

근접 치료 계산을 위한 3차원 치료계획

조 병 철

연세대학교 물리학과

최 동 락

카톨릭 의과대학 방사선과학교실

추 성 실

연세대학교 의과대학 치료방사선과학교실

초 록

치료 계획에 필요한 선량분포의 2차원 및 3차원 그래픽 알고리즘을 개발하여 근접 치료 계획에 적용하였다. 상의 전개는 먼저, 원하는 선량치에 대한 등선량 입체 곡면을 그물망 형태(wire frame)로 전시하고 이를 임의의 방향에서 관찰할 수 있도록 회전 가능하게 하였다. 또한, 주요 세방향의 임의 단면에 대한 등선량 분포 곡선들을 전시 가능케 하므로써 전체적인 선량 분포에 대한 이해를 도왔다. 그 결과, 보다 확실하게 근접 치료시의 공간적인 선량분포를 이해할 수 있었다.

1. 서 론

최근에 컴퓨터를 이용하여 실물을 재현시키고자 하는 3차원 그래픽에 대한 관심이 고조되고 있으며, 이에대한 의학 분야에서의 응용 가치 역시 매우 클 것으로 기대되고 있다.^{(1),(2)}

또한, 치료방사선 의학분야에서 고선량을 근접 치료가 활발히 이용됨에 따라 선원 및 그 배열 방법이 다양화 되어서 복잡한 선량분포의 보다 정확한 이해를 위한 선량분포의 3차원적 입체상이 절실히 요구되고 있으며 M. G. Bergen, S. Fujii 그리고 M. Goitein 등에 의하여 활발히 연구되고 있다.^{(6),(7),(8)}

그럼에도 불구하고 국내에서 근접치료 계산에 사용되고 있는 Gamma Med, Nucletron 그리고 Mevaplant 등의 프로그램의 경우, 2차원적인 등선량 곡선만을 전시하고 있다.

이에 본 논문에서는 3차원 등선량 곡면 전시를 위해 개발한 알고리즘을 소개하고 특히, ⁶⁰Co 방사선원을 이용한 근접치료에 본 알고리즘을 적용하였다. 선량분포 계산을 위해서 널리 알려진 계산식을 사용하였고, 프로그램은 Borland사의 Turbo C++^{(3),(4),(5)}를 사용하여 컴파일시켜 IBM PC 386SX상에서 실행시켰다.

2. 본 론

본 프로그램 ICR-3D은 먼저 2차원 등선량 곡선 전개를 위한 알고리즘을 개발한 후에 이것을

3차원으로 확장시켜 만들어졌다.

프로그램 ICR-3D은 관심있는 등선량 입체상을 전시한 후, 이를 임의의 방향으로 관점을 바꾸어 가면서 관찰할 수 있도록 하였고, 주요 세방향에 대한 임의 단면에서의 등선량 곡선들을 같은 화면에 전시할 수 있게하여 등선량 분포에 대한 이해를 보다 확실히 할 수 있도록 하였다.

프로그램 ICR-3D에 대한 개략적인 흐름도는 그림 1에서 보는 바와 같다.

