

VHF Digital Link 모드 3 시스템의 성능 평가

Performance Evaluation of VHF Digital Link Mode 3 System

배중원*, 남기욱*, 곽재민**, 박기식***, 조성언****

Joong-Won Bae*, Gi-Wook Nam*, Jae-Min Kwak**, Ki-Sik Park*** and Sung-Eon Cho****

요 약

본 논문에서는 ICAO (International Civil Aviation Organization)에서 규정한 VDL 모드 3 시스템 계통도와 제원을 구성하여 BER(Bit Error Rate), 전송지연시간, 버스트 재전송율, 그리고 throughput에 대한 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과, BER과 전송지연시간, throughput, 버스트 재전송율의 관계를 명확히 정의할 수 있었고, 또한 down link에서 V/D 재전송율과 throughput에 강한 상관이 있음이 판명되었다.

Abstract

In this paper, we analyzed the performance of VDL mode 3 system model whose specification is defined by ICAO(International Civil Aviation Organization). For performance evaluation, we obtained BER(Bit Error Rate), transmission delay time, burst retransmission rate and throughput.

From the analysis result, we could explicitly define relationships among BER, transmission delay time, throughput and burst retransmission rate. In addition, it became known that V/D retransmission rate and throughput are closely related in down link channel.

Key words : VDL, BER, Throughput, delay time

I. 서 론

초단파 (VHF : Very High Frequency)는 중파와 단파에 비해 전파의 직진성이 높아 취급하기가 용이하기 때문에 200NM 정도까지의 근거리 항공 통신에서 널리 사용되고 있다. 현재 항공관제통신에는 진폭 변조 (DSB-AM : Double Side Band-Amplitude Modulation)에 의한 아날로그 음성 통신, 이른바 무

선 전화를 사용한 원격대공통신 (RCAG : Remote Control Air Ground) 망과, 최소편이변조 (MSK : Minimum Shift Keying)에 의한 데이터 통신을 사용한 항공기통신위치정보시스템 (ACARS : Aircraft Communication Addressing and Reporting System) 등이 보급되어 있다. 국제적으로 VHF 대에서 항공 통신에 할당되어진 주파수 대역은 118~137MHz이며, 이것을 1 채널 25kHz 폭 (일부 지역에서는 8.33

* 한국항공우주연구원(Dept. of Air Navigation & Traffic System, Korea Aerospace Research Institute)

** 전자부품연구원 SoC 연구센터(SoC Research Center, Korea Electronics Technology Institute)

*** 인하공업전문대학 정보통신과(Dept. of Information & Communication, Inha Technical College)

**** 순천대학교 정보통신공학부(School of Information & Communication Eng., Suncheon National Univ)

· 제1저자 (First Author) : 배중원

· 접수일자 : 2005년 11월 12일

kHz)으로 분할하고 있다. 그러나 점점 항공통신수가 증가함에 따라 채널수의 고갈이 문제시되고 있다. 또한 ACARS는 본래 항공회사의 운항관리통신(AOC : Aeronautical Operational Control)용으로 개발된 시스템이고 적용 기술도 구식이기 때문에, 저속 통신에서 에어러징정 기능도 없고 신뢰성이 낮다는 결점이 부각되어 왔다. VHF 데이터 링크(VDL : VHF Digital Link)는 국제민간항공기관의 항공이동통신 패널(AMCP : Aeronautical Mobile Communication Panel, 현재의 항공통신 패널(ACP : Aeronautical Communication Panel))에서 표준화 작업이 진행되어 온 차세대 공지간 항공통신시스템이다. 현재 VDL에서는 용도와 방식이 다른 3종류 모드의 국제 표준 및 권고 방식(SARPs : Standards and Recommended Practices), 그리고 기술지침이 규정되어 있으며, 각각 모드 2, 모드 3, 모드 4로 부른다[1],[2].

