

# IEEE 802.11a 무선 LAN의 MAC 계층 DCF 처리율 분석

정진욱<sup>†</sup>, 하은실<sup>\*\*</sup>, 이하철<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN의 MAC(Medium Access Control) 계층에서 DCF(Distributed Coordination Function) 프로토콜의 처리율을 트래픽 량 및 MSDU(MAC SDU) 크기 측면에서 분석하였다. IEEE 802.11a에서 필수사항으로 권고하고 있는 6, 12, 24Mbps와 최대속도인 54Mbps급에 대하여 검토한 결과 전송속도가 작을 수록 처리율이 우수하며 MSDU의 크기가 클수록 처리율이 증가한다는 것을 알 수 있고 MSDU의 크기를 일정하게 할 때 처리율이 최대가 되는 최적 트래픽 양이 구해질 수 있음을 확인하였다.

## DCF Throughput Analysis of the MAC Layer in the IEEE 802.11 Wireless LAN

Jin-Wook Jung<sup>†</sup>, Eun-Sil Ha<sup>\*\*</sup>, Ha-Chul Lee<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

This paper explores the throughput of DCF protocol with both the traffic intensity and MSDU size at the MAC layer in the 802.11a wireless LAN. By exploring the throughput of DCF protocol with the data rate of 6Mbps, 12 Mbps, 24 Mbps and 54 Mbps, we find the fact that the less the data rate be, the higher the throughput be. We also find, from the throughput calculation by means of traffic intensity and MSDU size, that the longer the MSDU size is, the higher the throughput is. We also found the traffic intensity that the throughput is at the maximum point with the fixed MSDU size.

**Key words:** WLAN(무선랜), MAC, OFDM, DCF(분산 조정 기능)

## 1. 서 론

LAN의 정의는 매우 다양하며 각각의 정의에 따라 약간의 차이점이 있지만 일반적으로 큰 건물이나 지리적으로 한정된 거리에서 고속으로 데이터를 교환할 수 있는 통신망을 말한다. LAN은 1970년대 후반에 발명되어 통신의 환경을 급격하게 발전시키고 인터넷의 확산에 크게 기여하였다. 유선LAN의 경우 전송매체로 꼬임선, 동축케이블 및 광섬유를 이용하

며 매체접근제어방식으로 IEEE 802.3의 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)와 IEEE 802.4 및 802.5의 토큰제어방식을 이용한다. 전송속도 차원에서 10 Mbps 및 100 Mbps의 전송속도를 제공하는 Ethernet LAN은 이미 상용화되어 널리 사용되고 있으며 최근에는 1 Gbps 및 10 Gbps급의 LAN이 개발되어 상용화되고 있다. 무선 LAN은 11 Mbps의 전송률을 지원하는 표준 규격(IEEE 802. 11b)의 완성과 이에 따른 저가의 관련

※ 교신저자(Corresponding Author): 하은실, 주소: 서울특별시 종로구 명륜동3가(110-745), 전화: (02)2642-5220, E-mail: ltcare@empal.com

접수일: 2004년 8월 5일, 완료일: 2004년 11월 22일

<sup>†</sup> 정회원, 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수

(E-mail: jwchung@songgang.skku.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> 정회원, 성균관대학교 대학원 전기.전자 컴퓨터 공학부 박사과정

<sup>\*\*\*</sup> 유한대학 정보통신과 부교수

(E-mail: hclee@yuhan.ac.kr)