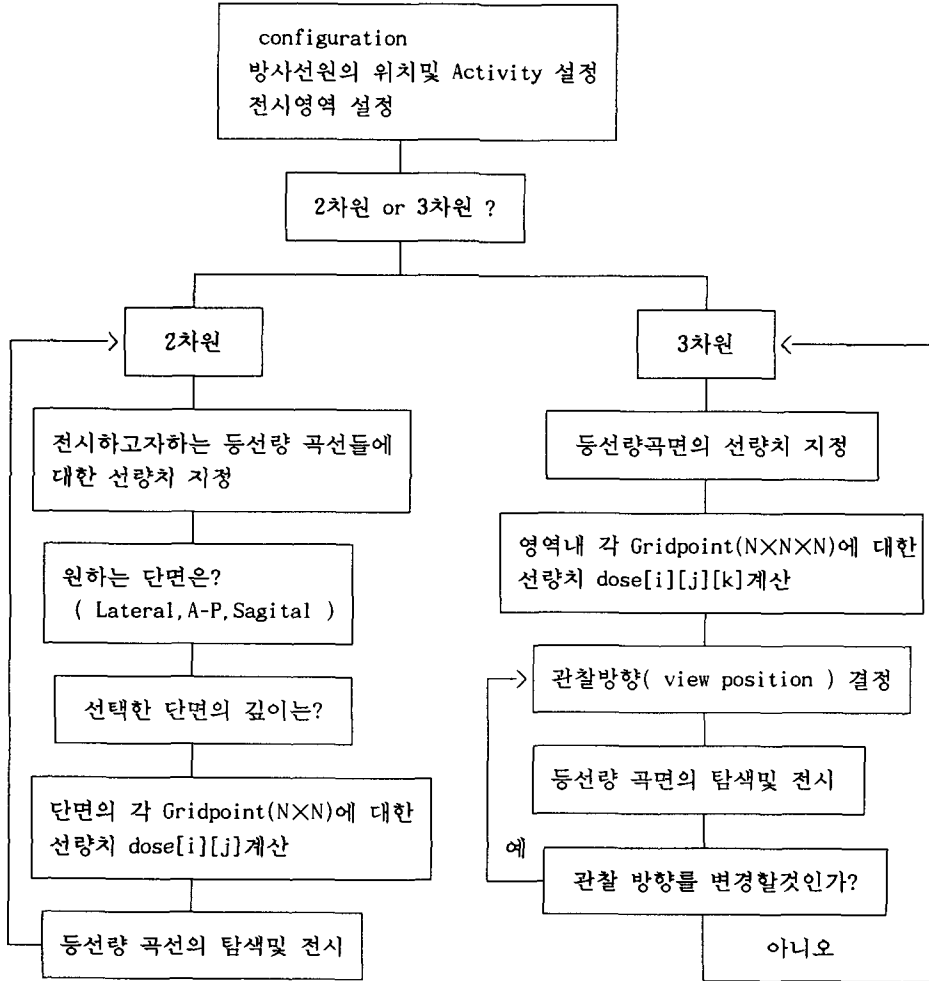


Fig. 1. Flowchart of the ICR-3D Program.

제1절에서 2차원 등선량 곡선 전시에 대한 알고리즘을 소개한후, 제2절에서는 이것을 3차원으로 확장시킨 등선량 곡면 전시에 대한 알고리즘을 설명하였고, 제3절에는 선량분포를 얻기위해 사용한 근접치료용 선량 계산식을 소개하였다.

제 1 절. 2차원 등선량 곡선 알고리즘

우선 관심이 있는 단면의 영역을 정한 다음, 이 평면에 N×N개의 작은 cell들로 분할하였

다.

각각의 단위 cell을 검사하여 cell내의 등선량 곡선을 찾아 연결하는 과정을 반복 수행하므로써 전체 평면의 등선량 곡선을 완성하는 것이다. 그림 2는 2차원 등선량 곡선 전시에 대한 흐름도를 보여주고 있다.

