

고속 컬러 이미징 솔루션을 제공하는 Trilinear 카메라

높은 컬러 품질, 높은 속도, 낮은 비용 등을 특징으로 하는 trilinear color 카메라는 자동 광학 검사(AOI:Automatic Optical Inspection)을 위한 Line scan 컬러 이미징에서 매력적인 가격대성능비를 제공합니다.

고속 컬러 이미징

고속 컬러 이미징은 머신 비전 시스템에서 중요한 역할을 합니다. 일부 개체는 그레이 스케일 흑백 이미징에서 거의 구별할 수 없습니다. CCD(charge-coupled device) 또는 CMOS(complementary metal oxide semiconductor) 이미지 센서를 사용하는 산업용 Line scan 컬러 카메라는 인쇄 검사, 스캔 확인, 전자 제품 제조, 식품 분류, 교통안전 등과 같은 여러 애플리케이션에서 사용되었습니다. 이미징 기술을 선택할 때 항상 성능 및 비용에 대한 요구 사항을 먼저 고려해야 합니다.

Line scan 컬러 이미징

Area scan 카메라와 달리 Line scan 카메라는 2 차원 이미지를 형성하기 위해 한번에 1 개 Line 만 캡처합니다. 실리콘 이미지 센서는 자체적으로 파장을 구별할 수 없으므로 이미지 센서가 캡처하기 전에 R(red), G(green), B(blue) 등 컬러 밴드는 분리해야 합니다. 오늘날 사용되는 3 개의 주요 기술로는 3Chip, Trilinear, Bilinear 등이 있습니다. (그림 1 참조)

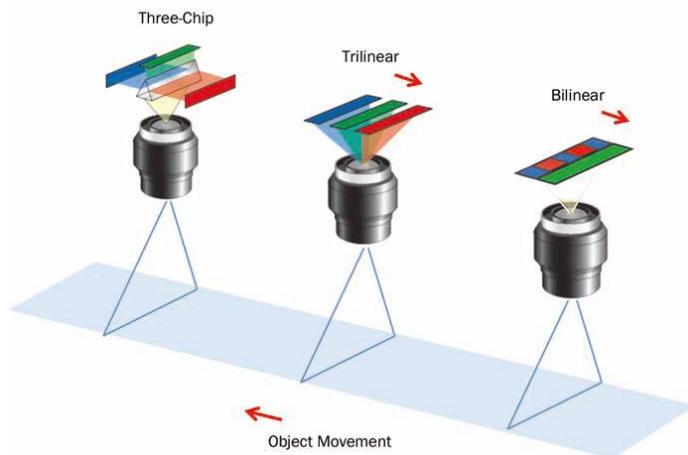


그림 1. LINE-SCAN 컬러 이미징 기술: 3CHIP, TRILINEAR, BILINEAR

풀 컬러 이미지를 재구성하기 위해 TRILINEAR 기술에서는 공간 보정(SPATIAL CORRECTION) 기술이 필요합니다. BILINEAR 기술은 최소 공간 보정 기술만 필요합니다.

표 1: 컬러 기술 비교

	3Chip	Trilinear	Bilinear
컬러 분리	간섭 빔 스플리터	흡수 염료 또는 색소	흡수 염료 또는 색소
광학 렌즈	특수 렌즈	표준 렌즈	표준 렌즈
공간 보정	X	O	O (최소)
픽셀당 기본 색상	RGB	RGB	RG/BG
이미지 품질	가장 좋음	가장 좋음	좋음
비용	높음	중간	낮음

3Chip 카메라

3CCD 또는 3CMOS 등과 같은 3Chip Line-scan 카메라는 프리즘 기반 다이크로닉 빔 스플리터로 RGB 컬러¹를 분리합니다. 파장 분리를 위한 광학 간섭을 사용하고, 필터 라인 모양은 일반적으로 평탄 특성(flat response) 및 급격하게 감소(sharp drop-off)하는 특성을 가집니다. 3개 센서에서 캡처된 RGB 이미지가 결합된 후 컬러 이미지가 복원됩니다. 공통 광축으로 RGB 컬러는 이동 개체를 공통된 위치에서 캡처됩니다. 이로써, 이 기술의 Color registration²을 향상하고, 평평하지 않은 표면, 회전물, 낙화물 등을 검사할 수 있습니다.

