

# 항공용 이동 무선 데이터 통신에 적합한 매체접속제어 프로토콜에 관한 연구

正會員 李 垠 周\*, 朴 孝 達\*

## A Study on the MAC Protocol for an Aeronautical Mobile Data Communication

Eun Joo Lee\*, Hyo Dal Park\* *Regular Members*

### 요 약

현재 항공기에서 사용중인 ACARS의 항공기국과 지상 통신국 사이의 MAC 프로토콜인 CSMA는 고정 터미널 라디오 통신이나 유선 LAN에서는 적합하지만 무선 이동 라디오 환경에는 부적합한 면이 있다. 본 논문에서는 이 문제의 해결을 위해 제안된 ICMA/CD를 살펴보고 이를 개선하기 위하여 별도의 제어 채널을 두지 않고 제어 신호를 메시지 신호에 삽입시키는 변형된 ICMA/CD를 제안하고 이의 성능을 분석한 후 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 결과적으로 변형된 ICMA/CD는 CSMA의 성능을 저하시키는 잠복 터미널 문제를 해결하는 것과 동시에 ICMA/CD의 성능을 저하시키는 패킷 감지 지연 시간이 제거되므로 유선통신에서 사용되는 CSMA/CD와 같은 좋은 채널 효율을 얻을 수 있다는 결론을 얻었다. 따라서, 이 결과는 변형된 ICMA/CD 프로토콜이 항공통신에서 사용하기에 적합하다는 것을 보여준다.

### ABSTRACT

Media access control(MAC) protocol that is used between aircraft and ground station now is non-persistent CSMA protocol, but this protocol has defects to apply in the wireless mobile radio communication environment.

In this paper, to solve this Problems, the modified ICMA/CD protocol which can be applied in the wireless environment was proposed and analyzed. In the modified ICMA/CD protocol, instead of using special control channel, control signal was inserted into the uplink message. After the analysis, simulation was performed to approve the analysis results. As a results, modified ICMA/CD protocol can solve the hidden terminal effect of CSMA protocol and packet detection delay time problem of ICMA/CD protocol and acquired the same channel throughput as CSMA/CD protocol.

This result shows the modified ICMA/CD protocol can be used in the aeronautical telecommunication.

\*仁荷大學校 電子工學科  
論文番號:96344-1105  
接受日字:1996年 11月 5日

## I. 서 론

과거에는 교통수단으로 항공기 이용이 널리 사용되지 않았으나, 오늘날 교통수단으로 항공기 이용이 크게 늘고 있다. 그러나, 이러한 추세에 비해 현재의 항공시설로는 수용 능력면, 안전 확보면에서 한계에 이르고 있다. 이에 대체방안으로 기존의 항공기 운항 지원과는 다른 개념으로 인공위성을 기반으로 한 새로운 개념의 통신, 항법, 감시 시스템을 항공기가 이용하여 운항할 수 있도록 하였다. 그리하여 현시설의 문제점인 통달거리의 제한, 정밀도 저하, 항공기 수용 능력 한계 등을 획기적으로 개선하였다. 2000년대 항공교통수요에 대체할 수 있도록 개발된 시스템인 CNS/ATM<sup>[1]</sup>은 21세기 항공교통수단으로 이용하기 위해 추진되고 있다. 항공이동통신 부분 중 VHF 주파수대를 이용한 데이터 통신은 기존의 음성통신을 이용하여 항공기와 지상간에 정보를 주고받던 것을 데이터화하여 정확하고 신속한 정보를 제공하는 것으로 주파수 이용효율을 높인다.

현재 항공용 VHF 데이터 통신에서 항공기와 지상국사이의 무선채널에 접속하기 위해 사용되는 MAC 프로토콜로<sup>[7][8][12][13][14]</sup> CSMA 프로토콜을 사용한다. 그러나 잠복터미널<sup>[9][11]</sup>이 문제가 되고, 이를 개선한 ICMA/CD<sup>[9][11]</sup>는 패킷감지 지연시간이 야기된다. 본 논문에서는 이동무선환경에서의 단점인 잠복터미널과 패킷감지 지연시간을 보완한 변형된 ICMA/CD 프로토콜을 제안하고 성능을 분석한 뒤 시뮬레이션 을 통해 검증하였다.

## II. 항공용 VHF 데이터통신 시스템

항공통신이란 항공기와 지상국, 지상국과 지상국 사이에 정보전달과 교환을 의미한다. 즉 항공기가 비행을 위한 준비단계로부터 목적지에 도착할 때까지 항공기가 안전하고 보다 경제적이고 효율적으로 운항시키기 위해 항공기 운항에 종사하는 국가간, 각 민간기관 상호간에, 지상과 항공기, 항공기 상호간에 각양각색의 정보교환이 필수적으로 요구되어진다.

