

이동 컴퓨팅 환경에서의 로컬 신뢰 센터 기반 효율적 이동 노드 인증 기법

정회원 노환주*, 이기현**

Efficient Mobile Node Authentication Scheme Based on the Trusted Local Third Party in Mobile Computing Environments

Hwan-Joo Koh*, Kee-Hyun Lee** *Regular Members*

요 약

이동 노드와 같은 분산 이동 객체를 사용한 이동 컴퓨팅 시스템은 원격 이동 엔티티에 대한 정확하고 안전한 신분 확인 및 신원 검증 과정이 필요하다. 본 연구에서는 기존의 대화형 기반 이동 노드 인증 기법에 대한 성능 분석 및 안전성 분석을 통해 이산 대수 기법에 기반한 Schnorr^[7]형 인증 기법을 개선하고 ElGamal^[14] 기법을 변형 발전시킨 효율적 인증 기법을 제시하였다. 제안한 기법은 이동 노드 서버에 기반한 컴퓨팅 시스템에 적용하기 위해 불확정 전송 기반 비대화형 인증 기법으로 분산 이동 컴퓨팅 환경에서의 노드 인증에 적합한 성능과 안전성을 제공한다.

ABSTRACT

Mobile computing system requires both precise identification and secure authentication scheme on remote mobile entities, which is based on the distributed mobile node. In this paper, existing discrete logarithm based Schnorr^[7] like entity authentication schemes are improved by the analysis of performance and security on the bi-directional interactive proofs. And ElGamal^[14] like efficient authentication schemes are also proposed. Then, these are enhanced with oblivious transfer based mono-directional authentication schemes based on trusted third party for applying to the mobile agent based computing systems. Therefore, proposed schemes provide compatible performance and safety on mobile entity authentication processes.

I. 서론

이동 컴퓨팅 환경에서 각종 서비스를 제공하고자 할 때 가장 중요한 것은 이동 엔티티의 신원을 확인하는 과정이다. 이동 객체에 의한 분산 이동 노드 기반 컴퓨팅 구조 또는 셀룰러 이동 통신 기반 시스템인 경우 원격 엔티티에 대한 정확한 신분 확인 및 신원 검증 과정이 필요하다^[1,2,3,4,5,6]. 유선망 기반 네트워크 시스템 환경과 마찬가지로 무선망 기반 이동 컴퓨팅 환경 역시 명확한 인증 과정이 반드시

제공되어야 한다.

본 연구에서는 기존의 인증 기법에 대한 분석을 바탕으로 이동 컴퓨팅 환경에 적합한 엔티티 인증 기법을 제시한다. Schnorr^[7] 및 Okamoto^[8] 기법과 같은 양방향(bi-directional) 인증 방식을 개선하고 변형된 ElGamal^[14] 기법을 적용하여 성능과 안전성을 개선하였다. 또한 불확정 전송^[18] 방식과 접목한 단방향(mono-directional) 인증 기법을 제시하였고 이를 비대화형 증명으로 발전시켰다. 본 연구에서 제시하는 비대화형 인증 기법은 안전성 분석 및 성능 비교 분석을 바탕으로 이동 엔티티 인증 분야에

* 동국대학교 전자계산원

** 명지대학교 컴퓨터공학과

논문번호 : 99414-1014, 접수일자 : 1999년 10월 14일

직접 적용할 수 있다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존의 이동 노드에 대한 고찰을 통해 기존의 이동 엔티티에 대한 인증 기법을 고찰한다. 3장에서는 대화형 증명 방식을 개선한 비대화형 증명 방식에 대해 고찰하고, 4장에서는 기존의 기법을 개선한 비대화형 엔티티 인증 기법을 제시한다. 5장과 6장에서는 본 연구에서 제시한 기법에 대한 안전성 분석 과정과 성능에 대한 비교 분석 결과를 제시하고, 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 이동 노드의 인증

이동노드 시스템은 분산 어플리케이션의 구성에 유연한 환경을 제공해 주지만 심각한 보안 문제를 야기한다. 첫째는 불완전한 통신 채널을 이용하는 것에 대한 기본적인 보안 문제가 있으며, 둘째는 노드가 행하는 불법적인 행위나 공격에 대한 호스트 컴퓨터와 노드 서버의 보호문제이고, 셋째는 노드 서버가 행하는 노드공격에 대한 보안 문제이다.

안전하지 못한 네트워크 채널의 보안을 위해서는 호스트 컴퓨터에 대한 인증, 노드 코드와 데이터의 기밀성 및 무결성을 제공하여야 하며, 노드 전송을 통한 부인방지 기능을 제공하여야 한다. 호스트 컴퓨터에 대한 보안 기능을 제공하기 위해서는 노드에 대한 안전한 인증과 접근제어 기능을 제공하여야 한다. 마지막으로 이동노드 보안을 위해서는 노드 실행 상태의 변화에 대한 감사 기능을 제공하여야 한다.

2.1 기존의 인증 기법에 대한 분석

공개키에 기반한 엔티티 인증 기법은 이동 컴퓨팅 환경과 분산 전자 상거래 분야 및 시스템 접근 제어 기법과 같이 광범위한 분야에 활용 가능하다^[5,6,15]. 엔티티 인증 기법은 일반적인 영지식 증명(zero knowledge proofs)에 해당한다^[16]. 영지식 증명에 기반한 여러 가지 기법^[7,8,11,12,13,17]이 제시되었다.

[12]와 [13]은 엔티티에 대한 인증 과정에서 시스템 파라미터를 거의 사용하지 않는 반면에 많은 양의 키를 사용하는 단점이 있다. [7]과 [8]인 경우 반대로 시스템 파라미터를 사용하여 공개키/비밀키의 크기를 줄인 방법이다. 네 가지 기법 모두 엔티티에 대한 인증 과정에서 영지식 기반 대화형 증명(zero knowledge based interactive proofs) 방법을

수행한다. 이는 어떠한 비밀 정보도 노출하지 않는 방식이다. 구체적인 특성 및 성능 비교는 아래 [표 1], [표 2]와 같다.

