

ADS-B 기반 항공기 후류분리

ADS-B based Wake Vortex Separation

김정식*, 임동헌
항공대학교

초 록

항공기는 공중에서 양력을 발생시키는 과정에서 wake vortex를 생성하며, 항공기 중량과 항공기 주위의 기상(특히 바람 vector)에 따라 wake vortex의 크기와 그 소산속도가 결정된다. 이러한 Raw data 정보는 항공기에 장착된 FMS와 Sensor를 통해 수집될 수 있으며, 이를 ADS-B를 이용하여 지상관제기관과 주변항공기에 전파하면, 실시간으로 매우 정확한 후류크기와 영향범위를 확인할 수 있고, 이로써 보다 안전하고 효율적인 항공기 후류분리가 가능할 것으로 볼 수 있다. 본 자료는, 이러한 맥락에서 ICAO(ASBU)의 후류분리기준 축소를 통한 활주로사용증진 동향과, RTCA DO-260B의 부록(V) “Potential wake vortex and Arrival management ADS-B Application” 요지를 소개한다.

1. 서론

출도착 시 후류분리기준을 설정 운영하고 있다.

1.1 도입

1.1.1 Runway Throughput 증대 위한 활주로 출도착 분리기준 축소

지속적으로 꾸준히 증가하는 항공교통수요에 대하여 제한된 공항시설로써 최대의 Runway Throughput(공항이용율)을 내기 위해서, 각국은 현재의 출도착 항공기에 대한 분리기준을 축소시킴으로써 단위 시간 동안에 보다 많은 항공기가 이착륙하도록 하는 방법을 강구하고 있다.

1.2 항공기 출발 도착 시 적용하는 Wake Vortex 분리기준

항공기 출도착 시 적용되는 분리기준은 항공기에서 발생되어 이동 및 소산되는 후류(Wake Vortex)의 영향을 고려하여 설정된다.

1.2.1 ICAO Wake Turbulence Separation of Aircraft

ICAO는 PANS-ATM (doc 4444)에서 항공기 최대이륙중량을 기준으로 항공기 후류등급을 아래와 같이 세가지로 구분하고 이에 따라 항공기

Table 1. 후류구분 항공기 범주

항공기 Category	항공기 최대중량 범위(MTOW 기준)
HEAVY (H)	all aircraft types of 136 000 kg or more
MEDIUM (M)	aircraft types less than 136 000 kg but more than 7 000 kg
LIGHT (L)	aircraft types of 7 000 kg or less

FAA와 EUROCONTROL은 항공기 후류분리 기준 재검토를 준비하고 ICAO와 함께 후류분리 적정화를 위하여 항공기 Category를 현행 3개에서 6개의 범주로 구분하는 개정을 추진 중에 있다.

1.2.2 Single RWY와 CSPR에서 후류분리기준

현재 ICAO가 정한 항공기 출도착편에 대한 후류분리기준은 아래와 같다
가. 거리 기준으로 분리할 경우

<i>Aircraft category</i>		<i>Distance-based wake turbulence separation minima</i>
<i>Preceding aircraft</i>	<i>Succeeding aircraft</i>	
HEAVY	HEAVY	7.4 km (4.0 NM)
	MEDIUM	9.3 km (5.0 NM)
	LIGHT	11.1 km (6.0 NM)
MEDIUM	LIGHT	9.3 km (5.0 NM)

나. 시간 기준으로 분리할 경우

- 도착편 분리 기준

선행기 ^o	후행기 ^o	분리기준 ^o
HEAVY ^o	MEDIUM ^o	2분 분리 ^o
HEAVY 또는 MEDIUM ^o	LIGHT ^o	3분 분리 ^o

- 출발편 분리 기준 (동일활주로 또는 760m미만 근접평행활주로 사용 시)

선행기 ^o	후행기 ^o	분리기준 ^o
HEAVY ^o	MEDIUM 또는 LIGHT ^o	2분 분리 ^o
MEDIUM ^o	LIGHT ^o	2분 분리 ^o

(단, 후행기가 Intermediate part에서 출발할 경우 상기표에 1분을 추가함)

2. 출도착 후류분리기준 축소동향

2.1 ICAO ASBU PIA APO - WAKE

지속적으로 꾸준히 증가하는 항공교통수요에 대하여 제한된 공항시설로써 최대의 Runway Throughput(공항이용율)을 내기 위해서, 각국은 현재의 출도착 항공기에 대한 분리기준을 축소시킴으로써 단위 시간 동안에 보다 많은 항공기가 이착륙하도록 하는 방법을 강구하고 있다.

