

폭발물 확인 X-Ray 시스템



대한민국 폭발물 기술자 협회 **박 우 흥**

현) 대한민국 폭발물 기술자 협회 이사
전) 한국공항공사 부산지역본부 EOD 반장
전) 특전사 707 특수임무대대 폭발물처리 담당관

1. 개 요

세계 곳곳에서 폭발물을 이용한 테러의 위협이 증가되고 있으며 그 대상이 이해관계에 따른 특정 단체나 인원만 아니라 불특정 다수의 소프트 타겟에 대한 테러가 자행되고 있다. 이러한 테러는 일상용품을 사용하여 제작이 용이하고 파괴력과 살상력이 높은 급조폭발물(이하 IED)을 이용하는 것이 대부분이다.

X-Ray 시스템은 IED로 의심되는 물체에 X선을 투과시켜 내부 이미지를 판독, 구성요소 등을 확인하여 폭발물 여부를 확인할 수 있는 폭발물 처리 확인 장비이다. 폭발물 처리 임무수행 시 핵심장비인 X-Ray 시스템에 대해 알아 보고자 한다.



〈그림 1. 아날로그 필름, CR, DR 각각의 작업 흐름도〉

출처 : <https://m.blog.naver.com/vatechblog/220092265130>

X-Ray 시스템은 과거 아날로그(AR)에서부터 CR·DR 이렇게 세가지 방식으로 구분 할 수 있다. 이 세가지 방식에 대해 각각의 특징 및 장·단점에 대해 서술해 보겠다.

2. AR(Analog Radiography)



Polaroid社 8×10인치 카세트



Golden Engineering社 150P 필름 현상기



Golden Engineering社 Inspector 200(X-Ray 발생장치)

〈그림 2. AR 방식의 참고형상〉

출처 : <https://www.google.com/search?q=Polaroid-Radiographic-8x10-Film-Cassette-for-Golden-XR150>

출처 : <https://www.govplanet.com/Golden-Engineering社-PULSED-X-RAY-TECHNOLOGY-TRUTHS-AND-MYTHS>

초기에 X-Ray 시스템은 아날로그 방식으로 필름, 롤러를 이용한 현상기를 통해 의심물체의 내부 이미지를 판독한다.



〈표 1. 이미지 판독 절차〉

필름을 카세트에 장착하고, 필름을 빛으로부터 보호하기 위한 봉투를 제거한 후 촬영 대상물체 뒷면에 카세트를 설치한 다음에 X-Ray 발생장치로 X선을 조사한다. 카세트를 회수하여 현상기에 인화지 및 카세트를 삽입하여 현상기의 롤러를 통과시켜 인화지의 현상액을 필름과 인화지 전면에 골고루 도포시키면 필름에 맺혀 있던 상이 인

화지에 나타나게 된다. 해상도가 높은 것이 장점이다.

그러나 필름은 일회용으로 재사용이 불가하고 사용하지 않은 필름 및 인화지의 장기간 보관이 어렵다. 또한, 촬영한 자료 확보를 위해 현상된 인화지를 보관해야 하는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 CR 방식과 DR 방식이 현재 주를 이루어 사용되고 있다.

3. CR(Computed Radiography)



〈그림 3. CR 시스템 현상기(스캐너) 참고형상〉

출처 : <http://allpro-eod.com/en/downloads/index.html> Logos Imaging社 "Evry"

1990년대 초반 개발된 CR 시스템은 기존의 필름 대신 휘진성 형광체를 도포시킨 Image Plate(이하 IP)를 사용하여 피사체를 투과한 X선에 노출될 때 들어오는 방사선의 에너지는 특수 형광체 층에 저장되고, IP를 현상기(스캐너)에 삽입하여 레이저빔을 주사하면 방사선 에너지에 비례하는 강도로 청광색을 방출한다. 이 청광색의 광신호를 집광장치를 통해 광전자 증배관(PMT : photomultiplier)에서 빛을 감지하여 아날로그 신호로 출력되고 이를 다시 아날로그-디지털 변환기(ADC : Analog-to-Digital Converter)에서 디지털 신호로 변환하여 컴퓨터 모니터로 표출하는 방식이다.