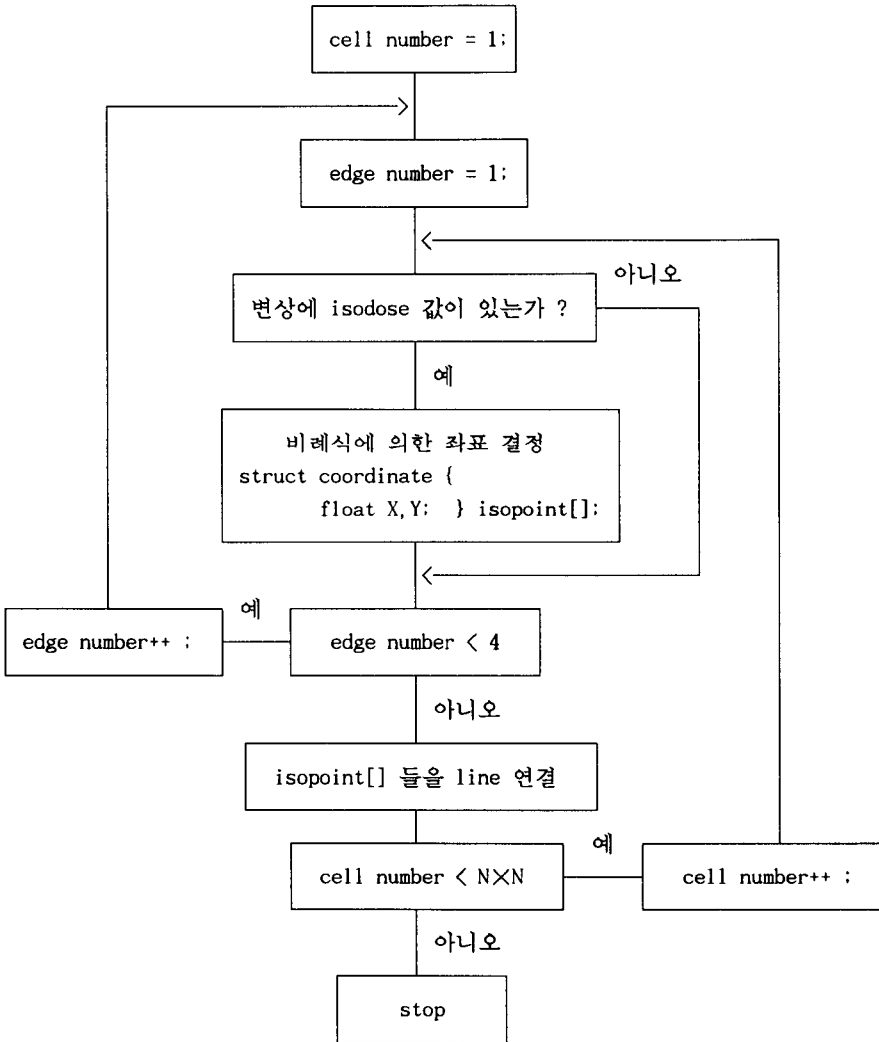


Fig. 2. Flowchart of two-dimensional isodose curves.

단위 cell을 검사하는 요령은 다음과 같다.

각 사각형 cell의 네 꼭지점은 grid point로써 이미 그 선량치들을 저장해 두었으므로 각 변 (edge)의 양 끝에 해당되는 2개의 선량치와 그리고자 하는 등선량치를 비교하여 만약 등선량치가 2개의 선량치들 사이에 있게되면 간단한 비례식을 이용하여 그 변상에서 등선량치에 해당되는 위치, isopoint()를 찾는다. 이렇게 네 변을 모두 검사하고 나면 다음과 같은 경우들이 생길 것이다. (그림 3)

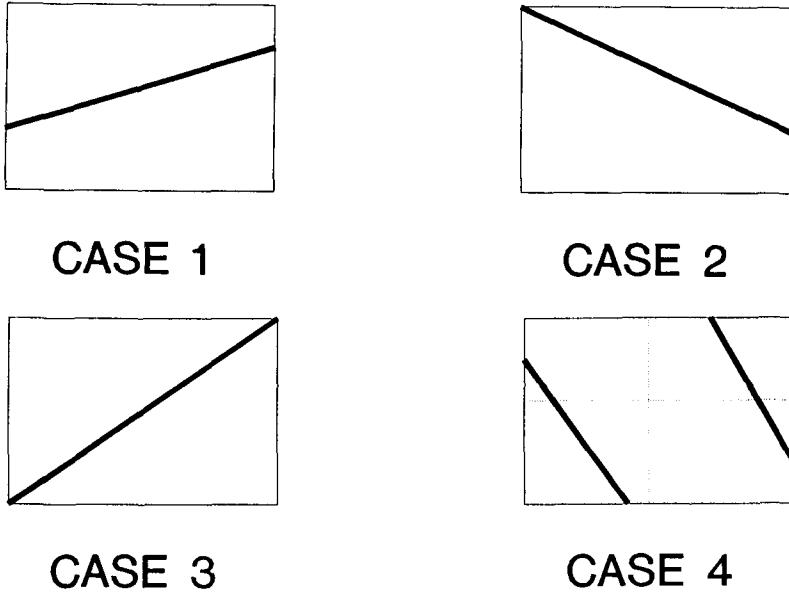


Fig. 3. Distributions of isodose curves in a rectangular cell.

첫째, 등선량치에 해당하는 위치인 `isopoint()`가 전혀 없을 경우로 명백히 아무일도 할 필요가 없다.

둘째, 한 변에서만 등선량치가 존재할 경우는 일어나지 않는다. 왜냐하면 일단 cell내부로 등선량 곡선이 들어왔다면 이 등선량 곡선이 cell내부에서 소멸되지 않는 이상, 어느 변으로든 다시 나가야되기 때문이다.

셋째, 두 변에서 등선량치에 해당하는 위치가 얻어질 경우로, 가장 일반적인 경우이며 등선량치에 해당하는 두 점, `isopoint()`들을 서로 연결시킨다.

