

# RVSM 공역수립 및 운용 요구조건 분석

김성겸\*, 박종혁\*\*

## The Study of Requirements for RVSM Airspace Establishment and Operation

Seung-Kyem Kim\*, Jong-Hyuk Park\*\*

### Abstract

In this study, considerations for establishing RVSM airspace and requirements for RVSM operating aircraft are verified. The purpose of RVSM is to reduce vertical separation minimum for aircraft which operate between FL290~FL410 inclusive in regional airspace, and to increase airspace capacity by providing additional flight levels. To introduce RVSM, it is necessary to estimate quantitatively airborne collision risk due to the reduction in vertical separation minimum. Aircraft operating through RVSM airspace is required to verify that height keeping performance is above specific standards.

### 초 록

RVSM은 특정 공역내에서 비행고도 FL290~FL410를 운항하는 항공기간의 수직분리기준을 기존의 2,000ft에서 1,000ft로 축소, 추가적인 운항고도를 제공함으로써 기존의 공역수용능력을 증가시키기 위한 목적으로 실시된다. 해당 공역에 RVSM을 도입하기 위해서는 RVSM을 적용할 경우 예상되는 항공기간 충돌가능성을 정량적으로 분석하는 것이 필수적이며 RVSM 공역을 운항하려는 항공기는 고도유지성능이 일정 수준을 만족함을 입증하여야 한다. 본 연구에서는 RVSM의 개념을 소개하고 RVSM 공역수립 및 유지를 위해 요구되는 사항을 분석하였다

키워드 : RVSM(수직분리기준완화), TLS(목표안전수준), passing frequency(교차빈도)

### 1. 서 론

RVSM(Reduced Vertical Separation Minimum)은 특정공역내에서 비행고도 FL290~FL410 사이

의 항공기간의 수직분리기준을 기존의 2000ft에서 1000ft로 축소 운용하는 것으로서 추가적인 운항고도를 제공함으로써 기존의 공역수용능력을 증가시키기 위한 개념이다.

\* 항공인증그룹/skykim@kari.re.kr

\*\* 항공인증그룹/jhpark@kari.re.kr

일반적으로 고도상승에 따른 기압의 감소는 항공기에 장착된 기압고도계의 정확성을 저하시키며 따라서 고고도일수록 항공기의 고도유지능력은 저하될 수밖에 없다. 이러한 배경에서 ICAO(International Civil Aviation Organization)는 고고도에서의 고도이탈에 의한 항공기 충돌로 인한 안전사고를 방지하기 위해 1960년 FL290 이상의 고도에서 운항하는 항공기간의 수직분리 기준을 2000ft로 설정하기로 하였다. 당시 적용고도를 FL290 이상으로 설정한 것은 정확한 조사나 실험, 경험 등에 근거한 것이 아닌 당시 항공기의 운항고도상의 한계에 따른 것이다. 그러나 이러한 고도체계는 현재 운용되고 있는 상당수의 항공기의 운항고도가 FL290 이상이라는 점에서 증가하는 교통량을 효율적으로 수용하는데 문제가 있었고 특히 1970년 중반 석유파동으로 인한 유가상승 때문에 공역의 더욱 효율적인 사용에 대한 필요성이 제기되었다. 이러한 배경하에서 1980년대 초반 ICAO의 협력하에 각 국가들은 수직분리기준 축소에 관한 문제에 대해 광범위한 연구를 시작하였으며, 그 결과 최근 들어 유럽 등 일부지역에서 RVSM이 시행되고 있거나 머지않아 시행될 계획에 있다. 본 연구에서는 RVSM의 개념을 소개하고 RVSM 공역수립 및 유지를 위해 요구되는 사항을 분석하였다.

## 2.1 RVSM 도입의 필요성

2015년의 항공기 운항 회수는 1996년의 2배에 달할 것으로 예상되며 현재의 ATM(Air Traffic Management) 시스템으로는 증가추세에 있는 항공교통의 효율적인 관리가 어려울 것으로 보인다. RVSM은 이러한 문제점에 대한 대처 방안 중 투자비용 대비 효과가 가장 높으며 연구결과에 따르면 다음과 같은 구체적인 효과가 기대된다.(유럽지역 기준 - 그림 1참고)

- 연료비용 절감

추가적인 비행고도 할당에 따라 RVSM 공역을 운항하는 항공기의 경우 그만큼 최적순항고도에 근접하여 비행이 가능하며, 결과적으로는 대략 0.5%에서 1%의 연료 절감 효과가 기대된다.

