

論文

부품공유를 통한 저가항공사의 효율성 향상 방안 연구

최세종*

A study on Improving Operation Efficiency of LCC
through Parts Pooling

Se-Jong Choi*

ABSTRACT

Passengers and Airlines wish neither delay nor cancellation due to aircraft defects. However, about 1 delay or cancellation case occurs out of 100 departures worldwide whereas 1 quarter case does in Korean domestic industry. Independent LCC carriers in Korea have almost double case. Most cases are recovered by replacing aircraft components. Airlines have prepared the spare components based on the reliability data by manufacturers to rectify defects or perform preventive maintenances. The total value for initial spares including engine is 40% of the aircraft price when they operate less than 5 aircraft. The more airlines operate the aircraft, the less the ratio of the investment for spares reflecting the economy of scale. This study intends to suggest how to improve the efficiencies as well as the safety of LCC throughout parts pooling including engines.

Key Words : Parts Pooling (부품공유), Repairable (수리순환부품), Protection Level (보호수준), Essntiality Code (부품 중요도), MTBR (평균사용시간), Poisson Distribution (푸아송분포)

1. 서 론

항공기를 여객운송사업에 사용하는 항공사나 이를 이용하는 승객은 항공기 결함으로 인한 운항편 지연이나 결항이 없기를 바란다. 그러나 실제 현장에서는 100편의 운항 중에서 세계 평균 기준으로 1편이, 국내항공사 기준으로는 0.25편이 항공기 결함으로 인하여 지연되고 있으며, 자체적으로 운영하는 저가항공사의 경우 국내항공사 평균의 2배가 넘는 0.56편이 지연되고 있다. 2013년 국내운항 항공사의 정비사유로 인한 지연 결항률은 저가항공사 자체적으로 운영하는 3사인 E항공이 0.71%, T항공이 0.59%, J항공이 0.31%인

반면에, 대형항공사로부터 정비지원을 받는 J항공은 0.26%, B 항공은 0.06%로 나타났다[1].

항공안전감독 활동백서에 따르면 2012년 예비 부품 보유량 부족으로 장시간 지연 결항을 유발하는 등 국적항공사의 정비지원체계 개선 필요성이 대두되고 있으며 특히 저가항공사의 경우 적은 대수의 항공기로 여러 노선을 운항하기 때문에 고장이 빈번해질 가능성이 높음에도 이에 대한 정비지원 인프라가 충분하지 않다는 취약점이 있다고 지적하고 있다[2].

이러한 항공기 결함을 예방하기 위하여 항공사에서는 다양한 정비프로그램에 따라 예방정비하는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 대부분의 항공기 결함은 부품을 교환하여 결함을 해소하며 이러한 결함을 해소하거나 계획된 예방정비작업을 수행하기 위하여 항공사는 제작사가 제공한 신뢰성 자료를 바탕으로 초기 예비부품을 확보하고 있으며 5대 이하의 항공기 운용 시 엔진을 포함한 항공기 예비부품 확보에 항공기 1대 가격의

2015년 01월 20일 접수 ~ 2015년 03월 26일 심사완료
논문심사일 (2015.03.12, 1차), (2015.03.18, 2차)

* 광주대학교 국방기술학부 항공정비전공
연락처, E-mail : sjchoi@gwangju.ac.kr
광주광역시 남구 효덕로 277

약 40% 정도를 투자하고 있다[3].

이러한 예비부품을 재고로 운영하면서 항공사는 부족한 재고가 가져올 항공기 가동률 저하뿐만 아니라 운영상의 심각한 영향을 걱정하고 또한 과도한 재고가 가져올 비효율적인 비용증가를 우려하게 된다. 따라서 어떠한 부품을 재고로 가질 것인가, 얼마나 많은 수량의 부품을 재고로 운영할 것인가를 항상 고민하게 된다[4]. 최근 항공기 제작사들은 그러한 고민을 해결하기 위하여 항공기 예비부품 재고관리 기법에 대한 많은 연구를 하여 항공사에 도움을 주고 있다. 항공기가 운항 중 결함이 발생할 경우 예비부품을 즉시 사용할 수 있는 확률을 높이기 위하여 항공사는 여러 가지 방법을 사용하고 있다. 부품소요를 산정하기 위하여 이항분포, 초기하분포, 그리고 푸아송분포를 사용하는데 신뢰성을 보장하기 위한 PL을 사용하여 항공기 예비부품을 산정하는 경우에는 푸아송분포를 가장 많이 사용하고 있다[5].

