

항공기의 안전도 평가를 위한 손실률 산정 연구 (A Study on the Loss Rate Determination for Evaluating the Safety of Aircraft Series)

崔 政 祥*

Abstract

This study is concerned with the loss rate calculation for evaluating the safety of aircraft series. The objective of this study is to provide the estimation method of safety for the determination of aircraft series, when the aircraft is directly purchased off-the-shelf or co-produced. Especially, in case the initial operation capabilities of alternative aircrafts are substantially different, this research proposes the modified cumulative average method which can effectively estimate the safety of aircraft.

1. 서 론

항공기의 개발이 세계인류의 인적, 물적, 문화적 교류관계와 세계발전에 크게 기여 해왔다. 최초에 항공기가 만들어진 이래 최근의 우주왕복선을 쏘아 올리기까지 항공기술은 실

로 놀랄만한 속도로 발전을 거듭해왔다. 항공기술은 모든 첨단기술의 총체적인 결합체로서 그 나라의 기술수준 및 국력을 상징하고 있기 때문에 모든 나라에서 항공기 개발 및 성능 개량 사업에 온 심혈을 기울이고 있다.

* 한국국방연구원

뿐만아니라 항공기술이 타산업 분야와 국가 경제에 끼치는 영향이 매우 크기 때문에 선진국은 물론 중진국과 개발도상국까지 항공기술 축적을 위해 부단히 노력하고 있다.

특히 국방분야에서 전투기는 그 나라의 안보력에 매우 중요한 요인으로 작용하고 있고 갈수록 전투기에 의한 전투력효과가 증폭되고 있어서 세계각국이 방공능력확보를 위해 치열한 경쟁을 계속하고 있다.

이처럼 항공기의 필요성과 역할이 증대되고 있는 반면 항공기로 인한 사고 또한 엄청난 물적, 인적 대형손실을 가져온다. 그러므로 손실률로 표현되는 항공기의 안전도가 무엇보다 중요하며 항공기 도입시나 혹은 항공기 기술

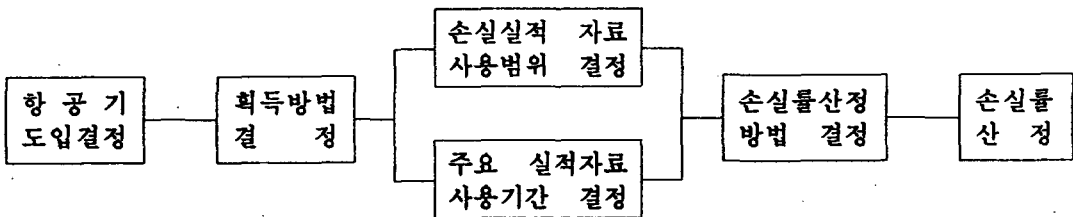
도입 생산시 가장 우선적으로 고려되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 항공기 도입이나 기술도입 생산을 위한 항공기 기종선정시 항공기의 안전도(손실률)를 평가하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 항공기의 손실률 산정

2.1 손실률 산정 절차

손실률은 [그림 1]에서 보는 바와같이 획득 방법에 따라 과거의 손실 실적자료의 사용범위와 사용기간을 결정하고 그 후에 손실률 산정방법을 채택하여 산출하게 된다.



[그림 1] 손실률 산정 절차

2.2 손실률 산정시 주요 고려 요소

항공기의 기종을 선정하기 위해 가장 먼저 고려되어야 할 항공기 손실률은 사용하는 자료의 범위와 기간에 따라서 달라지게 된다. 따라서 도입국의 항공기 도입 여건, 운용환경,

획득 방법등을 고려하여 과거의 손실 실적자료의 사용 범위와 사용기간을 결정해야 한다.

2.1.1 손실 실적자료의 사용범위

일반적으로 어느 기종에 대한 손실 실적자료 사용범위는 크게 두가지가 있다.

