는 이륙단념의 절차를 거쳤으나 이륙단념으로 보고되지 않는다(FAA, Takeoff Safety Training Aid. 1992).



〈그림 1〉 이륙단념속도(V_1)의 두 가지 개념(미국 FAR 정의를 연구자가 도식화)



〈그림 2〉 이륙단념속도(V_1)에 대한 인증기준(미국 FAR 정의를 연구자가 도식화)

속도를 말하며, 또 다른 측면은 이륙 중 V_{EF4} 에서 임계엔진의 고장이 발생하였더라도 이륙을 계속하여 활주로 상에서 최소 이륙고도로 규정된 35 피트(약 10 미터)에 항공기를 도달시킬 수 있는 최소속도이다. 결국 V_1 속도는 이륙을 계속 진행할 경우 성공적인 이륙이 될 수 있는 최소 속도이기도 하며, 이륙단념을 시도해야 할 상황에서는 안전하게 활주로 내에서 정지할 수 있는 최대속도이다(FAR, 2003). 이를 도식하면 〈그림 1〉과 같다.

그러나 V_1 은 이륙중량과 이륙 플랩(Flap)에 의해 우선적으로 결정되며 공항 온도, 공항 표고, 활주로 경사 및 바람에 의해 조정된다. 또한 개방구역(Clearway)와 정지로(Stopway)의 사용유무에 따라 조정될 수 있다. B777의 경우를 예로 들면, 최소이륙중량과 최대이륙중량 차이가 220,000 파운드(100,000 킬로그램) 이상이고, 이륙플랩이 3개(5, 15, 20)이므로 V_1 을 일률적으로 표시하기 어렵다.

사고를 유발하지 않는 안전한 이륙단념이 되려면 조사를 시행하는 시점에서의 항공기속도와 중량, 잔여활주로의 길이 등의 조건이 항공기가 활주로 내에서 정지할 수 있는 조건을 갖추어야 하는데, 이 가운데 조종사의 의사 결정에 결정적 영향을 주는 요인은 항공기 속도이다.

이와 같은 중대성에 따라 미국연방항공청은 항공기 기종별로 V_1 속도를 인증하는 제도를 운영하고 있는데

〈그림 2〉와 같이 인증 시에는 V_1 속도의 1초 전에 이륙단념을 할 만한 사건이 발생한 것으로 가정한다. 미국 연방항공청의 V_1 속도 인증은 시험비행조종사를 통하여 3가지 조작(브레이크를 밟고, 추력조절기를 아이들(idle)에 위치시키고, 스피드 브레이크를 올린다)에 대한 반복 실험을 통하여 평균소요시간을 결정한다. 여기에 현장조종사를 위하여 2초에 해당하는 거리 여유분(distance allowances)을 추가함으로써 항공기가 감소되어 활주로 내에서 정지할 수 있는 거리가 확보된다는 것이 인증기준의 기본개념이다.

2. 이륙단념의 절차

이륙단념의 결심이 섰으면, 기장은 분명하게 '이륙단념(Reject)'라고 말함과 동시에 제동조작을 시작하며 항공기 조종을 맡는다. 만일 부기장이 조작하고 있었다면 기장이 조종에 적극적으로 개입을 할 때까지 항공기 조종을 계속해야 한다. 현재 이륙단념은 항공기 제작회사의 규정에 의하여 지상활주속도가 80노트 이전에서는 시스템 고장, 비정상적 소음 또는 진동, 타이어 고장, 비정상적으로 느린 가속, 엔진 고장, 엔진 화재, 부적절한 항공기자세 경고, 예상된 윈드시어(wind shear) 경고 또는 비행안전이나 비행이 불가능한 경우에 수행하고, 80노트 이후에는 엔진 고장 또는 화재, 예상된

4) V_{EF} 는 엔진고장속도(Engine Failure Speed)를 의미하며 V_1 속도의 1초전에 발생하는 것으로 가정한다.

〈표 1〉 B 777의 기장과 부기장의 이륙단념 조작 절차

기장	부기장
지체 없이 이륙단념절차 적용	다음 조작을 확인
동시에 추력조절기를 닫고(필요시, 자동추력조절기를 끈다. 최대로 바퀴브레이크를 밟거나 이륙단념 자동브레이크 작동을 확인한다	추력조절기 닫혀있음 자동 추력조절기 꺼져 있음 최대 브레이크가 작용함
만일 이륙단념 자동브레이크가 설정되어 있으면, 시스템 작동을 주시하고, 만일 'Autobrake' 라는 고장메시지가 표시되거나 감속이 충분치 않을 때에는 바퀴 브레이크를 발로 밟는다	Speedbrakes 조절기 up상태를 확인하고 'SpeedbrakesUp'을 불러준다. 만일 up 되지 않으면 'SpeedbrakeS Not up' 을 불러준다
스피드브레이크 조절기를 올린다	빠뜨린 조작 항목이 있으면 불러준다
상황에 맞게 최대 역추력을 사용 한다	
항공기가 활주로 상에 확실히 정지할 때까지 최대 제동 지속	
활주로길이에 여유가 있으면	60 노트를 불러준다
활주속도에 도달 시까지 역추력 조절기를 아이들 역추력 위치	가능한 빨리 이륙단념결심을 관제탑과 관련 승무원에게 통보

