

항공기비행규정 (AFM) 과 현장조종사의 이륙단념 전환시간 비교에 관한 연구 - K 항공사 및 B777 기종을 중심으로 -

노건수 *

항공기의 이륙단념(Rejected Takeoff) 사고는 흔히 발생하지는 않지만, 발생하면 큰 사고로 이어지는 경우가 대부분이다. 제트기에 의한 운송서비스가 본격적으로 시작된 1959년부터 2000년 까지의 이륙단념 사고사례를 조사해 본 결과 총 94건이 발생했다. 사고사례 모두가 활주로이탈로 이어졌고, 그 주요 원인은 이륙결심 속도를 넘어서 조종을 시작했기 때문이라고 미국교통안전위원회(NTSB)에서 발표하였다. 이런 결과는 미국 항공우주국(NASA)의 준사고보고제도(ASRS)에서 조사한 자료에도 비슷한 결과가 나온 바 있다. 따라서 항공기 운항의 기준이 되는 항공기 비행규정(Airplane Flight Manual)을 만들 때 적용하는 미국연방항공법(FAR) 상의 이륙단념 전환시간이 국내 현장조종사에게도 적합한 지에 관해 연구하였다.

목차

- I. 서론
- II. 이륙단념의 개념
- III. 이륙단념 인증기준
- IV. 설문분석
- V. 모의실험 및 분석
- VI. 이륙단념절차 대안
- VII. 결론

*대한항공 운항훈련원 전문교관, 한국항공대학교 강사.

I. 서 론

비행이 시작된 이래로 이륙단념(Rejected Takeoff: RTO)은 조종사에게 달갑지 않지만 그러나 피할 수 없는 부분으로 여겨져 왔다. 이륙하는 경우 항상 이륙단념의 가능성이 잠재해 있고, 이륙단념 중 수행하는 조작으로 인해 사고로 연결될 수도 있다. 미국연방항공청 자료에 의하면, 서구사회에서 제조된 운송용 제트항공기는 매 3,000 회의 이륙당 한번 정도 이륙을 단념하는 데, 많은 이륙단념의 경우들이 보고 되지 않기 때문에 실제로는 매 2,000 회의 이륙마다 한번 꼴로 이륙단념이 일어나는 것으로 추정한다.¹⁾ 예를 들어, 조종사가 이륙활주 중 이륙경고음으로 인해 저속에서 이륙단념을 한 후, 다시 활주로로 돌아와 이륙을 계속하는 경우는 이륙단념으로 보고되지 않고 있기 때문이다. 통계에 의한 평균치로 계산하여 보면, 연간 약 1500 만 번의 이륙이 이루어지며 (매일 분당 약 28 회 이륙 비율), 이런 통계비율은 연간 적어도 5 회의 이륙단념 활주로이탈 사고 또는 준사고가 지속적으로 발생하리라고 예상하고 있다.²⁾ 기종 별 연평균 이륙횟수를 고려한다면 장거리 위주의 B747 조종사는 평균 월 8회 정도 이륙하므로 20년에 한번 정도로 이륙단념 상황에 직면하지만, 단거리 위주의 B737 조종사는 평균 월 80회 정도 이륙하므로 3 년에 한번 정도로 이륙단념을 한다고 볼 수 있다. 미국 교통안전위원회의 조사에 의하면, 1959년~2000년 사이에 이륙단념 사고는 94 건이 발생하였고 모두가 활주로 이탈 (overrun) 사고로 이어졌으며, 이러한 활주로 이탈사고의 주요 원인은 이륙단념을 늦게 시작하기 때문이라고 보고하였다. 이륙단념 기준속도(V_1)³⁾를 지나서 이륙단념을 시작한다는 것은 이륙단념의 결심 및 전환에 고려된 시간이 적정한 것인가에 대한 문제를 제기하게 한다. 항공기 제작회사는 시험비행 조종사(flight test pilot)가 수행한 이륙단념 전환시간에다 현장 조종사(line pilots)를 고려한 약간의 시간 여유분을 추가하여 항공기 비행규정(Airplane Flight Manual)을 제작한다. 그러나 시험비행 조종사는 이륙단념 조작에 숙련되어 있으며 이륙단념을 미리 알고 수행하므로 결심 및 반응시간이 상당히 빠르다. 이러한 시험비행 자료를 항공기 비행 규정에 확대 적용한 시간 여유분이 실제로 현장 조종사가 이륙단념을 수행하는 데 적정한 것인가를 분석하기 위해서 특정 항공사의 조종사들을 대상으로 이륙단념에 대한 설문 분석을 하였으며, 아울러 특정 기종을 선정하여 이륙단념 전환에 대한 모의실험을 수행하고 그 차이를 분석하여 대안을 연구하였다.

1) Boeing Company(1992), Takeoff Safety Training Aid. Airliner Jul-Sep.

2) Flight Safety Foundation(1993), Flight Safety Digest. During Adverse Conditions, Decelerating to Stop Demands More from Crew and Aircraft. March 1993. Jack L. King.

3) 이륙시 활주로 상에서 사건(event)이 발생하여 이륙을 계속할 것인가 또는 이륙을 단념할 것인가를 결심하는 기준속도를 이륙단념 기준속도(V_1)라고 한다.

II. 이륙단념의 개념

가. 이륙단념 개요

이륙단념이란 이륙활주 중 엔진고장 등의 사건(event)이 발생하여 활주로상에서 항공기를 정지시키는 것을 말한다. 그러므로 이륙단념은 허용이륙중량(allowable gross takeoff weight: AGTOW)⁴⁾을 산정하는 요소인 활주로 길이와 관련되며, 세부적으로는 활주로길이 제한중량을 구할 때의 세가지 요소 중 하나이다. 항공기 인증 시 사용하는 용어는 가속-정지 거리(accelerate-stop distance)라고 한다. 어떤 이유에서든지 이륙단념을 하게 되면, 잔여 활주로 상에서 항공기를 안전하게 정지시키는 데 모든 노력을 기울여야 한다는 점에서 접지 후 착륙하는 것과 비슷하다. 이런 이유로 이륙단념의 개요는 착륙과 비교함으로써 보다 잘 설명될 수 있다. 이륙단념과 착륙의 접지(touch down) 후에 수행하는 조작 방법은 비슷하지만, 항공기를 안전하게 정지시킨다는 측면에서 보면 이륙단념이 착륙보다 훨씬 위험하다. 이것은 아래와 같은 이유 때문이다.⁵⁾

- ① 이륙단념은 보통 항공기 중량이 무거울 때 발생한다.
- ② 이륙단념은 고속에서 발생하는 경우가 빈번하다.
- ③ 문제를 인식하고, 이륙단념을 결심하고, 이륙단념 조작이 시작될 때까지 활주로 길이가 어느 정도 사용되므로, 항공기를 안전하게 정지시키는 데 사용될 활주로 길이가 착륙시보다 훨씬 적다.
- ④ 이륙 중에는 대부분 타이어 고장(약 75%)이 발생하는 데, 착륙 중에는 비교적 드물다. 실제로 타이어 고장은 이륙단념을 하게 만들 수도 있고, 가장 필요한 때에 항공기의 정지능력을 심각하게 감소시키는 일련의 사건을 초래할 수도 있다.
- ⑤ 운송용 제트항공기에 적용되는 법규가 착륙에서는 추가 안전여유분을 요구하고 있는 반면에, 이륙단념에는 추가 안전여유분을 포함하고 있지 않다. 건조한(dry) 활주로에 착륙하는 경우, 미국연방항공법(FAR Part 121.195)은 사용할 수 있는 활주로의 60% 이내에서 완전히 정지할 것을 요구한다. 습윤(wet) 활주로에 착륙하는 경우, 건조한 활주로에서 필요한 착륙거리의 115% 를 요구하고 있다.

나. 이륙단념 기준속도 (V_1)

민간 운송용 항공기는 안전성을 확보하기 위해 임계조건(critical conditions)에서도 안전하게 이륙을 할 수 있어야 한다는 전제하에 항공기 최저성능을 규정해

4) 주어진 조건으로, 사용하려는 활주로에서 이륙할 수 있는 최대이륙중량이다.

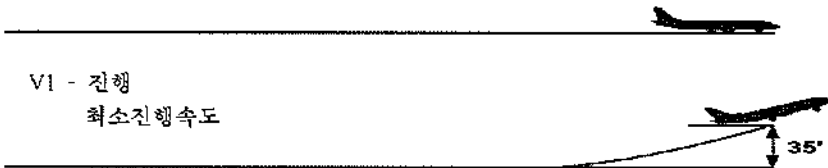
5) NASA(1977), AFS-160-77-2, Jet Transport Rejected Takeoffs, David W. Ostrowski.

놓고 있다. 임계조건이란 임계엔진(critical engine)⁶⁾ 한 개가 고장나는 경우를 가정하는 것인데, 이런 경우 이륙을 계속할 수도 있고 활주로 내에서 정지할 수도 있다. 이 두 가지 상황을 결심하는 기준속도를 V_1 속도라고 한다. V_1 속도란 그 속도에서 정지 조작이 시작되지 않았으면, 이륙을 계속해야 하는 속도로 정의된다. 따라서 이 속도는 주어진 중량 및 활주로 조건에서 성공적으로 정지 또는 이륙을 계속할 수 있는 두 가지 성능을 동시에 충족시키는 하나로 표시된 속도이다. V_1 속도 개념에 있어서 중요한 가정은 이륙을 계속하거나 단념하는 결심이 기준속도인 V_1 속도에 도달하기 전에 이루어져야 한다는 것이다. 1978년 부터 1998년 까지 20년 간 사용하였던 이륙단념 기준속도인 ‘이륙결심 속도(takeoff decision speed)’가 개정되었음에도 불구하고 지금까지도 각종 문헌이나 규정 또는 도서에 많이 남아 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 항공기 비행규정의 용어정의 부분이 개정되지 않고 있기 때문이다. 개정된 V_1 속도의 정의는 이륙결심속도와 같이 간단한 용어로 기술할 수 없기 때문에, 본 논문에서는 V_1 속도를 ‘이륙단념 기준속도’라고 기술하였다. 미국연방항공법⁷⁾에 나와 있는 이륙단념 기준속도의 정의는 두 가지 개념을 포함하고 있는데, 이것을 <그림 2-1>과 같이 그림으로 작성하였다. 첫째는 가속-정지할 때의 최대속도이고, 둘째는 이륙-계속할 때의 최소속도라고 명시되어 있다. 현재 사용하고 있는 V_1 속도의 정의를 소개하면 다음과 같다.

