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 모드 선택

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

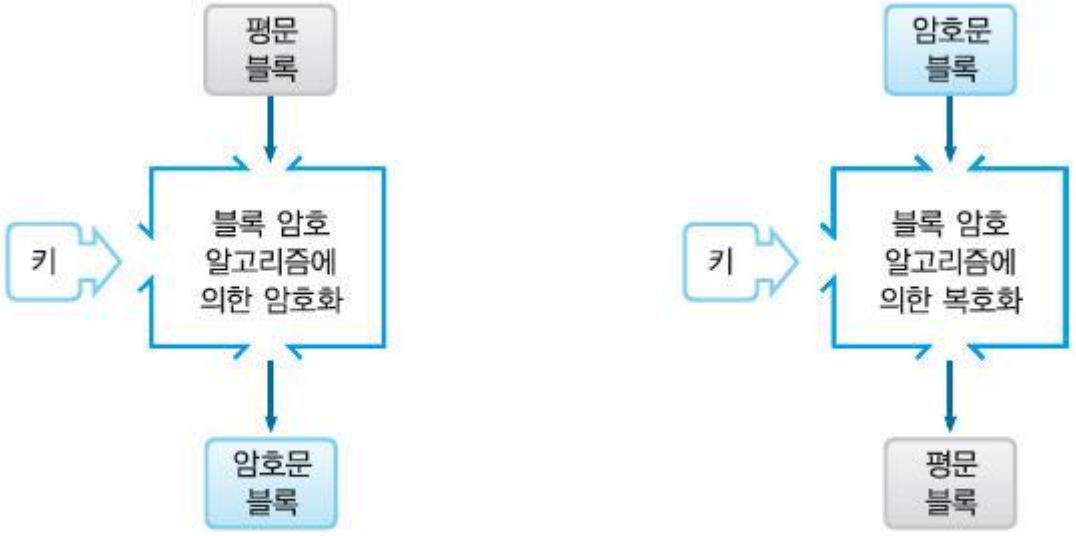


그림 5-1 • 평문 블록과 암호문 블록

1.4 적극적인 공격자 멜로리

- 도청
- 위장
- 변조
- 공격자: 맬로리(Mallory)

제2절 ECB 모드

2.1 ECB 모드란?

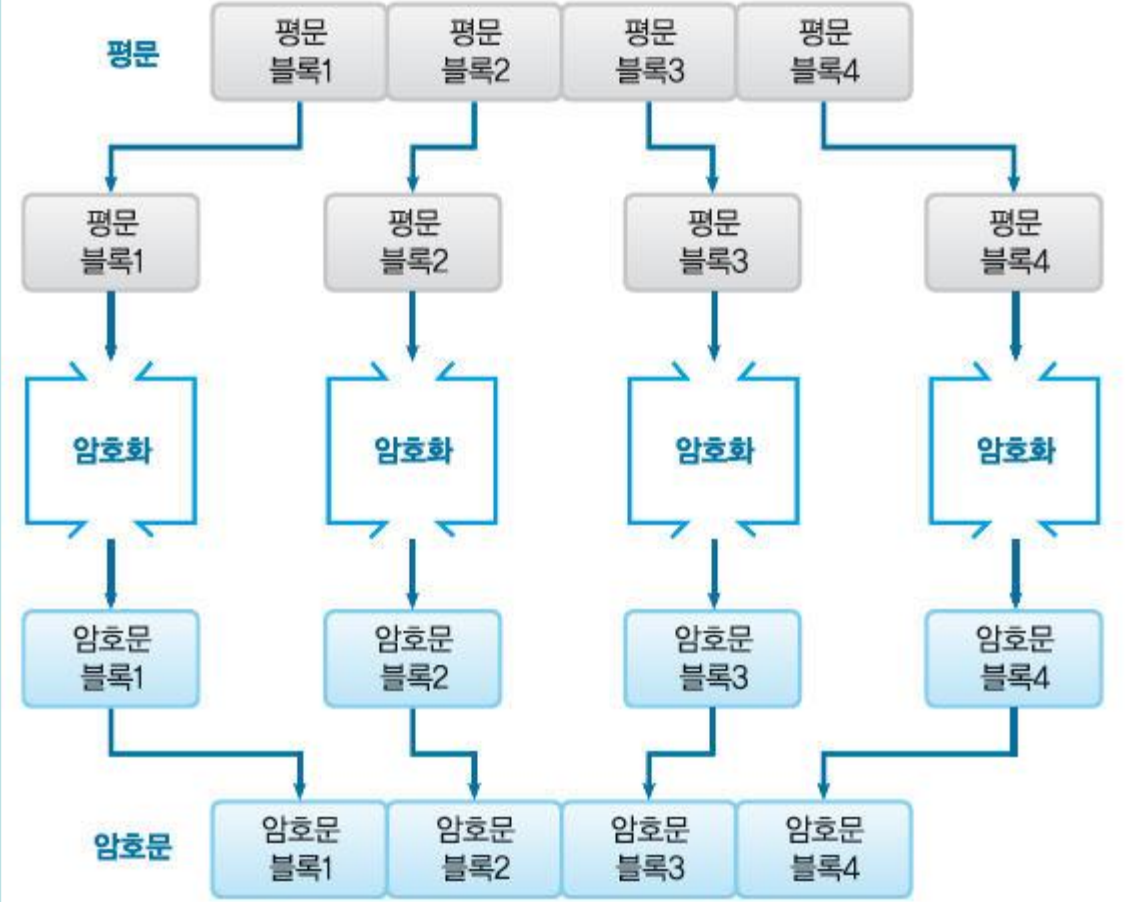
2.2 ECB 모드의 특징

2.3 ECB 모드에 대한 공격

2.1 ECB 모드란?

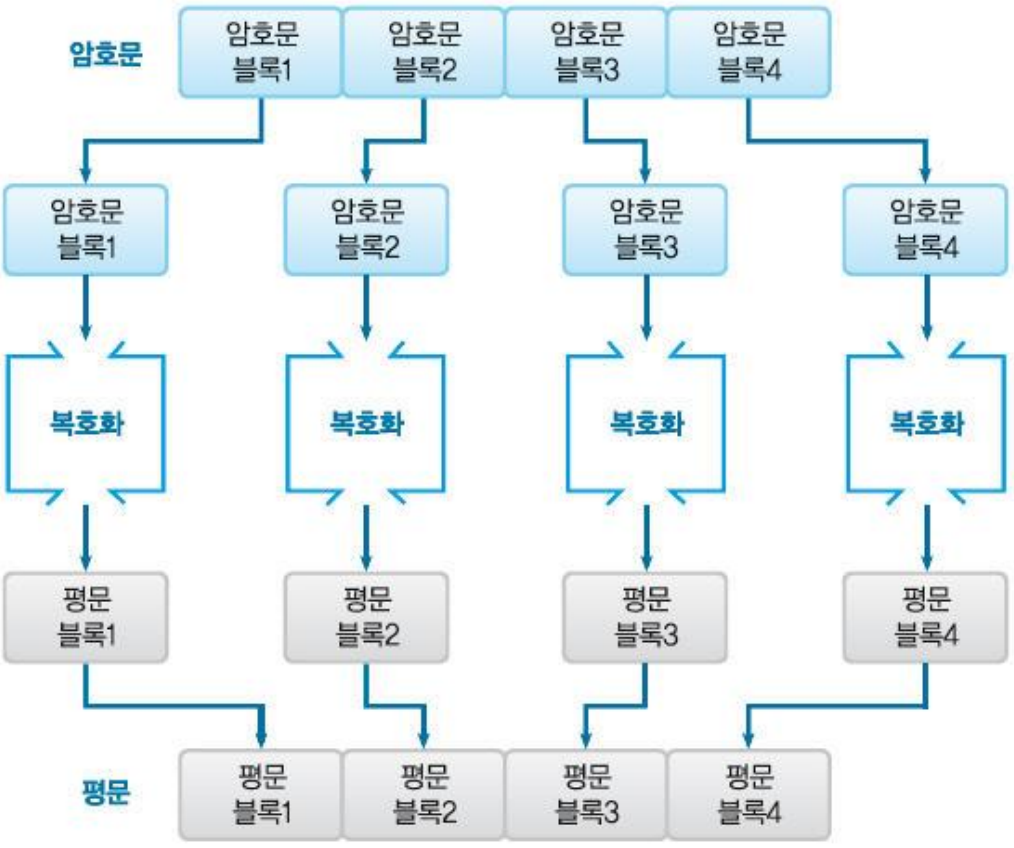
- 평문 블록을 암호화한 것이 그대로 암호문 블록
- 패딩(padding)
  - 마지막 평문 블록이 블록 길이에 미치지 못할 경우에 추가하여 블록 길이가 되도록 맞춘다
- 안전하지 않다

ECB 모드에 의한 암호화



(a) ECB 모드에 의한 암호화

ECB 모드에 의한 복호화



(b) ECB 모드에 의한 복호화

그림 5-2 • ECB 모드(전자 부호표 모드)

2.2 ECB 모드의 특징

- 가장 기밀성이 낮은 모드
- 암호문을 살펴보는 것만으로도 평문 속에 패턴 반복성 감지
- 안전하지 않다

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

- 원래는 A-5374의 계좌에서 B-6671의 계좌로 1억 원을 송금하라는 지시였는데 B-6671의 계좌에서 A-5374의 계좌로 1억 원을 송금하라는 정반대의 지시가 되어 버렸다

