

효과적인 연료소모를 위한 RVSM 적용에 대한 연구 (최적운항고도를 이용한 연료소모율 분석을 중심으로)

A Study on Applying RVSM to Achieve Efficient Fuel Consumption
(Focusing on the analysis of fuel consumption rates
at optimum altitudes)

서영준

한국항공대학교
항공교통물류학부 박사과정

이영혁

한국항공대학교
항공교통물류학부 교수

박용섭

한국항공대학교
항공교통물류학부 박사과정

목 차

- I. 서론
- II. RVSM의 개념 및 운영 사례
 - 1. RVSM의 정의
 - 2. 지역별 운영사례
- III. RVSM을 통한 이익 분석
 - 1. RVSM 운영 시 경제적 효과 분석
- IV. 결론
- 참고문헌

I. 서론

1903년 라이트 형제에 의한 역사적인 최초의 동력비행이 시작된 이래 세계 제 1차 대전과 2차 대전을 거쳐 현재까지 항공기의 발달 및 항공운송산업은 엄청난 발전을 거듭하여 오고 있다.

전 세계적으로 항공교통량은 세계화와 국가간의 교역량 증가에 따라 지난 10년간 연평균 4.4%의 성장을 기록하고 있으며, 국제민간항공기구(ICAO)는 2006년까지 연평균 5.2% 증가할 것으로 예상하고 있다.

우리나라 또한 경제성장 및 항공 산업의 발달은 지난 20년 동안 질적, 양적인면에서 약 20배 정도 증가하였고, 1993년 630대에 그쳤던 일일 교통량이 2004년에는 무려 1017.3대로 대폭 증가하였다.

그러나 항공교통량의 급격한 증가로 인하여 일부 공역은 포화 상태가 되어 항공교통의 장애 중 하나인 신속성 및 정시성의 저하를 유발하고 있으며, 또한 우리나라의 공역체계는 지난 50년 전의 체계를 대부분 유지하고 있어,

항공수요 및 교통량 증가에 알맞은 공역체계의 개선이 요구되어지는 것이 현실이라 할 수 있다.

이를 해결하기 위한 방법으로 국제민간항공기구(ICAO)의 권고에 따라 전 세계 지역별로 RVSM(Reduced Vertical Separation Minimum : 수직고도분리축소기준)이 도입되어 성공적으로 운영 중이거나 도입이 추진되어 지고 있는 상황이다.

우리나라 역시 지난 2005년 9월부터 한-일 노선에 부분적으로 RVSM 기술을 도입하여 운영 중에 있고, 신기술 도입 이후 5개월 동안 한-일간에 항공기 68,572대가 이 기술을 적용받아 운항함으로써, 경제고도 비행과 공항지상의 이륙지연 감소 등으로 약 6억 원 (B767 기준) 가량의 항공연료 절감 효과를 거둔 것으로 추정된다.

본 연구에서는 지금까지 RVSM에 정의 및 도입배경에 대한 문헌 연구를 살펴보고, 지역별 도입 현황 및 우리나라 RVSM 도입에 따른 현황과 타 지역의 사례를 비교 연구해 보고자 한다.

II. RVSM의 개념 및 운영 사례

1. RVSM의 정의

RVSM이란 Reduced Vertical Separation Minimum의 약자로 특정 공역 내의 FL290-FL410 사이를 운항하는 계기비행방식(IFR : Instrument Flight Rules)의 항공기간에 적용하는 최저분리기준을 현행 2,000피트에서 1,000피트로 축소하는 수직분리기준의 변경을 말하는 것이다.

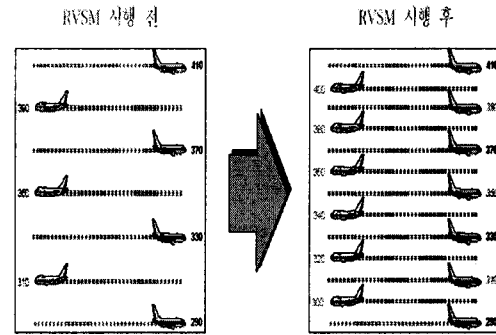
현재의 비행고도배정방법은 <표 1>과 같이 항공법시행규칙 제176조에 따라 항공기가 계기비행방식으로 비행하는 경우 FL290이하는 1,000피트 간격으로 동쪽방향은 홀수 고도 서쪽 방향은 짝수고도를 배정하고, FL290이상은 2,000피트 간격으로 고도를 배정하고 있다.