V_1 속도는 이륙 중 가속-정지 거리 내에서 항공기를 정지시키기 위해 조종사가 최초의 조작(즉, 브레이크를 밟거나, 추력을 줄이거나, 스피드 브레이크를 올리거나)을 취해야만 하는 최대속도이다. 또한 V_1 은 이륙 중 VEF 에서 임계엔진이 고장나고, 조종사가 이륙을 계속하여 이륙거리 이내에서 활주로 상 규정된 고도를 이루는 최소속도이다.

< 그림 2-1 > 이륙단념 기준속도 (V_1) 의 두 가지 개념

V_1 - 정지
최대정지속도



자료 : 미국연방항공법(Part 1.2)의 정의를 그림으로 작성.

6) 임계엔진이란 고장시 가장 불리한 기동특성을 나타내는 엔진을 말한다.

7) Federal Aviation Regulation(2003), Part 1, Abbreviations and Definitions.

다. 이륙단념 사고사례 분석

미국교통안전위원회(NTSB) 조사에 의하면, 1959년~2000년 사이의 이륙단념(Rejected Takeoff : RTO) 사고사례 94건 전부가 활주روی탈(overrun) 사고로 이어졌고, 이러한 활주روی탈 사고의 주된 원인은 이륙단념을 늦게 시작하기 때문이라고 보고되었다. 이륙단념 사고사례에 대한 특별 사고조사 보고서에서 나온 결과는 다음과 같다.⁸⁾

- 과거 40년 동안 보고된 이륙단념 사고 또는 준사고의 절반 이상이 V1 속도를 초과한 속도에서 시작되었다.
- 사고 또는 준사고의 약 1/3 은 활주로가 젖어있거나 눈이나 얼음으로 덮인 상황에서 발생하였다.
- 엔진추력의 손실로 인해 발생한 이륙단념 사고 또는 준사고는 1/4 을 약간 상회한다.
- 사고 또는 준사고의 약 1/4 은 타이어나 바퀴의 결함으로 발생하였다.
- 활주로 내에 정지하지 못한 사고의 약 80 % 정도는 훈련을 제대로 받았다면 방지할 수 있었다.

이륙단념 및 이로 인한 사고 또는 준사고 (Accident/Incident)⁹⁾ 현황을 정리하면 <표 2-1>과 같다.

이륙단념의 75%가 80 노트 이하의 저속에서 이루어졌으며 사고(incident)로 이어지는 경우는 드물었다. 그러나 2% 는 120 노트 이상의 속도에서 이륙단념을 수행하였고, 이 경우 대부분 활주로 내에서 정지하지 못하거나 준사고(incident)로 이어졌다. 이를 도표로 정리하면 <표 2-2>와 같다.

V₁ 속도에 대한 인증이 엔진고장을 가정한 것이고, 또한 모의비행장치 훈련도

< 표 2-1 > 이륙, 이륙단념, 활주روی탈 횟수

항목	년도	1959년 에서 1990년 까지	1991년 에서 2000년 까지
	이륙		230,000,000
이륙단념		76,000	53,000
이륙단념시 활주روی탈 사고 / 준사고		74	20

주: 이륙 3,000회 당 이륙단념 1회.

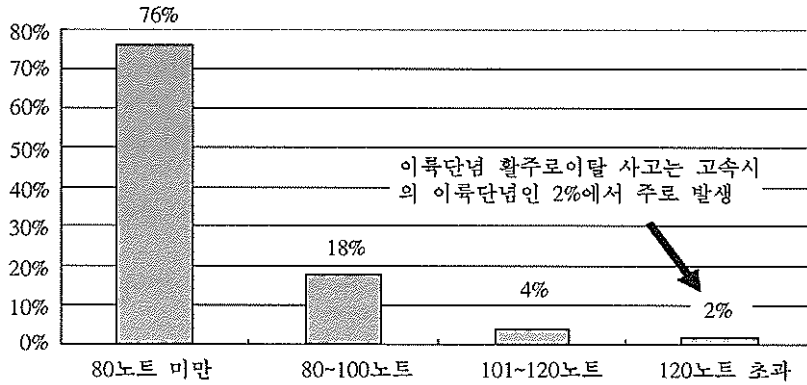
이륙 3,000,000회 당 이륙단념 활주روی탈 사고 또는 준사고 1회.

자료: 미국 보잉사(2000), Takeoff Safety Training Aid.

8) 미국 NTSB / SIR - 90 / 02, 1991년~2000년 까지는 보잉사의 자료를 이용하였다.

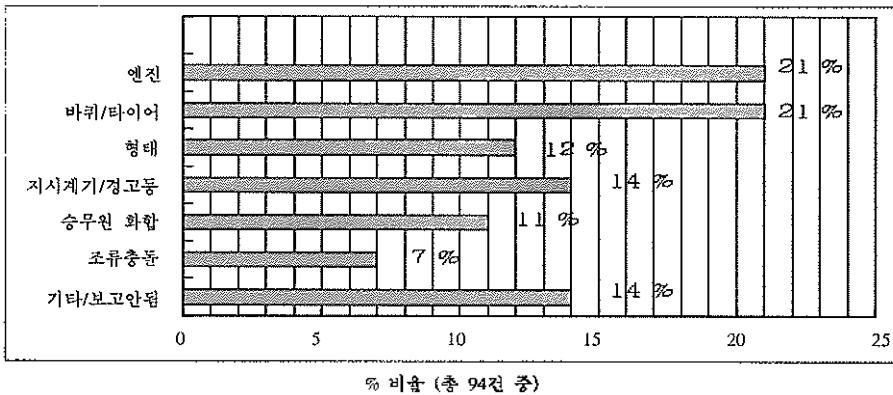
9) ICAO 정의에 의하면 통상 사망자 발생 및 항공기 파손정도가 심한 상태를 사고(incident)라 하고, 부상자 발생 및 파손정도가 약한 상태를 준사고(incident)로 분류한다.

< 표 2-2> 이륙속도 별 이륙단념 비율



자료: 미국 보잉사(2000), Takeoff Safety Training Aid.

< 표 2-3> 이륙단념의 주요 원인



자료: 미국 보잉사(2000), Rejected Takeoff Studies.

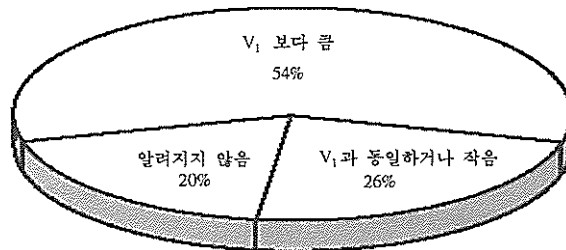
대체로 엔진고장에 치중하여 실시하였음에도 불구하고, 추력의 비정상으로 인한 이륙단념이 전체에서 21% 만 해당된다는 것이 이 조사에서 밝혀졌다.

이 결과는 항공기 제작사에서 권고하는 이륙단념 훈련프로그램에 엔진고장 이외의 사건(event)을 포함되게 하였다. 그 다음으로 바퀴와 타이어 문제로 인한 이륙단념이 21%를 차지했고, 그 외에 항공기형태 부적절, 승무원간의 비협조, 조류 충돌, 항공교통관제(Air Traffic Control) 위반 및 기타사항이 이륙단념 건수의 58%를 차지했다. 이를 도표로 정리하면 <표 2-3>과 같다. 더욱이 이러한 사고

의 54%는 조종사가 그 원인을 제대로 판단하지 못하여 발생했다고 밝혀졌다. 보잉사는 94건의 이륙단념 사건 모두가 활주로 이탈을 초래했기 때문에, 활주로 이탈에 대한 원인도 조사하였다. 이륙단념을 시작한 속도를 이륙단념 기준속도(V_1)로 분류하면 <그림 2-2>와 같다. 이 그림에서 활주로 이탈의 절반 이상(54%)이 V_1 속도를 지나서 이륙단념을 시작하였다는 것은 주목할 만한 점이다. 앞에서 살펴본 바와 같이 V_1 속도의 정의에 의하면 V_1 속도를 지나서 이륙단념을 할 수 없도록 규정되어 있으나, 사고분석 통계에서 나타난 결과를 살펴보면 V_1 속도의 설정 기준을 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.

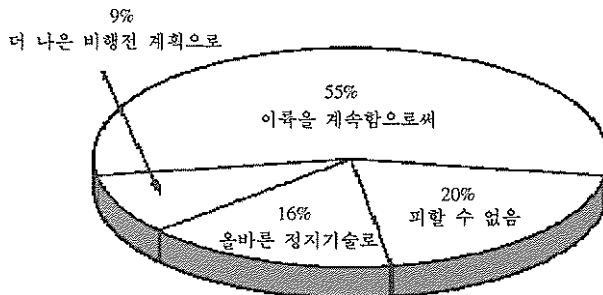
또한 사고를 방지할 수 있는 대안 별로 구분하면 <그림 2-3>과 같이 정리할 수 있다. 이륙단념 사고 또는 준사고의 약 80%는 실제로 피할 수 있었던 것으로 나타났다. <표 2-3> 이륙단념의 주요 원인에 의하면 엔진이 고장나서 이륙 단

<그림 2-2> 이륙단념의 시작 속도
(1959년~2000년 사이의 이륙단념 활주로의이탈 94건 기준.)



