

계층적 모델에 의한 3차원 재구성 영상의 임의단면 표시

유선국* · 김선호** · 김남현* · 김원기* · 박상희***

Arbitrary Cross Sectional Display from Three-dimensional Reconstructed Image by Hierarchical Model

S.K.Yoo*, S.H.Kim**, N.H.Kim*, W.K.Kim* S.H.Park***

- Abstract -

Three-dimensional imaging and manipulation of CT data are becoming increasingly important for determining the complex structure and pathologies. Octree which is a hierarchical data model is used to reconstruct three-dimensional objects from CT scans. Orthogonal cross sections are displayed by traverse the octree partially. Arbitrary oblique planes are derived by intersecting the square region of plane and cubic volume of octal node. This method enables the display of multi-structured complex organ and the realization by personal computer.

1. 서 론

1975년 Glenn⁶⁾에 의하여 2차원 단면 CT 영상으로부터 3차원 물체를 재구성 할 수 있다는 개념이 제시된 이후로, 3차원적인 인체기관의 공간적인 위치와 병소의 크기, 배열을 관찰하기 위한 계속적인 연구가 되어져 왔다.⁵⁾ 그러나 많은 양의 데이터가 존재하는 3차원 영상 정보를 퍼스날 컴퓨터를 이용하여 경제적으로 재구성 하기 위해서는 데이터를 압축 구성하여야 하며, 모든 연산은 연산속도와 연계적(interactive)⁵⁾인 조작의 제한조건을 만족하여야 한다.

이러한 3차원 영상처리 기법은 외과적 수술을 하

기전에 실제 수술과정을 컴퓨터에서 모의 수술함으로써 정확한 수술계획을 수립하여 환자에 대한 수술 위험을 최소화 하며, 방사선 치료를 하기전에 방사능 투여부위에 대한 정상부위의 방사능 조사량을 최소화 하며, 종양 부위의 조사량을 극대화 함으로서 암치료를 위한 방사능 치료계획에 응용이 되고 있다.⁵⁾

특히 방사능 치료계획의 선량법(dosimetry)에의 적용, 정위적 뇌수술(stereotactic surgery)에서의 임의 깊이의 심부조직에 대한 조직의 공간배열과 미세한 수술수기를 요하는 중이수술에 있어서 수술방향에 대한 안면신경의 배열을 관찰하기 위해서는 오직 수직한 단면영상만이 가능한 CT 영상으로부터 임의각도에서의 새로운 단면상을 요구하게 된다. 특히 임의단면 생성은 주위기관에 대한 병변의 위치와 형태를 묘사하는데 중요한 정보를 제공하게 되며, 새로운 단면을 생성하기 위한 환자에 대한 위험을 감소시키게 된다.

그러므로 본논문에서는 임의단면을 생성하기 위

<접수: 1989년 6월20일>

연세대학교 공과대학 의용공학과* · 신경외과**
전기공학과***

Yonsei Univ. Dept. of Medical Eng.,*
Neurosurgery,** Electrical Eng.***

하여 Herman²⁾ 방식의 모든 체적소(voxel)에 대한 교차점을 계산해야 하는 단점을 보완하기 위하여 계층적 구조를 갖는 8진트리를 이용하여 CT단면을 재구성 함으로서 트리탐색에 의한 논리연산으로 임의 각도, 임의 거리에 위치한 다중구조를 갖는 단면을 표시하고자 한다. 수직단면은 구성된 트리를 부분탐색하며, 임의 단면은 계층적 모델의 공간적 배열성(spatial-presortedness)를 이용한다.