자료원 : Boeing 777 QRH Non-Normal Maneuvers pp.1.2-1.3, Rejected Takeoff, 2001.

윈드쉬어 경고나 비행안전이나 비행이 불가능한 경우에만 시행하도록 규정하고 있다⁵⁾(Boeing, 2001). 〈표 1〉은 B777 항공기에서 사용하고 있는 기장, 부기장의 이륙단념 조작절차를 기술하고 있다.

Ⅲ. 이륙단념 사고의 분석

이륙시 고려하는 안전여유분은 착륙과 비교하여 볼 때 상당히 적다. 이는 공중에서 지상으로 접지하는 것이 지상에서 공중으로 전환하는 것보다 더 어렵기 때문이지만 이런 안전여유분의 부족이 이륙단념시 조작이 약간만 늦어도 사고로 연결되는 이유이다. 또한 타이어 고장으로 인한 이륙단념은 항공기의 정지능력을 심각하게 감소시키므로 사고로 연결되기 쉽다. 이륙단념의 중요성을 실감하기 위해서는 관련된 사고사례를 분석하는 것이 필수적이나 이륙단념 자체가 빈번하게 발생하는 사건이 아니며 특히, 국내 자료가 전무할 실정으므로 외국자료에 의존하게 된다. 세계적으로 가장 많은 운항자료를 보유하고 분석하고 있는 미국 NTSB의 보고에 의하면 1959년부터 2000년까지 129,000회의 이륙단념 관련 사건이 있었으며 이 가운데 94건이 사고로 이어졌는데 〈표 2〉와 같이 좀처럼 감소하지 않는 양상을 보이는데 이는 운송용 제트항공기의 안전을 위해서 해결해야 할 과제라고 볼 수 있다⁶⁾(NTSB, Boeing, 2002).

이 같은 이륙단념사고를 세부적으로 분석한 내용을 살펴보면 전체사고가 활주로 이탈(overrun)로 이어졌고 이륙단념을 늦게 시작한 것이 주원인으로 조사되었다.

〈표 2〉 이륙단념 사건통계

구분	'59-'90년	'91-'00년	계
이륙	230,000,000회	161,000,000회	391,000,000회
이륙단념	76,000회	53,000회	129,000회
관련사고/준사고	74회	20회	94회

자료원 : Boeing(2002). Takeoff Safety Training Aid.

이륙단념과 관련된 사고의 세부내용을 살펴보면 ;

- 사고의 54% 가 V₁ 속도를 초과하여 발생
- 32%는 젖거나 눈, 얼음으로 덮힌 활주로에서 발생
- 42%가 엔진추력 손실, 타이어 파열로 사고 발생
- 활주로 이탈사고 80% 는 훈련으로 방지 가능

가장 큰 관심분야인 이륙단념을 수행하였던 속도는 80노트 미만이 76%로 주류를 이루었고 80-100노트가 18%이며 100노트를 초과한 경우도 전체의 6%를 차지하였다. 그리고 이륙단념사고의 54%는 V₁속도를 초과하여 이륙단념이 시작되었는데 이는 V₁속도의 중요성을 시사한다(Boeing, 2001).

Ⅳ. 실증분석

이륙단념과 관련된 사고를 종합한 결과 제기되는 문제는 첫째, 조종사들이 자신이 조종하는 항공기와 운용 활주로에서의 안전한 이륙단념 조건이나 이륙단념 기준 속도에 대한 인식이 정확하지 못하다는 점과 둘째, 인증된 이륙단념 속도가 실제로는 안전여유분이 많지 않은 수준에서 정해진 것에 대한 인식여부이다. 이를 실증적으로 알아보기 위하여 본 연구에서는 국내 "K"항공

5) Boeing 777 QRH Non-Normal Maneuvers pp.1.2-1.3, Rejected Takeoff, 2001.

6) NTSB/SIR-90-02 및 Boeing 1991-2000 자료를 종합.