초단파대의 전파를 사용하는 항공이동 무선통신은 항공교통관계 무선통신, 운항관리통신 등에 사용되며 가장 주요한 통신으로서의 역할을 하고 있다. 국

제적으로 ITU 및 ICAO 부속서 10에 의하면 사용자 주파수대는 117.975-137.000MHz를 권고하고 있다.

주파수 간격은 항공기가 증가함에 따라 통신량이 비약적으로 증가하는 것에 대비하여 채널 수를 확보하기 위하여 단계적으로 좁혀 왔으며, 주파수 대역폭을 기존의 50KHz에서 25KHz로 협소화 하는 방향으로 용량을 배로 확대하였다. 그러나 통신 혼잡문제를 완전히 해결할 수 없었다. 따라서, 대역폭을 12.5KHz로 감소하는 방안과 TDMA 방식을 사용하는 방안이 연구 중이다.<sup>[1][2][3]</sup>

항공분야에서는 송신되는 메시지의 대부분이 일정한 형식을 갖는 정보이므로 이들은 쉽게 데이터화할 수 있으며, 메시지 전송시간도 대폭 절약할 수가 있다. 그러므로 VHF 데이터 통신시스템은 주파수 채널을 증가시키지 않고도 여러 항공기와 지상 간에 각각 주어진 목적지로 통신하는 데이터 링크를 제공함으로써 혼잡문제를 해결할 수 있다.

데이터 통신을 이용함으로써 음성통신 횟수감소로 인한 조종사의 통신업무가 경감되고 OOOI를 위한 통신에서 기존의 음성통신에 비해 약 80% 통신량을 감소할 수 있게 된다는 보고도 있다.<sup>[1][2][3][4][5][6]</sup>

## III. MAC 프로토콜

다수의 항공기가 ACARS용으로 할당된 공동의 채널을 통하여 지상국에 접속하기 위해 경쟁하기 때문에 항공기 MU와 지상국 사이의 매체접속제어(MAC) 프로토콜은 랜덤 다중 접속 프로토콜이 적용된다.

이동통신에 적용되는 매체접속제어 프로토콜로는 ALOHA, CSMA, CSMA/CD, ICMA, ICMA/CD 등이 있다.

### 3.1 ALOHA와 Slotted ALOHA

ALOHA 프로토콜은 최초의 다중액세스 프로토콜이다. ALOHA 프로토콜은 공통채널에 전송하고, 감지하는 노드들에 의해 사용된다. 그림 1에서처럼 노드는 고정길이의 패킷을 전송한다. 동시에 두 개의 전송이 발생하면 그들은 서로를 왜곡시키는데 이런 경우를 패킷이 충돌하였다고 한다. 원래의 ALOHA 네트워크에서 중심노드는 수신한 올바른 패킷을 확인한다. 노드가 정해진 타임아웃 시간내에 확인응답

을 받지 못하면 패킷이 충돌한 것으로 가정한다. 패킷 충돌시 전송노드는 임의의 시간 지연 후 재전송을 계획한다.

ALOHA 프로토콜에는 slotted와 pure의 두가지 버전이 있다. pure ALOHA 프로토콜의 경우에 노드는 어느 때나 전송을 시작할 수 있지만, slotted ALOHA 프로토콜에서는 각 노드가 타임슬롯의 시작점에서만 전송을 시작해야 하며, 따라서 pure ALOHA 보다 효율이 높다.

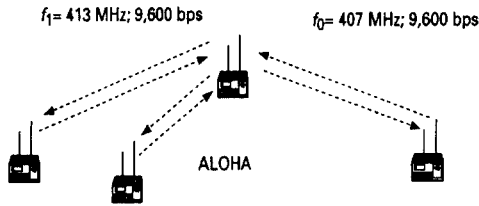


그림 1. ALOHA 네트워크

### 3.2 CSMA와 CSMA/CD

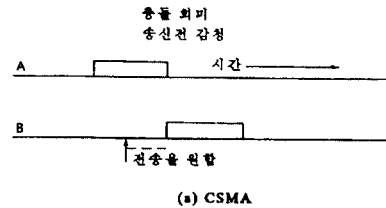
CSMA는 채널의 사용 여부에 관계없이 무조건 전송하는 방식인 ALOHA와는 달리 패킷을 보내기 전에 다른 항공기들이 채널을 사용하고 있는지를 감지한 후 채널이 휴지상태일 때 패킷을 전송하는 방법이다.

따라서, 전송이 성공할 확률이 높으며, 채널 효율이 상당히 높다. 그림 2에서와 같이 채널에 둘 이상의 항공기가 동시에 패킷을 송신했을 경우 패킷 충돌이 일어나며, 이때 각 항공기들은 랜덤 지연 후에 다시 재전송을 한다.

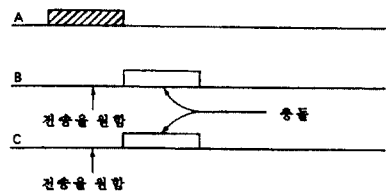
일반적으로 충돌이 발생하는 확률분포는 한 항공기에서 패킷전송이 완료된 직후에 충돌이 가장 많이 발생하게 된다. 이런 충돌을 막기 위해 ARINC 규격서 618에는 항공통신에서 non-persistent CSMA 방법의 사용을 제안하였다.

