제 3 장
암호의 역사

박 종 혁 교수

Tel: 970-6702

Email: jhpark1@seoultech.ac.kr

1절 시저 암호

2절 단일 치환 암호

3절 다중 치환 암호

4절 에니그마

5절 전치 암호와 치환 암호

6절 암호 알고리즘과 키

제1절 시저암호

1.1 시저 암호란?

1.2 시저 암호의 암호화

1.3 시저 암호의 복호화

1.4 전사 공격에 의한 해독

1.1 시저 암호란?

- 시저 암호(Caesar cipher)
  - 줄리어스 시저(유리우스 케사르)가 사용하였다는 암호
  - 평문으로 사용되는 알파벳을 일정한 문자 수 만큼「평행이동」시킴으로써 암호화

알파벳 3문자 평행 이동

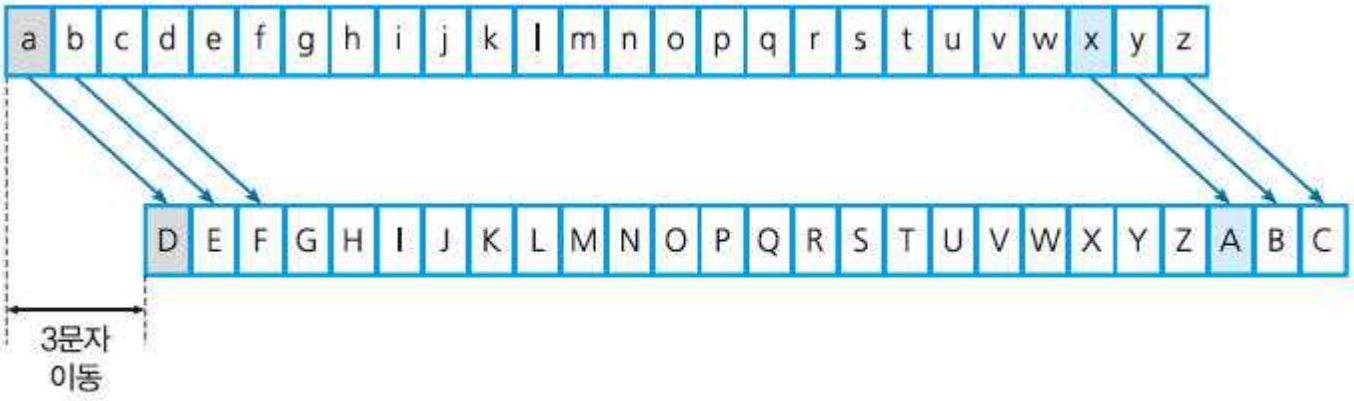


그림 3-1 • 시저 암호에서는 알파벳을 「평행 이동」시킨다.

1.2 시저 암호의 암호화

- 평문: kabsoonyee
- 암호문: NDeVRRQBHH

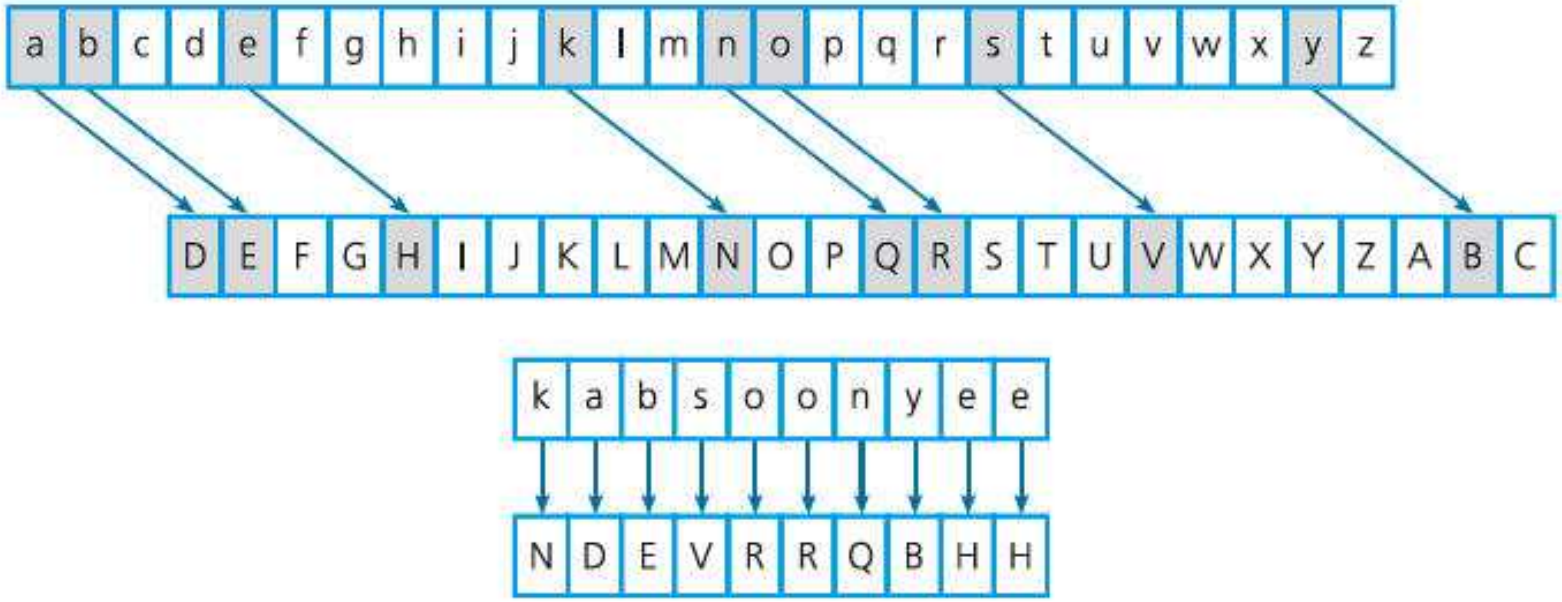


그림 3-2 • 평문을 1문자씩 암호화하기

시저 암호에 의한 암호화

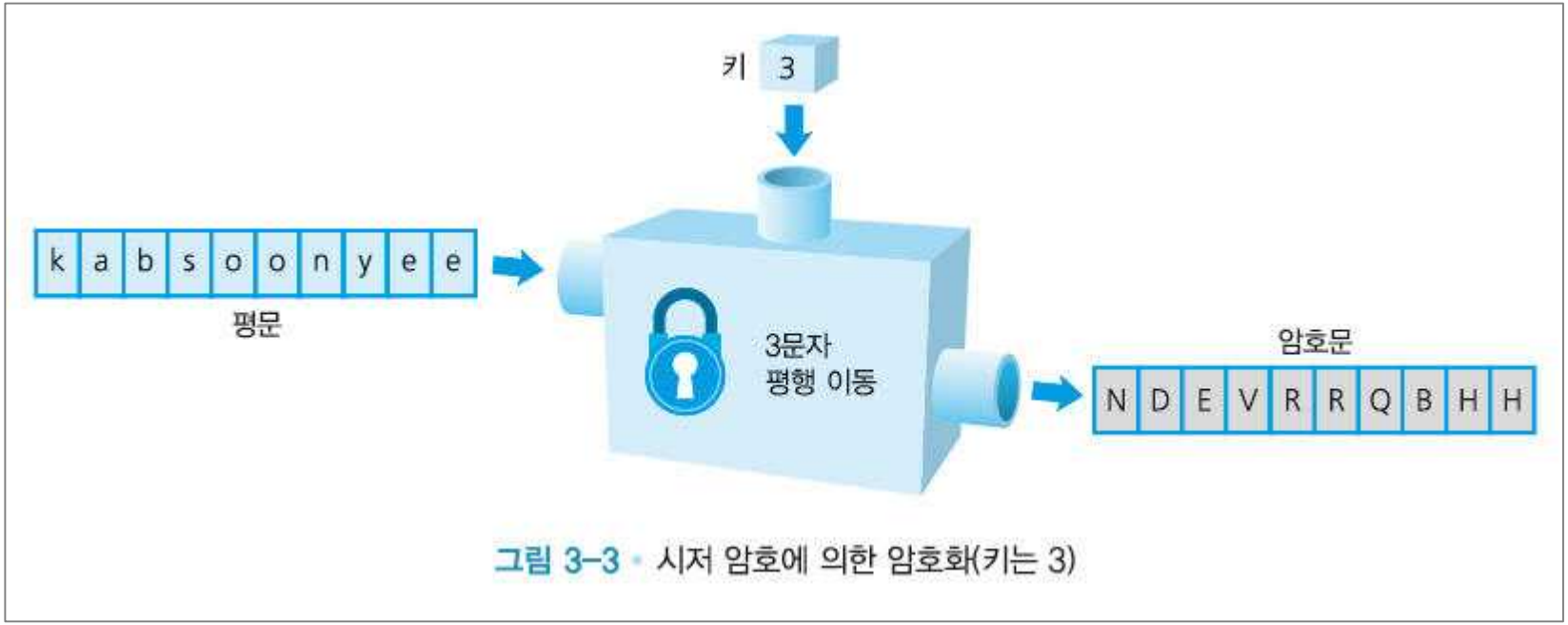


그림 3-3 · 시저 암호에 의한 암호화(키는 3)

