

# MIL-STD-188-220의 R-NAD 처리율 분석

김상수<sup>1)</sup> · 구성모<sup>1)</sup> · 임재성<sup>\*,2)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 제2기술연구본부

<sup>2)</sup> 아주대학교 컴퓨터공학과

## Throughput Analysis of R-NAD in MIL-STD-188-220

Sangsoo Kim<sup>1)</sup> · Sungmo Gu<sup>1)</sup> · Jaesung Lim<sup>\*,2)</sup>

<sup>1)</sup> The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

<sup>2)</sup> Department of Computer Engineering, Ajou University, Korea

(Received 10 April 2014 / Revised 4 September 2014 / Accepted 19 September 2014)

### ABSTRACT

The Republic of Korea Army is using R-NAD of MIL-STD-188-220 as a Media Access Control protocol. Under urgent situations, almost all stations transmit data frames and then the network will reach a saturation state. Several articles have been devoted to the study of R-NAD performance. However, most of them focus on comparing the performance of some NADs using network simulation tools. We propose an analytical model to compute the throughput of R-NAD under the assumption of a network traffic saturation. Analytical results were verified by Monte Carlo methods. We have shown that the performance of a success probability and an average idle time remains almost unchanged as the total number of stations increases. We have also shown that Type 1/2/4 operation mode outperforms Type 3 operation mode in throughput. The results showed that the system with a squelch detection achieved a better performance than the one without it. The longer DATA time had a higher throughput.

Key Words : R-NAD, Throughput Analysis(처리율 분석), MIL-STD-188-220, Tactical Data Link(전술 데이터 링크), MAC Protocol(매체 접근 프로토콜)

### 1. 서론

다양한 지상 전술 무기체계간에 근/실시간으로 디지털

전술정보를 교환하기 위하여 한국군은 주로 음성 통신에 사용되는 FM 무전기에 미 국방성 표준인 MIL-STD-188-220<sup>[1]</sup>을 데이터 통신 프로토콜로 채택하여 전투무선망을 구성하고 있다.

전투무선망을 구성하는 각 스테이션은 전송 전에 반드시 기다려야 하는 시간인 네트워크 접근 지연 시간

\* Corresponding author, E-mail: jaslim@ajou.ac.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

(NAD : Network Access Delay)을 이용하여 네트워크 상의 송신 스테이션 간의 충돌을 방지하고 있다.

MIL-STD-188-220 표준에서 제시하고 있는 여러 가지 NAD들 중 의무적으로 반드시 구현되어야 하는 NAD 중 하나가 R-NAD이다. R-NAD로 동작하는 모든 스테이션은 네트워크에 접근할 수 있는 기회를 동등하게 가지고 랜덤하게 매체에 접근하여 스테이션 간 충돌을 피한다. 랜덤한 특성을 지니고 있는 R-NAD는 실제 운용시 구현이 간단하여 우리 군의 차기전차인 흑표에서도 사용하고 있다<sup>2)</sup>.

군의 전투무선망은 작전 운용상 동적 가입이 제한될 수도 있고, 상황에 따라서 데이터의 발생 빈도도 급격하게 변할 수도 있다. 특히, 적에 의한 국지적 도발 또는 전쟁과 유사한 급박한 상황에서는 네트워크에 가입된 거의 모든 스테이션은 데이터를 전송하게 되어 네트워크의 트래픽은 순식간에 포화상태(saturation)에 이르게 된다.

본 논문은 네트워크의 트래픽이 포화상태일 때 R-NAD의 처리율을 계산하는데 연구목적이 있으며, 포화상태에서의 처리율은 MAC(Media Access Control) 계층에서 전송할 수 있는 처리율의 상한(upper bound)을 의미한다. 지금까지 NAD의 성능 분석에 관한 선행연구는 대부분 OPNET<sup>3)</sup> 등의 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 여러 가지 NAD 방식의 성능을 비교하는 형태로 이루어져 왔으며<sup>4~8)</sup>, R-NAD 자체에 대한 수학적 모델링을 통한 접근은 거의 이루어지지 않았다.

Burch 등<sup>4)</sup>은 OPNET 시뮬레이터를 이용하여 R-NAD와 P-NAD(Prioritized-Network Access Delay)를 모델링하고 다양한 트래픽 환경에서 평균 네트워크 접근 지연시간과 패킷 충돌률을 분석하였다. 시뮬레이션 분석 결과 동일한 실험 환경에서 R-NAD가 P-NAD보다 성능이 우수한 것으로 나타났다. R-NAD의 성능을 분석한 최초의 시도이지만 시뮬레이션 분석에서 처리율이 빠져있고, Type 1 동작 모드만을 모델링하였으며, 전체 스테이션의 개수를 16으로 고정하는 등의 한계점이 있다.