2. 계층적 모델

계층적 모델¹⁾이란 정경(scene)이나 단면이 복잡하게 모델링 되었을때, 일정한 크기의 체적소나 화소에 이를때까지 영상의 동질성을 만족시키며 순환적으로 재분할 하는 구조를 의미한다. 그러므로 계층적 트리를 구성하기 위하여서는 $2^n \times 2^n (2^n \times 2^n \times 2^n)$ 의 단면(정경)은 $2^{n-1} \times 2^{n-1} (2^{n-1} \times 2^{n-1} \times 2^{n-1})$ 의 크기를 갖는 4(8)개의 작은 정사각형(정육면체)로 분

할하며, 분할된 4개의 정사각형을 4진소(quadrant), 8개의 정육면체를 8진소(octant)라 하며, 구성된 선도 4를 갖는 트리를 4진트리(quadtrees), 선도 8을 갖는 트리를 8진트리(octree)라 한다. 2진화 영상에 대하여 일정한 크기를 갖는 분할된 4진소나 8진소는 트리상의 노드를 구성하게 되며 구성된 1개의 노드가 모두 1인 영역에 위치하게 되면 흑색노드(BLACK), 0인 영역에 위치하게 되면 백색노드(WHITE), 1과 0이 혼합된 영역에 위치하게 되면 회색노드(GRAY)라 한다. 또한 크기 2^n 의 4진소(8진소)에 대하여 2^{n-1} 의 크기를 갖는 노드를 부노드(father node), 2^{n-1} 크기를 갖는 노드를 자노드(son node)라 하며, 4진트리에서의 1개의 부노드는 4개의 자노드를, 8진트리에서는 8개의 자노드를 갖는다. 트리의 레벨이란 근노드로 부터 임의의 노드까지의 통로를 지정하고 있으며 레벨n은 근노드를, 레벨0는 최소단위인 화소나 체적소를 지칭하며 그림 1.과 같이 공간적 위치에 대한 부호화된 값을 갖는

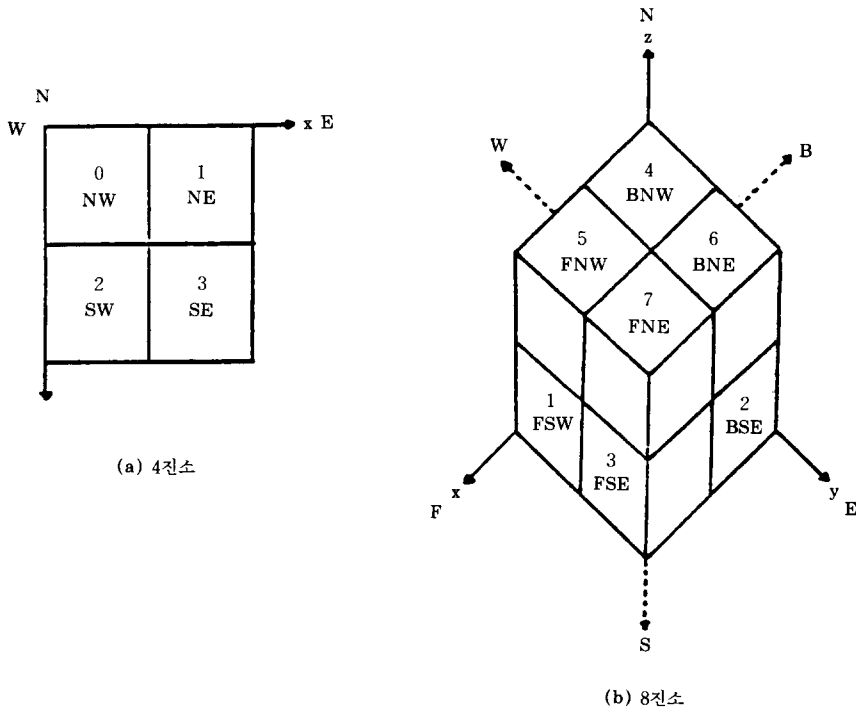


그림 1. 노드 위치에 대한 4진소와 8진소의 부호값

다. 이러한 계층적 모델을 구성하기 위한 데이터 구조는 수정된 1대8구조를 적용하여 후탐색에 의하여 연속적인 단면에 대한 4진트리를 병합하여 구성한다.⁷⁾

3. 수직단면 추출

수직단면 표시는 임의의 축에 대한 입력단면들로부터 새로운 축(시상단면, 횡단면, 관상단면)의 단면을 재구성하는 과정으로서 8진트리의 공간적인 배열성을 이용한 트리탐색⁴⁾을 적용하여 연속속도면에서 효율적으로 수직단면을 표시한다.