표 1. 엔티티 인증 기법의 특성

기법 비교 항목	FFS ^[12]	GQ ^[13]	Schnorr ^[7]	Okamoto ^[8]
시스템 파라미터 크기(비트)	0	20	1164	1676
공개키 크기(비트)	10240	1024	512	512
비밀키 크기(비트)	10240	512	140	280
키 크기 합계(비트)	20480	1556	1816	2468

위 표에서 고려할 점은 키 크기의 합계와 연산 회수의 합계에 대한 비교이다.^[12] 기법은 연산 회수에서 가장 성능이 좋으나 증명자의 비밀키가 복수개의 난수 s_1, s_2, \dots, s_k 로 구성되며, 검증자 또한 k 개 비트 e_1, e_2, \dots, e_k 를 랜덤하게 선택하여 증명자에게 전송하기 때문에 전체 키의 크기가 방대하다는 단점이 있다. 키 크기가 제일 작은 것은 [7] 기법이므로 이동 컴퓨팅 환경 및 이동 노드 기반 분산 시스템과 같이 제한된 메모리 및 한정된 계산 능력을 갖는 시스템에 적합하다. 각각의 인증 기법에서 필요로 하는 계산량 및 성능을 개괄적으로 비교하면 아래 표와 같다.

표 2. 엔티티 인증 기법의 계산량 비교

기법 비교 항목	FFS ^[12]	GQ ^[13]	Schnorr ^[7]	Okamoto ^[8]
통신량(비트)	1044	1044	672	812
전처리 과정 (증명자 측면)	1	30	210	245
온라인 처리량 (증명자 측면)	10	31	0	0
온라인 처리량 (검증자 측면)	11	35	210	248
연산 회수 합계 512비트 mod 곱셈 연산수	22	96	420	493

[7] 및 [8] 기법인 경우 효율적인 통신량을 기반으로 전처리 과정을 수행하며, 검증자 측면에서만 처리 과정이 수행되므로 전체 성능 측면에서도 만족할 만하다. 특히 증명자 측면에서는 온라인 처리량이 전혀 없으므로 이는 이동 컴퓨팅 기반 이동 노드가 지니는 계산 능력상의 단점을 보완할 수 있다.

따라서 전체적인 성능 평가 과정에서 이산 대수 (discrete logarithm)에 근거하여 개선된 이동 노드 인증 알고리즘을 개발한다면 더욱 향상된 성능을 제공할 수 있을 것이다. 호스트 컴퓨터에 해당하는 검증자 부분에 처리 부하가 집중되기 때문에 이동 노드 자체의 부하는 최소화 할 수 있고 결과적으로 효율적인 인증 기법을 제시할 수 있다.

2.2 기존 프로토콜 기반 성능 개선 방향

이산 대수 문제에 근거한 기존의 [7] 기법 및 이를 보완한 [8] 기법이 지니고 있는 장점 및 성능 측면을 활용할 수 있는 개선된 기법이 필요하다. 결국 [12] 기법과 [7] 및 [8] 기법을 접목하여 전체 키의 크기를 최소화하면서 안전성도 향상시킬 수 있는 기법이 필요하다. 또한 기존의 다양한 암호화 기법과 접목하는 것이다. 구체적인 방법으로는 대화형 영지식 증명을 비대화형 기법으로 발전시키는 것이며, 안전성 측면에서는 불확정 전송(oblivious transfer) 기법^[8]과 같은 추가적인 암호화 기법과 접목한다. 이동 컴퓨팅 환경에 적합한 대역폭을 제공하기 위해서 대화형 기법을 개선한 비대화형 인증 기법을 제시하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 이동 노드 기반 시스템에서 가장 필수적인 보안 기능에 대해 고찰하고, 시스템에 대한 안전성을 향상시키고 동시에 노드가 지닌 계산 능력의 단점을 보완하면서 인증 과정을 수행할 수 있는 개선된 이동 엔티티 인증 기법을 제시하고자 한다.

III. 이동 엔티티 인증 기법

이동 엔티티에 대한 인증은 사용자에 대한 인증에 포함되며 유사한 의미로 사용된다^[9,10]. 사용자

인증이란 사용자 A가 사용자 B에게 A 자신을 증명할 수 있으나, B 자신을 포함한 A 이외의 어떤 제 3의 사용자도 C에게 A임을 증명할 수 없는 암호 기법을 의미한다. 엔티티 인증은 전자 서명과 달리 분쟁을 일으키는 메시지를 포함하지 않는다. 다만 요청 받은 서비스를 제공할 것인지 아닌지를 실시간 내에 결정하여 처리할 수 있도록 하는 기본 암호 시스템이다.

3.1 대화형 인증 기법의 도해

엔티티 또는 사용자 인증은 증명자와 검증자 사이에서 상호 작용을 통해서 증명자에 대한 신원을 검증자에게 증명하는 것이다. 이와 같이 두 엔티티에 대한 상호 증명 및 인증 기법으로 사용되는 것이 영지식 증명이다. 각 엔티티는 공개적으로 신뢰할만한 데이터베이스에 자신만이 알고 있는 정보를 저장시켜 놓는다. 임의의 엔티티가 로그인하고자 할 때 영지식 증명에 기반한 검증 단계를 수행한다. 영지식 증명 단계는 데이터베이스에 저장된 각 개인의 비밀 정보에 대한 노출 없이도 자신임을 증명할 수 있다. [12] 및 [13]에 의해서 제시된 방법은 엔티티 인증 및 개인 식별 기능을 제공하는 영지식 증명 시스템이다. 대화형 증명 기법의 구성 방식은 <그림 1>과 같은 도전-응답(challenge-response) 과정이다.

3.2 비대화형 인증 기법의 도해

이동 컴퓨팅 환경은 방대하고 다양한 암호화 프로토콜을 적용할 수 있다. 프로토콜 중에서도 영지식 증명은 매우 중요한 암호화 프로토콜에 해당한다. 그러나 영지식 증명에서 사용하는 대화형 기반 증명 방식은 많은 자원을 사용한다는 단점이 있다. 따라서 비대화형 영지식 증명 방식을 사용하여 이동 컴퓨팅 기반 암호화 프로토콜에서의 통신 비용

