제 4 장
대칭 암호

박 종 혁 교수

Tel: 970-6702

Email: jhpark1@seoultech.ac.kr

Chapter 4 대칭 암호

1절 문자 암호에서 비트열 암호로

2절 일회용 패드-절대 해독 불가능한 암호

3절 DES란?

4절 트리플 DES

5절 AES 선정 과정

6절 Rijndael

제1절 문자 암호에서 비트열 암호로

1.1 부호화

1.2 XOR

1.1 부호화

- 암호화에 컴퓨터 사용이 필수
- 암호화 프로그램도 평문을 비트열로 변경하고 비트열로 된 암호문을 출력
- 부호화(encoding)
  - 문자열을 비트열로 바꾸는 것

ASCII

- 문자열 midnight 을 다음과 같은 비트열로 부호화

m → 01101101
i → 01101001
d → 01100100
n → 01101110
i → 01101001
g → 01100111
h → 01101000
t → 01110100

1.2 XOR

- XOR은‘익스클루시브 오아(exclusive or)’, 또는 짧게 ‘엑스오아’라고 읽는다.

- 우리 말로는 배타적 논리합

  0 XOR 0 = 0 (0과 0의 XOR은 0이 된다)

  0 XOR 1 = 1 (0과 1의 XOR은 1이 된다)

  1 XOR 0 = 1 (1과 0의 XOR은 1이 된다)

  1 XOR 1 = 0 (1과 1의 XOR은 0이 된다)

한 비트의 XOR

- XOR은 ⊕이라는 기호를 써서 표현

a ⊕ b	설명
0 ⊕ 0 = 0	0과 0의 XOR은 0이 된다
0 ⊕ 1 = 1	0과 1의 XOR은 1이 된다
1 ⊕ 0 = 1	1과 0의 XOR은 1이 된다
1 ⊕ 1 = 0	1과 1의 XOR은 0이 된다

- 같은 숫자끼리의 XOR은 반드시 0이 된다

0 ⊕ 0 = 0
1 ⊕ 1 = 0

비트열 XOR

$$
\begin{array}{ll}
 & 0\,1\,0\,0\,1\,1\,0\,0 \cdots A \\
\oplus & 1\,0\,1\,0\,1\,0\,1\,0 \cdots B \\
\hline
 & 1\,1\,1\,0\,0\,1\,1\,0 \cdots A \oplus B
\end{array}
$$

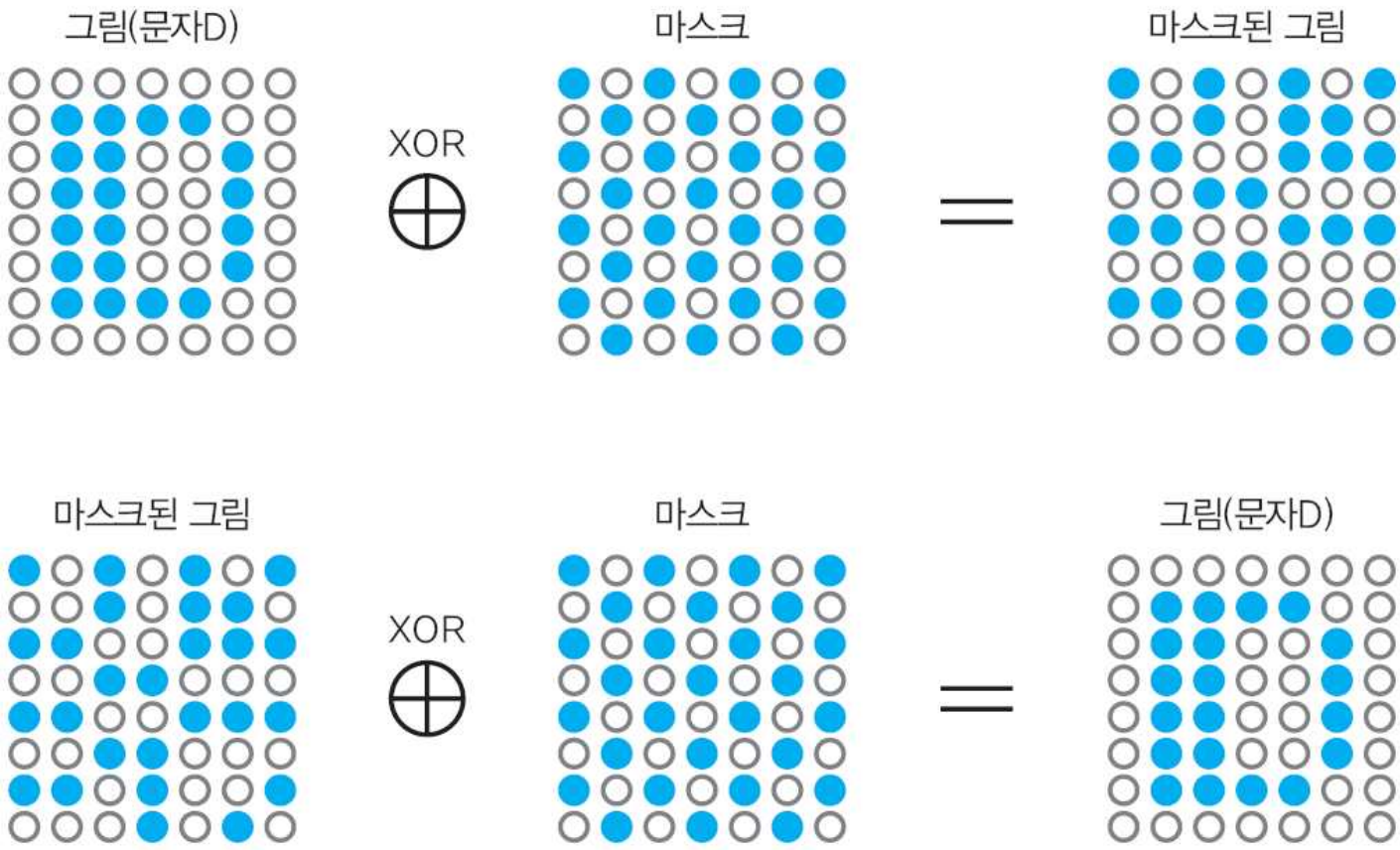
비트열 XOR

1 1 1 0 0 1 1 0 … A ⊕ B
⊕ 1 0 1 0 1 0 1 0 … B
---
0 1 0 0 1 1 0 0 … A ⊕ B ⊕ B = A
(A로 돌아간다)

암호화/복호화의 순서와 매우 비슷

- 평문 A를 키 B로 암호화하고, 암호문 A ⊕ B를 얻는다.
- 암호문 A ⊕ B를, 키 B로 복호화해서 평문 A를 얻는다.

XOR은 그림을 마스크한다



XOR은 그림을 마스크한다

제2절 일회용 패드-절대 해독 불가능한 암호

2.1 일회용 패드란?

2.2 일회용 패드의 암호화

2.3 일회용 패드의 복호화

2.4 일회용 패드는 해독할 수 없다

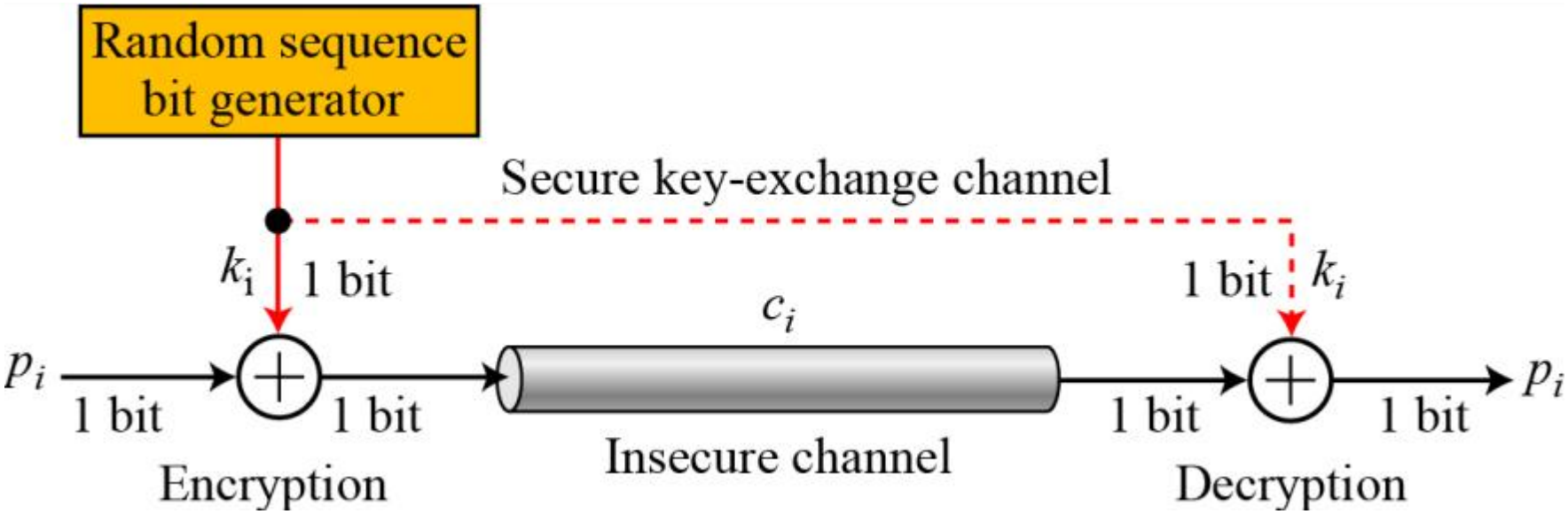
2.5 일회용 패드는 왜 사용되지 않을까?

2.1 일회용 패드란?

- 1회용 패드(one-time pad)
  - 전사공격에서 키공간을 모두 탐색하더라도 해독할 수 없는 암호

2.2 일회용 패드의 암호화

- 평문과 랜덤한 비트열과의 XOR만을 취하는 단순한 암호



일회용 패드 암호화 예

- 평문: midnight
  - ASCII로 부호화

문자	m	i	d	n	i	g	h	t
ASCII 코드	01101101	01101001	01100100	01101110	01101001	01100111	01101000	01110100
단어	m i d n i g h t							

- 키: 랜덤 비트열

키	01101011	11111010	01001000	11011000	01100101	11010101	10101111	00011100

일회용 패드 암호화 예

	01101101	01101001	01100100	01101110	01101001	01100111	01101000	01110100	midnight
⊕	01101011	11111010	01001000	11011000	01100101	11010101	10101111	00011100	키
	00000110	10010011	00101100	10110110	00001100	10110010	11000111	01101000	암호문

2.3 일회용 패드의 복호화

- 암호문과 키의 XOR을 계산하면 평문

	00000110	10010011	00101100	10110110	00001100	10110010	11000111	01101000	암호문
⊕	01101011	11111010	01001000	11011000	01100101	11010101	10101111	00011100	키
	01101101	01101001	01100100	01101110	01101001	01100111	01101000	01110100	midnight

2.4 일회용 패드는 해독할 수 없다

- 현실적인 시간 내에 해독이 곤란하다는 의미만은 아니다.
- 키 공간 전체를 순식간에 계산할 수 있는 무한대의 계산력을 갖는 컴퓨터로도 일회용 패드는 해독할 수 없다.
- 문자열이 복호화 되었다 하더라도, 그것이 바른 평문인지 아닌지 판정할 수 없다.

전사 공격

- 암호문을 복호화해보면 도중에 모든 64비트 패턴이 등장한다

- 그 중에 나타날 수 있는 문자열
  - 규칙적인 문자열
    aaaaaaaa, abcdefgh, zzzzzzzz 등
  - 의미 있는 영어 단어
    midnight, onenight, mistress 등
  - 무의미한 문자열
    %Ta_AjvX, HY(&JY!z, $@~*₩^^), Er#f6)(%

- 따라서 어느 것이 바른 평문인지 알 수 없다
  - 즉 어떤 키를 사용하면 바르게 복호화할 수 있는지 알 수 없다

전사 공격

- 일회용 패드에서는 키들을 적용하여 얻어진 것이 바른 평문인지 아닌지를 판정하는 것이 불가능하다.

- 그러므로 일회용 패드를 해독할 수 없다.

2.5 일회용 패드는 왜 사용되지 않을까?