장치 개발, 그리고 휴대형 PC 및 PDA의 보급 확대 등에 따라 최근 관련시장이 큰 폭으로 성장하고 있으며, 또한 최대 54Mbps의 전송률을 지원하는 5GHz 대역의 차세대 무선 LAN(IEEE 802.11a)의 이용도 점차 활발해질 것으로 예상된다[1-3]. 현재 무선 LAN과 관련하여 최근 국내외 유무선 사업자들은 회의장, 공항, 호텔, 카페 등 이용자가 밀집되어 있는 핫스팟 지역에서 무선 LAN 기술을 이용한 고속 무선 인터넷 서비스 사업을 시작하거나 준비 중에 있으며, 또한 무선 LAN을 맥내 무선망으로도 활용하고 있다. 이와 같이 무선 LAN은 유선 LAN을 대체한다는 기존의 이용 개념을 넘어 공중 무선망과 맥내 무선망 등으로 그 영역을 확대하기 시작하였으며, 또한 이동통신망과 점차 높은 수준으로 연동되어 이중모드 단말을 소지한 사용자는 핫스팟 지역에서는 고속의 무선 LAN에 접속하고, 그 지역을 벗어나게 되면 자동적으로 전국적인 커버리지를 갖는 이동통신망에 접속할 수 있도록 하고 있다. 이러한 환경이 성숙되면 궁극적으로 하나의 단말을 가지고 가정, 사무실, 학교, 호텔, 공항 등 장소에 관계없이 고속의 무선 인터넷 서비스를 이용할 수 있게 될 것이다. 그리고 무선 LAN 단말이 AP(Access Point)를 이용하여 유선 LAN 또는 공중 셀룰러망에 접속됨으로서 유선 LAN에 접속되어 있는 서버는 물론 인터넷에 접속되어 있는 서버를 액세스하는 형태로 활용되고 있다. 이렇게 무선 LAN이 활발하게 사용되고 있는데 반해 최대 전송속도는 표준화 문서에서 언급되고 있지만 이용자가 체감하는 전송속도는 최대 전송속도에 못 미치고 있다. 이러한 점에서 일부 논문에서는 패킷 발생률에 따른 처리율을 1 Mbps급 IEEE 802.11 무선 LAN에 대해서 분석하였지만 IEEE 802.11a 무선 LAN에 대해서는 분석되어 있지 않다[4]. 또 다른 논문에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN에서 MSDU 크기에 따른 처리율이 계속 증가하는 것으로 분석되었지만 이는 패킷발생율을 고려하지 않은 것에 기인한다

[5,6]. 이러한 배경에서 본 논문에서는 2장에서 IEEE 802.11a 무선 LAN이 유선 LAN에 접속되는 환경의 프로토콜 계층구조에 대하여 살펴보고 3장에서 IEEE 802.11a 무선 LAN의 MAC 계층에서 사용되는 DCF 프로토콜의 동작을 살펴보았으며 4장에서는 3장에서 분석한 내용을 바탕으로 DCF 프로토콜의 처리율을 MSDU 크기와 패킷발생율 측면에서 수식적으로 유도하여 시뮬레이션을 통해 분석하였으며 5장에서는 내용요약과 함께 향후 연구방향에 대하여 언급하였다.

## 2. 유무선 LAN 접속구조

무선 LAN은 LAN케이블을 대체하거나 혹은 보다 유연하게 확장할 수 있는 데이터 통신 시스템으로, RF(Radio Frequency)기술을 이용해 케이블 없이도 데이터를 주고 받을 수 있는 기술이다. 즉 케이블에 구축되지 않고도 이더넷이나 토큰링과 같은 전통적인 LAN 기술의 모든 장점과 기능들을 그대로 제공할 수 있다. 그림 1은 무선 LAN이 유선 LAN에 접속되는 구조를 나타내며 AP(Access Point)가 802.11 프로토콜을 802.3 프로토콜로 변환하는 역할을 한다.

