

3D CONFORMAL BLOCK 제작을 통한 BLOCK의 오차 원인규명 및 감소방안

충남대학교병원 치료방사선과

이철빈 · 김동욱 · 강노현 · 이영철 · 정인표

I. 서 론

현대에는 전자공학 및 컴퓨터 관련기술 등 첨단과학의 발전에 힘입어 치료기기가 고성능화되어 정밀한 치료가 시행되고 있다. 방사선치료는 의료용 선형가속기(linear acclerator : linac)라는 장비를 이용한다. 의료용 선형가속기의 기하학적 구조상 조사야의 크기는 사각형 모양으로만 조절되는 제한이 있기 때문에 모양이 여러 형태를 가지고 있는 종양에 효율적으로 치료하기 위한 방법이 필요하다. 이러한 요인으로 차폐물(Shielding block)을 제작하여 치료시 적용하게 된다. 차폐물은 환자의 중요 장기의 방어뿐만 아니라, 정상조직에 불필요한 방사선 조사를 피하는데 절대적으로 필요하다. 치료 조사야의 차폐는 종양의 크기 또는 형태, 조직 전이 등에 의해 결정되며, 정상 조직을 방사선으로부터 가능한 한 피해야 하므로 종양의 형태에 따라 조사야의 일부를 차폐해야 한다.

최근에는 뇌정위적방사선수술(Stereotactic radiosurgery) 및 병소를 선원이 움직이면서 다엽콜리메이터(Multileaf collimator : MLC)를 자동으로 조절하여 방사선 조사가 어느 방향에서든지 병소의 모양에 맞도록 조사하는 3차원 입체조형방사선치료(3D conformal therapy)가 도입되어 한정된 범위 내에서 정밀도가 높은 조사를 시행하고 있다.

이처럼 방사선치료가 복잡해지고 종양부위에만 치료할 수 있는 방법이 도입됨에 따라 정확한 차폐물 제작의 필요성이 부각되었다. 본원에서 시행하고 있는 치료방법 중 3차원 입체조형방사선치료는 치료시 의료용 선형가속기에 장착되어 있는 MLC를 컴퓨터 조작으로 환자의 중요 장기 및 정상조직을 자동으로 차폐하게 된다. 그러나 3차원 입체조형방사선치료를 받는 모든 환자에게 적용하기에는 어려움이 있어, MLC를 적용하지 않은 환자들은 차폐물을 제작하여 적용하게 되었다. 그러나 제작자의 노력에도 불구하고 정확한 차폐물이 만들어지지 않아 정밀한 치료를 시행하는데 많은 어려움이 있었다.

본 연구에서는 차폐물 제작과 실험을 통해 3차원 입체조형방사선치료용 차폐물의 오차 원인을 규명해 보고, 정확한 차폐물 제작으로 치료시 정밀도를 향상시킬 수 있는 방법에 대해 알아보았다.

II. 재료 및 실험방법

1. 재료

본원에서는 3차원 입체조형방사선치료시 사용하는 치료기기는 varian사의 Clinac2100C/D이다. 그리고 차폐물 제작시 사용하는 장비 및 재료들은 styrofoam을 자르는 전성불산의 hyrotam cut-

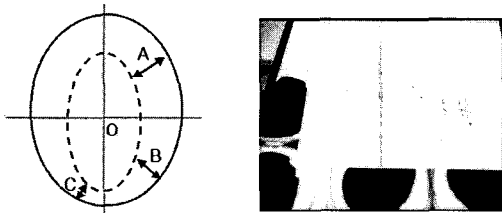
ter, 80°C에서 용해되는 cerrobend와 cerrobend을 용해시키는 납용기, 밀도가 30 kg/cm³인 스티로폼(styrofoam)을 사용하였다. 특히 본원에서는 3차원 입체조형방사선치료용 차폐물 제작시 오차를 줄이기 위하여 모형틀을 제작하여 사용하였다.

2. 실험방법

일반적으로 모든 차폐물 제작은 제작자가 Styroformer를 이용하여 스티로폼을 자른 후 제작하게 된다. 3차원 입체조형방사선치료용 차폐물 제작도 동일한 과정에 의해 제작되는데, 차폐물 제작 후 오차가 많이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이러한 원인을 제작과정과 실험을 통해 오차의 발생원인을 규명하였고, 오차를 줄일 수 있는 방법에 대해 알아보았다.

