2004 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

90° 컴프턴 산란 시그널을 이용한 3x3 셀에서의 계수치 분석
An Analysis of 90° Compton Scattering Counts in 3x3 Cell

박지성, 찬 김 뚜안, 김순영*, 김종경
한양대학교 원자력공학과
*방사선안전신기술연구센터
서울 성동구 행당동 17

박성호
한림대학교의료원
경기도 안양시 동안구 평촌동 431-070

요 약

X-선 산란을 이용한 공항의 수화물 검색 시스템 개발을 위해 3cm 정육면체로 구성된 3x3 셀에서의 물성분석을 위한 기초산란실험을 수행하였다. 10mCi 감마선원을 선원으로 사용하고 CsI(Tl)을 산란 계측기로, YAP(Ce)를 투과 계측기로 사용하였으며, 3x3 중앙 셀의 물질을 바꿔가며 시그널을 측정하고 그 특성을 연구하였다. 셀 내에서의 산란효과와 감쇠효과를 함께 고려하여 계산한 계산값과 측정치를 비교한 결과, 전자밀도가 높은 알루미늄이 가장 높은 산란시그널을 보였다. 본 연구의 셀별 계수치 변화분석 결과는 물질특성분석에 활용될 수 있다.

ABSTRACT

Compton scattering experiments are performed for material analysis in 3x3 cells and a cell is 3x3x3 cm3 cubic. The experiments are proposed to develop airport luggage inspection system. A Co-57 of 10 mCi is used as a gamma source and CsI and YAP are used for scattering and transmission detectors, respectively. For the experiment, the centered cell in the 3x3 cells are replaced every detection. The measurement results are compared to the calculation ones considering attenuation as well as scattering effect in the cell. Consequently, Aluminum, the highest electron density, shows the highest scattering signal. It is expected that the results can be applied to material characteristic analyses.

1. 서 론

일반적으로 방사선의 투과현상은 물질의 밀도와 매우 밀접한 관계가 있다. 같은 물질이라도 밀도가 다르면 그 투과정도는 차이가 나게 되며 반대의 경우 다른 물질이라도 비슷한 밀도를 가지게 된다면 투과시그널은 매우 동일한 결과를 보인다. 즉, 투과현상은 물질의 본질의 분석에 적합하지 않다는 것이다. 지난 9. 11 테러사건 이후 미국은 물론 세계 어느 나라이든 테러의 위협이

존재하고 있다. 이러한 시점에서 각 국은 공항이나 선박의 수화물에서의 위험물질을 검색하기 위해 많이 노력하고 있는데, 이는 현재 수화물 검색 시스템이 대부분 방사선의 투과현상을 이용한 것이기 때문에 은폐물질의 형태만 검색할 뿐, 물질 자체에 대한 검색은 이루어지지 못하고 있기 때문이다. 물질의 특성을 분석하기 위한 방법[1]으로는 여러 가지가 있는데, 한양대학교에서는 그 중 컴프턴 산란을 이용한 비회전식 검색시스템의 개발을 목표로 삼고 지난 2002년부터 연구를 수행[2]중이다. 이 연구의 수행과정으로 감마선원에 대한 콜리메이터를 제작[3], 필름을 통한 선원의 빔 크기 측정[4], 최대 산란 효율을 가지는 산란물질 크기 결정[5] 등의 연구를 이미 발표하였다. 또한 600 keV 에너지에 대한 재구성알고리즘[6]을 개발하였으며 이는 시뮬레이션으로 검증[7]되기도 하였다. 본 연구는 실제 X-선을 이용한 산란실험을 수행하기 전 감마선원을 이용하여 산란시그널을 측정한 실험으로서 이를 통해 시뮬레이션을 통한 알고리즘 검증을 실제 실험으로 검증하는 과정 에 있어 기초실험 결과를 제공한다.

