

비행기지 RAPCON 유지보수비용 추정

Estimating Maintenance Cost of RAPCON at Air Force Base

방장규 · 이근영*

한국교통대학교 항공운항학과

Jang-Kyu Bang · Gun-Young Lee*

Department of Flight Operation, Korea National University of Transportation, Chungcheongbuk-do 27469, Korea

[요약]

본 연구는 RAPCON을 구성하는 구성요소를 체계별로 구분하고 체계별 운영시간에 따른 고장율 등을 분석한다. 아울러 설계 수명에 점차 도달한 RAPCON의 운영 중 발생한 유지보수비용 데이터를 토대로 남은 설계수명 기간 동안 향후 발생 가능한 유지보수 비용을 추정한다. 이런 분석결과를 통해 장비의 신뢰성 관련 선행연구들에서 주로 인용되고 있는 욕조커브 (bathtub curve) 이론과 본 연구의 비용예측 결과와의 연관성을 진단하고 안정적인 유지보수를 위한 기초자료로서 활용되고자 한다. 본 시계열 분석에 사용된 자료는 T국 공군이 구형 RAPCON을 신형으로 교체하면서, 설계수명이 다된 기존 RAPCON 운영단계에서 발생했던 50개월의 유지보수비용 데이터이다. 유지보수 비용은 6개 체계별 유지보수비용을 합한 월별 유지보수비용으로 사용하였다. ARIMA 모형을 토대로 향후 10개월 간 발생 가능한 유지보수 비용을 예측한 결과 비용이 상승할 것이라는 통계적으로 신뢰할 만한 추정 결과를 얻었다.

[Abstract]

RAPCON non only controls landing/take-off procedures but also approaching air traffics within 60-70 NM range of air force base. This paper, first of all, tries to research the failure rate per operation hours, mean time between failure (MTBF) of RAPCON according to six blocks such as interrogator, receiver, power unit, display unit, data process unit and antenna. In addition, this paper estimates the maintenance cost over next 10 months based on 50 monthly maintenance cost data. Considering the maintenance cost data from RAPCON which has been used over designed service life span, it is no doubt the forecasted data proved the monthly cost would go up incrementally during the rest of economic life of the facility. Such research result is also proven to be the same with the result of bathtub curve data during operating life.

Key word : Radar approach control, Bathtub curve, Mean time between failure, Maintenance cost, Time series.

<https://doi.org/10.12673/jant.2016.20.6.511>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 29 November 2016 Revised 5 December 2016
Accepted (Publication) 28 December 2016 (30 December 2016)

*Corresponding Author; Gun Young Lee

Tel: +82-10-5670-4172

E-mail: airsafe@hanmail.net

I. 서론

항공기를 공항으로 안전하게 접근시키고 이·착륙을 유도하는 임무야말로 항공안전에 있어서 가장 중요한 임무들 중 하나라고 말할 수 있다. 왜냐하면 항공기 사고는 항공기가 이륙 및 착륙할 때 가장 많이 발생하는 것으로 알려져 있으며 접근단계 (climb, descent 및 final approach)까지 포함할 경우 최근 10년간 항공기 사고의 68%가 접근 및 이·착륙단계에서 발생한 것으로 분석되었기 때문이다[1].

따라서 접근 관제 및 이·착륙 관제를 수행하는 관제사의 역할도 중요하지만 관제사에게 항공기의 운항정보를 실시간으로 중단 없이 제공하는 레이더의 역할도 매우 중요하다. 공항의 관제탑 근무자들은 이·착륙하는 항공기를 주로 통제하지만 RAPCON (radar approach control) 근무자들은 이·착륙뿐만 아니라 비행기 주변 최대 60-70 NM 범위 내에서 접근 혹은 항로를 통과하는 항공기들까지 모두 감시 및 통제하는 역할을 수행한다. 관제탑 근무자들은 레이더 화면뿐만 아니라 직접 시각적으로도 접근하는 항공기를 식별할 수 있다. 하지만 RAPCON 근무자들은 전적으로 레이더 화면에만 의존해야 하는 어려움이 있다. 미국에서는 공군과 FAA(미연방항공청, Federal Aviation Authority)가 공동으로 관제 서비스를 제공할 경우 RAPCON 이라 부르지만 FAA가 단독으로 관제할 경우 TRACON(terminal radar approach control) 이라는 명칭을 사용한다[2]. RAPCON은 ASR, SSR 및 PAR로 구성된 필수 항행시설)이므로 지속가능한 정비체계를 구축하여 무중단 운영을 가능케 해야 한다. 이를 통해 조종사에 대한 관제 조언 (advisory) 및 항공기 항적감시 기능 등이 상시 원활하게 이루어 질 수 있다.