1) 오차의 측정방법

오차의 측정방법으로는 그림 1의 (a)와 같이 길이에 의한 측정방법과 그림 1의 (b)와 같이 조사야 면적에 의한 측정 방법이 있었다. 그림 1의 (a)에서 점선이 실제 조사야 크기이고, 바깥의 실선이 차폐물이 제작되어 조사된 크기로 같은 차폐물 내에서도 오차를 나타내는 길이(A, B, C)가 모두 달라 기준을 구하고 오차의 범위를 정하기 어려웠다. 따라서 본원에서는 그림 1의 (b)와 같이 실제 방사선이 조사되는 조사야 면적과 차폐물을 제작 후 조사되는 조사야 면적을 측정하여 오차의 범위를 구하는 것으로 하였다.



(a) 길이에 의한 오차측정 (b) 면적에 의한 오차측정

그림 1. 오차의 측정방법

2) 오차의 원인 규명

본원에서는 3차원 입체조형방사선치료용 차폐물 제작 과정에서 오차를 발생시키는 원인으로 모두 7가지로 분석해 보았다. 7가지의 원인으로서는,

첫 번째, 스티로폼을 자르는 속도와 열선의 온도에 의한 오차

두 번째, 스티로폼의 밀도에 의한 오차.

세 번째, Cerrobend의 온도에 의한 오차.

네 번째, Styroformer의 오차.

다섯 번째, 기하학적 구조에 의한 오차.

여섯 번째, 차폐물 모양에 따른 오차.

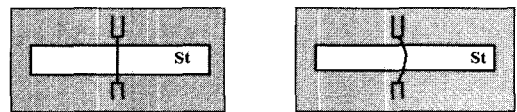
일곱 번째, 제작자에 의한 오차.

3) 오차의 발생 원인 및 감소방안

위 내용에서 오차를 발생시키는 원인으로 7가지를 분석하였다. 하나하나 오차를 발생시키는 원인과 오차를 감소시킬 수 있는 방안에 대해 알아보려고 한다.

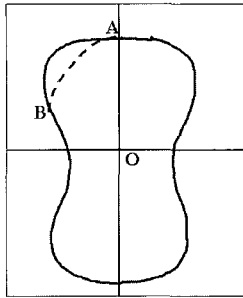
① 스티로폼을 자르는 속도와 열선의 온도에 의한 오차.

그림 2의 (a)와 같이 스티로폼을 자를 때 자르는 속도와 열선의 온도가 일치하면 열선이 휘어지지 않게 되어 오차가 발생하지 않는다. 그러나 그림 2의 (b)처럼 자르는 속도가 빠르거나 열선의 온도가 낮으면 자르는 속도를 따라가지 못해 오차가 발생하게 된다. 그림 3과 같이 열선의 위치는 A의 위치이고, 자르는 펜의 위치가 B의 위치이면, 실선을 잘라야 하는데 점선의 모양을 자르게 되어 오차가 발생하게 되는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 제작자는 열선이 휘어지지 않도록 열선의 온도를 조절하



(a) 일치한 모습 (b) 일치하지 않은 모습

그림 2. 열선의 온도와 자르는 속도의 관계



A : 열선의 위치
B : 자르는 Pen의 위치
O : Film center

그림 3. 열선과 자르는 속도의 불일치

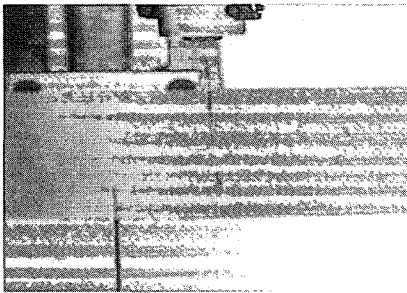


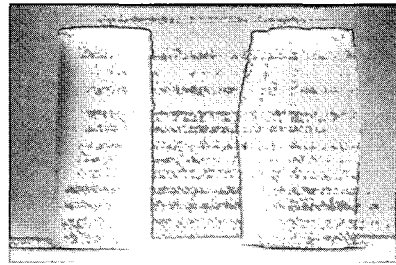
그림 4. 열선의 두께

고, 자르는 속도를 열선이 휘어지지 않도록 해야겠다. 이때 열선의 온도가 너무 높으면 스티로폼을 자를 때 잘려지는 간격이 커져서 오차가 발생하게 되므로 열선의 온도를 조절하여 잘려지는 스티로폼의 간격과 열선의 두께가 같아질 수 있도록 해야 하겠다(그림 4).