1) 항공기 제작국가의 손실 실적자료를 사용하는 방법

대상 항공기를 제작한 나라에서 운용해온 손실 실적자료만을 사용하는 방법으로서 항공기를 직접 구매하여 사용할 때 유용하다. 제작국 보다 항공기술 수준이 낮은 나라의 자료가 포함 되어 있지 않아서 손실률이 실제보다 낮게 평가될 위험이 있다.

2) 전세계의 손실 실적자료를 사용하는 방법

전세계 각국에서 운용해온 대상 항공기에 대한 모든 손실 실적자료를 사용하는 방법으로서 항공기의 직접구매시 뿐만아니라 특히 제3국에서 기술도입생산이나 공동조립생산하게 될때 적합한 방법이다.

2.1.2 손실 실적자료 사용기간

1) 최근 일정기간을 사용하는 방법

항공기 개발이후 기술축적에 의한 최근의 안정상태에서의 손실률을 알아보려는 방법으로 현재시점으로 부터 일정기간(일반적으로 5~10년) 동안의 손실 실적자료를 사용한다. 이 방법은 항공기 직접구매시 유용하다.

그러나 제3국에서 생산해야 할 경우에는 최초운영시점 부터의 총학습곡선(Total Learning Curve)을 반영할 수 없는 단점이 있다.

2) 전기간을 사용하는 방법

항공기를 생산하여 맨 처음 운용된 시점부터 현재까지 기간의 손실 실적자료를 사용하는 방법으로 항공기 개발이후 총학습곡선이 반영되는 장점이 있으며 기술도입 생산시에 필수적으로 검토되어야 할 방법이다.

2.3 손실률 산정방법

손실률은 항공기 획득방법에 따라 결정된 손실 실적자료의 사용범위와 사용기간을 입력 자료로 사용하여 산정하는데 일반적으로 누적 평균 손실률 산정방법, 통계적인 기법인 회귀 분석을 이용한 산정방법등이 있다.

1) 누적 평균법

비교 기간동안의 총 누적비행시간에 대한 총 손실대수의 비로서 항공기의 성숙도에 따른 손실정도를 분석하는 방법으로서 일정기간만을 분석하거나 최근 항공기 운용시점으로 부터 현재 시점까지를 분석하여 산출하는 가장 널리 사용되는 방법이다.

2) 회귀분석법

최근의 경험치를 사용하여 항공기의 총 수명주기 동안의 손실률을 예측해 보는 방법으로 미 공군등에서 사용되고 있는데 데이터 수가 적거나 과거 데이터간의 상관관계가 낮을 때 변동이 커질 수 있는 단점이 있다.

3) 기타

3. 최초운용시점이 다른 두 항공기의 안전도 비교를 위한 손실률 산정방법

비교하려는 두 항공기의 최초 운용시점이 다른 상황에서 손실률을 비교해야 하는데는 많은 어려움이 있다. 무엇보다도 항공기술이 첨단기술이기 때문에 시간의 차이에서 오는 손실률이 크게 달라진다.

따라서 본 연구에서는 두 항공기의 최초 운용시점이 다른 경우에 유용하게 사용할 수 있는 수정된 누적 평균법을 제시한다.

3.1 부호 정의

- A, B : 항공기의 종류
- t_a : 항공기 A의 최초 운용년도
- t_b : 항공기 B의 최초 운용년도
- LA_j : 항공기 A의 j 년도 손실대수
- LB_j : 항공기 B의 j 년도 손실대수
- FHA_j : 항공기 A의 j 년도 비행시간
- FHB_j : 항공기 B의 j 년도 비행시간
- LRA_j : j 년도까지의 항공기 A의 손실률

- LRB_j : j 년도까지의 항공기 B의 손실률
- t_c : 현재 시점

3.2 분석 자료 채택

항공기를 기술도입생산에 의해 획득함으로써 [표 1]에서 보는 바와 같이 다음과 같은 요소를 고려하여 분석자료를 채택해야 한다.

- 1) 항공기의 총학습곡선(Total Learning Curve)을 반영할 수 있어야 한다.
- 2) 항공기술 수준이 제작국에 비해 떨어지므로 전세계의 자료를 사용해야 한다.
- 3) 1)항을 만족하기 위해서는 최초 운용시점부터 현재까지 전기간의 자료를 사용해야 한다.