본 논문은 첫째, RAPCON을 구성하는 구성요소를 체계별로 구분하고 체계별 운영시간 에 따른 고장율 등을 분석한다. 둘째, 설계수명에 점차 도달한 RAPCON 운영단계에서 발생한 유지보수비용 데이터를 토대로 남은 설계수명 기간 동안 향후 발생 가능한 유지보수 비용을 통계적 기법으로 추정한다. 셋째, 이런 분석결과를 통해 장비의 신뢰성 관련 선행연구들에서 주로 인용되고 있는 욱조커브(bathtub curve) 이론과[3][4] 본 연구의 비용예측 결과와의 연관성을 진단하고 안정적인 유지보수를 위한 기초자료로서 활용하고자 한다.

II. MTBF 와 ARIMA

2-1 MTBF 와 Bathtub Curve

본 연구에서는 설계수명이 도래한 RAPCON의 50개월간의

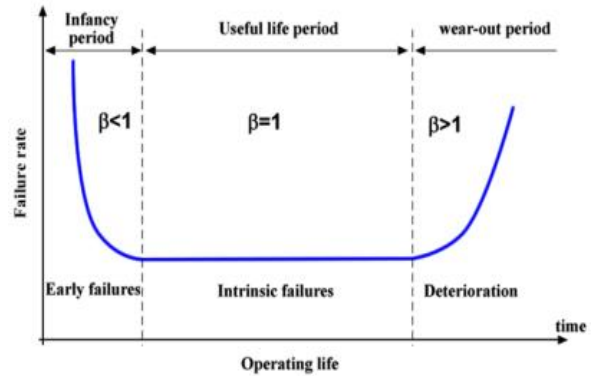


그림 1. 욱조곡선
Fig. 1. Bathtub curve.

운영 데이터를 참고로 하였다. 본 연구의 분석대상은 해외 T 국가 공군이 운용 중인 MPN(mobile, precision-radar, navigation) -14 사례를 토대로 작성된 데이터이기 때문에 보안유지 조치 후 분석하였다. MTBF (mean time between failure) 분석에 사용되는 고장율 곡선은 그림 1과 같이 여러 분야에서 입증된 바 있는 bathtub curve를 적용하였다[4].

장비의 초기 운용단계에서는 고장율이 높게 나타난다. 하지만 중기 운영단계로 접어들면 고장율이 낮아지면서 MTBF가 증가한다. 이 단계에서는 장비운용의 신뢰성이 상승하여 우발 고장율 또한 감소된다[5]. 하지만 장비가 설계수명에 도달하게 되면 고장율이 급격하게 증가하고 MTBF가 감소하며 유지보수비용이 증가한다. 따라서 설계수명이 다가오는 시점부터 하키스틱과 유사하다 하여 hockey stick curve 라고 한다[6]. 3장의 유지보수비용 예측모형에 적용할 분석 자료는 설계수명이 도래하기 시작하였으므로 하키스틱곡선 상에 분포한 유지보수비용이다.

2-2 ARIMA(Auto regression integrated moving average) 예측

예측은 미래 상황에 대한 높은 가능성 있는 주장이라고 할 수 있다. 미래에 대해 높은 정확도를 갖고 예측이 가능해 진다면 이러한 데이터를 바탕으로 미래에 다가올 상황에 대한 계획을 합리적으로 준비하고 손실을 최소화 할 수 있게 된다[7].

예측을 수행하기 위해서는 첫째로 조건이 전제되어야 하고 둘째로 기간이 전제되어야 하며 셋째 분석하고자 하는 예측 환경이 안정적이어야만 한다. 즉, 조건이란 회사의 행동, 전략, 경쟁자의 행동 혹은 시장 환경 등에 대한 미래 상황을 어느 정도 전제할 수 있어야 함을 말한다. 기간이란 단기, 중기, 장기 등 기간이 전제되어야 적합한 예측방법을 정할 수 있다. 안정적 환경이란 시장의 수요·공급 추세나 증감이 안정적이어야 하고 시장

1) ASR : Airport Surveillance Radar, SSR : Secondary Surveillance Radar, PAR : Precision Approach Radar

2) 자료의 보안유지를 위해 구체적인 연도를 표시하지 않고 20x1, 20x2 등으로 년도를 대체 표기하고 원자료를 달러(USD)로 환산하여 분석

환경이 급변하지 않는 상황(즉, 외부 쇼크 등)을 의미한다. 상기 세 가지 조건들이 충족되었을 때 가장 정확도가 높은 예측은 정량적 예측방법이다[8].

정량적 예측방법은 크게 고전적 예측법과 확률적 예측법으로 구분될 수 있다. 확률적 예측방법은 ARIMA 시계열 모형과 회귀분석을 사용하는 인과적 모형이 있다. ARIMA는 확률적 예측법의 하나로써 시간에 종속된 시계열 자료의 특성(상관성)을 고려한 방법으로 정확도가 높은 예측모형으로 알려져 있다[9]. ARIMA 시계열 모형은 과거부터 현재까지 발생한 상황, 즉 시계열 자료에 stochastic process를 적용하여 모형화한 것이다. ARIMA 모형은 자기상관모형 (auto AR; regression)과 이동평균모형 (MA; moving average)이 결합된 I(integrated) 혼합모형을 의미한다[10].