1.3 시저 암호의 복호화

- 암호화 때와 동일한 크기의 역방향 평행이동

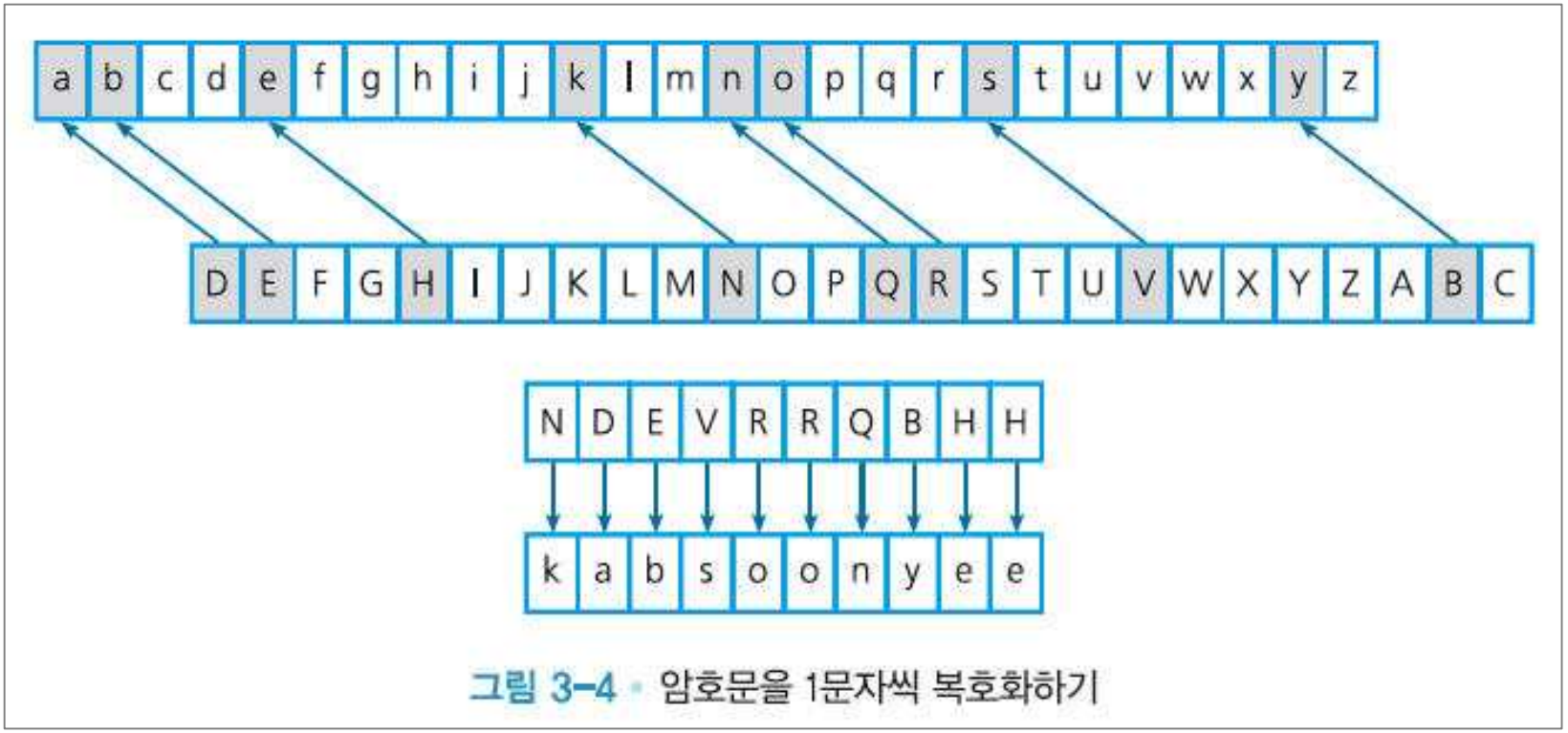


그림 3-4 • 암호문을 1문자씩 복호화하기

시저 암호에 의한 복호화

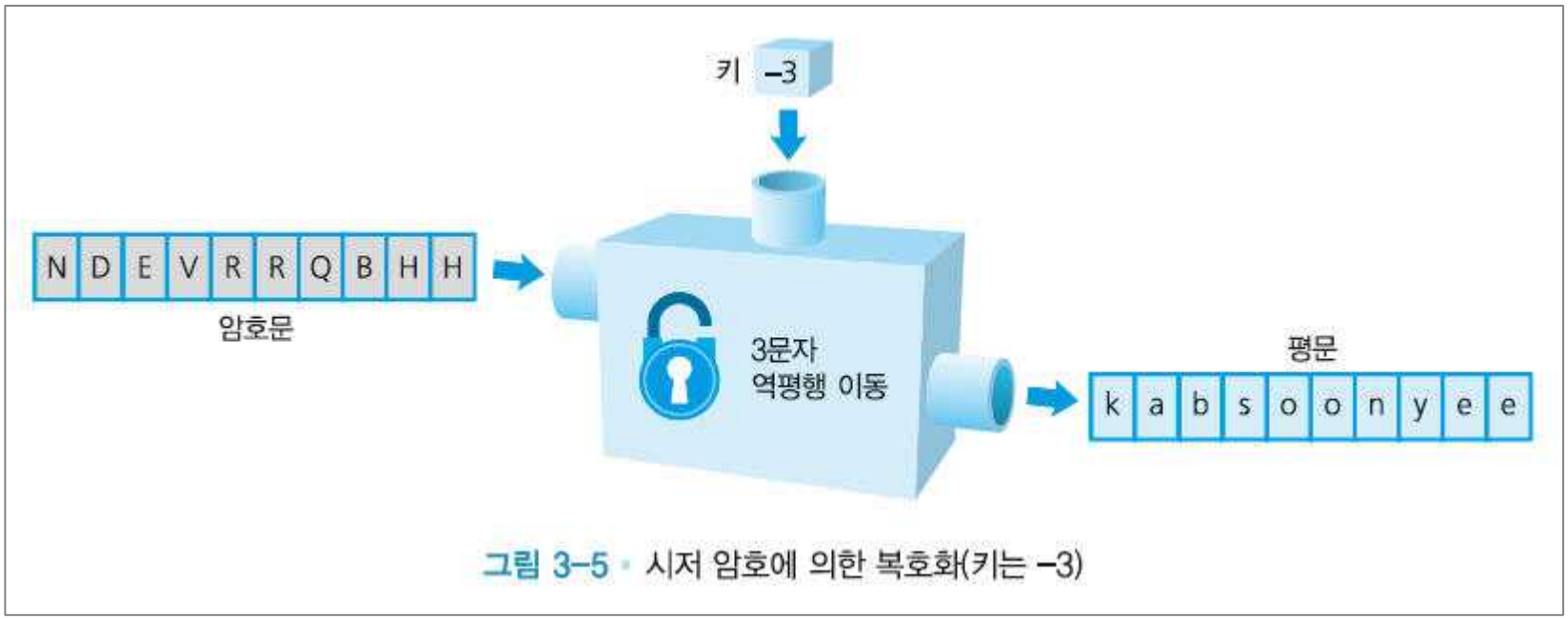


그림 3-5 • 시저 암호에 의한 복호화(키는 –3)

1.4 전사 공격에 의한 해독

- 암호문 NDeVRRQBHH 을 보고 다른 정보 없이도 kabsoonyee 라는 메시지를 맞출 수는 없을까?

- 영어 알파벳은 26 문자이므로 암호화 키는 0에서 25까지 26가지

- 전사공격(brute-force attack)
  - 키가 될 수 있는 모든 가능한 후보들을 시도해 보는 방법

시저 암호문에 대한 전사 공격

그림 3-6 • 시저 암호문에 대한 전사 공격

- 철자의 빈도와 자주 사용되는 단어와 형태를 이용하는 등 전사공격에 취약함

제2절 단일 치환 암호

2.1 단일 치환 암호란 무엇인가?

2.2 단일 치환 암호의 암호화

2.3 단일 치환 암호의 복호화

2.4 단일 치환 암호의 키 공간

2.5 빈도 분석에 의한 해독

2.1 단일치환 암호란 무엇인가?

- 단일 치환 암호(simple substitution cipher)
  - 평문을 구성하는 알파벳을 다른 알파벳으로 변환하는 암호
  - 시저 암호는 단일 치환 암호

단일 치환 암호의 치환표(예)

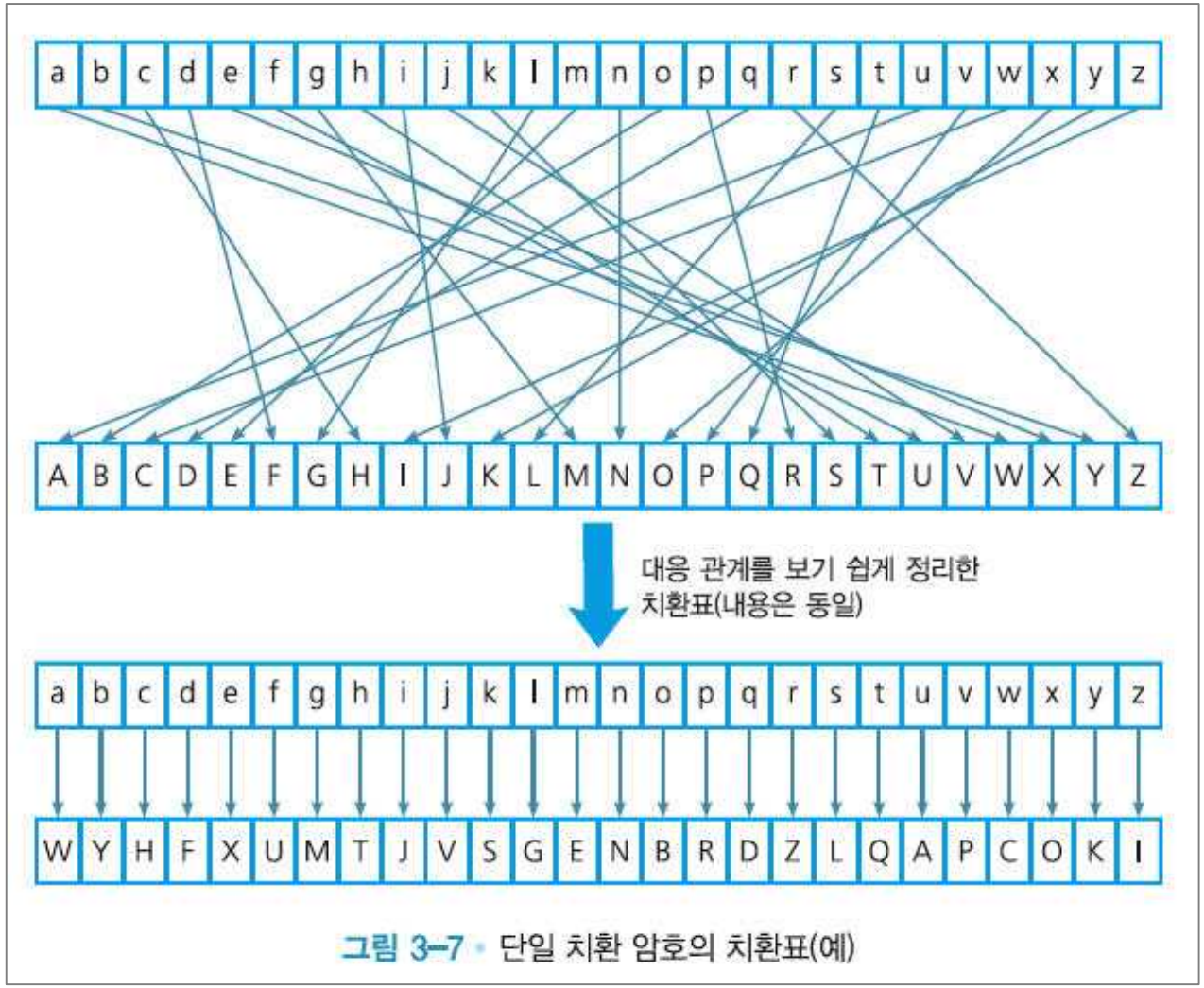


그림 3-7 • 단일 치환 암호의 치환표(예)