사의 조종사를 대상으로 설문을 통하여 이륙단념에 대한 인식 정도를 조사하고 B-777 모의비행장치를 이용한 이륙단념절차의 수행실험을 통하여 현재의 V_1 속도에 대한 안전성을 분석하였다.

1. 이륙단념 상황에 대한 인식

이륙단념의 문제점을 알아보기 위해 현장 조종사(line pilots)들이 이륙성능관련 법규와 기준속도(V_1), 현행 이륙단념절차와 소요시간의 적합성과 만족도에 대한 자료가 필요하므로, 이를 알아보기 위한 설문지를 설계(내국인용, 외국인용)하였으며 세부내용은 다음과 같다.

- 이륙단념 인증기준에 대한 숙지 여부
- V_1 속도 정의에 대한 숙지 여부
- 현재 적용하는 이륙단념절차에 대한 만족여부
- 이륙단념 수행을 가정한 조종사의 반응시간 추정

연구가 진행된 '03년 현재 "K"항공사의 운항승무원 은 가장 881명(내국인 616명, 외국인 265명), 부기장 910명, 항공기관사 66명 등 총 1,857명이며 설문조사는 '03년 4월16일부터 1개월간 시행하였는데 대상자인 조종사 전원에게 설문지를 배포 후 306명(내국인 가장 88명, 외국인기장 65명, 부기장 153명)의 응답자로부터 유효한 응답자가 회수 되었다.⁷⁾

1) 이륙단념의 정의에 대한 숙지 여부

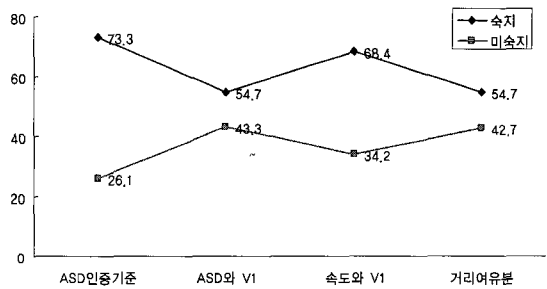
이륙단념의 정의에 관한 숙지 여부를 알아보기 위한 설문은 ①가속정지거리(ASD)의 인증기준 ②ASD와 V_1 의 관계 ③ V_1 은 이륙단념시 최대속도 ④ASD와 거리여유분에 대한 인지여부로 구성되었는데 <표 3>과 같이 조사되었다. ①ASD 인증기준에 관하여서 26.1%의 조종사가 정확하게 알지 못하였으며 ②ASD가 V_1 속도의 1초전에 엔진고장을 포함한 사건을 가정한다는 것에는 43.3% ③ V_1 속도가 이륙단념을 할 수 있는 최대 속도라는 것에 대해서는 34.2%의 조종사가 이를 정확하게 인지하지 못하는 것으로 나타났다. 또한, ④ASD가 V_1 속도 이후 2초에 해당하는 거리여유분을 포함하는 것에 대해서도 응답자의 42.7%가 명확하게 숙지하지 못하고 있었다.

2) 이륙단념 속도의 정의에 대한 숙지 여부

이륙단념에서는 기준이 되는 속도의 개념이 중요하므로 이와 관련하여 ① V_1 속도와 항공기 정지 ② V_1 속도와 이륙계속시 규정고도 ③ V_1 의 감속과 가속정지 성능의 관계 ④ V_1 의 감속과 가속진행성능의 관계에 대한 4개의 문항을 설문을 하였다.

이를 종합한 결과 ① V_1 속도가 항공기 엔진고장 시 활주로 내에서 항공기가 완전하게 정지할 수 있는 속도이나 12.4%의 조종사가 이를 명확하게 답하지 못하였으며 ② V_1 속도에서 이륙계속(continued takeoff)시 규정고도인 35피트에 도달될 수 있는가 대하여 14.7%가 정확하게 숙지하지 못하고 있었다. 또한, ③④ V_1 속도를 줄여서 사용하면 정지성능이 좋아지고 반대로 가속진행성능이 나빠진다는 점에 대해서 각각 12.4% 및 13.7%가 잘못 인지하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 볼 때 일부 조종사들이 이륙단념 인증기준과 V_1 속도에 대하여 인식을 제대로 하지 못하고 있으므로, 항공사는 이러한 규정의 배경에 대한 교육도 병행해야 할 것으로 판단된다.

