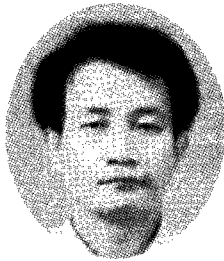


放射線 模擬檢出器의 開發



윤 우 영

한전기공(주) 원자력훈련원 전기분야 부교수

본 연구의 목적은 원자력발전소에 종사하는 한전기공(주) 직원에 대한 훈련용 모의 방사선검출기를 제작하여 설비에 대한 점검 및 정비시 방사선에 대한 위험을 예지시키고, 원자력훈련원에서 1차계통의 실제 작업과 거의 동일한 작업방법으로 훈련을 시행하여 작업계획의 신뢰성을 확보하고 방사선 노출환경 내에서 신속하게 작업을 수행하여 실질적인 방사선피폭량 저감화에 기여하는 데 있다.

서 론

보이지 않는 방사선에 대한 위험 정도를 인지하지 못하고 있으므로 피폭저감을 위한 대책과 훈련에는 인체에 위해하지 않는 다른 어떤

무엇으로 거리, 시간, 차폐의 개념을 제공하는 등 방사선의 역할을 대신하지 않으면 안됐다.

먼저 채택하고자 하는 임의 방사선원으로 초음파를 활용하는 방안이 있다. 그러나 초음파는 點源으로서는 최고의 성능을 발휘할 수 있으나 面源과 線源을 구성하기가 곤란하며, 협소공간에서 반사파에 의한 외란도 무시할 수 없고 인체에 의학적으로 위해하지 않는 적절한 강도를 사용하기가 쉽지 않았다.

두 번째 시도된 아이디어는 자체의 강도를 활용하고 홀 효과(Hall Effect)를 이용한 검출기를 사용하려고 했으나 기술적으로 어려움이 많으며 가격도 비쌌다.

방사선을 기준으로 파장이 긴 것

에는 X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 극초단파 등이 있는데, 이 중 點源, 面源, 線源의 활용성과 인체에 대한 위해 여부를 고려한 결과 모의 방사선원으로는 가시광선이 으뜸이었다. 그러나 가시광선은 일상생활에서 절대적으로 필요한 조명이므로 활용할 수 없다. 따라서 가시광선 내에서 투과력이 비교적 양호하면서 심리적으로 안정감을 제공하며 자극치가 높은 靑色光(Blue)을 선택하여 활용하고자 했다.

방사선피폭에는 체내피폭과 체외피폭이 있으며, 또 작업시 발생가능한 방사성 오염물질이 손과 발, 그외 신체부위를 오염시키는 경우도 있다. 증기발생기와 원자로 냉각재펌프 내에서 작업, 핵연료재장전작업 등에서의 체내피폭은 안면 마스크와 비닐보호복을 착용하고 훈련에 임함으로써 오염방지에 대한 훈련을 할 수 있다. 체외피폭은 가시광선 중 색상농도를 감지하는 검출기를 응용하고 1차계통 주요설비의 방사선준위를 고려하여 시간을 기준으로 적산하는 방법을 사용하고자 했다.

보통의 형광등 조명에 임의의 청색필터를 부착하면 모의 방사선원을 만들 수 있다. 또 모의 오염구역으로 벽면 오염원을 선정시에는 청색 형광등을 자유롭게 구부러 원형, 타원형, 직사각형으로 만들어서 설치하여 실제 작업환경과 유사하게 조명을 조절했다.

조명의 照度 조절값은 원자력발전소의 1차계통 주요기기의 실제 주변방사선량을 기준으로 하여 조

명구역(일종의 방사선원 Mapping)을 청색 부분조명으로 했다. 모든 조명을 청색으로 조성하는 것이 아니라 작업을 위한 필요조명만을 청색조명으로 했다.

그러나 작업면상에서 청색을 감지하기는 어렵다. 조명등을 보았을 때만이 청색조명이 照射되는지를 알 수 있을 정도이다. 그 이유는 인간의 눈은 대략 3배 정도 조도차가 발생해야만이 밝고 어두움을 구별할 수 있는데 인간이 판독하기 어려운 조도영역에서 청색검출기가 동작하도록 설계해야 했으며, 동시에 농도에 따른 수치적산(Counting) 속도에 차이가 있어야 했다. 또 오염구역에 가까워질 때 더욱 빠르게 동작하도록 설계해야 했다.

