

論文

접근절차의 시계구간 보호 적용 연구

- 태안비행장을 중심으로 -

김도현*, 홍승범**

A Study on an Application of the Protection for the Visual Segment of the Approach Procedure focused on Taean Airport

Dohyun Kim* and Seung Beom Hong**

Abstract

'Visual segment surface' means a surface that extends from the missed approach point of non precision approaches (or the decision altitude location for approaches with vertical guidance and precision approaches) to the threshold to facilitate the identification of and protection from obstacles in this visual segment of the approach.

Validation is the necessary final quality assurance step in the procedure design process, prior to publication. The purpose of validation is the verification of all obstacle and navigation data, and assessment of flyability of the procedure.

This paper shows how to apply the protection for the visual segment of the approach procedure, and the results of the validation for visual segment surface conducted at an airport.

Key Words : Visual segment surface(시계구간표면), Instrument approach procedures(계기접근절차), Obstacle clearance Altitude/Height(장애물 회피고도), Vertical path angle(수직경로각), Aeronautical study(항공학적 검토)

1. 서론

시계구간표면(Visual segment surface; VSS)이란 항공기가 직진 계기접근 시 시계구간 내에 위치한 장애물로부터 보호받기 위하여 설정된 표면을 말한다[1]. RNP AR(Required Navigation Performance Authorization Required) 절차[2]를 포함한 모든 직진(straight-in) 계기비행절차 설계 시 장애물로부터 회피되도록 설정된 이 표면에 관한 규정은 2006년 11월에 승인되고 2007년 3월

부터 적용되기 시작하였다.

국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization; ICAO) 기술지침(Documentation) 8168 PANS-OPS(Procedures for Air Navigation Services-Aircraft Operations)에 따르면, 2007년 3월 15일 이후 발간된 신규 직진 계기접근절차는 시계구간 내에 위치한 장애물들로부터 보호되어야 하며, 어떠한 장애물도 시계구간표면(VSS)을 침투할 수 없다고 규정하고 있다.

만약 VSS를 침투하는 접근절차를 수립해야 하는 경우에는 반드시 항공학적 검토를 시행하여 위험수준이 수용할 수 있는 수준인지 평가하여야 하며, 이러한 검증과정 없이 공표되어서는 안 된다. 항공학적 검토에 따른 위험완화대안으로는 강하율의 증가 또는 활주로의 이설(Runway threshold displacement) 등이 있을 수 있다. 다만 활주로의 이설로부터 15m 미만 높이의 장애물

2014년 05월 12일 접수 ~ 2014년 06월 11일 심사완료
논문심사일 (2014.06.09, 1차)

* 한서대학교 항공교통학과 교수

** 한서대학교 항공전자공학과 부교수

연락처, E-mail : sbhong@hanseo.ac.kr

충남 태안군 남면 신운리 한서대학교 태안비행장

은 VSS를 평가할 때 무시할 수 있다. 또한 항공기를 활주로 대기지점에 대기시키는 것과 같은 일시적인 이동 장애물은 허용된다[3].

국제기준과 마찬가지로 국내 규정인 비행절차설계요령(국토교통부 예규 제50호)에서도 ICAO 기술지침과 같은 내용을 규정하고 있고, 따라서 2007년 3월15일 이전에 발간된 직진 계기접근절차는 지난 2012년 3월 15일 전까지 시계구간표면(VSS)을 보호[4]하기 위하여 정기적인 절차 검증을 수행했어야 한다. 국내 계기비행절차는 2011년 이후 대부분이 신설 또는 개량되면서 VSS에 대한 검증을 수행하였다.