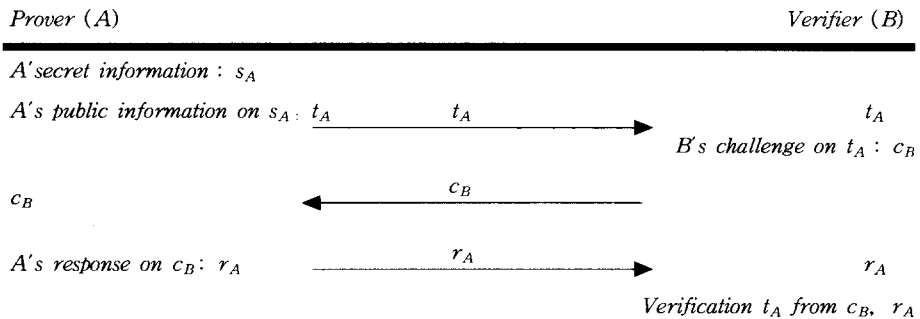


그림 1. 대화형 증명 기법의 도해

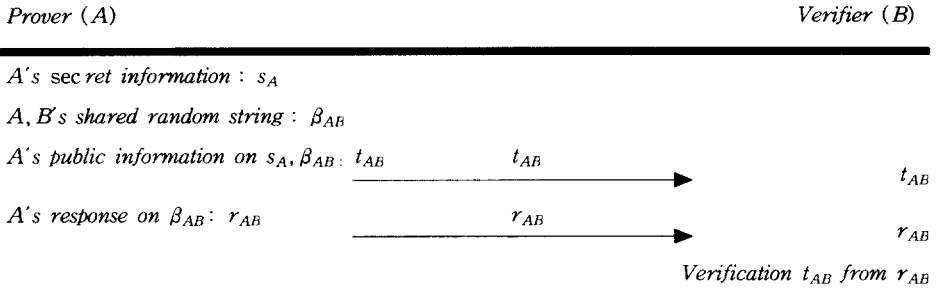


그림 2. 비대화형 증명 기법의 도해

을 줄일 수 있다. 비대화형 증명 기법의 구성 방식은 아래 <그림 2>와 같은 특성을 나타낸다.

(1) 비대화형 영지식 증명(zero knowledge proofs)

비대화형 영지식 증명^[20]은 증명자와 검증자가 랜덤 문자열을 공유한 상태로 증명자가 자신을 비대화형 방식으로 증명하는 기법이다. 비대화형 영지식 증명 시스템은 두 단계로 구성된다. 첫 단계에서는 대화형 작업이 수행된다. 대화형 방식을 사용하여 증명자와 검증자에게 필요한 개인 정보 및 필요 정보를 설정하는 단계이다. 두 번째 단계에서는 증명자가 첫 단계에서 생성된 정보를 사용하여 영지식에 기반하여 검증자에게 증명하는 단계이다. 이때 증명이 수행되는 과정은 비대화형 방식으로 수행된다^[21,22,23].

(2) 비대화형 불확정 전송

(oblivious transfer protocol)

불확정 전송 방법은 [18]에 의해서 제시되었다. 이 기법은 A가 B에게 메시지 m 비트를 전달하고자 할 때 $\frac{1}{2}$ 의 확률로 전달하는데 A 자신은 어떠한 비트가 전달되었는지 모르는 경우를 의미한다. 불확정 전송(oblivious transfer: OT) 기법은 구체적으로 A가 B의 공개키 P_B 를 사용하여 자신이 가지고 있는 문자열 s_0 와 s_1 및 메시지 m 을 암호화한 후 B에게 전달한다. B는 자신의 비밀키를 사용하여 복호화 한다. 이때 A는 B가 m 이외에 s_0 와 s_1 중에서 어떠한 문자열을 받았는지를 모르는 전송 기법이다. [19]는 대화형 방식으로 수행되는 불확정 전송 방식을 비대화형 방식으로 발전시켰다. 엔티티 B에 해당하는 공개키 P_B 와 비밀키 S_B 가 있을 때, 엔티티 A는 B에게 불확정 전송 방식에 기반하여 데이터를 보낸다. B는 어떠한 데이터도 보내지 않는 비대화형 방식이다. 불확정 전송 기법을

통해 비대화형 영지식 증명을 실현할 수 있으며, 이동 컴퓨팅 환경에서의 이동 엔티티 인증 분야에 적합한 안전성을 제공하면서도 효율적인 인증 과정을 수행할 수 있는 기본적 암호화 개념이다.

3.3 개선 방향에 대한 고찰

기존의 비대화형 영지식 증명 기법은 증명자와 검증자가 랜덤 문자열을 공유하여 비대화형으로 증명하는 기법이다. 그러나, 만일 다른 검증자에게 증명하고자 할 경우에 또 다른 랜덤 문자열을 공유하여야 한다는 단점이 있기 때문에 다중 엔티티 환경에는 부적합하다. 결국 기존의 비대화형 영지식 증명은 다중 엔티티 환경에 적합하도록 변형되어야 하며 전이 불가 기능을 제공하여야 한다. 해결 방법으로는 비대화형 영지식 증명 방법의 전처리 단계에 불확정 전송 기법을 적용하는 것이다. 즉 비대화형 영지식 증명 기법의 초기 단계에서는 불확정 전송 방식을 사용하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 이동 노드에 대한 전체 인증 과정의 전처리 단계에서 공개키에 기반한 비대화형 불확정 전송 방식을 수행한다.

IV. 제안한 비대화형 인증 기법

본 연구에서는 대화형 인증 기법을 제안하고 이를 비대화형 기법으로 발전시킨다. 제안하는 기법은 Schnorr형 인증 기법을 개선하였으며 ElGamal 기법을 적용하였다. 이동 노드에 대한 보안 및 검증 기능을 수행하기 위해 각 노드는 로컬 신뢰 센터에 사전 등록을 수행한다. 등록 단계에서는 비대화형 인증을 수행하기 위한 전처리 과정에 해당한다.

4.1 로컬 신뢰 센터에 대한 등록 단계

본 연구에서 제안하는 비대화형 인증을 위해서 노드와 해당 네트워크 기반 이동 시스템은 지역적

신뢰 센터(Trusted Local Third Party: TLTP)에 등록하는 과정을 수행한다. 제안한 기법은 우선 신뢰 센터에 대한 등록 단계를 수행한 인증 단계에서 필요로 하는 정보를 할당받는다. 우선 A는 신뢰 센터 J에 대한 구체적인 등록 단계는 다음과 같다.

단계 1: 등록 요청 단계

단계 1-1: 전송자 A는 랜덤 비밀 정보 $s_A \in Z_q$ 를 생성한다.

단계 1-2: A는 $\delta \equiv g^{s_A} \pmod p$ 를 만족하는 δ 와 신원 정보 ID_A 를 접속하고자 하는 호스트를 관리하는 로컬 신뢰 센터 J에게 전송하여 등록을 요청한다.

