

Z_4 위의 Preparata 부호의 연쇄조건

正會員 임 두 루*, 양 경 철*

On the Chain Condition for Preparata Codes over Z_4

Dooroo Lim*, Kyeongcheol Yang* *Regular Members*

※이 논문은 정보통신연구관리단 대학기초연구지원사업(과제관리번호: 96174-CT-12)에 의한 결과임.

요 약

길이가 8인 Z_4 위의 Preparata 부호는 연쇄조건을 만족하는 반면에, 길이가 16 또는 32인 경우 Z_4 위의 Preparata 부호는 연쇄조건을 만족하지 않는다. 본 논문에서는 Z_4 위의 Preparata 부호의 무게체계와 연쇄조건과의 관계를 조사함으로써 길이가 2^m 인 Z_4 위의 Preparata 부호가 $m=4, 5, 6$ 과 8에 대해 연쇄조건을 만족하지 않음을 보였다.

ABSTRACT

Though the Preparata code of length 8 over Z_4 satisfies the chain condition, the Preparata code of length 16 or 32 over Z_4 does not satisfy the chain condition. In this paper we show that the Preparata code of length 2^m over Z_4 does not satisfy the chain condition for $m=4, 5, 6$, and 8 by investigating relations between weight hierarchy and chain condition.

I. 서 론

Nordstrom-Robinson 부호, Kerdock 부호, Preparata 부호, Goethals 부호, Delsarte-Goethals 부호들은 주어진 길이와 최소거리에 대해 지금까지 알려진 어떠한 이진선형부호보다 더 많은 부호어를 가지는 비선형부호들이다. 예를 들면 Preparata 부호는 확장된

이중오류정정(extended double-error correcting) BCH 부호보다 두배의 부호어를 가진다. 이러한 부호들은 비선형이기 때문에 구현이 어려웠으나, Hammons, Kumar, Calderbank, Sloane과 Solé는 Z_4 위에서 적절히 정의하면 선형부호가 됨을 보였다[2].

일반화된 Hamming 무게체계(generalized Hamming weights)와 무게체계(weight hierarchy)는 부호를 암호시스템에 응용하는 과정에서 도입된 개념으로서 II형 도청채널(wire-tap channel)에서의 부호의 성능을 결정한다. 또한 격자도를 이용하여 연판정(soft decision)

*한양대학교 전자통신공학과
論文番號:97122-0401
接受日字:1997年 4月 1日

으로 블럭부호를 복호할 때 상태복잡도를 결정하는 요소이다. 이진부호에 비해 Z₄위의 선형부호에 대한 일반화된 Hamming 무게는 많이 알려져 있지 않으며, Kerdock, Preparata, Goethals 부호들에 대해서는 Yang과 Helleseth 등에 의해 부분적인 결과가 알려져 있다[6], [7], [8].

연쇄조건(chain condition)은 송산부호(product code)의 일반화된 Hamming 무게를 연구하는 과정에서 도입된 개념이다[5]. 옥타부호(octacode)라 부르는 길이가 8인 Z₄위의 Preparata 부호는 연쇄조건을 만족하는 반면에 길이가 16 또는 32인 경우에는 연쇄조건을 만족하지 않는다[9], [10]. 본 논문에서는 무게체계와 연쇄조건과의 관계를 조사함으로써 일반적인 방법으로 길이가 2^m인 Z₄위의 Preparata 부호가 m=4, 5, 6 과 8에 대해 연쇄조건을 만족하지 않음을 보인다.

II. Z₄위의 Preparata 부호

이진선형부호를 유한체(Galois fields 또는 finite fields)에서 다루듯이 Z₄위의 선형부호에 대한 접근은 Galois 환(Galois rings)에서 이루어진다.

