2021/07/26, 2021 보안 기초 세미나

Network Security Essentials

- Chapter_3 공개키 암호와 메시지 인증(2) -

발표자 : 이 태 양(taeyang@pel.sejong.ac.kr)

세종대학교 프로토콜공학연구실

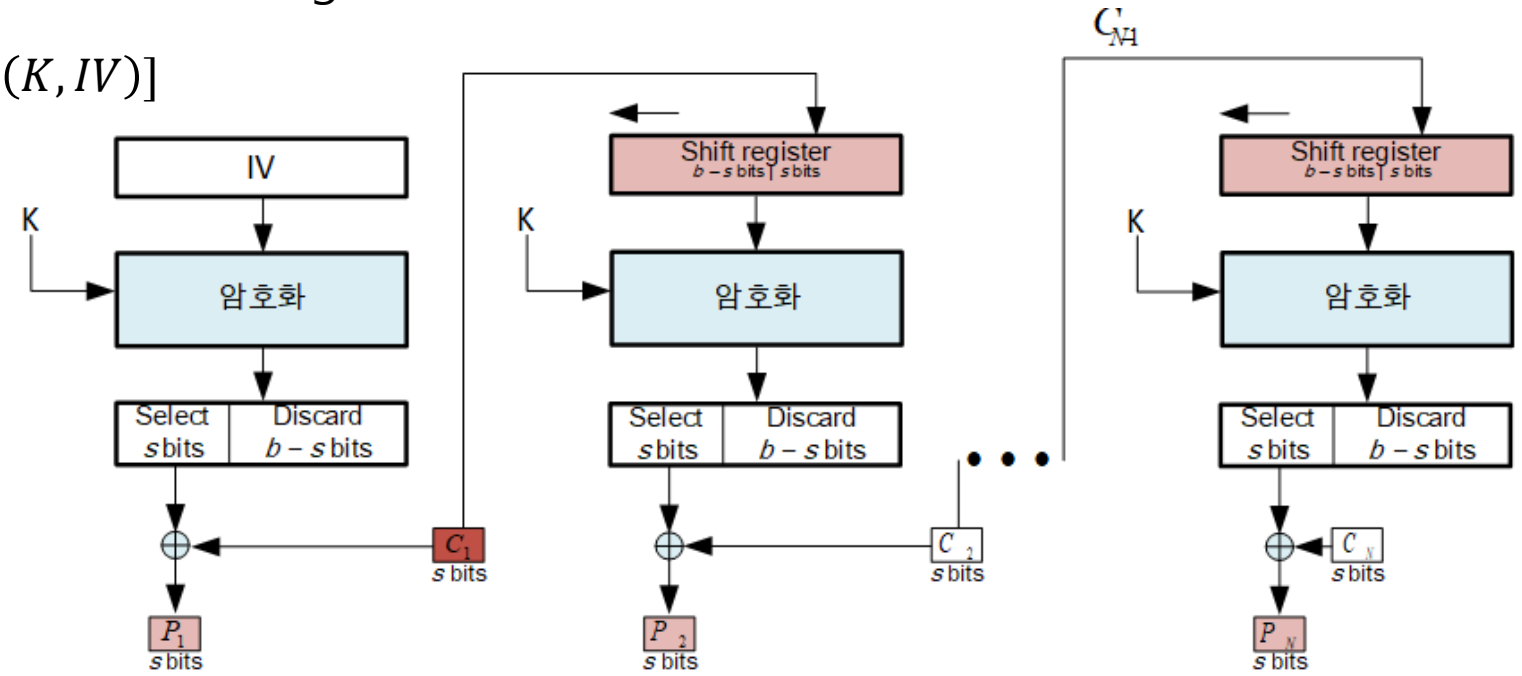
목 차

- 보충
- 공개키 암호 원리
- 공개키 암호 알고리즘
- 키 교환 알고리즘
- 기타 공개키 암호 알고리즘

보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 종류
    - 암호 피드백 (CFB, Cipher FeedBack) 모드
      - 오류 확산
        - 복호화 과정
          - 암호문 블록 하나에 오류가 있을 때, 현재 평문 블록 이후 Shift register에서 오류가 소멸 될 때까지 평문 블록에 영향

$$P_1 = C_1 \oplus S_S[E(K, IV)]$$

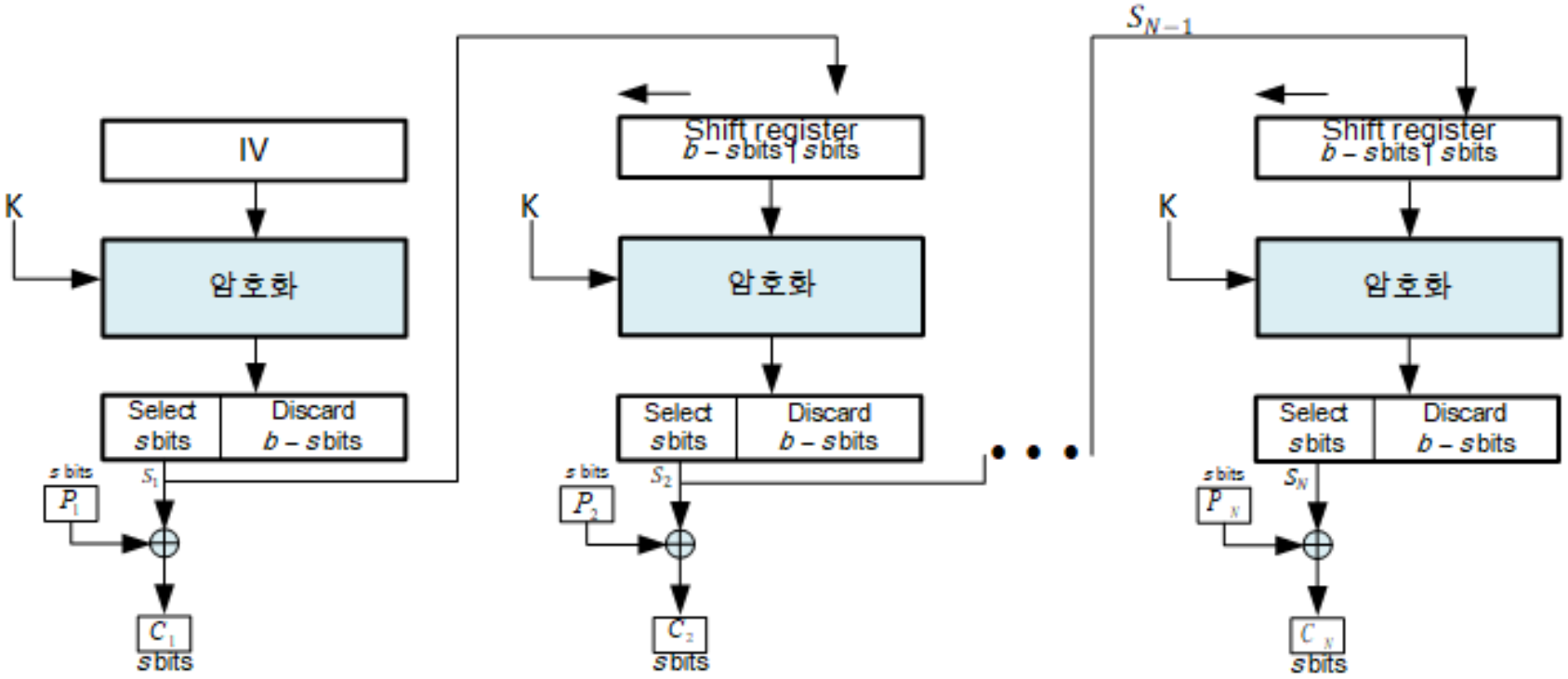


보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 종류
    - 암호 피드백 (CFB, Cipher FeedBack) 모드
      - 장점
        - 패딩이 불필요
        - 실시간 사용 가능
      - 단점
        - 암호화 과정에서 병렬처리 불가능
        - 속도가 느림
        - 오류가 확산됨

