論文

감시시스템 정확도 성능에 따른 항공기간 최소분리간격 설정에 관한 연구

이효진*, 이금진*, 백호중*

A Study on Separation Minima Determination based on Surveillance System Accuracy Performance

Hyo-Jin Lee*, Keum-Jin Lee*, Ho-Jong Baik*

ABSTRACT

A properly determined separation minima applied in Air Traffic Management(ATM) is critical for safe and efficient aircraft operations. The separation minima is primarily determined by the accuracy performance of surveillance system, and, due to the stringent aviation safety standard, the position accuracy of the surveillance system must be estimated with a high level of reliability. This study proposed a method for estimating the position accuracy of surveillance system with a relatively small amount of data by finding upper confidence limit instead of maximum likelihood values of unknown parameters. Through the proposed method, it is possible to determine a required separation minima with a more reliability in the face of data scarcity which often occurs when we implement a new surveillance system such as Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B)

Key Words : Air Surveillance(항공감시) Minimum Separation(최소분리간격), Close Approach Probability(CAP), Automatic Dependent Surveillance-Broadcast(자동종속감시)

1. 서 론

항공교통관리(Air Traffic Management)란 제한된 공역(airspace)내에서 항공기의 안전하고 효율적인 운항을 가능케 하는 일련의 서비스를 일컫는다. 효과적인 항공교통관리를 위해서는 통신(communication), 항법(navigation), 감시(surveillance) 기능을 제공하는 지상 및 항공기내에 설치된 다양한 장비들이 필요한데, 이 중 감시장비는 운항 중인 항공기의 위치, 고도, 속도, 방향 및 식별(identity)에 대한 정보를 지상의 관

제사에게 제공해주는 역할을 담당한다. 관제사는 이와 같은 정보를 바탕으로 항공기 운항 상의 위험요인들(예: 항공기간의 충돌)을 실시간으로 찾아내고 이에 대한 적절한 해결책[1]을 주게 된다.

관제사는 두 항공기간의 거리가 특정한 기준 이하로 떨어질 경우(또는 그러할 것으로 예상되는 경우) 해당 항공기가 충돌(conflict)할 것으로 판단하게 되는데, 이때 적용되는 특정한 기준을 최소분리간격(separation minima)이라고 한다.

최소분리간격은 감시장비를 통해 제공되는 항공기 위치정보의 정확도(accuracy)에 의해 일차적으로 결정되는데[2],[3], 감시장비의 제한된 성능으로 인해 항공기의 실제위치와 감시장비에 의해 추정된 위치 사이에는 오차가 존재하게 된다. 이 오차의 크기수준이 커질수록 최소분리간격은 크게 설정되게 되고, 따라서 항공기간 최소분리간격을 효과적으로 설정하기 위해서는 위치오차 분포가 매우 정확하게 추정되어야 한다. 문제는 ADS-B (Automatic Dependent Surveillance

2012년 11월 12일 접수 ~ 2012년 12월 19일 심사완료
논문심사일 (2012.11.16, 1차), (2012.12.19, 2차)

* 한국항공대학교 대학원 항공교통물류학과
연락처자, E-mail : hyojin05@kau.ac.kr
경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

Broadcast)를[4]-[6] 비롯해 기존의 것과 전혀 다른 새로운 형태의 감시장비가 도입되는 경우, 해당 장비의 정확도를 추정하기 위해 필요한 충분한 양의 데이터가 확보되기 힘들다는 것이다. 데이터량이 충분하지 않은 경우 최소분리간격이 실제 필요크기보다 작게 설정될 가능성이 존재하며, 이는 항공안전에 심각한 위험요인으로 작용하게 된다. 반대로 최소분리간격이 필요량보다 과대하게 설정될 경우 공역의 수용량(capacity)을 제한할 수 있으므로 이 또한 바람직하지 못하다.

보다 안전하고 효율적인 항공교통관리를 위한 노력이 전 세계적으로 활발하다[7]-[11]. 특히 ADS-B를 비롯한 차세대 항공감시 장비를 통해 보다 획기적인 개념의 항공교통관리 실현이 가능할 것으로 기대되고 있으며[12],[13], 이를 위한 다양한 형태의 연구개발이 진행 중에 있다.

본 논문에서는 감시장비로부터의 데이터가 충분히 확보되지 않을 시, 해당 장비의 위치오차 확률분포함수 및 최소분리간격을 보다 신뢰성 있게 설정하는 방법에 대해 연구하였다.

