제 7 장
하이브리드 암호 시스템

박 종 혁 교수

Tel: 970-6702

Email: jhpark1@seoultech.ac.kr

1절 하이브리드 암호 시스템

2절 강한 하이브리드 암호 시스템이란

3절 암호 기술의 조합

4절 기타암호 - 동형암호

제1절 하이브리드 암호 시스템

1.1 대칭 암호와 공개 키 암호

1.2 하이브리드 암호 시스템

1.3 암호화

1.4 복호화

1.1 대칭 암호와 공개 키 암호

- 대칭키 암호방식과 공개키 암호방식 비교

항목	대칭키 암호화 방식	공개키 암호화 방식
키의 상호관계	암호화키 = 복호화키	암호화키 ≠ 복호화키
암호화 키	비밀	공개
복호화 키	비밀	비밀
암호알고리즘	비밀/공개	공개
대표적인 예	Vernam/DES	RSA
비밀 키 전송	필요	불필요
키 개수	n(n-1)/2	2n
안전한 인증	곤란	용이
암호화 속도	고속	저속
경제성	높다	낮다
전자서명	복잡	간단

1.1 대칭 암호와 공개 키 암호

- **대칭 암호**
  - 기밀성을 유지한 통신이 가능
  - 키 배송 문제 해결이 필요

- **공개 키 암호**
  - 키 배송 문제를 해결할 수 있음

공개 키 암호의 2가지 큰 문제

1) 공개 키 암호는 대칭 암호에 비해 처리 속도가 훨씬 느리다

2) 공개 키 암호는 중간자(man-in-the-middle) 공격에 약하다

- 하이브리드 암호 시스템을 이용하면 이 중 (1)의 문제를 해결

1.2 하이브리드 암호 시스템

- 하이브리드 암호 시스템(hybrid cryptosystem)
  - 대칭 암호와 공개 키 암호의 장점을 조합한 방법
  - 메시지의 기밀성: 고속의 대칭 암호
  - 대칭 암호 키의 기밀성: 공개 키 암호

하이브리드 암호 시스템의 구조

- 메시지는 대칭 암호로 암호화
- 대칭 암호의 암호화에서 사용한 세션 키는 의사난수 생성기로 생성
- 세션 키는 공개 키 암호로 암호화
- 공개 키 암호의 암호화에서 사용하는 키는 하이브리드 암호 시스템과 무관한 외부에서 만들어 사용