Z를 정수들의 집합이라 하자. Z_n이란 n으로 모듈로(modulo)를 취한 정수들의 집합을 의미하며, Z_n[x]란 Z_n의 원소들을 계수로 가지는 다항식을 말한다. μ: Z₄ → Z₂를 Z₄의 원소들에 대해 2로 모듈로를 취하는 축약사상(reduction map)이라 정의하자. Z₄[x]에 속하는 m차의 다항식 f(x) = a₀ + a₁x + ... + a_mx^m에 대해 μ를 적용하면, Z₄[x]에서 Z₂[x]로의 축약사상은

$$\mu(f(x)) = \mu(a_0) + \mu(a_1)x + \dots + \mu(a_m)x^m$$

과 같다. f(x) ∈ Z₄[x]에 대해 μ(f(x))가 Z₂위에서 인수분해가 되지 않으면, f(x)를 기약다항식(basic irreducible polynomial)이라 한다. 유한체의 경우 m차의 인수분해가 되지 않는 다항식 h(x) ∈ Z₂[x]에 의해 GF(2)에서 GF(2^m)으로의 확장(extension)이 이루어진다. 즉 유한체 GF(2^m)은 GF(2^m) ≅ Z₂[x]/(h(x))로 정의된다. 이와 유사하게 m차의 기약다항식 f(x) ∈ Z₄[x]를 이용하여 Galois 환 R_m = GR(4, m)은 확장된 환 Z₄[x]/(f(x))로 자연스럽게 정의된다.

Galois 환과 유한체의 가장 큰 차이점은 Galois 환이

0의 젯수(zero divisor)를 원소로 가지고 있다는 점이다. R_m은 0의 젯수들의 집합, 즉 2R_m을 유일한 최대 아이디얼(maximal ideal)로 가지는 국소가환환(local commutative ring)이다. 아이디얼 이외의 원소들은 곱셈에 대해 역원을 가지며, 이들 원소들로 구성된 승산군(multiplicative group) R_m^{*}은 아래의 구조를 가진다:

$$R_m^* \cong Z_{2^m-1} \times Z_2 \times Z_2 \times \dots \times Z_2.$$

여기서 Z₂ × ... × Z₂는 m개의 Z₂의 데카르트곱(Cartesian product)이고, Z_{2^m-1}은 주기가 2^m-1인 순환군(cyclic group)이다. h(x) ∈ Z₂[x]를 최고차항의 계수가 1이고 인수분해가 되지 않는 m차의 원시다항식(primitive polynomial)이라 하면, 최고차항의 계수가 1이며 μ(g(x)) ≡ h(x)을 만족하고 x^{2^m-1} - 1 (mod 4)를 나누는 m차의 다항식 g(x) ∈ Z₄[x]가 유일하게 존재하며, 이를 원시기약다항식(primitive basic irreducible polynomial)이라 부른다. β를 g(x)의 근이라 하면 β는 Z_{2^m-1}의 생성자(generator)가 된다. S_m을 S_m = {0, 1, β, β², β^{2^m-2}}로 정의하면 R_m에 속하는 임의의 원소 γ를 아래와 같이 유일하게 표현 할 수 있다:

$$\gamma = A + 2B, \quad A, B \in S_m.$$

여기서 α = μ(β)는 m차의 원시다항식 μ(g(x))의 근이 되고, μ(S_m) = {0, 1, α, α², α^{2^m-2}}는 유한체 GF(2^m)이 된다.

길이가 n인 Z₄위의 선형부호 C는 가산군(additive group) Z₄ⁿ의 부분군(subgroup)으로 정의된다. Z₄위의 선형부호의 성능을 결정하는 가장 중요한 요소중 하나는 최소 Lee 무게(minimum Lee weight)이다. Z₄에 속하는 0, 1, 2, 3의 Lee 무게는 각각 0, 1, 2, 1이 되고, Z₄ⁿ에 속하는 벡터 a = (a₁, a₂, ..., a_n)의 Lee 무게는 각 원소들의 Lee 무게의 합이 된다.

부호길이가 2^m인 Z₄위의 Preparata 부호 P_m은 아래의 행렬 H를 검사행렬로 가지는 부호이다:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 1 & \beta & \beta^2 & \dots & \beta^{2^m-2} \end{bmatrix}$$

즉 P_m의 임의의 부호어 (u_x)_{x ∈ S_m}에 대해

$$\sum_{X \in S_m} u_X = 0, \quad \sum_{X \in S_m} u_X X = 0$$

이 만족된다.