그림 2는 IEEE 802.11에서 제시하고 있는 물리계

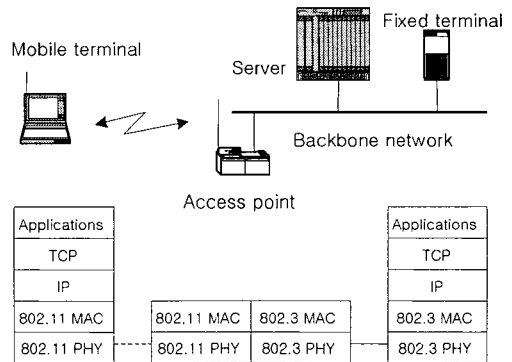


그림 1. 무선 LAN과 유선 LAN의 접속구조

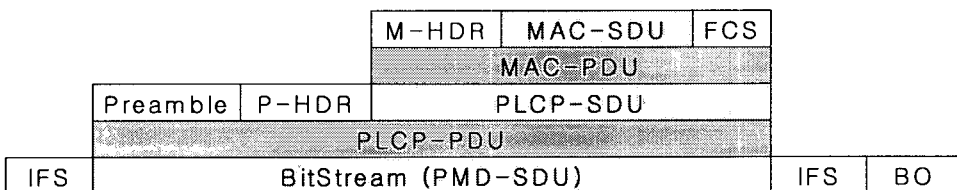


그림 2. 802.11의 물리계층과 MAC 프로토콜 계층구조

층과 MAC 계층을 나타내고 있는데 각 계층의 PDU (Protocol Data Unit)는 오버헤드를 포함한 전송 유닛의 길이를 의미하고 SDU(Service data Unit)는 상위 계층에 제공하는 페이로드의 길이를 말한다. MAC 계층에서는 MSDU에 MAC 계층 헤더와 FCS(Frame Check Sequence)가 추가되어 MPDU (MAC PDU)를 구성한다. 802.11a 물리계층은 2.4 GHz 대역(ISM 대역)의 802.11, 802.11b, 802.11g와는 달리 5 GHz 대역(U-NII)을 사용하며 6, 9, 12, 18, 24, 35, 48 및 54 Mbps의 전송속도를 지원한다. 물리 계층은 PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 부계층과 PMD(Physical Medium Dependent) 부계층으로 구분된다. PLCP 부계층에서는 PLCP 프리앰블과 헤더가 MPDU에 추가되어 PPDU가 형성되고 PMD 부계층에서는 IFS(InterFrame Space)와 BO(Back Off) 시간간격이 오버헤드로 고려된다 [5,6].

### 3. DCF 프로토콜 동작 분석

IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 시간축상에서 교대로 이용되는 PCF(Point Coordination Function)와 DCF(Distributed Coordination Function)의 두가지 동작모드를 지원한다. PCF는 비 경쟁방식으로서 시간적으로 제약적인 서비스에 이용되고 DCF는 경쟁 기반의 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 기법을 이용하며 비동기적인 데이터 전송에 주로 이용된다. 802.11 MAC 프로토콜은 5개의 시간간격을 정의한다. SIFS(Short InterFrame Space)와 slot time은 물리계층에 의해

서 결정되는 것이고 PIFS(Priority InterFrame Space), DIFS(Distributed InterFrame Space) 및 EIFS (Extended InterFrame Space)는 SIFS와 slot time 기반하에서 정의된다. SIFS 시간간격은 16  $\mu$ sec, slot time은 9  $\mu$ sec, DIFS 시간간격은 34  $\mu$ sec가 된다. slot time은 신호 전파 및 처리 지연현상을 고려한 수치이다. PIFS는 SIFS에 하나의 slot time을 추가한 시간간격(25  $\mu$ sec)이고 DIFS는 SIFS에 2개의 slot time을 추가한 시간간격(34  $\mu$ sec)이 된다. EIFS는 가장 긴 시간간격을 갖으며 데이터 프레임이 에러 상태로 수신될 경우 수신 단말이 ACK 프레임을 보내는 데 지장이 없도록 충분한 시간을 확보한다.

DCF는 그림 3에서 보듯이 CSMA/CA 메커니즘을 이용하는 데 전송할 새로운 패킷이 있는 AP 또는 단말은 채널이 사용되고 있는지를 모니터한다. 채널이 DIFS 시간간격동안 휴지상태이면 AP 또는 단말은 패킷을 전송하기 시작한다. 이와는 달리 AP 또는 단말은 채널이 사용되고 있는지 휴지 상태인지를 계속 모니터하고 DIFS 시간간격동안 채널이 휴지상태이면 slot time 단위로 채널 시간을 처리하여 slot time 단위로 랜덤 BO 시간간격을 발생시킨다. 그리고 채널이 사용중인지 휴지상태인지를 계속 모니터하는 데 각 slot time 동안에 아직도 채널이 휴지상태라고 하면 BO 시간간격은 하나씩 감소하게 된다. BO 시간간격이 0인 경우에 AP 또는 단말은 패킷을 전송하게 된다. 이러한 BO 기간동안 채널이 slot time에서 사용중이라면 BO 간격이 감소되는 것은 정지되고 채널이 DIFS 시간간격과 한개의 slot time 시간간격동안 휴지상태라고 감지된 후에만 동작하게 되며 BO 시간간격이 0인 경우에 또 다시 패킷이