Seo 등<sup>9)</sup>은 TDMA로 설계된 시스템에서 R-NAD를 적용할 때의 충돌률을 확률 모델로 분석하고, 충돌률과 누락률 관계를 통해 최적의 전체 스테이션의 개수( $N_s$  : Total Number of stations)를 도출하였다. 수학적 모델링을 이용해 R-NAD의 성능을 처음으로 분석하였으나 경쟁기반 매체 접근 제어 방식인 R-NAD의 고유 성능 분석보다는, R-NAD를 TDMA에 적용시 충돌률과

누락률을 동시에 고려하여 최적의 전체 스테이션 개수  $N_s$ 를 얻는데 주안점을 두고 있다.

본 논문에서는 네트워크 트래픽이 포화상태일 때 R-NAD에서의 처리율을 수학적 분석을 통해 계산하고 이를 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 처리율 계산을 위해 NAD 구간에서 전송 성공확률을 구하고, 전송 성공 또는 충돌시 평균 전송 시간과 평균 유휴시간을 이용하여 처리율을 구하였다. 수학적 모델링을 단순화하기 위해서 숨겨진(hidden) 스테이션이 없고, 수신단에서 둘 이상의 동시 전송이 발생된 경우 가장 파워가 센 신호가 수신되는 포획효과(capture effect)가 없는 이상적인 채널환경을 가정하였다.

본 논문에서 제안하는 모델을 검증하기 위하여 몬테 카를로 기법의 시뮬레이션을 수행하였다. 네트워크의 전체 스테이션의 개수 증가에 따른 성공확률, 평균 유휴 시간, 처리율을 비교한 결과 분석적 방법과 시뮬레이션 결과는 거의 차이가 없었다. 전체 스테이션의 개수를 변화시키면서 Type 1/2/4 및 Type 3의 처리율을 비교하였는데 동일한 조건에서 Type 1/2/4가 Type 3보다 높았다. Type 1/2/4 동작 모드에서 스켈치 검출 기능 유무에 따른 처리율의 변화를 관찰하였는데, 스켈치 검출 기능이 있는 경우가 없는 경우보다 처리율이 다소 높게 나타났다. 마지막으로 DATA 길이의 변화에 따른 처리율을 구하였는데 DATA 길이가 짧을수록 처리율이 낮게 나타났다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 본 논문에서 분석 대상으로 하고 있는 R-NAD에서의 NAD 과정에 대하여 간략하게 살펴보고, 제 3장에서는 수학적 모델링을 통해 R-NAD의 성공확률 구하고 이를 이용하여 처리율을 계산한다. 제 4장에서는 시뮬레이션을 통해서 수학적 분석을 통해 나온 모델을 검증하고, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. R-NAD에서의 NAD

NAD는 TP(Timeout Period)가 종료된 후 전송할 프레임이 있는 스테이션이 새로운 데이터 프레임을 보내기 위한 시간으로 정의되며, 표준<sup>1)</sup>에서 NAD는 식 (1)로 계산된다.

$$NAD = F * NBDT + MAX(0, F - 1) * DTETURN \quad (1)$$

수식 (1)에서 F는 보낼 데이터가 있는 각각의 스테이션이 프레임 전송하기 전에 반드시 기다려야 하는 슬롯의 개수이며 NAD의 종류에 따라 이 값이 달라진다. R-NAD는 랜덤한 특성으로 각 스테이션이 네트워크에 대한 접근 기회를 동일하게 보장하면서 동시에 이 특성을 이용하여 충돌을 해결하고자 한다. R-NAD에서 사용되는 F값은 같은 네트워크를 사용하는 전체 스테이션의 개수인  $N_s$ 에 관계되며 0에서  $(3/4)*N_s$  사이의 랜덤한 정수값을 가진다.

네트워크가 사용 중인지 감지하는데 허용된 시간인 NBDT(Network Busy Detect Time)는 통신 매체가 데이터 네트워크의 사용 중 여부를 신속히 감지하는 스quelch 검출(squelch detection) 기능을 제공하는 경우 위의 표준<sup>[1]</sup>의 MAC 파라미터 테이블 값을 이용하고, 통신 매체가 스quelch 검출 능력이 없거나 모든 스테이션이 이러한 능력이 없는 경우에는 식 (2)를 이용하여 계산하며 통상적으로 이 값은 스quelch 검출 능력을 가지는 NBDT보다 크다.

$$NBDT = EPRE + ELAG + B + TOL \quad (2)$$

식 (2)에서 사용된 네트워크 사용 중 센싱 시간인 B(Network Busy Sensing Time)는 데이터 수신 중에 네트워크의 사용 중임을 감지할 수 있는 고정 값이며, 식 (1)의 마지막 인자인 DTETURN(DTE Turnaround time)은 DTE가 수신대기상태에서 송신상태로 전환하는데 걸리는 시간을 의미한다.