<표 3> 이륙단념의 정의 숙지 여부

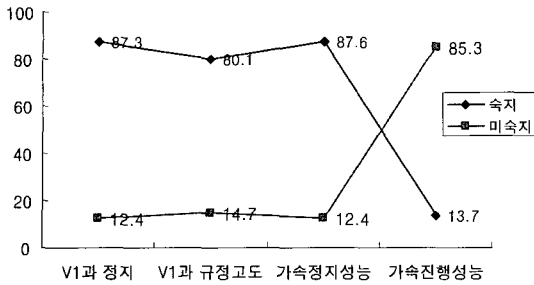


3) 이륙단념절차에 대한 만족 여부

응답자들의 23.1%가 현재 적용하고 있는 항공기 제작사가 제공한 이륙단념 기준이 불만족스럽다고 대답했으며, 이 가운데 추력조절기(thrust lever) 닫음 위치(idle)→스피드브레이크(speed brake) 작동→역추력조절기(thrust reverser) 작동으로 되어 있는 현행의 이륙단념 절차에 대하여 불만족을 표한 응답자가 56% 이었으며 나머지 31%는 활주로 여유분이 적게 규정되었다고 지적하였다. 결국, 일부 조종사들이 현재

7) 개인 우편함을 이용하여 설문지 배포된 관계로 회수율이 저조하나 이는 국제선업무 수행하는 조종사가 많아서 설문응답이 어렵고 한국의 경우 조종사 수가 한정되나 각종 논문을 위해 배포되는 설문지 너무 많아 응답률이 대체적으로 낮다. 본 연구에서는 "모집단 크기가 3,000명 수준이고 95%의 허용표집오차에서 291명 이상이면 적정 표본이다"라는 자료를 참고하였다.
D.J.Luke,H.Wales & D.A.Taylor, Marketing Research, Englewood Cliffs, N.J.:Prentice- Hall, Inc., 1970, pp.611~612.

〈표 4〉 이륙단념 속도의 정의에 대한 숙지 여부



의 이륙단념 절차에 불만족하고 있으므로 기종별로 통일된 절차를 마련하고, 착륙절차와 동일하게 수립하는 연구가 필요하다고 판단된다.

4) 이륙단념을 기정한 조종사의 반응시간 추정

실제로 이륙단념을 판단하고 수행하는 것은 기장인데 K 항공사의 경우 내국인 기장은 물론 다수의 외국인기장이 조종하고 있으므로 이륙단념절차를 수행함에 있어서 소요되는 시간에 대한 두 집단 간의 차이를 t-검정을 통하여 분석하였는데, 표본은 내국인 기장이 82명이고 외국인기장이 62명 이었다.

분석결과 F 값의 유의확률이 유의수준의 값보다 크므로 두 모집단의 분산이 같다고 할 수 있어서 등분산이 가정되었다. 위의 표에서 기장의 평균 전환시간은 3.2초이고, 외국인기장의 평균 전환시간은 2.8초이며, 표준편차는 1.8초로 거의 같으며 두 집단 간의 평균은 3.03초로 나타났다. 분석결과 〈표 6〉과 같이 두 집단 간에 차이가 없는 것으로 나타났다.

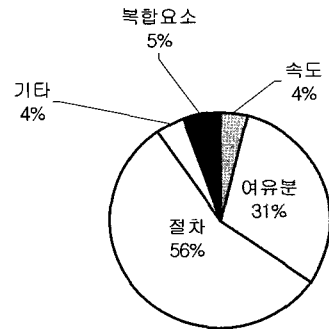
이를 근거로 내국인과 외국인 조종사를 통합하여 분석을 시행한 결과 이륙단념을 결심하는데 소요되는 시간에 대해서는 엔진고장에 의한 이륙단념의 경우에 1초가 소요된다는 조종사가 32%이며, 2초가 소요된다고 대답한 조종사가 40%였다. 또한, 타이어 파열에 의한 이륙단념의 결심에는 경고음이나 경고 메시지가 없으므로 56%의 조종사들이 2초 내지 3초가 소요된다고 대답하였고 4초가 소요된다고 대답한 조종사가 15%, 5초가 소요된다고 대답한 조종사가 13%였다.

엔진 고장 이외의 시스템 이상에 의한 이륙단념의 경우는 58.3%가 2초 내지 3초가 소요된다고 응답하였다.

이는 문제 발생 1초 후의 속도를 V₁속도로 정한 현행 이륙단념속도 결정 기준에 대하여 조종사들이 동의하지 않음을 나타내고 있다.