RVSM 적용 고도인 FL290-FL410 사이에는 2,000피트 간격으로 7개의 고도가 사용 중인데, 추가로 6개의 고도를(FL300, FL320, FL340, FL360, FL380, 및 FL400) 확보함으로써 항로수요량을 확장시켜 항공교통체증을 해결하고 경제적인 고도배정으로 항공연료를 절감할 수 있는 제도이다. RVSM에 대한 개념을 다음 <그림 1>과 같이 설명되어질 수 있다.

<표 1> 항공공법시행규칙 제176조 항공기의 순항고도

비행방향	비행방식	고도
자방위 0도부터 179도 까지	시계비행 방식	2만9천피트 미만으로 비행하는 경우에는 1천피트의 홀수배에 500피트를 더한 고도 2만9천피트 이상으로 비행하는 경우에는 3만피트 또는 3만1천피트에 4천피트의 배수를 더한 고도
	계기비행 방식	2만9천피트 미만으로 비행하는 경우에는 1천피트의 홀수배의 고도 2만9천피트 이상으로 비행하는 경우에는 2만9천피트 또는 2만9천피트에 4천피트의 배수를 더한 고도
자방위 180도부터 359도	시계비행 방식	2만9천피트 미만으로 비행하는 경우에는 1천피트의 짝수배에 500피트를 더한 고도 2만9천피트 이상으로 비행하는 경우에는 3만2

까지		천피트 또는 3만2천피트에 4천피트의 배수를 더한 고도
	계기비행 방식	2만9천피트 미만으로 비행하는 경우에는 1천피트의 짝수배의 고도 2만9천피트 이상으로 비행하는 경우에는 3만1천피트 또는 3만1천피트에 4천피트의 배수를 더한 고도



【RVSM 개념도】

<그림 1> RVSM 개념도

2. 지역별 운영사례

(1) 북대서양 지역(NAT : North Atlantic)

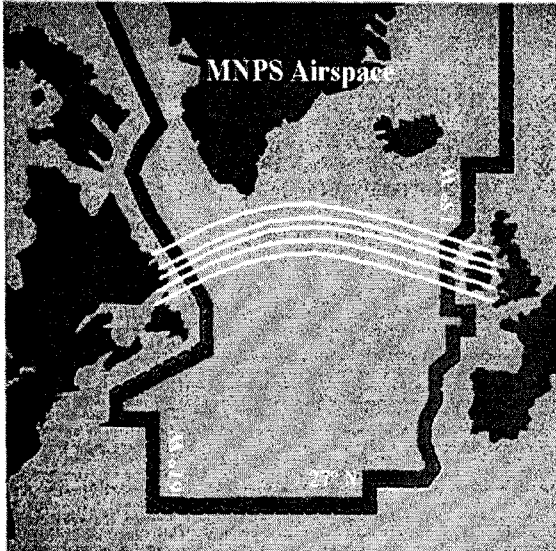
북대서양 지역은 최초로 RVSM이 도입된 곳으로 RVSM의 지침서인 ICAO Doc 9574가 확정됨에 따라 이를 토대로 미국을 중심으로 캐나다, 영국, 아일랜드, 아이슬란드, 및 포르투갈 등 북대서양의 항공로 정체를 해결하기 위해 RVSM를 도입하여 운영하고 있다.

○ 시행단계

- Step 1 : 1997. 03. 27 FL330-370
- Step 2 : 1998. 10. 08 FL310-390
- Step 3 : 2002. 01. 24 FL290-410