비행절차설계는 항공기 운항의 안전을 수용할 수 있는 수준으로 확보하기 위해 국제적 기준에 부합하는 설계 기준에 따라야 한다[5]. 또한 이를 통해 국가 공역의 효율성을 증대하고, 시스템 운영의 유연성과 예측성을 증대시키며, 공역 이용자의 이용성을 다양화하여 그 수용능력을 극대화하는 것이다. 비행절차 등의 설계를 통한 공역환경의 변화는 최소한 변경이전의 수용 가능한 안전 수준을 유지해야 함을 전제로 하며 이를 확인하기 위해서는 유효성평가(또는 위험평가)가 필수적으로 수행되어야 한다[6].

본 연구의 지리적 범위는 충남태안에 위치한 비행장을 대상으로 하고 있다. 해당 비행장은 현재 비계기활주로를 보유하고 있으나 향후 비정밀(또는 정밀) 계기접근시설을 비행장에 설치할 것을 검토하고 있으며 이로 인해 예상되는 직진 계기접근절차 설계시 검토되어야 하는 VSS에 대한 장애물평가를 진행 하였다.

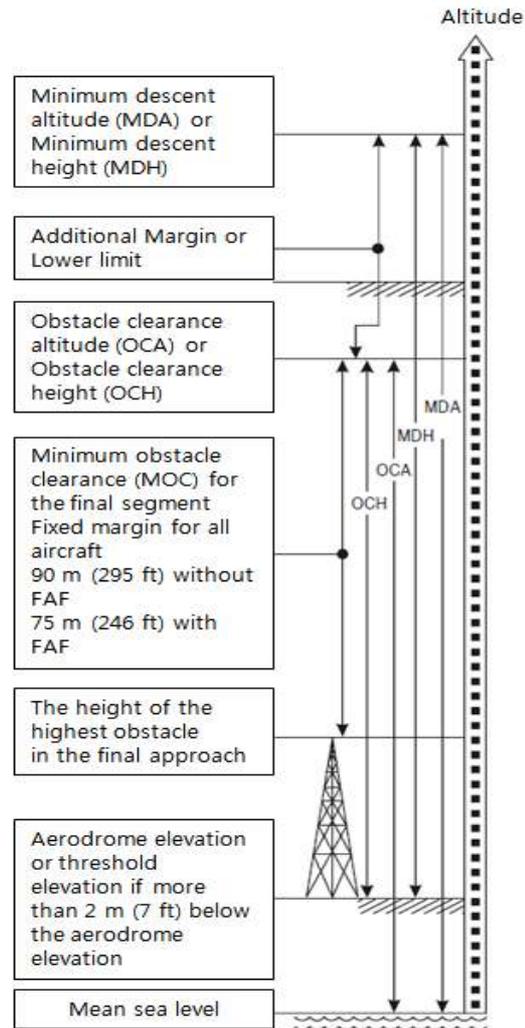
2. 시계구간표면의 물리적 정의

장애물회피고도(Obstacle Clearance Altitude; OCA) 또는 장애물회피높이(Obstacle Clearance Height; OCH)는 검토대상이 되는 활주로나 또는 비행장 표고로부터의 최저 고도 또는 높이를 말하며, 적절한 장애물회피기준을 충족하는 고도 또는 높이를 설정하는데 사용된다.

장애물회피고도(OCA)는 평균해수면(Mean Sea Level; MSL)을 기준으로 하고, 정밀접근절차의 장애물회피높이(OCH)는 활주로나표고를 기준으로 한다. 비정밀접근의 경우 장애물회피높이는 비행장표고 또는 활주로나표고가 비행장표고보다 2m (7ft) 이상 아래에 있는 경우에 활주로나표고를 기준으로 한다. 선회접근(Circling approach)의 장애물회피높이는 비행장 표고를 기

준으로 한다[4].

OCA/H는 규정된 최저장애물회피(Minimum Obstacle Clearance; MOC)를 바탕으로 결정된다. 최종접근픽스(Final Approach Fix; FAF)가 있는 절차의 경우는 MOC가 75m이고 FAF가 없는 경우는 90m이다. 특정한 경우(예, 산악지역에서의 원거리 고도계수정치 정보 등), MOC에 여분(margin)이 추가되거나, 또는 절대최저치가 적용되어야 하는데, 이러한 경우 최저강하고도(Minimum Descent Altitude/Height; MDA/H)가 OCA/H보다 높아진다(Fig. 1 참조).

