

전 에너지 흡수 피크 분석용 GUI 기반 교육용 프로그램 개발

손종완¹, 신명석², 이해정³, 정경수⁴, 정민수⁵, 김상년⁶

¹인양고등학교, ²난곡중학교, ³계남중학교, ⁴공항고등학교, ⁵의정부고등학교, ⁶한국교원대학교 물리교육과

2008년 10월 28일 접수 / 2009년 1월 16일 1차수정 / 2009년 3월 22일 2차수정 / 2009년 4월 10일 채택

교육적 목적으로 감마선 검출기 계통의 특성에 대한 정보를 세밀하게 얻기 위하여, Delphi 코드를 이용하여 전 에너지 흡수 피크 스펙트럼을 편리하게 분석할 수 있는 그래픽 사용자 인터페이스 방식의 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 피크는 4개의 비선형 모양함수를 사용하여 최소제곱법으로 적합하였다. 이들 4개의 비선형함수 속에 들어있는 12개의 계수값들을 사용자 인터페이스 화면에서 결정하는 과정을 상세히 서술하였다. 개발된 프로그램을 HPGe 검출기에서 측정된 1 μ Ci 밀봉 점 선원 ¹³⁷Cs 661 keV 감마선의 피크 분석에 적용하여 계수값 탐색의 예를 예시하였다.

중심어: Delphi 코드, HPGe 검출기, 피크 모양함수, 비선형함수 적합법

1. 서론

전에너지 흡수 피크(이하 피크)는 사용된 검출기 계통에 대한 중요한 정보를 제공함은 널리 알려진 사실이다. HPGe 나 NaI(Tl)과 같은 감마선 검출기에 의한 감마선 스펙트럼의 피크 분석은 일반적으로 상용화된 스펙트럼 분석 프로그램을 사용하여 분석한다. 이들 분석프로그램들은 범용 검출기 시스템을 대상으로 제작되었으며 특정 검출기에 대하여서는 사용자의 환경에 맞도록 그때마다 하드웨어적인 조건을 설정하도록 되어 있다. 피크 스펙트럼을 분석하는 경우에 분석에 이용할 수 있는 모양함수 형태는 다양하다. 특징의 모양함수를 선택하여도 사용하는 계산 방식에 큰 문제는 아니지만 약간씩 서로 다른 결과 값을 얻을 수 있다.

교육적 요구에 따라 스펙트럼을 분석하는 학생의 스펙트럼 분석 능력을 향상시키기 위해서는 학생의 수준에 맞는 계산 방법을 학생 스스로 선택하여 분석을 할 수 있는 프로그램이 필요하다고 생각된다. 사용하는 검출기의 특성을 충분히 이해한 후에 검출기의 특성에 맞는 계산 방식을 선택하게 유도하고 피크를 분석 할 수 있게 해야 한다.

피크 분석에 사용되는 모양함수가 분석 목적에 따라 대단히 다양하다는 점 이외에도 프로그램 개발자를 번거롭게 하는 점이 한 가지 더 존재한다. 단순한 사용자 측면에서는 별 문제가 아니지만, 기존의 프로그램을 약간씩 수정하여 사용하려는 프로그램 개발자에게는 기존의 분석 프로그램들의 언어가

여러 가지라는 점이 부담이 되는 요소이다. 어떠한 언어를 사용하는 피크 함수를 결정함에 있어서 결정해야 하는 계수들이 많은 경우에는 최적화된 비선형 최소제곱법을 구현하는 것은 시간이 비교적 많이 소요되는 작업이라고 볼 수 있다.

이 연구는 감마선 검출기 계통의 감마선 응답을 보다 정밀하게 얻을 수 있는 피크 분석을 다루었다. 비선형함수 최소제곱법을 사용하여 피크를 최적화 적합한 Delphi 코드로 된 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 사용 중에 언제라도 사용자가 편리하게 작업을 조정할 수 있도록 그래픽 사용자 인터페이스(GUI, Graphic User Interface) 방식으로 개발하였다. 피크의 분석을 통하여 검출기와 감마선 상호작용의 특성을 조금 더 정밀한 차원에서 분석하는 방법을 제시하였다. 이 프로그램 개발의 목적은 학부 및 대학원 과정의 현대물리학 실험 중목 중에서 감마선 검출기 학습을 학생의 수준에 따라 다루기 위하여 교육용 프로그램으로 제작되었다.

2. 프로그램 개발의 기본 사항들

2.1 피크 분석의 모양함수들

일반적인 목적을 위해서는 피크 분석에서 단순한 가우스 함수와 1차식 baseline을 조합한 함수를 사용하여 피크를 적합하여도 충분한 경우가 많다. 그러나 더 세밀하게 피크를 분석하여 감마선 검출기 계통의 하드웨어적인 특성에 대한 정보를 얻으려는 목적에서는 피크 모양에 대한 보다 더 상세한 부분까지 재현해 주는 비선형 형태의 모양함수가 필요하게 된다. 이 연구에서 피크는 4개의 비선형함수 - 주 피크가 가우스 함수, 배경 함수, 계단 함수 그리고 가우스 꼬리 함수 -

책임저자: 김상년, snkim@kue.ac.kr, 한국교원대학교 물리교육과
충북 청원군 강내면 다락리 한국교원대학교 물리교육과

의 선형 합으로 하였다.