보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 종류
    - 출력 피드백 (OFB, Output FeedBack) 모드
      - 평문 블록에 직접 암호화하지 않고 이전 암호 알고리즘의 출력을 입력으로 피드백하여 평문과 XOR하는 방식

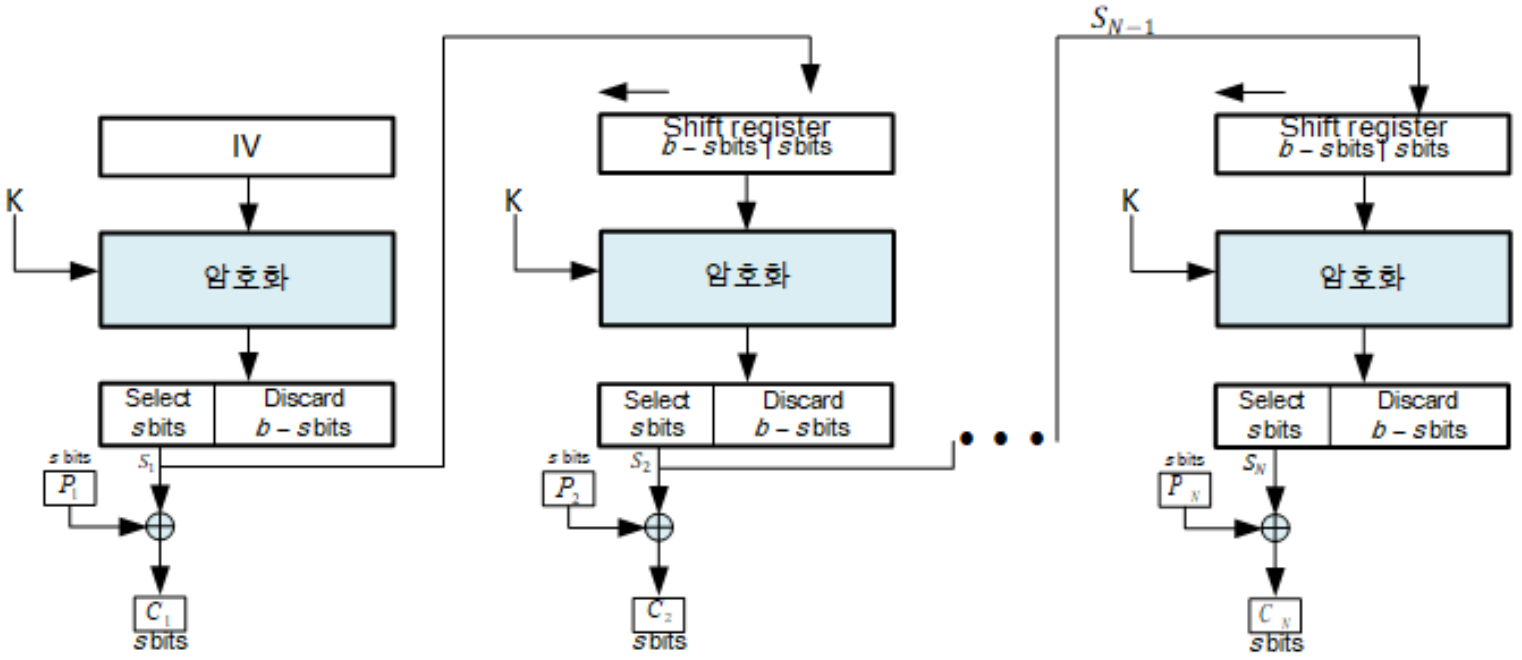


보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 종류
    - 출력 피드백 (OFB, Output FeedBack) 모드
      - 암호화

$$P_i \oplus S_i = C_i$$

$$S_i = E_k(S_{i-1})$$

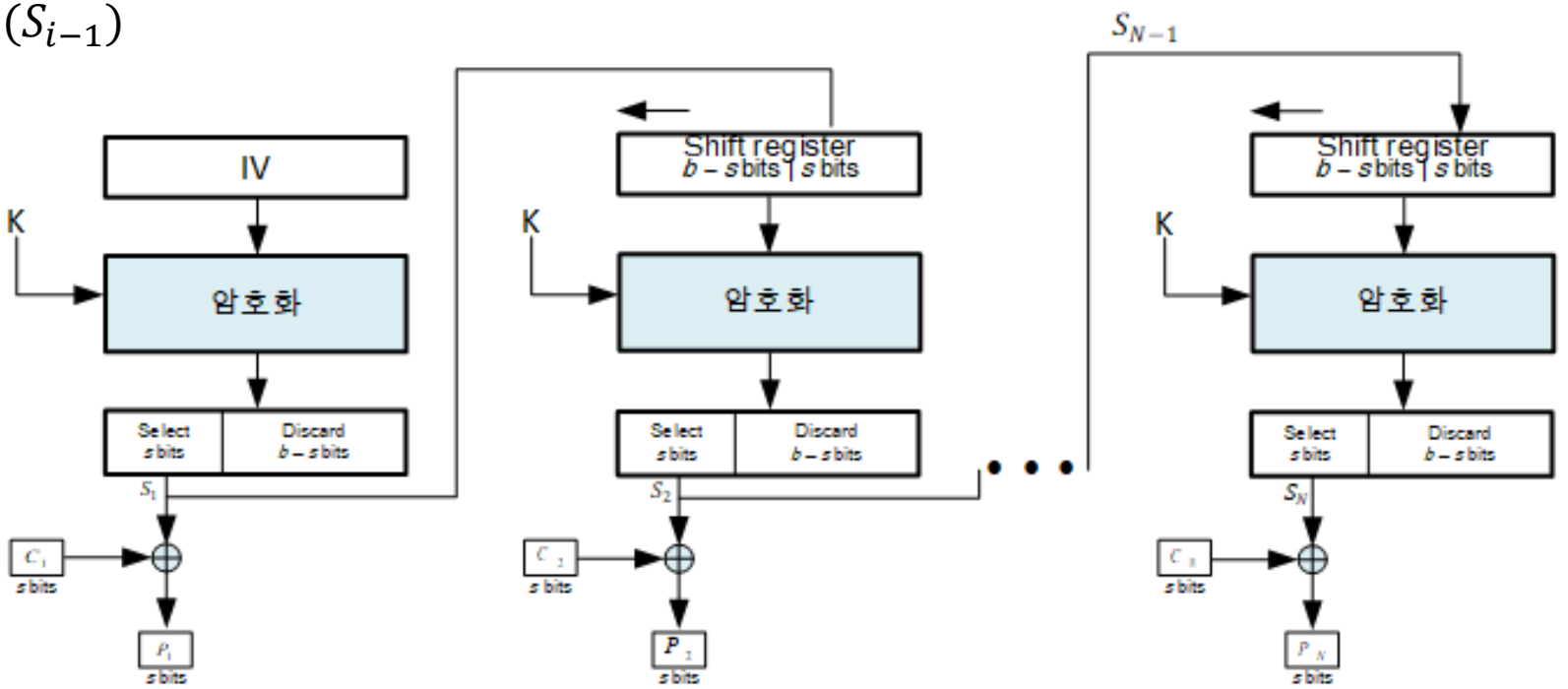


보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 종류
    - 출력 피드백 (OFB, Output FeedBack) 모드
      - 복호화

