

# IT융합 UVC대역 코로나방전 영상검출 기술 개발에 관한 연구

정경열 | 한국기계연구원

## [요약문]

본 연구에서는 전력설비의 절연성능을 주간에도 육안으로 확인할 수 있도록 태양광에서 지구에 도달하지 못하는 UVC 파장대역을 선택적으로 투과한 코로나 영상과 방전 횟수를 보여주는 시스템을 개발하였다. 선택적인 파장대역을 투과하기 위해 광학계를 개발하였고 광증폭기를 거쳐 나오는 코로나 방전 영상과 가시광 영상을 동시에 확인할 수 있는 영상합성 및 제어를 개발하여 휴대하기 편리한 코로나 방전 영상시스템을 구축하였다.

## 1. 서론

일반적으로 고전압 이상 전력설비의 아크방전, 단락 등의 사고는 항복전압에 도달한 절연상태가 깨지면서 발생하고 있으며, 급작스런 기계적·물리적 원인에 의한 사고 이외의 제품 결함 및 시공 불량, 환경 조건 등의 영향에 의해 발생하기도 한다. 이러한 선로, 애자 등과 같은 전력설비와 절연체에 인접한 공기의 절연이 부분적으로 파괴되어 빛과 잡음을 내는 현상을 송배전 및 수변전 시설의 코로나 방전 현상이라 한다.

기존 코로나 검출장치는 초음파를 측정하여 확인하는 방법이며 안테나와 증폭장치 등이 있었으나, 대상물의 코로나 발생 위치를 정확하게 분석할 수 없으며, 검사자의 주관에 따라 영역을 약간만 벗어나도 코로나 검출이 실패할 수도 있는 단점이 있다. 그러나 최근에 선진국에서 개발된 자외선을 검출하여 영상으로 보여주는 코로나 카메라는 코로나 방전현상 검출의 신기술로 인식되어 확대 보급되고 있는 실정이다.

아래의 표 1은 기존의 코로나 측정 장비의 장단점을 비교하여 나타낸 것이다. 표에서도 알 수 있듯이 기존에는 초음파, UHF 안테나 등이 주를 이루었으며, 대상물의 위치에서 정확한 사고 발생 지점을 찾기는 매우 어려웠다. 반면에 자외선 검출장치를 이용하면 이러한 단점을 쉽게 극복할 수 있다. 가장 큰 특징으로는 사고 발생지점을 정확하게 확인할 수 있으며, 전문가가 아니더라도 쉽게 이해하고 접근할 수 있는 이미지 분석이 가능하다는 것이다. 또한 자연계에서 방출되는 자외선 영역이 아니라 코로나 발생시에만 나타나는 자외선 영역 중 특정대역을 검출함으로써 획기적으로 노이즈를 없앨 수 있다는 장점을 가지고 있다<sup>[1], [2]</sup>.

표 1. 코로나 측정장비의 장단점 비교

구분	초음파, UHF안테나	자외선 검출
코로나 검출대상	초음파, 전자파	자외선
대상물 위치	광범위, 개괄적	정확한 위치검출
분석 방법	사용자의 주관	이미지 판독으로 객관성 확보
노이즈	환경에 민감	UVC 자외선 검출로 거의없음
활용성	전력설비 전반	전력설비와 주변 시설의 영향 포함



자외선 코로나 진단장비는 태양에서 방출되는 자연적인 자외선 범위를 벗어난 것으로 노이즈를 최소화 할 수 있고, 불꽃방전 이전 상황을 검출함으로써 사고발생추이를 주기적으로 점검할 수 있다는 장점이 있다. 아래의 그림 1은 코로나 검출장비의 개념도를 나타낸 것이다.