하이브리드 암호 시스템의 암호화와 복호화

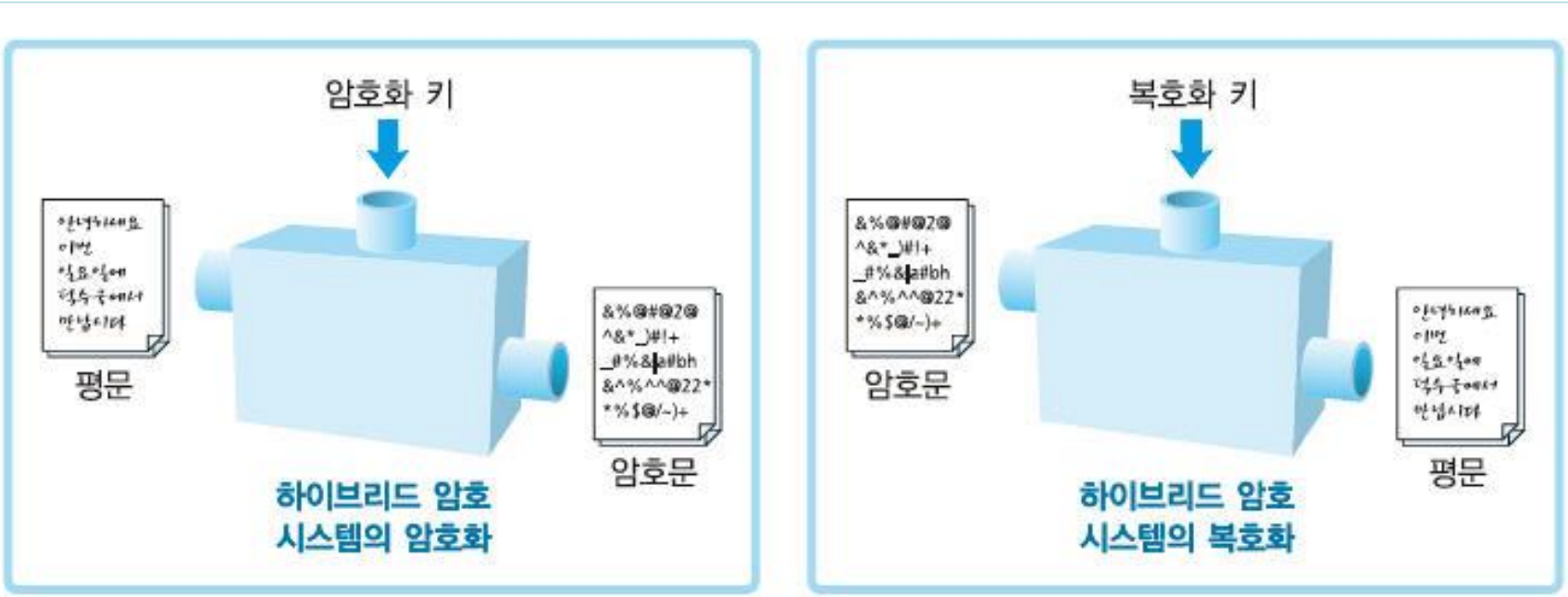


그림 7-1 • 하이브리드 암호 시스템의 암호화와 복호화

1.3 암호화

- 메시지 암호화
- 세션키 암호화
- 결합

표현방법

- **평문 ▪ 키 ▪ 암호문**
  - P: 평문
  - K_{pub} : 수신자의 공개 키
  - C_2 : 공개 키 암호로 암호화된 세션 키
  - C_1 : 대칭 암호로 암호화된 메시지
  - $C=(C_1 , C_2)$: 암호문

메시지 암호화

- $C_1 = E(K,P)$
- 대칭 암호를 이용해서 암호화
- 대칭 암호를 이용하면 고속으로 암호화

세션키 암호화

- $C_2 = E(K_{pub}, K)$
- 수신자의 공개 키로 암호화된다
- 세션키는 짧다
- 공개 키 암호가 아무리 느려도 세션 키 암호화에 그다지 시간이 걸리지 않음
- 세션 키는 대칭 암호에 있어서는 키이지만, 공개 키 암호의 입장에서 보면 하나의 평문

결합

- 대칭 키(K)로 암호화된 암호문

  ($C_1 = E(K,P)$)
- 수신자의 공개 키(K_{pub})로 암호화된

  세션 키($C_2 = E(K_{pub}, K)$)
- 암호문: $C = C_2 \parallel C_1 = E(K_{pub}, K) \parallel E(K,P)$