2. 예비부품 산정 시 고려사항

항공기 예비부품 품목과 수량을 결정하려면 항공사와 항공기 및 부품 제작사가 통계자료나 기술 자료를 바탕으로 사전에 고려하여 결정해야 할 사항들이 많이 있다. 항공기 예비부품 산정 시 고려사항은 항공사 고려사항과 제작사 고려사항으로 나누어진다[6].

2.1 항공사 고려사항

- FH (Flight Hour, 비행시간) : 항공기가 연간 비행한 총 시간을 비행시간으로 나타내며 때로는 1일 가동시간 (Daily Utilization)으로 나타내기도 한다.
- FS (Fleet Size, 항공기 대수) : 항공사에서 동일한 엔진 및 부품으로 구성되어 있는 동일 기종의 항공기 운용대수를 나타낸다.
- PL (Protection Level, 보호수준) : 항공기에서 결함이 발생하여 해당 부품이 필요한 경우 항공사의 창고에서 즉시 지원이 가능하여 항공기 결함을 수정하는 보호수준을 나타낸다.

2.2 항공기 및 부품 제작사 고려사항

- QPA (Quantity Per Aircraft, 항공기당 장착수량) : 동일한 부품이 한 대의 항공기에 장착된

부품 수량

- MTBR (Mean Time Between Removals, 평균 사용시간) : 부품이 항공기에 장착된 시점부터 계산하여 장탈 시까지 사용된 평균 사용시간으로 비행시간으로 표시한다. 엔진의 경우 MTBR 대신 SVR을 사용한다.
- SVR (Shop Visit Rate, 엔진 수리 비율) : 1,000 엔진운영시간 기준 LLP 교환 포함하여 엔진수리를 위하여 수리공장을 방문하는 횟수를 나타내는 비율로 1,000/MTBR 식으로 계산된다.
- SCR (Scrap Rate, 폐기비율) : 수리순환 부품이 수리를 위하여 입고되었을 경우 기술적으로 수리가 불가능하거나 BER (Beyond Economic Repair, 수리 경제성이 정해진 기준치)을 벗어나 폐기되는 비율을 나타낸다.
- TAT (Turn Around Time, 부품수리기간) : 부품이 결함으로 인하여 항공기에서 장탈 되어 수리 부품수리공장에서 수리를 하고 다시 항공사의 창고에 입고되어 사용이 가능할 때까지 총 소요기간으로 날짜로 표시한다.
- LTM (Lead Time, 부품납기기간) : 항공사에서 부품 제작사에 주문을 한 시점부터 시작하여 부품이 항공사의 창고에 입고되어 사용이 가능할 때까지 총 소요기간으로 날짜로 표시한다.
- ESS (Essentiality Code, 부품의 중요도) : 항공기 부품이 운항에 미치는 정도에 따라 모든 부품에 코딩을 하여 Code 1, 2, 3로 분류한다. Code 1은 'NO GO (비행불가)' 품목으로 해당 부품에 결함이 발생하면 항공기 운항이 불가능하고, Code 2는 'GO IF (조건부 비행가)' 품목으로 해당 부품에 결함이 발생하면 일정한 조건하에서 항공기 운항이 가능하고, Code 3는 'GO (비행가)' 품목으로 해당 부품은 항공기 감항성에는 영향을 미치지 않고 편의성을 증진시키는 품목으로 결함이 발생해도 항공기 운항에는 영향을 미치지 않는다.