VDL 모드 2는 현재 사용하는 VHF ACARS를 대체하는 데이터 통신 모체이다. 모드 3은 모드 2보다 전송의 즉시성 등의 면에서 우수하고, 모드 2의 후계 시스템 후보가 되어 있다. 더구나 모드 3에서는 현재 사용하는 무선 전화 대신에 디지털화된 음성 통신 기능을 갖추고 있으며, 무선 전화에 비해 통신의 신뢰성이 향상되어 있다. 또한 시분할 다중 액세스(TDMA : Time Division Multiple Access) 방식에 의해 종래의 25kHz 폭의 채널을 복수의 채널로 분할하여 운용이 가능하다. 이 때문에 항공통신의 채널수 고갈에 대응할 수 있고, 음성 통신과 데이터 통신을 동일 설비에서 운용할 수 있는 고속 동시에 높은 신뢰성의 시스템이기 때문에 VDL 모드 3의 항공 관제업무로의 도입이 검토되고 있다. 모드 4는 현재 방송형자동종속감시(ADS-B : Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) 등의 감시용으로 승인된 시스템인데, 데이터 통신으로의 용도 확대가 국제민간항공기관에서 검토되고 있다.

VDL 각 모드의 비교를 표 1에 나타낸다[1].

표 1. VDL 각 모드의 비교
Table 1. Comparison of VDL Mode.

	VDL 모드 2	VDL 모드 3	VDL 모드 4
용도	데이터 통신	음성, 데이터 통신	감시
접속 형태	일 대 일 (공↔지)	음성 : 일 대 다 (공↔지 또는 공) 데이터 : 일 대 일 (공↔지) 일 대 다 (지→공)	일 대 일 또는 일 대 다 (공↔지 또는 공)
변조 방식	D8PSK	D8PSK	GFSK
전송 속도	31.5kbps	31.5kbps	19.2kbps
전송 즉시성	나쁨	우수	우수
액세스 방식	p-persistent CSMA	TDMA	STDMA

본 논문에서는 상기 VDL 모드 3 시스템을 항공 관제업무에 도입하면 시스템 성능을 사전에 명확히 분석해야할 필요성이 대두되기 때문에 통신의 전송 지연시간, 처리량(throughput), BER 등에 대한 성능을 분석하고자 한다.

II. VDL 모드 3 시스템

2-1 VDL 모드 3의 개요

VDL 모드 3은 현재 무선 전화와 동일하게 1 채널 25kHz 폭의 채널을 사용한다. TDMA에 의해 하나의 프레임(120ms)은 3개 또는 4개의 시간 슬롯으로 분할되고, 각각을 개별 채널로 하여 운용할 수 있다.

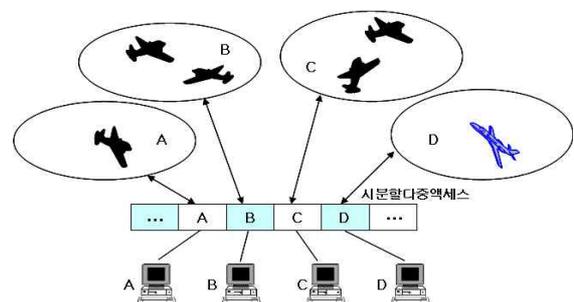


그림 1. VDL 모드 3 운용 개념
Fig. 1. Operation structure of VDL mode 3.

그림 1은 VDL 모드 3의 운용 개념을 나타내고 있다. 슬롯 분할 수의 차이는 대상 공역의 크기에 의해 전과 guard time이 달라지는 것에 의한다. 4 슬롯 분할은 대략 200NM 이내의 공역을 커버하는 표준 range, 3 슬롯 분할은 대략 600NM까지의 공역을 커버할 수 있는 확장 range로 불린다. 이하 본 논문에서는 표준 range를 취급한다. 각 시간 슬롯은 A, B, C, D로 명명되고, 각 슬롯 채널의 역할에 따라 동작 패턴이 정의되어 있다.

