

# 컴퓨터를 이용한 방사선 치료계획 시스템 개발

서태석, 서덕영<sup>1</sup>, 윤세철,  
가톨릭 대학교 의과대학, 경희대학교 공과대학 전자공학과<sup>1</sup>

## Development of Computerized Radiation Therapy Planning System

T. S. Suh, D. Y. Suh<sup>1</sup>, S. C. Youn  
Catholic University Medical College, Kyung Hee University Electronics Engineering<sup>1</sup>

### 1. 서론

본 연구의 목적은 방사선치료 목적에 따라 사용되는 X-선, 감마선, 전자선, 방사성동위원소 등에 대한 삼차원 방사선치료계획을 수립할 수 있는 통합적 치료계획 시스템을 개발하는 데 있다. 1차년도에 대한 수행과제는 X-선 및 감마선에 대한 2차원적 선량모델을 개발하고 방사선량 분포를 2차원적으로 CT 영상위에 구현하는 데 목적을 두었다. 본 연구는 사용자 요구사항 도출 및 임상적용, 방사선치료계획을 위한 선량모델 개발, 방사선치료계획을 위한 영상처리 및 입체 가시화, 상품화를 위한 구조결정 및 사용자 인터페이스 개발 등 크게 4과제로 나누어 진행되었다. 개발된 핵심 기술내용은 다음과 같다. (1) 환자영상을 치료계획 컴퓨터로 전송하는 시스템, (2) 환자 및 영상정보관리를 위한 데이터베이스 구축, (3) 환자 외곽선 자동추출, (4) 영상 처리 및 재구성, (5) 방사선량 측정데이터 분석처리, (6) 정형조사면에 대한 방사선량 모델 개발, (7) 등선량곡선 디스플레이, (8) 그래픽 인터페이스 구축, (9) 치료계획 시스템 구조 및 메뉴구성등이다. 먼저 사용자 요구사항에 따라, 환자영상데이터 획득, 영상정보추출, 치료패라메타 및 선량정보 등의 기능들을 모듈별로 구성하였으며, 총체적인 데이터 관리가 되도록 설계하였다. 측정된 방사선 데이터가 치료계획에 사용될 수 있도록 테이블화 하였으며, 유도된 2차원 선량모델에서 쉽게 부를 수 있도록, 데이터베이스를 구축하였다. 방사선량계산시 필요한 외곽선경계선 추출 및 재구성등 영상관련 정보들은 필요시 구축할 수 있도록 알고리즘화 하였으며, 계산된 방사선량분포는 영상위에 쉽게 표현될 수 있는 등선량 곡선형태로 구현하였다. 원활한 치료계획이 수행될 수 있도록 Window95 환

경하에서 사용자 인터페이스가 구축되었으며, 치료계획관련 전반적인 메뉴구성은 Tree구조형태로 논리적으로 이루어 질 수 있도록 하였다.

### 2. 연구내용 및 결과

#### 2.1 사용자 요구 사항 도출

방사선치료계획장치를 위한 사용자 요구 사항을 도출하여 총체적인 구조를 설계하였다. 이를 위하여 환자 영상 데이터 획득, 영상정보 추출, 치료계획 관련 파라메타 및 선량 정보 등의 기능 등을 모듈별로 구조를 작성하였으며 총체적인 데이터 관리가 되도록 설계하였다. 세부 연구 내용 및 결과는 다음과 같다.

- (1) RTP개발을 위한 총체적인 구조설계: 환자 정보, 병소의 정의, 치료계획, 방사선 데이터 처리, 방사선 분포 디스플레이 등을 포함하는 총체적인 구조를 개발하였으며 모듈별 데이터 관리 시스템을 도입하여 효율적인 치료계획이 수행되도록 하였다. (그림1)
- (2) RTP를 위한 환자영상데이터 획득시스템: Picker CT자체 Control w/s에서 Gateway w/s으로 DICOM 영상이 전달되고 Image Pickup 시스템에서 임시로 필요한 영상을 저장할 수 있도록 하였다.
- (3) 환자 영상 및 추출 정보 관리 시스템: 환자정보, 영상관련정보, 치료계획관련 정보정보들을 체계적으로 구성하고 이를 사용자가 치료계획 수행에 맞도록 데이터 베이스화 하였다.
- (4) 치료계획메뉴구성: 치료계획이 논리적인 구조에 따라 사용자가 효율적으로 수행할 수 있고 tree구조 형태로 치료계획 메뉴를 구성하였다.