마지막으로 세변 혹은 네변 모두에서 등선량치에 해당하는 위치가 얻어질 수 있겠는데, 이 경우는 등선량치가 cell의 꼭지점상에 놓이게 되므로 계산된 점, `isopoint()`들중 하나 혹은 둘은 동일한 값이 된다. 따라서 이 `isopoint()`들을 모두 연결하여도 올바른 단일 선분만이 형성되게 된다.

이상으로 2차원 등선량 곡선 알고리즘을 소개하였는데 두가지 지적해야 할 사항이 있다.

첫째, 위의 두번째 경우에서 들어오고 나가는 등선량 곡선이 한 cell의 동일 변상에 존재할 때에는 이 변을 검사해도 등선량치에 해당하는 위치를 얻을 수 없다. 이것은 알고리즘상의 문제가 아니라 cell의 크기 때문이므로 grid의 배열을 더욱 크게 한다면 극복될 수 있다.

둘째, 위의 마지막 경우에서 네변에서 얻어진 등선량치들이 서로 독립된 두개의 등선량 곡선에 의한 것이라면 이것 또한 분해능을 높히므로써 해결할 수 있을 것이다.

제 2 절. 3차원 등선량 곡면 알고리즘

2차원의 경우 사각형 cell이 기본이듯이, 3차원에서는 육면체 cell이 기본이 된다. 이 단위 육면체 cell들은 관심이 있는 체적에 $N \times N \times N$ 개의 3차원 grid를 형성하므로써 얻어진다. 그러

나, 2차원에서와는 달리 관찰 방향에 따라 보이는 면과 숨은 면을 고려하여 숨은 면은 제거시켜야 하는데 이를 위해 $N \times N \times N$ 개 cell들의 검사 순서를 적절히 조정함 다음, 나중 cell에서 얻은 등선량 곡면이 이전의 것을 덮어 씌우도록 하였다. 3차원 등선량 곡면 전시에 대한 흐름도를 그림 4에 나타냈다.