3. 예비부품 수량 산정 방정식

- D_{ann} (Annual Demand, 연간 소요량) : 부품 결함으로 인하여 운용하는 항공기 전체에 연간 소요되는 해당 부품의 총 수량으로 수식은 다음과 같다.

$$D_{ann} = \frac{FH * FS * QPA}{MTBR}$$

- D_{rst} (Demand during Resupply Time, 재고보충기간 소요량) : 항공기 부품은 소모성부품과 수리순환부품으로 구분된다. 소모성부품은

항공기에서 장탈 되면 기술적인 이유나 경제적인 이유로 폐기된다. 반면에 수리순환부품은 부품 고장이나 예방정비 목적으로 항공기에서 장탈 되면 수리처로 보내져 다시 사용가능한 부품으로 만들어진다[7].

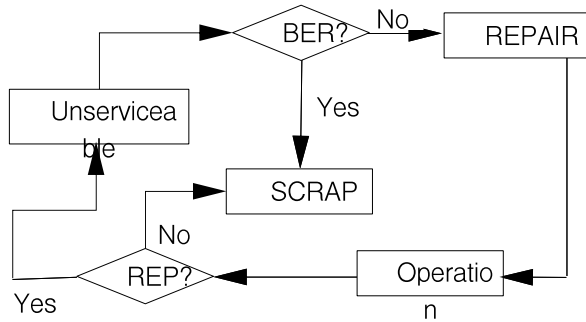


Fig. 1 Repair Decision Tree for Rotable Parts

수리순환부품은 수리를 전제로 하지만 수리가 불가능하거나 수리가 비경제적인 경우 수리를 하지 않고 폐기를 하게 된다. 이처럼 수리순환품목이 폐기되는 비율을 SCR (폐기비율)이라고 하며 폐기되는 부품 수량을 예비부품으로 보충해야 한다. [그림 1]은 수리순환 부품이 처리되는 과정을 설명한다[8].

D_{ann} 이 연간 소요량인 반면에, 실제로 연간 소요되는 부품 수량 D_{rst} 는 수리를 위한 부품수리기간(TAT)과 경제적인 이유로 수리보다는 폐기가 더 나을 경우 부품납기기간(LTM)을 고려하여 계산하며 수식은 다음과 같다.

$$D_{rst} = D_{ann} \times \left[\left(\frac{TAT}{365} \right) \times \left(1 - \frac{SCR}{100} \right) + \left(\frac{SCR}{100} \right) \times \left(\frac{LTM}{365} \right) \right]$$

D_{rst} 값은 원칙적으로 위의 식으로 계산이 되지만 한번 사용하면 재사용이 불가능한 소모성부품의 경우 SCR이 100이므로 수식에서 LTM이 중요한 다음 식으로 된다.

$$D_{rst} = D_{ann} \times \left(\frac{LTM}{365} \right)$$

수리순환부품의 경우 각 부품에 대한 SCR 값을 계산하여 D_{rst} 값을 계산한다. 고가의 엔진 경우 SCR값이 미소값이므로 계산을 간단하게 하기 위하여 SCR을 0으로 가정하면 수식이 다음과 같이 간단하게 된다.

$$D_{rst} = D_{ann} \times \left(\frac{TAT}{365} \right)$$

신뢰성을 보장하기 위한 PL을 사용하여 항공기 예비부품을 산정하는 경우에는 푸아송분포를

사용한다[9].

$$P\{R \leq m\} = e^{-D_{rst}} \times \sum_{0}^m \frac{(D_{rst})^m}{m!}$$

푸아송분포 식에서 R은 실제 항공기 운용 중 해당 부품이 결함으로 장탈 되는 수량이고, m은 항공사가 재고로 운용하는 예비부품 수량으로 항공사의 창고에 재고로 있는 수량과 수리처에서 수리되고 있는 수량, 수리를 위하여나 수리를 마치고 이동 중인 수량을 모두 합한 값이다. 푸아송분포 식은 일정 기간 동안에 예비부품수량(m)보다 장탈 되는 부품수(R)가 크지 않을 확률 $P\{R \leq m\}$ 을 표시하고 있으며 여기에서 구해진 값 P를 항공사가 설정한 PL과 비교하여 P가 PL을 초과하도록 m값을 정하는 반복적인 계산과정이다. PL은 항공사별로 설정된 경영목표에 따라 달리 운영되고 있으며 일반적으로는 ESS에 따라서 3단계로 운영되고 있다. 대부분의 항공사는 Code 1의 경우 92~98%, Code 2의 경우 88~95%, Code 3의 경우 85~92%를 설정하고 있다. 높은 수준을 요구하는 항공사의 경우 이중가장 높은 값을 기준으로 예비부품을 운영하고 있으며 PL이 증가함에 따라 예비부품에 대한 투자도 늘어나게 된다, 최근 저가항공사가 도입하는 협동체 모델의 항공기에 대한 Boeing사의 예비부품 투자 자료에 따르면 다음 그림과 같이 PL이 높아짐에 따라 총 투자금액이 가파르게 높아짐을 알 수 있다[3].