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

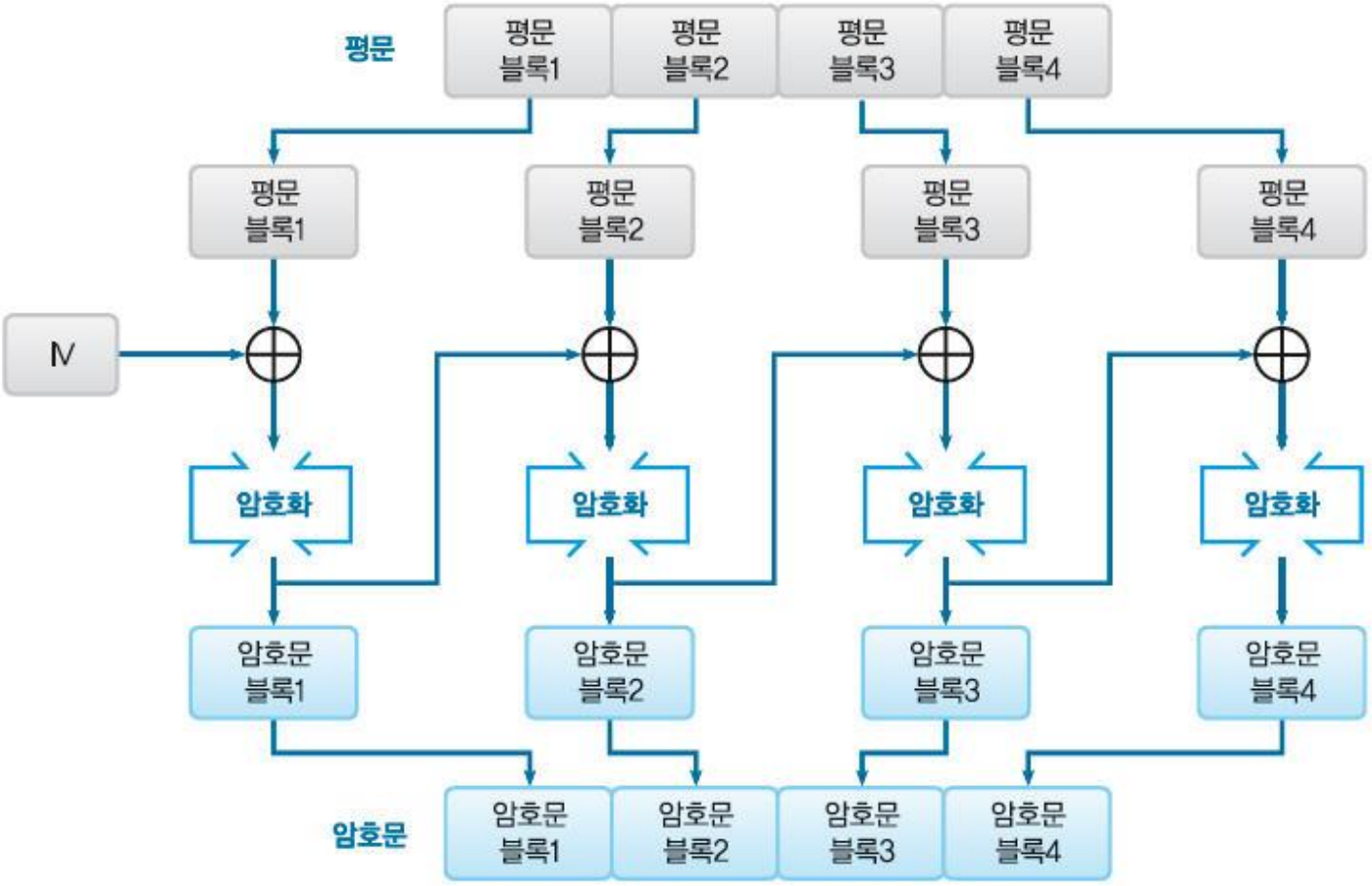
3.6 초기화 벡터 공격

3.7 CBC 모드 활용의 예

3.1 CBC 모드란?

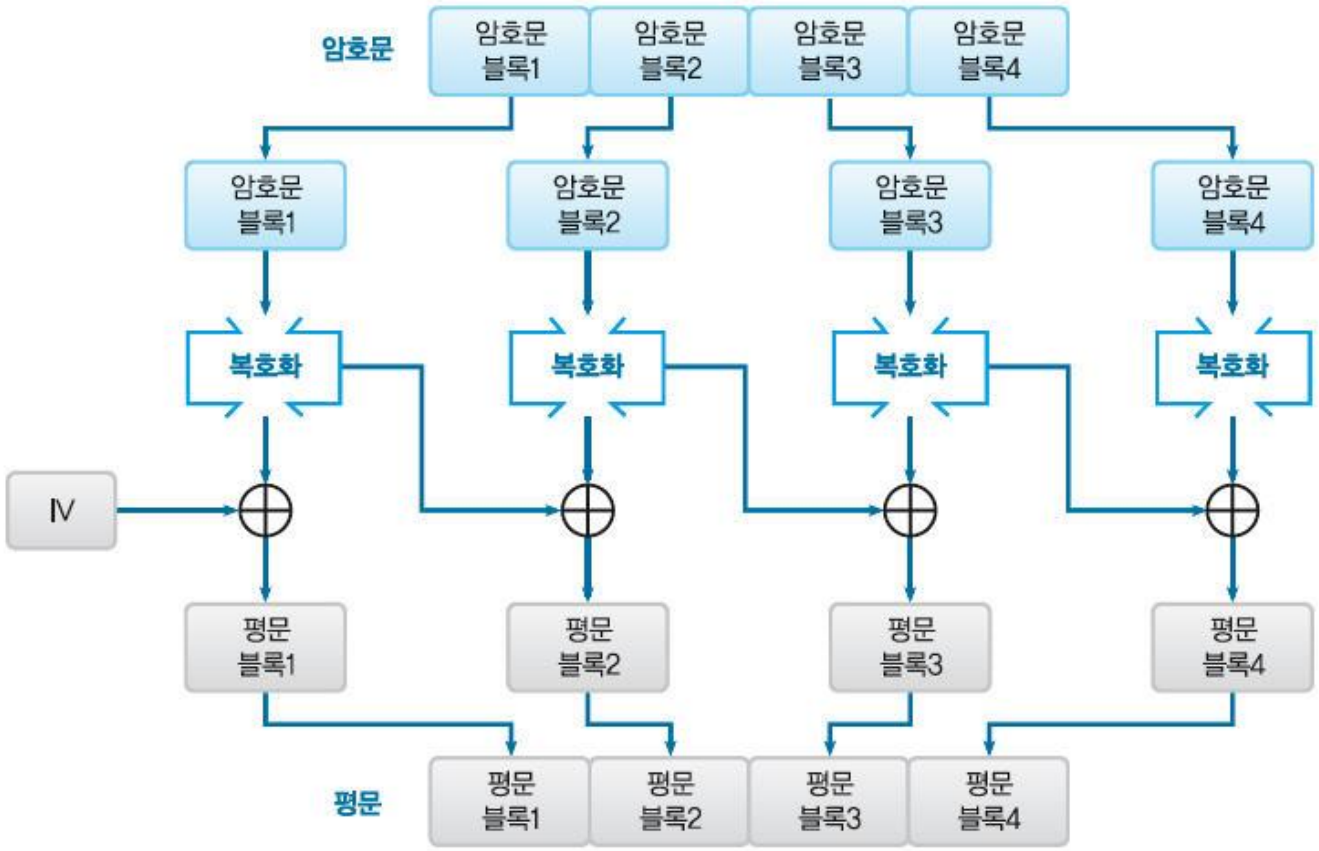
- CBC 모드
  - Cipher Block Chaining 모드(암호 블록 연쇄 모드)의 약자이다. 암호문 블록을 마치 체인처럼 연결시키기 때문에 붙여진 이름
  - CBC 모드에서는 1 단계 앞에서 수행되어 결과로 출력된 암호문 블록에 평문 블록을 XOR 하고 나서 암호화를 수행
  - 각각의 암호문 블록은 단지 현재 평문블록 뿐만 아니라 그 이전의 평문 블록들의 영향도 받게 된다

CBC 모드에 의한 암호화



(a) CBC 모드에 의한 암호화

CBC 모드에 의한 복호화



(b) CBC 모드에 의한 복호화

그림 5-3 • CBC 모드(암호 블록 연쇄 모드)

3.2 초기화 벡터

- 초기화 벡터(initialization vector)
  - 최초의 평문 블록을 암호화할 때는「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 XOR을 취하고 나서 암호화
  - 따라서 만약 평문 블록1과 2의 값이 같은 경우라도 암호문 블록1과 2의 값이 같아진다고는 할 수 없고, ECB 모드가 갖고 있는 결점이 CBC 모드에는 없다.