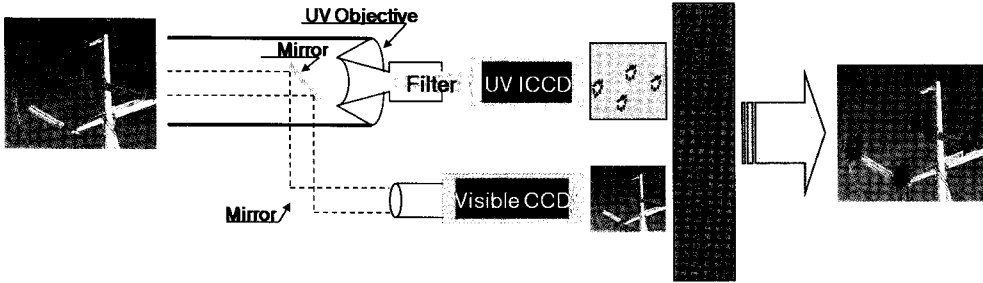


그림 1. UV대역 코로나방전 검출장비의 개념도

또한 자외선 코로나 진단장비를 사용하면 일정한 공간 내에서 코로나의 발생 횟수를 측정할 수 있다. 자외선의 양을 정량화할 수 있으며 액정 화면에 나타나는 이미지를 실화상, 자외선 이미지, 자외선 이미지와 실화상을 동시에 나타나게 하는 기능을 가지고 있어 이와 같은 장비를 사용하면 쉽게 하루 중 어느 시간대나 어떤 날씨 조건에도 송전 설비 곳곳에서 발생하는 방전 현상을 원거리에서 발견할 수 있어 원거리에서도 전력설비의 상태를 점검하는 것이 가능해진다. 통상적인 탐지 방법은 장비 유형에 따라 지상 순찰, 차량 탑재, 항공기 장착에 의한 측정방법 등이 활용된다. 그림 2는 코로나방전 현상을 촬영한 사진이다.<sup>[6]</sup>

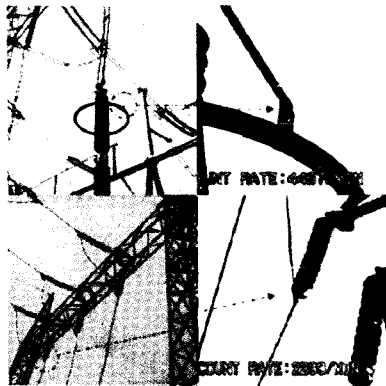


그림 2. 코로나방전 현상

## 2. 코로나 영상검출 UV 광학계

육안으로 코로나 방전의 시각적 관측은 어렵다. 그 이유는 코로나 방전은 대부분의 자외선 스펙트럼 범위에서 매우 약한 방사에너지를 방출하기 때문에 한 낮에 육안으로 볼 수 없고, 어두운 밤에는 관측할 수 있다. 하지만 코로나 방전은 특정시간에만 발생하지 않기 때문에 상시 적용할 수 있는 시스템이 필요하다. 빛을 파장에 따라 분류하면 크

가시광선, 적외선 및 자외선으로 분류할 수 있는데 지구상의 태양 복사 측정 자료를 보면, 대기권에 도달하는 에너지는 대부분 가시광선 영역으로 되어 있음을 알 수 있다. 코로나 방전은 230~405nm 파장 대역의 자외선을 방출하게 되며 코로나 영상검출 광학계는 230~280nm의 파장대역에 있는 자외선 영역을 검출하게 된다. 아래의 그림 3은 Solar Blind Filter의 코로나 방전 탐지영역을 나타낸 것이다<sup>[4],[5]</sup>.

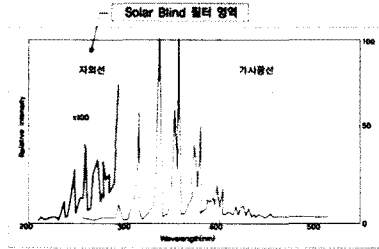


그림 3. Solar Blind Filter 와 태양 복사

코로나 방전이 발생하는 UVC 영역의 파장대역은 240~280nm의 아주 좁은 영역이다. 이 파장대역을 넘어서는 태양광에 대해 필터 처리를 하게 되면 UV 카메라를 통해 얻어지는 결과물을 코로나 방전 이미지로 한정할 수 있으며 태양광 간섭은 거의 무시할 수 있는 양이 된다. 따라서 아래 그림 4, 5와 6에 나타낸 스펙트럼 특성을 갖는 코팅처리한 흡수필터 3장을 조합하여 UVC대역만 선택적으로 투과시킴으로써 노이즈를 제거하고 원하는 코로나 방전영상을 얻을 수 있다.