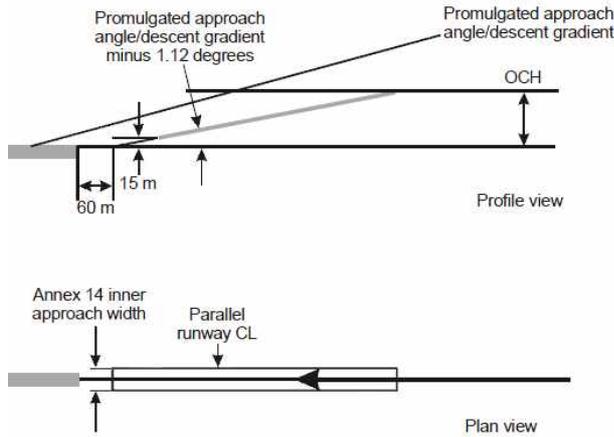


자료; ICAO(2011), "Doc.8168 Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations", p. I -4-5-12

Fig. 2 Relationship of OCA/H to MDA/H for non-precision approaches

VSS는 직진 계기접근 중 시계구간에서 장애물로부터 보호하기 위하여 설정된 표면으로, 먼저

로컬라이저나 로컬라이저와 유사한 수평안내(LOC only, APV I, APV II, PA 접근)를 제공 받는 계기비행절차에서는 최종접근코스가 활주로 중심선 연장선과 정렬되며 VSS의 폭(base width)은 부속서 제14권에 정의된 내부 진입표면(inner approach surface)과 동일(비행장 분류번호 1, 2의 경우는 90m이고 3, 4의 경우는 120m임)하다.



자료; ICAO(2011), "Doc.8168 Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations", p. I-4-5-16

Fig. 3 VSS (Procedures with localizer or localizer look-alike lateral guidance aligned with runway center line)

VSS는 활주로서단으로부터 활주로 외측방향으로 60m 떨어진 지점에서 시작하여 활주로중심선 연장선과 평행으로 확장되며, 이 표면의 경사는 공표된 접근절차의 강하각 보다 1.12° 낮으면서 해당 표면의 높이가 장애물회피높이(OCH)에 도달하는 지점까지 확장된다(Fig. 2참조).

$$\alpha_{vss} = VPA - 1.12 \quad (1)$$

여기서 α_{vss} 는 VSS의 경사도이고 VPA는 공표된 접근절차의 강하각이다.

VSS의 최대거리(d_{max})는 접근절차의 장애물회피고도(OCH)를 통해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d_{max} = \frac{OCH}{\tan \alpha_{vss}} \quad (2)$$

따라서 VSS 내에 위치한 어떤 장애물의 허용 높이(h_{vss})는,

$$h_{vss} = d_{vss} \times \tan(\alpha_{vss}) \quad (3)$$

이고, 여기서 거리(d_{vss})는 활주로서단으로부터 활주로 외측방향으로 60m 떨어진 지점으로부터 장애물의 위치에서 활주로중심선 연장선까지 최단거리로 연결한 지점까지의 거리로,

$$d_{vss} = x_{at} - 60 \quad (4)$$

이며, 단위는 미터(m)이다. 만약 단위가 피트(ft)일 경우는 (5)와 같다.

$$d_{vss} = x_{at} - 196.86 \quad (5)$$

여기서 x_{at} 는 활주로서단으로부터 d_{vss} 까지의 거리를 의미한다.