자료 : 미국 보잉사(2000), Rejected Takeoff Studies.

<그림 2-3> 이륙단념 사고방지 대안
(1959년~2000년 사이의 이륙단념 활주로의이탈 94건 기준.)



자료 : 미국 보잉사(2000), Rejected Takeoff Studies.

념을 한 경우가 21 % 정도이므로, 약 3/4 이상의 경우에 이륙을 계속했다면 사고 또는 준사고로 연결되지 않았을 수도 있었다고 분석되었다.¹⁰⁾

기간을 10년 단위로 구분하여 자료를 정리하면 <표 2-4>와 같은 데, 천만 회 이륙당 이륙단념 비율이 점차 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 하지만 이륙단념 활주로이탈 사고 및 준사고 회수는 지난 10년 간 22건이 발생한 것을 보면 아직도 이륙단념 사고 및 준사고를 줄이려는 노력이 필요하다고 하겠다.

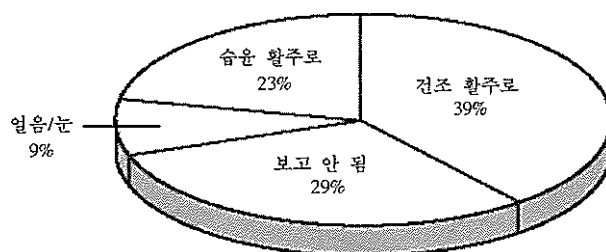
건조한 활주로에서는 이륙단념 시 역추력 사용이 포함되지 않아 여유분으로 간주되지만, 비건조한 활주로에서는 역추력 사용이 포함되어 있으므로 여유분이 적게 된다. 또한 비건조한 활주로에서는 실제 시험비행에 의한 자료가 아니고, 법규에 의해 적절한 제동계수를 적용하여 계산한 것이기 때문에 이륙횟수에 비하여 이륙단념 사고비율이 높다. 이륙단념 사고사례를 활주로 상태 별로 구분하여 정리하면 <그림 2-4>와 같다.

< 표 2-4 > 천만회 이륙당 이륙단념 활주로이탈 사고 및 준사고

기간	이륙 회수	이륙단념 활주로 이탈 사고/준사고	천만회 이륙당 이륙단념 비율
1960~1969	19,045,363	12	6.3
1970~1979	75,984,954	32	4.2
1980~1989	108,963,013	28	2.6
1990~1999	161,957,587	22	1.4

자료: 미국 보잉사(2000), Rejected Takeoff Studies.

< 그림 2-4 > 활주로 상태 별 이륙단념 분류
(1959년-2000년 사이의 이륙단념 활주로이탈 94건 기준.)



자료: 미국 보잉사(2000), Rejected Takeoff Studies.

10) FAA(1994), Advisory Circular 120-62, Takeoff Safety Training Aid, Sep 12.

이륙단념 사고 비율을 보면 건조한 활주로에서 뿐만 아니라, 습윤 및 얼음 또는 눈으로 덮힌 활주로에서의 비율이 32%에 달하므로, 활주로 마찰계수가 감소된 비건조한 활주로에서의 이륙단념 사고에 관한 문제점도 파악할 필요가 있는 것으로 나타났다.

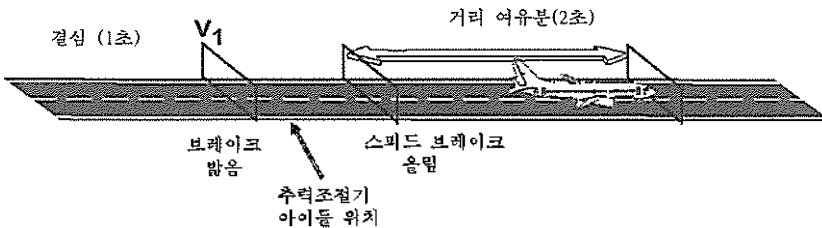
III. 이륙단념 인증기준

가. 이륙단념 인증기준

미국연방항공청의 이륙단념(rejected takeoff) 또는 가속정지거리(accelerate-stop distance) 인증절차는 다음과 같다. 가속정지거리 인증을 위한 시험비행에서 항공기를 사건(event)¹¹⁾이 발생한다고 가정하는 지점까지 가속한다. V_1 속도는 이런 사건의 1초 후에 발생하는 속도이다. 그 이후 항공기를 정지하기 위해 브레이크를 밟고, 추력조절기의 아이들(idle) 위치¹²⁾, 스피드브레이크¹³⁾를 올림 등을 여러 번 수행한 평균시간을 계산하여 가속정지 거리를 산출한다.

이러한 이륙단념 전환과정을 <그림 3-1>과 같이 정리하였다. 인증기준에는 사건발생과 그것을 조종사가 인지한 사이의 시간을 1초로 가정한다. 그리고 나서 조종사 반응시간에 대한 여유분을 주기 위해 2초에 해당하는 거리 여유분을 추가한다. 미국연방항공청에서 인가한 항공기비행규정(Airplane Flight Manual)의 가속정지(accelerate-stop) 성능자료는 임무조종사가 이륙을 단념하는 첫 번째 조작을 V_1 속도에서 시작하는 것을 근거로 하고 있다. 항공기 및 시스템이 완전제동

< 그림 3-1 > 항공기비행규정의 가속정지거리 적용



11) 이전에는 엔진이 고장나는 것으로만 간주했으나, 현재는 엔진고장 이외에 타이어 파열, 시스템 고장 등 이륙을 지속할 수 없는 사건(event)을 지칭하는 포괄적 의미로 사용한다.

12) 추력조절기의 맨 아래 위치이며 제일 낮은 추력이 발생한다.

13) 항공역학적인 제동장치로서, 보통 날개위의 제동판을 올린다.

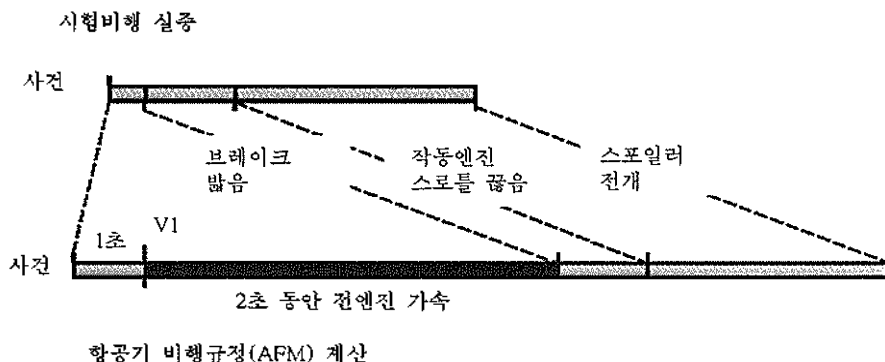
상태로 안정되었을 때 V_1 속도를 지나서 발생하는 잔여가속성분이 항공기비행규정의 가속·정지 성능자료에 반드시 포함되어야 한다. 엔진 회전-감소, 브레이크 압력 증가, 스포일러 작동시간 등의 시스템 전환효과는 이 시간에 포함되어야 한다.¹⁴⁾ <그림 3-1>에 표시되어 있는 부분을 살펴보면, 현행 법규는 V_1 속도에서 2초에 해당하는 거리를 여유분으로 주고 있다. 그러나 예전 법규를 적용한 항공기는 이 속도의 차이 때문에 여유분의 차이가 발생하였다. <그림 3-2>의 이륙단념 순서대로 엔진고장 시부터 완전 제동상태까지의 시간은 시험비행에서는 약 1~1.4 초가 걸리고, 비행규정에의 확대 적용은 약 4초 정도이다.¹⁵⁾ 현장 조종사들의 이륙단념 인지 및 전환시간을 위해 비행규정에 확대 적용하는 방법은 <그림 3-2>에 기술되어 있다.

건조활주로에 대한 B777 항공기의 항공기비행규정(AFM) 전환시간 적용은 아래와 같이 구분될 수 있다.

- ① 엔진고장 인지에 대한 여유분 : 1 초
- ② 법규에 의한 추가 여유분 : 2 초
- ③ 시험비행 시 추력조절기 줄임 및 브레이크 작동에 대한 실증시간 : 0.14 초
- ④ 시험비행 시 스피드 브레이크 올림에 대한 실증 시간 : 0.62 초

전환시간은 크게 차이가 없지만 B777 기종은 미국연방항공법 개정법안 25-42를 적용하여 항공기가 V_1 속도에서 2초 동안 전엔진 작동상태로 가속된다고 가

<그림 3-2> B777 항공기의 이륙단념 전환 방법 (개정법안 25-42)¹⁶⁾



14) FAA(1998), Advisory Circular 25-7A, Flight Test Guide for Certification of Transport Category Airplanes, May 31.

15) Boeing Performance Fundamentals Course, Takeoff Section.

16) FAR Part 25(2000), Amend 25-42, Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes.