CSMA/CD 방식은 CSMA의 채널 효율을 개선하기 위한 방법으로 충돌을 감지하면 즉시 전송을 중단하는 방식이다. 두 터미널이 동시에 전송을 시작한 경우 거의 즉각적으로 충돌을 감지하게 되어 패킷전송이 모두 끝날 때까지 채널을 낭비하지 않고 충돌 감지 후 즉시 전송을 중단함으로써 시간과 대역을 절약

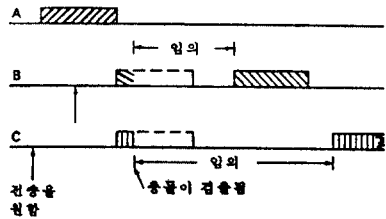
할 수 있다. 즉, CSMA/CD는 채널이 휴지상태일 때까지 기다렸다가 패킷을 전송하며 충돌이 발생했을 경우 이를 즉시 감지하여 패킷전송을 중단한다.



(a) CSMA



(b) CSMA에서의 충돌



(c) 충돌검출과 재전송

그림 2. CSMA/CD 프로토콜

그러나, 현재 항공용 VHF 데이터 통신에서는 잠복 터미널의 문제가 발생하는 단점이 있다. 잠복 터미널이란 이동 무선 환경에서 두 터미널 사이에 장애물이 존재하거나 상호간에서 서로 떨어져 있을 경우 캐리어를 감지할 수 없게 되는데, 이런 경우 한 터미널이 채널을 사용하고 있더라도 다른 터미널은 캐리어를 감지할 수 없어서 채널이 사용되고 있음에도 불구하고 채널이 사용되고 있지 않다고 판단하는 경우이다. 이런 경우 한 터미널이 채널을 사용중에 다른 터미널이 패킷을 전송할 경우 충돌이 발생하여 실제적인 채널 효율은 상당히 저하된다.

### 3.3 ICMA와 ICMA/CD

CSMA 프로토콜의 변형된 방법으로 앞에서 설명한 잠복 터미날의 문제를 해결하기 위하여 제안된 것이 ICMA 프로토콜이다.

ICMA 프로토콜에서 지상국은 만일 어떠한 터미날도 공대지 채널을 사용하지 않는다면 지대공 채널에 휴지 신호를 방송한다. 공대지 패킷의 검출 후에 휴지 신호는 전송 패킷으로부터 다른 터미날을 금지시키기 위해 비지 신호로 전환되어진다. 패킷이 수신되는 동안 지상국은 지대공 채널상에 비지 신호 전송을 유지한다. 공대지 패킷의 에러를 검출하고 휴지/비지 신호를 방송하는 것 외에 지상국은 여러개의 공대지 패킷과 방송 정지 신호 사이에서 충돌을 검출하고, 정지 신호를 보낸다. 공대지 채널의 낭비된 전송 기간이 짧아지고, 전송 충돌을 증지하는 방송 정지신호 때문에 ICMA/CD는 공대지 채널 효율이 증진시킬 수 있다.

ICMA/CD는 이동 다수 접속 프로토콜에 적합하다. 그러나 CSMA 프로토콜에 의해 발생하는 잠복터미날의 문제는 해결할 수 있지만 패킷 감지 지연 시간의 존재로 인하여 CSMA 보다 채널 효율이 떨어지며, 별도의 제어 채널을 가져야 한다는 단점이 있다.<sup>[9][10][11]</sup>

### 3.4 변형된 ICMA/CD

잠복 터미날의 문제와 패킷 감지 지연 시간의 문제를 해결하고, CSMA/CD와 같은 높은 채널 효율을 가지는 프로토콜을 적용시키기 위해 ICMA/CD를 변형시켜본다.

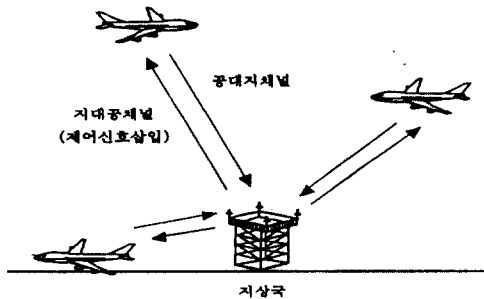


그림 3. 변형된 ICMA/CD 계획

### 3.4.1 변형된 ICMA/CD 계획

변형된 ICMA는 지상국에서 패킷화된 공대지 정보와 지대공 정보를 전송하기 위해 하나의 채널을 공유한다. IS 신호는 공유하는 채널이 휴지상태임을 나타내는 신호이다. 송신을 원하는 항공기는 반드시 IS 신호를 수신한 후에만 패킷을 전송할 수 있다. 지상국은 패킷을 성공적으로 전송했을 경우 응답으로 ACK(ISA)를 포함하는 휴지신호를 보낸다. 지상 변형된 ICMA/CD에서 지대공 및 공대지 트래픽은 동일한 대역폭을 분리시킨 채널에 의해 전송되며, 공대지 채널의 효과를 개선하고 충돌 검출 능력을 확장하기 위해 더 효과적인 제어 신호를 사용한다.