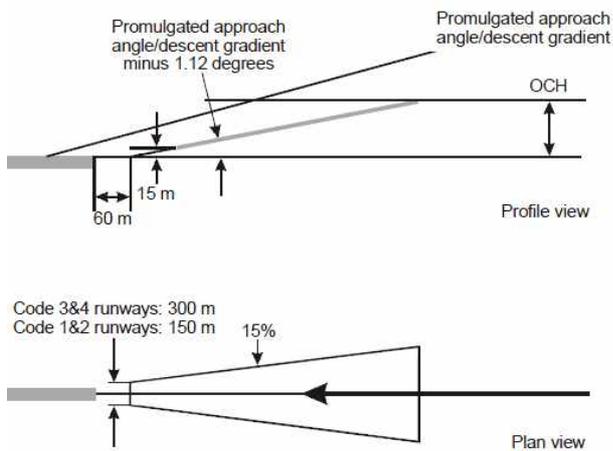
로컬라이저나 로컬라이저와 유사한 수평안내를 제공받지 아니한 기타 모든 계기비행절차에서는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 비행장 분류번호에 따라 그 표면의 규격을 달리한다.

VSS 내측지점에서의 표면 폭(base width)은 분류번호 3과 4 활주로의 경우, 300m(활주로중심선 연장선을 기준으로 반폭이 150m)이고, 분류번호 1과 2 활주로의 경우, 150m(활주로중심선 연장선을 기준으로 반폭이 75m)이다. 활주로서단으로부터 활주로 외측방향으로 60m 떨어진 지점에서 시작하는 VSS는 활주로중심선 연장선 방향으로 양 측면이 각각 15% 확장되어지며 해당 표면의 높이가 OCH에 도달하는 지점에서 끝난다.

어떤 장애물의 위치가 Fig. 3과 관련된 계기접근절차의 VSS 내에 있는지를 평가하기 위해서는 해당위치에서 활주로중심선 연장선과의 최단거리를 알아야 한다. 이때 (6)식에서 보는 바와 같이 장애물이 위치한 d 지점에서의 VSS 반폭과 비교하여 해당 최단거리가 작으면 VSS 침투여부를 평가해야하는 대상이 된다.

$$\frac{1}{2}w_d = 0.15 \times d_{vss} + w_i \quad (6)$$

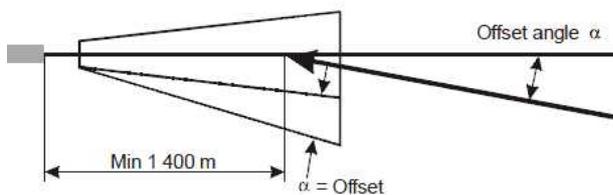
여기서 w_d 는 장애물이 위치한 지점에서의 VSS 폭을 말하고 d_{vss} 는 (4)식에서 정의한 거리를 의미한다. 또한 w_i 는 VSS의 내측 반폭을 의미하고 이때 활주로 분류번호가 3 또는 4인 경우에 150m, 2 또는 1인 경우에 75m로 계산한다.



자료; ICAO(2011), "Doc.8168 Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations", p. I -4-5-17

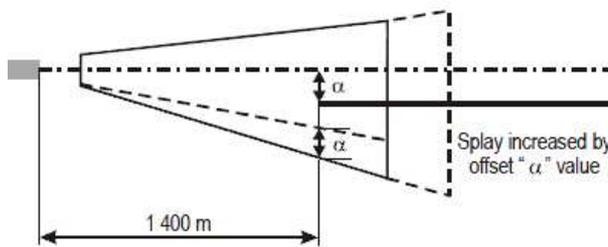
Fig. 4 VSS (Other approach procedures normal straight-in approach)

만약 최종접근코스가 활주로시단 최소 1,400m 외측지점에서 오프셋(offset) 상태로 활주로중심선의 연장선과 교차하도록 계기비행절차가 수립된 경우, 최종접근코스와 가장 가까운 측면을 오프셋 각도만큼 확장하여(splay) VSS의 폭을 증가시킨다(Fig. 4 참조). 또한 최종접근코스가 오프셋이지만 활주로중심선 연장선과 교차하지 않고 평행한 경우에는 활주로시단 1,400m 지점에서 최종접근코스와 오프셋 된 거리만큼 최종접근코스에서 가까운 측면을 확장하여 VSS로 설정한다(Fig. 5 참조).



