제 5 장
블록 암호 모드

박 종 혁 교수

Tel: 970-6702

Email: jhpark1@seoultech.ac.kr

1절 블록 암호 모드

2절 ECB 모드

3절 CBC 모드

4절 CFB 모드

5절 OFB 모드

6절 CTR 모드

7절 기타 모드

제1절 블록 암호 모드

1.1 블록 암호와 스트림 암호

1.2 모드란?

1.3 평문 블록과 암호문 블록

1.4 적극적인 공격자 멜로리

1.1 블록 암호와 스트림 암호

- **블록 암호(block cipher)**
  - 어느 특정 비트 수의「집합」을 한 번에 처리하는 암호 알고리즘 이「집합」을 **블록(block)**

  - 블록의 비트 수를 **블록 길이(block length)**
    - DES나 트리플 DES의 블록 길이는 64비트
    - DES: 64비트 평문, 64비트 암호문
    - AES: 블록 길이는 128비트, 192비트, 256비트

1.1 블록 암호와 스트림 암호

- 스트림 암호(stream cipher)는 데이터의 흐름(스트림)을 순차적으로 처리해가는 암호 알고리즘
- 1비트, 8비트, 혹은 32비트 등의 단위로 암호화와 복호화

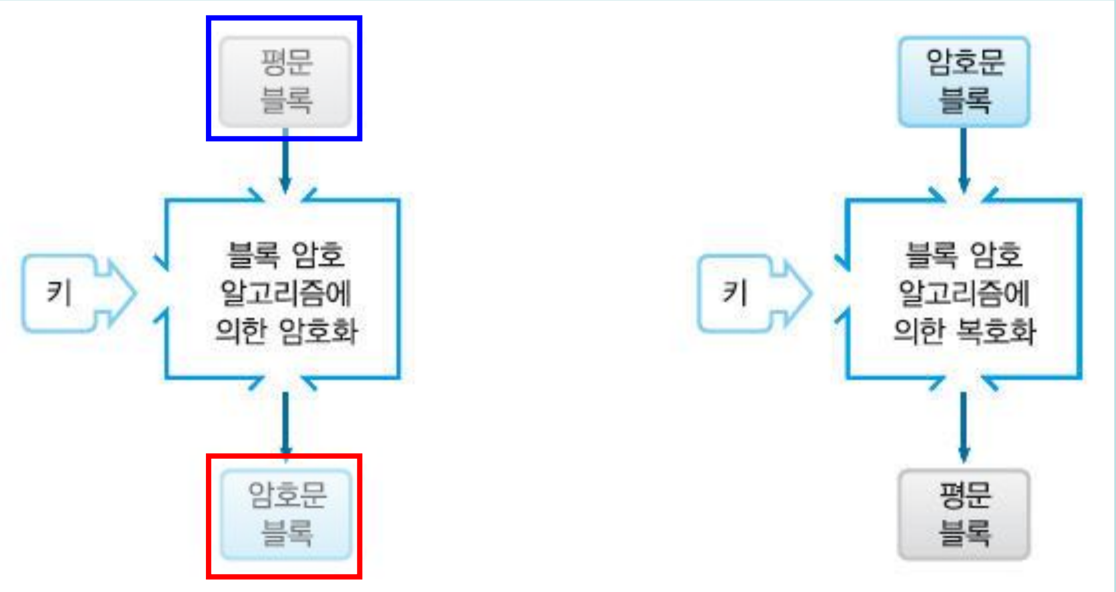
1.2 모드란?

- **모드란**
  - 긴 평문을 블록으로 나누어 암호화
  - 각 블록에 암호 알고리즘을 반복해서 사용하여 긴 평문 전체를 암호화

블록암호 주요 모드

- ECB 모드 : Electric CodeBook mode(전자 부호표 모드)
- CBC 모드 : Cipher Block Chaining mode(암호 블록 연쇄 모드)
- CFB 모드 : Cipher-FeedBack mode(암호 피드백 모드)
- OFB 모드 : Output-FeedBack mode(출력 피드백 모드)
- CTR 모드 : CounTeR mode(카운터 모드)

1.3 평문 블록과 암호문 블록



• 평문 블록과 암호문 블록

- 평문 블록: 블록암호 알고리즘에서 암호화 대상이 되는 평문
- 암호문 블록: 블록암호 알고리즘을 써서 평문 블록을 암호화한 암호문

1.4 적극적인 공격자 멜로리

- 도청
- 위장
- 변조
- 적극적 공격자: 맬로리(Mallory)

제2절 ECB 모드

2.1 ECB 모드란?

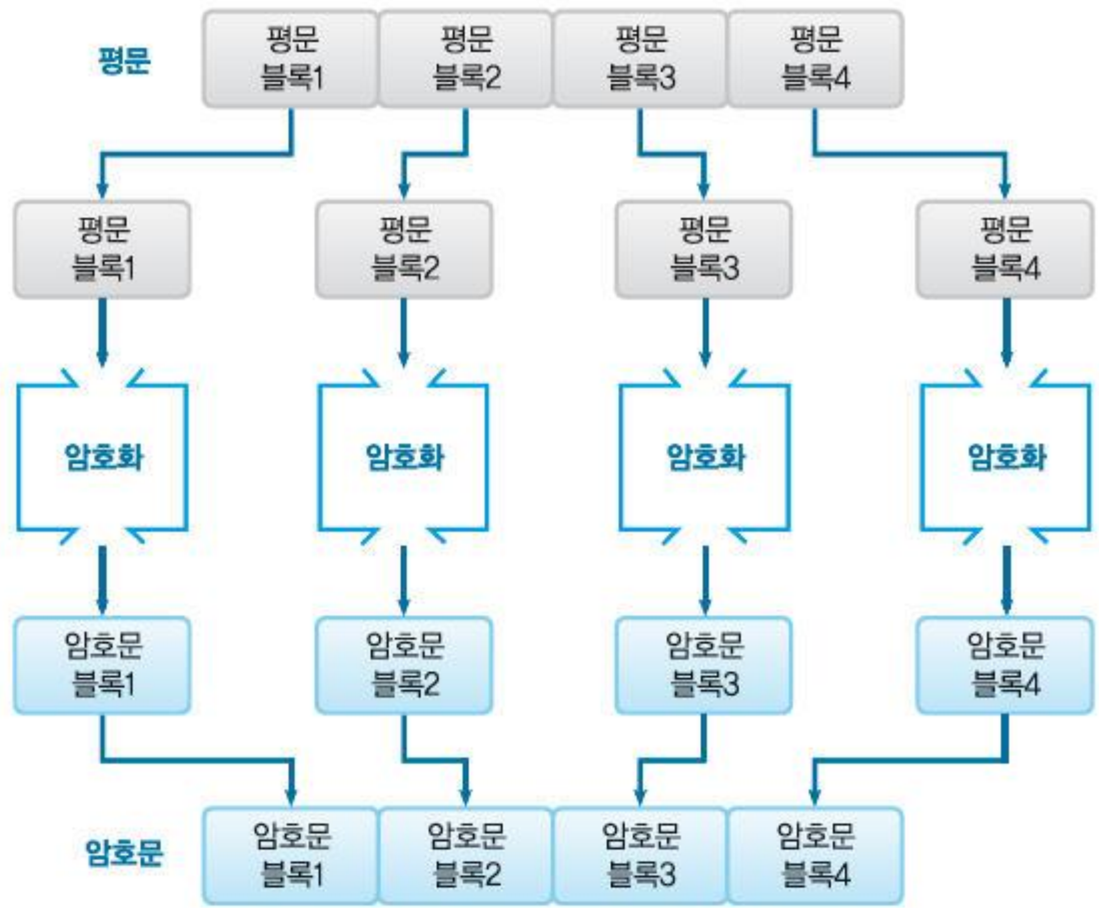
2.2 ECB 모드의 특징

2.3 ECB 모드에 대한 공격

2.1 ECB 모드란?

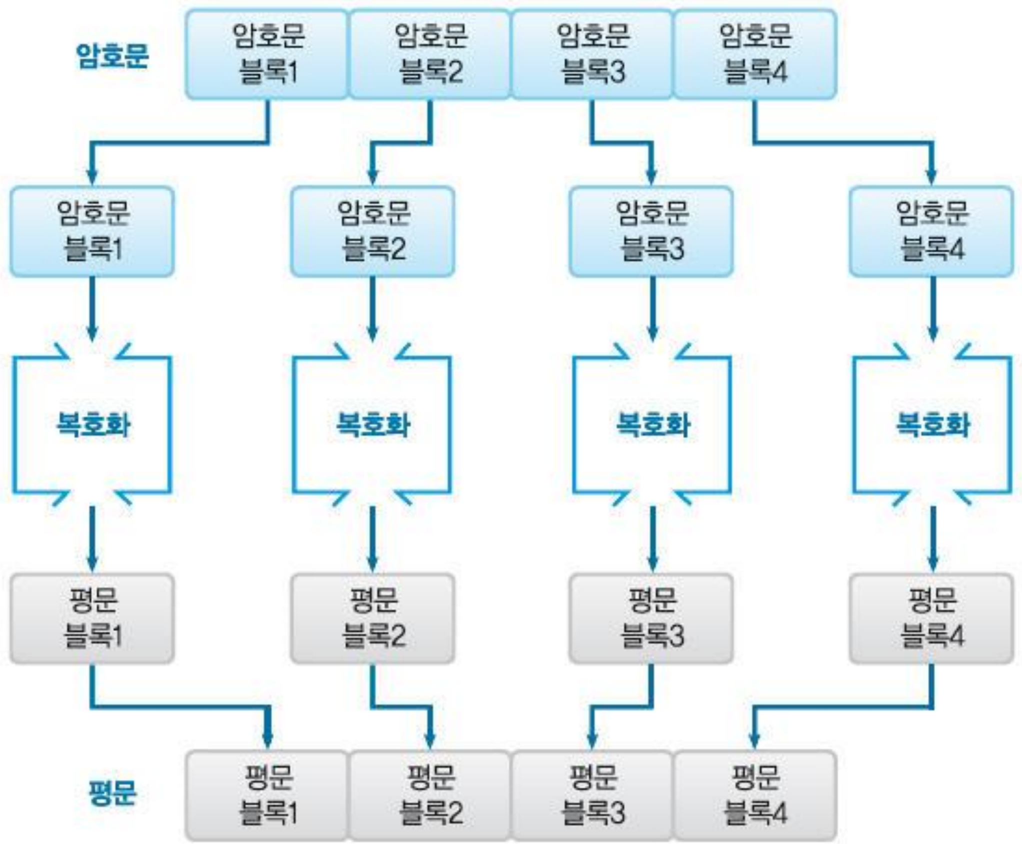
- Electric CodeBook 모드
- 평문 블록을 암호화한 것이 그대로 암호문 블록
- 패딩(padding)
  - 마지막 평문 블록이 블록 길이에 미치지 못할 경우에 추가하여 블록 길이가 되도록 맞춤

ECB 모드에 의한 암호화



(a) ECB 모드에 의한 암호화

ECB 모드에 의한 복호화



(b) ECB 모드에 의한 복호화

2.2 ECB 모드의 특징

- 기밀성이 가장 낮은 모드
- 암호문을 살펴보는 것만으로도 평문속의 패턴 반복성 감지 가능
- 안전하지 않음

2.3 ECB 모드에 대한 공격

- 어느 은행의 송금 의뢰 데이터가 다음 3개의 블록으로 구성

  블록1 = 송금자의 은행계좌번호
  블록2 = 송금처의 은행계좌번호
  블록3 = 송금액

- 송금 의뢰 데이터를 받은 은행은 지정된 금액을 송금자로부터 송금처의 계좌로 이동

- A-5374의 계좌로부터 B-6671의 계좌로 1억 원을 송금하라는 송금 의뢰 데이터를 만들어보자

2.3 ECB 모드에 대한 공격

- A-5374의 계좌로부터 B-6671의 계좌로 1억 원을 송금하라는 송금 의뢰 데이터를 만들어보자
  평문 블록1 = 41 2D 35 33 37 34 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
  (송금자:A-5374)
  평문 블록2 = 42 2D 36 36 37 31 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
  (송금처:B-6671)
  평문 블록3 = 31 30 30 30 30 30 30 30 30 20 20 20 20 20 20 20
  (송금액:100000000)

- 암호화 하자
  암호문 블록1 = 59 7D DE CC EF EC BA 9B BF 83 99 CF 60 D2 59 B9
  (송금자:????)
  암호문 블록2 = DF 49 2A 1C 14 8E 18 B6 53 1F 38 BD 5A A9 D7 D7
  (송금처:????)
  암호문 블록3 = CD AF D5 9E 39 FE FD 6D 64 8B CC CB 52 56 8D 79
  (송금액:????)

2.3 ECB 모드에 대한 공격

- **공격자 맬로리가 암호문 블록의 1과 2의 내용을 바꾼다**

  암호문 블록1 = DF 49 2A 1C 14 8E 18 B6 53 1F 38 BD 5A A9 D7 D7 (송금자:????)
  암호문 블록2 = 59 7D DE CC EF EC BA 9B BF 83 99 CF 60 D2 59 B9 (송금처:????)
  암호문 블록3 = CD AF D5 9E 39 FE FD 6D 64 8B CC CB 52 56 8D 79 (송금액:????)

