고전 암호 - 비밀정보/비밀키

근대 암호 - 기계식 암호/1, 2차 대전

현대 암호 - 알고리즘 외 '키'라는 요소 추가 도입

BC 60 - Caesar (시저 암호)

AD 1942 - 애니그마/제이더 (1, 2차 세계대전)

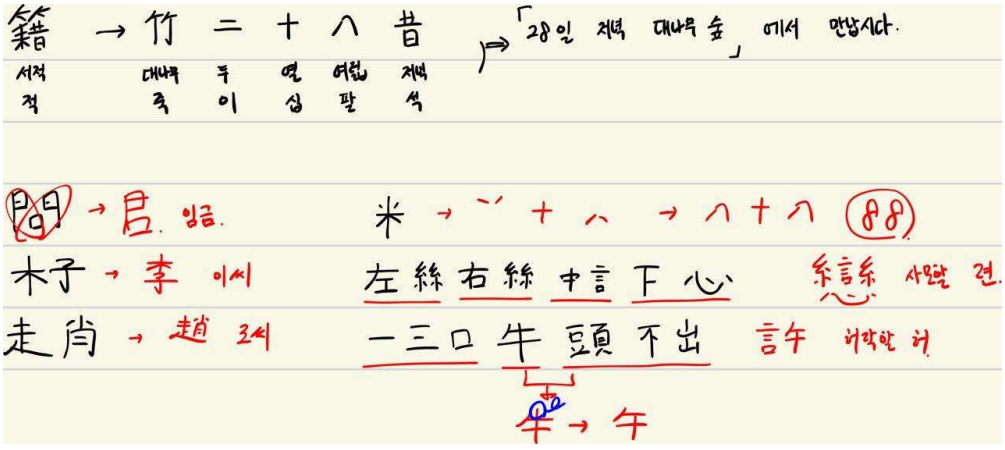
AD 1976 - 공개키

AD 1977 - DES, RSA

AD 2001 - AES

역사 속

- ✓ 고 주몽 암호
  - 일곱 고개 일곱 골짜기 돌 위의 소나무
  - 일곱 모가 난 돌 위의 소나무
  - 칼 → 신원 인증 ⇒ 부모 자식 인증
- ✓ 금 갑의 화
  - 거문고 갑을 쏘아라 → "금 갑을 쏘면 2명이 죽고, 쏘지 않으면 1명이 죽는다"
  - 돼지 두 마리가 싸움
  - 노인이 연못 속에서 나와
  - "뜯어보면 두 사람이 죽고, 뜯어보지 않으면 한 사람이 죽는다"
- ✓ 조선시대 연애편지
  - 파자 식 한자 암호



- ✓ 조선왕조실록 암호
- ✓ 명도전
- ✓ 첨수도 = 칼돈문자 - 고조선 문자 (고조선 화폐)

대칭 암호 방식 구성요소

- ✓ 평문
- ✓ 암호 알고리즘
- ✓ 비밀키
  - 키 값 == → 대칭 키
  - 키 값 =/= → 비대칭키
- ✓ 암호문
- ✓ 복호화 알고리즘

암호문 = 암호화 알고리즘(암호 키, 평문)

평문 = 복호화 알고리즘(암호 키, 암호문)

공격자 → 암호문 확인 → 암호 키, 평문 예측

평문 → 암호문 반환에 사용되는 동작

- ✓ 치환(substitute) S-Box
- ✓ 전치(transposition) P-Box ⇒ 모든 암호 기술의 기초

사용한 키의 수

- ✓ single key – 대칭 키/비밀키 암호, 관용 암호
- ✓ two key – 비대칭 키/공개키 암호

평문이 처리되는 방법

- ✓ 블록 암호
- ✓ 스트림 암호

암호 해독

- ✓ 암호 알고리즘 본질에 대한 공격
- ✓ 평문-암호문 쌍에 대한 지식 등을 활용한 평문, 키 값 추론 공격

전사적 공격

- ✓ 모든 키에 대해 시도 함

DES – 56 bit → 1142 years

AES – 128 bit → 5.4*1024 years

절대 안전성

- ✓ 암호문을 아무리 많이 사용하더라도 해당 암호문의 평문을 알아낼 수 있는
- ✓ 충분한 정보를 포함하지 않는 경우
- ✓ One Time Pad – 한 번만 사용

계산 안정성

- ✓ 해독 비용이 암호화된 정보의 가치 초과
- ✓ 해독 시간이 유효기간 초과

S-Box – 치환 기법

- ✓ 평문의 문자(비트 열)를 다른 문자(비트 열), 숫자, 심볼 로 바꿈
- ✓ Caesar 가 대표적

- ✓ Shift Cipher
  - 암호화 알고리즘(암호 키, 평문) = 평문 +- 암호 키mod최대 이동 수
  - 복호화 알고리즘(암호 키, 암호문) = 암호문 -+ 암호 키mod최대 이동 수
  - Caesar
    - 최대 이동 수 = 26 → 가능한 키는 25개뿐 → 전사적 키 해독 기법에 취약
  - * 많은 키 사용 시, 전사적 공격은 비실용적
  - * 평문의 언어나 유형을 알지 못할 경우 공격은 더 어려움 → zip 등

✓ 단일 문자 치환 암호 기법

- 각 평문 문자를 임의의 문자로 치환하는 경우
- 총 가능한 키 수 = 26!

  A B C … Z

  26 * 25 * 24 * 1
- 각 문자의 상대 빈도 계산
- 각 문자의 상대 빈도를 영문자의 상대 문자 빈도와 비교

+ 한글에 응용

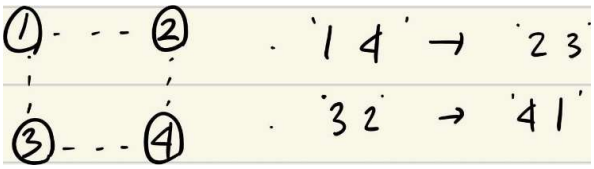
  ㄱ ㄴ ㄷ ㄹ ㅁ ㅂ ㅅ ㅇ ㅈ ㅊ ㅋ ㅌ ㅍ ㅎ

  ㅏ ㅑ ㅓ ㅕ ㅗ ㅛ ㅜ ㅠ ㅡ ㅣ

  - 총 23개 키

✓ Playfair 암호

- 다중 문자 치환 암호 기법
  - 안전도 높음
  - 특정 키워드 기반 5*5 매트릭스 생성
  - 해당 키워드를 채우고
  - 나머지로 남은 공간 채움
  - 같은 문자 반복 → 사이에 'x' 삽입
  - 1, 2차 세계대전에서 사용



✓ Hill 암호

- 선형 방정식
- 행렬의 곱 → 키 알아낼 수 있음

✓ Vernam

- 평문과 동일한 키 길이
  - 암호문 = 평문 XOR 암호 키 평문 = 암호문 XOR 암호 키
- 평문과 통계적 연관성이 없어야 함

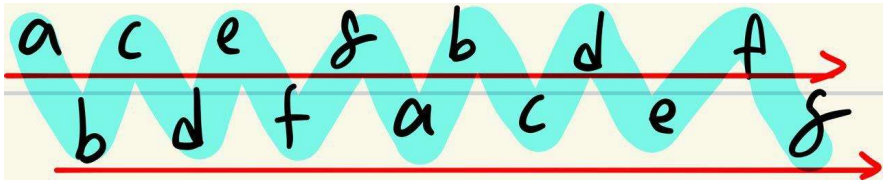
✓ One Time Pad

- random 한 키 값, 평문과 같은 길이의 키 → perfect secrecy
  (vernam 은 키 반복 사용 → 안정성↓)
- 문제점
  - 대용량 키를 다루기 어려움
  - 키 분배, 보호의 문제 발생

P-Box - 전치 기법

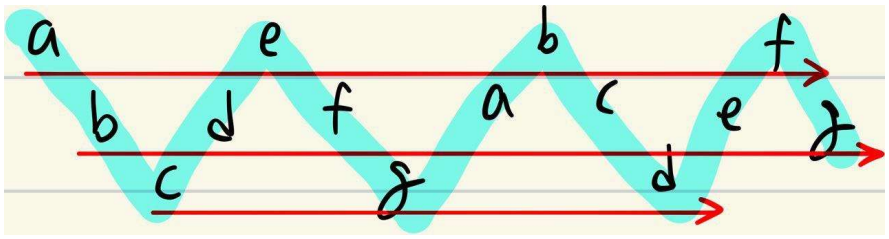
✓ Rail fence 기법

- 평문을 대각선으로 쓰고 열로 읽음
- abcdefgabcdefg
  - 2 fence -



→ acegbdfbdfaceg

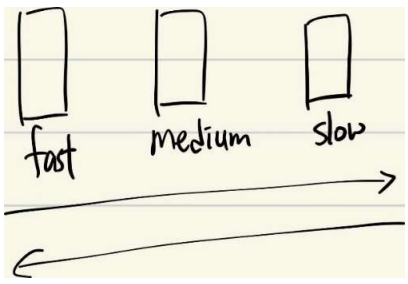
  - 3 fence -



→ aebfbdfacegcgd

✓ Rotor Machine

- 2차 세계대전
- 가변적 치환 기법 사용
- 다수의 실린더로 구성되면 각 실린더는 한 문자에 대한 치환을 수행함
- 3개의 실린더 → 263 개의 다른 알파벳 치환 가능
  n 개의 실린더 → n 단 애니그마 머신



보안 기술 범주

- ✓ 보안(security) - 정보를 보호하는 방법
- ✓ 첩보(intelligence) - 정보를 탐지하는 방법

- ✓ 평문 메시지 은닉 방법
  - 스테가노그래피
    - 메시지의 존재 자체를 은폐
    - 실제 메시지를 나타냄
  - 크립토그래피
    - 의미를 알지 못하도록 메시지 변형

암호 발전 과정

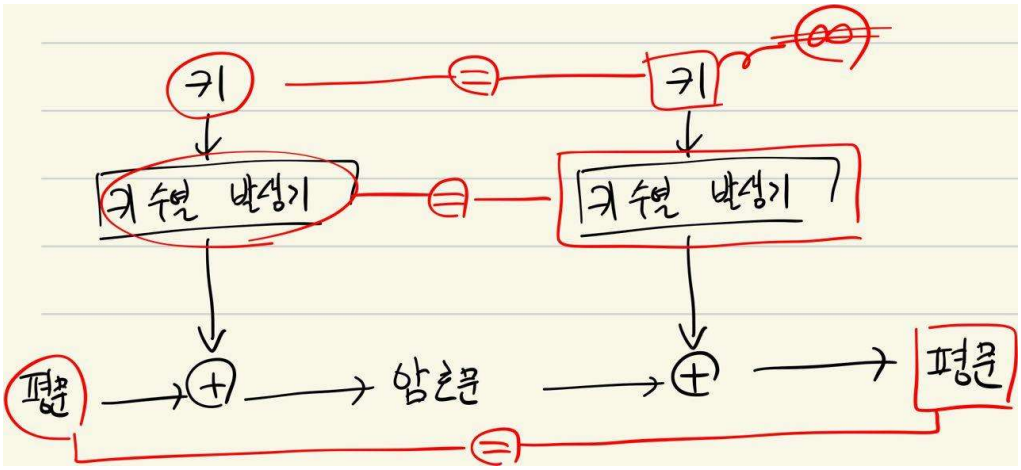
- ✓ BC 60 - 시저 암호
  - 영문 키 길이: 1
- ✓ 16C - 비제네르 암호
  - 암 구호 키 길이: 가변적
- ✓ 20C - 버남 암호
  - One Time Pad 키 길이: 무한
- ✓ 20C 후반 ~ 21C - 현대 암호
  - 스트림 암호 키 길이: 128 ~ 256 → 짧고 일정

One Time Pad

- ✓ Perfect Cipher (완전 암호) - 유일함
- ✓ 암호학적으로 안전
- ✓ 구현이 어렵다
- ✓ OTP-Real Random (실난수열) 비밀 생성, 보관, 전환, 폐기 … - 길이 무한 ⇒ 비용 무한
- ✓ 스트림 암호로 발전

스트림 암호

- ✓ 이진화 된 평문과 이진 키 수열의 배타적 논리합(XOR) 연산을 실행하여 암호문을 생성하는 알고리즘
- ✓ 이 때, 출력 키 수열에 대한 특성과 발생 방법이 안전도에 직접적인 영향을 미친다



- ✓ 특징
  - 에러 확산 없음 → 무선 이동 통신에 적합 (OFB)
  - 비도 수준에 대한 수학적 정량화가 가능
  - 하드웨어 구현이 용이
  - 통신 지연 없음
  - 고성 통신 가능

- ✓ 설계 고려사항
  - 키 수열 발생기의 암호학적 안전성
  - 통신 채널 환경에 적합한 키 수열 동기 방식 성능 (통신 신뢰성)
  - 암호화 속도 등에 대한 성능 분석
  - 키가 충분히 길어야 함 → LFSR – 128-bit