#### 2.2 방사선 치료계획을 위한 선량 모델 개발

기준조건에서 측정된 방사선 분포 데이터를 이용하여 환자영상위에 방사선량 분포를 계산할 수 있는 2차원 방사선량 모델을 개발하였다. 개발된 세부적인 내용은 다음과 같다.

- (1) 방사선 측정: 방사선 측정기 시스템을 이용하여

3광자에너지 ( 4, 6, 10 ), 11조사면 (3×3, 6×6, . . . , 30×30 cm<sup>2</sup>)에 대한 출력계수, PDD, OAR, TMR 등의 선량분포로 측정하였다.

(2) 방사선 데이터 분석 및 처리: 측정된 방사선 데이터가 치료계획에 사용될 수 있도록 테이블화 되었으며, 실제 컴퓨터 치료계획장치에서 사용자에게 의해 데이터 베이스관리가 쉽게 될 수 있도록 구성되었다.

(3) 인체조직등가 균질 조직에 대한 광자선량 모델 개발: 균질한 인체조직 등가물질을 이용하여 측정된 데이터를 근간으로 하며 본 모델에서는 TMR, OAR 등의 측정데이터를 사용하여 거리 및 조사 방향에 따른 입체적 관계를 고려하여 선량을 계산할 수 있는 모델을 정립하였다. 방사선 조사기의 위치(gantry angle) 및 환자의 상대적 위치(table angle)에 따른 환자내 임의의 점 m에서의 선량값은 다음 식에 의해 결정된다.

$$D(C, STD, d, r)_m = D_{ref} \times TMR(w, d) \times \left( \frac{SAD}{STD} \right)^2 \times OAR(C, STD, r) \dots (1)$$

(4) 인체의외곽경계선의 보정: TAR/TPR방법을 사용하여 인체의외곽 경계선을 보정하는 알고리즘을 개발하였다. 경사 외곽선에 따른 방사선 일차선 및 산란선을 다음의 식에 의해 보정하였다.

$$c = \frac{TMR(d-x, W)}{TAR(d, W)} = \frac{TPR(d-x, W)}{TPR(d, W)} \dots (2)$$

### 2.3 방사선치료계획을 위한 영상처리 및 입체가시화

#### 2.3.1 환자영상정보 추출기법

환자영상에서 진단 및 치료에 의미있는 정보를 추출하는 단계는 크게 낮은 단계, 중간 단계, 높은 단계 (low level processing, intermediate level processing, high level processing) 등 세단계로 나눈다. 낮은 단계에서는 미분필터 또는 비선형 필터 등을 사용하여 영역을 구분하는 신호처리 과정이다. 이 단계에서 관심이 있는 부분의 특징적인 인자를 부각한다. 크게 영역을 구분하는 방법과 엷지를 찾는 두 분야가 있다. 영역을 찾는 방법은 인접한 영역간 가장 차이가 많이나는 통계치를 이용한다. 엷지를 찾는 방법은 주로 미분필터나 라플라시안 필터, 또는 비선형필터를 이용한다. 본 응용에서는 밝기가 차이가 나는 두 부분을 구분하는 것이므로 방향성이 있는 8방향 미분필터를 이용하였다. 중간단계는 특징적으로 나타나는 인자를 분류를 하는 단계이다. 이때에는 지식기반적인 방법이 이용된다. 본 연구에서는 현재 연상의 경계선이 인접영상의 경계선과 그 위치가 비슷하다는 지식을 이용하였다. 이 단계에서는 사용자 인터페이스의 정도에 따라 시스템의 성능이 좌우된다. 어떠한 인식시스템이라도 완전하게 자동화하는

것은 매우 비실용적이기 쉽고, 사용자가 간단한 정보를 시스템을 주게되면 훨씬 간단하고 정확하게 인식할 수 있다. 본 시스템에서는 사용자가 처음 경계선이 시작하는 위치를 마우스를 이용하여 정해준다. 이때 몇 픽셀정도의 오차는 허용하므로 사용자가 불편을 느끼지않는 정도이다.