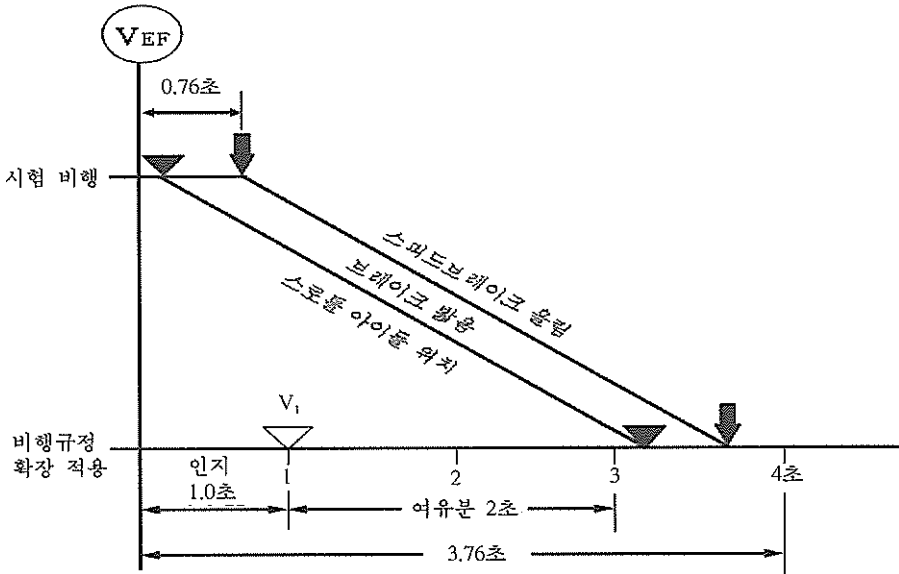
정한 것이다. 이러한 V_1 속도에서 가속 및 등속의 가정 차이는 <그림 3-4>의 항공기비행규정 전환시간 적용의 변천에서 나타난 바와 같이 필요이륙거리의 차이를 보인다. 즉, B777 기종의 필요이륙거리는 B737 NG 기종의 그것보다 평균 100~150 피트 길게 산출된다. 현재 적용받는 법규로 보면 B777 처럼 더 긴 이륙거리를 요구하는 것은 문제가 없으나, B777 이전의 법규로 인증받은 항공기들은 현재 기준보다 더 적은 이륙거리를 요구하므로 동일한 활주로길이에 있어서 더 큰 중량으로 이륙할 수 있게 되는 문제가 생긴다. <그림 3-3>은 위의 자료를 그림으로 그린 것이다.

나. 이륙단념의 문제점

1. 이륙단념 전환시간 적용 법규

미국연방항공법 제 25부는 시험비행 조종사와 현장 조종사들의 반응시간과 조작시간의 잠재적 차이를 보상해주기 위해 인증 시험비행 중 얻은 가속정지 성능 자료의 수정을 요구하고 있다. 1978년 이전에 미국연방항공법은 항공기 제작회

<그림 3-3> B777 항공기의 시험비행 및 비행규정 적용 시간

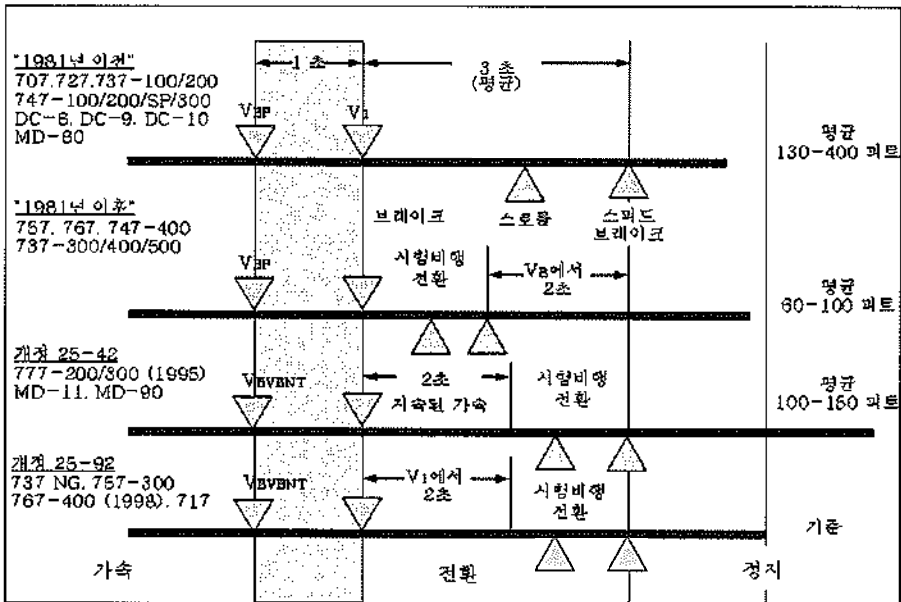


자료 : 미국 보잉사의 자료를 그림으로 작성

사가 V_1 속도를 지나서 항공기가 2초 동안 진행하는 것을 허용하도록 가속정지 거리 수정을 요구하였다. 1978년, 미국연방항공법 제 25부는 V_1 속도를 지나서 2초 동안 가속이 지속된 것에 해당하는 거리를 항공기 제작회사가 추가하도록 개정되었다. 미연방항공청은 이러한 개정이 조종사가 이륙을 단념하는 조작을 취하는 데 필요한 시간을 보다 현실적으로 보상해 줄 것이라고 발표했다. <그림 3-4>는 항공기 비행규정에 확대 적용한 전환시간의 변천과 현재 적용되는 법규를 기준으로 한 가속정지 거리의 차이를 보여주고 있다.

<그림 3-4>에 의하면, 가장 최근의 미국연방항공법 개정법안 25-92에 의해 인증 받은 항공기를 기준으로 보면, '1981년 이후' 법규에 의한 항공기는 가속정지 거리가 평균 60 피트~100 피트 정도 적게 인증되고, '1981년 이전' 법규에 의한 항공기는 평균 130 피트~400 피트 정도 적게 인증되었음을 알 수 있다. 이것은 동일한 활주로 길이에서 이륙중량이 더 많게 산출됨을 의미하며, 상대적으로 V_1 속도가 크다는 것을 의미한다. 따라서 현재 적용하는 법규가 가장 합리적이라고 가정하면, 이러한 항공기들은 이륙단념 시 활주روی탈의 가능성이 높다는 것을 알 수 있다.

<그림 3-4> 항공기 비행규정의 이륙단념 전환시간 적용의 변천



자료: 미국 보잉사(2002), V_1 &Go/No Go Decision.

2. 닳은 브레이크(worn-brake) 사용

항공기의 인증을 받기 위한 시험비행 시 사용하는 브레이크는 거의 새 것을 사용하지만, 특별사고조사¹⁷⁾에서 밝혀진 바와 같이 이륙단념 사고 발생시에는 거의 교체해야 될 수준에 도달해 있었다. 이것은 이륙단념 시 규정된 브레이크 제동능력을 제대로 발휘하지 못한다는 것을 의미한다. 1998년 2월 개정된 미국연방항공법 제 25부는 항공기의 모든 브레이크가 완전히 닳은 제한치(즉, 정비 제한치)에서 가속정지 거리가 정해져야 한다고 요구하고 있다. 현재 미국연방항공법 제 25부는 가속정지거리와 최대 브레이크-에너지 흡수능력 등급이 한계까지 완전히 닳은 브레이크를 사용하도록 규정하고 있다. 개정된 기준도 역시 잔여 브레이크가 허용된 마모범위의 10% 를 넘지 않는 바퀴 브레이크를 최대 운동에너지 이륙단념을 증명하는 인증 시험비행에 사용하도록 요구하고 있다.

3. 습윤활주로(wet runway)의 이륙성능 자료

1998년 이전의 미국연방항공법은 습윤활주로(wet runway)에서의 이륙성능 자료를 요구하지 않았다. 따라서 실제로 습윤활주로에서 시험비행 증명을 하지 않고, 건조활주로의 자료를 기준으로 계산한 자료를 사용하였다. 이런 계산에는 회보¹⁸⁾가 적용되었는데, 이 회보에는 습윤활주로의 제동계수(braking coefficient)를 건조활주로 제동계수의 1/2 로 간주하도록 되어 있다. 그러나 사고조사 보고서에 의하면 습윤활주로의 제동계수는 건조활주로 제동계수의 1/2 보다 더 불량한 것으로 나타났다. 1998년 개정된 미국연방항공법 제 25부의 기준은 습윤활주로에서 시험비행을 하여 이륙성능을 계산하도록 하였다. 개정된 기준은 습윤활주로의 가속정지거리를 결정할 때 역추력의 감속효과를 허용하지만, 건조활주로의 가속정지 거리를 결정할 때 역추력은 허용되지 않는다. 그러나 대부분의 이륙단념 시에 역추력을 사용함으로써 발생하는 추가 안전여유분은 건조활주로에서의 가속정지거리 결정에 상당한 영향을 주는 다른 변수들을 상쇄하는 데 필요하다.

4. 활주로 정대거리 보정

1998년 2월에 개정된 미국 연방항공법 이륙성능 기준에서, 미국 기준과 유럽 기준의 또 다른 차이점은 활주로 정대거리(line-up distance)를 보정해주는 문제이다. 활주로 정대거리란 항공기가 이륙하기 위해 유도로(taxiway)에서 활주로로 진

17) U.S.NTSB. Special Investigation Report: Brake Performance of the McDonnell Douglas DC-10-30/40 During High Speed, High Energy Rejected Takeoffs, NTSB/SIR-90/01. Feb 1990.

18) 미국 FAA(1989), Advisory Circular 91-6B. Performance information for operation with water, slush, snow, or ice on the runway.

입할 때 활주로 중심선(runway center line)에 정렬하는 데 사용되는 거리를 말한다. 이 활주로 정대거리는 이륙활주를 시작하기 전에 이미 사용된 거리이므로, 실제 공표된 활주로길이에서 감하여 이륙성능을 계산해야 한다. 따라서 이를 보정해 주지 않으면 이륙중량이 활주로 정대거리 만큼 높게 산출된다. 이미 인증을 받은 항공기에 대해 소급하여 적용하는 경우에 대한 기종 별 활주로정대 예상거리, 예상 중량감소 및 잠재 수입감소를 <표 3-1>에 소개하였다.

이미 인증을 받은 항공기는 <표 3-1>에 나와 있는 예상중량 만큼 높은 중량으로 운항하고 있다는 의미이다.

IV. 설문 분석

가. 설문지 작성 및 수집

이륙단념에 대한 문제점을 파악하기 위해서는 먼저 현장 조종사(line pilots)들이 이륙성능 법규와 이륙단념 기준속도(V_1)를 제대로 이해하고 있는 지를 알 필요가 있으며, 또한 현행 이륙단념절차의 만족 여부와 이륙단념을 수행한다고 가정할 때 훈련 및 경험에 의한 이륙단념 전환시간을 알 필요가 있다고 판단하였다. 이런 내용을 포함하여 이륙단념에 대한 조종사들의 성향을 파악하기 위해 설문지를 국문(내국인 조종사용)과 영문(외국인 기장용)으로 작성하였다. 물론 이륙단념 전환시간은 경험에 의한 것이므로 모의실험을 병행하여 실증분석을 하였다. 설문지는 아래와 같은 항목으로 설문 내용을 구성하였다.