- **은행이 이것을 복호화하면 다음과 같이 된다**

  평문 블록1 = 42 2D 36 36 37 31 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 (송금처:B-6671)
  평문 블록2 = 41 2D 35 33 37 34 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 (송금자:A-5374)
  평문 블록3 = 31 30 30 30 30 30 30 30 30 20 20 20 20 20 20 20 (송금액:100000000)

2.3 ECB 모드에 대한 공격

- 원래: A-5374의 계좌에서 B-6671의 계좌로 1억 원을 송금하라는 지시

➔ B-6671의 계좌에서 A-5374의 계좌로 1억 원을 송금하라는 정반대의 지시로 변조

- 암호문 조작의 불법적 행위
  - 메시지 인증 코드 (9장) 병용하면 검출 가능
  - 다른 모드 사용

제3절 CBC모드

3.1 CBC 모드란?

3.2 초기화 벡터

3.3 CBC 모드의 특징

3.4 CBC 모드에 대한 공격

3.5 패딩 오라클 공격

3.6 초기화 벡터 공격

3.7 CBC 모드 활용의 예

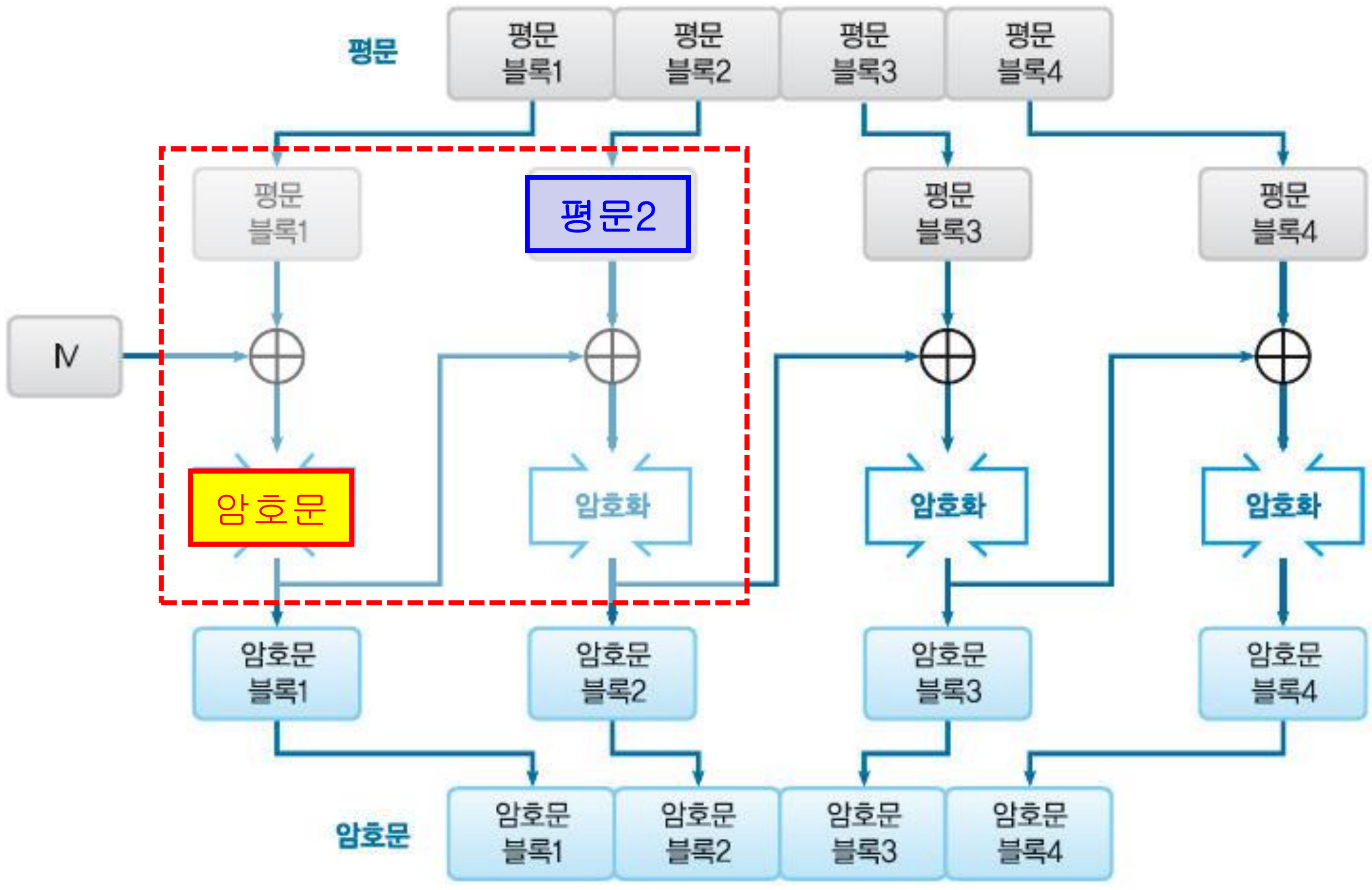
3.1 CBC 모드란?

- CBC 모드
  - Cipher Block Chaining 모드(암호 블록 연쇄 모드)의 약자
  - 암호문 블록을 마치 체인처럼 연결시키기 때문에 붙여진 이름

  - CBC 모드에서는 1 단계 앞에서 수행되어 결과로 출력된 암호문 블록에 평문 블록을 XOR 연산 후 암호화 수행

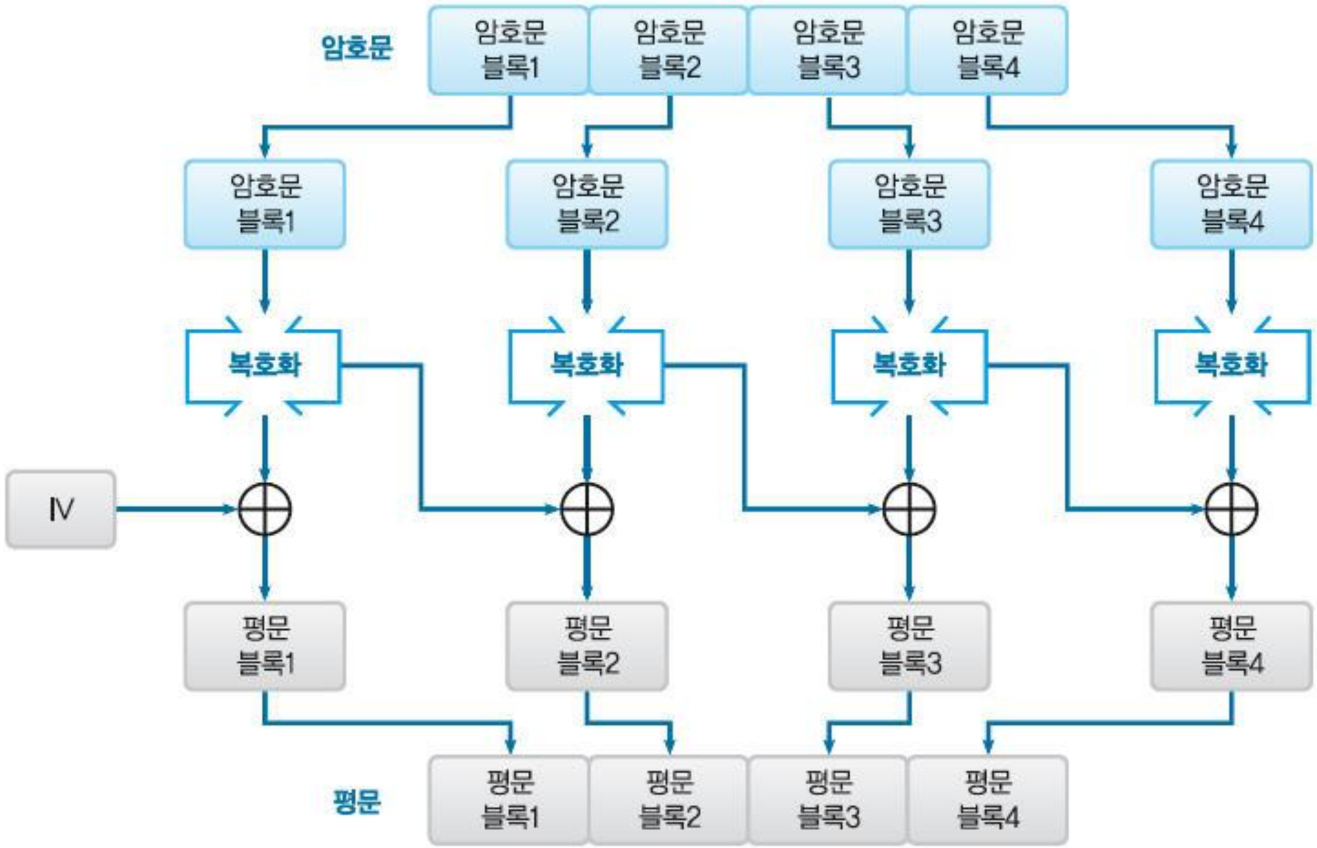
  - 각각의 암호문 블록은 단지 현재 평문블록 뿐만 아니라 그 이전의 평문 블록들의 영향도 받게됨

CBC 모드에 의한 암호화



(a) CBC 모드에 의한 암호화

CBC 모드에 의한 복호화



(b) CBC 모드에 의한 복호화

3.2 초기화 벡터

- 초기화 벡터(IV: initialization vector)
  - 최초의 평문 블록을 암호화할 때 「1 단계 앞의 암호문 블록」이 존재하지 않으므로 「1 단계 앞의 암호문 블록」을 대신할 비트열인 한 개의 블록을 준비할 필요

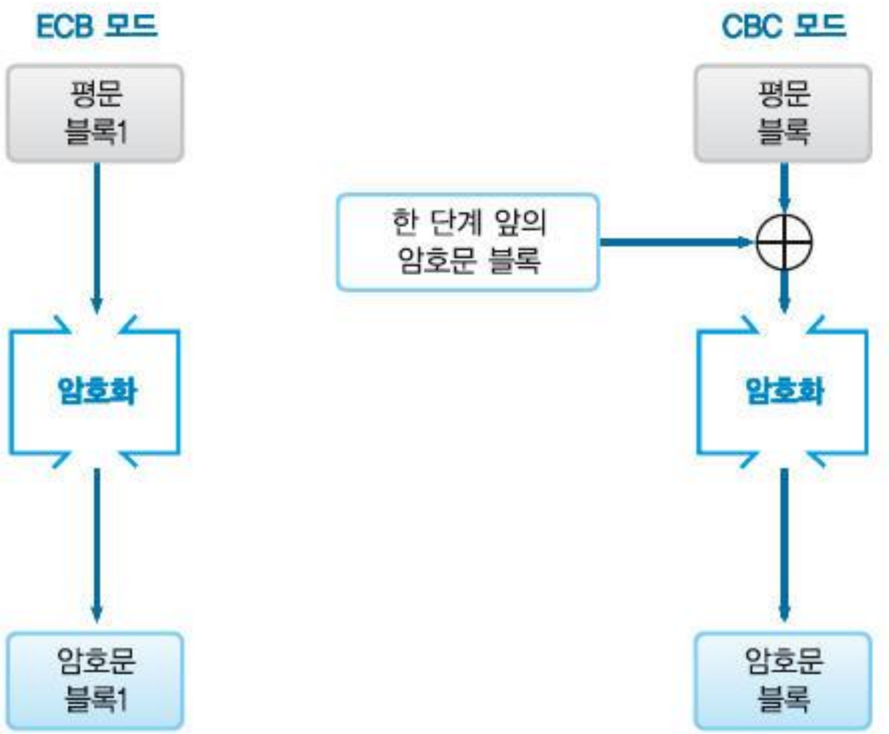
3.3 CBC 모드의 특징

- **평문 블록은 반드시 「1 단계 앞의 암호문 블록」과 XOR 연산 후 암호화**

  ➔ 만약 평문 블록1과 2의 값이 같은 경우라도 암호문 블록1과 2의 값이 같아진다고는 할 수 없고, <u>ECB 모드가 갖고 있는 결점이 CBC 모드에는 없음</u>

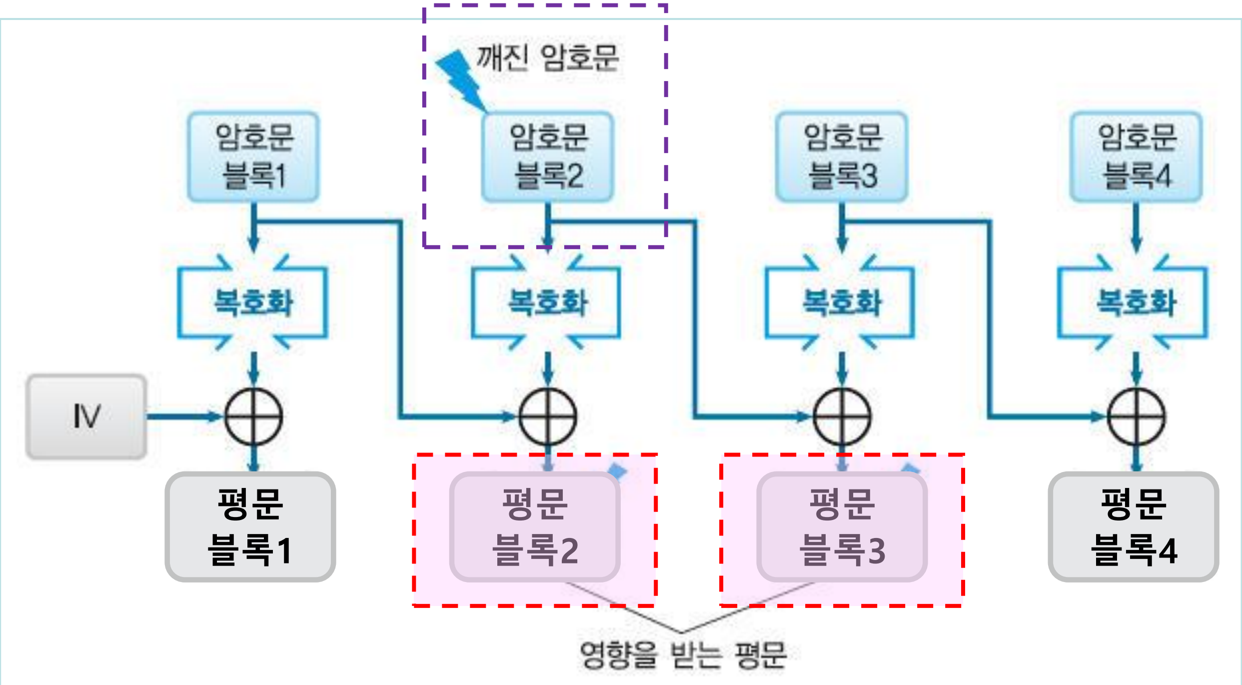
- **암호문 블록3을 만들고 싶다면**
  – 적어도 평문 블록의 1, 2, 3까지가 갖추어져 있어야 함