높은 단계는 인공지능의 추론기능을 이용하여 분류하는 단계이다. 지금까지의 경험을 다음에 이용할 수 있어야하므로 지식표현 및 저장 수단이 있어야한다. 본 응용에서는 이 단계는 매우 단순하게 되어있다. 즉, 이미 경계선이 추출된 영상의 인접한 영상에서 경계선을 찾을 때는 이미 추출된 경계선 정보를 이용한다. 또한, 경계선이 급격하게 변하지 않는다는 사실을 이용한다. 낮은 단계에서 사용하는 미분필터의 크기는 5×5이다. 필터의 크기는 원하는 경계선의 정밀도와 관련된다. 지나치게 정밀하게 하면 큰 모양을 놓칠 위험이 크다. 그리고 필터의 크기가 크면 계산량이 많아진다. 본 연구에서는 덧셈과 뺄셈으로 필터를 구현하여 계산속도 높였다. 경계선의 저장형식은 정해진 각도에서 반지름으로 표현하였고, 360도에서 매 2도에 한 값씩 저장하였다. 반지름으로 표시하는 방법은 데이터양을 줄일 수 있지만 convex한 경우에만 유효하다. 실제로 귀부분은 오목하게 들어오므로 convex하지 않으나 이차이는 무시한다.

1	1	0	-1	-1
1	1	0	-1	-1
1	1	0	-1	-1
1	1	0	-1	-1
1	1	0	-1	-1

東西(East-West)

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
0	0	0	0	0
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1

北南(North-South)

0	1	1	1	1
-1	0	1	1	1
-1	-1	0	1	1
-1	-1	-1	0	1
-1	-1	-1	-1	0

北東(NE)

1	1	1	1	0
1	1	1	0	-1
1	1	0	-1	-1
1	0	-1	-1	-1
0	-1	-1	-1	-1

北西(NW)

-1	-1	0	1	1
-1	-1	0	1	1
-1	-1	0	1	1
-1	-1	0	1	1
-1	-1	0	1	1

西東(West-East)

-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
0	0	0	0	0
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

南北(South-North)

## 컴퓨터를 이용한 방사선치료계획 시스템 개발

0	-1	-1	-1	-1
1	0	-1	-1	-1
1	1	0	-1	-1
1	1	1	0	-1
1	1	1	1	0

南西(SW)

-1	-1	-1	-1	0
-1	-1	-1	0	1
-1	-1	0	1	1
-1	0	1	1	1
0	1	1	1	1

南東(SE)

Axial영상에서 anterior쪽 경계에서는 南北필터가 가장 큰 값을 나타내고, posterior쪽 경계에서는 北南필터가 가장 큰 값을 나타낸다. 영상의 가운데점을 원점으로 회전하면서 경계를 검출한다. 이때 경계선의 연결성을 고려한다.

### 2. 3. 2 영상재구성

CT나 MRI는 서로 평행한 axial 영상들을 제공한다. 때때로 CT에서는 비스듬한 방향의 영상, 즉 경사단면(oblique image)을 제공하기는 하지만 이것은 CT 내부에서 axial 영상에서 재구성한 것이다. 이때 경사단면을 재구성하는 기준점을 cutting point라고 한다. 본 연구에서는 이 cutting point를 옮기면서 치료계획을 수립하기 때문에 본 시스템내에서 영상재구성을 해야한다. 영상을 재구성하기 위해서는 메모리가 매우 많이 필요하고 계산량이 많으므로 매우 어려운 일이다. 그러나 본 시스템에서는 재구성한 영상의 화질이 크게 문제되지 않으므로 간단한 방법으로 이를 구현하였다. 이는 또한 사용자가 기다리는 시간을 최소화하는 효과를 준다. 시도한 방법은 크게 세가지 방법이다. 첫째로 영차홀더(zeroth order holding)는 정해진 각도에서 각 axial 영상에서 추출된 선을 그대로 복사하는 방법이다. 가장 간단한 방법이며 화질이 매우 열악하나, 다른 방법과 비교하기 위한 목적으로 개발하였다. 둘째로, 선형보간(linear interpolation)을 이용하였다. 이는 신호처리에서 1차보간필터에 해당한다. 인접한 두 개의 Axial 영상에서 한 라인씩 추출하고, 가중치는 거리에 반비례하도록하여, 두 라인을 이용하여 없는 부분을 만들어낸다. 이것은 만족할 만한 결과를 보인다. 이는 선형 저역통과필터에 해당한다. 그러므로 엣지부분이 흐릿하게 된다. 따라서, 외곽경계부근이 뿌옇게 보이고, 병소부위는 실제보다 좀 크게 보이는 경향을 보인다. 셋째로는 비선형적인 방법인 형태를 고려한 재구성(shape-based)을 시도하였다. 동영상압축알고리즘에 이용하는 움직임 벡터 검출방법을 이용하여 형태 변화효과를 보존할 수 있었다. 벡터검출 윈도우의 크기는 영상내 보존해야 하는 가장 작은 object의 크기와 상관성을 가진다. 벡터검출 지역적 범위가 클수록 계산량이 많아진다. 병소부위를 원래보다 아래 위로 작게 재구성된다. 그러나 외곽선에서 우수한 효과를 보인다. 위의 세 방법은 계산량을 줄이기 위하여 이차원적인 방법을 사용하였다. 그러나 두뇌나 인체의 많은 부분은 3차원적으로 그 모양이 연결되므로 3차원적인 상관성을 이용