- 키 배송, 키 보존, 키 재사용, 키 동기화, 키 생성 이슈가 발생
  (수강생 여러분 각자 무슨 이슈가 발생될 수 있을지 고민)

- 일회용 패스의 사용은 키 생성과 배송에 막대한 비용과 노력이 필요
  – 비용과 상관없이 기밀성 최우선 고려하는 경우만 사용
    예) 강대국끼리의 핫라인

- 실제 스트림 암호에 활용

Question (1# Home Work)

- 다음 경우 각각에 대하여 one-time pad 암호의 암호문의 패턴은 무엇인가?

  a. 평문이 n개의 0으로 구성되는 경우

  b. 평문이 n개의 1으로 구성되는 경우

  c. 평문이 0과 1로 교차되어 구성되는 경우

  d. 평문이 랜덤 스트림 비트인 경우

제3절 DES란?

3.1 DES란?

3.2 DES 암호화/복호화

3.3 DES의 구조

3.4 Feistal 구조

3.5 차분 해독법과 선형 해독법

3.1 DES 란?

- DES(Data Encryption Standard)는 1977년에 미국의 연방 정보 처리 표준 규격(FIPS)으로 채택된 대칭 암호

- 전사 공격으로 해독 할수 있는 수준

3.1 DES 란?

- DES는 64비트의 키를 적용하여 64비트의 평문을 64비트의 암호문으로 암호화 시키는 대칭형 블록 암호이다.

- DES 알고리즘에서는 사용하는 함수
  - 대체(substitution)
  - 치환(permutation)

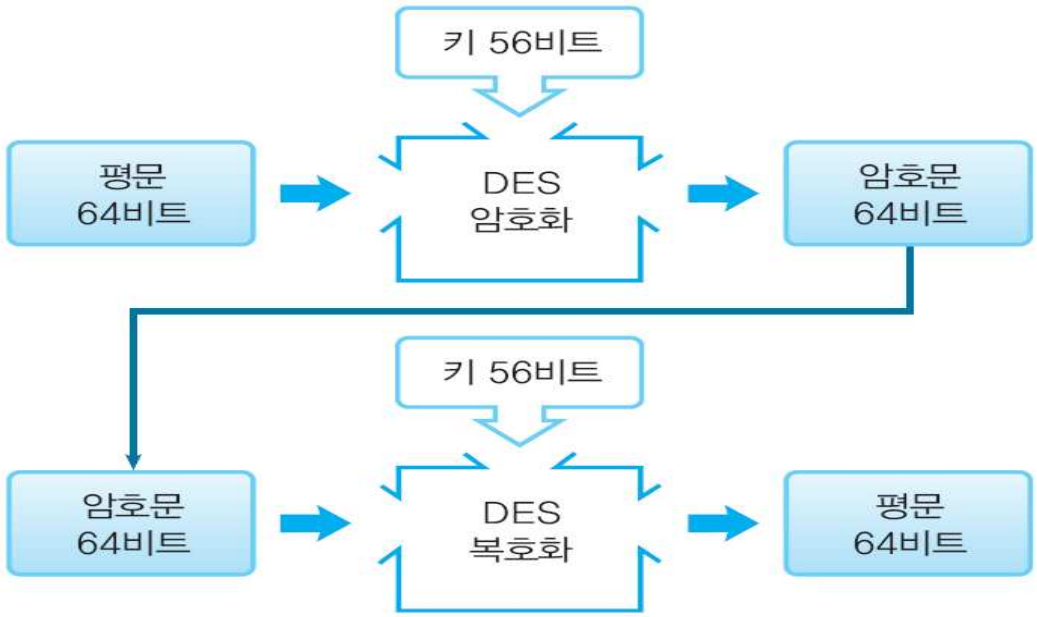
- 대체와 치환은 1949년도에 Claude Shanon이 제시한 혼돈(confusion)과 확산(diffusion)이라는 두 가지 개념에 기반을 두고 있다.

DES 콘테스트(DES Challenge)

- 1997년의 DES Challenge I
  - 96일
- 1998년의 DES Challenge II-1
  - 41일
- 1998년의 DES Challenge II-2
  - 56시간
- 1999년의 DES Challenge III
  - 22시간 15분

3.2 DES의 암호화 · 복호화

- 64비트 평문을 64비트 암호문으로 암호화하는 대칭 암호 알고리즘
- 키의 비트 길이는 56비트
- 64비트 평문(비트열)을 하나의 단위로 모아서 암호화



DES의 암호화 · 복호화

3.3 DES의 구조

- 단순 DES
  - 교육용 알고리즘으로 손으로 예제를 풀 수 있음
  - 단순 DES는 S-DES라고 표현
    - 8비트 평문 블록 (1 0 1 1 1 1 0 1)
    - 10비트 키를 입력

암호알고리즘

$$IP^{-1} \circ f_{K2} \circ SW \circ f_{K1} \circ IP$$

다른표현

$$ciphertext = IP^{-1}(f_{K2}(SW(f_{K1}(IP(plantext)))))$$

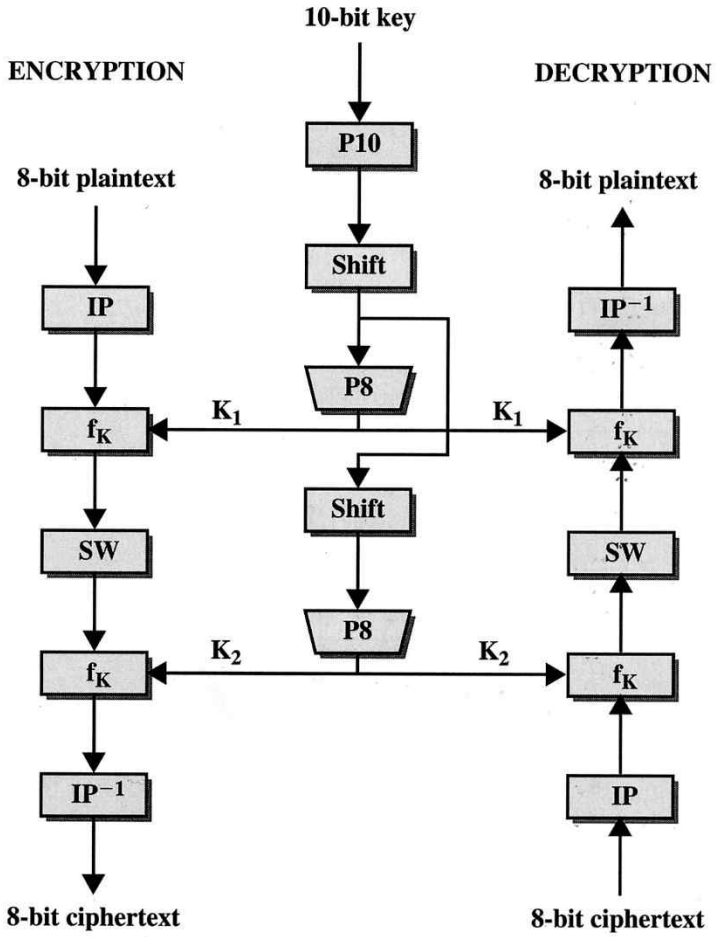
K에대한표현

$$K_1 = P8(Shift(P10(Key)))$$

$$K_2 = P8(Shift(Shift(P10(Key))))$$

복호화알고리즘

$$plaintext = IP^{-1}(f_{K2}(SW(f_{K1}(IP(ciphertext)))))$$



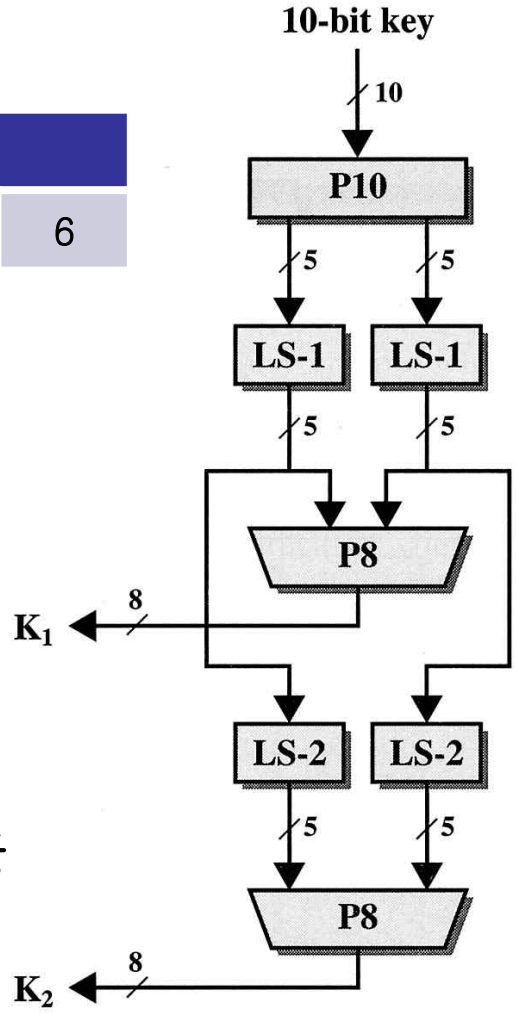
3.3 DES의 구조

- 키의 생성 P10

P10									
3	5	2	7	4	10	1	9	8	6

-

P8							
6	3	7	4	8	5	10	9

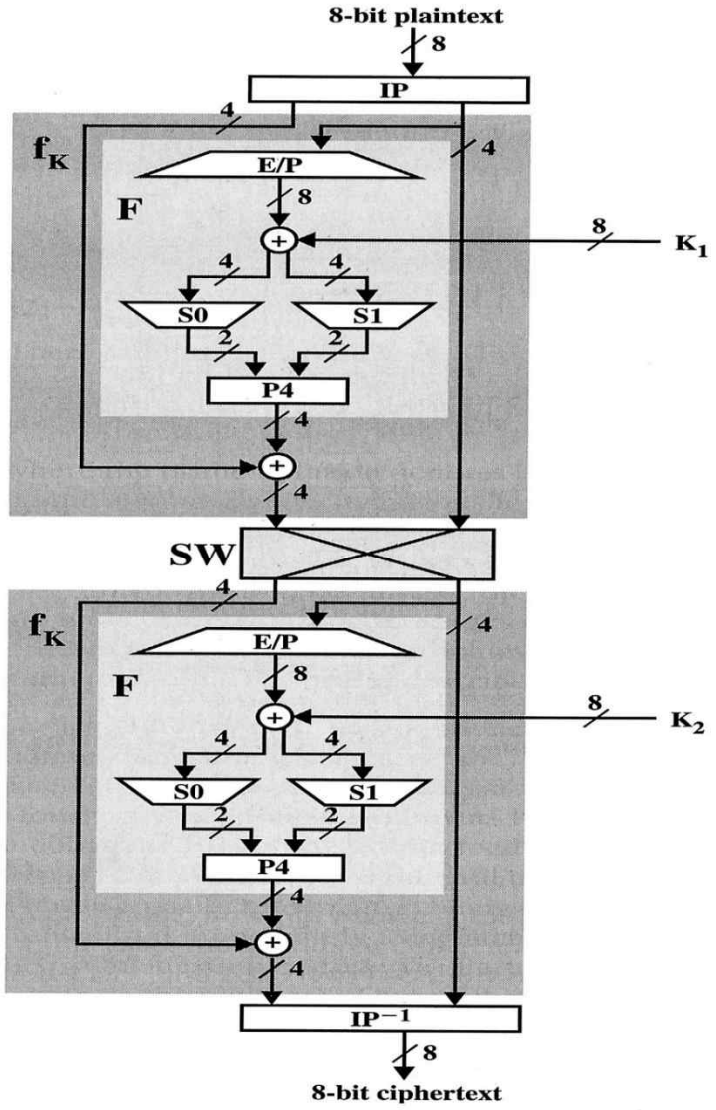


- LS는 비트를 좌로 순환 이동
  - LS-1은 한 비트 좌로 이동
  - LS-2은 두 비트 좌로 이동

3.3 DES의 구조

IP							
2	6	3	1	4	8	5	7

IP^{-1}							
4	1	3	5	7	2	8	6



3.3 DES의 구조

- 함수 F

  $f_k(L, R) = (L \oplus F(R, SK), R)$

  SK : 서브키

  $\oplus$: 비트별 배타적 논리합

- E/P(확장/수열)