2. 실험설정 및 방법

2.1 실험 설정

본 실험에는 점선원 타입의 10 mCi Co-57을 방사선원으로 사용하였는데, 사용예정인 X-ray의 평균에너지가 약 125 keV이기 때문에 이와 유사한 에너지의 광자를 방출하는 Co-57을 선원으로 선택하였다. 산란실험에 적절한 빔으로 조절하기 위해 빔콜리메이터를 제작하였다. SS304로 외형을 만들고 속에 납을 채워 납차폐체를 만들고 콜리메이터 구멍은 Iron guide를 삽입하여 제작하였다. 콜리메이터 구멍의 크기는 콜리메이터 입구로부터 10 cm 거리에서 측정한 결과 3.74 mm로 평가되었다. 계측기는 산란시그널용으로 CsI(Tl)을 사용하였고, 투과시그널을 위해 YAP(Ce)을 사용하였는데 YAP(Ce)는 decay time이 매우 짧은 섬광체로서 큰 계측 시그널을 보이는 투과실험에 적절하며, CsI(Tl)은 검출효율이 매우 높은 Alkali Halides계열의 섬광체로서 비교적 작은 계측율의 산란시그널 측정에 용이하다.[8] 사용한 샘플은 Ployethylene(PE), Acetal, Aluminum이며 각각 3 cm 정육면체모양이다. 샘플에 대한 화학식과 물성치는 표-1에 정리하였으며 각 셀의 번호는 그림-1과 같이 설정하였다.

표 1 . 실험샘플 물성치

종류	화학식	밀도	전자밀도	유효원자번호
Aluminum	Al	2.81259	8.16	13
Acetal	$(CH_2-O-)n$	1.3912	4.4624	6.72999
Polyehylene	$(CH_2-CH_2)n$	0.9376	3.2194	5.28141

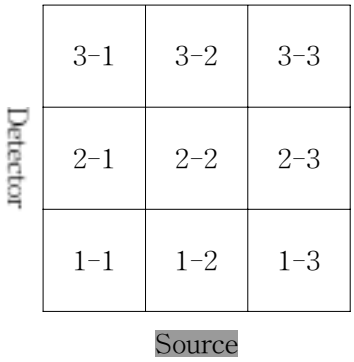

그림 1. 3x3 셀 번호

디텍터 콜리메이터로는 5 cm 두께의 납벽돌에 10 mm로 구멍을 뚫어 사용하였으며, 2 mm 납판을 사용하여 섬광체 부분전체를 덮음으로써 시그널의 Background를 줄였다. 산란지점에서 계측기 및 선원과의 거리는 각각 15 cm와 5 cm이며 자세한 실험 설정은 그림 2에 나타나 있다.

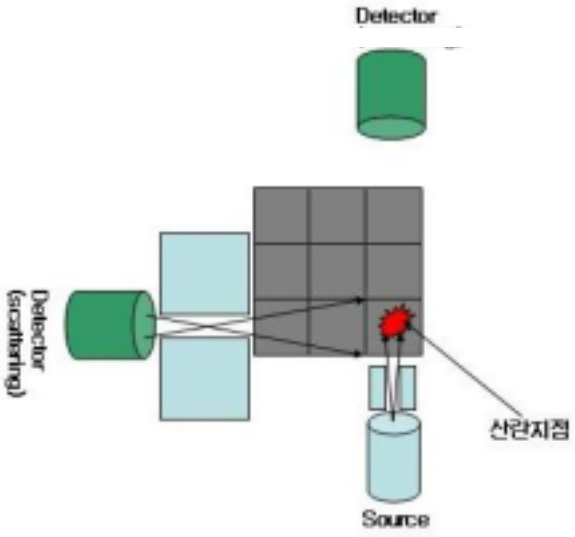

그림 2. Schematic Drawing of the Experiment

2.2 실험 방법

그림 2에서와 같이 선원과 계측기는 고정하고 샘플을 왼쪽에서 오른쪽으로 샘플의 크기와 같은 3 cm씩 움직여 각 셀에서의 산란 시그널을 측정하였다. 이렇게 한 줄이 끝나면 다시 산란용 디텍터를 그림의 위쪽으로 3 cm 이동하여 다음 줄에서의 시그널을 측정하였다. 이렇게 9번의 측정을 각각 5시간씩 수행하였다. 먼저 Background 물질로 Polyethylene(PE)를 선정하고 중앙 셀에 역시 PE를 설치한 경우(Homogeneous PE)에 대한 산란실험을 수행하였으며 다음으로 중앙 셀의 물질을 PE에서 Aluminum(PE background and Aluminum Centered), Acetal(PE background and Acetal Centered)로 바꿔가며 각각 산란실험을 수행하였다. 모든 산란실험과 동시에 전방의 또 다른 계측기를 통해 투과시그널을 측정하였다.