하이브리드 암호 시스템의 암호화

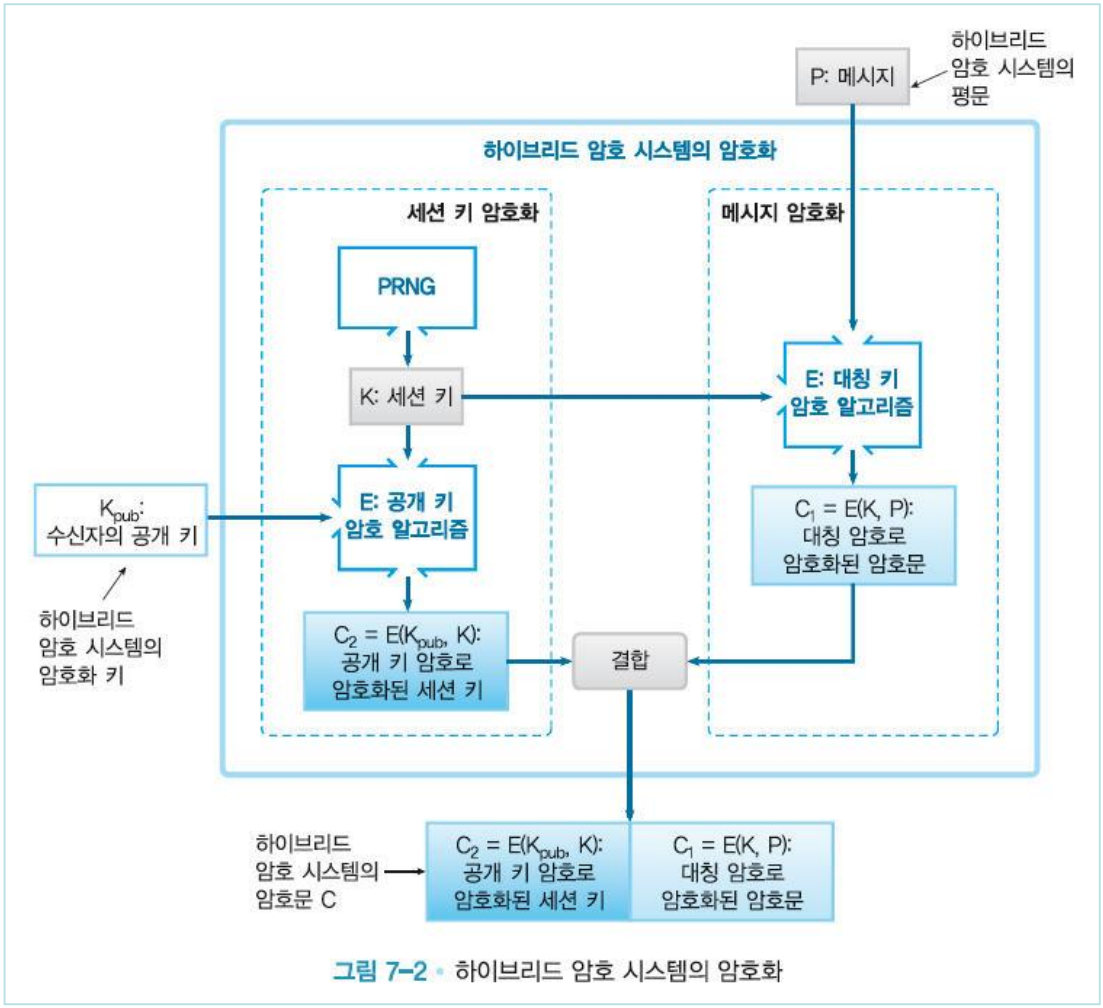


그림 7-2 • 하이브리드 암호 시스템의 암호화

1.4 복호화

- 분할
- 세션 키 복호화
- 메시지 복호화

분할

- **암호문: $C = C_2 \parallel C_1 = E(K_{pub}, K) \parallel E(K,P)$을 분할**
  - $C_1 = E(K,P)$: 대칭 키(K)로 암호화된 암호문
  - $C_2 = E(K_{pub}, K)$: 수신자의 공개 키(K_{pub})로 암호화된 세션 키

세션 키 복호화

- $C_2 = E(K_{pub}, K)$ 복호화
- 수신자의 개인 키(K_{pri})가 필요
  - 개인 키를 가지고 있는 사람이 아니면 세션 키를 복호화 할 수 없음
- $K = D(K_{pri}, C_2)$: 수신자의 개인키로 복호화된 세션 키는 메시지 복호화 키로 이용