2.2 단일 치환 암호의 암호화

- 평문: kabsoonyee 를 암호화해 보자
- 암호문: SWYLBBNKXX

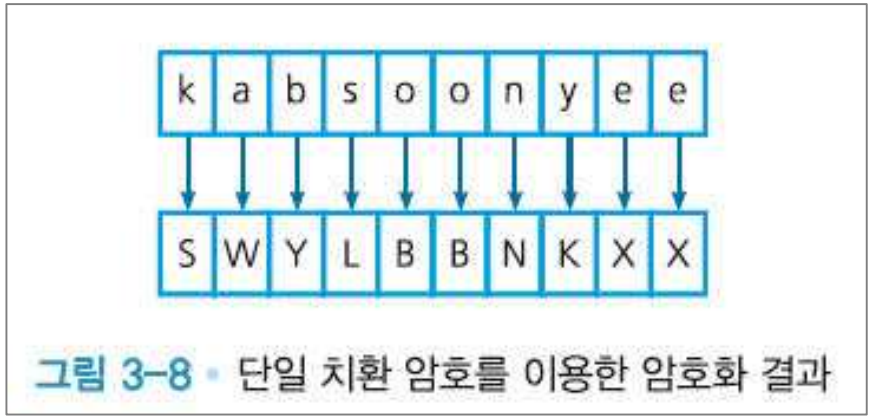


그림 3-8 • 단일 치환 암호를 이용한 암호화 결과

- 약점
  - 평문에 등장하는 문자의 빈도가 암호문으로 바뀐 뒤에도 암호문 내에서 동일한 빈도로 나타난다

2.3 단일 치환 암호의 복호화

- 치환표가 단일 치환 암호의 「키」
- 암호화 때에 사용한 치환표가 필요
- 송신자와 수신자는 치환표를 공유

2.4 단일 치환 암호의 키 공간

- 시저 암호는 전사 공격으로 해독 가능

- 단일 치환 암호는 전사 공격으로 해독이 어렵다
  - 단일 치환 암호가 시저 암호에 비해 훨씬 많은 키 후보를 가질 수가 있기 때문

키 공간

- 키 공간(key space)
  - 해당 암호에서 사용할 수 있는「모든 키의 집합」
  - 이 키 공간에 속하는 가능한 키의 총수를 키 공간의 크기
  - 키 공간이 크면 클수록 전사공격은 어렵다
  - 단일 치환 암호의 키의 총수

$$26 \times 25 \times 24 \times 23 \quad \cdots \quad 1$$
$$= 403291461126605635584000000$$

전사공격 시간

$$26 \times 25 \times 24 \times 23 \cdot \cdot \cdot \times 1$$
$$= 403291461126605635584000000$$

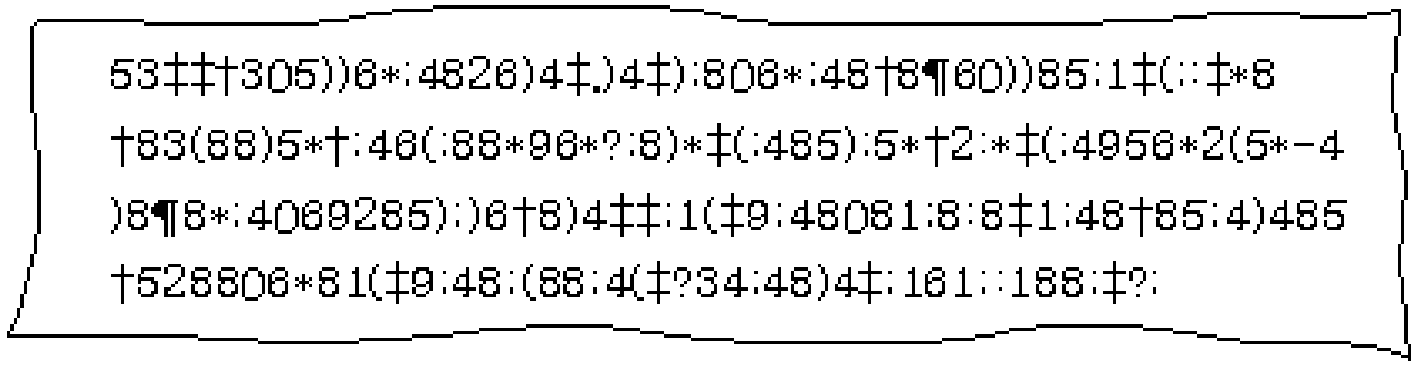
- 키 수가 이렇게 많다면
- 1초에 10억 개의 키를 적용하는 속도로 조사한다고 해도, 모든 키를 조사하는 데 120억년 이상의 시간이 필요

2.5 빈도 분석에 의한 해독

- 빈도 분석 암호 해석법을 사용하면 단일 치환 암호도 해독할 수 있다

- 빈도 분석에서는
  - 평문에 등장하는 문자의 빈도
  - 암호문에 나오는 문자의 빈도가 일치하는 것을 이용

2.5 빈도분석을 이용한 암호해독



A good glass in the bishop's hostel in the devil's seat forty-one degrees and thirteen minutes northeast and by north main branch seventh limb east side shoot from the left eye of the death's-head a bee line from the tree through the shot fifty feet out. - 애드가 앨런 포우 『황금벌레』

소설에 등장한 빈도분석

- 빈도분석 방법은 여러 소설에 등장
  - 에드가 앨런 포우의 '황금벌레'
  - 아서 코난 도일의 '셜록홈즈 이야기', '춤추는 남자의 모험'

소설 속의 암호

'셜록홈즈 이야기' 인 '춤추는 남자의 모험' 에 나오는 암호

최초의 빈도분석에 대한 자료

- 최초의 기록으로 남아있는 빈도분석에 대한 내용은 9세기‘암호문 해독에 관한 논고’에 등장하는 아랍의 현학자 알킨디(al-Kindi)에 ㄷ

알킨디의 '암호문 해독에 관한 논고' 첫 페이지

빈도분석을 이용한 암호해독

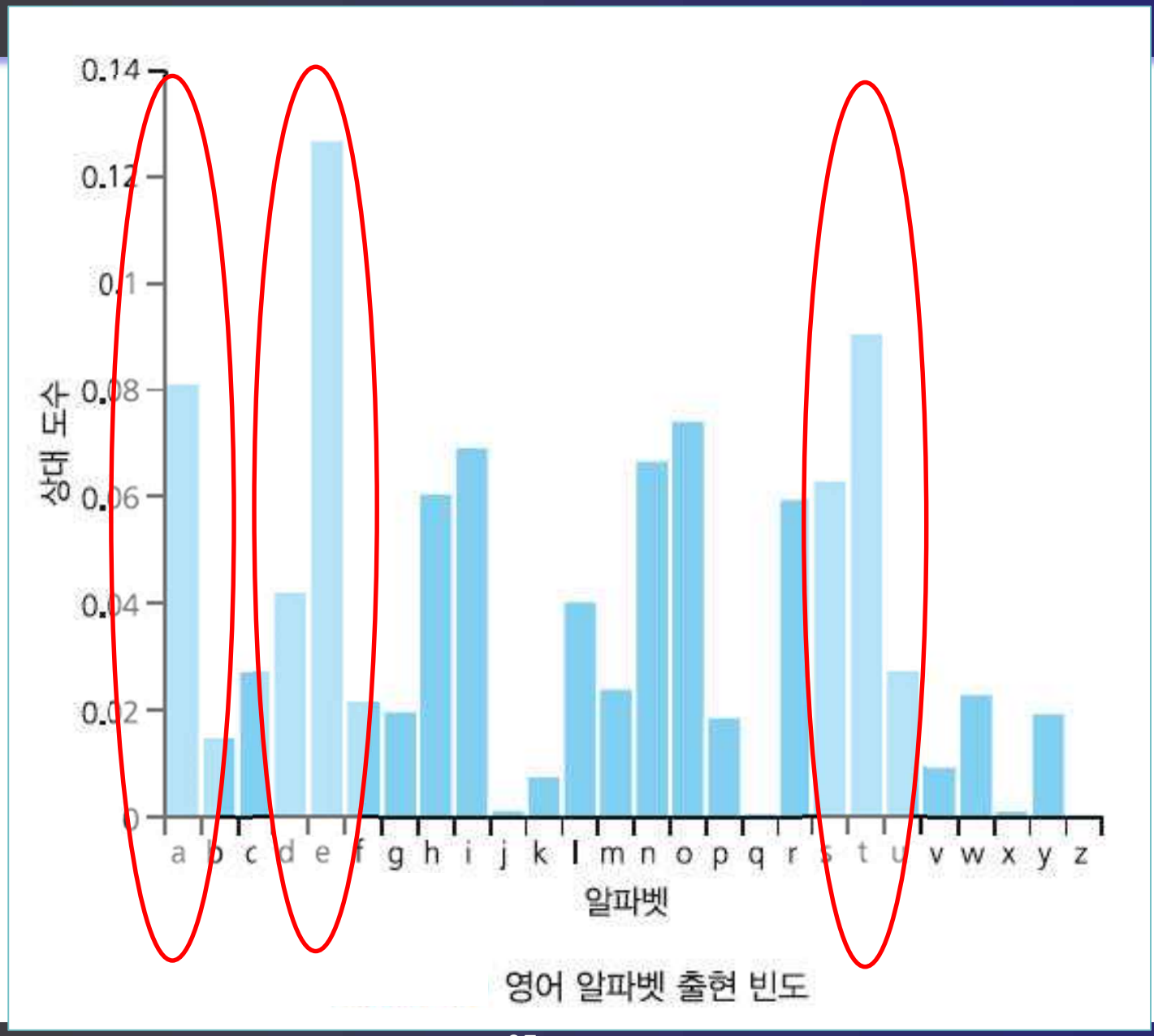
- 암호문

MeYLGVIWAMeYOPINYZGWYeGMZRUUYPZAIXILGVSIZZMPGKKD
WOMePGROeIWGPCeIPAMDKKeYCIUYMGIFRWCeGLOPINYZHRZM
PDNYWDWOGWITDWYSeDCeeIAFYYWMPIDWYAGTYPIKGLMXFPI
WCeHRZMMeYMeDWOMGQRYWCeUXMeDPZMQRGMeeYAPISDWO
FICJILYSNICYZeYMGGJIPRWIWAIHRUNIWAHRZMUDZZYAMeYFRW
CeMRPWDWOPGRWAIOIDWSDMeIGWYMSGMePYYeYHRUNYARNF
RMSDMeWGOPYIMYPZRCCYZZIOIDWIWAIOIDWeYMPDYAILMYPM
eYMWUNMDWOUGPZYKFRMIMKIZMeIAMGODTYDMRNIWASIKJYAI
SIXSDMeeDZWGZYDWMeYIDPZIXDWODIUZRPYMeYXIPYZGRPDM
DZYIZXMGAYZNDZYSeIMXGRCIWWGMOYM