운용 절차는 AR(Analog Radiography)방식과 거의 동일하나, 일회용 필름 대신 IP를 사용하여 약 1000회 이상 재촬영이 가능하고 모니터를 통해 영상이 표출된다는 점, 소프트웨어에서 이미지 확대, 이미지 회전, 거리 측정, 대비 향상, 스티치(Stitch) 등 다양한 기능을 사용하여 판독의 효율성을 높이는 장점이 있다.

단점으로는 AR방식과 같이 촬영에서 영상표출까지의 시간이 다소 소요된다는 점, 촬영 후 IP의 Tube 면이 직사광선이나 밝은 조명에 노출되었을 때 스캔 시 정상적인 영상이 표출되지 않는 점, 스캐너에서 IP의 Eraser 기능이 정상적으로 실행되지 않았을 시 기존에 촬영된 물체의 상과 중첩되어 영상이 표출될 수 있다.

4. DR(Digital Radiography)



〈그림 4. DR 시스템 참고형상〉

출처 : http://www.logosimaging.com/industries/security/gallery_product.html

출처 : <https://www.innvisionsecurity.com/complete-systems.html>

앞에 설명한 CR 시스템은 IP에 저장된 정보를 현상기(스캐너)를 통해 검출과정을 거쳐야 하지만 DR 시스템은 별도의 검출과정 없이 방사선 에너지를 전기적인 신호로 변환하여 컴퓨터 모니터로 표출하는 방식이다.

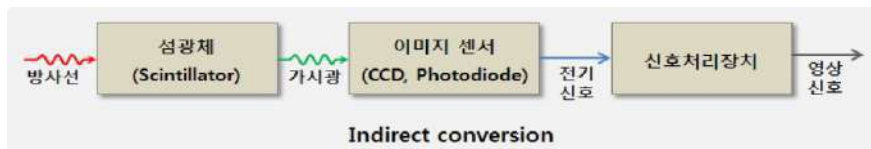
DR 시스템은 유·무선촬영이 가능한 인터페이스 또는 컨트롤러, 디스플레이(노트북 또는 태블릿), Flat panel detector(이하 FPD : 영상기), X-Ray 발생장치와 이를 연결하는 케이블 등으로 구성된다.

DR 시스템에 사용되는 FPD는 작동(변환)방식에 따라 두 가지로 구분할 수 있다. 입사된 방사선 에너지를 별도의 변환과정 없이 바로 전기적인 신호로 변환하는 **직접 변환방식(Direct conversion method)**, 중간매체를 통해 방사선 에너지를 빛으로 변환한 후 전기적인 신호로 다시 변환하는 **간접변환방식(Indirect conversion method)**으로 구분된다.



〈그림 5. 직접변환방식 방사선 검출 원리〉

출처 : <https://tech.keit.re.kr/> "KEIT PD ISSUE VOL. 11-9"



〈그림 6. 간접변환방식 방사선 검출 원리〉

출처 : <https://tech.keit.re.kr/> "KEIT PD ISSUE VOL. 11-9"

4.1 직접변환방식(Direct conversion method)

위 <그림 5>와 같이 FPD에 방사선 에너지를 전기적 신호로 직접 변환하는 물질인 광전도체(Photo-conductor : a-Se, CdZnTe, HgI2등)를 사용하여 X선이 FPD에 입사되면 일시적으로 광전도체 내부에서 전자-정공의 쌍(Electron-hole pair)이 생성된다. 이때 생성된 전기적인 신호를 검출하여 신호처리장치를 통해 영상화한다.

공간 분해능*(spatial resolution)이 우수하여 해상도가 높은 장점이 있다. 구동을 위해 높은 전압이 필요하고 재촬영 시 일정 시간이 필요하며, 가격이 비싼 것이 단점이다.

※ 공간 분해능(spatial resolution)

- 디지털화된 화상을 검출할 수 있는 최소 식별 입자의 크기
- 어떤 상 내에서 겨우 분리될 수 있는 상세 부분 간의 거리

4.2 간접변환방식(Indirect conversion method)

위 <그림 6>과 같이 FPD에 방사선 에너지를 가시광선으로 변환해주는 섬광체(Scintillator)를 사용하여 X선이 FPD에 입사되면 방사선 에너지에 비례하여 섬광체에서 가시광선으로 변환되고, 이 가시광선을 TFT(thin film transistor), CCD(Charge Coupled Device), CMOS(complementary metal-oxide semiconductor)등을 이용한 이미지센서에 기록하고 전기적 신호로 변환하여 신호 처리장치를 통해 영상화한다. 여기서 사용되는 섬광체는 필름 형태의 GADOX 섬광체와 마이크로기둥형(Micro-column type) 또는 바늘구조형인 Csl 섬광체가 주로 사용되고 있다.