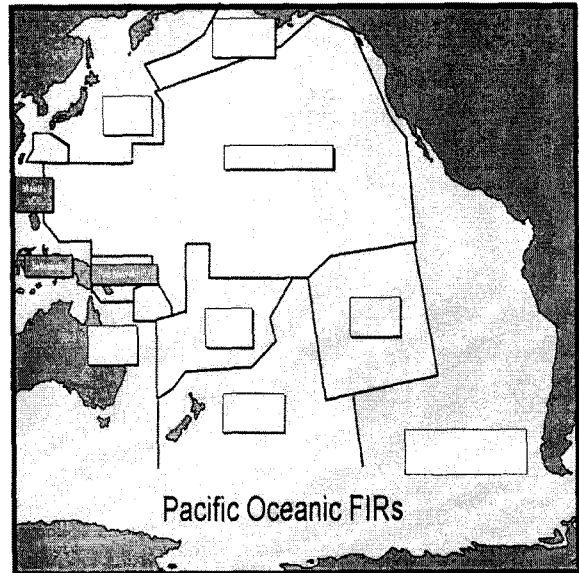
○ 적용공역

- 북대서양 MNPS(Minimum Navigation Performance Specification)
 - 범위 : 북위27N~북극사이, 15W~61W 북대서양 공역
 - 해당 비행정보구역 : Reykjavik FIR, Shanwick FIR, Gander FIR, New York FIR, Santa Maria FIR



<그림 2> 북대서양 RVSM 운영구역

출처: http://www.faa.gov/ATS/ato/pacific_rvsm.htm



<그림 3> 태평양 RVSM 운영구역

출처: <http://www.faa.gov/ATS/ato/watrs.htm>

(2) 태평양 지역

1998년 11월 제1차 아시아태평양 RVSM Task force 회의가 개최되었고, 이 회의를 통해 2000년 2월 동 지역에 RVSM을 도입 운영하기로 결정하였다.

○ 시행단계

- Step 1 : 2000. 02. 24 FL290-FL390
- Step 2 : 2000. 10. 05 FL290-FL410으로 확대 적용

○ 적용구역

- 범위 : 태평양 전역
- 해당 비행정보구역 : Okland, Anchorage, Tokyo, Naha, Brisbane, Nadi, Auckland, Tahiti, Port Moresby FIR

(3) 서대서양 지역

1998년 8월 NYOCETF(New York Oceanic Capacity Enhancement Task Force) 회의에서 서대양 항로체계(WATRS : West Atlantic Route System)에 RVSM를 도입 운영하기로 결정하였다.

○ 시행단계

- Step 1 : 2000. 09. 30 FL290-FL390
- Step 2 : 2001. 11. 01 FL290-FL410

○ 적용구역

- 범위 : 뉴욕 해양 비행정보구역 중 WATRS부분, 마이애미 비행정보구역, San Juan CERAP, Jacksonville, Washington 비행 정보구역 포함



<그림 4> 서대서양 공역의 범위

(4) 유럽 RVSM 공역(Europe RVSM)

유럽지역의 RVSM 도입은 EATCHIP(European Air Traffic Control Harmonization and Integration Programme) 작업프로그램의 주목적인 공역용량증대를 반영한 것이다. 유럽지역에 RVSM를 도입 운영함으로써 교통 흐름을 향상시키고, 공역혼잡을 20% 가량 줄일 수 있었다.

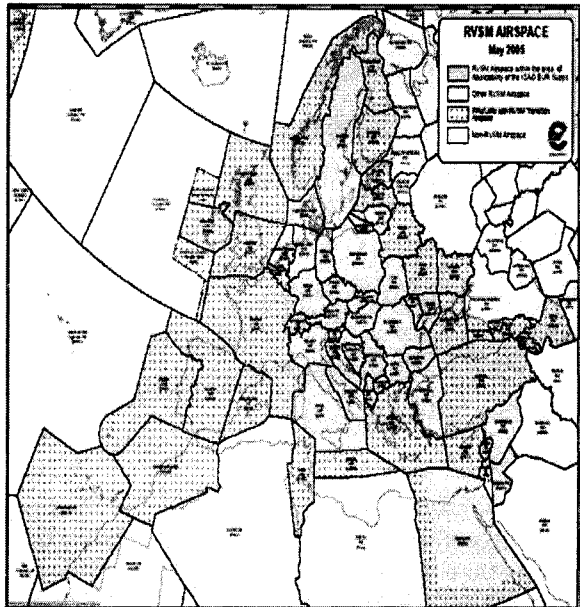
○ 시행단계

- Step 1 : 2002. 01. 24 FL290-FL410

○ 적용공역

- 범위 : 유럽 및 북아프리카 지역의 41개국의 FIRs/UIRs 포함
 Amsterdam, Ankara, Athinai, Barcelona, Beograd, Berlin, Bodo, Bratislava, Bremen, Brindisi, Brussels, Bucuresti, Budapest, Canarias (AFI Region), Casablanca, Chisinau, Dusseldorf, France, Frankfurt, Hannover, Istanbul, Kaliningrad, Kobenhavn, Lisboa, Ljubljana, London, L'viv, Madrid, Malmo, Malta, Milano, Minsk, Munchen, Nicosia, Odesa,