2.1.1 B0-WAKE (기간: 2013~2017)

Increased Runway Throughput through Optimized Wake Turbulence Separation

이 기간 중 항공기후류분리기준 재검토를 통해 Wake Turbulence Category를 현행 3개에서 6개로 세분하고, 최적화 분리기준을 수립하여 운영하는 것을 목표로 한다. 3개의 Element로 추진하며, 그 세부 내용은 아래와 같다.

Element 1(후류 최소분리기준 개정) :

EUROCONTROL과 FAA joint workgroup이

현행 ICAO doc 4444에 수록된 항공기 wake separation 기준을 재검토하고, 항공기 후류에 따른 Category를 현행 3개에서 6개로 세분하여 적용하는 분리기준 개선안을 마련하여 2010년에 ICAO에 개정안을 제출함. ICAO는 Wake Turbulence Study Group을 구성하여 FAA/EUROCONTROL JWG이 제출한 개정안을 검토하였으며, 이에 따라 ICAO PANS ATM(doc 4444)가 조만간 개정될 것으로 예상된다.

Element 2(공항 도착편 수용능력 증대):

HEAVY wake turbulence category항공기를 제외하고 나머지 등급의 항공기로부터 나오는 wake vortex 영향범위가 종전의 생각보다 더 짧게 나타나는 것으로 확인됨에 따라, 2008년 미국의 5개 공항이착륙 빈도가 높은 high capacity demand 공항 중 760m 미만 분리된 평행활주로(CSPR)에서 Dependent Diagonal Paired Approach procedure가 실시되고 있음. 이를 통해 시간당 10대 항공기가 더 착륙할 수 있게 되었고, 2010년에 2개 공항이 추가로 이 절차를 사용하게 되었다.

Element 3(공항 출발편 수용능력 증대):

CSPR 운영공항에서 항공기 출발편을 늘리는 시도가 유럽과 미국에서 진행되었으며, 파리 CDG공항의 WIDAO(wake independent departure and arrival operation)과 미국의 WTMD(wake turbulence mitigation for departures)가 실시되었다. WTMD의 경우 활주로에 부는 측풍을 고려하여 downwind runway에서 HEAVY 등급의 항공기가 이륙할 때 upwind parallel 활주로에서 출발하는 항공기에 2~3분 분리를 적용하지 않아도 되도록 한다.

2.1.2 B1-WAKE (기간: 2018~2022)

Increased Runway Throughput through Dynamic Wake Turbulence Separation

실시간 항공기 wake turbulence hazards 확인을 통한 dynamic한 후류분리기준 적용으로 활주로 출도착 throughput을 증대하는 것을 목표로 추진

역시 3개의 Element로 구성되며, 그 개요는 아래와 같다.

Element 1 Implement leader/follower pair-wise static matrix wake separation minima

ICAO의 3개 내지 6개의 후류 category 대신에 항공기 성능을 고려한 type별 wake generation과 wake upset tolerance에 기초한 최소후류분리기준 수립을 목표로 한다.

항공기 type별 Leader/follower pair-wise static matrix를 수립하여 보다 세밀하게 후류분리 기준을 나누어 적용하면 상기 Block0 개선효과에 더하여 약 3~5%의 공항수용능력 추가증대를 도모할 수 있다.

Element 2 Increasing airport arrival operational capacity at additional airports for parallel runways, with centre lines spaced less than 760 m (2 500 feet) apart.

CSPR에서 approach corridor 내의 바람을 고려한 후류분리기준 적용으로, 도착항공기 수용능력 증대를 도모한다. 이는 바람 예보와 현재 관측정보를 활용하여 상황에 따라 적합한 분리기준을 탄력적으로 적용하는 것을 말한다.