그림1.의 8개의 8진소에 대하여 노드 순서값 0, 1, 2, 3은 노드 순서값 4, 5, 6, 7에 비해서 S방향에 위치함을 알 수 있다. 또한 색8진트리의 노드는 3차원 정경내의 모든 데이터를 포함하고 있으므로 임의의 X, Y, Z 축에 수직한 단면노드 정보는 8개의 8진트리 노드에 대하여 공간적 위치에 따른 4개의 노드가 대응되는 표 1.과 같은 2진탐색 패턴이 된다.

표 1. 수직단면을 표시하기 위한 노드탐색

수직축	di=0	di=1
x	4, 0, 6, 2	5, 1, 7, 3
y	5, 1, 4, 0	1, 3, 6, 2
z	0, 1, 2, 3	4, 5, 6, 7

수직단면 P가 $w \in \{X, Y, Z\}$ 축에 대하여 d만큼 떨어진 단면이라고 하면, d는 2진수로 변환된 $d = (d_{n-1}, d_{n-2}, \dots, d_0)_2$ 로 표현되며, $d_i, i=n-1, \dots, 0$ 는 근노드로부터 레벨 (n-i) 까지의 통로에 위치하는 공간적 위치를 지정하게 된다. 그러므로 수직단면은 표 1.의 대응관계에 의하여 색8진트리를 근노드로부터, d_i 의 값이 0인가 1인가에 따른 4개의 대응노드를 순서적으로 깊이 우선탐색 함으로서 표시할 수 있다. 노드값이 회색노드이며 4개의 자노드를 탐색하며, 노드값이 흑색노드이면 순환된 좌표값에 색표시자값을 표시한다.

4. 임의 단면 추출

임의 각도에서의 단면은 물체와 단면에 대한 교차

를 계산한다. 임의의 방향과 위치를 갖는 단면을 P 라하고, 3차원 정경을 J, J에 포함된 물체를 J'라 하면 임의 각도에서의 단면은 디지털 연산자 D에 의하여 $D(j' \cap p)$ 로 표현되므로, 8진트리의 모든 노드에 대하여 $D(j' \cap p)$ 를 계산한다.

4-1 단면에 대한 좌표시스템의 결정

$N=2^n$ 의 크기를 갖는 C의 위치는 표준좌표계에 대하여 $C = \{(x, y, z) : 0 \leq x \leq 2^n, 0 \leq y \leq 2^n, 0 \leq z \leq 2^n\}$ 에 위치하며 임의단면 좌표계 x, y는 다음과 같다.

(1) 표준좌표계의 원점에 평면 P와 동일한 방향을 갖는 평면 P'를 위치시키며 좌표계를 x_1, y_1 이라 한다.

(2) 좌표계 (x_1, y_1) 를 (a, b)만큼 수평 이동을 함으로서 새로운 좌표계 (x_2, y_2) 를 구성한다. 그러므로 (x_2, y_2) 좌표계에 C를 평행투영시킨 C'가 음의 값을 갖지 않는 좌표계를 구성한다.

(3) (x_2, y_2) 를 \vec{g} 방향에 따라 d만큼 이동하여 (x_3, y_3) 좌표계를 구성한다. x, y 축에 대한 벡터를 $\vec{u}(u_0, u_1, u_2), \vec{v}(v_0, v_1, v_2)$ 라 하면 관측자 변환행렬의 행으로 계산된다.³⁾ 이동벡터(a, b)는 C를 P'에 투영시킨 C'가 음의 값을 갖지 않는 좌표계가 되도록, C'의 8개의 꼭지점 $(a_i, b_i), i=0, \dots, 7$ 에서의 P'를 고려하여 식(1)과 같이 (x_1, y_1) 에서 (x_2, y_2) 로 이동량을 결정한다.