단계 2: 등록 단계

단계 2-1: 신뢰 센터 J는 난수 $w_J \in G(q)$ 에 대한 $t_J \equiv g^{w_J} \pmod p$ 를 생성한다.

단계 2-2: J는 자신의 데이터베이스에 A에 대한 정보 ID_A , δ 와 서명 해지 키에 해당하는 w_J 를 저장한다.

단계 2-3: J는 해쉬 함수를 적용하여 $c = h(\delta \| t_J)$ 를 생성한다.

단계 2-4: 로컬 신뢰 센터는 Schnorr 기반 알고리즘을 통해서 s_J^* 를 생성하고 A에게 메시지 $(\delta \cdot t_J, s_J^*, c)$ 를 전달한다.

단계 3: 등록 확인 단계

단계 3-1: A는 $u_J \equiv g^{s_J^*} y_J^{-c} \pmod p$ 를 만족하는 u_J 를 생성한다.

단계 3-2: 등록 단계에서 전달되는 c 과 $c' = h(\delta \| u_J)$ 에 대해 $c=c'$ 일 경우 등록이 정확하다는 것을 확인하게 된다.

제안하는 등록 단계에 대한 구체적인 과정은 아래 <그림 3>과 같다.

(검증) $u_J \equiv g^{s_J^*} y_J^{-c} \pmod p$ 에 기반한 $c=c'$ 에 대한 검증

$$u_J \equiv g^{s_J^*} y_J^{-c} \equiv g^{x_J \cdot c + w_J} g^{x_J \cdot -c} \equiv g^{w_J} \equiv t_J \pmod p$$

$$\therefore c' = h(\delta \| u_J) = h(\delta \| t_J) = c$$

등록 단계 이후에 이동 시스템은 신뢰 센터로부터 해당 노드에 대한 등록 정보 s_J^* 를 얻을 수 있다. s_J^* 를 사용하여 노드 A는 검증자인 B에게 자신만의 비밀 정보 $x_i \in \{0, \dots, p-2\}$ 를 사용하여 β_i, β_{i-1} 를 생성한다. 생성된 정보는 검증자에게 전달되며 i 가 0 또는 1의 값을 가질 때 공유 난수 정보 할당 프로토콜 과정은 아래 그림과 같다.

비대화형 인증의 초기화를 위한 공유 정보 할당 프로토콜을 통해 단방향적인 비대화형 인증을 영지식 증명으로 발전시킬 수 있다. 이동 노드는 접근하고자 하는 호스트 시스템에게 전처리 과정에서 해당 정보를 전송할 수 있고, 추후에 비대화형 이동 노드 인증 과정을 요청할 수 있다. 인증 요청에 대해 호스트 시스템은 시스템 보호 기능을 수행하면서 각 노드에 대한 단방향적인 접근 제어(access control) 기능을 제공하게 된다.

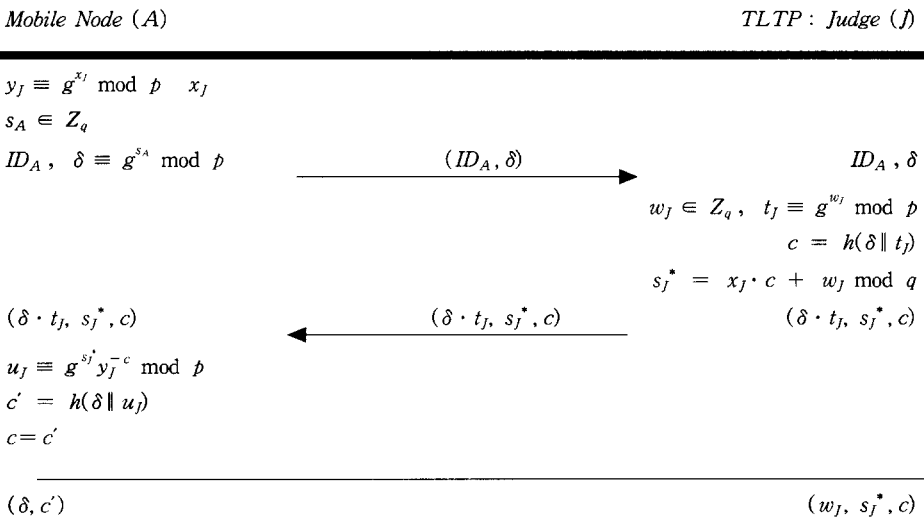


그림 3. 로컬 신뢰 센터 J에 대한 등록 프로토콜

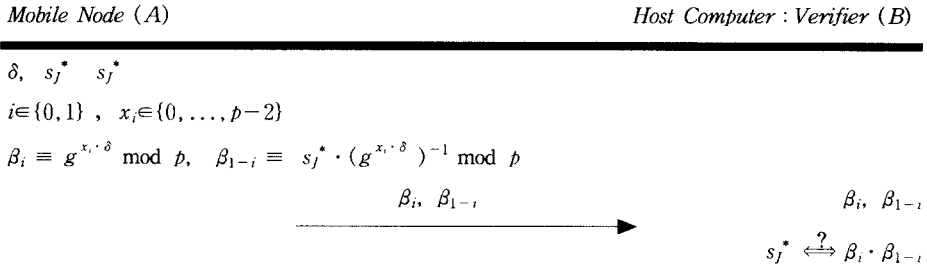


그림 4. 공유 정보 할당 프로토콜

4.2 비대화형 엔티티 인증 단계

(1) 제안한 Schnorr형 비대화형 엔티티 인증 기법

이동 노드 기반 컴퓨팅 환경이 지니고 있는 네트워크 대역폭을 고려하고 이동 단말 및 이동 객체가 지니고 있는 계산량의 한계 및 성능 측면을 고려할 때, 위에서 제시한 엔티티 인증 프로토콜이 비대화형 및 비대화형으로 수행된다면 훨씬 향상된 성능을 제공할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 개선된 Schnorr 기반 대화형 엔티티 인증 알고리즘에서의 양방향성을 제거한다. 비대화형 증명 단계를 수행하기 위해서 비대화형 불확정 전송 기법을 적용한다. β_i, β_{1-i} 를 사용하여 A는 임의의 두 난수 z_0, z_1 을 선택한 후에 불확정 전송 기반 비대화형 엔티티 인증을 위해 $z_0, z_1 \in \{0, \dots, p-2\}$ 에 대해 a_0, a_1 및 γ_0, γ_1 을 생성한다. $\langle \gamma_i, \sigma_i \rangle$ 를 $\gamma_i \cdot \sigma_i \pmod 2$ 의 결과값이라 설정하였을 경우에 $\langle \gamma_0, \sigma_0 \rangle = 0$ 과 $\langle \gamma_1, \sigma_1 \rangle = 1$ 를 만족하도록 $\sigma_0, \sigma_1 \in \{0, 1\}^k$ ($k = |p|$)을 설정하고 검증자에게 $\sigma_0, \sigma_1, a_0, a_1$ 를 전송한다. 선정된 σ_1, σ_2 는 비대화형 증명 기법에서 증명자와 검증자가 공통으로 공유하게 되는 참조 문자열에 해당한다. σ_0, σ_1 값을 생성하