본 연구는 방사선의 視覺化와 아울러 오염구역에서의 모의 방사선 피폭량을 터득하여 훈련생이 스스로 느끼면서 방사선 노출환경 내에서 올바른 작업습관을 형성하고 설비에 대한 점검 및 정비시 작업자의 피폭저감에 활용하고자 한다.

본 론

색은 혼합하면 할 수록 흑색에 가까워지나 光色은 혼합하면 할 수록 백색이 되는 특징이 있다. 백색광 내에는 몇%의 청색광이 있으므로 광원체에 따라 지니고 있는 색의 농도 또는 분포에 차이가 있는데, 이것은 우리가 적절한 임의의 방사선원으로 사용할 수 있는 광원체도 제한됨을 뜻한다.

광원체에서 발산하는 여러 光色 중 청색의 준위를 어떻게 하든 제

거해야만이 임의의 청색광은 모의 방사선원이 될 수 있으며 검출기도 청색광의 농도를 적산할 수 있다.

누구나 알 수 있듯이 조도가 낮은 촛불은 왜 黃色에 가까울까, 조도가 높은 태양광선은 왜 靑色일까 등에 대해서도 고려하지 않으면 안됐다. 광원에는 색온도가 있으므로 보유하고 있는 색의 퍼센트가 각기 다르며 인간의 눈의 色分解能은 조도에 커다란 영향을 받음을 고려해야 한다. 이와같이 광원의 照度에 따라 광색이 변하는 현상인 켈빈 컬러 온도(Color Temperature in Kelvins)를 고려하여 광원을 선정해야만 했다.

그러므로 모의 방사선원의 面源, 線源으로 적당한 것은 청색필터를 사용한 백색 형광등, 청색 형광등이고, 點源으로 적당한 것은 할로젠 램프와 크세논 램프에 청색필터를 사용하면 된다. 모의 汚染源이 點源인 경우 원거리로 가면 조도가 감소하여 색광이 변하므로 64회(Hz/sec)로 점멸시키면서 강한 과도전압(Overdrive)을 공급하여 색광을 유지해야 한다. 즉 빔 펄스(Beam Pulse)를 공급하여 원거리에서도 色光이 변하지 않게 해야 한다.

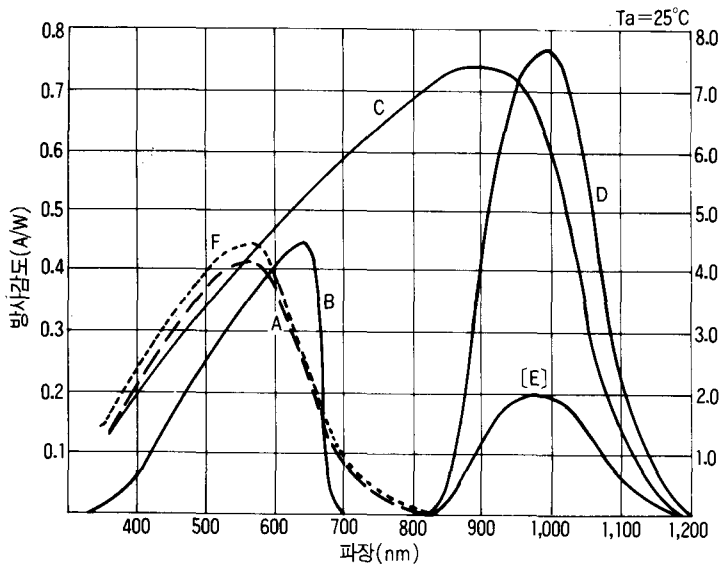
가시광선의 파장은 380~780nm 사이에 있다. 여기서 청색계열은 380~488nm로서 청색을 띤 보라(Bluish Purple), 보라빛을 띤 청색(Purplish Blue), 청색(Blue), 녹색을 띤 청색(Greenish Blue)으로 분류할 수 있다. 포토다이오드(Photodiode)에 청색필터를 부착하면 가시광선 또는 광원에서 청색광의 농도를 검출할 수 있다.

그러나 포토다이오드의 分光感度 특성은 <그림 1>과 같이 여러 종류가 있는데 光波長에 따른 放射感度는 다르다. 즉 보통의 다른 소자는 적외선 영역도 포함하고 있으므로 온도에 의한 오차 영향도 크며, 아울러 백색광에 포함돼 있는 청색준위가 적외선준위 이하로 제거되므로 민감성도 좋지 않아 수광면적의 크기를 선택가능한 가시광 파장영역에서 선형특성(光束對受光器出力)이 양호한 A형 모리리카 포토다이오드를 선정했다.

