



공학전문석사 학위 연구보고서

저 에너지 X선에 의한 중량측정에 관한 연구

A study in measurement of weight by using low energy X-ray

2019 년 2 월

서울대학교 공학전문대학원

응용공학과 응용공학전공

문태웅

저 에너지 X선에 의한 중량측정에 관한 연구

지도 교수 고 상 근

이 프로젝트 리포트를 공학전문석사 학위 연구보고서로 제출함

2019 년 2 월

서울대학교 공학전문대학원 응용공학과 응용공학전공 문 태 응

문태웅의 공학전문석사 학위 연구보고서를 인준함 2019 년 2 월



국문초록

본 연구에서는 저 에너지 X선을 활용한 중량측정에 관하여 연구하였다. 기존의 상업용 중량계측기를 저 에너지 출력으로 동작하였을 때의 특성과 저 에너지 출력에 적합하도록 hardware 구성을 개조한 시스템의 특성을 비교 평가하였다. 기준 성능은 lab scale 을 이용하여 제시하였다. 계측 시스템의 핵심 성능인 Accuracy 와 Repeatability 를 3 종의 물질에 대하여 9 개 중량 범위에서 실험적으로 측정하여 구하였고, 그 결과를 서술하였다.

주요어 : 방사선 계측, 중량계측

학 번:2017-28198

목 차

제 1 장 서론

제 1 절	연구배경	1
제 2 절	연구동향	2
제 3 절	연구방법 및 목표	3

제 2 장 실험 방법

제 1 절	실험량	4
제 2 절	실험 기기	5
제 3 절	시료	13

제 3 장 실험 결과

제	1	절	Accuracy	.15
제	2	절	Repeatability	.18

제 4장 결론

제 1 절	실험 결과	20
제 2 절	결론	23

참고문헌	24
Abstract	

표 목차

[표]	1]	중량계측기의 Sensor electronics 사양 요약	8
[표 :	2]	기존 검출기와 신규 검출기의 신호 투과 특성 비교1	1
[표 :	3]	실험에 사용된 Lab scale 의 사양 요약1	2
[표 4	4]	Lab scale 을 이용한 시료의 중량 측정 결과1	4

그림 목차

[그림 1] X선 중량계측기기	5
[그림 2] 중량 계측기의 X선 센서의 구성	6
[그림 3] 중량 계측기의 X선 센서의 구조	6
[그림 4] 중량 계측기의 내부 구조	7
[그림 5] 중량 계측기의 PC Software 전압 신호 측정화면	8
[그림 6] 선정된 신규 검출기의 조립 완료 사진	9
[그림 7] 신규 검출기의 동작 구조	9
[그림 8] 검출기 투과율 계산을 위한 실험 구성	10
[그림 9] 실험에 사용된 Lab scale	12
[그림 10] Lab scale 을 이용한 시료의 중량 측정 결과	13
[그림 11] 시료별, 중량별 Lab scale 의 반복성	13
[그림 12] Lab scale 과 X-ray system 측정치의 상관관계	15
[그림 13] Lab scale 과 X-ray system 측정치의 상관관계 세식	부16
[그림 14] Linear fitting 을 수행한 X-ray system 의 측정치	17
[그림 15] 시료별 X-ray system 의 반복성 (교정 전)	18
[그림 16] 시료별 X-ray system 의 반복성 (교정 후)	19

제 1 장 서론

제 1 절 연구배경

X선을 포함한 방사선은 통상적으로 전리 능력이 있는 높은 에너지의 흐름으로 정의되는 개념으로서 알파선, 베타선, 감마선, 중성자선 등을 포함한다. 이러한 방사선의 응용은 대표적인 의료분야와 멸균처리 분야뿐 아니라, 비-파괴 화상 분석, 성분분석 등 다양한 산업 분야에서 폭넓게 사용되고 있다.