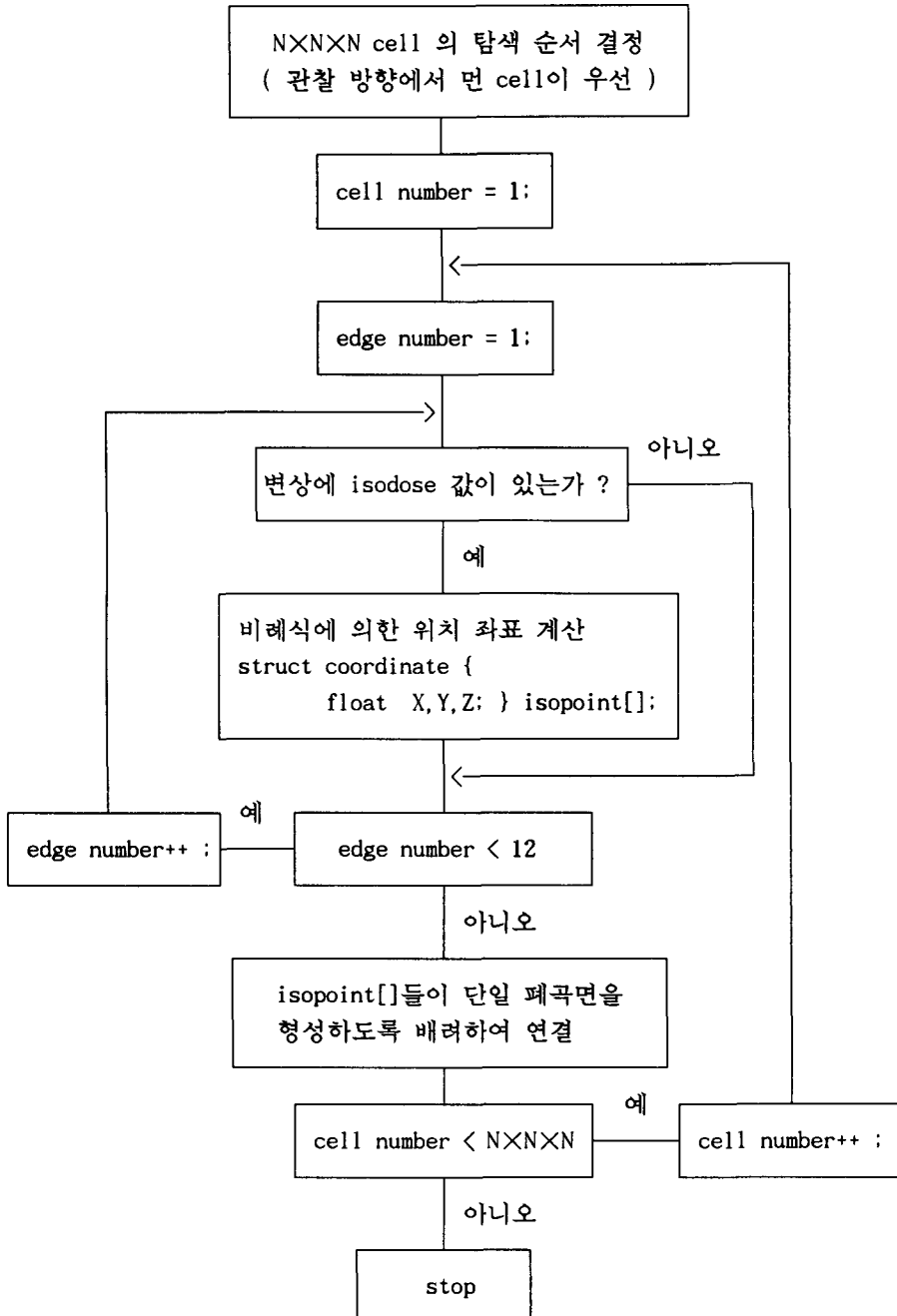


Fig. 4. Flowchart of three-dimensional isodose surface

각각의 육면체 cell들은 8개의 grid point와 12개의 변으로 이루어진다. 이 12개의 변들을 2차원에서와 같은 방식으로 차례 차례 조사하여 등선량치에 해당되는 위치 좌표 isopoint()들을 얻어낸다. 이렇게 얻어진 점들의 수는 일반적으로 하나도 없거나 셋, 넷, 다섯 혹은 여섯개 이다. (그림 5) 물론 더 많은 경우도 있겠으나, 등선량치가 cell의 꼭지점과 일치할 때를 제외하고는 분해능의 문제이므로 2차원에서와 같이 배제한다.

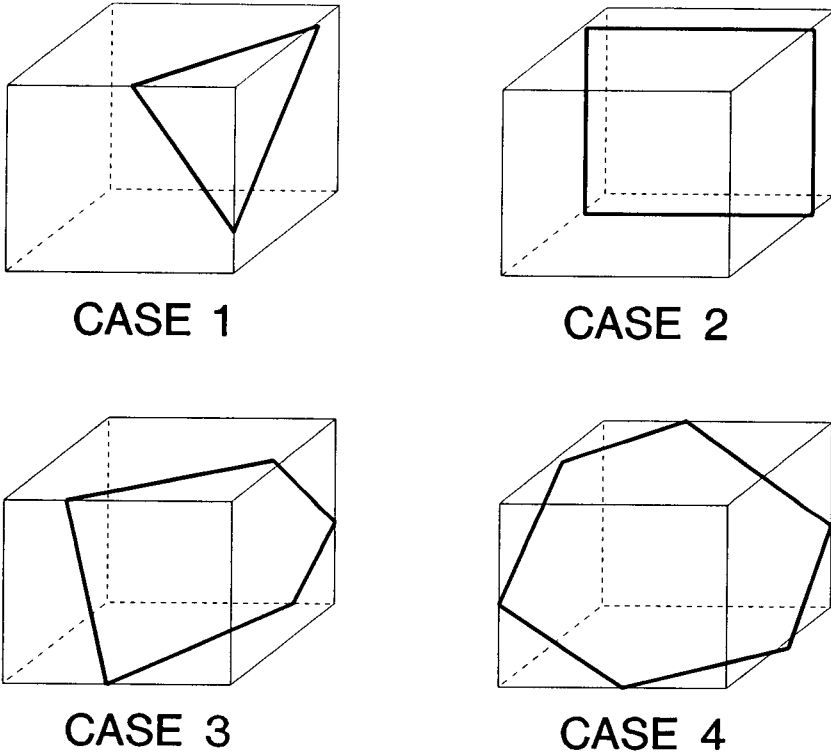


Fig. 5. Distributions of isodose surfaces in a cubic cell.

