

## 낮은 지연을 갖는 사전등록 핸드오프의 성능분석

김두용\* · 박상현\*

### Performance Analysis of Low Latency Pre-Registration Handoff

Doo-yong Kim\* and Sang-hyun Park\*

**요약** 본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 모바일 IP에서 사용하는 낮은 지연을 갖는 사전 등록 핸드오프 방식의 성능을 분석한다. 시스템의 이용률에 따라서 패킷 손실과 지연을 평가한다. 사전 등록 핸드오프 방식에 참여하는 외부 에이전트는 입력 및 출력포트를 갖는 큐로써 모델링 할 수 있으므로 본 논문에서는 오픈 큐잉 네트워크 모델을 이용하여 사전 등록 핸드오프 방식의 지연 시간값과 시스템내에 있는 패킷수를 얻기위한 해석적 모델을 제시한다. 해석적 모델과 컴퓨터 시뮬레이션으로 얻은 값이 거의 일치함을 알 수 있다.

**Abstract** In this paper we analyze the performance of the low latency pre-registration handoff method of mobile IP by computer simulation. Packet losses and delays are evaluated in terms of system utilization. Foreign agents that participate in the handoff process can be modeled as queues representing input and output ports. Therefore, we propose an analytical model of pre-registration handoff by using open queueing network model. Simulation results are shown for validating analytical estimates.

**Key Words :** Performance, Queueing Network, Low Latency Handoff, and Mobile IP

### 1. 서론

컴퓨팅을 위한 이동성을 요구하는 PDA 단말기나 노트북 등의 많은 보급으로 인해 무선 인터넷을 이용한 멀티미디어 통신 기술이 급속히 발전하고 있다. 유선 인터넷 환경에서 사용되고 있는 IP는 호스트가 자신이 속해 있는 한 네트워크에서 다른 네트워크로 이동할 경우 기존의 IP를 사용하여 인터넷에 접속할 수 없는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하고 호스트에 이동성을 부여하기 위해 모바일 IP가 제안되고 있다.

모바일 IP를 이용하여 이동 노드(mobile node)는 현재 속한 네트워크의 외부 에이전트(foreign agent)로부터 임시 IP 주소를 할당받아 패킷을 송수신할 수 있다. 따라서 임시로 할당받은 이동 노드의 IP 주소는 본래 이동 노드가 속한 홈 네트워크의 홈 에이전트(home agent)에게 전달된다. 그러므로 홈 네트워크로 전달된 임시 IP 주소는 다른 노드로부터 이동 노드의 홈 네트워크에서 할당 받은 IP 주소를 목적지로하여 전송된 패킷들을 현재의 이동 노드에 속한 네트워크로 재전송하기 위한 목적지 주소로 사용하게 된다. 이동 노드가 매

우 빈번하게 자신에 속한 네트워크를 변경하는 핸드오프(handoff)를 요청하는 경우에 이동 노드의 원활한 핸드오프를 지원하기 위해 많은 메시지를 발생시키게 되어 전체 네트워크의 성능에 부담이 될 수 있다. 특히 핸드오프 신호의 지연으로 인해 많은 패킷 손실로 이어질 수 있다. 따라서 핸드오프와 관련된 네트워크의 성능 저하를 최소화하기 위해 핸드오프 신호 동안 낮은 지연을 제공하는 것이 요구된다. 이와 같은 낮은 핸드오프 지연을 제공하기 위한 방안으로 계층적 구조의 이동성 관리 기법[1]이 제안되고 있다. 또한, 모바일 IP의 핸드오프 등록 절차(registration process)에 필요한 지연으로 인해 이동 노드가 패킷을 송수신할 수 없는 시간을 최소화하기 위한 방법으로 사전 및 사후 등록 핸드오프 방법이 제안되고 있다[2]. 이러한 사전 및 사후 등록 핸드오프 방법은 게이트웨이 외부 에이전트(gateway foreign agent)를 이용하여 계층적 구조의 이동성 관리 기법의 사용도 가능하게 한다. 따라서, 본 논문에서는 사전 등록 핸드오프 방법의 성능을 분석할 것이며 제 2장은 사전 등록 핸드오프 방법에 관한 설명을 다루고 제 3장은 사전 등록 핸드오프 절차의 시뮬레이션 모델에 관해 서술하고 있으며 제 4장에서는 시뮬레이션 결과에 대한 분석을 다루고 마지막으로 제 5장의 결론 부

\*순천향대학교 전자공학과  
Tel: 041-530-1330

분으로 이루어져 있다.

