

## TICN체계하 MANET 프로토콜 분석

### Evaluation of MANET Protocol Scheme for TICN System

손혜정\*      권태욱\*  
Hye-Joung Son      Tae-Wook Kwon

#### Abstract

TMMR(Tactical Multiband Multirole Radio) is one of the important equipments for TICN which is our next military tactical communication system and it supplies to the distribution of traffic of C2(Command & Control) and SA(Situation Awareness) for unit of Brigade and below. In this paper, we define the tactical needs of military communication, and evaluate MANET(Mobile Ad-hoc Network) protocol for the future digital battle-field through performance comparison with a network simulator.

Keywords : Future Combat System(FCS, 미래전투체계), Tactical Information Communication Network(TICN, 차세대 전술통신체계), Mobile Ad-hoc Network(MANET), Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing(AODV), Dynamic Source Routing(DSR), Destination Sequence Distance Vector Routing(DSDV), Temporally Ordered Routing Algorithm(TORA)

#### 1. 서론

미군은 변화된 미래 전장 환경에 효율적으로 대처하는 방법은 발달된 첨단 네트워크 기술에 기반한 정보우위의 달성이라 판단하고, 이를 실현하기 위해 차기 전술통신체계인 WIN-T(Warfighter Information Network Tactical), 중간체계인 JNN(Joint Network Node), 미래전투체계인 FCS(Future Combat System) 사업 등을 통한 변화를 위해 노력하고 있으며, 우리나라 역시 미래 네트워크 중심전에 대비한 차기 전술통신체계인 TICN 체계를 개발하기 위한 탐색개발이 올해 연말까

지 진행 중에 있다.

TICN체계의 주요 장비 중 하나인 TMMR은 소프트웨어 기반의 SDR(Software Defined Radio) 무전기로 여러 가지 대역과 모드를 지원한다. FM/AM 모드, 부대노드(소형)의 백분망 접속을 위한 RLI(Radio Link Interface)모드 외에도 00부대급이하 체대의 C2와 SA 정보의 유통을 위한 전술 데이터망을 구성하는 WNW 모드를 지원하며, 이를 위해 MANET 기술이 적용될 예정이다.

MANET이란 기존의 인프라 기반의 네트워크와는 달리 이동성을 가진 노드들간의 멀티홉을 통해 데이터를 전달하는 개념의 네트워크 기술로 미래 전장 환경에서 C2OTM(Command & Control On The Move)의 보장을 위해 주목받는 기술 중 하나이다. 그러나 기존의 MANET에 대한 연구는 대부분 군 전술통신체계의 특

† 2009년 4월 20일 접수~2009년 7월 17일 게재승인

\* 국방대학교(Korea National Defense University)

책임저자 : 권태욱(kwontw9042@hanmail.net)

성을 반영하지 않은 상용통신의 비교기준을 통해 단 순 성능비교에 치중되어 있는 것이 사실이다.

따라서 본 논문에서는 TICN체계가 적용될 미래 전 장 환경에 대한 변화와 이에 따른 군 전술통신의 요 구사항들을 파악하고, 이를 기준으로 실험항목과 군사 적 시나리오를 적용하여 MANET 프로토콜별 성능을 비교 평가해 보았다.

## 2. 관련연구

MANET 네트워크에서 가장 중요한 것은 이동하는 노드들로 인해 계속적으로 변화하는 네트워크 토폴로 지(Topology)를 어떻게 모델링하고, 어떻게 효율적으로 라우팅 경로를 설정할 것인가 하는 것으로 라우팅 경로를 설정하는 방법은 Fig. 1과 같이 크게 기존의 유 선환경에서 사용되는 Bellman Ford 알고리즘을 사용하는 Table driven 방식과 모든 단말이 이동하는 Ad-hoc 환경을 고려한 On demand 방식 그리고 두 방식의 장 점을 혼합한 Hybrid 방식과 기타방식으로 분류할 수 있다<sup>[1~3]</sup>.

