시계열을 이용한 항행안전시설 유지비용 추정 연구

A Study of Estimating Maintenance Cost of NAVAID

강우정[1]* 이근영[2]
한국교통대학교 항공운항학과[1] 한국교통대학교 항공운항학과[2]

초 록

본 논문에서는 항행안전시설을 구성하는 구성요소를 체계별로 구분하고 체계별 운영시간 에 따른 고장율 등을 분석한다. 아울러 설계수명에 점차 도달한 항행안전시설 운영단계에서 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. ARIMA 예측모형을 토대로 향후 10개월 간 발생가능한 유지보수 비용을 예측한 결과 비용이 상승할 것이라는 통계적으로 신뢰할 만한 추정 결과를 얻었다. ARIMA를 활용한 추정결과는 앞선 MTBF 분석내용을 지지함과 동시에 시설의 정비 신뢰도를 보여주는 욕조커브 분포와 일치하는 신뢰할 수 있는 결론을 얻은 것이다.

1. 서 론

항공기를 공항으로 안전하게 접근시키고 이·착륙을 유도하는 임무야 말로 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 10년 간 항공기 사고의 68%가 접근 및 이·착륙단계에서 발생한 것으로 분석되었기 때문이다[1].

따라서 접근 관제 및 이착륙 관제를 수행하는 관제사의 역할도 중요하지만 관제사에게 항공기의 운항정보를 실시간으로 중단 없이 제공하는 항행안전시설의 역할도 매우 중요하다.

따라서 본 논문에서는 항행안전시설을 구성하는 구성요소를 체계별로 구분하고 체계별 운영시간에 따른 고장율 등을 분석한다. 아울러 설계수명에 점차 도달한 항행안전시설 운영단계에서 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[2]본 연구의 비용예측 결과와의 연관성을 진단하고 안정적인 유지보수를 위한 기초자료로서 활용되고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 시계열 예측

예측이란 과거로부터 현재까지의 발생한 상황을 바탕으로 미래의 상황을 가정하는 것이다. 실제로 미래에 그 상황이 발생할 것인가는 확실하지 않다. 따라서 예측 결과는 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 최소화할 수 있게 된다[3].

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 환경이 급변하지 않는 상황(즉, 외부 쇼크 등)을 의미한다. 상기 세 가지 조건들이 충족되었을 때 가장 정확도가 높은 예측은 정량적 예측방법이다[3].

정량적 예측방법은 크게 고전적 예측법과 확률적 예측법으로 구분될 수 있다. 확률적 예측방법은 ARIMA 시계열 모형과 회귀분석을 사용하는 인과적 모형이 있다. 본 연구에서는 ARIMA 시계열 모형을 이용하여 레이더 유지보수 비용의 변화폭을 추정하고 그 결과를 토대로 레이더 유지보수 비용을 예측하고자 하였다.

2.2 ARIMA 분석의 개념

ARIMA는 확률적 예측법의 하나로써 시간에 종속된 시계열 자료의 특성(상관성)을 고려한 방법으로 정확도가 높은 예측모형으로 알려져 있다[4]. ARIMA 시계열 모형은 과거부터 현재까지 발생한 상황, 즉 시계열 자료에 Stochastic Process를 적용하여 모형화한 것이다. ARIMA 모형은 AR (Auto Regression : 자기상관모형)과 MA (Moving Average : 이동평균모형)가 결합된 I (Integrated) 혼합모형을 의미한다[5]. 자기상관모형(AR)은 시계열 자료들이 시간에 종속되어 데이터 사이에 서로 계열상관이 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 자기회귀모델은 Yule-Walker 방정식을 통해서 추정되었다[3]. 이동평균모형(MA)은 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[4]. 이는 다양한 분야에서 적용되어 시간영역에서 대표적인 시계열분석 방법론으로 자리를 잡았다[5].

Box-Jenkins ARIMA 모형은 데이터식별 ⇨ 계수추정 ⇨ 모형진단 후 예측으로 구별된다. 본 연구에서도 시계열 자료의 정상성/비정상성 판단을 통해 데이터를 식별하고 자기상관 및 편자기상관 모형을 통해 적절한 계수를 도출하여 모형진단 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[6].

외부 변수를 고려하여 ARIMA-Intervention 모형을 사용한다[5]. 하지만 본 연구에 사용된 시계열 데이터에서는 특이한 외부 개입사건이 발생하지 않은 것으로 판단하여 개입모형은 방법론으로 적용하지 않았다.

3. 예측 분석

3.1 분석 방법론

시계열 분석에 사용된 자료는 국내 지방 공항의 항행안전시설 운영단계에서 발생했던 50개월의 유지보수비용 데이터이다.