이 피크 모양함수는 검출기 계통의 감마선 응답을 해석하기 위한 현상론적인 함수로 널리 알려져 있다². 계단함수로 근사하는 부분은 주로 감마선이 검출기 유감부분에 들어가기까지 차폐체 등에서 먼저 미소 산란을 일으킨 부분이거나 또는 검출기 불감층 가까이에서 생긴 고속전자의 비정 손실 에 의한 부분 그리고, 탈출피크 신호와 계측기 내에서 콤프턴 산란된 소멸 감마선 신호의 합산효과 부분으로 해석되고 있다^{3,4}. 꼬리함수로 근사하는 부분은 피크중심보다 높은 에너지 쪽의 꼬리부분은 신호의 무작위적인 합산 부분이거나 또는, 느린 상승시간을 갖는 펄스나 pole zero의 조정이 불완전한 계측계통에서의 신호의 pileup 등에 의하여 나타나는 부분으로 해석되고 있다⁵. 표 1에 사용된 4개의 모양함수들의 함수형태를 열거해 두었으며 프로그램에 사용된 계수 코드도 함께 적어 놓았다.

2.2 프로그램의 구성 및 개발 도구들

이 프로그램은 피크 함수의 비선형 함수의 최적화 계수를 찾아내는 것을 주 기능으로 한다. 추가적인 기능으로 대학의 학부 현대물리학 감마선 검출기 실험교육 목적을 위하여 피크의 중심채널과 면적, FWHM, 피크효율 값 등을 수치해석법에 의하여 별개의 프로그램을 거치지 않고 이 프로그램을 통하여 함께 계산할 수 있도록 구성되어 있다. 이 논문에서는 이 프로그램의 주된 기능인 최소제곱법을 통한 비선형 함수의 적합에 대하여 중점적으로 기술할 것이다.

이 프로그램의 사용자 화면은 5가지의 주요 부분으로 구성되어 있다. 동작환경을 설정하는 환경설정부와 측정된 데

이터를 보여주는 데이터 패드부분, 배경 감마선을 측정된 데이터로부터 제거해 주는 베이스라인 처리부분, 수치계산법에 의한 근사적 수치를 보여주는 피크 분석 부분, 정밀한 분석에 사용하는 최적화 함수의 계수들을 최소제곱법으로 찾아내는 적합법에 의한 피크 분석 부분 그리고 최소제곱법에 의한 피크 분석 결과를 보여주는 피크 분석 결과 및 채널 에너지 교정부분으로 이루어져 있다.

프로그램 개발도구는 Borland사의 Delphi v7.0 을 주 개발환경으로 사용하였고, 다음과 같은 표2에 열거된 라이브러리들을 사용하였다.

범용 라이브러리로는 공개 소프트웨어인 Jedi 라이브러리를 사용하였고, 계산용 수학함수라이브러리로는 ESB사의 것을, 그래프를 그리기 위한 루틴은 SDL사의 것을 사용하였고 함수와 데이터의 테이블은 TMS 사의 것을 사용하여 처리하였다. 사용자 입력 함수의 분석기로는 SparkSoft사의 것을 사용하였다.

3. 사용자 인터페이스 화면 구성

3.1 화면상의 요소들 작업순서

그림 1에 이 논문의 프로그램에서 처리할 실험 자료와 피크 스펙트럼이 그려진 그래픽 방식의 사용자 인터페이스 화면을 그려 놓았다. 화면의 왼쪽은 ⁶⁰Co의 스펙트럼을 나타낸 것이다.

기본적으로 비선형 최소제곱법에 의해 피크에 정밀하게 적합 되는 함수의 계수들을 찾아내는 작업은 경우에 따라서

Table 1. Four Nonlinear Shaping Functions and Twelve Coefficients Used to Fit Peak Spectrum.

	shaping function	coded form	coded coefficient
Gauss main function	$Ae^{-\frac{(X-P)^2}{2\sigma^2}}$	GA1 * exp(-((DX - GP1)/GS1)^2 /2)	GA1,GP1,GS1
background function	$A + Bx + Cx^2$	BA1 + BB1 * DX + BC1 * DX^2	BC1,BB1,BA1
step function	$A(0.5 + \frac{1}{\pi} \text{atan}(\frac{P-x}{b}))$	SA1 * (0.5 + (1/pi) * atan((SP1-DX)/SB1))	SA1,SP1,SB1
Gauss tail function	$Ae^{-\frac{(X-P)^2}{2\sigma^2}}$	TA1 * exp(-((DX - TP1)/TS1)^2 /2)	TA1,TP1,TS1

Table 2. Libraries Used in This Computer Programming.