자기상관모형은 시계열 자료들이 시간에 종속되어 데이터 사이에 서로 계열 상관이 있다고 가정하는 모형이다. 데이터에는 백색잡음 (white noise)이 발생하는 데 그 잡음에는 시간적인 상관관계가 존재하지 않고 독립적이다. 즉 현 시점의 관측값은 그들의 과거 관측값들의 함수 형태로 나타낼 수 있다는 가정 하에서 자기회귀모형은 Yule-Walker 방정식을 통해서 추정되었다[8],[11],[12].

이동평균모형은 현 시점의 관측값은 백색잡음들의 선형결합 형태로 나타낼 수 있다는 가정 하에서 제안된 모형이다. 이러한 여러 모형들을 이용해서 현재의 확률적 시계열 모형을 완성하는 방법론을 정립했는데, 바로 Box-Jenkins의 ARIMA모형이다[9],[10]. 이는 다양한 분야에서 적용되어 시간영역에서 대표적인 시계열분석 방법론으로 자리를 잡았다[13].

Box-Jenkins ARIMA 모형은 그림 2와 같이 데이터식별 ⇨ 계수추정 ⇨ 모형진단 후 예측으로 구별된다. 본 연구에서도 시계열 자료의 정상성/비정상성 판단을 통해 데이터를 식별하고 자기상관 및 편자기상관 모형을 통해 적절한 계수를 도출하

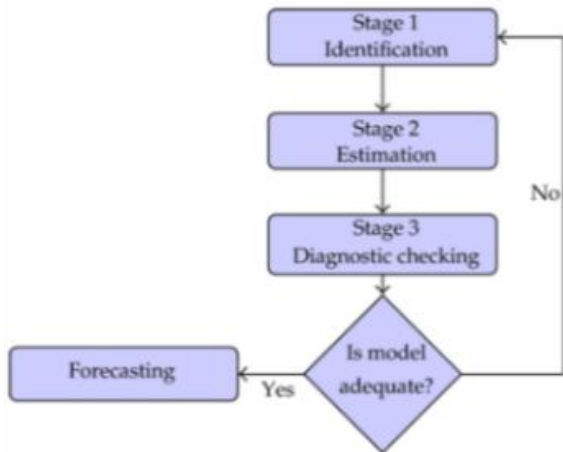


그림 2. Box-Jenkins(1994) 시계열 예측 단계
Fig. 2. Box-Jenkins(1994) Time series forecasting step.

여 모형 진단 후 레이더 유지보수 비용을 최종적으로 예측하였다. 시계열 데이터가 발생한 기간 동안 외부적인 요인의 변화에 의해 시계열 데이터의 형태가 급격한 변화를 보이는 현상이 있다. 이를 외부사건의 개입(intervention) 이라고 한다. 외부변수를 고려할 경우 ARIMA-intervention 모형을 사용한다[13]. 본 연구에 사용된 RAPCON 운용비용 자료에서는 발생기간 중 특이한 외부 개입사건이 발생하지 않은 것으로 판단하여 개입모형은 방법론으로 적용하지 않았다.

III. MTBF 및 비용추정 분석

3-1 고장을 MTBF(평균무고장시간) 분석

평균무고장시간 분석을 위해 RAPCON을 구성하는 장비를 체계별로 구분하여 분석을 수행하였다. RAPCON은 interrogator, receiver, display, power supply 및 antenna 로 구성된 하드웨어 블럭과 데이터를 처리하는 data process unit, 소프트웨어 블럭으로 총 6개 체계 (block diagram)로 구분 할 수 있다.

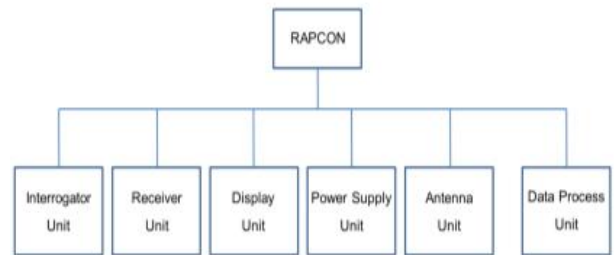


그림 3. Rapcon 블럭선도
Fig. 3. Rapcon block diagram.

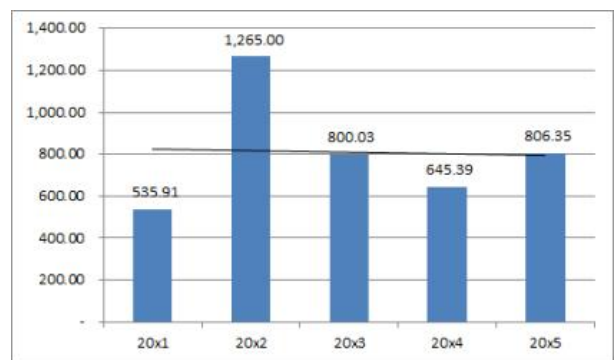


그림 4. 안테나 평균무고장시간
Fig. 4. MTBF of antenna unit.