3. 측정결과

측정된 산란 스펙트럼을 통해 98keV의 산란 peak의 counts를 조사하였다. 먼저 각 셀에서의 산란 스펙트럼을 그래프로 나타내보았다. Background 물질로 선정된 Homogeneous Polyethylene(PE)의 스펙트럼(그림 3)과 중앙에 놓인 물질의 변화에 가장 민감하게 계수치 변화를 보이는 2-2, 2-3, 3-2의 스펙트럼을 각 물질별로 나타낸 그림(그림 4)은 아래와 같다.

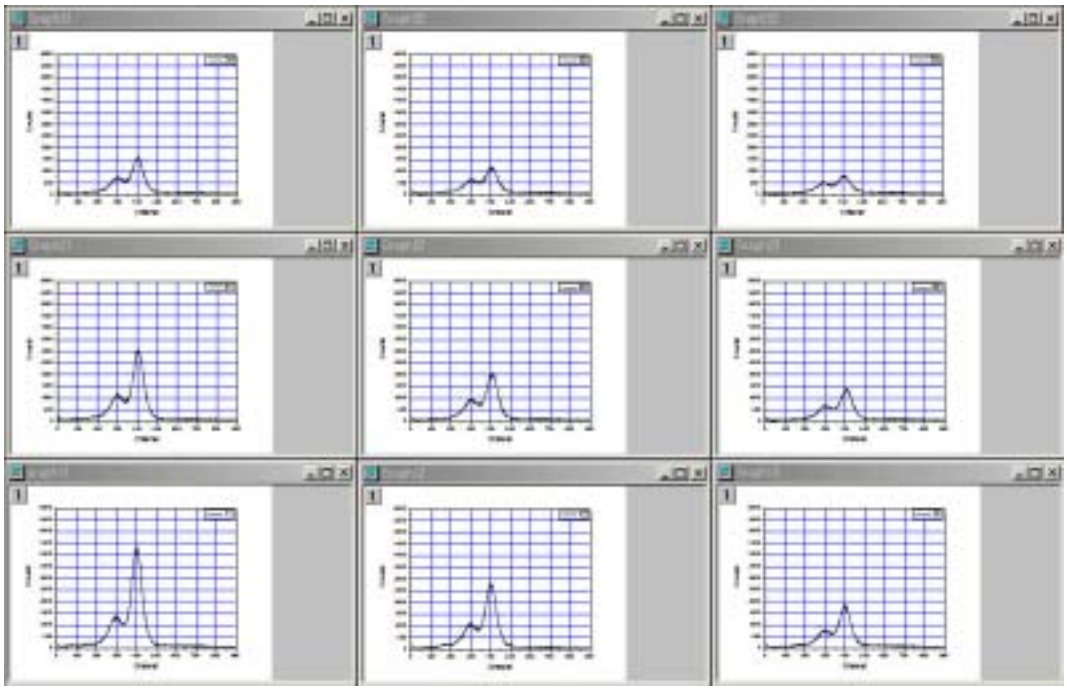

그림 3. 각 셀에서의 산란 스펙트럼(PE)