3.3 전제조건

모델을 설정하기 위해 다음과 같은 전제조건을 제시한다.

- (1) 항공기 A가 B보다 먼저 운용되었다.
- (2) 같은 해에 두 항공기의 기술 수준은 비슷하다.

[표 1] 손실률 산정시 고려 요소

구	분	직접 구매	기술 도입 생산
손실 실적자료 사용범위	제작국	○	△
	전세계	○	○
손실 실적자료 사용기간	최근 일정 기간	○	△
	전기간	○	○

○ : 바람직스러움

△ : 바람직하지 못함

3.4 산정방법 개발

손실률 산정시 3.2절에서 언급한 요소가 고려되어야 하는데 두 항공기의 운용시점이 서로 다를 때 두 기종의 손실률을 비교하는 방법을 개발한다.

[단계1]: 두 기종의 운용시점의 차이를 조정하여 비교분석 기간을 균형화하기 위해 항공기 B가 운용된 시점 t_0 까지의 항공기 A의 누적손실률(LRA $_{t_0}$)을 산정한다.

$$LRAt_0 = \frac{\sum_{i=t_0}^t LA_i}{\sum_{i=t_0}^t FHA_i} \quad \dots\dots (1)$$

[단계2]: 식 (1)에 의해 구해진 항공기 A의 손실률(LRA $_{t_0}$)을 이용하여, 항공기 B가 운용된 년도 t_0 에 해당하는 비행시간(FHA $_{t_0}$)과 손실대수(LA $_{t_0}$)를 구한다.

$$FHA_{t_0} = LRAt_0 \times \frac{\sum_{i=t_0}^t FHA_i}{t_0 - t_a + 1} \quad \dots\dots (2)$$

$$LA_{t_0} = LRAt_0 \times \frac{FHA_{t_0}}{10만 FH} \quad \dots\dots (3)$$

식(2)와 식(3)에서 구한 값을, 항공기 A의 $t_0 \sim t_b$ 까지의 비행시간과 손실대수의 대표치로 잡는다.

[단계 3]: [단계 1]과 [단계 2]를 통해서 균형화된 비교기간 동안의 양 기종의 손실률을 산정한다.

항공기 A'의 현재 시점 t_0 까지의 손실률은

$$LRAt_0 = \frac{\sum_{i=t_0}^t LA_i}{\sum_{i=t_0}^t FHB_i} \quad \dots\dots (4)$$

항공기 B의 현재시점 t_0 까지의 손실률은

$$LRBt_0 = \frac{\sum_{i=t_0}^t LB_i}{\sum_{i=t_0}^t FHB_i} \quad \dots\dots (5)$$

4. 수치예제

본 연구에서 개발한 두 기종의 최초 운영시점이 다를때 손실률을 산정하는 방법을 수치예제를 들어서 설명한다.

4.1 손실실적 자료

두 항공기 A와 B의 손실실적 자료는(그림 3)과 같다.

4.2 손실률 산정

[표 2]의 손실 실적자료에서 보는 바와 같이 항공기 A와 항공기 B의 최초 운용시점이 79년과 83년으로 서로 다르다. 따라서 3장에서 제시한 손실률 산정방법을 이용하여 손실률을 산정하는 과정을 보이면 다음과 같다.

[표 2] 두 항공기의 손실실적

년 도	비 행 시 간(FH)		손 실 대 수	
	항공기 A	항공기 B	항공기 A	항공기 B
1979	10,524	-	2	-
1980	34,943	-	6	-
1981	76,144	-	10	-
1982	135,634	-	18	-
1983	189,690	29,894	20	2
1984	251,987	59,174	15	2
1985	283,642	86,613	18	4
1986	326,762	135,506	19	3
1987	393,106	181,486	18	14
1988	445,913	205,711	26	8

[단계 1]: 양기종간의 비교기간을 균형화하기 위해 (그림 2)에서 보는 바와 같이 먼저 운용된 항공기 A의 79년 부터 83년(항공기 B의 운용시점)까지의 누적 손실률(LRA_t)을 구한다.