3Chip Line scan 카메라의 단점은 비싼 카메라 비용과 더 비싼 광학 렌즈의 필요성입니다. 프리즘이 백 포컬 시프트(back-focal shift) 및 수차를 발생시키기 때문에 카메라는 특수 설계된 렌즈가 있어야 합니다. 3Chip 카메라의 바디는 프리즘 및 이미지 센서 3개를 포함해야 하므로 일반적으로 큼니다.

Trilinear 카메라

대부분 애플리케이션은 실리콘 다이 상에 제조된 각 R, G, B 채널 등 3개의 Linear 배열을 사용하는 Trilinear 기술을 채택합니다. 동작 중 각 배열은 동시에 원색 중 하나를 캡처하지만 이동하는 개체는 약간 다른 위치를 캡처합니다. 컬러 필터는 실리콘 웨이퍼에 코팅된 흡착 염료 또는 안료입니다. Line scan 이미징은 일반적으로 집중 조명을 필요로 하므로 컬러 필터는 높은 내광성 (7~8 단위)을 가져야 합니다. 색상을 악화시키지 않기 위해 최대 250°C의 열 안정성이 중요합니다.

풀 컬러 이미지로 컬러 채널 3개를 결합하려면 일반적으로 첫 번째 및 두 번째 배열을 세 번째로 일치시키는 버퍼링을 하는 공간 보정을 참조하여 공간 분리를 보상해야 합니다. Trilinear 기술은 카메라 디자인을 단순화기 때문에 높은 이미지 품질을 제공하며 작은 크기를 가집니다. 또한, 표준 렌즈로 시스템 수준의 비용을 줄일 수 있습니다.

Color Trilinear CCD 카메라는 오늘날 고속 애플리케이션에서 사용되고 있습니다. 새로운 Color Trilinear CMOS 카메라는 해상도의 저하없이 속도를 향상합니다. 최신 디자인에서는 Quantum efficiency 또한 상당히 향상되었습니다. (그림 2)

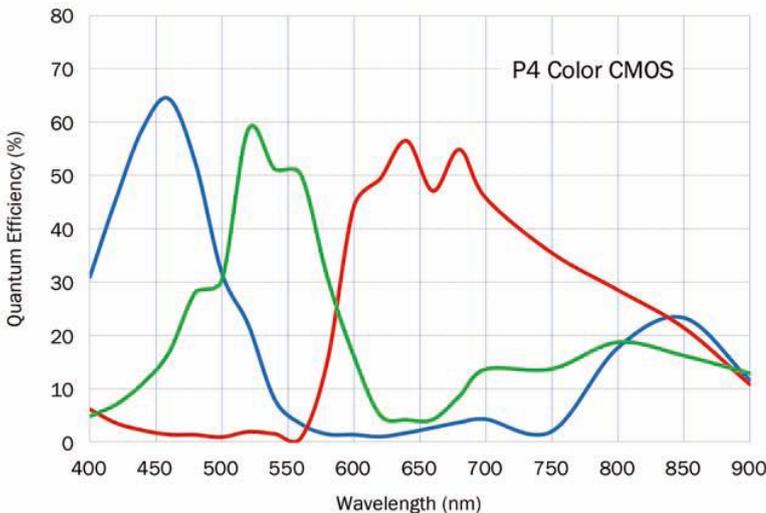


그림 2. PIRANHA4 COLOR CMOS 카메라의 QUANTUM EFFICIENCY는 기존 PIRANHA COLOR CCD 카메라보다 크게 향상되었습니다. 특히, BLUE의 효율은 65% 더 높습니다.

¹ RGB 컬러: 빨강(red), 초록(green), 파랑(blue)의 약어

² Color registration: 컬러 카메라에서 완전한 컬러 이미지를 생성하기 위해 3개의 원색 이미지를 올바르게 겹치게 하는 것



그림 3. PIRANHA COLOR TRILINEAR 카메라로 캡처한 지폐 이미지 (A) vs 3CHIP 카메라로 캡처한 지폐 이미지 (B)

TRILINEAR 카메라는 3CHIP 카메라보다 더 나은 컬러 품질을 실제로 얻을 수 있습니다.

이미지 품질 관련: 그림 3a 및 3b는 Trilinear 카메라 및 3Chip 카메라로 촬영된 지폐의 한 부분을 나타냅니다. 우수한 컬러 충실도로 자세하게 이미지를 캡처할 수 있기 때문에 Trilinear 기술은 전 세계적으로 많은 지폐 검사 시스템에 사용되고 있습니다.