대표적인 시스템 구성으로 다음과 같은 것이 있다.

- 4V : 4개의 개별 음성 채널
- 3V1D : 3개의 개별 음성 채널과 1개의 공용 데이터 채널
- 2V2D : 2개의 개별 음성 채널과 각각에 대응한 2개의 개별 데이터 채널
- 3T : 2개의 공용 데이터 채널과 1개의 요구 할당형 채널

그림 2에 표준 range에서 3T 이외의 시스템 구성의 프레임 형식 예를 나타낸다[2].

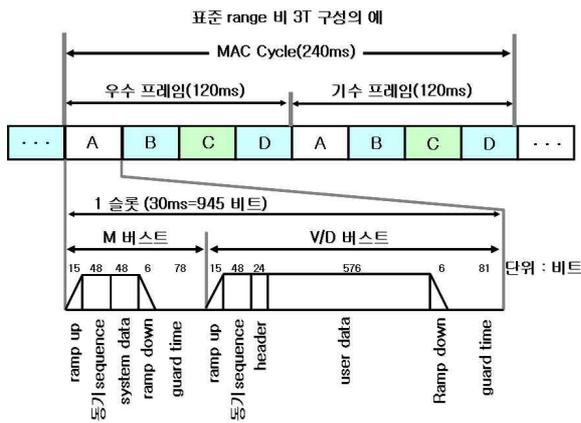


그림 2. VDL 모드 3 프레임 형식
Fig. 2. Frame format of VDL mode 3.

각 슬롯은 M 버스트 및 V/D 버스트로 구성되고, M 버스트는 관리 정보, V/D 버스트는 음성 또는 데이터 정보를 전송한다. V/D 버스트로 전송할 정보는 운용 시의 시스템 구성에 의해 음성인지 또는 데이터 인지가 결정된다. 더구나 음성은 통상 4.8kbps로 부호화/복호화를 행하는 보코더 (vocoder)에 의해

디지털 데이터화 되어 V/D 버스트로 격납된다.

M 버스트, V/D 버스트 모두 에러 정정 부호에 의해 전과 중의 비트 에러에 대한 정정을 시행한다. 그림 2의 형식의 경우, M 버스트의 시스템 데이터부에서는 Golay (24,12) 부호에 의해 12 비트의 정보마다 12 비트의 패리티가 부가된다. 즉 48 비트 중, 24 비트가 원 정보, 24 비트가 패리티가 된다. V/D 버스트에서는 헤더 부의 24 비트 중 12 비트가 Golay (24,12) 부호에 의한 패리티이다. 또한 사용자 데이터에서는 Reed-Solomon (72,62) 부호에 의해 원래의 62 octet 정보에 10 octet 부가되고, 합계 72 octet (=576 비트)이 해당 부에 격납되어 있다.

변조는 3 비트를 1 심볼 단위로 하고, raised cosine 필터 (roll off율 0.6)를 사용한 차동 8상 위상 편이변조 (D8PSK : Differential 8 Phase Shift Keying)로서 시행한다.

2-2 VDL 모드 3 시스템의 구성

그림 3은 VDL 모드 3 시스템의 계통도이다.

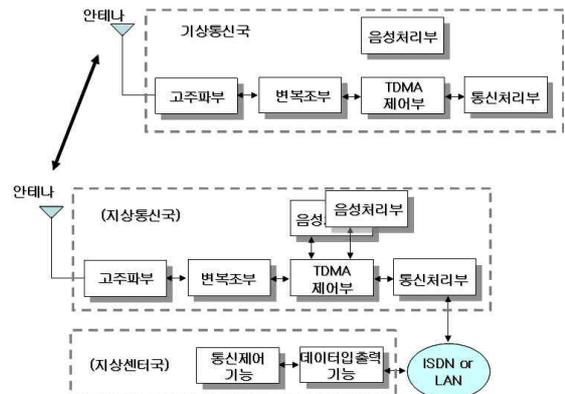


그림 3. 시스템 계통도
Fig. 3. System structure.