### 3. 처리율 분석

이 논문에서 우리는 숨겨진 스테이션과 포획 효과가 없는 이상적인 채널환경에서 포화 상태의 처리율을 분석한다. 분석을 위해 각각의 스테이션은 항상 전송할 프레임이 있다고 가정하는데, 이는 각각의 스테이션의 전송 큐는 항상 비어 있지 않는 상태에서 동작함을 의미한다. 아울러, 네트워크 상에 가입된 모든 스테이션이 전송에 참여하므로 전송에 참여하는 스테이션의 수는 네트워크 초기화시에 정의된 전체 스테이션의 개수( $N_s$ )와 동일하다. 분석은 TP 시간 이후 네트워크에 가입되어 있는 모든 스테이션이 NAD 구간에서 전송에 성공할 확률( $P_s$ )을 먼저 구하고 이를 이용하여 처리율을 구하고자 한다.

#### 3.1 성공 확률

네트워크 내에서 프레임을 보내고자 하는 스테이션은 자신이 접근할 슬롯을 계산(F값)하고 TP 시간 이후 NAD 구간에서 전송을 준비한다. 만약 자신이 접근하고자 하는 슬롯을 센싱하여 슬롯이 사용 중이 아니라면 그 슬롯에 자신의 프레임을 전송하게 된다. 이때 네트워크 내에 동일한 F값을 가진 스테이션이 프레임을 전송하지 않는다면 전송에 성공하게 된다.

NAD 구간에서 전송이 성공할 확률은 NAD 구간에서 모든 스테이션이 주어진 슬롯에 접근하는 모든 경우의 수와 전송에 성공하는 경우의 수를 이용하여 구할 수 있다.

$N_s$ 를 전체 스테이션의 수, R을 스테이션이 접근 가능한 전체 슬롯의 개수라 할 때 네트워크의 모든 스테이션이 주어진 슬롯에 접근하는 모든 경우의 수는 식 (3)과 같다.

$$\text{발생가능한 모든 경우의 수} = R^{N_s} \quad (3)$$

네트워크 상에서 하나의 슬롯에 여러 개의 스테이션이 전송하면 충돌이 발생하기 때문에, 전송이 성공하기 위해서는 슬롯의 처음부터 시작하여 오직 하나의 스테이션이 슬롯을 점유할 때 발생한다.

따라서 전송이 성공하는 경우의 수는 Fig. 1과 같이 첫 번째 슬롯이 비어 있지 않는 경우, 첫 번째 슬롯이 비어 있는 경우부터 (R-2) 번째 슬롯까지 비어 있는 경우를 모두 더하여 구할 수 있다.

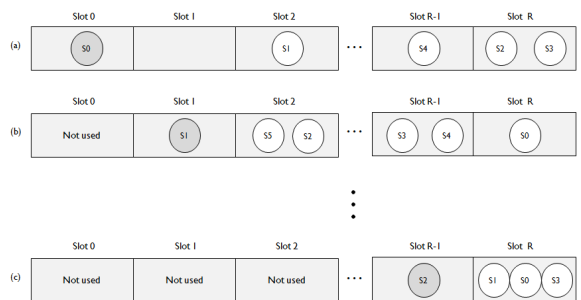


Fig. 1. Number of cases of transmission with  $N_s$  stations and R slots

먼저 맨 처음 슬롯이 비어 있지 않는 경우는 전체  $N_s$ 개의 스테이션 중 하나의 스테이션만 첫 번째 슬롯을 선택하고 나머지 스테이션은 나머지 다른 슬롯을

선택하므로 경우의 수는  $N_s C_1 (R-1)^{N_s-1}$ 이며, 첫 번째 슬롯을 어떤 스테이션도 선택하지 않는 경우는 두 번째 슬롯에  $N_s$ 개 중 하나의 스테이션이 선택하고 나머지  $N_s-1$ 개의 스테이션이 R-2개의 슬롯을 선택하게 되므로 이때의 경우의 수는  $N_s C_1 (R-2)^{N_s-1}$ 가 된다. 이렇게 해서 R-2번째 슬롯까지 스테이션이 선택하지 않는 경우는  $N_s$ 개의 스테이션 중 하나의 스테이션이 R-1번째 슬롯을 선택하고 나머지  $N_s-1$ 개의 스테이션이 하나의 슬롯을 선택하므로  $N_s C_1 (1)^{N_s-1}$ 이 된다.

$N_s$ 를 전체 스테이션의 수, R을 스테이션이 접근 가능한 전체 슬롯의 개수라 할 때 네트워크의 모든 스테이션이 전송이 성공하는 모든 경우의 수는 식 (4)과 같이 일반화 할 수 있다.