② 스티로폼의 밀도가 낮을 때 오차.

본원에서 3차원 입체조형방사선치료시 조사야의 크기는 주로 10×10 cm 이내의 조사야 범위에서 치료를 하고 있다. 이러한 작은 조사야 크기로 인해 잘려지는 스티로폼도 작게 잘려진다. 이러한 작은 스티로폼 사이로 cerrobend를 부어 넣게 되면, cerrobend의 온도에 의해 그림 5의 (b)처럼 cerrobend가 식으면서 스티로폼을 부풀게 하여 오차를 발생시키게 된다.

그러므로 사용하고 있는 스티로폼에 이런 현상이 발생하면 스티로폼을 교환해야 하겠다. 본



(a) 정상적인 모습 (b) 부풀어오른 모습

그림 5. 스티로폼의 변형된 모습

원에서 사용하고 있는 스티로폼은 30 kg/cm³인데, 이와 같은 현상이 발생하여 더욱 단단한 스티로폼으로 구입을 고려하였으나, 자체적으로 제작한 모형틀을 사용하여 이러한 문제를 해결할 수 있었다. 모형틀에 대한 내용은 (4) 모형틀 사용에 의한 오차 감소 방안에서 알아보기로 하겠다.

③ Cerrobend의 온도에 의한 오차.

차폐물 제작시 cerrobend의 용융점은 70~80 °C이다. 그러나 cerrobend가 적정온도 이상에서 녹아 사용하게 되면, 그림 5의 (b)처럼 서서히 식으면서 스티로폼을 부풀게 하여 오차를 발생시키게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 사용중인 cerrobend의 용융점이 70~80°C인가를 확인해야 하며, 납용기를 점검하여 적정온도에서 cerrobend를 녹이는지 확인해야 한다. 본원에서는 제품의 구입 가격과 여러 절차에 의해 제품이 들어오는 시간 등 애로사항이 있었는데, 모형틀을 사용으로 해결할 수 있었다.

④ Styroformer의 오차.

스티로폼을 자를 때 컴퓨터에 모의치료용 필름에 그려진 차폐물 모양을 입력하고, 스티로폼을 자동으로 자르는 기기를 사용하기도 하지만, 대부분의 병원이 Styroformer를 이용하여 직접 수작업에 의해 스티로폼을 자르고 있다. 따라서 Styroformer에서 발생하는 오차를 줄이기 위해

정기적으로 점검을 해야 한다. 점검사항으로는,

- 수평계를 이용하여 Styroformer의 판과 건물의 바닥이 수평이 되는지 확인한다.
 - Styroformer의 판의 중심점과 중심축이 수직이 되는지 확인한다.
 - 스티로폼이 놓여지는 지지대가 수평이 되는지 확인한다.
 - Styroformer의 판과 기둥이 수직이 되는지 확인한다.
 - Pen의 끝이 뾰족한가를 확인한다.
 - 중심축과 필름까지 거리에 따라 pen을 교환하게 되어 있다. 이때 교환된 pen이 흔들리지 않도록 중간 잠금 나사를 잘 조여준다.
 - 그림 6에서 C처럼 pen의 끝을 어느 한 점에 기준을 정하고, A와 B 두 손잡이 모양을 시계방향이나 시계 반대 방향으로 돌려서 그림 7과 같이 열선이 일정한 위치에서 움직이는지 확인해야 한다.
- 위의 사항은 3차원 입체조형방사선치료처럼 작

은 차폐물을 제작할 경우 반드시 점검을 해야 하겠다. 특히 e와 f의 내용은 장비 점검시 확인을 하지 않고 지나치는 경우가 있을 것으로 보인다. 그러나 스티로폼을 자를 때 미세한 오차를 발생시키기 때문에 주의를 요한다.

⑤ 기하학적 구조에 의한 발생

차폐물 제작 과정 중 스티로폼을 자르는 원리는 그림 8과 같다. 그림 8의 초점 F를 기준으로 필름까지 거리의 중간에 스티로폼을 올려놓고, 모의치료용 필름에 그려진 차폐물의 모양을 자르게 되어 있다. 그러나 이러한 divergency 원리에 의해 스티로폼을 자르게 되면, 근본적으로 오차가 발생한다는 것을 알 수 있었다. 즉, 그림 9에서 모의치료용 필름의 중심점 O를 기준으로 차폐물의 둘레(B₁, B₂, B₃)까지 거리에 따라 오차가 모두 다르다는 것을 알 수 있었다.