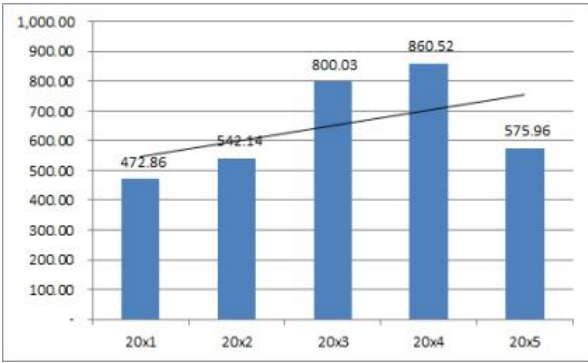


그림 5. 송신기 평균무고장시간
Fig. 5. MTBF of interrogator unit.

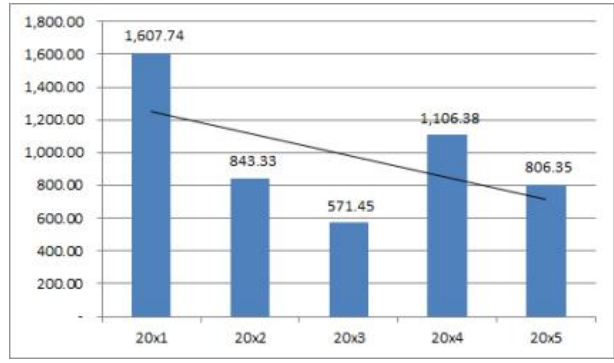


그림 8. 데이터 처리기 평균무고장시간
Fig. 8. MTBF of data processing unit.

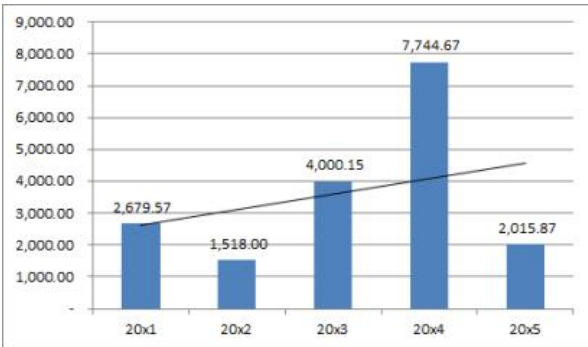


그림 6. 수신기 평균무고장시간
Fig. 6. MTBF of receiver unit.

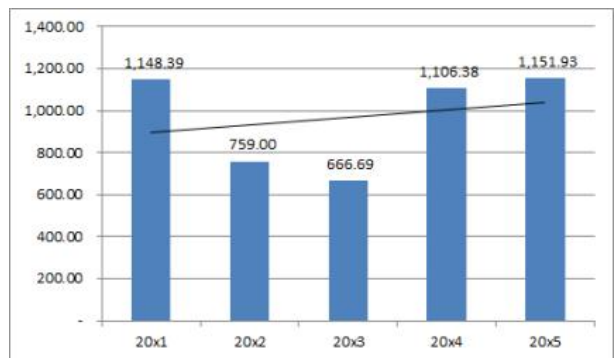


그림 9. 전원부 평균무고장시간
Fig. 9. MTBF of power supply unit.

그림 4에서 안테나 MTBF는 약 800 시간대에서 평행한 직선을 이루는 것으로 나타났다. 안테나의 경우 외부에 노출된 장비이기 때문에 고장율이 꾸준히 잦았던 것으로 분석된다.

송신기와 수신기의 MTBF를 분석한 결과 두 개의 장비 모두 시간이 지날수록 MTBF가 상승하였다. 그림 5와 같이 송신기의 MTBF는 초기 472시간에서 최대 860시간까지 상승하였고, 수신기는 그림 6과 같이 초기 2,679 시간에서 7,744 시간까지 상승하는 모습을 보여주었다.

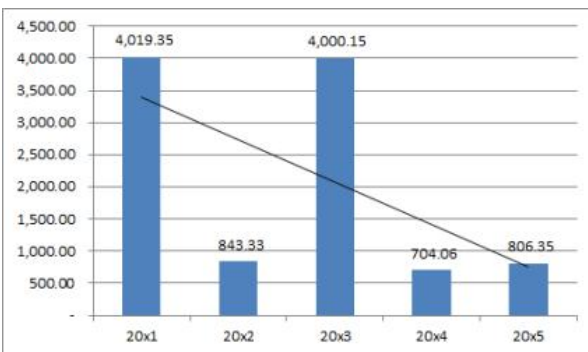


그림 7. 디스플레이 평균무고장시간
Fig. 7. MTBF of display unit.