$$a = \min\{a_i\}, b = \min\{b_i\} \quad (1)$$

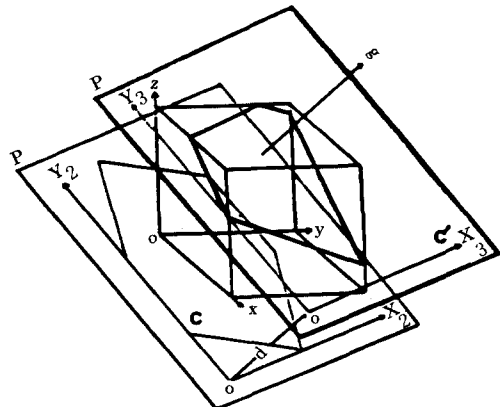


그림 3. 2차원 단면 좌표계의 결정

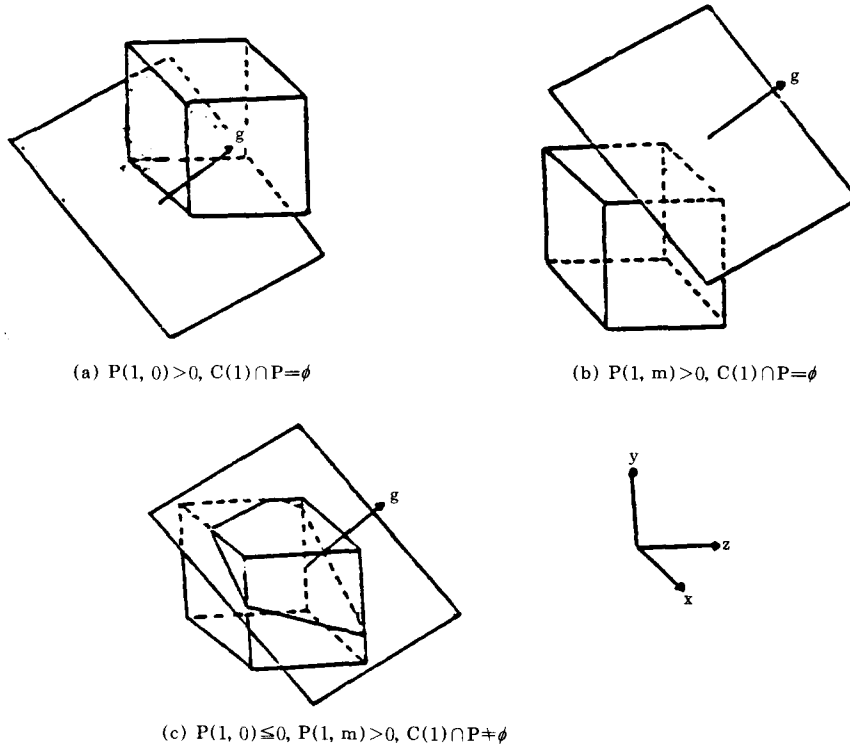


그림 2. 2차원 평면과 8진소의 교차

a' 를 $\max\{a_i\}$, b' 를 $\max\{b_i\}$ 라 할때 C'' 의 크기를 결정하는 m 은 평면 P'' 가 $P''\{(x_2, y_2): 0 \leq x < 2^m, 0 \leq y < 2^m\}$ 이 되도록 식(2)와 같이 결정한다.

$$\begin{aligned} m &= n+1 \text{ if } \max \{a'-a, b'-b\} > N \\ &= n \quad \text{otherwise} \end{aligned} \quad (2)$$

4-2 단면과 8진소의 교차

VPN벡터 \vec{g} 와 원점으로 부터 단면 P 까지의 거리 d 가 주어졌을때 평면 방정식 P 는 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} P(x, y, z) &= g_0x + g_1y + g_2z + g_3 = 0 \\ g_3 &= d \sqrt{(g_0^2 + g_1^2 + g_2^2)} \end{aligned} \quad (3)$$