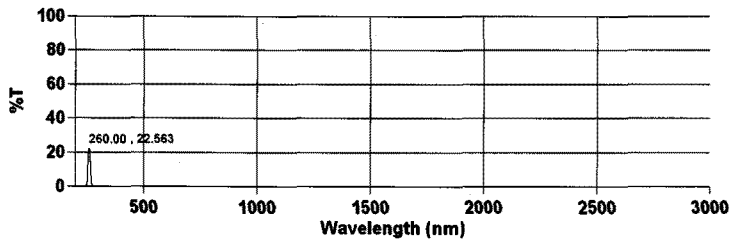


그림 4. 흡수 Filter Coated #1

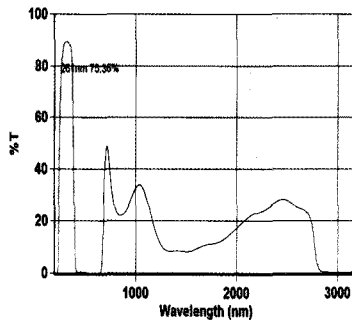


그림 5. 흡수 Filter Coated #2

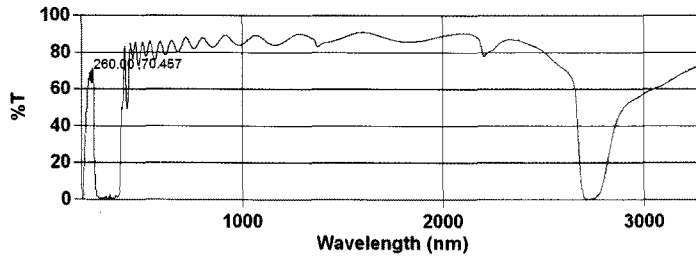


그림 6. 흡수 Filter Coated #3

그림 7은 최종 제작한 코로나 영상검출장비의 UVC대역 선택적 투과필터와 스펙트로포토미터를 사용하여 측정된 결과 값이다.

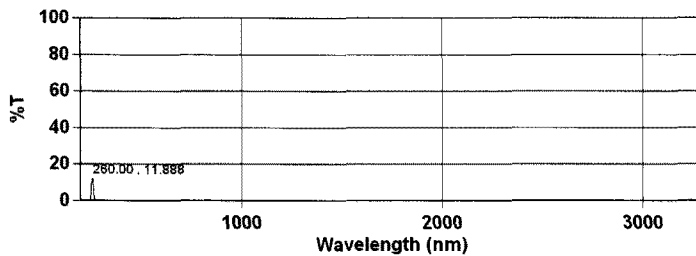
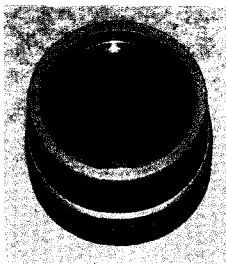


그림 7. Solar Blind Filter Module

그러나 Solar Blind 대역의 신호를 검출하기 위해서는 일반적으로 광 증폭장치(MCP intensifier, Micro Channel Plate)를 사용해야 한다. 지상에 도달하는 태양광에는 UVC 영역의 빛이 존재하지 않으므로, Solar Blind 대역의 신호를 검출할 때 태양광에 의한 노이즈 신호가 발생하지 않기 때문에 UVC 대역투과 필터를 통과한 미세한 양의 광 에너지를 광 증폭장치를 사용하여 높은 감도로 코로나 방전 영상신호 검출이 가능하다. 그림 8에서와 같이 UV 광학계의 광학렌즈 모듈은 240~280nm 파장의 UVC 영역의 빛을 통과시키기 위해 모듈 전단에 UV 필터가 설치되어 있으며 자외선 광학계를 통해 Focusing 된 빛이 UV 광 증폭장치를 거쳐 센서에 결상된다. 이렇게 UV 광학계를 통하여 센서에 결상된 영상을 가지 광 카메라의 영상과 합성해 코로나 방전영상을 검출하게 된다.