보조정리 2.1 ([2]) Z_4 위의 Preparata 부호는 아래의 비선형 순열변환들로 구성된 이중추이군(doubly transitive group)에 대해 불변의 성질을 갖는다:

$$X \rightarrow (AX + B)^{2^m}.$$

여기서 $A, B \in S_m$ 이고 $A \neq 0$ 이다.

보조정리 2.2 ([3]) Z_4 위의 벡터 $e = (e_X)_{X \in S_m}$ 가 주어질 때 $j=0, 1, 2, 3$ 에 대해 $E_j = \{X | e_X = j\}$ 라 하면, 다음의 수식

$$\sum_{X \in S_m} e_X X = A + 2B, \quad A, B \in S_m, \quad e_X \in Z_4$$

은 아래 두 개의 수식과 동가이다:

$$a = \sum_{X \in E_1 \cup E_3} x,$$

$$b^2 = \sum_{X \in E_1 \cup E_3} x^2 + \sum_{\substack{X, Y \in E_1 \cup E_3 \\ X < Y}} xy.$$

여기서 a, b, x 와 y 는 각각 $\mu(A), \mu(B), \mu(X)$ 와 $\mu(Y)$ 를 의미하며, ' $<$ '는 S_m 의 원소들에 대한 어떤 순서(ordering)를 뜻한다.

위의 보조정리를 이용하여 R_m 위에서 정의된 하나의 수식을 $GF(2^m)$ 위에서 정의된 두 개의 수식으로 변환할 수 있다.

III. 무게체계와 연쇄조건

D 를 4^k 개의 부호어를 가지는 Z_4 위의 선형부호 C 의 부분모듈(submodule)이라 하자. $\chi(D)$ 로 표시되는 D 의 받침대(support)는 D 에 속하는 부호어들의 성분들 중에서 0이 아닌 성분에 대한 좌표들의 집합이다. 즉 아래와 같이 정의된다:

$$\chi(D) = \{i : \exists (x_1, x_2, \dots, x_m) \in D, \quad x_i \neq 0\}.$$

$2r$ 이 정수가 되는 0과 k 사이의 r 에 대해 C 의 r 차의 일반화된 Hamming 무게 $d_r(C)$ 는 C 의 부분모듈 중에서 차원이 r 이며 최소의 받침대 크기를 가지는 부분모듈의 받침대 크기로 정의된다. 즉

$$d_r(C) = \min \{|\chi(D)| : D \text{는 } 4^r \text{개의 원소를 가지는 부분모듈}\}.$$

예를 들어 $C = \langle (1, 1, 2, 0, 0), (0, 0, 0, 1, 3) \rangle$ 를 Z_4 위의 선형부호라 하면 $\langle (1, 1, 2, 0, 0) \rangle$ 과 $\langle (0, 0, 0, 1, 3) \rangle$ 이 1차원의 부분모듈에 해당한다. 각각의 받침대 크기는 3과 2이므로 $d_1(C) = 2$ 이다. 또한 $2r=3$, 즉 $r=1.5$ 이면 $\langle (1, 1, 2, 0, 0), (0, 0, 0, 2, 2) \rangle$ 와 $\langle (2, 2, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 1, 3) \rangle$ 이 1.5차원의 부분모듈에 해당한다. 각각의 받침대 크기는 5와 4이므로 $d_{1.5}(C) = 4$ 이다. 관례적으로 d_0 는 0으로 가정한다. 특히 $d_1(C)$ 는 C 의 최소 Hamming 거리(minimum Hamming distance)를 의미한다. C 의 일반화된 Hamming 무게들의 수열 $\{d_r(C) | 0.5 \leq r \leq k\}$ 를 C 의 무게체계(weight hierarchy)라 한다. 위의 예에서 무게체계는 $\{2, 2, 4, 5\}$ 이다.