## 2. 사전 등록 핸드오프 방법

기본적으로 모바일 IP는 OSI 7 모델의 두 번째 계층(L2)에 해당하는 데이터 링크(data link) 계층과 상관없이 작동하도록 설계되어졌다. 이러한 독립적인 방법으로 핸드오프 프로세스를 모바일 IP(L3) 계층과 L2 계층으로 나눌 경우 불필요한 핸드오프 지연을 발생시킬 수 있다는 것이 알려지고 있다[3],[4]. 예를 들면 핸드오프 등록 절차에 의해 발생된 메시지가 네트워크를 통해 전달되기 까지 시간이 필요하므로 이러한 시간동안 이동 호스트는 패킷을 송수신할 수 없으므로 지연이 발생할 수 있다. 이러한 까닭으로 L2 계층의 트리거(trigger)를 이용하는 낮은 지연 핸드오프 방법으로써 사전 및 사후 등록 절차가 제안되고 있다.

그림 1은 L2 핸드오프가 끝나기전에 L3 핸드오프를 수행하는 사전 등록 핸드오프 절차를 보여 주고 있다. 그림 1에서 현재 이동 노드(MN)가 연결된 에이전트를 이전 외부 에이전트(oFA)라 하고 이동 노드가 다른 셀로 이동한 후에 연결된 에이전트를 새로운 외부 에이전트(nFA)라 한다. 그리고 이전 외부 에이전트와 새로운 외부 에이전트에 속한 이동 노드들에게 다른 네트워크로부터 도착하는 패킷들을 전송하는 홈 에이전트(HA) 혹은 게이트웨이 외부 에이전트(GFA)로 구성되어 있다.

그림 1에서 메시지 1a와 1b는 각각 oFA에서 nFA로 라우터 요청(RtSol), nFA에서 oFA로 라우터 광고(RtAdv) 메시지를 나타낸다. 이러한 메시지를 통해

oFA는 이웃 nFA들로부터 받은 광고 내용을 저장한다. 이 과정은 핸드오프 지연 시간을 줄이기 위해 사전 등록 핸드오프가 수행되기 전에 이루어진다. 메시지 2a는 L2 계층의 트리거에 의해 이동 노드가 핸드오프를 개시할 경우 이동 노드가 oFA로 보내는 메시지로 oFA에게 핸드오프에 관한 정보를 요청한다. oFA는 ProxyRtSol 메시지에 대한 응답으로 이동 노드로 ProxyRtAdv를 보낸다. 네트워크가 핸드오프를 개시하는 경우에는 L2 계층 트리거가 oFA에서 발생하며 이때에는 이동 노드로부터 ProxyRtSol 메시지를 받지 않고 ProxyRtAdv 메시지를 직접 이동 노드로 보낸다. 또한, 네트워크가 핸드오프를 개시하는 경우 L2 트리거에 의해 nFA가 이동 노드로 ProxyRtAdv 메시지를 보낼 수도 있다. 이동 노드가 외부 에이전트로부터 ProxyRtAdv 메시지를 받게 되면 이어서 이동 노드는 등록 요구(RegReq) 메시지를 nFA로 보내게 된다. 만약, 로컬 게이트웨이 외부 에이전트(local gateway foreign agent)가 네트워크상에 존재한다면 등록 요구 메시지는 지역 등록 요구(RegReqReq) 메시지가 된다. 이때 이동 노드가 아직 L2 계층 핸드오프가 끝나지 않았기 때문에 nFA에 직접 연결이 않된 상태이므로 등록 요구 메시지는 oFA를 통해 nFA로 보내지게 된다. nFA가 이동 노드로부터 등록 요구 메시지를 받게되면 nFA는 등록 요구 메시지를 홈 에이전트 혹은 게이트웨이 외부 에이전트로 보내고 각 에이전트는 이에 상응하는 등록 응답 메시지를 보내게 된다. 이후 등록 응답 메시지를 받은 nFA는 이러한 사실을 이동 노드에게 알려주므로 사전 등록 핸드오프 절차를 완성하게 되며 이동 노드를 목적지로 하는 패킷들이 홈에이전트 혹은 게이트웨이 외부 에이전트로부터 nFA로 터널링 되어 최종적으로 이동 노드에게 전달되게 된다.