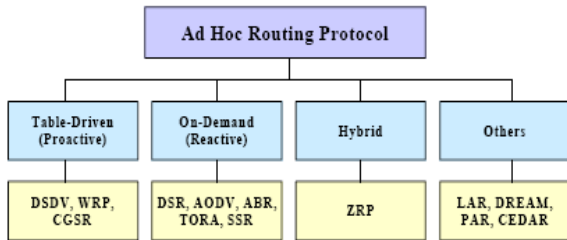


Fig. 1. Ad-hoc routing protocols

Table driven 라우팅 프로토콜은 다른 노드들에 대 한 주기적인 라우팅 정보를 유지함으로써 전송 필요 시 별도의 경로 획득 절차 없이 라우팅 테이블의 정 보를 이용하는 장점이 있으나, 실제 라우팅을 사용하 지 않을 때에도 전체 정보를 유지함으로써 큰 오 버헤드가 발생하여 성능저하에 많은 영향을 미치는 단 점이 있다.

On demand 라우팅 프로토콜은 Table driven의 단점 을 해결하기 위하여 모든 노드가 빈번하게 위치 이동 하는 Ad-hoc 환경에 적합하도록 제안된 프로토콜로서 네트워크 내의 모든 이동노드에 대한 전체 경로를 상 시 유지하는 것이 아니라 데이터 전송 필요시에만 경

로 획득 절차를 수행하는 방식으로, MANET의 특성상 MANET에서는 토폴로지 변화에 따른 오버헤드를 줄 일 수 있다는 면에서 본 논문에서는 MANET 라우팅 프로토콜에 적합한 On demand 방식의 라우팅 프로토 콜 중 비교적 인지도가 높은 AODV와 DSR, TORA를 대상으로 비교 평가를 진행하고자 한다.

DSR(Dynamic Source Routing)은 카네기 멜론 대학의 Monarch(Mobile Networking Architecture) 프로젝트에 의해 제안된 방법으로 소스 라우팅 기반이며, Ad-hoc 네트워크 이동노드의 빠른 이동성을 고려하여 주기적 인 라우팅 패킷을 없앴 대역폭의 오버헤드를 줄일 수 있는 프로토콜 방식이며, AODV(Ad-hoc On Demand Distance Vector Routing)는 1999년에 C. Perkins에 의해 DSDV(Destination Sequence Distance Vector)를 On demand 방식에 적용하기 위해 제안된 방법으로, 경로 획득 절차에 의해 얻어진 경로만을 일정시간 동안만 유 지한다는 점에서 DSDV와 차별된다. TORA(Temporally Ordered Routing Algorithm)는 동적인 이동 통신 환경 에 적합한 Loop-free 분산 라우팅 프로토콜로, 1997년 에 IETF에 의해 최초로 제안되었으며, 경로설정을 위 한 라우팅 패킷의 오버헤드를 최소화하기 위하여 제 어 메시지를 토폴로지 변화가 일어나는 어떤 일정크 기의 작은 노드의 집합 안에서만 교환된다<sup>[2]</sup>.

## 3. 미래 전장 환경을 고려한 軍 전술통신 요구사항

이라크전과 같은 최근의 사례와 전문가들의 관련 문서에 비추어 볼 때 미래전장은 발달된 첨단 네트워 크 기술과 다양한 감시수단을 활용한 전장가시화와 C4I(Command, Control, Communication, Computer, and Intelligence)를 활용한 빠른 결심, 다수의 적에 대한 정 밀타격에 의한 효과중심의 전쟁이 수행되는 디지털 전장이 될 것이다.

전장공간은 3차원(육, 해, 공)공간에서 5차원(우주, 사이버)공간으로 확대되고, 기존의 병력중심, 대량살상/섬멸전에서 효과를 증시한 정밀 타격위주의 비선형 전 투로 그 패러다임을 달리 할 것이며, 인명중심의 무인 무기체계가 전투수행 간 큰 비중을 차지하게 될 것이 다. 또한 발달된 기반체계를 통해 빨라진 결심주기와 감시-결심-타격체계를 연동하여 전투력을 발휘를 극대 화하는 네트워크 기반 동시/통합전의 형태로 변모해 갈 것이다.