어떤 광원이나 있는 청색을 제거하고 임의의 청색광원에서 방사한 光束을 측정하여 누산시키는 원리를 이용하여 감마선 대신 靑色光이 모의 방사선 역할을 하는 검출기를 개발했다. 검출기의 내부구조는 <그림 2>와 같은 블록선도로 되어 있다.

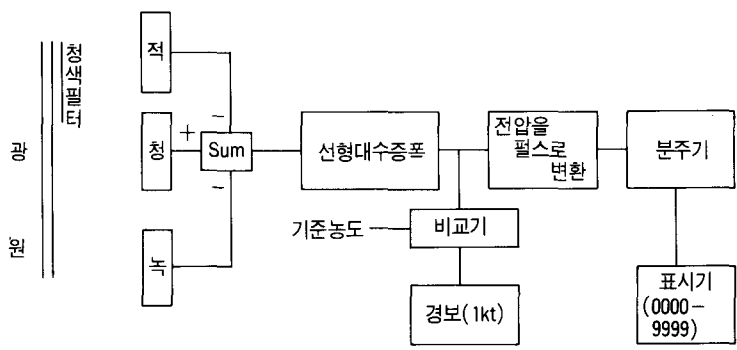
CIE(국제조명위원회)의 XYZ 표색계와 동일한 색을 판별함으로써 광과장 380~488nm의 파장을 검출할 수 있다. 그리고 주위환경에 있는 광속을 녹색과 적색의 준위로 제거시키고 청색광에서 발산한 光束을 측정하여 시간별로 누산시킬 수 있도록 했다.

실제 원자력발전소에서 사용중인 방사선량 계측기는 이온화식 계수기, 입자계수기 등 여러가지가 있으나 가장 널리 사용되는 가이거-뮐러(Geiger-Müller) 계수기도 수 keV에서 수 MeV 감마선의 에너지가 튜브 내의 할로젠가스를 이온화시켜서 전자가 高電壓으로 여기된 직경 0.003~0.004인치 양극에 모일 때 하나의 펄스를 발생하는 것



型名(Type)		型名(Type)	
A	MBC-2014RF, 2014CF, 3026CF	D	MI-33HF
B	GPD-1511C-25, 1812C-25	[E]	MI-33HLF(Peak 2.0A/W)
C	MI-2014R, 1515C-35, 33H	F	PG-3127CF

〈그림 1〉 포토다이오드의 분광감도특성(대표예)



〈그림 2〉 청색농도검출 블록선도

인데, 광자(Photon, 2.2eV)를 P-N 접합에 入射한 포토다이오드의 에너지 갭(1.1eV)을 가로지르는 캐리어(자유전자와 정공)의 발생원리와

동일하며 출력이 μA 전류로 나타나는 것은 검출기마다 다르나 단위면적당 에너지흡수에 의해 발생하므로 모의 방사선검출기로 활용하

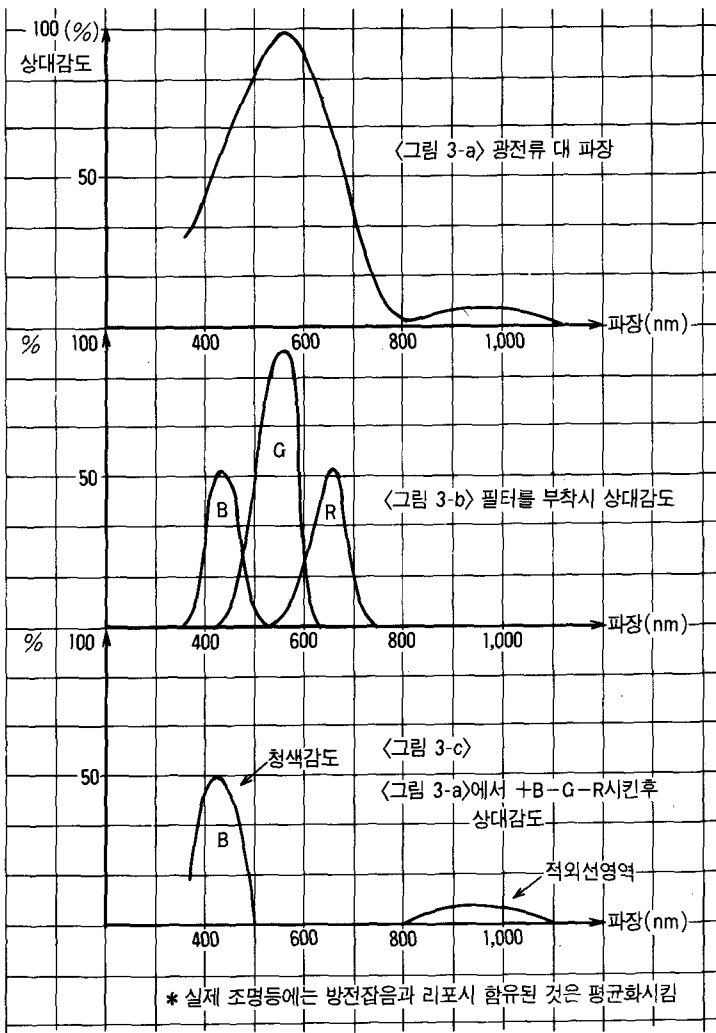
는 데에는 가장 적합하고, 또한 실리콘(Si) 포토다이오드는 태양전지(GaAs)보다 효율이 높으며 에너지 손실도 43% 정도이다(필터 손실은 제외시킴).