본 연구에서 나타난 이륙단념에 대한 설문자료 분석이

〈표 5〉 이륙단념절차에 대한 불만족 사항

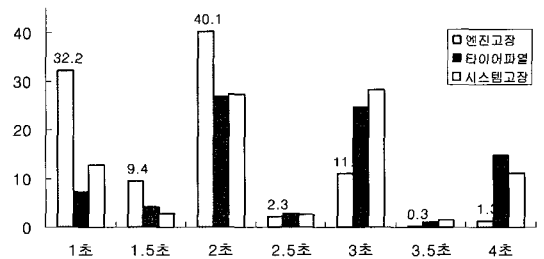


〈표 6〉 독립표본 검정집단 통계량

구분	N	평균	표준편차	자유도	t값	F
내국인기장	82	3.2초	1.8초	142	1.66*	.22
외국인기장	62	2.8초	1.8초		*	3

** P<.01

〈표 7〉 이륙단념을 기정한 조종사의 반응시간 추정



의미하는 또 다른 측면은 이륙단념이 발생확률이 낮은 사건이므로 조종사의 방심으로 이어질 수도 있다는 것이다. 그러므로 모든 조종사들은 만약의 상황을 대비하여 매 이륙마다 정확한 이륙계속 또는 이륙단념 결심을 위한 준비가 있어야 할 것이다. 조종사가 이륙계속이나 이륙단념 결심을 보다 잘 수행하기 위하여 첫째, V₁ 속도와 관련된 이륙이나 법규를 명확하게 숙지하여야 하며 둘째, 계동 형태로의 전환을 위한 이륙계산과 이륙과 이륙단념에 영향을 주는 성능요소를 확인하여야 한다, 셋째, 승무원자원관리(crew resources management: CRM)를 통하여 원활한 조작을 수행함으로써 이륙단념 안전여유분을 증가시키는 방법을 들 수 있다.

2. 이륙단념 모의실험

1) 모의실험의 절차

모의비행장치를 이용한 실험은 현재 이륙단념의 절

차에 대한 적합성을 검토하기 위하여 "K" 항공사의 현장 조종사들을 대상으로 이륙단념 전환시간을 확인하였으며, 이를 항공기 인증시 제작사의 시험비행 조종사에 의한 시간과 비교하여 기준과 적합성을 검토하였다.

실험대상은 항공사의 훈련계획과 가용시간을 고려하여 B777 기종의 모의비행장치로 한정하였으며 실제로 동일 항공기를 운용하는 기장 30명에게 제작사의 시험비행과 동일한 상황을 부여하여 이륙단념 인지 및 반응 시간(recognition and reaction time)을 측정하였고 대상 조종사의 적정성을 위하여 정기훈련을 마친 기장들을 표본으로 설정하였다. 실험은 1인당 3회로 제한하였는데 1회의 실험을 종료한 후, 다음 실험까지는 충분한 시간을 부여한 후에 재 실험을 시행하여 훈련으로 인한 학습효과를 최소화시키도록 설계하여 2003년 8월 1일부터 9월 30일에 걸쳐 시행되었다.

모의실험 조건은 FAA가 V₁속도를 인증하기 위하여 수행하는 시험비행 조건과 동일한 절차로 이륙단념 실험을 수행하였으며 적용된 내용은 다음과 같다.

- a. 추력조절기 닫음(thrust lever close)
- b. 브레이크 작동(brake activation)
- c. 스피드브레이크 수동올림(speed brake up manual)

또한 대상 조종사에게는 실험 간에 이륙단념 수행을 한다는 것을 사전에 알려주고 한 개의 엔진고장 상황(engine flameout)을 가정하여 V₁속도 10노트 전에 경고음을 주도록 하였다.

2) 모의실험자료의 분석

본 연구의 실험을 위하여 사용된 B777 모의비행장치는 제시되는 조건에 따라 조종사가 행동한 조작 내용과 소요되는 시간이 종합적으로 기록되도록 설계되어 있는데 모의실험장치를 이용하여 분석한 이륙단념에 관련된 추출자료는 <그림 3>과 같다.

이와 같은 B777 모의비행장치로 측정된 자료를 종합한 이륙단념절차에 소요되는 시간에 대한 측정값은 <표 8>과 같이 분석되었다.

