DOI: 10.3745/KIPSTA.2009.16-A.4.223

# 크기 $2^n \times 2^m$인 메쉬의 꼬인 큐브에 대한 임베딩

김 숙 연†


## 요 약

하이퍼큐브와 많은 면에서 비슷하면서도 절반 정도의 지름을 가지는 등 개선된 망 성질들을 가지는 꼬인 큐브는 병렬처리 시스템의 상호연결망으로 각광 받아 왔다. 짝수인 $m$에 대하여 크기가 $2\times2^m$인 메쉬가 연장률 1과 확장율 1로, 혹은 크기가 $4\times2^m$인 메쉬가 연장율 1과 확장율 2로 꼬인 큐브에 임베딩됨은 최근에 알려졌다 [Lai and Tsai, 2008]. 그러나 양변의 길이가 모두 8 이상인 메쉬가 꼬인 큐브에 연장율 1로 임베딩되는지는 알려진 바가 없다. 본 논문에서는 $m$이 짝수일 경우엔 크기 $2^n \times 2^m$인 메쉬가 꼬인 큐브에 연장율 1, 확장율 $2^{n-1}$로 임베딩됨을 보이고 $m$이 홀수일 경우엔 연장율 1, 확장율 $2^n$로 임베딩됨을 보인다 ($1 \le n \le m$).


**키워드 : 꼬인 큐브, 메쉬, 임베딩, 연장율, 확장율**

# Embedding a Mesh of Size $2^n \times 2^m$ Into a Twisted Cube

Kim, Sook-Yeon†


## ABSTRACT

The twisted cube has received great attention as an interconnection network of parallel systems because it has several superior properties, especially in diameter, to the hypercube. It was recently known that, for even $m$, a mesh of size $2\times2^m$ can be embedded into a twisted cube with dilation 1 and expansion 1 and a mesh of size $4\times2^m$ with dilation 1 and expansion 2 [Lai and Tsai, 2008]. However, as we know, it has been a conjecture that a mesh with more than eight rows and columns can be embedded into a twisted cube with dilation 1. In this paper, we show that a mesh of size $2^n \times 2^m$ can be embedded into a twisted cube with dilation 1 and expansion $2^{n-1}$ for even $m$ and with dilation 1 and expansion $2^n$ for odd $m$ where $1 \le n \le m$.


**Keywords : Twisted Cube, Mesh, Embedding, Dilation, Expansion**

## 1. 서 론

병렬처리 분야에서는 용량이 큰 작업을 부작업 (subtask)들로 나누어 병렬로 처리 하는 기법이 오래 전부터 널리 사용되어 왔다. 부작업들을 병렬처리시스템의 프로세서들에게 할당하는 문제는 그래프 임베딩으로 모델링될 수 있다. 부작업들과 그들간의 통신은 그래프 $G$로 나타내고 병렬처리 시스템의 프로세서와 그들간의 연결 상태를 그래프 $H$로 나타낸다. 그런 후 그래프 $G$를 그래프 $H$에 효율적으로 임베딩하면 부작업들은 병렬처리시스템에 효과적으로 할당될 수 있다. 더구나 그래프 임베딩은 병렬 구조간의 시뮬레이션이나 [15, 17], 병렬처리시스템의 병렬 알고리즘 수행 [3, 6], VLSI 칩 설계 [4, 14, 16]등을 위해서도 필수적인 기술이다.

주어진 그래프 $G$에 대해서 $V(G)$와 $E(G)$를 그래프 $G$의 노드 집합과 에지 집합이라고 하자. 주어진 두 개의 그래프 $G$과 $H$에 대해서 그래프 $G$의 그래프 $H$에 대한 임베딩은 노드 집합 $V(G)$의 노드 집합 $V(H)$에 대한 단사 함수 $\psi$이다 ($\psi : V(G) \rightarrow V(H)$). 여기서 그래프 $G$를 손님 그래프 (guest graph)라 하고 그래프 $H$를 주인 그래프 (host graph)라고 한다.