기상국과 지상국은 거의 동일 구성이며, 고주파부, 변복조부, TDMA 제어부, 음성 처리부, 통신 처리부를 갖는다. 지상 센터국은 통신 제어 기능과 데이터 입출력 기능을 갖추고 있고, 실험 시나리오의 설정과 지상국간 hand-off를 담당한다. 지상 센터국은 복수의 지상국 통신처리부와 유선으로 접속한다 [3],[4].

기상국은 지상국의 범위 내에 들어오면 망 가입

요구를 지상국에 대해 시행하고, 계속해서 링크 절충을 양자 간에서 행한 후에 통상의 통신 가능 상태가 된다. 역으로 관제 이관 등의 이유에 의해 기상국이 현재의 링크 상대인 지상국에서 떨어질 경우에는 망 이탈 요구를 행해 링크를 절단한다. 시스템의 성능 제원을 표 2에 나타낸다.

표 2. 시스템의 성능 제원

Table 2. System performance parameter.

송신 전력	15W
송신 주파수	118.000~136.975MHz, 25kHz 폭
송신 모드	V/D 버스트 송신 (모드 3 준거) 및 의사잡음송신이 가능
점유 대역폭	16.8kHz 이하
수신 감도	약 -103dBm (BER= 10^{-3})
시스템 구성	3V1D 및 2V2D가 가능

III. VDL 모드 3 시스템의 성능

3-1 BER 성능

데이터 통신에 관한 통신 특성으로 기상국→지상국 방향(down link)에서 BER를 변화시켜 전송 지연 시간과 throughput에 대한 성능을 도출하였다.

BER 특성 측정 계통도는 그림 4와 같다.

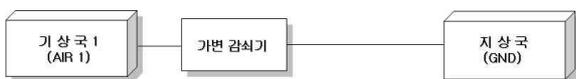


그림 4. BER 특성 측정 계통도

Fig. 4. Block diagram of BER measurement.

하나의 시나리오 중에서 기상국에서 사용자 데이터 길이 62 octet(1V/D 버스트) 또는 930 octet(모드 3에서 다루는 최대 사용자 데이터 길이로 15V/D 버스트에 해당)을 100회 송신하였다. 이때 채널 점유율을 높인 데이터 샘플 수를 확보하기 위해 지상국에서 사용자 데이터 길이 930 octet의 broadcast 데이터를 반복해서 송신하였다. broadcast 데이터 반복에서 송신 대기 시간은 1.5s로 설정하였다. 또한 통신 우선도는 지상국, 기상국 모두 0 (최저)으로 설정하고, 표 3에 나타낸 10 종류의 시나리오를 실시

하였다. 표 3에서 사용자 데이터 길이 62 octet의 시나리오를 a 그룹, 930 octet의 시나리오를 b 그룹으로 명명한다[5].

표 3. BER 특성 시나리오

Table 3. Scenario of BER characteristic.

시나리오 번호	수신전력 [dBm]	BER	down link 사용자 데이터 길이 [octet]
a-1	-98	0	62
a-2	-103	7.9×10^{-4}	62
a-3	-104	2.2×10^{-3}	62
a-4	-105	4.6×10^{-3}	62
a-5	-106	1.0×10^{-2}	62
a-6	-107	1.6×10^{-2}	62
b-1	-98	0	930
b-2	-103	7.9×10^{-4}	930
b-3	-104	2.2×10^{-3}	930
b-4	-105	4.6×10^{-3}	930

그리고 기상국 통신처리부에서 사용자 데이터가 송출된 시간부터 지상국 통신처리부에서 수신된 시간까지를 전송지연시간으로 정의하였다(그림 5).