이 프로토콜에서 패킷은 작은 타임 슬롯으로 나뉘어진다. 슬롯의 길이는 지상국과 가장 먼 터미날 사이 항공기고도 50,000 feet 통달거리가 250NM 경우 3.5msec의 전파 지연의 시간과 하나의 IS를 보내기 위한 시간의 총합보다 더 길게 선택하여 패킷 감지 지연시간을 없앤다.

공대지 트래픽은 고정 길이를 가진 패킷으로 구성되어져 있고, 지대공 트래픽은 메시지와 제어신호로 구성되어 있다. 충돌 검출을 위한 CRC 코드는 각 공대지 패킷의 헤더 뒤에 추가되어져 있다. IS, ISA등에서와 같이 소수 비트의 개별적인 패턴을 가지고 있는 제어신호는 슬롯의 끝에 삽입되어져 있다.

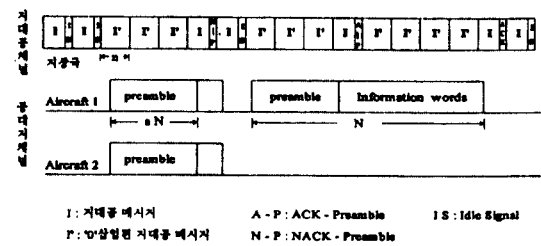


그림 4. 변형된 ICMA/CD의 전송 계획

위 그림 4는 터미날에 패킷이 발생했을 때, 버퍼에서는 패킷을 유지하고, 휴지신호 IS("11")를 기다린다. IS는 지대공 채널이 휴지일 때 지상국에 의해서 방송되어진다. 일단 슬롯의 맨 끝에 IS가 검출되면, 버퍼 안에 패킷을 가진 터미날은 전송을 시작한다. 채널상에 메시지가 감지되면 지상국은 IS 송신을 정

지하고, 프리엠블 신호의 CRC 코드 검사에 의해 지대공 채널상에 충돌이 있는지 아닌지를 감지한다. 만일 검사가 에러없이 통과된다면, 다음 슬롯의 끝단 프리엠블 신호상에 ACK-P("00")를 보낸다. 반대의 경우는 NACK-P("01")를 전송한다. ACK-P가 수신되면 터미널은 끝까지 패킷 전송을 계속한다. 이 경우 지상국은 메시지를 전부 수신한 다음 에러가 없으면, 다음 슬롯의 끝단에 ACK("1111")를 보내고, 에러가 있으면 NACK("11000") 신호를 보낸다. 반대로 만일 NACK-P가 수신되면, 충돌이 발생하였다는 것을 의미하며 터미널은 가능한 패킷 전송을 중단하고, 지상국은 지대공 채널상에 전송이 없다는 것을 감지한 후 다시 IS를 전송한다.

### 3.4.2 "0" 삽입 계획

지대공 메시지 중 슬롯의 최후의 두비트에 제어 신호가 아닌 "11"이 포함되어 있다면 이는 IS로 오인되어 다른 항공기들이 메시지를 전송하게 될 것이다. 이런 문제를 해결하기 위해 슬롯의 마지막 2비트중 첫 번째가 "1"이면 그 다음에 "0"을 삽입하고, 수신한 항공기들은 슬롯의 마지막 비트중에서 "1"다음에 나오는 "0"은 지워버린다.

### 3.4.3 재전송 계획

만일 항공기가 장애물에 의해 가려져 있거나 지상국으로부터 범위 밖이라면 무선 채널에 에러가 없더라도 수신이 불가능하게 된다. 이런 경우는 최대전송 허용수(i) 이후 재전송을 중지하도록 해야 한다.

재전송은 패킷 충돌에 의해 전송이 실패한 경우와 채널이 사용 중이라고 감지되어 재스케줄된 경우에 이루어진다. 그림 5는 항공기에 전송할 패킷이 발생

하여 최초의 접속 시도 후 채널이 사용중이라고 감지되거나 패킷충돌에 의해 계속 재전송이 이루어지다가, i번째 재전송에 의한 성공적인 전송을 나타낸다.

재전송 계획에 의해 전송이 지연된 트래픽의 존재로 인하여 한 슬롯당 실제 발생한 순수한 트래픽의 수와 재전송된 트래픽을 포함한 offered load 사이에는 차이가 생기게 된다.

실제적인 시스템에서 터미널은 허가되는 전송 최대수와 휴지상태를 초기화 하기위해 되돌릴 때와 액세스 시도를 재시도할 때, 사용자의 결정 후 재전송을 중단한다.