가. 군 통신 요구사항

군 통신은 언제 어디서나 필요한 사용자에게 필요한 형태로 지원되어야 하고, 전장 환경을 고려하여 최대한의 생존성을 보장할 수 있어야 한다. 다양해진 정보 형태와 대용량의 전송용량이 요구될 것이며, 부대의 이동성을 고려한 기동간 지휘통제를 보장할 수 있어야 한다. 그리고 다양해진 관련 무기체계들간의 상호연동을 위한 상호운용성을 고려하여 개발되어야 할 것이며, 야전환경의 변화에 적합한 능력을 통해 지휘통신의 연속성과 강건성을 보유하여야 할 것이다. 또한 점차 비중이 커지는 로봇 및 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)와 같은 무인 무기체계에 대해서도 아래의 Table 1<sup>[6]</sup>과 같은 기준을 만족할 수 있어야 한다.

Table 1. Future Tactical Communication Requirements

구 분	세 부 내 용
강건한 네트워크	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적과 지형의 제한사항 극복능력 구비필요</li> <li>• 아군의 작전 기도 노출 방지</li> </ul>
기동간 지휘통제보장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고속기동전 수행 여건 보장</li> <li>• 작전 지역 확대에 따른 기동여건 보장</li> </ul>
전장가시화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원거리 감시/결심/타격체계 운용 보장</li> <li>• 자동화된 전장관리체계 운용 보장</li> </ul>
상호운용성 보장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 통합성 극대화를 위한 합동작전 중요성 증대</li> <li>• 대용량 응용체계 기반 구축 필요</li> </ul>
지휘통신 연속성 보장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 야전환경에 적합한 능력 보유</li> <li>• 지휘관계 변화 시 중단 없는 통신망 보장</li> </ul>

나. 실험항목 도출

미래 군통신의 요구사항을 중심으로 MANET의 특징을 고려한 실험항목은 아래 Table 2와 같이 선정 하였다.

미군은 COTS(Commercial Off The Shelf), Dual-use Technology(민군겸용기술) 등의 개념을 통해 상용 기술의 군사적 적용을 장려하면서도 상용기술과 군전술 통신체계간의 차이를 인정하고 군사적 활용에 대해서는 여러 제도적인 절차를 통해 이를 보완하는 태도를 취하고 있으며, 이는 1998년 미 RAND(Research and

Development) 연구서의 보고서<sup>[4]</sup>와 디지털 사단을 위한 미 육군의 수차례 전투실험(1998~2001년) 사례를 통해 쉽게 엿볼 수 있다.

Table 2. Military Communication Requirement Elements

구 분	세 부 내 용
강건한 네트워크	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 노드 수 : 확장된 미래 책임지역 내 데이터 유통을 보장할 수 있는 적절한 노드수 선정, 노드의 수 변화에 따른 데이터 전달소요시간 및 라우팅 설정시간 비교</li> <li>• 데이터 전송률 : 데이터 전송률의 변화에 따른 Throughput 비교</li> </ul>
기동간 지휘통제 보장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이동속도 : 속도 변화에 따른 데이터 전달 소요시간 비교</li> </ul>
상호운용성 보장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UAV 연동 : 지상 네트워크와 UAV를 활용한 공중 전송체계간의 연동시 Throughput 비교</li> </ul>
지휘통신 연속성 보장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 네트워크 스타일 : 다양한 작전형태를 고려한 고정 및 이동 네트워크에 대한 Throughput 비교</li> </ul>

기존의 단순 성능비교 위주의 MANET에 대한 연구들은 군사적 적용을 위한 판단자료로는 제한되므로, 본 연구에서는 TICN이 적용될 미래 전장 환경의 변화와 이에 따른 군통신의 요구사항을 고찰하고, 이에 기초한 실험항목과 군사적 시나리오를 적용하여 TICN 체계에 적용할 MANET 프로토콜을 비교 분석 하였다.

4. 실험 및 분석

실험은 네트워크 분석프로그램인 OPNET 14.0으로 실시하였으며, 실험간 적용된 변수는 각종 군사 교리 및 교범을 참고하여 아래 Table 3과 같이 선정하였다.