- 항공교통관제(Air Traffic Control)의 수용능력 증대  
기존에 비해 약 20% 정도 많은 항공기가 수용 가능하다.

- 관제사 업무부담 감소

공역수용능력 증가에 따라 관제사가 통제해야 할 교통이 증가함에도 불구하고 Traffic Conflict 발생빈도는 오히려 감소하므로 이로 인한 관제사의 업무부담의 감소가 가능하다.

## 2. RVSM의 개요

투자대비 이익율		14.6
순이익		3,668

운항사 이익		운항사 소요 비용		ATS 제공자 소요비용	
지연 감소	3,703	추가 장비 및 유지비	45	시설비 (ATM/CNS, 고도 모니터링)	31
비행고도 최적화	113	non-RVSM 항공기의 연료 소모량 증가 (FL290 미만 고도 운항)	59	운용비용	98
배정고도 접근 최적화	122	기타 추가 비용	38	계	-128
계	+3,938	계	-142		

그림 1. RVSM 시행으로 인한 경제적 효과(유럽지역 기준, 단위 백만 유로)

## 2.2 표준 고도체계와 RVSM 고도체계의 비교

### 2.2.1 표준 고도체계

IFR(계기비행규칙 : Instrument Flight Rule) 비행을 기준으로 할 때 현재 ICAO에서 정한 표준 순항고도는 동쪽방향(자북을 0도로 하여 0도에서 179도까지)으로 비행하는 경우 FL10에서부터 시작하여 FL290까지는 2,000ft의 간격으로, 서쪽방향인 경우 FL20에서부터 시작하여 FL280ft까지 2,000ft의 간격으로 배정되어 있다. 따라서 FL290까지의 고도에서 순항고도 사이의 거리는 1,000ft로 설정된다. 반면 FL290에서 FL490까지의 고도에서는 고도분리 간격이 4,000ft로 정해져 있으며 비행방향을 고려치 않을 경우 순항고도 사이의 거리는 2,000ft가 된다.

FL500 보다 높은 고도에서의 순항고도는 특별히 정해져 있지 않다.

### 2.2.2 RVSM 고도체계

RVSM 공역에서는 FL410까지 모든 고도에서 순항고도간 간격이 1,000ft로 설정된다. 따라서 표준 고도 체계에 비해 FL300, FL320, FL340, FL360, FL380, FL400의 6개의 추가 고도의 이용이 가능하게 된다. RVSM 공역에서는 수직분리기준 완화가 적용되는 고도(FL290-FL410) 및 그 이상의 고도에서의 VFR(시계비행규칙 : Visual Flight Rule) 비행은 허용되지 않는다.

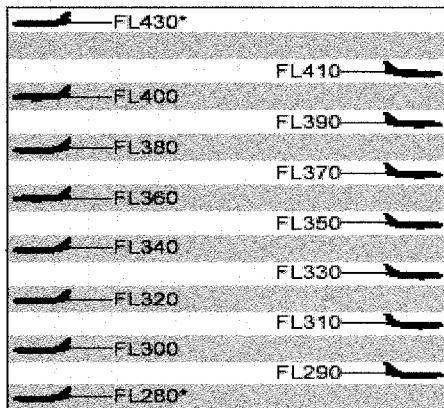


그림 2. RVSM 고도 체계(\*non RVSM 순항고도)

## 3. RVSM 이행을 위한 제반요건

RVSM 이행을 따라 기대되는 효과가 다대함에도 불구하고 항공기간 고도분리간격이 축소되는 만큼 고도이탈 발생시 항공기간 충돌 가능성이 RVSM 미적용 공역에 비해 클 수밖에 없기 때문에 시행 전에 RVSM으로의 이행이 항공안전에 미치는 영향을 충분히 검토하는 것이 필수적이다.