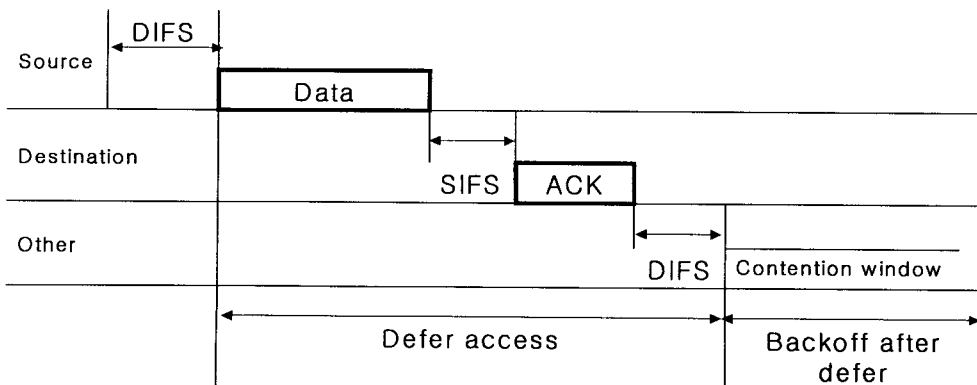


그림 3. 802.11a CSMA/CA 기반 DCF 프로토콜의 동작

전송되기 시작한다. 이러한 BO 기법은 채널이 사용 중이라는 것을 인식하게 되므로 충돌 현상을 피할 수 있도록 하는 기법이다. 더욱이 채널의 캡처 현상을 피하기 위하여 AP 또는 단말은 채널이 DIFS 시간 간격동안 휴지상태라고 해도 2개의 새로운 패킷이 연속적으로 전송되는 경우 BO 시간동안 대기하게 된다. DCF의 BO 메카니즘은 지수함수 특성을 갖고 있는데 각각의 패킷이 전송되는 경우 slot time 단위의 BO 시간은 패킷전송 실패 횟수에 따라 정해지는 값을  $n$ 이라고 할 때  $0 \sim n-1$ 의 범위에서 균일하게 정해진다. 패킷이 처음으로 전송되는 경우  $n$ 은 최소 충돌 윈도우 값인  $CW_{min} = 16$ 으로 설정되고 패킷 전송이 실패할 경우  $n$  값은  $CW_{max} = 1024$ 의 범위내에서 2배로 증가한다. 그리고 패킷전송이 성공적으로 이루어진 경우 수신단말은 ACK 신호를 보내게 되며 프로토콜 헤더를 간단히 하기 위하여 ACK 신호는 순서번호를 포함하지 않으며 수신한 패킷에 대해서 즉시 응답하는 stop-and-go 프로토콜 기반하에서 데이터를 교환한다. 송신단말은 패킷전송을 완료한 후  $16 \mu\text{sec}$  SIFS 시간간격내에 ACK 신호를 수신해야 된다. 송신단말이 정해진 ACK\_timeout 기간내에 ACK 신호를 수신하지 못하거나 채널에 다른 패킷이 전송되는 것을 감지하게 되면 패킷전송이 실패한 것으로 간주하며 BO 메카니즘에 의한 재전송 절차를 따르게 된다. 802.11 MAC 프로토콜은 물리계층의 채널 감지기법에 의해 채널이 휴지상태로 되기 전에 남아 있는 시간의 양을 각 단말에게 알려주는 NAV(Network Allocation Vector) 기법을 구현한다. 모든 패킷은 duration 필드를 포함하며 NAV값은 각각의 패킷이 전송될 때 필드 값에 따라 업데이트된다. 이러한 NAV 기법을 가상 캐리어 감지기법이라고 하며 MAC 프로토콜은 충돌현상을 피하기 위하여 물리

및 가상 감지기법을 이용하는 것이다. 지금까지 언급한 방법들은 two-way handshaking 기법인데 four-way 프레임 교환 프로토콜로서 RTS/CTS(Request To Send/Clear To send) 기법이 있다. 이는 hidden 터미널 문제를 해결하기 위한 기법으로서 RTS 신호를 송신한 단말은 AP로부터 SIFS 시간동안에 CTS 신호를 수신하게 되어 패킷을 전송하게 된다[7,8].