WTMA(Wake Turbulence Mitigation for Arrivals)기법을 사용하여 적용할 후류분리기준을 결정할 때 항공기로부터 얻을 수 있는 wind data를 활용하면 WTMA가 보다 효과적으로 적용될 수 있다.

B0와 비교 시 시간당 5~10대의 항공기가 추가적으로 착륙할 수 있다.

Element 3 Increasing airport departure operational capacity at additional airports

Element 2와 같은 바람예보와 현재관측정보를 사용하여 탄력적으로 출발항공편 후류분리를 적용한다. 항공기로부터 얻을 수 있는 wind data를 활용하면 WTMD가 보다 효과적으로 적용될 수 있다. Block0와 비교 시 시간당 2~4대가 추가적으로 이륙할 수 있다.

2.1.3 B2-WAKE (기간: 2023~2027)

Advanced Wake Turbulence Separation

(Time-based)

Distance based 후류분리 적용 대신에, time based 후류분리 적용을 통해 보다 많은 항공기 이착륙 지원을 목표로 한다. Block 1에서 언급되었던 항공기가 생산하는 실시간 기상정보를 접근/착륙 및 이륙 단계에서 본격적으로 활용한다.

3. ADS-B 통한 실시간 바람정보 활용

3.1 ADS-B OUT 정보

위의 ASBU WAKE Thread에서 언급된 항공기 생산 실시간 기상정보를 활용할 수 있는 수단으로 최근에 ADS-B가 큰 관심을 받고 있다.

ADS-B는 1090MHz Mode-S Extended Squitter를 통해 0.5초에 한번 씩 자신을 위치와 ID를 broadcasting하며, 매 비행단계에서 실제로 처한 기상상황을 ADS-B를 통해 정확히 파악할 수 있는 용이성을 제시하기 때문이다.

현재 항공기 ADS-B를 통해 생산되는 정보는 다음과 같다.

- Aircraft horizontal position(latitude/longitude)
- Aircraft barometric altitude (will be the same as for the SSR)
- Quality indicators
- Aircraft identification:
- Unique 24-bit aircraft address
- Aircraft identification
- Mode A code (in the case of "ADS-B Out")
- Emergency status
- SPI (special position indicator) when selected

ADS-B 정보는 RCTA DO-260/260A/260B에 정한 사항들이 포함되며, 아래는 2020년부터 적용해야 하는 ADS-B version 2 정보를 DO-260B에서 인용한 것이다.

3.2 RTCA DO-260B :ADS-B Out 정보를 이용하여 실시간 활주로 바람정보를 확보하는 방안 (Appendix V)

항공기 후류의 위치를 정확히 파악해서 후행기를 후류위험이 없는 지역으로 유도할 수 있다면 이로써 공역의 활용성을 크게 증대시킬 수 있다.

Register Allocation Related to Extended Squitter

Table A-1: Register Allocation

Register number	Assignment	Maximum update interval
05 ₁₆	Extended Squitter Airborne Position	0.2 s
06 ₁₆	Extended Squitter Surface Position	0.2 s
07 ₁₆	Extended Squitter Status	1.0 s
08 ₁₆	Extended Squitter Identification and Category	15.0 s
09 ₁₆	Extended Squitter Airborne Velocity	1.3 s
0A ₁₆	Extended Squitter Event-Driven Information	variable
10 ₁₆	Data Link Capability Report	≤4.0 s (see Note 2)
17 ₁₆	Common usage Capability Report	5.0 s
18 ₁₆ - 1C ₁₆	Mode S Specific Services Capability Report	See Note 5
1D ₁₆ -1F ₁₆	Mode S Specific Services Capability Report	5.0 s
20 ₁₆	Aircraft Identification	5.0 s
30 ₁₆	TCAS Active Resolution Advisory	Annex 10, Vol IV §4.3.8.4.2.2
61 ₁₆	Emergency/Priority Status	1.0 s
62 ₁₆	Target State and Status Information	0.5 s
63 ₁₆ -64 ₁₆	Reserved for Extended Squitter	
65 ₁₆	Aircraft Operational Status	2.5 s
66 ₁₆ -6F ₁₆	Reserved for Extended Squitter	

항공기는 1090MHz ES를 이용해서 MET data와 ARV(Air Reference Vector) data를 broadcasting하고, 이 정보는 실시간 wake vortex based separation에 적용할 정보로 사용된다. 이를 통해 일부공항은 IMC조건에서 공항의 수용능력을 약 40% 증대시킬 수 있을 것으로 파악되었다.