Oslo, Praha, Rhein, Riga, Roma, Rovaniemi, Sarajevo, Scottish, Shannon, Simferopol, Skopje, Sofia, Stavanger, Stockholm, Sundsvall, Switzerland, Tallinn, Tampere, Tirana, Trondheim, Tunis, Varna, Vilnius, Warszawa, Wien, Zagreb.

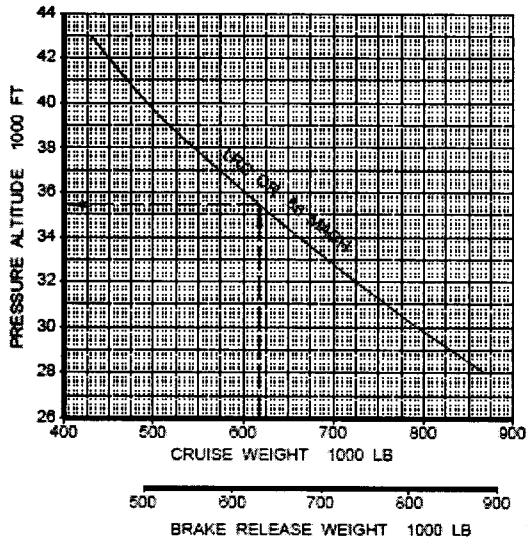


<그림 5> 유럽 RVSM 공역

(5) 서태평양/남지나해 RVSM 도입사례

서태평양/남지나해지역의 RVSM은 ICAO 제6차 태평양 RVSM 실무전담반회의를 통해 2002년 2월 21일부터 도입을 결정하고, 성공적으로 도입되어 운영 중에 있다.

당시 중국과 홍콩은 <그림 3-4>과 같이 2001.11.01부터 재구성된 남지나해의 ATS 항로 및 Sanya AOR의 설정으로 사용자 교육을 위한 충분한 시간이 없어 RVSM 도입을 2002.10.31로 연기하고 그 외 모든 국가는 2002.02.21부터 태평양/남지나해지역 RVSM을 시행하는데 동의하였다.



<그림 8> B747-400의 항공기 중량에 따른 경제적 고도 그래프

연료소모로 인한 항공기의 중량에 따른 경제적 고도 상승을 간단하게 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프를 따라 항공기가 상승하게 되면 가장 최적의 연료 효율을 얻을 수 있게 된다.

하지만 항공기 운항 시, 항공기 간의 최소한의 분리가 요구되므로 RVSM 운영방식을 통해 분리 간격을 좁혀 경제적 고도에 좀 더 근접하여 운항 할 수 있어 경제적 효과를 증대시킬 수 있다고 볼 수 있다.

이와 같이 항공기의 연료소모량은 여러 가지 요인에 따라 결정되어질 수 있지만 이 연구에서는 조사된 기종별 연료소모량을 각 기종별로 운항 매뉴얼 상에 기재된 비행거리 및 비행고도에 따른 연료소모량을 기준으로 국내 관제이양지점까지의 비행 거리로 환산하여 대략적으로 기술하였다.

<표 3>은 인접 ACC와의 관제권 이양 지점인 ATOTI, LAMEN, LANAT까지 B747-400 항공기와 중·소형 항공기로 구분하여 비행최적고도와 비행최적고도가 아닌 고도로 비행하는데 사용되는 연료소모량을 나타낸 것이다.

<표 3>에서도 볼 수 있듯이, RVSM 고도를 사용하는 항공기 중에서 연료의 절감 효과는 B747 > 중·소형 항공기로서 B747-400과 같은 장거리 대형항공기 일수록 또한 운항 시간이

길수록 높은 연료 절감 효과를 나타내는 것을 알 수 있다.