는 과정에서 γ_0, γ_1 값에 의존적인 문자열을 생성하며 참조 문자열을 공유하게 됨으로써 증명자는 검증자로부터의 도전 e, c 가 필요 없게 되며 σ 를 사용하여 증명자는 전체 전송 데이터량의 최소화과 성능의 최적화를 유도할 수 있다. 초기화 단계는 아래 그림과 같다.

비밀 정보 s 에 대해 s_0 와 s_1 으로 이분화 하여 $t_i \equiv g^{s_i} \pmod p$ ($0 \leq i \leq 1$)를 생성한 후에 아래 수식 (1)을 만족하는 y_i^e 를 계산한다. 이때 e 값은 0 또는 1의 값을 가질 수 있으며 이것 역시 프로토콜의 안전성을 높이고 불확정 전송 기법을 적용한 방법이다. 제안한 기법은 비밀 공유(secret sharing) 기법을 접목한 것으로 다중 노드 환경에도 적용할 수 있는 특성을 제공한다.

$$y_i^e = \begin{cases} y_i^0 \equiv (s_i \cdot \sigma_0 + z_i) \pmod{p-1} \\ y_i^1 \equiv (s_i + z_i \cdot \sigma_1) \pmod{p-1} \end{cases} \quad (1)$$

$(0 \leq i \leq 1, e \in \{0 \text{ or } 1\})$

인증을 위한 초기화 단계를 수행한 후 구체적인 불확정 전송 기반 최적화된 비대화형 엔티티 인증 알고리즘은 아래 그림과 같다.

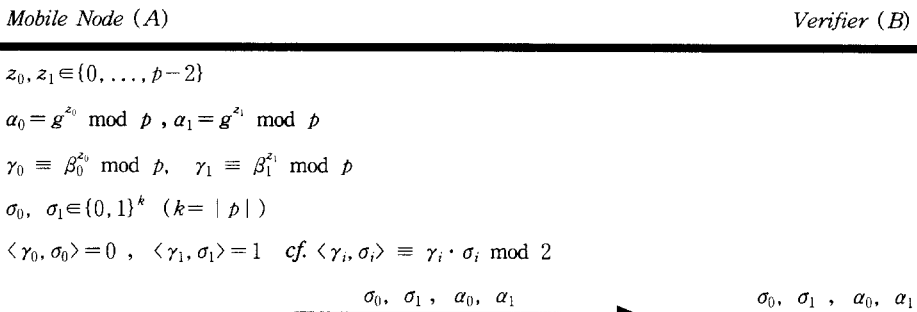


그림 5. 비대화형 엔티티 인증을 위한 초기화 단계

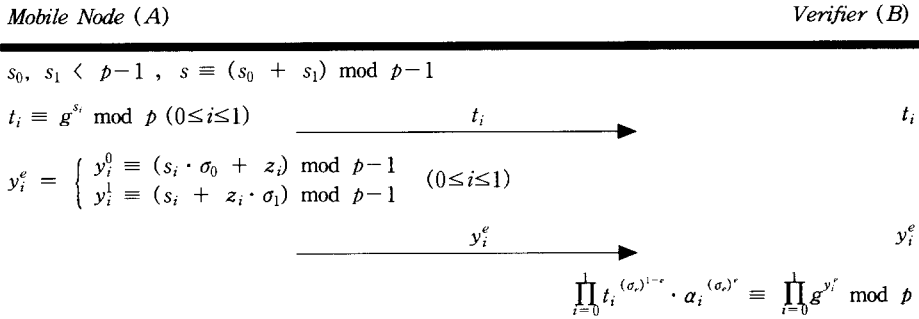


그림 6. Schnorr형 비대화형 엔티티 인증 알고리즘($MDEA_{Sch}$)

(2) ElGamal형 비대화형 엔티티 인증 기법

본 연구에서 제시한 기법은 ElGamal 기반 프로토콜로 발전시킬 수 있다. 초기 비밀 공유 단계는 Schnorr형 기법과 동일하며 단지 도전(challenge) 값을 생성하는 과정에서 변형된 $y_i \equiv (s_i \cdot \alpha_i + t_i \cdot z_i) \bmod p-1 \ (0 \leq i \leq 1)$ 수식을 통해 비대화형으로 인증을 수행할 수 있다. 결국 <그림 5>와 같은 초기화 단계를 공통적으로 수행한 후에 아래 <그림 7>과 같이 ElGamal 기법을 적용한 비대화형 엔티티 인증을 수행할 수 있다.

V. 안전성 분석 및 성능 평가

5.1 제한한 $MDEA_{Sch}$ 기법의 안전성 분석

$MDEA_{Sch}$ 기법은 불확정 전송 기법을 적용함으로써 증명자와 검증자는 공통된 참조 문자열 $\sigma_i \ (0 \leq i \leq 1)$ 을 공유할 수 있었다. 또한 최적 증명을 위해서 Schnorr 기법에서의 비밀 공유 기법에 해당하는 비밀 정보를 s_1 과 s_2 를 사용하였기 때문에 Okamoto 기법에서의 안전성과 동일한 측면의 안전성을 제공한다. 또한 이산대수 문제에 근거하고 있기 때문에 전체적인 안전성에서도 기존의 기법과 동일한 안전성을 제공한다. 또한 제시한 기법은 비

대화형 증명에 기반한 영지식 증명 프로토콜에 해당한다. 불확정 전송 부분에 대한 무결성 검증 단계와 비대화형 증명 방식에서 e 에 대한 검증자의 검증 단계는 아래와 같다.