1. 주기
    - 출력 키 수열은 주기에 대한 최소 값이 보장되어야 한다
    - 반복 주기가 길어야 함
    - P>> 2128 권장
2. 랜덤 특성
    - 출력 키 수연은 좋은 랜덤 특성을 가져야 한다
    - 키 스트림이 랜덤하게 나타나야 함
    - Menezes / NIST Test
3. 선형 복잡도
    - 출력 키 수열은 큰 선형 복잡도를 갖는다
    - LC>> 2128 권장
4. 상관 면역도
    - 출력 키 수열은 높은 상관 면역도를 갖는다
    - CI>= 1 → 높을수록 좋다
5. 키 수열 사이클 수
    - 출력 키 수열은 2개 이상의 키 수열 사이클에서 발생해야 한다
      다른 키 → 다른 키 수열
    - KC >= 2

✓ 장. 단점

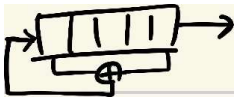
- 장점
    - 동일한 키를 사용하는 블록 암호만큼 안전함
    - 블록암호에 비해 간단하고 빠른 처리 속도
- 단점
    - 동일 키를 가지고 2개 이상 암호화하면, 해독이 간단해질 수도 있다
    - *** 하드웨어가 고정, 제한적인 상태 → 스트림 암호가 유리함 (무선통신에 적합)

✓ 유형

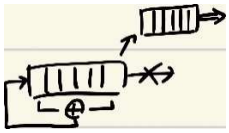
- 선형 귀환 이동 레지스터 방식 (LFSR, Linear Feedback Shift Register)
- 비선형 조합 함수 방식 (Nonlinear combining function)
- 비선형 필터 발생기 (Nonlinear filtered generator)
- 클럭 조절 수열 발생기 (Clock-controlled sequence generator)
- 병렬형 스트림 암호 (Parallel stream cipher)
- 워드기반 스트림 암호 (WBSC, Word Based Stream Cipher)

✓ 요소

- LFSR, 원시 다항식 (primitive polynomial)



  - 랜덤 이진 수열을 발생시키는 가장 기본적인 암호 요소이나
    레지스터 길이의 2배가 되는 출력을 알면 해독 가능
- 클럭 조절형 LFSR (Clock-controlled LFSR)
  - LFSR의 클럭 수를 조절하여 안전성을 높이는 DKAG 요소
- 비선형 조합 함수 (Nonlinear combining function)
  - 출력 수열의 비선형도를 높이기 위해 여러 개의 선형 LFSR을 조합하는 메모리형 조합 함수
- 비선형 필터 함수 (Nonlinear filtered function)



  - 선형 LFSR의 각 state memory를 비선형적으로 조합하여 출력을 발생시키는 비선형 함수
- NFSR (Nonlinear Feedback Shift Register)
  - LFSR에 대응되는 비선형 귀환 이동 레지스터
- 키 수열 동기 방식
  - 연속 동기 방식, 초기 동기 방식, 절대 동기 방식 등
    송. 수신 키 수열에 대하여 각각 bit-by-bit 일치시키는 동기 방식
- Zero-suppression algorithm
  - 출력 수열의 연속 '0'을 일정 비트 이하로 억제

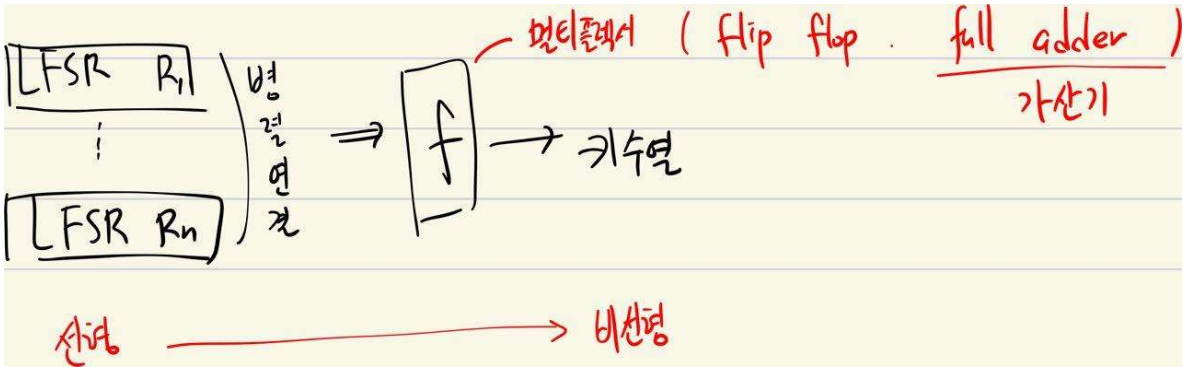
- ✓ 동기식 스트림 암호
  - 장점
    - 고속의 암호화 처리
    - 고난이도
    - 적은 오류 전파 율
    - 능동적 wiretapping으로부터 보호
  - 단점
    - 낮은 확산 효과
    - 자기동기 능력의 결여
    - 키 수열 동기
    - Zero-suppression

- ✓ 자체 동기식 스트림 암호
  - 장점
    - Self-synchronizing (키 수열 동기 = 난수 동기)
    - 수학적인 동작에 대한 예측이 어려움 (랜덤 성)
  - 단점
    - 에러확산 없음 … 생김
    - # 블록 암호의 경우, 1-bit 에러가 128-bit 블록 전체로 확산됨
    - 입력 값의 노출
      - 암호문이 LFSR의 입력 값으로 사용되므로
      - 공격자들에게 LFSR에 대한 입력 값들이 노출됨
    - 비트열에 대한 수학적 성질의 결정이 곤란

✓ LFSR – 순서 이진비트 생성을 위한 기계

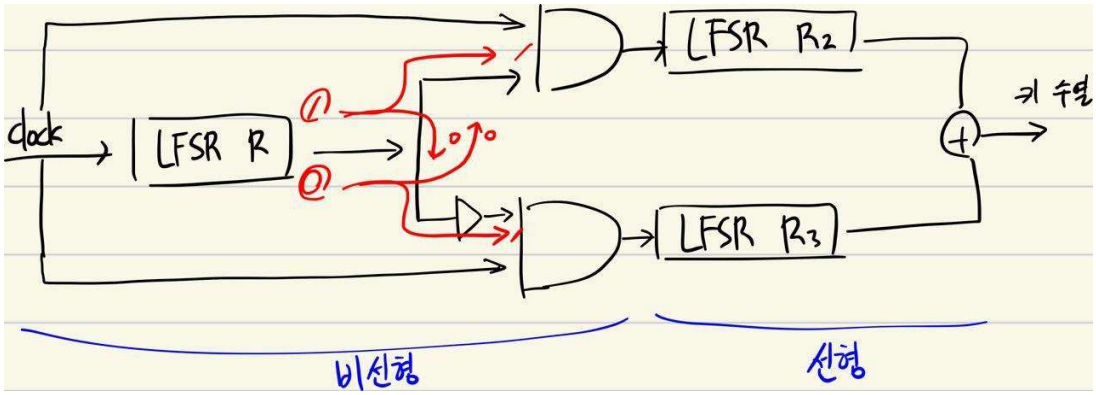
- 장점
  - 하드웨어를 이용한 구현이 용이하다
  - 주기가 길고 또한 여러 유형의 우수한 통계적 특성을 지니고 있기 때문에
  - 키 수열 생성기에 폭 넓게 이용됨
- 단점
  - 키 수열은 그 예측이 매우 용이하다 → 비선형으로 만들 필요가 있다
- **n-bit → n단 LFSR → all zero를 제외한 모든 경우의 수를 만들어 냄**
  - ***Feedback tab(귀환 탭) 구성이 중요하다**
- 응용
  - 19단 + 22단 + 23단 → 264 → A5 암호
  - 암호 프로토콜 – nonce라는 랜덤 수
  - 보안장비 – 최소 256/512 단 이상 사용
  - CATV 스크램블러 – LFSR-7 또는 LFSR-32
  - USB 소프트웨어 락 – 소프트웨어 복제 방지 인증용 USB (LFSR-32 수준)
  - C언어 rand() 함수 → DES(random key)
  - 2자리 로또 발생기
  - 4자리 랜덤 수열 생성기/6자리 랜덤 수열 생성기 (OTP)
  - 가위바위보 게임
  - 윷놀이 발생기
  - 서양화(포커) – 0 ~ 53
  - 동양 화투 게임(초기값 ~ 다음 카드 발생) – 0 ~ 47
  - Gold 수열 발생기 – 랜덤 수열 (5단 LFSR + 5단 LFSR → 10단 – 210 스크램블)
- 랜덤성 시험
  - Frequency Test – 0 1 → n/2 --- O
  - Serial Test – 00 01 10 11 → n/4 --- O
  - Poker Test(block) – 00 01 10 11 → block/4 --- X
  - Generalized Serial Test – 000 001 010 011 100 101 110 111 → n/8 --- O

- 비선형 결합 생성기

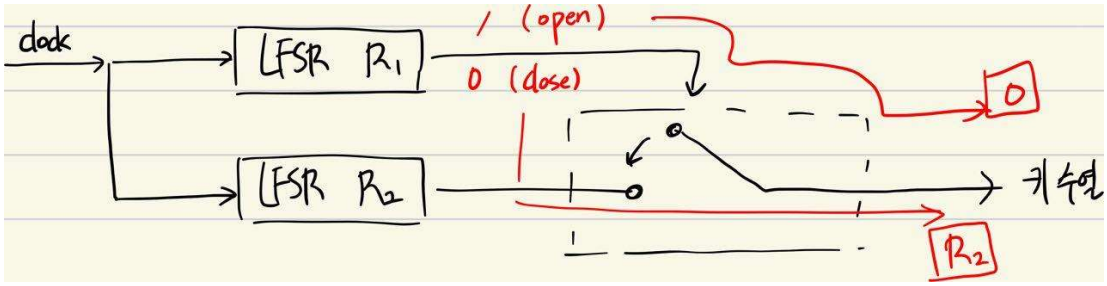


- Clock-Controlled 생성기
  - LFSR에 불규칙적인 클럭 신호를 가하는 것

- Alternating Step Generator



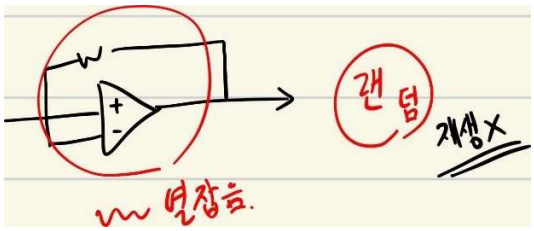
- Shrinking Generator



- Linear Congruential Generator
  - 빠름
  - 예측 가능
  - 좋은 성능

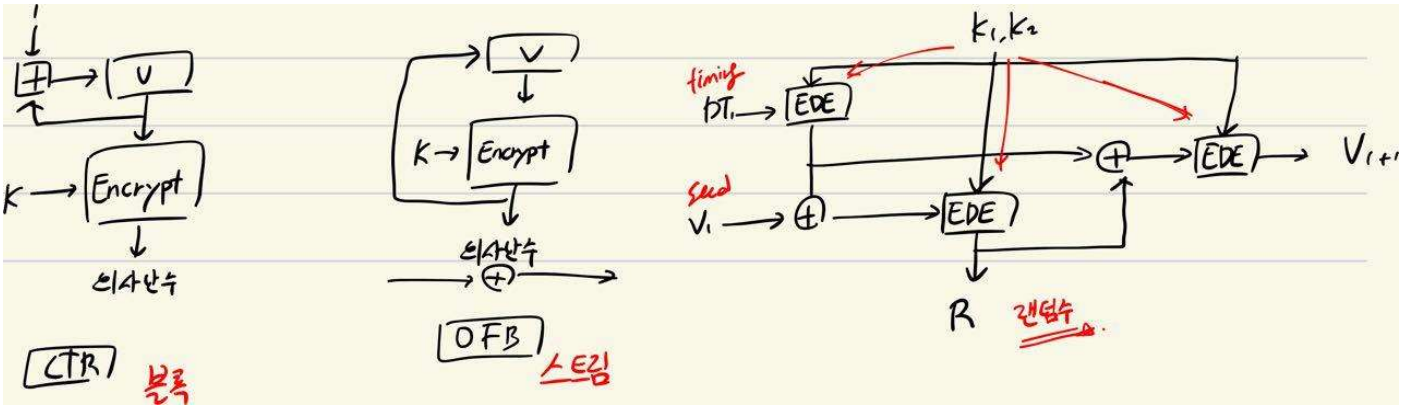
의사 난수

- ✓ 난수
  - 특정한 배열 순서나 규칙을 가지지 않는 연속적인 임의의 수
  - 재생 불가
- ✓ 의사 난수
  - 컴퓨터에 의해 만들어진 난수
  - 아주 긴 주기를 가진 숫자 열
  - 재생 가능
- ✓ 임의성
  - 균일 분포 - 수열의 비트 분포가 동일, 0과 1의 출현 빈도가 거의 동일
  - 독립성 - 수열의 어느 부분도 다른 부분에 의해 예측될 수 없음
- ✓ 비예측성
  - 수열의 잇따른 다음 수의 순서에 대해 예측이 불가능해야 함
- ✓ TRNG