ECB 모드와 CBC 모드



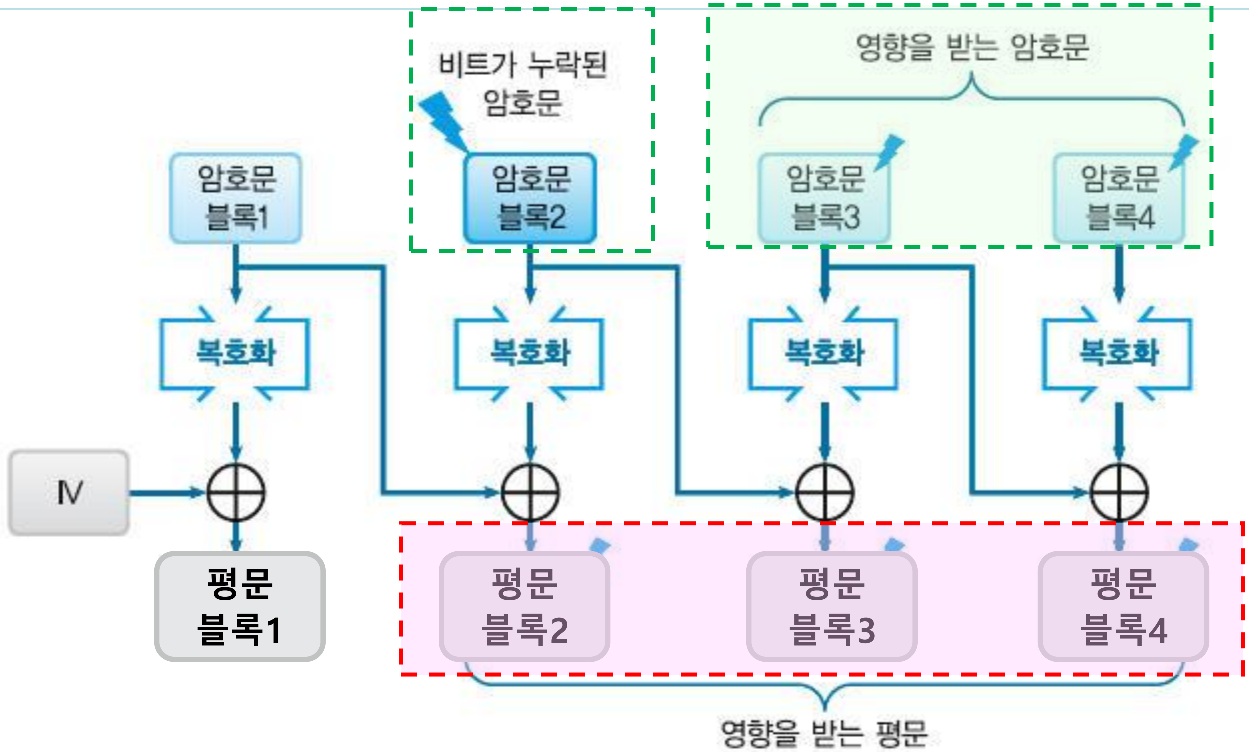
ECB 모드와 CBC 모드의 비교

깨진 암호문



• CBC 모드에서 암호문 블록이 파손되면 2개의 평문 블록에 영향을 미친다

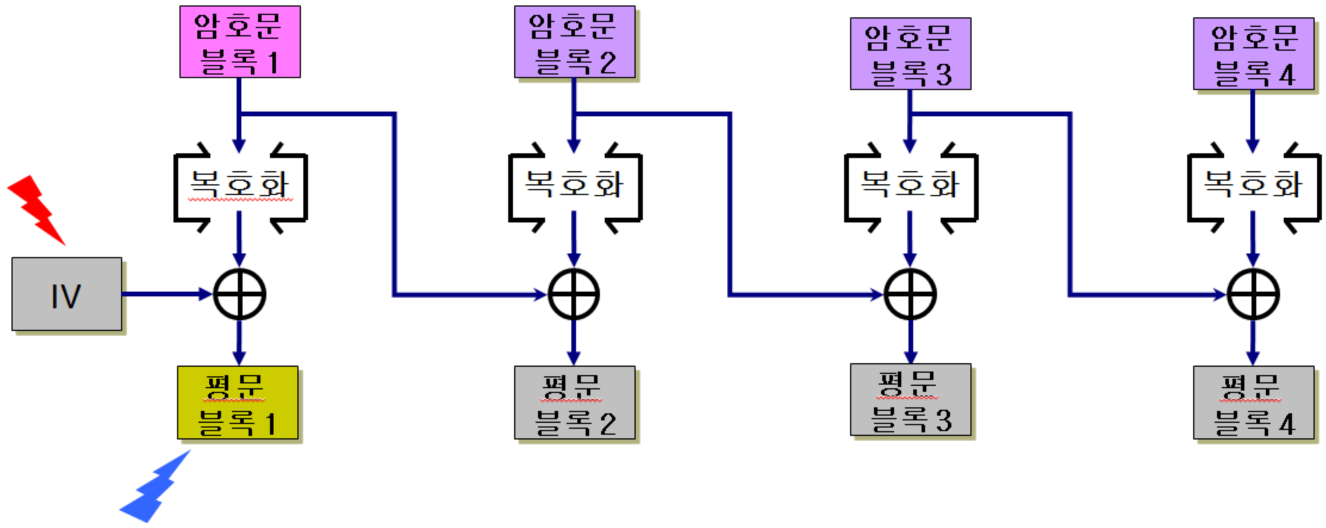
암호문 블록에서 비트 누락시 영향



• CBC 모드에서 암호문 블록에서 비트 누락이 생기면 그 이후의 평문 블록 전체에 영향을 미친다

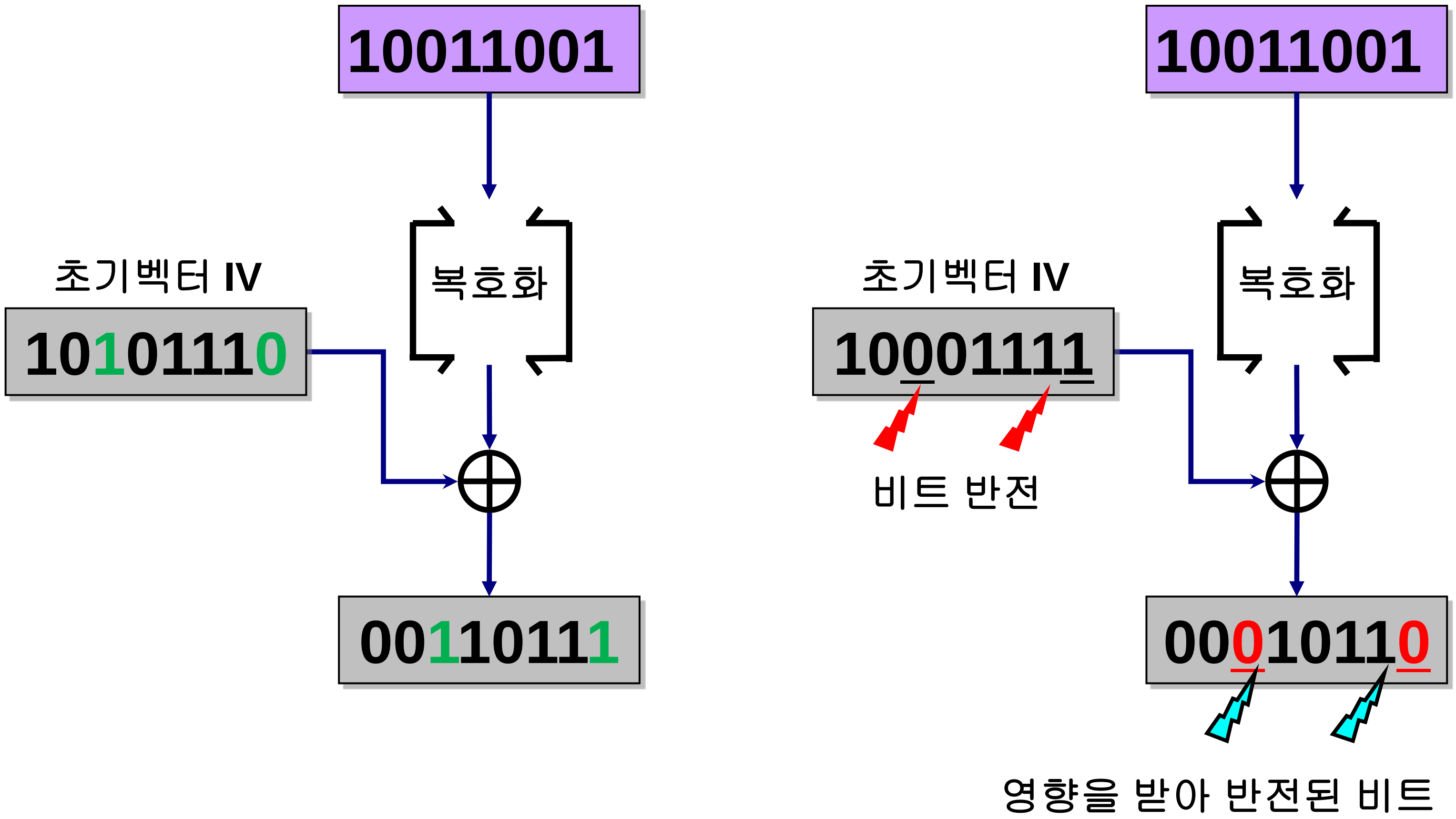
3.4 CBC 모드에 대한 공격(초기화 벡터의 비트 반전)

- 초기화 벡터의 비트를 반전시켜 평문 블록의 비트를 반전시키는 공격(CBC 모드)



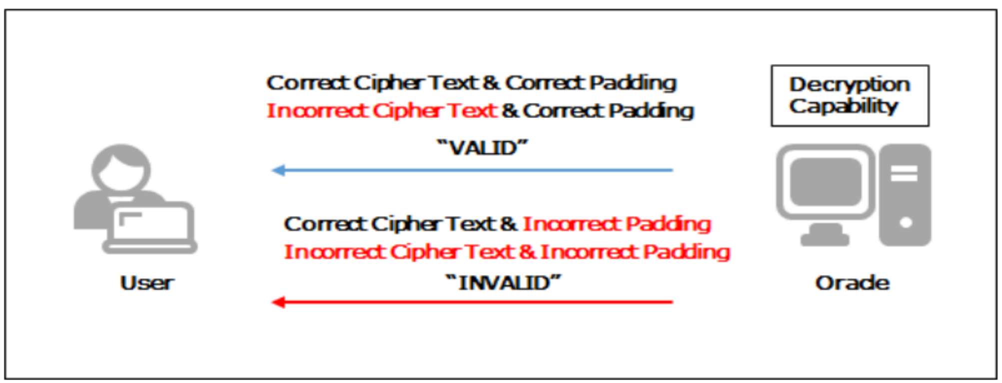
CBC 모드에서 초기벡터의 비트반전에 대한 영향

초기벡터 IV에 비트 반전이 없을 경우　　초기벡터 IV에 비트 반전이 있는 경우



3.5 패딩 오라클 공격

- 블록 암호의 패딩을 이용한 공격
  - 블록암호에서는 평문의 길이가 블록길이의 정수배가 되지 않을때, 마지막 블록에 패딩 이라는 데이터 (의미 없는 값-보통 0)를 추가
- 패딩 내용을 조금씩 변화시켜 암호문을 여러 차례 송신
- 수신자가 올바로 복호화 하지 못할 경우 오류를 관찰하여 평문 정보를 취득
- 패딩을 사용하는 모든 모드에 적용
- 공격자가 메시지의 패딩이 옳은지 아닌지의 여부를 판단하는 오라클이 있다면
  - 이 오라클을 이용하여 암호문에 대응하는 메시지를 알아낼 수 있음



패딩 오라클 공격 방어

- **패딩 오류 메시지 통합**
  - 모든 패딩 오류에 대해 동일한 오류 메시지를 반환하여 공격자가 패딩 오류를 추측할 수 없도록 방어
  - 예: "복호화 오류" 또는 "잘못된 패딩"과 같은 일반적인 메시지로 처리.
- **불완전 복호화 차단**
  - 서버가 암호문을 복호화할 때 중간 상태를 반환하지 않도록 구현
  - 복호화 과정 중에 발생한 오류를 즉시 처리하고, 공격자가 내부 상태를 알 수 없도록 방지
- **암호화 모드 변경**
  - CBC(Cipher Block Chaining) 모드에서 발생할 수 있는 패딩 오라클 공격을 방어하기 위해 GCM (Galois/Counter Mode) 등 보다 안전한 모드를 사용
- MAC (Message Authentication Code)을 사용하여 메시지 무결성 확인
- 복호화 후 패딩 검사와 별도로 무결성 검사도 병행하여 공격자가 데이터를 변조하지 못하도록 보안 강화

3.6 초기화 벡터(IV) 공격

- 초기화 벡터는 난수(Random Number)로 부여되야 함
- SSL/TLS의 TLS 버전 1.0
  - 초기화 벡터를 이전 CBC 모드로 암호화한 마지막 블록을 사용

  ➔문제점 발견 후:

  TLS 버전 1.1 부터는 초기화 벡터를 명시적으로 부여 (RFC 5246)

3.7 CBC 모드 활용 예

- SSL/TLS:
  - 통신 기밀성 보호를 위해 CBC 모드를 사용
- 3DES-EDL-CBC
  - 트리플 DES를 CBC모드로 사용
- AES-256-CBC
  - 키 길이가 256비트인 AES를 CBC모드로 사용
- IPsec에는 통신의 기밀성을 지키기 위해 CBC 모드를 사용
- 인증을 수행하는 대칭암호 시스템의 하나인 Kerberos version 5에서 사용