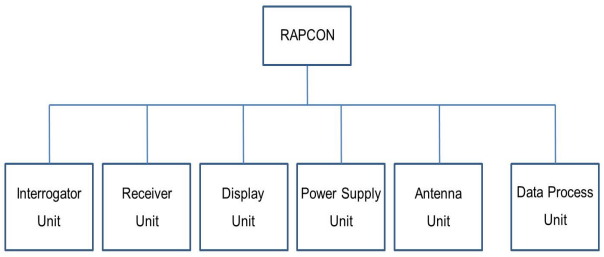

Fig 1. NAVAID System Blocks

유지보수 비용은 상기 Fig. 1에서 제시한 항행안전시설 6개 체계별 유지비용을 합한 월별 유지보수비용으로 사용하였다.

일반적으로 통계분석의 유의성을 확보하고 표본분포의 정규성을 충족시키기 위해서는 실증분석 표본은 최소 250개 이상 필요하다. 그러나 시계

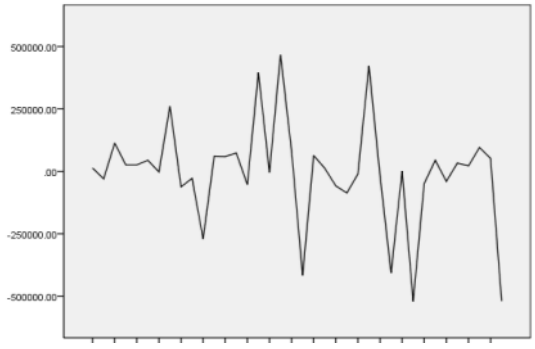

Fig 2. Seasonal Difference Plot

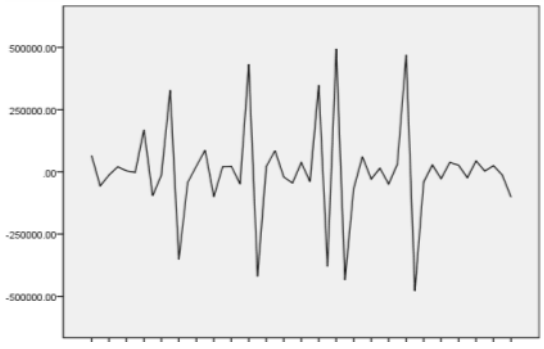

Fig 3. Non-seasonal/First Difference Plot

열분석에 있어서는 최소 50개 이상의 표본이면 충분하다고 본다[5]. 물론 계절성이 존재하면 이보다 더 많은 표본 개수가 필요하지만 본 연구에 사용된 데이터에서는 계절성(Seasonality)이 발견되지 않았기 때문에 시계열분석을 위한 데이터 수를 충족한다고 판단했다.

3.2 ARIMA 분석 결과

초기 50개월 간 항행안전시설을 운영하는 데 발생한 유지보수 비용은 아래와 같다. ARIMA 분석을 위해서 상기 시계열 자료가 정상성을 띄는지 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[7].

상기 Fig 2에 나타난 시계열 자료는 1차년부터 4차년까지 연차별로 큰 비용이 한 번씩 발생하는 양상을 보여주면서 분산의 폭도 시간이 흐름에 따라 점차 커져가고 있는 것이 파악되었다. 따라서 자료의 비정상성이 있다고 판단하여 데이터의 정상성 확보를 위해 계절차분과 비계절차분을 각각 실시하였다.

우선 계절차분을 실시한 결과 시간이 경과함에 따라 시계열자료의 분산이 더욱 확대되는 모습을 확인할 수 있다. 즉, 원 시계열자료에서 계절성은 존재하지 않는다는 것을 의미한다.

따라서 비정상성이 여전히 존재하여 비계절성 차분을 1회 실시하였다. 비계절성 차분 결과 데이터는 안정적인 분산을 나타내면서 정상성(Stationary) 나타냈다.

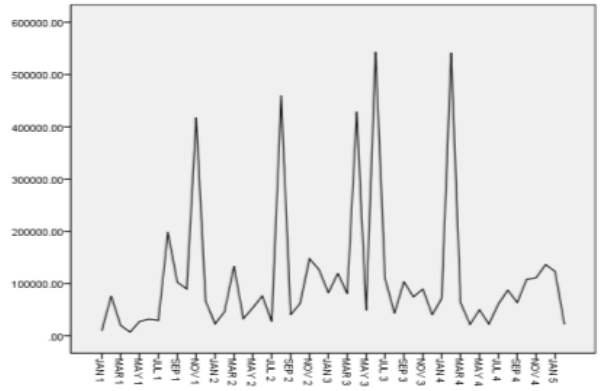

Fig 4. Maintenance Cost Plot

다음으로 ARIMA의 p,d,q 차수를 결정해야 하는데 이 계수들은 자기상관함수(ACF)와 편자기상관함수(PACF)의 Correlogram 값을 보고 판단할 수 있다. 우선 ACF 분석 결과 ACF가 시간이 경과에 따라 PACF에 비해 지수적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 하지만 PACF는 그렇지 않은 것으로 판단되었다.