<표 3> B747-400 항공기 고도별 연료소모량 현황

관제이양지점		압력고도(Pressure Altitude) 연료소모량(Fuel) : 1LB			
		FL270	FL290	FL330	FL370
기준	3000NM(연료량)	129,100	121,900	115,000	110,700
ATOTI	459NM(연료량)	19,752	18,651	17,595	16,937
LAMEN	439NM(연료량)	18,892	17,838	16,828	16,199
LANAT	242NM(연료량)	10,414	9,833(△5.9%)	9,277(△5.6%)	8,930(△3.38%)

* LBS는 Librae 의 약자로 항공기 연료증량을 표시함, 유럽은 kg 사용.

<표 4> B747-400 항공기의 연료 소모량 (인천 - 미주 노선)

관제이양지점	압력고도(Pressure Altitude) 연료소모량(Fuel) : 100LB		
	FL310	FL330	FL350
LANAT(연료량)	282	249(△11.7%)	240(△3.61%)

<표 3>은 2003년 2004년까지 기존의 자료는 LANAT지점까지 RVSM이 적용되지 않았기 때문에 FL290과 FL330의 4천 피트차이에서의 연료 소모량 차이를 보여주고 있다.

이 <표 4>에서는 RVSM 적용 후 LANAT 지점에서 2000피트 분리 적용으로 2006년 11월 한 달 동안 인천국제공항을 출발하여 미국 전 지역으로 비행하는 B747-400기 35대의 최적고도를 알아보았다.

RVSM 고도에 속하는 FL310 상에서 비행하였을 경우 LANAT 지점을 통과할 때 282과운 드로서 가장 많은 연료소모량을 보이고 있으며, FL350 에서는 FL310보다 약 11.7% 정도의 감소된 연료 소모량을 볼 수 있고, 또한 FL350 에서는 FL330보다 약 3.61% 낮은 연료 소모율을 나타내고 있다. 그러므로 RVSM 운영 방법을 적용하게 되면 항공기는 보다 많은 고도를 취할 수 있어 사용 연료량의 감소로 인한 경제적인 이익을 얻을 수 있게 된다.

<표 4>에서 알 수 있듯이 대부분의 장거리 노선 대형항공기(B747-400)의 인천 - 미주 간 LANAT 지점 통과 시 경제 고도는 FL330에서 근접하게 비행고도를 선택하여 운항하면 연료효율을 통한 경제적 효과를 극대화 할 수 있다.

<표 5> LANAT 지점에서의 B747-400 항공기의 연료 소모량 (인천 - 미주 노선)

운항일 자	고도	연료소모량 (100LB)		사용 연료량
		인천 (탑재연료량)	LANAT (잔여연료량)	
06.11.01	310	3127	2872	255
06.11.02	330	3466	3194	272
06.11.03	310	3162	2895	267
06.11.03	330	3070	2816	254
06.11.03	330	3054	2795	209
06.11.05	350	2091	1842	149
06.11.06	310	2135	1874	261
06.11.07	310	1963	1695	258
06.11.07	360	2027	1750	227
06.11.08	310	1949	1624	325
06.11.08	330	2459	2224	235
06.11.08	330	2576	2336	240
06.11.08	310	3010	2800	210
06.11.09	310	3271	3019	252
06.11.10	310	3164	2811	353
06.11.11	350	2384	2134	250
06.11.11	350	2403	2168	235
06.11.12	310	3306	3046	260
06.11.13	330	3271	2990	281
06.11.14	330	3304	3046	258
06.11.15	310	3223	2954	264
06.11.16	350	2849	2614	237
06.11.17	310	2871	2637	234
06.11.17	310	2228	2049	179
06.11.18	290	3476	3216	260
06.11.18	310	3178	2933	245
06.11.19	310	3100	2877	223
06.11.20	330	2989	2705	284
06.11.21	330	3100	2857	243
06.11.22	310	3105	2788	317
06.11.23	330	2953	2759	194
06.11.24	350	3067	2805	262
06.11.25	310	2975	2795	180
06.11.27	330	2807	2658	149
06.11.29	330	2997	2703	294

출처 : K항공사

2. 중·소형 항공기의 순항 고도에 따른 연료소모량 분석

<표 6> 중·소형 항공기의 연료 소모량 (인천 - 일본 노선)

관제이양지점	압력고도(Pressure Altitude) 연료소모량(Fuel) : 100LB		
	FL350	FL370	FL390
LANAT(연료량)	204	178(Δ12.7%)	163(Δ8.4%)

출처 : K항공사

<표 6>은 관제이양지점인 LALAT 상에서, 2천 피트 간격 수직분리 시, 2006년 10월 한 달 동안 인천국제공항을 출발하여 일본 지역으로 비행하는 중·소형 항공기 30대의 최적고도를 알아보았다.