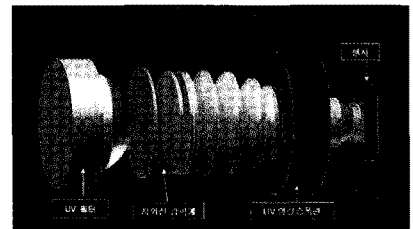


그림 8. UV 광학계

### 3. 컨트롤 시스템 구성

#### 3.1 영상검출장치 설계 및 구성도

코로나방전 영상검출 시스템은 송전선로 상에서 발생 가능한 코로나 현상을 포착하여 정확한 위치를 확인함으로써 전력선의 이상 유무를 확인하고 사고를 미연에 방지하고자 하는 것이다. 갑작스런 코로나 방전으로 인한 전력 손실 및 혼란을 최소화하고 진단 기술을 국산화함으로써 전력 유통에 대한 국제 경쟁력을 확보할 수 있도록 하며, 외산 장비의 수입대체 효과로 인한 비용절감을 기대할 수 있도록 한다.

그림 9는 메인회로를 구성하기 위한 컨트롤 시스템의 구성도이다. 진단장비가 기본적으로 지녀야 하는 VGA급 이

상의 영상을 30fps의 속도로 인코딩, 디코딩, 영상합성, Spot Counting 등의 기능을 수행하기 위해서는 영상처리 속도가 매우 빠른 영상처리 전용 칩을 선정해야 한다. 영상처리의 신뢰성과 안전성을 높이고 메인 프로세서의 부담을 줄이기 위하여 메인 프로세서 두 개를 사용함으로써 역할을 분담하여 기능을 구현하고자 하였다. 먼저 DSP A는 영상합성과 Spot Count 그리고 ISP(Image Signal Processor)를 위한 드라이버 제공으로 그 역할을 한정하였으며, DSP B는 전체적인 시스템을 관리하며 파일 인코딩, 디코딩, 메모리관리, 인터페이스 드라이버제공 등의 역할을 수행하도록 하였다. 이와 같은 구성에 의하여 Visible 광학계를 통해 CCD에 결상된 일반영상과 UV광학계를 통해 형성된 코로나 이미지는 DSP A에서 합성되며 합성된 영상은 DSP B에 의하여 SD카드에 파일로 저장되거나 Ethernet을 거쳐 PC로 보내지게 된다.