암호문 속의 영어 알파벳 출현 빈도표

문자	개수	문자	개수	문자	개수	문자	개수	문자	개수
I	47개	G	27개	C	12개	F	7개	V	2개
Y	47개	Z	27개	S	11개	L	6개	B	0개
M	45개	P	26개	N	10개	H	5개		
W	35개	R	22개	U	10개	J	3개		
e	33개	A	17개	K	8개	T	3개		
D	30개	O	16개	X	8개	Q	2개		

영어 알파벳 출현 빈도


0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
상품 대수
a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z
알파벳
영어 알파벳 출현 빈도

최빈도를 갖는 문자를 e로 변환

MEeLGVIWAMEeOPINeZGWeEGMZRUUePZAIXILGVSIZZMPGKKDWO
MEPGROEIWGPCEIPAMDKKEeCIUeMGIFRWCEGLOPINeZHRZMPDN
eWDWOGWITDWeSEDCEEIAFeeWMPIDWeAGTePIKGLMXFPIWCEHR
ZMMEeMEDWOMGQReWCEUXMEDPZMQRGMEEeAPISDWOFICJILeS
NICeZEeMGGJIPRWIWAIHRUNIWAHRZMUDZZeAMEeFRWCEMRPWD
WOPGRWAIOIDWSDMEIGWeMSGMEPeeEeHRUNeARNFRMSDMEWG
OPeIMePZRCCeZZIOIDWIWAIOIDWEeMPDeAILMePMEeMWUNMDWO
UGPZeKFRMIMKIZMEIAMGODTeDMRNIWASIKJeAISIXSDMEEDZWGZ
eDWMEeIDPZIXDWODIUZRPeMEeXIPeZGRPDMDZeIZXMGAeZNDZe
SEIMXGRCIWWGMOeM

영어의 ‘the’ 점검

theLGVIWAtheOPINeZGWehGtZRUUePZAIXILGVSIZZtPGKKDWOthPG
ROhIWGPChIPAtDKKheCIUetGIFRWChGLOPINeZHRZtPDNeWDWOG
WITDWeShDChhIAFeeWtPIDWeAGTePIKGLtXFPIWChHRZtthethDWOt
GQReWChUXthDPZtQRGthheAPISDWOFICJILeSNICeZhetGGJIPRWI
WAIHRUNIWAHRZtUDZZeAtheFRWChtRPWDWOPGRWAIOIDWSDthIG
WetSGthPeeheHRUNeARNFRtSDthWGOPeItePZRCCeZZIOIDWIWAIOI
DWhetPDeAILtePthetWUNtDWOUGPZeKFRtItKIZthIAtGODTeDtRNIWA
SIKJeAISIXSDthhDZWGZeDWtheIDPZIXDWODIUZRPetheXIPeZGRPDt
DZeIZXtGAeZNDZeShItXGRCIWWGtOet

익숙한 단어 추측

theLGVlWAtheOrlNeZGWehGtZRUUerZAlXILGVSlZZtrGKKDWOthrGR
OhlWGrChlrAtDKKheClUetGlFRWChGLOrlNeZHRZtrDNeWDWOGWlT
DWeShDChhlAFeeWtrlDWeAGTerlKGLtXFrlWChHRZtthethDWOtGQRe
WChUXthDrZtQRGthheArlSDWOFlCJILeSNlCeZhetGGJlrRWlWAlHRU
NlWAHRZtUDZZeAtheFRWChtRrWDWOrGRWAlOlDWSDthlGWetSGthr
eeheHRUNeARNFRtSDthWGOrelterZRCCeZZlOlDWlWAlOlDWhetrDeA
ILterthetWUNtDWOUGrZeKFRtltKlZthlAtGODTeDtRNlWASlKJeAlSlXSD
thhDZWGZeDWtheIDrZlXDWODlUZRretheXlreZGRrDtDZelZXtGAeZND
ZeShltXGRClWWGtOet

단어 패턴

- thethDWg라는 패턴이 보인다. 이것은 the thing일지도 모른다(D→i, W→n)

- grINe라는 패턴이 보인다. 사전을 찾아보았더니, grace, grade, grape, grate, grave, gripe, grofe, …처럼 많은 후보가 있다. 이것으로는 결정을 할 수 없다.
  - I→a를 가정해 보면 greater라는 패턴이 나오므로 I→a는 맞는 것 같다.
  - 하지만, N→c를 가정하면 tricening라는 패턴이 나왔다. 이런 단어는 영어 단어에 없는 것 같다. 따라서 N→c는 잘못일지도 모른다.

빈도 추측

- 빈도가 높은 문자 중 아직 가정에 등장하지 않은 문자는 o 이다
- 한편 암호문 중에 등장하는 빈도가 높은 문자로서 아직 모르는 것은 G와 Z
- G→o를 가정

theLoVanAthegraNeZonehotZRUUerZAaXaLoVSaZZtroKKingthroRghanorCharAtiKKheCaUetoaFRnChoLgraNeZHRZtriNeningonaTineShiChhaAFeentraineAoTeraKoLtXFranChHRZtthethingtoQRenChUXthirZtQRothheAraSingFaCJaLeSNaCeZhetooJarRnanAaHRUNanAHRZtUiZZeAtheFRnChtRrningroRnAagainSithaonetSothreeheHRUNeARNFRtSithnogreaterZRCCeZZagainanAagainhetrieAaLterthetnUNtingUorZeKFRtatKaZthaAtogiTeitRNanASaKJeAaSaXSithhiZnoZeintheairZaXingiaUZRretheXareZoRritiZeaZXtoAeZNiZeShatXoRCannotget

- 끝에 Cannotget이라는 패턴이 등장했다. C→c가 틀림없다. C→c라는 것을 통해 조금 전에 생각한 N→c는 역시 잘못이라는 것을 알 수 있다

패턴

theLoVanAthegraNeZonehotZRUUerZAaXaLoVSaZZtro
KKingthroRghanorcharAtiKKhecaUetoaFRnchoLgraNeZ
HRZtriNeningonaTineShichhaAFeentraineAoTeraKoLtX
FranchHRZtthethingtoQRenchUXthirZtQRothheAraSing
FacJaLeSNaceZhetooJarRnanAaHRUNanAHRZtUiZZeA
theFRnchtRrningroRnAagainSithaonetSothreeheHRUNe
ARNFRtSithnogreaterZRcceZZagainanAagainhetrieAaLt
erthetnUNtingUorZeKFRtatKaZthaAtogiTeitRNanASaKJ
eAaSaXSithhiZnoZeintheairZaXingiaUZRretheXareZoRri
tiZeaZXtoAeZNiZeShatXoRcannotget

- Shich라는 패턴이 보인다. 이것은 which일 것이다(S→w).

빈도가 낮은 문자 추측

- thethingtoQRench라는 패턴이 찾아졌다. 이것은 분명히 the thing to QRench이다. 사전을 찾아보니 quench라는 단어가 있었다(Q→q, R→u). quench라는 것은 「갈증을 해소하다」라는 의미이다. 마시는 것에 관한 이야기가 아닐까?

- hotZuUUer라는 패턴이 찾아졌다. 이것은 hot summer일 것이다(Z→s, U→m). U가 두 개 연속해 있다는 것이 큰 실마리였다. 「갈증을 해소하다」라는 문맥과도 일치한다.

단어와 내용 추측

theLoVanAthegraNesonehotsummersAaXaLoVwasstroKKingthrougha
norcharAtiKKhecametoaFunchoLgraNesHustriNeningonaTinewhichha
AFeentraineAoTeraKoLtXFranchHustthethingtoquenchmXthirstquothh
eArawingFacJaLewNaceshetooJarunanAaHumNanAHustmisseAtheFu
nchturningrounAagainwithaonetwothreeheHumNeAuNFutwithnogreat
ersuccessagainanAagainhetrieAaLterthetnmNtingmorseKFutatKastha
AtogiTeituNanAwaKJeAawaXwithhisnoseintheairsaXingiamsuretheXar
esouritiseasXtoAesNisewhatXoucannotget

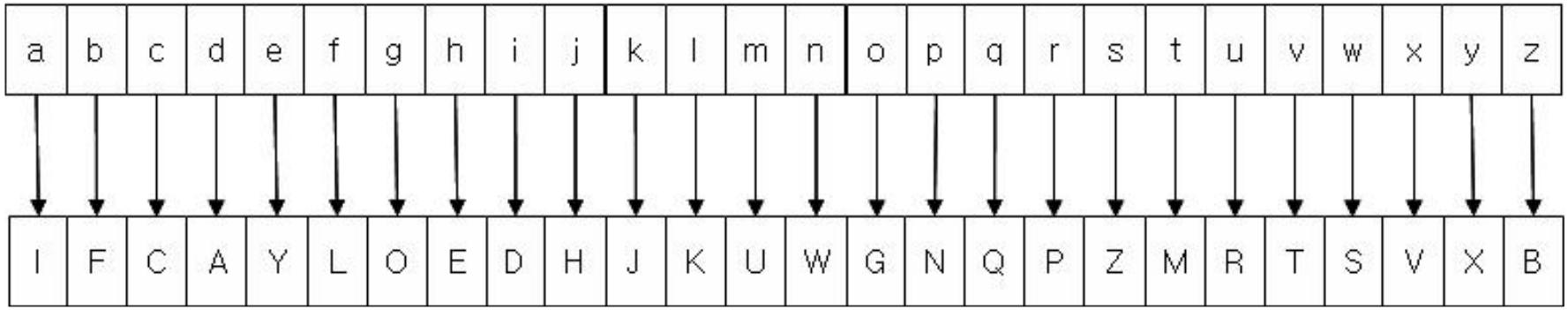
- sucessagainanAagain라는 패턴이 있다. 이것은 success again and again일 것이다(A→d). triedaLter라는 패턴이 보인다. 이것은 틀림없이 tried after이다(L→f). whatXoucannotget라는 패턴이 보인다. 이것은 what you cannot get일 것이다(X→y).