간접변환방식은 현재 대테러 현장에서 주로 운용되고 있다. 직접변환방식보다 X선의 흡수량이 높아 전기적신호를 향상 시켰고, 가격이 저렴한 것이 장점이다.

섬광체의 구조 때문에 변환된 빛의 퍼짐 현상이 발생하여 공간분해능이 저하되는 단점이 있다.

앞서 살펴본 것과 같이 DR 시스템의 장점은 촬영부터 판독까지 시간을 단축할 수 있고, 장비의 부피가 작아져 휴대성이 향상되었다. 또한, DR장비를 구성하는 모든 요소(FPD + 인터페이스 또는 컨트롤러 + X-Ray 발생장치)를 유·무선으로 연결할 수 있기 때문에 노트북 또는 태블릿으로 원격통제가 가능하여 작업환경에 따라 유동적으로 운용할 수 있다는 점과 CR 시스템과 마찬가지로 모니터로 영상이 표출되어 소프트웨어에서 다양한 기능을 사용하여 판독의 효율성을 높이는 장점이 있다.

그리고 이중 에너지 모듈을 사용하여 의심물체 내부의 유기물과 무기물을 구분하여 판독할 수 있다. 보통의 폭발물은 유기물로 표출되기 때문에 IED 식별이 용이하다는 장점이 있다.

단점으로는 무선 연결시 주변 전파의 간섭으로 원격통제 및 영상 전송시 신뢰성을 보장하기 어렵고, 유선 연결시 케이블의 무게 등으로 인해 휴대성이 낮아지는 등 작전 효율이 낮아질 수 있다.

또한, FPD의 두께 때문에 좁은 공간에 설치가 제한될 수 있다. 하지만, 최근에 개발되는 장비의 추세는 FPD의 두께가 얇아지고 있기 때문에 단점을 보완하고 있다.

5. 결 언

지금까지 AR, CR, DR 시스템의 동작 방식 및 장·단점에 대해 살펴보았다.

AR 방식보다는 현장에서 주로 사용되고 있는 CR, DR 시스템 장비 중 CR 시스템은 현상기(스캐너)의 한계 해상도가 5 lp/mm이하, 픽셀피치는 100 μ m 이상일 때 선명한 영상을 획득할 수 있고, 현상기(스캐너)는 레이저를 사용하므로 인체(안구)에 미치는 영향을 감안하여 레이저 안전등급(FDA, IEC등)중 1등급을 득한 장비를 고려해서 선정해야 현장에서 사용하는 작전요원의 안전을 확보할 수 있을 것이다.

DR 시스템은 FPD의 한계해상도가 4 lp/mm이하, 픽셀사이즈는 120 μ m이상, 다양한 작전환경을 감안하여 IPXX등급(방진·방수등급), 1m이상 Drop Test(낙하시험)등을 고려하여 선정하여야 선명한 영상획득과 내구성을 보장받을 수 있을 것이다.

또한, X-Ray 시스템의 발전이 의료 진단향상을 중심으로 발전되어 왔기 때문에 소프트웨어도 의료용이 아닌 EOD전용 소프트웨어가 사용되어야 판독의 효율성 증대, 이중 에너지 모듈 사용시 유·무기물 판독도 가능할 것이다.

폭발물 처리시 핵심장비라고 할 수 있는 X-Ray 시스템에 대해 서술해 보았다. 다양한 폭발물 처리환경에 맞게 CR, DR 시스템을 이용하여 부피가 큰 대상 물체에는 IP(Image Plate)를 여러장 덧대어 촬영하는 방법, 좁은 공간에서 공간 확보를 위해 리지드 카세트 없이 IP의 Tube면을 빛으로부터 보호하여 촬영하는 방법, DR 시스템과 로봇을 연계한 원거리 촬영 방법 등을 상황에 맞게 활용하여 소중한 인명과 재산을 폭발물의 위협으로부터 보호하고 아울러 EOD요원의 안전을 확보해야 할 것이다