## IV. 성능분석 및 결과고찰

여기서는 변형된 ICMA/CD 프로토콜의 성능을 공대지 채널과 지대공 채널로 나누어 계산한 후, 이를 합해서 전체 채널의 성능을 분석하고, 이를 다른 MAC 프로토콜들과 비교한다.

### 4.1 공대지 채널의 성능 분석

공대지 채널에서 전송 준비가 된 항공기의 수는 일반적으로 Poisson 분포를 따른다고 볼 수 있다. Poisson 분포에서 k개의 패킷이 전송될 확률  $P_k$ 는 다음과 같다.

$$P_k = \frac{G^k e^{-G}}{k!} \quad (1)$$

G는 재전송된 트래픽까지 포함한 offered traffic이고 g는 슬롯당 실제 발생한 트래픽 수로 접속시도율을 나타낸다. 항공기에서 패킷단위로 메시지를 전송한다고 볼 때, 어떠한 항공기도 전송을 시도하지 않는 경우인 패킷 전송이 없을 확률은

$$P_0 = e^{-G} \quad (2)$$

이고, 하나의 항공기만 전송을 시도할 확률은

$$P_1 = G e^{-G} \quad (3)$$

이며, 둘 이상의 항공기가 전송을 시도할 확률은

$$1 - P_0 - P_1 \quad (4)$$

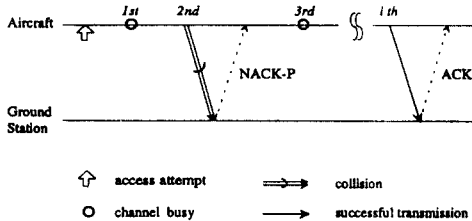


그림 5. 재전송 계획

이다. 따라서, 전송이 성공할 확률  $P_s$ 는 하나 이상의 항공기가 전송을 시도할 가능성중에서 단지 하나의 항공기만 전송을 시도한 경우로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_s = \frac{P_1}{1-P_0} \quad (5)$$

항공기가 지상국으로 보내는 공대지 메시지의 패킷 길이를  $N$ , 한 슬롯의 길이를  $n$ , 프리앰블의 길이를  $aN$ , 따라서 평균 전송 시간  $\bar{T}_p$ 는 전송을 성공한 경우의 시간과 충돌에 의해 전송을 실패한 경우의 시간을 합한 것과 같다.

$$\bar{T}_p = \frac{P_1}{1-P_0} (N+n) + \frac{1-P_0-P_1}{1-P_0} (aN+n) \quad (6)$$

공대지채널의 평균 채널 휴지 시간  $\bar{I}$ 는,

$$\bar{I} = (1-P_0) \sum_{i=0}^{\infty} P_0^i (ni) = \frac{P_0}{1-P_0} n \quad (7)$$

공대지 채널 효율  $S_d$ 은 평균 전송 시간과 채널의 평균 채널 휴지 시간 중에서 실제 메시지를 성공적으로 보내는데 걸리는 전송 시간의 비로 정의 될 수 있다. 분모에는 전송을 성공하는데 걸리는 시간에서 휴지 신호를 감지하는데 소비한 슬롯의 길이( $n$ )를 제외한 시간을 적용할 경우  $S_d$ 는,

$$S_d = \frac{P_s N}{\bar{T}_p + \bar{I}} = \frac{P_1 N}{n + P_1 N + (1-P_0 - P_1) aN} \quad (8)$$

이 식은 non-persistent CSMA/CD를 적용했을 때 얻을 수 있는 채널 효율과 동일한 결과식이다.<sup>[7]</sup>

#### 4.2 지대공 채널의 성능 분석

지대공 채널상으로는 항공 교통 서비스 정보가 끊임없이 전송된다고 가정했기 때문에 지대공채널의 효율은 공대지 채널의 효율보다 상대적으로 높은 값을 가진다.

지대공 채널의 효율을 계산하기 위해서는 메시지 속에 삽입된 제어 신호와 "0" 삽입 계획에 의해 삽입된 "0"을 제외한 실질적인 메시지 길이를 구해야 한다.

공대지채널이 사용되고 있지 않을 때 지대공 메시지속에는 슬롯당 IS용으로 2비트가 사용되므로 제어

신호를 제외한 실제적인 평균 메시지 길이  $I_u$ 는 다음 식과 같다.

$$I_u = \frac{P_0}{1-P_0} (n-2) \quad (9)$$

공대지 채널이 사용 중일 때 슬롯의 끝에서 2번째 비트가 "1"이면, 제어 신호와의 혼동을 막기위해 "0"을 삽입하며, 이 비트가 "1"일 확률은 0.5이므로 평균 2 슬롯당 1번 "0"삽입이 이루어진다.