① 이륙단념 인증기준에 대한 인지여부

< 표 3-1 > 활주로 정대거리 성능 및 비용 영향

기종 \ 제원	90° 회전		180° 회전	
	예상거리 (ft)	예상중량(lbs)	예상거리 (ft)	예상중량(lbs)
747-400	-115	-3000	-145	-3800
767-200	-105	-2100	-112	-2250
777-200	-124	-3500	-149	-4500
DC-10-30	-110	-2000	-196	-3500
MD-11	-122	-4450	-222	-8850

주: 잠재 수입감소 : 전세계 모든 항공사 및 기종을 고려하고, 이륙의 5%가 제한 받는다는 기준으로 연간 2억 7500만 달러.

자료: 국제 항공사조종사 협회.

- ② V1 속도 정의에 대한 인지여부
- ③ 현재 적용하는 이륙단념절차에 대한 만족여부
- ④ 이륙단념 수행을 가정한 조종사 반응시간의 추정
- ⑤ 타 항공사의 이륙단념 절차에 대한 인지여부
- ⑥ 인구통계학적 질문 사항
- ⑦ 기타 이륙단념에 관련된 제안사항

2003년 2월 28일 기준, K 항공사의 운항승무원 현황을 살펴보면, 기장이 881명 (내국인 기장이 616명, 외국인 기장이 265명), 부기장이 910명, 항공기관사가 66명으로 총 1,857명으로 집계되었다. 설문자료 수집기간은 2003년 4월 16일 부터 5월 28일 까지로 하였으며, 이 중 내국인 기장 88매, 부기장 153매, 외국인 기장 65매, 총 307매를 수집하였다.

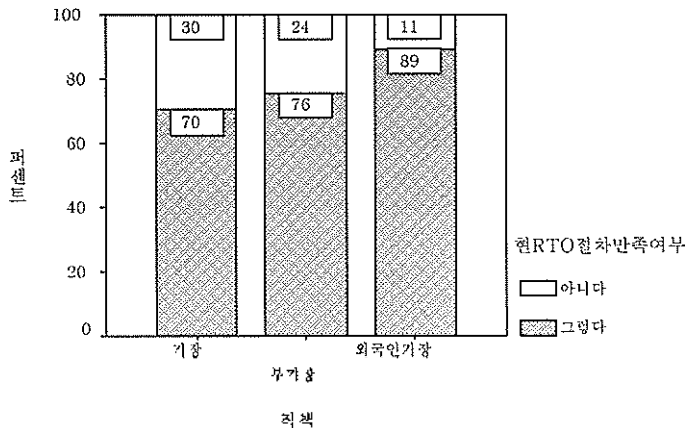
나. 설문 분석

설문지 자료에 대한 통계분석은 SPSS 10.0 을 이용하여 교차분석을 수행하였다.

1. 이륙단념 전환시간 이외의 항목에 대한 교차분석

① 직책 대 현행 이륙단념절차 만족여부

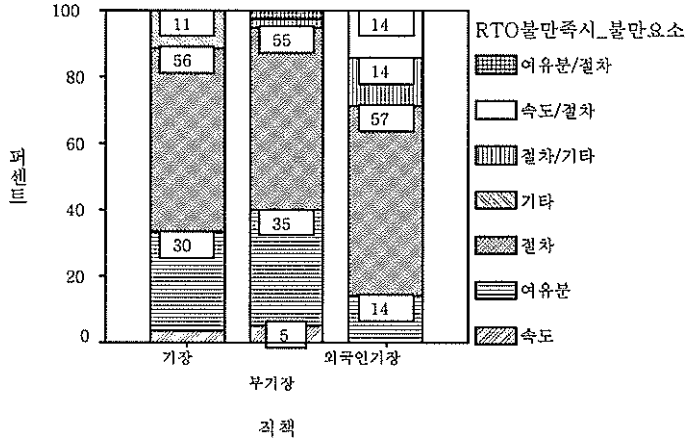
< 표 4-1> 직책 대 이륙단념절차 만족여부 교차표



직책 대 현행 이륙단념절차 만족여부에서는 외국인 기장의 만족도가 내국인 기장 보다 19% 높은 것으로 나타났다. 또한 내국인 기장과 부기장은 거의 비슷한 수준을 보였다. 외국인 기장들은 기간제 계약조건으로 채용되며, 회사의 현행 절차에 불만을 표시하지 않는 경향이 있는 것으로 해석된다.

② 직책 대 현행 이륙단념절차의 불만 요소

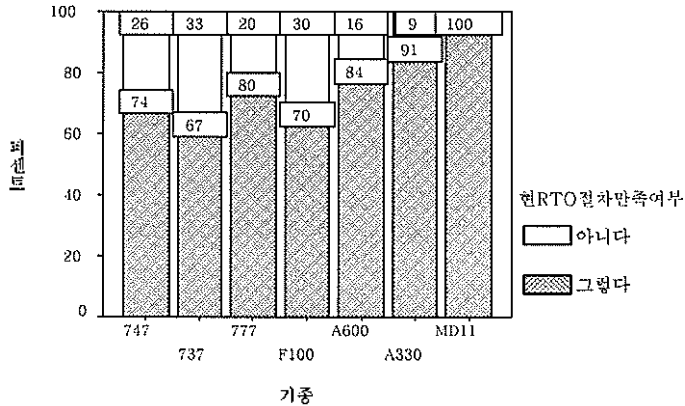
< 표 4-2 > 직책 대 이륙단념절차 불만요소 교차표



직책 대 현행 이륙단념절차 불만요소에서 내국인 기장과 외국인 기장 및 부기장 모두에게 가장 많이 나온 것은 절차로 50%를 상회하였다. 그 다음으로는 내국인 기장의 30%, 부기장의 35%가 여유분이라고 응답하였는데, 외국인 기장은 14%가 여유분이라고 응답하였다. 외국인 기장은 여유분 설정에 많은 비중을 두지 않는 것으로 해석된다.

③ 기종 대 현행 이륙단념절차 만족여부

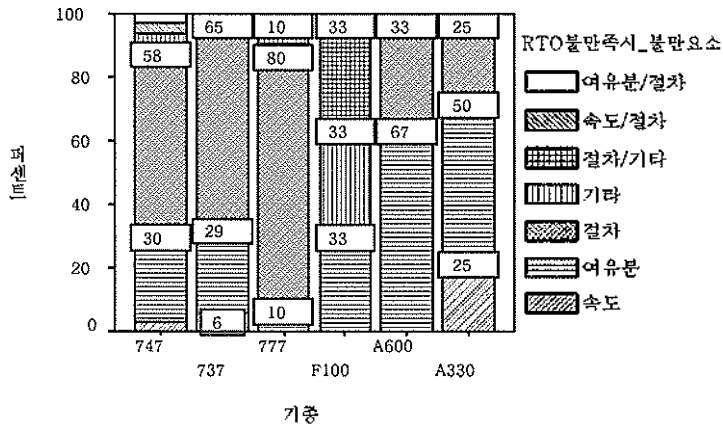
< 표 4-3 > 기종 대 이륙단념절차 만족여부 교차표



기종 대 현행 이륙단념절차 만족여부에서는 보잉 기종에서 불만족도가 약간 높게 나타났는데, 그 주된 이유가 절차라는 것은 위에서 밝힌 바 있다.

④ 기종 대 이륙단념절차 불만족 요소

< 표 4-4> 기종 대 이륙단념절차 불만요소 교차표



기종 대 이륙단념절차 불만요소는 보잉 기종에서 절차라고 응답한 부분이 50%를 상회하고, 특히 B777 기종은 80%로 나타났다. 기타 기종은 여유분이라고 응답한 부분이 가장 높았다. 이는 보잉 기종에 대해서는 절차 검토가 필요한 것으로 해석되며, 전체 기종에서는 여유분에 대한 검토와 보완이 있어야 할 것으로 해석된다.

2. 이륙단념 전환시간 관련 항목의 교차분석

① 기종 대 이륙단념 전환시간

< 표 4-5> 교차표 - 기종 대 이륙단념 전환시간

항목	기종	설문기수	평균 / 초	표준편차
엔진고장_RTO결심시간	747	124	3.63 / 1.8초	1.54
	777	50	3.54 / 1.8초	1.47
	기타	120	3.52 / 1.8초	1.65
	합계	294	3.57 / 1.8초	1.57
타이어파열_RTO결심시간	747	121	5.40 / 3.2초	2.48
	777	49	5.43 / 3.2초	2.73
	기타	121	4.38 / 2.7초	2.28
	합계	291	4.98 / 3.0초	2.49

< 표 4-5> Contineud

시스템고장_RTO결심시간	747	124	4.72 / 2.8초	2.38
	777	47	4.83 / 2.8초	2.55
	기타	120	4.35 / 2.7초	2.43
	합계	291	4.58 / 2.8초	2.43
결심_계동시작 시간	747	125	3.62 / 1.8초	2.01
	777	50	3.60 / 1.8초	2.07
	기타	121	3.52 / 1.8초	2.16
	합계	296	3.57 / 1.8초	2.08
계동시작_완료 시간	747	118	4.95 / 3.0초	2.53
	777	47	4.81 / 2.9초	2.40
	기타	113	5.10 / 3.0초	2.94
	합계	278	4.99 / 3.0초	2.68

주: 초 계산은 설문문항의 적도 평균을 환산하였음.