전송이 성공하는 경우의 수 =

$$N_s C_1 \cdot \sum_{k=1}^{R-1} (R-k)^{N_s-1} \quad (\text{for } N_s \geq 2, R \geq 2) \quad (4)$$

따라서, 네트워크가 포화상태에서  $N_s \geq 2$  이고  $R \geq 2$  일 때 전송에 성공하는 확률  $P_s$ 는 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$P_s = \frac{N_s C_1 \cdot \sum_{k=1}^{R-1} (R-k)^{N_s-1}}{R^{N_s}} \quad (\text{for } N_s \geq 2, R \geq 2) \quad (5)$$

식 (5)에서 R은 NAD 구간에서 스테이션이 접근하는 전체 슬롯의 개수이며 이는 망초기화 시에 전체 스테이션의 개수  $N_s$ 에 의해 미리 결정된다.

### 3.2 처리율

정규화된 시스템 처리율  $T_h$ 를 하나의 전송 구간에서 평균 전송시간에 대해 성공적으로 전송한 페이로드 평균 전송시간으로 정의하면 처리율  $T_h$ 는 식 (6)과 같다.

$$T_h = \frac{E[\text{dulation of successful transmission in a transmission period}]}{E[\text{dulation of a transmission period}]} \quad (6)$$

하나의 전송구간에 성공적으로 전송된 페이로드 정보의 평균 전송 시간은 NAD 구간의 전송 성공 확률 ( $P_s$ )과 페이로드의 평균 전송시간인 DATA의 곱으로 나타낼 수 있다. 이때, 데이터 전송시간인 DATA의 최

대 값은 표준<sup>[1]</sup>에 의해서 MTT-EPRE-PHASING을 초과할 수 없다.

하나의 전송 구간에서 평균 전송 시간은 전송이 성공한 경우의 평균 시간에 충돌이 발생한 경우의 평균 시간과 평균 유희 시간의 합이다. 전송이 성공한 경우의 평균 시간은 전송 성공 확률( $P_s$ )에 성공시 보낸 평균 시간( $T_s$ )의 곱으로 나타내고, 충돌이 발생한 경우의 평균 길이는 충돌 확률( $1-P_s$ )에 충돌시 보낸 평균 시간( $T_c$ )의 곱으로 나타내며, 평균 유희 시간( $T_{id}$ )은 NAD 구간에서 전송이 발생하기 전에 홀러간 유희 시간의 평균 값이다. 따라서 처리율  $T_h$ 는 식 (7)로 표현된다.

$$T_h = \frac{P_s \cdot \text{DATA}}{P_s \cdot T_s + (1 - P_s) \cdot T_c + T_{id}} \quad (7)$$

식 (7)에서 전송이 성공한 경우의 평균시간( $T_s$ )와 충돌이 발생한 경우의 평균시간( $T_c$ )는 Fig. 2와 같이 구성되며, Type 1/2/4의 경우  $T_s$ 와  $T_c$ 는 동일하고 Type 3의 경우  $T_s$ 와  $T_c$ 는 달라진다.

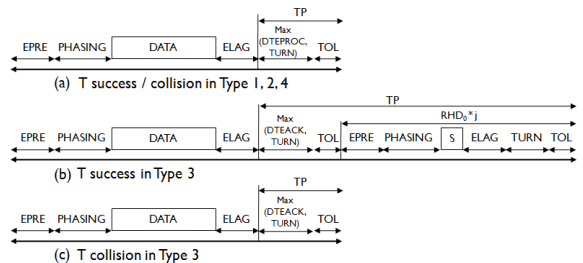


Fig. 2. Transmission time of (a) success in Type 1/2/4 (b) success in Type 3 (c) collision in Type 3

Type 1/2/4에서의  $T_s$ 는 식 (8)과 같고  $TP_s$ 는 표준<sup>[1]</sup>에 의해서 식 (9)로 정의한다. Type 1/2/4를 사용하는 스테이션은 프레임 전송에 대한 확인 응답을 사용하지 않아 송신 프레임이 수신단에 성공적으로 보냈는지 충돌이 발생했는지 알 수 없다. 따라서 충돌이 발생한 경우의 전송 시간( $T_c$ )은 성공적으로 전송한 경우의 전송 시간과 동일하므로 식 (10)과 같다.

$$T_s^{Type 1/2/4} = \text{EPRE} + \text{PHASING} + \text{DATA} + \text{ELAG} + TP_s^{Type 1/2/4} \quad (8)$$

$$TP_s^{Type 1/2/4} = \text{Max}(DTEPROC, \text{TURN}) + \text{TOL} \quad (9)$$

$$T_c^{Type\ 1/2/4} = T_s^{Type\ 1/2/4} \quad (10)$$

Type 3에서의  $T_s$ 는 식 (11)로 정의되는데 Type 3은 수신하는 스테이션의 수만큼 확인 응답을 기다려야 하므로 통상적으로 Type 1/2/4에 비해서 전송시간이 길어진다. TP에 사용되는 j는 목적지 링크 주소의 총 합으로 목적지 스테이션의 개수만큼 기다려야 하므로 표준<sup>[1]</sup>에 의해서 식 (12)와 같고 식 (12)의  $RHD_0$ 은 표준<sup>[1]</sup>에 의해서 식 (13)과 같다.