공대지 패킷의 전송이 성공했을 경우 지대공 채널 상에는 2 슬롯에서 ACK-P와 ACK용으로 5비트가 사용되며, 나머지  $N/n-3$ 개의 슬롯에서 "0"삽입이 적용된다. 따라서 이때의 메시지 평균 길이는 다음과 같다.

$$T_{su} = \frac{P_1}{1-P_0} [N - \frac{1}{2} (\frac{N}{n} - 3) - 5] \quad (10)$$

공대지 패킷의 전송이 실패했을 경우, 지대공 채널 상에는 1 슬롯에서 NACK-P용으로 2비트가 사용되고, 나머지  $aN/n-1$ 개의 슬롯에 "0"삽입이 적용된다. 따라서 이때의 메시지 평균 길이는 다음 식과 같다.

$$T_{fu} = \frac{1-P_0-P_1}{1-P_0} [aN - \frac{1}{2} (\frac{aN}{n} - 1) - 2] \quad (11)$$

따라서, 지대공채널의 효율  $S_u$ 는 식 8, 식 9, 식 10에 의해 다음과 같다.

$$S_u = \frac{(n - \frac{1}{2})P_0 - 2.5P_1 - \frac{3}{2} + (1 - \frac{1}{2n})(P_1 N + aN(1-P_0-P_1))}{n + NP_1 + aN(1-P_0-P_1)} \quad (12)$$

#### 4.3 결과 분석

여기서는 앞의 식들을 이용하여 변형된 ICMA/CD 프로토콜을 적용했을 때의 채널 효율과 몇 가지 파라미터 변화가 채널 효율에 미치는 영향 등을 살펴보고록 한다.

사용된 파라미터는 전체 트래픽 발생률  $G$ , 실제 트래픽 발생률  $g$ , 패킷 전체 길이  $N$ , 한 슬롯의 길이  $n$ , 프리앰블 길이  $aN$ , 패킷 감지 지연 시간  $D$ , 최대전송 허용수  $t$  등이다.  $S_d$ 는 공대지채널의 효율을 나타내고,  $S_u$ 는 지대공채널의 효율을 나타내며, 전체 대역의

채널 효율  $S = 0.5 S_d + 0.5 S_u$ 가 된다.

그림 6은 패킷 길이를 슬롯 길이의 100배로 하고, 프리앰블 길이를 패킷의 10%로 하였을 때( $n=10, N=1000, a=0.1$ ), CSMA, CSMA/CD(non-persistent 적용), ICMA/CD 그리고 변형된 ICMA/CD 프로토콜의 공대지채널에서의 채널 효율을 비교한 그래프이다.

그림에서 변형된 ICMA/CD 프로토콜의 성능은 슬롯형 non-persistent CSMA/CD를 적용했을 때와 동일한 채널 효율을 가짐을 알 수 있다.

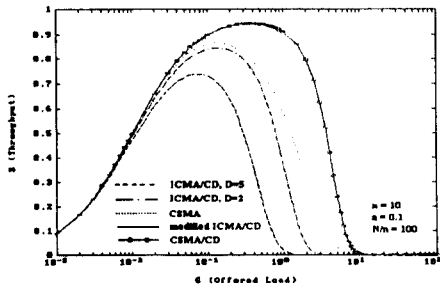


그림 6. 변형된 ICMA/CD의 공대지채널 효율

그림 7은 패킷 길이를 슬롯 길이의 100배로 하고( $n=16, N=1600$ ), 프리앰블 길이를 패킷의 5%, 10%, 20%로 변화시키면서( $a=0.05, 0.1, 0.2$ ) 변형된 ICMA/CD를 적용시켰을 경우, 공대지 채널과 지대공 채널, 전체 채널 등의 효율을 각각 나타낸 것이다.

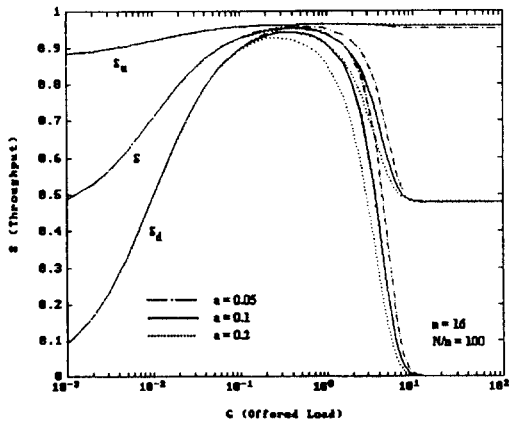


그림 7. 프리앰블 길이 변화에 따른 채널 효율

위 그래프에서 프리앰블의 길이가 길어질수록 공대지 채널의 효율은 떨어지지만, 지대공 채널의 효율은 이에 관계없음을 볼 수 있다. 즉, 공대지채널에서 프리앰블의 길이는 작게 하면 그만큼 패킷 충돌 감지를 빨리 할 수 있어서 전체적으로 채널 효율이 향상됨을 알 수 있다.