자료; ICAO(2011), "Doc.8168 Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations", p. I -4-5-17

Fig. 5 Plan view visual segment surface (Offset final approach with runway centre line crossing)



자료; ICAO(2011), "Doc.8168 Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations", p. I -4-5-18

Fig. 6 Plan view visual segment surface (Offset final approach parallel to the runway centre line)

3. 시계구간표면의 적용

3.1 사례비행장의 시계구간표면

연구 대상은 충남 태안에 소재한 비행장으로, 활주로 15-33방향 1,180m × 25m F급 활주로를 보유하고 있다(Fig. 6 참조). 비행장의 표고는 16피트(4.88m), 관제탑이 운용되고 있으며, 동·서편 교통장주가 설정되어 있고, 현재 이 비행장에는 항행안전무선시설이 설치되지 않아 활주로는 비계기활주로에 속하며 따라서 비행장 내 모든 비행은 시계비행규칙에 따른다.



Fig. 7 Taeon Airport View (Non instrument runway)

2013년 3분기이후 일일 최대 800회(sorties) 이상의 이착륙 횟수를 보이는 이 비행장은 비정밀(또는 정밀) 계기접근시설의 설치를 검토하고 있으며 이에 따른 신규 계기접근절차의 수립이 예상된다. 사례 비행장에 예상되는 계기비행절차는

로컬라이저나 로컬라이저와 유사한 수평안내 (LOC only, APV I, APV II, PA 접근)를 제공 받는 계기비행절차이지만, 본 연구에서는 이외의 비행절차 수립도 고려하여 VSS를 설정하였다.

Fig.7은 사례비행장 활주로15에 로컬라이저 또는 그와 유사한 수평안내를 제공하는 직진 계기절차가 수립된 경우, 분류번호 1 또는 2에 해당하는 폭 90m를 적용한 VSS이다. 마찬가지로 사례비행장 활주로15에 수평안내가 제공되지 아니한 계기절차에 VSS를 설정하는 경우, 분류번호 1 또는 2에 해당하는 내측 폭은 150m이다. 이 지점에서 활주로중심선 연장선 방향으로 양 측면을 각각 15%로 하여 최대거리 4,422m까지 확장하면, 외측 폭은 282.8m가 된다(4.2 참조).

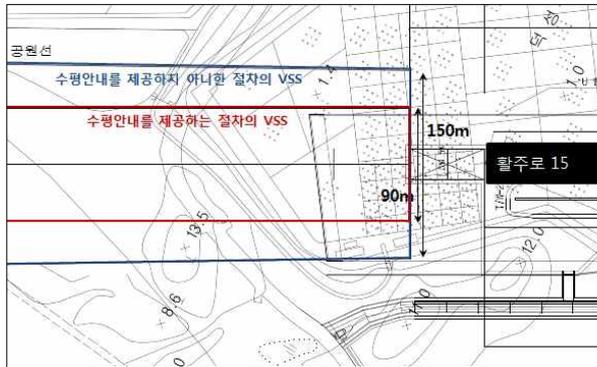


Fig. 8 Runway15 VSS, Taean airport

3.2 VSS 주변 장애물

사례 비행장은 Fig. 8에서와 같이 삼면이 바다에 접하고 있고 항공기가 활주로33으로 진입시, 과거 수립으로 인해 활주로33시단을 활주로15방향으로 이설하여 운영함으로써 실제 활주로를 모두 활용할 수 없었다. 그러나 현재는 활주로33시단 남측 수목을 모두 제거하여 활주로그용거리 1,180m를 확보하고 있으며 활주로33시단 이전 지역은 바다와 연결해 있어 현재 특이 장애물은 없는 상태이다.