제4절 CFB 모드

4.1 CFB 모드란?

4.2 초기화 벡터

4.3 CFB 모드와 스트림 암호

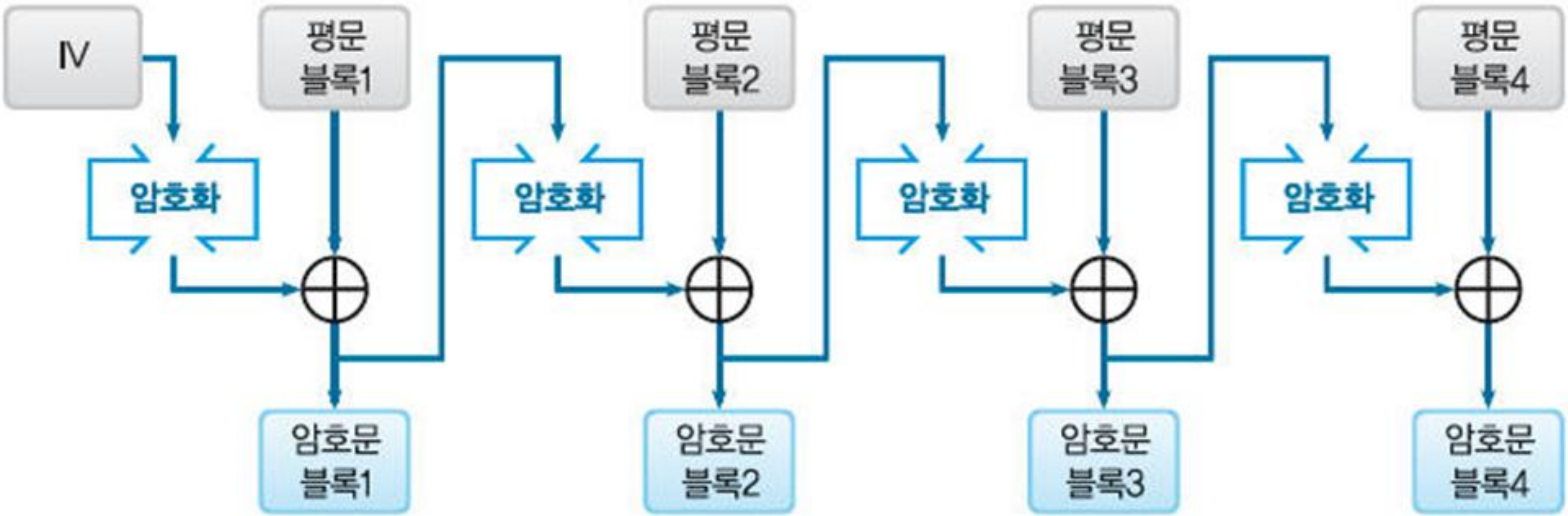
4.4 CFB 모드의 복호화

4.5 CFB 모드에 대한 공격

4.1 CFB 모드

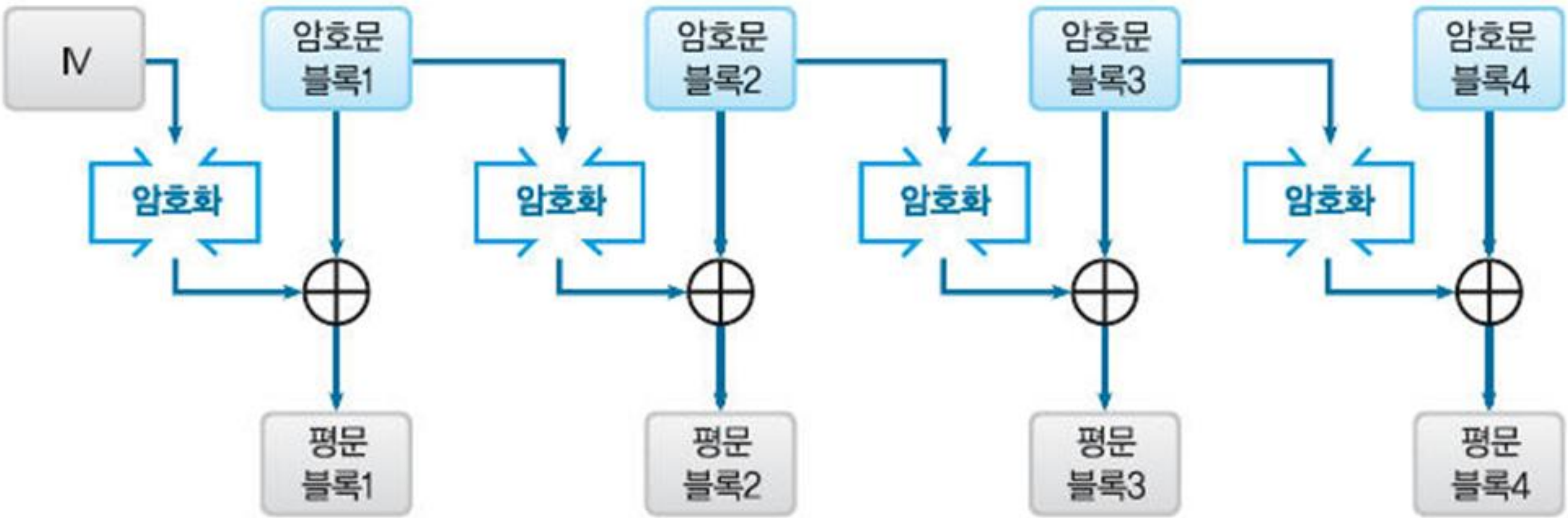
- CFB 모드
  - Cipher FeedBack 모드(**암호 피드백 모드**)의 약자
  - CFB 모드에서는 1 단계 앞의 암호문 블록을 암호 알고리즘의 입력으로 사용

CFB 모드의 암호화



(a) CFB 모드에 의한 암호화

CFB 모드의 복호화

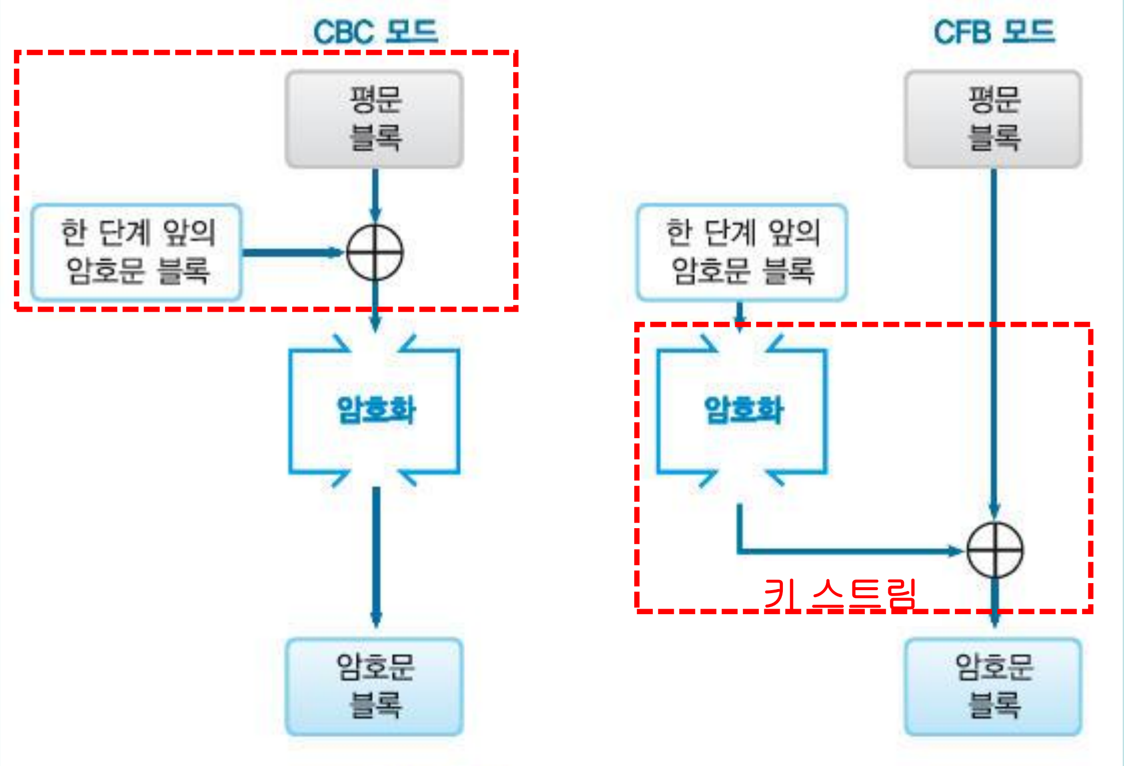


(b) CFB 모드에 의한 복호화

4.2 초기화 벡터

- 초기화 벡터(IV)
  - 최초의 암호문 블록을 만들어낼 때는 1 단계 앞의 출력이 존재하지 않으므로 대신에 IV를 사용

CBC 모드와 CFB 모드 비교



CBC 모드와 CFB 모드의 비교

4.3 CFB 모드와 스트림 암호

- 키 스트림(key stream)
  - CFB 모드에서 암호 알고리즘이 생성하는 비트열
  - 키 스트림을 생성하기 위한 의사난수 생성기로서 암호 알고리즘을 이용
  - 초기화 벡터는 의사난수 생성기의「seed」에 해당
- CFB 모드는 블록 암호를 써서 생성한 키를 이용하는 스트림 암호로 동작

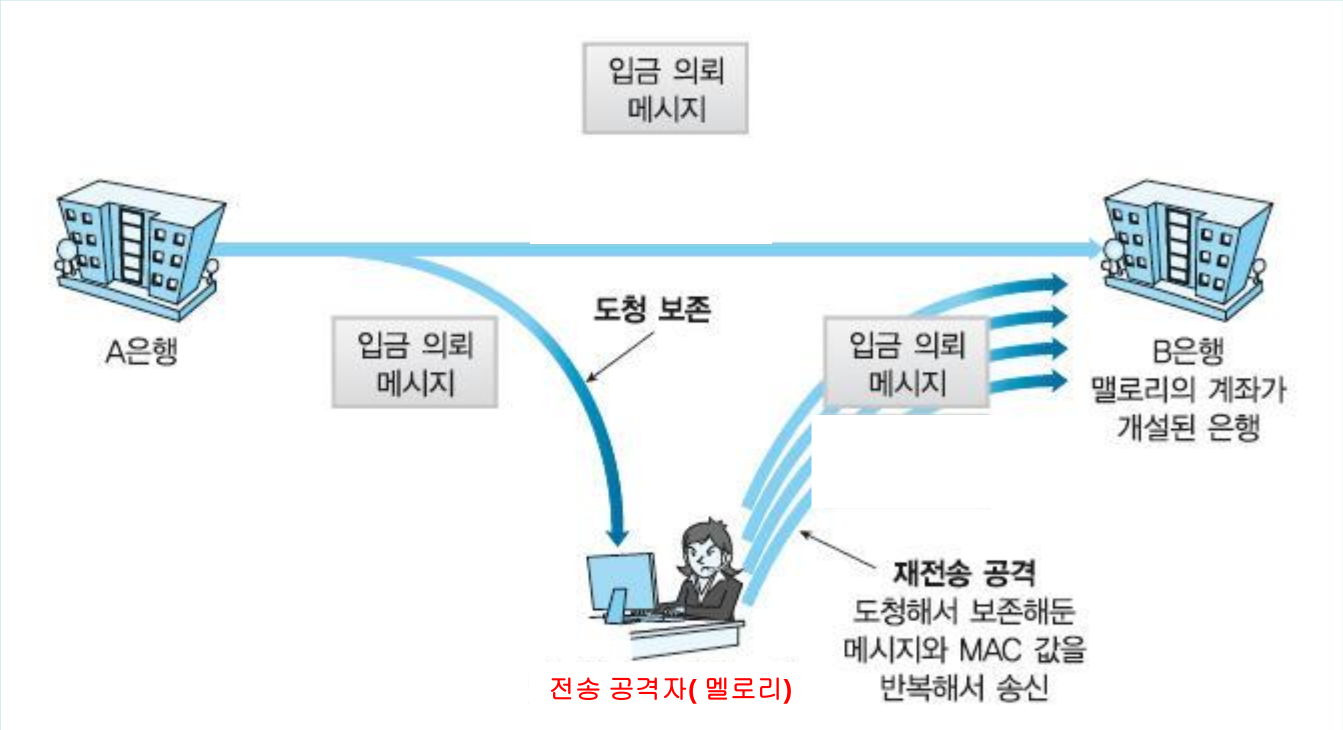
4.4 CFB 모드의 복호화

- CFB 모드에서 복호화를 수행할 경우
  - 블록 암호 알고리즘 자체는 암호화를 수행하고 있다는 것에 주의
- 키 스트림은 암호화에 의해 생성