아울러 PACF 분석결과를 보면 잔차가 첫 번째 시차에서부터 유의수준 범위를 벗어나는 것을 확인할 수 있다. 그 이후 전반적으로 유의수준 범위에서 백색잡음(White Noise) 의 조건을 만족하는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 ARIMA 분석을 위한 p,d,q 계수는 (1,1,0)으로 결정되어 최종 모형은 ARIMA(1,1,0)(0,0,0)이 설정되었다.

ARIMA(1,1,0)(0,0,0) 시계열 예측모형에 대한 적합도를 검증하기 위하여 대표적인 모형통계량

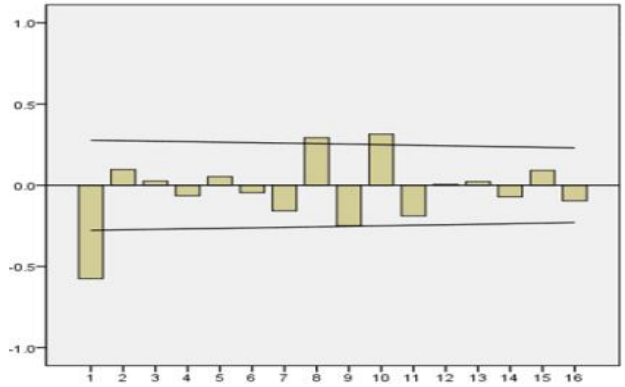

Fig 5. ACF Correlogram

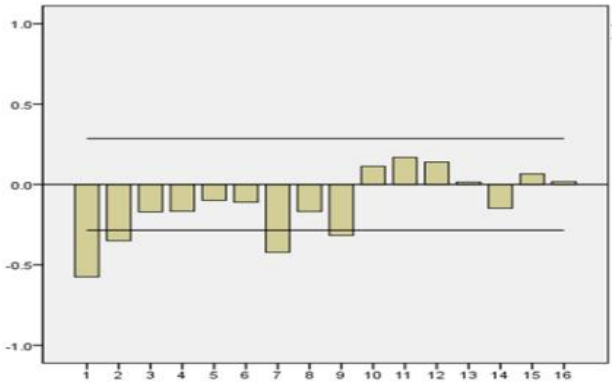

Fig 6. PACF Correlogram

인 Ljung-Box 통계량을 분석하였다. Table 1의 분석결과 Ljung-Box 유의확률은 .169로 .05보다 크기 때문에 백색잡음으로부터 무차별하다 즉, 독립적이라는 것을 확인할 수 있었다. Ljung-Box 유의확률은 .05 보다 반드시 커야 시계열 예측모형이 통계적으로 유의미하기 때문이다.

Table 1. ARIMA Parameter Statistics

	Est.	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			

※ 상수항은 유의하지 않아 예측모형에서 제외함

다음으로 ARIMA 예측 모형의 잔차들의 ACF 및 PACF를 살펴보았다.

Fig 6에 제시된 두개의 함수들 모두에서 잔차 Spike가 나타나서는 안 된다. 왜냐하면 만약 예측모형의 잔차 Spike가 존재한다면 모형을 재검토해야하기 때문이다. 분석 결과 백색잡음 허용수준 내에서 잔차가 분포하여 본 예측모형은 수용할 만한 수준임이 파악되었다.

예측모형의 적합도와 정규성을 확인한 후 예측결과를 도표로 표시한 결과가 Fig 7에 제시되어 있다. 예측결과 항행안전시설 설계수명이 하키스틱 곡선 분포를 보이기 시작하면서 MTBF가 감소하면서 유지보수비용이 증가하였다.

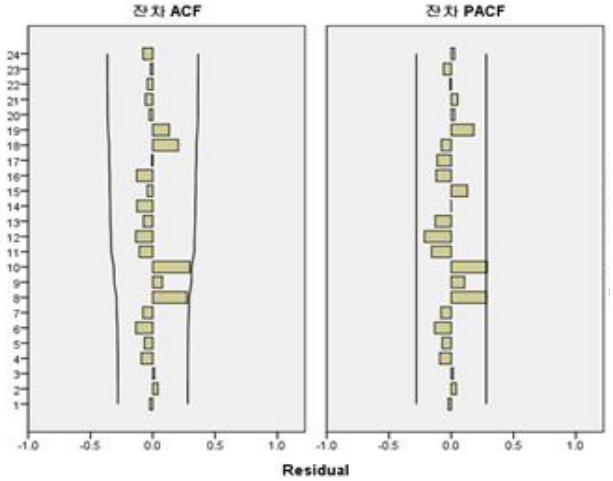

Fig 7. ACF and PACF of Residuals

50개월 간 유지보수비용 자료를 토대로 나머지 10개월을 ARIMA 모형으로 예측한 결과는 상기 Fig 7에 제시되어 있다. 비행기지 RAPCON 시설이 중기 운용단계를 넘어서 제작사가 제시한 설계수명에 도달하면서(β>1), 평균 월별 유지보수비용이 점차 상승할 것으로 추정되었다.