기종 별 이륙단념 전환시간에는 대체로 차이가 없는 것으로 나타났으나, 타이어 파열 시 이륙단념 결심시간에서 B747 과 B777 을 제외한 기타 기종에서 0.5 초 정도 빠른 것으로 나타났다. 이것은 바퀴가 더 많이 달려 있는 대형기종 보다 중, 소형기종에서 더 빨리 감지할 수 있는 것으로 해석된다.

② 직책 대 이륙단념 전환시간

< 표 4-6> 교차표 - 직책 대 이륙단념 전환시간

항목	직책	설문지수	평균 / 초	표준편차
엔진고장_RTO결심시간	기장	87	3.44 / 1.7초	1.65
	외국인기장	64	3.22 / 1.6초	1.22
	부기장	153	3.80 / 1.9초	1.61
	합계	304	3.57 / 1.8초	1.56
타이어파열_RTO결심시간	기장	88	4.72 / 2.9초	2.58
	외국인기장	59	5.14 / 3.1초	2.60
	부기장	153	5.07 / 3.0초	2.38
	합계	300	4.98 / 3.0초	2.48
시스템고장_RTO결심시간	기장	88	4.42 / 2.7초	2.44
	외국인기장	60	4.50 / 2.7초	2.42
	부기장	153	4.63 / 2.8초	2.43
	합계	301	4.55 / 2.8초	2.42

< 표 4-6> Contineud

결심_제동시작 시간	기장	88	3.51 / 1.8초	2.09
	외국인기장	65	2.97 / 1.5초	1.77
	부기장	153	3.80 / 1.9초	2.13
	합계	306	3.54 / 1.8초	2.06
제동시작_완료 시간	기장	82	5.35 / 3.2초	2.70
	외국인기장	62	4.60 / 2.8초	2.63
	부기장	143	4.94 / 3.0초	2.70
	합계	287	4.98 / 3.0초	2.69

주: 초 계산은 설문문항의 척도 평균을 환산하였음.

직책 별 전환시간에는 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 결심에서 제동조작을 시작하는 시간은 외국인 기장이 내국인 기장보다 0.3 초 빠른 것으로 나타났다.

③ B777 기종의 직책 대 이륙단념 전환시간

< 표 4-7> 교차표 - B777 기종의 직책 대 이륙단념 전환시간

항목	직책(B777)	설문지 수	평균 / 초	표준편차
엔진고장_RTO결심시간	기장	11	3.27 / 1.7초	1.42
	외국인기장	21	3.48 / 1.6초	1.40
	부기장	18	3.78 / 1.9초	1.63
	합계	50	3.54 / 1.8초	1.47
타이어파열_RTO결심시간	기장	11	5.09 / 3.0초	3.24
	외국인기장	20	5.65 / 3.3초	2.83
	부기장	18	5.39 / 3.2초	2.40
	합계	49	5.43 / 3.2초	2.73
시스템고장_RTO결심시간	기장	11	4.46 / 2.7초	2.54
	외국인기장	18	4.94 / 3.0초	2.56
	부기장	18	4.94 / 3.0초	2.67
	합계	47	4.83 / 2.9초	2.55
결심_제동시작 시간	기장	11	3.46 / 1.7초	1.57
	외국인기장	21	2.90 / 1.5초	1.61
	부기장	18	4.50 / 2.7초	2.53
	합계	50	3.60 / 1.8초	2.07
제동시작_완료 시간	기장	9	5.67 / 3.3초	2.45
	외국인기장	20	4.40 / 2.7초	2.35
	부기장	18	4.83 / 2.9초	2.46
	합계	47	4.81 / 2.9초	2.40

주: 초 계산은 설문문항의 척도 평균을 환산하였음.

B777 기종의 직책 별 이륙단념 전환시간에는 대체로 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 이륙단념 제동시작에서 완료하는 시간에서 외국인 기장이 내국인 기장보다 0.6 초 빠른 것으로 나타났다. 이것은 직책 별 이륙단념 전환시간에서 기술한 바와 같이 외국인 기장들이 비행시간이 많고 다양한 경험을 갖고 있어서 나온 결과로 해석된다.

V. 모의실험 및 분석

가. 자료 수집

항공기 인증 시 시험비행 조종사에 의한 이륙단념 전환시간과 K 항공사의 현장 조종사들을 대상으로 모의비행장치로 측정한 이륙단념 전환시간을 비교하기 위해, 보잉사의 B777 기종의 기장 30명을 대상으로 B777 모의비행장치를 이용하여 각 3 회씩 시험비행과 동일한 상황에서 이륙단념의 인지 및 반응시간(recognition and reaction time)을 총 90 회 측정하였다. 이륙단념에 적용된 절차는 다음과 같다;

- ① 추력조절기 닫음 (Thrust Lever Close)
- ② 브레이크 밟음 (Brakes Activation)
- ③ 스피드 브레이크 수동 올림(Speed Brakes Up Manual)

미리 이륙단념을 수행할 예정임을 알려주고, 엔진 한 개 고장(engine flameout)인 상황으로 V₁ 속도의 10 노트 전에서 경고음을 주도도록 하였고, 엔진고장은 좌, 우측 엔진을 임의로 선택하였다. 역추력(Reverse Thrust) 사용 시간도 측정하였으나, 시험비행과 동일한 상황이 아니므로 비교 자료에는 포함하지 않았다. 모의비행장치 (simulator)는 정기훈련, 기장승격 및 기종전환 훈련 등으로 연중 내내 사용되고 있으므로 모의실험을 위한 시간을 별도로 내기가 어려워서, 정기훈련을 마치고 나오는 B777 기장들에게 의뢰하여 실시하였으며, 기간은 2003년 8월 1일부터 9월 30일까지로 한정하였다.

나. 자료 분석

엔진고장 경고음으로부터 추력조절기 닫음(thrust lever close)까지는 평균 1.85 초가 걸렸으며, 브레이크 밟음(brake application)까지는 평균 2.42 초가 걸렸고, 스피드 브레이크를 수동으로 올리는 조작 (speedbrakes up) 까지는 평균 3.16 초가 걸렸다. 실측한 자료의 평균값을 <표 5-1>와 같이 도표로 작성하였다.

< 표 5-1> 모의실험 전환시간 평균값 (단위: 초)

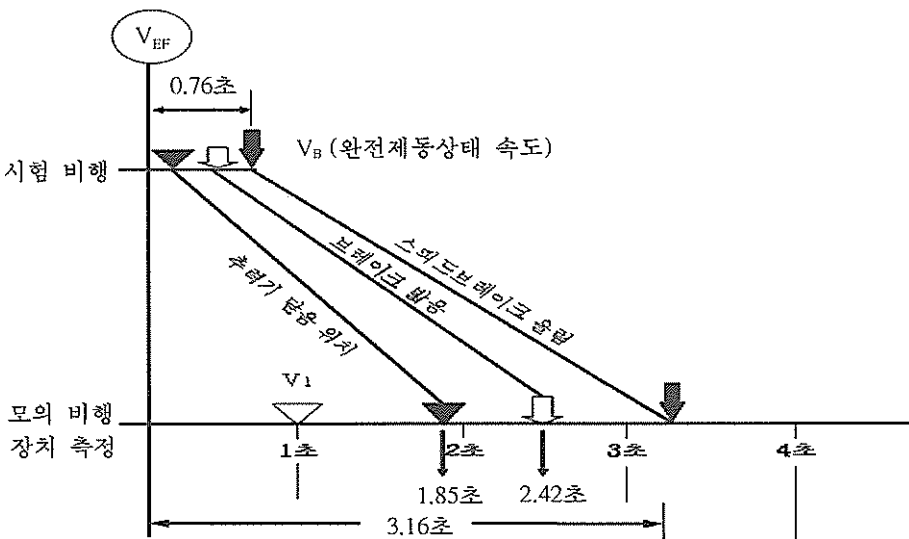
구분	회수	최소값	최대값	평균	표준편차
추력조절기 닫음	90	1.10	4.00	1.85	0.5255
브레이크 밟음	90	1.10	4.30	2.42	0.7592
스피드브레이크 올림	90	2.40	4.30	3.16	0.5052
역추력 사용	90	2.40	6.60	3.40	0.7375
유효수 (목록별)	90				

다. 시험비행 자료와의 비교

이륙단념 전환시간에 대한 모의실험 전환시간 자료를 시험비행 전환시간 자료와 비교하기 위해 각 조작시간을 <그림 5-1>과 같이 작성하였다.

동일한 조건하에서 B-777 시험비행 시 이륙단념 전환시간은 0.76초가 걸렸으나, 모의비행장치에 의한 모의실험에서는 3.16초가 걸렸다. B-777 항공기 비행규정에는 현장 조종사를 위해 이륙단념에 대한 인지 및 반응시간을 총 3.76초 적용하였고, 이는 사건(event)의 인지를 위한 1초에다 2초의 추가 여유분 및 시험비행 전환시간 0.76초를 합한 것이다. 모의실험에서 나온 전환시간 3.16초에 인지시간 1초를 더하고 추가 여유분 1초를 더하면 총 5.16초가 걸리므로, 초과분 1.5 초에

< 그림 5-1> 시험비행 전환시간과 모의실험 전환시간 비교



대한 보상을 V_1 속도로 해준다면 6 노트를 줄여서 사용해야 한다는 결론이 나온다.