엔비전에서 제공하는 Trinear 카메라

제품명	Resolution	Max. Line Rate	Pixel Size	Interface
Piranha4 Color 4k, 70 kHz	4096 x 3	70.0 kHz	10.56 μm	Camera Link
Piranha4 Color 4k, 40 kHz	4096 x 3	40.0 kHz	10.56 μm	Camera Link
Piranha4 Multispectral 2k, 70 kHz	2048 x 4	70.0 kHz	14.08 μm	Camera Link
Piranha4 Color 2k, 70 kHz	2048 x 3	70.0 kHz	14.08 μm	Camera Link
Piranha4 Color 2k, 40 kHz	2048 x 3	70.0 kHz	14.08 μm	Camera Link
Piranha Color 4k, 17 kHz	4096 x 3	17.6 kHz	14.00 μm	Camera Link
Piranha Color 4k, 12 kHz	4096 x 3	12.1 kHz	14.00 μm	Camera Link
Piranha Color 2k, 32 kHz	2048 x 3	32.3 kHz	14.00 μm	Camera Link
Piranha Color 2k, 22 kHz	2048 x 3	22.7 kHz	14.00 μm	Camera Link

Bilinear 카메라

Bilinear 카메라는 Trilinear 카메라와 많은 장점을 공유하지만, 실리콘 다이 상에 제조된 2개의 Linear 배열만 있습니다. 이 배열은 공간 보정에 대한 필요성을 최소화시키기 위해 바로 옆에 위치합니다. Bilinear 이미지 센서는 픽셀당 2개의 원색만 캡처합니다. 풀 컬러 이미지를 재구성하기 위해 3번째 컬러는 보간되어야 합니다.

공간 크로스토크는 특정 센서 구조로 개선할 수 있습니다. 스펙트럼 크로스토크는 특정 컬러 필터 배열로 감소시킬 수 있습니다. 새로운 Bilinear color CCD 및 CMOS 카메라는 스펙트럼 크로스토크를 줄이기 위해 Bayer 패턴과 다른 RG/BG 컬러 패턴을 사용합니다. (그림 4) 더 적은 스펙트럼 오버랩을 할 수 있기 때문에 R 및 B 채널은 서로 옆에 위치합니다. 또한, 흑백 채널로 사용할 수 있는 100% Fill factor 단일 G 채널을 제공합니다.

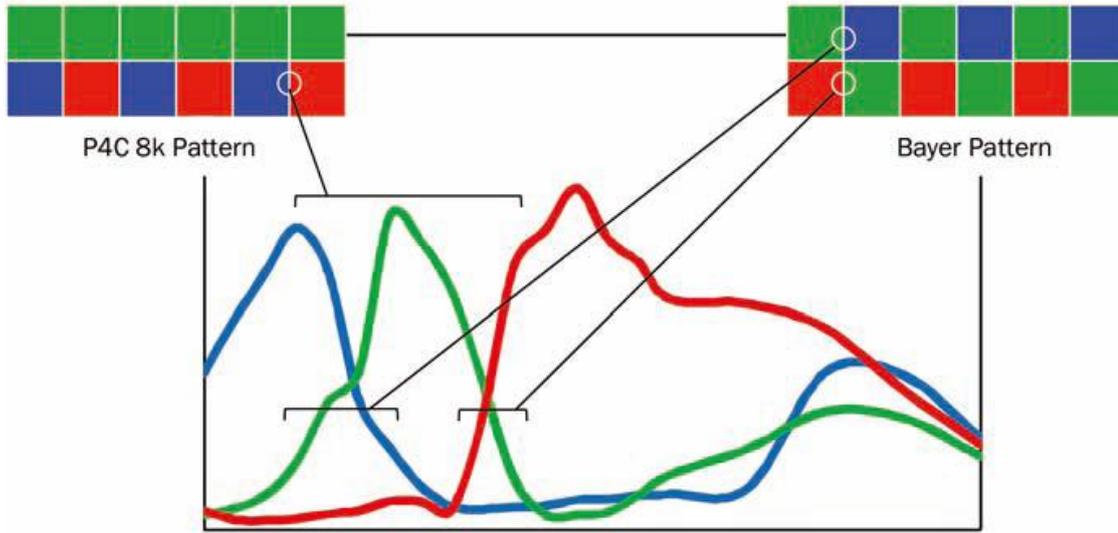


그림 4. BILINEAR 컬러 패턴의 스펙트럼 오버랩 비교: PIRANHA4 COLOR 8K/7MM 카메라는 채널 간 스펙트럼 크로스토크를 최소화하는 독특한 컬러 패턴을 사용하는 동시에 100% FILL FACTOR 단일 GREEN 채널을 제공합니다.