$$T_s^{Type3} = EPRE + PHASING + DATA + ELAG + TP_s^{Type3} \quad (11)$$

$$TP_s^{Type3} = Max(DTEPROC, TURN) + TOL + RHD_0 \cdot j \quad (12)$$

$$RHD_0 = EPRE + PHASING + S + ELAG + TURN + TOL \quad (13)$$

Type 3에서 충돌이 발생한 경우의 전송 시간( $T_c$ )은 각각의 스테이션이 확인 응답을 보내지 않으므로 Type 1/2/4의 경우와 동일하여 식 (14) 및 식 (15)와 같고, 이는 Type 3의  $T_s$ 보다 짧아지게 된다.

$$T_c^{Type3} = EPRE + PHASING + DATA + ELAG + TP_c^{Type3} \quad (14)$$

$$TP_c^{Type3} = Max(DTEPROC, TURN) + TOL \quad (15)$$

식 (13)의 S시간(coupled acknowledge transmission time)은 표준<sup>[1]</sup>에서 FEC(Forward Error Correction)와 TDC(Time Dispersive Coding)의 적용 여부에 따라서 다르게 계산되며 COMSEC(Communications Security)을 사용하지 않을 때의 필드 구성은 Table 1과 같다.

FEC와 TDC를 사용하지 않을 경우 총 데이터 필드는 312비트이며, FEC만 사용하는 경우는 400비트이고, FEC와 TDC 둘 다 사용하는 경우는 616비트이다. 이를 이용하여 각각의 경우에 비트율(bit rate)을 나눠 주면 S 시간을 구할 수 있다.

평균 유희시간은 NAD 구간에서 각 스테이션이 전송하기 전에 반드시 기다려야 하는 시간을 의미하는데, 이를 구하기 위해서 NBDT가 0(모든 스테이션은

자신의 슬롯의 시작점에 프레임 전송)이라고 가정한다.

Table 1. Calculation of coupled acknowledge time

	synchronization	Transmission Word Count & Transmission Header	Data Link Frame	S
No FEC / No TDC	64-bit	168-bit	80-bit	312-bit / bit rate
FEC / No TDC			168-bit	400-bit / bit rate
FEC / TDC			384-bit	616-bit / bit rate

$N_s$ 와  $R$ 이 주어졌을 때 발생 가능한 모든 경우의 수에서 첫 번째 슬롯이 비어 있을 경우부터  $R-1$  번째 슬롯까지 연속적으로 비어 있을 경우를 더하여 계산한다. 첫 번째 슬롯이 비어 있는 경우는  $(R-1)^{N_s} \cdot (R-2)^{N_s}$  이고, 첫 번째 및 두 번째 슬롯까지 비어 있는 경우는  $2 \cdot \{(R-2)^{N_s} \cdot (R-3)^{N_s}\}$ 이며, 이렇게 처음 슬롯부터 연속적으로 비어 있는 슬롯의 경우를 구하여 맨 마지막  $R-1$  번째 슬롯까지 비어있는 경우를 구하면  $(R-1) \cdot (1^{N_s} \cdot 0^{N_s})$ 로 계산할 수 있다.

따라서 NBDT가 0이고 NAD 구간의 모든 슬롯의 크기가 SLOT이며,  $N_s \geq 2$  이고  $R \geq 2$  일 때의 평균 유희 시간  $T_{id}$ '은 식 (16)으로 일반화 할 수 있다.

$$T_{id}' = \frac{\sum_{k=1}^{R-1} (R-k) \{k^{N_s} - (k-1)^{N_s}\}}{R^{N_s}} \cdot SLOT \quad (16)$$

하지만, NBDT는 0이 아니므로 식 (1)을 이용하여 NAD를 다시 계산할 수 있는데 식 (1)에서 F가 1일 때 NAD는  $1 \cdot NBDT$ 이고, F가 2일 때 NAD는  $2 \cdot NBDT + 1 \cdot DTETURN$  등으로 구할 수 있으므로 이를 고려한 평균 유희 시간  $T_{id}$ 는 식 (17)과 같다.

$$T_{id} = \frac{\sum_{k=1}^R \{(R+1-k) \cdot NBDT + (R-k) \cdot DTETURN\} \{k^{N_s} - (k-1)^{N_s}\}}{R^{N_s}} \quad (17)$$

### 4. 성능 평가

우리가 만든 모델을 검증하기 위하여 수학적 분석을 통해 나온 결과를 시뮬레이션을 통해 나온 값과 비교하였다. 성능 평가를 위한 시뮬레이션은 몬테 카를로 기법을 이용하여 수행하였으며 1,000,000회의 랜덤 수행 후 나온 결과 값을 평균하였다.