정리

thefoxandthegrapesonehotsummersdayafoxwasstroKKingthroughano
rchardtiKKhecametoaFunchofgrapesHustripeningonaTinewhichhadFe
entrainedoTeraKoftyFranchHustthethingtoquenchmythirstquothhedra
wingFacJafewpaceshetooJarunandaHumpandHustmissedtheFunchtu
rningroundagainwithaonetwothreeheHumpedupFutwithnogreatersucc
essagainandagainhetriedafterthetnmptingmorseKFutatKasthadtogiTei
tupandwaKJedawaywithhisnoseintheairsayingiamsuretheyaresouritise
asytodespisewhatyoucannotget

- foxwasstroKKing
  - fox was strolling
  - (K → l)
- hetooJarunandaHumpandHustmissed
- he took a run and a jump and just missed
  - (H → j)
  - (J → k)
- hejumpedupFutwithnogreatersuccess
- he jumped up but with no greater success
  - (F → b)
- butatlasthadtogiTeitup
- but at last had to give it up
  - (T → v)
- 이 암호문에 나오지 않은 마지막 1문자
  - (B → z)
- 암호문이 전부 해독됨!!!

치환표


a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z
I F C A Y L O E D H J K U W G N Q P Z M R T S V X B

해독된 평문

thefoxandthegrapesonehotsummersdayafoxwasstrollingthroughanorc
hardtilhecametoabunchofgrapesjustripeningonavinewhichhadbeentra
inedoveraloftybranchjustthetoquenchmythirstquothhedrawingbackafe
wpaceshetookarunandajumpandjustmissedthebunchturningroundaga
inwithonetwothreehejumpedupbutwithnogreatersuccessagainandagai
nhetriedafterthetemptingmorselbutatlasthadtogiveitupandwalkedaway
withhisnoseintheairsayingiamsuretheyaresouritiseasytodespisewhaty
oucannotget

띄어쓰기

- 『이솝우화』에 나오는 「여우와 포도」 이야기

"The Fox and the Grapes"
One hot summer's day, a Fox was strolling through an orchard till he came to a bunch f grapes just ripening on a vine which had been trained over a lofty branch. "Just the to quench my thirst, "quoth he. Drawing back a few paces, he took a run and a jump, and just missed the bunch. Turning round again with one , two, three, he jumped up, but with no greater success. Again and again he tried after the tempting morsel, but at last had to give it up, and walked away with his nose in the air, saying: "I am sure they are sour." It is easy to despise what you cannot get.

해독작업

- 빈도가 높은 문자뿐만 아니라 빈도가 낮은 문자도 단서가 된다.
- 처음과 끝을 아는 것은 단서가 된다. 단어의 단락을 알면 그것도 단서가 될 수 있다.
- 암호문이 길면 해독이 쉬워진다.
- 같은 문자가 연속해서 나타나면 그것은 단서가 된다(단일 치환 암호에서는 어떤 문자 어느 문자로 암호화되는지는 정해져 있기 때문에).
- 해독의 속도가 점점 빨라진다.

3. 다중 치환 암호

- 단일 치환암호의 약점
  - 평문과 암호문간의 단순 대응을 사용하기 때문에 평문의 단일 문자에 대한 빈도가 그대로 암호문에 반영된다.

- 따라서 암호해독자로 하여금 빈도분석을 어렵게 하기 위해서는 암호문에 나타나는 문자들의 빈도를 거의 균등하게 만드는 암호 를 이용하는 것이 바람직하다.
  ➔ 다중 치환을 이용하여 문자의 발생빈도를 균일화 한다.

3.1 빈도 분석이 가능한가?

- 빈도분석이 가능했던 이유는 평문에 등장하는 문자의 빈도와 암호문에 등장하는 문자의 빈도가 일치하기 때문

- 다중치환암호(polyalphabetic substitution cipher)
  - 평문에 등장하는 문자의 빈도와 암호문에 등장하는 문자의 빈도를 다르게 만드는 암호 알고리즘
  - 힐암호
  - 비장느르 암호 / 비제네르 (Vigenere) 암호
  - 에니그마 기계(Enigma machine)
  - 빈도분석을 이용한 공격방법이 무용지물

치환 기법

- Hill 암호 기법
  - 각 문자에 정수 값을 부여하고 m개의 문자를 치환
    - M=3개는 3개의 문자를 치환하는 방법

$$C1 = (k11\ p1 + k12\ p2 + k13\ p3) \bmod 26$$
$$C2 = (k21\ p1 + k22\ p2 + k23\ p3) \bmod 26$$
$$C3 = (k31\ p1 + k32\ p2 + k33\ p3) \bmod 26$$

C: 암호문
P: 평문
k: 키

치환 기법

- 암호문 형식을 열 벡터와 행렬로 표현

$$\begin{vmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} K11 & K22 & K13 \\ K21 & K22 & K23 \\ K31 & K32 & K33 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \end{vmatrix}$$

- 암호화 사례
  - 평문: PAYMOREMONEY
  - 암호 키

$$K = \begin{vmatrix} 17 & 17 & 5 \\ 21 & 18 & 21 \\ 2 & 2 & 19 \end{vmatrix}$$

치환 기법

- 암호문 계산

$$\begin{vmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} K11 & K22 & K13 \\ K21 & K22 & K23 \\ K31 & K32 & K33 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \end{vmatrix}$$

- 평문을 숫자변환

→ PAYMOREMONEY : P → 15, A → 0, Y → 24, …

- 숫자 대입 암호문 치환

$$\begin{vmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 17 & 17 & 5 \\ 21 & 18 & 21 \\ 2 & 2 & 19 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 15 \\ 0 \\ 24 \end{vmatrix} \bmod 26 \rightarrow \begin{vmatrix} 11 \\ 13 \\ 18 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} L \\ N \\ S \end{vmatrix}$$

- K(15 0 24) + (375 819 486) mod 26 = (11 13 18) = LNS
  - C1 = 17 x 15 + 17 x 0 + 5 x 24 = 375 mod 26 = 14 … …11
  - C2 = 21 x 15 + 18 x 0 + 21 x 24 = 819 mod 26 = 31 … …13
  - C3 = 2 x 15 + 2 x 0 + 19 x 24 = 486 mod 26 = 18 … …18

치환 기법

- 복호문 계산
  - 암호문 계산 형식 C = EK(P) = KP에서
  - 평문 P=$D_k(C) = K^{-1}C = K^{-1}KP = P$; (여기서, K^{-1}은 역행열: $K^{-1}K = I$)

$$\begin{vmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4 & 9 & 15 \\ 15 & 17 & 6 \\ 24 & 0 & 7 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 11 \\ 13 \\ 18 \end{vmatrix} \quad \text{mod} \quad 26 \rightarrow \begin{vmatrix} 15 \\ 0 \\ 24 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} P \\ A \\ Y \end{vmatrix}$$

  - 역행렬 계산

$$\begin{vmatrix} 17 & 17 & 15 \\ 21 & 18 & 2 \\ 2 & 2 & 19 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 4 & 9 & 15 \\ 15 & 17 & 6 \\ 24 & 0 & 7 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 443 & 442 & 442 \\ 858 & 495 & 780 \\ 494 & 52 & 365 \end{vmatrix} \text{mod} \quad 26 \rightarrow \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

치환 기법

- 다중 단일 문자 치환 암호 기법
  - 관련된 단일 문자 치환 규칙들의 집합을 사용함
  - 주어진 변환에 사용될 특정 규칙은 키에 의해 결정됨
- 대표적인 Vigenere 암호 방식
  - 행렬표를 구성
  - 키 문자 x와 평문자 y가 주어지면 암호 문자는 x행 y 열의 암호문 V
  - 키 : deceptive
  - 평문 : we are discovered save yourself
  - 암호화

키	d	e	c	e	p	t	i	v	e	d	e	c	e	p	t	i	v	e	d	e	c	e	p	t	i	v	e
평문	w	e	a	r	e	d	i	s	c	o	v	e	r	e	d	s	a	v	e	y	o	u	r	s	e	l	f
암호문	Z	I	C	V	T	W	Q	N	G	R	Z	G	V	T	W	A	V	Z	H	C	Q	Y	G	L	M	G	J

  - 복호화 ?

현대VIGENRE 표

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
a	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
b	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A
c	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B
d	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C
e	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D
f	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
g	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
h	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G
i	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H
j	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I
k	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
l	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
m	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
n	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
o	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
p	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
q	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
r	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
s	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
t	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
u	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
v	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
w	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
x	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
y	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
z	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y

영화 “이미테이션 게임” (2014)

이미테이션 게임 (The Imitation Game)은

엘런 튜닝의 암호 해독기에 관한 내용

알고리즘과 계산 개념을 튜링머신 (Turing machine) 이라는 추상 모델을 통해 형식화한 잉글랜드의 천재 (수학자) 암호학자

제4절 에니그마

4.1 에니그마란 무엇인가?