그러나 이러한 방사선은 높은 에너지를 가지고, 대체로 물질에 대한 투과도가 좋기 때문에 인체에 조사되게 되면 세포 괴사, 변이 등을 초래할 수 있다. 이에 따라, 안전사고를 방지하기 위하여 방사선은 국가 차원에서 관리하고 있으며, 국내 관계 법령에서는 방사선을 사용한 기기를 용량에 따라 관리 수준을 달리하여 관리하고 있다. 따라서, 방사선 기기를 사용하려면 법에서 정하는 관리 수준에 따라 각종 안전장치 마련, 신고서류 작성, 사용자의 관련 면허취득 또는 교육수료 등 그 요구 절차가 다소 복잡하기 때문에 사용자에게 방사선 기기는 기피의 대상이 되고 있다. 특히, 최근 들어 발생한 일련의 사고 -국제적으로는 2011년 후쿠시마 원전 사고, 국내에서는 2011년경 발생한 울산 비-파괴 검사 종사자 3명의 백혈병 사망사고와 2018년 대진침대 라돈 매트리스 사건 등 - 로 인해 방사선에 대한 사회적 관심이 높아지고 있으므로 이에 대한 안전관리 역시 점점 더 까다로워지는 추세에 있다.

때문에 방사선을 원천적으로 사용하지 않거나 방사선 용량을 충분히 낮춘 기기에 대한 수요는 계속해서 증가하고 있으며, 이러한 동향은 X선을 사용하여 시료의 중량을 측정하는 분석기기 업계에서도 마찬가지 경향을 보인다.

1

제 2 절 연구동향

X선 발생 부의 용량을 일정량 이상 낮추게 되면, 법에서 정하는 요건에 따른 관리 절차가 간단해지므로 사용이 간편해질 뿐 아니라, X선 세기가 감소하기 때문에 인체에 대한 안전성이 증가하고, X선 발생부의 hardware 역시 간소해지기 때문에 일반적으로 장비의 가격이 낮아지며, 사용 목적에 따라서는 더 효과적인 성능을 보이는 경우도 있기 때문에 다양한 목적으로 관련 연구들이 진행되고 있다. Multi-wire chamber 검출기를 이용하여 새롭게 개발된 저선량 X선 Imaging 기기의 소아에 대한 임상 연구, 회절격자를 이용하여 고선량의 (high-brilliance) X 선원이 필요했던 phase-sensitive contrast imaging 기법을 저 선량의 (low-brilliance) X 선원으로 대체하는 기법 연구, 그리고 Imaging 품질을 높이기 위하여 저 에너지 X선을 활용한 연구사례 등이 그러하다.

본 연구의 주제가 되는 X선 중량 계측기와 직접 관련된 연구는 기술보안 문제로 구체적으로 공개된 자료를 찾아보기는 어렵지만, 업계 동향을 살펴보면 방사선을 사용하지 않은 대체 기술에 대한 사용자의 선호도가 분명하고, 제조사들도 이에 대응하여 관련 연구개발이 진행되고 있다. 중량계측 분야에 있어서 방사선 대체기술의 가장 대표적 형태는 적외선 흡광 기법으로서, 적외선이 유기물의 시료에 조사되면 유기물 내 원자간 화학결합과 일치하는 진동에너지의 적외선이 흡광되는 원리를 이용한 기법이다. 전리 방사선을 사용하지 않으면서, 시료의 중량을 고정밀도를 가지고 측정할 수 있는 기법이지만, 유기물을 제외한 시료에는 적용이 어려운 단점이 있다. 다른 측정기법도 고유의 한계를 가지고 있음은 마찬가지이므로 X선 자체를 대체하는 대신 일부 제조사에서는 X선의 고유한 물리적 특성을 유지하면서도 방사선 누설을 최소화하기 위하여 차폐재를 대폭 강화하고 사용자를 X선 발생 부로부터 완전히 격리하여 무인, 자동으로 동작하는 시스템을 개발, 판매하기도 하나 이 방법은 상업용 기기로서는 무게, 부피, 복잡성, 그리고 비용이 증가하는 문제점을 안고 있다.

2

제 3 절 연구방법 및 목표

따라서 본 연구에서는 X선을 사용하여 그 고유 특성을 유지하면서도 기존 대비 약 60% 수준의 저 에너지 X선을 사용한 중량계측의 기초적 연구를 하고자 한다. 저 에너지에서는 X선의 발생과 검출의 효율이 낮아지므로 센서의 특성이 변화하게 된다. 특히, 기존의 상업용 중량계측기를 저 에너지 출력에서 운용하게 되면 신호 안정성이 저하되는 문제가 있다. 따라서, 기존의 상업용 계측기의 저 에너지 출력에서의 성능과 저 에너지 출력에 적합하도록 hardware 구조변경을 수행한 신규 시스템의 성능을 비교 연구함으로써 신규 시스템을 이용한 저 에너지 중량계측 적합성을 확인하고자 하였다. 센서의 가장 중요한 특성인 Accuracy 와 Repeatability 측면에서 연구하였다.