수치적 결과를 얻기 위해서 사용된 파라미터 값은 MIL-STD-188-220D w/change 1<sup>[1]</sup>의 부록 MAC 파라미터와 파라미터 값 중의 하나를 선택하여 수학적 분석 모델과 시뮬레이션 모델에서 공동으로 사용하였으며 그 값은 Table 2에 정리되어 있다. 두 모델에 사용된 데이터 전송속도는 4,800bps로 MTT는 4,000ms로 설계하였으며 DATA의 값은 시나리오에 따라 최소 1,000ms에서 최대 3,671ms(MTT - EPRE - PHASING)로 가변하여 적용하였으며, S시간의 경우는 FEC 및 TDC가 적용되지 않는 환경을 가정하였다.

Table 2. Simulation parameter values

Parameter	Value	Parameter	Value
Data Rate	4,800bps	NBDT with Squelch Detection	150ms
MTT	4,000ms	TURN	420ms
EPRE	329ms	DTETURN	50ms
PHASING	0ms	TOL	50ms
ELAG	18ms	DTEPROC	212ms
NBDT w/o Squelch Detection	404ms	DTEACK	36ms

성능평가는 먼저 전체 스테이션의 개수에 따른 성공 확률과 평균 유희 시간의 결과를 측정하였고, 다음으로 전체 스테이션 개수의 변화에 따른 Type 1/2/4 및 Type 3의 처리율, 스퀘엘치 검출 기능 유무에 따른 처리율 및 DATA 길이 변화에 따른 처리율 변화 순으로 수행하였다.

Fig. 3은 전체 스테이션 개수를 2에서 30까지 증가시키면서 성공확률을 측정하였는데, 전체 스테이션의 개수가 4일 때 약 0.562로 가장 높았고 전체 스테이션의 개수가 29일 때 0.477로 가장 낮았으며 성공확률의 평균은 0.495이었다. 분석적 방법과 시뮬레이션 결과는 소수점 아래 셋째자리까지 동일하여 그림에서 두 그래프는 거의 일치하고 있다.

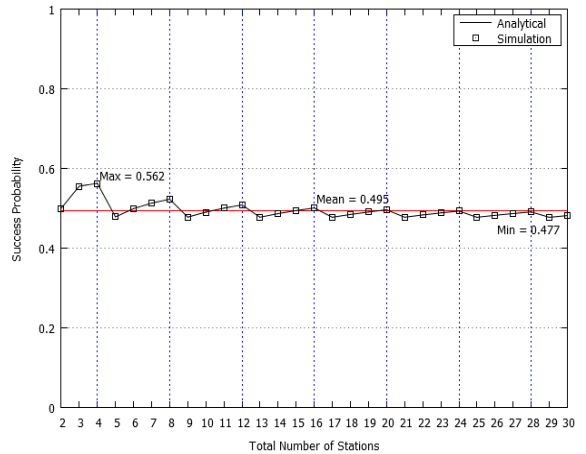


Fig. 3. Trend of Success Probability as Total Number of Stations change

전체 스테이션의 개수가 증가하여도 성공확률은 크게 변화는 크지 않았는데, 그 이유는 전체 스테이션의 개수가 증가되면 그에 따른 슬롯의 개수도 0에서  $(3/4)N_s$ 로 일정하게 증가하기 때문이다. 전체 스테이션의 개수가 5일 때와 6일 때를 살펴보면 전체 스테이션의 개수가 5인 경우 슬롯의 개수는 4이고, 전체 스테이션의 개수가 6인 경우 슬롯의 개수가 5이다. 모든 스테이션이 전송에 참여하는 포화상태에서 전체 스테이션의 개수가 5일 때는 5개의 스테이션이 4개의 슬롯을 두고 경쟁하고 전체 스테이션의 개수가 6인 경우는 5개의 슬롯을 두고 경쟁하므로, 전체 스테이션의 개수가 6인 경우가 5인 경우보다 성공할 확률이 높아진다. 이를 동일하게 적용하면 전체 스테이션 개수가 5에서 8인 구간에서 전체 스테이션 개수가 5일 때 성공확률이 가장 낮고 8일 때 성공확률이 가장 높다. R-NAD의 슬롯 개수 성질에 의하여 4의 배수일 때 성공할 확률이 가장 높으며 이는 주기성을 띠며 반복한다.

Fig. 4는 평균 유희시간( $T_{id}$ )의 그래프인데 성공 확률과 마찬가지로 분석적 방법의 결과와 시뮬레이션 결과는 거의 차이가 없었다.

스quelch 검출 기능이 없는 경우는 NBDT의 시간이 길어지므로 당연히 NBDT와 DTETURN으로 구성되는 슬롯 시간이 증가되므로 평균 유희시간은 길어지게 된다. 전체 스테이션의 개수가 5에서 8인 구간을 살펴보면 전체 스테이션의 개수가 5일 때 슬롯의 개수는 4이고 전체 스테이션 개수가 8일 때 슬롯의 개수는 7이므로 스테이션의 개수가 5인 경우가 8인 경우보다

더 많은 스테이션이 슬롯에 접근하므로 평균 유희시간은 더 작으며 충돌은 늘어나게 된다.