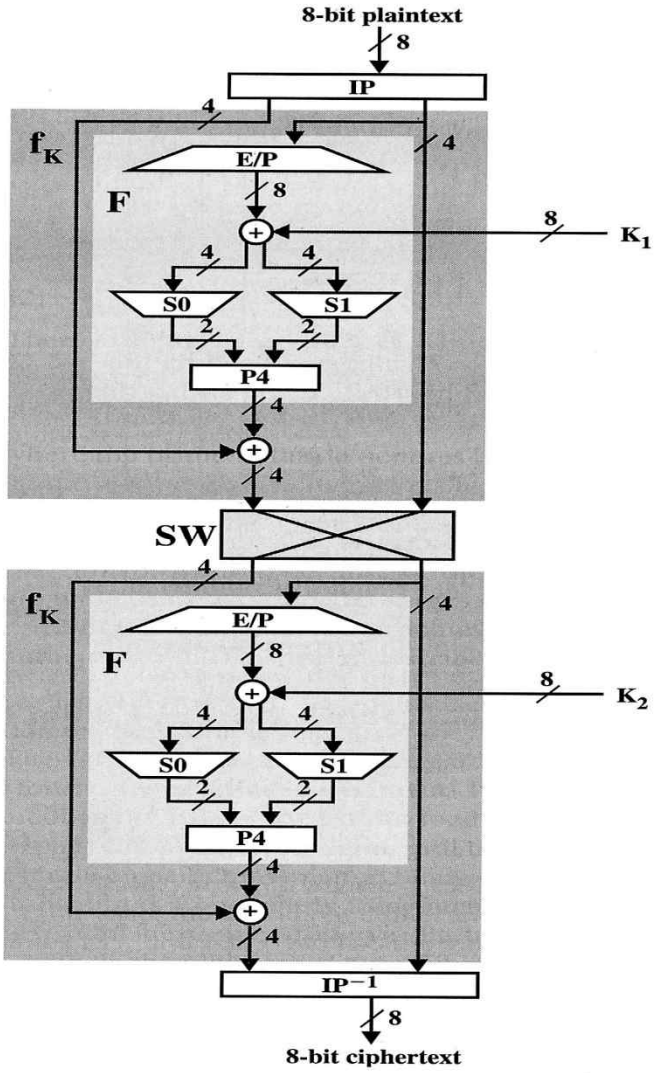
E/P							
4	1	2	3	2	3	4	1

- S-box의 S0, S1

$$S0 = \begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 0 & 1 & 2 & 3 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 3 & 2 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 3 \\ 3 & 1 & 3 & 2 \end{pmatrix} \end{array} \quad S2 = \begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 0 & 1 & 2 & 3 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 0 & 1 & 3 \\ 3 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 3 \end{pmatrix} \end{array}$$

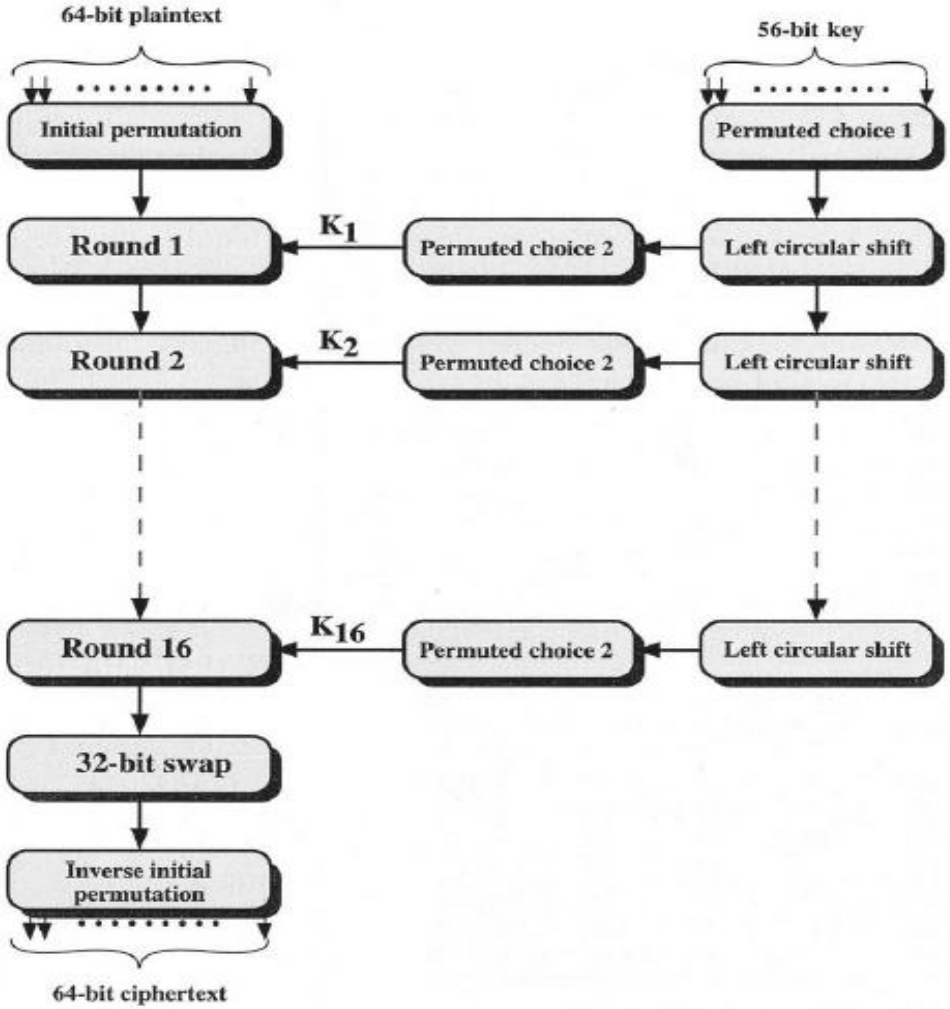
- P4

P4			
2	4	3	1



3.3 DES의 구조

- 암호화키 56비트를 이용하여 64비트 출력으로 변환



3.3 DES의 구조

- 초기순열(IP)

58	50	42	34	26	18	10	3
60	52	44	36	28	20	12	4
62	54	46	38	30	22	14	6
64	56	48	40	32	24	16	8
57	49	41	33	25	17	9	1
59	61	43	35	27	19	11	3
61	63	45	37	29	21	13	5
63	55	47	39	31	23	15	7

- 확장 순열(E)

32	1	2	3	4	5
4	5	6	7	8	9
8	9	10	11	12	13
12	13	14	15	16	17
16	17	18	19	20	21
20	21	22	23	24	25
24	25	26	27	28	29
28	29	30	31	32	1

- 역 초기순열(IP^{-1})

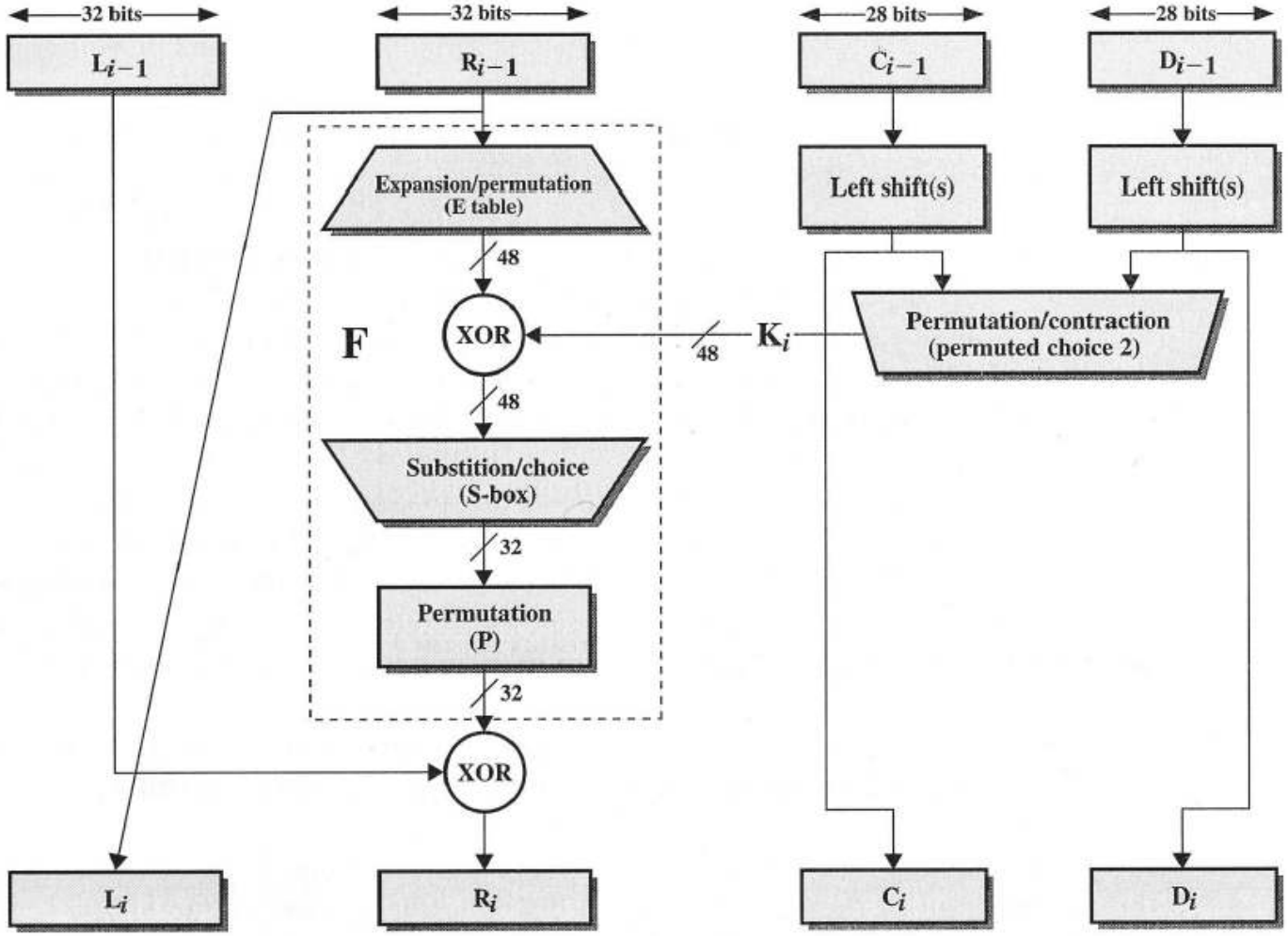
40	8	48	16	56	24	64	32
39	7	47	15	55	23	63	31
38	6	46	14	54	22	62	30
37	5	45	13	53	21	61	29
36	4	44	12	52	20	60	28
35	3	43	11	51	19	59	27
34	2	42	10	50	18	58	26
33	1	41	9	49	17	57	25

- 순열함수(P)

16	7	20	21	29	12	28	17
1	15	23	26	5	18	31	10
2	8	24	16	32	27	3	9
19	13	30	6	22	11	4	25