OPNET에서 제공하는 WLAN 기반의 MANET 모델을 이용하여 시나리오를 구성하였으며, 데이터 전송속도는 현 TMMR의 요구사항인 2Mbps를 적용하고, 성능비교를 위한 MANET 프로토콜들은 노드의 이동성을 고려한 On demand 프로토콜 중 비교적 인지도가 높은 AODV와 DSR, TORA를 대상으로 실험을 진행하였다. 기본 시나리오는 현재 육군에서 TMMR의 WNW

모드를 00부대급에 적용하는 것을 고려하였으며, 네트워크의 Size는 군사평론에 소개된 연구인<sup>7)</sup>을 적용하였다. 노드의 수량은 육군이 TMMR WNW모드를 차량용으로, 고려중인 것을 감안하여 14대로 설정하였다.

Table 3. Simulation Variables

구분	내용
Number of nodes	14
Network size	14km × 20km
MAC protocol	IEEE 802.11b
WLAN transmit power	0.05w
MANET protocols	DSR, TORA, AODV
Date rate	2Mbps
Traffic	740bit / 4sec

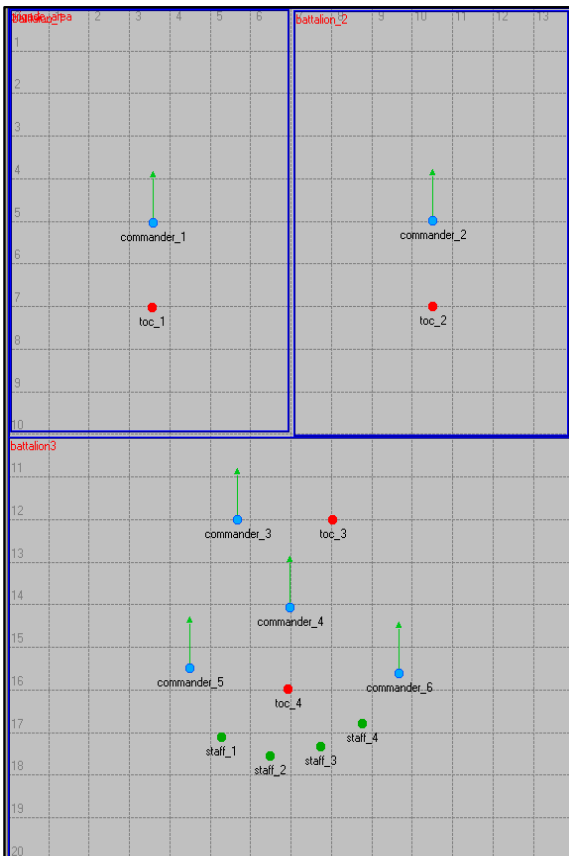


Fig. 2. Testing Environment

노드의 이동성 설정은 Fig. 2와 같이 고정형과 이동형 노드를 분리하여 적용하였다. 지휘관 노드는 해당 책임지역을 랜덤으로 이동하고, 참모 및 지휘소는 고정형 노드로 반영하였으며, 이동 노드의 속도는 야교 2-13 전장정보 분석(2002.11) 이동속도에서 제시된 주간 통과 가능 지형 속도 40km/h를 적용하였다. 트래픽 발생은 740bit의 데이터가 4초당 1번씩 발생하는 것으로 가정하였으며, 대상은 실험 목적상 랜덤으로 설정하였다.

가. 실험결과 및 분석

데이터의 전송속도에 따른 각 알고리즘들의 네트워크 처리율(Throughput)의 변화를 비교해 보았으며 이때, 적용한 전송속도는 IEEE 802.11b 모델을 활용하여, 1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps, 11Mbps의 4가지를 적용하였다.