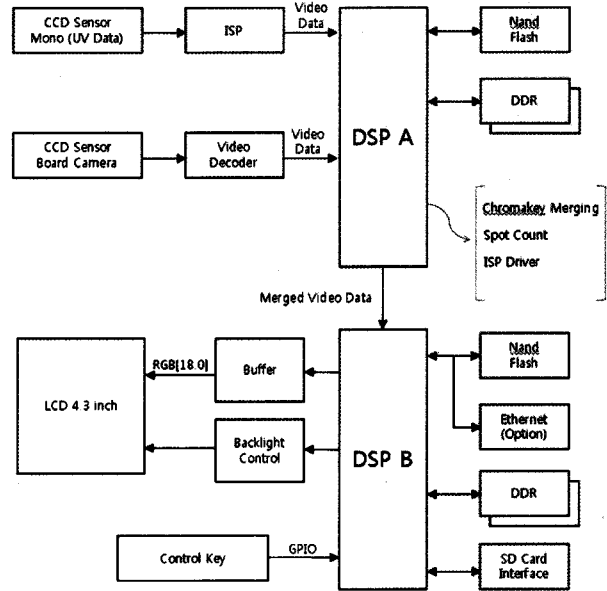


그림 9. 코로나 진단시스템 컨트롤 시스템 구성도

### 3.2 메인 프로세서의 선정

#### 3.2.1 DSP A(다빈치 TMS320DM648)<sup>[6]</sup>

DM648은 DDR2-533 메모리 인터페이스를 갖추고 있으며, 다섯 개의 16비트 비디오 포트를 제공한다. 또한 512KB의 L2캐쉬 및 스위치를 갖춘 2개의 이더넷 MAC를 제공하며, DM647은 256KB의 L2캐쉬 및 1개의 이더넷 MAC포트로 구성되어 있다. 추가된 비디오 포트 덕분에 두 개의 영상을 합성하기 위한 별도의 멀티플렉서가 필요 없으며 온칩 비디오, 이미징 프로세서, 비디오 포트를 통합한 SGMII 비디오 시스템을 주요 구성요소로 가지고 있다. DM648 프로세서는 기존의 영상처리 프로세서보다 성능이 2배 향상되었고 C64x+ 코어는 20% 향상된 사이클 성능과 20~30% 향상된 코드 밀도를 제공하며, 사이클 당 16비트 MMAC의 2배, EDMA 대역폭의 4배를 제공하며, C64x코어와 100% 코드 호환된다. DM648의 클럭 속도 증가 및 고속 H.264 프로세싱이 가능한 것은 통합형 VICP(Video and Imaging Coprocessor)를 내부에 보유하고 있어 DSP의 하드웨어적 기반을 가지고 있기 때문이다. 그림 10은 DM648 프로세서의 기능을 요약한 구성도 및 보드사진이다.

#### 3.2.2 DSP B(다빈치 TMS320DM365)<sup>[6]</sup>

그림 11은 DM355 프로세서의 기능을 요약한 Block Diagram과 DM355 프로세서로써 통합형 비디오처리 서브시스템과 MPEG4와 JPG처리를 위한 프로세서(MJCP) 그리고 ARM9코어 및 주변장치로 구성되며 최대640MHz의 DSP처리속도와 720p 및 초당 30 프레임의 HD MPEG-4 인코딩 및 디코딩, 초당 50메가 픽셀의 JPEG 인코딩 및 디코딩 성능을 제공한다. DM355프로세서의 장점은 소비전력이 550mW 이하(720p, DRAM 포함)로 매우 적고 ISP를 내장하고 있기 때문에 디코더를 빼고 바로 센서에 연결할 수가 있어서 비용을 줄일 수 있으며 ISP와 내부 프로세서를 이용한 효율적인 비디오 분석이 가능하다.

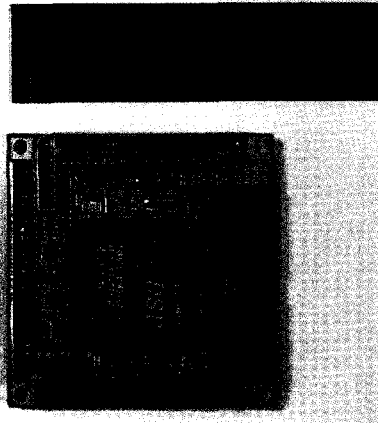
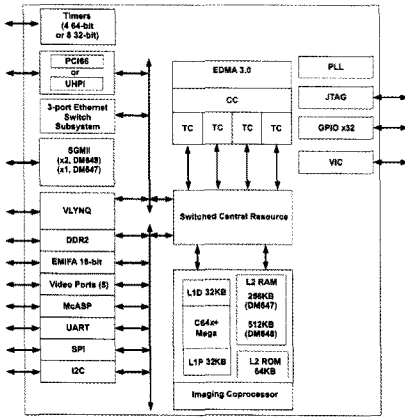


그림 10. DM648 프로세서 구성도 및 보드

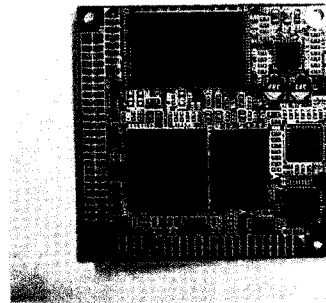
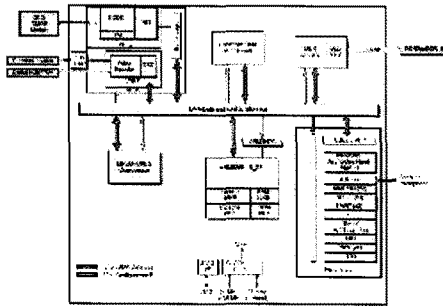