Library list used in this work	
Jedi Code Library v3.1	SDL Scientific Component Suite v7.0
Jedi Visual Component v3.1	TMS Component Pack v3.5
ESB Professional Computation Suite v4.1	SparkSoft Expression Parser v3.4

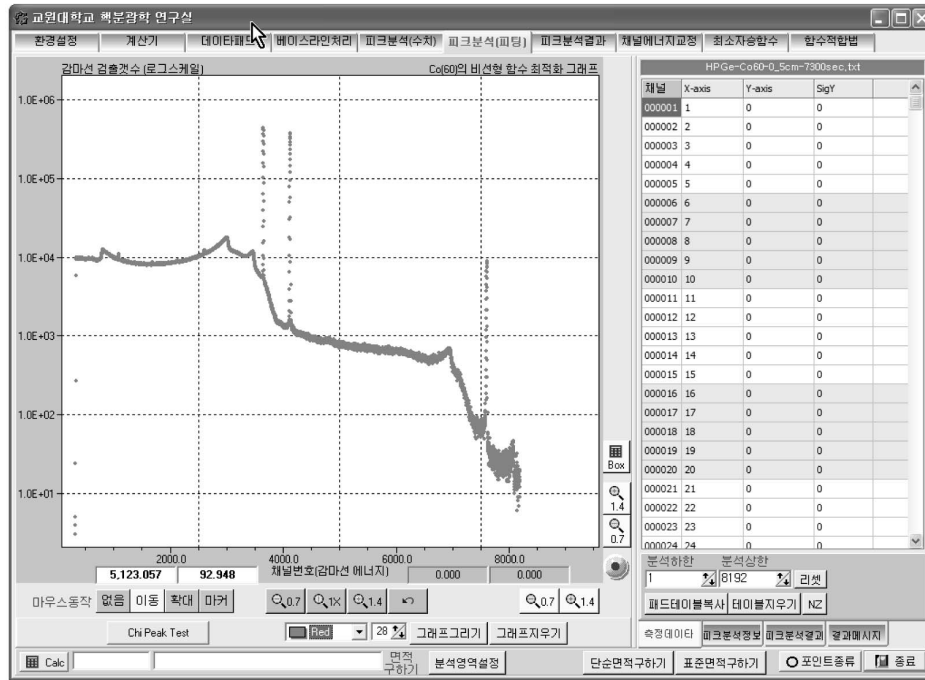


Fig. 1. Main screen of full energy peak analysis program.

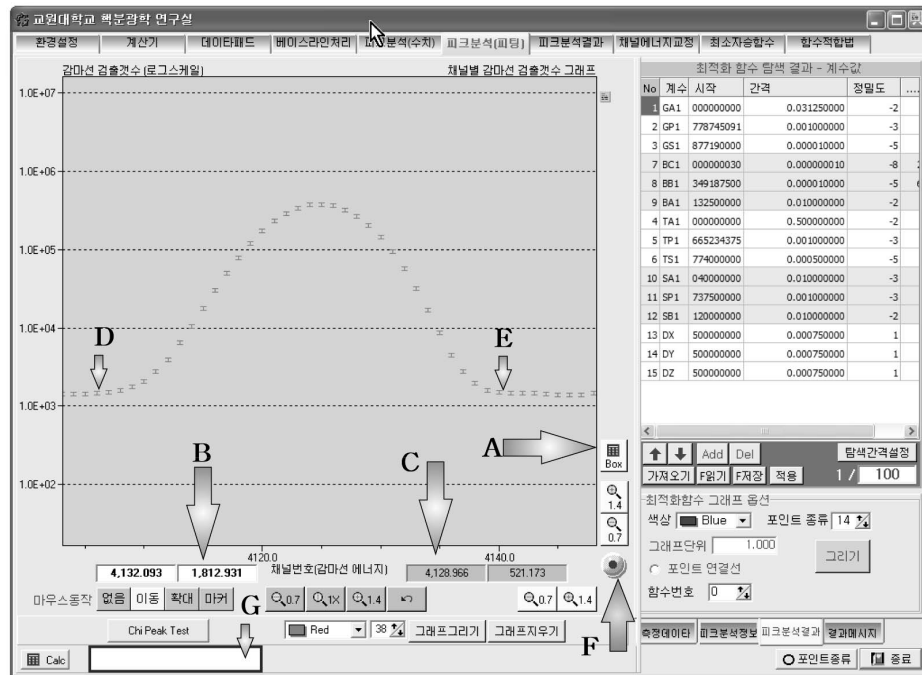


Fig. 2. A starting screen of main procedures for optimizing functions.