이러한 원인을 확인하기 위하여 그림 10과 같이 모눈종이에 14 mm의 일정한 간격으로 원을

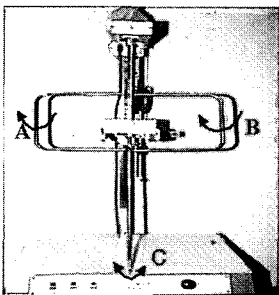


그림 6. 중심축 점검

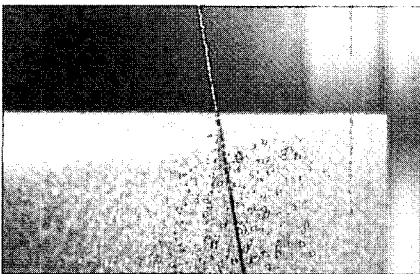
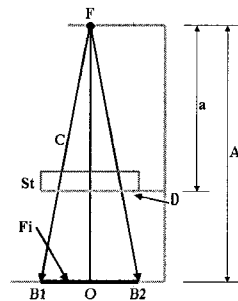
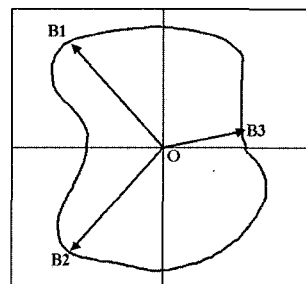


그림 7. 열선과 스티로폼을 이용한 중심축 점검



- F : Focus
- C : F와 B₁ 변의 길이
- O : Film의 중심
- B₁, B₂ : Block의 크기
- St : Styrofoam
- Fi : Simulation film
- D : St의 밀변
- a : F와 D의 거리(FDD)
- A : F와 O의 거리(FOD)

그림 8. Divergency에 의한 제작원리



- O : Film center
- B₁, B₂, B₃ : O를 기점으로 Block까지 거리

그림 9. O를 중심으로 Block(B₁, B₂, B₃)까지 거리에 따른 오차

표 1. Divergency에 의한 FIELD SIZE별 오차 확인

단위 : mm

FIELD SIZE	FIELD SIZE의 54.3%	실제 자른 크기			①+②+③의 평균	FIELD SIZE의 54.3% - ①+②+③의 평균
		①	②	③		
14	7.6	5	5.5	5.5	5.3	- 2.3
28	15.2	12.5	12.5	14	13	- 2.2
42	21.8	20.5	20.5	21	20.7	- 1.1
49	27	27	26.5	27	26.8	- 0.2
56	30.4	2	28.5	29	28.8	- 1.6
70	38	36.5	36	36	36.2	- 1.8
84	45.6	44	44	44.5	44.2	- 1.4
98	53.2	51.5	51	52	51.5	- 1.7
112	60.8	58.5	59	59	58.7	- 2.1
126	68.4	66	65.5	66	65.8	- 2.6
140	76	73.2	73.5	73.5	73.4	- 2.6

* 초점 F에서 필름까지 거리 : 1,400 mm
초점 F에서 스티로폼 밀변까지 거리 : 760 mm

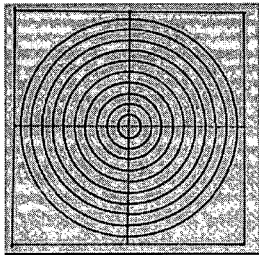


그림 10. 실험용 모눈종이

그린 다음 초점 F에서 필름까지 거리를 1,400 mm, 초점 F에서 스티로폼 밀변까지 거리를 760 mm로 하여 스티로폼을 잘라 보았다. 표 1은 실험을 통해 얻은 결과 값이다. 표 1에서 "FIELD SIZE"는 모눈종이에 일정한 간격으로 그려진 크기를 나타내며, "FIELD SIZE의 54.3%"은 스티로폼이 잘려져서 나와야 할 크기이다. "실제 자른 크기"는 같은 시간에 제작자 한사람이 같은 크기의 모양을 연속해서 3개를 자를 때 나온 수치이며, "①+②+③의 평균"은 실제 자른 크기의 3개를 평균을 구한 값이다. "FIELD SIZE