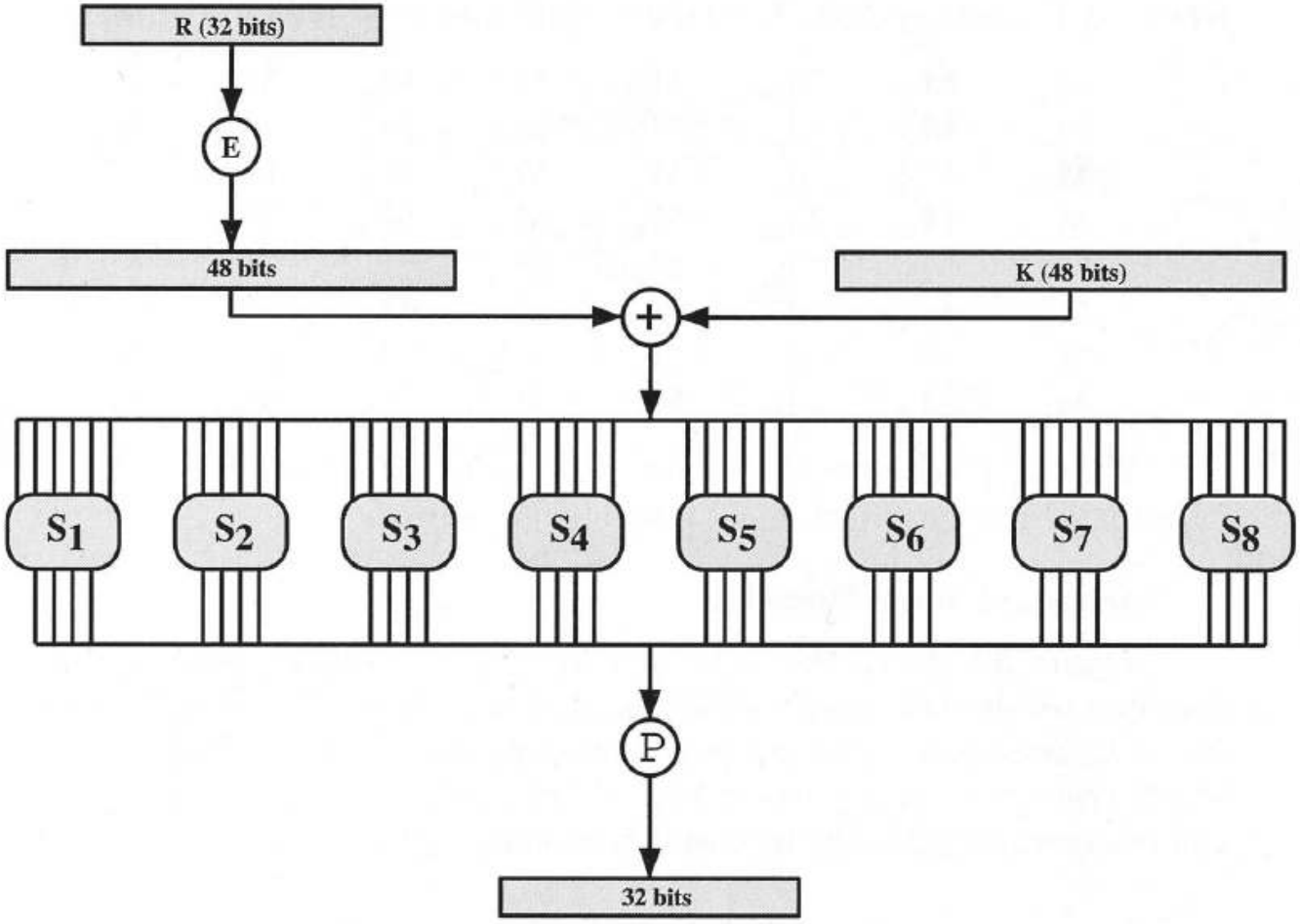
3.3 DES의 구조

- DES 알고리즘의 단일 반복 과정



3.3 DES의 구조

- 함수 F(R, K)의 계산



- S1 박스

S1																
	14	4	13	1	2	15	11	8	3	10	6	12	5	9	0	7
	0	15	7	4	14	2	13	1	10	6	12	11	9	5	3	8
	4	1	14	8	13	6	2	11	15	12	9	7	3	10	5	0
	15	12	8	2	4	9	1	7	5	11	3	14	10	0	6	13

- 예) S1박스 입력 6비트: 011011

행(01) 열(13)

출력 4비트: 5 ➔ 00101

3.3 DES의 구조

- DES의 S-박스 정의

S_1

14	4	13	1	2	15	11	8	3	10	6	12	5	9	0	7
0	15	7	4	14	2	13	1	10	6	12	11	9	5	3	8
4	1	14	8	13	6	2	11	15	12	9	7	3	10	5	0
15	12	8	2	4	9	1	7	5	11	3	14	10	0	6	13

S_2

15	1	8	14	6	11	3	4	9	7	2	13	12	0	5	10
3	13	4	7	15	2	8	14	12	0	1	10	6	9	11	5
0	14	7	11	10	4	13	1	5	8	12	6	9	3	2	15
13	8	10	1	3	15	4	2	11	6	7	12	0	5	14	9

S_3

10	0	9	14	6	3	15	5	1	13	12	7	11	4	2	8
13	7	0	9	3	4	6	10	2	8	5	14	12	11	15	1
13	6	4	9	8	15	3	0	11	1	2	12	5	10	14	7
1	10	13	0	6	9	8	7	4	15	14	3	11	5	2	12

S_4

7	13	14	3	0	6	9	10	1	2	8	5	11	12	4	15
13	8	11	5	6	15	0	3	4	7	2	12	1	10	14	9
10	6	9	0	12	11	7	13	15	1	3	14	5	2	8	4
3	15	0	6	10	1	13	8	9	4	5	11	12	7	2	14

S_5

2	12	4	1	7	10	11	6	8	5	3	15	13	0	14	9
14	11	2	12	4	7	13	1	5	0	15	10	3	9	8	6
4	2	1	11	10	13	7	8	15	9	12	5	6	3	0	14
11	8	12	7	1	14	2	13	6	15	0	9	10	4	5	3

S_6

12	1	10	15	9	2	6	8	0	13	3	4	14	7	5	11
10	15	4	2	7	12	9	5	6	1	13	14	0	11	3	8
9	14	15	5	2	8	12	3	7	0	4	10	1	13	11	6
4	3	2	12	9	5	15	10	11	14	1	7	6	0	8	13

S_7

4	11	2	14	15	0	8	13	3	12	9	7	5	10	6	1
13	0	11	7	4	9	1	10	14	3	5	12	2	15	8	6
1	4	11	13	12	3	7	14	10	15	6	8	0	5	9	2
6	11	13	8	1	4	10	7	9	5	0	15	14	2	3	12

S_8

13	2	8	4	6	15	11	1	10	9	3	14	5	0	12	7
1	15	13	8	10	3	7	4	12	5	6	11	0	14	9	2
7	11	4	1	9	12	14	2	0	6	10	13	15	3	5	8
2	1	14	7	4	10	8	13	15	12	9	0	3	5	6	11

3.3 DES의 구조

- 키 생성
  - DES 키 의 단계별 계산표
  - 순열선택1(PC-1)

57	49	41	33	25	17	9
1	58	50	42	34	26	18
10	2	59	51	43	35	27
19	11	3	60	52	44	36
63	55	47	39	31	23	15
7	63	54	46	38	30	22
14	6	61	53	45	37	29
21	13	5	28	20	12	4

- 순열선택2(PC-2)

14	17	11	24	1	5	3	28
15	6	21	10	23	19	12	4
26	8	16	7	27	20	13	2
41	52	31	37	47	55	30	40
51	45	33	48	44	49	39	56
34	53	46	42	50	36	29	32

- 쇄도우효과 (Avalanche Effect)

  평문이나 키의 작은 변화가 암호문에 대하여 대하여 중요한 변화를 일으키는 암호 알고리즘의 중요한 성질

블록 암호

- 블록 암호(block cipher)
  - 블록 단위로 처리를 하는 암호 알고리즘
  - 긴 비트 길이의 평문을 암호화하기 위해서는 평문을 64비트 블록으로 나누고 각각을 DES로 암호화한다

블록 암호 기법의 원리

- 스트림 암호
  - 한 번에 1비트 혹은 1바이트의 디지털 데이터 스트림을 암호화 하는 방식

- 블록 암호 기법
  - 평문 블록 전체를 가지고 같은 크기의 암호문 블록을 생성
  - 모드를 이용하여 스트림 암호 기법과 동일한 효과

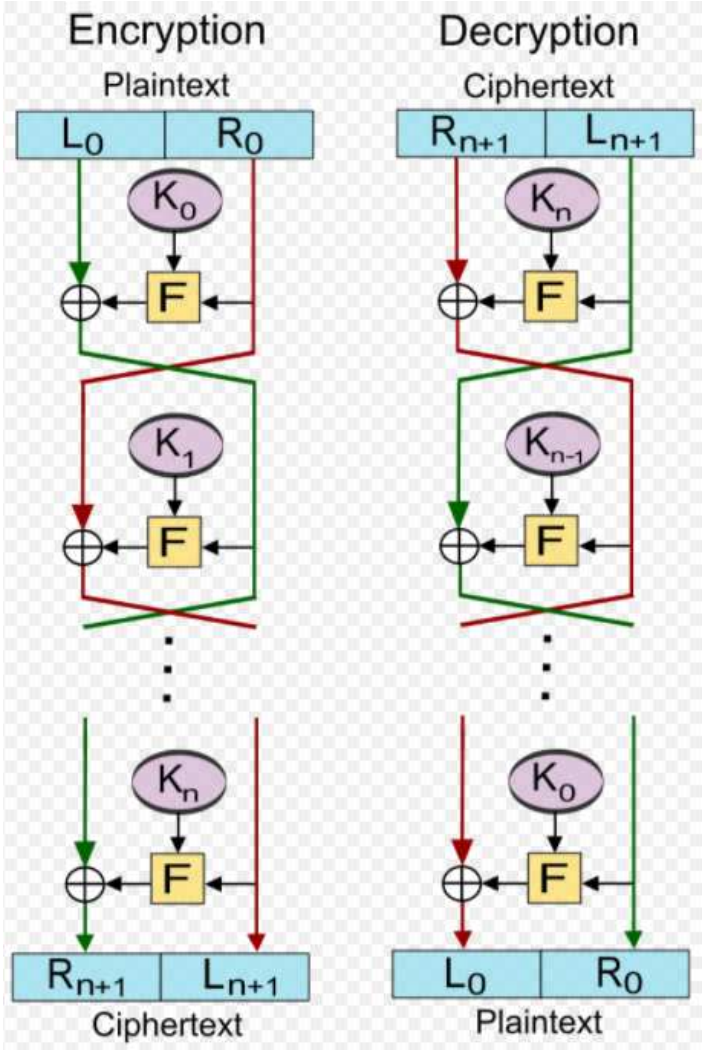
  - Feistel 암호 방식 (혼돈과 확산: Confusion & Diffusion)
    - Claude Shannon 소개(SHAN49): "매우 이상적인 암호는 암호문에 대한 모든 통계적 정보가 사용된 키와 독립적이어야 한다."
    - 통계적 분석에 기초한 암호 해독 방지

    • **혼돈** : 키를 발견하기 어렵게 하기 위해 암호문에 대한 통계 값과 암호 키 값 사이 에 관계를 가능한 복잡하게 하는 것

    • **확산** : 평문의 통계적 구조가 암호문의 광범위한 통계값에 분산
      - 키를 추론하기 어렵게 하기 위해 평문과 암호문 사이에 통계적인 관계를 가능한 복잡하게 만드는 것

3.4 Feistel 암호 구조

- 처리구조
  - 길이 2w 비트인 평문 블록 (L_0,R_0) 분할 처리
  - K로 부터 유도된 n개의 키(K_i) 상용
  - n회의 동일한 반복 구조 실행
- 그림: 고전 Feistel 구조
- 하나의 반복 구조
  - 오른 쪽 반 R0에 반복 함수 F 적용
    - ❖ 반복 서브키 K_1 적용 ($K \neq K_i$)
  - 왼쪽 반 L0와 XOR(치환 작용)
  - 좌우 양쪽 결과를 교환(순열 작용)



Feistel 네트워크의 매개 변수와 설계 특성

- 블록 크기
  - 64비트가 일반적이나 현재는 가변적 블록 크기로 128비트로 이용함
- 키 크기
  - 64비트 또는 128비트의 크기를 이용함
- 반복 수
  - Feistel 암호 방식은 다중 반복 과정은 보안성을 증가, 일반화는 16회
- 서브키 생성 알고리즘
  - 알고리즘이 복잡할수록 암호해독이 더욱 더 어려움
- 반복 함수
  - 함수가 복잡할 수록 일반적으로 암호해독이 더욱 더 어려움
- 빠른 소프트웨어 암/복호화
  - 프로그램의 실행 속도가 관심사
- 분석의 용이성

Feistel 네트워크의 특성

- 원하는 만큼 라운드수를 늘릴 수 있다
- 라운드 함수 F에 어떤 함수를 사용해도 복호화가 가능하다
- 암호화와 복호화를 완전히 동일한 구조로 실현할 수 있다

3.5 차분 해독법과 선형 해독법

차분 해독법 (Differential Cryptanalysis)

- 평문의 일부를 변경하면 암호문이 어떻게 변화하는가를 조사
- 블록암호를 보면 입력되는 평문이 1비트라도 달라지면 암호문은 전혀 다른 비트 패턴으로 변화
- 암호문의 변화틀을 조사하여 해독의 실마리를 얻음

3.5 차분 해독법과 선형 해독법

선형 해독법 (Linear Cryptanalysis)

- 평문과 암호문 비트를 몇개 정도 XOR해서 0이 되는 확률을 조사
- 암호문이 충분히 랜던하다면 평문과 암호문의 비트를 몇개 XOR 한 결과가 0될 확률은 1/2
- 1/2로부터 크게 벗어난 비트의 갯수를 조사하여 키에 관한 정보를 얻음

3.5 차분 해독법과 선형 해독법

- DES는 두 공격법을 통해 해독 가능
- AES기반 현대 블록 암호는 차분/선형 해독법에 대해 안전하도록 설계

제4절 트리플 DES

4.1 트리플 DES란?