는 시간이 소요될 수 있다. 기본적으로 사용하는 함수의 개수가 4개이고 각 함수 당 3개의 변수가 있다는 점이 이러한 문제를 생기게 할 수 있다. 비선형 최소제곱법에서는 선형의 경우처럼 변수를 고정시키는 것이 없으므로 모든 변수를 변동시켜 잔차의 제곱이 최소가 되는 방향을 찾아 나가야 하고 한 변수를 바꿀 때마다 모든 나머지 변수들의 수렴방향과 변동속도가 틀러지게 되므로 기본 4개의 함수가 들어간 식을

주어진 피크범위의 채널 모두에서 반복해서 계산하고 각 변수가 달라짐에 따라 새로 계산을 하는 것이 시간을 걸리는 요인이 된다고 볼 수 있다.

그림 2에서는 4개의 기본함수에서 사용된 변수들의 리스트를 볼 수 있는데 이 변수들의 리스트는 초기값을 편집, 설정해 주는 기능과 함께 최소제곱법을 하는 과정에 계속 변화하므로 중간과정의 계수 값들을 관찰하여 적당히 조절할 수

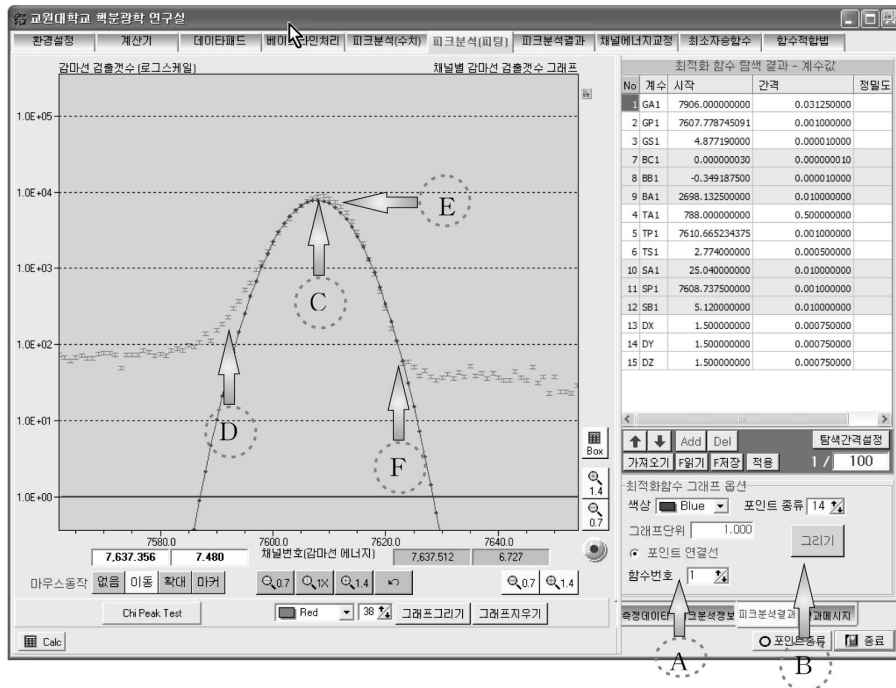


Fig. 3. Screen for determining appropriate initial coefficients values to peak spectrum.

도 있다. 피크 분석 결과 창에서는 계수의 초기값을 어느 정도 적절히 넣어 주는 것이 중요한데 그 과정은 다음과 같다. 그림 2의 그래프에서 A부분의 화살표가 가리키는 박스버튼을 눌러서 주 피크의 높이를 대략 알아낸다. 다음에 지수 함수 법으로 피크 분석을 하면 가우스 분포의 피크 채널과 표준편차를 알아낼 수 있는데 이 세 값을 일단 변수리스트에 입력한다. 이 때 주 피크의 높이는 피크 분석 과정에서 나온 피크 채널의 계수를 입력하는 것이 아니라 박스정보에서 나온 값으로 입력해야 하는데 이유는 배경 요인이 빠진 값을 입력해야 배경요인의 계수 값을 정확히 결정할 수 있기 때문이다.

그리고 배경에 관해서 알아내려면 그림 2의 D부분을 클릭하고 E부분을 클릭하면 B와 C 영역의 값이 바뀌는데 다음에 F 부분에 있는 원모양의 버튼을 누르면 대략적으로 배경의 수식을 1차 수식으로 표현한 계수를 화살표 G가 가리키는 하단의 흰색 네모 칸에 보여 주게 되는데 그 형식은 다음과 같다: $\Delta X: \Delta Y: 기울기: Y절편$ 이다. ΔX 는 두 점의 x축의 폭을, ΔY 는 y축의 폭을 나타내며 기울기는 두 점을 잇는 직선의 기울기, Y절편은 그 직선에 의한 y절편 값이 된다.

이러한 방식으로 대략적으로 구한 기울기와 Y절편의 값을 피크 분석 결과 탭의 변수리스트 테이블의 시작 값에 각각 입력한다. 2차 계수는 대략 0에 가까운 값을 가지도록 10^{-6} 정도의 값을 입력한다. 그림 2의 오른쪽 표 부분에서 나타난 계수 중에서 DX는 채널번호를 위한 변수로 사용하였으며 DX, DY는 내부적인 계산에 사용하기 위한 임시변수이다.