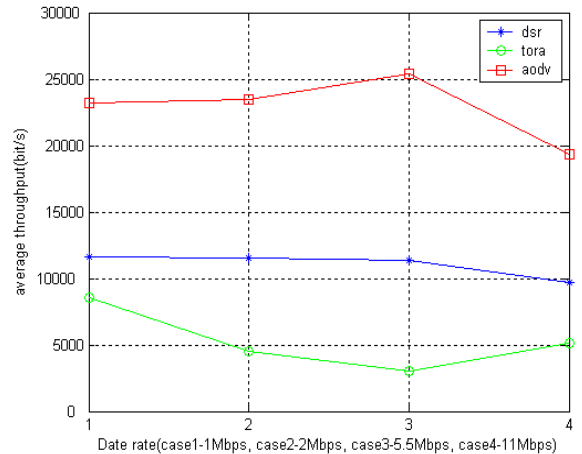


Fig. 3. Data Rate vs. Throughput

실험 결과 Fig. 3과 같이 랜덤으로 이동하는 노드들에 의해 시간에 따라 Throughput의 변화 정도는 다른 알고리즘에 비해 TORA가 심한 편이며, 1M, 2M, 5.5M, 11M의 4가지 경우 모두 AODV가 가장 높은 Throughput을 보여주었다. AODV와 DSR의 경우 1M~5.5M까지는 일관된 성능을 유지하다 11M에서는 Throughput이 하락하는 경향을 보여주었다.

비교 대상이 되는 각 프로토콜들이 기본적으로 노드들의 이동성이 없는 고정된 네트워크와 랜덤하게 이동하는 이동 네트워크에서 어떤 성능의 차이를 보이는지를 네트워크 처리율(Throughput)의 변화를 통

해 Fig. 4, 5와 같이 비교해 보았다. 그림에서 맨 위 (녹색)는 AODV, 두 번째(청색)는 DSR, 그리고 맨 밑 (적색)은 TORA를 나타낸다.

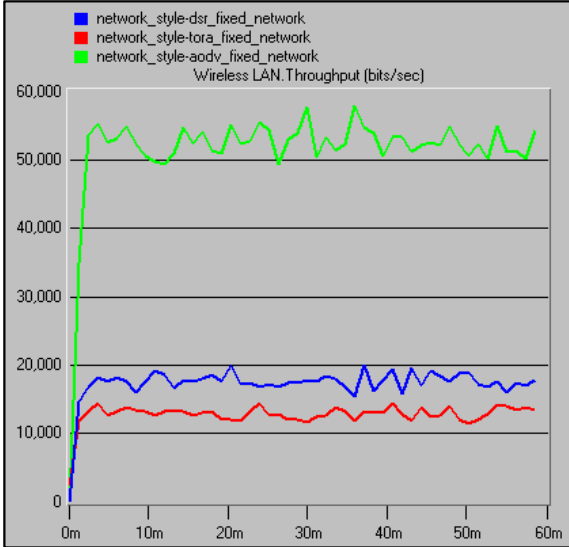


Fig. 4. Fixed Network Throughput

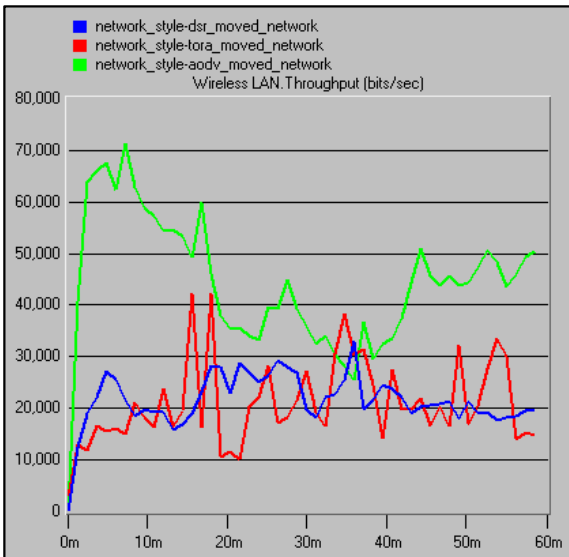


Fig. 5. Mobile Network Throughput

고정 네트워크에서는 노드들의 이동이 없으므로 Throughput이 안정적인 반면 이동 네트워크에서는 노드들의 랜덤한 이동으로 많은 변화를 보이고 있다. 고정 네트워크와 이동 네트워크 모두 AODV가 가장 높

은 Throughput을 보여주었다.