다음의 성질을 가지는 C 의 부분모듈 $\{D_r | 0.5 \leq r \leq k\}$ 이 존재할 때 C 가 연쇄조건(chain condition)을 만족한다고 정의한다:

i) D_r 은 4^r 개의 부호어를 가지며 받침대의 크기가 $d_r(C)$ 이다.

ii) $2r$ 이 정수가 되는 임의의 r 에 대해 $D_r \subset D_{r+0.5}$ 를 만족한다. 즉 $D_{0.5} \subset D_1 \subset D_{1.5} \subset \dots \subset D_k$ 이 성립한다.

예를 들어 $C_1 = \langle (1, 1, 1, 1, 0, 0), (1, 3, 0, 2, 1, 1) \rangle$ 를 Z_4 위의 선형부호라 하면 C_1 의 무게체계는 $\{4, 4, 6, 6\}$ 이다. C_1 의 부분모듈을 아래와 같이 선택하자:

$$D_{0.5} = \langle (2, 2, 2, 2, 0, 0) \rangle,$$

$$D_1 = \langle (1, 1, 1, 1, 0, 0) \rangle,$$

$$D_{1.5} = \langle (1, 1, 1, 1, 0, 0), (2, 2, 0, 0, 2, 2) \rangle,$$

$$D_2 = \langle (1, 1, 1, 1, 0, 0), (1, 3, 0, 2, 1, 1) \rangle.$$

그러면 $D_{0.5} \subset D_1 \subset D_{1.5} \subset D_2$ 이므로 C_1 은 연쇄조건을 만족한다.

한편 $C_2 = \langle (1, 2, 2, 0, 0), (0, 0, 0, 1, 1) \rangle$ 인 경우 C_2 의 무게체계는 $\{1, 2, 3, 5\}$ 이고 받침대의 크기가 $d_r(C_2)$ 인 각각의 부분모듈은

$$\begin{aligned} D_{0.5} &= \langle (2, 0, 0, 0, 0) \rangle, \\ D_1 &= \langle (0, 0, 0, 1, 1) \rangle, \\ D_{1.5} &= \langle (2, 0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 1, 1) \rangle, \\ D_2 &= \langle (1, 2, 2, 0, 0), (0, 0, 0, 1, 1) \rangle \end{aligned}$$

로 선택할 수 있다. 그러나 $D_{0.5}$ 는 D_1 의 부분집합이 아니므로 C_2 는 연쇄조건을 만족하지 않는다.

IV. Z₄위의 Preparata 부호의 연쇄조건

길이가 2^m 인 Preparata 부호 P_m 의 r 차의 일반화된 Hamming 무게를 편의상 $d_r(m)$ 이라 둔다.

옥타부호(octacode)라 부르는 길이가 8인 Z₄위의 Preparata 부호 P_3 의 무게체계는 다음과 같다 [1]:

$$\{4, 5, 6, 6, 7, 7, 8, 8\}.$$

β 를 3차의 원시기약다항식 $x^3 + 3x^2 + 2x + 3 = 0$ 의 근이라 하면 P_3 의 검사행렬 H 를 아래와 같이 구성할 수 있다:

$$H = \begin{bmatrix} c_4 \\ c_3 \\ c_2 \\ c_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 3 & 3 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

P_3 는 자기쌍대부호(self-dual code)이므로 생성행렬과 검사행렬이 동일하다. 따라서 c_i 를 생성행렬의 i 번째 행이라고 하면 P_3 의 r 차원의 부분모듈 D_r 을 아래와 같이 정의할 수 있다:

$$D_r = \begin{cases} \langle c_1, c_2, \dots, c_r \rangle, & 2r \text{이 짝수일 때,} \\ \langle c_1, c_2, \dots, c_{r-0.5}, 2c_{r+0.5} \rangle, & 2r \text{이 홀수일 때.} \end{cases}$$

예를 들어 $r=1.5$ 이면

$$D_{1.5} = \langle (0, 0, 0, 1, 1, 3, 2, 1), (0, 0, 2, 0, 0, 2, 2, 2) \rangle$$

이고, $r=2$ 이면

$$D_2 = \langle (0, 0, 0, 1, 1, 3, 2, 1), (0, 0, 1, 0, 2, 3, 3, 3) \rangle$$

이다. D_r 의 받침대 크기는 $d_r(3)$ 과 같고, $D_r \subset D_{r+0.5}$ 이므로 P_3 는 연쇄조건을 만족함을 알 수 있다.