연구 방법은 총 3 종의 물질을 9 개 중량 범위에서 측정함으로써 실험적으로 파악하고자 하였다. 시료에 대한 중량정보는 Lab scale 을 reference 로 하였다. 기존 상업용 중량계측기와 더불어 기존의 hardware 구성을 저 에너지에서의 계측이 쉽도록 개조한 계측기를 별도로 준비하여 총 2 종의 시스템을 준비하여 실험하였다.

제 2 장 실험 방법

제 1 절 실험량

계측기의 특성을 나타내는 여러 지표 중 일반적으로 Accuracy 와 Repeatability 가 가장 중요한 지표로 꼽을 수 있다. 학계 및 업계의 관행에 따라 terminology 또는 definition 등이 다소 다르지만, 본 연구에서는 업계의 관행을 참고하여 아래와 같이 정의하였다.

Accuracy 는 계측기의 지시 값 (indicated value) 과 기준값 (reference value) 과의 차이의 정도를 나타낸다.

Accuracy (%) =
$$\frac{(Indicated value - Reference value)}{Indicated value} \times 100$$

Repeatability 는 같은 입력 및 같은 조건에 대하여 수행되는 연속된 측정에서의 출력 변화의 정도를 나타낸다.

Repeatability (%) =
$$\frac{Standard \ deviation}{Average} \times 100$$

측정단위는 단위면적당 중량을 나타내는 gsm 단위를 사용하였고, 측정값의 기록과 연산은 significant figure 그리고 significance arithmetic 기법을 적용하였다. 실험의 환경은 섭씨 23 +- 2도 이내의 밀폐된 실내공간에서 수행하였다. Drift 영향을 제거하기 위해서 30 분 이상 예열하고, 1분간 측정한 데이터를 사용하였다. 전체 측정 데이터의 (Max-Min) 값이 8 σ 이내 (99.99%) 가 되는 측정 데이터만을 사용하여 외란 개입을 방지하였다. Curve fitting 은 Microsoft 사의 Excel 의 Least square fit 기법을 이용한 선형 회귀분석 기능을 이용하였다. 1) X선 중량계측기



그림1. X선 중량계측기기

본 연구 및 실험에서 사용할 X선 중량계측기는 내장된 X선 선원을 이용하여 시료에 조사하고, 다시 시료에서부터 방출되거나 투과하는 X선을 검출하여 그 중량을 결정하는 정량분석기기이다. 작동방식은 선원으로부터 방출되는 광자가 시료와 충돌하면서 상호작용 - 산란 또는 흡수 - 을 일으키거나 혹은 상호작용을 일으키지 않고 그대로 투과하게 되는데, 광로상에 존재하는 물질의 양에 따라 상호작용하는 정도가 달라지므로, 시료의 중량과 상호작용 정도 사이에 상관관계가 생기게 된다. 따라서 X선 중량계측기기는 이 상관관계를 이용하여 검출기에서 검출되는 광자의 수를 측정함으로써 중량을 결정하는 방식의 계측 기기라고 할 수 있다.



그림2. 중량계측기의 X선 센서의 구성

시스템은 크게 5 가지 하위 시스템 - Sensor, Frame, Utility, Controller, Interface 로 구분할 수 있으며, 각 하위 시스템은 다시 여러 장치로 이루어져 있다. 이 중, 본 연구와 관련된 Sensor 는 크게 Source, Source controller, Detector, Signal processor 로 구성되어 있다. 그 구조는 작동방식, 제조사, 적용 분야에 따라 다르지만 일반적으로 그림, 3, 4 와 같이 도시할 수 있으며, 실제 실험에 사용된 시스템의 구조도 이와 같다.



그림3. 중량계측기의 X선 센서의 구조





그림4. 중량계측기의 내부 구조



그림5. 중량계측기의 PC Software 전압 신호 측정화면

Pre-amp gain	10E+6 (adjustable)
ADC resolution	16-bit
ADC sampling rate	250KHz
ADC acquisition time	0.7 µ s
Digital filters	Yes (Average filter)

표1. 중량계측기의 Sensor electronics 사양 요약

이상으로 서술한 기존의 상업용 중량계측기와 이를 저 에너지 사용에 적합하도록 개조한 시스템, 총 2 개 시스템을 저 에너지 출력에서 운용하여 실험하였다. 편의상 기존 시스템을 A, 개조된 시스템을 B 로 명명하였다. A 와 B 는 시스템 구성이 같고, 검출기의 hardware 에서 차이가 있다. B 시스템의 검출기는 검출기의 가장자리에 전극이 있으며, 그 가운데 활성 면적 (Active area) 이 있다. Active area 안으로 X선이 입사되어 전리 작용이 일어나면, charge carrier 가 발생하고 각각 전극으로 수집됨으로써 X선 신호량을 전류 크기로 변환하는 구조이다.