II. CAP을 이용한 감시 장비의 성능 정량화

1. Close Approach Probability

Close Approach Probability(CAP) 기법은 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)를 비롯해 국제적으로 동의된 기법의 하나로써, 1980년대 일본의 장거리(long range) 레이더의 도입과정 등을 통해 감시 장비의 위치정확도의 정량화 및 항공기간 최소분리간격 설정에 유용하게 사용될 수 있음이 보여진 바 있다[3],[14],[15]. CAP 기법을 이용해 감시 장비의 정확도를 정량화하고, 이를 통해 최소분리간격을 설정하는 방법을 간략하게 설명하면 다음과 같다.

Fig 1. Close Approach Probability

Fig 1에 나타난 바와 같이 감시장비를 통해 나타난 두 항공기간의 거리가 특정분리간격 S_0 를 유지하는 것으로 나타난 경우라도, 해당 장비의 성능한계를 감안할 때 두 항공기가 실제로는 충돌할 확률이 존재한다. 여기서 f 는 감시장비의 위치오차에 대한 확률분포함수를 의미하고, S_0 는 감시장비를 통해 나타난 항공기간 분리간격을 의미한다. 항공기의 크기를 지름이 λ 인 원으로 근사하면, 두 항공기가 충돌할 확률은 감시장비 위치오차에 관한 확률분포함수를 이용해 다음 식(1)과 같이 계산될 수 있다.

$$CAP = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\lambda}^{\lambda} f(x)f(x - S_0 + t)dt dx \quad (1)$$

항공기의 크기수준, 즉 $-\lambda$ 와 λ 사이에서 항공기 위치에 대한 확률분포함수 f 가 선형적으로 변한다고 가정하면 식(1)은 다음 식(2)와 같이 근사화 될 수 있다.

$$CAP = 2\lambda \int_{-\infty}^{\infty} f(x)f(x - S_0)dx \quad (2)$$

위와 같은 방법으로 계산된 CAP, 즉 감시장비를 통해 특정분리간격만큼 떨어져 있다고 추정된 두 항공기가 실제로 충돌하고 있을 확률은 해당 감시장비의 위치정확도에 관한 정량화된 지표로서 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 항공기간 최소분리간격을 설정하는 데 이용될 수 있다.

즉, 항공기간 최소분리간격 S_{min} 은 CAP 확률이 특정수준 P_{TLS} 이하가 되도록 하는 최소 S_0 값으로서, 다음 식(3)과 같이 계산될 수 있다.

$$S_{min} = \operatorname{argmin}_{S_0} CAP < P_{TLS} \quad (3)$$

여기서 P_{TLS} 는 최대허용 CAP 확률을 의미하며, 본 논문에서는 2×10^{-12} 으로 설정되었다[6].

2. 감시 장비의 요구 성능

새로운 감시장비를 도입하고 이를 이용해 항공교통서비스를 제공하기 위해서는 해당 장비가 적절한 성능요구조건을 만족하는지를 반드시 평가하여야 한다. 특히 감시장비의 위치정확도에 대한 성능요구조건은 항공교통관리 시 적용되는 최소분리간격에 직접적인 영향을 주게 되므로 매

우 신중하게 평가되어야 한다.

감시장비의 위치정확도에 대한 성능이 CAP 확률을 통해 정량화 되고 이를 이용해 최소분리간격이 설정될 수 있음을 앞 절에서 살펴보았는데, 이 절에서는 이를 가상의 감시시스템에 실제 적용해 봄으로서 위치정확도, CAP 확률, 그리고 최소분리간격 사이의 관계에 대해 보다 자세히 살펴보았다.

Fig 2에 나타난 바와 같이, 서로 다른 위치정확도를 가지는 두 개의 감시장비를 고려하자. 감시장비 1의 위치오차는 평균이 0, 표준편차가 0.3NM인 정규분포를 가지며(식(4-1)), 감시장비 2의 경우 평균이 0, 표준편차가 0.15NM인 정규분포와 평균이 0, 표준편차가 0.9NM인 정규분포가 결합된 혼합정규분포를 가진다(식(4-2)). 감시장비 1의 위치오차 수준의 현 레이더 시스템의 그것과 대략적으로 일치하며[6], 감시장비 2의 경우 위치정확도(표준편차 기준)가 3배 가량 향상된 차세대 항공감시 장비를 염두에 둔 설정이다.