$$C_i \oplus S_i = P_i$$

$$S_i = E_k(S_{i-1})$$

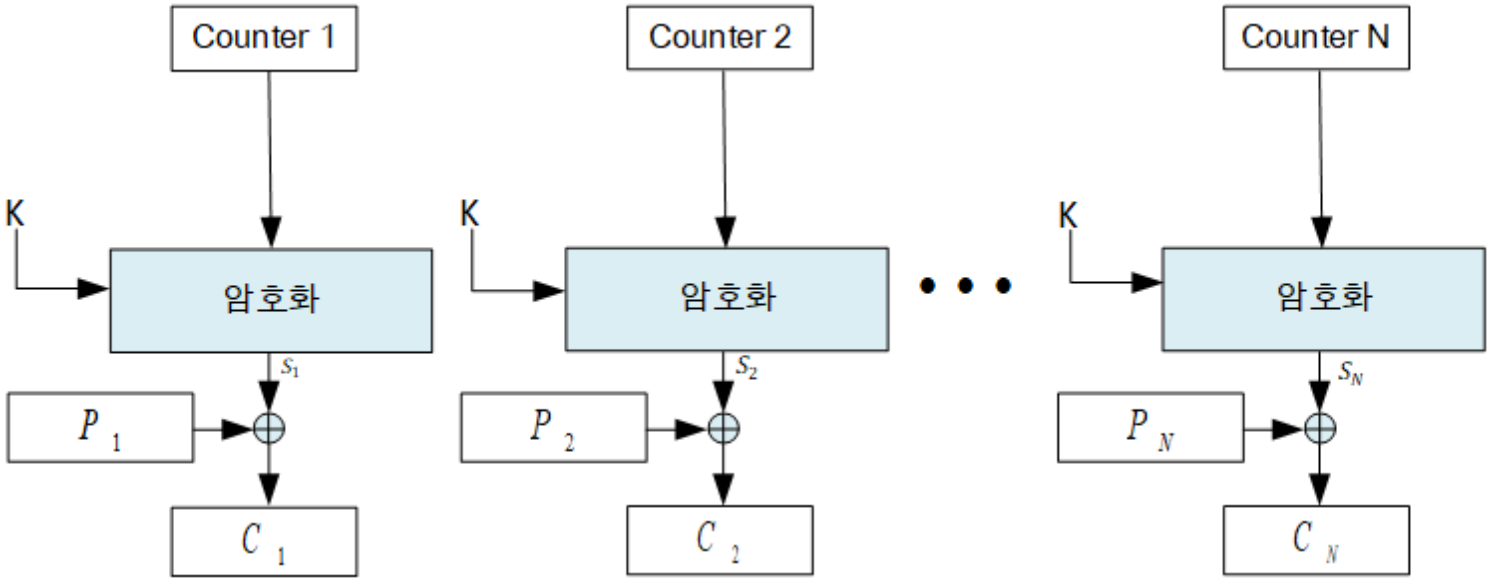


보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 종류
    - 출력 피드백 (OFB, Output FeedBack) 모드
      - 장점
        - 패딩이 불필요
        - 오류가 확산되지 않음
          - 암호 알고리즘의 출력과 평문을 XOR하여 암호문 생성
      - 단점
        - 병렬처리 불가능

보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 종류
    - 카운터 (CTR, Counter) 모드
      - 1씩 증가하는 카운터를 암호화해서 키스트림을 만들어내는 방식
      - 병렬처리가 가능하도록 하여 처리 속도를 개선하고 암호화 패턴이 드러나는 ECB 모드를 개선함

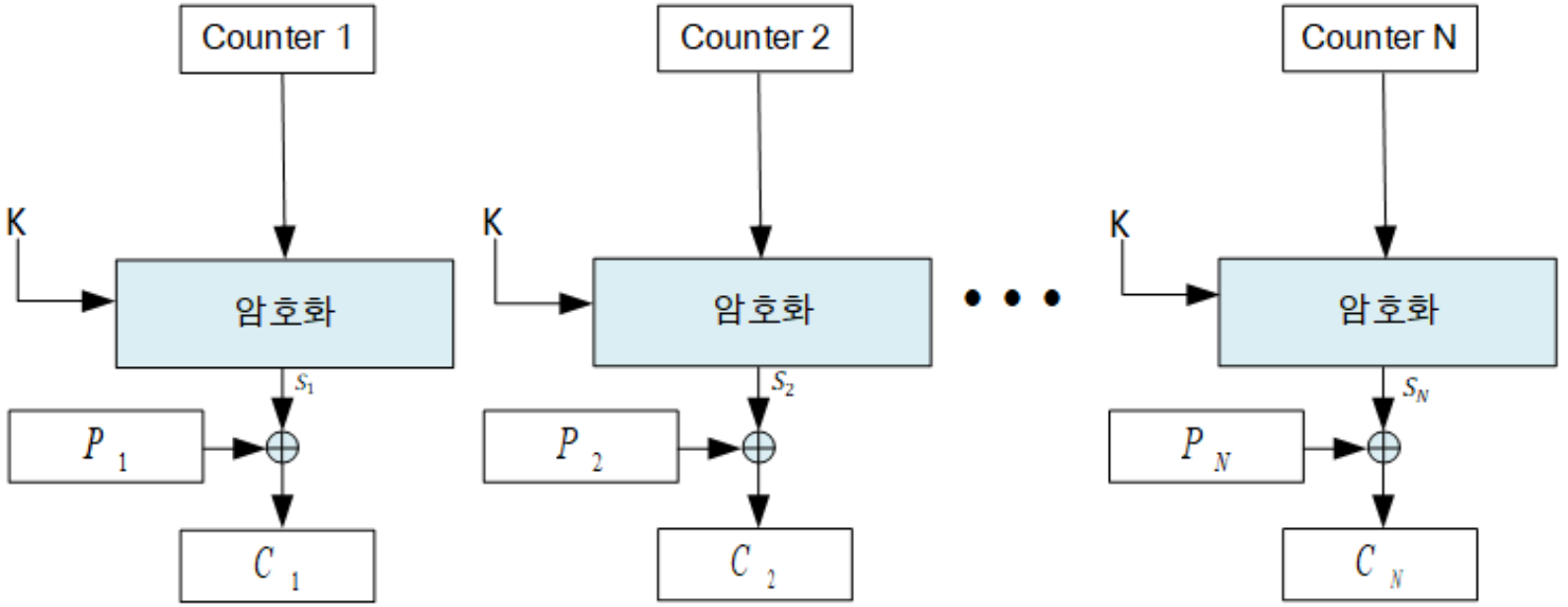


보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 종류
    - 카운터 (CTR, Counter) 모드
      - 암호화