  - 실제적으로 랜덤 한 소스를 입력으로 사용
  - 키보드 입력 타이밍 패턴 및 마우스 움직임
  - 디스크의 전기적 활동, 시스템 클럭의 순간 값
- ✓ PRNG
  - 고정 값 seed를 입력 받아 결정적 알고리즘을 사용하여 출력 비트 열 생성
  - 제한이 없는 비트 열 생성하는데 사용
    - 알고리즘과 seed를 알고 있는 공격자는 비트 열 재생성 가능
  - 요구사항
    - seed를 알지 못하는 공격자는 의사 난수를 결정할 수 없어야 함
    - 임의성 - 생성된 비트 스트림이 결정적일지라도 랜덤하게 보여야 함
    - 균일성 – 비트 열 생성에 0과 1이 거의 동일하게 존재
    - 확장성 - 무작위로 추출된 어떤 비트열도 랜덤해야 함
    - 일관성 - 생성기동작은 초기값 전반에 대해 일관되어야 함

- 구축 방법
  - 대칭 블록 암호를 PRNG 메커니즘의 핵심으로 사용
  - 어떤 블록 평문에 대해서도 대칭 블록 암호는 확실히 랜덤 한 출력 블록 생산
  - 암호문에는 평문을 추론하도록 하는 종보를 제공하는 패턴이나 규칙이 없음



✓ PRF

- 고정된 길이의 의사 난수 비트 열 생성에 사용

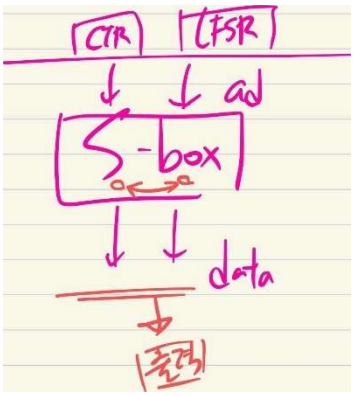
RC4

✓ RSA Security에서 Ron Rivest가 1987년에 고안한 스트림 암호 방식

- 바이트 단위로 작동되고 가변적 키 길이를 가지는 스트림 암호방식
- 랜덤 순열의 사용을 기반으로 함
- 웹 브라우저와 서버 사이의 통신 표준으로 규정된 SSL/TLS에서 사용
- 무선 LAN 표준인 WEP와 WPA 프로토콜에서 사용

✓ S의 초기화

- S 항목들을 오름차순으로 0부터 255까지의 값이 되도록 설정
  - S [1] = 0, S [2] = 1 … S [255] = 256
- 임시 벡터 T 생성
  - 키 값의 길이가 256바이트일 때
    - K를 그대로 T로 전달
  - 키 값의 길이가 256바이트 미만일 때
    - 키의 길이 Keylen만큼 T에 전달하고, T가 채워질 때까지 K를 반복하여 채움



- ✓ S의 초기 순열 교환 – swap
  - S[0] ~ S[255]까지 수행
  - 각 S[i]에 대하여 T[i] 구조를 적용하여 S[j] 를 생성
  - S[i]와 S[j]를 교환
- ✓ S에서 일어나는 동작은 오직 교환이며, 그 결과는 순열
- ✓ 스트림 생성
  - S벡터 초기화 후 입력키는 사용되지 않음
  - 스트림 생성은 S[0]부터 S[255]까지 포함하여 수행
    - 각 S[i]는 S의 현재상태에 있는 내용에 따라 S의 다른 바이트와 교환
    - S[255]에 도달한 뒤에는 계속하여 S[0]부터 다시 시작
  - 암호화 – k값과 평문의 다음 바이트를 XOR 연산하여 암호화 수행
  - 복호화 – k값과 암호문의 다음 바이트를 XOR 연산하여 복호화 수행

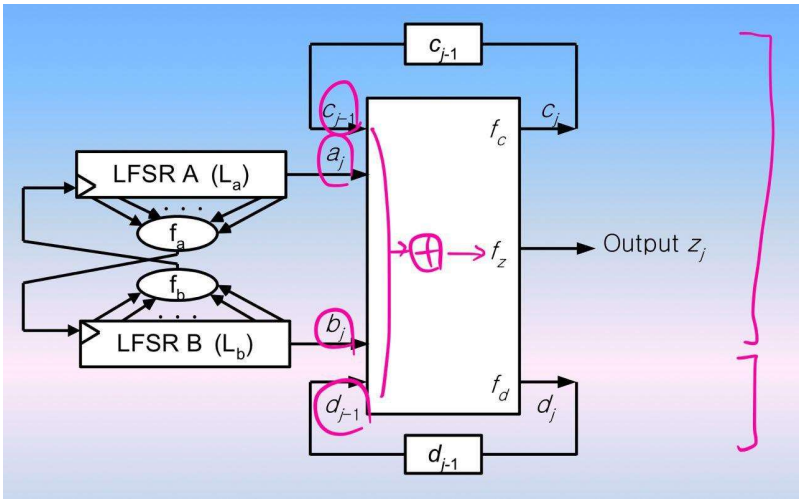
진 난수 생성기

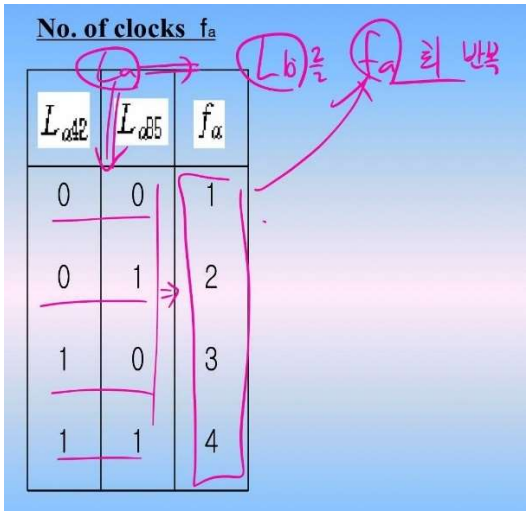
- ✓ 앤트로피 소스
  - 진 난수 생성기는 임의성을 만들기 위해 비 결정적 소스 사용
    - 예측 불가능한 자연계의 처리 과정들을 측정하는 방법 사용
      - 전리 방사선의 펄스 탐지기, 가스 방전광, 누전 축전기
    - 인텔[JUN99]
      - 사용되지 않는 저항기들 사이에서 측정된 전압을 증폭시켜 열잡음을 샘플링 하는 상업화된 칩 개발
  - 임의성의 소스 후보[RFC 4086]
    - 음향/영상입력
      - 실세계의 아날로그 소스를 디지털화 하는 입력들을 가지고 작동
    - 디스크 드라이브
      - 환경에 따라 회전 속도가 랜덤하게 변동되는 것을 측정

✓ 편향

- Deskewing 알고리즘
  - 0 또는 1 중 한 쪽으로 편향된 출력물이 생성될 가능성 존재
  - 이를 감소시키거나 없애기 위한 기법
    - 해시함수를 이용 (MD5, SHA-1 등)
  - 운영체제는 난수를 생성하는 내장형 메커니즘 제공
  - 리눅스는 4개의 엔트로피 소스 (키보드, 마우스, 디스크 I/O 연산, 특정 인터럽트)를 사용하여 버퍼 풀어 저장, 이 중 일정 개수를 읽어서 SHA-1 해시 함수 통과

핑퐁 (Ping-Pong Family)

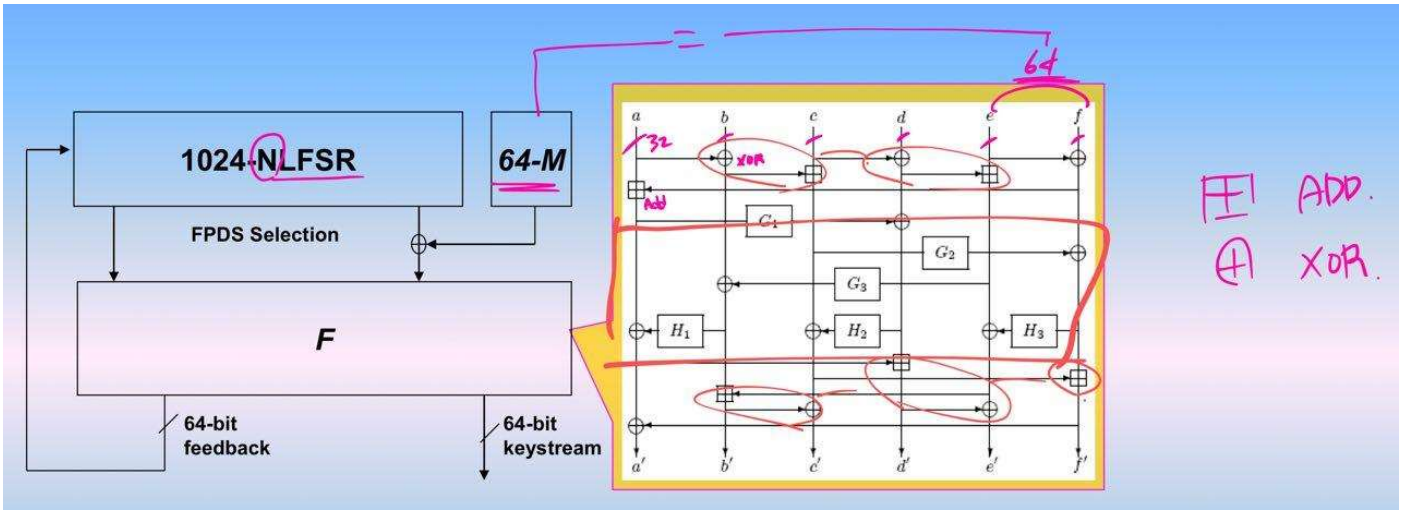




Dragon

✓ 고속 워드 기반 스트림 암호 개발

- Word 기반 스트림 암호화 방식 – ICISC'2004 발표



DES

- ✓ 핵심
  - 블록 암호는 평문 블록 전체를 가지고
    동일한 길이의 암호문 블록을 생성하는 암호화, 복호화 방식
  - 많은 블록 암호가 Feistel 구조를 띄고 있음
    - 동일한 라운드 수로 구성되어 동작
    - 각 라운드는 데이터의 절반이 치환으로 수행
      이후 데이터의 두 개의 반을 교환하는 순열 수행
    - 원본의 키는 확장되어 각 라운드마다 다르게 사용
  - DES는 최근까지 가장 널리 사용되는 암호 알고리즘
    - 수학적(수식)으로 해독 불가
    - 컴퓨터로는 해독됨
  - 차등 암호분석과 선형 암호분석은 암호 분석의 중요한 두 가지 방법
    - 차등 암호분석 → 2^{49}
    - 선형 암호분석 → 2^{43}
    - DES는 두 가지 공격에 매우 강함을 보임

- ✓ 블록 암호 vs 스트림 암호
  - 블록 암호
    - 암호화 적용
      - 텍스트/음성/영상/동영상을 **블록 크기**로 나누어 암호화
    - 암호화 속도
      - **소프트웨어 적용** 시에는 간편하고, **저속**
      - **하드웨어** 적용 시에는 **고속**
    - 암호화 안전성
      - 상대적으로 안전성이 높다
        key 길이>80-bit 이상
        → 통상적으로 128-bit
    - 채널 에러
      - 채널 에러가 블록 전체로 확산되어 불리하며
        OFB와 같은 스트림 방식으로 적용

- 비트 스트리밍 서비스
  - 블록을 비트로 전환시킨 후에 적용해야 함
    OFB mode

- 스트림 암호
  - 암호화 적용
    - 텍스트/음성/영상/동영상을 **비트 스트림**으로 나누어 암호화
  - 암호화 속도
    - **소프트웨어 또는 하드웨어에서 간편하고, 고속**
  - 암호화 안전성
    - 상대적으로 안전성이 낮다
      key 길이>80-bit 이상, 추가로 init, Value 필요
      → 통상적으로 128-bit
  - 채널 에러
    - 채널 에러에 대한 확산이 없어 채널 오류가 많은 회선에 유리함
      무선통신 구간 등
  - 비트 스트리밍 서비스
    - 간편하고 쉽게 적용된다
      기본적으로 비트 처리됨

✓ 원리

- 스트림 암호
  - 한 번에 1-bit 혹은 1-byte의 디지털 데이터 스트림을 암호화
  - 키 스트림은 평문 비트 스트림만큼의 길이를 가짐

- 블록 암호
  - 평문 블록 전체를 가지고 같은 크기의 암호문 블록 생성
  - 전형적으로 64-bit 또는 128-bit 사용

- Feistel 암호 구조의 동기
  - 블록 암호는 n-bit 암호문 블록을 생성하기 위해 n-bit 평문 블록을 이용하여 연산
  - 2n가지의 서로 다른 평문 블록 존재

- 두 개 이상의 기본 암호 연속적 수행(치환, 순열 번갈아 수행) - S-P 생성 원리
  - 치환 (S-Box)
    - 평문의 각 원소 또는 원소의 그룹을 다른 원소에 사상 → 바꿔 치기
  - 순열 (P-Box)
    - 평문 원소의 순서는 순열의 순서대로 재배치
  - 확산과 혼돈
    - Claude Shannon 소개 (SHAN49)
      - Shannon - 매우 이상적인 암호는 암호문에 대한
        모든 통계적 정보가 사용된 키와 독립적이어야 한다
    - 통계적 분석에 기초한 암호 해독 방지
    - 확산
      - 평문의 통계적 구조가 암호문에 광범위하게 분산
      - 평문과 암호문 관계 복잡
      - 각 평문 숫자가 다수의 암호문 숫자 값에 영향
    - 혼돈
      - 암호문의 통계적 구조와 암호 키 값 사이의 관계 복잡
      - 키를 이용한 암호문 생성 방법 복잡
      - 키 추론 어려움