## 3. 시뮬레이션 모델

그림 2는 사전 등록 핸드오프 시뮬레이션에 사용된 외부 에이전트의 큐잉 모델을 나타낸다.

외부 에이전트는 각각 입력 포트와 출력 포트에 나누어 모델링 되는 것이 필요하다. 패킷들이 입력 포트를 통해 들어오면 외부 에이전트의 데이터 패킷 처리부에서는 패킷을 입력받아 일반적인 라우터에서 하는 프로세스 기능을 수행하여 필요할 경우 패킷을 재결합모듈, 라우팅 모듈, 그리고 단편화모듈로 보내며 또한 이동 노드들의 임시 주소(care-of-address)를 저장하고 있는 바인딩 캐시(cache)를 참조하여 해당 출력 포트에 패킷을 보내게 된다. 따라서 출력 포트에서는 버퍼에 대기 중인 패킷을 해당 목적지로 전송하게 된다.

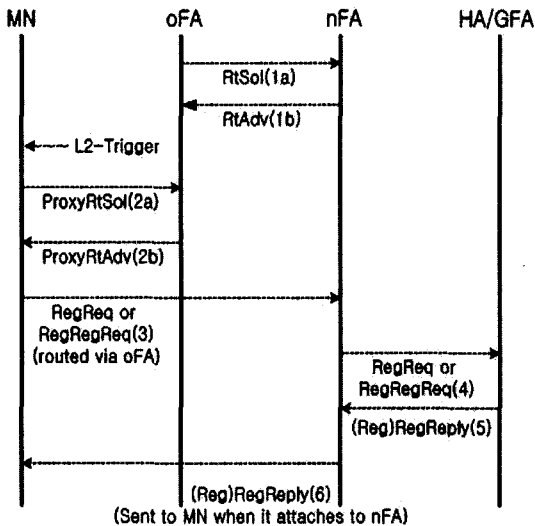


그림 1. 사전 등록 핸드오프

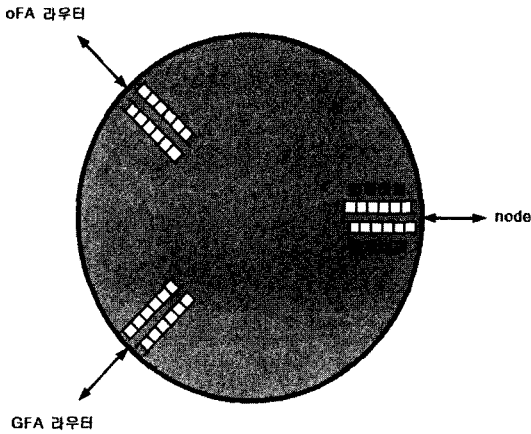


그림 2. 외부 에이전트(FA)의 큐잉 모델

그림 3은 본 논문에서 모바일 IP 사전 등록 핸드오프의 성능을 분석하기 위해 사용된 시뮬레이션 모델을 나타낸다. 게이트웨이 외부 에이전트(GFA)는 바인딩 캐시를 참조하여 소스 노드(CN)로부터 들어오는 패킷들의 임시 주소를 확인한 다음 해당 외부 에이전트로 패킷을 전송하여 목적지 이동 노드에게 패킷을 전달한다. 이때 이동 노드들이 핸드오프를 시도할 경우 이동 노드와 외부 에이전트 사이에 제 2장에서 언급한 신호들을 교환하여 등록 메시지를 게이트웨이 외부 에이전트로 보내 이동 노드의 새로운 임시 주소를 바인딩 캐시에서 갱신하므로써 이동 노드의 핸드오프를 마치게 된다. 따라서 핸드오프 이후에 소스 노드로부터 발생하는 패킷들은 바인딩 캐시의 새로운 임시 주소를 사용하여 이동 노드에게 전달하게 된다. 한편, 시뮬레이션 모델의 구현을 위해 SIMAN 언어에 기초한 ARENA 시뮬레이터

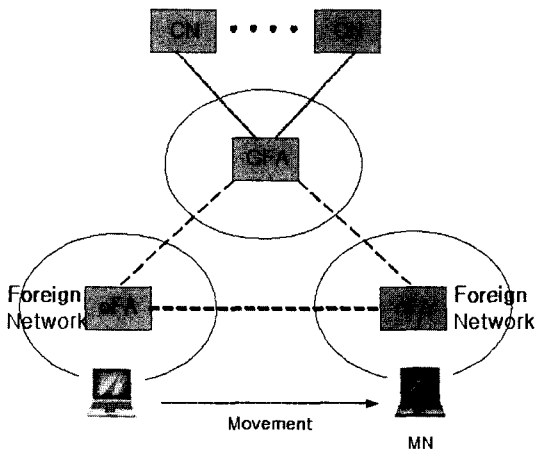