의 54.3% - ①+②+③의 평균"은 스티로폼을 자를 때 잘려져야 할 크기이다 실제 잘려진 크기의 평균값의 차이를 나타낸 것이다. 이 표에서 FIELD SIZE 49 mm를 자를 때 FIELD SIZE의 54.3% 크기와 실제 자른 크기의 평균값이 -0.2 mm로 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다. FIELD SIZE 49 mm를 기준으로 FIELD SIZE가 크면 클수록 잘려져야 할 크기이다 실제 잘려진 크기의 차이가 많이 나는 것을 알 수 있고, 또한 FIELD SIZE가 작으면 작을 수록 차이가 많이 나는 것을 확인할 수 있었다. 여기서 49 mm가 기준 FIELD SIZE가 되었는데, 이러한 기준 FIELD SIZE는 초점 F에서 필름까지 거리와 초점 F에서 스티로폼 밀변까지 거리를 어떻게 설정하느냐에 따라 다르다는 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 본원에서는 이러한 divergency에 의한 오차가 왜 발생하는지 여러 상황을 검토해 보았으나, 정확한 원인을 밝혀내지 못하였다.

본원에서는 divergency에 의한 오차를 줄이기 위해 그림 11과 같이 실제 자르고자 하는 크기

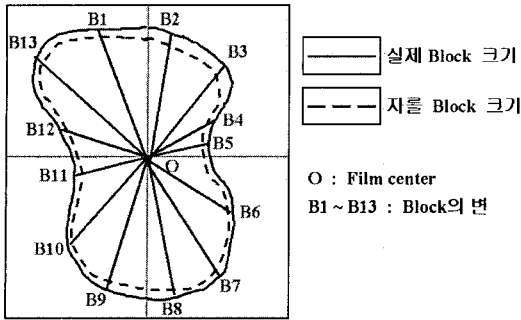


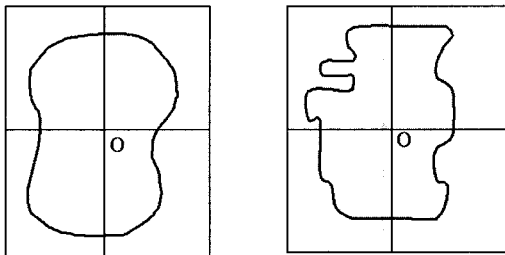
그림 11. Divergency에 의한 오차 해결 방법

에서 1 내지 3 mm 정도 작게 스티로폼을 자르고 있다. 즉, 필름 중심점을 기준으로 가까운 곳은 1 mm 정도, 중심점에서 먼 곳은 3 mm 정도 작게 차폐물 모양을 다시 그린 후 스티로폼을 자름으로서 오차를 줄이고 있다.

⑥ 차폐물 모양에 따른 오차.

그림 12의 (b)와 같이 복잡한 모양의 차폐물을 자를 때는 정밀하게 자를 수 없어 오차가 많이 발생하지만, 그림 12의 (a)와 같이 단순한 모양의 차폐물은 정확하게 자를 수 있어 오차를 줄일 수 있다.

이러한 차폐물의 모양에 따른 오차는 제작자가 많은 제작과 연습에 의해 스티로폼을 정확하게 자를 수 있도록 함으로써 오차를 줄여야 하겠다.



(a) 단순한 모양 (b) 복잡한 모양

그림 12. Block 모양에 따른 오차

⑦ 제작자에 의한 오차

차폐물 제작은 제작자에 의한 수작업으로 이

루어지고 있기 때문에 제작자는 본인에 의해 오차가 발생하지 않도록 숙련도를 높여야 하겠다.

4) 모형틀 사용에 의한 오차 감소 방안

오차를 발생시키는 원인 중 첫 번째와 두 번째 내용에서 오차를 해결하기 위해 본원에서는 모형틀을 사용하여 오차를 줄이고 있다고 서술한 바 있다. 모형틀의 크기 및 원리, 장점에 대해 알아보도록 하겠다.

가. 모형틀의 크기

그림 13은 본원에서 자체 제작한 모형틀의 모습이다. 모형틀의 높이는 그림 13의 (b)와 같이 80 mm로 하였다. 본원에서 3차원 입체조형 방사선치료는 6 MV나 10 MV 에너지로 치료하는데, 차폐물의 두께를 80 mm로 치료를 하고 있기 때문에 모형틀의 높이도 80 mm로 하였다. 작은 조사야 크기와 초점에서 스티로폼 밀변까지의 거리에 의해 모형틀의 가로×세로 크기가 결정되기 때문에, 본원에서는 70 × 70 mm²의 크기로 제작하였다.