$$P_i \oplus S_i = C_i$$

$$S_i = E_k(N_i)$$

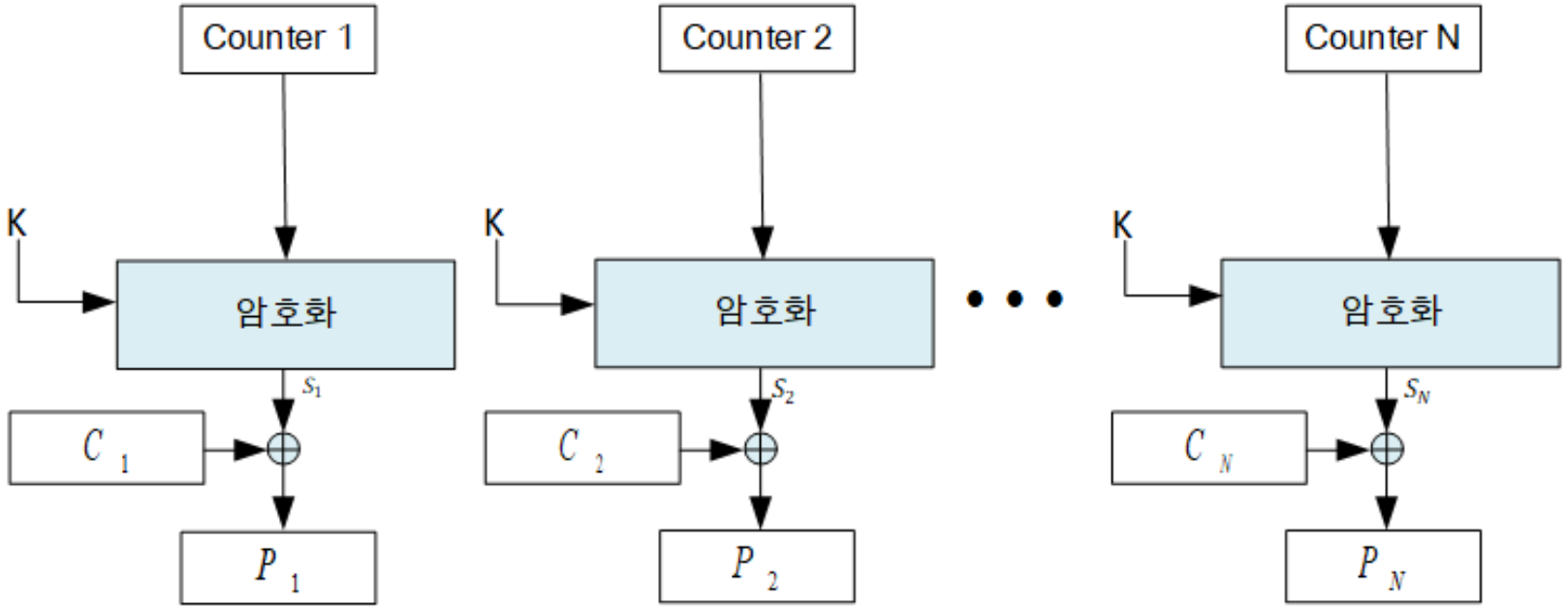


보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 종류
    - 카운터 (CTR, Counter) 모드
      - 복호화

$$C_i \oplus S_i = P_i$$

$$S_i = E_k(N_i)$$



보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 종류
    - 카운터 (CTR, Counter) 모드
      - 카운터 구조

	66 1F 98 CD 37 A3 8B 4B	00 00 00 00 00 00 00 01
	비표	블록 번호
평문 블록 1의 카운터	66 1F 98 CD 37 A3 8B 4B	00 00 00 00 00 00 00 01
평문 블록 2의 카운터	66 1F 98 CD 37 A3 8B 4B	00 00 00 00 00 00 00 02
평문 블록 3의 카운터	66 1F 98 CD 37 A3 8B 4B	00 00 00 00 00 00 00 03

보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 종류
    - 카운터 (CTR, Counter) 모드
      - 장점
        - 병렬처리 가능
        - 오류가 확산되지 않음
        - 사전에 카운터를 미리 암호화할 수 있음
        - 원하는 부분만 복호화 할 수 있음
        - 처리속도가 빠름
      - 단점
        - 공격자가 암호문 블록의 비트를 반전시키면 대응하는 평문 블록 비트가 반전됨

보충

- 암호 블록 운용 모드
  - 비교

운용 모드	병렬처리	패딩	초기화 벡터	오류확산
ECB	○	○	X	X
CBC	복호화만	○	○	암호화 : 해당 블록 이후 모든 블록 복호화 : 해당 블록 다음 블록
CFB	복호화만	X	○	Shift register에서 오류가 완전히 소멸될 때까지 확산
OFB	X	X	○	X
CTR	○	X	X	X

공개키 암호 원리

- 공개키 암호 (Public Key Encryption)
  - 정의
    - 암호화와 복호화에 서로 다른 키(개인키, 공개키)를 사용하는 암호화 방식
      - 개인키 (Private Key)는 소유자만 가지고 있는 키
      - 공개키 (Public Key)는 누구나 알 수 있도록 공개하는 키
  - 암호 방식
    - 공개키로 암호화 후 개인키로 복호화
      - 특정한 키를 가지고 있는 사용자만 내용을 열어볼 수 있음
    - 개인키로 암호화 후 공개키로 복호화
      - 특정한 키로 만들어졌다는 것을 누구나 확인할 수 있음

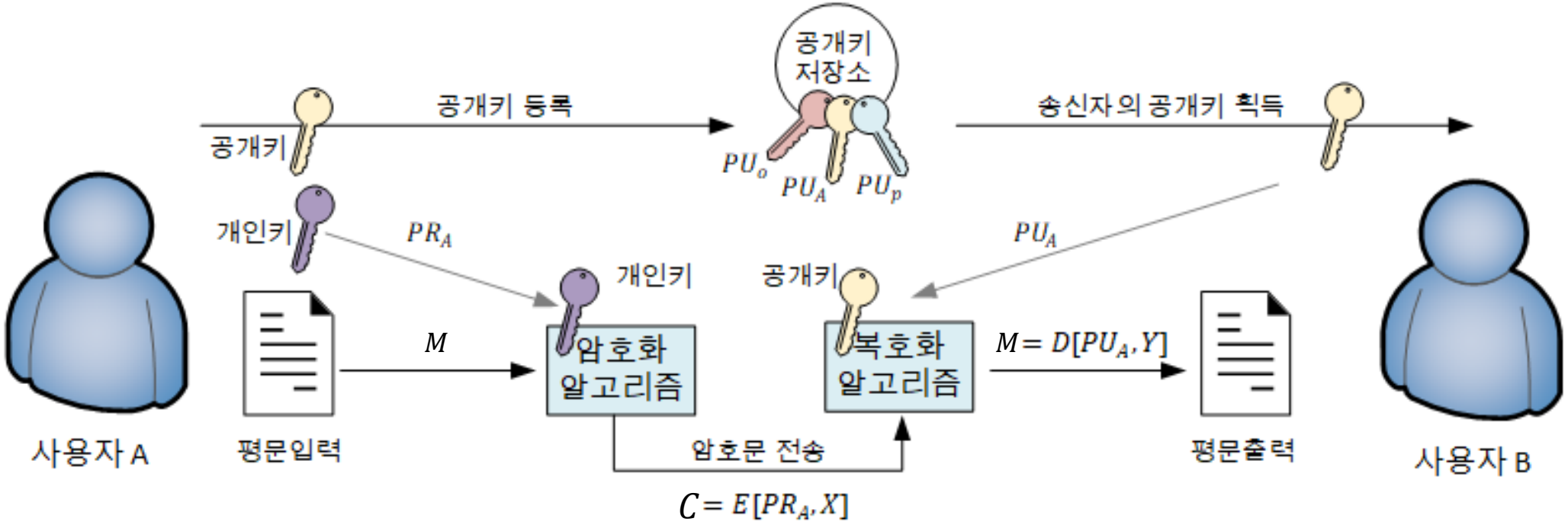
공개키 암호 원리

- 공개키 암호 (Public Key Encryption)
  - 구성요소

용어	기호	의미
평문	M	사람이 읽을 수 있는 메시지나 데이터로서 알고리즘의 입력으로 사용
암호화 알고리즘	E	평문을 암호화하기 위해 사용하는 알고리즘
개인키	PR_A, PR_B	사용자 A, B가 암호화 또는 복호화에 사용하고 소유자만 알고 있는 공개되지 않은 키
공개키	PU_A, PU_B	사용자 A, B가 암호화 또는 복호화에 사용하고 공개되어 있는 키
암호문	C	출력으로 나오는 암호화된 메시지이며 평문 암호화에 사용된 키에 대응하는 키에 의해 생성됨
복호화 알고리즘	D	평문을 암호화 할 때 사용한 키에 대응하는 키를 이용하여 암호문을 평문으로 변환하는 알고리즘