메시지 복호화

- $P = D(K, C_1)$

하이브리드 암호 시스템의 복호화

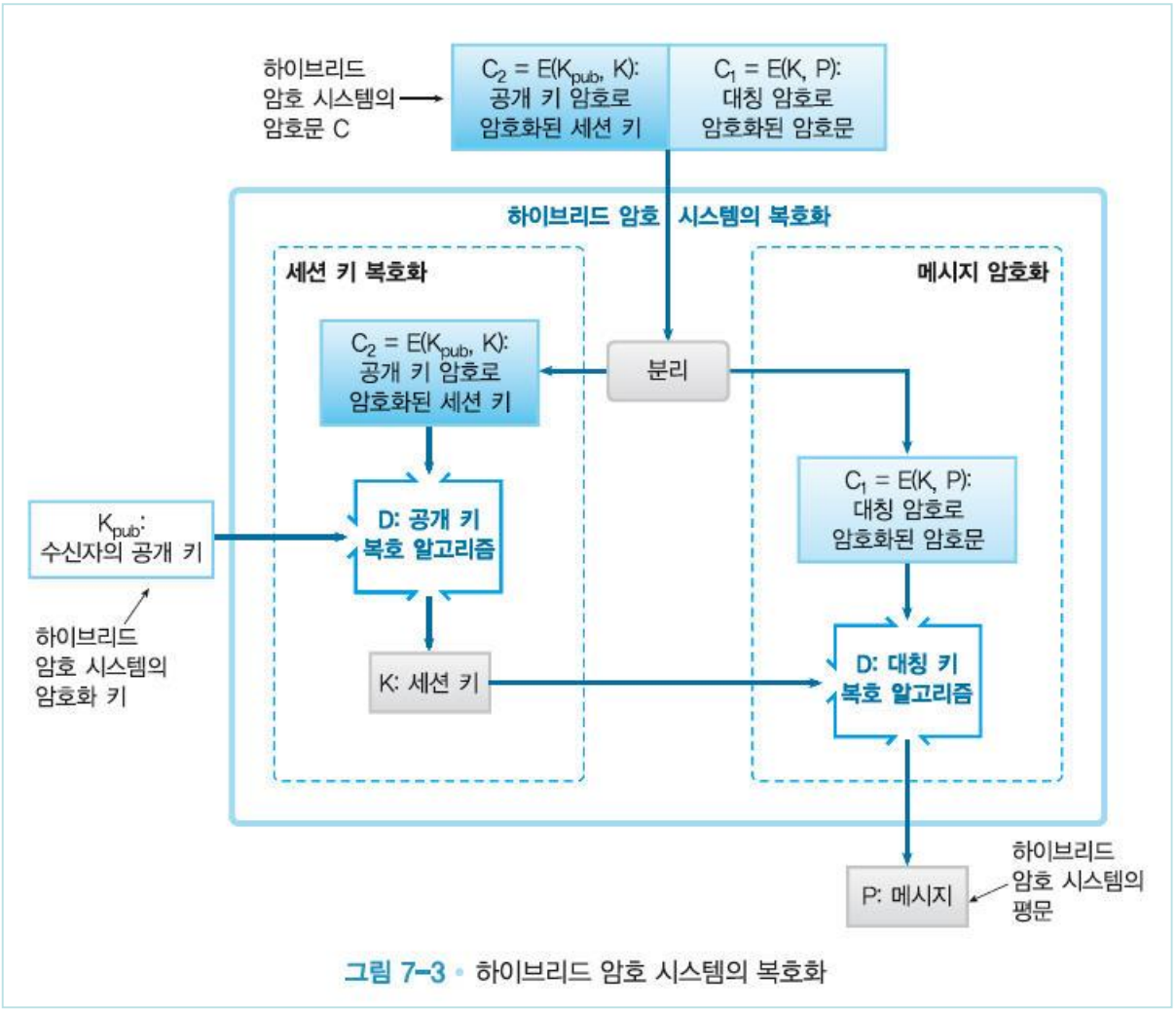


그림 7-3 • 하이브리드 암호 시스템의 복호화

하이브리드 암호 시스템의 구체 예

- PGP
  - 하이브리드 암호 시스템
  - 디지털 서명이나 디지털 서명의 검증
  - 개인 키 관리

- SSL/TLS
  - 하이브리드 암호 시스템
  - Web의 암호 통신에서 사용

제2절 강한 하이브리드 암호 시스템이란

2.1 의사난수 생성기

2.2 대칭 암호

2.3 공개키 암호

2.4 키 길이의 밸런스

강한 하이브리드 암호 시스템이란

- 하이브리드 암호 시스템의 구성 요소
  - 의사난수 생성기
  - 대칭 암호
  - 공개 키 암호
- 각각의 기술 요소의 강도
- 강도의 밸런스

2.1 의사난수 생성기

- 세션 키 생성에 사용
- 품질이 나쁘면 만들어지는 세션 키를 공격자가 추측하게 될 위험성
- 세션 키 중 일부 비트라도 추측되지 않도록 주의

2.2 대칭암호

- 메시지 암호화에 사용
- 강한 대칭 암호 알고리즘을 사용
- 충분히 길이가 긴 키 사용
- 적절한 블록 암호 모드 사용

2.3 공개키 암호

- 세션 키 암호화에 사용
- 강한 공개 키 암호 알고리즘 사용
- 충분히 길이가 긴 키 사용

2.4 키 길이의 밸런스

- 어느 쪽인가 한 쪽의 키 길이가 극단적으로 짧으면, 공격이 그 쪽으로 집중될 가능성이 있음
- 대칭 암호와 공개 키 암호의 키 길이는 양쪽이 같은 정도의 강도가 되도록 길이의 균형을 맞춤
- 장기간의 운용을 고려한다면 대칭 암호보다도 공개 키 암호 쪽을 강하게

하이브리드 암호 시스템

대칭 암호와 공개 키 암호를 조합해서 양쪽의 장점을 살리는 시스템을 구축

블록 암호 모드

고정 키 길이밖에 암호화할 수 없는 블록 암호를 조합해서 보다 긴 평문을 암호화

트리플 DES

DES를 3개 조합해서 DES보다도 긴 키 길이를 갖는 대칭 암호

암호 기술의 조합

- **디지털 서명**
  - 일방향 해시 함수와 공개 키 암호를 조합
- **인증서**
  - 공개 키와 디지털 서명을 조합
- **메시지 인증 코드**
  - 일방향 해시 함수와 키를 조합
  - 대칭 암호로부터 생성
- **의사난수 생성기**
  - 대칭 암호
  - 일방향 해시 함수
  - 공개 키 암호