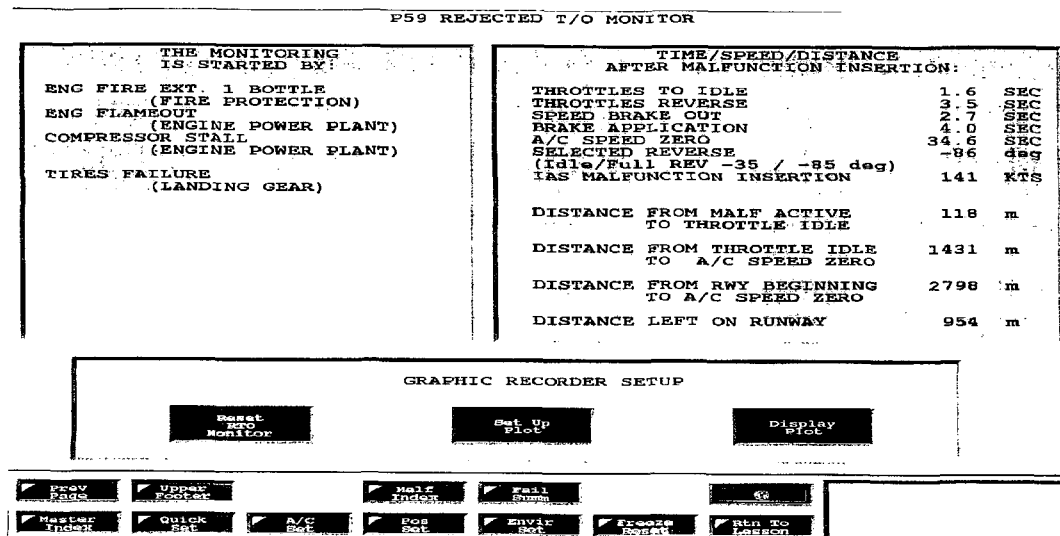
<표 8> 모의실험 전환시간 평균값 (단위:초)

진행사항	표본평균	표준편차
추력조절기 닫음	2.90	0.52
브레이크 밟음	3.90	0.74
스피드브레이크 수동올림	4.22	0.53

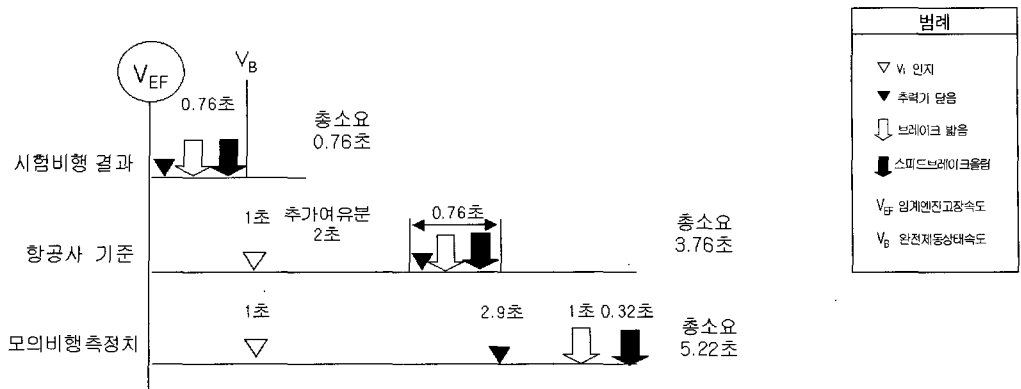
주: 시험비행자료와 비교하기 위해 소수점 셋째자리에서 반올림

3) 자료 비교

이륙단념에 소요되는 시간에 대한 모의실험 자료와 제작사의 시험비행자료 및 항공사의 운항기준을 비교하기 위하여 각각의 조작시간을 종합하면 <그림 4>와 같다. 도식에서 나타나는 것과 같이 동일한 조건을 부여한 상태에서 제작사인 보잉사의 B777 시험비행 조종사에 의해서 측정된 이륙단념 전환시간은 0.76초로 제시되어 있으나 본 모의실험에서 나타난 표본의 평균은 4.22초(p<0.05)로 큰 차이를 보이며 이는 현재 "K" 항공사에서 적용하는 B777 항공기의 비행규정에서 제시된 3.76



<그림 3> 모의비행 장치의 실험자료 "예"



〈그림 4〉 제작사 시험비행, 항공사 기준, 모의비행실험 결과치의 비교

초와도 상당한 차이를 보이는 것으로 나타났다⁸⁾ 특히, 모의실험에서 산출된 이륙단념 전환시간 4.22초는 시험비행과 동일하게 미리 엔진고장이 발생한다는 조건을 제시한 상태에서 실험이 진행된 것이므로 실제로는 엔진고장(또는 이륙단념을 수행해야 하는 사건) 인지시간 1초를 추가하여야 하므로 결국 5.22 초가 소요되며 이는 항공사 운항규정의 3.76초와는 1.46초의 차이가 나타나게 된다. 이를 속도로 환산하면 6노트에 해당되므로 따라서 현재 사용하는 V₁ 속도에서 6노트 줄여서 사용해야 한다는 결론에 도달한다.