4.2 트리플 DES 암호화

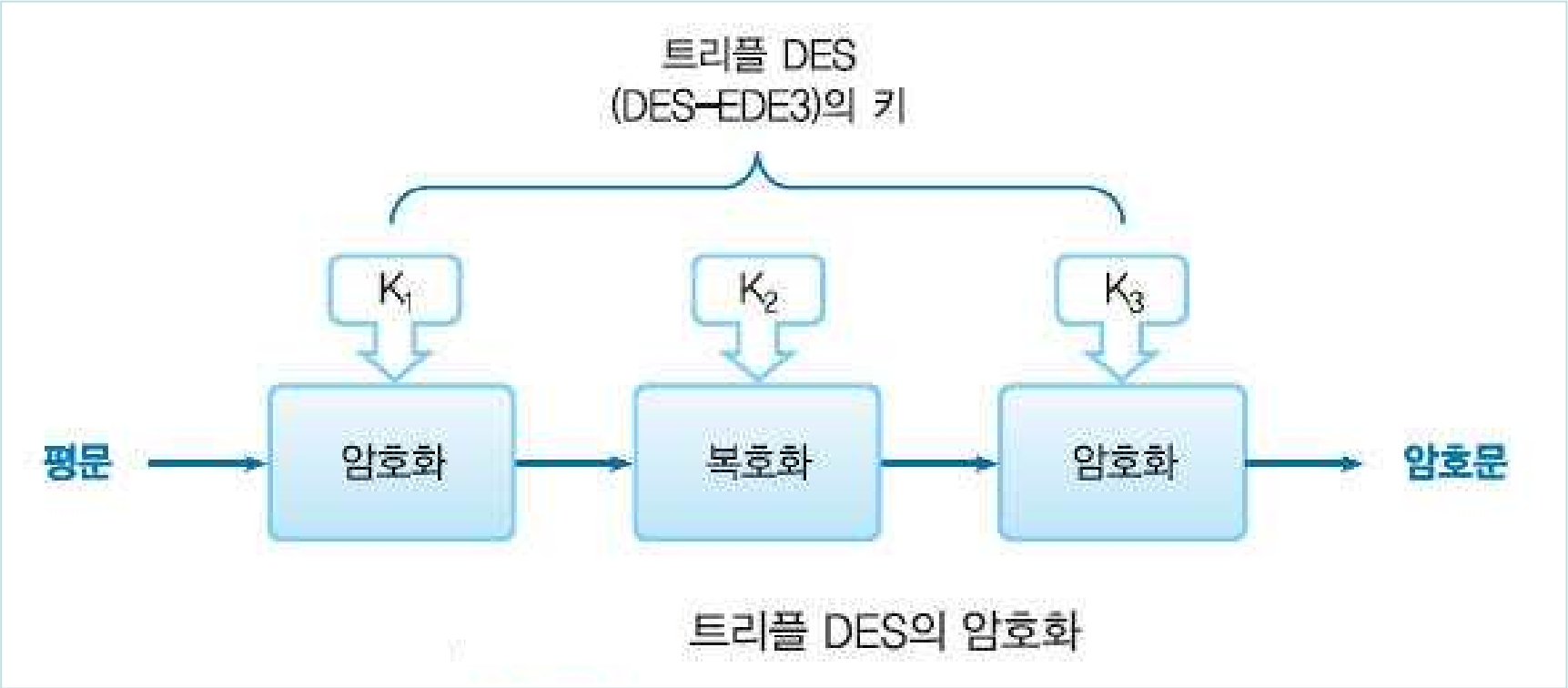
4.3 트리플 DES 복호화

4.4 트리플 DES의 현황

4.1 트리플 DES란?

- 트리플 DES(Triple-DES)
- DES는 전사공격으로 현실적인 시간 내에 해독
- DES를 대신할 블록 암호가 필요
- 이를 위해 개발된 것이 트리플 DES
- DES보다 강력하도록 DES를 3단 겹치게 한 암호 알고리즘

4.2 트리플 DES 암호화



트리플 DES의 암호화

- 트리플 DES키: 168비트

트리플 DES는 DES로도 사용

- 트리플 DES는 DES로도 사용할 수 있다

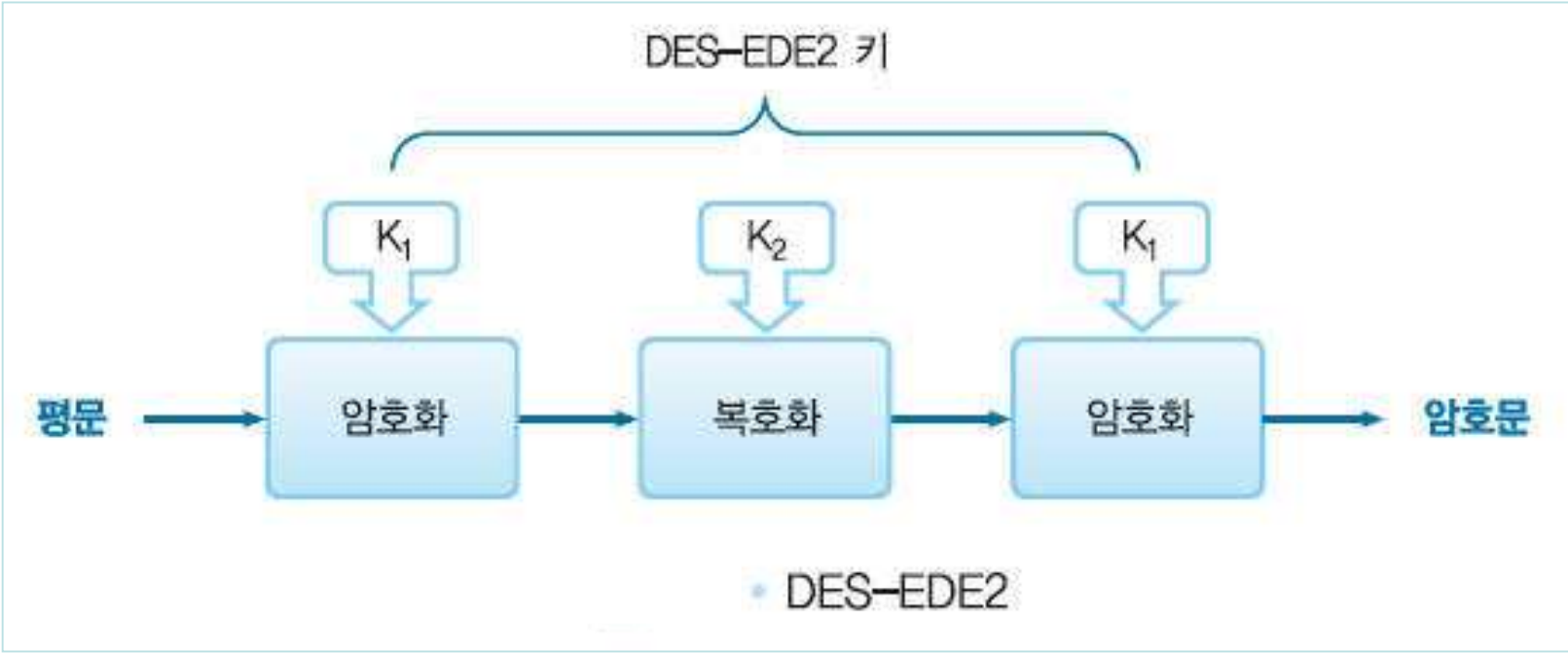
트리플 DES 종류

- DES
  - 모든 키에 같은 비트열을 사용

- DES-EDE2
  - 키1과 키3에 같은 키를 사용하고 키2에 다른 키를 사용
  - EDE는 암호화(Encryption) → 복호화(Decryption) → 암호화(Encryption) 순서

- DES-EDE3
  - 키1, 키2, 키3을 모두 다른 비트열을 사용

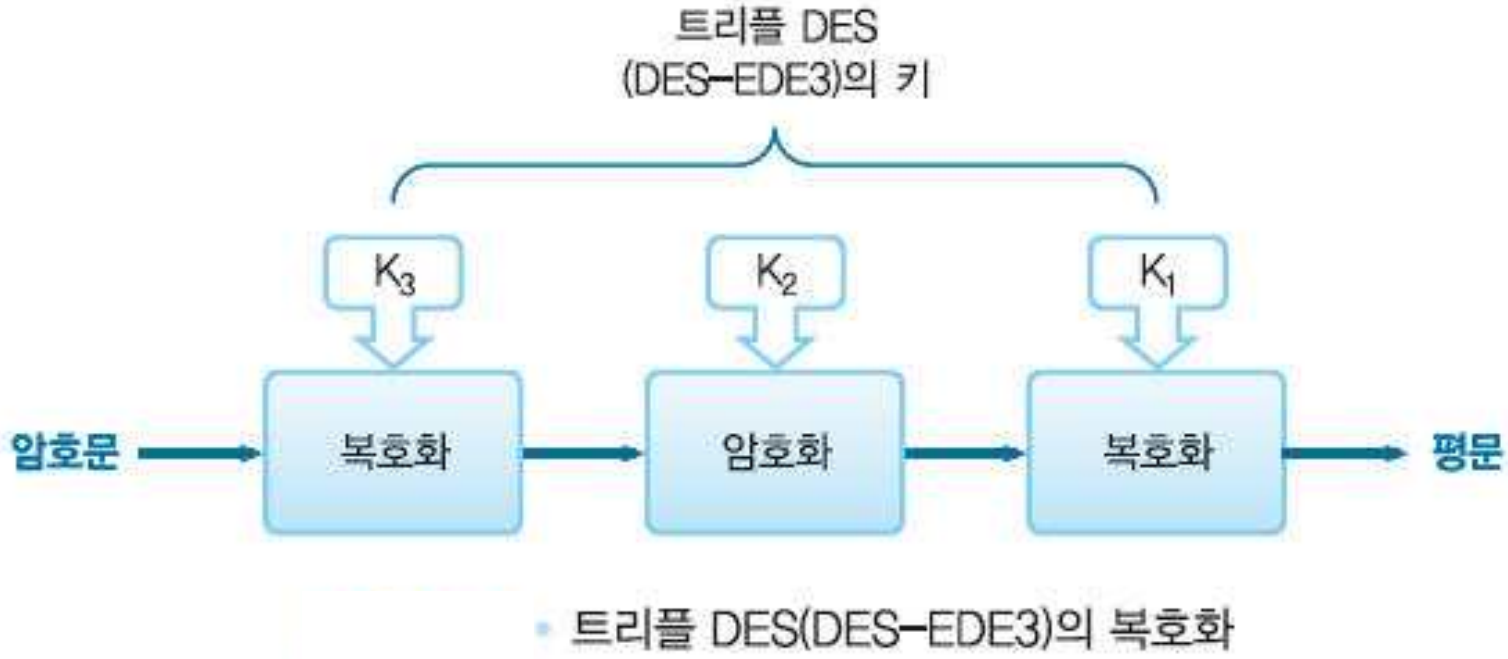
DES-EDE2



4.3 트리플 DES 복호화

- 암호화의 역순
- 키3, 키2, 키1의 순으로 복호화 → 암호화 → 복호화를 행한다

트리플 DES(DES-EDE3)의 복호화



트리플 DES(DES-EDE3)의 복호화

4.4 트리플 DES의 현황

- 현재도 은행 등에서 아직 사용 (거의 사용하지 않음)
- 처리 속도는 빠르지 않음
- 안전성 면에서도 풀려버린 사례가 있음
- 우리나라에서는 3-DES를 표준으로 정하지 않음
- 우리나라 국가표준은 SEED 및 ARIA

제5절 AES 선정 과정

5.1 AES란?

5.2 AES 선정 과정

5.3 AES 최종 후보 및 선정

5.1 AES란?

- AES (Advanced Encryption Standard)
  - DES를 대신한 새로운 표준 대칭 암호 알고리즘
  - AES의 후보로서 다수의 대칭 암호 알고리즘을 제안했지만, 그 중에서 Rijndael이라는 대칭 암호 알고리즘이 2000년에 AES로서 선정

5.2 AES 선정 과정

- NIST(National Institute of Standard and Technology)에서 공모
- 경쟁방식에 의한 표준화(standardization by competition)
- 조건
  - 제한 없이 무료로 이용
  - ANSI C와 Java에 의한 구현
  - 암호해독에 대한 강도의 평가
  - 암호 알고리즘 설계 규격과 프로그램 공개

5.3 AES 최종 후보 및 선정

- 1차 심사 통과: 15개
  - CAST256, Crypton, DEAL, DFC, E2, Frog, HPC, LOKI97, Magenta, MARS, RC6, Rijndael, SAFER+, Serpent, Twofish

- 2차 심사 통과: 5개

명칭	응모자
MARS	IBM
RC6	RSA
Rijndael	Daemen, Rijmen
Serpent	Anderson, Biham, Knudsen
Twofish	Counterpane

제6절 Rijndael

6.1 Rijndael0이란?

6.2 Rijndael의 암호화와 복호화

6.3 Rijndael의 해독

6.4 어떤 암호를 사용하면 좋은가?