4.5 CFB 모드에 대한 공격

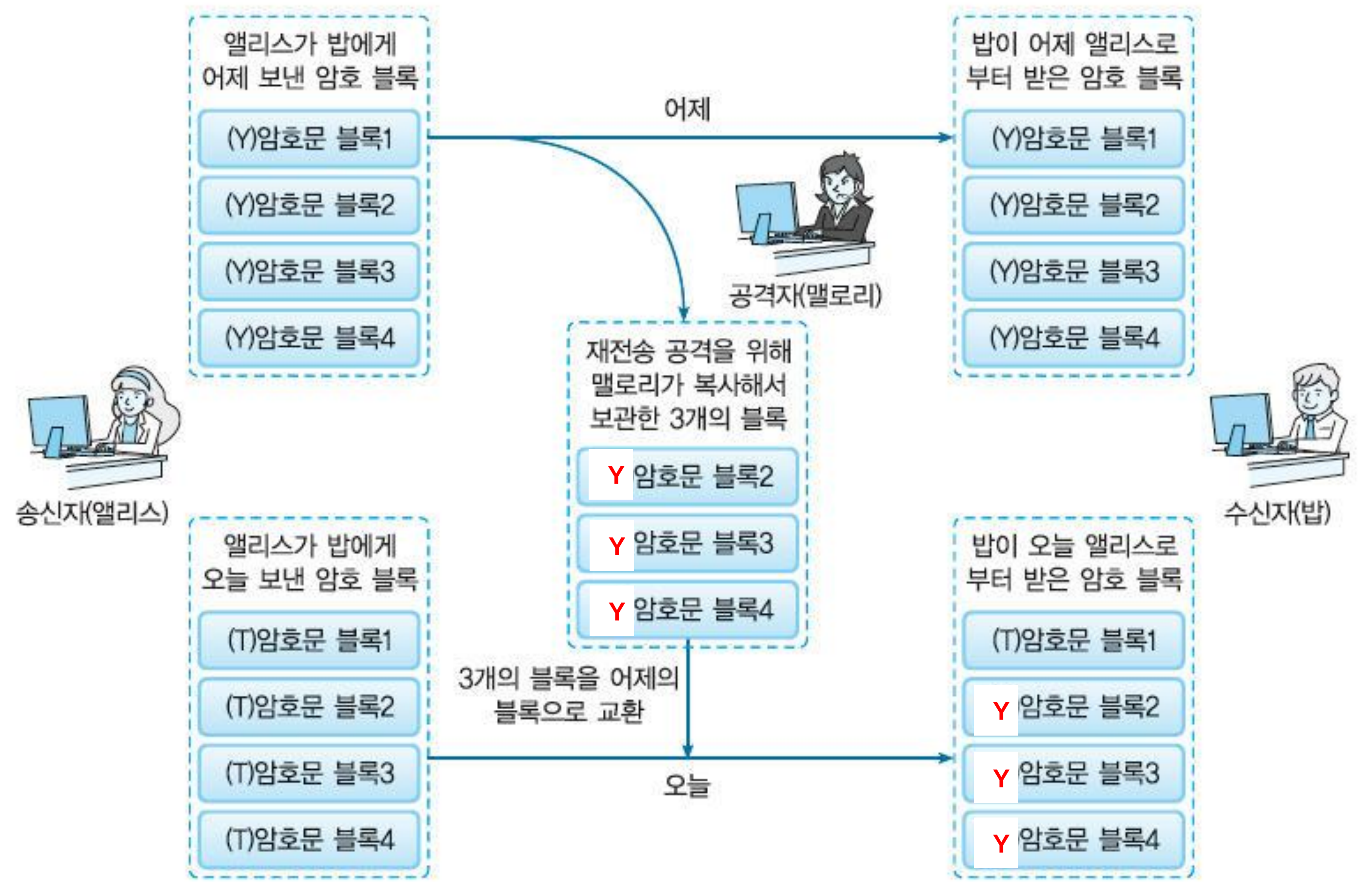
- 재전송 공격(replay attack)
  - 정당한 사용자에 의해 사용되는 정당한 데이터를 반복해서 발송하는 공격

(9장 예)



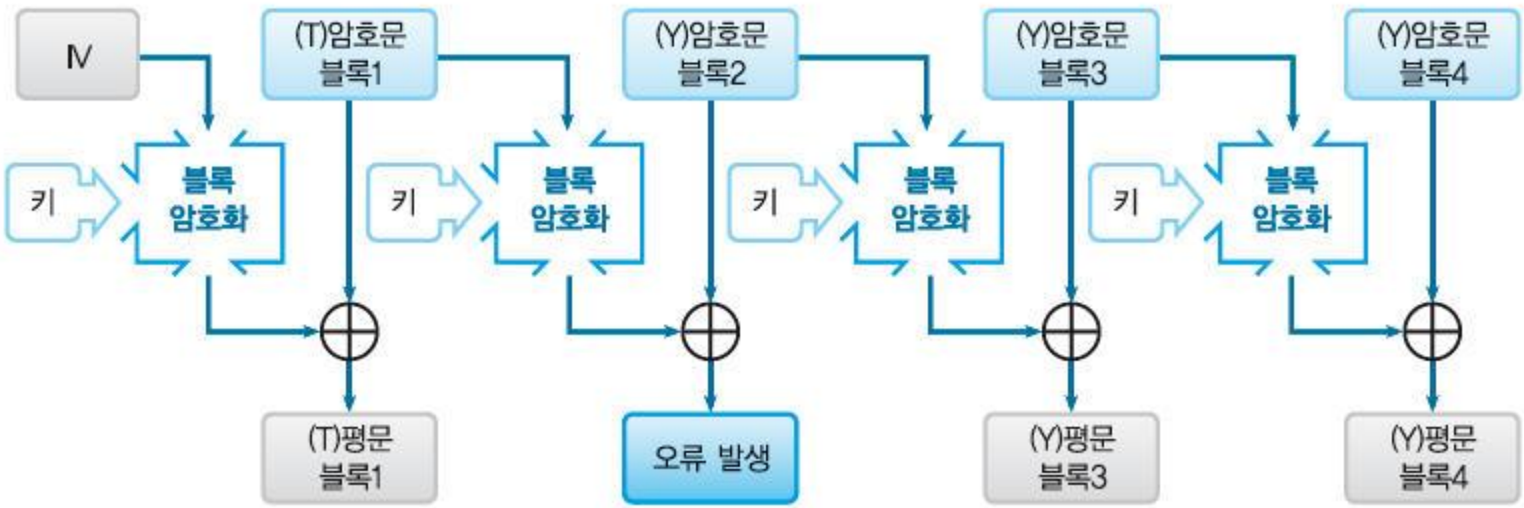
• 재전송 공격

재전송 공격(replay attack)



• CFB 모드에 대한 재전송 공격

오늘 수신한 암호문의 복호화



• 오늘 수신한 암호문 블록을 복호화한 결과

- 재전송 공격 어떻게 해결?
  - 메시지 인증 코드 (9장)

제5절 OFB 모드

5.1 OFB 모드란?

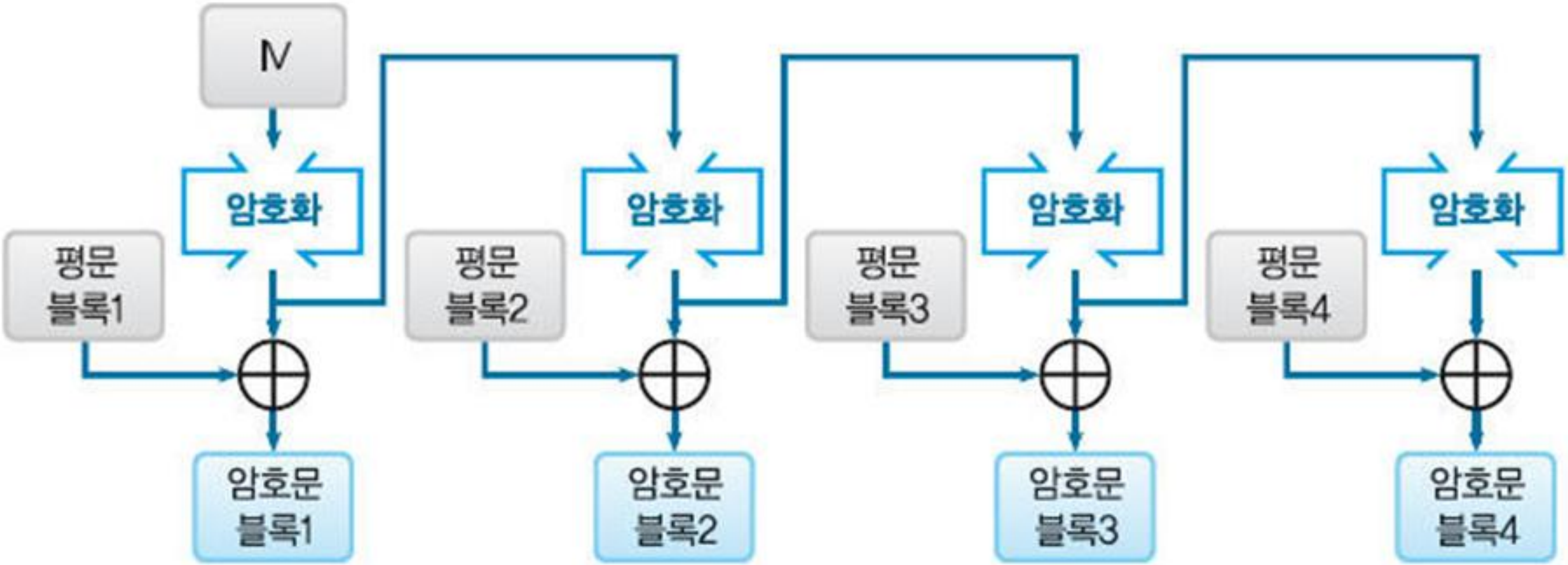
5.2 초기화 벡터

5.3 CFB 모드와 OFB 모드의 비교

5.1 OFB 모드란?

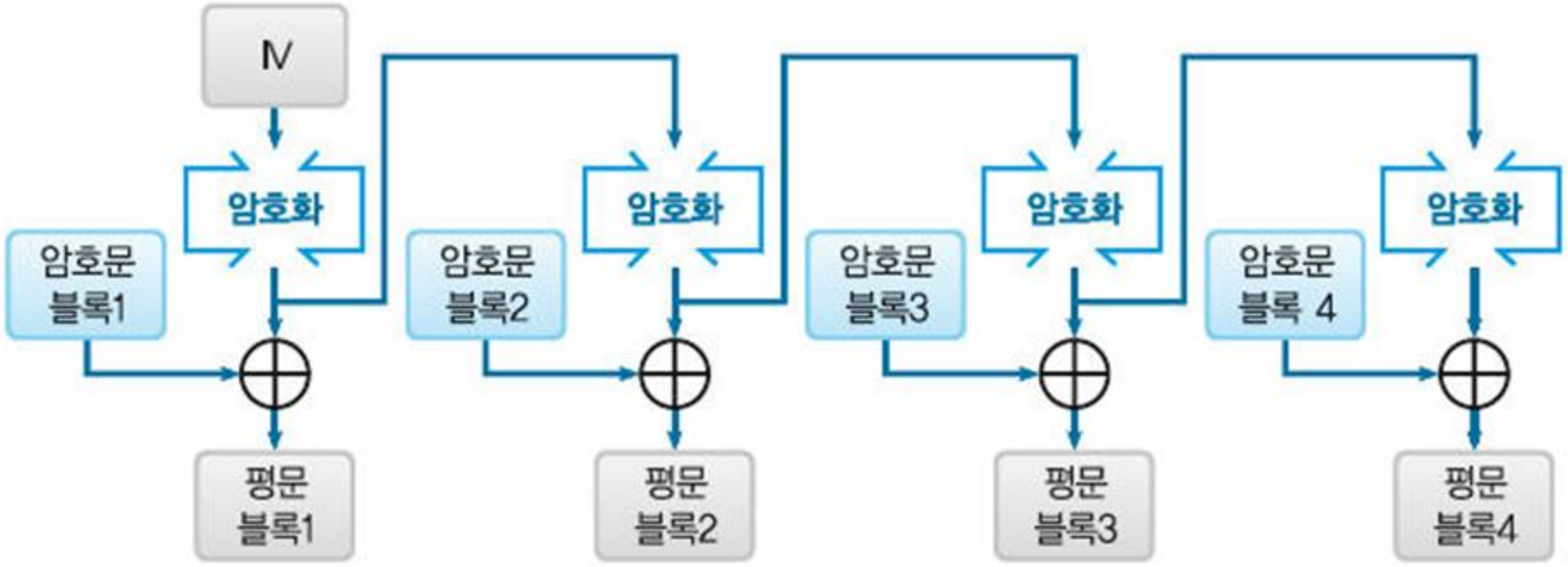
- OFB 모드
  - Output-FeedBack 모드(**출력 피드백 모드**)의 약자
  - OFB 모드에서는 암호 알고리즘의 출력을 암호 알고리즘의 입력으로 피드백
  - 평문 블록은 암호 알고리즘에 의해 직접 암호화되고 있는 것이 아님
  - 「평문 블록」과「암호 알고리즘의 출력」을 XOR 해서「암호문 블록」을 만듦 (CFB와 비슷)