FL350에서 FL370으로 고도를 높였을 경우 연료 소모율이 12.7% 낮아 졌으며, FL370에서 FL390으로 고도를 변경하였을 때, 약 8.4%의 연료가 절약되는 것을 알 수 있었다.

<표 6> 및 <표 4>에서 알 수 있듯이, 장거리 운항 및 대형항공기 일수록 RVSM의 공역에서 경제적 고도를 취하게 됨으로 기존 보다 더 많은 경제적 이익을 얻을 수 있는 것을 보여주고 있다.

지금까지 살펴보았던 대략적으로 산출된 배정고도에 따른 연료절감 효과는 항공교통량이 비교적 많으며 장거리 노선의 기종으로 연료소모량이 높은 기종만을 고려하여 분석하였다.

앞으로 항공기의 교통량이 증가 추세는 계속 될 것으로 예상되므로 RVSM 방식의 운영은 항공교통량을 확대하고 연료소모를 감소시켜 항공기 운항에 도움을 줄 수 있을 것이다.

따라서 RVSM 의 적극적인 실행 및 보완, 개선을 통하여 한층 더 효율적인 운영방식이 필요하다.

<표 7> LANAT 지점에서의 중·소형 항공기의 연료 소모량 (인천 - 일본 노선)

운항일 자	고도	연료소모량 (100LB)		사용 연료량
		인천 (탑재연료량) (잔여연료량)	LANAT (잔여연료량)	
06.11.02	370	687	486	201
06.11.02	370	910	757	153
06.11.03	390	668	484	184
06.11.03	390	844	651	193
06.11.03	370	818	687	131
06.11.05	390	829	640	189
06.11.06	370	896	708	188
06.11.07	370	931	728	203
06.11.07	330	1000	782	218
06.11.08	370	904	726	178
06.11.08	350	1035	832	203
06.11.08	350	1190	984	206
06.11.08	370	618	432	186
06.11.09	370	622	431	191
06.11.10	390	295	263	132
06.11.11	390	641	484	157
06.11.11	390	627	438	189
06.11.12	390	646	441	205
06.11.13	390	680	477	203
06.11.14	370	643	490	153
06.11.15	390	689	480	209
06.11.16	350	611	423	188
06.11.17	390	804	639	175
06.11.17	370	908	701	207
06.11.18	390	890	654	236
06.11.18	350	854	704	150
06.11.19	370	634	457	177
06.11.20	370	870	698	172
06.11.21	390	650	478	174
06.11.22	310	644	485	135

출처 : K항공사

II. 결론

세계화에 따른 인적·물적 교류는 불가피한 현상이며, 이를 담당하는 교통수단으로서 항공기가 차지하는 비중이 날로 증가하고 있다. 이렇게 증가하는 교통량을 보다 원활히 처리하기 위하여 한정된 공간을 효율적으로 처리하고 항공기의 비행특성을 고려하여 경제적인 고도로 운항할 수 있는 새로운 기법인 RVSM에 대하여 알아보았다.

RVSM은 이미 세계적으로 여러 지역에서 운영되어 그 안전성과 효율성을 입증하여 왔고, 충분한 사전 준비와 운영자들의 노력이 있다면 공역수용능력 증가, 연료절감 및 지연감소에 따른 경제적 효과 등 많은 효과를 얻을 수 있을 것으로 본다.

그 결과 RVSM 적용고도 층에 대한 항공교통량 분석은 FL290-FL410 고도를 이용하는 항공교통량이 전체 교통량의 약 43%로 나타났으며 이 가운데 약 78%가 국제선 항공기였으며, 또한 전체 23개 항로 가운데 G597, G585, B576, A582항로에 약 90%의 교통량이 편중되어 있으며, 특히 G597과 B576 두 항로의 분담률이 약 67%에 달했다.