4.2 에니그마에 의한 암호 통신

4.3 에니그마의 구조

4.4 에니그마의 암호화

4.5 날자별 키와 통신 키

4.6 통신 오류의 회피

4.7 에니그마의 복호화

4.8 에니그마의 약점

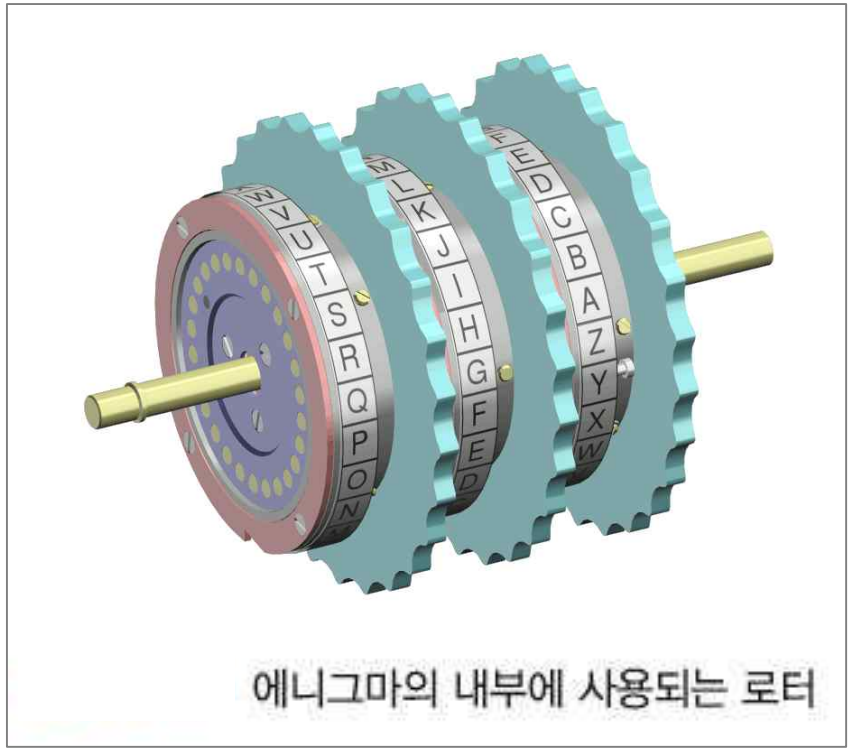
4.9 에니그마의 해독

4.1 에니그마란 무엇인가?

- 에니그마(enigma)
  - 독일의 세르비우스(Arthur Scherbius)가 20세기 초에 발명한 암호화/복호화를 수행하는 기계
  - 에니그마는 독일어로 「수수께끼」를 의미
  - 회전하는 원반과 전기회로를 써서 강력한 암호를 만들고자 시도
  - 발명 당시에는 에니그마를 상용으로 사용
  - 나치독일 시대에는 군용으로 사용하려고 개량

에니그마와 로터

독일군이 사용하던 에니그마의 전형적 모습

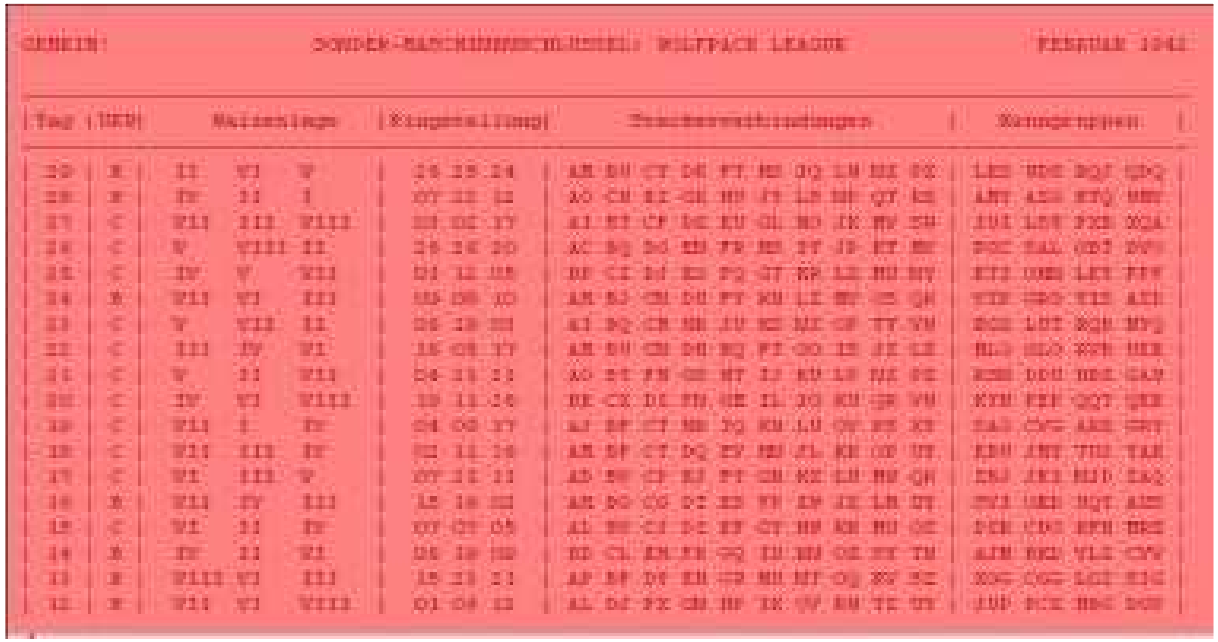


에니그마의 내부에 사용되는 로터

4.2 에니그마에 의한 암호 통신

- 타이프라이터, 톱니바퀴, 전지, 전구를 조합한 기계
- 암호화와 복호화를 1 대의 기계로 수행
- 송신자와 수신자는 각각 에니그마를 1 대씩 소유

코드북과 코드북의 내부

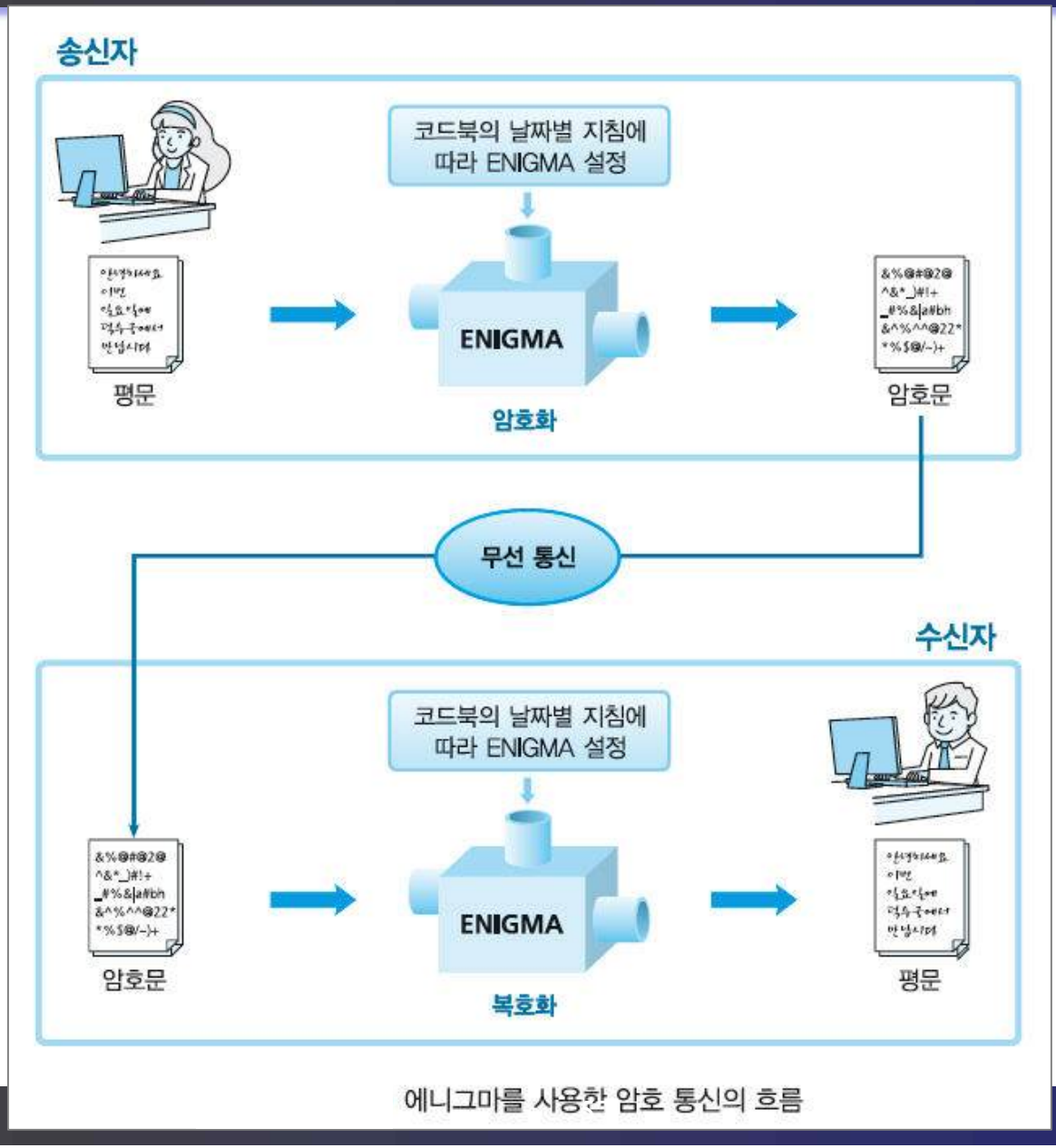


코드북에는 송/수신자가 사용하는 **날짜별 키**가 기록되어 있고,
송신자/수신자는 이 책자의 지시에 따라 에니그마를 설정

4.3 에니그마의 구조

- 에니그마는 알파벳 26 문자를 암호화/복호화할 수 있지만, 그림이 복잡하기 때문에 여기서는 알파벳의 수를 4 문자로 가정

에니그마 암호통신 흐름

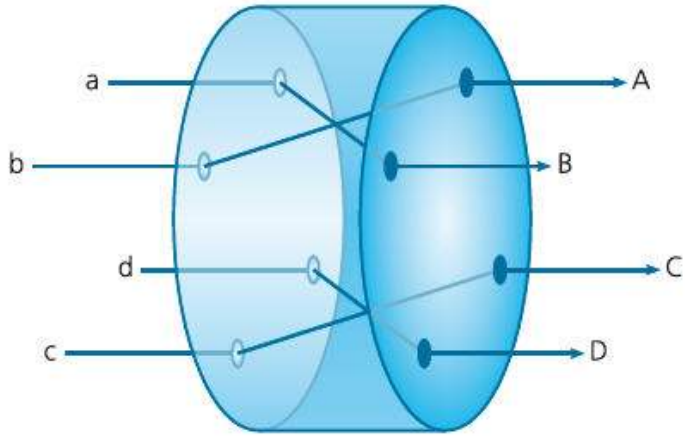


에니그마를 사용한 암호 통신의 흐름

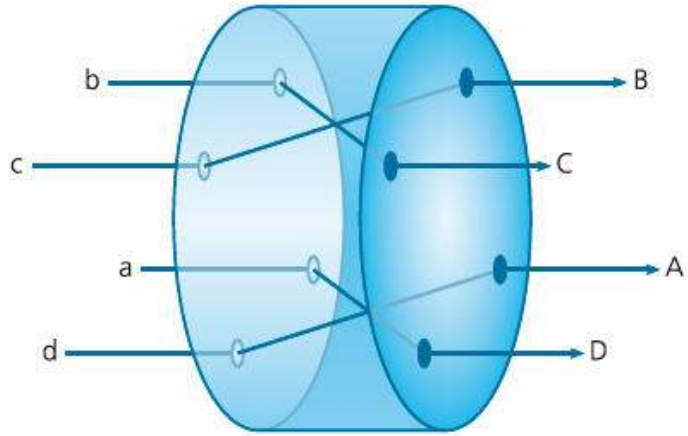
로터

- 로터(rotor)
  - 로터는 앞과 뒤의 단자가 전선으로 연결되어 있는 원반 모양의 부품
  - 로터 하나하나의 연결선은 바꿀 수는 없지만, 문자를 입력할 때마다 자동으로 회전
  - 하나의 문자를 입력하면 로터1이 1/4 회전 한다(알파벳의 수를 4 문자로 했을 경우). 로터1이 1 회전 하면 로터2가 1/4 회전 하고, 로터2가 1 회전 하면 로터3이 1/4 회전