그림 3. 시뮬레이션 모델

를 사용하여 사전 등록 핸드오프 모델을 구현한다.

#### 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션 수행을 위해 데이터 패킷 크기는 평균 1000 바이트로 가정하고 각 소스 노드로부터 게이트웨이 외부 에이전트(GFA)를 통해 이동 노드들로 전송되는 패킷 입력을  $\lambda$ 는 Poisson 분포를 갖고 평균 초당 1000 패킷 발생을 가정한다. 10개의 이동 노드가 이전 셀지역에서 핸드오프를 시도하고 핸드오프를 시도하기 전에 이전 셀지역에 머무르는 시간을 평균  $d$  초로 가정한다. 그리고 게이트웨이 외부 에이전트로부터 각각 이전 외부 에이전트(oFA)와 새 외부 에이전트(nFA)로 패킷 전달 지연은  $1\mu s$ 를 사용하고 이전 외부 에이전트와 새로운 외부 에이전트에서의 무선 링크의 패킷 전달 지연은 무시할 정도로 작다고 가정하며 각 외부 에이전트에서의 패킷 처리율은 초당 1500 패킷의 지수분포를 사용하고 출력포트에서의 전달시간( $1/\mu$ )도 지수분포를 사용하여 성능을 분석한다. 또한, 이동 노드가 핸드오프가 필요없이 한 셀내에서 계속 머무르며 게이트웨이 외부 에이전트로부터 이전 외부 에이전트 혹은 새로운 외부 에이전트를 통해 패킷을 전달받는 배경 트래픽이 존재한다고 가정한다.

그림 4로부터 이용률  $\rho(=\lambda/\mu)$ 가 80%이상에서 패킷 손실이 급격히 증가하고 있다는 것을 알 수 있으며 특히, 이전 셀내에 이동국이 오래 머무른 후 핸드오프가 이루어질 경우에 가장 많은 패킷 손실이 발생하는 것을 알 수 있다. 이것은 사전 등록 핸드오프를 위해 필요한 신호를 주고 받는 동안 패킷들이 이전 셀로 전달될 출력포트에 상대적으로 많이 전달되기 때문이다. 그림 5는 이동 노드의 핸드오프가 이루어진 후에 게이트웨이 외부 에이전트에서 새로운 외부 에이전트로 패킷을 전