$$\begin{aligned}
 LRA_{83} &= \frac{\sum_{i=79}^{83} LA_i}{\sum_{i=79}^{83} FHA_i} \\
 &= \frac{56}{446,935} \\
 &= 12.53\text{대}/10\text{만 FH} \quad \dots\dots (1)'
 \end{aligned}$$

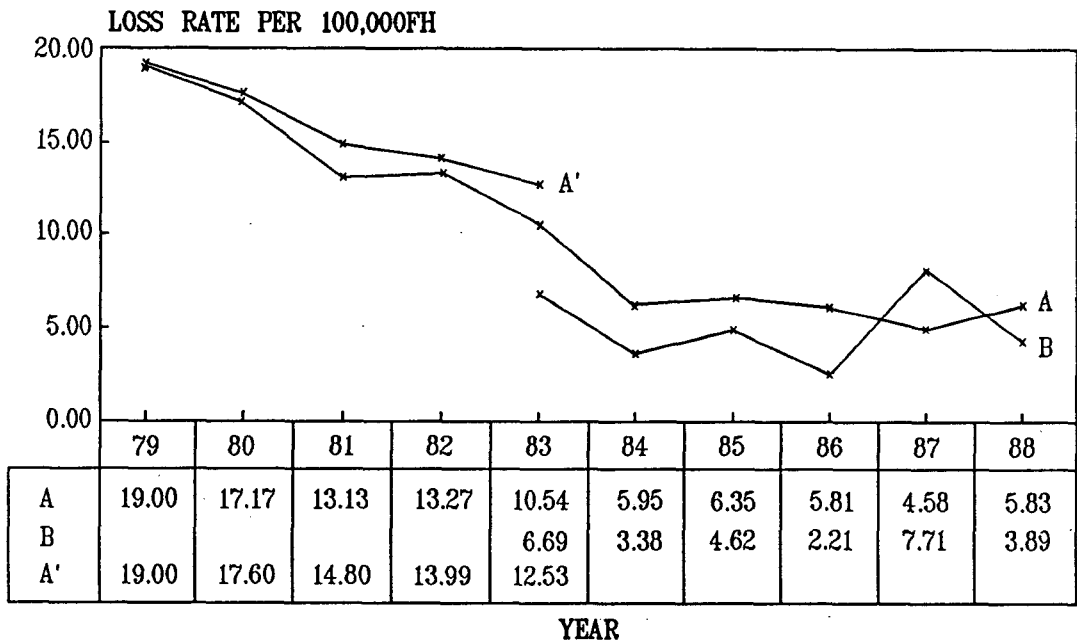
[단계 2]: 식(1)'에서 구해진 손실률을 이용하여 항공기 A가 최초로 운용된 연도인 83년에 해당하는 항공기 A의 비행시간(FHA₈₃)과 손실대수(LA₈₃)를 구한다.

$$\begin{aligned}
 FHA_{83} &= LRA_{83} \times \frac{\sum_{i=79}^{83} FHA_i}{83 - 79 + 1} \\
 &= 12.53 \times \frac{446,935}{5} \\
 &= 83,387\text{시간} \quad \dots\dots (2)'
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 LA_{83} &= \frac{LRA_{83} \times FHA_{83}}{10\text{만 FH}} \\
 &= \frac{12.53 \times 89,387}{100,000} \\
 &= 11.2\text{대} \quad \dots\dots (3)'
 \end{aligned}$$

식 (2)'와 식 (3)'에서 구한 값

을 항공기 A의 79년~83년 까지의 비행시간과 손실대수의 대표치로 잡는다. 이 결과를 도표로 나타내면 (그림 2)와 같으며 A'는 두 기종의 운용시점간의 차이를 균형화한 79년~83년의 대표값을 의미한다.



[그림 2] 단순 누적 평균법에 의한 손실률

[단계 3] : [단계 1]과 [단계 2]의 결과를 이용하여 83년 88년까지의 양기종의 손실률을 계산한다.