둘째로 항공기의 고도사용 현황 분석을 통한 항로별 최적비행고도 산정에서는 RVSM 사용고도 가운데 FL330, FL350, FL370이 전체 RVSM 교통량의 68%를 차지하여 이 가운데 FL330 FL350이 항공기 운항 최적고도로 가정할 수 있었으며, ATOTI, SAPRA 등의 장거리 항로 일수록 고고도를 선호하는 것으로 나타났다. 고고도를 운항하는 항공기 기종은 B747이 약 25%를 차지하여 대형 항공기의 비율이 67%로 높게 나타났다.

셋째, RVSM 고도를 사용하는 항공교통량에 대한 분석은 RVSM 도입시 경제적인 효과 분석에서는 B747 > 중·소형 항공기 순으로 대형기종과 운항시간이 길수록 연료비의 감소 효과가 큰 것으로 나타났다.

또한 중국과 러시아 영공에서는 RVSM이 운영되고 있지 않고 있어, 인천을 출발하여 유럽 지역으로 비행을 할 때, RVSM의 운영지역과는 달리 상당한 항공교통의 정체 및 경제적인 손실을 가져오고 있다. 이는 러시아 및 중국의 고도 표기가 아직까지 대다수의 국제국가에서 사용되어지는 피트(Feet)단위를 쓰지 않는 것과 RVSM 운영에 필수적 장비인 TCAS 장비를 상당수의 항공기에 보유하고 있지 않는다는 데서 기인한다고 생각한다. 따라서 국제민간항공기구(ICAO)에서는 많은 경제적 효율성 및 항공교통의 원활한 소통을 위해서 이들 국가에 대한 특별한 권고 조치가 있어야 할 것이다.

RVSM 도입 배경은 항공기 교통량 증가에 따른 공역에서의 운영확대를 위해서 도입되었으나 이에 못지않게 경제적 고도에 대한 필요성과 이를 통한 경제적인 이익이 중요하게 여겨지므로 앞으로 RVSM을 좀 더 보완, 개선 발전시켜 항공교통의 원활함을 촉진할 뿐만 아니라 연료효율성 증대를 통한 경제적 이익을 증대시킬 수 있는 방안이 향후 연구과제로 남아 있다고 생각된다.

참고문헌

1. 김원호(1998), “공역관리 개선방안에 관한 연구”
한국항공대학교 석사학위논문
2. 김맹선(2002), “항공교통론”, 한국항공대학교 출판부
3. 김정민(2005), “공역확대 신기술 도입으로 하늘 길을 넓힌다”,
건설교통부 혁신 우수사례집
4. 김시한(2004), “우리나라 항공로의 구조 및 기능적인 개선방안”,
인하대 국제통상물류대학원 석사학위논문
5. 대한항공 운항규정
6. 박옥희(2005), “인천비행정보구역 내 수직고도분리기준축소(RVSM) 도입에 따른 경제적 효과에 관한 연구”, 인하대 국제통상물류대학원
석사학위논문
7. 양한모 외 2명 (2004), “항공교통관리론”, 한국항공대학교 출판부
8. 양한모 외 2명 (2006), “항공교통개론”, 한국항공대학교 출판부
9. 최승연(2005), “우리나라의 RVSM 도입 준비현황”,
2005년 춘계학술대회
10. ICAO, Doc 9574 - Manual on Implementation of a 300m(1,000ft) vertical separation minimum between FL290 and FL410 inclusive, 2002
11. ICAO, Report of the ICAO Reduced Vertical Separation Minimum Implementation Task Force in Asia Pacific Region
12. Report of the 12th meeting of the ICAO Reduced Vertical Separation Minimum Implementation task force (RVSM/11, 12, 13)
13. ICAO, Annex 2 Rules of the Air
14. EURO CONTROL, Guidance Material on The Implementation of a 300m(1,000ft) vertical separation minimum in the European RVSM Airspace
15. EURO CONTROL, ATC Manual for a RVSM in Europe 2001
16. THE GUIDANCE MATERIAL ON THE IMPLEMENTATION OF A 300M(1000FT) VERTICAL SEPARATION MINIMUM BETWEEN FL290 AND FL410 INCLUSIVE FOR APPLICATION OF THE AISA PACIFIC REGION
16. JAA(Joint Aviation Authority) Information Leaflet NO.6
16. <http://www.ecacnav.com>
17. <http://www.faa.gov/ats/ato/rvsm1.htm>
18. Boeing Flight Planning and Performance Manual