#### 4. DCF의 처리율 분석 및 결과 검토

##### 4.1 DCF의 처리율 분석

802.11 MAC의 DCF 프로토콜의 처리율을 분석하기로 한다. 그림 4에서 보여준 바와 같이 전송할 패킷을 갖고 있는 이동 단말이 DIFS 간격( $d \mu\text{sec}$ ) 동안 채널이 휴지(idle) 상태라고 인지하면 이동 단말은 데이터 패킷을 전송하기 시작한다. 패킷 전송에 따라서 채널은 DIFS 간격동안 휴지 상태로 남아 있으며 그때 수신단말에 의해서 ACK 신호가 보내진다. 송신단말은 채널이 사용중(busy) 상태라고 인식하면 backoff 메카니즘을 따르며 새로운 패킷과 재전송 패킷으로 구성된 트래픽은  $G$  패킷/ $\mu\text{sec}$ 의 intensity를 갖는 포아송 분포를 따른다고 가정한다. 새로운 패킷 전송과 재전송 패킷이 독립적인 source가 되도록 BO 간격이 충분히 길다면 위의 가정은 타당하며 간단히 하기 위하여 신호전파 지연값( $a \mu\text{sec}$ )은 스테이션간에 동일하다고 가정한다. 그래서 새로운 패킷 전송이 다른 스테이션에 의해서 감지될 수 없는 시간 간격은  $a$ 에 의해서 주어진다. 결과적으로 CSMA 프로토콜하의 스테이션은 전송을 시작하게 되고 충돌이 발생하게 되는데 전송하기 전에  $d \mu\text{sec}$  동안 채널이 휴지상태임을 감지한다. 패킷전송시간을  $L \mu\text{sec}$

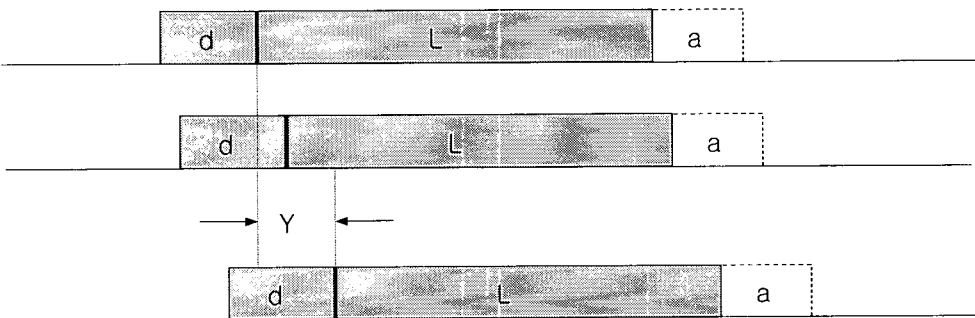
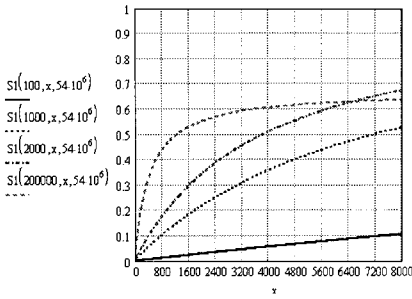
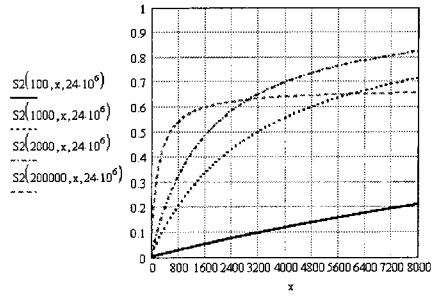