로터



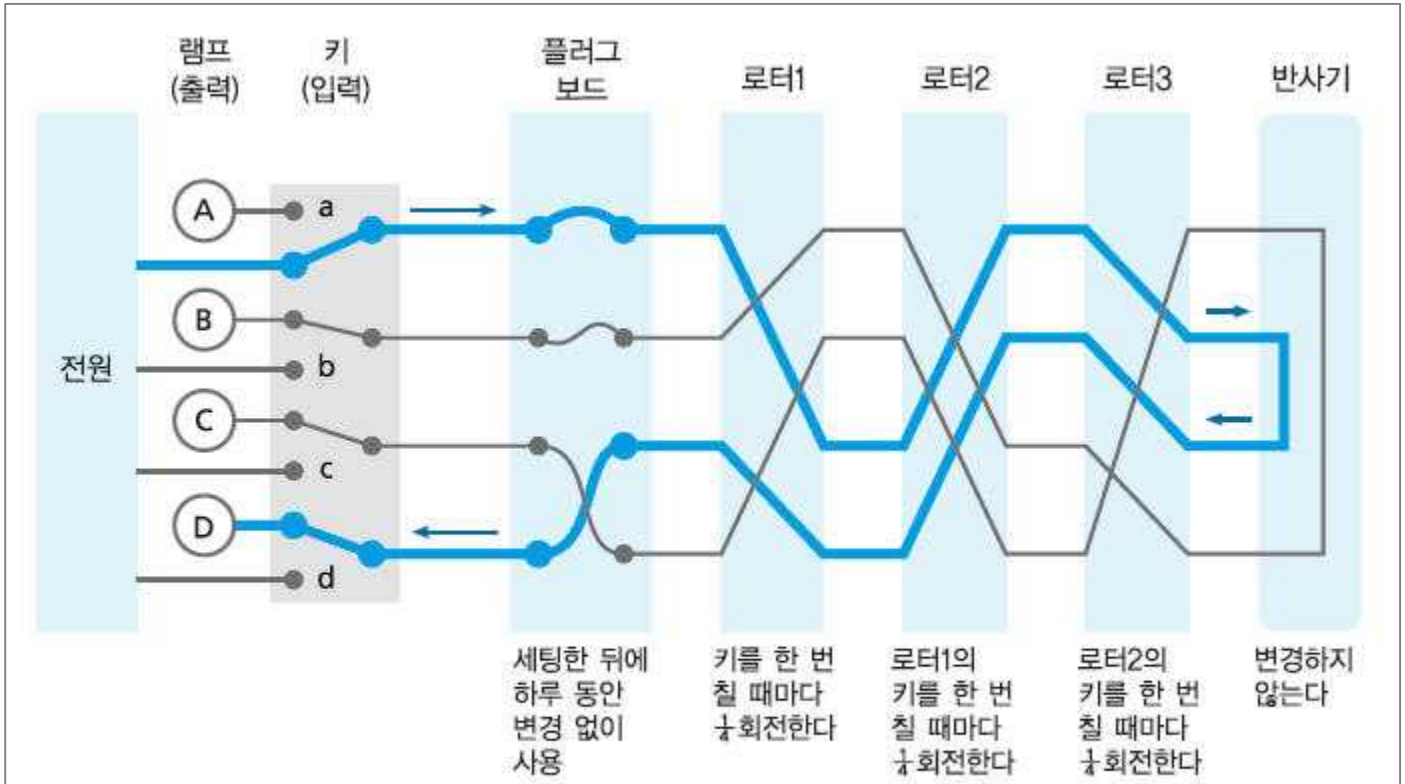
초기 상태 치환표
a → B
b → A
c → D
d → C



1/4 회전 후의 치환표
a → D
b → C
c → B
d → A

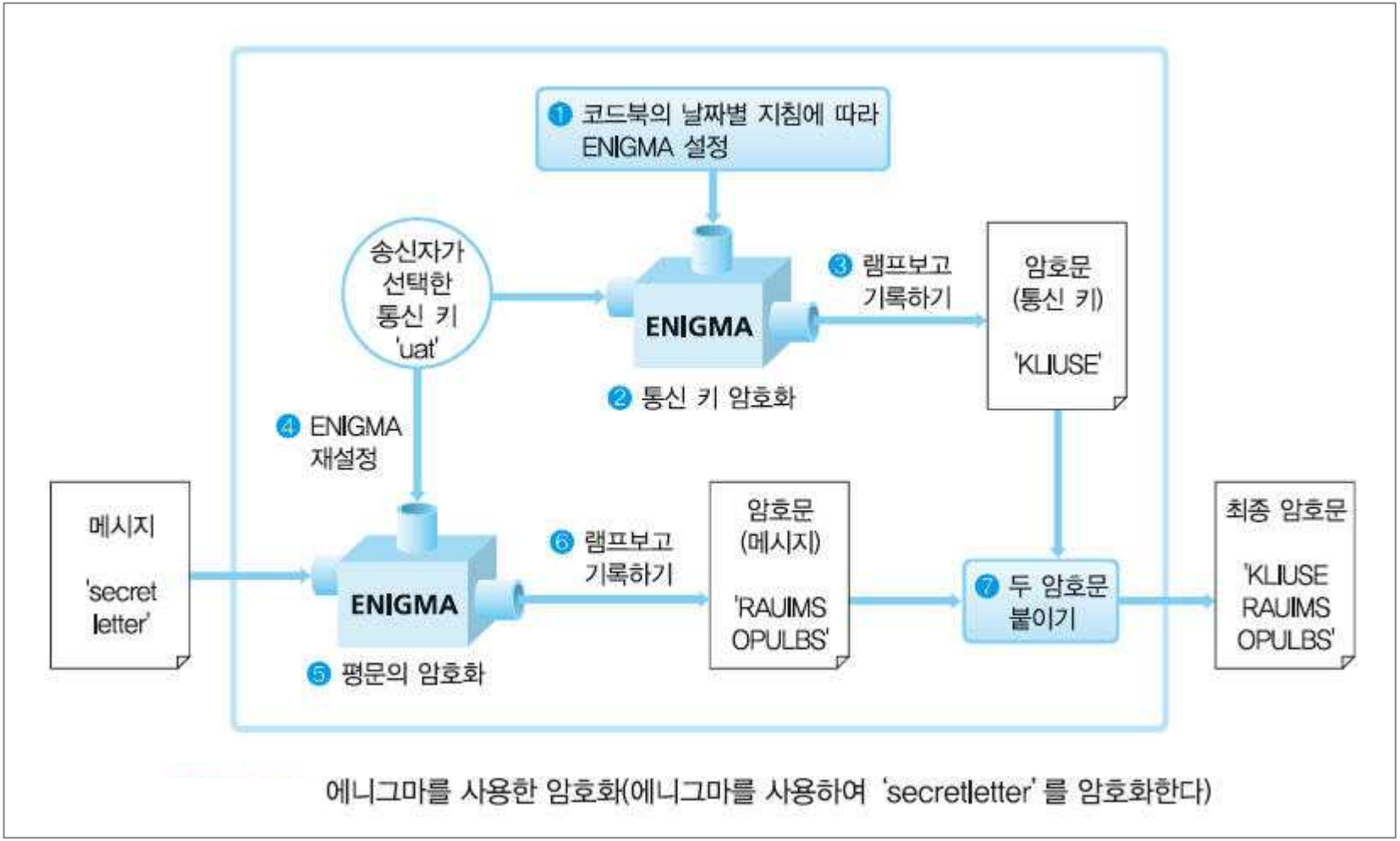
로터(rotor)

에니그마의 구조(4문자)



에니그마의 구조(알파벳의 수를 4문자로 했을 경우)

secretletter 를 암호화하기



에니그마를 사용한 암호화(에니그마를 사용하여 'secretletter' 를 암호화한다)

4.4 에니그마 암호화

- 평문: secretletter 를 암호화하여 송신하기
  - 에니그마 설정
  - 통신키의 암호화
  - 암호화된 통신키 메모
  - 에니그마의 재설정
  - 메시지의 암호화
  - 결합