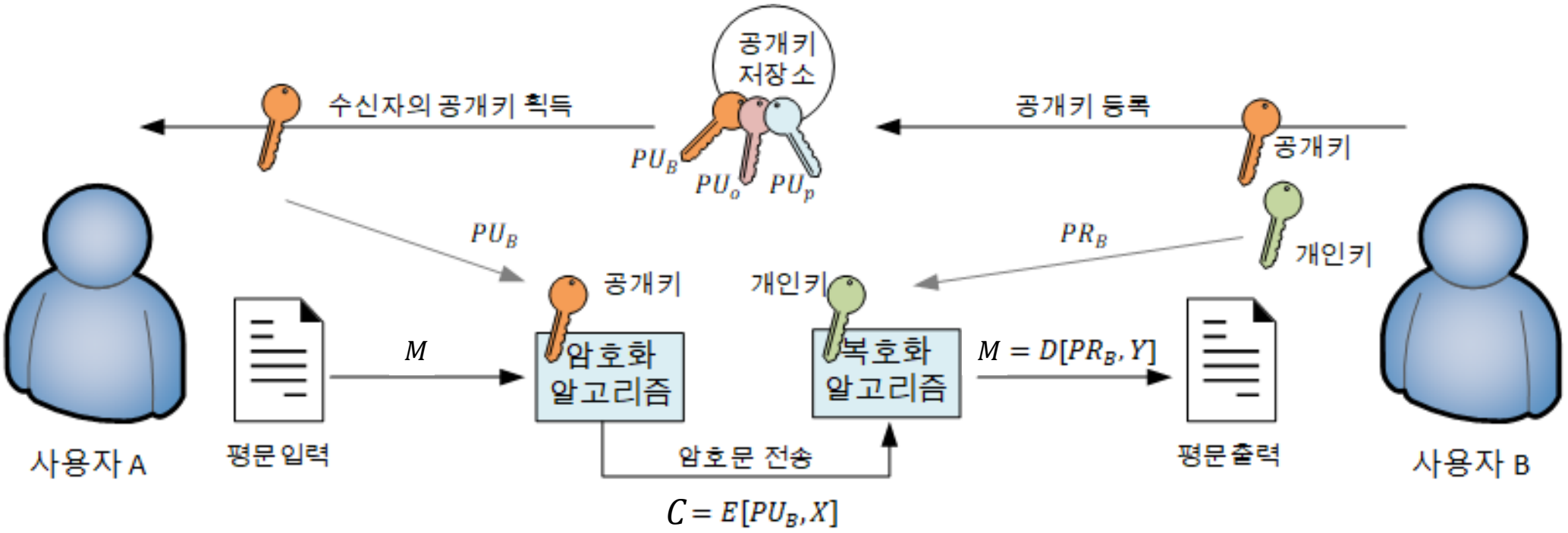
공개키 암호 원리

- 공개키 암호 (Public Key Encryption)
  - 구조 (1/2)
    - 개인키에 의한 암호화



공개키 암호 원리

- 공개키 암호 (Public Key Encryption)
  - 구조 (2/2)
    - 공개키에 의한 암호화



공개키 암호 원리

- 공개키 암호 (Public Key Encryption)
  - 특징
    - 암호화와 복호화에 서로 다른 두 개의 키를 사용하는 비대칭 방식
    - 사전 키 교환이 불필요
    - 연산이 복잡하여 대칭키 암호보다 속도가 약 1000배 느림

공개키 암호 원리

- 대칭키 암호 방식과 공개키 암호 방식 비교

	대칭키 암호화 방식	공개키 암호화 방식
개념	- 암호화와 복호화에 동일한 키 사용 - 대칭 구조	- 암호와와 복호화에 서로 다른 키 사용 - 비대칭 구조
장점	- 공개키 암호화에 비해 속도가 빠름	- 대칭키 암호화에 비해 키 분배 및 관리가 용이
단점	- 공개키 암호화에 비해 키 관리가 어려움	- 대칭키 암호화에 비해 속도가 느림 - 개인키를 잃어버리는 경우 암호화된 데이터에 접근 할 수 없음 - 개인키가 공개되는 경우 보안에 위협을 받게 됨

공개키 암호 원리

- 공개키 암호 (Public Key Encryption)
  - 요건 (1/2)
    - 수신자가 한 쌍의 키 (공개키 : PU_b, 개인키 : PR_b) 생성 시 컴퓨터 계산 시간을 고려해야 함
    - 공개키와 암호화될 메시지를 알고 있는 송신자는 암호문을 계산적으로 쉽게 구할 수 있어야 함
      - $C = E(PU_b, M)$
    - 수신자가 암호문을 복호화하는 것이 계산적으로 쉬워야 함
      - $M = D(PR_b, C) = D[PR_b, E(PU_b, M)]$

공개키 암호 원리

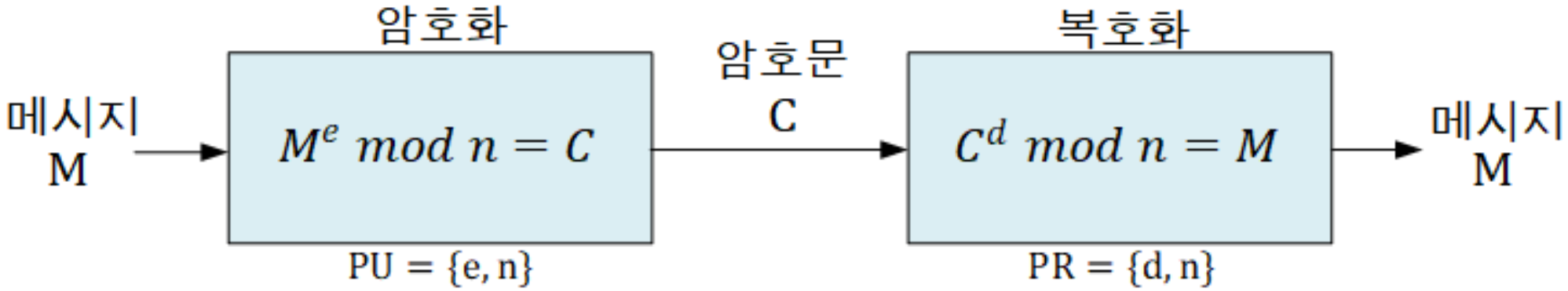
- 공개키 암호 (Public Key Encryption)
  - 요건 (2/2)
    - 공개키를 알고 있는 공격자가 개인키를 알아내는 것이 불가능해야 함
    - 공격자가 공개키와 암호문을 알고 있더라도 원문을 알아내는 것이 불가능해야 함
    - 2개의 키 중 하나를 암호화에 사용하면 다른 하는 복호화에 사용할 수 있어야 함
      - $\mathrm{M} = D[PU_b, E(PR_b, M)] = D[PR_b, E(PU_b, M)]$

공개키 암호 알고리즘

- RSA (Rivest Shamir Adleman) 암호 알고리즘
  - 정의
    - 자리 수가 많은 양의 정수에 대한 소인수분해에 착안하여 수학적으로 구현한 암호화 알고리즘
  - 특징
    - 암호화뿐만 아니라 전자서명의 용도로도 사용
    - SSL(Secure Socket Layer) 프로토콜을 가진 웹브라우저, PGP(Pretty Good Privacy), 공개키 암호 시스템을 사용하는 정부 시스템 등에서 사용
    - 공개키로 암호화하고 개인키로 복호화함
    - 기밀성과 부인방지 기능 제공

공개키 암호 알고리즘

- RSA (Rivest Shamir Adleman) 암호 알고리즘
  - 암호화와 복호화의 형태
    - $C = M^e \ mod \ n$
    - $M = C^d \ mod \ n = (M^e)^d \ mod \ n = \ M^{ed} \ mod \ n$



공개키 암호 알고리즘

- RSA (Rivest Shamir Adleman) 암호 알고리즘
  - 동작 과정
    - 키 $(PU = \{e, n\},\ PR = \{d, n\})$ 생성 과정

1. 서로 다른 임의의 두개의 소수 p와 q를 선택

2. n 계산
   - p와 q를 곱하여 $n = pq$ 를 계산

3. $\emptyset(n)$ 계산
   - $\emptyset(n)$: 오일러함수로서 양의 정수 중 n과 서로소인 양의 정수의 개수
   - 양의 정수 n이 두 개의 소수 p, q의 곱일 때 다음이 성립
   - $\emptyset(n) = (p-1)(q-1)$