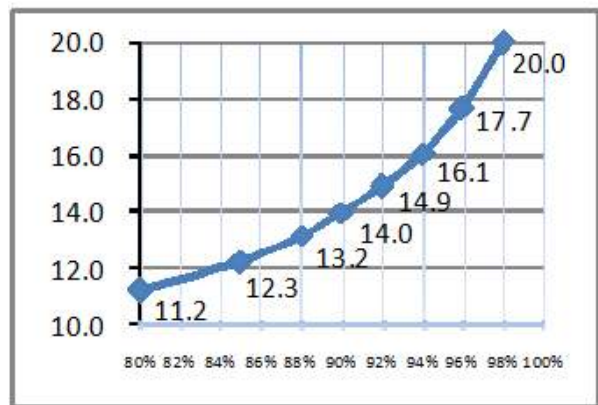


Fig. 2 Invest Amount vs PL

4. 연구 결과

국내 여객운송 저가항공사 5개사 중 대형항공사로부터 정비지원을 받고 있는 2개 항공사를 제외한 3개 항공사의 B737 항공기의 예비엔진 필요수량에 대하여 계산을 실시하였다. 3개 항공사

가 운용하고 있는 항공기 기종은 B737-700 또는 B737-800이며, 엔진은 CFM56-7B로 동일한 엔진을 사용하고 엔진추력은 기종과 운항구간에 따라서 약간 다르게 사용하고 있으나 본 연구에서는 국내항공사가 가장 많이 사용하는 24,200 LB 동일한 추력이라고 가정하였다.

항공사 고려사항인 운용 항공기 대수 FS는 2014년 12월 기준 각 항공사가 운용하는 항공기 대수로 하고, 연간 비행시간 FH는 3,000시간, PL은 저가항공사임을 고려하여 96%로 설정하였다. 다음으로 제작사 고려사항인 QPA는 항공기 대당 엔진 2개이고, TAT는 Shop TAT 80일, QEC 분해 포함 수리위한 엔진 선적 준비 10일, 엔진 수송 및 통관 수리 전후 각 10일, 수리 완료 후 수령검사 및 엔진 사용 준비 10일로 총 120일, MTBR은 11,000 시간으로 설정하였다.[6]

2014년 12월 기준 각 항공사별 운용 항공기 대수는 아래 표와 같다[10].

Table 1. LCC Fleet Status

항공사	T사	E사	J사	계
항공기 대수	9	11	17	37

자료: <http://atis.casa.go.kr> 2014.12

먼저 항공기 9대를 기준으로 하는 T 항공사의 경우를 살펴보자.

- $D_{ann} = \frac{3000 \times 9 \times 2}{11000} = 4.91$
- $D_{rst} = 4.91 \times \left(\frac{90+30}{365} \right) = 1.61$

항공사가 재고로 운용하는 예비엔진 수량을 1대부터 순차적으로 푸아송분포 식에 입력하여 실제 항공기 운영 중 장탈 되는 엔진수량보다 작을 확률을 계산하면 아래와 같다.

- P(m=1) = 52.0%로 목표치 96%보다 낮다.
- P(m=2) = 78.0%로 목표치 96%보다 낮다.
- P(m=3) = 91.9%로 목표치 96%보다 낮다.
- P(m=4) = 97.6%로 목표치 96%보다 높아 9대 항공기를 운영하면서 엔진에 대한 PL을 96% 이상 유지하려고 하는 경우 예비엔진 4대를 운영해야 한다.