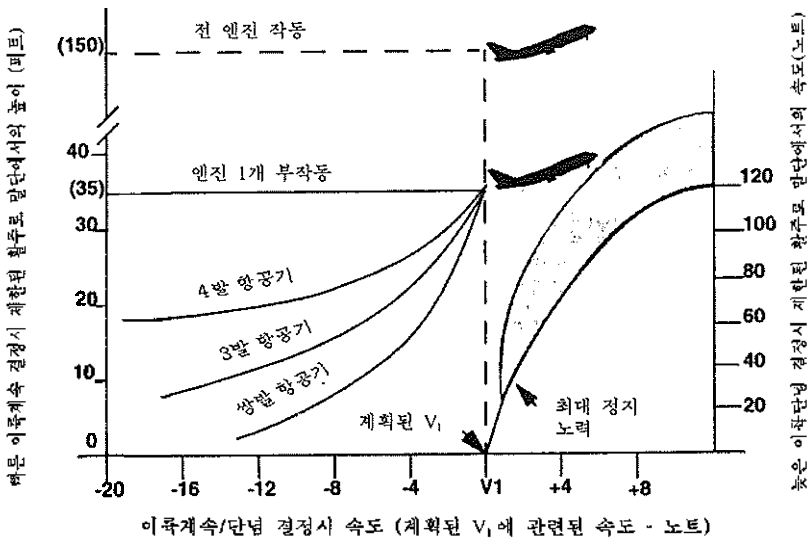
VI. 이륙단념절차 대안

가. 이륙계속과 이륙단념의 비교

이륙계속과 이륙단념의 위험성을 비교하여 보면, 이륙을 계속하는 경우에는 추가 여유분이 있다. 이것이 이륙계속(continued takeoff) 결심의 장점이다. <그림 6-1>에 이륙계속과 이륙단념을 미리 하거나 늦게 하는 결과를 표시하였다.

항공기 비행규정에 의하면 엔진고장을 V_1 에서 인지하고 이륙을 계속하는 경우, 활주로 끝에서 적어도 35 피트의 고도를 이룰 수 있다. 만일 35 피트 보다 낮은 고도를 이룬다 해도 항공기가 반드시 사고 또는 준사고로 이어지는 것은 아니다. 이러한 추가 여유분이 이륙단념에 비해 이륙계속 결정이 우월한 이유이다.¹⁹⁾ <그림 6-1>을 보면 이륙계속의 장점을 더 분명히 알 수 있다. 엔진고장이 항공

<그림 6-1> 빠른 또는 늦은 이륙계속 및 이륙단념의 결과



자료 : 대한항공 비행운영규정(Flight Operating Manual).

19) Boeing Airliner/OCT-DEC(1986), Lufthansa Go/No Go Philosophy. Ernst-A. Limley.

기 인증서(V_1 의 1초 전, 즉 $V_1 - 4$ 노트) 보다 1초 더 전에(즉, $V_1 - 7$ 8노트) 고장 나서 이륙을 계속하는 경우 쌍발항공기는 활주로 끝에서 15피트 정도를 이루게 된다. 그러나 이륙단념의 경우 정지조작이 1초만 늦어도(즉, $V_1 + 4$ 노트) 활주로 끝에서의 항공기 속도가 70노트가 될 정도가 속도가 줄지 않으므로, 이 경우 활주로 이탈 및 사고 또는 준사고로 이어질 가능성이 아주 크다.

나. 현행 이륙단념 절차

현재 K 항공사가 적용하는 B777 기종의 이륙단념절차를 소개하면 다음과 같다. “기장만이 이륙단념 결심을 할 수 있으며, 기장은 제동조작을 시작할 수 있도록 반드시 V_1 속도까지는 결심하여야 한다. 만일 이륙을 단념할 결심이 섰으면, 기장은 분명하게 ‘이륙단념(Reject)’ 이라고 말하고, 제동조작을 시작하며, 항공기 조종을 맡는다. 만일 부기장(first officer)이 이륙을 하고 있으면, 부기장은 기장이 조종에 적극적으로 개입을 할 때까지 항공기 조종을 포기해서는 안된다. 속도가 80 노트 이전에는 시스템 고장, 비정상적 소음 또는 진동, 타이어 고장, 비정상적으로 느린 가속, 엔진 고장, 엔진 화재, 부적절한 항공기 자세 경고, 예상된 윈드쉬어(wind shear) 경고, 또는 비행하기에 안전치 못하거나 비행 불가능한 경우에 반드시 이륙단념을 하도록 되어 있다. 그리고 속도 80노트 이후에는 엔진 고장 또는 화재, 예상된 윈드쉬어 경고, 또는 비행하기에 안전하지 못하거나 비행이 불가능한 경우에만 이륙단념을 하도록 규정되어 있다.”²⁰⁾ 아래의 <표 6-1>은 B777 기종에서 현재 사용하고 있는 기장, 부기장의 이륙단념 조작절차를 기술하고 있다. 이 절차는 항공기 제작회사에서 수립한 것인데, 80 노트를 기준으로 하여 이륙단념을 해야 하는 상황을 기술하고 있다. 고속시의 이륙단념이 활주로 이탈로 이어진 것은 제 2장에서 기술된 사고사례 분석에서 살펴보았다. K 항공사에서 보유하고 있는 기종의 이륙속도를 살펴 보면 80 노트 보다 적어도 50 노트 이상 높다. 이 절차는 고속 영역의 정의를 너무 낮게 설정하므로 책임회피의 느낌이 든다. 현재 국내의 항공사들이 사용하는 이륙 표준절차는 항공기제작사에서 만든 항공기 비행규정(AFM)의 속도표(speed card)에서 V_1 속도를 찾아 사용한다. 이 속도표에는 항공기의 무게와 고양력 장치인 플랩(flaps)의 사용 정도에 따라 적절한 속도들이 설정되어 있다. 그러나 이러한 속도들은 미국연방항공청이 인정하는 최소한도의 시간만을 포함하고 있다.

< 표 6-1 > B777 기종의 기장 및 부기장의 이륙단념 조작 절차

기장	부기장
지체없이;	다음 조작을 확인한다:
동시에 추력조절기를 닫고(필요시, 자동추력조절기를 끈다.) 최대한 바퀴 브레이크를 밟거나 이륙단념 자동 브레이크 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.	스피드브레이크 조절기의 UP 상태를 확인하고 'SPEEDBRAKES UP' 을 불러준다. 만일 스피드브레이크 조절기가 UP되지 않으면 'SPEEDBRAKES NOT UP' 을 불러준다.
스피드브레이크 조절기를 올린다.	빠뜨린 조작항목이 있으면 불러준다.
상황에 맞게 최대 역추력을 사용한다.	
항공기가 활주로상에 확실히 정지할 때까지 최대 제동을 지속한다.	
활주로길이에 여유가 있으면;	60 노트를 불러준다.
활주속도에 도달할 때까지 역추력 조절기를 아 이들 역추력 위치 에 놓는다.	가능한 한 빨리 이륙단념 결심을 관제탑과 관련 승무원들에게 알린다.

다. 이륙단념절차의 대안

1970 년대에 미국 보잉사에서 모의비행장치로 수행한 연구에 의하면, 조종사가 이륙단념을 수행하는데 엔진 화재나 고장 시에는 3초 정도이고, 그 이외의 상황에서는 3초에서 7초가 소요되는 것으로 나타났다.²¹⁾ 이것은 고속에서의 이륙단념이 활주로의 이탈의 가능성이 높다는 것을 의미한다. 왜냐하면 엔진고장의 경우 이륙단념 수행에 3초 정도가 걸린다면, V_1 속도 부근에서 엔진고장이 발생하는 경우 V_1 속도를 지나서 이륙단념 조작을 수행할 가능성이 크다. 만일 V_1 속도를 1초 지나서 제동조작을 시작하게 되면 활주로 끝에 도달했을 때 항공기속도가 50 노트 정도(시속 80 킬로미터)가 되고, 2초 지나서 제동조작을 하게 되면 70 노트(시속 112 킬로미터) 정도가 된다. 이것은 제동조작이 약간만 늦게 시작되어도 감속이 제대로 되지 않아 활주로 끝에 도달했을 때의 항공기속도가 상당히 높은 속도임을 보여주고 있다.²²⁾ 또한 V_1 속도는 이륙계속의 경우에 대한 성능도 충족시켜야 하는 양면성이 있다. 건조한 활주로에서는 V_1 속도 1초 전에 엔진이

20) Boeing 777 QRH(2000), Sec. NNM.1.2-1.3, Rejected Takeoff.
21) Boeing Aero Magazine 11(2000), Rejected Takeoff Studies, July.
22) Boeing Airliner OCT-DEC(1986).

고장난 상태로 이륙계속 시 35 피트의 고도를 이루어야 한다. <그림 6-1>에서는 V_1 속도 1초 전보다 더 먼저 고장이 나는 경우에 도달하는 고도를 보여주고 있다. 예를 들어, $V_1 - 4$ 노트인 경우(즉, 엔진이 V_1 보다 2초 전에 고장나는 경우)는 쌍발 엔진 항공기가 활주로 끝에서 20 피트의 고도를 이루고, 3발 엔진 항공기는 25 피트, 4발 엔진 항공기는 30 피트 정도를 이룬다. 이것은 엔진이 미리 고장나서 가속하는 데 거리가 더 필요하기 때문이다. 이륙단념절차 개선에 관한 문제는 이륙단념과 이륙계속의 위험도에 대한 비교 문제이다. 이륙계속의 경우가 더 안전여유분이 있다는 것에 주목할 필요가 있다. 항공기 비행규정에 나와 있는 대로 V_1 속도 이전에 엔진이 고장나서 이륙을 계속 하는 경우 활주로 끝에서 35 피트 고도를 이루게 된다. 그러나 35 피트를 이루지 못하더라도 사고나 준사고에 반드시 연관되는 것은 아니다. 그러므로 이륙계속의 경우가 이륙단념보다 더 안전여유분이 있다고 할 수 있다. 따라서 이륙계속을 강조함과 동시에, 이륙단념 시에도 적절한 조종사 조작시간을 보장해줄 수 있다면 보다 안전한 이륙단념절차가 될 수 있을 것이다. 위에서 살펴본 내용을 종합하여 다음과 같은 이륙단념절차에 대한 대안을 제시해 보고자 한다. 첫번째로, 해당 속도표에서 V_1 속도를 구한 후에 여기에서 6 노트²³⁾를 빼고 그 속도를 속도계에 설정한다. 이것은 이륙단념 시 조종사 인지 시간을 최소한 2.5초 정도 보장할 수 있다. 이 경우 만일 엔진고장 상태에서 이륙을 계속한다면 활주로 끝에서 15 피트(쌍발엔진 기준) 내지 25 피트(4발엔진 기준) 정도의 고도를 이루게 되는데, 이것은 <표 6-2>에 나와 있는 바와 같이 습윤활주로(wet runway), 윤활활주로(slippery runway) 및 오염활주로(contaminated runway) 상태의 기준과 같거나 약간 높게 되므로 큰 문제가 되지 않는다. 두번째로, 120 노트에서 육성점검(call-out)을 추가한다. 120 노트 이상에서는 엔진의 고장 또는 비행할 수 없는 급박한 경우에만 이륙단념을 하도록 한다. 현행 이륙단념절차 중 80 노트 육성점검은 고속 영역에 진입했다는 것을 알려주기에는 상당히 낮은 속도이다. 원래 80 노트 육성점검의 의미는 인증된 항공기성능이 80 노트까지 이륙추력에 도달해야만 하는 기준을 점검하도록 하기 위함이다. 현재 K 항공사에서 운용하는 국내선 및 단거리 국제선 운송용 항공기인 B737-800 기종은 최대 164명이 탑승할 수 있으며, 만석인 경우의 예상 운항 중량은 144,000 파운드(65,300 킬로 그램)이며, 이때의 V_1 속도는 140 노트²⁴⁾이다. 이 속도는 120 노트와 5초 정도의 여유밖에 없으므로, 엔진고장 이외의 사건(event)으로 인한 이륙단념을 방지하기 위해 120 노트 이상에서는 엔진고장 이외는 이륙을 계속하도록 방침을 정한다.