공개키 암호 알고리즘

- RSA (Rivest Shamir Adleman) 암호 알고리즘
  - 동작 과정
    - 키 $(PU = \{e, n\},\ PR = \{d, n\})$ 생성 과정

4. 정수 e 선택
   - e 와 $\emptyset(n)$ 는 서로소 $(1 < e < \emptyset(n))$
   - $\gcd(a, b)$: a 와 b의 최대공약수
   - $\gcd(\emptyset(n), e) = 1$
   - 공개키 $PU = \{e, n\}$ 생성

5. d 계산
   - $1 < d < \emptyset(n)$
   - $de \bmod \emptyset(n) = 1$
   - 개인키 $PR = \{d, n\}$ 생성

공개키 암호 알고리즘

- RSA (Rivest Shamir Adleman) 암호 알고리즘
  - 동작 과정
    - 암호화
      - 공개키 $PU = \{e, n\}$를 사용
      - $C = M^e \ mod \ n$
    - 복호화
      - 개인키 $PR = \{d, n\}$를 사용
      - $M = C^d \ mod \ n$

공개키 암호 알고리즘

- RSA (Rivest Shamir Adleman) 암호 알고리즘
  - RSA 암호 알고리즘에 대한 공격
    - 전수공격
      - 가능한 모든 경우의 개인키로 시도해보는 공격
    - 소인수분해 공격
      - n을 소인수분해하여 p와 q값으로 키를 구하는 공격
  - 공격에 대한 대응
    - 크기가 큰 키를 사용
      - 2048-비트 키 사용을 권장

키 교환 알고리즘

- Diffie-Hellman 키 교환 알고리즘
  - 정의
    - 대칭키를 공유하기 위해 사용되는 알고리즘
  - 특징
    - 상대방의 공개키와 자신의 개인키를 이용하여 송신자와 수신자가 동일한 키를 생성
    - 이산 대수 문제 계산에 착안하여 만들어짐
    - 암호화나 전자서명에 사용되지 않음

공개키 암호 알고리즘

- Diffie-Hellman 키교환 알고리즘
  - 이산대수 문제 (Discrete Logarithms Problem)
    - 원시근 (Primitive Root)
      - 소수 p의 원시근
        - 자신의 거듭제곱을 이용하여 1~ $p-1$까지의 정수를 생성해 낼 수 있는 수
        - $a \bmod p, a^2 \bmod p, \cdots, a^{p-1} \bmod p$
      - 예시
        - $a^i \bmod p$ $(\mathrm{p} = 13)$인 경우, 2, 6, 7, 11은 p의 원시근

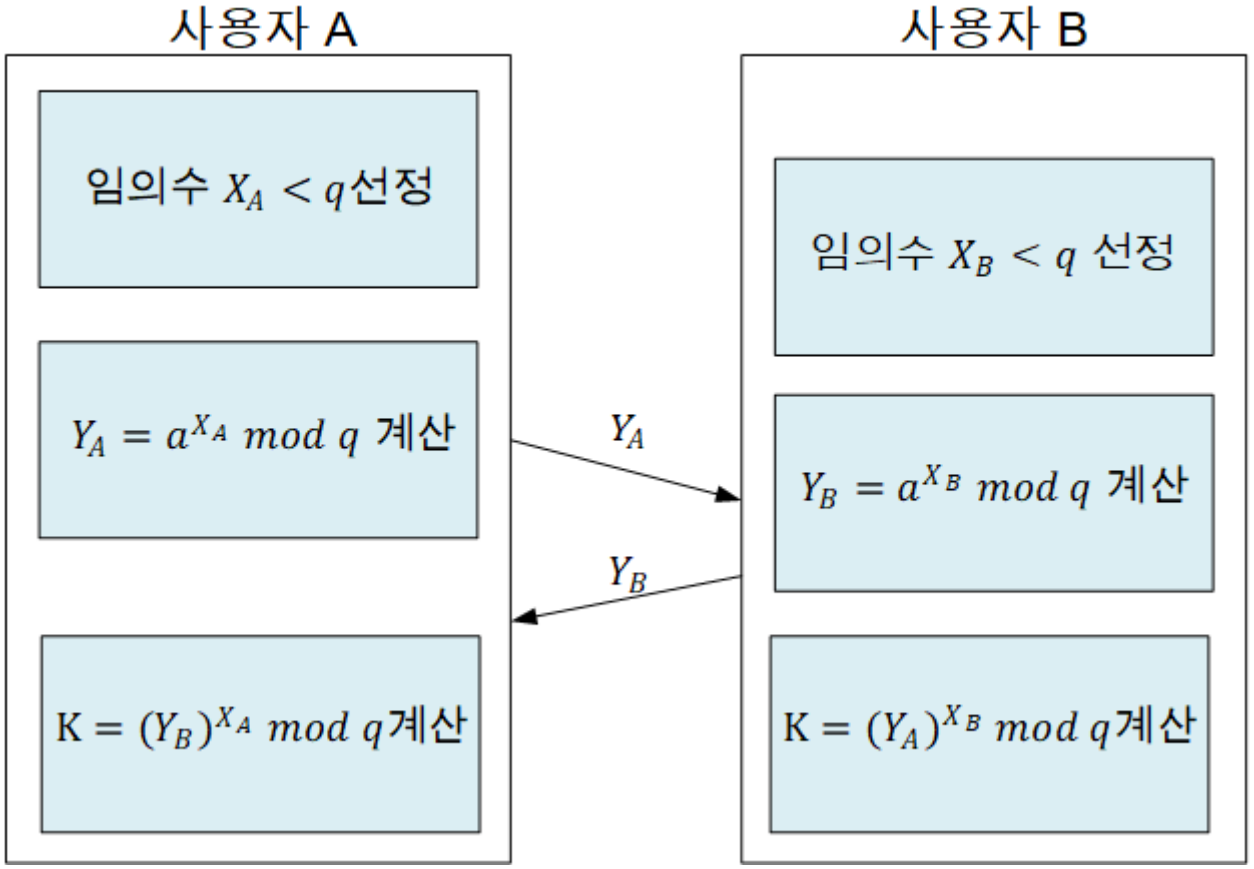
a \ i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	2	4	8	3	6	12	11	9	5	10	7	1
3	3	9	1	3	9	1	3	9	1	3	9	1
4	4	3	12	9	10	1	4	3	12	9	10	1
5	5	12	8	1	5	12	8	1	5	12	8	1
6	6	10	8	9	2	12	7	3	5	4	11	1
7	7	10	5	9	11	12	2	9	8	10	6	1

공개키 암호 알고리즘

- Diffie-Hellman 키교환 알고리즘
  - 이산대수 문제 (Discrete Logarithms Problem)
    - 이산대수 (Discrete Logarithms)
      - $b = a^i \ mod \ p \ (0 \leq i \leq p-1)$, (b는 정수)일 때 i를 가리킴

공개키 암호 알고리즘

- Diffie-Hellman 키교환 알고리즘
  - 키 교환 프로토콜



공개키 암호 알고리즘

- Diffie-Hellman 키교환 알고리즘
  - 키교환 알고리즘
    1. 사용자 A는 랜덤넘버 $X_A < q$ 선택
    2. 사용자 A는 $Y_A = \alpha^{X_A} \; mod \; q$ 계산
    3. 사용자 B는 랜덤넘버 $X_B < q$ 선택
    4. 사용자 B는 $Y_B = \alpha^{X_B} \; mod \; q$ 계산
    5. 사용자 A, B는 각각 X값을 개인값으로 보관, Y값은 공개
    6. 사용자 A는 $K = (Y_B \;)^{X_A} \; mod \; q$을 계산하여 키 생성
    7. 사용자 B는 $K = (Y_A \;)^{X_B} \; mod \; q$을 계산하여 키 생성