Fig 2. 감시 장비 위치오차에 대한 확률분포함수

$$f_1 \sim N(0, 0.3^2) \quad (4-1)$$

$$f_2 \sim (1 - \alpha)N(0, 0.15^2) + \alpha N(0, 0.9^2) \quad (4-2)$$

감시장비 2의 위치오차가 혼합분포의 형태를 가진다는 것은 오차의 발생요인이 크게 정상적인 경우와 비정상적인 경우로 나뉠 수 있음을 의미한다. 즉, 감시장비 2의 위치오차는 정상적인 경우에 대해서는 상대적으로 작은 수준에서 $N(0, 0.15^2)$ 의 분포를 가지고 나타나지만, 비정상적인 경우에 대해서는 보다 큰 수준에서 $N(0, 0.9^2)$ 의 분포로 나타남을 의미한다. 이때

α 는 정상적인 경우와 비정상적인 경우의 상대적인 발생빈도를 의미하며, 본 논문에서는 $\alpha = 10^{-7}$ 으로 설정하였다.

식(4-1)과 식(4-2)에 주어진 확률분포함수를 식(2) 및 식(3)에 적용해 각 감시 장비별 CAP 확률 및 최소분리간격을 계산해 보았다. Fig 3에 나타난 바와 같이, 분리간격 S_0 가 커질수록 CAP 확률은 감소하게 되며 CAP 확률이 특정수준 $P_{TLS} = 2 \times 10^{-12}$ 이하가 되도록 하는 최소분리간격 S_{min} 은 감시장비 1 및 감시장비 2가 각각 2.94NM과 3.62NM 이다.

여기서 주의하여 살펴볼 점은, 감시장비 2의 표준편차가 감시 장비 1의 표준편차보다 작음에도 불구하고(실제로 감시장비 2의 표준편차는 $((1 - \alpha)0.15^2 + \alpha 0.9^2)^{1/2} \approx 0.15$ 와 같이 계산될 수 있다.) 최소분리간격은 훨씬 크게 설정된다는 점이다. 이는 감시장비의 위치정확도, 더 나아가 최소분리간격의 설정 시 표준편차의 계산 또는 이와 관련된 일반적인 통계적 기법(예: 카이스퀘어 검정)이 사용될 수 없음을 의미한다.

Fig 3. CAP 기법을 이용 최소분리간격 설정

실제로 CAP 기법은 (표준편차의 계산을 통한 방법과는 달리) 위치오차 확률분포함수의 꼬리부분(tail)의 모양을 매우 정확하게 고려하여 최소분리간격을 설정하는 방법에 해당한다고 말할 수 있는데, 이는 결국 매우 엄격한 항공안전기준, 즉 매우 낮은 수준의 P_{TLS} 가 적용되기 때문이다.

3. CAP의 민감도 분석

앞에서 살펴본 바와 같이, CAP 위험도는 감시

장비 위치오차에 대한 확률분포의 형태에 따라 결정되게 된다. 특히 위치오차 확률분포함수의 꼬리부분 모양이 매우 중요하게 작용하기 때문에 확률분포함수가 매우 정확하게 추정되어야 한다. 이 절에서는 특정한 최소분리간격, 즉 5NM 분리간격의 적용 시 CAP 위험도가 확률분포함수의 미세한 모양변화에 따라 어떻게 변화하는 지에 대한 추가적 수치분석을 수행하였다.

이를 위해, 감시장비 2에 최소분리간격 5NM을 적용했을 때의 CAP 위험도가 비정상적 위치오차의 발생빈도인 α 값의 변화에 따라 어떻게 달라지는 지를 살펴보았다.

Fig 4에 나타난바와 같이, α 값이 0인 경우 5NM 분리기준에 대한 감시장비 2의 CAP 위험도는 2.6008×10^{-122} 로 아주 적은 값으로 산출된다. 이는 감시장비 2를 이용해 5NM 분리기준으로 항공교통관리 서비스를 제공할 수 있음을 의미한다.

Fig 4. $\alpha = 0$ 인 경우, 5NM 분리기준에 대한 CAP 위험도

Fig 5. $\alpha \neq 0$ 인 경우, 확률분포함수

모양변화에 따른 CAP 위험도 변화추이

하지만, Fig 5에 나타난 바와 같이, α 값이 매우 미세하게 변화함에 따라 CAP 위험도가 급격히 증가함을 알 수 있는데, 특정수준 이상의 α 값에 대해서는 5NM 분리기준을 더 이상 적용할 수 없음을 알 수 있다. 감시장비에 일반적으로 적용되는 안전기준인 2×10^{-12} CAP 확률을 적용하여 감시장비 2에 요구되는 최소분리간격 변화비율을 계산해 보면 Fig 6에 나타난 바와 같다.