또한 RVSM 적용고도를 비행하기 위해서는 항공기 설계 측면에서는 고도유지시스템의 성능이 일정 수준을 만족하여야 한다. 한편으로 운항사의 측면에서는 소속 항공기의 고도유지 성능이 계속적으로 유지될 수 있도록 관리할 수 있는 능력이 있어야 하고 승무원들이 RVSM 운항절차 이행을 위한 기량을 갖출 수 있도록 교육/관리할 수 있어야 한다. 따라서 RVSM 공역내에서 FL290 - FL410 고도를 운항하기 위해서는 항공기에 대한 설계 적합성 승인을 획득하여야 하며 운항사는 감항당국으로부터 운항허가를 받는 것이 요구된다.

### 3.1 RVSM 공역설정

충분한 기간동안 해당 공역을 운항하는 항공기의 배정고도 이탈 등의 자료를 분석함으로써 향후 RVSM이 적용되었을 경우 공중충돌 발생 확률을 추산하고 이 확률이 안전수준허용치 미만일 경우에만 시행하도록 해야 한다. RVSM 공역 설정과 관련한 세부적인 고려사항은 다음과 같이 정리될 수 있다.

#### 3.1.1 RVSM 이행전 고려사항

RVSM으로의 이행은 여러 국가가 참여하게 되는 특성상 국가간 협력이 필수적이기 때문에 지역항행협정에 근거하여야 하며 실행에 앞서 해당 지역에 RVSM을 도입하였을 경우 예상되는 투자비용 대 이익률 및 관제시설, 관련인원, 공역특성 등을 고려하여 적절한 시행계획을 수립하여야 한다. RVSM 이행을 위해 사전에 고려해야하는 중요요소는 다음과 같다.

- 항공운송사업자가 항공기 개조, RVSM 관련 정비 프로그램 도입 등을 통해 부담하게 되는 비용
- 해당공역을 운항하는 항공기의 형식(군용기 포함), 비행출발지 및 목적지, 주항로 및 주운항고도, 항공기간 교차빈도
- RVSM 운항요구조건을 만족하는 항공기의 비용 및 장래 인접지역의 RVSM 이행에 의해 예상되는 요구조건
- 항로구조, 군용항공기를 위해 특별히 지정된 공역, 교통 통제 절차, ATS 시설 등 해당공역의 구성 및 ATC 시스템 현황
- 횡적 항로유지 정확성을 크게 향상시킬 수 있는 항행장비가 도입되는 경우 이로 인해 오히려 항공기간 충돌위험이 높아질 수 있으므로 항로에 offset을 적용하는 등의 방안을 강구해야 한다.
- 난류 및 standing wave 등 해당 지역의 기상 특성
- 항공기 또는 항공운송사업자 등록국가가 인가받지 않은 항공기의 RVSM 공역내 운항제한에 대한 지원절차

### 3.1.2 RVSM 이행을 위한 필수 요건

공역의 구조, 기상환경, 항공교통관제체계, 운항항공기의 종류 등이 지역별로 상이함에도 불구하고 다음과 같은 사항은 RVSM 이행을 위해 필수적으로 요구된다.

- RVSM 공역과 RVSM 미적용 공역간의 전환 절차 확립
- VFR 항공기의 RVSM 적용고도 내 운항 금지
- 해당공역의 기상상태가 고도유지성능에 악영향을 미치는 경우에도 분리를 적절히 유지하기 위한 추가적인 계획 및 절차가 수립
- 공역의 안전수준이 허용치를 초과할 경우에 대비한 교통관제절차 수립
- 비행중 비상상태 발생에 대비한 계획 수립

### 3.1.3 RVSM 이행 전략

ICAO Document 9574에서 제시하고 있는 RVSM 실행을 위한 절차의 표준은 다음과 같이

정리할 수 있다.

#### 1) 1단계 - RVSM의 필요성 확인

경제적인 측면에서 투자비용대 이익을 분석하는 단계로서 공역제공국가와 공역사용자 조직(즉, 해당공역을 이용하는 항공운송사업자 등)간의 협의에 의해 이루어져야 하고 다음과 같은 사항을 평가해야 한다.