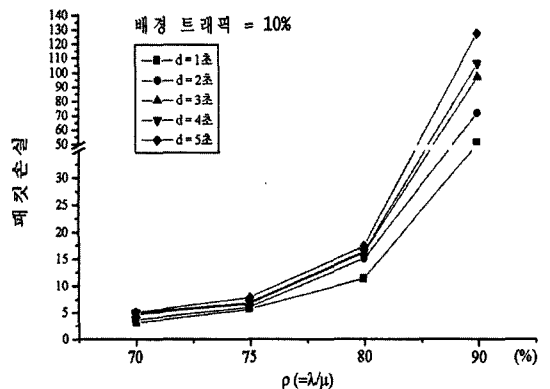


그림 4. 이동 노드로 전송되는 패킷의 손실률

달하기 위해 출력포트에 대기하고 있는 평균 패킷 수를 보여준다. 그림 5로부터 이용률이 높고 핸드오프전 셀 내에 머무르는 시간이 적을 수록 출력포트에 대기하고 있는 평균 패킷 수가 증가함을 알 수 있다. 이러한 현상으로 그림 6에서 보는 바와 같이 이동 노드가 이전 셀내에 머무르는 시간이 적고 이용률이 높을 때에 게이트웨이 외부 에이전트로 전달되어 새로운 외부 에이전트로 핸드오프가 이루어진 이동 노드로 패킷이 전달 될 때까지 소요되는 시간이 가장 많다는 것을 알 수 있다.

그림 7, 8, 9는 데이터 패킷을 전달 받는 이동 노드들의 배경 트래픽을 전체 트래픽의 20%로 증가한 경우를 나타내는데 앞선 결과와 비슷한 결과를 얻을 수 있다는 것을 볼 수 있다.

사전 등록 핸드오프 프로토콜은 위의 그림 10과 같은 오픈 큐잉 네트워크(open queuing network) 모델로 표현될 수 있다는 것을 알 수 있다. 그림에서 첫 번째와 두 번째 큐는 게이트웨이 외부 에이전트의 입력 포트와 출력