항공기 A의 현재시점(88년)까지의 누적 손실률은

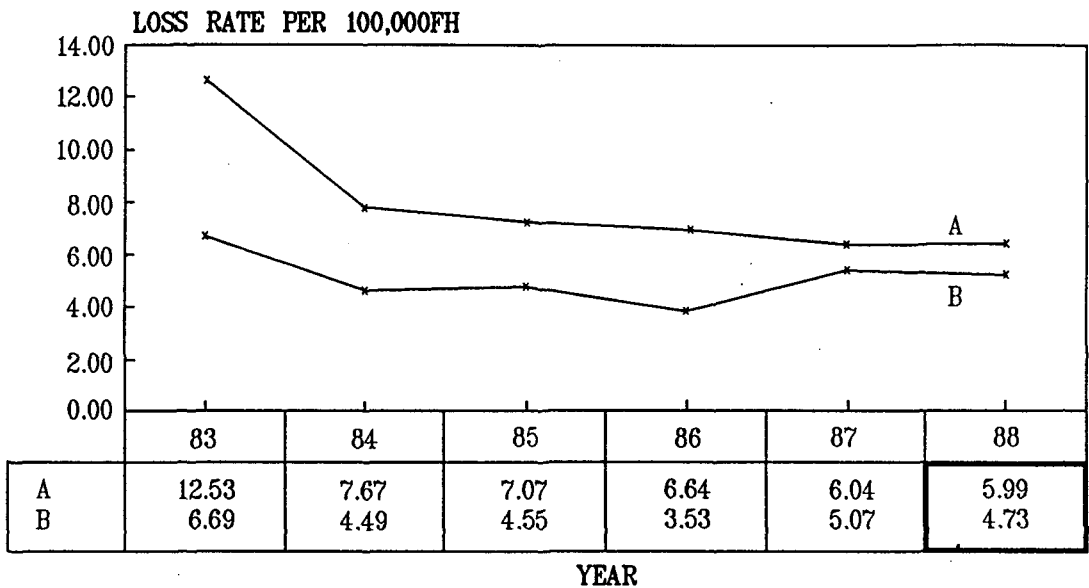
$$\begin{aligned}
 LRA_{88} &= \frac{\sum_{i=83}^{88} LA_i}{\sum_{i=83}^{88} FHA_i} \\
 &= \frac{107.2}{1,790,797} \\
 &= 5.99\text{대}/10\text{만 FH} \quad \dots\dots (4)'
 \end{aligned}$$

항공기 B의 현재시점(88년)까지의 누적 손실률은

$$= \frac{33}{698,384} = 4.73\text{대}/10\text{만 FH} \quad \dots\dots (5)'$$

$$LRB_{88} = \frac{\sum_{i=83}^{88} LA_i}{\sum_{i=83}^{88} FHA_i}$$

이러한 과정을 통해서 산출된 양 기종의 손실률을 도표로 보면 (그림 3)과 같다.



[그림 3] 수정된 누적 평균법에 의한 손실률

4.3 안전도 평가

개발된 방법에 의해 산정된 손실률을 비교해 볼때 항공기 A가 항공기 B에 비해 10만 시간당 1.26대 씩 더 떨어진다. 즉 이는 항공기 A가 항공기 B에 비해 훨씬 안전도가 떨어진다는 의미이며 그로 인해 유발될 수 있는 피해는 엄청난 것이다. 따라서 항공기의 가격

이 같다고 했을때는 당연히 항공기 B를 선정하게 될 것이다. 그러나 항공기의 가격이 크게 다를 때는 비용대 효과분석 과정을 거쳐서 결정해야 한다.

손실률 산정에 있어서 특히 유의해서 고려해야 할 것이 손실요인별 분석이다. 손실요인은 크게 엔진결합, 조종실수, 기체 결합 및

기타 미상으로 구분 하는데 손실요인중에서도 엔진결함에 의한 손실이 특히 중요하며 때로는 엔진결함에 의한 손실을 좁은 의미로서의 손실률로 사용하기도 한다.