- 암호문 블록3을 만들고 싶다면 적어도 평문 블록의 1, 2, 3까지가 갖추어져 있어야만 한다

ECB 모드와 CBC 모드

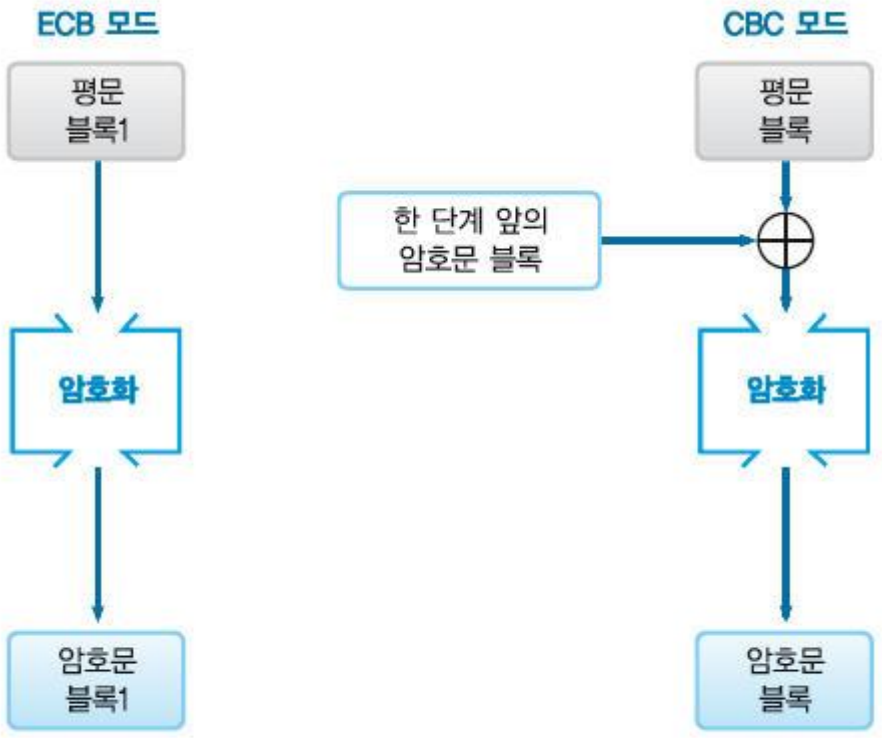


그림 5-4 • ECB 모드와 CBC 모드의 비교

깨진 암호문

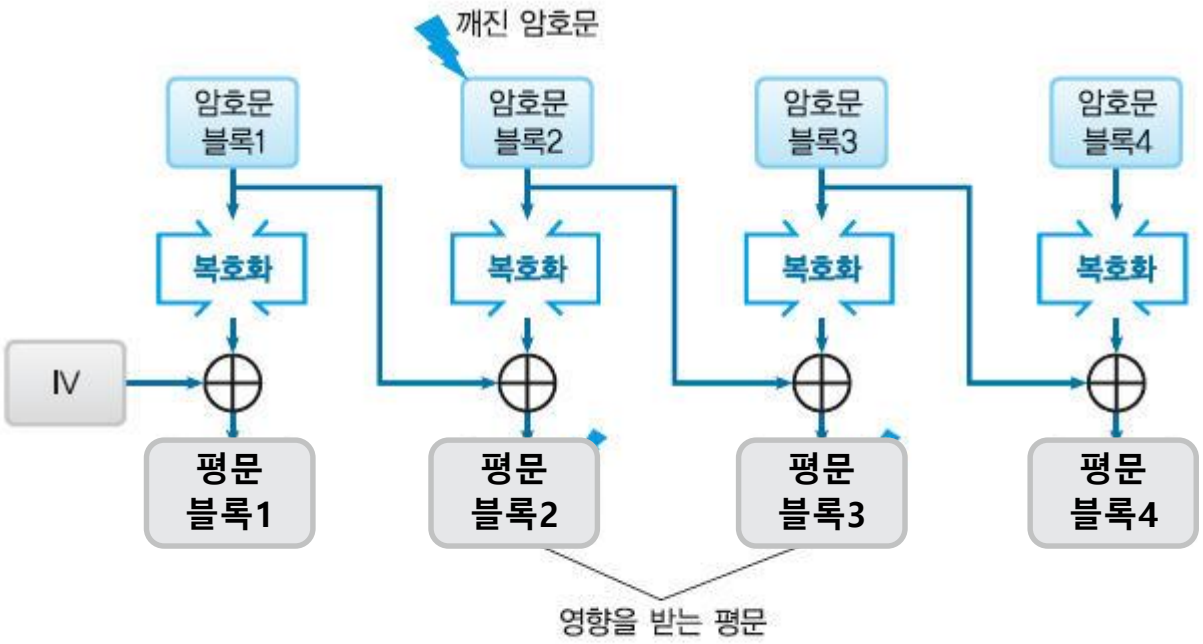


그림 5-5 • CBC 모드에서 암호문 블록이 파손되면 2개의 평문 블록에 영향을 미친다

암호문 블록에서 비트 누락

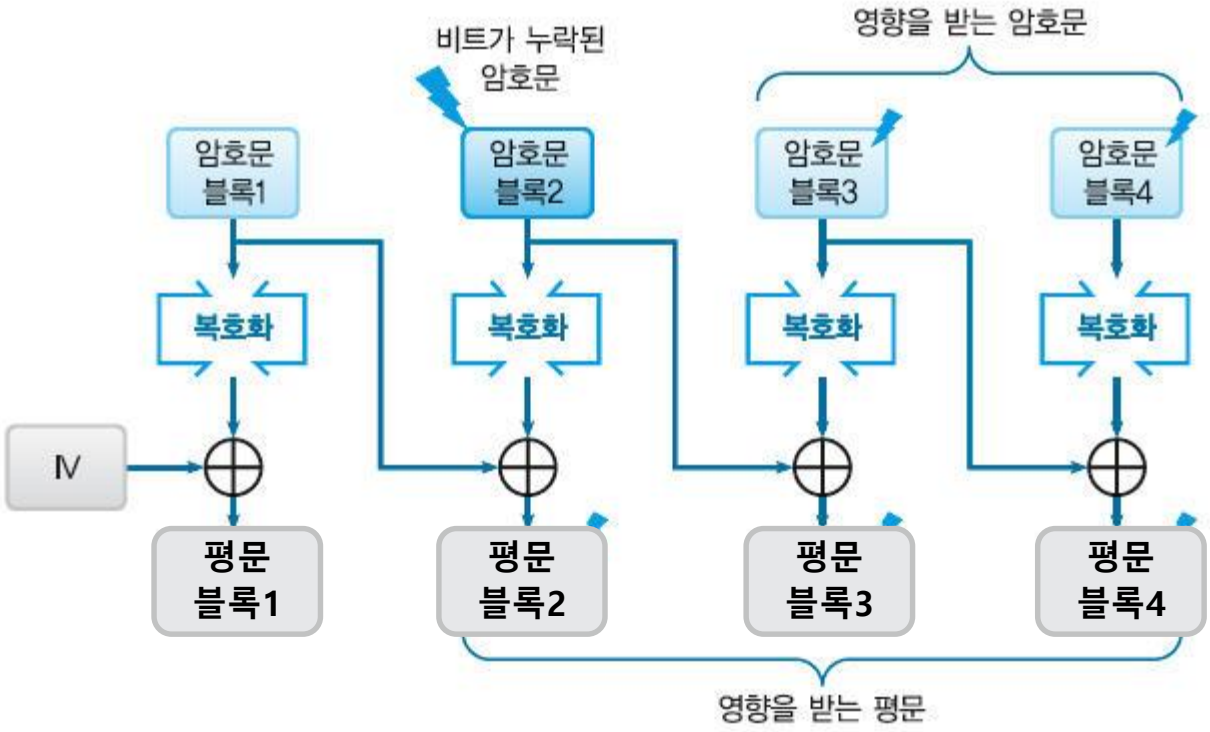
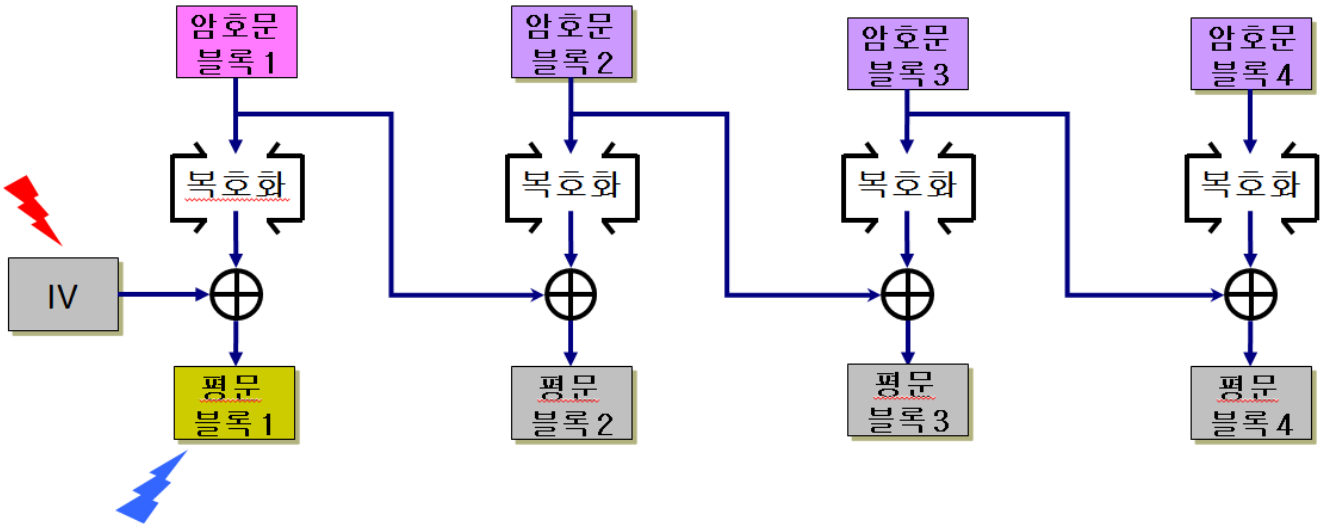


그림 5-6 • CBC 모드에서 암호문 블록에서 비트 누락이 생기면 그 이후의 평문 블록 전체에 영향을 미친다

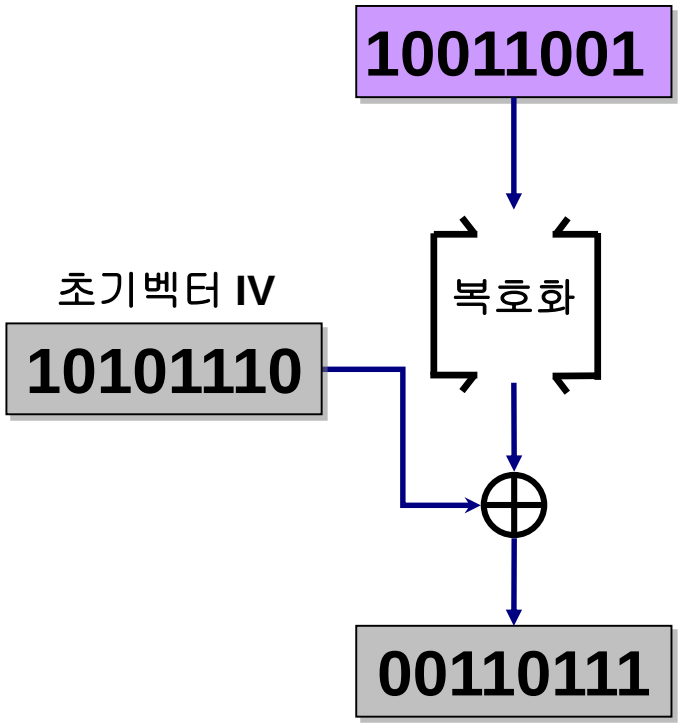
3.4 CBC 모드에 대한 공격(초기화 벡터의 비트 반전)

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

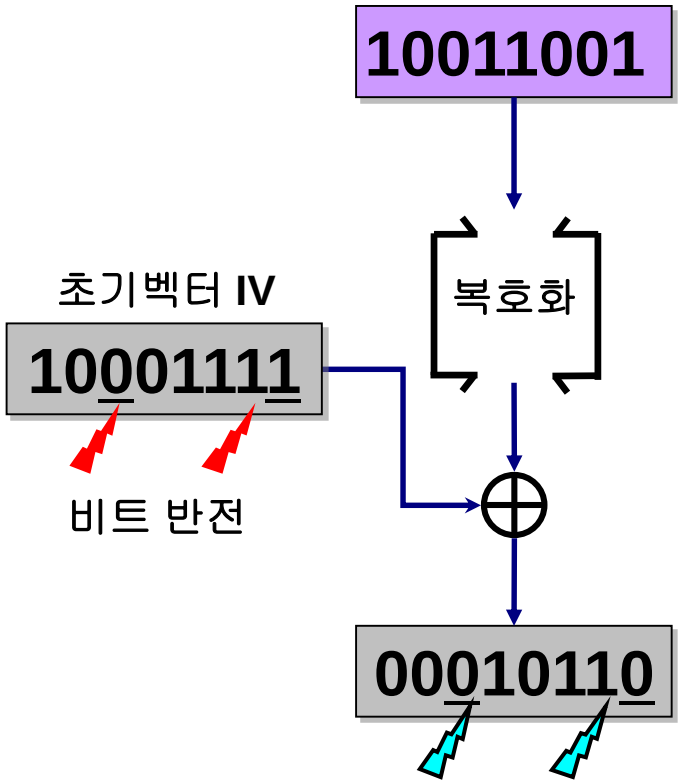


CBC 모드에서 초기벡터의 비트반전에 대한 영향

초기벡터 IV에 비트 반전이 없을 경우

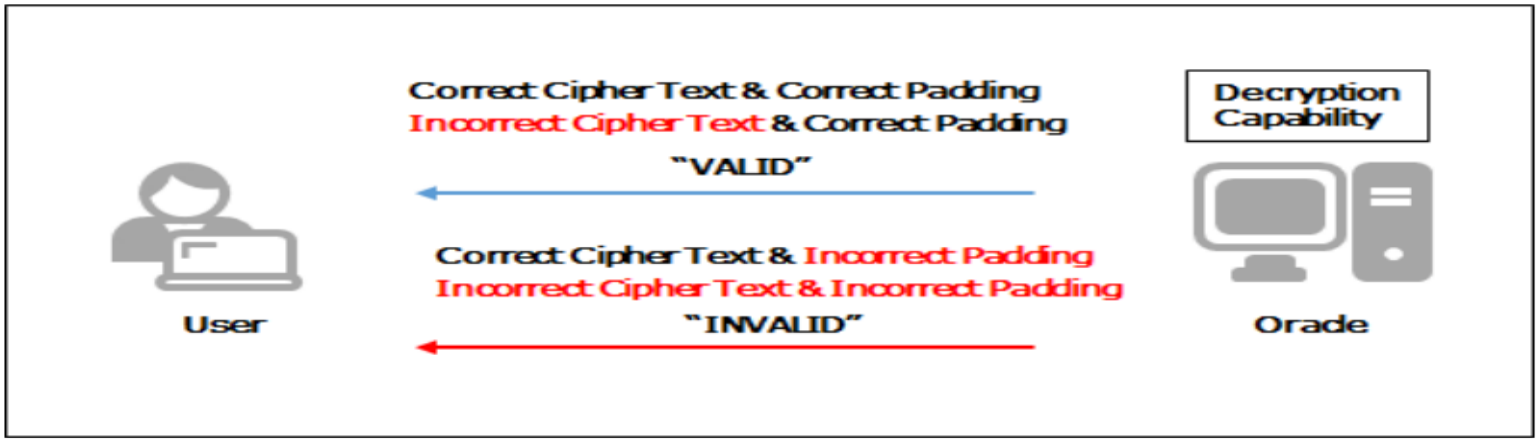


초기벡터 IV에 비트 반전이 없을 경우



3.5 패딩 오라클 공격

- 블록 암호의 패딩을 이용한 공격
- 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 있다



3.6 초기화 벡터(IV) 공격

- 초기화 벡터는 난수(Random Number)로 부여
- 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