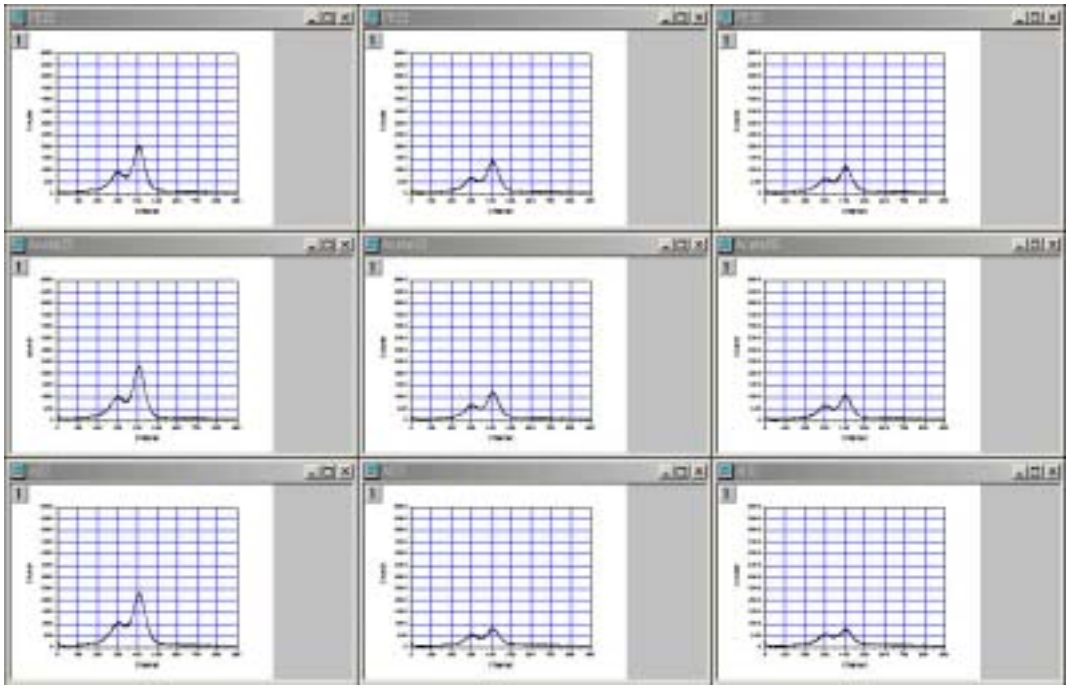

그림 4. 2-2, 2-3, 3-2 셀에서의 스펙트럼 (PE, PE-Acetal Centered, PE-Al Centered)

Homogeneous PE의 경우와 PE Background Acetal Centered 및 Aluminum Centered 인 경우의

변화를 비교하기 위해 각각의 경우에 대한 9가지 스펙트럼의 유효피크(ROI 330 ~ 500)의 계수치를 조사하였다.

Detector			
	130905	104432	78040
	233267	172440	121639
	314827	221038	149257
	Source		

<PE Homogeneous>

Detector			
	130905	97704	78040
	233267	196576	109619
	314827	221038	149257
	Source		

<PE-Acetal Centered>

Detector			
	130905	78169	78040
	233267	207729	78569
	314827	221038	149257
	Source		

<PE-Aluminum Centered>

4. 결과분석

실험 결과의 분석을 위해 직접 계산한 계산값과 비교하여 분석하였고, 식 (1)을 통해 반응값을 계산하였다.

$$\Phi_s(E) = S_0 \frac{k(E)}{R^2} f_i(\Delta x, E)\Delta VP(E) f_s(\Delta y, E) \quad (1)$$

여기서, Φ_s=*scattering response,* S_0=*source strength, k(E)=detector efficiency, P(E)=scattering probability,* $\triangle V$=*cell volume,* f_i = *산란전 감쇠치,* f_s = *산란후 감쇠치* 이다.

이 식에서 거리에 대한 함수들을 제외한 모든 값들이 상수이므로 이 값을 상수 C로 놓고 다시 쓰면 다음과 같은 간편식이 된다.

$$\frac{\Phi_s}{C} = \frac{\mu_c \cdot e^{-\mu_t \Delta x} \cdot e^{-\mu_t \Delta y}}{R^2} \quad (2)$$

이 식을 통해 계산한 각 셀에서의 산란후 계측기에서 Response rate를 표-2에 정리하였다.

표 2. 각 셀별 반응율 정리

셀번호	산란전거리	산란후거리	산란지점까지거리	PE	PE-Acetal	PE-Al
1-1	1.5	1.5	5	0.003415261	0.003415	0.003415
1-2	1.5	4.5	5	0.001763912	0.001764	0.001764
1-3	1.5	7.5	5	0.000911024	0.000911	0.000911
2-1	4.5	1.5	8	0.000845111	0.000845	0.000845
2-2	4.5	4.5	8	0.000436482	0.000659722	0.000596017
2-3	4.5	7.5	8	0.000225434	0.000283071	0.000140755
3-1	7.5	1.5	11	0.000283164	0.000283	0.000283
3-2	7.5	4.5	11	0.000146248	0.000155645	8.51326E-05
3-3	7.7	7.5	11	7.327E-05	7.33E-05	7.33E-05

이 값과 실제 실험을 통한 계수치를 비교해보면 다음과 같다.