활주로15의 경우는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 활주로서단 북측 항공기 진출입 진로 상에 MSL 기준 10m 전후의 구릉이 형성되어 있고 이곳에 최대 17.5m의 수립1과 수립2가 군락을 이루고 있다. 활주로15로 진입하는 직진 계기비행절차를 사례비행장에 수립할 경우 해당 수립들이 VSS를 침투할 여지가 있으므로, 본 연구에서는 이 수립들이 항공기 안전운항에 영향을 주는지 VSS와의 역학적 관계를 통해 장애물평가를 하고자 한다.



Fig. 9 Obstacles near Runway15 VSS

4. VSS의 장애물평가

4.1 장애물의 위치

장애물평가를 위해서는 해당 장애물이 VSS 내에 위치하는지를 확인하고 해당 위치에서의 VSS의 높이(h_{vss})와 비교하여 그 침범여부를 평가하여야 한다.

장애물평가를 위한 위치연산은 IAPA83이라는 엑셀프로그램[7]을 사용하였다. 이 프로그램은 주어진 지리적 좌표로부터 거리와 방위(bearing)를 계산하는데 사용된다. 이 프로그램으로 가능한 연산은 한 좌표와 그로부터 거리와 방위가 주어졌을 때 새로운 좌표를 구하는 것으로부터 두 지점간 서로 다른 진방위(true bearing), 두 지점으로부터 설정된 방위(radial)를 알고 있을 때의 교차 좌표, 그리고 한 지점의 좌표와 방위(radial)를 알고 있을 때 다른 지점에서의 직교좌표(tangent point)와 각 지점으로부터의 거리이다.

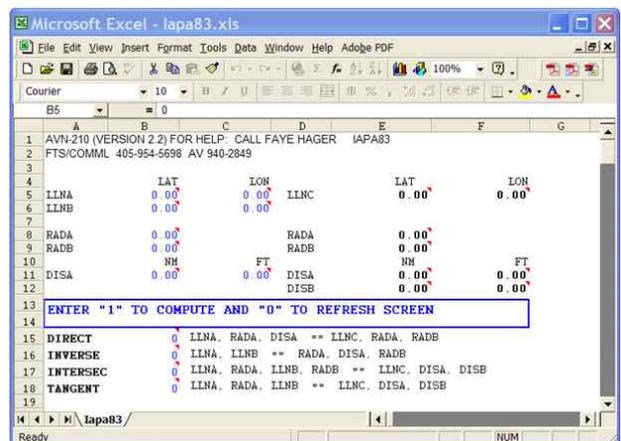


Fig. 10 IAPA83 Excel sheet

사레비행장의 활주로15시단의 좌표는 북위 36°35' 54.6", 동경126°17' 35.4" 이고 활주로33시단의 좌표는 북위36°35' 21.6", 동경126°17' 59.4" 로, IAPA83 분석결과, 활주로15방향은 149.61°, 활주로33방향은 329.61°이었다.

수립으로 인한 장애물평가 대상이 되는 VSS는 활주로15 직진입 절차상에 위치하고 있다. 해당 VSS의 시작지점은 활주로15시단으로부터 329.61° 방향으로 60m 떨어진 지점으로, IAPA83 프로그램을 이용하여 구한 이 지점의 좌표는 북위36°35' 56.28", 동경126°17' 34.18" 이었다.

Fig. 8의 활주로15시단 북측에 위치한 수립1의 좌표는 북위36°36' 01.74", 동경126°17' 28.73" 이고, 수립2는 북위36°36' 04.32", 동경126°17' 28.66" 이다. 활주로15시단좌표와 활주로중심선 연장선방향(329.61°), 그리고 수립1 및 2 좌표데이터로 IAPA83 연산프로그램을 이용하여 새로운 두 교차점(활주로중심선 연장선상에 위치한)의 직교좌표와 VSS 시작점으로부터의 거리를 산출하였다(Fig. 10 참조).