다음으로 가우스 꼬리함수의 모양을 알아내야 하는데 피크 분석 결과 탭을 클릭하여 피크 분석 결과 창에서 미리 찾은 두 함수의 개략적인 그래프를 그려 본다. 아래쪽의 함수 선택 부분에서 0번을 선택하면 모든 함수들의 합을 계산하여 그래프를 그리게 되므로 먼저 1번 함수를 선택하여 주 피크

의 대략적인 그래프를 그려 본다. 그림 3이 그 예인데 실제 결과를 가진 탭으로 거의 일치하지만 실제로는 약간 차이가 있을 것이다. 그래서 피크와 표준편차 값이 어느 정도 맞는 값이 되도록 GA1과 GS1을 어느 정도 조정한다. 다음으로는 2번 함수인 배경함수를 선택하여 그래프를 그려서 주 피크를 제외하고 배경의 점들과 어느 정도 맞는 지를 확인하고 맞지 않을 경우 변수리스트에서 시작 값을 조정한다. 그림 3을 보면 그림의 D부분에서 그래프가 많이 벌어지는데 여기가 꼬리피크의 존재를 짐작할 수 있는 부분이다. 따라서 이 벌어진 곳의 중심정도를 짐작하고 높이를 대략 짐작하여 꼬리 피크에 시작 값으로 입력해 준다. 또한 그래프의 E부분을 보면 그래프가 로그스케일 그래프여서 미세하게 보이지만 역시 그래프가 약간 벌어진 것을 알 수 있는데 여기도 또한 꼬리 함수의 존재가능성을 생각해 볼 수 있는 부분이다. 최소제곱법 계산 후 잔차 제곱의 합이 차이가 많이 날 경우에는 꼬리 함수를 하나 더 추가하여 볼 만한 가능성이 보인다고 할 수 있다. 마지막으로 주 피크를 기준으로 좌, 우측의 배경 영역인 D와 F를 살펴보면 배경 영역이 좌, 우측이 약간의 비대칭성을 보이면서 값이 차이가 있음을 볼 수 있는데 이것도 그림 3의 F로 표시된 버튼을 사용하여 좌우측 배경영역의 값을 대략적으로 추정해 내어서 그 값을 변수리스트의 시작 값에 기록해 둔다.

개별적인 모양함수의 그래프 모양이 이상이 없으면 그림 3의 A가 가리키는 함수번호를 0으로 설정하여 전체함수의 합산에 의한 그래프를 그려본다. 전체 함수의 합산 그래프가 바탕의 감마선 스펙트럼 측정 그래프와 윤곽이 거의 일치한다면 다음 단계의 최소제곱법 계산으로 넘어가지만 그래프의 윤곽이 대략적인 일치성을 보이지 않는다면 다시 계수치 근사작업을 반복하여야 한다.

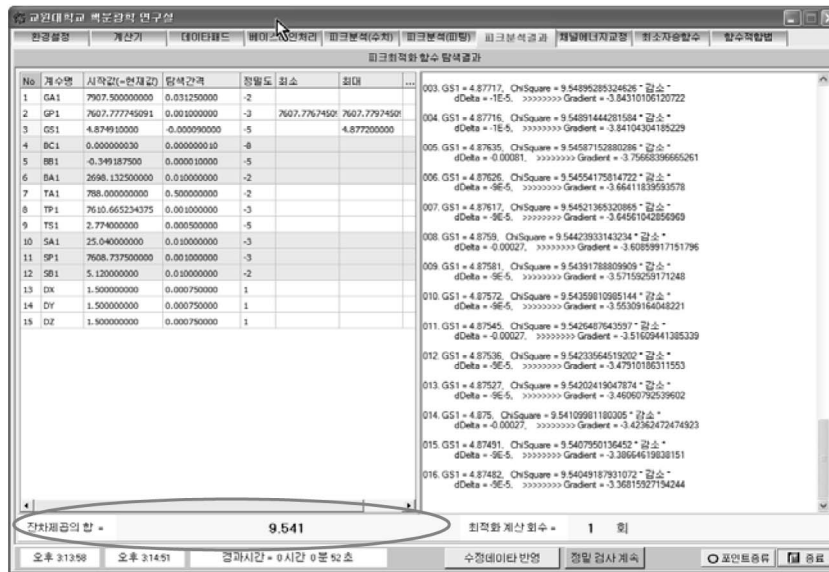


Fig. 4. Screen for calculated chi square value to optimized shaping functions.