그림6. 선정된 신규 검출기의 조립 완료 사진





그림7. 신규 검출기의 동작 구조

신규 검출기에서 기존 검출기와 가장 차별화한 부분은 검출기 Window 의 X선 신호의 투과 특성이다. Window 는 검출기 Housing 중 X선 신호를 받아들이기 위하여 제작된 부분으로 특수한 재료로 얇게 제작된다. X선 신호가 검출되기 위해서는 먼저 Window 를 통하여 검출기 내부로 입사되어야 하며, 이때 Window 를 통과하면서 신호 감쇄가 발생하게 된다. 신호 안정성은 신호의 크기와 비례하므로 신호 크기를 결정하는 X선 투과특성이 중요하게 된다. 아래는 기존 검출기와 신규 검출기의 투과율을 측정하기 위해 수행한 실험의 구성이다.



그림8. 검출기 투과율 계산을 위한 실험 구성

실험방법은 X선 발생기와 검출기를 준비하고 X선 입사경로 상에 검출기로부터 분리된 Window 를 위치시킨다. Window 를 적층하면서 최대 4 장 까지 겹쳐 실험을 수행하였다. Window 적층 수별 신호 크기를 기록하고 이를 바탕으로 Window 에 대한 신호 투과량을 계산하였다. 아래는 신규 검출기와 기존에 사용된 검출기와의 신호 투과 특성을 비교한 자료이다.

Unit : mV

	New de	etector	Original detector		
Layer 수	X-ray off	X-ray on	X-ray off	X-ray on	
1	831.5	—	0	7457.6	
2	0	3485.4	0 5767.5		
3	0	3442.5	—	_	
4	0	3401.1			
Transmission					
rate	0.98769		0.77337		
(1 layer)					
Transmission					
rate	0.97581		_		
(2 layer)					

표2. 기존 검출기와 신규 검출기의 신호 투과 특성 비교

실험결과 신규 검출기에서 1 장의 Window 로는 X선이 발생하고 있지 않은 상태에서도 외부 잡음으로 인한 신호가 발생하였기 때문에 잡음 차폐성능을 높이기 위하여 이후 실험에서는 2 장의 Window 를 기본적으로 사용하였다. 기존 검출기의 신호 투과량은 약 77.3%, 2장의 Window 를 사용한 신규 검출기의 신호 투과량은 약 97.5% 로 신규 검출기가 약 26% 투과량이 높은 사실을 확인할 수 있다.

2) Lab scale



그림9. 실험에 사용된 Lab scale

Readability	0.1mg		
Weighing capacity	220g		
Response time (avg.)	3s		
Reproducibility	<=+-0.1mg		
Linearity	<=+-0.2mg		

표3. 실험에 사용된 Lab scale 의 사양 요약

제 3 절 시료

시료로는 플라스틱, 종이, 알루미늄의 3 종을 각 3 개씩 준비하여 총 9 개 시료를 약 10gsm 부터 250gsm 까지 준비하였다. 시료의 기준값 (Reference value) 은 Lab scale 을 이용한 측정결과를 신뢰하고 기준으로 하였다. 이때 측정조건은 계측기에 내장된 standardization 기능을 수행한 후 5회 반복측정한 데이터의 평균을 사용하였다.



그림10. Lab scale 을 이용한 시료의 중량 측정결과



그림11. 시료별, 중량별 Lab scale 의 반복성

Plastic	1 st	2^{nd}	3^{rd}	4^{th}	$5^{\rm th}$	Avg	Stdev
Sample 1	16.74	16.81	16.68	16.67	16.73	16.73	0.05004
Sample 2	33.46	33.46	33.46	33.32	33.27	33.40	0.08237
Sample 3	50.01	50.02	49.99	50.01	49.95	50.00	0.02498
Aluminium	1 st	2^{nd}	3^{rd}	4^{th}	$5^{\rm th}$	Avg	Stdev
Sample 4	27.25	27.3	27.25	27.25	27.3	27.27	0.0245
Sample 5	54.48	54.46	54.46	54.46	54.59	54.49	0.0506
Sample 6	81.72	81.66	81.61	81.64	81.8	81.69	0.06741
Paper	1 st	2 nd	3^{rd}	4^{th}	5^{th}	Avg	Stdev
Sample 7	79.96	79.99	80.03	79.93	79.95	79.97	0.03487
Sample 8	159.58	159.61	159.59	159.6	159.66	159.61	0.02786
Sample 9	238.45	238.57	238.64	238.8	238.86	238.66	0.1498