세 점이 얻어졌을 경우, 이 세 점을 연결시키므로써 하나의 작은 등선량 곡면이 구성된다. 세 점 이상이 얻어진 경우에는 이 점들을 임의로 연결하면 면이 교차될 수도 있으므로 이를 막기 위해 간단한 방법으로 isopoint()들을 sort시킨 다음 연결시켰다. 이러한 과정을 $N \times N \times N$ 개의 단위 육면체 cell들에 반복 수행하므로써 완성된 등선량 곡면을 얻을 수 있다. 또한 3차원에서의 관찰 방향 변경을 위한 좌표계 회전 방법으로는 기존의 yaw, roll, pitch 각도를 이용하였으며, 원근 투영법을 도입하여 입체적 효과를 갖도록 배려하였다.^{(1),(2)}

제 3 절. 근접 치료용 방사선원의 선량 계산

방사선원으로는 ^{60}Co 를 선택하였으며, 5개의 선원을 적정 위치에 배치한 후, tube형태의 선원을 각각 15개의 점선원으로 근사시켜 근접치료용으로 널리 이용되는 다음 식으로 선량 분포를 계산하였다. (그림 6)

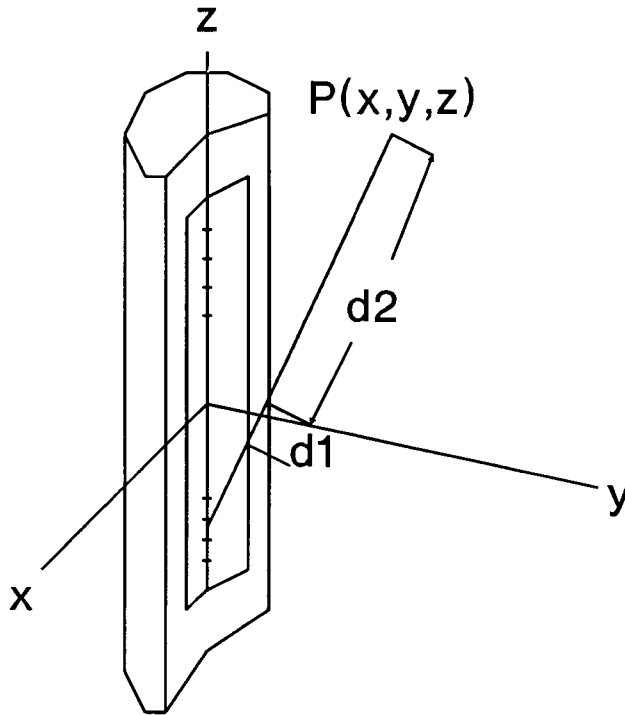


Fig. 6. The coordinate system for calculating dose distribution

$$D_p = \sum A_i \times f \times \Gamma \times C_w(d_1) \times C_i(d_2) / d^2 \text{ [cGy/h]}$$

A_i : i 번째 점선원의 Activity [Ci]

f : rad변화 계수 [rads/Roentogen]

Γ : 감마선정수 [Rcm²/Ci h]

d : i 번째 점선원에서 계산점까지의 거리 [cm]

$$C_w = \exp(-\lambda d_1)$$

: 캡슐 벽의 흡수 계수 (d_1 : 캡슐 벽의 통과 거리)

$$C_i = A + B d_2 + C d_2^2 + D d_2^3$$

: 조직내 흡수 계수 (d_2 : 조직내 통과 거리)

3. 프로그램 ICR-3D의 실행

본 프로그램 ICR-3D은 Borland사의 Turbo C++를 사용하여 컴파일하였으며, IBM PC 386SX(22MHz) 상에서 수행시켜본 결과, 하나의 등선량 곡면(GridPoint: 12×12×12)과 같은 영역내의 임의 단면에서의 등선량 곡선(GridPoint: 50×50)을 얻는데 약 4-5분이 소요되었다. 주요 세방향에서의 프로그램 실행 결과를 그림 7, 그림 8, 그리고 그림 9에 전시하였다.