3. 현행 이륙단념절차에 대한 대안

이륙계속과 이륙단념의 위험성을 비교하여 볼 때, 이륙계속이 다소 여유분이 높으므로 이륙계속(continued takeoff)을 하는 것이 유리하다. 즉, 항공기 비행규정에 의하면 엔진고장을 V₁에서 인지하고 이륙을 계속하는 경우 활주로 끝에서 적어도 35피트의 고도를 이룰 수 있으며 설사 35 피트 보다 낮은 고도를 이룬다 해도 곧바로 사고나 준사고로 이어지는 것은 아니므로 이륙계속이 이륙단념보다 더 안전여유분이 있다고 할 수 있다. 이러한 점이 이륙단념에 비해 이륙계속이 우월한 이유이며 따라서 이륙계속을 강조하는 것이 타당하다(Boeing, 1986). 그러나 이륙단념 시에도 적절한 조종사 조작시간을 보장해줄 수 있다면 이는 보다 안전한 이륙단념절차가 될 수 있을 것이다. 본 연구의 결

과를 토대로 다음과 같은 이륙단념절차를 제시하고자 한다.

첫째, 해당 속도표에서 V₁ 속도를 구한 후 항공사 운항기준과 실험값의 차이에 해당되는 6 노트⁹⁾를 감한 (-) 속도를 속도계에 설정한다. 이를 현행 항공사 기준과 비교하면 이륙단념 시 조종사 인지시간을 최소한 2.5초 정도 보장할 수 있다.

둘째, 120노트에서 육성점검(call-out)을 추가한다. 120노트 이상에서는 엔진 고장 또는 비행할 수 없는 급박한 상황에서만 이륙단념을 시행하도록 한다.

현행 이륙단념절차 중 80노트 육성점검은 고속영역에 진입했다는 것을 알려주기에는 상당히 낮은 속도이며 80노트 육성점검의 의미는 인증된 항공기성능이 80노트까지 이륙추력에 도달해야만 하는 기준을 점검하기 위한 것이다.

현재 K 항공사에서 운용하는 국내선 및 단거리 국제선 항공기인 B737-800 기종은 최대 164명이 탑승할 수 있으며, 만석인 경우 예상 운항중량은 144,000 파운드(65,300킬로그램)이다.

이때의 V₁속도는 140노트이며¹⁰⁾ 이 속도에서 이륙단념을 한다는 것은 위험성이 있으므로 엔진고장 이외의 사건(event)으로 인한 이륙단념을 방지하도록 하기 위하여 120노트 이상에서는 엔진고장 이외의 사건에서는 모두 이륙을 계속하도록 방침을 정한다 (Boeing, 2003).

위에서 제안한 두 항목을 함께 적용하면, 이륙단념

8) 산출근거 : 사건(event) 인지시간 1초 + 추가적인 여유시간 2초 + 시험비행 전환시간 0.76초.

9) 고속에서의 초당 가속도가 4노트이므로 1.5초에 해당 한다.

10) B737-800 Airport Analysis Charts Gimpo Airport. 2003. 5.

시에는 모의실험에서 나온 적합한 조종사 조작시간을 보장하여 사고를 예방하고, 또한 120노트에서의 육성 점검(call-outs)을 통하여 부적절한 이륙단념을 최소화 하게 될 것이다.

부가적으로 활주로 조건이 눈, 비 또는 얼음으로 덮힌 경우에는 V_1 속도를 6노트 감하여 적용하지 않는다. 이런 조건에서 이륙을 계속할 때 활주로 상에서 도달해야 할 규정고도는 35피트보다 20피트가 낮은 15 피트이므로, V_1 속도를 줄여서 사용하게 되면 활주로 끝에서의 도달 고도가 낮아져서 이륙경로 상에 장애물이 있는 경우 문제가 될 수 있다.

이와 같이 제시된 대안으로 현행의 이륙단념절차를 보완하면 현재보다 더욱 안전한 이륙절차가 수행될 것으로 전망된다. 여기서 중요한 점은 V_1 속도를 줄여서 사용할 때 문제가 될 수 있는 이륙계속 시의 규정 고도인 35 피트를 지키지 못하는 것을 인정해 주느냐가 관건이다. 그러므로 이런 절차를 사용할 수 있느냐의 여부는 인가당국에 의해 결정된다.

V. 결론

본 연구는 이륙단념 사고 분석에서 나타난 바와 같이 이륙결심속도(V_1)를 지나서 이륙단념을 시작한 경우 50% 이상이 활주로 이탈은 물론 사고로 이어진다는 심각성을 고려할 때, 현장 조종사(line pilot)를 대상으로 실증분석을 하는 것이 항공안전에 중요하다는 점에서 연구가 진행되었다.

이를 위하여 우선적으로 시행한 "K" 항공사의 조종사들을 대상으로 한 설문결과 비행규정에 적용된 이륙단념의 기준을 정확하게 이해하지 못하는 조종사가 일부 나타났으며 또한, 일부 조종사들이 현행 이륙단념 절차를 불만족스럽게 생각한다는 점에서 절차에 대한 연구와 검토가 이루어져야 할 것으로 분석되었다.