그림 8은 패킷 길이를 슬롯 길이의 100배로 하고, 프리앰블 길이를 패킷 길이의 10%로 하였을 때( $N/n=100, a=0.1$ ) 슬롯 길이 n의 변화( $n=8, 16, 32$ )에 따른 채널 효율을 나타낸 것이다.

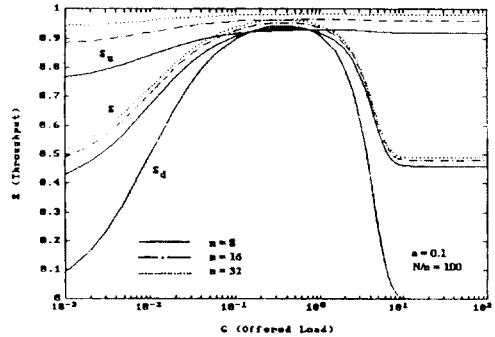


그림 8. 슬롯 길이의 변화에 따른 채널 효율

그래프에서  $N/n=100, a=0.1$ 로 일정하기 때문에 n에 상관없이 공대지채널 효율은 거의 동일한 값을 가진다. 하지만 지대공채널의 경우  $S_u$ 는 슬롯 길이가 길수록 IS용으로 삽입된 2비트의 제어 신호가 채널 효율에 영향을 덜 미치기 때문에 효율이 증가함을 볼 수 있다.

따라서, 높은 채널 효율을 얻으려면 a와  $N/n$ 이 고정되어 있을 경우 한 슬롯의 길이는 크게 하는 것이 좋다.

## V. 모의실험 및 결과

본장에서는 4장에서 계산한 성능 결과와 항공 통신 실제 환경에 변형된 ICMA/CD 프로토콜을 적용해서 얻은 모의 실험 결과를 비교하여 성능 해석 결과를 검증하고, 실제 항공 통신에 변형된 ICMA/CD 프로토콜을 적용할 수 있는가에 대해 알아본다.

### 5.1 모의실험 수행 계획

모의실험한 시스템은 무한 크기의 버퍼를 가진 M개의 항공기와 1개의 지구국 사이에 슬롯당 발생률 p를 가지고 전송할 메시지가 있을 때는 1, 전송할 메시지가 없는 경우 0 값을 갖도록 한 bernoulli 랜덤 프로세스에 따라 메시지를 전송한다고 가정하였다.

4장의 성능 해석에서는 poisson 랜덤 프로세스에 따라 메시지가 도착한다고 가정하였는데 bernoulli 랜덤 프로세스는 슬롯별로 구분된 이산시간 모델에서는 poisson 랜덤 프로세스와 유사한 해석이 된다. 또한 패킷의 에러 발생은 같은 슬롯에 도착한 다른 패킷과의 충돌에 의해서만 발생하고, 채널에 의한 비트에러와 페이딩에 의한 에러는 없는 것으로 가정하였다.

항공기와 지상국은 메시지를 패킷형태로 보내고, 한 패킷의 길이는 1600 비트, 한 슬롯의 길이는 16 비트, 패킷당 슬롯 수는 100개, 프리앰블의 길이는 현재 ACARS 메시지중 본문(Text)부분을 제외한 길이인 한 패킷의 19%로 가정하였다.

모의실험 시간은 100,000~300,000 타임 슬롯이상으로 결과치에 대한 신뢰성을 높였으며, 패킷 충돌에 의한 재전송은 최대 10번까지로 제한하였다. 4장에서 재전송을 포함한 전송횟수(G)를 이용하여 성능 해석을 했기 때문에, 여기서도 패킷발생률과 항공기수 및 재전송을 모두 고려한 전체 패킷 발생수(G)를 이용하여 같은 조건으로 실험하였다. 다음 표 5.1은 모의 실험 파라미터를 나타낸다.

표 1. 모의실험 파라미터

시뮬레이션 언어	윈도우즈용 볼랜드 C++
시뮬레이션 시간	100,000~300,000 time slots
버퍼 크기	무한대
항공기 수 (M)	300 대 이상
패킷 발생 프로세스	Bernoulli 프로세스
패킷 발생률 (p=g/M)	0.00001~1.0
패킷 길이	1600 비트
패킷당 슬롯 수	100 slots/packets
슬롯 길이	16 비트
프리앰블 길이	패킷 길이의 19%
재전송 횟수	10 번

### 5.2 모의실험 수행 결과

모의실험 수행결과와는 다음 그림 6과 같다.