표4. Lab scale 을 이용한 시료의 중량 측정 결과

제 3 장 실험 결과



제 1 절 Accuracy

그림12. Lab scale 과 X-ray system 측정치의 상관관계

위 그래프는 Lab scale 을 이용하여 측정한 시료의 중량을 X축으로 하고, 같은 시료에 대한 X-ray system - A, B 각각의 측정치를 Y축으로 하여 선으로 연결하여 나타내고, 각 X-ray system 의 Lab scale 대비 비율을 점으로 표시하여 보조 Y축에 나타냈다. 아래 그래프에서는 시료별로 나타내고, Least square fit 을 이용한 선형함수를 도시하였다.



그림13. Lab scale 과 X-ray system 측정치의 상관관계 세부



그림14. Linear fitting 을 수행한 X-ray system 의 측정치

위 그래프는 Lab scale 을 이용하여 측정한 시료의 중량을 X축으로 하고, 각각의 시료에 대하여 교정이 완료된 X-ray system - A, B 각각의 측정치를 Y축으로 하여 선으로 연결하여 나타내고, 시료별 Accuracy 에 대한 정보를 점으로 표시하여 보조 Y축에 나타냈다.



그림15. 시료별 X-ray system 의 반복성 (교정 전)

위 그래프는 시료별로 교정되지 않은 X-ray system 의 시료별 측정 중량을 X축으로 하고, 각 시료에 대한 X-ray system 2개 구성의 Repeatability 를 Y축으로 하여 자료를 구성하고, 각 X-ray system 의 Lab scale 대비 비율을 점으로 나타냈다.



그림16. 시료별 X-ray system 의 반복성 (교정 후)

위 그래프는 시료별로 교정이 완료된 X-ray system 의 시료별 측정 중량을 X축으로 하고, 각 시료에 대한 X-ray system 2개 구성의 Repeatability 를 Y축으로 하여 자료를 구성하고, 각 X-ray system 의 Lab scale 대비 비율을 점으로 나타냈다.

제 4 장 결론

제 1 절 실험 결과 분석

시료별로 Lab scale 측정값 대비 X선 계측기의 측정값을 그린 그래프 (그림 12) 에서 시료의 종류에 따라 기울기가 각기 다르게 나타났다. 이는 물질에 따라 X선의 반응성이 다르기 때문이다. 즉, 알루미늄 시료에서 가장 큰 기울기를 나타낸 것은 X선이 종이나 플라스틱과 같은 유기물보다 금속 시료와의 반응이 더 많아 같은 중량의 시료에 대해서도 더 많은 신호가 발생하게 되기 때문이다. 이러한 감도 차이는 1차 계수를 추가함으로써 보상할 수 있다. 시료별로 기울기가 다름에도 불구하고, 동일 시료에 대해서는 A, B 두 시스템 모두에서 선형성을 확인할 수 있기 때문이다. 따라서, 시료별로 선형 회귀분석을 통한 Calibration 을 수행하였고, 보상한 결과를 나타낸 그래프가 Accuracy 그래프 (그림 14) 이다. 이 그래프에서 시스템 정확도는 Lab scale 측정값을 기준으로 종이 시료에서는 최대 +-2.3% 까지 오차가 확인되었다. 종이 시료에서 이처럼 오차가 큰 이유는 종이 시료의 중량이 시료 중 가장 무겁다는 사실보다는 종이와 같은 혼합물이라는 사실을 원인으로 추정하였다. 혼합물의 경우 물질 구성 성분비가 비교적 일정하지 않기 때문에 시료에 대한 X선 감도가 같은 종류, 같은 중량의 시료라도 서로 다를 수 있기 때문이다. 이것은 종이 시료 중 가벼운 시료와 거의 같은 중량을 가진 알루미늄 시료가 다른 알루미늄 및 플라스틱 시료와 유사한 정도의 정확도를 보이고, 종이 시료는 중량과 관계없이 모든 중량에서 비교적 큰 오차를 보인다는 사실에서 그 근거를 찾을 수 있지만, 관련 연구를 수행할 필요가 있다. 혼합물 특성에 따른 오차로 추정되는 부분과 가장 가벼운 시료에서 발생한 Calibration 오차를 제외하면 A, B 두 시스템 모두에서 정확도는 +-1% 이내에서 측정되었으며, 두 시스템 간 차이는 뚜렷하게 발견되지 않았다. 이는 신규 검출기의 사용에 따른 기존 대비 X선 에너지 스펙트럼의 변형이 없었으며, 따라서 중량계측 정확도가 새롭게 설계된 시스템에서도 유지되고 있음을 의미한다.