한편 조종사들이 인지하는 이륙단념에 소요되는 시간은 비행규정에 적용된 시간을 훨씬 상회하는 것으로 나타났다. 이를 검증하기 위하여 B777 기종의 기장들을 대상으로 모의비행장치를 이용하여 시험비행과 동일한 상황에서 이륙단념 전환시간을 측정된 결과 현장조종사의 전환시간이 항공사 비행규정보다 1.5초 더 소요되는 것으로 나타났으므로 현행 규정에 의한 V_1 속

도에서 이륙단념을 하는 경우에 활주로이탈로 이어질 가능성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 실제로 이륙단념을 위하여 V_1 속도를 6 노트 줄여서 사용해야만 이륙단념에 대한 안전성이 확보될 것으로 결론을 내릴 수 있었다.

그러나 이러한 결과가 이륙계속보다 이륙단념이 더 안전하다는 것을 의미하는 것은 아니므로 다만 부득이하게 이륙단념을 수행하는 경우에 한정해야 하며, 본 연구에서 나타난 결과는 이륙단념을 수행할 경우 활주로 이탈로 이어지는 것을 예방하기 위한 방법의 일환으로 간주되어야 할 것이다.

또한, 가속정지거리(ASD)의 인증기준을 아는 것은 이륙단념에 대한 제동을 시작하여 완료하는 시간이 줄어드는 것과 상관관계가 있으므로 이륙단념 인증기준에 대한 교육을 강화하면 이륙단념 사고를 다소나마 예방할 수 있을 것이다. 이는 운항절차 우주로 이루어지고 있는 현재의 항공기성능 교육과 규정에 대한 배경을 병행하여 교육이 이루어지면 효과적인 것으로 판단된다.

본 연구의 한계점은 이륙단념에 관한 실험이 실제 항공기를 이용하는 것이 가장 타당하나 이는 현재로는 불가능한 조건이므로 실제의 조건과 모의비행장치의 자료에 차이가 있을 수 있다는 것과 30명이라는 소수의 조종사와 B777로 한정하여 실험을 하였다는 점이다. 실제적으로 인지 및 반응시간(recognition and reaction time) 문제를 해결하기 위해서는 해당 항공사 소속 전체 조종사들을 대상으로 사건(event) 별 반응시간을 정확하게 측정하는 것이 필요하나 모의비행장치는 정기 및 양성훈련을 위하여 년 중 주야를 막론하고 계속하여 사용되므로 이를 이용하여 자료를 얻기가 쉽지 않다. 그러나 중요한 사안이라고 판단되면 회사가 정책적으로 전 기종, 전 승무원을 대상으로 다양한 사건에 대한 실험을 통하여 합리적인 인지 및 반응시간을 보장하여 주는 절차보완이 필요하다. 그러나 실제로는 이륙단념의 경우가 매우 희박하기 때문에 이를 위하여 시간과 비용을 투자하는 것은 비용 대 효과의 문제일 수도 있다.

그러나 가능하다면 향후에 미국 보잉사와 같은 항공기 제작회사에 의뢰하여 시험비행과 완벽하게 동일한 상황 하에서 현장 조종사들의 반응시간을 측정하여 보다 신뢰할 수 있는 자료를 바탕으로 하여야 완벽한 이륙단념절차의 보완이 이루어질 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 대한항공 비행운영규정(2004).
2. 대한항공(2004), B737-800 Airport Analysis Charts, Seoul Gimpo Airport.
3. Boeing(2004), Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accident.
4. Boeing(2002). Takeoff Safety Training Aid.
5. Boeing(2001), 777 QRH. Non-Normal Maneuvers. pp.12~13, Rejected Takeoff.
6. Boeing(2001), Rejected Takeoff Study, Aero Magazine 11.
7. D.J.Luke,H.Wales & D.A.Taylor(1970), Marketing Research, pp.611~612.
8. FAA(2003), FAR Part 1, Definitions & Abbreviations.
9. FSF(1998), International Regulations Redefine V1. Flight Safety Digest(Oct), pp.1~3.
10. ICAO(2002), Annual Report.
11. National Transportation Safety Board(2002), Special Investigation Report: NTSB/SIR-90/02.

✉ 주 작 성 자 : 노건수

✉ 논문투고일 : 2005. 3. 4

논문심사일 : 2005. 5. 18 (1차)

2005. 7. 1 (2차)

2005. 7. 15 (3차)

2005. 8. 17 (4차)

심사판정일 : 2005. 8. 17

✉ 반론접수기한 : 2005. 12. 31