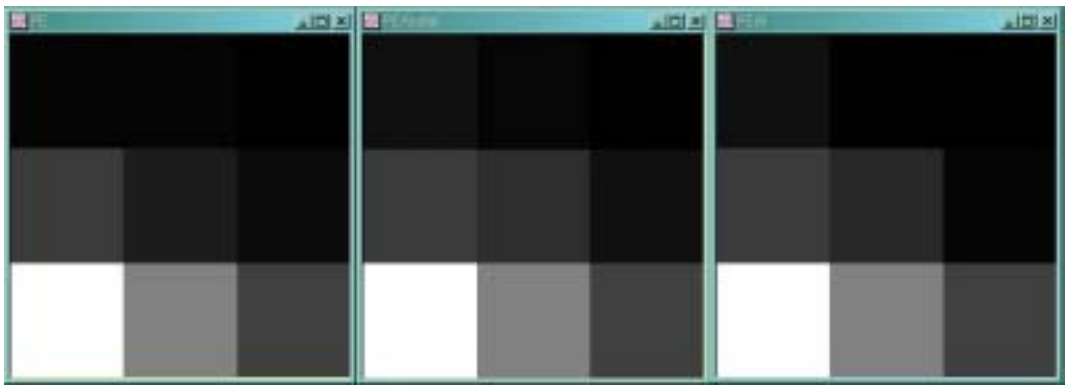

그림 5. 계산값 이미지

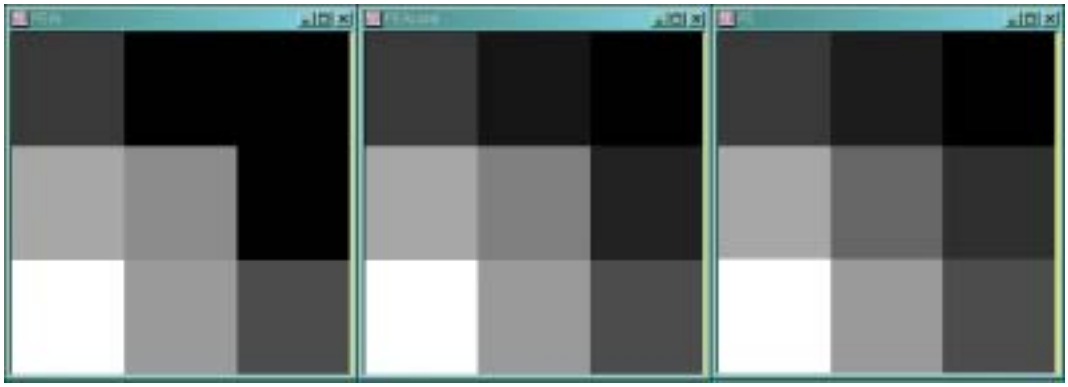

그림 6. 실험값 이미지

그림 5, 6을 통해 중앙셀의 변화에 따라 계수치의 변화가 있었음을 알 수 있으며, 전자밀도가 높은 알루미늄의 경우 가장 밝은 이미지, 즉 가장 높은 계수치를 보이고 있음을 확인 할 수 있다. 그러나 계산값과 실험값의 변화는 그림 7, 8 에서처럼 정확하게 일치하고 있지 않은데 이는 계산과정에서 산란영역을 일정하게 잡고 있는데 반해 실제 선원의 빔은 콘 모양의 빔으로 단위 셀 체적내에서의 산란 공간의 차이가 각 셀별로 존재하기 때문으로 판단된다. 또한 디텍터 콜리메이터를 통해 본 산란유효공간이 셀의 크기를 벗어나고 있기 때문에 다른 셀의 시그널이 중첩되어 측정되는 이유도 계산값과 실험값이 정확히 일치하지 않는 원인이라 생각된다.