임베딩의 성능을 측정하는 척도에는 연장율 (dilation) 과 확장율 (expansion) 등이 있다. 주인 그래프가 프로세서간의 연결 상태를 나타낼 때 임베딩의 연장율은 통신지연 (communication delay) 을 측정하는 척도가 되고 확장율은 프로세서 이용도 (processor utilization) 를 측정하는 척도가 된다. 손님 그래프 $G$의 에지 $(u,v)$에 대해서 에지 $(u,v)$의 연장율은 두 노드 $\psi(u)$와 $\psi(v)$간의 최단 거리이다. 임베딩 $\psi$의 연장율은 에지 집합 $E(G)$에 속한 에지들의 연장율 중 최대값이다. 확장율은 주인 그래프와 손님 그래프의 노드 개수의 비율 $|V(H)|/|V(G)|$이다.

† 정 회 원 : 한경대학교 컴퓨터공학과 부교수
논문접수 : 2008년 11월 11일
수 정 일 : 1차 2009년 4월 21일
심사완료 : 2009년 5월 7일

한편 병렬 처리 분야에서 매우 유명한 상호연결망인 하이퍼큐브는 단순한 구조, 작은 지름, 정규 분지수, 대칭성, 고장 감내성 등의 유용한 성질들을 가지고 있다. 하이퍼큐브의 변형으로서 제안된 꼬인 큐브 (twisted cube)는 하이퍼큐브와 많은 면에서 비슷하면서도 절반 정도의 지름을 가지는 등 개선된 망 성질들을 가지므로 각광 받게 되었다 [11, 1, 5]. 완전이진트리를 꼬인 큐브에 임베딩하는 연구 결과가 발표되었고 [2] 꼬인 큐브가 pancyclic이면서 [5] 에지-pancyclic임도 알려졌다 [8]. 고장인 꼬인 큐브에 Hamiltonian 사이클이나 경로들을 임베딩하는 연구들도 발표되었다 [12, 18, 10, 9]. 꼬인 큐브의 t/k-diagnosability는 하이퍼큐브와 같다 [7]. 짝수인 $m$에 대하여 크기가 $2\times 2^m$인 메쉬가 연장률 1과 확장율 1로, 혹은 크기가 $4\times 2^m$인 메쉬가 연장율 1과 확장율 2로 꼬인 큐브에 임베딩됨은 최근에 알려졌다 [13]. 그러나 양변의 길이가 모두 8 이상인 메쉬가 꼬인 큐브에 연장율 1로 임베딩되는지는 알려진 바가 없다.

본 논문에서는 양변의 길이가 모두 8 이상인 메쉬들도 꼬인 큐브에 연장율 1로 임베딩될 수 있음을 보일 뿐만 아니라 $m$이 홀수인 경우까지 연구결과를 확장한다. $m$이 짝수일 경우엔 크기 $2^n\times 2^m$인 메쉬가 꼬인 큐브에 연장율 1, 확장율 $2^{n-1}$로 임베딩됨을 보이고 $m$이 홀수일 경우엔 연장율 1, 확장율 $2^n$로 임베딩됨을 보인다 ($1\le n\le m$). 2절에서는 꼬인 큐브와 메쉬를 정의하고 3절에서는 메쉬를 꼬인 큐브에 재귀적으로 임베딩함으로써 크기 $2^n\times 2^m$인 메쉬가 꼬인 큐브에 연장율 1로 임베딩될 수 있음을 보인다. 4절에서는 결론을 맺는다.

## 2. 꼬인 큐브와 메쉬의 정의

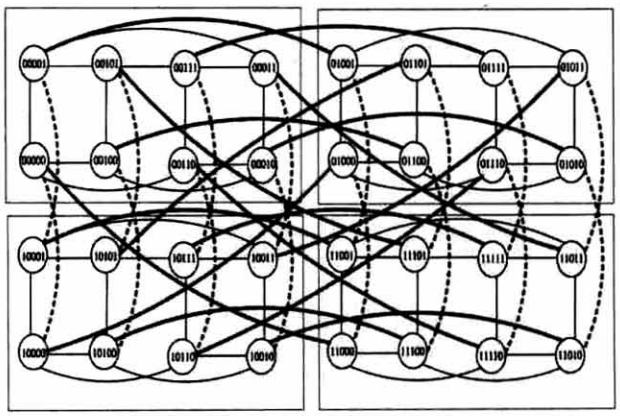
이 절에서는 꼬인 큐브와 메쉬를 정의한다. 꼬인 큐브를 정의하기 위해서 먼저 패러티 함수를 소개한다.