그림 11. DM355 Processor의 기능을 요약한 Block Diagram 및 DM355 보드 제작

### 3.2.3 통합 메인보드

그림 12는 개발한 통합 메인보드의 구성도이다. CCD Connector Board와 CCD Video Converter Board는 CCD Board로 통합되었으며 ISP Control, 비디오 프로세싱, Chroma-key Merging으로 메인보드에서 담당하게 된다. MCP Control은 Power Supply Board에서 담당하며 Auto-focusing을 위한 DC Motor Driving Board가 추가되었다.

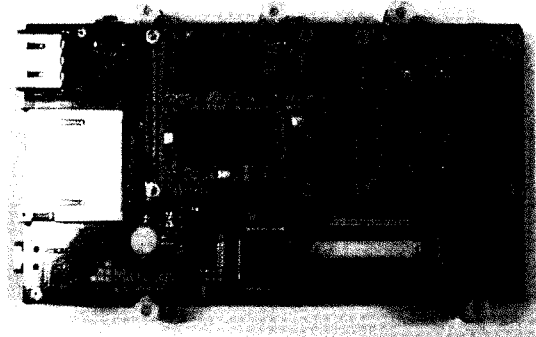
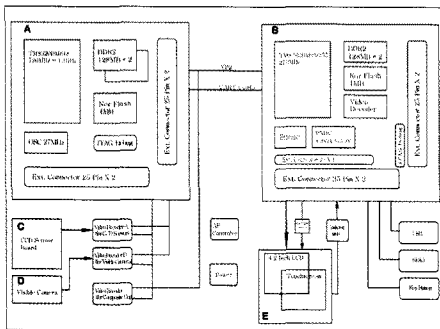


그림 12. 통합 메인보드

### 3.3 기능 구현 메커니즘

#### 3.3.1 AUTO-FOCUSING

UV카메라의 위치제어 시스템은 모터 축의 각도 및 각속도 변화를 엔코더가 감지하여 목표치에 도달하도록 Feed-back 하는 DC모터와 엔코더 및 모터의 회전을 직선운동으로 바꾸어 주는 기어박스에 의해 변위량을 결정하는 방식으로 에러발생시 대물렌즈의 이탈을 방지하기 위한 리미트 센서가 필요하다.

여기에 사용된 부품은 Gearhead와 모터, 엔코더가 일체화된 Brushed방식의 DC모터이다. 그림 13은 모터 구조에서 모터축의 각도변화를 감지하고 이를 제어함으로써 AUTO-FOCUSING에 활용할 수 있는지를 나타내는 구성도를 나타내고 있다. 시스템은 DSP에 의해 통제되며 DSP의 전류공급 명령에 의해 Current Controller에서 파워 앰프를 통해 모터에 전류가 공급되면 모터는 회전력을 얻고 회전수와 각도가 엔코더에 전달되며 이 값은 Position Decoder에 의해 DSP에 피드백 되게 구현되었다. DSP는 목표값 대비 전달되는 정보를 수치로 환산하여 비교한 뒤 적절히 전류 값을 조절토록 함으로써 모터를 이용한 위치제어가 가능하다.

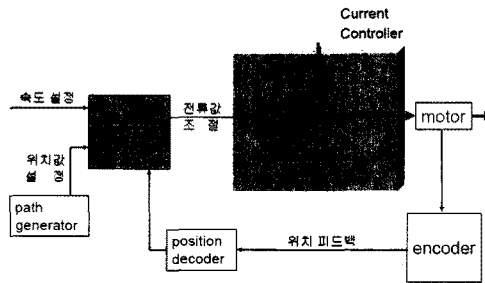


그림 13. 위치제어 구성도

## 4. CCD 영상처리

코로나 방전의 정확한 위치 확인을 위해 가시대역 카메라 모듈로부터 얻은 영상과 UV CCD 카메라로부터 얻은 자외선대역의 영상을 촬영하여 크로마키 영상합성 기법을 사용하였다. 가시대역 카메라 모듈은 Sony사의 상용모델 FCBEX 480C를 사용하였다. 이 카메라는 초당 30 프레임의 속도로 영상을 촬영하여, TVP5150 Video Decoder를 거쳐 DM648 DSP의 입력으로 영상을 출력한다. 이러한 가시대역 카메라의 신호 흐름은 그림 14와 같다.