OFB 모드에 의한 암호화



(a) OFB 모드에 의한 암호화

OFB 모드에 의한 복호화



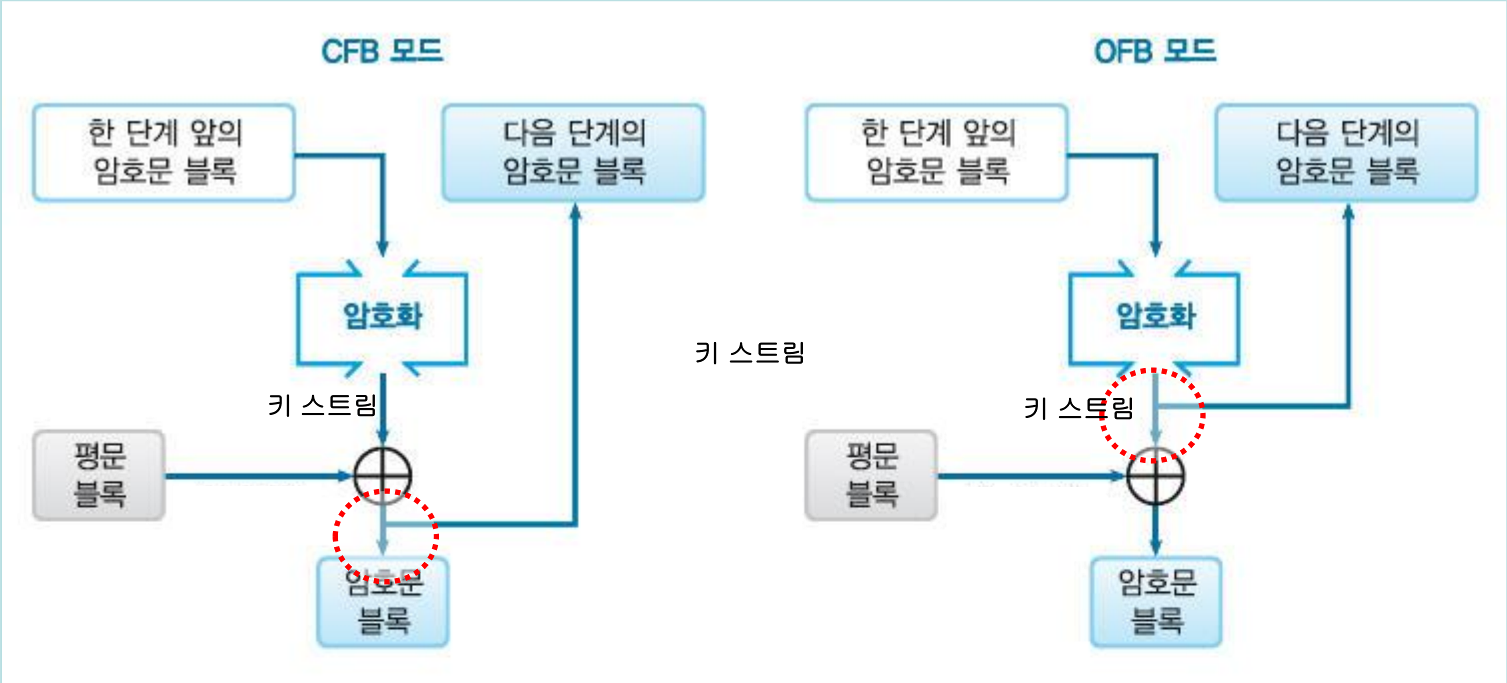
(b) OFB 모드에 의한 복호화

5.2 초기화 벡터

- CBC 모드나 CFB 모드와 마찬가지로 초기화 벡터(IV)를 사용
- 초기화 벡터는 암호화 때마다 다른 랜덤 비트열을 이용

5.3 CFB 모드와 OFB 모드의 비교

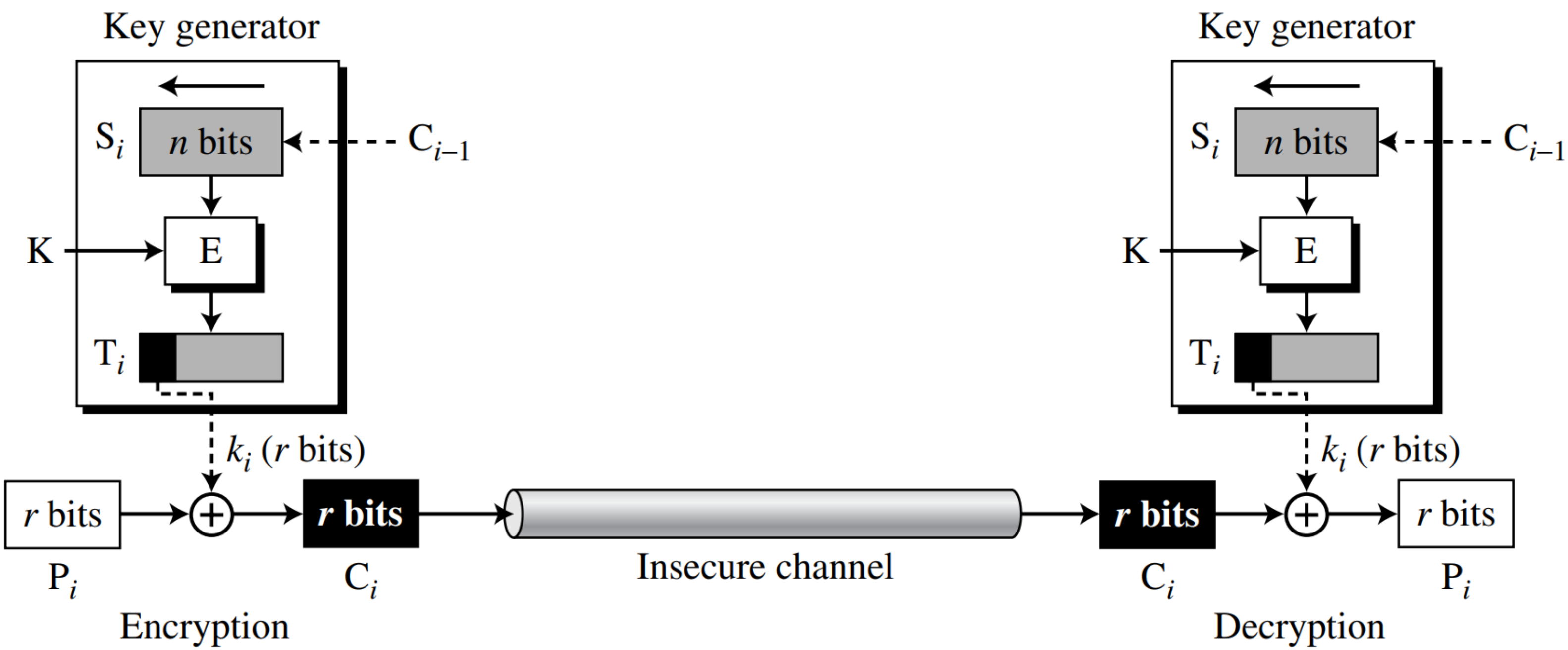
- OFB 모드와 CFB 모드에서는 암호 알고리즘으로의 입력만이 다름



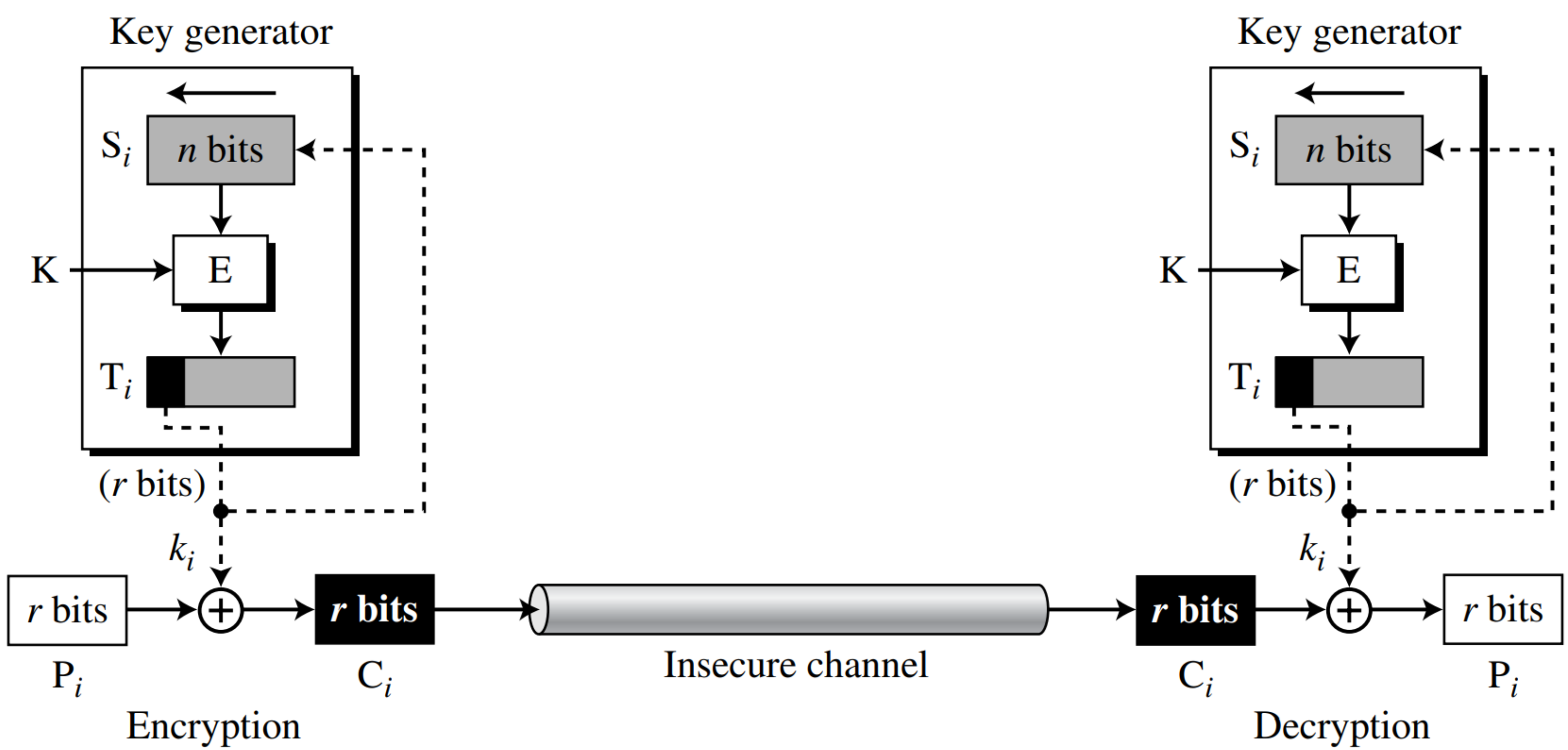
CFB 모드와 OFB 모드의 비교

- <u>키스트림을 미리 준비해두면, 암호문을 만들때 신속히 처리</u>
  (스트림 암호로써의 CFP / OFP 모드로 사용 가능: PPT 51, 52)
- AES 등 암호 알고리즘에 비해 속도가 상당히 빠름

Cipher feedback (CFB) mode as a stream cipher



Output feedback (OFB) mode as a stream cipher



제6절 CTR 모드

6.1 카운터 만드는 법

6.2 OFB 모드와 CTR 모드의 비교

6.3 CTR 모드의 특징

6.4 오류와 기밀성

CTR 모드

- CounTeR 모드의 약자
- CTR 모드는 1씩 증가해 가는 카운터를 암호화해서 키 스트림을 만들어 내는 스트림 암호
- 블록을 암호화할 때마다 1씩 증가해가는 카운터를 암호화해서 키 스트림을 만든다

6.1 카운터 만드는 법

- **카운터 초기값**
  - 암호화 때마다 다른 값(nonce, 비표)을 기초로 해서 작성
  - 예) 블록의 길이 128비트 (16바이트)

$\underbrace{\texttt{66 1F 98 CD 37 A3 8B 4B}}_{\text{비표}}\ \underbrace{\texttt{00 00 00 00 00 00 00 01}}_{\text{블록 번호}}$

6.1 카운터 만드는 법

- 평문 블록1용의 카운터(초기값)

  66 1F 98 CD 37 A3 8B 4B 00 00 00 00 00 00 00 01

- 평문 블록2용의 카운터

  66 1F 98 CD 37 A3 8B 4B 00 00 00 00 00 00 00 02

- 평문 블록3용의 카운터

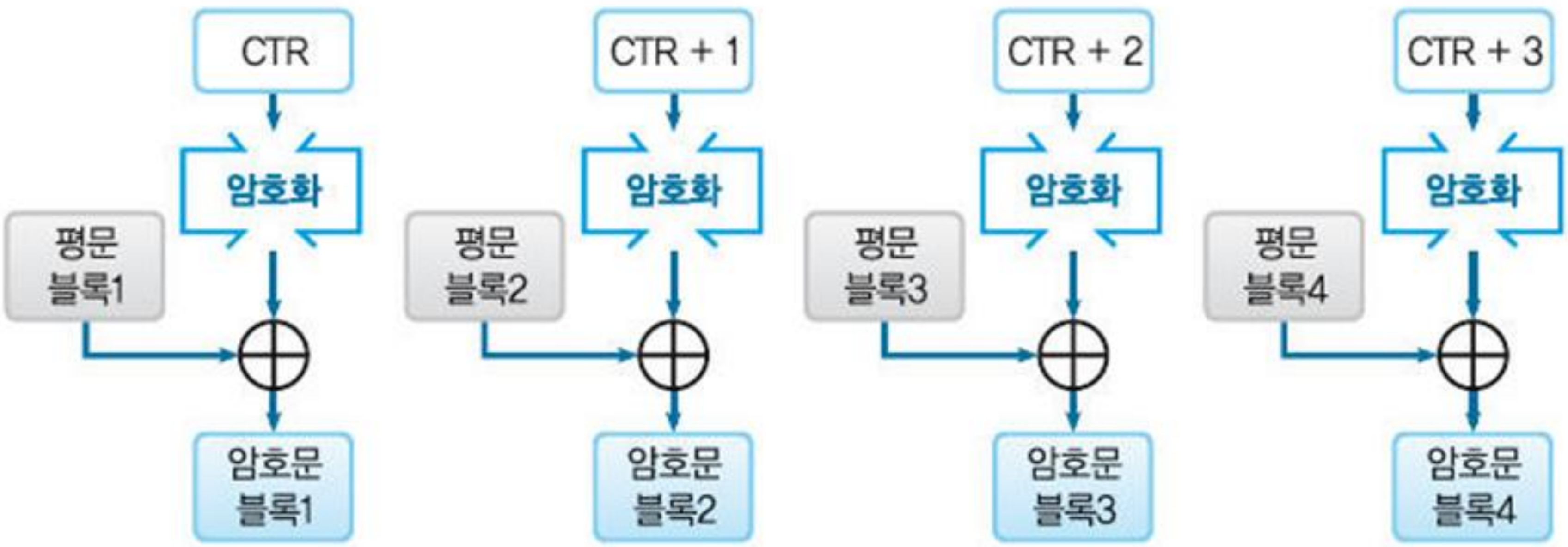
  66 1F 98 CD 37 A3 8B 4B 00 00 00 00 00 00 00 03