그러므로 8진소 $c(1)$ 의 꼭지점의 $P(x, y, z)$ 가 반대부호를 갖게되거나 0의 값을 갖게 되면 $c(1)$ 은 P 와 교차하게 된다. $c(1)$ 을 레벨 h 에서 원점 $(x(1), y(1), z(1))$ 에서의 8진소라 하면 $P(1)$ 에 의하여 표

준좌표계의 원점에 대한 $c(1)$ 의 P 값을 정의할 수 있다. $c(1)$ 의 8개 꼭지점에서의 좌표를 $(x(1, i), y(1, i), z(1, i)) \ i=0, \dots, 7$ 라 할때 $P(1, i)$ 는 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} P(1, i) &= P(x(1, i), y(1, i), z(1, i)) \\ &= P(1) + 2^h \Delta P(i) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $P(i) = 1(i) \cdot \vec{g}$ 이며 $1(i) = (i_2, i_1, i_0)_2$ 로서 i 의 2진수 표현이다.

$P(1, i) \ i=0, \dots, 7$ 에 대하여 최소값을 갖는 i 를 지표 j 라하고, 최대값을 갖는 i 를 지표 k 라 하면 주어진 \vec{g} 에 대하여 모든 8진소는 규칙적으로 배열이 되어 있으므로 j, k 값은 같은 값을 갖게 된다. 그러므로 $P(1, j)$ 와 $P(1, k)$ 를 P 에서의 평면방정식에 대한 최대값과 최소값이라고 하면, 즉 $P(1, j) < 0$ 고 $P(1, k) > 0$ 가 되면 8진소 $c(1)$ 은 평면 P 와 교차하게 되므로 색8진트리의 모든 8진소에 대하여

j, k 에 대한 2 꼭지점 값만 계산함으로써 식(5)와 같이 순환 계산한다.

$$P(1, j) = -g_3 + 2^n \Delta P(j)$$

만약 1이 근노드 A라면 (5)

$$= P(1, j) + 2^h \Delta P(i)$$

만약 1이 A에 있는 1의 i 번째 자노드 라면

$$P(1, k) = P(1, k) + 2^h \Delta P(i)$$

4-3 4진소와 8진소의 교차

평면과 교차하는 8진소는 단면에 대한 교차부분을 결정해야한다. $c(1)$ 를 1에서의 8진소라하고 단면에 대하여 대응되는 4진트리 노드 m 에서 4진소를 $s(m)$ 라 한다면, $s(m)$ 이 $c(1)$ 에 포함하는가를 결정함으로써, 4진트리의 노드 m 에 대응되는 임의단면 데이터를 8진트리 노드 $c(1)$ 로 부터 추출한다. 그러므로 4진소 $s(m)$ 이 표준좌표계에서의 수직인 3축에 교차하는 직육면체의 형태를 갖는 체적을 $c'(m)$ 이라 하면 $c'(m) = \{(x, y, z) | wx \leq x \leq wx', wy \leq y \leq wy', wz \leq z \leq wz'\}$ 의 좌표 범위를 갖게된다. 주어진 $c(1)$, $c'(m)$ 에 대하여 식(6) 과 같이 {공겹침, 완전겹침, 부분겹침} 3가지 값을 갖는 교차함수 E 를 정의함으로써 교차부분은 공간적 범위에 대한 부등식 만의 비교로서 계산된다.

$$[\text{공겹침}]: c(1) \cap c'(m) = \emptyset \quad (6)$$

$$[\text{완전겹침}]: c(1) \cap c'(m) = c'(m)$$

$$[\text{부분겹침}]: \emptyset \neq c(1) \cap c'(m) \neq c'(m)$$

$c(1)$ 을 $(x(1), y(1), z(1))$ 에 원점을 있는 레벨 h 에서의 8진소라 하고, $s(m)$ 을 $(x(m), y(m), z(m))$ 에 원점이 있는 레벨 w 에서의 4진소라 하면, $s(m)$ 의 4 자노드 $(x(m, i), y(m, i), z(m, i))$, $i=0, \dots, 3$ 는 식(7)과 같이 표현된다. 여기서 (i) 는 $i=0$ 이면 $(0, 0, 0)$, $i=1$ 이면 \bar{u} , $i=2$ 이면 \bar{v} , $i=3$ 이면 $\bar{u} + \bar{v}$ 벡터가 된다.