TMMR WNW의 적용을 고려중인 육군 00부대급 부대의 전장(네트워크 Size)에서 효율적인 데이터의 유통을 보장하는 노드 수를 판단해 보고, 노드 수에 따른 각 프로토콜의 성능을 비교해 보았다. 노드의 수는 기본 시나리오(Case 1)로 설정된 14대와 여기에 0대장들에게 추가 할당할 경우(Case 2)를 고려한 26대, 참모들에게도 할당하는 경우(Case 3)인 38대를 적용하였으며, 기타 실험환경은 동일하게 적용하여 실험을 실시하였다.

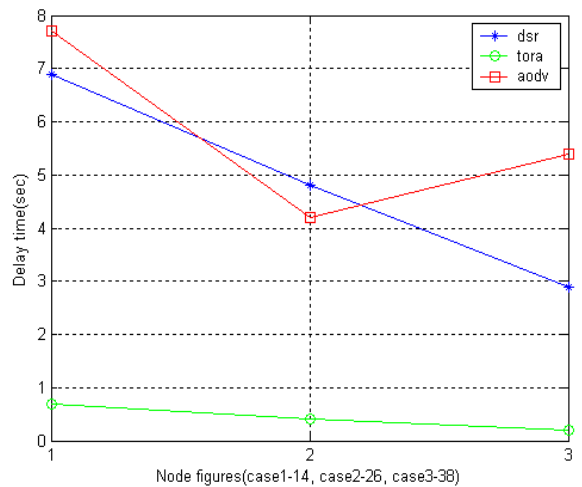


Fig. 6. Node and Delay Time

MANET을 이용해 송신노드에서 수신노드까지 데이터 전달간 소요된 Delay 시간(sec)을 비교시 Fig. 6과 같이 전체적으로 노드수가 증가할수록 경로 설정을 위한 경우의 수가 증가하여 Delay 시간이 줄어드는 경향을 보여주었다. AODV의 경우는 26대의 경우 4초 정도로 감소하였다가 38대의 경우는 5.4초 정도로 다시 늘어나는 형태를 보여주었고, DSR은 선형적(lineal)으로 감소하였으며, TORA의 경우는 전부 1초 미만으로 가장 작은 Delay를 보여주었다.

이를 미육군의 차기전술통신체계인 WIN-T에서 제시한 정보형태별 데이터 정보교환 소요시간으로 판단시 화력요청, 적 상황보고와 같은 시간에 민감한 정보들의 교환 요건을 만족하는 것으로 나왔으며, 26대 이상의 경우 DSR과 TORA는 과도체계 기준으로 적 미사일 및 화생방 경고와 같은 긴급정보의 데이터 교환 요건도 만족할 수 있는 것으로 도출되었다.

노드의 이동속도 증가에 따른 각 프로토콜별 성능의 차이를 송신에서 수신노드까지 데이터 전달에 소요되는 시간을 기준으로 비교해 보았다. 노드의 이동속도가 증가할수록 네트워크 토폴로지(Topology)의 변화가 빨라져 데이터 전달을 위한 멀티홉 경로를 설정하기가 더욱 어려워진다. 현재 육군에서는 TMMR WNW가 최대 120km/h의 속도로 이동하는 경우에도 정상적인 데이터 유통이 가능하도록 개발하는 것을 고려하고 있으며, 미군의 JTRS WNW 경우는 상대적으로 120mile/h(= 약 193km/h) 이상의 속도로 기동하는 지상 및 해상의 노드들간에 데이터 유통이 가능할 것을 요구조건으로 고려하고 있다.