- 평문 블록4용의 카운터

  66 1F 98 CD 37 A3 8B 4B 00 00 00 00 00 00 00 04

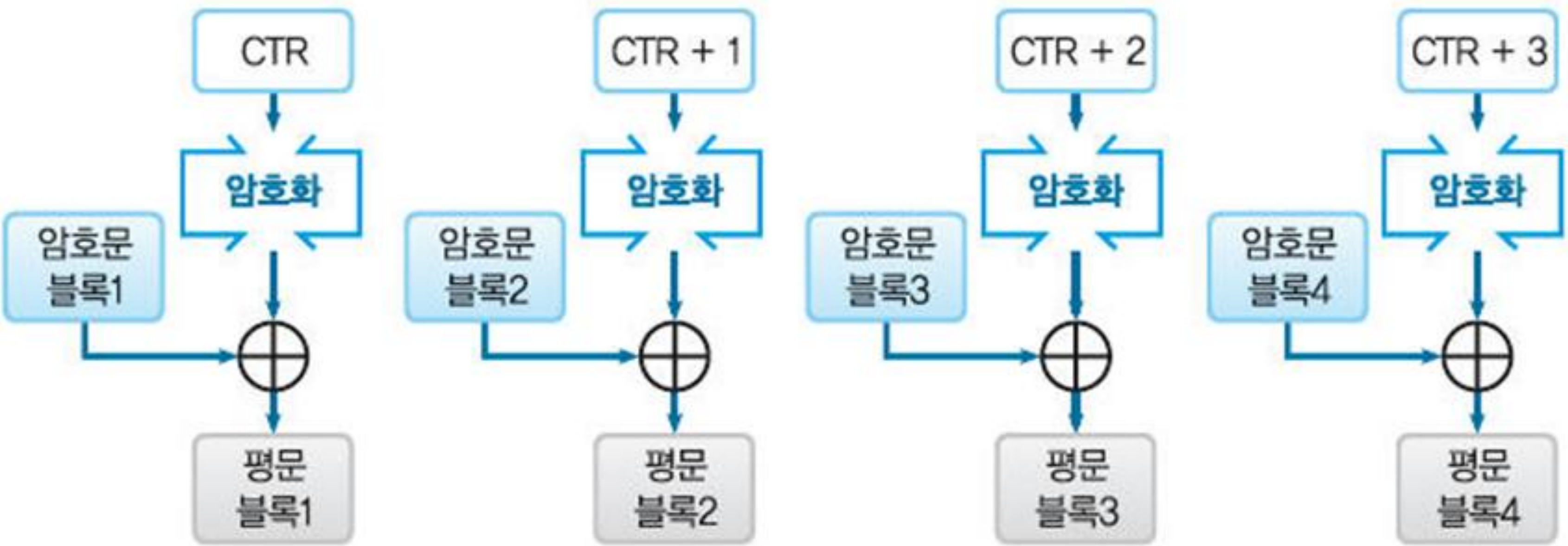
블록번호

CTR 모드 암호화

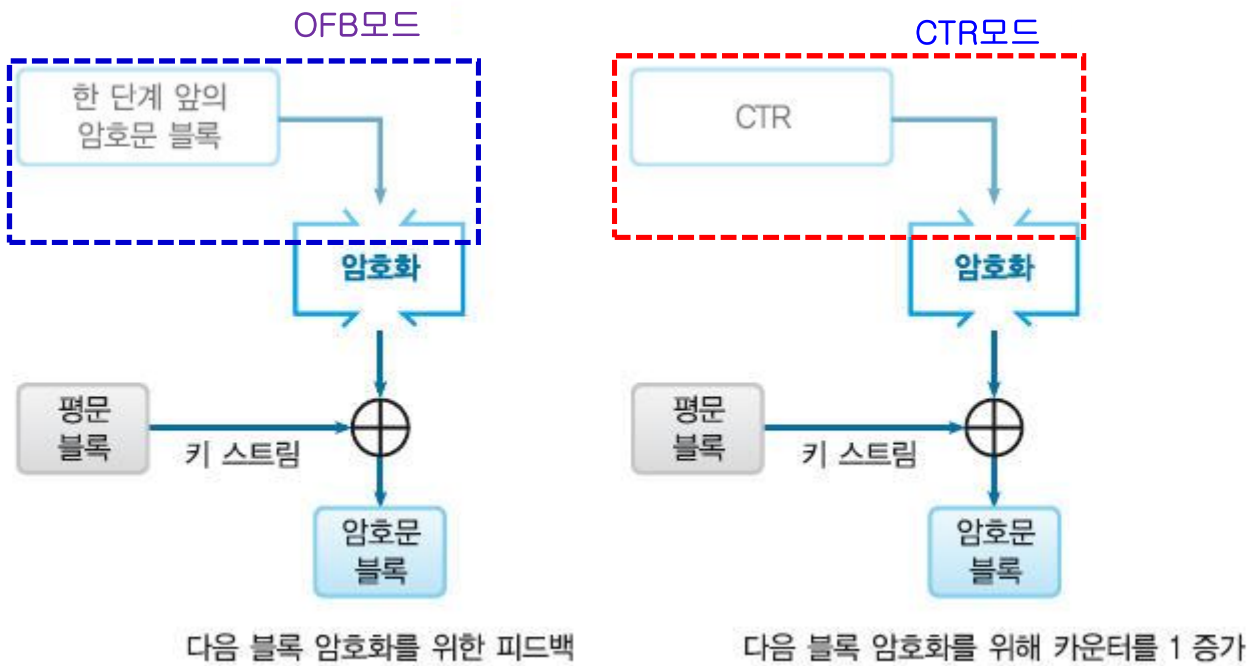


(a) CTR 모드에 의한 암호화

CTR 모드 복호화



(b) CTR 모드에 의한 복호화



OFB 모드와 CTR 모드의 비교

6.3 CTR 모드의 특징

- CTR 모드의 암호화와 복호화는 완전히 같은 구조
- 프로그램으로 구현하는 것이 매우 간단
- OFB 모드와 같은 스트림 암호의 특징을 갖음
- CTR 모드에서는 블록을 임의의 순서로 암호화・복호화할 수 있음
  - 카운터는 비표와 블록번호로부터 신속하게 구할수 있기 때문
- 병렬 처리가 가능한 시스템에서는 CTR 모드를 이용하여 자료를 고속으로 처리 가능

6.4 오류와 기밀성

- CTR 모드의 암호문 블록에서 1비트의 반전이 발생
  - 복호화를 수행하면, 반전된 비트에 대응하는 평문 블록의 1비트만 이 반전 되고, 오류는 확대되지 않음

- OFB 모드에서는
  - 키 스트림의 1블록을 암호화한 결과가 암호화전의 결과와 우연히 같아졌다고 하면
  - 그 이후 키 스트림은 완전히 같은 값의 반복 (CTR모드의 차별된 성질)
  - CTR 모드에서는 그런 걱정은 없음

6.5 모드선택

각 모드의 특징을 정리

ECB 모드

	이름	장점	단점	비고
ECB 모드	Electric CodeBook 전자 부호표 모드	▪ 간단 ▪ 고속 ▪ 병렬 처리 가능 (암호화.복호화 양쪽)	▪ 평문 속의 반복이 암호문에 반영된다. ▪ 암호문 블록의 삭제나 교체에 의한 평문의 조작이 가능 ▪ 비트 단위의 에러가 있는 암호문을 복호화하면, 대응하는 블록이 에러가 된다. ▪ 재전송 공격이 가능	사용하지 않는것을 권장

CBC 모드

	이름	장점	단점	비고
CBC 모드	Cipher Block Chaining 암호 블록 연쇄 모드	▪ 평문의 반복은 암호문에 반영되지 않는다. ▪ 병렬 처리 가능 (복호화만) ▪ 임의의 암호문 블록을 복호화할 수 있다.	▪ 비트 단위의 에러가 있는 암호문을 복호화하면, 1블록 전체와 다음 블록의 대응하는 비트가 에러가 된다. ▪ 암호화에서는 병렬 처리를 할 수 없다.	권장

CFB 모드

	이름	장점	단점	비고
C F B 모드	Cipher-FeedBack 암호 피드백 모드	▪ 패딩이 필요 없다. ▪ 병렬 처리 가능(복호화만) ▪ 임의의 암호문 블록을 복호화할 수 있다.	▪ 암호화에서는 병렬 처리를 할 수 없다. ▪ 비트 단위의 에러가 있는 암호문을 복호화하면, 1블록 전체와 다음 블록의 대응하는 비트가 에러가 된다. ▪ 재전송 공격이 가능	

OFB 모드

	이름	장점	단점	비고
O F B 모 드	Output- FeedBack 출력 피드백 모드	▪ 패딩이 필요 없다. ▪ 암호화.복호화의 사전 준비를 할 수 있다. ▪ 암호화와 복호화가 같은 구조를 하고 있다. ▪ 비트 단위의 에러가 있는 암호문을 복호화하면, 평문의 대응하는 비트만 에러가 된다.	▪ 병렬 처리를 할 수 없다. ▪ 적극적 공격자가 암호문 블록을 비트 반전시키면, 대응하는 평문 블록이 비트 반전된다.	

CTR 모드

	이름	장점	단점	비고
C T R 모 드	CounTeR 카운터 모드	▪ 패딩이 필요 없다. ▪ 암호화.복호화의 사전 준비를 할 수 있다. ▪ 암호화와 복호화가 같은 구조를 하고 있다. ▪ 비트 단위의 에러가 있는 암호문을 복호화하면, 평문의 대응하는 비트만 에러가 된다. ▪ 병렬 처리가능 (암호화.복호화 양쪽)	▪ 적극적 공격자가 암호문 블록을 비트 반전시키면, 대응하는 평문 블록이 비트 반전된다.	권장

CFB, OFB, CTR모드에서 패딩이 필요없는 이유

- CFB모드
  - 암호화된 이전 블록의 결과가 다음 블록의 암호화에 사용됨
  - 이전 블록의 암호문은 현재 블록의 입력으로 사용되므로, 데이터가 블록 크기의 배수가 아닌 경우에도 암호화가 가능
- OFB 모드
  - 암호화된 출력이 다음 블록의 입력으로 사용
  - OFB에서는 암호화된 출력만 사용되므로, 입력의 크기가 블록 크기의 배수가 아니더라도 패딩이 필요하지 않음
- CTR 모드
  - 블록 암호 함수를 사용하여 카운터 값을 암호화한 다음, 평문과 XOR하여 암호문을 생성
  - 이 과정에서 암호화된 출력은 평문과 동일한 길이를 갖기때문에 패딩이 필요하지 않음
  - 이러한 특성은 데이터의 크기가 가변적이고 실시간 처리에 유용함
- 주의 사항
  - CFB 및 OFB 모드는 평문의 길이가 블록 크기의 배수가 아니더라도 사용할 수 있지만,
  - 암호화된 결과는 항상 블록 크기의 배수가 되므로 복호화시 패딩이 필요하지 않더라도
  - 암호문의 길이가 블록 크기의 배수가 되도록 조정이 필요함