**[정의 1]** 길이가 $p$인 이진스트링 $u=u_{p-1}u_{p-2}\cdots u_1u_0$에 대해서 연산자 $\oplus$가 exclusive-or일 때 패러티 함수 $\theta(u,i)$, $0\le i<p$, 는 $u_i\oplus u_{i-1}\oplus\cdots\oplus u_1\oplus u_0$ 이다.

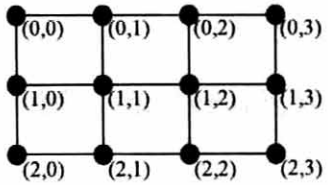
이제 정의 1의 패러티 함수를 이용하여 꼬인 큐브 $Q_p$를 재귀적으로 정의한다. 임의의 비트 $u_i$의 보수를 $u_i'$라 하자.

**[정의 2]** 꼬인 큐브 $Q_1$은 두 개의 노드 0과 1을 가지는 완전그래프이다. 홀수 $p\ge 3$에 대해서 $Q_p$는 네 개의 부큐브 $Q_{p-2}^{00}$, $Q_{p-2}^{01}$, $Q_{p-2}^{10}$, $Q_{p-2}^{11}$로 구성된다. 여기서 $Q_{p-2}^{ij}$, $i,j\in\{0,1\}$는 $Q_{p-2}$와 동형이다. 노드 집합 $V(Q_p)$는 $\cup_{i,j\in\{0,1\}}V(Q_{p-2}^{ij})$이고 에지 집합 $E(Q_p)$는 $\tilde{E}\cup(\cup_{i,j\in\{0,1\}}E(Q_{p-2}^{ij}))$이다. 에지 집합 $\tilde{E}$에 속하는 임의의 원소 $(u,v)\in\tilde{E}$는 $u=u_{p-1}u_{p-2}\cdots u_1u_0$와 $v=v_{p-1}v_{p-2}\cdots v_1v_0$라 할 때 다음 조건 중 하나를 만족한다.

1. $u=v'_{p-1}v_{p-2}v_{p-3}\cdots v_1v_0$
2. $u=v'_{p-1}v'_{p-2}v_{p-3}\cdots v_1v_0$이고 $\theta(u,p-3)=0$
3. $u=v_{p-1}v'_{p-2}v_{p-3}\cdots v_1v_0$이고 $\theta(u,p-3)=1$



(그림 1) 꼬인 큐브 $Q_5$




(그림 2) 메쉬 3×4

정의 2에 따르면 $p$-차원 꼬인 큐브 $Q_p$는 $2^p$개의 노드와 $p2^{p-1}$개의 에지를 가진다. (그림 1)에 꼬인 큐브 $Q_5$가 그려져 있다 [10]. 앞으로 꼬인 큐브 $Q_p$를 간단히 큐브 $Q_p$라고도 하고 꼬인 큐브의 노드를 큐브노드라고도 하겠다.

이제 메쉬를 정의한다. (그림 2)에 메쉬 3×4가 나타나 있다.

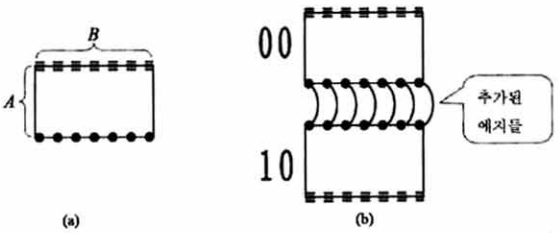
**[정의 3]** 메쉬 $N\times M$은 다음과 같은 노드 집합 $V$와 에지 집합 $E$를 가진다.