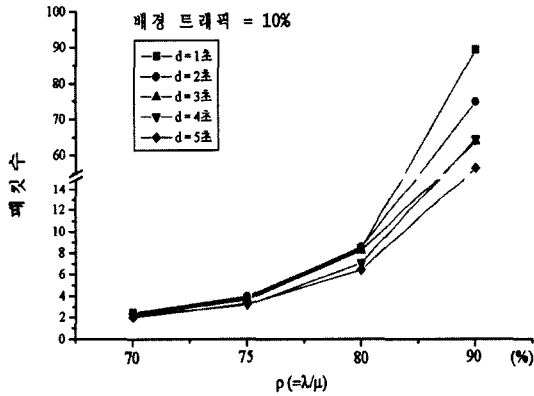


그림 5. GFA에서 NFA로 전송되기위해 출력버퍼에서 대기하고 있는 패킷수

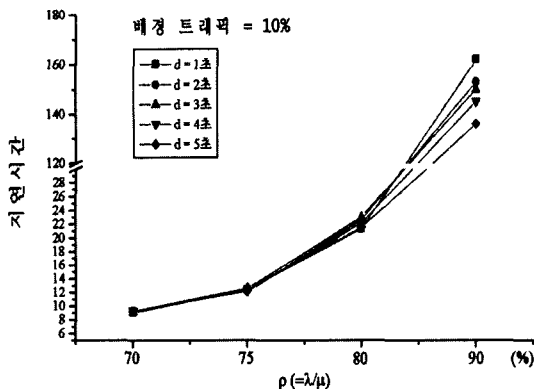


그림 6. 이동 노드로 전송되는 패킷의 지연시간

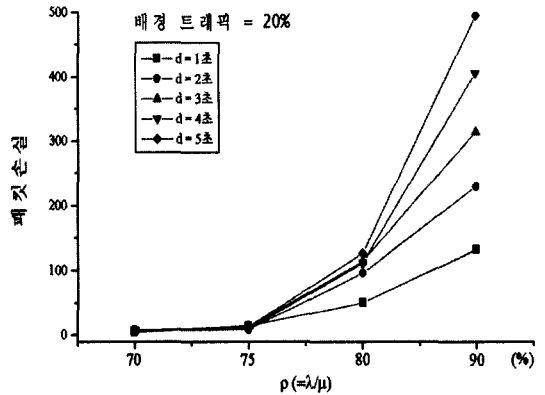


그림 7. 이동 노드로 전송되는 패킷의 손실률

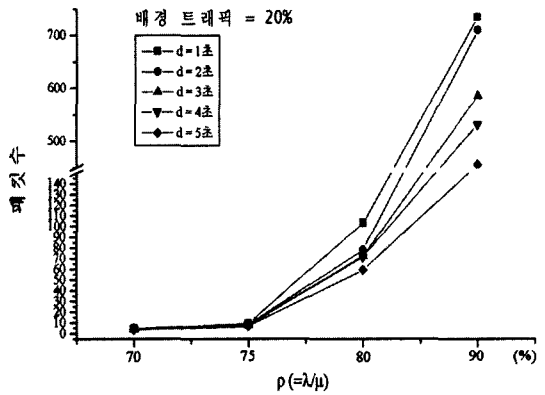


그림 8. GFA에서 NFA로 전송되기위해 출력버퍼에 대기하고 있는 패킷수

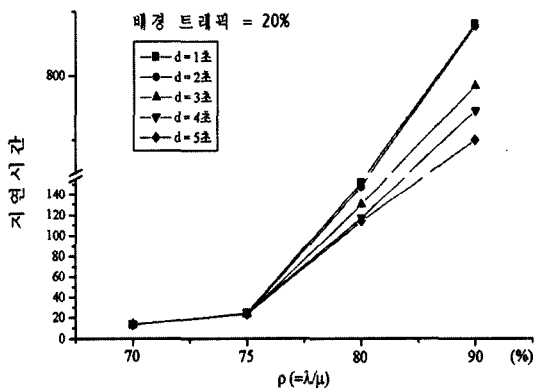


그림 9. 이동 노드로 전송되는 패킷의 지연시간

포트의 큐를 나타내고 세 번째 와 네 번째 큐는 nFA의 입력 포트와 출력 포트를 나타낸다고 가정할 수 있다.

다음 식(1)은 일반적인 오픈 큐잉 네트워크 모델의 상태 방정식으로 큐 i에 있는 패킷의 수를  $k_i$  라 하면



그림 10. 오픈 큐잉 네트워크 모델

각 큐에서  $k_i$  패킷을 얻을 수 있는 확률을 나타낸다[5].

$$p(k_1, k_2, \dots, k_m) = (1 - \rho_1)\rho_1^{k_1}(1 - \rho_2)\rho_2^{k_2} \dots (1 - \rho_M)\rho_M^{k_M} \dots \dots \dots (1)$$

그리고 다음 식(2)은 중단간에서 소요되는 패킷의 평균 지연 시간을 나타낸다.

$$E(T) = \sum_{i=1}^M \frac{1}{M_i - \lambda_i} \dots \dots \dots (2)$$

여기서  $M$ 은 큐의 개수를 나타낸다. 오픈 큐잉 네트워크 모델을 검증하기 위해 오픈 큐잉 네트워크 모델로 얻은 지연 시간값과 시뮬레이션으로 얻은 값을 다음 그림에 보여주고 있다. 그림 11로부터 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.