20

반복성을 나타내는 Repeatability (calibrated) 그래프 (그림 16) 에서는 전체적으로 50 gsm 이하의 낮은 중량의 시료에서 불안정한 현상을 보였다. 이는 시료에서 반응하는 X선 양에 따라 신호 크기가 결정되기 때문이다. 과도하게 X선이 감쇄되어 X선 검출량이 너무 적거나, 시료와의 상호작용이 너무 작아 X선 검출량은 크지만, 신호 크기, 즉, X선 감소 폭이 너무 작은 경우에 나타나게 되는 현상으로 센서의 물리적 특성이다. 수치적으로는 50 gsm 이상의 시료에 대해서는 두 시스템 모두 0.05% 이내 수준에서 측정할 수 있었고, 50 gsm 이하 가장 가벼운 시료에서는 최대 0.16% 의 측정 오차를 보였다. 특기할 부분은 전체적인 반복성 그래프의 형태가 시료의 중량에 따라 연속적으로 반비례하는 curve 형태를 보이는 데 반해서 알루미늄 시료의 측정 결과는 이 곡선을 따르지 않고 있다는 점이다. 이것은 X선 시스템의 감도, 즉, 입력 대비 출력비가 물질별로 다르기 때문에 발생하는 현상으로서, 시료별 교정을 수행하지 않은 X선 시스템을 분석하면 이해할 수 있다. 시료별 교정을 수행하지 않은 X선 계측기의 출력을 X축으로 하는 Repeatability (uncalibrated) 그래프 (그림 15) 를 보면, X선 시스템이 알루미늄을 가장 무겁게 측정하면서 모든 시료가 연속적인 curve 형태에 부합하고 있음을 확인할 수 있다. 시스템 A, B 에서 이 곡선은 각각 다른 형태를 보인다. 시료마다 다르지만, 기준 lab scale 과 측정 정확도가 +- 2.3% 이내로 일치함이 확인된 상태에서. X선과 반응이 적은 시료에서는 최고 약 20 % 만큼 시스템 B 의 성능이 A 대비 나은 성능을 보임을 확인하였다. 반대로 상호작용이 큰 시료에서는 기존 대비 B 시스템의 반복성이 최고 약 49% 만큼 오히려 저하된 사실을 관찰하였다. 이 현상은 X선에 대한 흡수가 좋은 시료들을 측정할 때 검출기에 도달하는 신호들은 대부분 흡수가 잘 안 되는, 즉, 투과력이 높은 고에너지 X선임이 원인으로 추정된다. 즉, 고 에너지 X선 신호들이 검출기 내부 물질과 상호작용을 일으키지 않고 그대로 통과해버리게 되면 신호량이 적어지고, 따라서 신호가 불안정해지는 것으로 해석된다. Source 에서 발생한 X선이 검출기에서 검출될 확률 p 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

 $p = t \times a$

t = 검출기 표면의 X선 투과 확률

a = 검출기 내부로 입사한 광자가 흡수되어 전기신호로 변환될 확률

신규 시스템에서 반복성이 개선된 것은 t 가 개선되면서 신호량이 많아졌기 때문이며, 반복성이 저하된 부분은 a 가 악화되면서 신호량이 줄어들었기 때문으로 추정할 수 있다. 따라서, 신규 시스템에서 저하된 고중량 시료의 측정 반복성은 새롭게 사용된 검출기의 부피가 작기 때문에 X선 신호를 완전히 검출하지 못하면서 발생한 현상으로 파악하면, 검출기의 부피를 키움으로써, 즉, 검출기의 a 값을 개선함으로써 문제를 해결할 수 있을 것으로 예상이 되며, 실험을 통한 확인이 필요한 부분이다.