$$V=\{(i,j)\mid 0\le i<N,0\le j<M\}$$
$$E=\{((i,j),(i',j))\mid (i,j)\in V,(i',j)\in V,i+1=i'\}$$
$$\cup\{((i,j),(i,j'))\mid (i,j)\in V,(i,j')\in V,j+1=j'\}$$

특별한 언급이 없는 한 본 논문에서 다루는 모든 임베딩의 주인 그래프는 꼬인 큐브이고 연장율은 1이다. 따라서 어떤 메쉬 $N\times M$이 확장율 $e$로 임베딩된다고 함은 메쉬 $N\times M$이 노드 개수가 $NM e$인 꼬인 큐브에 연장율 1로 임베딩됨을 의미한다.

## 3. 메쉬의 꼬인 큐브에 대한 재귀적 임베딩

이 절에서는 메쉬를 꼬인 큐브에 임베딩하는 재귀적인 방법을 제시함으로써 크기 $2^n\times 2^m$인 메쉬가 연장율 1로 임베딩될 수 있음을 보인다 ($1\le n\le m$). 이 절의 임베딩에서 $m$이 짝수이면 확장율이 $2^{n-1}$이고 홀수이면 $2^n$이다.




(그림 3) 재귀적으로 임베딩하는 방법: (a) 확장율 $h$인 메쉬 $A \times B$의 임베딩, (b) 확장율 $2h$인 메쉬 $2A \times B$의 임베딩

(그림 3)은 메쉬 $A \times B$가 확장율 $h$로 임베딩될 때 메쉬 $2A \times B$를 확장율 $2h$로 재귀적으로 임베딩하는 방법을 보여준다. (그림 3) (a)에는 메쉬 $A \times B$의 상하가 구분되도록 그려져 있다. (그림 3) (a)와 같은 메쉬 $A \times B$가 확장율 $h$로 임베딩된다고 하자. 그러면 메쉬 $A \times B$의 각 노드는 $\log_2 ABh$ 비트의 주소를 갖게 된다. (그림 3) (b)에는 메쉬 $A \times B$의 복사본 두 개를 상하 대칭적으로 붙여 형성한 메쉬 $2A \times B$가 그려져 있다. 붙일 때 추가된 에지들은 곡선으로 그려져 있다. 메쉬 $2A \times B$의 각 노드에는 이미 $\log_2 ABh$-비트의 주소가 할당되어 있는데 두 복사본을 대칭적으로 붙였으므로 추가된 에지의 양끝 노드의 주소는 서로 같게 된다. 이제 메쉬 $2A \times B$의 각 노드의 주소의 앞에 두 비트씩 덧붙이되 상반부 노드들에는 모두 00을 하반부 노드들에는 모두 10을 덧붙인다. 그러면 메쉬 $2A \times B$의 각 노드는 $(\log_2 ABh+2)$ 비트의 서로 다른 주소를 갖게 된다. 이 주소대로 메쉬 $2A \times B$를 꼬인 큐브에 임베딩하면 메쉬 $2A \times B$에서 인접한 노드들은 인접한 큐브노드들에 대응함을 쉽게 확인해 볼 수 있다. 메쉬 $2A \times B$의 노드 수는 $2AB$이고 주인 그래프인 꼬인 큐브의 노드 수는 $4ABh$이므로 메쉬 $2A \times B$는 확장율 $2h$로 임베딩됨을 알 수 있다.

재귀적인 임베딩 방법의 예가 (그림 4)에 나타나 있다. (그림 4) (a)는 메쉬 2×4가 확장율 1로 임베딩됨을 보여준다. (그림 4) (a)의 메쉬 두 개를 상하 대칭적으로 붙인 뒤 상반부에는 00을 하반부에는 10을 붙인 결과가 (그림 4) (b)에 나타나 있다. (그림 4)는 메쉬 2×4가 확장율 1로 임베딩될 때 메쉬 4×4를 확장율 2로 재귀적으로 임베딩할 수 있음을 보여준다. 이러한 재귀적인 임베딩 방법으로부터 다음과 같은 소정리를 얻을 수 있다.