송신기와 수신기의 경우 관제사 및 정비사의 초기 운영미숙 단계를 벗어남에 따라 점차 운영의 신뢰도가 상승하여 MTBF가 시간이 지남에 따라 상승한 것으로 파악된다.

레이더 구성 체계들 중 display 와 data process unit의 경우 그림 7과 그림 8 같이 오히려 운용시간이 지날수록 MTBF가 하락하는 모습을 보여주었다.

이는 초기 운용단계를 지나면서 비록 운용의 신뢰도는 상승하지만 관제사들이 접하는 레이더 화면과 데이터 처리 장비는 운용시간이 증가함에 따라 과부하 등의 영향으로 고장율이 증가하고 MTBF가 감소한 것으로 파악된다. 마지막으로 전원부의 경우 그림 9와 같이 시간이 증가함에 따라 점차 MTBF가 상승하는 모습을 보여준다. MTBF는 1,148 시간에서 잠시 감소하다가 다시 1,152시간까지 증가하여 전반적으로 상승 추세를 나타냈다. 결론적으로 6개 체계별 분석결과들을 종합해 보면 RAPCON 시설의 전반적인 MTBF는 설계수명이 점차 도래함에 따라서 감소된 것으로 파악된다.

3-2 ARIMA 비용추정 분석

추정 분석에 사용된 자료는 구형 MPN-14를 신형 MPN-25로 교체추진하면서, 설계수명이 다가오는 기존 RAPCON 운영단

계에서 발생했던 50개월의 유지보수비용 데이터이다. 유지보수 비용은 앞서 제시한 6개의 체계 별 유지보수비용을 합한 월별 유지보수비용이다. 일반적으로 통계분석의 유의성을 확보하고 표본분포의 정규성을 충족시키기 위해서는 실증분석 표본은 최소 250개 이상 필요하다. 그러나 시계열분석에 있어서는 최소 50개 이상의 표본이면 충분하다고 본다[13]. 물론 계절성이 존재하면 이보다 더 많은 표본 개수가 필요하지만 본 연구에 사용된 데이터에서는 계절성이 발견되지 않았기 때문에 추정분석을 위한 데이터수를 충족한다고 판단했다.

ARIMA 분석을 위한 모형 적합은 Box-jenkins가 제안한 모형의 식별, 모형의 추정, 모형의 진단 과정을 거쳐 최종적으로 데이터를 예측한다. 첫째, 모형의 식별 단계에서는 원 자료 시계열 도표, 자기상관함수 (ACF; auto correlation function), 편자기상관함수 (Partial ACF)를 통하여 시계열의 정상화를 위해 시계열의 차분, 계절차분 혹은 필요시 시계열자료의 로그변환 여부를 판단한다. 이를 통해 차분(d)의 차수, AR(p)의 차수, MA(q)의 차수 등을 결정한다. 둘째, 모형의 추정단계에서는 식별된 모형의 모수를 결정한다. 모형의 식별에 의해서 선정된 모형에 대한 p개의 자기회귀(AR) 모수 $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ 와 q개의 이동평균(MA) 모수 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ 를 결정하고 t-value 를 통해 유의성을 판단한다. 셋째, 모형의 진단에서는 모형의 잔차 ACF의 자기상관계수와 PACF의 자기상관계수가 충분히 0에 가까운지를 확인한다. ACF와 PACF 모두 5% 유의 수준 안에 들어오게 된다. 백색잡음(White noise)시계열이라고 할지라도 시차의 자기상관 중에 1개 정도는 이 기준치를 초과할 수도 있다[6][14]. 마지막으로 예측에서는 모형의 식별, 추정과 진단과정이 완료되면 선택된 모형을 이용하여 예측을 실시한다.

초기 50개월 간 RAPCON 시설을 운영하는 데 발생한 유지보수 비용은 그림 10과 같다. ARIMA 분석을 위해서 상기 시계열 자료가 정상성을 띄는 지 아니면 비정상성을 띄는지 식별하고 검토해야 한다. 실제 시계열자료가 비정상적이고 계절성을 띠고 있는 경우, 예측을 위해서 원 시계열자료에서 매우 안정되게 존재하고 있는 고정적 추세 혹은 패턴을 찾아내야 한다[8].

그림 10은 50개월 간 연차별로 큰 비용이 한 번씩 발생하는

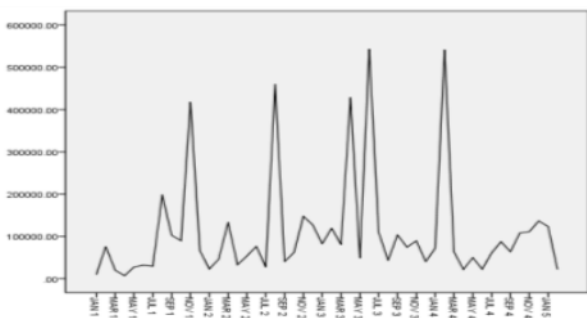


그림 10. 유지보수비용 도표
Fig. 10. Maintenance Cost Plot.