모형틀 속에 스티로폼을 넣고 cerrobend를 붓게 되면 모형틀과 바닥 사이로 cerrobend가 새어나오는 현상이 있었다. 이렇게 제작된 차폐물을 치료실에서 광조사면을 통해 차폐물의 위치를 확인하는 과정에서 정확하게 맞출 수가 없어 오차가 발생하게 되었다. 이러한 것을 방지하기 위해 그림 13의 (a)와 같이 모형틀 받침대도 제작하였다.

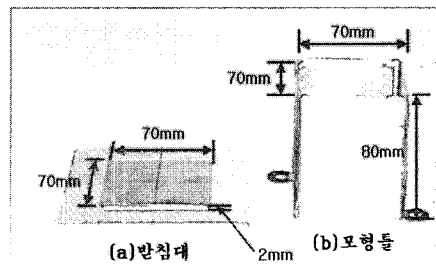


그림 13. 모형틀 크기

나. 모형틀의 원리

그림 14는 실제 본원에서 모형틀을 사용하기 전에 제작된 3차원 입체조형방사선치료용 차폐물의 모습이다. 스티로폼 한가지만 이용하여 차폐물을 제작하다 보니, cerrobend의 온도에 의해 그림 5의 (b)처럼 가운데가 부풀어 오른 현상이 발생하였다.

모형틀 사용으로 cerrobend의 열을 스티로폼의 위 부분이나 아래 부분 상관없이 전체적으로 흡수함으로써 스티로폼의 모양에 변형을 가져오지 않게 되었다. 그림 15는 모형틀을 사용해서 제작된 모습이다.

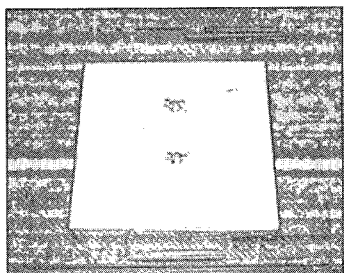


그림 14. 스티로폼만을 사용하여 제작된 모습

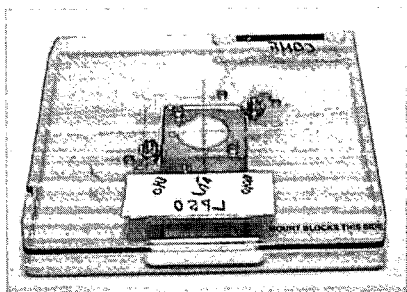


그림 15. 완성된 모습

다. 모형틀의 장점

모형틀 사용으로 4가지의 장점을 들 수 있었다.

첫 번째는 제작시간을 단축시킬 수 있었다. 모형틀을 사용하기 전에는 제작자가 환자 한 명당 6개 내지 7개의 차폐물을 제작하는데, 근무시간을 기준으로 2일에서 3일의 시간이 소요되

었다. 그러나 모형틀 사용으로 반나절 내지 하루 이내로 시간을 대폭 단축시킬 수 있었다.

두 번째는 비용절감을 들 수 있다. 본원에서는 사용기기 및 재료에서 오차가 발생하자 납용기 및 cerrobend, 스티로폼 등 모두 교환하는 것을 고려했었다. 그러나 모형틀 제작으로 기존의 장비 및 재료들을 그대로 사용함으로써 비용절감을 할 수 있었다.

세 번째는 결과에 대한 제작자의 믿음이다. 모형틀을 사용하기 전에는 재료에서 발생하는 오차로 인하여 결과에 대한 확신을 가질 수 없었다. 그러나 모형틀 사용으로 제작자는 본인에 의해 오차가 발생하지 않으면 정확한 차폐물을 만들 수 있다는 믿음을 가지게 되었다.

네 번째는 보다 정밀한 치료를 할 수 있었다. 모형틀을 제작하여 사용하기 전까지는 오랜 시간을 소요하며 똑같은 차폐물을 여러 개 제작하였다. 그 중에서 오차가 제일 적은 것을 선택하여 치료를 시행하였는데, 그래도 오차가 크게 나타나 치료에 어려움이 많았다. 그러나 모형틀 사용으로 정확한 차폐물을 제작할 수 있어 보다 정밀한 치료가 가능해 졌다.