**[소정리 1]** 메쉬 $N \times M$가 확장율 $e$로 임베딩된다면 메쉬 $2^i N \times M$는 확장율 $2^i e$로 임베딩된다.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 000 | 001 | 011 | 010 |
| 100 | 101 | 111 | 110 |

(a)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 00000 | 00001 | 00011 | 00010 |
| 00100 | 00101 | 00111 | 00110 |
| 10100 | 10101 | 10111 | 10110 |
| 10000 | 10001 | 10011 | 10010 |

(b)

(그림 4) 재귀적으로 임베딩하는 방법의 예: (a) 확장율 1인 메쉬 2×4의 임베딩, (b) 확장율 2인 메쉬 4×4의 임베딩

**[증명]** 정수 $i$에 관한 수학적 귀납법으로 증명하겠다. $i=0$일 때 본 소정리가 성립한다. 본 소정리가 $i=j$일 때 성립한다고 가정하고 $i=j+1$일 때 성립함을 보이겠다. 크기 $2^j N \times M$인 메쉬를 $T_j$라 하자. 메쉬 $T_j$는 가정에 의해 확장율 $2^j e$로 임베딩된다. 그러면 메쉬 $T_j$의 각 노드는 $\log_2(2^{2j} NMe)$ 비트의 주소를 가지고 있다. 메쉬 $T_j$의 두 개의 복사본을 만들어 $T_j^0$와 $T_j^1$라 하자.

두 복사본을 (그림 3) (b)와 같이 상하 대칭적으로 붙여 크기 $2^{j+1} N \times M$인 메쉬 $T_{j+1}$을 형성하도록 에지들을 추가한다. 그리고 각 노드의 $\log_2(2^{2j} NMe)$-비트 주소의 앞에 두 비트씩 덧붙이되 메쉬 $T_j^0$의 노드들에는 모두 00을 붙인다. 또한 메쉬 $T_j^1$의 노드들에는 모두 10 붙인다. 그러면 메쉬 $T_{j+1}$의 각 노드들은 서로 다른 새로운 큐브노드 주소를 갖게 되는데 이 큐브노드 주소는 길이가 $\log_2(2^{2j} NMe)+2$ 이다. 이 주소대로 $T_{j+1}$을 꼬인 큐브에 임베딩하면 메쉬 $T_{j+1}$에서 인접한 노드들은 인접한 큐브노드들에 대응함을 쉽게 확인해 볼 수 있다. 또한 $T_{j+1}$의 노드 수는 $2^{j+1} NM$이고 주인 그래프인 꼬인 큐브의 노드 수는 $2^{2(j+1)} NMe$이므로 $T_{j+1}$는 확장율 $2^{j+1} e$로 임베딩됨을 알 수 있다. ■

소정리 1과 기존의 연구결과 [13] 로부터 다음과 같은 소정리를 얻을 수 있다.

**[소정리 2]** 홀수인 $p \geq 1$에 대하여 메쉬 $2^n \times 2^{p-1}$는 확장율 $2^{n-1}$로 임베딩된다($n \geq 1$).

**[증명]** 홀수인 $p \geq 1$에 대하여 메쉬 $2 \times 2^{p-1}$는 확장율 1로 임베딩된다 [13]. 그러면 소정리 1에 의해서 홀수인 $p \geq 1$에 대하여 메쉬 $(2^i \cdot 2) \times 2^{p-1}$는 확장율 $2^i$로 임베딩된다 ($i \geq 0$). $i$를 $n-1$으로 치환하면 본 소정리를 얻을 수 있다. ■

소정리 2는 한쪽 변이 2의 짝수승 $2^{p-1}$인 메쉬들만 다루므로 다음 정리에서 나머지 메쉬들도 함께 다룬다.