5. 산정방법 평가

손실률을 산정 할때 일반적으로 항공기의 최초운영시점의 차이에 상관없이 각 기종의 최초운영시점부터 현재까지를 직접 비교하는

경우도 있으나 이는 많은 논란의 여지가 있다. 왜냐하면 먼저 운용된 항공기는 기술수준이 낮을때 초도생산을 하여 운용하였기 때문에 그 만큼 손실률이 높기 때문이다.

반면에 현재시점으로 부터 일정기간을 비교 분석하면 늦게 운용된 항공기는 충분한 학습곡선이 고려되지 않기 때문에 손실률이 높게 책정될 수 있다. 이처럼 손실률을 산정 할때 어떤 산정방법을 사용하느냐에 따라 [표 3]에 나타난 바와 같이 큰 차이가있다.

[표 3] 산정 방법별 손실률 비교

산 정 방 법		손 실 률	
		항공기 A	항공기 B
방 법 1	전기장 누적평균법	7.08	4.73
방 법 2	최근 일정기간(6년) 누적평균법	6.13	4.73
방 법 3	수정된 누적평균법	5.99	4.73
방 법 4	Log Regression 예측법	5.68	3.42

[방법 1]은 각 항공기가 운용된 전 기간을 비교분석함으로써 시스템의 성숙도가 잘 반영 되는 장점은 있으나 먼저 운용된 항공기 A가 늦게 운용된 항공기 B에 비해 불리한 손실률이 산출되게 된다.

또 [방법 2]는 비교분석기간은 같으나 항공기 A는 그동안의 경험을 통해 항공기 시스템이 어느정도 안정상태를 유지하고 있는 기간만을 택한 반면 항공기 B는 전기장을 다 포함

시킴으로써 초도생산의 높은 손실 자료가 채택되게 됨으로 양기종을 비교하는데 바람직스럽지 못하다. 뿐만아니라 기술도입생산시 처럼 총학습곡선을 고려해야 하는 경우는 이 방법이 적합치 않다.

[방법 4]는 항공기 수명주기동안의 손실률을 예측하는 장점은 있으나 실측기간이 예측기간에 비해 너무 짧고 자료간의 상관관계가 낮아 변동이 커질 수 있다. 뿐만아니라 항공

기의 수명이 다하는 기간의 피로도에 의한 항공기의 손실률이 고려되지 않는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하기 위해 가능한 총학습곡선을 반영하면서 양기종간의 비교 분석기간을 균형화 하는 새로운 손실률 산정 방법으로 [방법 3]의 수정된 누적 평균법을 제시함으로써 최초 운용시점의 차이로 인해 야기될 수 있는 문제를 최소화 하였다.

6. 결 론

사회의 급속한 발전으로 항공기의 역할이

증대됨에 따라 항공기 사고를 사전에 예방하기 위한 끊임없는 항공기술의 개발이 절실히 요구된다. 항공기의 손실은 곧 생명과 재산의 대형 재난을 초래하기 때문에 항공기의 안전도는 무엇보다 우선적으로 고려되어야만 한다.

따라서 항공기를 기술도입생산하기 위해 기종선정을 하고자 할때 가장 먼저 항공기의 손실률을 산정하여 안전도를 평가 해야 한다. 특히 항공기의 손실 중에서도 조종사의 조작 미숙으로 인한 손실이 아닌 엔진 결함에 의한 손실이나 기체 결함에 의한 손실이 철저히 규명되어 수정, 보완할 수 있어야 한다.

References

이상희, 한국항공산업육성을 위한 국가정책 연구, 한국산업정책연구원, 1987.

이경현, 주명진, 홍창선, 이재기, 항공산업과 국방경제 연구, 세종대학교, 항공연구소, Vol. 14, No. 1, 1989.

Blackman, Z. W. Jr., "The Rate of Innovation in the Commercial Aircraft Jet Engine Market," Technological Engineering and Social Change, Vol. 2, 1971.

David, H. A., The Method of Paired Comparison, Oxford University Press, 1988.