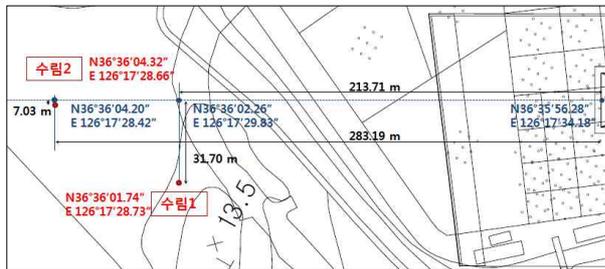


Fig. 11 Obstacles location around Runway15 using IAPA83

연산결과, 수립1에서 가장 가까운 활주로중심선 연장선과의 교차점은 북위36°36' 02.26", 동경126°17' 29.83" 이고 VSS시작점으로부터의 거리는 213.71m이었다. 수립2의 경우, 교차점은 북위36°36' 04.20", 동경126°17' 28.42" 로, VSS시작점과의 거리는 283.09m로 산출되었다. 또한 수립1에서 활주로중심선 연장선상의 교차점까지의 거리는 31.70m이었고, 수립2에서 교차점까지의 거리는 7.03m이었다.

사레비행장 활주로15시단에 설정된 두 VSS(로컬라이저 또는 그와 유사한 수평안내를 제공하는 계기비행절차 및 그 외의 모든 직진 계기비행절차)의 가장 짧은 내측 반폭이 각각 45m와 75m이다. 활주로15시단 북측에 위치한 수립1과 수립2로부터 활주로중심선 연장선까지의 거리는 각각 31.7m와 7.03m이므로 상기 두 VSS의 반폭보다도

작다. 구체적으로 수립1과 수립2의 위치에서 VSS 반폭은 수평안내가 제공되는 계기비행절차의 경우는 각각 75m이고, 그 외 직진 계기비행절차의 경우 수립1은 78.21m, 수립2는 79.25m이었다(수식(6) 참조). 따라서 수립1 및 2가 VSS 내에 위치하는 결과(Fig. 7참조)로, 이들에 대한 장애물평가가 필요하게 되었다.

4.2 VSS 장애물평가

사레비행장은 비계기활주로를 보유한 비행장으로 조종사 양성을 위한 훈련비행이 주로 이루어지고 있다 이 비행장에서 훈련목적으로 검토된 GPS 절차에서 OCA에 추가 여분(margin) 없이 설정된 MDA는 150m이다. 따라서 이를 VSS에 적용할 경우, 직진입 계기절차의 OCH는 OCA 150m에서 비행장표고 4.88m를 뺀 값인 145.12m가 된다.

Fig. 11은 VSS 프로파일(profile)과 수립1 및 2의 관계를 설명하고 있다. 앞서 정의된 수식(1)에 의한 VSS 경사도(α_{VSS})는 직진 계기비행절차의 강하각도 3.00°에서 1.12°를 뺀 1.88°이다. 사레비행장 활주로15에 VSS 경사도 1.88°를 적용하면, 수식(2)에 의한 VSS 최대거리(d_{max})는 4,422m가 된다.

앞서 IAPA83 프로그램으로 수립1 및 2의 위치에서 활주로중심선 연장선과의 교차점을 찾았고, 이 교차점들과 VSS 시작점간의 거리도 산출하였다. 그 결과 수립1의 경우, 거리(d_{VSS})는 213.71m이었고, 수립2의 경우는 283.19m이었다.