(검증-2) $\prod_{i=0}^1 t_i^{(\sigma_i)^{1-e}} \cdot a_i^{(\sigma_i)^e} \equiv \prod_{i=0}^1 g^{y_i^e} \bmod p$ 에 대한 검증

if $e = 0$ then
 $\prod_{i=0}^1 t_i^{(\sigma_i)^{1-e}} \cdot a_i^{(\sigma_i)^e} \equiv \prod_{i=0}^1 t_i^{(\sigma_i)^1} \cdot a_i^{(\sigma_i)^0} \equiv \prod_{i=0}^1 g^{s_i \cdot \sigma_i} \cdot a_i$
 $\equiv g^{s_0 \cdot \sigma_0} \cdot a_0 \cdot g^{s_1 \cdot \sigma_1} \cdot a_1 \equiv g^{(s_0 + s_1) \cdot \sigma_0} \cdot a_0 \cdot a_1$
 $\equiv g^{s \cdot \sigma_0} \cdot a_0 \cdot a_1 \equiv t^{a_0} \cdot a_0 \cdot a_1$

if $e = 0$ then
 $\prod_{i=0}^1 g^{y_i^e} \bmod p \equiv \prod_{i=0}^1 g^{y_i^0} \bmod p \equiv \prod_{i=0}^1 g^{s_i \cdot \sigma_i + z_i}$
 $\equiv g^{s_0 \cdot \sigma_0 + z_0} \cdot g^{s_1 \cdot \sigma_1 + z_1} \equiv g^{(s_0 + s_1) \cdot \sigma_0} \cdot g^{(z_0 + z_1)}$
 $\equiv g^{s \cdot \sigma_0} \cdot g^{(z_0 + z_1)} \equiv t^{a_0} \cdot a_0 \cdot a_1$

if $e = 1$ then
 $\prod_{i=0}^1 t_i^{(\sigma_i)^{1-e}} \cdot a_i^{(\sigma_i)^e} \equiv \prod_{i=0}^1 t_i^{(\sigma_i)^0} \cdot a_i^{(\sigma_i)^1} \equiv \prod_{i=0}^1 t_i \cdot a_i^{\sigma_i}$
 $\equiv g^{s_0} \cdot a_0^{\sigma_0} \cdot g^{s_1} \cdot a_1^{\sigma_1} \equiv g^{(s_0 + s_1) \cdot \sigma_0} \cdot (a_0 \cdot a_1)^{\sigma_0}$
 $\equiv g^{s \cdot \sigma_0} \cdot g^{(z_0 + z_1) \cdot \sigma_0} \equiv t \cdot (a_0 \cdot a_1)^{\sigma_0}$

if $e = 1$ then
 $\prod_{i=0}^1 g^{y_i^e} \bmod p \equiv \prod_{i=0}^1 g^{y_i^1} \bmod p \equiv \prod_{i=0}^1 g^{s_i + z_i \cdot \sigma_i}$
 $\equiv g^{s_0 + z_0 \cdot \sigma_0} \cdot g^{s_1 + z_1 \cdot \sigma_1} \equiv g^{(s_0 + s_1) \cdot \sigma_0} \cdot g^{(z_0 + z_1) \cdot \sigma_0}$
 $\equiv g^{s \cdot \sigma_0} \cdot g^{(z_0 + z_1) \cdot \sigma_0} \equiv t \cdot (a_0 \cdot a_1)^{\sigma_0}$

$\therefore \prod_{i=0}^1 t_i^{(\sigma_i)^{1-e}} \cdot a_i^{(\sigma_i)^e} \equiv \prod_{i=0}^1 g^{y_i^e} \bmod p$

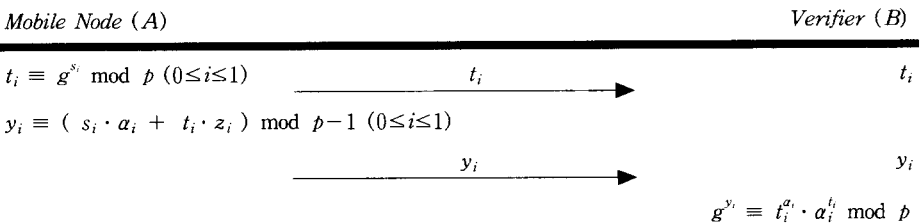


그림 7. ElGamal형 비대화형 엔티티 인증 알고리즘($MDEA_{EG}$)

5.2 제안한 $MDEA_{EIG}$ 기법의 안전성 분석

$MDEA_{EIG}$ 기법은 시스템 파라미터 i ($0 \leq i \leq 1$) 값으로 설정으로 인해 증명자로부터 전달된 y_i 에 대한 검증 과정에서 ElGamal 알고리즘에 제공하는 계산량의 향상을 얻을 수 있었으며, 비대화형 불확정 전송 기법에 기반하기 때문에 기존의 대화형 기반 알고리즘보다 안전성을 향상시킬 수 있었다. 결국 증명 단계가 비대화형으로 수행되므로 이동 컴퓨팅 환경과 같은 원격 컴퓨팅 환경에서 한정된 대역폭을 갖는 경우에 적합하다.

$MDEA_{EIG}$ 기법의 무결성을 검증하기 위해서는 우선 검증자에게 전달된 γ_0, γ_1 와 a_0, a_1 에 대해 $MDEA_{Sch}$ 기법과 동일한 방식으로 불확정 전송 과정에 대한 증명을 수행하고 비대화형 ElGamal 기법에 대한 증명을 수행한다. 구체적인 검증 단계는 아래와 같다.

(검증3) $g^{y_i} \equiv t_i^{a_i} \cdot a_i^{z_i} \pmod p$ 에 대한 검증

$$g^{y_i} \equiv g^{s_i \cdot a_i + t_i \cdot z_i} \equiv (g^{s_i})^{a_i} \cdot (g^{z_i})^{t_i} \equiv t_i^{a_i} \cdot a_i^{z_i} \pmod p$$

본 연구에서 제시한 기법인 경우 신뢰 센터에 대한 등록 결과를 바탕으로 비대화형 인증을 수행하기 때문에 신뢰 센터에 의해서 이중 사용된 인증 정보를 검출할 수 있다. 신뢰 센터에 의해서 수행되는 서명 정보 $s_j^* = x_j \cdot c + w_j \pmod q$ 가 검증자에게 전달될 때에 아래와 같은 수식에 의해 포함되어 전달된다.

$$\beta_i \equiv g^{x_i \cdot \delta} \pmod p, \beta_{i-1} \equiv s_j^* \cdot (g^{x_i \cdot \delta})^{-1} \pmod p$$