$$(x(m, i), y(m, i), z(m, i)) = (x(m), y(m),$$

$$z(m)) + (2^w - 1) \Delta(i)$$

$$\Delta(i) = (\Delta_0(i), \Delta_1(i), \Delta_2(i)) \quad (7)$$

모든 4진소에 대하여 같은 값을 갖게되는 $i', i'', j', j'', k', k''$ 를 표준좌표계에서의 최대, 최소 좌표라 하면 색8진트리의 8진소와 단면에 대한 4진소의 좌표는 식(9)와 같이 순환하여 계산된다. 그러므로 $c(1)$ 과 $c'(m)$ 의 공간범위는 식(10)과 같은 부등식으로 표현된다.

$$\Delta_0(i') = \min\{\Delta_0(i)\}, \Delta_0(i'') = \max\{\Delta_0(i)\}$$

$$\Delta_1(j') = \min\{\Delta_1(j)\}, \Delta_1(j'') = \max\{\Delta_1(j)\}$$

(8)

$$\Delta_2(k') = \min\{\Delta_2(k)\}, \Delta_2(k'') = \max\{\Delta_2(k)\}$$

$$P(1) = (0, 0, 0) \text{ 만약 1이 8진트리의 근노드라면} \quad (9)$$

$$P(1) + 2^h(i_z, i_y, i_x) \text{ 만약 1이 1의 자노드라면}$$

$$P(m) = (x_0, y_0, z_0) + 2^w(\Delta_0(i'), \Delta_1(j'), \Delta_2(k')),$$

만약 m 이 4진트리의 근노드라면

$$= P(m) + 2^{n-1}(\Delta_0(i'), \Delta_1(j'), \Delta_2(k')) \text{ 만약 } m \text{이 } m \text{의 자노드라면}$$

$$x(1) \leq x < x(1) + 2^h, x(m, i') \leq x < x(m, i'')$$

(10)

$$y(1) \leq y < y(1) + 2^h, y(m, i') \leq y < y(m, j'')$$

$$z(1) \leq z < z(1) + 2^h, z(m, i') \leq z < z(m, k'')$$

식(11)을 모두 만족하게 되면 함수 E 는 [완전겹침]이고, 식(12)을 하나라도 만족하지 않게되면 [공겹침]이 되고, 그렇지 않은 경우에는 [부분겹침]이다.

$$x(1) < x(m, i') < x(m, i'') < x(1) + 2^h \quad (11)$$

$$y(1) < y(m, j') < y(m, j'') < y(1) + 2^h$$

$$z(1) < z(m, k') < z(m, k'') < z(1) + 2^h$$

$$x(m, i'') < x(1), x(1) + 2^h < x(m, i'') \quad (12)$$

$$y(m, j'') < y(1), y(1) + 2^h < y(m, j'') \quad (\Delta_0(i'') - \Delta_0(i')) \quad (13)$$

$$z(m, k'') < z(1), z(1) + 2^h < z(m, k'')$$

$$y(m, j'') = y(m, j') + (2^h - 1)(\Delta_1(j'') - \Delta_1(j'))$$

[부분접침]인 경우에는 모든자노드에 대하여 순환적으로 계산이 되며 $x(m, i'')$, $y(m, j'')$, $z(m, k'')$ 은 아래와 같이 계산된다.