UV CCD 카메라 모듈은 Sony 1/2 Inch Sensor를 사용한 CXA1310 ISP를 사용하였다. UV CCD 카메라를 통해 촬영된 UV 이미지는 NTSC 아날로그로 출력된 뒤, TVP5150 Video Decoder 통해 ITU656 Format 디지털 이미지로 변환되어 출력되며 DM648로 입력된다. UV CCD 카메라의 신호 흐름은 그림 15와 같다. DM648은 앞서 설명한 바와 같이 Chroma-key Merging 및 Spot Count와 Auto Focusing을 수행하는데 Auto Focusing을 위한 모터 구동부에 전진 및 후진을 통해 가장 높은 주파수를 찾아 Focusing을 한다.

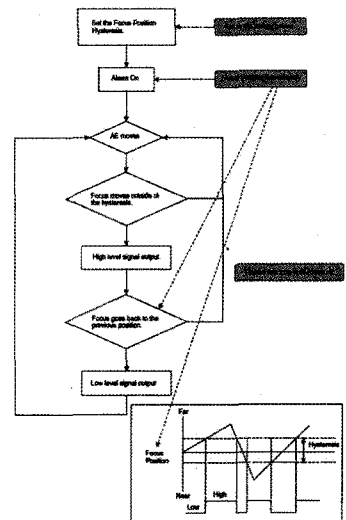


그림 14. 가시대역 카메라 신호제어 흐름도

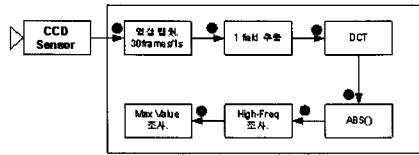


그림 15. UV CCD 신호 제어 흐름도

사용된 영상합성 방법은 기존의 하드웨어적 영상합성기법을 벗어나 크로마키라는 소프트웨어적인 방법을 사용하였다<sup>[7]</sup>. UV 대역 영상과 가시광대역 영상을 합성하는 크로마키 합성의 신호 흐름은 그림 16과 같다.

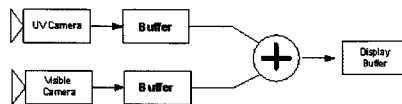


그림 16. 크로마키 합성 신호 흐름도

영상 합성을 위하여 적용한 크로마키 영상합성 기술은 UV CCD 카메라로부터 받은 영상신호의 Black/White Level을 나누어 일정 값 이하의 Gray 및 Black 픽셀의 정보를 없앤 뒤, White 픽셀 정보만을 취합하여 가시대역 카메라 이미지와 합성하는 방법이다. 그림 17은 두 카메라의 영상을 합성한 Test 영상이다.



그림 17. UV CCD와 가시대역 카메라의 합성 영상

이러한 영상처리에 있어서 소프트웨어 방식을 사용함으로써 발생할 수 있는 처리속도 저하를 보완하기 위하여 앞에서 설명한 바와 같이 TI사의 DM648, DM355 두 개의 고성능 DSP를 사용하였다<sup>[6]</sup>. DM648은 UV CCD와 가시대역 카메라로부터 획득한 영상의 크로마키합성과 spot counting, auto focusing 등을 담당한다. DM648에서는 크로마키 기법을 통해 영상을 합성하고, 흰색 픽셀의 픽셀수를 카운트해 분 단위 평균값으로 spot counting을 한다. 또한 Auto Focusing을 위해 지정된 이미지 영역(이미지 중앙의 32\*32 픽셀)의 주파수를 분석한 뒤 모터를 구동하여 가장 높은 주파수 위치를 찾아 초점을 맞춘다. DM355는 Video Processing 역할을 담당한다. 이렇게 처리된 영상은 TFT LCD로의 출력되며, 처리과정은 그림 18과 같다.