그림 4는 최소제곱법 계산이 수행중인 화면이다. 화면 왼쪽의 계수 리스트에서는 각 함수에 사용된 계수들의 이름과 시작 값 또는 현재 계산중인 현재 값을 볼 수 있으며 탐색간격과 정밀도, 해당 계수에 대해 계산하는 중의 최대, 최소값을 볼 수 있다. 변수리스트에서는 해당 계수의 계산된 결과만을 계속 보여준다. 화면 오른쪽의 결과 창에서는 해당 계수에 대해 계산하는 과정을 연속적으로 누적하여 보여 주는데, 계수의 값과 잔차 제곱의 합, 탐색간격, 탐색간격에 대한 잔차 제곱의 변화속도(gradient)를 보여 주고 있다. 이 화면에서 잔차 제곱의 변화속도를 관찰하면 해당 계수의 최소제곱함수 계산의 수렴성을 짐작할 수 있으므로 계수에 대한 계산이 끝나고 제어창(리모콘 창)이 나타났을 때, 해당 계수에 대한 계산을 반복할 것인지 아니면 다른 계수에 대한 계산을 계속할 것인지를 결정한다. 계수에 대한 반복계산 여부에 대한 판단 요령은 다음과 같으며 절대적인 것은 아니므로 사용자가 상황을 지켜본 후 필요에 따라 조절하여야 한다.

사용자 인터페이스 화면에서 계수들을 결정할 때 프로그램 사용상 특별히 유의하여야 할 점을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 피크 진폭을 결정짓는 변수는 변화폭이 크고 변화속도가 빠르다. 전체 함수의 값을 가장 크게 결정하므로 이 변수들, GA1, BC1, TA1, SA1 변수는 가능한 묶어서 함께 처리하는 것이 최적 값을 빨리 찾아 낼 수 있다. 이 변수들을 별도로 처리하는 경우, 최소제곱값의 진동 폭이 커져서 발산할 위험이 있다.
- 2) 피크 위치를 결정짓는 변수, GP1, TP1, SP1은 거의 값이 변하지 않고 고정된 값을 가지고 계산의 초기 단계에서 최적 값에 도달하여 값의 변화폭이 적고 수렴속도도 빠르다. 따라서 피크를 결정짓는 변수는 항상 잔차 제곱의 최저값에 도달하도록 계산을 반복해 주는 것이 좋다.
- 3) 피크 폭을 결정짓는 변수는 그 변화에 의해 최소제곱 값을 매우 크게 변화시킬 수 있으므로 변수의 근사치가 어느 정도 정확히 입력되지 않는 경우에는 발산할 위험이

매우 높다. 따라서 폭을 결정짓는 변수 GS1, SB1, TS1의 경우에는 근사치를 결정한 후, 탐색간격을 최소로 하고 잔차 제곱의 최소값에 이르지 않아도 계산을 반복하지 말고 근사치 근처에 값이 있게 한 후 마지막 단계에서 계산을 반복하여 정확한 값을 찾아내는 요령이 필요하다.

- 4) 배경함수인 2차 함수는 계수 BC1의 경우, 값이 거의 0에 가까운 값이 되는데 이 값은 조금만 변하여도 함수의 값이 많이 벗어나므로 추정치를 입력하고 탐색간격을 변수 정밀도의 수준으로 최저로 낮추어서 설정하고 변화의 폭을 관찰하여야 하고 배경함수의 계수들은 역시 하나로 묶어서 별도로 잔차 제곱을 계산하여야 한다.

4. ¹³⁷Cs 661 keV 감마선의 피크 분석 결과

스펙트럼 측정시 사용된 감마선 검출기는 C사의 25% 상대효율 HPGe 검출기(GR-2519)를 사용하였다. 스펙트럼의 측정에 사용된 선원은 방사능이 1 μCi 인 표준 점선원 ¹³⁷Cs 662 keV의 감마선을 주로 사용하였다. 선원은 검출기 축 방향으로 거리 25.0 cm 에 놓고 스펙트럼을 측정하였다. HPGe 검출기는 두께가 10.2 cm 인 원통형 납 차폐체 안에 위치시켰다. 원통형 납 차폐체의 외부 높이와 직경은 각각 63.5 cm(H), 50.5 cm(D) 이었으며 내부 높이와 반경은 각각 40.6 cm(H), 27.9 cm(D) 이었다.

증폭기의 성형시간은 2 μs로 설정하였으며 MCA 채널 수는 8192 채널을 사용하였다. 측정시간은 25.0 cm에서는 95,000초 이었다. 측정 시 ADC의 불감시간은 0.1% 이었다.

그림 5는 검출기와 선원 사이의 거리 25.0 cm에서 전 에너지 흡수 피크의 최소 제곱법에서 사용한 비선형함수 적합 결과를 그려 놓은 그래프이다. 횡축의 값은 ADC 채널 번호이고 종축의 값은 해당 채널의 계수값이다.