다음은 11대 항공기를 운영하는 E 항공사를

기준으로 같은 방법으로 살펴보면

- $D_{ann} = \frac{3000 \times 11 \times 2}{11000} = 6.00$
- $D_{rst} = 6.00 \times \left(\frac{90+30}{365} \right) = 1.97$
- P(m=1) = 41.3%로 목표치 96%보다 낮다.
- P(m=2) = 68.4%로 목표치 96%보다 낮다.
- P(m=3) = 86.2%로 목표치 96%보다 낮다.
- P(m=4) = 95.0%로 목표치 96%보다 낮다.
- P(m=5) = 98.4%로 목표치 96%보다 높아 11대 항공기를 운영하면서 엔진에 대한 PL을 96% 이상 유지하려고 하는 경우 예비엔진 5대를 운영해야 한다.

이제 17대 항공기를 운영하는 J 항공사를 기준으로 같은 방법으로 살펴보면

- $D_{ann} = \frac{3000 \times 17 \times 2}{11000} = 9.27$
- $D_{rst} = 9.27 \times \left(\frac{90+30}{365} \right) = 3.05$
- P(m=1~5) = 19.2%~91.1%로 목표치 96%보다 낮다.
- P(m=6) = 96.4%로 목표치 96%보다 높아 17대 항공기를 운영하면서 엔진에 대한 PL을 96% 이상 유지하려고 하는 경우 예비엔진 6대를 운영해야 한다. 9대의 항공기를 운영하는 T 항공사 대비 약 2배인 17대의 항공기를 운영하면서도 동일한 PL 96%를 유지하기 위해서 필요한 예비엔진 수량은 4대 대비 50% 증가한 6대만을 필요로 한다.

마지막으로 3개 항공사가 37대의 항공기에 대한 예비엔진을 공유하면서 사용하는 경우를 살펴보자.

- $D_{ann} = \frac{3000 \times 37 \times 2}{11000} = 20.18$
- $D_{rst} = 20.18 \times \left(\frac{90+30}{365} \right) = 6.64$
- P(m=1~10) = 1.0%~92.5%로 목표치 96%보다 낮다.
- P(m=11) = 96.1%로 목표치 96%보다 높아 37대 항공기를 운영하면서 엔진에 대한 PL을 96% 이상 유지하려고 하는 경우 예비엔진 11대를 운영해야 한다.

이는 3개 항공사가 독립적으로 운영하는 경우

각각 4대, 5대, 6대가 필요하여 총 15대 대비 26.7%인 4대 줄어든 11대로 운영이 가능하게 된다. 아래 표는 각각의 D_{rst} 와 항공사가 m개의 부품재고를 운용 시 장탈된 부품 횟수가 m값보다 작을 확률을 나타낸다.

Table 2. Poisson Distribution Probability

m	D_{rst}			
	1.61	1.97	3.05	6.64
0	0.199	0.139	0.047	0.001
1	0.520	0.413	0.192	0.010
2	0.780	0.684	0.412	0.039
3	0.919	0.862	0.636	0.103
4	0.976	0.950	0.807	0.209
5	0.994	0.984	0.911	0.350
6	0.999	0.996	0.964	0.505
7	1.000	0.999	0.987	0.653
8	1.000	1.000	0.996	0.775
9	1.000	1.000	0.999	0.865
10	1.000	1.000	1.000	0.925
11	1.000	1.000	1.000	0.961
12	1.000	1.000	1.000	0.981
13	1.000	1.000	1.000	0.992
14	1.000	1.000	1.000	0.996
16	1.000	1.000	1.000	0.999

5. 결 론

4장에서 산출한 예비엔진 수량을 회사별로 운영 시와 통합하여 운영 시 비율을 비교하면 아래 표와 같다.