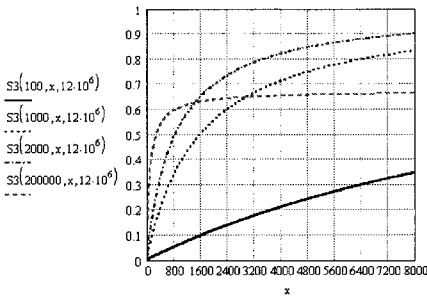
그림 4. 전송시 충돌이 발생하는 타이밍 다이어그램



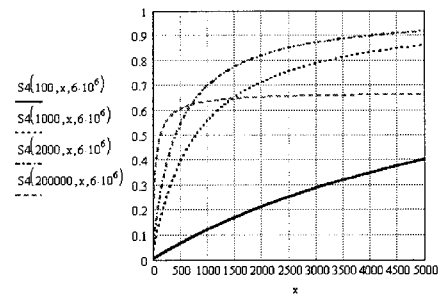
(a) 54 Mbps인 경우의 처리율



(b) 24 Mbps인 경우의 처리율

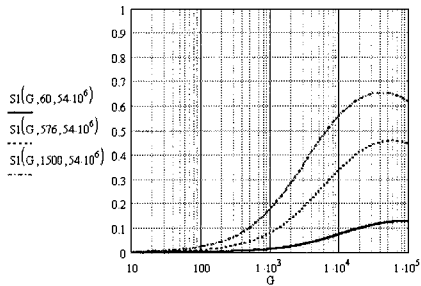


(c) 12 Mbps인 경우의 처리율

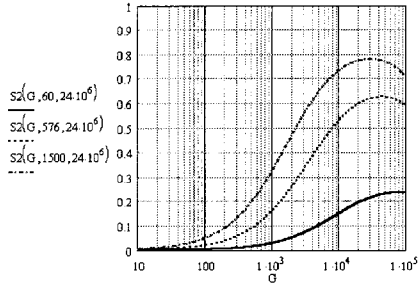


(d) 6 Mbps인 경우의 처리율

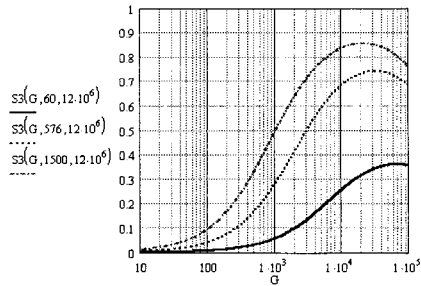
그림 5. MSDU 크기에 따른 DCF 처리율 성능



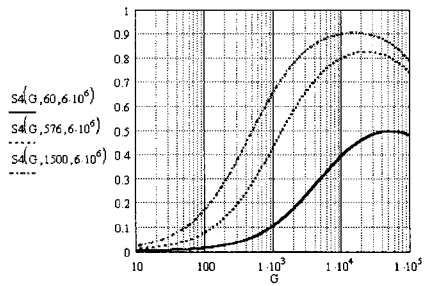
(a) 54 Mbps인 경우의 처리율



(b) 24 Mbps인 경우의 처리율



(c) 12 Mbps인 경우의 처리율



(d) 6 Mbps인 경우의 처리율

그림 6. 패킷발생율에 따른 DCF 처리율 성능

로 가정하고 패킷전송을 성공적으로 하기 위하여 채널 activity를 고려하는 경우 채널은  $d \mu\text{sec}$  동안 휴지 상태이며  $L \mu\text{sec}$ 의 패킷전송이 이루어 진다고 한다.  $L$ 은 MSDU의 패킷길이  $x$  바이트와 전송속도  $r$  Mbps를 이용하여  $(x+34)(8/r)$ 로 표현할 수 있다. 그림 3에서 보듯이 송신기는 ACK 신호를 수신하기 위해서  $d \mu\text{sec}$ (DIFS 간격)동안 기다린다. ACK 전송시간은  $c \mu\text{sec}$  로 설정하고 채널은 ACK 신호가 전송된 후 모든 스테이션에 의해서 다시 휴지상태라고 감지된다. 그림 4는 CSMA 프로토콜에 대해 전송시 충돌이 발생하는 타이밍 다이어그램을 나타낸다.