- 공역 수용능력의 증가 가능성
- vertical flight profile 향상 가능성 여부
- 업무부담, 요구설비, 이양절차 등 ATC에 영향을 끼치는 요인들
- RVSM 인가를 받지 않은 운용자들이 RVSM 적용고도 밖에서 운항할 때 소요되는 추가비용
- RVSM 이행시 전반적인 비용/이익
- 인접지역의 RVSM 이행 상태

#### 2) 2단계 - 예비안전평가

안전목표에 부합하여 RVSM이 이행될 수 있는가에 대한 평가가 수행되는 단계로서 RVSM 이행후에 예상되는 상태에 대해 고려해야 한다.

- 해당 지역내 최대 항공기 교차빈도(passing frequency)에 대한 추산
- 해당 지역내 RVSM 인가 항공기의 횡적 진로유지 정확성에 대한 평가
- 운항과실 또는 비상조치에 의한 고도이탈 분석
- 전반적인 안전수준목표치 달성가능성 여부 평가
- 난류 등 안전에 영향을 줄 수 있는 환경요소에 대한 고려

#### 3) 3단계 - 계획 및 준비

세부적인 사업계획이 수립되고 RVSM 이행을 위한 제반사항이 준비되는 단계로서 통제당국, ATS, 공역이용자간의 지속적인 협의/조정이 요구되며 다음과 같은 사항이 구체화되어야 한다. 또한 이행시기에 대한 지역적인 동의가 이 단계에서 이루어진다.

- 이행을 위한 고려사항 및 요구사항

- 항공기 인가 절차
- 승무원 운항 절차 및 훈련
- ATC 시스템의 요구조건, 시뮬레이션, 절차 및 훈련
- RVSM 시스템 성능의 점검 고려사항
- RVSM 비인가 항공기에 대한 취급방법 등

#### 4) 4단계 - 검증

이 단계를 시행하기 위해서는 공역내 운항 항공기 중 RVSM 요구조건을 충족하는 항공기의 비율이 높아야 하며 항공기의 고도 유지 여부를 감시할 수 있는 적절한 수단이 마련되어 있어야 한다. 검증단계는 다음과 같은 조건이 만족되어야 종료되며 목표안전수준을 초과하는 경우 추가적인 조치가 이루어져야 한다.

- RVSM 승인요구조건 및 관련 지침자료가 적절함이 입증됨
- 세계성능요건(GSPS : Global System Performance Specification)에 맞지 않는 오류사항에 대한 적절한 조치
- 수직고도분리 실패로 인한 충돌가능성이 목표 안전수준(TLS : Target Level of Safety)인 비행시간당  $2.5 \times 10^{-9}$  미만으로 만족됨
- RVSM 도입으로 인해 운항과실이나 비행중 비상사태 등이 증가하지 않음이 입증됨

#### 5) 5단계 - RVSM으로의 이행

RVSM으로의 이행은 2000ft 수직분리기준 하에서의 검증단계가 완료된 후에 실시되며 운용초기단계에서는 운용요소에 대한 광범위한 평가가 필요하다. 이러한 평가가 완료된 후에는 시스템의 안전성을 유지할 수 있도록 해야 하며 다음과 같은 사항이 지켜지도록 특별한 주의를 요한다.

- RVSM 공역내의 모든 항공기는 RVSM 승인 하에서만 운항 가능
- TLS  $2.5 \times 10^{-9}$ 이 통계적 신뢰수준 내에서 만족
- RVSM 도입으로 인해 운항과실이나 비행중 우발사고등이 증가하지 않아야 함
- 고도측정계통의 오차(ASE: altimetry system

error)가 안정적으로 유지되는지 지속적으로 점검

다음 표는 유럽지역의 RVSM 이행을 위한 협력기구인 EUROCONTROL에서 작성한 Master plan으로서 착수에서 완료까지 약 3년의 기간이 소요되었다.