3.7 CBC 모드 활용 예

- IPsec에는 통신의 기밀성을 지키기 위해 CBC 모드를 사용함
  - 예를 들면 트리플 DES를 CBC 모드로 사용한 3DES-CBC나, AES를 CBC 모드로 사용한 AES-CBC 등이 여기에 해당됨

- 인증을 수행하는 대칭암호 시스템의 하나인 Kerberos version 5에서도 사용하고 있음
- SSL/TLS:
  - 통신기밀성 보호
- 3DES-EDE-CBC
- AES-256-CBC:
  - 키 길이가 256비트인 경우

제4절 CFB 모드

4.1 CFB 모드란?

4.2 초기화 벡터

4.3 CFB 모드와 스트림 암호

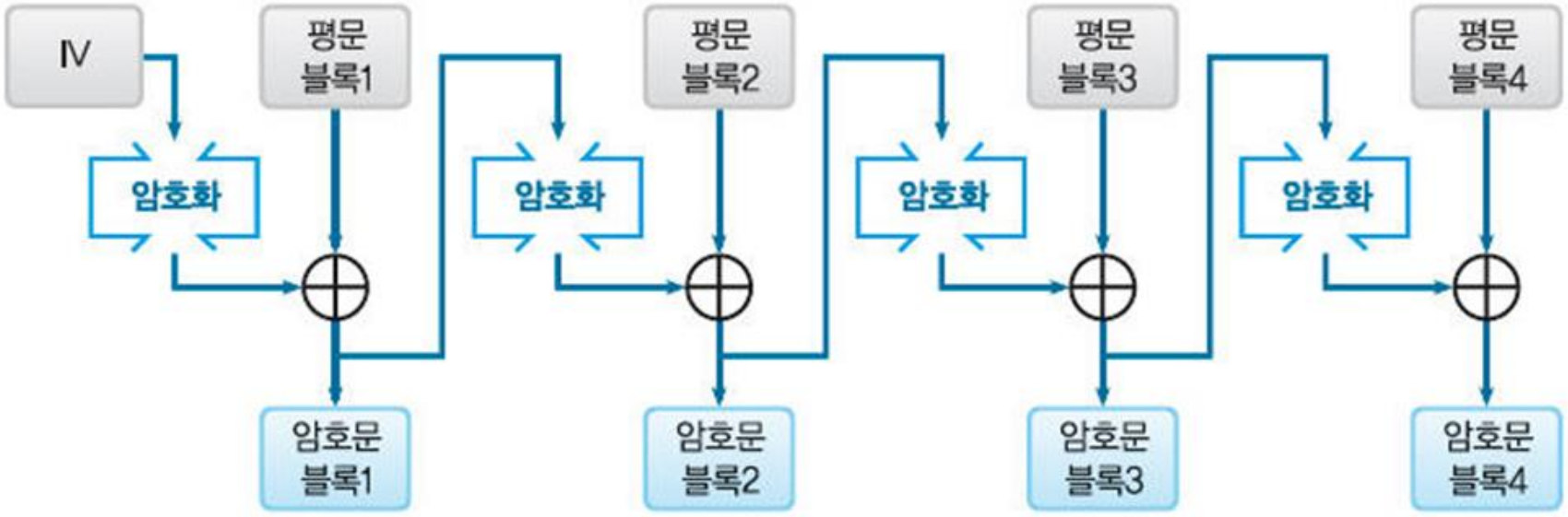
4.4 CFB 모드의 복호화

4.5 CFB 모드에 대한 공격

4.1 CFB 모드

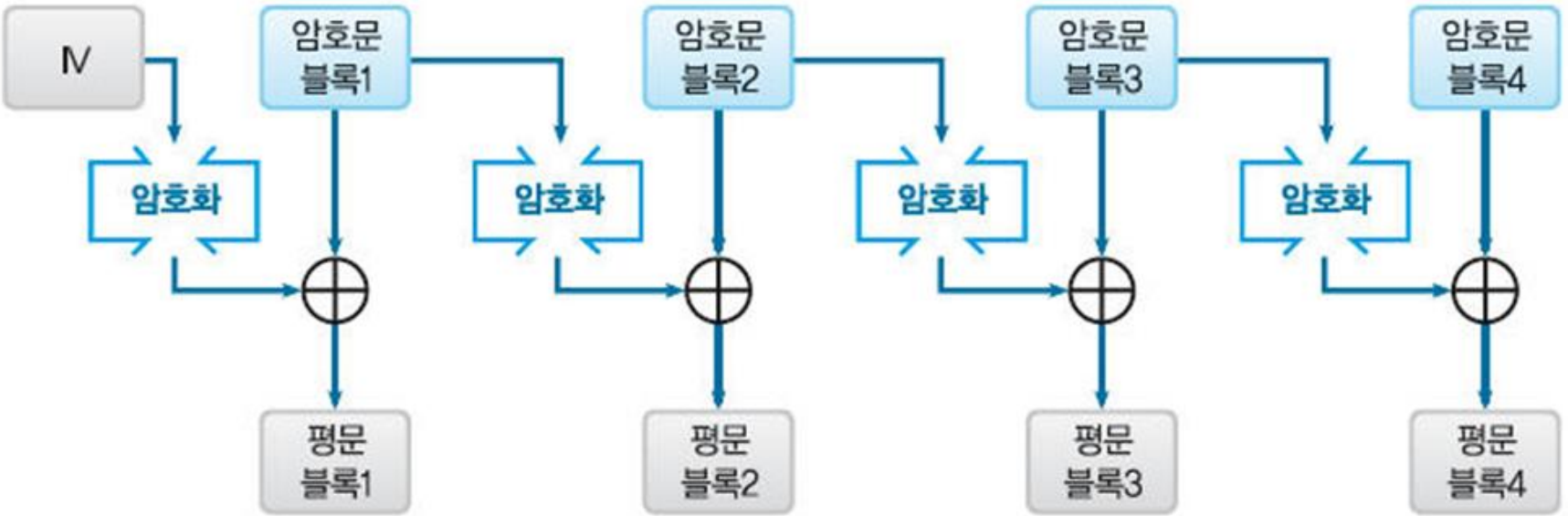
- CFB 모드
  - Cipher FeedBack 모드(**암호 피드백 모드**)의 약자
  - CFB 모드에서는 1 단계 앞의 암호문 블록을 암호 알고리즘의 입력으로 사용

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

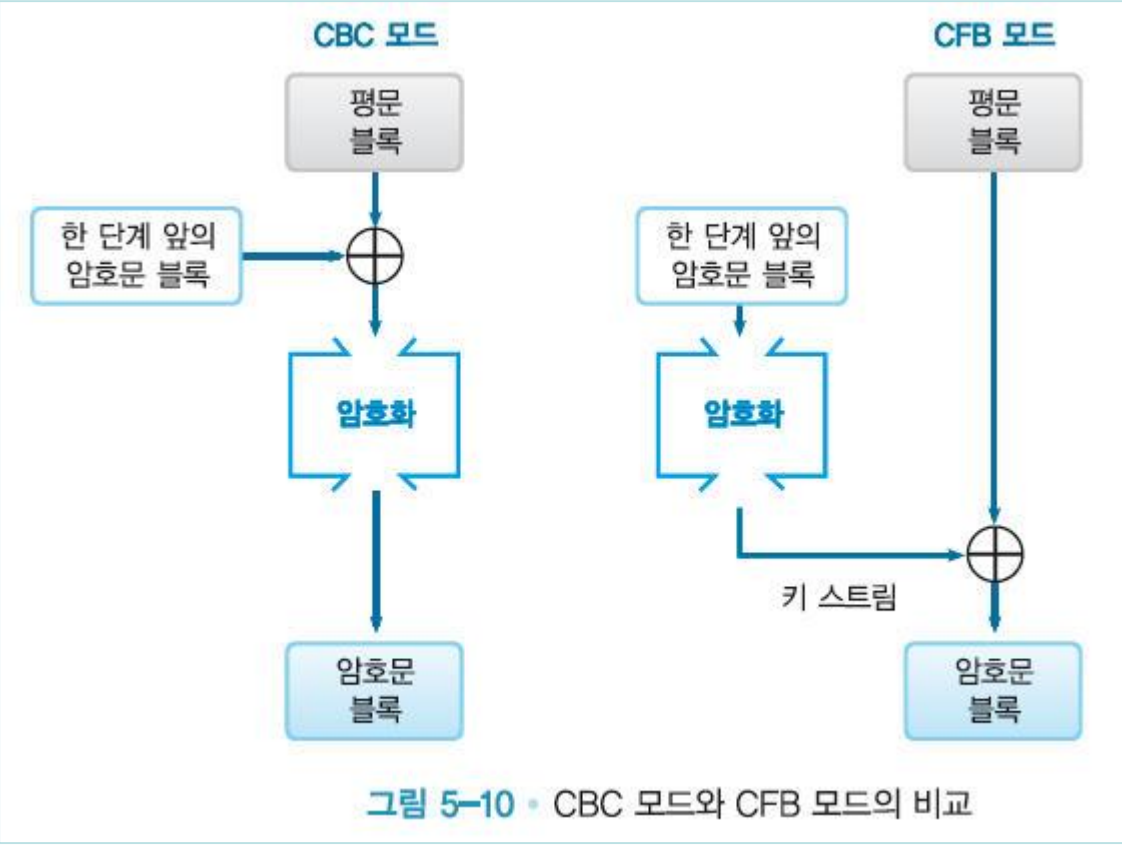


그림 5-10 • CBC 모드와 CFB 모드의 비교

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(종자)」에 해당

- CFB 모드는 블록 암호를 써서 생성한 키를 이용하는 스트림 암호

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)

재전송 공격(replay attack)