- P-Box
  - n-bit - n-bit 블록 순열
    - 입력 n2개가 순서를 바꾸어서 다른 번호로 출력됨
    - 입력 - 출력의 순서를 바꾸어서 diffusion 시키는 원리
  - P-Box diffusion
    - 선형화 하면서 데이터를 확산시켜 암호해독이 어렵게 한다
    - 랜덤하게 섞으면 예측이 어렵다
    - 랜덤 → 확산이 잘된 것
    - 입 - 출력은 선형관계이지만 S-Box와 함께 복잡성을 증대시킨다

- n*n P-Box 생성 방법
  - n*n P-Box를 설계하기 위하여 먼저 1 ~ n (or 0 ~ n-1)까지의 숫자를
  - 랜덤하게 발생시킨다
  - 입 - 출력의 동일 여부 확인
  - 랜덤하게 발생시킨 숫자대로 순열을 분포한다

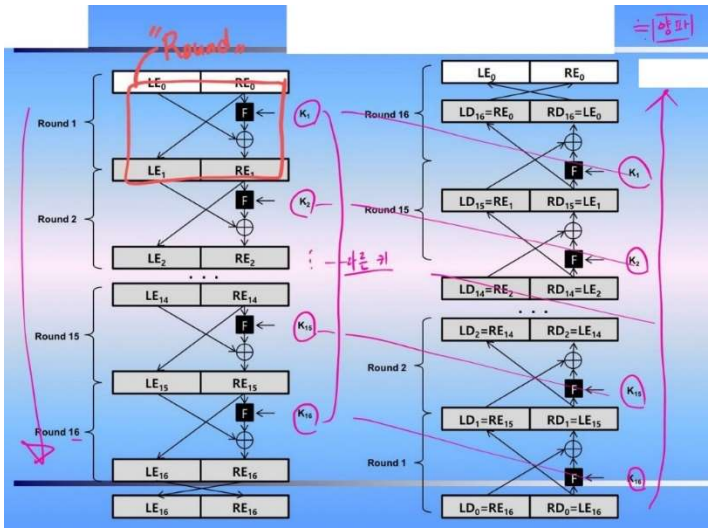
- S-Box
  - n-bit - n-bit 블록 치환
    - n-bit 입력으로 n2개 값 중 하나 선택하고
    - 내부 치환에 의해 n2개 출력 값 중 하나 대응하여 n-bit 출력
    - 입력이 내부 비선형 변환 함수를 거쳐서 confusion 되는 원리

  - S-Box confusion
    - 비선형화 시키면 해독이 어렵다
    - 랜덤하게 섞으면 예측이 어렵다
    - 입 - 출력의 어떤 관계를 예측할 수 없다

  - n*n S-Box 생성 방법
    - n*n S-Box를 설계하기 위해 먼저 1~2n (or 0 ~ 2n-1)까지의 숫자를
    - 랜덤하게 발생시키다
    - 입 - 출력의 동일 여부 확인
    - 랜덤하게 발생시킨 숫자대로 순열을 분포한다
    - 외부 입력 - 내부 십진수 변환, 내부 십진수 - 외부 출력 변환 실시하면
    - 전체적으로 외부 n*n S-Box 변환으로 보인다
    - S-Box 검증 기준 확인

- 사례
  - 미국 DES - 1977년 FIPS Pub. 46
    - 6*4 S1~S8-Box 8개 = (4*4 S-Box 4개씩 묶음) * 8개
  - 미국 AES - 2001년 FIPS Pub. 197
    - 8*8 S-Box 1개 (암호화)/8*8 S-1-Box 1개 (복호화)
  - 한국 SEED - 1999년 TTAS.KO 12.004/R1
    - 8*8 S-Box 4개
  - 한국 ARIA - 2005년 KS X 1213
    - 8*8 S1-Box, S2-Box, S1-1-Box, S2-1-Box 4개

- Feistel 암호 구조
  - 처리구조
    - 길이 2w 비트인 평문 블록(LR) 분할 처리
    - K(main key)로부터 유도된 n개의 키(Ki) 사용
    - n회의 동일한 반복 구조 실행
  - 고전 Feistel 구조
  - 하나의 반복 구조 → 16회 반복
    - 오른쪽 반 R0에 반복 함수 F 적용
      - 반복 서브키 K1 적용 (K =/= Ki)
    - 왼쪽 반 L0와 XOR (치환 작용)
    - 좌우 양쪽 결과를 교환 (순열 작용)



- 설계 고려사항
  - 빠른 소프트웨어 암호화, 복호화
    - 어플리케이션 또는 유틸리티 함수에 내재
    - 알고리즘의 실행속도가 중요
  - 분석의 용이성
    - 암호 해독의 취약성에 대한 알고리즘의 분석이 쉬움
    - 고도의 신뢰성과 보안 강도를 위한 개발 용이

- 설계 특성
  - 블록 크기(64-bit) → 128-bit
    - 큰 블록은 보안 강화하지만 암/복화 속도는 저하
    - 암/복호화 속도를 고려 64-bit 일반적
  - 키 크기 (128-bit) → 128-bit
    - 큰 키는 보안 강화하지만 암/복호화 속도는 저하
    - 암/복호화 속도를 고려하여 128-bit 일반적
      64-bit 이하는 해독 용이
  - 반복 수
    - 다중 반복과정은 보안성 강화
    - 16회 반복이 일반적
  - 서브키 생성 알고리즘
    - 서브키 생성 방법이 복잡할수록 강력
  - 반복 함수 (F)
    - 적용되는 반복함수가 복잡할수록 강력
- 복호화 알고리즘
  - 암호화와 복호화에 같은 키 사용을 위하여 서브키 ki를 역순으로 사용

✓ 특징

- 1977년 미국표준국()에서 미 연방 정보처리 표준 46()으로 채택
- 64-bit 블록 암호 알고리즘
- 56-bit 키를 사용
  - 64-bit 중 8-bit는 parity check로 사용
    8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64 총 8개

- 기본 구조
  - round 수 - 16 round
  - 복호화는 암호화의 역순
- 최근에는 DES암호화를 세 개의 키로 세 번 반복함으로써 암호의 강도를 높인 Triple-DES 사용

✓ 치환과 전치 혼합방법, 블록 암호, 관용 암호 방식

✓ 역사

- 1960년 후반 - **Feistel**에 의해 컴퓨터 암호 과제 선정
- **1971년 - LUCIFER 개발** (128-bit 키 사용)
- 1973년 - Tuchman-Meyer 과제로 **DES** 개발
  - 수학적으로 안전/컴퓨터로는 해독됨
- 1977년 - **데이터 암호 표준으로 채택**
- 1994년 - NIST에서 재사용 인가
- 1999년 - 3중 DES의 표준 발표 (FIPS PUB 46-3) → 2001년 - AES 표준화

✓ 초기 순열

- 64-bit 평문 메시지 순열 X = IP(M)

✓ 순열 표

- 초기 순열 IP (64 → 64)

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

- 역 초기 순열 IP-1 (64 → 64)

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

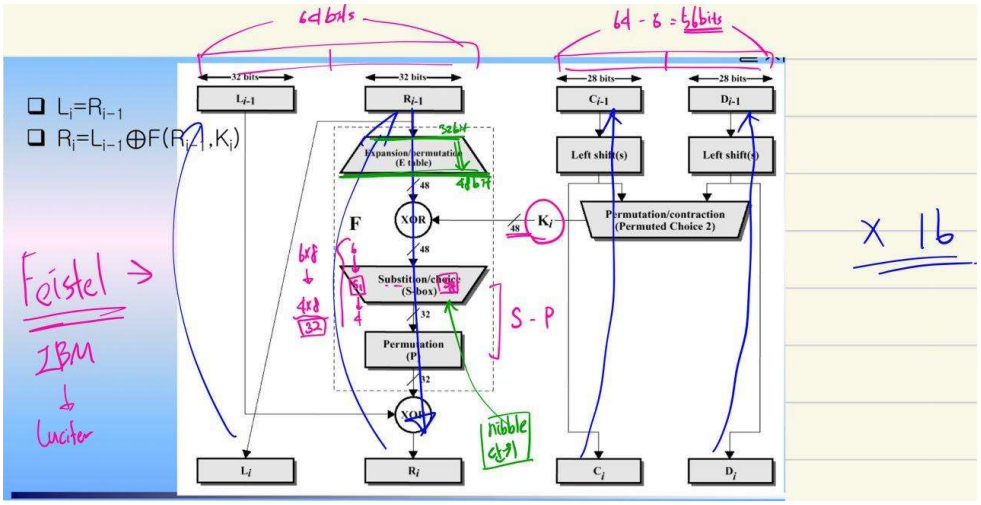
- 확장 순열 (32 → 48)

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

- 순열 함수 (32 → 32)

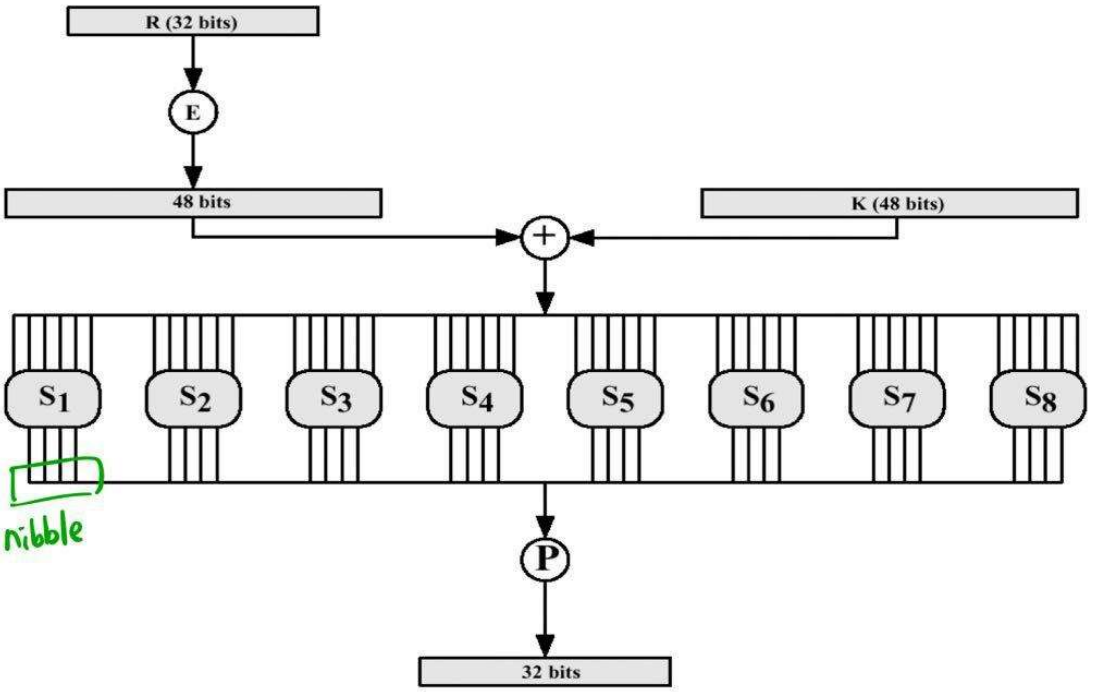
16	7	20	21	29	12	28	17
1	15	23	26	5	18	31	10
2	8	24	16	32	27	3	9
19	13	30	6	22	11	4	25