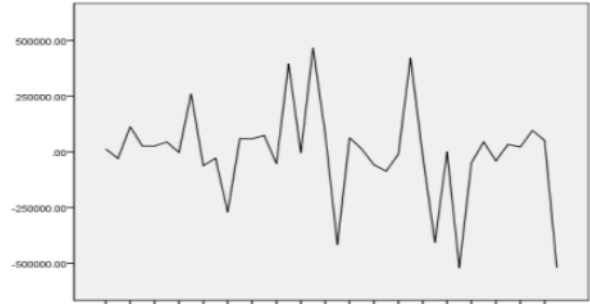


그림 11. 계절성 차분 도표
Fig. 11. Seasonal Difference Plot.

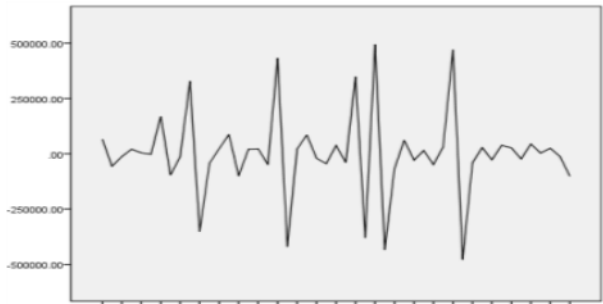


그림 12. 비계절성 차분 도표
Fig. 12. Non-seasonal/First Difference Plot.

양상을 보여주고 분산의 폭도 시간이 흐름에 따라 점차 증가한다. 따라서 자료의 비정상성이 있다고 판단하여 데이터의 정상성 확보를 위해 계절차분과 비계절차분을 실시하였다.

우선 계절차분을 그림 11과 같이 실시한 결과 시간이 경과함에 따라 시계열자료의 분산이 더욱 확대되는 모습을 확인할 수 있다. 원 시계열자료에서 계절성은 존재하지 않는다는 것을 의미한다. 따라서 비정상성이 여전히 존재하여 비계절성 차분을 1회 실시하였다. 비계절성 차분 결과 데이터는 안정적인 분산을 나타내면서 그림 12처럼 정상성(stationary) 나타났다.

다음으로 ARIMA의 p, d, q 차수를 결정해야 하는데 이 계수들은 자기상관함수(ACF)와 편자기상관함수(PACF) 값을 보고 판단할 수 있다. 우선 그림 13의 ACF 분석 결과 ACF가 시간이 경과에 따라 PACF에 비해 지수적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 하지만 PACF는 그렇지 않은 것으로 판단되었다. 아울러 그림 14의 PACF 분석결과를 보면 잔차가 첫 번째 시차에서부터 유의수준 범위를 벗어나는 것(Spike)을 확인할 수 있다. 그 이후 전반적으로 유의수준 범위에서 백색잡음의 조건을 만족하는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 ARIMA 분석을 위한 p, d, q 계수는 (1,1,0)으로 결정되어 최종모형은 ARIMA (1,1,0) (0,0,0)이 설정되었다.

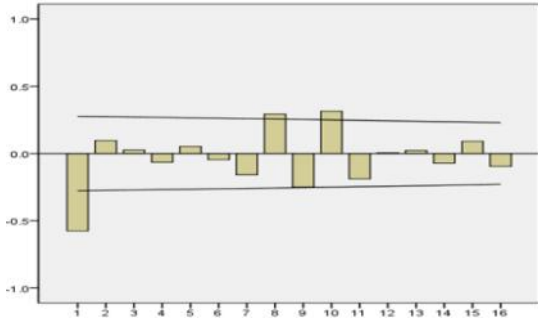


그림 13. 자기상관함수
Fig. 13. ACF Correlogram.

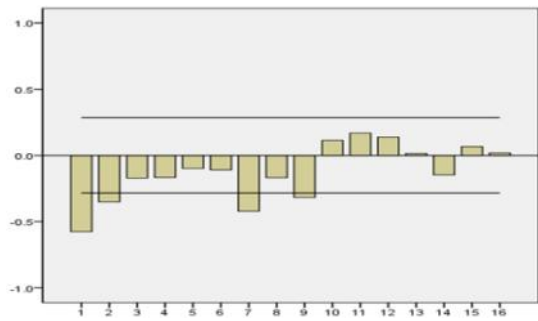


그림 14. 편자기상관함수
Fig. 14. PACF Correlogram.

ARIMA(1,1,0)(0,0,0) 시계열 예측모형에 대한 적합도를 검증하기 위하여 대표적인 모형통계량인 Ljung-Box 통계량을 분석하였다.