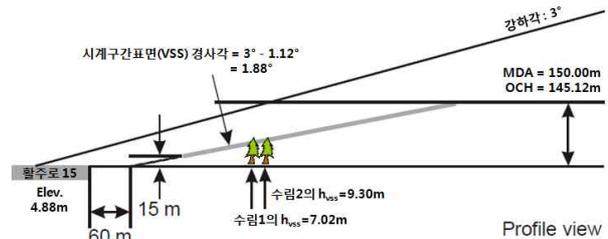


Fig. 12 VSS profiles and obstacles

VSS 내에 위치한 장애물의 허용 높이는 VSS 시작점으로부터의 거리(d_{VSS})와 경사도(α_{VSS})에 의해 결정된다(수식(3) 참조). 검토결과, 활주로15방향 VSS 내 수립1의 허용 높이(h_{VSS})는 7.02m, 수립2는 9.30m이었다. 따라서 사레비행장의 표고(elevation)가 4.88m이므로 수립1과 수립2의 허용

고도(altitude)는 각각 11.9m와 14.18m가 된다 (Fig. 11 참조).

현재 수립1과 수립2가 위치한 지점에서의 지형고도(altitude)는 11.1m로 나타났고, 각 수립의 높이(height)는 앞서 언급한 바와 같이 최대 17.5m이므로, 결국 수립1과 수립2의 고도(MSL 기준)는 최대 28.6m가 된다. 이 수치는 해당 장애물의 위치에서 허용 가능한 고도(11.9m와 14.18m)를 초과할 뿐만 아니라 VSS를 평가에서 예외 규정으로 둔 '활주로시단으로부터 15m 미만의 장애물'에도 해당 되지 아니하므로, 향후 사례비행장에 직진 계기비행절차를 수립하는 경우 위험완화대안을 마련하여야 할 것이다.

가능한 위험완화대안으로는 해당 수립을 허용 높이가 이하로 제거하는 방법, 계기접근절차의 강하각을 증가시키는 방법 또는 활주로시단을 이설하는 방법 등이 있을 수 있다.

5. 결론

직진 계기비행절차를 수립해야 하는 경우 반드시 검토되어야 하는 시계구간표면(VSS)은 2007년 이후 새로 적용된 규정이다. 계기비행절차 특히 직진 절차에서 조종사는 결심고도에 이르렀을 때 시각으로 활주로를 확인하고 접근절차를 완료한다는 의미에서 VSS의 검토는 의미가 있는 규정이다.

본 연구는 VSS 관련 규정에서 정하는 해당 표면에 대해 물리적으로 정의하고, 새로운 직진 계기비행절차의 수립을 계획하고 있는 한 비행장을 대상으로 계기접근절차 상의 장애물을 파악하였다. 또한 IAPA83 프로그램을 이용하여 해당 장애물이 VSS 내에 위치하는지를 분석하고 해당 위치에서 VSS와의 역학적 관계를 검토하였다.

그 결과, 해당 장애물은 모두 성장하는 장애물(수목)로 파악되었고 이 장애물들은 VSS 허용 가능 높이를 초과하고 있으므로 향후 사례비행장에서의 직진 계기접근절차 수립시 이들 장애물에 대한 가능한 위험완화대안을 제안하였다.

참고문헌

- 1) 호주 CASA, "CAAP 178-1(2) Non precision approaches", 2012.
- 2) ICAO, "Doc 9905 Required Navigation Performance Authorization Required(RNP AR) Procedure Design Manual", 2013.

- 3) ICAO, "Doc 8168 Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations", 2011.

- 4) 국토교통부, "비행절차설계요령(국토교통부 예규 제50호)", 2013.

- 5) 양한모, 김도현, "항공교통개론-제4판", 한국항공대학교출판부, 2014.

- 6) 김도현, 김용이, "공역의 구조적 변경에 따른 위험평가 절차 연구", 한국항공운항학회 제20권 제1호, 2012, pp.12-13.

- 7) FAA, "Basic ICAO PANS-OPS course - TI-30xa Calculator and IAPA83 Excel Sheet", FAA Academy, 2013.