Fig 6은 $\alpha = 0$ 일 경우를 기준으로 α 가 증가함에 따라 최소분리간격의 변화율을 나타낸 것으로, α 값이 10^{-10} 이상으로 증가 시 감시장비 2의 이용으로 5NM 분리 서비스의 제공이 어려워지며, $\alpha = 10^{-9}$ 인 경우 해당 장비에 요구되는 최소분리간격은 $\alpha = 0$ 인 경우에 비해 50%나 증가하게 됨을 알 수 있다.

이와 같이 감시장비의 CAP 위험도는 위치오차 확률분포함수의 미세한 변화에 매우 민감하게 반응하므로, 확률분포함수의 모양은 매우 정확하게 추정되어야 한다. 예를 들어, 상대적으로 큰 수준의 비정상 위치오차의 발생가능성이 있는 경우, 비정상 위치오차의 발생빈도를 매우 정확히 예측하여야 하며 이는 곧 매우 많은 데이터가 확보되어야 함을 의미한다.

Fig 6. 비정상 위치오차 발생비율(α)에 따른 요구 최소분리간격 변화비율

하지만 문제는 ADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)를 비롯해 기존 방식과 전혀 다른 새로운 형태의 감시장비가 도입되는 경

우, 최소분리간격을 설정하기 위해 필요한 충분한 양의 데이터가 확보되지 않는 경우가 많다는 것이다. 데이터량이 충분하지 않은 경우 비정상 위치오차의 발생비율(α)이 실제보다 작게 추정될 가능성이 존재하며, 이 경우 최소분리간격이 실제 필요크기보다 작게 설정되게 된다. 따라서 본 논문에서는 감시장비로부터 데이터가 충분히 확보되지 않을 시, 해당 장비의 위치오차 확률분포함수 및 최소분리간격을 보다 신뢰성 있게 설정하는 방법을 제시코자 한다.

III. 최대신뢰 추정치를 통한 위치오차 및 최소분리간격 설정

1. 위치오차 분포함수 추정

앞 장에서 살펴본 바와 같이, CAP 기법을 통한 최소분리간격의 설정은 결국 감시장비 위치오차에 대한 확률분포함수를 얼마나 정확하게 추정할 수 있는지의 문제로 귀결된다. 확률분포함수에 대한 추정은 일반적으로 최대우도(maximum likelihood)기법을 적용해 이루어지는데, 데이터 양이 충분하지 않을 시 감시장비에 요구되는 최소분리간격이 필요크기보다 작게 설정될 위험이 있다.

본 논문의 감시장비 2에 대한 정상적 요인 또는 비정상적 요인으로 발생하는 위치오차의 크기 분포는 $N(0, 0.15^2)$ 과 $N(0, 0.9^2)$ 로 산출되었으나, 각 요인별 발생빈도(α)는 불분명한 것으로 가정하였으며, 데이터를 이용해 α 값을 추정하고 이를 이용해 최소분리간격을 산출하였다.

우선 감시장비 2의 위치오차에 관한 $n = 3 \times 10^7$ 개의 데이터를 식(4-2) 분포함수를 기반으로 가상으로 생성하였다. 이를 위해 우선 성공확률(success probability)이 $\alpha = 10^{-7}$ 인 베르누이 실험(Bernoulli trial)을 $n = 3 \times 10^7$ 회 반복하였으며, 실험결과가 성공일 경우에는 $N(0, 0.9^2)$ 에서, 실패일 경우에는 $N(0, 0.15^2)$ 에서 위치오차 데이터를 추출하였다. 추출된 데이터에 대한 히스토그램은 Fig 7과 같다.