6.1 Rijndael이란?

- 벨기에 연구자 Joan Daemen과 Vincent Rijmen이 설계한 블록 암호 알고리즘

- 블록 길이
  - 128비트

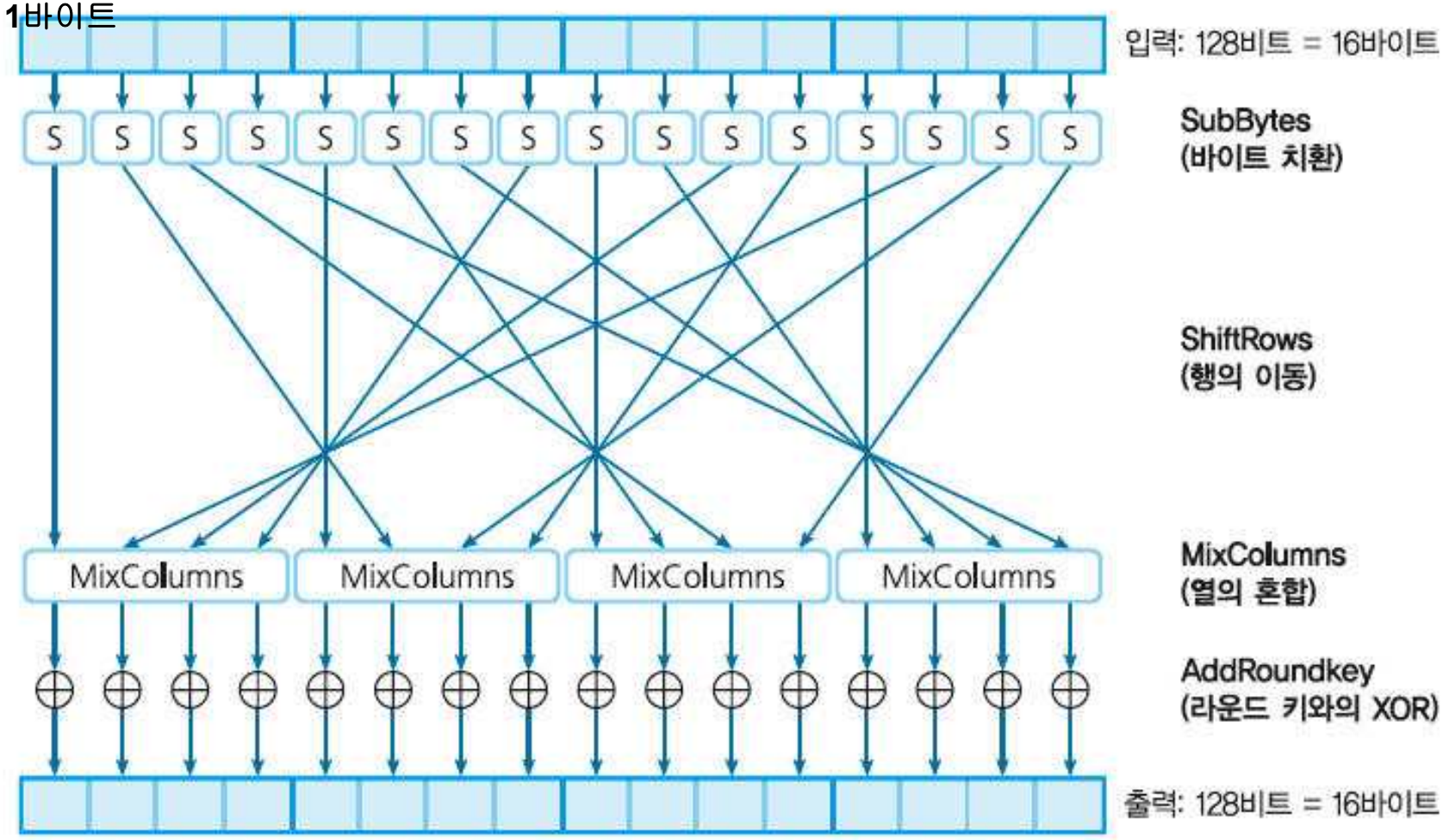
- 키의 비트 길이
  - 128비트
  - 192비트
  - 256비트

6.2 Rijndael의 암호화와 복호화

- 복수의 라운드(round)로 구성(10~14)
- SPN(Substitution-Permutation Network) 구조

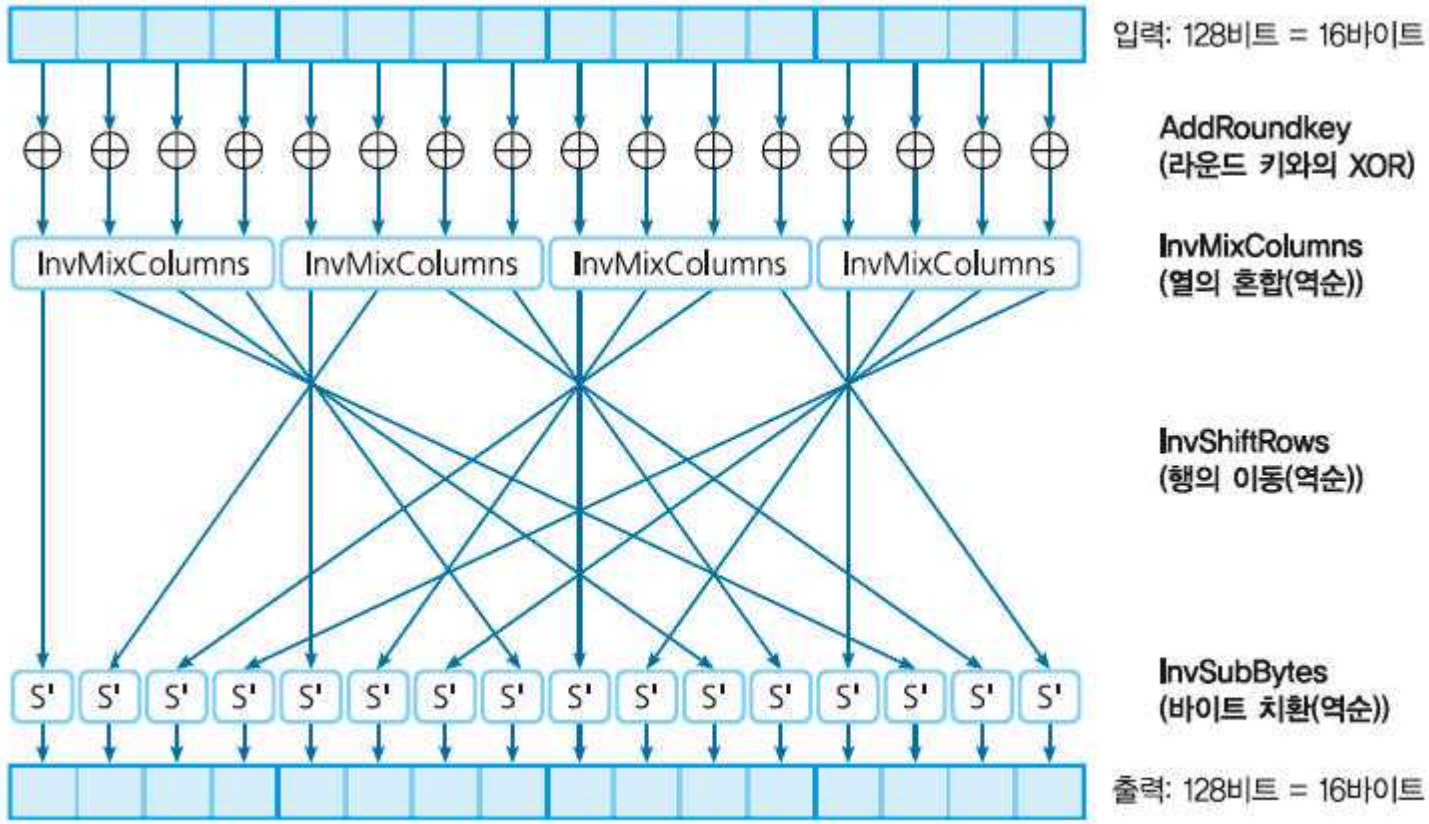
  (Feistel 구조가 아님)
- SubBytes
- ShiftRows
- MixColumns
- AddRoundKey

Rijndael 암호화 1라운드



Rijndael 암호화의 1라운드

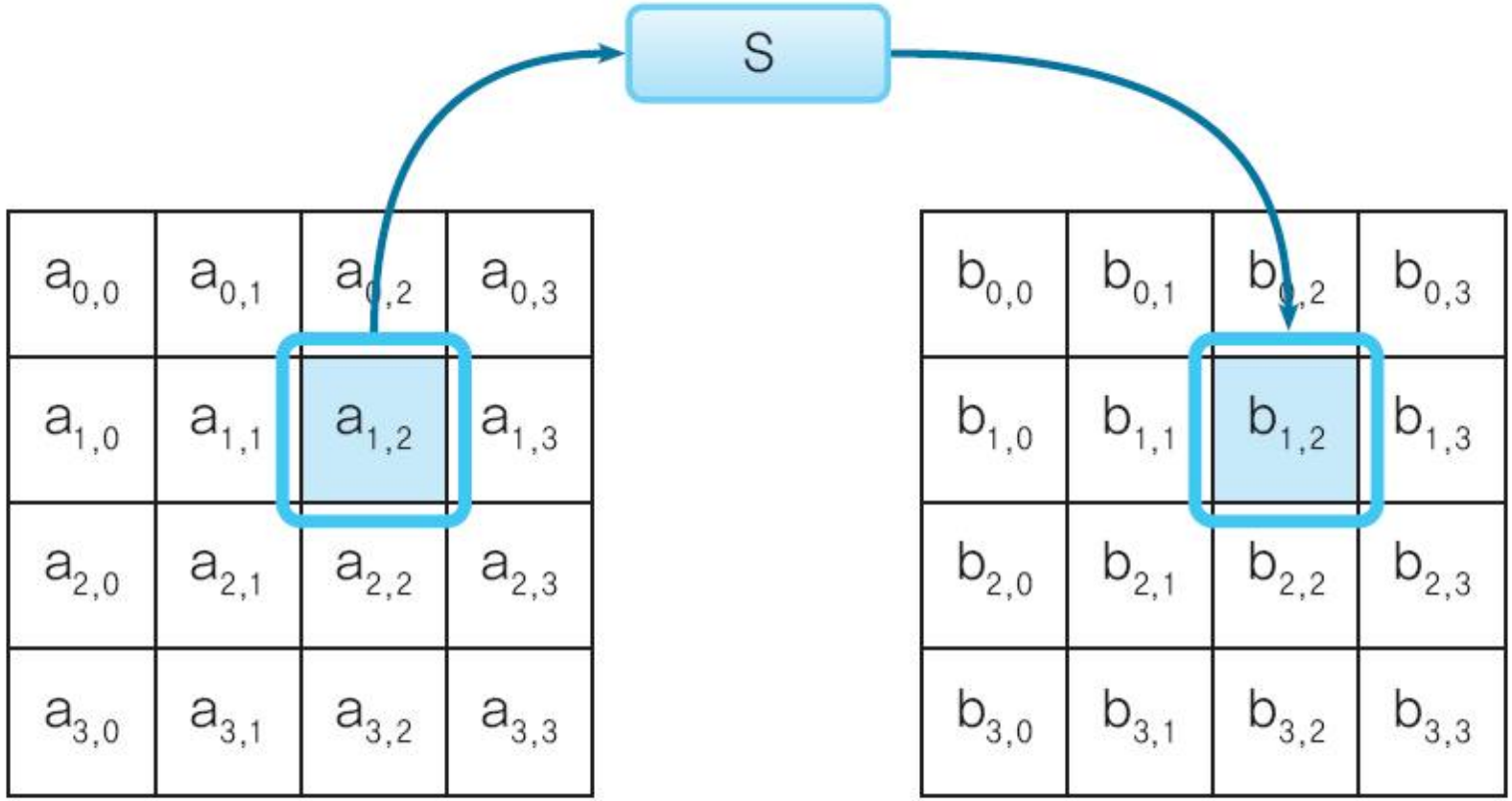
Rijndael 복호화 1라운드



Rijndael 복호화의 1라운드

SubByte(바이트 대체)