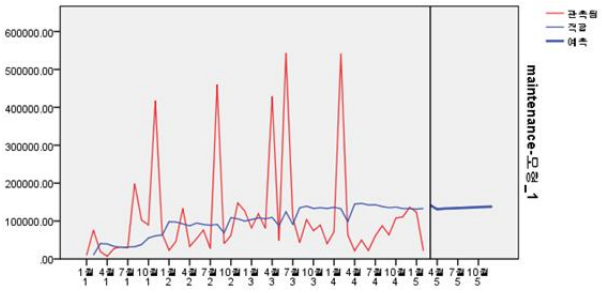

Fig 8. Prediction over 10 months

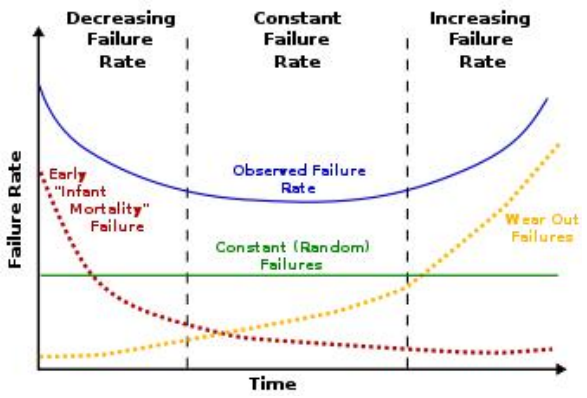

Fig 9. Bathtub Curve & Failure rate [9]

4. 결 론

ARIMA 예측모형으로 추정한 10개월의 유지비용을 토대로 총 60개월의 유지보수비용을 년 단위로 정리하면 다음의 Table 2와 같다.

Table 2. Overview on Maintenance Cost

	유지보수비용 (USD)	비 고
20x1년	1,075,670	
20x2년	1,228,661	
20x3년	1,762,768	
20x4년	1,336,980	
20x5년	**1,501,574**	**예측모형 추정**

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

ARIMA 예측모형을 토대로 향후 10개월 간 발생 가능한 유지보수 비용을 예측한 결과 비용이 상승할 것이라는 통계적으로 신뢰할 만한 추정 결과를 얻었다. 중기 운용단계에서 연간 유지보수 비용이 150만 달러 미만에서 발생하였다면, 설계수명에 접근하면서부터 150만 달러 이상으로 상승추세를 보여준다는 것이다. 따라서 상기 ARIMA를 활용한 추정결과는 시설에 대한 공학적인 정비 신뢰도를 보여주는 Bathtub Curve 분포와 일치하는 신뢰할 수 있는 결론이다.

후 기

본 논문은 2015년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음

참고문헌

[1] Boeing, (2014) ' Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents : World wide Operations', 1959-2014

[2] Hahn, B. (1999), 'Reliability Assessment of Wind Turbines in Germany', European Wind Energy Conference, Nice, France, 1-5 March

[3] Kocurkova R., (1997), 'Time Series Analysis and Trends by Using SPSS Program', Silesian University in Opava, Czech Republic

[4] 김민수, 김기웅, 박성식 (2012), 'ARIMA-Intervention 시계열모형을 활용한 제주 국내선 항공여객수요 추정', 한국항공운항학회지 20(1), pp. 63-74

[5] Box, G.E.P & Jenkins, G.M. (1976), 'Time Series Analysis : Forecasting and Control', 2nd ed. San Francisco : Holden-Day

[6] 정동빈(2010), 'SPSS(PASW) 시계열 수요예측', 한나래 아카데미

[7] Goh, B. H. (2005), 'The Dynamic Effects of the Asian Financial Crisis on Construction Demand and Tender Price Levels Singapore', Building and Environment, 40(2), pp. 267-276

[8] 안경모, 이광우 (2005), 'ARIMA Intervention Model을 이용한 한국인 관광객의 태국여행수요예

측에 관한 연구’, 한국호텔경영학회, 14(4) pp. 273-288

[9] Klutke, G.; Kiessler, P.C.; Wortman, M.A. "A critical look at the bathtub curve". IEEE Transactions on Reliability 52 (1): 125-129. doi:10.1109/TR.2002.804492. ISSN 0018-9529. Retrieved 2015-06-16.