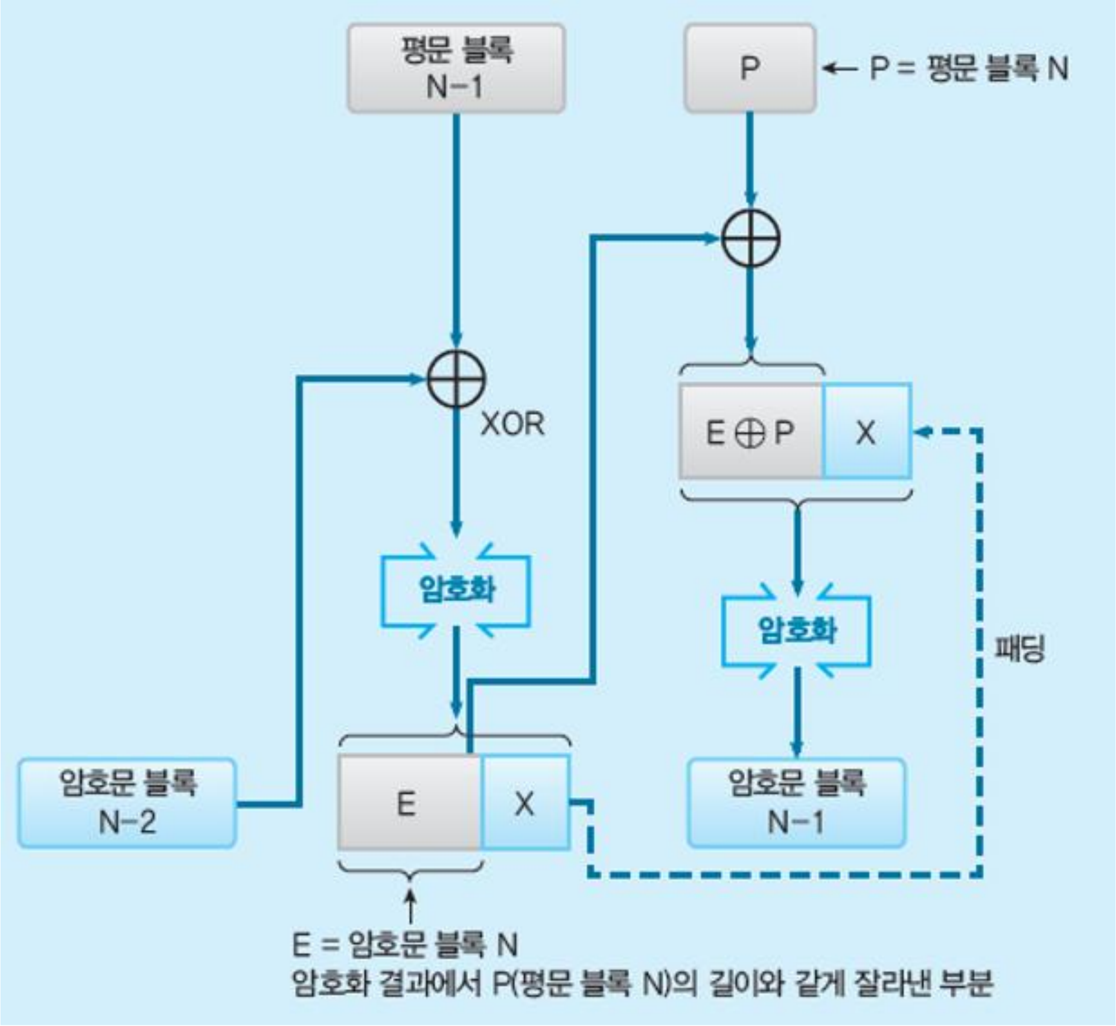
제7절 기타 모드

- CTS
- GCM
- CCM
- XTS-AES

CTS 모드

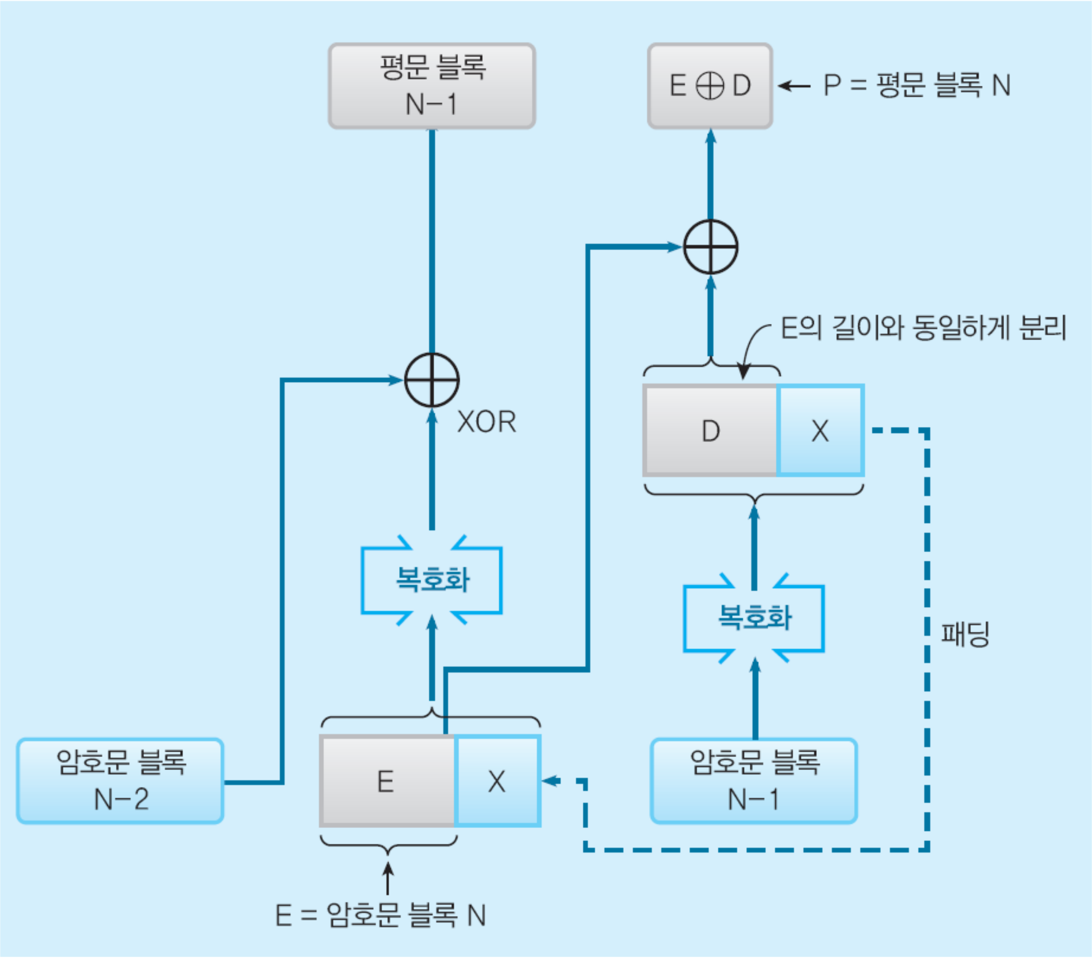
- CTS(CipherText Stealing) 모드
- 마지막 블록 한 단계 전의 암호화 블록을 패딩으로 대신 이용
- ECB나 CBC 모드와 조합해 사용
- 마지막 블록을 송신하는 순서를 변경하는 변형된 형태로도 운영
- CBC-CS1, CBC-CS2, CBC-CS3

CTS 모드 암호화



CTS 모드 암호화

CTS 모드 복호화



CTS 모드 복호화

GCM 모드

- GCM(Galois / Counter Mode)
- CTR 모드에 인증 기능을 추가한 모드
- CTR 모드로 암호문과 인증자를 생성
- 암호문 위조를 탐지할 수 있음

- 암호화 입력: 암호키, 평문, Nonce 및 부가 인증 데이터 (ADD)
- 암호화 출력: 암호문과 인증값 (tag)

- 복호화 입력: 암호문, 암호키, Nonce, ADD
  (9장에서 자세하게 설명)

CCM 모드

- CCM 모드 (Counter with CBC-MAC)
- 카운터 모드(Counter mode)와 CBC-MAC (Cipher Block Chaining- Message Authentication Code)의 기능 결합한 운영 모드
- 메시지의 기밀성과 인증 기능을 동시에 제공

관련 데이터로 인증된 암호 방식 (AEAD)

- Authenticated Encryption with Associated Data: AEAD

  - CCM mode
  - GCM

  - CWC (Carter–Wegman + CTR mode) mode
  - OCB mode (Offsetest CodeBook)
  - EAX mode (Encrypt-then-Authenticate-then-Translate)
  - SGCM (Sophie Germain Counter Mode)
  - Signcryption

XTS-AES

- XTS: XEX Tweakable Block Cipher with Ciphertext Stealing
- XTS-AES는 주로 하드 디스크와 같은 저장 장치에서 사용
- AES를 기반으로 XEX (tweakable block cipher : <u>트위크 블록 암호</u>) 방식 사용
  - 트위크 블록암호
    - ✓ 키와 트위크(tweak)를 사용하여 평문을 암호화하는 블록 암호
    - ✓ 트위크: IV 또는 Nonce 역할

      .블록 암호를 덜 결정론적으로 만드는 고정 길이 문자열

- 데이터가 이동 중일 때 사용되는 것이 아니라 '휴지 상태의 데이터' 보호
- 블록 단위로 나누어 암호화

[참고]

XEX (XOR-Encryption-XOR) 트위크 블록 암호

- 암호화 $\tilde{\mathsf{Enc}}_K(T, M) = \mathsf{Enc}_K(M \oplus T) \oplus T$

where $T = \mathsf{Enc}_K(N)\alpha_1^{j_1} \cdots \alpha_j^{j_k}$, N is an n-bit nonce, $\alpha_1, \dots, \alpha_k$ are primitive elements of the Galois field GF(2^n), $j_1, \dots, j_k$ are integers.

  – 평문 M과 트위크 T를 XOR한 후, AES로 암호화하고 다시 트위크를 XOR하여 최종 암호문을 생성

XTS-AES 암호화 및 복호화

- 암호화 과정

  $C = \mathrm{Enc}(K_1, P \oplus T) \oplus T,$

  $T = \mathrm{Enc}(K_2, i) \otimes \alpha^j$

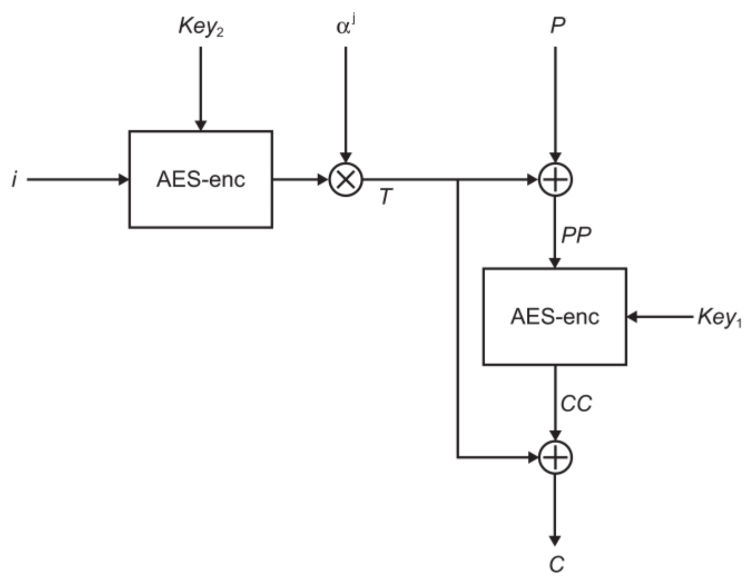
  $\otimes$: $\mathrm{GF}(2^{128})$ 유한체 상의 곱셈연산

  – 복호화 과정

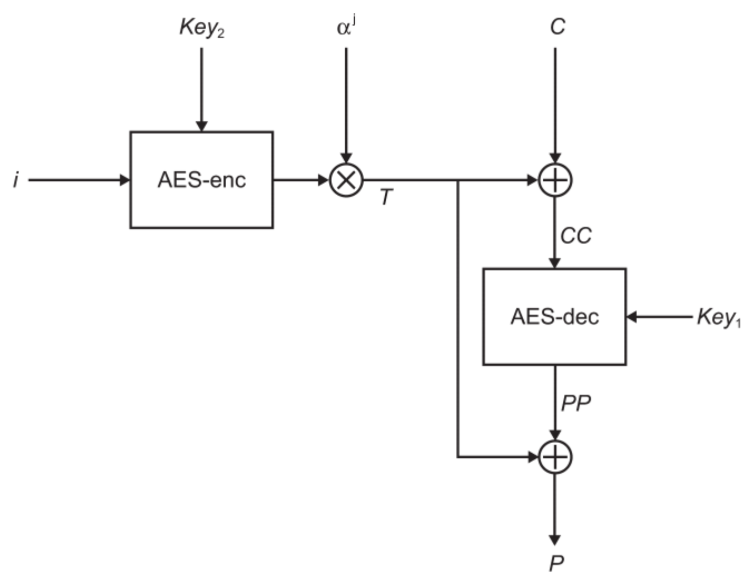
  $P = \mathrm{Dec}(K_1, C \oplus T) \oplus T,$

  $T = \mathrm{Enc}(K_2, i) \otimes \alpha^j$

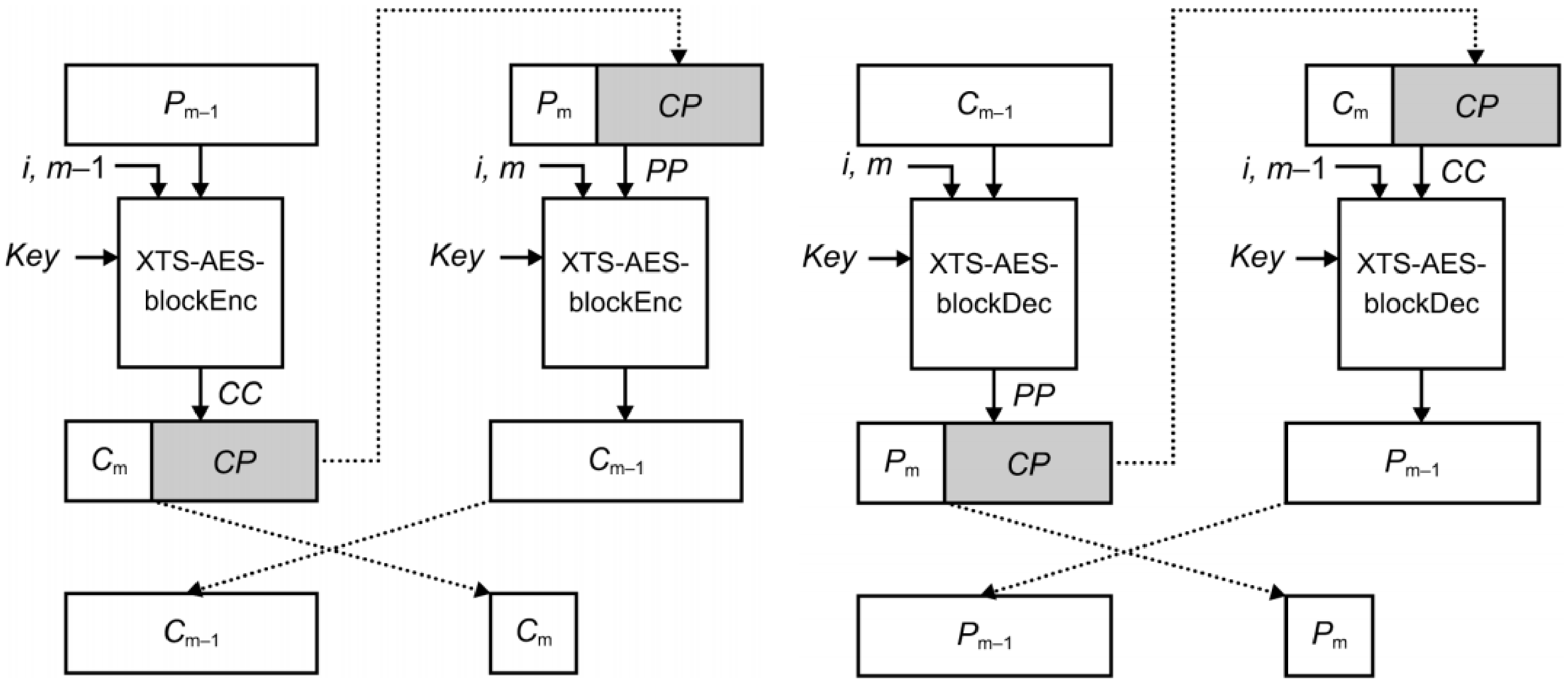
- Key1: 암호화, Key2: 트위크 생성
- 트위크는 데이터 단위마다 계산되어 적용됨



[XTS-AES를 이용한 암호화]



[XTS-AES를 이용한 복호화]



[암호화동안의 Ciphertext stealing]　　[복호화 동안의 Ciphertext stealing]

XTS-AES 적용 분야 및 특성

- **적용분야**
  - 하드 디스크 암호화: 비밀번호 보호 및 중요 데이터 보호
  - SSD 및 USB 암호화: 휴대용 장치에서 데이터 보호
  - 클라우드 저장소: 클라우드 기반 데이터 암호화

- **특성**
  - 보안성: 디스크 암호화에서 중요한 블록 간 의존성을 방지하여 동일한 평문이라도 다른 암호문을 생성
  - 효율성: 고속의 AES 암호화를 사용하여 성능 저하 없이 데이터를 처리
    . 고용량 디스크 암호화에서는 일부 성능 저하가 발생 가능
  - 호환성: 다양한 저장 장치 및 파일 시스템과 호환되어 사용 가능
  - 디스크 무결성: 블록 암호화 방식으로 데이터 손상 시 복구할 수 있는 보안성을 제공
  - XTS-AES는 키 관리가 중요하며, 키가 유출되면 보안에 큰 위험이 발생

참고문헌

- 알기쉬운 정보보호 개론, 히로시 유키 지음 (이재광 외 2 공역), 인피니티북스, 2019
- 김기문 외 5인, "패딩 오라클 공격에 따른 다양한 패딩방법의 안전성 분석", 정보보호학회 논문지, 제25권 제2호, 2015, pp. 271-278
- 암호학과 네트워크 보안 (cryptography and network security),포로잔, 베로즈 A, 2008, 한국맥그로힐
- 기밀성과 메시지 인증을 제공하는128 비트 블록 암호 운영 모드 KS X 3230 : 2018, 방송통신표준심의회
- 인증된 암호 방식, 위키 백과사전
- Lecture 6: Block cipher modes of operation, Dr. Yee Wei Law, COMP 5074 Cryptography and Data Protection (2024)

Q & A

Thanks!