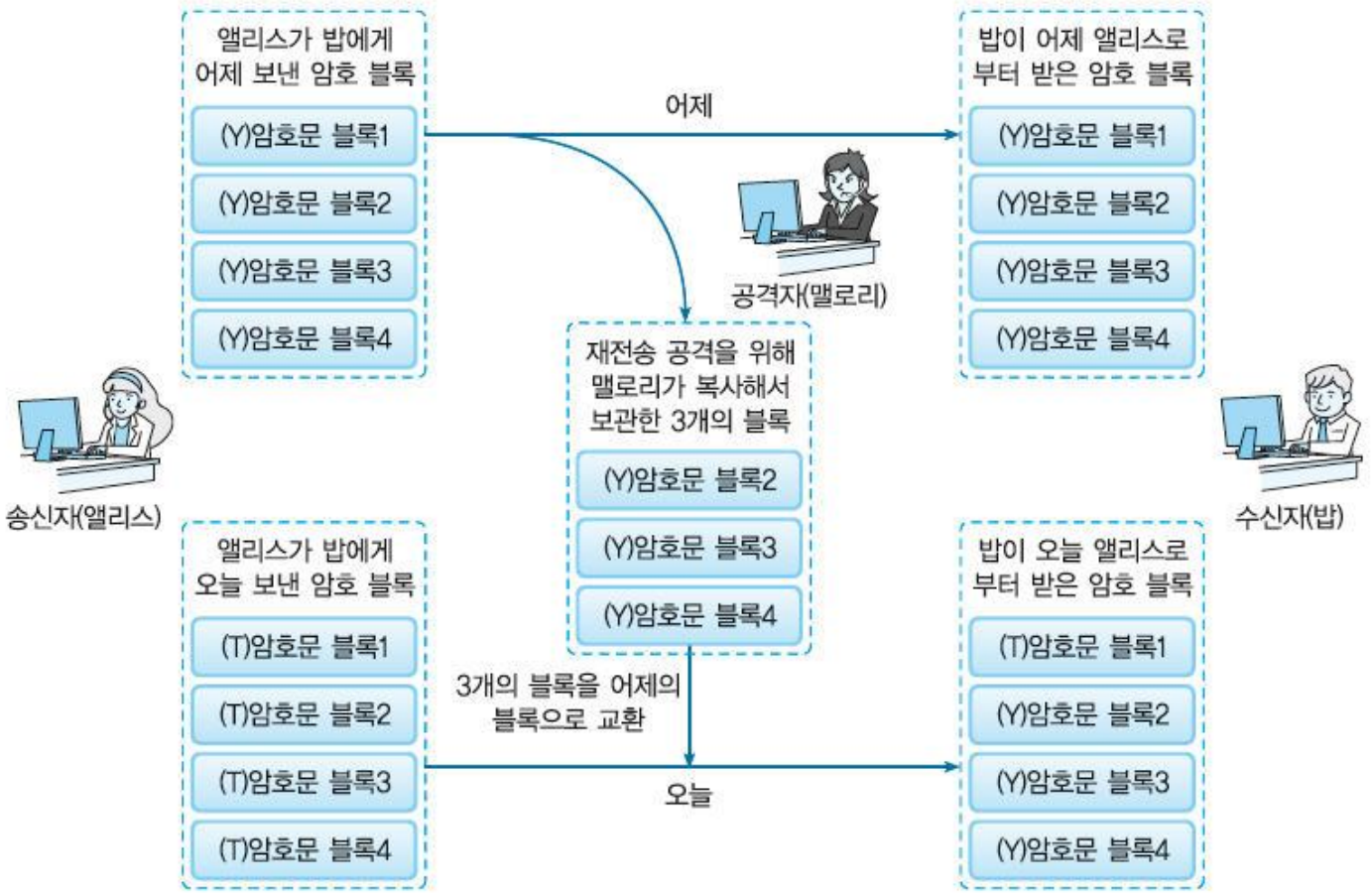


그림 5-11 • CFB 모드에 대한 재전송 공격

오늘 수신한 암호문의 복호화

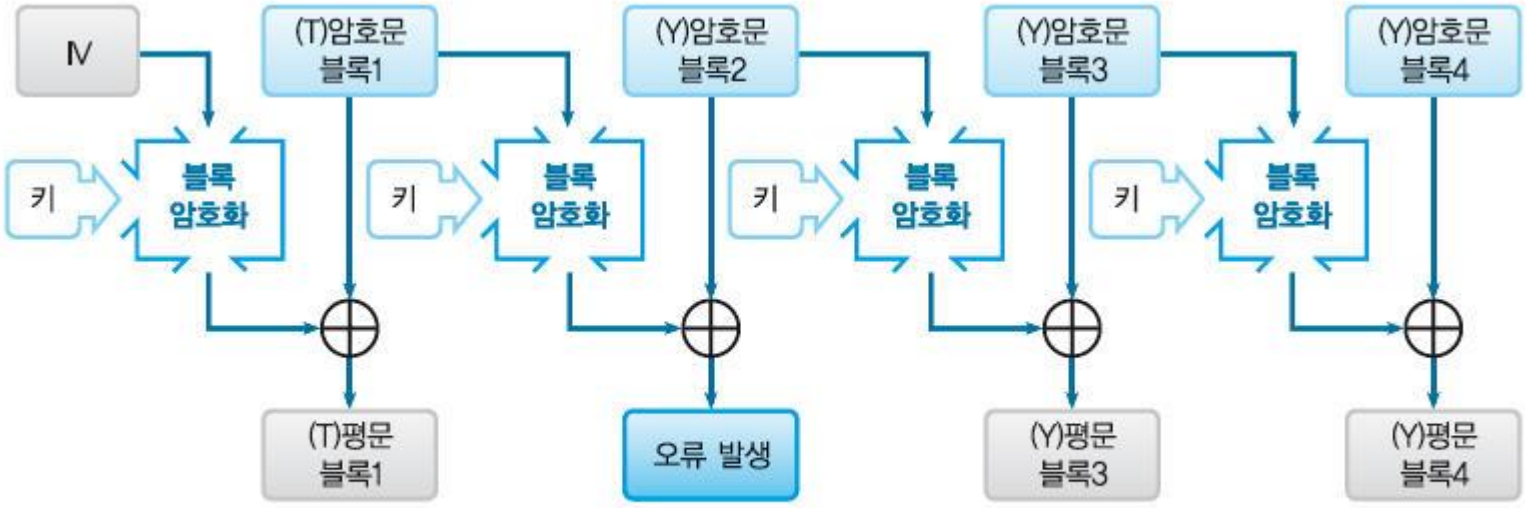
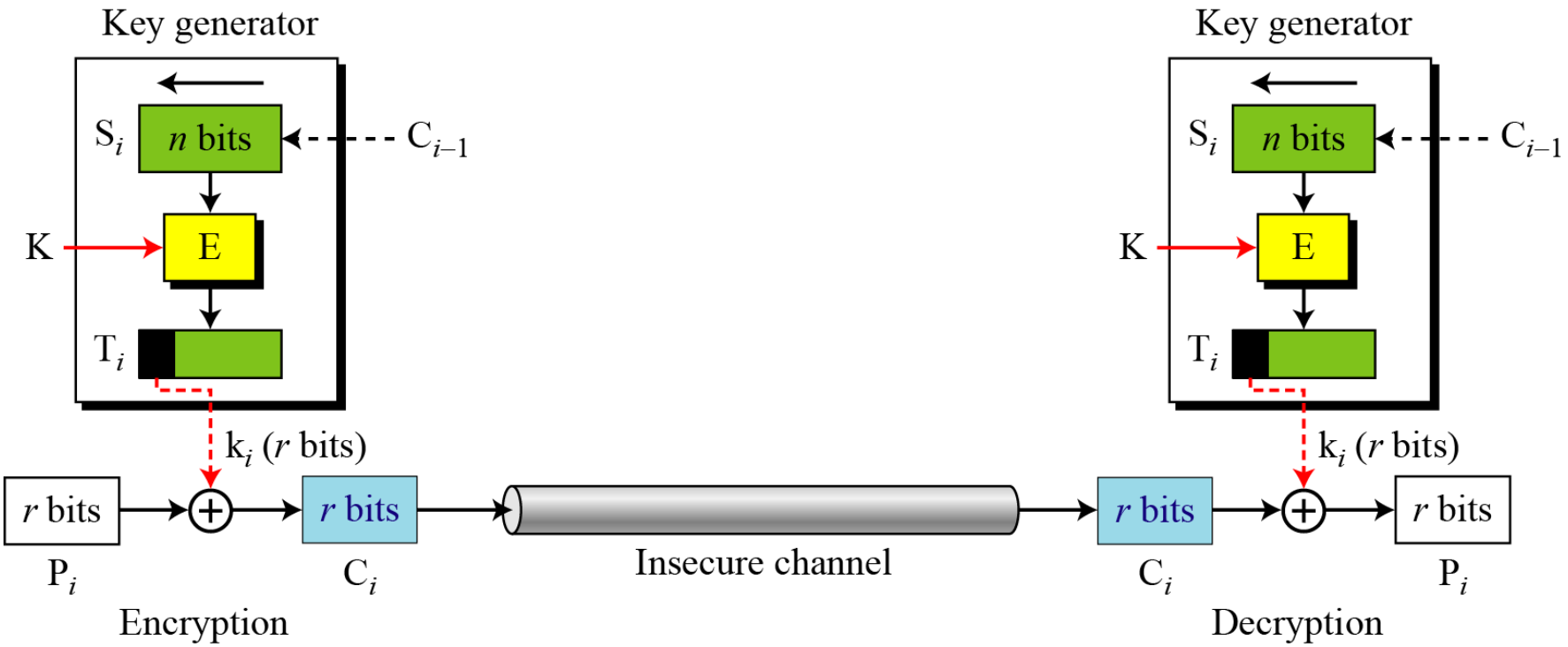