이미 대다수 항공기에 ADS-B가 장착되어 있는데, 항공기가 특정된 MET data를 ADS-B를 사용하여 보고할 수 있도록 ADS-B report 알고리즘을 개조하면, 실시간 기상정보 제공이 가능하게 될 것으로 본다

DO-260B의 appendix V (Provisioning for potential wake vortex and arrival management ADS-B application)는 ADS-B 정보에 출도착 후류영향 실시간 파악이 가능하도록 아래 사항을 포함시키는 방안을 수록하고 있다.

Data 항목 ^o	현재 정보제공 여부 ^o	향후 제공 방안 ^o
Wind speed ^o	X ^o	기존 data bus에 추가 가능 ^o
Wind direction ^o	X ^o	기존 data bus에 추가 가능 ^o
Static temperature ^o	X ^o	기존 data bus에 추가 가능 ^o
Static Barometric pressure ^o	X ^o	기존 data bus에 추가 가능 ^o
Aircraft emitter category ^o	O ^o	o
Aircraft position ^o	O ^o	o
Pressure altitude ^o	O ^o	o
Aircraft speed and heading ^o	O ^o	o
Aircraft weight ^o	X ^o	향후 개발 요함 ^o
Atmospheric turbulence ^o	X ^o	향후 개발 요함 ^o
Aircraft configuration data(e.g. flap setting) ^o	X ^o	향후 개발 요함 ^o

DO-260B appendix V에는 이를 위해 항공기가 생성할 MET data format와 요구되는 update rate를 수록하고 있다. MET data를 통해 wake의 위치와 그 세기 정보를 파악할 수 있게 된다.

MET 정보는 기존 MODE-S EHS 제공정보인 MODE-S Register 44 16과 MODE-S Register 45 16정보와 유사한 내용으로 구성된다. 이를 ADS-B로 보내기 위해서 각각 Mode-S MET squitter format 1 (44 16에 해당 - 항공기가 측정한 바람, 기온, turbulence 정보 포함, Table V-2 참조)과 Mode-S MET squitter format 2(45 16에 해당 - 항공기가 측정한 습도, 항공기 Configuration, 항공기 중량, Icing 정도, Wake Vortex 정도, Windshear/Microburst 존재여부 및 항공기 속도 변화 등을 정보 포함, Table V-3 참조)의 형식으로 제공되도록 한다.

이러한 MET 정보는 다음과 같은 update rate로 report되는 것이 필요하다.

Format 1 정보의 경우 10초 간격, Format 2 정보의 경우 20초 간격 (단, traffic density가 높은 공역에서 주변Turbulence로 인한 급격한 속도변화가 있을 경우 10초 간격)

MET 정보의 update rate 고려 관련, 후류감시 목적으로 사용 시 10초에 1회 broadcasting하는 것은 주파수 혼잡도 증가에 미치는 영향이 미미한 것으로 파악되었다.

MET data와 함께 ARV data가 제공될 것이며,

이는 항공기 이착륙 corridor에 존재하는 바람삼각형(Wind Triangulation)을 이용하여 Wind Vector를 계산하는데 필요한 정보들이다. Ground vector와 ARV를 이용해 Wind Vector를 삼각함수로 계산해 내는 것을 말한다. 이렇게 계산된 Wind vector 정보는 현재 실시간으로 활주로에 존재하고 있는 바람성분으로 볼 수 있다.

수록된 ADS-B 정보활용을 통한 후류분리적용 및 출도착 항공기 최적관리 방법에 관심을 두고 MET data와 ARV data의 실시간 확보방안을 강구하고,

이러한 R & D를 통해 항공기술 선진국에 동참할 수 있는 길이 열릴 것으로 본다.