기타 암호기술의 조합

- 전자 투표
- 디지털 캐시
- 블라인드 서명
  - 내용을 모르고 서명
- 영지식 증명
  - 상대에게 정보를 건네지 않고 자신이 그 정보를 가지고 있다는 사실만을 증명해 보이는 방법

제4절 기타암호 – 동형암호

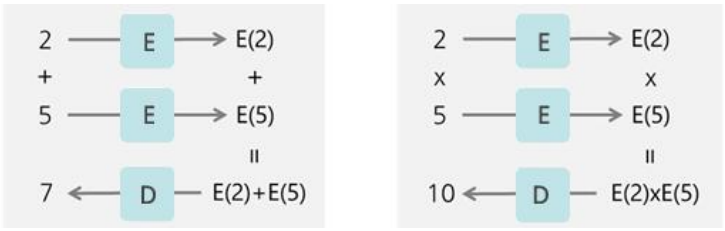
4.1 동형암호 개념

4.2 동형암호 응용

4.1 동형암호 개념

- 동형암호(Homomorphic Encryption)
  - 암호화된 상태에서도 덧셈, 곱셈 등을 보존하여 머신러닝 및 딥러닝이 가능한 공개키 암호기술

- **동형암호의 성질**
  - AES와 같은 암호 알고리즘에 암호문을 두 개 더하여 복호화할 때, 결과는 두개 더한 값이 나오지 않음
  - RSA나 ECC 등 동형암호는 곱셈 혹은 덧셈 두 가지 연산 중 하나를 보존해주는 Partial Homomorphic Encryption의 성질을 가짐



동형암호 성질

RSA 암호 알고리즘

e, n : 공개키 d: 비밀키

(e, n, d 는 일련의 수학적 성질을 만족)

RSA 암호화

$m^e \bmod n = c$

평문 암호문

RSA 복호화

$c^d \bmod n = m^{ed} \bmod n$

$= m$

Homomorphic Property of RSA

$(c_1 c_2)^d \bmod n \stackrel{?}{=} m_1 m_2$

$(c_1 c_2)^d \bmod n$

$=(m_1^e m_2^e)^d \bmod n$

$=(m_1 m_2)^{ed} \bmod n$

$= m_1 m_2$

RSA 암호 알고리즘의 곱셈에 대한 Partial Homomorphic Property

- **동형암호(Fully Homomorphic Encryption)**
  - 동형암호로 데이터를 암호화하면 곱셈과 덧셈 연산 모두를 보존
  - 즉, 동형암호로 두 개의 데이터 암호화하면, 두 암호문에 대해 곱셈 또는 덧셈하는 것이 원문에 해당 연산을 하는 것과 같은 효과를 가짐
  - 머신러닝과 딥러닝의 연산은 곱셈과 덧셈으로 표현 가능하므로 동형암호를 이용할 경우 데이터가 암호화된 상태에서도 머신러닝, 딥러닝 데이터 분석 가능