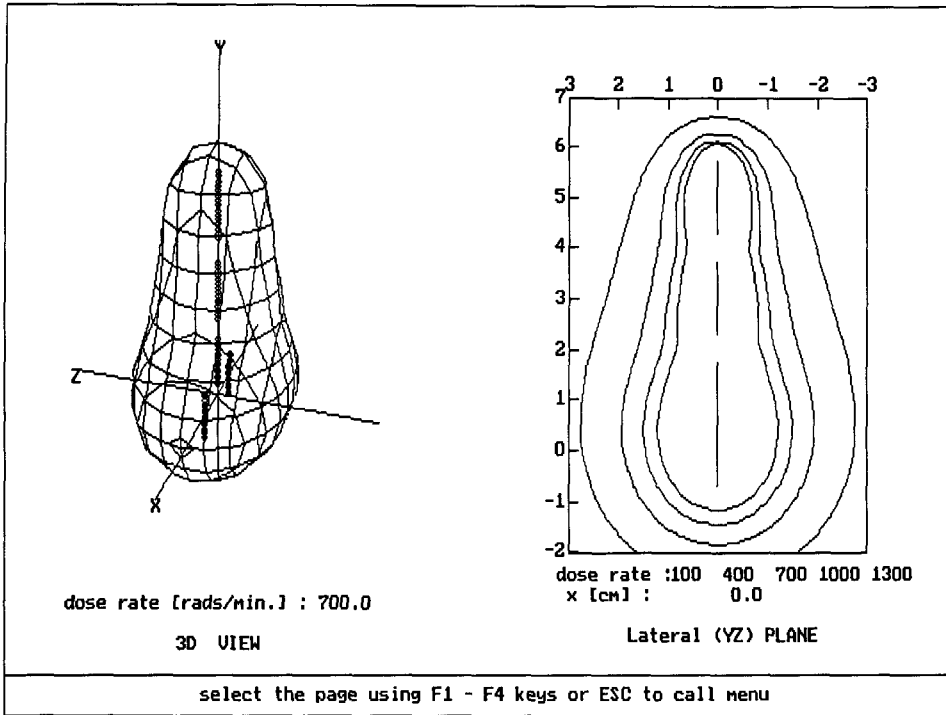


Fig. 7. Presentation of isodose surface and curves about lateral view.

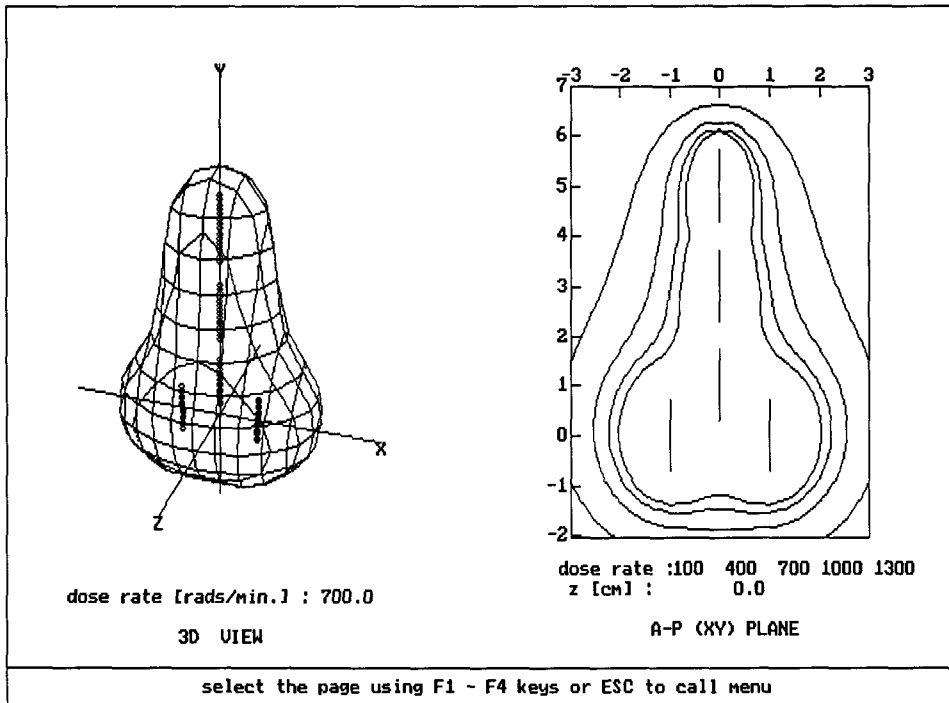


Fig. 8. Presentation of isodose surface and curves about A-P view.