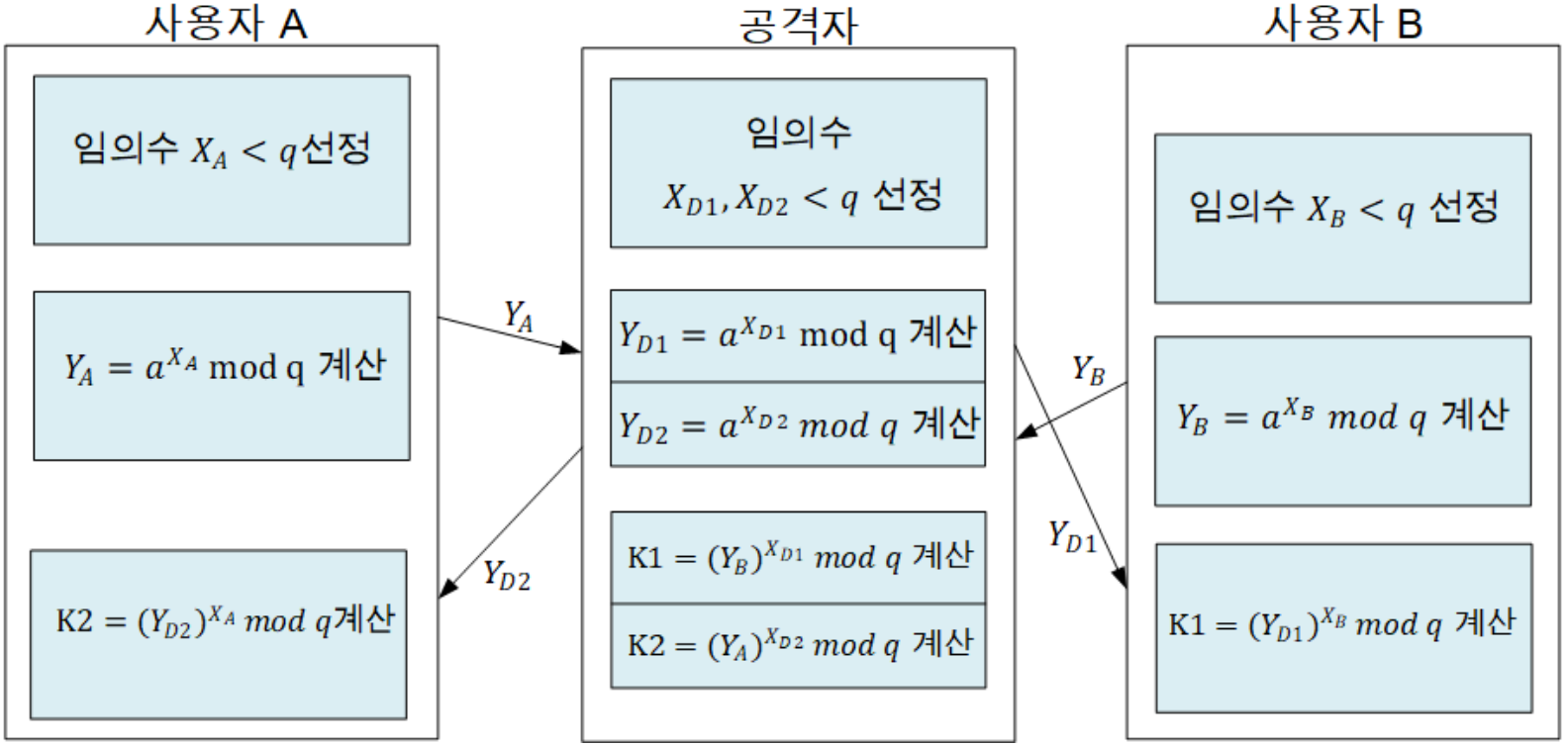
공개키 암호 알고리즘

- Diffie-Hellman 키교환 알고리즘
  - 키교환 알고리즘
    - 동일한 비밀키 생성
      - 모듈로 연산 성질 3에 의해 성립
        - $(a * b) mod\ n = [(a\ mod\ n) * (b\ mod\ n)] mod\ n$
      - $Y_B = \alpha^{X_B}\ mod\ q$
      - $K = (Y_B)^{X_A}\ mod\ q$

$$
\begin{aligned}
&= (\alpha^{X_B}\ mod\ q)^{X_A}\ mod\ q \\
&= (\alpha^{X_B})^{X_A}\ mod\ q \\
&= \alpha^{X_B X_A}\ mod\ q \\
&= (\alpha^{X_A})^{X_B}\ mod\ q \\
&= (\alpha^{X_A}\ mod\ q)^{X_B}\ mod\ q \\
&= (Y_A)^{X_B}\ mod\ q
\end{aligned}
$$

공개키 암호 알고리즘

- Diffie-Hellman 키교환 알고리즘
  - 중간자 공격 (Man-in-the-Middle Attack)
    - 권한이 없는 공격자가 두 통신 시스템 사이에서 송/수신자 행세를 하며 전달되는 메시지를 가로채는 공격



기타 공개키 암호 알고리즘

- 디지털 서명 표준 (DSS, Digital Signature Standard)
  - 정의
    - 디지털 서명 생산에 사용할 수 있는 알고리즘을 명시한 표준
      - e.g., DSA (Digital Signature Algorithm)
  - 디지털 서명
    - 정의
      - 송신자의 신원을 증명하는 기법
    - 특징
      - 데이터의 위변조를 확인할 수 있어 무결성을 보장함
      - 데이터의 발신처를 인증하는데 사용됨
      - 공개키로 복호화하기 때문에 기밀성을 보장하지 않음