Table V-3: Proposed Meteorological Squitter Format 2

Data Field	# of Bits	Range	LSB/Comments
Format Type Code	5	Assigned value	
Weather Type Code	2	Value = 1	
Humidity Status	1	0=no data, 1=current data	See Note 4
Humidity	7	0..100 percent	100/128 percent, See Note 4
Configuration Status	1	0=no data, 1=current data	See Note 1
Landing Gear Configuration	1	0=down (or fixed gear) 1=retracted	See Note 1
Flaps Setting	4	0..80 degrees	5 degree steps, See Note 1
Speed Brake/Spoiler Setting	2	0=none, 1-2=partial, 3=full	See Note 1
Aircraft Weight Status	1	0=no data, 1=current data	
Aircraft Weight	8	See note	See note 2
Turbulence Status	1	0=no data, 1=current data	
Peak Turbulence Metric (EDR ^{1/3})	7	0..1.27 in EDR ^{1/3} units	0.01 in EDR ^{1/3} units
Icing Status	1	0=no data, 1=current data	See Note 3
Icing Hazard Metric	2	00=none, 01=light 10=moderate, 11=severe	See Note 3
Wake Vortex Status	1	0=no data, 1=current data	See Note 3
Wake Vortex Hazard Metric	2	00=none, 01=light 10=moderate, 11=severe	See Note 3
Windshear/Microburst Status	1	0=no data, 1=current data	See Note 3
Windshear or Microburst Indication	1	0=windshear, 1=microburst	See Note 3
Airspeed Change Sign Bit	1	0=gain, 1=loss	See Note 3
Airspeed Change Magnitude	6	0..63 knots	1 knot, See Note 3
Reserved	1		

후 기

비행기를 이용한 사람과 화물의 이동이 전세계적으로 지속적인 성장세를 보이고 있고, 특히 아시아 태평양지역에서의 항공교통 신장세는 전세계 평균을 앞서고 있다. 우리나라도 인천공항과 제주공항에서 항공교통량의 증가로 인한 공항수용능력 확장 요구가 크게 대두되고 있다.

우리나라 항공당국도 항공중장기 발전계획(NARAE)에 Wake Vortex 관리 개선을 통한공항수용능력 개선을 단계적으로 추진할 것으로 계획하고 있는 점을 감안, 본 RTCA DO 260B에

Table V-2: Proposed Meteorological Squitter Format 1

Data Field	# of bits	Range	LSB/Comments
Format Type Code	5	Assigned value	
Weather Type Code	2	Value = 0	
Wind Data Status	1	0=no data, 1=current data	
Wind Quality Flag	1	0=degraded data	Roll angle > 5 degrees
Wind Speed	8	0..255 knots	1 knot
Wind Direction	9	0..360 degrees	1 degree
Static Air Temperature Status	1	0=no data, 1=current data	
Static Air Temperature	9	-128..128 degrees C	0.5 degrees C
Average Static Air Pressure Status	1	0=no data, 1=current data	
Static Air Pressure	11	0..2047 hPa	1 hPa
Turbulence Status	1	0=no data, 1=current data	
Average Turbulence Metric (EDR ^{1/3})	7	0..1.27 in EDR ^{1/3} units	0.01 in EDR ^{1/3} units

참고문헌

- [1] ICAO, 2014, Doc 4444 Air Traffic Management, ICAO,
- [2] ICAO, 2013, Doc.9750 Global Airnavigation Plan 4th Edition, 2013, ICAO
- [3] ICAO, 2013, Working Doc for ASBU, 2013, ICAO
- [4] EU 2008, AMC 20-24, Certification Considerations for the Enhanced ATS in Non-Radar Areas using ADS-B Surveillance (ADS-B-NRA) Application via 1090 MHz Extended Squitter. 2008, EU
- [5] EU, 2011, Official Journal of the European Union, (EU) No 1207/2011, laying down requirements for the performance and the interoperability of surveillance for the single European sky, 2011, EU
- [6] RTCA SC-186, 2011, MOPS for 1090MHz ES ADS-B and TIS-B, 2011, RTCA.