따라서 불법적인 인증 정보에 대해서는 신뢰 센터에 의해서 추후에 검증될 수 있다. 공격자의 입장에서 얻을 수 있는 정보는 아래와 같은 프로토콜에서의 t_i 와 y_i^c 정보이다. y_i^c 인 경우 기존의 Schnorr기법보다 복잡성이 증대된 응답(response)을 생성하게 된다.

$$y_i^c = \begin{cases} y_i^0 \equiv (s_i \cdot \sigma_0 + z_i) \pmod{p-1} \\ y_i^1 \equiv (s_i + z_i \cdot \sigma_1) \pmod{p-1} \end{cases} \quad (0 \leq i \leq 1)$$

$$y_i \equiv (s_i \cdot \alpha_i + t_i \cdot z_i) \pmod{p-1} \quad (0 \leq i \leq 1)$$

ElGamal형 단방향 인증인 경우에도 i 값에 따라

서 서로 다른 정보가 전달되기 때문에 공격자가 얻을 수 있는 정보는 기존의 Schnorr 기법 및 ElGamal 기법보다 계산 측면에서 더욱 복잡한 형태로 전달된다. 따라서 제시한 기법은 기존의 기법보다 외부로부터의 공격에 더욱 효과적이다.

5.3 제안한 기법의 성능 비교 분석

기존의 비대화형 방식으로 비대화형 불확정 전송 기법과 비대화형 영지식 증명 기법을 본 연구에서 제시한 비대화형 기반 증명 기법인 $MDEA_{Sch}$, $MDEA_{EIG}$ 및 NIOT 기법과 비교 분석한다. [표 3]은 비대화형 기법의 특성 및 성능 비교 결과이다.

표 3. 제안한 기법의 특성 비교

기법 비교 항목	NIOT ^[19]	$MDEA_{Sch}$	$MDEA_{EIG}$
근본 안전성 기반	이산대수 OT	이산대수 OT - Schnorr	이산대수 OT - ElGamal
ID 기반 변형 가능성	○	○	○
주요 기능 및 목적	불확정 전송	Schnorr 기반 인증	ElGamal 기반 인증
이동노드 인증 시스템 가능성	×	○	○
비대화형 증명 가능성	△	○	○

○ : 가능 × : 불가능 △ : 판정불가

[표 3]에 나타난 바와 같이 기존의 비대화형 불확정 전송 기법은 엔티티 인증 시스템에 적용할 수 없거나 판정 불가능한 상태이나, 본 연구에서 제시하는 기법인 경우에 이동 컴퓨팅 환경에서 필요한 엔티티 인증 시스템에 접목할 수 있다. 이산 대수에 근거한 기법으로서 수학적인 안전성을 보장할 수 있으며, 이동 컴퓨팅 환경에서의 ID 기반 인증 시스템으로도 발전시킬 수 있다. 또한 제시한 기법은 이동 노드 시스템에서 발생할 수 있는 부정 행위 및 불법적인 침입이 발생하였을 경우 공개적인 검증이 가능하다. [표 4]는 제안한 기법에 대한 성능 평가이다.

[표 4]와 같이 비대화형 인증을 위한 공유 참조 문자열의 크기는 일반적으로 $2 \cdot k$ 로 동일하다. 전체적인 연산 회수에서는 동일한 성능을 나타낸다. 제시한 기법 역시 증명자 측면에서의 온라인 처리량이 모두 0이므로 이동 노드와 같은 한정된 계산 능력을 갖는 엔티티의 인증 시스템에 적합하다.

표 4. 제한한 기법의 성능 비교

기 법	NIOT ^[19]	MDEA _{Sch}	MDEA _{EIG}
공유 참조문자열 크기(비트)	$2 \cdot k$	$2 \cdot k$	$2 \cdot k$
전처리 과정 (증명자 측면)	$2 \cdot p \cdot m$	$2 \cdot p \cdot m$	$2 \cdot p \cdot m$
온-라인 처리 (증명자 측면)	0	0	0
온-라인 처리 (검증자 측면)	$2 \cdot p \cdot m$	$2 \cdot p \cdot m$	$2 \cdot p \cdot m$
연산 회수 합계	$4 \cdot p \cdot m$	$4 \cdot p \cdot m$	$4 \cdot p \cdot m$

($k = |p|$) 인 관계이고 m 은 상수에 해당

VI. 결론

다양한 암호화 프로토콜을 적용하여 이동 노드 기반 컴퓨팅 환경에서의 안전성을 증대하고자 하는 노력이 계속되고 있다. 기존의 프로토콜들은 대부분 클라이언트 서버 개념에 기반한 대화형 증명 시스템에 해당한다. 안전한 신원 확인 프로토콜이나 엔티티 인증 기법을 통해 안전한 이동 컴퓨팅 환경을 제공할 수 있다. 그러나 기존의 대화형 인증 기반 증명 방식은 많은 대역폭을 필요로 한다는 단점이 있다.

본 연구에서는 Schnorr와 Okamoto 대화형 기반 인증 기법에 대한 성능 분석 및 안전성 분석을 통해 안전성과 성능 측면에서 이동 컴퓨팅 환경에 적합한 인증 기법을 제시하였다. 또한 ElGamal 기법을 적용한 형태도 제시하였다. 이동 컴퓨팅 시스템에 적용하기 위해 불확정 전송 기반 비대화형 인증 기법으로 개선하였다.

제안한 인증 기법은 증명자로부터의 비대화형 증명 과정을 통해서 엔티티 인증 과정이 수행되므로 안전성과 통신량 측면에서 향상된 성능을 제공한다. 따라서 이동 컴퓨팅 시스템과 분산 전자 상거래 분야 및 시스템 접근 제어 분야와 같은 광범위한 분야에 활용 가능하다. 향후 연구 과제로는 비밀 정보에 대한 분산을 통해 공개적으로 증명 가능하고 공정한 검증이 가능한 기법으로 더욱 개선하고, 분산 컴퓨팅 환경에 적합한 공정 인증 기법으로 발전시키는 것이다.

참고 문헌

[1] R. Gray, D. Kotz, S. Nog, D. Rus and G.

Cybenco, "Mobile Agents for Mobile Computing," Proc. of the 2nd Aizu Int'l Symposium on Parallel Algorithm/Architecture Synthesis (pAs97), Fukushima, Japan, Mar., 1997.