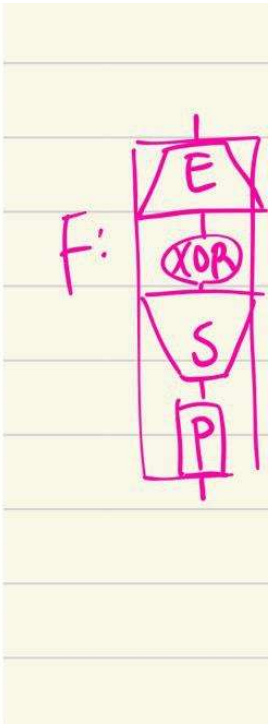
✓ 알고리즘 단일 반복과정



✓ 함수 F

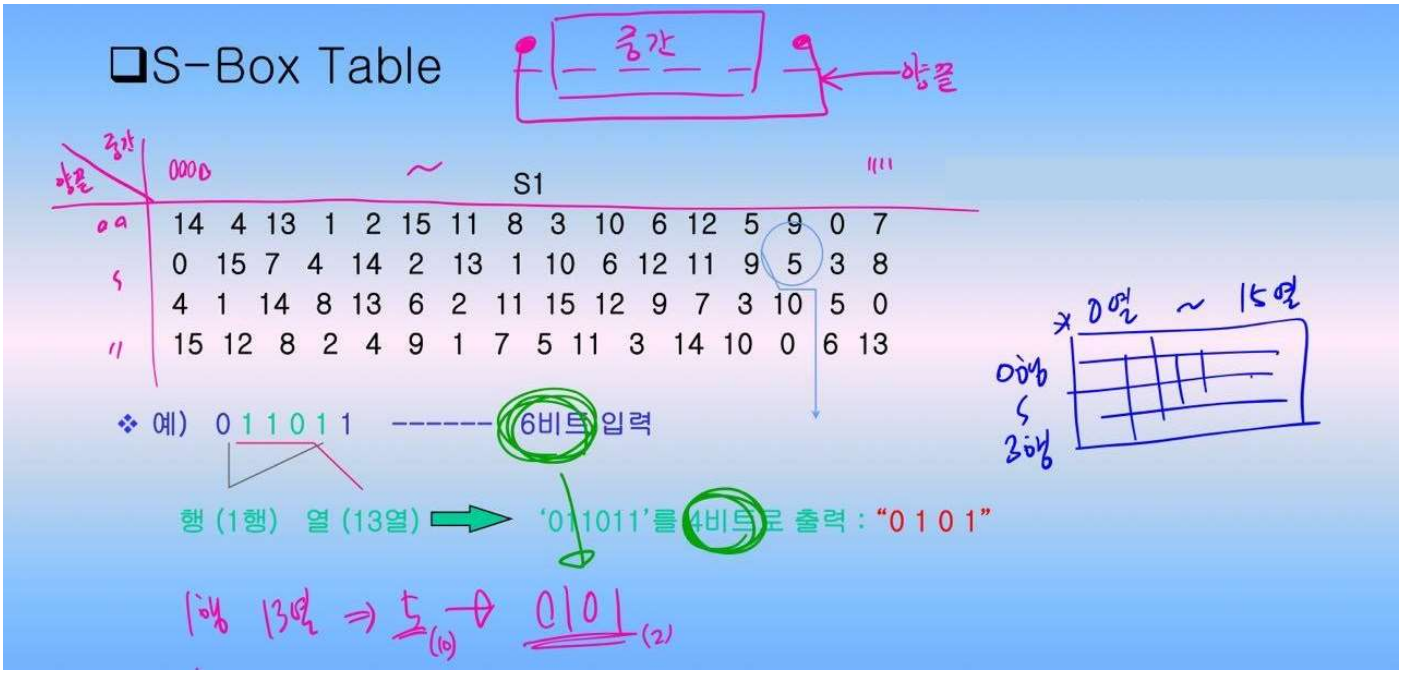
- 8개의 S-Box로 구성
- 각 S-Box는 6-bit로 입력, 4-bit로 출력 생성





✓ S-Box Table

- 4행*16열의 표
- 입력되는 6-bit 중
  처음과 끝 비트를 이용하여 행을 찾아가고
  중간 4개의 비트를 이용하여 열을 찾아간다



✓ **DES 쇄도 효과 → 에러 확산 → 무선 X**

- **평문 변화**
  - 평문이나 키의 작은 변화가 암호문에 대하여 중요한 변화를 일으키게 하는 효과
  - 평문이나 키를 1-bit 바꿀 때, 암호문의 여러 비트가 변함
- 키 변화
  - 각 라운드가 경과할 때마다 바뀐 정도가 달라지는데
    0 → 1 또는 1 → 0 으로 완전히 바뀌는 것은 50% 뿐이므로
    변화율이 50% 이상이 되면 완전히 바뀐 것으로 봐야한다

✓ 강점

- 56-bit 키 사용
  - 미 정부의 채택 이후 DES의 보안 수준에 대한 우려가 지속
  - 마이크로 세컨드 당 하나의 암호를 수행하는 장치 1백만개로 구성된 병렬기계 구성
    - 평균 탐색시간 10시간으로 축소
  - 1998년 7월 EFF(Electronic Frontier Foundation)가
    $250,000 이하의 비용으로 제작된 DES해독기를 통해 DES 알고리즘 해독
- DES 알고리즘 자체 성질을 이용한 해독 가능성
- 8개의 치환 표 또는 S-Box
- S-Box의 경우
  - 전체 알고리즘에 대한 설계기준이 공개된 적이 없다
  - S-Box의 약점에 대해 알고 있는 공격자가 해독할 수 있게 설계되었을 가능성에 대한 의혹 제기
  - 수 년간 S-Box의 수많은 정규성과 예측 못할 동작 발견
  - 그럼에도 S-Box에 대하여 치명적인 약점을 발견한 사람은 아직까지 없다
    적어도 그런 발견이 공개된 적이 없다
- Timing 공격 – P.kocher → D.P.A.
  - 암호문을 복호화 하는데 걸리는 시간을 관측하여 키 또는 평문의 정보를 획득
  - 입력에 따라 처리시간이 다르다는 것을 이용
  - 아직까지는 성공 사례가 없으나 흥미로운 연구
- 차분 암호 해독
  - DES에 적용해서 널리 알려짐
  - 2^{55} 미만의 복잡도로 DES를 해독
  - 2^{47}의 선택 평문을 가지고 2^{47} 차수로 DES를 해독

- 선형 암호 해독
  - 2^{43} 기지 평문으로 해독 가능
  - 기지 평문이 선택 평문보다 구하기 쉽지만 DES 공격으로서의 선형 암호 해독은 가능성이 없음
  - 선형 암호 해독의 타당성 주장이 약함

✓ 설계기준

- S-Box 설계기준
  - **S-Box의 각 행은 (0~15)까지 정수의 랜덤 한 배치 순열**
  - **어떤 S-Box도 출력에 대하여 선형(linear)도 아핀(affine)도 아니다**
  - **S-Box의 6-bit 입력 중 1-bit 가 변경되면**
    출력은 최소 2-bit 이상 달라야 함
    (2/4, 즉 50% 이상 변경됨)
  - **S-Box의 6-bit 입력 중, 가운데 2-bit만 변경되면**
    출력은 최소 2-bit 이상 달라야 함
    (2/4, 즉 50% 이상 변경됨)
  - S-Box의 입력 중 첫 2-bit가 다르고, 마지막 2-bit가 같으면 두 출력은 달라야 함
  - 입력들 사이에 0이 아닌 6-bit 차이는 그러한 차이를 나타내는 입력은
    32쌍 중 오직 8쌍은 같은 출력을 야기

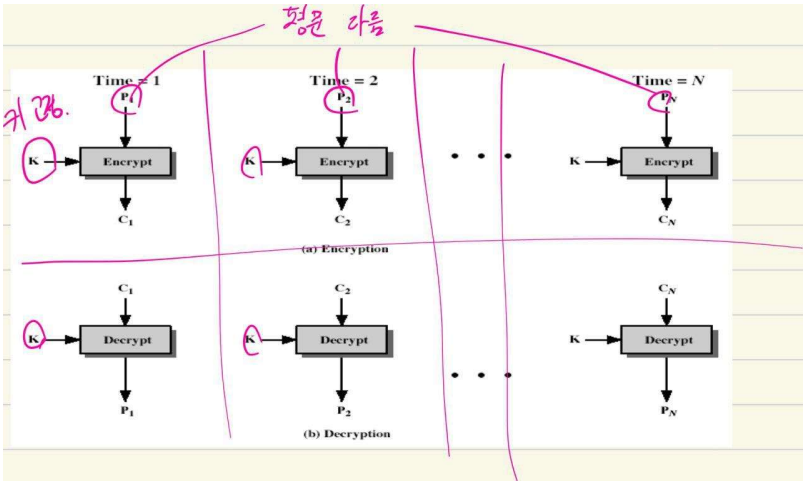
- 순열 P 설계기준
  - i번째 반복에서 각 S-Box로부터의 4개의 출력 비트가 분산되어 2-bit는
    (i+1)번째 반복의 중간비트에 영향을 미치고 다른 2-bit는 양 끝 비트에 영향을 줌
  - 각 S-Box의 출력 4-bit는 다음 반복에서 여섯 개의 다른 에 영향을 주며,
    같은 S-Box에 영향을 주지 않음
  - 두 개의 S-Box j, k에서 j=k에 대하여 S_j의 한 출력비트는 S_k의 중간비트에 영향을 주어서는 안 됨

- 알고리즘의 확산을 증가시키기 위한 기준

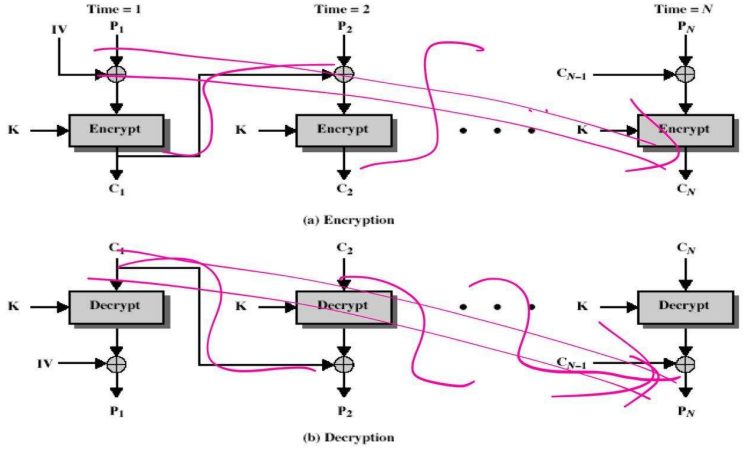
- 라운드 수
  - 라운드 수가 많으면 F함수가 약하더라도 암호 해독은 어려움
  - 전사적 키 탐색 공격 이상의 노력이 요구되도록 라운드 수 선정

- F함수 설계
  - 치환 결과를 복구하기 난해해야 함
  - 엄격한 쇄도 기준
    - 모든 i와 j에 대하여 어떤 입력비트 i가 바뀌면 S-Box의 출력비트 j는 1/2의 확률로 바뀌어야 함
  - 비트 독립 기준
    - 입력비트 i가 바뀌면 출력비트 j, k가 바뀌어야 함

✓ ECB – Electronic Codebook Book

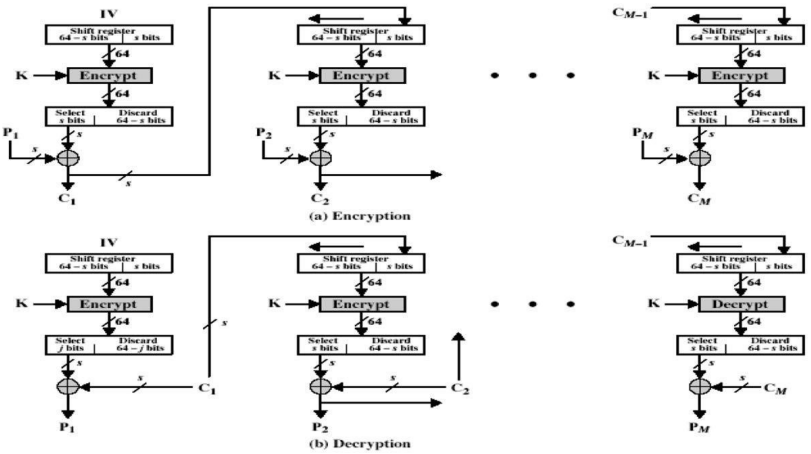


✓ CBC – Cipher Block Chaning



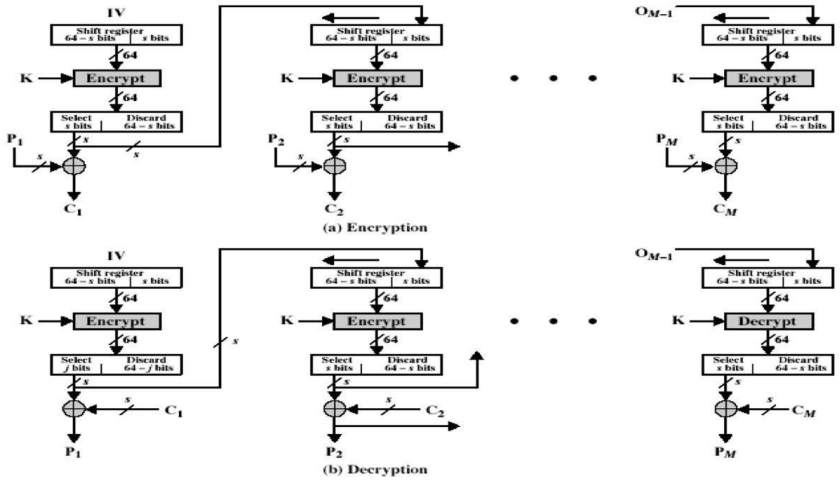
- 압축, 무결성, 암호화

✓ CFB – Cipher FeedBack



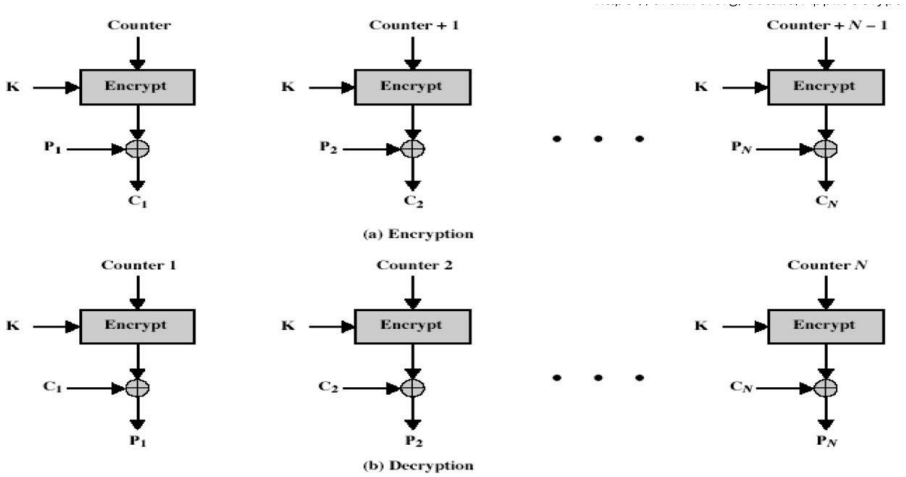
- 동기화

✓ OFB – Output FeedBack



- 스트림 암호

✓ CTR – CounTeR



- CFB와 유사
- 무선 사용

AES

✓ 핵심

- AES는 DES를 대체하는 블록 암호로 상업적 용도로 개발
  - 128-bit 블록 사이즈를 사용
  - 128, 192, 256-bit 를 key size로 사용
    민간 군용
- Feistel 구조를 사용하지 않지만, 각 라운드는 4가지 암호화 과정으로 이루어짐
  - 바이트 치환 변환 (Byte Substitute)
  - 행 이동 (Shift Row)
  - 열 혼합 (Mixing Column)
  - 라운드 키 더하기 (Add Round Key)