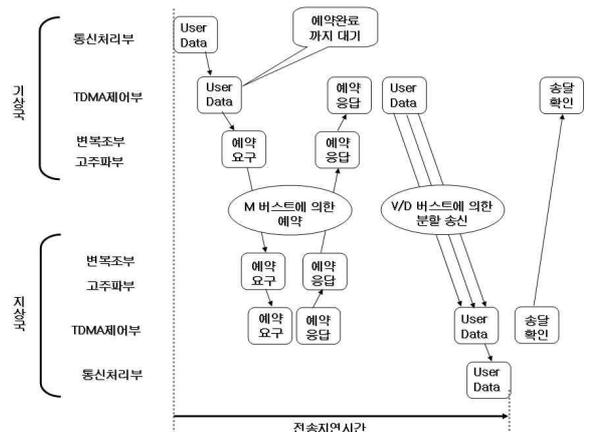


그림 5. 전송지연시간의 정의

Fig. 5. Define of transmission delay time.

그림 6은 BER 대 전송지연시간의 누적 95% 값을 나타낸다.

$BER \leq 1.0 \times 10^{-3}$ 의 범위에서는 a 그룹, b 그룹 모두 지연 시간에 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 한편, a 그룹에서는 $BER > 1.0 \times 10^{-2}$, b 그룹에서는

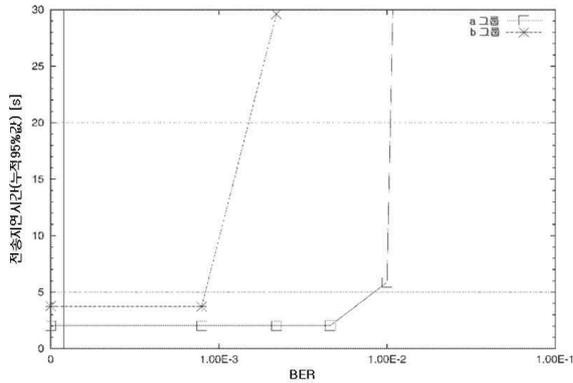


그림 6. BER 대 전송지연시간 (95% 값)
Fig. 6. BER vs transmission delay time(95% value).

BER > 1.0 × 10⁻³ 의 범위에서 지연 시간이 급격히 확대되고 있음을 알 수 있다.

BER에 대한 throughput의 결과를 그림 7에 나타낸다.

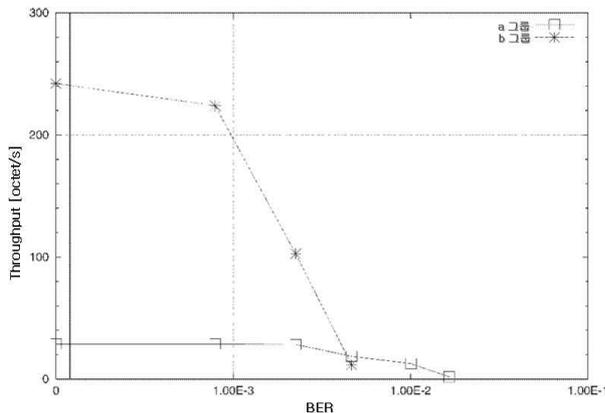


그림 7. BER 대 throughput
Fig. 7. BER vs throughput.

여기서 throughput S_d 는 하나의 시나리오 실험 시간 (T_s) 내에 전송된 전체 down link 사용자 데이터 량 (U_d)에 의해 $S_d = U_d / T_s$ 로 구해진다. 전송지연시간과 마찬가지로 BER ≤ 1.0 × 10⁻³ 의 범위에서는 a 그룹, b 그룹의 각 throughput 모두 저하하지 않음을 알 수 있다.

down link에서 V/D 버스트와 M 버스트의 재전송 비율을 그림 8에 나타낸다.

V/D 버스트와 M 버스트에서는 버스트 길이도 에러 정정 부호도 다르기 때문에, 동일한 BER일지라도 M 버스트는 V/D 버스트에 비해 재전송 발생 확

률이 상당히 낮음을 알 수 있다.