$Y$ 는 채널이 사용중인 시간간격에서 첫 번째 패킷 전송과 마지막 패킷전송사이의 시간 스패를 나타낸다.  $Y$ 의 평균시간은 (식 1)과 같다.

$$\bar{Y} = a - \frac{1 - e^{-aG}}{G} \quad (1)$$

그리고 성공적으로 전송이 이루어지거나 충돌이 발생하는 사용중인 시간의 평균 길이는 (식 2)와 같다.

$$\bar{B} = d + \bar{Y} + L + a + (d+c)e^{-aG} \quad (2)$$

사용중인 시간간격과 휴지 시간간격으로 구성된 평균 주기 시간은 (식 3)과 같다.

$$\bar{T} = d + \bar{Y} + \frac{(x+34)8}{r} + a + (d+c)e^{-aG} + \frac{1}{G} \quad (3)$$

채널 처리율은 (식 3)의 사용중인 시간간격과 휴지 시간간격으로 구성된 평균주기시간과 데이터가 성공적으로 전송되는 시간의 비로 정의할 수 있으며 (식 4)와 같이 나타내어 지고 최종적으로 (식 1) 및 (식 3)으로 부터 (식 5)와 같이 나타낼 수 있다[4].

$$S = \frac{\frac{(x+34)8}{r} e^{-aG}}{\bar{T}} \quad (4)$$

$$S = \frac{\frac{(x+34)8}{r} e^{-aG}}{d + a - \frac{1 - e^{-aG}}{G} + \frac{(x+34)8}{r} + a + (d+c)e^{-aG} + \frac{1}{G}} \quad (5)$$

#### 4.2 처리율 분석결과 검토

802.11a에서 MSDU의 패킷 크기  $x$  바이트에 따른 분석결과는 그림 5와 같으며  $S_n(G, x, \text{전송속도})$ 으로 표시하였다.  $S_n$ 에서  $n$ 은 1, 2, 3, 4 로서 각각 전송속

도가 54 Mbps, 24 Mbps, 12 Mbps, 6 Mbps인 경우의 처리율 결과를 구분하기 위하여 사용하였다. 패킷 발생율( $G$ )은 100 패킷/ $\mu\text{sec}$ , 1,000 패킷/ $\mu\text{sec}$ , 2,000 패킷/ $\mu\text{sec}$ , 200,000 패킷/ $\mu\text{sec}$ 의 4가지 경우를 이용하며 802.11a MAC 헤더는 34 바이트로 한다[7,8]. 패킷 크기는 일반적으로 TCP ACK 데이터의 경우 60 바이트, Web Browsing 데이터인 경우 576 바이트, 인터넷의 최대 데이터 크기는 1500 바이트 정도이므로 그림 6에서는 패킷 발생율( $G$ )에 따른 처리율을 나타내며  $S_n(G, x, \text{전송속도})$ 으로 표시하였다.  $S_n$ 에서  $n$ 은 1, 2, 3, 4로서 각각 전송속도가 54 Mbps, 24 Mbps, 12 Mbps, 6 Mbps인 경우의 처리율 결과를 구분하기 위하여 사용하였다. 802.11a MAC 헤더는 34 바이트로 하고 MSDU의 패킷크기( $x$ )는 60 바이트, 576 바이트 및 1500 바이트로 가정하였다.

그림 5에서  $S_1$ 은 54 Mbps 일때의 처리율,  $S_2$ 는 24 Mbps 일때의 처리율,  $S_3$ 는 12 Mbps 일때의 처리율,  $S_4$ 는 6 Mbps 일때의 처리율을 나타내는 데 전송속도가 적을수록 MSDU의 크기가 증가할 수록 처리율이 증가되나 패킷발생율이 증가하면 처리율이 증가하다가 패킷발생율이 일정한 값 이상이 되면 오히려 처리율이 감소된다는 것을 알 수 있다. 그림 6에서  $S_1$ 은 54 Mbps 일때의 처리율,  $S_2$ 는 24 Mbps 일때의 처리율,  $S_3$ 는 12 Mbps 일때의 처리율,  $S_4$ 는 6 Mbps 일때의 처리율을 나타내는 데 전송속도가 적을 수록 처리율이 증가하며 MSDU의 크기가 커질수록 처리율이 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 그림 5의 결과에서도 확인된 사실이며 또한 특정 패킷 발생율값에서 처리율이 최대가 된다는 것을 확인할 수 있다.