위에서 제안한 두 항목을 함께 적용하면, 이륙단념 시에는 모의실험에서 나온 적절한 조종사 조작시간을 보장하여 사고를 예방하고, 또한 120 노트에서 속도

23) 고속에서의 초당 가속도가 4 노트이므로 1.5 초에 해당한다.

24) B737-800 Airport Analysis Charts - Gimpo Airport(2003)

< 표 6-2 > 활주로 상태별 이륙성능 산정 기준

항 목	활주로상태	건조 활주로	습윤 활주로*)
역추진 장치		고려 안함	고려 함
활주로 끝 고도		35 피트	15 피트
제동계수 기준		건조 활주로	습윤 활주로
개방구역**) 포함 여부		포함 시킴	포함 안됨

주: *) 윤활(slippery), 오염(contaminated) 활주로를 포함.
**) 한국 항공정보간행물(AIP)²⁵⁾의 clearway 에 대한 번역용어 사용.

자료: FAA Advisory Circular 91-6B.

육성점검(call-outs)을 추가하면 제 2장의 사고조사 사례에서 밝혀진 바와 같이 이륙을 계속할 수 있는 부분도 보장할 수 있다. 여기서 120 노트 육성점검을 추가한 것은 설문분석에서 고속의 정의에 대해 가장 많이 나온 값을 사용하였다. 세 번째로, 활주로 조건이 눈, 비 또는 얼음으로 덮혀 있는 경우에는 V_1 속도를 6 노트 감하여 적용하지 않는다. 이런 조건에서 이륙을 계속할 때 활주로 상에서 도달해야 할 규정고도가 15 피트이므로, V_1 속도를 줄여서 사용하면 활주로 끝에서 도달하는 고도가 낮아져 극단적으로는 거의 부양이 되지 않는 상황이 발생할 수도 있으므로 장애물 통과에 문제가 될 수도 있기 때문이다. 따라서 종합적으로 다음과 같은 이륙단념절차 대안을 제시하고자 한다.

- ① V_1 속도를 해당 속도표에서 구한 후에 여기서 6 노트를 빼고 그 속도를 속도계에 설정한다. 어떤 경우에도 6 노트를 감한 속도가 최소지상조종 속도²⁶⁾ (V_{MCG}) 보다 낮게 되지는 않는다.
- ② 이 새로운 V_1 속도를 지나기 전에 육성점검(callout)하고, 이륙을 계속한다.
- ③ 활주로는 눈, 비 또는 얼음으로 덮혀 있을 경우에는 V_1 속도에서 6 노트 감하는 것을 적용하지 않는다.
- ④ 120 노트에서 육성점검하고, 120 노트 이상에서는 단지 엔진의 고장이나 비행할 수 없는 상황과 같은 급박한 경우에만 이륙단념을 하도록 한다.
- ⑤ 이륙 중 상승성능을 높이는 절차(improved climb method)²⁷⁾에서도 V_1 속도를 6 노트 감하여 적용한다.

25) 대한민국 항공정보간행물(Aeronautical Information Publication), Gen 2.2(2003).

26) 엔진고장 시 방향타 만으로 방향을 유지할 수 있는 최소속도이고, V_1 속도의 최저치이다.

27) 활주로는 여유분(excess runway)이 있는 경우, 정지가 보장되는 한도 내에서 이륙안전속도(V_2)를 증가시켜 이륙중량을 증가시키는 방법이다. 주로 쌍발엔진 항공기에서 많이 사용된다.

VII. 결 론

항공기 운항은 항공기비행규정에 의해 이루어지는 데, 이륙단념의 경우 항공기비행규정에 확대 적용된 내용을 파악하는 것이 필요하다. K 항공사의 조종사들을 대상으로 이륙단념에 관해 설문조사를 수행해 본 결과 항공기 비행규정(AFM)에 적용된 이륙단념의 기준을 일부 조종사들은 제대로 이해하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 이것은 현재의 항공기성능 교육이 운항절차에 치우쳐서 이루어지고 있는 것을 반영하며, 앞으로는 항공기성능 관련 규정과 병행하여 교육이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 현행 이륙단념절차에 대해서 일부 불만족스럽게 생각하고 있는 것으로 나타났는데, 차제에 기종별로 약간씩 상이한 절차를 통일하는 연구나 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 정확한 이륙단념 전환시간을 측정하기 위해 B777 기종의 기장들을 대상으로 시험비행과 동일한 상황에서 모의실험하여 본 결과 항공기비행규정과 비교하면 실제 여유분이 0.5 초 정도 밖에 없는 것으로 나타났다. 이는 항공기비행규정에 적용한 것과 마찬가지로 돌발 상황에 대한 인지 및 반응시간에 1초를 주고, 여기에다 전환시간에 대한 여유분을 1초 더 주게 되면 1.5초의 초과시간이 발생하게 된다. 이와 같은 결과는 현행대로라면 V_1 속도에서 이륙단념을 하는 경우에 활주로 이탈로 이어질 가능성이 있다. 실제 현장에서 이륙단념을 예기치 못하다가 수행하는 경우에 인지 및 결심에 1~2초가 소요 된다고 가정하면, 건조한 활주로에서 V_1 속도를 6 노트 줄여서 사용해야만 이륙단념에 대한 안전성을 확보할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다. 그러나 이런 방법은 이륙단념을 권장하는 것이 아니라, 엔진 고장 시 부득이하게 이륙단념을 수행하는 경우에 한정해야 한다. 또한 고속 영역의 정의를 조정하여 일정속도 이상에서 엔진고장 이외에는 이륙을 계속시키는 절차를 추가하는 것이 필요하다. 이 절차는 엔진고장 이외의 사건으로 이륙단념을 수행하여 활주로 이탈로 이어지는 것을 방지하기 위한 것이다. 마지막으로 모의비행장치로 수행하는 이륙단념 훈련과목도 엔진고장 이외의 사건에 대한 다양한 상황을 포함시켜야 할 것으로 판단된다. 이륙단념의 경우가 매우 드물기 때문에 이런 경우를 대비하여 시간과 비용을 투자하는 것은 비용 대 효과의 문제일 수가 있다. 향후 가능하다면 미국 보잉사와 같은 항공기 제작회사에 의뢰하여 일부 교관조종사들의 반응시간 측정이 시험비행과 완벽하게 동일한 상황에서 이루어질 수 있다면 보다 신뢰할 수 있는 자료를 바탕으로 이륙단념절차의 보완이 이루어질 수 있을 것으로 생각한다.

[참고문헌]

1. 대한항공(2003). 비행 운영 규정(Flight Operating Manual). 20장 p. 20.1.4.
2. 대한민국 항공정보간행물(AIP, 2003). GEN 2.2-5.
3. B737-800 Airport Analysis Charts(2003). 김포공항.
4. Boeing Company(1992). Takeoff Safety Training Aid. Airliner/Jul-Sep. p.2.
5. Boeing Company(2000). Aero Magazine 11. Rejected Takeoff Studies(Jul). p. 9~13.
6. Boeing 777 Operations Manual(2001), QRH, Sec. Non-Normal Maneuvers. p. 1. 2~1.3.
7. Boeing Company(1986). Airliner, Go/No-Go Philosophy(Oct-Dec). p.18.
8. David W. Ostroski(1977). Jet Transport Rejected Takeoffs p. 1~2. NASA AFS-160-77-2.
9. FAR(2003) Part 1, Definition and Abbreviations. Sec 1.2 p. 9.
10. FAR(2003) Part 25, Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes. Sec 25.109 p. 21.
11. FAR(2003) Part 121, Certification and Operations: Commercial Operators of Large Aircraft. Sec 121.177 p. 242.
12. FSF Editorial Staff(1998). International Regulations Redefine V1. Flight Safety Digest(Oct). p. 1~3.
13. King, Jack L.(1993). During Adverse Conditions, Decelerating to Stop Demands More from Crew and Aircraft, p.2 : Flight Safety Digest Volume 12(Mar): 1-8.
14. U.S. National Transportation Safety Board(1990). Special Investigation Report: Brake Performance of the McDonnell Douglas DC-10-30/40 During High Speed, NTSB/SIR-90/01(Feb).
15. U.S. FAA Advisory Circular(1998) 27-7A, chg.1, chap 2, p.80-4~5. Flight Test Guide for Certification of Transport Category Airplanes.
16. U.S. FAA Advisory Circular(1989) 91-6B, p.4. Performance Information for Operation with Water, Slush, Snow, or Ice on the Runway.