하여야 한다. 이 방법은 매우 많은 계산량과 메모리를 필요로 하나, 앞으로 컴퓨터의 성능이 향상 되면, 실용적인 수준에서 적용이 가능해질 것이다. 그림2는 환자 외곽선 추출 및 영상 재구성한 예를 보여 주는 것이다.

### 2.4. 상품화를 위한 구조 결정 및 사용자 인터페이스 개발

2.1, 2.2, 2.3 항에서 결정된 사항 및 결과들을 사용자가 직접 사용할 수 있도록 프로그램화하였다. 상품화를 위한 적절한 프로그램과정을 위한 논리적 구조를 결정하였으며 사용자가 쉽게 사용할 수 있는 환경 및 사용자 인터페이스를 구축하였다.

(1) 프로그램화를 위한 총체적구조: 상품화를 위한 프로그램과정을 크게 2단계로 분류하여 진행되었다. 먼저 사용자 인터페이스 확립 및 구현정도를 조사하기 위한 파인릿개념의 프로그램과정이 진행되었으며 이는 빠른 구현을 통하여 알고리즘의 검증 및 상품화를 위한 개선 방향등을 확립할수 있도록 구성되었다. 두 번째 연구방향은 객체지향모형을 이용한 프로그램 구현으로써 앞으로 상품화 모델의 정형을 이루고 최종 목표로서 연구가 진행되었다. 이는 상품화에 문제시 될수 있는 사용자, 하드웨어, 알고리즘등의 상호 의존성을 최소화하여 새로운 기술및 하드웨어가 쉽게 적용 될수 있도록 개념을 확장하였다. 이를 위하여 시스템 분석, 시스템 설계, 객체 디자인, 구현등의 논리적과정을 통하여 프로그램이 되도록 하였다. 본 시스템의 소프트웨어는 다음과 같은 장점이 있다. 객체지향적 기술(object oriented technology or OMT)으로 구현되고 있다. 첫째, 이식성(portability)이 높다. 즉, PC에서 개발하더라도 워크스테이션에 옮기는 작업이 간단하다. 현재 본 연구진은 PC와 워크스테이션에 대하여 동시에 개발하고 있으므로 이점이 특히 중요하다. 둘째, 확장성(expandability)이 높아서, 새로운 방식이나 알고리즘을 추가하기가 쉽고, 여러 사람이 동시에 공동으로 프로그램을 개발할 수 있다. 본 연구에서는 여러 가지 기술들이 복합적으로 사용되고 있다. 그 기술들은 시스템을 개발하고 있는 도중에나 개발된 후에도 언제나 새로운 좋은 방법으로 바뀌어질 수 있으며, 시스템은 이를 항상 수용할 수 있어야한다. 셋째는 재사용성(reusability)이다. 이는 프로그램의 일부를 떼어서 다른 소프트웨어에 넣기가 편리하다는 것이다. 본 연구는 영상처리, 방사선치료계획, 사용자 인터페이스 등등 여러 가지 부분으로 구성되어 있으며, 이중 일부는 다른 시스템에도 이용될 수 있는 것이 있다. 객체지향 소프트웨어는 다음의 단계를 거쳐 개발된다.(1)시스템분석(system analysis), (2) 시스템 설계(system design), (3)객체 설계(object design), (4) 구현(implementation) 이 네 단계의 각 단계에서 자주 이전 단계로 돌아가기도 한다. 대체적으로 5~6회 반복된다. 객체지향기술의 큰 특징 중에 하나는 직접 프로그래밍에 들어가기전