표 1의 분석결과 Ljung-Box 유의확률은 .169로 .05보다 크기 때문에 백색잡음으로부터 무차별하다 즉, 잔차(residual)가 자기상관 없이 독립적인 분포라는 것을 확인할 수 있었다. Ljung-Box 유의확률은 .05 보다 반드시 커야 시계열 예측모형이 통계적으로 유의미하기 때문이다.

그림 15에 제시된 두개의 함수들 모두에서 잔차 스파이크가 나타나서는 안 된다. 왜냐하면 만약 예측모형의 잔차 스파이크가 존재한다면 모형을 재검토해야하기 때문이다. 분석 결과 백색잡음 허용 수준 내에서 잔차가 분포하여 본 예측모형은 수용할 만한 수준임이 파악되었다.

표 1. ARIMA 계수 통계량

Table 1. ARIMA parameter statistics.

	beta	S. E.	t-값	p-값
AR 시차 1	.568	.119	4.761	.000
Difference	1	-	-	-
Ljung-Box Q	21.257, df=16, p-value = .169			

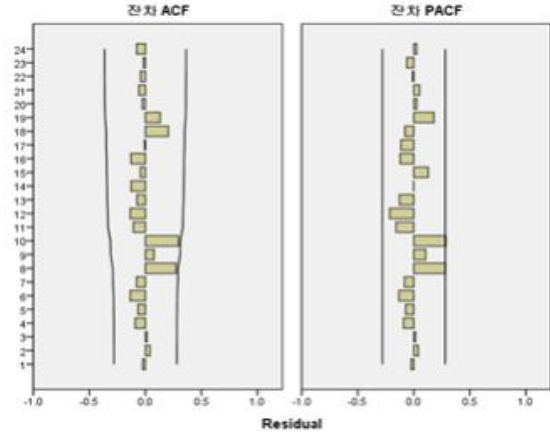


그림 15. 잔차의 자기상관 및 편자기상관함수
Fig. 15. ACF and PACF of residuals.

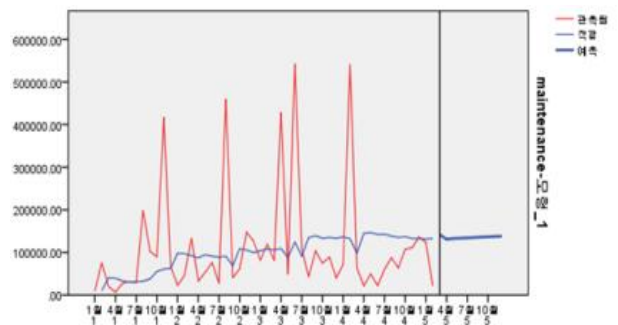


그림 16. 향후 10개월 간 유지보수비용 추정
Fig. 16. Forecasting over 10 months.

예측모형의 적합도와 정규성을 확인한 후 예측결과를 도표로 표시한 결과가 그림 16과 같이 제시되어 있다. 예측결과 RAPCON 설계수명이 하키스틱 곡선 분포를 보이기 시작하면서 MTBF가 감소하면서 유지보수비용이 증가하였다.

50개월 간 유지보수비용 자료를 토대로 나머지 10개월을 ARIMA 모형으로 예측한 결과는 그림 16에 제시되어 있다. 비행기지 RAPCON 시설이 중기 운용단계를 넘어서 제작사가 제시한 설계수명에 도달하면서($\beta > 1$), 평균 월별 유지보수비용이 점차 상승할 것으로 추정되었다.

3-3 유지보수비용 추정 결과

ARIMA 모형으로 추정한 10개월의 유지보수비용을 토대로 총 60개월의 유지보수비용을 년 단위로 정리하면 다음의 표 2와 같다.

20x3년을 제외하고는 시설의 설계수명이 도래하는 말기 운용단계로 넘어가면서 유지보수비용이 1,076천 USD/년에서 1,502천 USD/년으로 상승하는 추세를 보여주고 있다. 20x3년에 비행기지 RAPCON에 큰 유지보수 작업이 발생했기 때문에 20x4년에 유지보수비용이 감소된 것으로 사료된다.

표 2. 연간 유지보수비용 정리

Table 2. Summary of Annual Maintenance Cost.

Year	Maintenance Cost (USD)	Memo
20x1	1,075,670	
20x2	1,228,661	
20x3	1,762,768	
20x4	1,336,980	
20x5	1,501,574	Estimated Amount

하지만 RAPCON 시설의 설계수명이 점차 도래함에 따라 20x4년에 일시적으로 감소되었던 유지보수 비용이 20x5년에 다시 큰 폭으로 상승할 것이라고 예측된 것이다.