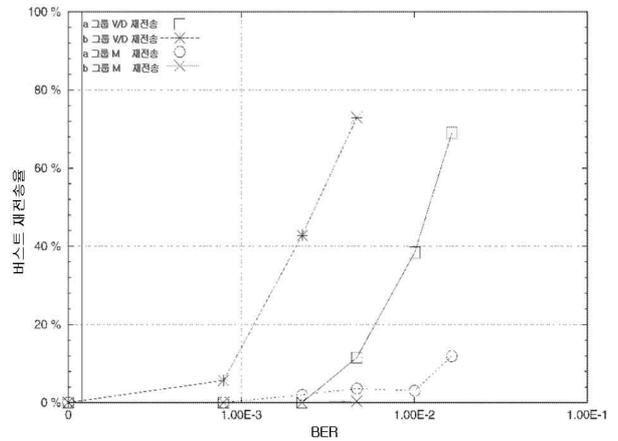


그림 8. BER 대 down link 버스트 재전송 비율
Fig. 8. BER vs down link burst re-transmission rate.

또한 그림 6, 7과 비교하면 a 그룹, b 그룹 모두 V/D 버스트의 재전송율이 10% 이하인 경우에는 재전송에 의한 지연 시간의 증대 및 down link throughput의 저하는 거의 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.

3-2 우선도(priority) 성능

여기서는 기상국 3국이 데이터를 송신할 때 통신 우선도(priority) 성능을 도출하였다. 측정에서는 통신 우선도, 기상국 송신 대기 시간 및 기상국에서의 송신 데이터 길이가 서로 다른 시나리오를 표 4와 같이 작성하였다.

우선도 특성 측정 계통도를 그림 9에 나타낸다. BER 특성과 마찬가지로 기상국에서는 사용자 데이터 길이 930 octet의 broadcast 데이터를 반복해서 송신하였다. 채널 점유율을 변화시키기 위해 송신 대기 시간은 1~3s의 범위로 설정하였다. 시나리오는 각 기상국에서 사용자 데이터 길이 62 octet 또는 930 octet을 각각 100회 송신시키는 설정으로 한 다음에, 어느 기상국에서 사용자 데이터가 100회 송신 완료한 시점에서 종료하였다. BER 특성 측정과 마찬가지로 표 안의 사용자 데이터 길이 62 octet의 시나리오를 c 그룹, 930 octet의 시나리오를 d 그룹으로 하여 구별한다.

표 4. 우선도 특성 시나리오

Table 4. Priority characteristic scenario.

시나리오 번호	지상국 송신 대기 시간[s]	데이터 길이 [octet]	우선도 AIR1	우선도 AIR2	우선도 AIR3
c-1	1.0	62	0	0	0
c-2	1.5	62	0	0	0
c-3	2.0	62	0	0	0
c-4	2.5	62	0	0	0
c-5	3.0	62	0	0	0
c-6	1.0	62	0	1	2
c-7	1.5	62	0	1	2
c-8	2.0	62	0	1	2
c-9	2.5	62	0	1	2
c-10	3.0	62	0	1	2
d-1	1.0	930	0	0	0
d-2	1.5	930	0	0	0
d-3	2.0	930	0	0	0
d-4	2.5	930	0	0	0
d-5	3.0	930	0	0	0
d-6	1.0	930	0	1	2
d-7	1.5	930	0	1	2
d-8	2.0	930	0	1	2
d-9	2.5	930	0	1	2
d-10	3.0	930	0	1	2