Table 3. Spare Engine Ration

	T사	E사	J사	통합
FS	9	11	17	37
장착엔진	18	22	34	74
예비엔진	4	5	6	11
엔진비율	22.2%	22.7%	17.6%	14.9%

3개사가 PL 96% 이상을 목표로 각각 운용하면 총 15대의 예비엔진이 필요하지만 부품공유를 통하여 통합 운용하면 11대가 필요하여 4대의 예비엔진에 대한 투자를 줄일 수 있다. 또한 장착엔

진 대비 예비엔진 비율을 보면 9~11대 항공기 운용 시 22.2%~22.7%인 예비엔진 비율이 FS가 증가함에 따라 점진적으로 줄어들어 14.9%까지 줄어들게 된다. 만약 항공기 운영대수가 50대가 되면 예비엔진 비율이 14%, 100대가 되면 13%가 되고 150대가 되면 완전성숙단계가 되어 예비엔진 비율인 12%까지 감소한다[11].

예비엔진 수량을 3개 항공사가 각각 필요로 하는 수량을 모두 운용할 경우 총 15대의 예비엔진이 필요하며, 15대 전체를 통합하여 운용할 경우 PL이 99.8%까지 상승해 매우 안정적으로 운용이 되어 안전도를 향상시킬 수도 있다. 3개 저가항공사가 엔진을 공유할 경우 예비엔진투자비용으로 엔진 4대의 비용을 절약하여 약 467억 원의 투자비용을 절약할 수 있다[12].

일반적으로 항공사에서 예비부품 중 엔진의 투자 비율이 47% 정도이다[3]. 이러한 자료를 바탕으로 3개 항공사가 예비부품 투자를 엔진을 포함한 전체로 확대할 경우 예비부품 투자비용으로 약 1000억 원을 절약할 수 있어 기종이 동일한 항공기를 운영하는 저가항공사 3사를 중심으로 부품공유를 통한 효율성 향상과 항공안전을 증진할 필요가 있다.

최근 항공사들은 항공기 엔진 및 예비부품을 자체적으로 보유하지 않고 외국의 부품공급 전문업체와 공동으로 운영하는 경향을 보이고 있으나 지리적으로 멀리 있고 국제간 교류로 부품 적기 공급에 어려움이 있고, 항공기 도입 시 부착된 원래 엔진을 반납 시 장착하도록 하고 있어 엔진 조달 계획에 어려움이 있다. 이러한 어려움을 극복하기 위하여 우리나라에도 항공기 정비 전문업체와 함께 항공기 엔진을 포함한 부품공급 및 오지공항에서 엔진결함으로 인한 엔진교환과 같은 AOG 발생 시 이를 수송하여 지원하는 전문업체를 육성하는 심층적인 후속연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 2015년도 광주대학교 교내학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 국토교통부 항공정책실, “항공정비산업 중장기 발전방안 보고서”, 국토교통부, 2014
- 2) 국토교통부 항공정책실, “국토교통부 항공안전감독 정비분야 특별점검 주요 점검사항”, 국

토교통부, 2012.

3) Wesley R. Soper & Janice W. Ng, "Spares Provisioning Products Guide", Boeing, Seattle, 2012.

4) Darko Louit & Rodrigo Pascual, "Optimization Model for Critical Spare Parts Inventories - A Reliability Approach", Journal of the Operational Research Society Vol 62, 2010, pp. 992 - 1004.

5) Edward R. Sherwin, "Application of the Poisson Distribution", Journal of the Reliability Analysis Center Volume 9, Number 1, 2002, pp.11~14.

6) Tamas Stefka, Airbus Materails Logistics & Suppliers, "Integrated Provisioning Services - the Provisioning Documentation", Airbus, Hamburg, 2014,

7) Rene Botter & Leonard Fortuin, "Stocking Strategy for Service Parts - a case study", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 20 Iss. 6, Eindhoven, 2000, pp.656 - 674,

8) J Fukuda, "Spare Parts Stock Level Calculation", www.geocities.ws/riekonissi, 2008, pp. 1~8

9) Hao Hu, "Poisson Distribution and Application", University of Tennessee, Knoxville, 2008, pp. 1~3

10) 국토교통부 항공정책실, "항공안전관리시스템, 항공기등록-운용 업체별 항공기 등록 현황", <http://atis.casa.go.kr/>, 국토교통부 2014.

11) Erica, "Turning Power into Profit", AFM Magazine, 2012

12) GE Aviation, "Ryanair CFM56-7B Engine Order Valued at \$3.7B", GE, 2013