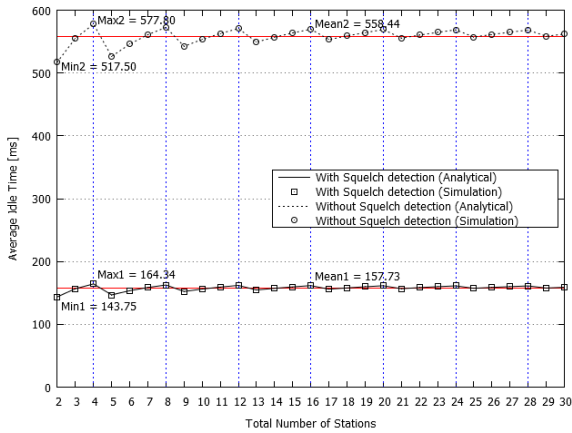


Fig. 4. Trend of Average Idle Time as Total Number of Stations change

Fig. 5는 DATA가 3,671ms이고 스�কে치 검출 기능이 있을 때 전체 스테이션 수의 증가에 따른 Type 1/2/4와 Type 3의 처리율의 그래프이다. Fig. 3과 4를 보면 전체 스테이션의 개수가 4일 때 NAD 구간에서 전송 전 대기하는 평균 유희 시간이 제일 길지만 성공확률이 제일 높기 때문에 처리율이 가장 높았다. 앞의 그림과 마찬가지로 분석적 방법과 시뮬레이션 결과 사이의 오차는 소수점 아래 셋째자리까지 동일하므로 두 그래프는 거의 동일한 결과를 보여 주고 있다.

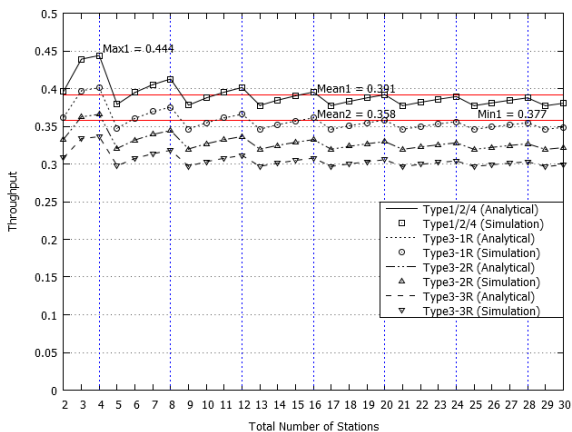


Fig. 5. Trend of Throughput as Total Number of Stations change

Type 3에서 수신 스테이션의 수가 1개인 경우 처리율은 평균 0.358로 Type 1/2/4의 경우보다 낮았으며 수신 스테이션의 수가 많을수록 처리율은 점점 낮아졌다. 수신 스테이션의 수가 많을수록 처리율이 낮아지는 이유는 Type 3의 경우 송신 스테이션이 프레임을 전송한 후 수신 스테이션의 수만큼의 확인 응답을 기다려야 하므로 이에 따른 오버헤드로 인해 처리율이 낮아진다.

Fig. 6은 DATA의 크기가 3,671ms이고 Type 1/2/4 모드에서 스크치 검출 기능 유무에 따른 처리율을 나타내었다. 전체 스테이션의 수가 4일 때 스크치 검출 기능 있는 경우 처리율의 평균은 0.391이고 스크치 검출 기능이 없는 경우 처리율의 평균은 0.360으로 약 0.031의 차이가 발생하였다. 처리율 차이가 발생하는 이유는 스크치 검출 기능이 있으면 NBDT값이 작아 평균 유희 시간이 짧아져 처리율이 증가하기 때문이다.

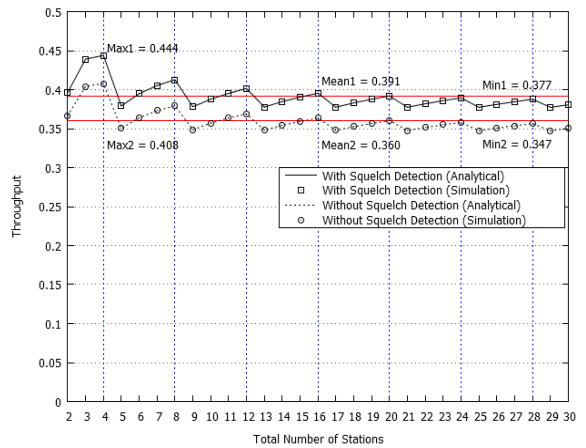


Fig. 6. Comparison of Throughput with and without Squelch Detection

Fig. 7은 Type 1/2/4에서 스크치 검출기능이 없을 때 DATA의 길이를 3,671ms에서 1,000ms로 변화시킬 때의 전체 스테이션 개수에 대한 처리율을 측정하였다. 실험결과 DATA의 길이가 3,671ms일 때 처리율이 가장 높았으며 DATA의 길이가 짧을수록 처리율이 감소하였다. 특히, DATA의 길이가 3,000/2,500/2,000을 비교하면 3,000과 2,500의 처리율 변화보다 2,500과 2,000일 때의 처리율이 조금 더 떨어지고 2,000과 1,500일 때 처리율은 더욱 변화가 심한 것을 알 수 있다.