✓ 유한체 연산

- AES와 유한체 집합
  - AES는 8-bit를 기본 단위로 동작하며 덧셈, 곱셈, 나눗셈 연산을 유한체를 바탕으로 연산
    - *2K word → 1개의 S-Box로 더 빠르게 연산 가능*
  - Rijndeal 알고리즘 개발자들은 더 이상 약분할 수 없는 8차 다항식 30개를 선택하여 사용
- 유한체의 집합 S의 수학적 연산 정의

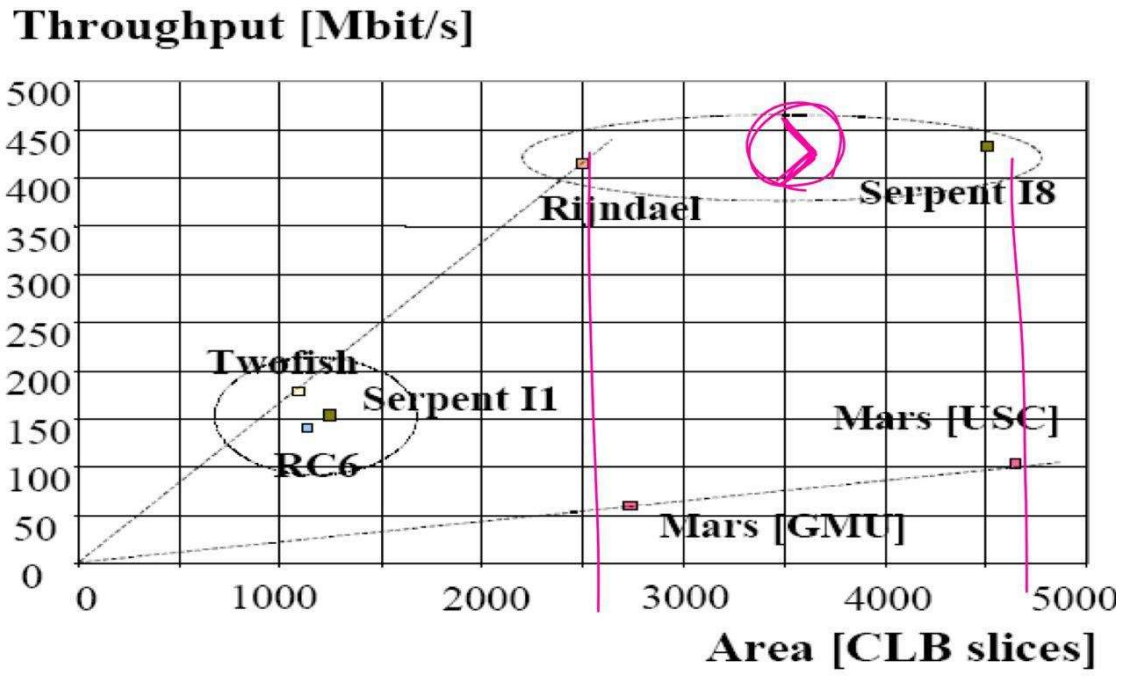
✓ 기준

- 초기 기준 (1997)
  - Security – effort to practically cryptanalyse
    보안성 향상
  - **Cost – computational**
    비용 절감
  - Algorithm & implementation characteristics
- 최종 기준 (2000)
  - **General security**
    일반적 보안성
  - **Software** & hardware **implementation** ease
    소프트웨어 및 하드웨어에 구현 용이
  - **Implementation attacks**
    부 채널 공격 (T.A./D.P.A.)

- **Flexibility** (in en/decrypt, keying, other factors)
  유연함(암호화/복호화, keying 등)

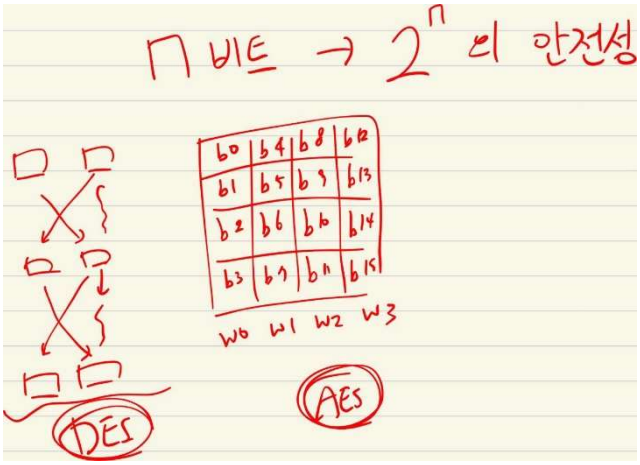
✓ 후보자 – 1차(안전성), 2차(구현성)

- 99년 8월 최종 후보자
  - MARS (IBM) – 복잡함 --- X
  - RC6 (USA) – 보안성 저조 --- X
  - Rijndael (Belguim) – clean, fast, good security margin (깔끔함, 빠름, 보안성 우수)
  - Serpent (Euro) – 느림 --- X
  - Twofish (USA) – 복잡합 --- X
- 2000년 최종
  - 신 기술보다 구 기술이 오히려 능률이 높았다…
  - Rijndael 알고리즘이 대부분의 테스트에서 우수하였다
    Serpent18 알고리즘이 약간 더 우수하였지만
  - ASIC 0.5(마이크로)m의 테스트에서는
    Rijndael 알고리즘은 우수한 점수을 얻었고
    Serpent18 알고리즘은 테스트를 실행하지 않았다
  - 최종적으로 Rijndael 알고리즘은 Serpent18 알고리즘보다
    칩의 면적과 속도 면에서 우수함을 보이게 되어 최종적으로 AES 암호 알고리즘으로 채택되었다.



✓ Rijndael

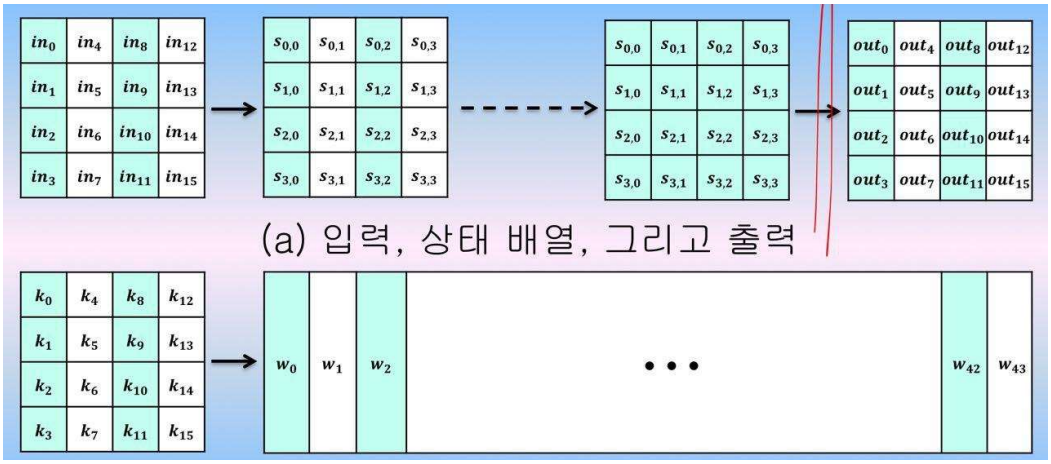
- Designed by Rijmen-Deamen in Belgium
- 128, 192, 256-bit keys
  10 12 14 word
- 128bit data
- Feistel 암호보다 반복적인다
- resistant against known attacks
  이미 알고 있는 공격방식에 대응
- speed and code compactness on many CPUs
  많은 CPU에서 속도 향상 및 코드 압축
- design simplicity
  심플한 디자인



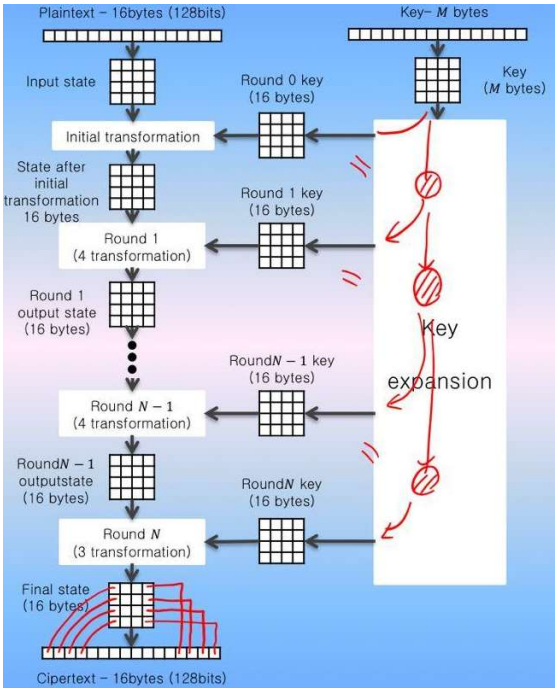
✓ 구조

- 일반 구조
  - 암호화 복호화 과정에서 128-bit 블록이 쓰이며, 4*4 바이트 행렬로 나타냄
  - 블록은 상태 배열로 복사되며 암호화와 복호화 각 단계에서 수정되어 쓰이고 마지막 단계에서 출력 행렬로 복사됨
  - 키는 비트 행렬로 나타내어지며, 키 스케줄러 연산에 따라 확장
  - 128-bit 키의 확장은 행렬 안에서 1워드로 4-bit가 할당되며,
    총 스케줄러는 128-bit 키에서 44 word 생성
    총 스케줄러는 192-bit 키에서 52 word 생성
    총 스케줄러는 256-bit 키에서 60 word 생성

  - AES 데이터 구조



- AES 암호화 과정
  - 키 길이는 16, 24, 32-byte이며
    키 길이에 따라
    AES-128, AES-192 AES-256으로 나뉨
  - 평문의 블록 사이즈는 128-bit(16-byte)



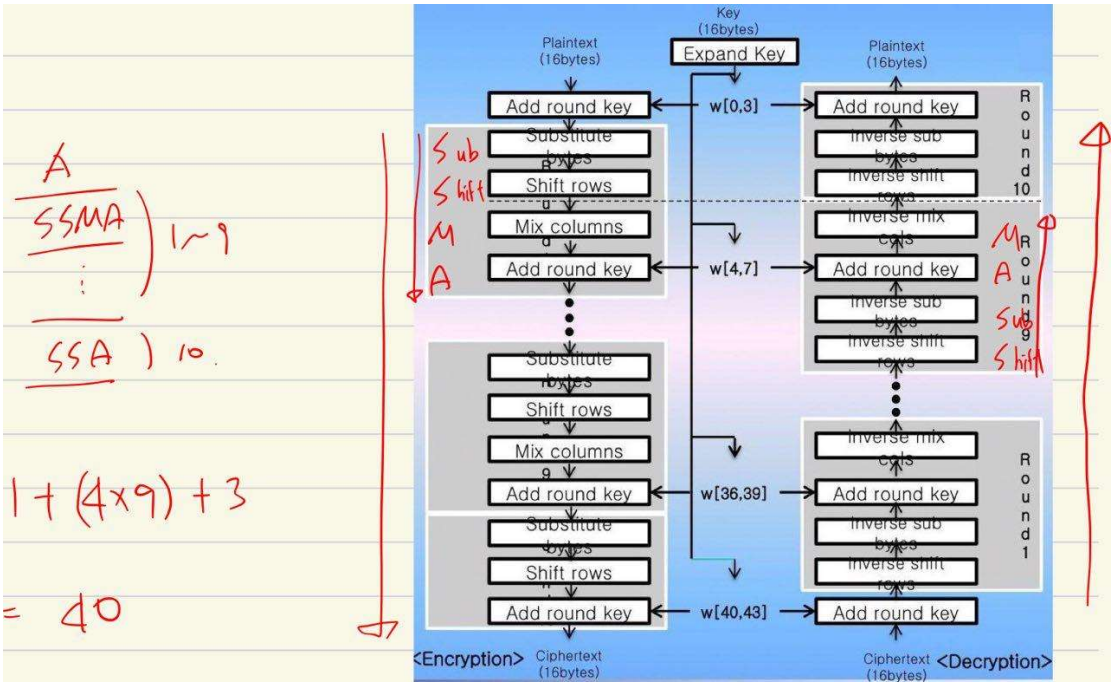
라운드 수	키 길이(bytes)
10	16
12	24
14	32

- AES 파라미터
  - N 라운드로 이루어진 암호화에서 라운드 수는 키 길이에 의존

키 길이 (워드/바이트/비트)	4/16/128	6/24/192	8/32/256
평문 블록사이즈 (워드/바이트/비트)	4/16/128	4/16/128	4/16/128
라운드 수	10	12	14
라운드 키 길이 (워드/바이트/비트)	4/16/128	4/16/128	4/16/128
확장 키 길이 (워드/바이트/비트)	44/176	52/208	60/240