표 1. 유럽지역 RVSM Master Plan(분기단위)

Description	1999				2000				2001				2002	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
<b>Subprogram P1</b>														
Aircraft Requirements	█													
Aircraft Modification	█				█									
RVSM Approval	█				█				█					
Set up monitoring infrastructure	█				█									
Monitoring Operation					█				█					
<b>Subprogram P3</b>														
Safety Policy	█													
Conduct pre-implementation safety assessments	█				█				█					
Final pre-implementation safety assessment									█				█	
<b>Subprogram P2</b>														
Agree on amended RVSM ATC Operational manual	█				█									
Adapt RVSM procedures to National Requirements					█									
National Airspace structure and sectorisation changes	█				█				█					
Completion LOAs					█				█					
Integrate LOA amendments into local ATC ops manual													█	
ATS System modifications	█				█				█					
Flight Planning-IFPS modifications	█				█				█					
Go/Delay Decision for implementation of RVSM													█	
Execute Countdown Schedule													█	
ATC Traing Simulator Modifications	█				█									
Controller Training					█				█					
Implement RVSM													█	

### 3.2 세계성능요건(GSPS)

세계성능요건은 TLS  $< 2.5 \times 10^{-9}$ 을 만족하기 위해 요구되는 인자들에 대한 기준으로서 인접 고도에 있는 항공기의 교차빈도, 가로방향 진로 유지오차(lateral path keeping error)의 표준편

차, 수직분리(1000ft 기준)에 실패하여 수직방향으로 항공기가 중첩될 확률(vertical overlap probability,  $P_z[1000]$ )이 중요한 인자이며 그 기준은 다음과 같다.

- 교차반도 < 비행 1시간당 2.5회 (반대방향으로 운항하는 경우)
- 가로방향 진로유지오차의 표준편차 > 550m
- $P_z(1000) < 1.7 \times 10^{-8}$

GPS는 RVSM 공역으로의 전환을 위한 필요조건이며 및 RVSM 전환 후에도 주기적인 평가가 요구된다. 위 인자중  $P_z(1000)$ 을 계속적으로 산출하는 것은 현실적으로 어려운 문제이기 때문에 일반적으로 아래와 같은 기준을 만족할 경우  $P_z(1000) < 1.7 \times 10^{-8}$ 으로 간주하며, 이를 위해서는 지상설비 또는 항공기에 탑재된 장비를 이용한 항공기의 실고도 측정치와 항공기의 압력고도계가 지시하는 고도를 비교하게 된다.

- 고도유지오차 90m 이상 비율이  $2.0 \times 10^{-3}$  미만
- 고도유지오차 150m 이상 비율이  $3.5 \times 10^{-6}$  미만
- 고도유지오차 200m 이상 비율이  $1.6 \times 10^{-7}$  미만
- 고도유지오차 290m~320m 비율이  $1.7 \times 10^{-8}$  미만

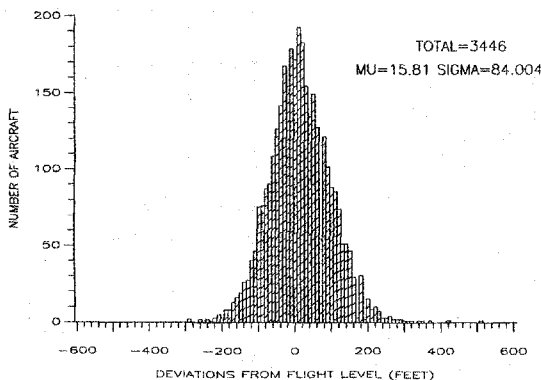


그림 3. 유럽지역 운항 항공기의 배정고도 이탈 분포

### 3.3 RVSM 운항/관제 절차

#### 3.3.1 운항절차

RVSM 공역은 항공기간 수직분리간격이 축소되어 적용되기 때문에 표준 고도체계가 적용되는 공역과 비교하여 배정고도 유지와 관련한 절차가 더 엄격하게 적용된다. 고도유지를 위한 RVSM 공역의 주요 운항절차는 다음과 같다.