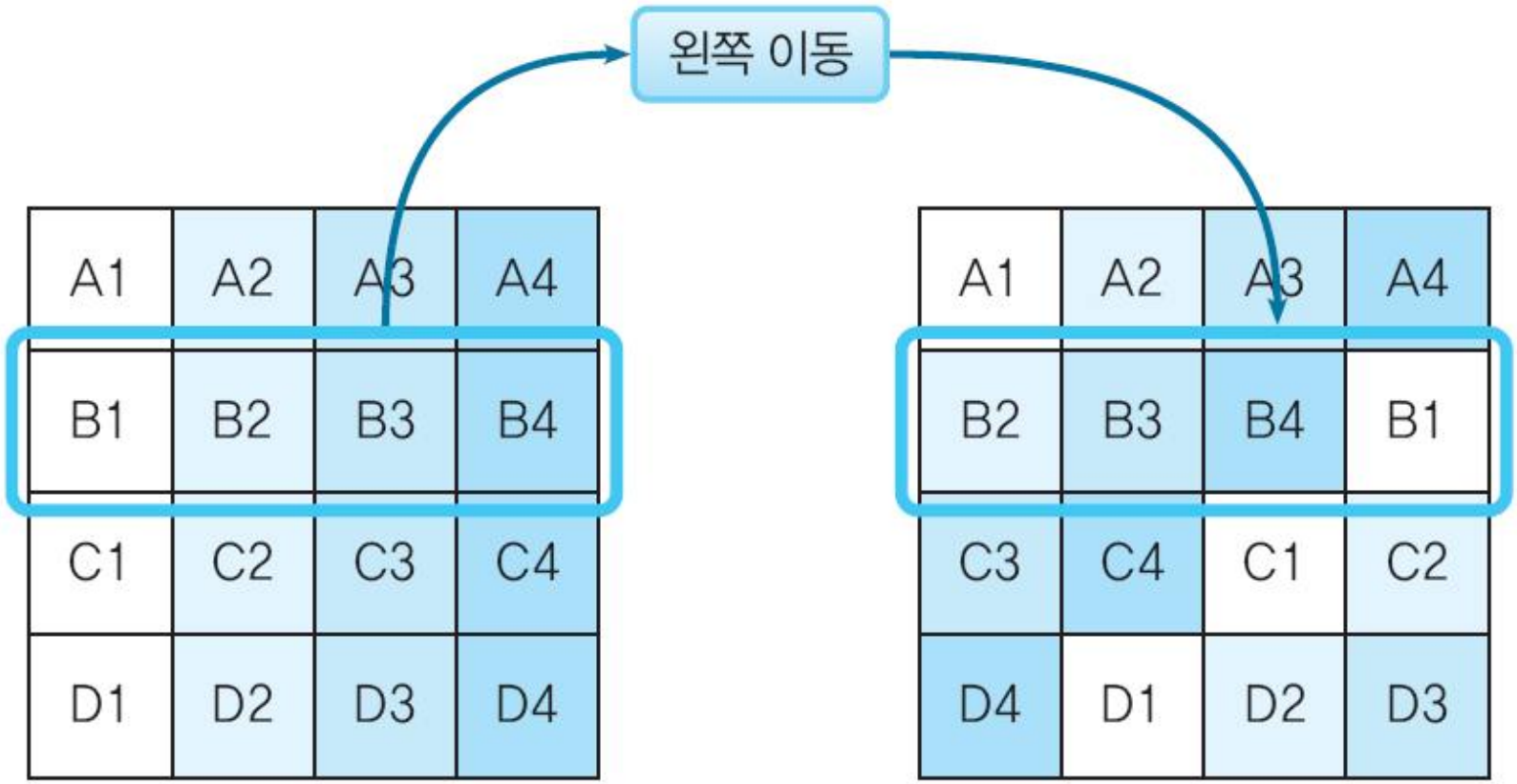
- **SubByte**처리는 **1**바이트**(0~255**중 어떤값**)**을 인덱스로 하고**, 256**개의 값을 가지고 치환표**(S**박스**)**로 부터 **1**개의 값을 얻음
- **16**바이트중 **S**박스를 통해 **1**바이트만 변환 하는것과 같음



• SubBytes(바이트 대체)

ShiftRows(행 이동)

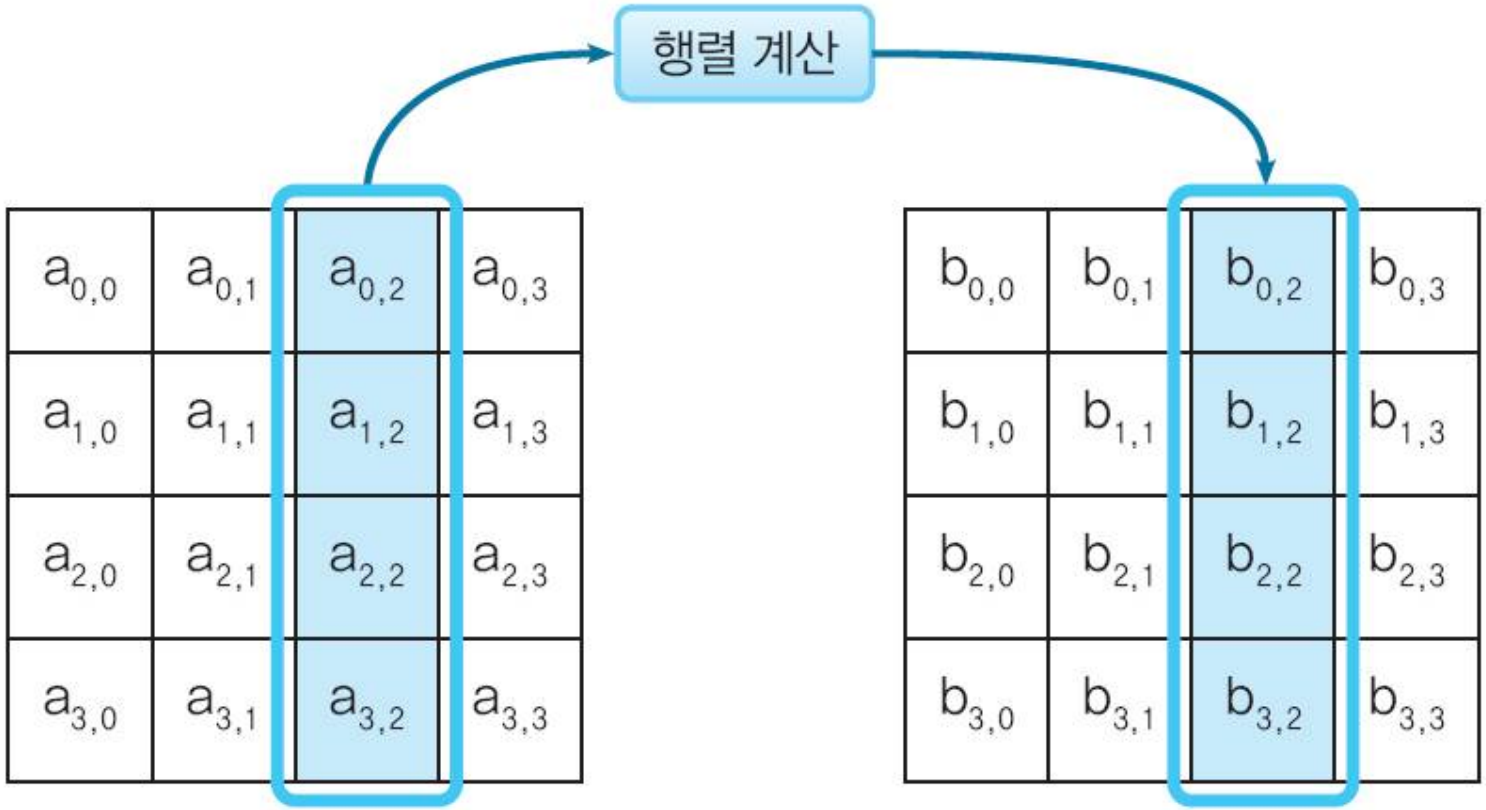
- **4**바이트 단위로 왼쪽이동해서 썩는 과정



• ShiftRows(행 이동)

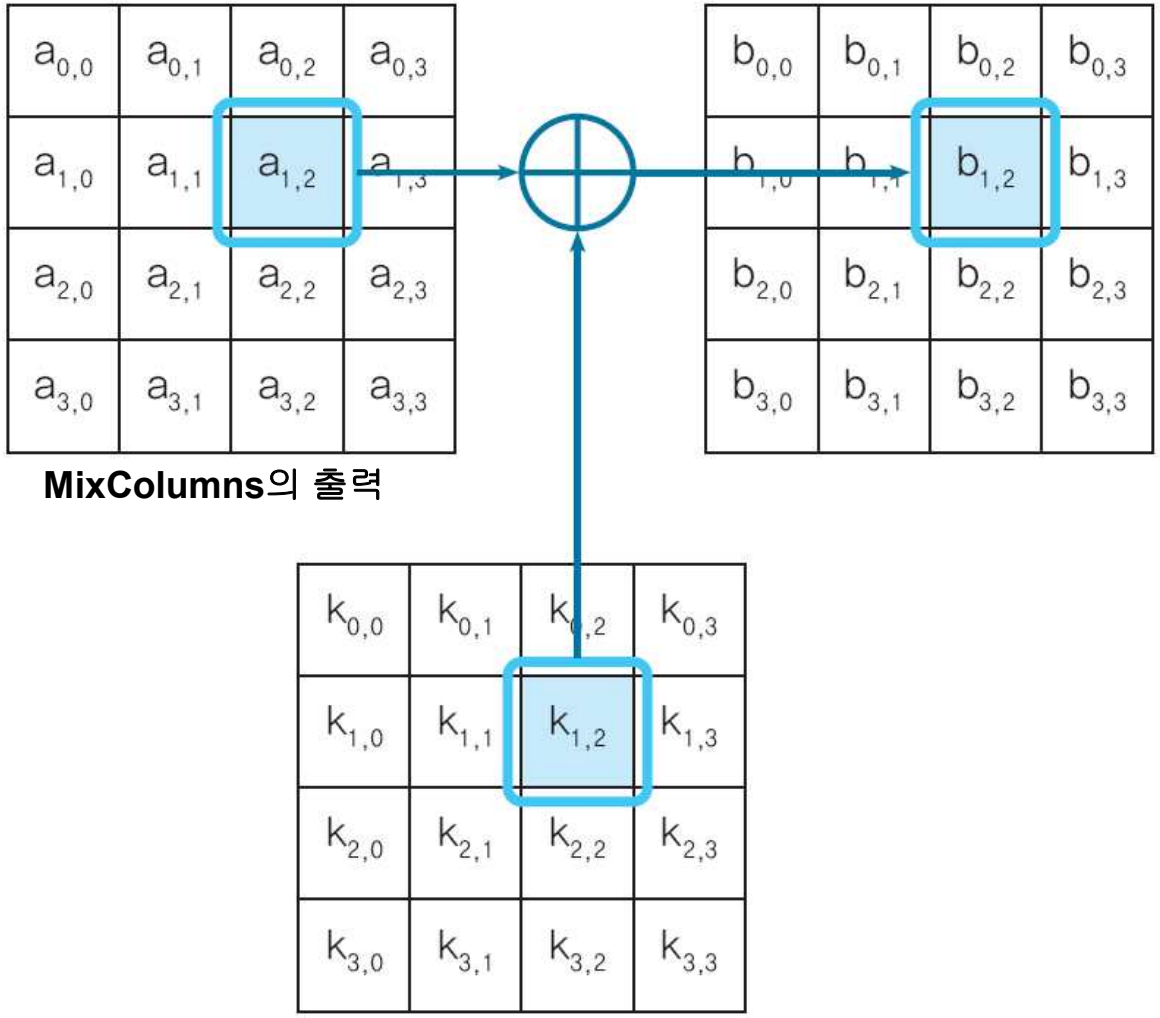
MixColumns(열 섞기)

- **4**바이트 값을 비트연산을 써서 다른 **4**바이트 값으로 변환



- MixColumns(열 섞기)

AddRoundKey(라운드 키와 XOR)