$$z(m, k'') = y(m, k') + (2^h - 1)(\Delta_2(k'') - \Delta_2(k'))$$

$$x(m, i'') = x(m, i') + (2^h - 1)$$

표 2. 임의단면 계산시간

각 도	거 리	백색노드수 (개)	흑색노드수 (개)	회색노드수 (개)	전체노드수 (개)	계산시간 (초)	
$\theta=45$	100	45516	6071	16840	68427	81	
	120	68379	9133	25291	102803	121	
	140	66542	9606	24835	100983	121	
	$\phi=45$	160	54807	8058	20522	83387	100
		180	46372	6081	17121	69574	82
$\theta=45$	100	49530	7048	18485	75113	91	
	120	71418	9895	26521	107834	130	
	140	59674	8743	22333	90750	110	
	$\phi=135$	160	55263	7566	20509	83338	99
		180	15187	2197	5669	23053	28
$\theta=45$	100	92	13	34	139	1	
	120	10277	1685	3878	15840	20	
	140	22581	3580	8487	34648	43	
	$\phi=90$	160	34348	5141	12810	52299	64
		180	36200	5627	13562	55389	68
X 축	100	283	99	126	508	0	
	120	310	762	356	1428	7	
	140	225	713	313	1256	8	
	160	264	973	411	1648	9	
	180	220	789	335	1344	9	
Y 축	100	167	506	223	896	6	
	120	154	621	257	1032	7	
	140	133	504	211	848	6	
	160	147	496	213	856	5	
	180	4	0	0	0	0	
Z 축	1	1718	6770	2828	11316	34	
	3	963	5689	2216	8868	57	
	5	896	6560	2484	9940	55	
	7	1091	5690	2259	9040	58	
	9	1237	5700	2311	9248	60	

8진트리의 백색노드=6296, 흑색노드=9150, 회색노드=12770

2. 결과 고찰

표 2. 은 수직단면과 임의 단면을 만들기 위하여 생성된 단면에 위치한 물체의 복잡도에 대한 계산시간을 보여주고 있다. 수직단면과 임의 각도 단면에 대한 단면의 화소수와 4진트리의 노드수에 대한 계산시간을 비교하면 물체가 복잡해 질수록, 구성된 단면이 대한 압축되지 않은 4진트리의 노드수는 많아지게 된다. 그러므로 표에서와 같이 연산시간은 노드수에 대하여 거의 선형적으로 변함으로서 구성된 8진트리의 노드수 보다는 물체의 복잡도에 관계된 단면의 노드수에 비례함을 알 수 있다. 또한 수직단면의 재구성 시간은 단지 순서에 의한 트리탐색만으로 가능하므로, 단면수가 적은 X, Y축에 대하여 최대 9초, 화소수가 많은 Z축에 대하여 최대 60초의 재구성 시간이 소요되었다. 그러나 임의단면 알고리즘은 8진소와 단면과의 교차, 8진소와 4진소와의 교차를 계산하기 위한 식(6)의 E 계산시간에

영향을 받게 되므로 물체가 복잡하여 평면과 교차하는 8진소수와 평면과 교차하는 4진소수에 비례하여 많은 계산시간이 소요된다.

사진 1.은 단면간격(slice thickness) 8을 갖는 뇌의 14장 단면영상에 대하여 재구성된 8진트리로부터 구성된 수직단면과 임의 각도에 대한 2차원 단면을 보여주고 있다. (a), (b), (c)는 64, 130, 160의 거리를 갖고 재구성된 Z, Y, X축에 수직한 단면이며, (d), (e), (f)는 X축과의 각도 $\downarrow\theta$, Z축에 대한 각도 ϕ 가 $(45^\circ, 45^\circ)$, $(45^\circ, 135^\circ)$, $(45^\circ, 90^\circ)$ 에 대하여 150, 130, 180 만큼의 거리에서 재구성된 단면이다. 3차원 물체에 대한 수직단면 표시는 재구성된 8진트리를 탐색함으로써 표현되므로 재구성된 트리로부터 임의 단면 관찰과 새로운 단면을 구성하기 위하여 환자에 대하여 재촬영하는 위험과 시간을 감소시키게 된다.