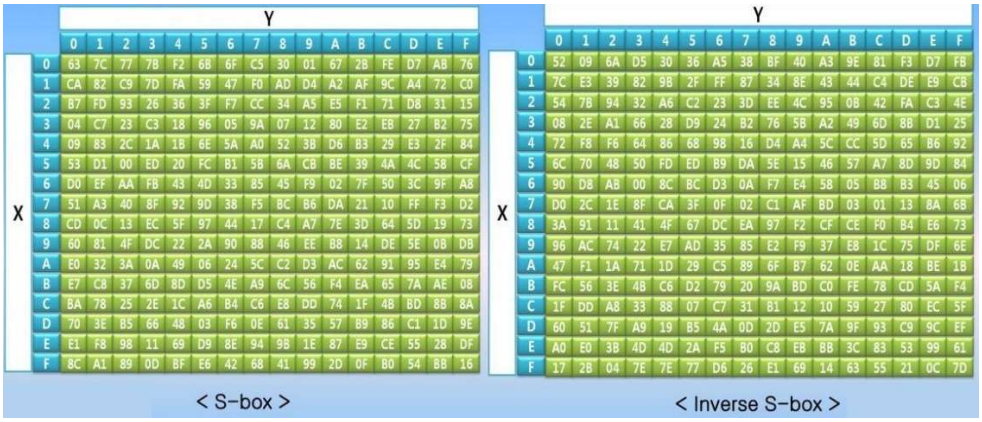
- 세부 구조
  - Rijndael 알고리즘을 포함하여, AES의 최종 평가에 오른 두 후보 알고리즘은 Feistel 구조를 사용하지 않으며, 각 라운드에서 순열과 변환이 행하여 지는 동안 전체 데이터 블록이 병렬 처리됨
  - 입력으로 주어지는 키는 44개의 32-bit word, w[i]로 확장되며
    4개의 서로 다른 word(128-bit)는 각 라운드에서 라운드 키로서 사용

- 1번의 순열(permutation)과정과 3번의 치환(substitution)과정으로 이루어진 4단계로 구성
  - 바이트 치환 변환 (Byte Substitute)
    - 블록의 바이트 대 바이트 치환 변환을 수행하기 위해 하나의 S-Box를 사용
  - 행 이동 (Shift Row)
    - 행렬의 행 이동을 통한 순열 과정
  - 열 혼합 (Mixing Column)
    - GF(2^8)산술 식을 사용한 치환 과정
  - 라운드 키 더하기 (Add Round Key)
    - 현재 블록과 확장된 키의 일부로 단순 비트 단위의 XOR 과정
- 암호화와 복호화 모두에서 라운드 키 추가 단계를 시작으로
  4단계 과정으로 이루어진 9회의 라운드가 진행되고, → SSMA
  3단계 과정으로 이루어진 마지막 10번째 라운드가 실행됨 → SSA
- 라운드 키 추가 단계에서만 유일하게 키 값을 사용하며,
  이 때문에 암호는 라운드 키 추가 단계로 시작되며 또는 끝남.
  처음과 마지막에 적용되는 각 단계는 키에 대한 내용을 모르더라도
  역으로 갈 수 있으며 더 이상의 보안성이 추가되지 않음
- 각 단계는 역이 가능하며 라운드 키 추가단계에 대한 역함수는
  같은 라운드 키를 블록에 XOR하여 얻음
- 복호화 알고리즘은 확장키의 역순을 사용함으로써 이루어지나,
  복호화 알고리즘은 암호화 알고리즘과 동일하지는 않음
- 암호화와 복호화를 위한 상태 배열은 동일함
- AES가 가지는 특수한 구조로 암호화의 역이 가능하기 위해
  암호화와 복호화 모두 마지막 라운드는 3단계만으로 구성



✓ 변환기능

- **바이트 치환 변환 (Byte Substitute)**
  - AES는 S-Box라고 불리는 바이트 값들의 16*16 행렬을 정의



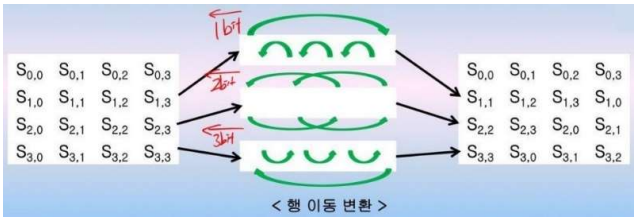
  - 256가지의 모든 가능한 8-bit 값의 순열을 포함
  - 상태 배열의 각 개별 바이트는 다음과 같은 방법으로 대응
  - 바이트의 가장 왼쪽 4-bit는 행 값(row value)
    가장 오른쪽 4-bit는 열 값(column value) 으로 사용됨
  - 행 값과 열 값은 S-Box에서 8-bit의 출력 값을 선택하기 위한 인덱스로 사용됨
  - 총 8-bit이며 4자리씩 끊어 16진수 2자리로 나타낸다

EA	04	65	85
83	45	5D	96
5C	33	98	B0
F0	2D	AD	C5

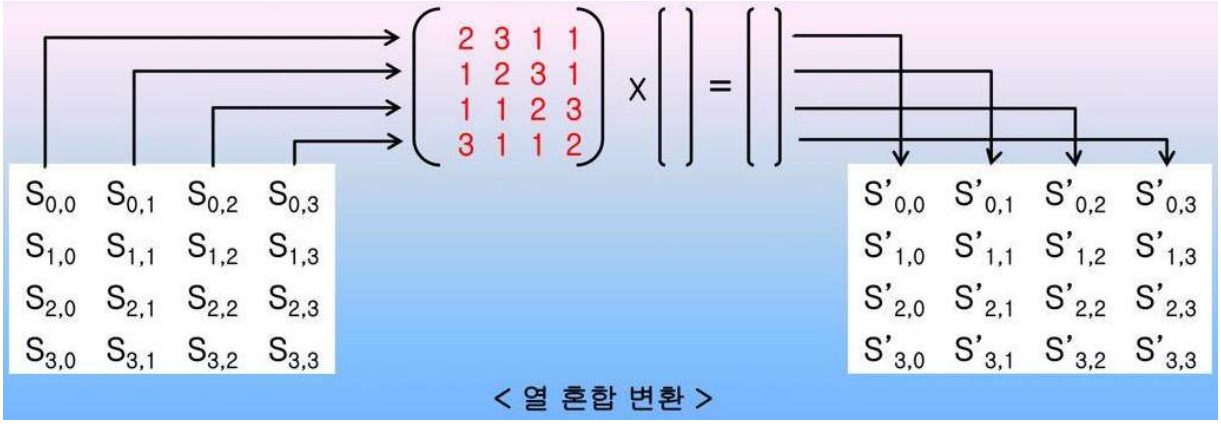
→

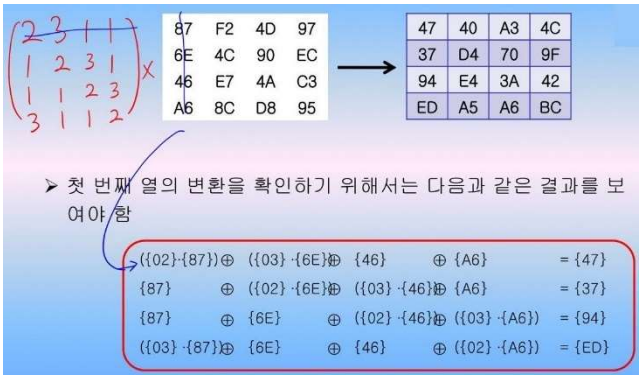
87	F2	4D	97
EC	6E	4C	90
4A	C3	46	E7
8C	D8	95	A6

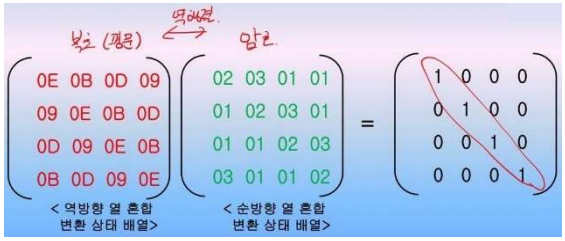
- **행 이동 (Shift Row)**
  - 행 이동 변환에서 상태 배열의 첫 번째 행은 바뀌지 않음
  - 두 번째 행은 1-byte,
    세 번째 행은 2-byte,
    네 번째 행은 3-byte씩 왼쪽으로 순환 이동
  - 역 행 이동 변환은
    첫 번째 행은 바뀌지 않고,
    두 번째 행은 1-byte,
    세 번째 행은 2-byte,
    네 번째 행은 3-byte씩 각각 오른쪽으로 순환 이동



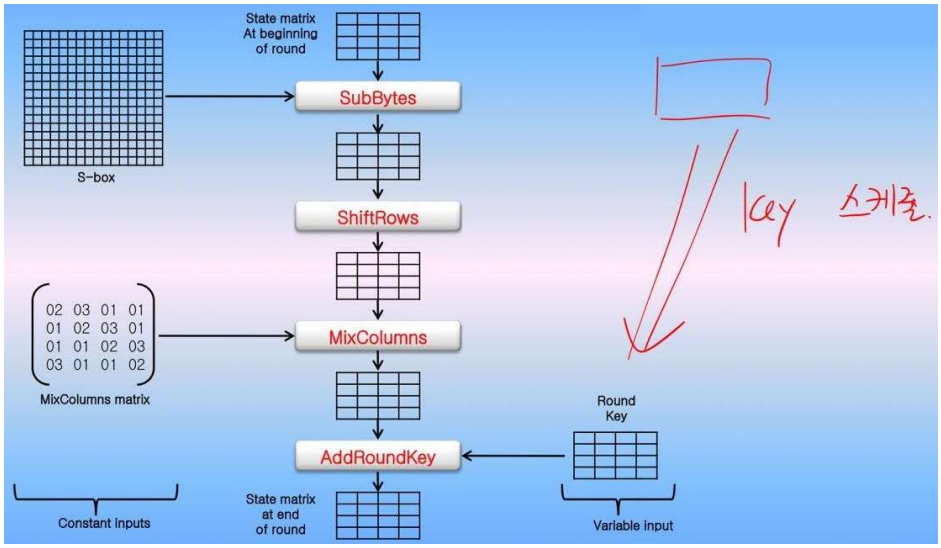
- **열 혼합 (Mixing Column)**
  - 열 혼합 변환은 열 단위로 계산됨
  - 열의 각 바이트는 그 열의 모든 4-byte 함수의 새로운 값으로 mapping 됨
  - 아래의 그림과 같은 상태 배열의 행렬 곱으로 계산됨
  - 순 방향과 역 방향의 상태 배열
  - 순 방향과 역 방향 열 혼합 수행 시, 방향에 맞는 상태 배열을 사용해서 계산해야 함
  - 두 배열은 서로 역원 관계







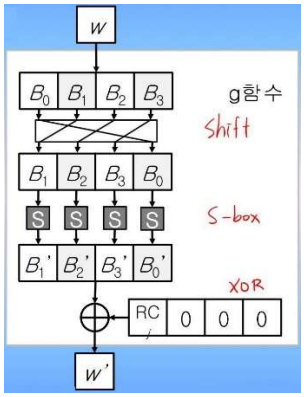
- **라운드 키 더하기 (Add Round Key)**
  - 라운드 키 추가 변환에서 상태 배열의 123-bit는 라운드 키의 128-bit와 비트단위로 XOR 연산을 수행
  - 상태 배열의 한 열 4-byte와 라운드 키의 1-word 사이의 열 연산

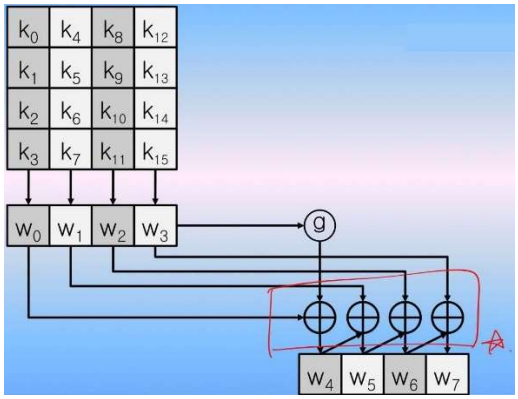


✓ 키 확장

- 키 확장 알고리즘
  - 4-word(16-byte)의 입력을 받아 44(176)의 선형 배열로 확장
  - 키는 확장된 키의 첫 4로 복사
  - 추가되는 word(w[i])는 word(w[i-1])와 4개 이전 word(w[i-4])에 의해 결정
    - 이전 4-word 중 3개는 단순 XOR
    - 첫 번째 word에서는 4번째 XOR을 수행하기 전에,
      순환이동, S-Box, 이전 라운드 상수와의 XOR 연산 수행

```
KeyExpansion (byte key[16], word w[44])
{
   word temp;
   for (i=0; i<4; i++) {
      w[i] = (key[4*i], key[4*i+1, key[4*i+2], key[4*i+3]);
      }
   for (i=4; i<444; i++) {
      temp = w[i - 1]; 순환
      if (i mod 4 = 0)
         temp = SubWord(RotWord(temp)) XOR Rcon[i/4];
      w[i] = w[i - 4] XOR temp;
      }
}
```