주 피크 함수의 최초 계수 값 추정은 다른 모양함수의 계

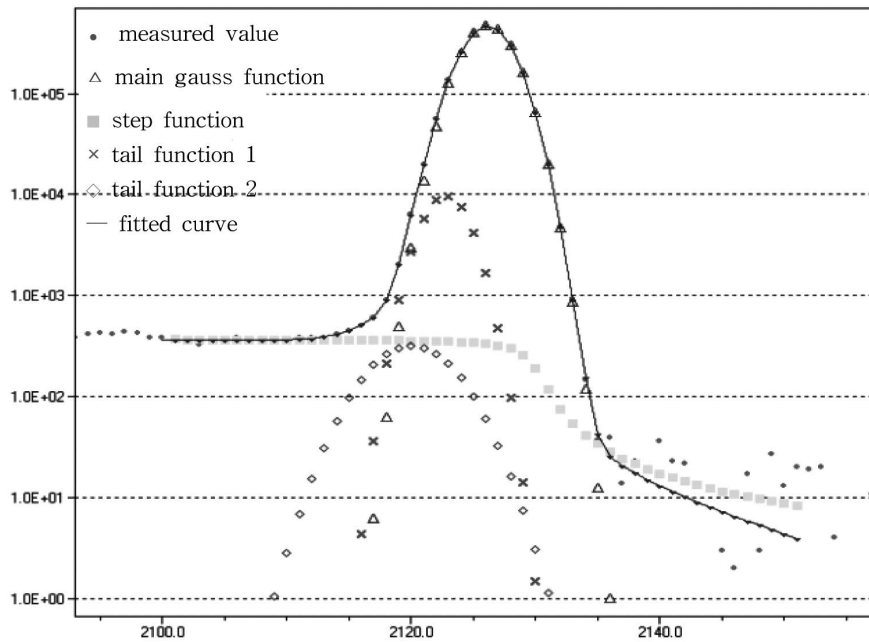


Fig. 5. Fitted curves for ¹³⁷Cs 661keV peak spectrum.

수 값들을 모두 0으로 두고 단순 근사한 값을 이용하였다. 그림 5의 그래프에서 피크중심의 위치는 2126 채널이었으며, 피크계수의 표준편차는 1.9 채널이었다.

꼬리 함수의 경우는 주 피크 가우스 함수에 묻혀서 제대로 나타나지 않으므로 초기에 그 근사치의 추정 대입이 매우 곤란하다. 꼬리 피크 가우스 함수의 경우는 그 근사치를 추정하기가 매우 곤란하고 값의 요동이 매우 심하므로 다른 계수의 변화추이를 지켜보다가 값을 적절히 수정하여 주는 것이 좋다는 것이다. 따라서 분석을 계속해 나가면서 주 피크가우스 함수와 배경 함수의 계산을 지속하다가 어느 정도 함수의 외곽선이 드러나는 경우에 꼬리함수를 집중적으로 분석하는 것이 좋다는 것이다. 꼬리함수는 2122 채널에서 표준편차가 1.7 인 꼬리와, 2120 채널에서 표준편차가 3.2 채널인 꼬리를 함께 그려 놓았다. 그림 5에 그려진 바와 같이 꼬리함수의 유동 폭은 그림 5의 꼬리 1과 꼬리 2에서 그려진 바와 같이 그래프 상에서는 유동 폭이 매우 크게 보이지만 실제 최종적합된 함수들에 대한 카이 제곱의 영향은 비교적 크지 않았다. 표준편차가 1.6 채널인 꼬리 함수를 사용하여 적합한 규격화된 카이 제곱값(χ^2)은 2.46 이었다.

배경 함수의 경우는 피크 스펙트럼에 비하여 고 에너지 쪽에서 계수가 거의 없는 관계로 이 실험의 경우에는 2차함수로 근사된 배경함수는 명확히 나타나지 않았으며 1차함수로만 나타났음을 알 수 있었다. 배경함수 2차식의 제곱 항은 그 요동이 매우 커서 값을 조금만 변동시켜도 잔차 제곱밀도의 값은 많이 변하게 된다. 그러므로 처음에는 그 변동의 폭을 매우 좁게 잡아서 함수의 발산을 막아야 한다. 여기서 함수가 발산하는 경우란 양수를 가져야 하는 계수가 음수 값을 가지면서 결과가 거의 수평선에 가깝게 되는 현상을 말한다. 이런 경우에는 근사치를 제대로 추정하고 그 근사치에 의해 대략적인 그래프를 그려서 그래프의 외곽선이 어느 정도 일

Table 3. Calculated Coefficients of Nonlinear Shaping Functions for ¹³⁷Cs 661keV Gamma Ray Peak Spectrum ($\chi^2=2.46$).

coefficient	coefficient value	standard deviation
GA1	472988.	1.46200
GP1	2126.	1.615E-4
GS1	1.928	0.188
TA1	9765.3	173.23
TP1	2122.	2.285E-4
TS1	1.72	0.211
BA1	10.17	4.686
BB1	-1.287E-4	0.004
BC1	-3.080E-6	1.037E-6
SA1	376.	5.19
SP1	2130	0.005
SB1	1.46	1.14E-6

치하는 정도의 수준에서 최소제곱법의 계산을 수행하여야 한다. 또한 계수의 변화 추이를 계속 관찰하는 도중에 계수의 값이 전혀 엉뚱한 값으로 발산하는 경우, 즉시 계수 근사치들을 다시 조절하여 외곽선이 어느 정도 일치하도록 수동으로 맞추어 주어야 한다. 결과적으로 배경함수는 그 근사치를 비교적 용이하게 추정가능하였다.