[2] J. Vitek. M. Serrao and D. Thanos, "Security and Communication in Mobile Agents Systems," Mobile Object Systems, Springer-Verlag, pp. 177-199, 1996.

[3] Kazuhiko Kato, "Safe and Secure Execution Mechanisms for Mobile Objects," Mobile Object Systems, Springer-Verlag, pp. 201-211, 1996.

[4] Gustavus J. Simmons, "A Survey of Information Authentication," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 76, No. 5, pp. 603-620, May, 1988.

[5] W. Diffie and M. Hellman, "New directions in cryptography," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. IT-22, No. 6, pp. 472-492, Nov. 1976.

[6] Whitfield Diffie, "The First Ten Years of Public-Key Cryptography," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 76, No. 5, pp. 560-577, 1988.

[7] C. P. Schnorr, "Efficient Identification and Signatures for Smart Cards," *Advances in Cryptology, Proceedings of Crypto'89, Springer-Verlag*, pp. 239-252, 1990.

[8] Tatsuaki Okamoto, "Provably Secure and Practical Identification Schemes and Corresponding Signature Schemes," *Advances in Cryptology, Proceedings of Crypto'92, Springer-Verlag*, pp. 31-53, 1993.

[9] B. Schneier, *Applied Cryptography, 2nd Edition*, John Wiley & Sons Press, 1996.

[10] Alfred J. Menezed, Paul C. van Oorschot, Scott A. Vanstone, *Handbook of Applied Cryptography, CRC Press*, 1996.

[11] A. Fiat and A. Shamir, "How to Prove Yourself: Practical Solution to Identification and Signature Problems," *Advances in Cryptology, Proceedings of CRYPTO'86, Springer-Verlag*, pp. 186-199, 1987.

[12] U. Feige, A. Fiat, A. Shamir, "Zero Knowledge Proofs of Identity," *Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium of Theory of*

- Computing, pp. 210-217, 1989.
- [13] L. C. Guillou and J. J. Quisquater, "A Practical Zero-Knowledge Protocol Fitted to Security Microprocessor Minimizing Both Transmission and Memory," *Advances in Cryptology, Proceedings of Eurocrypt'88, Springer-Verlag*, pp. 123-128, 1989.
- [14] T. ElGamal, "A Public Key Cryptosystem and a Signature Scheme based on Discrete Logarithms," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. IT-30, No. 4, pp. 469-472, Jul. 1985.
- [15] R. L. Rivest, A. Shamir and L. Adleman, "A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems," *Communications of the ACM*, Vol. 21, No. 2, pp. 120-126, 1978.
- [16] S. Goldwasser, S. Micali, C. Rackoff, "The Knowledge Complexity of Interactive Proofs," *SIAM Journal of Computing*, Vol. 18, No. 1, pp. 186-208, 1989.
- [17] Kazuo Ohta and Tatsuaki Okamoto, "A Modification of the Fiat-Shamir Scheme," *Advances in Cryptology, Proceedings of Crypto'88, Springer-Verlag*, pp. 232-243, 1989.
- [18] M. Rabin, "How to exchange secrets by oblivious transfer," Technical Reports TR-81, Harvard Aiken Computation Laboratory, 1981.
- [19] Mihir Bellare, Silvio Micali, "Non-Interactive Oblivious Transfer and Applications," *Advances in Cryptology-Crypto 89, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 435, Springer-Verlag, 1989.
- [20] M. Blum, P. Feldman, s. Micali, "Non-Interactive Zero-Knowledge Proof Systems and Applications," *Proceedings of the 20th Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, 1988.
- [21] Alfredo De Santis, Giovanni Di Crescenzo, Pino Persino, "Randomness-Efficient Non-Interactive Zero Knowledge," *ICALP'97 Conference*, 1997.
- [22] A. D. Santis, S. Micali, G. Persiano, "Non-Interactive Zero-Knowledge Proof-Systems," *Advances in Cryptology - Crypto'87*, Vol. 293, 1988.
- [23] A. D. Santis, S. Micali, G. Persiano, "Non-Interactive Zero-Knowledge Proof-Systems with Preprocessing," *Advances in Cryptology - Crypto'88*, Vol. 403, 1989.
- [24] S. Micali, "Fair Cryptosystems," Technical Reports MIT/LCS/TR-579-b, 1993.
- [25] R. Gray, D. Kotz, S. Nog, D. Rus and G. Cybenko, "Mobile Agents for Mobile Computing," Proc. of the 2nd Aizu Int'l Symposium on Parallel Algorithm/Architecture Synthesis (pAs97), Fukushima, Japan, Mar., 1997.
- [26] C. G. Harrison, D. M. Chess and A. Kershenbaum, "Mobile Agents: Are they a good idea?" Technical Report, IBM T.J. Watson Research Center, Mar., 1995.
- [27] M. R. Genesereth and S. P. Ketchpel, "Software Agents," *Communication of the ACM*, Vol. 37, No. 7, pp.48-53, July, 1994.
- [28] Vigna, Giovani, "Protecting Mobile Agents through Tracing," Accepted paper for the Mobile Object Systems ECoop Workshop '97.
- 노 환 주(Hwan-Joo Koh)
 1982년: 광운대학교 전자계산학과 졸업(이학사)
 1986년: 동국대학교 경영대학원 졸업(경영학 석사)
 1994년: 강원대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업
 (이학 석사)
 1998년: 명지대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정
 수료
 1987년: 육군 대위 전역 3 사령부 전산실
 1988년~현재: 동국대학교 전자계산원 전임교원, 전
 산운영실장
 e-mail : nhj@dgu.ac.kr
- 이 기 현(Kee-Hyun Lee)
 1960년: 성균관대학교 경상대학 경제학과 졸업
 1972년: 성균관대학교 경영대학원 정보처리학과
 졸업(경영학 석사)
 1986년: 광운대학교 대학원 전자계산학과 졸업
 (이학 석사)

1993년 : 광운대학교 대학원 전자계산학과 졸업
(이학 박사)

1975년 : 총무처 행정전산 계획실 전산처리관

1980년 : 대한손해보험협회 전산실장

1993년 : 한국정보처리전문가협회(IPAC) 회원

1995년 : 한국정보처리학회 부회장

1996년 : 캘리포니아 주립대학교(Sanramento)
객원교수

1982년 ~ 현재 : 명지대학교 컴퓨터공학과 교수, 정보
지원처장

e-mail : khlee@wh.myongji.ac.kr