檢出回路를 설계하기 위해서 포토다이오드의 가시광 영역의 分光感度曲線을 〈그림 3〉과 같이 反轉시켜서 생각하면 청색광에 관한 상대감도를 구할 수 있다. 이와같이 구한 임의의 청색광원에 대한 농도를 측정하면 불균일한 放射束임을 알 수 있다. 즉 線形성이 없는 방전관의 잡음도 포함하고 있으므로 바이패스(Bypass)시키거나 積分시켜서 평균값을 얻도록 해야 한다. 이 평균값을 전압에 비례한 출력 펄스(Hz/mV)로 얻어서 방사선 환경에 따라 누산시켜 카운팅 속도를 조절하면 된다.

결론

〈그림 3〉과 같은 데이터는 기하학의 추상적인 가정하에서 실험을 하여 임의의 광원에 포함된 청색의 농도를 녹색과 적색의 준위로 제거하고 청색광에 대해서 반응하도록 모의 방사선검출기를 개발완료했다. 실험결과 40W 쌍형광등의 1/3에 해당하는 면적에 청색필터를 부착하면 감지기는 3m의 거리에서 판독하는 효과를 가져왔으며, 모의 방사선원인 청색조명에 가까와 질수록 선형적으로 적산속도가 상승되고 아울러 일정한 거리(청색피폭 농도)를 조정하면 경보가 발생한다.

검출기의 활용범위로는



〈그림 3〉 분광감도파장

1. 모의훈련용 도시미터(Dosimeter)

2. 신입직원에 대한 방사선의 시각화로 거리, 시간, 차폐개념 제공 및 일반인에 대한 홍보용

3. 현장조건과 매우 유사한 조건으로 훈련시 피폭저감 및 시간단축 등의 기술효과 기대(증기발생기 실내작업)

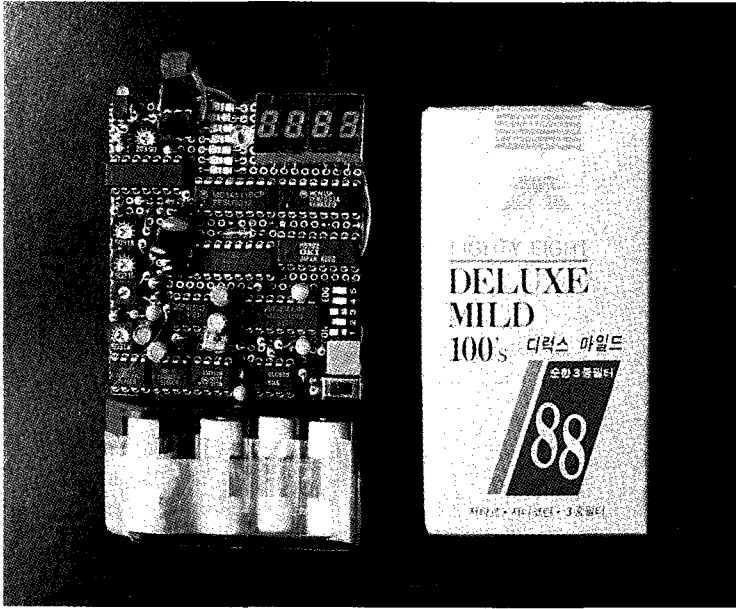
검출기의 부품과 회로기능은 다 기능화하고 휴대할 수 있도록 했으며, 소모품 가격으로 적용할 수 있도록 3만원대의 가격으로 했다.