4.5 날짜별 키와 통신 키

- 날짜별 키는 메시지의 암호화가 아니라 통신키의 암호화에 사용

- 날짜별 키는「키를 암호화하기 위한 키」
  - 이와 같은 키를 **키 암호 키**(key encrypting key; KEK)라 한다

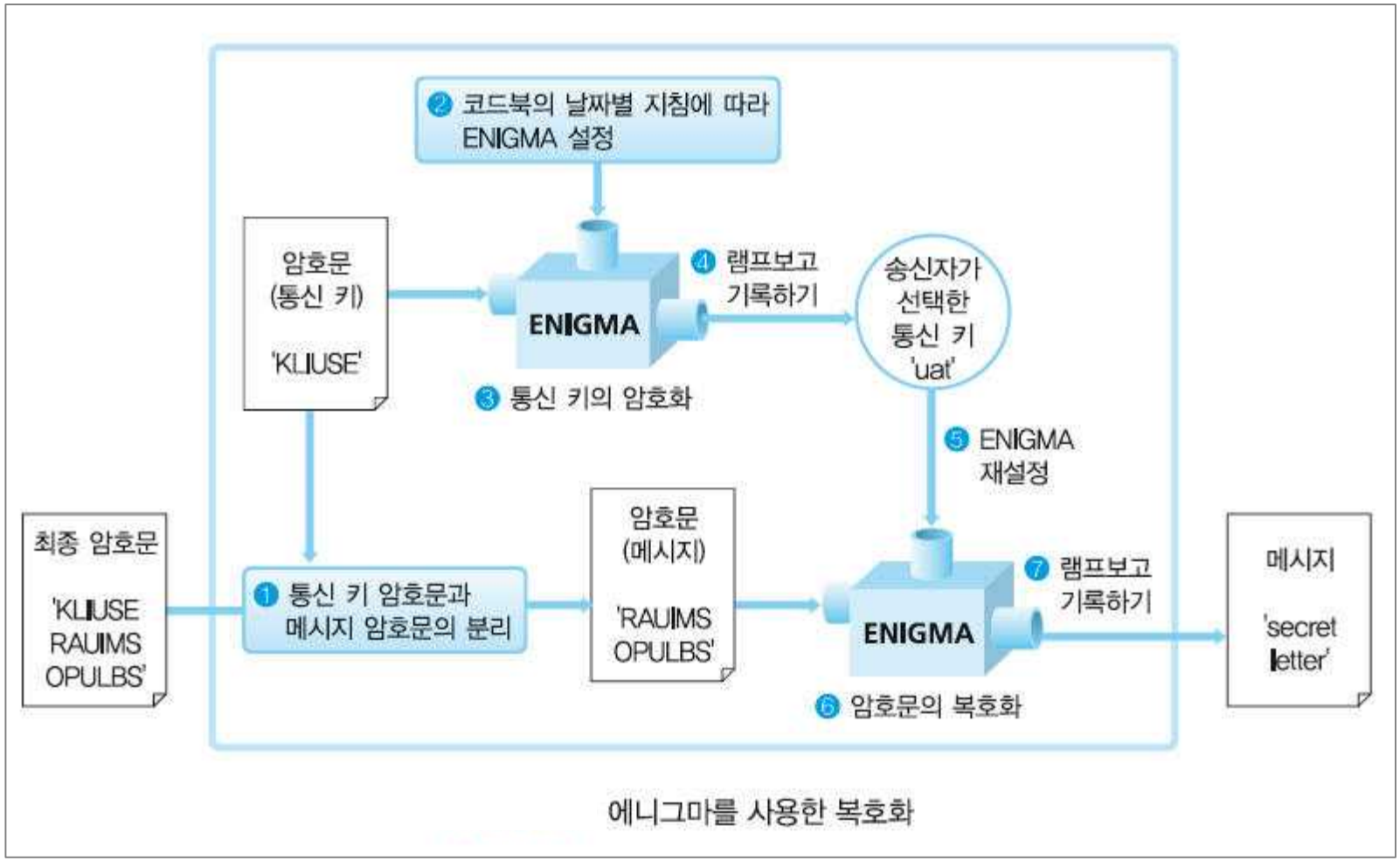
- 메시지를 통신키로 암호화하고, 통신키를 날짜별 키로 암호화하는 2단 구조

4.6 통신 오류의 회피

- 통신키 uat를 2회 연속해서 uatuat라고 입력

- 당시 무선 기술수준이 낮아서 통신이 제대로 되지 않는 경우가 많이 있었기 때문

4.7 에니그마의 복호화



에니그마를 사용한 복호화

4.8 에니그마의 약점

- 「통신키를 2회 반복한 것을 암호화 한다」
- 「통신키를 선택한 것이 사람이다」
- 「코드북을 배송하지 않으면 안 된다」

4.9 에니그마의 해독

- 에니그마의 설계는 「숨기는 것에 의한 보안」(security by obscurity)에 의존하지 않음

- 폴란드의 암호 해독자 르예프스키
  - 날짜별 키에 의한 암호문으로부터 날짜별 키를 간파하는 방법을 고안

- 영국의 암호 해독팀은 블레츨리 파크에 모여 에니그마의 해독

제5절 전치 암호와 치환 암호

5.1 전치 암호

5.2 치환 암호

5.1 전치 암호

- 전치 암호(transpositon cipher)
  - 전치란 평문에서 사용하는 문자의 집합과 암호문에서 사용하는 문자의 집합이 동일
  - 문자집합 내부에서 「자리를 바꾸는 규칙」
  - 평문에 사용된 문자와 암호문에 사용된 문자가 일대일 대응 규칙
  - 시저 암호

5.2 치환 암호

- 치환 암호(substititution cipher)
  - 치환 암호의 엄밀한 의미는 평문에서 사용하는 문자의 집합과 암호문에서 사용하는 집합이 다를 수 있다
  - 평문 문자를 다른 문자로 「교환하는 규칙」
  - 교환규칙이 일대일 대응이 아니어도 무방
  - 비장느르 암호
  - 모든 전치 암호는 치환 암호

제6절 암호 알고리즘과 키

6.1 암호 알고리즘과 키를 분리하는 이유

- 암호알고리즘과 키의 조합을 분석

  .알고리즘내의 변경가능한 부분이 반드시 포함 ➔ 키

- 암호알고리즘과 키를 반복해서 사용하면?

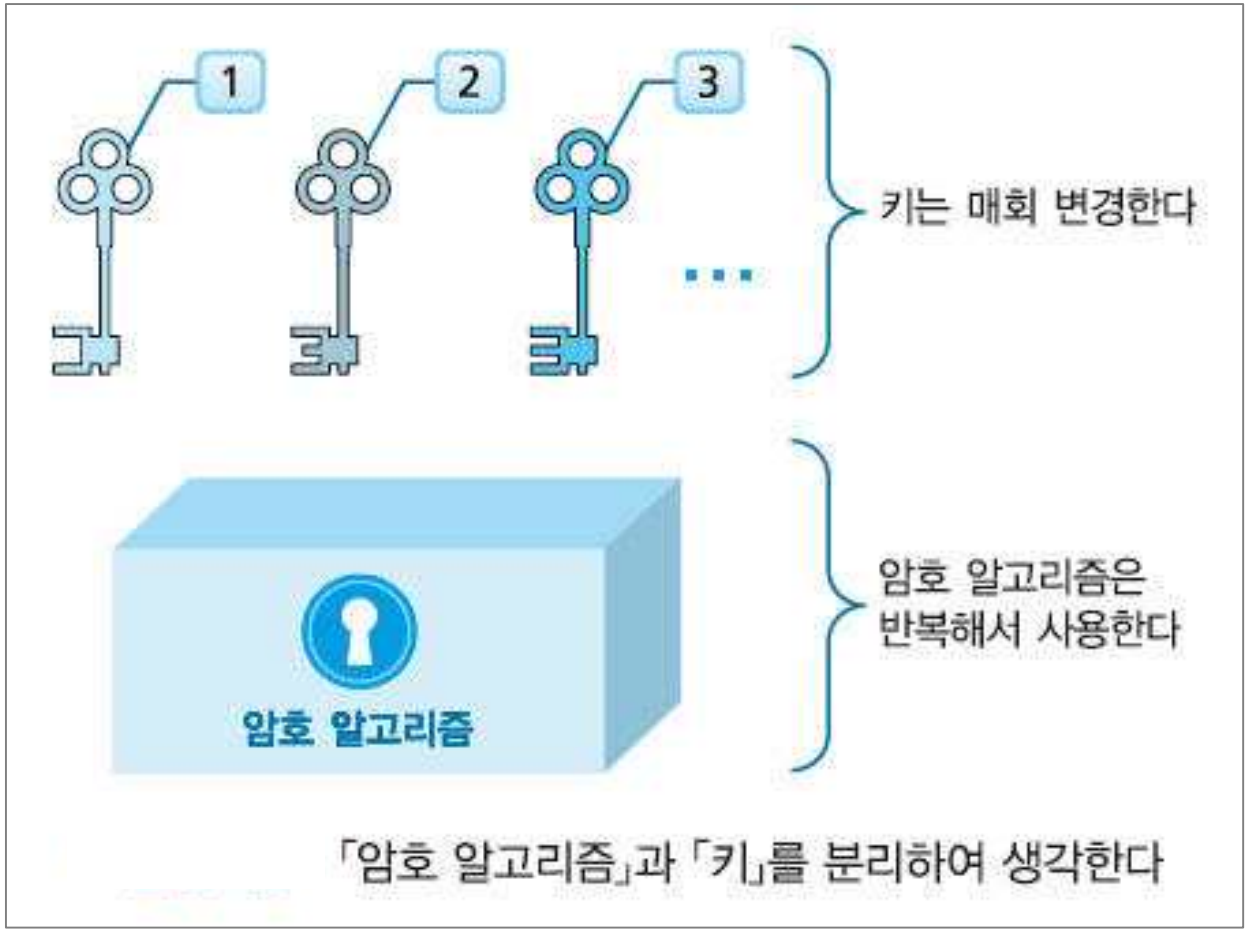
  .해독 가능성?

  .변경가능한 부분을 미리 준비해두고 사용시 매번 바꾸는것이 바람직

암호알고리즘과 키

암호명	암호 알고리즘	키
시저 암호	평문의 각 문자를 '지정한 문자 수'만큼 평행 이동한다.	평행 이동하는 문자 수
단일 치환 암호	치환표에 따라 알파벳을 변환한다.	치환표
에니그마 (통신키의암호화)	에니그마의 기계를 써서 『플러그 보드의 연결선, 3장의 로터의 순서, 각 로터의 설치 각도』에 따라 알파벳을 변환한다.	• 플러그 보드의 연결선 • 3장의 로터 순서 • 각 로터의 설치 각도
에니그마 (통신문의암호화)	플러그 보드의 연결선과 3장의 로터의 순서를 고정한 에니그마 기계를 사용하여 『각 로터의 설치 각도』에 따라 알파벳을 변환한다.	각 로터의 설치 각도

「암호 알고리즘」과 「키」를 분리



- **키는 비밀중에서 가장 중요**
- **암호기술에서 키의 관리가 매우 중요(12장)**

Q & A

Thank You!