Fig 7. 위치오차 데이터 히스토그램

추출된 각 위치오차 데이터가 정상적인 경우 또는 비정상적인 경우에 해당하는지를 알고 있다고 가정할 때, α 값은 기존의 최대우도기법을 통해 추정하면 다음과 같다.

$$\hat{\alpha}_{ML} = \hat{p} \quad (5)$$

여기서 $\hat{p}$ 은 총 데이터 중에서 비정상적인 경우에 해당하는 비율을 의미하며, Fig 7의 데이터를 이용해 추정된 값은 $\hat{\alpha}_{ML} = 6.7 \times 10^{-8}$ 이다. α 에 대한 추정치를 식(4-2)에 적용한 후 최소분리간격을 구하면 3.52NM이 도출된다. 이는 앞서 실제 $\alpha = 10^{-7}$ 를 적용하여 구한 최소분리간격인 3.62NM 보다 작으며, 이와 같이 필요량보다 작게 설정된 최소분리간격은 항공안전의 심각한 저해요인이 된다. 이는 α 값의 크기수준에 비해 데이터량이 충분하지 못해서 나타나는 결과이며, 이를 보완할 수 있는 방법으로 본 논문에서는 최대신뢰추정기법을 적용해 α 값을 추정하는 것을 제안하고자 한다.

본 논문에서 제안하는 최대신뢰추정기법에 따른 α 값에 대한 추정치는 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{\alpha}_{UL} = \operatorname{argmax}_{\hat{\alpha}} F_{\text{bino}}(n_A, n, \hat{\alpha}) < 0.01 \quad (6)$$

여기서 F_{bino} 는 n 과 $\hat{\alpha}$ 을 매개변수로 하는 이산확률분포(binomial distribution)에 대한 누적분포함수를 의미하며, n 은 총 데이터 수, n_A 는 비정상인 경우에 해당하는 데이터 수를 의미한다. Type 1 error는 1%를 적용하였다.

식(5) 및 식(6)에서 알 수 있듯이, 기존의 최대우도법에 의한 방법은 데이터를 이용해 가장 근접한 값을 α 에 대한 추정치로 사용하는 반면, 새롭게 제안된 방법은 유사한 값들 중 최대치를

α 에 대한 추정치로 선택하게 된다. 따라서 데이터가 충분하지 않은 경우 최대우도법은 α 를 실제보다 작게 추정할 위험성을 가지고 있는 반면, 제안된 방법은 데이터의 양이 많고 적음을 감안해 보다 보수적인 값을 α 에 대한 추정치로 사용하게 된다.

Fig 7에 나타난 데이터에 제안된 기법을 적용해 추정된 α 값은 $\hat{\alpha}_{UL} = 2.8 \times 10^{-7}$ 이다(Table 1 참조).

Table 1. 추정방법에 따른 α 추정값

구분	실제값	최대우도추정치 ($\hat{\alpha}_{ML}$)	최대신뢰추정치 ($\hat{\alpha}_{UL}$)
α 값	10^{-7}	6.7×10^{-8}	2.8×10^{-7}

추정된 α 를 식(4-2)에 대입하면 감시장비 2에 대한 위치오차 확률분포함수를 구할 수 있으며, 구해진 분포함수를 CAP 기법에 적용하면 최소분리간격이 3.85NM으로 구해진다(Table 2 참조).

Table 2. α 추정치 및 최소분리간격

α 값	실제값 (10^{-7})	최대우도추정치 (6.7×10^{-8})	최대신뢰추정치 (2.8×10^{-7})
최소 분리간격	3.62 NM	3.52 NM	3.85 NM

2. 최대신뢰 최소분리간격

Fig 8은 앞서 설명한 두 가지 방법으로 추정된 위치오차 분포함수를 CAP 기법에 적용함으로써 최소분리간격을 도출한 결과를 보여주고 있다.

Fig 8. 기존 및 제안된 추정기법을 통한 최소분리간격

Fig 8에서 나타난 바와 같이 최대우도법을 사용한 경우 최소분리간격이 실제 $\alpha = 10^{-7}$ 을 적용해 구한 값(3.62NM)보다 작게 설정되었음을 알 수 있는데, 이는 상대적으로 적은 수의 데이터량으로 인해 α 를 정확하게 추정하지 못했기 때문에 발생하는 것이다. 앞서 설명하였듯이 이와 같이 상대적으로 적은 양의 데이터로 인한 문제는 새로운 감시장비(예: ADS-B)의 도입 시 흔히 발생할 수 있으며, 과소하게 설정된 최소분리간격은 항공안전에 심각한 위험요인으로 작용케 된다. 반면, 제안된 최대신뢰추정방법을 적용한 경우에는 최소분리간격이 실제 필요한 값보다 더 크게 설정되었음을 알 수 있다. 실제로 본 논문에서 제안된 최대신뢰추정기법에 따라 최소분리간격을 결정할 경우, 데이터량에 관계없이 항상 실제 필요한 값보다 더 크게 설정되게 된다.