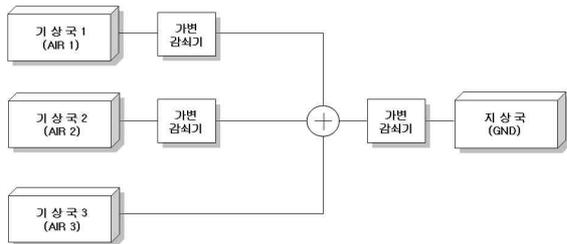


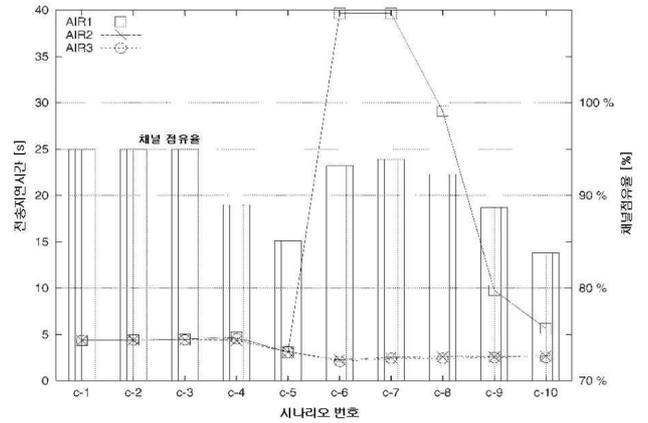
그림 9. 우선도 특성 측정 계통도

Fig. 9. Block diagram of priority characteristic measurement.

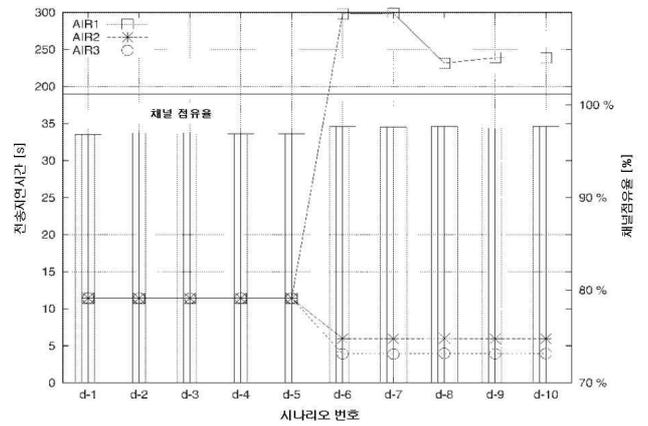
우선도 성능을 측정한 결과는 그림 10과 같다.

일반적인 경향으로 c 그룹, d 그룹 어느 시나리오에서도 기상국의 우선도가 동일하다면 각 기상국에서의 down link 전송지연시간에 차이는 발견되지 않지만, 우선도에 차이가 있으면 우선도가 낮은 데이터만큼 지연시간이 크게 되었다. c 그룹에서는 우선도를 바꾸고 있는 c-6~10에서 채널 점유율이 높을수록 가장 우선도가 낮은 기상국의 지연시간이 늘어나는 경향이 나타났다.

한편, d 그룹에서는 어느 시나리오에서도 채널 점유율이 거의 일정하게 되어 지연시간과의 명확한 상관관계가 얻어지지 않았다.



(a) 시나리오 c 그룹



(b) 시나리오 d 그룹

그림 10. 우선도 성능

Fig. 10. Priority performance.

여기서 채널 점유율은 하나의 시나리오 실험 시간 (T_s) 내에서 사용된 V/D 버스트 수를 T_s 내의 전체 버스트 수로 나눈 값이다. 이번 측정의 d 그룹처럼 송신 대기 시간을 변화시킬지라도 채널 점유율이 거의 변하지 않는 이유는 up link의 송신 대기 시간 중에 이루어진 down link의 전송량이 매우 많아서 양쪽 링크에서 거의 모든 V/D 버스트를 채워 버리기 때문이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 VDL 모드 3 시스템의 BER, 전송지연시간, 버스트 재전송율, 그리고 throughput에 대한 성능을 분석하였다.

성능 분석 결과, BER과 전송지연시간, throughput, 버스트 재전송율의 관계를 명확히 정의할 수 있었다.