$m=3$ 과 달리 $m=4$ 와 5에 대해 Z₄위의 Preparata 부호는 연쇄조건을 만족하지 않는다. 연쇄조건을 만족하지 않는 두 부호 P_4 와 P_5 의 무게체계로부터 아래의 사실을 유도할 수 있다.

정리 4.1 $2r$ 이 홀수일 때 부분모듈의 차원이 $r-1$, $r-0.5$ 와 r 인 경우 각각의 일반화된 Hamming 무게가

$$d_{r-1}(m) = l, \quad d_{r-0.5}(m) = l + 1, \quad d_r(m) = l + 1$$

과 같이 주어지면, Z₄위의 Preparata 부호 P_m 은 연쇄조건을 만족하지 않는다.

(증명) Preparata 부호 P_m 이 연쇄조건을 만족한다고 가정하자. $2r$ 이 홀수가 되는 r 에 대해 D_r 을 받침대의 크기가 $d_r(m)$ 인 P_m 의 r 차원의 부분모듈로서

$$D_r = \langle c_1, c_2, \dots, c_{r-0.5}, 2c_{r+0.5} \rangle$$

와 같이 정의하자. G 를 $D_{r-1.5}$ 의 생성행렬이라 하면, 보조정리 2.1로부터 일반성을 잃지 않고 D_r 의 생성행렬을 아래와 같이 쓸 수 있다:

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{r-1.5} \\ c_{r-0.5} \\ 2c_{r+0.5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & & & 0 & 0 \\ & & & & & & 0 & 0 \\ & & & & & & \cdot & \cdot \\ & & & & & & \cdot & \cdot \\ & & & & & & 0 & 0 \\ & & & & & & 0 & 0 \\ * & \dots & * & 1 & 2 \\ * & \dots & * & 0 & 2 \end{bmatrix} = G$$

$D_{r-0.5} = \langle c_1, c_2, \dots, c_{r-0.5} \rangle$ 의 받침대를 $\{X_1, X_2, \dots, X_{l+1}\}$ 이라 하면, 또다른 $r-0.5$ 차원의 부분모듈 $D' = \langle c_1, \dots, c_{r-0.5} + 2c_{r+0.5} \rangle = \{X_1, X_2, \dots, X_l\}$ 를 받침대로 가진다. 이는 $d_{r-0.5}(m) = l + 1$ 에 위배되므로 P_m 은 연쇄조건을 만족하지 않는다. \square

정리 4.2 ([7]) 길이가 16인 Z₄위의 Preparata 부호의 무게체계는 아래와 같다:

{4, 4, 6, 6, 7, 8, 8, 9, 10, 10, 11, 11, 12, 12, 13, 13, 14, 14, 15, 15, 16, 16}.

따름정리 4.3 길이가 16인 Z_4 위의 Preparata 부호는 연쇄조건을 만족하지 않는다.

(증명) 정리 4.2로부터 $d_{2,5}(4)=7$, $d_3(4)=8$ 이고 $d_{3,5}(4)=8$ 이므로 P_4 는 연쇄조건을 만족하지 않는다. □

정리 4.4 ([7]) 길이가 32인 Z_4 위의 Preparata 부호의 무게체계는 아래와 같다:

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

따름정리 4.5 길이가 32인 Z_4 위의 Preparata 부호는 연쇄조건을 만족하지 않는다:

(증명) 정리 4.4로부터 $d_{5,5}(5)=11$, $d_6(5)=12$ 이고 $d_{6,5}(5)=12$ 이므로 P_5 는 연쇄조건을 만족하지 않는다. □

정리 4.6 ([7]) 길이가 64인 Z_4 위의 Preparata 부호의 무게체계는 아래와 같다:

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

따름정리 4.7 길이가 64인 Z_4 위의 Preparata 부호는 연쇄조건을 만족하지 않는다.