에 준비하는 기간이 매우 긴 반면에, 프로그래밍 및 디버깅 기간은 매우 짧다는 것이다. 현재 본 연구에서는 분석단계까지 진행되었다. 분석단계는 다음과세분화된다.(a) 문제의 정의(problem statement), (b) Object Modeling, (c) Dynamic Modeling, (d) Functional Modeling. 문제의 정의 단계는 사용자(고객)와 프로그래머가 같이 서로 문제를 확실히 파악하는 단계이다. 이 단계에서는 문서화가 특히 중요하며 문제진술(problem statement)와 데이터사전이 결과물로 남는다. Object modeling에서는 각 class가 수렴 및 정의되고 class간의 관계가 결정된다. 본 연구에서는 약 15개 정도의 class가 정의 되었다. Dynamic Modeling에서는 상호작용을 위한 시나리오와 event trace가 작성된다. 즉 시간적인 선후관계가 정해진다. Functional Modeling에서는 각 function이 하는 일과 입출력 변수가 결정된다. OMT의 전문가들은 분석단계가 가장 시간이 많이 걸린다고 한다. 분석단계가 끝나고 다음 단계는 비교적 기계적으로 이루어질 것으로 기대되고 있다.

#### 2. 4. 2 윈도우 디자인 및 사용자 인터페이스

효율적인 치료계획을 위하여 사용자가 쉽게 적응할 수 있고 PC용 MS Window 3.1 또는 Windows 95 환경하에서 응용 툴을 개발하였으며 아이콘을 이용한 툴 박스를 포함하여 메뉴 -driven 방식에 의한 환경을 구축하였다. 환자정보입력기능, 영상관리및 처리, 치료계획중 Study메뉴및 기능구현,선량계획메뉴 및 기능구현등의 사용자 인터페이스가 개발 되었다. (그림3)

### 3. 결론

이러한 기능을 바탕으로 프로그램화하였으며 계산 속도 및 디스플레이속도는 치료계획이 가능한 1분이내에 이루어 질수 있도록 하였다. 개발된 시스템을 환자에 직접 적용하여 2차원 치료계획을 수행한바, 빠르고 편리한 치료계획을 수행할 수 있는 가능성을 제공하였다. (그림4)

### 4. 참고문헌

1. Chin, L., Siddon, R., Svensson, G., Rose, C.: Progress in 3-D treatment planning for photon beam therapy. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 11: 2011-2020, 1985
2. Goitein, M., Abrams, M.: Multi-dimensional treatment planning: I. Delineation of anatomy. Int.J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 9: 777-797,1983
3. Goitein, M., Abrams, M., Rowell, D., Pollari, H., Wiles,J.:Multi-Dimensional treatment planning

- II. Beam's eye view, back projection through CT section. Int. J. Radiat. Oncol. Biol.Phys. 9: 789-797, 1983
4. Matsuo, M., Kimura, S., Fujii, S., Kaneda, Y., Yishida, M., Mure, H.: Athree-dimensional display system for radiation therapy planning. Medinfo 80: 18-22, 1980
5. 서태석, 서덕영, 박찬일: IBM Personnal Computer 를 이용한 3차원적 뇌정위 방사선 수술계획 시스템의개발, 대한치료방사선학회지 11,168-174, 1993