그림 5-12 • 오늘 수신한 암호문 블록을 복호화한 결과

스트림 암호로서의 CFB 모드



제5절 OFB 모드

5.1 OFB 모드란?

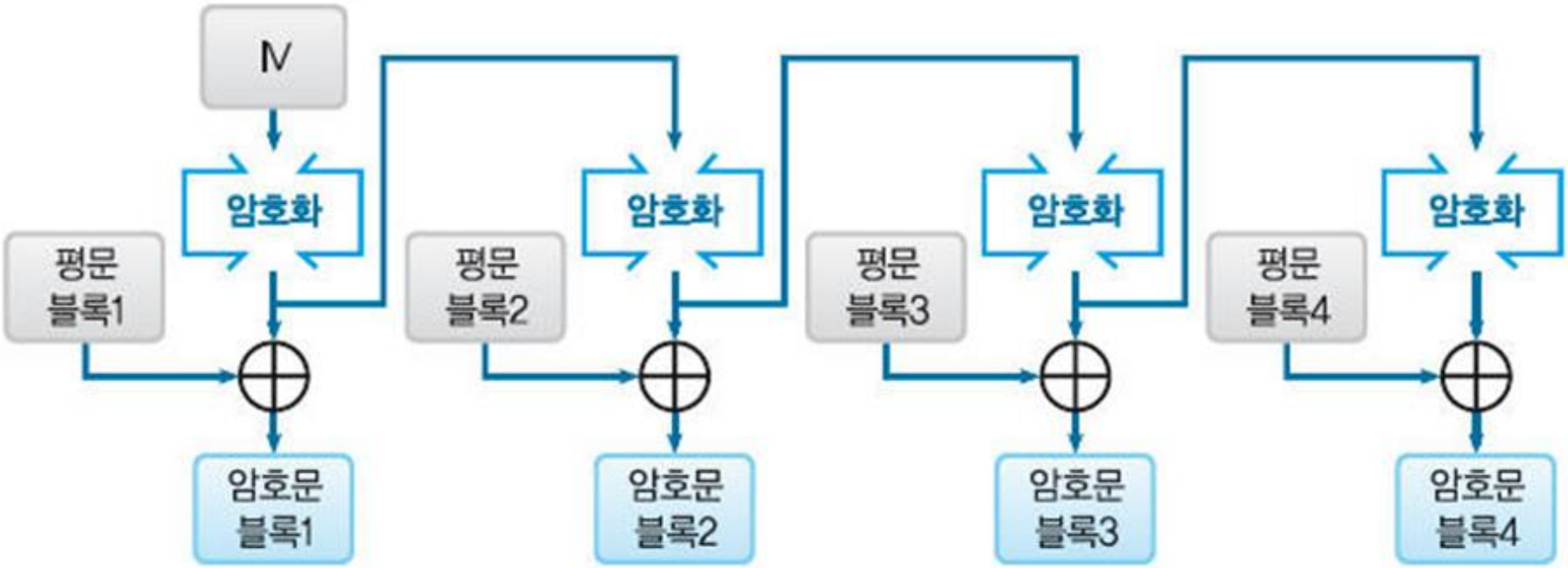
5.2 초기화 벡터

5.3 CFB 모드와 OFB 모드의 비교

5.1 OFB 모드란?

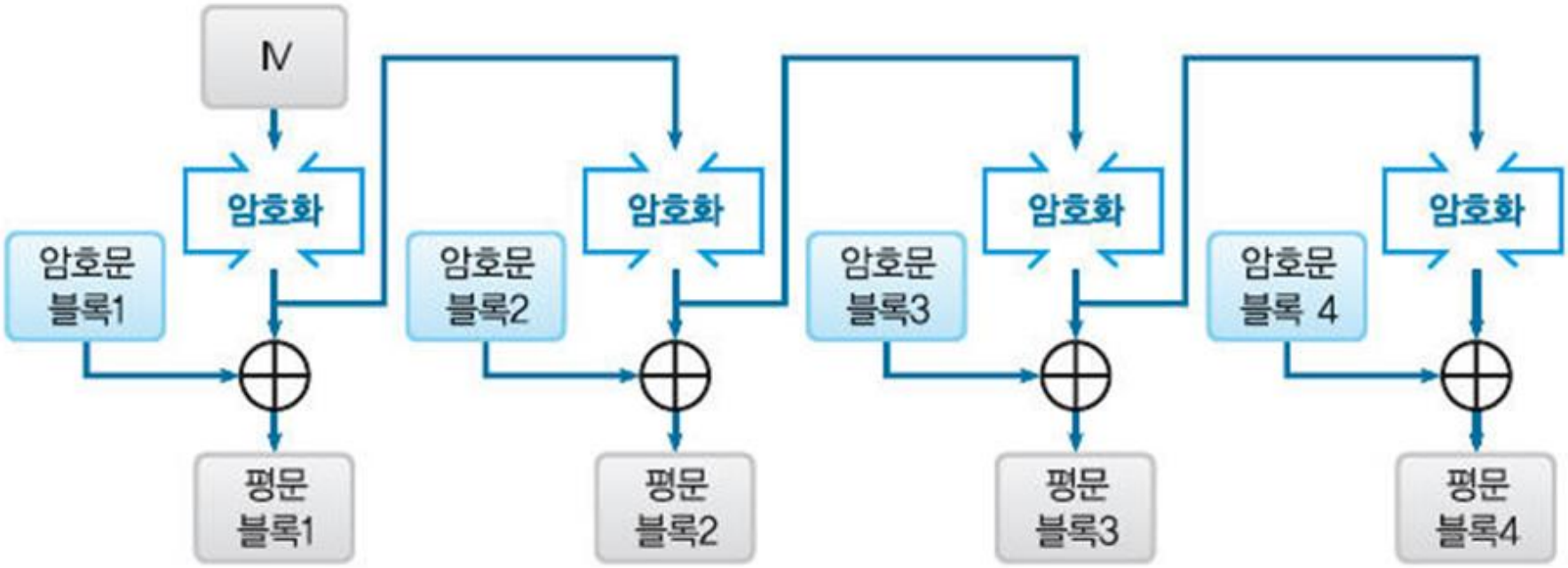
- OFB 모드
  - Output-FeedBack 모드(**출력 피드백 모드**)의 약자
  - OFB 모드에서는 암호 알고리즘의 출력을 암호 알고리즘의
  - 평문 블록은 암호 알고리즘에 의해 직접 암호화되고 있는 것은 아님
  - 「평문 블록」과「암호 알고리즘의 출력」을 XOR 해서「암호문 블록」을 만든다

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 다르다

CFB 모드와 OFB 모드 비교

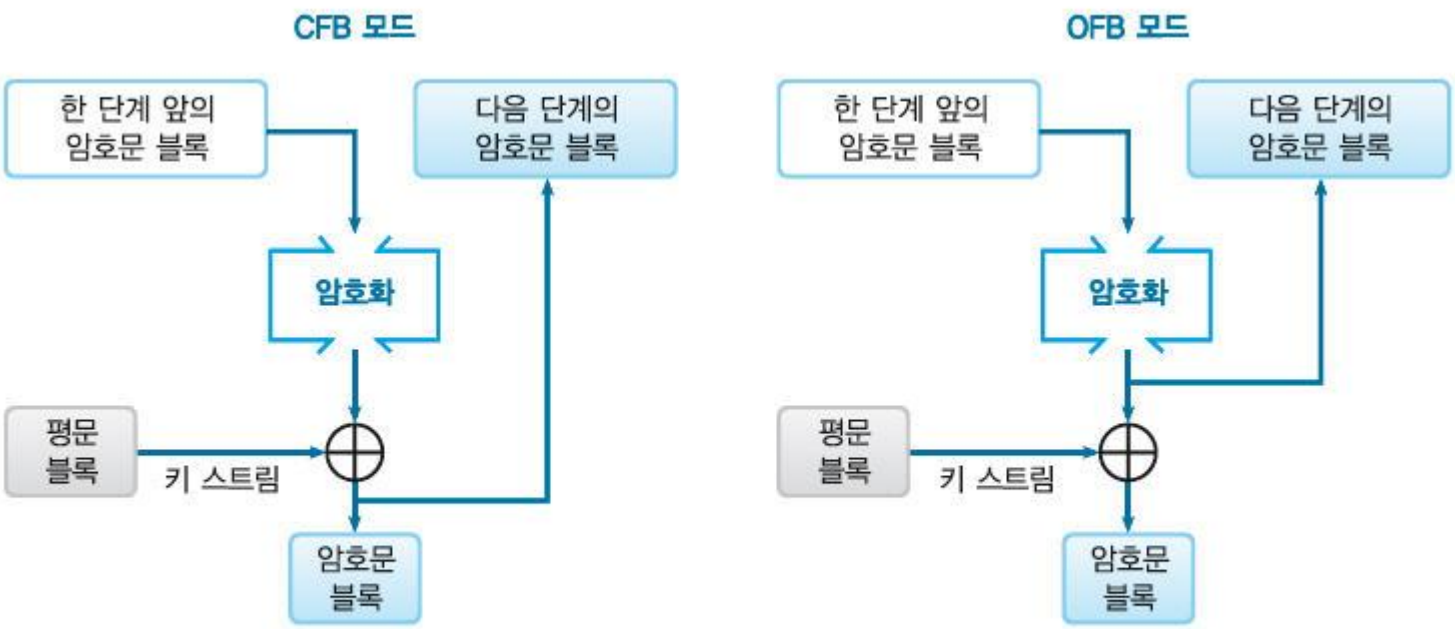
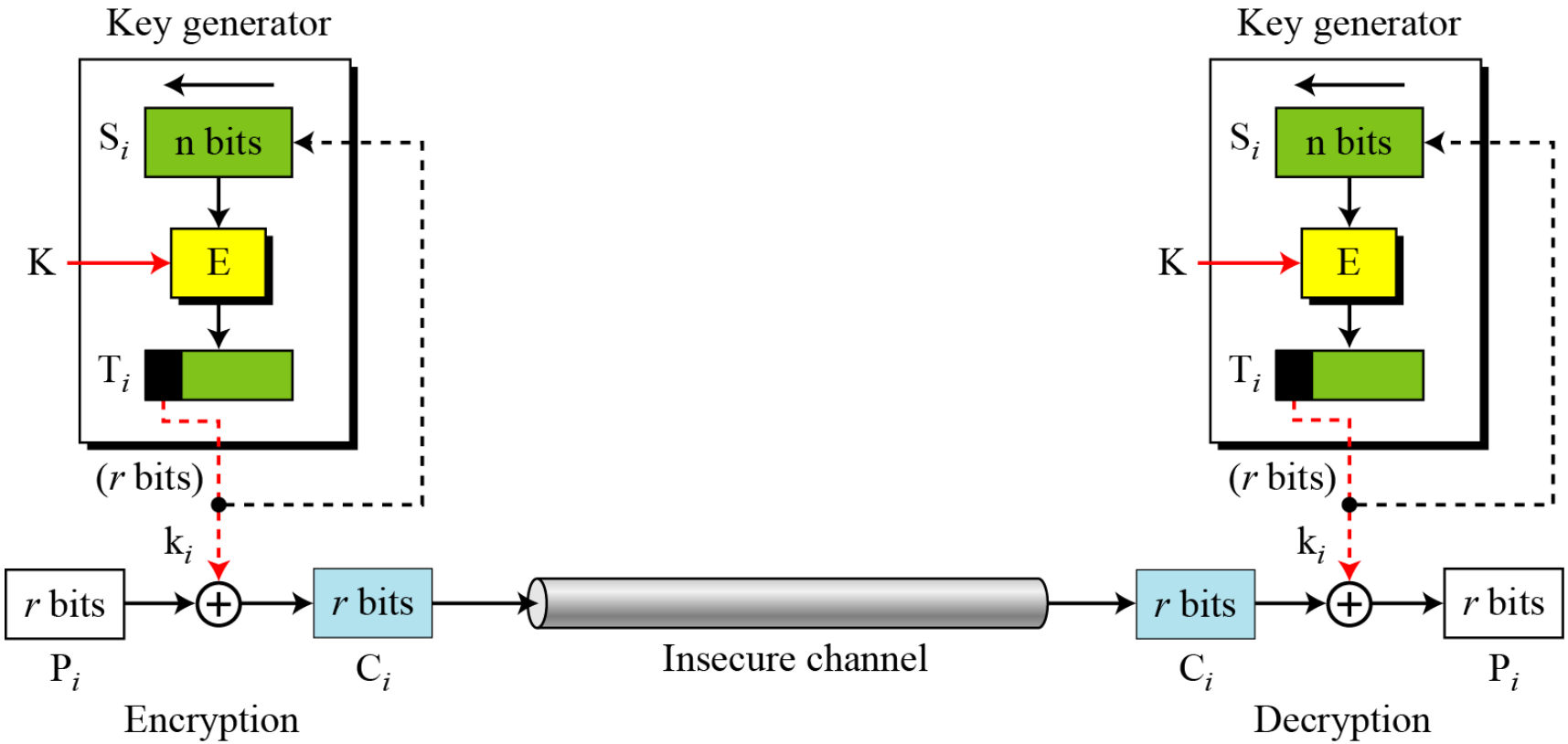