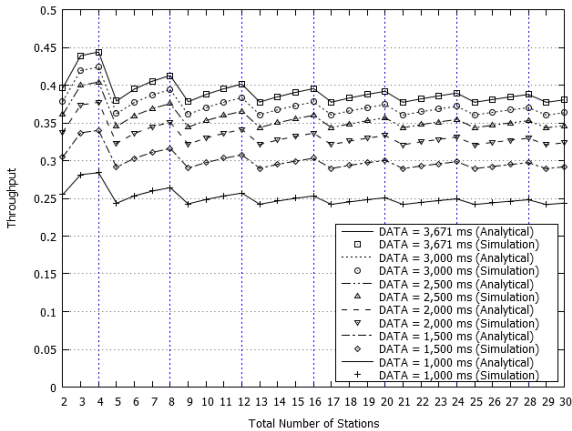


Fig. 7. Comparison of Throughput as DATA changes

### 5. 결론

군에서 운용하는 전투무선망은 유사시 네트워크 상의 대부분의 스테이션이 메시지를 보내는 상황이 발생되고 이로 인해 네트워크 트래픽은 포화상태가 된다. 포화상태는 곧 네트워크 내의 부하가 가장 클 때를 의미하고 이러한 상황에서 처리율은 네트워크를 설계하고 구성하는데 중요한 고려사항이 된다.

본 논문은 포화상태일 때 MIL-STD-188-220 표준에서 R-NAD의 처리율을 수학적으로 모델링하고 시뮬레이션을 통하여 이를 검증하였다. 처리율을 구하기 위하여 성공확률과 평균 유휴시간을 계산하였다. 분석적 방법과 시뮬레이션 결과 값은 거의 일치하였고, 전체 스테이션 개수가 증가하여도 성공확률은 거의 변화가 없었으며, 평균 유휴 시간은 스케치 검출 기능이 있을 때가 스케치 검출 기능이 없을 때보다 더 짧아졌다. Type 1/2/4 및 Type 3 동작에 대한 처리율을 비교한 결과 확인응답이 없는 Type 1/2/4의 처리율이 Type 3 보다 더 높게 나왔으며, 스케치 검출 기능 유무에 따른 처리율은 스케치 검출 기능이 있는 경우가 스케치 검출 기능이 없는 경우보다 다소 높게 나타났다. DATA 길이에 따른 처리율은 DATA 길이가 길수록 처리율이 높아졌다.

### References

- [1] MIL-STD-188-220D with Change1 “Digital Message Transfer Device Subsystem,” 23 June 2008.
- [2] InCheol Baek, JiSang Yu, KyoungGyu Lee, “Design of MIL-STD-188-220 Based Tactical Wireless Communication Controller,” 14st Army Weapon Systems Development Seminar, Nov. 2006.
- [3] OPNET Technologies, <http://www.opnet.com>.
- [4] R. G. Burch, S. C. Chamberlain, “Performance Evaluation of MIL-STD-188-220 Interoperability Standard for Digital Message Transfer Device Subsystems,” Proc. of Military Communications Conference, pp. 427-432, 5-8 Nov. 1995.
- [5] D. J. Thuente, T. E. Borchelt, “Simulation Studies of MAC Algorithms for Combat Net Radio,” Proc. of Military Communications Conference, pp. 193-199, 2-5 Nov. 1997.
- [6] D. J. Thuente, T. E. Borchelt, “Simulation model and studies of MILSTD-188-220A,” Proc. of Military Communications Conference, pp. 198-204, 18-21 Oct. 1998.
- [7] D. J. Thuente, T. E. Borchelt, “Comparioson of Type 2 and Type 4 Services for MIL-STD-188-220B,” Proc. of Military Communications Conference, pp. 1013-1019, 31 Oct. - 3 Nov. 1999.
- [8] D. J. Thuente, J. K. Whiteman, “Modified CSMA/Implicit Token Passing Algorithm for MIL-STD-188-220B,” Proc. of Military Communication Conference, pp. 838-844, 28-31 Oct. 2001.
- [9] NanSol Seo, JaeWoo Joo, DohngWoon Jang, “A Performance Analysis of CSMA in Wireless Networks Based on MIL-STD-188-220,” Journal of the Korean Institute of Communication Sciences, Vol. 37, No. 11, pp. 1129-1137, Nov. 2012.