제 2 절 결론

저 에너지 출력에서 확인한 신규 시스템은 기존의 상업용 계측 시스템과 비교하여 다음과 같은 특성이 있음을 실험적으로 확인하였다.

- 1) 측정 정확도에 있어서 Lab scale 의 기준치 대비 +-2% 이내의 accuracy 로 측정이 가능하였으며, 이는 기존 시스템과 유사한 수준이다.
- 2) 측정 반복성에 있어서 교정을 완료하지 않은 X선 시스템의 측정값을 기준으로 약 200 gsm 이하의 시료에서 기존 시스템 대비 개선된 반복성능을 보였으며, 최고 20% 만큼 개선되었다.
- 3) 측정 반복성에 있어서 교정을 완료하지 않은 X선 시스템의 측정값을 기준으로 약 200 gsm 이상의 시료에서 기존 시스템 대비 반복성능이 훼손되었으며, 최고 49% 만큼 저하되었다.

따라서, 저 에너지 측정에 적합하도록 설계된 시스템은 Accuracy 는 훼손하지 않으면서, 저중량 시료의 측정에 있어서 Repeatability 를 기존 시스템보다 개선할 수 있었다. 신규 검출기의 사양을 보완하면 저중량 시료뿐 아니라 고중량 시료를 포함한 전체 측정구간에서 개선된 성능을 보일 수 있을 것으로 추정되지만 확인이 필요할 것 같다. 만약 고 중량 시료에서의 반복성까지 확보할 수 있다면 시장의 비 방사선 기기에 대한 요구사항에 대응하면서 측정 반복성이 개선된 제품으로서 상업적 잠재성이 있다고 판단된다. 그러나 완전한 상업화를 위해서는 본 연구에서 검토한 정확도와 반복성 외에 drift, response, 그리고 내구성과 같은 다른 센서 특성들이 후속 연구에서 검토되어야 할 것이다.

23

참 고 문 헌

- G. Kalifa, Yves Charpak, Carlo Maccia, Elisabeth Fery-Lemonnier, Juliette Bloch, & Jean-Marc Boussard. (1998). Evaluation of a new low-dose digital X-ray device: first dosimetric and clinical results in children. Pediatric Radiology, 28(7), 557-561.
- Franz Pfeiffer, Timm Weitkamp, Oliver Bunk, & Chirstian David. (2006). Phase retrieval and differential phasecontrast imaging with low-brilliance X-ray sources. Nature Physics, 2, 258-261
- Hyung B. Kim, Jung H. Lim, & You Huh. (2011). Generation of Structure Images by Applying a Low-Energy X-ray. Textile Science and Engineering, 48(3), 134-141
- 4) Ki-man, Lee. (2011). Development of Film Dosimetry System and Head Phantom for Dose Calibration of Kilovoltage X-ray Irradiator (Master thesis, Seoul National University, South Korea)
- 5) C. D. Motchenbacher, & J. A. Connelly. (1993). Low-noise electronic system design. John wiley & Sons Inc.
- 6) de Silva, Clarence W. (2016). Sensor systems: Fundamentals and applications. CRC Press.
- 7) S. M. GRUNER, E. F. EIKENBERRY, & M. W. TATE. (2012). Comparison of X-ray detectors. International Tables for Crystallography, F(7.1), 177-182
- Pengxiang Jia, Yaoqin Xie, & Shanglian Bao. (2009) Monte Carlo simulation of x-ray tube spectra with PENELOPE. IFMBE Proceedings, 25 (II), 503-506
- 9) Rolf Behling. (2016). Modern diagnostic X-ray sources: Technology, manufacturing, reliability. CRC Press.

10)B. K. Agarwal. (1991). X-ray spectroscopy: An introduction. Springer.

Abstract

A study in measurement of weight by using low energy X-ray

Taeung Moon Department of Engineering Practice Graduate School of Engineering Practice Seoul National University

Weight measurement using low energy X-ray was studied. Performance of two systems in low energy x-ray operation are experimentally compared; Existing commercial weight measurement system and one with redesigned hardware configuration for low energy operation. Standard reference performance is provided by lab scale. Three different materials, each with 3 samples with different weight, were measured in order to determine accuracy and repeatability of the systems experimentally. The result is presented and discussed.

Keywords : Raidation detection, Weight measurement Student Number : 2017-28198