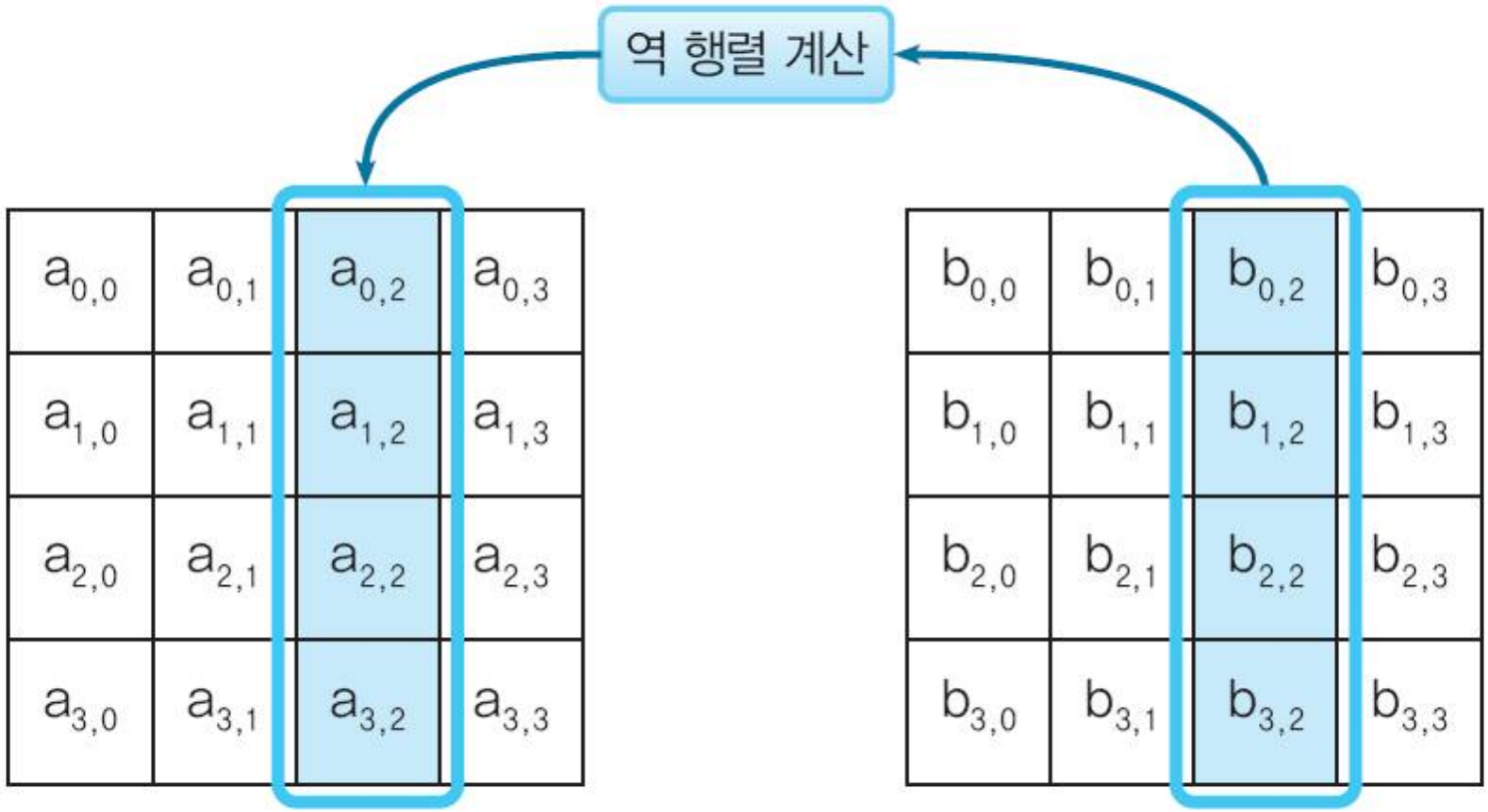
MixColumns의 출력

- AddRoundKey(라운드 키와 XOR)

- Rijndael 암호화 1라운드
  - SubBytes → ShiftRows → MixColumns → AddRoundKey

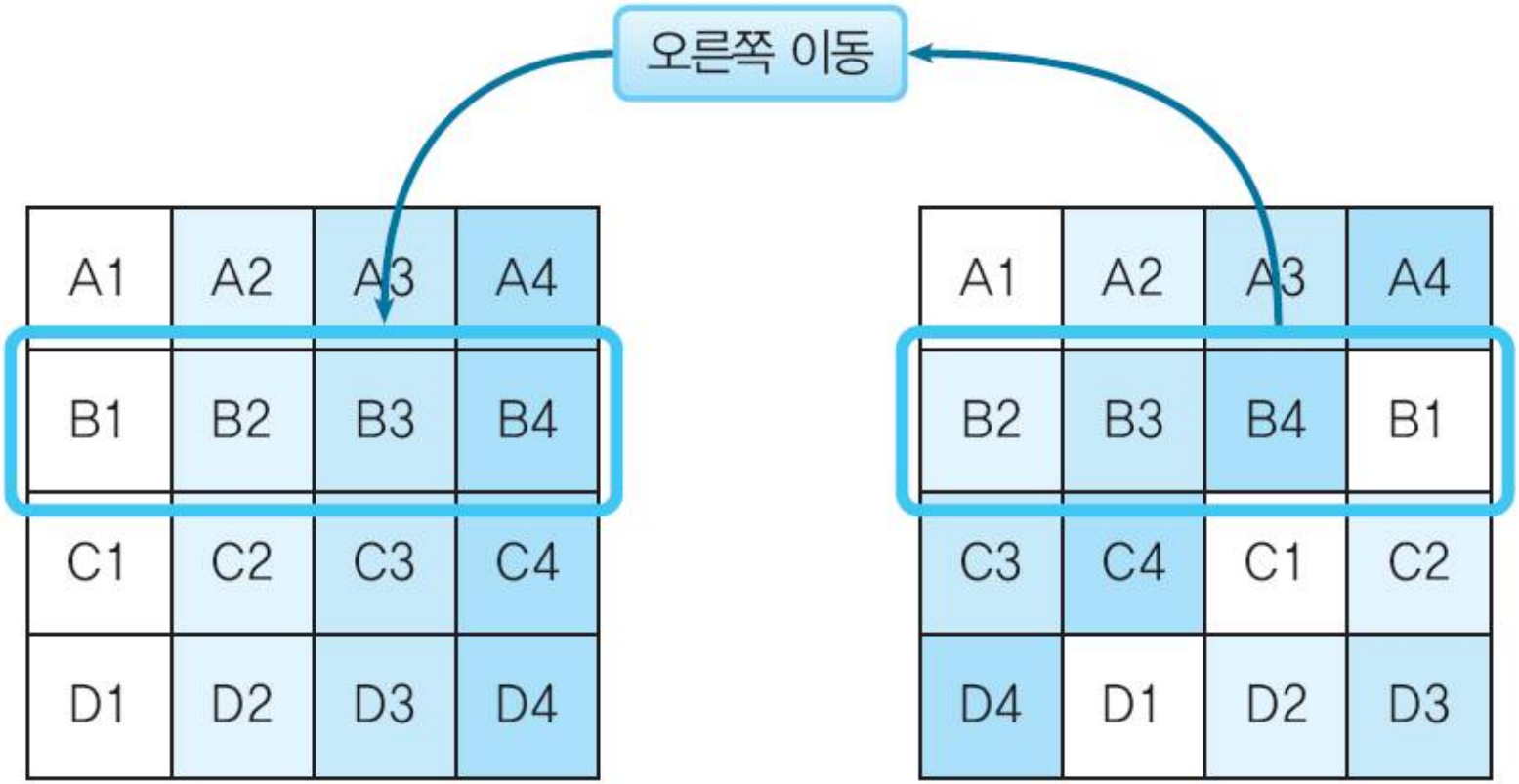
- 복호화 (역순)
  - AddRoundKey → InvMixColumns → InvShiftRows → InvSubBytes
  - AddRoundKey는 동일하게 라운드 키와 XOR
  - 다른 연산은 역처리(Inv~~)

InvMixColumns(역 열 섞기)



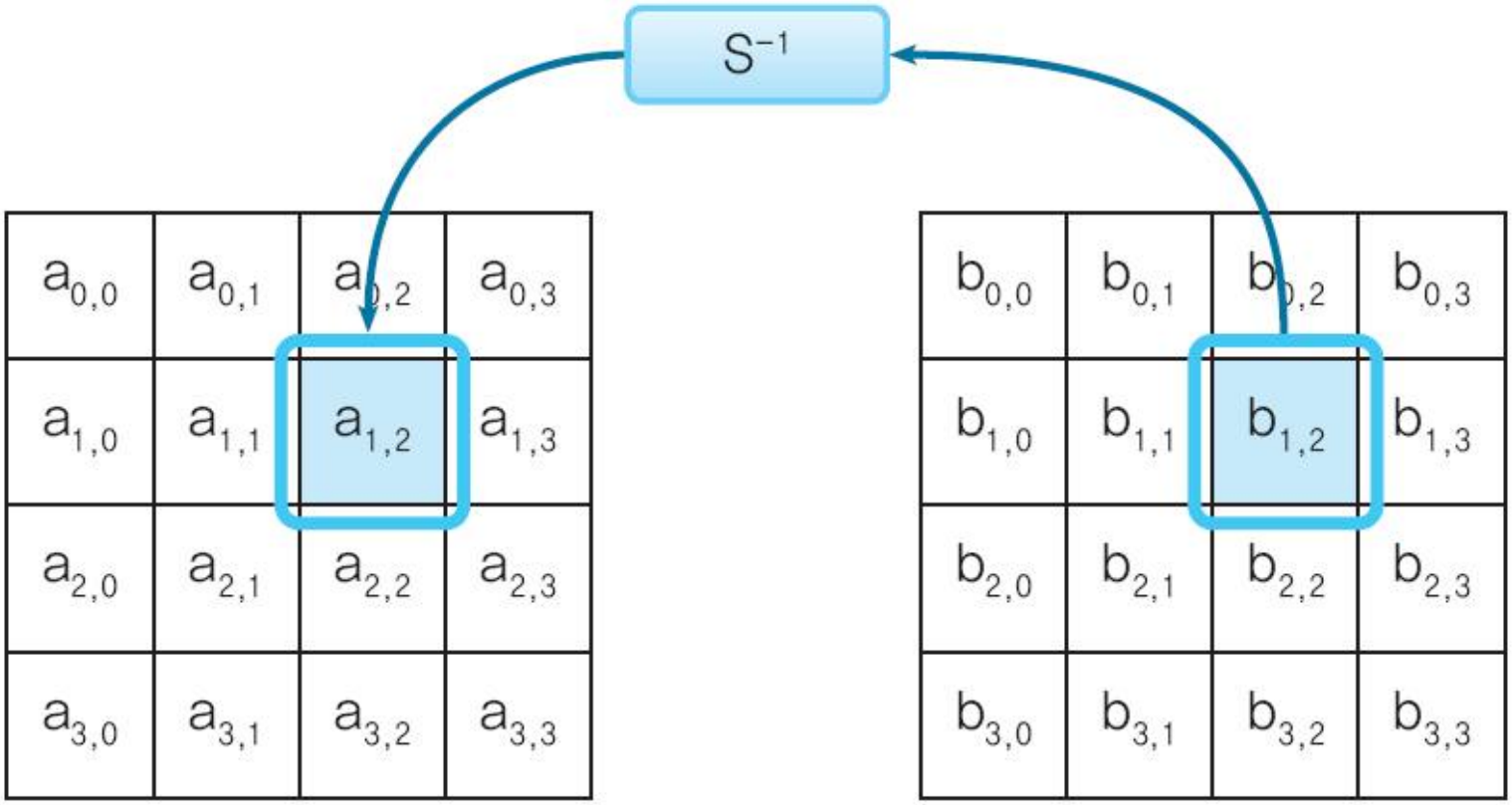
- InvMixColumns(역 열 섞기)

InvShiftRows(역 행 이동)



- InvShiftRows(역 행 이동)

InvSubBytes(역 바이트 대체)



- InvSubBytes(역 바이트 대체)

6.3 Rijndael의 해독

- Rijndael 알고리즘의 수학적 구조
  - Rijndael의 수식을 수학적인 조작에 의해 풀 수 있다면, Rijndael을 수학적으로 해독할 수 있을 것이다

- Rijndael에 대한 유효한 공격은 현재로서는 발견되지 않음

6.4 어떤 암호를 사용하면 좋은가?

- DES
  - 사용하지 말것
  - 과거 소프트웨어와의 호환성 유지를 위해 필요
- 트리플 DES
  - 호환성 때문에 앞으로도 당분간 사용
  - 점차 AES로 대체
- AES(Rijndael)
  - 고속
  - 다양한 플랫폼
  - 현재 까지 안전
  - 사용 권장
  - AES 최종 후보 5개도 사용가능

참고문헌

- Cryptography and Network Security, William Stallings, Pearson
- 컴퓨터보안과 암호, William Stallings (최용락 외 2 명 옮김), 그린출판
- 위키백과, 파이스텔 암호

Q & A

Thanks!