계단 함수의 경우는 계수치의 추정이 상당히 어려웠었다. 특히 계단의 폭을 결정짓는 상수의 값은 매우 민감하여 그 변동의 예측이 처음에는 매우 곤란하였다. 이러한 현상은

저에너지와 고 에너지 측의 피크 양쪽의 배경영역의 차가 거의 없을 때 발생하는 일이 아닌가 추측된다. 따라서 배경영역의 차가 거의 없을 경우에는 계단 함수의 진폭을 결정짓는 계수의 분석은 그 정밀도를 상대적으로 더 높여 주어야 할 것으로 생각된다.

표 3에 HPGe 검출기-선원거리 25 cm에서 ¹³⁷Cs 661 keV 감마선의 주 피크 가우스 함수에 대한 비선형함수 최소제곱법으로 적합한 계수 값들을 정리하여 놓았다. 이 표에 수록된 값들은 편의상 그림 6에 나타난 설정된 ADC의 채널 값에 대한 계수를 그대로 적어 두었다.

5. 요약 및 결론

교육용 피크분석 프로그램은 비교적 빠른 시간 내에 피크 분석을 완료하여 학생들에게 결과를 제시해 줄 수 있어야 한다고 본다. 이러한 과정에서 이 연구에서 설정한 피크 함수의 계수들을 결정하는 이 프로그램 적용의 주요한 특성은 다음과 같이 요약된다.

피크 스펙트럼 적합 과정에서 기본 4함수에 대한 12개의 계수중 하나를 변화시키는 경우, 주 가우스 함수 계수를 변화시키면 잔차 제곱의 변화가 가장 크다는 것을 확인했다. 주 가우스 함수나 배경함수의 계수 추정에는 별다른 곤란한 점이 많지 않았다. 상대적으로 꼬리함수의 분석에 시간이 많이 소요되었다. 그러나 꼬리 함수 계수 유동 폭은 크지만 상대적으로 결과적인 피크 적합에 기여되는 정도는 약함을 알 수 있었다.

피크 진폭을 결정짓는 계수는 변화폭이 크고 변화속도가 빠르다는 것을 알 수 있었다. 피크 폭을 결정짓는 계수는 그 변화에 의해 잔차 제곱값을 매우 크게 변화시킬 수 있으므로 계수의 근사치가 어느 정도 정확히 입력되지 않는 경우에는 발산할 위험이 매우 높았다. 피크 위치를 결정짓는 계수는 추정된 값에서 거의 값이 변하지 않고 고정된 값을 가진다는 것을 알 수 있었다.

학부나 대학원 과정의 현대물리학 실험에서 감마선 검출기 특성을 실험을 운영하는 경우 이 프로그램이 실험결과와 통계적인 분석이나 현상론적인 분석과 교육에 실제적인 기여를 할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. Basu SK and Patro AP. SPAN-a Fortran program for routine and detailed analysis of Gamma spectra using a small computer. Nucl. Instr. and Meth. 1975;126:115-123.
2. Robinson DC. A computer programme for the determination of accurate gamma ray line intensities from germanium spectra. Nucl. Instr. and Meth. 1970;78:120-124.
3. Phillips GW and Marlow KW. Automatic analysis of gamma-ray spectra from germanium detectors. Nucl. Instr. and Meth. 1976;137:525-536.
4. Helmer RG and Lee MA. Analytical functions for fitting peaks from Ge semiconductor detectors. Nucl. Instr. and Meth. 1980;178:499-512.
5. Routti JT and Prussin SG. Photopeak method for the computer analysis of gamma-ray spectra from semiconductor detectors. Nucl. Instr. and Meth. 1969;72:125-142.

A Development of GUI Full-Energy Absorption Peak Analysis Program for Educational Purpose

Jong-Wan Sohn*, Myung-Suk Shin[†], Hye-Jung Lee[‡], Kyung-Su Jung[§], Min-Su Jeong^{||} and Sang-Nyeon Kim¹

*Anyang H. S., [†]Nangok M. S., [‡]Kyenam M. S., [§]Konghang H. S., ^{||}Uiijeongbu H. S., ¹Korea National University of Education, Dept. of Physics Education

Abstract - To obtain precise information about characteristics of gamma ray detector system responses, we developed new GUI computer program to analyze full-energy absorption peak using our developed Delphi computer code for educational purpose. By use of the well known 4 nonlinear peak shaping functions, peaks were fitted with least square fit method in this code. In this paper, we described the methods to search for 12 coefficients in above 4 nonlinear peak shaping functions by use of our developed code in details. The computer code was tested for 1 μ Ci ¹³⁷Cs 661 keV gamma ray peak spectrum detected by 25 % relative efficiency HPGe detector with 5.35 cm (D) \times 5.5 cm (L) size.

Keywords : Delphi Code, Peak Shaping Function, Nonlinear Function Fitting