- 원리
  - **알려진 공격에 대해 저항성**을 갖도록 설계
  - 설계에 사용된 세부 기준
    - 암호화 키 또는 라운드 키의 일부분을 알아도 다른 라운드 **키 비트 계산이 불가능**
    - **역 변환** 가능
    - 다양한 프로세스에서의 **빠른 연산**
    - **대칭성을 제거**하기 위한 **라운드 상수의 사용**
    - 암호화 키 확산을 통해 **라운드 키 변환**
      각 키 비트의 변화는 라운드 키 비트에 영향을 미침
    - 암호화 키의 차이점만으로부터 라운드 키 차이점의 전체를 결정하는 것을 방지하기 위한 **충분한 비선형성**
    - **간결한** 표현

✓ 구현

- 복호화
  - AES 복호화는 암호화 과정을 역 순으로 수행하기 때문에 암호화 과정과 동일한 과정이 아님
  - 복호화 과정을 정의할 수는 있음
    - 모든 단계를 역순으로 수행
    - 키 스케줄링을 다르게 하여 수행
  - 결과 값이 변경되지 않는 경우 동작 → S-S-M-A
    - 바이트 치환과 행 이동을 맞바꿈
    - 열 혼합과 라운드 키 추가를 맞바꿈
  - .
- *** **암호화 → S – S – M – A**
  sub shift mix add
- *** **복호화 → S – S – A - M**
  shift sub add mix

- 구현의 관점
  - 8-bit CPU에서 매우 효율적으로 구현 가능
    - 바이트 치환 연산은 바이트 레벨 연산으로써 256-byte의 테이블만이 요구됨
    - 행 이동은 단순한 바이트 이동임
    - 열 혼합 연산은 모든 연산이 바이트로 실행되는 GF(2^8)상의 행렬 곱셈을 필요로 하며, 테이블 참조와 바이트 단위 XOR 연산으로 단순화될 수 있음
    - 라운드 키 추가는 바이트 단위 XOR 연산임
    - 32-bit의 word를 사용하기 위해 재정의
    - 256-word로 이루어진 4개의 테이블을 미리 연산 가능
    - 매 라운드의 각 열은 4번 테이블 참조와 4번의 XOR을 사용하여 계산 가능
    - 테이블을 저장하는데 4KB 필요
  - 설계자들은 이러한 구현 용이성이 AES 암호로서 선택된 핵심 이유라고 여기고 있음

부 채널 공격

✓ 소형 정보보호장치 대중화

- 스마트카드, USB 보안장치, USIM 카드 RFID/USM 암호 모듈, PDA, crypto-module 등

✓ P.Kocher에 의해 제안된 소형 정보보호장치에 대한 가장 위협적인 공격

- TA, FA, SPA/DPA/CPA, SEMA/DEMA 등

✓ 인체의 부 채널

- 전통적 방식
  - 맥박수, 외형관측, 눈동자 관찰, 땀 분비 관찰, 소변/대변 색 관찰
- 현대식 방식
  - 청진기, X-RAY, CT, MRI, 신체해부(수술)

✓ 캠퍼스의 부 채널

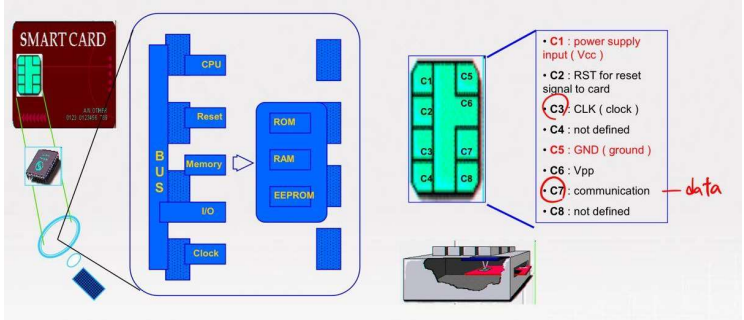
- 정문, 후문이 아닌 쪽 문이 부채널에 해당한다

✓ 구분

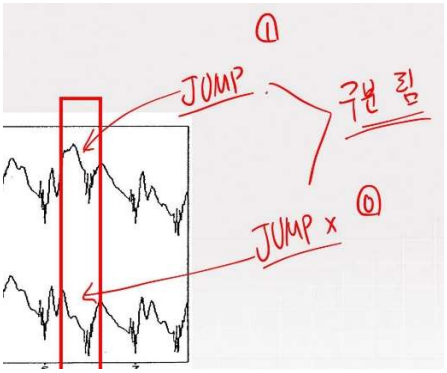
- 정규 채널 → 데이터가 입. 출력되는 경로인 정상적 경로
- 부 채널 → 정규 채널이 아닌 그 외의 방법으로 접근하는 경로를 말한다
- Traditional Assumptions – no side-channel leaked
  이론상 – 부 채널 누출 없음
- Actual Systems – side-channel leaked
  실제 시스템 – 부 채널 누출됨
  - Power consumption, Electro-magnetic radiation, Timing, Errors, Etc.
    전력 소비 전자 방사선 타이밍 오류들
- 입. 출력에 따른 공격 분류

- 역사
  - 1996 – TA (Timing Attack)
  - 1997 – FA (Differential Fault Analysis)
  - 1999 – DPA (Differential Power Analysis)
  - 2001 – EMA (Electro Magnetic Analysis)

- 스마트카드



- SPA (Simple Power Analysis)
  - 스마트카드에서 연산 되는 암호 프로세서의 전력소비를 직접 관찰하여
    카드에 저장되어 있는 비밀키를 직접 공격하는 방법
  - 스마트카드 외부에서 관측 → 키 또는 순간 동작 중인 연산에 대한 정보를 추론하는 공격 방법
  - 16-round DES 측정 파형 → 0.4ms/1-round interval, @ 3.7MHz clock, 0.27microsecond
  - 2~3 round DES 측정 파형
  - 28-bit 키 레지스터 C와 D
    - 2-round에서 1-bit left shifting
    - 3-round에서 2-bit left shifting
  - Jump 명령이 구분됨



  - To RAS
    - S(제곱 연산) → 반드시 수행
    - M(곱 연산) → 결과가 1이 된다 진폭이 커져 결과가 달라진 것 확인 가능
  - To ECC
    - D(2배 연산) → 반드시 수행
    - A(덧셈 연산) → 결과가 1이된다. 진폭이 켜지면서 결과가 달라진 것 확인 가능

- DPA
  - 평문 입력 → 암호문 출력
    - 순간 전력 샘플 데이터 수집 → 평균 차분
  - 비밀키가 반응하는 지점에서 함수가 내장된 연산
    비밀키와 correlation 특성을 이용한 공격
  - 키가 동작하면 진폭이 눈에 띄게 커지게 되고
    키가 동작하지 않으면 진폭이 거의 0가 된다

- 단계 – 일반화

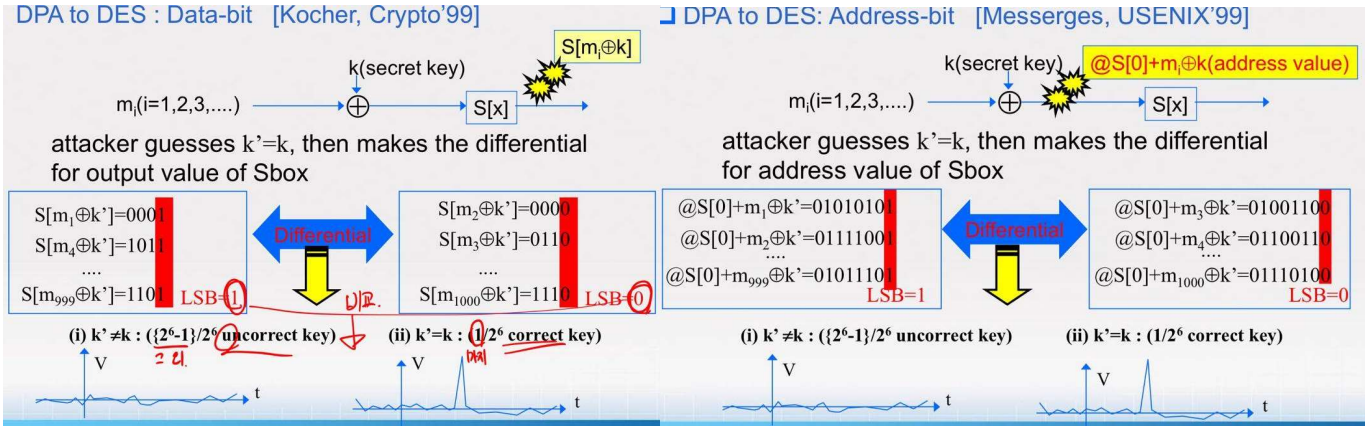
1. 전체 구하려는 스마트 카드의 n-bit 비밀키 K라 정의하고
   최상위 혹은 최 하위 비트의 순서로 순차적으로 키의 일부가 입력되어 연산 된다고 가정
2. 먼저 키의 일부인 K_i 또는 $K_i,\ldots,K_j$를 미리 가능한 키 영역에서 추측
3. 추측한 키와 전력 신호 데이터를 구할 때 쓴 평문을 입력으로 연산을 수행한 후
   분류 함수를 이용하여 전력신호 데이터를 분류한다

   S0={Si[j] | D(key, data) = 0 or low hamming weight}
   S1={Si[j] | D(key, data) = 1 or high hamming weight}
4. 양분한 데이터를 각각 평균하여 차분신호를 구한다

$$\Delta_D[j] = \frac{1}{|S_0|}\sum_{S_i[j]\in S_0} S_i[j] - \frac{1}{|S_1|}\sum_{S_i[j]\in S_1} S_i[j]$$

5. 평문과 전력소비신호의 수가 많을 시 추측한 키가 옳다면 신호가 non-zero이고
   맞지 않다면 거의 0에 수렴한다

- To DES



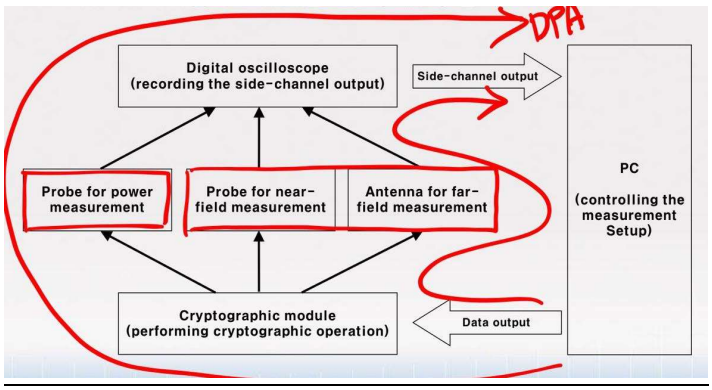
- CPA

- 첨두간 기준주기와 보간법을 적용한 전력신호의 정렬

  - 기준 전력신호를 정하고
    기준 전력신호로부터 기준 주기(t)를 구하고
    전력신호의 첨두간 주기 동안에 기준 주기와 같도록 보간법을 적용하여 정렬

- AES의 공격(일정 클럭)
  - 128-bit의 비트 열 입력
    128,192, 256-bit의 비트 열 암호화 키로 구성
    기본적으로 8-bit 비트 열인 바이트 단위로 실행
    SubBytes(), ShiftRow(), MixColumn(), AddRoundKey()의 함수로 구성
    암호화 키 비트 열 크기 – 128, 192, 256
    반복 라운드 수 – 10, 12, 14 라운드
  - 제로통과점 기준으로 정렬된 전력신호 상관계수 추정 값보다
    첨두점 기준으로 정렬된 전력신호 상관계수 추정 값이
    20%정도 향상된 결과가 나왔다
- 결과
  - 상관계수가 최대 위치와 전력신호의 첨두점의 위치가 동일
  - 첨두점을 기준으로 전력신호를 정렬하는 방법이 전력분석공격에 유리

- EMA (Electro Magnetic Analysis)
  - 공격 원리
    - 암호장치의 내부 게이트에서 전류의 흐름에 의하여 발생되는
      전자파장에 대한 정보의 노출을 분석하는 공격방법
  - 공격 방법
    - Simple EMA / Differential EMA
  - 공격 대상
    - 스마트카드, USB Key-token, RFID, 암호 모듈/장치
  - 유럽 SCARD(Side Channel Analysis Resistant Design)
    - Power attack 및 EM attack을 위한 장치 구성 블록도



    - ECC 암호에 대한 SEMA 공격
      160-bit EC 점 곱셈연산에서 전자파 방사파형 – SEMA
      DA → 1 D → 0