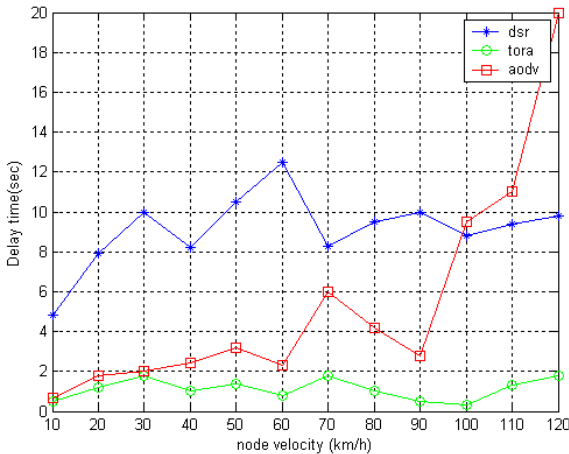


Fig. 7. node velocity vs. Delay time

시험 결과 Fig. 7과 같이 노드의 이동속도 증가에 따라 점차 delay가 커지는 형태를 보여주었으며, TORA가 120km/h까지의 속도변화에도 불구하고 2초 이내의 작은 delay를 일관되게 유지하였다. 다음으로 AODV, DSR의 순으로 delay가 작게 나타났으며, AODV의 경우는 90km/h 초과시 delay가 급격하게 증가하는 모습을 보여주었다. 이를 앞서 언급한 미육군의 차기전술 통신체계 WIN-T ORD의 데이터 전송교환요구 조건에 비추어 판단해보면, 120km/h 속도까지 모두 일상적인 정보의 유통에는 어려움이 없으며, TORA의 경우는 120km/h의 속도에서도 긴급정보의 교환기준을 만족하였다. DSR의 경우는 속도의 변화에 따라 비선형적(nonlinear)으로 증가하며, delay 변화의 기복도 큰 편으로 최대 delay가 약 12.5초로 시간에 민감한 정보의 기준을 만족하였다.

AODV의 경우 90km/h이상의 속도에서는 delay가 급격히 증가하여 일상적인 정보의 유통 기준만을 보장하며, 90km/h 미만의 속도에서는 최대 6초의 delay로 시간에 민감한 정보의 교환기준을 만족하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 단순한 성능비교에 치중한 기존의 연구와는 달리 미래 전장 환경을 고려한 전술적 통신 요구사항을 고찰하고, 군사적 시나리오를 적용하여 MANET 프로토콜 간의 성능을 비교해 보았다. 실험결과 전체적으로는 AODV가 가장 좋은 성능을 보여주었으나, 90km/h이하의 속도와 5.5Mbps 이하의 Data rate 한계를 확인하였고, 빠른 속도로 이동하는 노드들간의 소량의 데이터를 주고받는 경우에는 TORA가 가장 유리한 성능을 보여주었다. 또한 미래 00급 크기의 네트워크에서 MANET 기술을 활용하여 부대간 데이터 유통을 보장하기 위해서는 많은 수량의 TMMR WNW가 필요한 것으로 확인되었다. 세부적인 할당기준은 미래 작전부대 책임지역의 크기를 고려하여 적절한 검토가 되어야 할 것이며, 추가적으로 실제 야전에서 적용 가능한 TMMR WNW모드의 개발을 위해서는 산악지형이 대부분인 한반도의 전장환경을 고려하여 클러스터 헤더의 개념 및 지형을 고려한 추가 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

## References

- [1] C-K Toh, "Ad Hoc Mobile Wireless Networks", Prentice Hall PTR, 2002.
- [2] Elizabeth M. Royer & Chai-Keong Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks", IEEE personal Communications, 1999.
- [3] Charles E. Perkins, "AD HOC NETWORKING", Addison Wesley, 2000.
- [4] 박영충 외 1명, 이동 ad hoc 네트워크 기반의 유비쿼터스 네트워크 기술동향 및 적용방안, 통신망 프로토콜 개발동향, KETI, 2004.
- [5] 전술정보통신체계(TICN) 운영개념 기술서(案), 정통고, 2007.

- [6] 디지털전장을 위한 기초정책연구, RAND 연구소, 미국, 1998.
- [7] 김창환, “정면(正面) 및 종심(縱深)” 변천과정고찰 (방어 및 공격작전을 중심으로), 군사평론 327호, 2007.
- [8] WIN-T ORD(Operation Requirement Document 운용 요구서) ver 5(13 November 2000), 육군정보통신교 번역, 2006.
- [9] US ARMY, JTRS WMW FDD v2.21, 2001.