그림 5-14 • CFB 모드와 OFB 모드의 비교

스트림 암호로서의 OFB 모드



제6절 CTR 모드

6.1 카운터 만드는 법

6.2 OFB 모드와 CTR 모드의 비교

6.3 CTR 모드의 특징

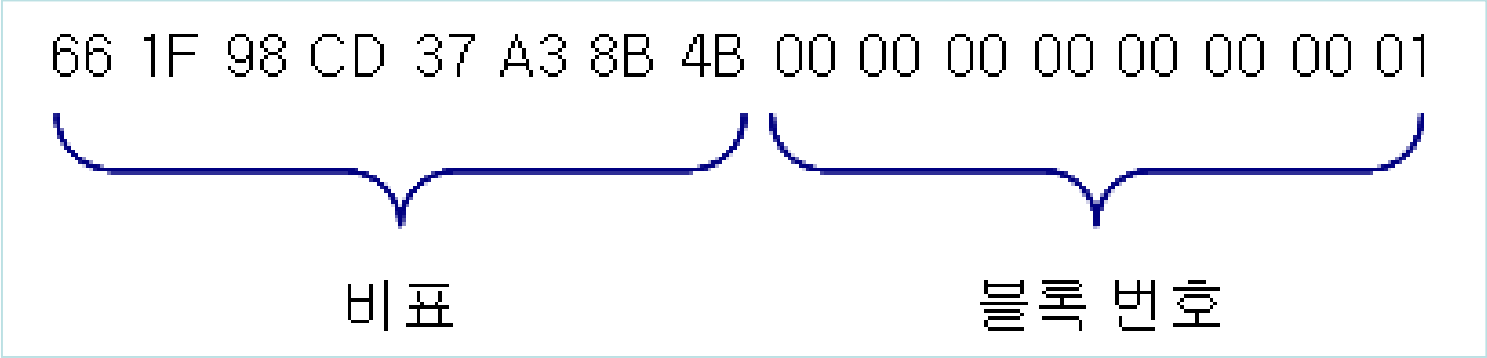
6.4 오류와 기밀성

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



6.1 카운터 만드는 법

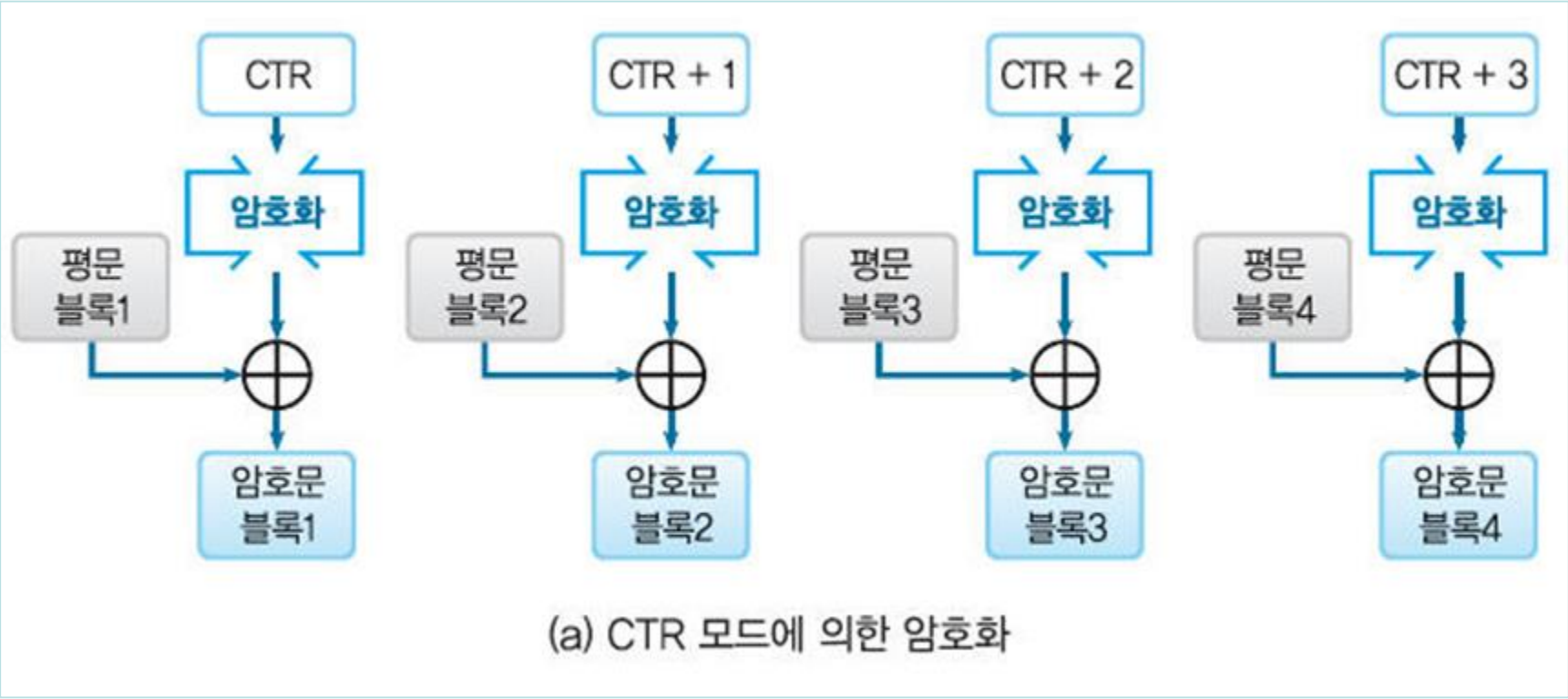
- 평문 블록1용의 카운터(초기값)
  66 1F 98 CD 37 A3 8B 4B 00 00 00 00 00 00 00 01

- 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

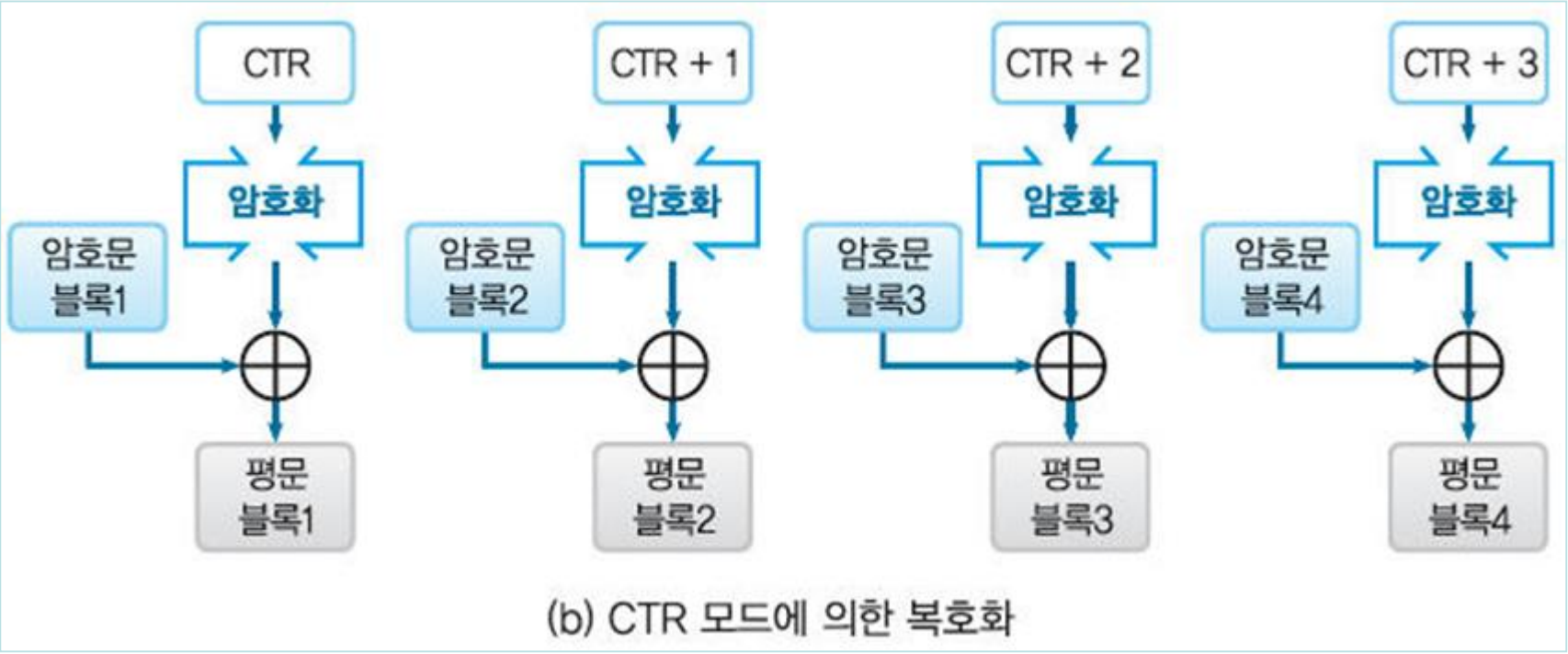
- 평문 블록4용의 카운터
  66 1F 98 CD 37 A3 8B 4B 00 00 00 00 00 00 00 04