### 5. 결 론

사전 등록 핸드오프의 성능을 분석하기위해 게이트웨이 외부 에이전트에서 입력 포트를 통해 데이터 패킷을 처리하는 부분과 출력포트에서 데이터 패킷을 전송하기 위해 대기하는 부분을 구별하여 모델링 하는 것이 요구된다. 외부 게이트웨이 에이전트가 트래픽 소스 노드로부터 들어오는 패킷을 처리하여 이동 노드가 현재 머무르고 있는 셀에 해당하는 목적지 출력포트로 패킷을 보낸다. 한편, 이동노드들이 핸드오프를 위해 필요한 신호들을 이전 외부 에이전트와 새로운 외부 에이전트에게 전달하여 이동노드들이 새로운 셀 지역으로 이동했다는 사실을 게이트웨이 외부 에이전트에게 알려준다. 따라서 게이트웨이 외부 에이전트는 이러한 내용을 사용하여 바인딩 캐시를 갱신한다. 그러나 바인딩 캐시가 갱신되기 전에 소스 노드에서 게이트웨이 외부 에이전트로 들어오는 패킷은 에이전트의 패킷 처리부에서 바인딩 캐시가 갱신되기 이전의 정보 즉 이동 노드들이 핸드오프되기전의 상태 정보를 갖고 있으므로 해당하는 패킷을 이전 셀을 위한 출력포트로 패킷을 보내게 된다. 따라서 이렇게 전송된 패킷은 결국에는 패킷 손실로 나타나게 된다. 기대한 바와 같이 이러한 현상으로 인한 패킷 손실은 이용률  $\rho$ 가 클수록 확대된다는 것을 알 수 있으므로 전체 패킷 전달 지연 시간에 영향을 미치지

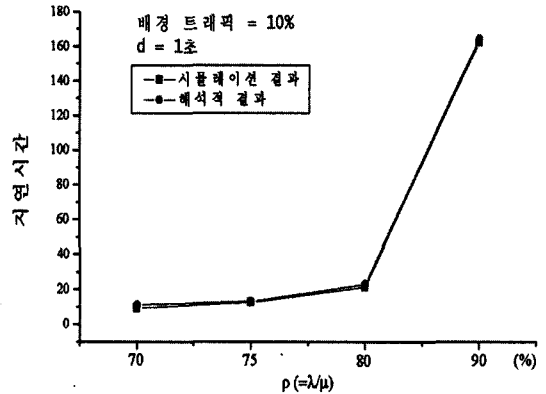


그림 11. 시뮬레이션 결과와 해석적 결과의 비교

않는 수준에서 데이터 패킷 처리부의 데이터 처리속도를 낮춤으로써 패킷 손실률을 줄일 수 있다.

그리고 본 논문에서 제안한 사전 등록 핸드오프 모델이 오픈 네트워크 큐잉으로 모델링이 가능하다는 것을 알 수 있으므로 시스템에 존재하는 패킷 수와 지연 시간을 수치해석으로 쉽게 구할 수 있을 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 2003년도 순천향대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음.

### 참고문헌

- [1] C. Blondia, O. Casals, Ll. Cerda, N. Van den Wijngaert, G. Willems, P. De Cleyn, "Low Latency Handoff Mechanisms and their implementation in an IEEE 802.11 Network". Proceedings of ITC18, Teletraffic and Engineering Vol. 5b, pp. 971-980, September 2003.
- [2] Eunsoo Shim, Hung-yu Wei, Yusun Chang, and Richard D. Gitlin, "Low Latency Handoff for Wireless IP QOS with NeighborCasting", IEEE International Conf. on Communications, pp. 3245-3249, June 2002.
- [3] K. El Malki et al., "Low Latency Handoffs in Mobile IPv4", IETF draft-ietf-monileip-lowlatencyhandoffs-v4-07.txt, October. 2003.
- [4] I-Wei Wu, Wen.-Shiung Chen, Ho.-En Liao, Fongray Frank Young, "A Seamless Handoff Approach of Mobile IP Protocol for Mobile Wireless Data Networks" IEEE Trans. on Consumer Electronics, pp. 335-344, May 2002.
- [5] Leonard Kleinrock, Queueing System, Vol.2, pp. 212-230, John Wiley & Sons, 1975.