#### 5. 맺음말

본 논문에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN의 MAC (Medium Access Control) 계층에서 DCF(Distributed Coordination Function) 프로토콜의 처리율을 트래픽 량 및 MSDU(MAC SDU) 크기 측면에서 분석하였다. 802.11a에서 MSDU의 패킷 크기와 패킷 발생율에 따른 처리율 분석에 802.11a MAC 헤더는 34 바이트로 가정하였고 802.11a의 전송속도는 54 Mbps, 24 Mbps, 12 Mbps, 6 Mbps로 하였다. 전송속도가 클수록 많은 양의 데이터를 전송할 수는 있으나 오히려 처리율은 감소하며 MSDU의 크기를 크게 할

수록 처리율은 증가한다는 것을 알 수 있었으며 MSDU의 크기를 일정하게 할 때 처리율이 최대가 되는 최적 트래픽 양도 구해질 수 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 구내 및 공중 무선 LAN 설계와 구축 업무에 활용될 수 있겠으나 무선채널의 환경을 고려하지 않은 것이고 실제의 무선 LAN 채널환경을 고려하여  $E_b/N_0$  및 BER에 따른 처리율 특성을 파악하여야 한다. 그리고 에러율을 감소시키기 위한 에러 제어기법의 적용, 기존의 DCF 성능을 개선하기 위한 EDCF(Enhanced DCF) 및 HCF(Hybrid Coordination Function)도 고려해야 될 것으로 사료되며 이는 향후의 연구방향이기도 하다.

**참 고 문 헌**

[1] IEEE 802.11a, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification : High-Speed Physical Layer in the 5 GHz Band," 1999.  
 [2] IEEE 802.11, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 1999.  
 [3] Upkar Varshney, "The Status and Future of 802.11-based WLANs," IEEE Computer, pp. 102-105, June 2003.  
 [4] Kin K. Leung, Bruce McNair, Leonard J. Cimini and Jack H. Winters, "Outdoor IEEE 802.11 Cellular Networks: MAC Protocol Design and Performance," IEEE, pp. 595-599, 2002.  
 [5] Yang Xiao and Jon Rosdahl, "Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11," IEEE Communications Letters, Vol. 6, No. 8, pp. 355 - 357, August 2002.  
 [6] Jangeun Jun, Pushkin Peddabachagari and Mihail Sichitiu, "Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications," Proceedings of the Second IEEE International Symposium on Network Computing and Applications(NCA'03), 2003.

[7] Juha Heiskala and John Terry, "OFDM Wireless LANs : A Theoretical and Practical Guide," Sams Publishing, 2002.  
 [8] Jim Geier, "Wireless LANs," Sams Publishing, 2002.



**정진욱**

1966년 3월~1974년 2월 성균관대학교 전기공학과 졸업(공학사)  
 1977년 3월~1979년 2월 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학 석사)  
 1984년 3월~1991년 2월 서울대학교 대학원 계산통계학과 졸업(이학 박사)  
 관심분야: 네트워크 관리, ATM 통신, SNMP, 정보 보안, 그리드



**하은실**

1983년 3월~1987년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1992년 9월~1995년 2월 서강대학교 대학원 졸업(이학 석사)  
 1996년 3월~현재 성균관대학교 전기.전자 컴퓨터 공학부 대학원 박사과정  
 1987년 1월~1995년 5월 대우통신 연구소 TDX 교환연구실  
 2002년 1월~현재 유한대학 보건의료복지연구소 의료정보시스템 팀장  
 관심분야: 인터넷 프로그래밍, 무선 인터넷, 무선 랜



**이하철**

1983년 2월 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)  
 1990년 8월 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학 석사)  
 1999년 8월 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학 박사)  
 1993년 12월 정보통신기술사  
 1983년 3월~1985년 6월 한국전자통신연구소 연구원  
 1985년 6월~1995년 8월 한국통신 연구개발원 실장  
 1995년 9월~현재 유한대학 정보통신과 부교수  
 관심분야: 무선 데이터통신, ATM통신, 트래픽이론, 통신 프로토콜