III. 결 과

본원에서 3차원 입체조형방사선치료는 1999년 2월부터 시행하였다. 2000년 4월까지 3차원 입체조형방사선치료용 차폐물을 제작한 환자는 모두 12명이었다. 이때 제작된 차폐물의 수는 총 74개였다. 오차를 감소하기 전에 제작된 차폐물의 수는 환자 5명에 31개였고, 오차를 감소한 후 제작된 차폐물의 수는 환자 7명에 43개의 차폐물을 제작하였다.

오차의 크기는 조사야 면적을 측정하여 구하였다. 표 2와 같이 오차를 해결하기 전에 제작된 31개 차폐물의 전체 면적을 100%로 하였다. 이 값을 기준으로 실제 제작된 차폐물의 조사야 면적을 측정한 결과 실제 조사되어야할 면적 보다 9.4% 더 큰 109.4%로 나타났다. 오차를 감

표 2. 오차의 측정 결과

구분	환자 수	제작 차폐물 수	전체 조사야 면적 100%기준과 차이
총합	12명	74개	100%
오차 감소 전	5명	31개	+ 9.4
오차 감소 후	7명	43개	+ 0.7

소시킨 후 제작된 43개의 차폐물을 측정된 결과 실제 조사야 면적 보다 0.7% 정도 큰 100.7%로 확인되었는데, 약 8% 정도 오차가 줄어든 것을 알 수 있었다.

IV. 고 찰

3차원 입체조형방사선치료용 차폐물 제작은 다른 차폐물 제작 과정과 동일한 과정에 의해 제작된다. 그러나 3차원 입체조형 방사선치료용 차폐물이 다른 차폐물 보다 대체적으로 크기가 작고, 치료가 정밀하게 시행된다는 것이 특이한 사항이라 할 수 있다. 그래서 본원에서는 3차원 입체조형방사선치료용 차폐물 제작이 다른 일반적인 차폐물 보다 정밀성을 요구하게 되었는데, 실제 제작 과정에서 많은 오차가 발생하여 오차의 원인을 분석하게 되었고, 오차를 줄일 수 있는 방법에 대해 연구하게 되었다. 이러한 오차의 원인은 다른 차폐물 제작 과정에서도 참고사항으로 보아도 될 것으로 보이며, 특히 뇌정위 방사선수술용 차폐물 제작과 3차원 입체조형방사선치료용 등 정밀한 차폐물을 제작하여 치료하는 병원에서는 조금이나마 도움이 될 것으로 보인다.

그러나 오차를 발생시키는 여러 원인 중 divergency에 의한 오차 원인은 본 실험을 통해 근본적으로 발생하는 것으로 보이나, 이 문제를

이론적으로 확실하게 설명할 수 없어 아쉬움이 남는다. 추후 이와 관련된 내용에 대해 연구와 검토를 바란다.

참고로 본 논문의 광범위한 관계로 수치를 통해 데이터화 하지 못한 내용도 있을 것으로 사료되며, 또한, 차폐물 제작 과정 중 다른 오차 원인이 있을 것으로 보인다. 이번 논문은 본원에서 차폐물 제작 과정에서 현재 직면한 문제들을 파악한 내용들로 되어 있다.

V. 결 론

3차원 입체조형방사선치료용 차폐물 제작과정에서 차폐물의 오차 원인을 규명함으로써 다른 차폐물 제작과정에서의 문제점도 함께 파악할 수 있었다. 또한, 자체 제작한 모형틀을 사용하여 재료에서 발생하는 오차를 해결하여 비용 절감을 할 수 있었고, 제작시간도 상당히 단축시켜 치료의 효율성을 높일 수 있었다.

현재 차폐물 제작은 제작자에 의해 제작되고 있기 때문에 제작자는 3차원 입체조형방사선치료용 차폐물 뿐만 아니라, 다른 일반적인 차폐물 제작에 있어서도 오차가 발생하지 않도록 해야 하겠다.

참 고 문 헌

1. 강세식, 고인호, 김영산 등 : 방사선치료학, 대학서림, 1998 : 12
2. 김영일 : 방사선치료, 신광출판사, 1992 : 381
3. FRIZ M. KHAN : Treatment Planning III : Field Shaping, Skin Dose, and Field Separation. In William M. Passano III, The Physics of Radiation Therapy. 2nd ed, Maryland : Williams & Wilkins, 1994 : 315-319