(증명) 정리 4.6으로부터 $d_{5,5}(6)=11$, $d_6(6)=12$ 이고 $d_{6,5}(6)=12$ 이므로 P_6 은 연쇄조건을 만족하지 않는다. □

길이가 256인 Z_4 위의 Preparata 부호 P_8 의 무게체계에 대해서는 부분적인 결과만이 알려져 있다[7]. 그러나 $d_{2,5}(8)=7$, $d_3(8)=8$ 과 $d_{3,5}(8)=8$ 로부터 P_8 도 연

쇄조건을 만족하지 않음을 알 수 있다.

V. 결 론

길이가 8인 Z_4 위의 Preparata 부호 P_3 는 연쇄조건을 만족하는 반면에, $m=4, 5, 6$ 과 8인 경우 Z_4 위의 Preparata 부호는 연쇄조건을 만족하지 않는다. 본 논문에서는 무게체계와 연쇄조건과의 관계를 조사함으로써 길이가 2^m 인 Z_4 위의 Preparata 부호가 $m=4, 5, 6$ 과 8인 경우에 대해 연쇄조건을 만족하지 않음을 보였다.

참 고 문 헌

1. A. E. Ashikhmin, "Generalized Hamming weights for Z_4 -linear codes," *Proc. IEEE Int. Symp. Inform. Theory*, p. 306, Trondheim, Norway, June 1994.
2. A. R. Hammons, P. V. Kumar, A. R. Calderbank, N. J. A. Sloane, and P. Sole, "The Z_4 -linearity of Kerdock, Preparata, Goethals, and related codes," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 40, pp. 301-319, Mar. 1994.
3. T. Hellesest and P. V. Kumar, "The algebraic decoding of the Z_4 -linear Goethals code," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 41, pp. 2040-2048, Nov. 1995.
4. V. K. Wei, "Generalized Hamming weights for linear codes," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 37, pp. 1412-1418, Sept. 1991.
5. V. K. Wei and K. Yang, "On the generalized Hamming weights of product codes," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 39, pp. 1709-1713, Sept. 1993.
6. K. Yang, T. Hellesest, P. V. Kumar, and A. Shanbhag, "On the weight hierarchy of Kerdock codes over Z_4 ," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 42, pp. 1587-1593, Sept. 1996.
7. K. Yang and T. Hellesest, "On the weight hierarchy of Preparata codes over Z_4 ," to appear in *IEEE Trans. Inform. Theory*, 1997.
8. K. Yang and T. Hellesest, "On the weight hierarchy of Goethals codes over Z_4 ," submitted to

IEEE Trans. Inform. Theory, November 1996.

- 9. 양경철, 임두루, "길이가 16인 Z₄위의 Preparata 부호는 연쇄조건을 만족하지 않는다," 한국통신정보보호학회 종합학술발표회 논문집, vol 6, No. 1, pp. 286-294, 동국대학교, 1996년 11월.
- 10. 임두루, 양경철, "길이가 32인 Z₄위의 Preparata 부호의 연쇄조건," 제7회 통신정보합동학술대회 (JCCI'97) 논문집, pp. 71-74, 1997년 4월.



林 두 루(Dooroo Lim) 정회원
 1996년 2월: 한양대학교 전파공학과 졸업(공학사)
 1996년 3월~현재: 한양대학교 대학원 전자통신공학과 석사과정
 ※주관심분야: 부호 및 정보이론, 이동통신



梁 景 喆(Kyeongcheol Yang) 정회원
 1986년 2월: 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1988년 2월: 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1992년 12월: University of Southern California, 전기공학과 졸업(Ph.D.)
 1990년 6월~9월: Bellcore 연구원(미국 New Jersey 주, Morristown 소재)
 1993년 3월~현재: 한양대학교 전자통신공학과 조교수
 ※주관심분야: 부호 및 정보이론, 암호이론, 이산수학의 응용