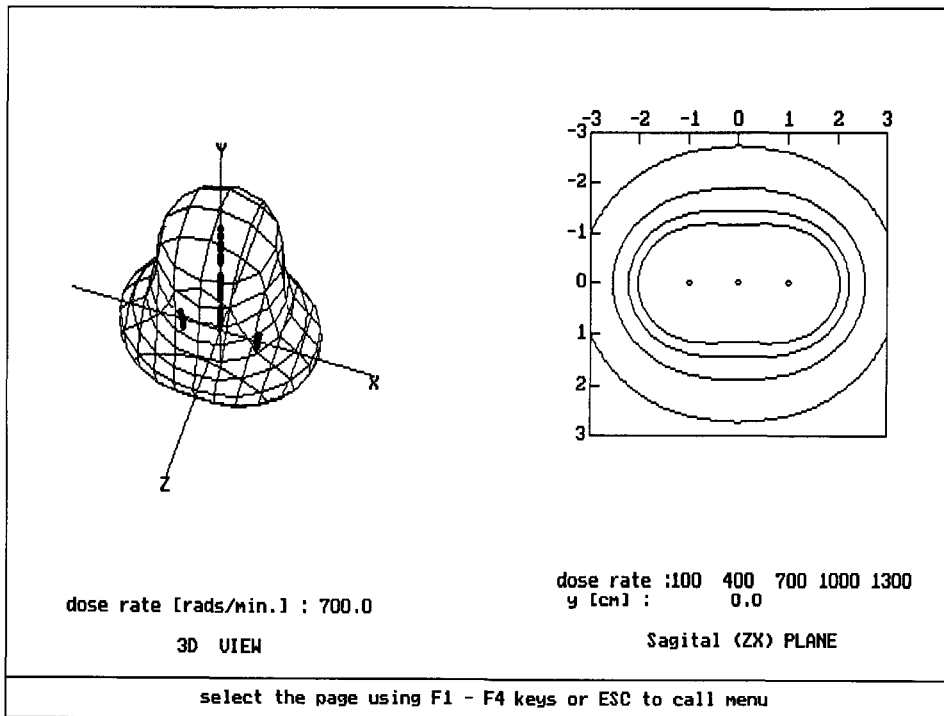


Fig. 9. Presentation of isodose surface and curves about sagittal view.

4. 결 론

등선량 분포에 대한 입체적 상의 전시가 가능해지므로써 고선량을 근접 치료 계획시 3차원적 선량분포에 대한 보다 확실한 이해를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 개발한 알고리즘은 거의 예외 없이 모든 선량 분포에 대한 등선량치를 구해낼 수 있으나, 특히 3차원의 경우 이를 전시하는 방법에 있어 보다 나은 후면제거기법, solid modeling등 개선의 여지가 많은 것으로 평가된다.

그러나 본 알고리즘은 근접 치료에만 국한되는 것이 아니기 때문에 teletherapy나 stereostatic therapy등의 3차원 치료계획에도 적용이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Lee Adams, 류 성렬 역: C cad 그래픽 프로그래밍: 도서출판 세웅, 서울(1991).
2. 신 영수, 김 현석: 3차원 그래픽: 가남사, 서울(1991).
3. Turbo C++ Programmer's Guide: Borland International Inc., CA(1991).
4. Stroustrup, Bjarne: The C++ Programming Language: Addison-Wesley, MA (1987).
5. Ezzel, Ben.: Graphics Programming in Turbo C: Addison-Wesley, MA(1987).
6. M. G. Bergen, W. A. Hunt, and E. Keppel: A Comprehensive System for

- Interactive Planning in Radiation Therapy: Heidelberg Scientific Center, Heidelberg(1972).
7. S. Fujuii, Y. Kaneda, M. Matsuo, M. Yosida, and H. Mure: Application of three dimensional reconstruction system for CT images to radiation therapy planning: *Proceedings of Third Symposium on Physical and Technical Aspects of Transmission and Emission Computed Tomography: Tokyo(1980)*. p. 15.
 8. M. Goitein and M. Abrams: Multi-dimensional treatment planning: *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 9, 777(1983a).

3-Dimensional Dose Planning for Brachytherapy

B. C. Cho, M. S.

Department of Physics, Yonsei University

D. R. Choi, Ph. D.

Department of Radiology

Catholic University Medical College

S. S., Chu, Ph. D.

Department of Radiation oncology

Yonsei University, College of Medicine

ABSTRACT

We developed a new algorithm for displaying two-dimensional isodose curves and three-dimensional isodose surfaces. And we used it to brachytherapy dose planning.

This program can display isodose surfaces with various view angles. We can also present isodose curves corresponding to arbitrary section of the surface.

As a result, we knew that this program can help understanding about three-dimensional dose distribution.