- 비상시를 제외하고 ATC의 허가 없이 배정고도(CFL : Cleared Flight Level) 이탈 금지
- 고도변경시 Overshoot 및 Undershoot 제한치 45m 미만
- 난류의 영향을 받거나 항공기를 Retrim 할 필요가 있을 경우를 제외하고 수평순항중에는 항상 자동고도유지장치를 가동해야 하며 순항 고도는 두 개의 고도계중 한 개에 의해 참조되어야 한다.
- 고도경보장치가 작동가능한 상태에 있어야 하며 고도이탈시 정상적으로 작동해야 한다.
- 두 고도계간에 상호점검이 이루어져야 하며 두 고도계의 차이가 60m를 초과하지 않아야 한다. 만약 이 조건이 만족되지 않을 경우에는 해당 교통관제기관에 그 사실을 통보하여 조치 받도록 해야 한다.
- 고도보고 기능을 보유한 트랜스폰더와 고도측정계통이 연동되어 작동
- RVSM 공역에 진입하기 전에 조종사는 장비의 상태를 점검해야 하며 2개의 고도측정계통과 자동고도유지장치, 두 개의 고도측정계통과 선택적으로 연동이 가능한 한 기 이상의 고도보고 기능을 보유한 트랜스폰더 및 고도경보장치가 정상적으로 작동해야 한다. RVSM 공역으로 진입하기 전에 이 장비들 중 하나라도 고장이 발생한 경우 조종사는 RVSM 공역을 피해 비행할 수 있도록 ATC에 새로운 허가를 요청해야 한다.
- RVSM 공역진입 후에는 장비의 고장, 난기류의 영향 등으로 인해 배정고도를 유지하는 것이 여의치 않을 경우 이를 해당 ATC에 통보하고 조치계획을 협의해야 한다. 만약 배정고도에서 이탈하여할 필요가 있을 경우 이탈 전

에 ATC에 이를 통보하여야 한다.

### 3.3.2 ATC 절차

해당 공역에 RVSM이 적용되면 비행고도가 추가로 할당되고 이에 따라 비행방향도 변경되므로 이에 따라 새로운 관제절차가 개발되고 관련 종사자들에 대한 교육훈련이 시행되어야 한다. 특히 RVSM 공역에서 non-RVSM 공역으로 (또는 그 반대) 전환하는 항공기를 관제하는 절차를 적절하게 수립하는 것이 중요하다. 또한 군용기 및 공공항공기(state aircraft)의 경우 RVSM 운항요건에 적합하지 않더라도 RVSM 공역을 운항하는 것이 허용되므로 해당 공역의 안전성을 저해하지 않는 범위에서 이를 수용할 수 있는 절차를 수립하여야 하는데 다음과 같은 방법을 생각해 볼 수 있다.

- 수용가능한 군용기 및 공공항공기 수의 제한
- 임시적인 제한지역/차단고도(block altitude)/특별항로 등의 설정
- RVSM 공역 내에 2000ft 수직분리기준이 적용되는 특별 항로의 제공

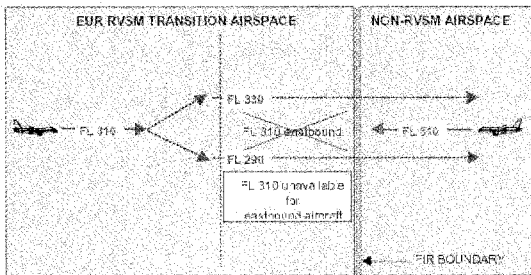


그림 4. RVSM 공역과 non-RVSM 공역간의 전환절차 개요

또한 공역 전체적으로 기상상태가 악화되어 운항항공기가 고도를 유지하는데 심각한 영향을 받을 것으로 예상되는 경우에는 해당 지역에서의 RVSM 적용을 일시적으로 중단하고 이를 NOTAM 발행 등을 통해 통보하는 절차를 사전에 수립하는 것도 고려할 필요가 있다.

## 4. 결 론

우리나라 공역의 경우 대구 FIR내 대구ACC의 IFR 항로교통량을 본다면, 1988년 교통량이 12만대였던 것이 1997년은 31만대로서 연평균 11.4% 증가해온 것을 기준으로 할 때 2010년의 경우 항공교통량이 142만대로서 1997년을 기준으로 교통량이 4.5배의 증가가 예상되므로 예상되는 공역혼잡도를 줄이고 운항의 효율성을 개선하기 위해 RVSM 도입운용 문제가 더 구체적이고, 현실적으로 검토될 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

1. FAA, Advisory Circular 91 RVSM, 1994.
2. ICAO, Document 9574 Manual on the Implementation of 300m Vertical Separation Minimum Between FL290-FL410 Inclusive, 1992.
3. Eurocontrol, RVSM Master Plan, 1999.