본 논문에서 제안한 방법인 최대신뢰추정방법을 이용해 분포함수를 추정하는 경우, 데이터량의 부족으로 인하여 최소분리간격이 과소하게 추정되는 문제를 상당부분 해결할 수 있음을 살펴보았다.

IV. 결 론

본 논문에서는 항공감시 장비의 도입과 이에 따른 최소분리간격 설정에 관한 연구를 수행하였다. 최소분리간격은 감시장비의 정확도 수준에 따라 일차적으로 결정되는데, 높은 수준의 항공안전기준으로 인해 감시장비의 정확도가 매우 정확하게 추정되어야 하며 이는 곧 매우 많은 양의 데이터가 필요함을 의미한다. 하지만 차세대 감

시장비를 도입하는 경우에는 매우 제한된 양의 데이터만이 사용가능하며, 따라서 최소분리간격의 설정 시 보다 신중한 접근이 필요하다. 이에 따라, 본 논문에서는 최대신뢰추정법을 통하여 최소분리간격을 설정하는 방법을 새롭게 제시하였으며, 제시된 방법은 기존의 방법에 비해 보다 안전한 최소분리간격의 설정을 가능케 한다. 향후과제로는 우선 제안된 기법을 더욱 일반화된 형태로 발전시켜야 할 것이며, 더 나아가 실제 감시 데이터의 적용을 통해 그 성능을 보다 면밀하게 검증하여야 할 것이다.

후기

이 논문은 국토해양부의 “항공감시용 ADS-B 핵심기술 개발”과제 및 “2012년도 한국항공대학교 교비지원” 연구비에 의해 수행되었다.

참고 문헌

- [1] ICAO, PANS-Air Traffic Management, Doc.4444, 2007.
- [2] A. Haraldsdottir, and et. al., “Air Traffic Management Capacity-Driven Operational Concept Through 2015”, In: Donohue GL and Zellweger AG (eds.), Air Transp. Systems Eng., AIAA, 2001, pp. 9-25.
- [3] ICAO, Manual on Airspace Planning Methodology for the Determination of Separation Minima, Doc.9689, 1998.
- [4] Steven D. T., and James M.F., “Surveillance Accuracy Requirements in Support of Separation Services” Lincoln Laboratory Journal, Vol.16, No.1, 2006, pp.97-122.
- [5] Steven D.T., and Katherine A.S., “Automatic Dependent Surveillance-Broadcast in the Gulf of Mexico” Lincoln Laboratory Journal, Vol.7, No.2, 2008, pp.55-69.
- [6] John W. A., and Steven D.T., “Validation of Required Surveillance Performance Accuracy”, In 7th USA/Europe Air traffic Management R&D Seminar Barcellona, Spain, July 2007.
- [7] JPDO, NextGen: Concept of Operation, 2006.
- [8] SESAR Consortium, SESAR: The ATM Target Concept, 2007.
- [9] ICAO, Performance-based Navigation (PBN) Manual, Doc-9613, 2008.
- [10] 김장환, 강자영, “자유비행 환경에서의 항공기 분리보장을 위한 충돌 탐지 및 해결 방법에 대한 고찰”, 한국항공운항학회지, Vol.18, No.3, 2010, pp. 27-33.
- [11] 정성균, 이상욱, “위성항법 지상국 감시제어 시스템 품질 감시 기법 분석”, 한국항공운항학회지, Vol.18, No.1, 2010, pp. 11-18.
- [12] 김장환, 한재현, 강자영, “모드-S 다변측정법을 이용한 항공감시기술 분석 및 전망”, 한국항공운항학회지, Vol.18, No.3, 2010, pp. 9-20.
- [13] RTCA DO-318, Safety, Performance and Interoperability Requirements Document for Enhanced Air Traffic Services in Radar-Controlled Are Using ADS-B Surveillance, 2009.
- [14] Sakae N., Osamu A., and Yasuo W., “Evaluating the Feasibility of a Radar Separation Minimum for a Long Range SSR”, Journal of Navigation, Vol.42, Issue.03, Sep. 1989, pp.403-416.
- [15] Sakae N., and Osamu A., “Estimation Accuracy of Close Approach Probability for Establishing a Radar Separation Minimum”, Journal of Navigation, Vol.44, Issue.01, Jan. 1991, pp.110-121.
- [16] 이효진, 이금진, “감시시스템 성능에 따른 항공기간 최소분리간격 설정에 관한 연구”, 제 8 회 국방기술 학술대회, 서울시립대학교, 2012, pp. 406-413.