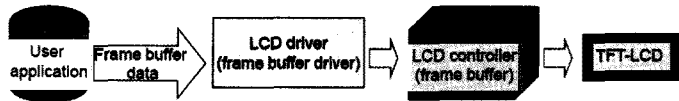


그림 18. TFT-LCD 신호 흐름도

DM355는 DM648로부터 전달받은 영상을 TFT LCD로 출력해준다. 또한 Porting된 임베디드 리눅스에 SD 카드, USB 디바이스 드라이버를 추가하여 영상을 저장할 수 있게 해준다. 저장되는 영상은 MPEG4를 사용하기 때문에 별도의 플레이어 없이도 호환이 가능하다. 이와 같은 DSP들은 적은 메모리를 갖춘 환경에서 대용량 저장 매체 없이 부팅할 수 있도록 고안된 임베디드 리눅스를 Porting하여 구동할 수 있다<sup>[6]</sup>. 또한 리눅스는 Open source 방식이기 때문에 확장성이 좋아 별다른 하드웨어적 변경 없이 장비의 성능 향상이 가능하다.

## 5. 결 론

본 원고에서는 전력설비의 효율적인 유지보수, 신뢰성 증대를 위하여 IT융합 UVC대역 코로나방전 영상검출 기술 개발에 관하여 기술하였다. 기존에는 기능을 하드웨어적으로 구성함으로써 장비의 가격이 고가이고 부피가 컸으며, 유지 및 보수에 어려움이 발생하였다. 코로나 진단장비가 자동차나 항공기에 장착되어 촬영 및 운영될 수도 있지만, 직접 사용자가 손에 들고 코로나 방전현상을 촬영하는 경우가 많으므로 가능하면 컨트롤 보드의 크기를 소형화하여 운반 및 운영에 편의성을 부여하도록 한다. 이런 부분들에 대해서 하드웨어적인 부분뿐만 아니라 소프트웨어적으로 변경함으로써 보완 하였다. DM648, DM355와 같이 고성능이면서도 크기가 작은 칩들을 활용하여 많은 기능들을 구축, 보완하는 방법은 장비의 크기를 줄여 휴대성을 증가시킬 수 있으며, 개발된 프로그램을 다운로드만 해주면 되므로 장비의 가격 경쟁력 면에서도 큰 도움이 될 수 있을 것이다. 기기의 소형화는 향후 소형 휴대용 기기로도 시장이 확대되고 있으므로 소형 휴대용 진단장비 개발시 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 유지 보수 측면에서도 소프트웨어의 변경만으로도 쉽게 처리할 수 있고, 장비의 성능을 업그레이드하는 데에도 편리성을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## ❁ 참고 문헌

- [1] 김종민 외 2명, 조명·전기설비학회지 제21권 제5호, “코로나방전 탐지기술과 수변전설비의 검출사례 분석”, 2007.
- [2] ZANG Cunuyan 외 6명, IEEE “Research on Mechanism and Ultraviolet Imaging of Corona Discharge of Electric Device Faults”, 2008.
- [3] <http://www.ofilsystems.com/>
- [4] 최형준, 대한전기학회 “전기 설비 및 송배전 분야의 부분방전과 코로나 탐지”, 2006년.
- [5] 정경열 외 3명, 한국마린엔지니어링학회 “코로나 방전 검출을 위한 영상 처리 기술에 관한 연구”, 2009.
- [6] <http://www.ti.com/>
- [7] Rafael G. Gonzalez, Richard E, woods, “Digital Image Processing”, Addison Wesley
- [8] Zhengyu Chen 외 2, Automation Congress, “Research of UV detection System Based on Embedded Computer” 2008.



정 경 열

- 한국기계연구원 그린환경에너지기술연구본부
- 플랜트안전신뢰성연구실 책임연구원
- 관심분야 : IT융합기술, 에너지플랜트
- E-mail : kychung@kimm.re.kr

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로  
한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(No. R-2007-1-156)