**[정리 1]** 메쉬 $2^n \times 2^m$는 $m$이 짝수이면 확장율 $2^{n-1}$로 $m$이 홀수이면 확장율 $2^n$로 임베딩될 수 있다 ($1 \leq n \leq m$).

**[증명]** $m$이 짝수이면 소정리 2에 의해서 본 정리가 성립하므로 $m$이 홀수인 경우만 증명하면 된다. $m$이 홀수이면 메쉬 $2^n \times 2^{m+1}$는 소정리 2에 의해서 확장율 $2^{n-1}$로 임베딩된다. 그런데 메쉬 $2^n \times 2^m$는 메쉬 $2^n \times 2^{m+1}$에 연장율 1과 확장율 1로 임베딩된다. 따라서 메쉬 $2^n \times 2^m$는 확장율 $2^n$으로 꼬인 큐브에 임베딩된다. ■

정리 1로부터 <표 1>을 얻을 수 있다. <표 1>은 각 메쉬가 연장율 1로 임베딩되는 꼬인 큐브를 나타내 준다. 맨 왼쪽 열에는 손님 그래프인 메쉬들이 나타나 있고 오른쪽 두 열에는 $m$이 짝수인 경우와 홀수인 경우에 주인 그래프인 꼬인 큐브들이 나타나 있다. <표 1>의 맨 마지막 행을 살펴보면 $m$이 짝수일 경우에 메쉬 $2^n \times 2^m$가 큐브 $Q_{2n+m-1}$

〈표 1〉 각 메쉬가 연장율 1로 임베딩되는 꼬인 큐브

| | $m$이 짝수 | $m$이 홀수 |
|---|---|---|
| 메쉬 $2\times 2^m$, $2\le m$ | 큐브 $Q_{m+1}$ (확장율 1) [13] | 큐브 $Q_{m+2}$ (확장율 2) |
| 메쉬 $4\times 2^m$, $2\le m$ | 큐브 $Q_{m+3}$ (확장율 2) [13] | 큐브 $Q_{m+4}$ (확장율 4) |
| 메쉬 $2^n\times 2^m$, $1\le n\le m$ | 큐브 $Q_{2n+m-1}$ (확장율 $2^{n-1}$) | 큐브 $Q_{2n+m}$ (확장율 $2^n$) |

에 $m$이 홀수일 경우에 큐브 $Q_{2n+m}$에 임베딩됨을 알 수 있다. 메쉬 $2^n\times 2^m$의 특정 경우라고 볼 수 있는 메쉬 $2\times 2^m$와 메쉬 $4\times 2^m$가 임베딩되는 꼬인 큐브들이 둘째와 셋째 행에 나타나 있다. <표 1>에서 보다시피 $m$이 짝수일 경우에 메쉬 $2\times 2^m$가 확장율 1로 메쉬 $4\times 2^m$가 확장율 2로 임베딩됨은 미리 알려져 있다 [13]. 본 논문은 기존 연구결과[13]를 일반적인 경우로 확장한 연구결과로도 볼 수 있다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 크기 $2^n\times 2^m$인 메쉬가 꼬인 큐브에 연장율 1로 임베딩될 수 있음을 보인다 ($1\le n\le m$). 본 논문의 임베딩에서 $m$이 짝수이면 확장율이 $2^{n-1}$이고 홀수이면 $2^n$이다. 한편 짝수 $m\ge 2$에 대해서 크기 $4\times 2^m$인 메쉬의 복사본 두 개가 노드 중복 없이 꼬인 큐브에 연장율 1, 확장율 1로 임베딩될 수 있음이 알려져 있다 [13]. 그러나 양변의 길이가 모두 8 이상인 메쉬 다수 개가 꼬인 큐브에 연장율 1, 확장율 1로 임베딩될 수 있는지는 알려진 바가 없다. 따라서 크기 $2^n\times 2^m$인 메쉬 $2^{n-1}$개를 꼬인 큐브 $Q_{2n+m-1}$에 노드 중복 없이 임베딩할 수 있는지를 밝히는 것은 향후 연구과제이다.

## 참 고 문 헌


[1] S. Abraham, K. Padmanabhan, "The twisted cube topology for multiprocessors: a study in network asymmetry," J. Parallel Distrib. Comput. Vol.13, Issue 1, pp.104-110, 1991.