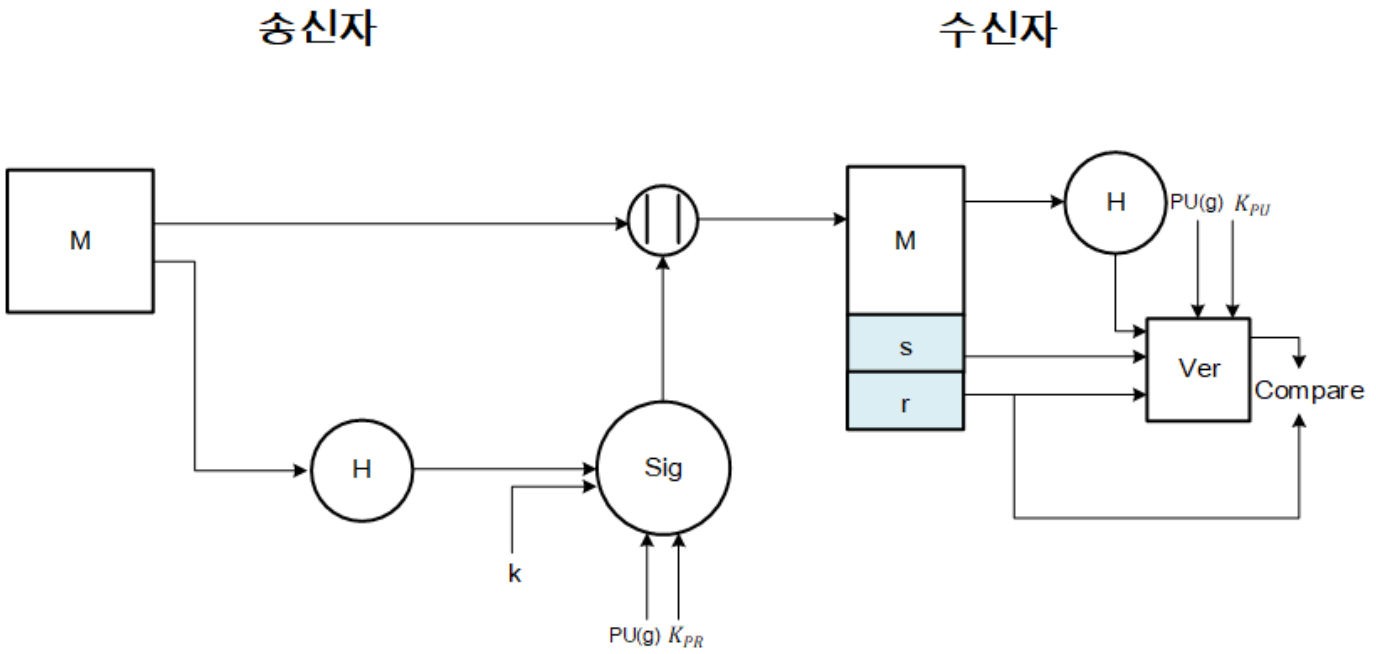
기타 공개키 암호 알고리즘

- 디지털 서명 표준 (DSS, Digital Signature Standard)
  - DSA (Digital Signature Algorithm)
    - 정의
      - 수학적 개념에 기반하는 디지털 서명 생성 위해 사용되는 알고리즘
    - 특징
      - 서명을 디지털로 암호화하기 위해 모듈러 계산과 이산대수 계산을 활용
      - 이산대수 계산에 안전성을 둠
      - 디지털 서명에만 사용되며 암호화와 키 교환에는 사용하지 않음

기타 공개키 암호 알고리즘

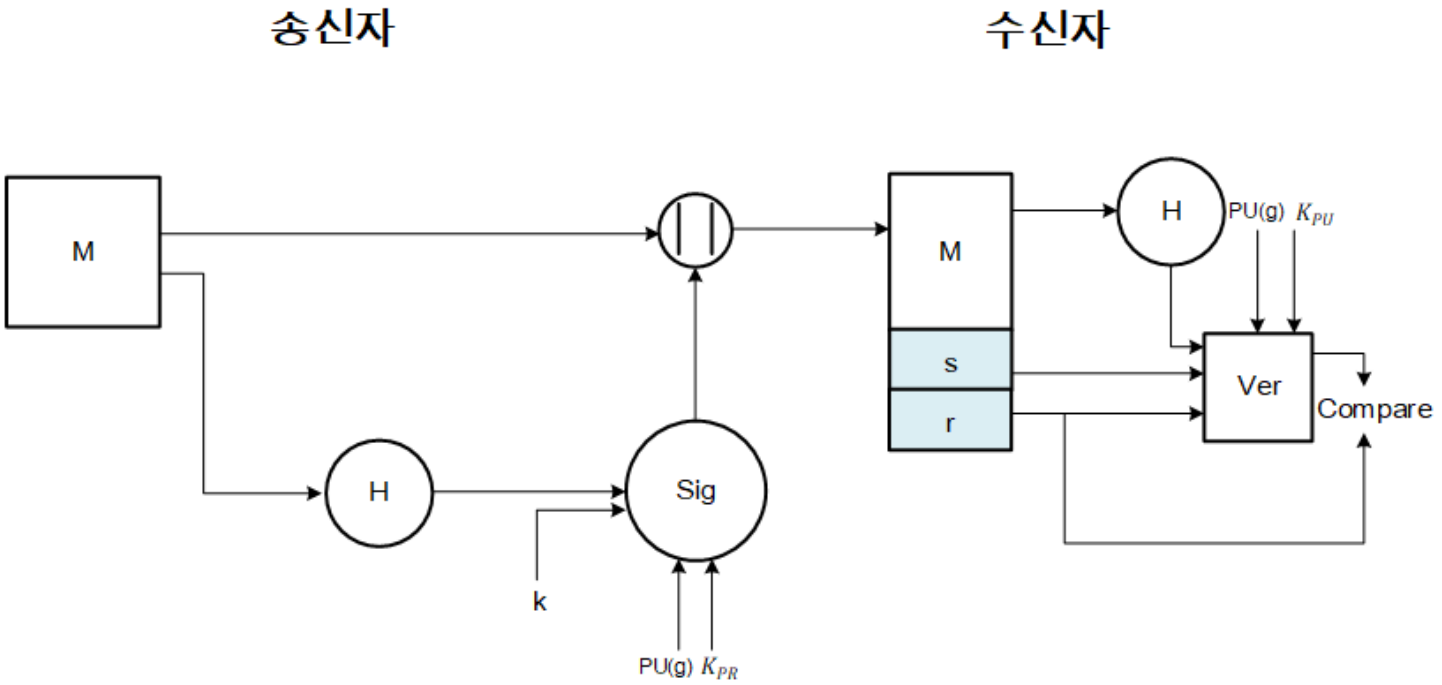
- 디지털 서명 표준 (DSS, Digital Signature Standard)
  - DSA (Digital Signature Algorithm)
    - 서명과 인증 과정

표기법	설명
M	메시지
H	해시함수
PU(g)	글로벌 암호키
K	난수
K_{PR}	개인키
Sig	서명함수
s, r	서명의 구성요소
K_{PU}	공개키



기타 공개키 암호 알고리즘

- 디지털 서명 표준 (DSS, Digital Signature Standard)
  - DSA (Digital Signature Algorithm)
    - 서명과 인증 과정

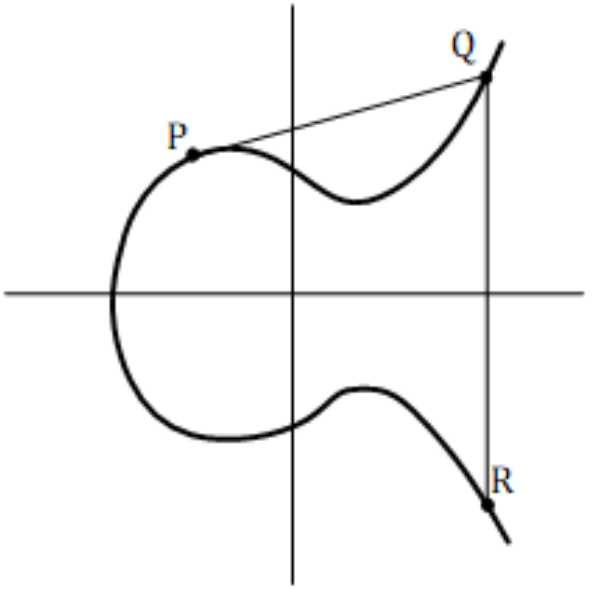


$$r = \left(g^k \bmod p\right) \bmod q$$

$$s = \left(k^{-1}\left(H(m) + K_{PR}r\right)\right) \bmod q$$

기타 공개키 암호 알고리즘

- 타원 곡선 암호 (ECC, Elliptic Curve Cryptography)
  - 정의
    - 타원 곡선을 기반으로 한 공개키 암호방식
      - 타원 곡선 위의 한 점 Q와 평문 블록 P 의 관계가 $Q = dP$라고 할 때, d 를 계산하는 것이 어렵다는 타원 곡선 이산대수 문제에 기반을 둠
        - P는 생성자, $y^2 = x^3 + ax + b$를 만족하는 임의의 시작 포인트
        - d는 개인키, P보다 작은 소수로 난수 생성기로 생성
        - Q는 공개키, 개인키로부터 더하기 연산을 통해 생성



기타 공개키 암호 알고리즘

- 타원 곡선 암호 (ECC, Elliptic Curve Cryptography)
  - 특징
    - RSA보다 작은 비트 수의 키로도 비슷한 암호 성능을 가짐

Time to break in MIPS year	RSA/DSA (bits)	ECC (bits)	RSA vs. ECC (key size ratio)
10^4	512	106	5:1
10^8	768	132	6:1
10^{12}	1024	160	7:1
10^{20}	2048	210	10:1
10^{78}	21000	600	35:1

Thanks!

이 태 양 (taeyang@pel.sejong.ac.kr)