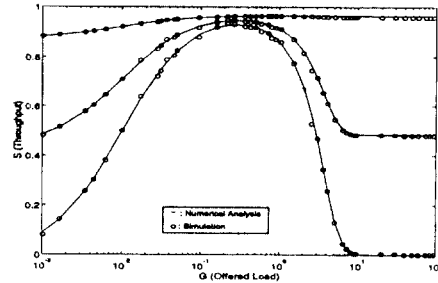


그림 9. 모의실험 결과 (N = 1600, n = 16, a = 0.19)

그림에서 보는 바와 같이 모의실험 결과는 4장의 성능 해석결과와 거의 동일함을 알 수 있다. 즉 변형된 ICMA/CD 프로토콜을 실제 항공 통신 환경에 적용했을 때 유선데이터 통신에서 사용되는 CSMA/CD 프로토콜의 성능과 동일한 채널효율을 얻을 수 있었다. 따라서, 현재 항공 무선 통신에서 사용되는 non-persistent CSMA 프로토콜 대신에 변형된 ICMA/CD 프로토콜을 사용하면 채널 효율을 대폭 향상시킬 수 있을 것이다.

## VI. 결 론

급증하는 항공교통량에 대처하기 위해 항공기와 지상국 사이에 사용될 VHF 데이터 통신을 위한 MAC 프로토콜로써 변형된 ICMA/CD를 제시하고 이의 성능을 분석한 후 모의실험을 통해 검증하였다.

성능분석 및 모의실험 결과, 변형된 ICMA/CD는 별도의 제어 채널을 두지 않고 지대공 메시지중에 제어 비트를 삽입하여 CSMA 프로토콜의 성능을 저하시키는 잠복 터미날의 문제를 해결할 수 있고, ICMA 프로토콜의 성능을 저하시키는 패킷감지 지연시간을 동시에 제거시킴으로써 유선데이터 통신에서 가장 좋은 효율을 갖는 CSMA/CD와 동일한 채널효율을 가짐을 알 수 있었다.

따라서, 변형된 ICMA/CD를 현재 사용중인 non-persistent CSMA를 대신해서 사용할 경우 증가하는 항공교통수요에 대처할 수 있으리라 생각된다.



앞으로 무선환경에서의 다중 경로에 의한 페이딩이 나 신호감쇠 등의 문제에 대한 연구도 필요할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. 박효달, 김종철, 위성 항행 시스템(FANS) 도입 방안 연구, 교통개발연구원, Dec. 1993.
2. 박효달, VHF 데이터 링크 운용 평가 및 국내 구축 방안. 한국공항공단, Dec. 1995.
3. Air-Ground Character-Oriented Protocol: ARINC characteristics 618, AEEC, Sep. 1994.
4. Data Link Ground System Standard and Interface Specification: ARINC characteristics 620, AEEC, Sep. 1994.
5. ATS Data Link Application over ACARS Air-Ground Network: ARINC characteristics 622, AEEC, Sep. 1994.
6. Character-Oriented Air Traffic Service(ATS) Application: ARINC characteristics 623, AEEC, Sep. 1994.
7. F. A. Tobagi, V. B. Hunt, "Performance analysis of carrier sense multipleaccess with collision detection", Proc. Local Area Communication Network Symp., pp. 245-259, May. 1979.
8. F. A. Tobagi, "Multiaccess Protocols in Packet Communication Systems", IEEE Trans. Com., pp. 468-488, Apr. 1980.
9. A. Murase, K. Imamura, "Idle-Signal Casting Multiple Access with Collision Detection(ICMA-CD) for Land Mobile Radio", IEEE Trans. Veh. Tech., pp. 45-50, May. 1987.
10. K. C. Chua, "A variant of the CSMA protocol suitable for a mobile radio LAN", GLOBECOM'92, pp. 1354-1358, 1992.
11. G. Wu, K. Mukumoto, A. Fukuda, "Slotted ISMA/CD for two-way centralized wireless communication networks", ICC'93, pp. 995-999, 1993.
12. Jean Walrand, Communication Networks: A First Course, Dec. 1991.
13. O. Andrisano, G. Grandi, C. Raffaelli, "Analytical Model of Busy Channel Multiple Access

(BCMA) for Packet Radio Network in a Local Environment", IEEE Trans. Veh. Tech., pp. 299-307, Nov. 1990.

14. Hidetoshi Kayama, Takeshi Hattori, Hiroshi Yoshida, "Adaptive Control for Random Access Traffic in Mobile Radio Systems", IEEE Trans. Veh. Tech., pp. 87-93, Feb. 1993
15. Alberto Leon-Garcia, Probability and Random Processes for Electrical Engineering: Second Edition, 1995.

### 〈감사의 글〉

본 논문은 인하대학교 교내 연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 학교당국에 감사드립니다.



李 垠 周(Lee Eun Joo) 正會員  
 1968年 6月 24日 生  
 1993年 2月: 京畿大學校 電子工學科 學士  
 1996年 8月: 仁荷大學校 産業技術大學院 電子工學科 碩士  
 1996년~現在: 仁荷工業專門大學 電子科 講士

※主關心分野: 프로토콜 설계



朴 孝 達(Park Hyo Dal) 正會員  
 1978年: 仁荷大學校 電子工學科 學士  
 1987年: (불)국립항공우주대학 電子工學科 博士  
 1992年~현재: 仁荷大學校 工科大學 電子工學科 助教