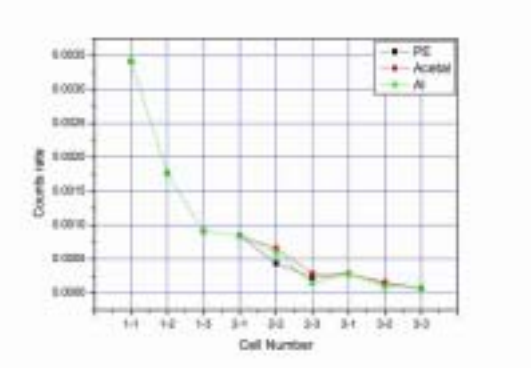

그림 7. 각 셀별 계산 결과

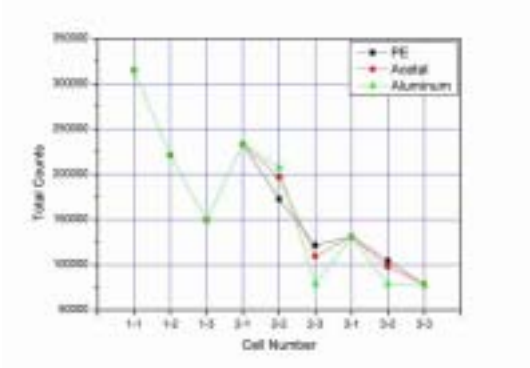

그림 8. 각 셀별 실험 결과

5. 결론 및 향후 연구 일정

본 연구에서는 3x3 컴프턴 산란을 통한 산란실험 데이터와 계산결과를 비교 분석하였다. 선원

과 셀의 거리가 멀어질수록 또 산란물질의 변화에 따른 계수치의 변화가 직접 계산한 계산값의 변화와 유사한 형태를 보이고 있는 것으로 미루어 산란실험은 비교적 성공적으로 수행된 것을 확인할 수 있었다. 이는 기존의 디텍터 콜리메이터, 샘플배열 등을 지속적으로 변화하여 현재의 결과에 이른 것으로서 향후에도 디텍터 콜리메이터 연구, 상호간섭 효과, 다중산란효과 등을 보정하여 실험의 정확도를 더욱 높이기 위한 연구를 계속 수행할 것이다. 이와 함께 MCNP 시뮬레이션을 통한 실험에 대한 검증도 추가로 연구할 계획이며 계산과정에서도 빔의 형태를 잘 반영한 계산식을 고안하여 실험의 정확성을 높이기 위한 연구를 계속 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력중장기연구개발사업과 방사선안전신기술연구센터의 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. ESAM M. A. HUSSEIN and EDWARD J. WALLER, "Review of One-side Approaches to Radiographic Imaging for Detection of Explosive and Narcotics," Radiation Measurement, **29**(6), 581-591(1998)
2. 김종경 외, X-선 정밀검색시스템 기술개발 연차계획서, 과학기술부(2002)
3. 박성호, 김종경, "Mossbauer 선원용 콜리메이터 설계 및 제작," 대한방사선방어학회, 28(3), 183-187(2003)
4. S.H. Park, J.S. Park, and J.K. Kim, "Transmission and Scattering Experiments Using YAP(Ce) and CsI(Tl)," Proc. ISORD-2, Sendai, Japan, July 24-25(2003)
5. 박지성, 박성호, 김종경, "Co-57을 이용한 산란실험시 최대산란측정 효율을 가지는 산란물질의 크기 결정," 추계방사선방어학회, 한국원자력안전기술원, 대전, November 7(2003)
6. T.K. Tuan, *A Monte Carlo Study on a 90°Compton Scattering Imaging System by using MCNP Simulation*, Master Thesis, Hanyang University(2002)
7. T.K. Tuan, S.H. Park, and J.K. Kim, "Development of a New Reconstruction Algorithm for Compton Scattering Imaging," Proc. ISORD-2, Sendai, Japan, July 24-25(2003)
8. 박지성, 박성호, 김종경, "X-선 정밀검색 시스템 기술개발을 위한 YAP(Ce) 및 CsI(Tl)를 이용한 투과실험," 춘계방사선방어학회, 원자력의학원, 서울, April 25 (2003)