[2] E. Abuelrub, S. Bettayeb, "Embedding complete binary trees into twisted hypercubes," Proc. of the Int. Conf. on Computer Applications in Design, Simulation and Analysis, Washington, D.C. March, 10-12, pp.1-4, 1992.

[3] F. Berman, L. Snyder, "On mapping parallel algorithms into parallel architectures," J. Parallel Distrib. Comput. Vol.4, No.5, pp.439 - 458, 1987.

[4] S.L. Bezrukov, J.D. Chavez, L.H. Harper M. Röttger, U.-P. Schroeder, "The congestion of n-cube layout on a rectangular grid," Discrete Math., Vol.213, No.1-3, pp.13-19, Feb., 2000.

[5] C.-P. Chang,J.-N. Wang,L.-H. Hsu, "Topological properties of twisted cube," Information Sciences, Vol.113, pp.147-167, 1999.

[6] V. Chaudhary, J.K. Aggarwal, "Generalized mapping of parallel algorithms onto parallel architectures," Proc. Int'l Conf. Parallel Processing, pp. 137-141, Aug., 1990.

[7] J. Fan, X. Lin, "The t/k-diagnosability of the BC Graphs," IEEE Trans. Computers, Vol.54, No.2, pp.176-184, 2005.

[8] J. Fan, X. Lin, X. Jia, R. W. H. Lau, "Edge-pancyclicity of twisted cubes," ISAAC 2005, Lecture Notes in Comput. Sci. Vol.3827, pp.1090-1099, 2005.

[9] J. Fan, X. Lin, Y. Pan, X. Jia, "Optimal fault-tolerant embedding of paths in twisted cubes," J. Parallel Distrib. Comput. Vol.67, No.2, pp.205-214, 2007.

[10] J.-S. Fu, "Fault-free Hamiltonian cycles in twisted cubes with conditional link faults," Theoretical Computer Science,. 407, No.1-3, pp.318-329, Nov., 2008.

[11] P. A. J. Hilbers, M. R. J.Koopman, J. L. A. van de Snepscheut, "The twisted cube," in PARLE:Parallel Architectures and Languages Europe, Parallel Architectures, Vol.1, Springer, Berlin, pp.152-158, 1987.

[12] W.-T. Huang, J. J. M. Tan, C.-N. Hung, L.-H. Hsu, "Fault-tolerant hamiltonicity of twisted cubes". J. Parallel Distrib. Comput. Vol.62, No.4, pp.591-604, 2002.

[13] C.-J. Lai, C.-H. Tsai, "Embedding a family of meshes into twisted cubes," Information Processing Letters,. 108, Issue 5, pp.326-330, Nov., 2008.

[14] A. Matsubayashi, "VLSI layout of trees into grids of minimum width," IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E87-A, No.5, pp.1059-1069, May, 2004.

[15] B. Monien, H. Sudborough. "Embedding one interconnection network in another," pp.257-282, Springer-Verlag/Wien, 1990. Computing Supplementum 7: Computational Graph Theory.

[16] A. Patel, A. Kusalik, C. McCrosky, "Area-efficient VLSI layouts for binary hypercubes," IEEE Trans. Computers, Vol.49, No.2, pp.160-169, Feb., 2000.

[17] A. Rosenberg, "Issues in the study of graph embeddings," Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, New York, Vol.100, pp.150-176, 1981.

[18] M.-C. Yang, T.-K. Li, J. J. M. Tan, L.-H. Hsu, "On embedding cycles into faulty twisted cubes," Information Sciences, Vol.176, No.6, pp.676-690, 2006.

김 숙 연

e-mail : sookyeon@hknu.ac.kr

1991년 연세대학교 전산과학과(학사)

1993년 한국과학기술원(KAIST) 전산학과 (공학석사)

1998년 한국과학기술원(KAIST) 전산학과 (공학박사)

1998년 3월~2004년 2월 한국전자통신 연구원(ETRI) 선임연구원

2004년 3월~2008년 3월 한경대학교 컴퓨터공학과 조교수

2004년 4월~현 재 한경대학교 컴퓨터공학과 부교수

관심분야 : 병렬처리, 그래프 임베딩, 상호연결망, 네트워크 등