4.2 동형암호 응용

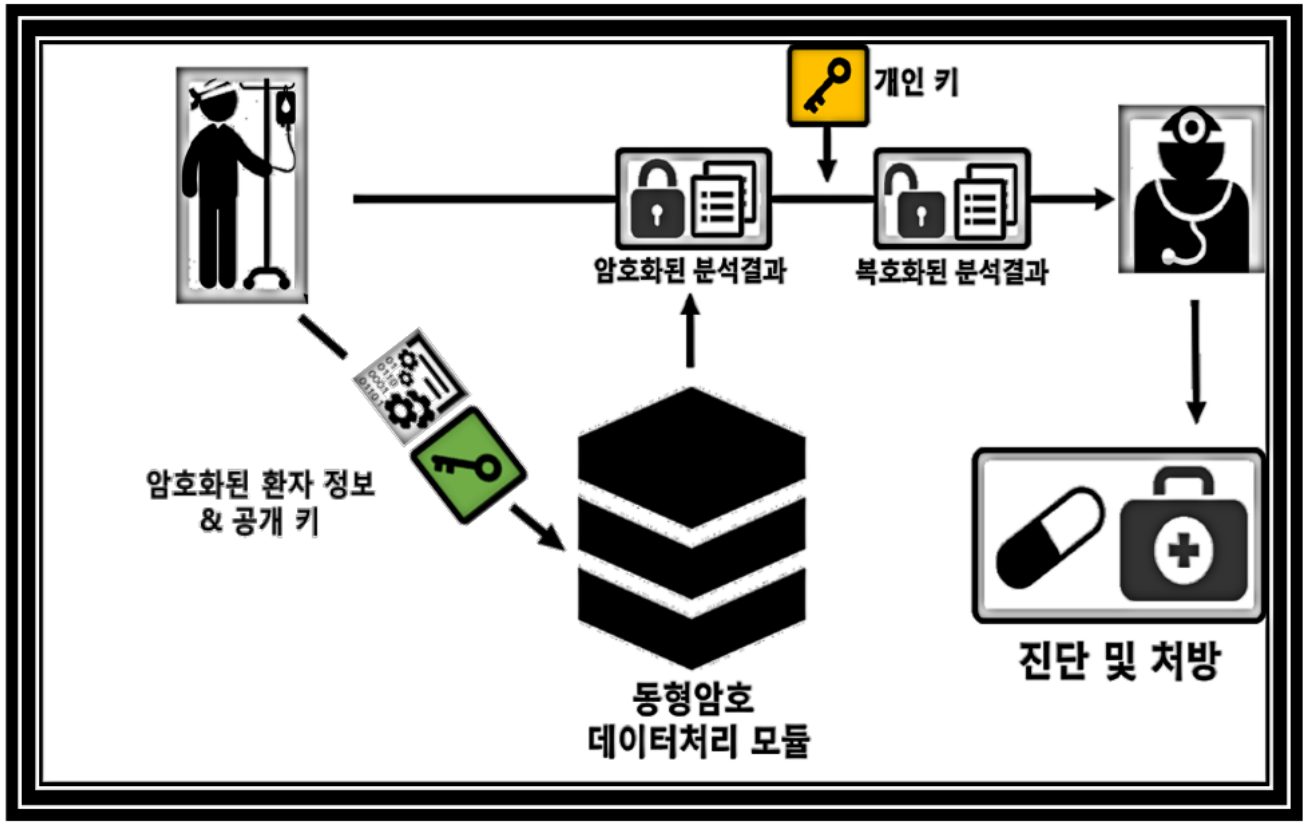
- **장점**
  - 컴퓨터에서 데이터의 모든 계산은 AND, OR, NOT의 논리 게이트로 연산
  - 암호화된 상태로 AND/OR/NOT연산 → 컴퓨터로 하는 모든 연산이 가능
    - 암호화 이후 검색/통계처리/Machine Learning
  - 해커의 데이터 유출 원천봉쇄
- **단점**
  - 암호문 확장: 10-100 K배 → 0.1-1 K배(대칭키방식)
  - 암복호화 속도: 수십 ms (AES 1us, RSA 1ms)
  - 암호문 연산: 곱셈 수백ms
  - 응용연산 종류에 따른 속도의 차이가 큼 → 개별적 최적화

에제 1. 클라우드 데이터베이스

- 건강보험공단 데이터베이스
  - 개인정보저장: 이름, 주민번호, 재산, 납세내역, 병력 등
  - 일반직원이 쉽게 개인정보 조회가능 → 로그기록으로 감시
    - 대통령 후보의 병원기록 조회 후 유출
  - 데이터베이스 동형암호화
    - 암호화상태에서 업무처리 (검색, 조회, 통계추출)
    - 결과값을 책임자가 확인해야 하는 경우만 복호화
    - 내부자 정보 유출 및 해킹의 위험 감소

에제 2. 암호화된 헬스케어

건강진단 ◀- - - - - - - - - - 생체정보
- - - - - - - - - - - ▶(심박/활동량)



참고문헌

- “알기 쉬운 정보보호 개론”, 히로시 유키 저(이재광 외 2 공역, 인피니티북스, 2017 – 주교재

참고자료

- "네트워크 보안 에센셜 3판", 윌리엄 스톨링스 저(전태일 등역) , 교보문고
- “개인정보가 보호되는 동형암호기반 금융데이터분석”, 천정희, 한국금융정보학회, (2018.02.)
- “Data Centric Security in Cloud Era ② 클라우드와 데이터 보안 ”, 조지훈, Samsung SDS (2018.10.)

Thank You!

Q & A