# 컴퓨터를 이용한 방사선치료계획 시스템 개발

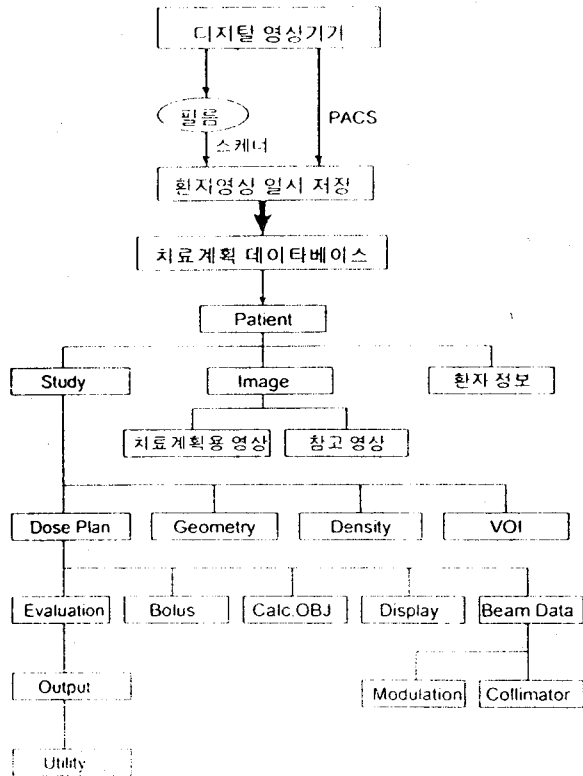


그림1. 치료계획시스템의 모듈별 구성도

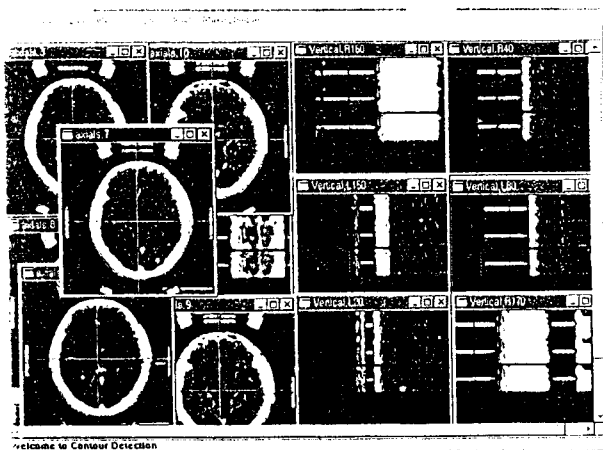


그림2. 자동으로 추출된 외곽경계선 및 영상 재구성

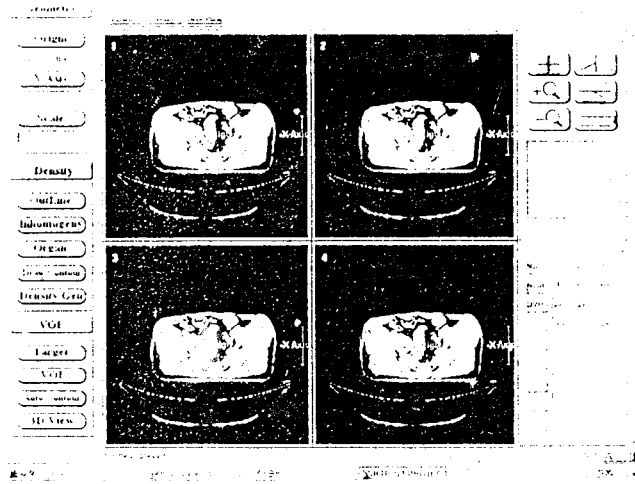


그림3. 치료계획법 study 메뉴 및 기능 구현

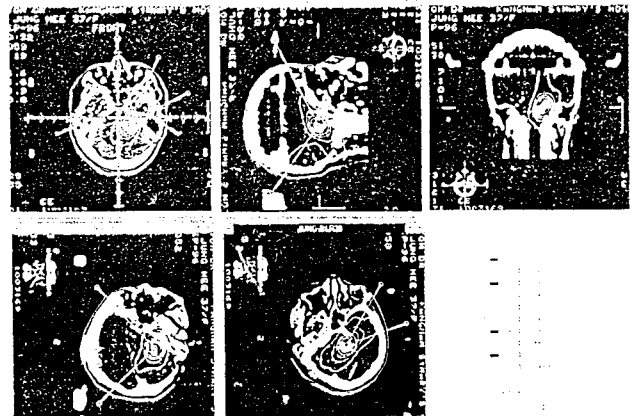


그림4. CT영상 위에 디스플레이 된 선량 곡선