IV. 결 론

MTBF 분석 결과 RAPCON 시설이 설계수명에 점차 접근함에 따라 구성 체계별로 MTBF의 차이는 있었으나, 종합적인 MTBF는 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 말기 운영단계인 하키스틱 곡선 상에 위치하게 되면 고장율이 빈번해지고 MTBF가 감소하면서 유지보수비용이 증가할 것이라는 것을 예견가능하게 해주었다.

아울러 ARIMA 예측모형을 토대로 향후 10개월 간 발생가능한 유지보수 비용을 예측한 결과 비용이 상승할 것이라는 통계적으로 신뢰할 만한 추정 결과를 얻었다. 중기 운영단계에서 연간 유지보수 비용이 150만 달러 미만에서 발생하였다면, 설계수명에 접근하면서부터 150만 달러 이상으로 상승추세를 보여준다는 것이다. 따라서 상기 ARIMA를 활용한 유지보수 비용 예측결과는 앞선 MTBF 분석내용을 지지함과 동시에 시설의 정비 신뢰도를 보여주는 bathtub curve 이론과 일치하는 신뢰할 수 있는 결론이다.

RAPCON 시설의 운용비용 자료가 충분히 잘 유지되었기 때문에 본 연구를 통해 이론의 적용 및 분석에 대하여 만족스러운 결론을 도출 할 수 있었다고 판단한다. 본 연구는 RAPCON이 말기 운영단계에 도래하여 설계수명에 도래하였음을 보여주고 있지만 정확한 적정 수명한계를 분석하여 본 시설이 적정 수명을 초과하였는지 여부를 판단하는 것이 중요하다. 따라서 향후 연구는 본 시설이 기존의 설계수명을 초과하였는지 분석하고, 만약 초과하였다면 본 시설을 운용할 수 있는 적정 경제수명은 언제까지 인지를 통계적인 방법으로 판단하여 공군의 대표적인 항행안전시설인 RAPCON 시설의 노후 교체를 위한 과학적 근거자료로 활용되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2016년 한국교통대학교의 연구비 지원을 받아 수행하였습니다.

참고 문헌

- [1] Boeing, Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents : Worldwide Operations, 1959-2014, 2014.
- [2] Federal Aviation Authority, Facility Operation Guide 2-4-09, Air Traffic Control, 2008.
- [3] B. Hahn, "Reliability assessment of wind turbines in Germany," in *European Wind Energy Conference*, European Wind Energy Association, Nice; France, pp. 459-462, 1999.
- [4] J. A. Andrawus, J. Watson, and M. Kishk, "Wind turbine maintenance optimization: Principles of quantitative maintenance optimization," *Wind Engineering*, Vol. 31, No. 2, pp. 101-110, 2007.
- [5] C. H. Choi, Applying reliability centered maintenance on weapon system : Design, development and operation, Seminar on Korean Air Force Head Quarter, 2013.
- [6] R. Jiang, *Introduction to Quality and Reliability Engineering*, 1-st. ed. Beijing, China: Springer, 2015.
- [7] K. J. Han, *Future Forecasting of Time Series using SPSS*, 1-st. ed. Seoul, Korea: Baeksan Books, 2011.
- [8] M. S. Kim, K. W. Kim, and S. S. Park, "A study of the air travel demand forecasting using time series ARIMA-intervention," *Journal of The Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 20, No. 1, pp. 63-74, 2012.
- [9] G.E.P. Box, and G. M. Jenkins, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, 2nd ed. San Francisco, CA: Holden-Day, 1976.
- [10] G. E. P. Box, G. M. Jenkins, and G.C. Reinsel, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, 3rd ed. Englewood New Jersey: Prentice Hall, 1994.
- [11] S. M. Assadi, Evaluation of The Bias of Yule-Walker Estimates in Auto-Regression Time Series Processes, M. A. Degree, San Jose State University, CA., 2006.
- [12] R. Stein, P. Shaman, "A fixed point characterization for bias of auto-regressive estimators," *The Analysis of Statistics*, Vol. 17, No. 3, pp. 1275-1284, 1989.
- [13] D. B. Jung, *SPSS(PASW) Time-Series Forecasting*, 1st ed. Seoul, Korea: Han Narae Academy Books, 2010.
- [14] C. H. Choi, J. K. Bang, and S. S. Park, "A research of applying RAM-c to analyze the design service life for unmanned aerial vehicle," *Journal of the Korean Society*

for Aviation and Aeronautics, Vol. 23, No. 4, pp. 119-126,
2015.



방 장 규 (Jang-Kyu Bang)

2015년 2월 : 한국항공대학교 경영학과 항공경영학박사
2012년 2월 ~ 현재 : 한국교통대학교 항공운항학과 부교수
※ 관심분야 : 항공운항, 무기체계



이 근 영 (Gun-Young Lee)

2013년 8월 : 한국항공대학교 경영학과 항공경영학박사
2015년 9월 ~ 현재 : 한국교통대학교 항공운항학과 조교수
※ 관심분야 : 항공운항, 항공정책, 항공기엔진, 기체구조