한편 검출기의 단점으로는

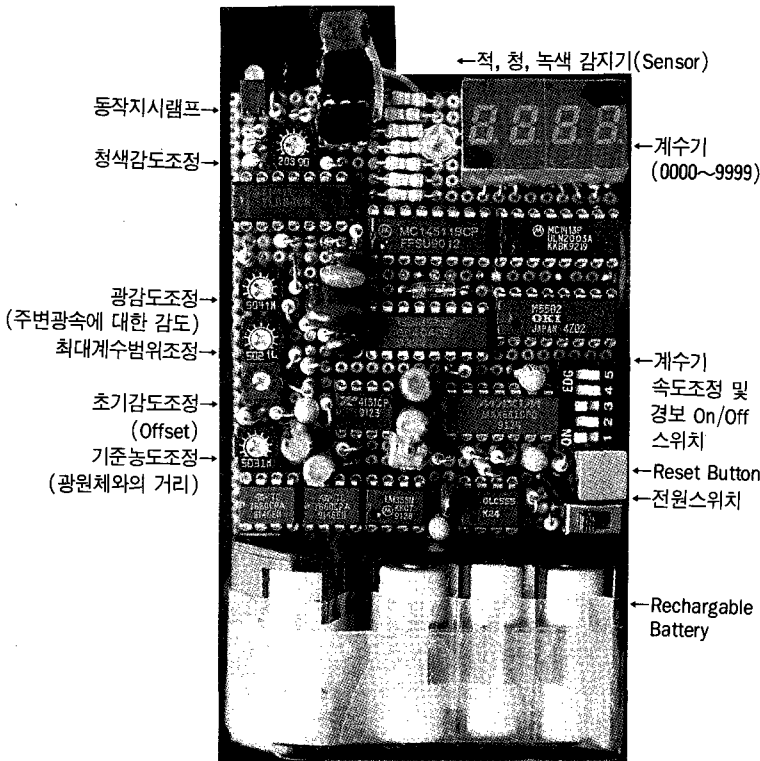
1. 작업훈련중 광이 차단될 가능성이 있으므로 광의 농도를 일시적으로 기억하는 전자회로의 추가가 요구되며

2. 검출 지향성을 넓게 하는 광렌즈의 적용이 요구된다.

현재의 기술은 다소 범위가 넓은 여러 光源體에 대해서 동작해야 하므로 정밀한 색광 분해능이 필요하지 않다. 그러나 개발에 착수하면서 축적되고 활용된 기술은 임의의 광원이 아닌 단색광을 물체에 반사하여 센서에 공급시 보다 정밀한 색분해 데이터를 A/D(Analog to



〈그림 4〉 방사선 모의검출기 시제품 크기



〈그림 5〉 조정단자 및 기능설명도

Digital)로 변환시켜 인간의 눈에 일치하는 색 표색계로 변환하여 물체의 색을 정밀한 색광코드로 변환시키게 된다. 따라서 塗裝 로봇이 유성 또는 수성페인트를 이온화 분해시키면 도장면에 착색되는 양의 조정이 가능하므로(복사기의 원리) 컴퓨터 화면에서 요구되는 색과 같이 塗裝을 가능하게 하는 기술로 진보할 수 있으나, 먼저 정밀한 색합성을 위한 멀티노즐이 개발되어야 한다. 현재의 도장용 스프레이 노즐의 着色率은 대략 60~90% 정도이기 때문에 많은 어려움이 예상되지만 이와 같은 정밀한 색합성 기술이 진보했을 때 영향을 예로 들면,

1. 로봇틱 도장에 의한 건축미학의 입체도색(동이 틀 때와 해가 질 때를 고려한 색변화 대상도장)이 가능하며

2. 15층 이상 고층건물의 로봇틱 도장시 정밀한 색 농도의 센서로의 활용 가능성

3. 자동차 또는 기기의 단색도장의 개념이 입체도장으로 변환될 수 있는 가능성과 또한 기기 노화에 따른 변색의 정도가 코드화되므로 도장보수시 편리함을 제공하며

4. 광 스캐닝(Scanning)에 의한 물체조직의 확대, 색분해 조직영상도 예상할 수 있다.

그러나 위의 예상을 실현하는 데 많은 어려움이 있겠지만 점진적으로 다가오는 신기술 분야를 대비하는 계기가 됐으며 방사선, 전자공학, 色技術과 조명공학을 통합하여 활용하는 새로운 분야에 접근하는 계기도 됐다. ▣