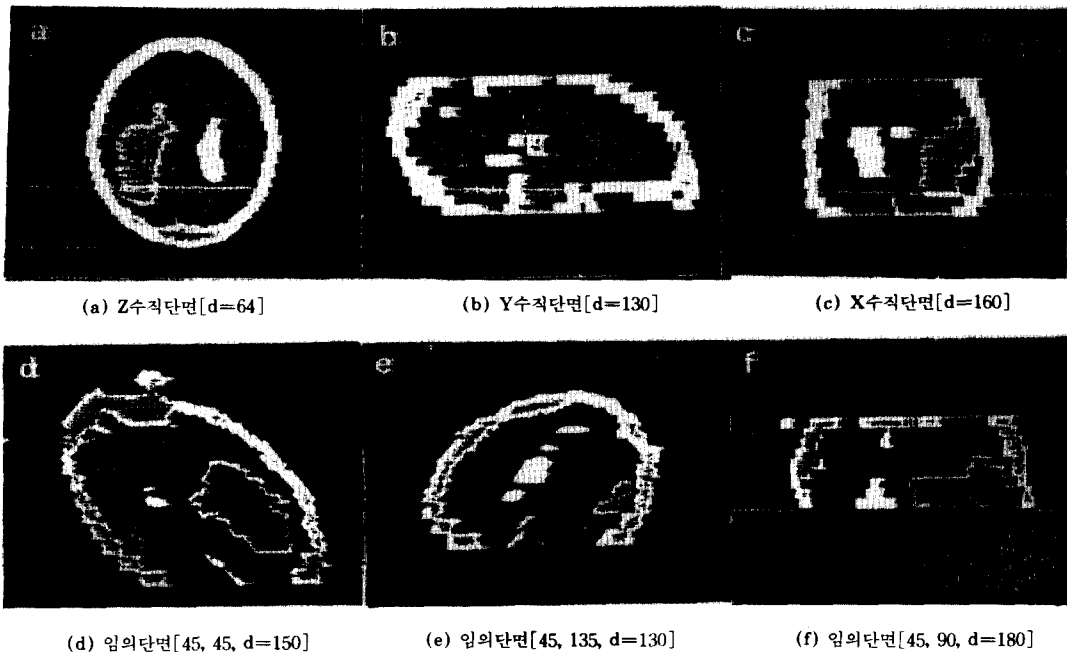


사진 1. 수직단면과 임의각도에서의 뇌단면 영상

6. 결 론

본 연구에서는 재구성된 8진트리 모델로 부터 임의 각도와 거리에 위치한 단면 추출을 하였으며, 뇌 단면 영상에 적용하여 보았다. 뇌단면에 대하여 임의의 각도에서의 재구성은 수술시 임의의 거리에 위치한 종양과 뇌실을 관찰 함으로서 모의 수술계획 수립에의 응용과, 방사능 치료를 하기위하여 방사능이 투과되는 단면을 화면상에 표시함으로서 기관과 종양에 대한 방사능 투여 부위결정하는 선량법에 응용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) D. Meagher, "The octree encoding method for efficient solid modelling," Ph. D dissertation, Dept. of Electrical Eng. Rensselaer Polytechnique, 1982.
- 2) G.T. Herman, and H.K.Liu, "Display of three-dimensional information in computed tomography," J. of Comp. Assist. Tomogr., Vol.1, No.1, pp. 155-160, 1977.
- 3) Newman Sproull: Principles of interactive computer graphics, Ch. 22, McGraw-Hill, 1979.
- 4) Oliver, M.A., and Wiseman, N.E., "Operations on quadtree-encoded images," Comput. J. Vol. 26, No.1, pp.83-91, 1983.
- 5) P.Block, and J.Udupa, "Applications of computerized tomography to radiation therapy and surgical planning," Proc. IEEE, Vol. 71, pp.351-355, 1983.
- 6) W.V. Glenn et al, "Image generation and display techniques for CT scan data: This transverse and reconstructed coronal and sagittal planes, Invest. Radiol., Vol.10, pp. 403-416, 1975.
- 7) 유 선국 et al, "소용량 컴퓨터에 의한 CT 영상의 계층적 표현," 의용생체 공학 춘계학술대회, pp.39-44, 1989.