그리고 down link에서 V/D 재전송율과 throughput에 강한 상관이 있음이 판명되었다.

a 그룹에서는 $BER > 1.0 \times 10^{-2}$, b 그룹에서는 $BER > 1.0 \times 10^{-3}$ 의 범위에서 지연 시간이 급격히 확대되고 있음을 알 수 있었다. 그리고 $BER \leq 1.0 \times 10^{-3}$ 의 범위에서는 a 그룹, b 그룹의 각 throughput 모두 저하하지 않음을 알 수 있었다. 그리고 샘플 점이 a 그룹에서 6점, b 그룹에서 4점이 적었지만, 각각 -0.98, -1.0의 매우 강한 부(-)의 상관이 있었다. 이것은 V/D 버스트의 재전송이 발생하면 재전송 대기 시간을 포함한 그 재전송 양만큼 신규 데이터를 전송할 수 있는 버스트 수가 감소하여 down link throughput이 저하한다는 것으로 판단할 수 있었다.

한편, 어느 시나리오에서도 기상국의 우선도가 동일하다면 각 기상국에서의 down link 전송지연시간에 차이는 발견되지 않지만, 우선도에 차이가 있으면 우선도가 낮은 데이터만큼 지연시간이 크게 됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] ICAO, "VHF air-ground digital link (VDL)," International Standards and Recommended Practices, Annex 10, Volume III, Part I, Chap. 6, 2000.
- [2] ICAO, "Manual on VDL mode 3," Doc 9805, 2002.
- [3] AMCP/the 9th working group B meeting report, bretigny, France, 2000. Jul.
- [4] ITU, "Methods for subjective determination of transmission quality," ITU-T Recommendation P. 800, 1996.
- [5] RTCA, "Signal-in-space minimum aviation system performance standards for advanced VHF digital data communications including compatibility with digital voice techniques," RTCA DO-224A, Chap. 2.0, 2000.

배 중 원 (裴重元)



1995년 2월 : 한양대학교 제어계측 공학과(공학사)

1997년 2월 : 한양대학교 대학원 제어계측공학과(공학석사)

1997년 2월~2004년 2월 : 한국항공우주산업(주)

2004년 3월~현재 : 한국항공우주

연구원 선임연구원

관심분야 : 항공통신, CNS/ATM

남 기 욱 (南基旭)



1983년 2월 : 한국항공대학교 항공운항과(공학사)

1988년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공운항과(공학석사)

1996년 6월 : Cranfield Univ. 항공공학과(공학박사)

1988년 6월~1989년 8월 : 한국과학기술연구원 연구원

1989년 9월~1992년 7월 : 한국항공우주연구소 선임연구원

1996년 12월~현재 : 한국항공우주연구원 책임연구원/항행체계그룹장

관심분야 : 항공안전, 시뮬레이터, CNS/ATM

곽 재 민 (郭宰旻)



1998년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)

1999년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)

2002년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학박사)

2002년 7월~2003년 7월 : 한국전

자 통신연구원 네트워크연구소 Post. doc.

2003년 7월~현재 : 전자부품연구원 SoC 연구센터 선임연구원

관심분야 : 이동통신, 무선랜, UWB

박 기 식 (朴機植)



1991년 2월 : 한국항공대학교 항공
통신정보공학과(공학사)

1996년 8월 : 한국항공대학교 대학
원 항공통신정보공학과(공학석사)

2000년 2월 : 한국항공대학교 대학
원 항공통신정보공학과(공학박사)

2001년 3월~현재 : 인하공업전문

대학 정보통신과 조교수

관심분야 : 이동통신, 무선통신

조 성 언 (趙誠彦)



1989년 2월 : 한국항공대학교 항공
통신정보공학과(공학사)

1991년 8월 : 한국항공대학교 대학
원 항공통신정보공학과(공학석사)

1997년 2월 : 한국항공대학교 대학
원 항공전자공학과(공학박사)

1997년 3월~현 재 : 순천대학교 정

보통신공학부 부교수

관심분야 : 무선통신시스템, Wireless USN