CTR 모드 암호화



(a) CTR 모드에 의한 암호화

CTR 모드 복호화



(b) CTR 모드에 의한 복호화

6.2 OFB 모드와 CTR 모드의 비교

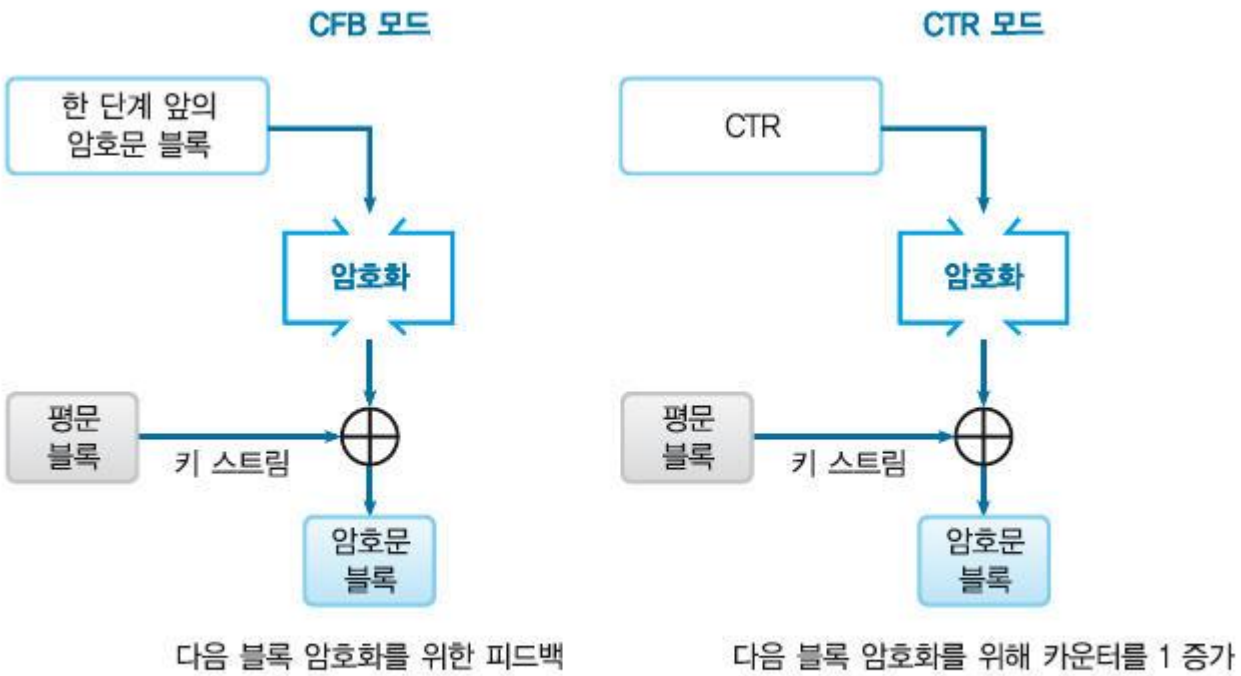


그림 5-16 • OFB 모드와 CTR 모드의 비교

6.3 CTR 모드의 특징

- CTR 모드의 암호화와 복호화는 완전히 같은 구조
- 프로그램으로 구현하는 것이 매우 간단
- OFB 모드와 같은 스트림 암호의 특징
- CTR 모드에서는 블록을 임의의 순서로 암호화 · 복호화할 수 있다
- 병렬 처리가 가능한 시스템에서는 CTR 모드를

  이용하여 자료를 고속으로 처리

6.4 오류와 기밀성

- CTR 모드의 암호문 블록에서 1비트의 반전이 발생한다고 가정
  - 복호화를 수행하면, 반전된 비트에 대응하는 평문 블록의 1비트만이 반전 되고, 오류는 확대되지 않는다.

- OFB 모드에서는 키 스트림의 1블록을 암호화한 결과가, 암호화 전의 결과와 우연히 같아졌다고 하면 그 이후 키 스트림은 완전히 같은 값의 반복된다.
  - 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	사용해서는 안된다

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
CFB 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	현재는 사용 안 함. CTR 모드를 사용하는 편이 나음.

OFB 모드

	이름	장점	단점	비고
OFB 모드	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 모드를 사용하는 편이 나음.

CTR 모드

	이름	장점	단점	비고
CTR 모드	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 처리 가능(암호화. 복호화 양쪽)	▪ 적극적 공격자가 암호문 블록을 비트 반전시키면, 대응하는 평문 블록이 비트 반전된다.	권장

칼럼 (CTS 모드)

- CTS(Cipher Text 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

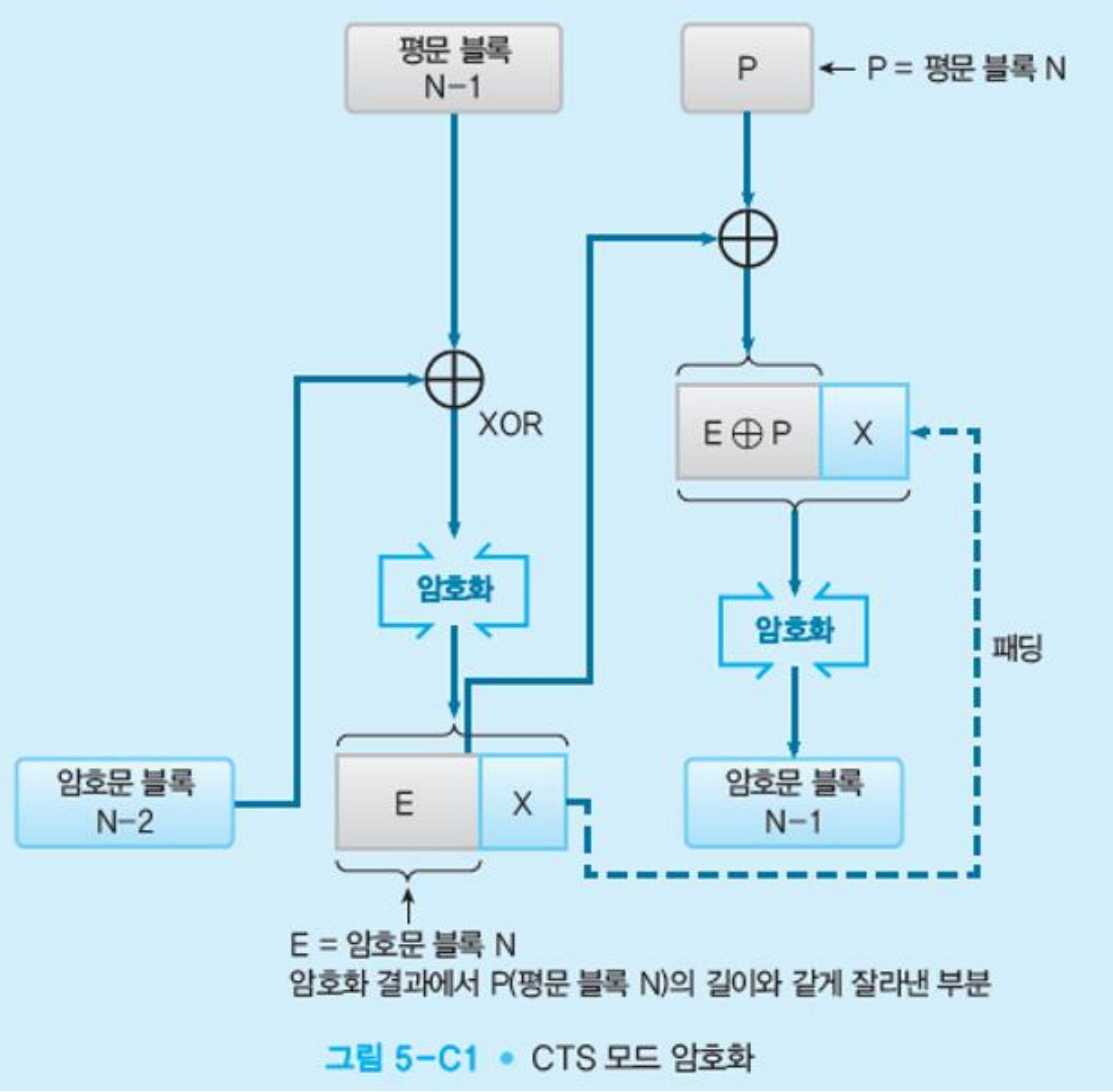


그림 5-C1 • CTS 모드 암호화

CTS 모드 복호화

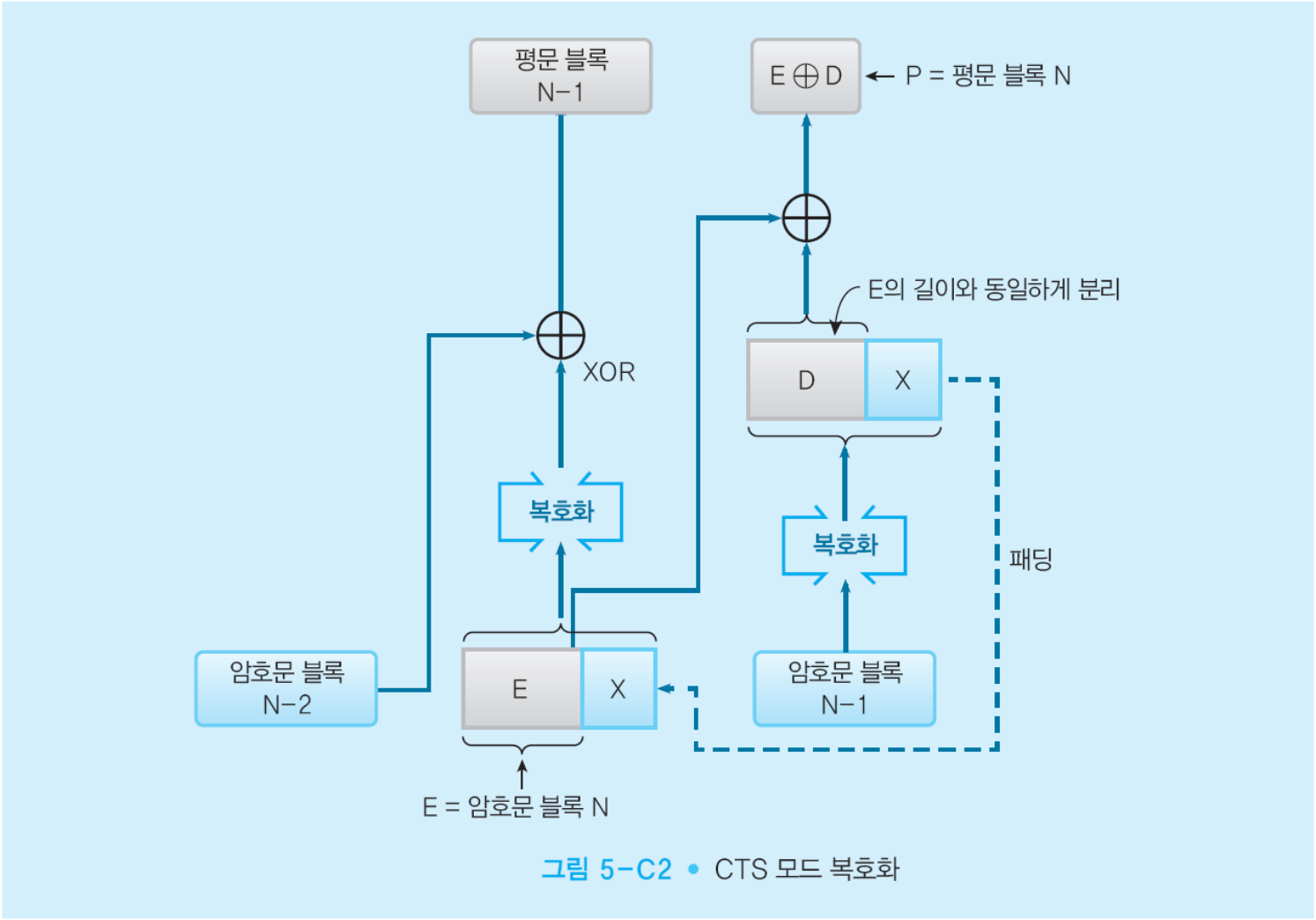


그림 5-C2 • CTS 모드 복호화

칼럼 (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) / 출력– 암호문과 인증값 (tag)
- 복호화 입력 – 암호문, 암호키, Nonce, ADD

참고문헌 추가

- 알기쉬운 정보보호 개론, 히로시 유키 지음 (이재광 외 2 공역), 인피니티북스, 2017
- 김기문 외5인, "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

Q & A

Thank You!