Bilinear 카메라는 Trilinear 카메라보다 더 적은 비용으로 구입할 수 있고, 전자 제품 제조, 식품 검사, 재료 분류 등의 애플리케이션에 적합합니다.

엔비전에서 제공하는 Bilinear 카메라

제품명	Resolution	Max. Line Rate	Pixel Size	Interface
Piranha4 Color 8k, 50 kHz	8192 x 2	50 kHz	7.04 μm	Camera Link
Spyder3 Color 4k, 9 kHz CL	4096 x 2	9 kHz	10 μm	Camera Link
Spyder3 Color 4k, 9 khz GigE	4096 x 2	9 kHz	10 μm	GigE Vision
Spyder3 Color 2k, 18 khz CL	2048 x 2	18 kHz	14 μm	Camera Link
Spyder3 Color 2k, 18 khz GigE	2048 x 2	18 kHz	14 μm	GigE Vision

그림 5a 및 5b 는 Color Bilinear 카메라 및 Color Trilinear 카메라를 사용하여 일부 우표 부분을 나타냅니다. 컬러 필터 패턴은 컬러 충실도를 향상하는 데에 도움이 됩니다.



그림 5. PIRANHA COLOR TRILINEAR 카메라로 캡처한 우표 이미지 (a) vs SPYDER3 COLOR BILINEAR 카메라로 캡처한 지폐 이미지 (b)

서브 픽셀 수준에서 공간 보정

공간 보정은 Trilinear 기술을 사용하여 정확한 컬러 이미지를 얻을 수 있는 핵심입니다. 서브 픽셀 수준으로 미세 조정할 수 있는 고급 기술이 개발되어 있습니다. 그림 6a 에 표시된 바와 같이 3 개의 샘플링 시나리오가 있습니다.

- $d < p/\beta$: 카메라 스캔 속도보다 느린 웹 속도
- $d = p/\beta$: 카메라 스캔 속도와 같은 웹 속도(정방형 픽셀)
- $d > p/\beta$: 카메라 스캔 속도보다 빠른 웹 속도

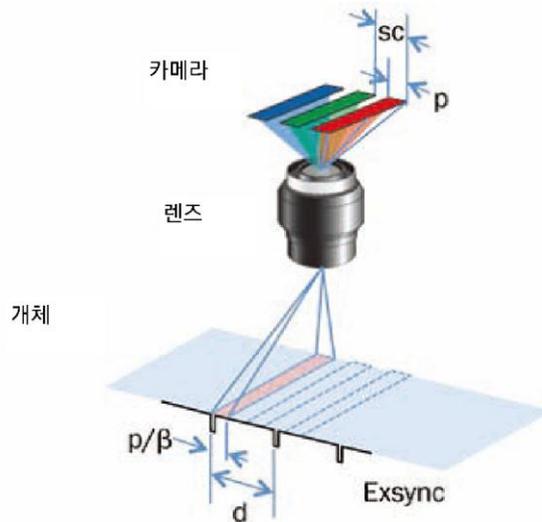


그림 6A. 공간 보정 매개변수 (sc)는 픽셀 샘플 크기 (p/β)와 비교하여 하나의 외부 동기화 기간(d)동안 움직이는 개체의 거리에 따라 달라집니다. 여기서, p 는 카메라의 픽셀 크기이고, β 는 광학 배율입니다.

이러한 시나리오에서 d 는 외부 동기화 기간에서의 개체 움직임, p 는 센서의 픽셀 크기, β 는 광학 배율입니다. p/β 는 개체당 픽셀 샘플 크기입니다.

정방형 픽셀 상황에서 d 는 p/β 와 같습니다. 이 경우 공간 보정은 RGB 배열 간의 Line 간격의 수와 같습니다. 예를 들면, Piranha4 Color 카메라가 공간 보정 수가 3인 정방형 픽셀 샘플링 시나리오에서 동작할 때 RGB 채널 출력을 정렬하기 위해 3개 Line 을 자동으로 지연시킵니다.

하지만 일부 애플리케이션에서, 카메라는 N:1 화면 비율 샘플링으로 동작합니다. 예를 들어, 많은 검사 시스템들은 시스템 처리량을 높이기 위해 웹 속도가 카메라 스캔 속도보다 빠르게 설계되어 있습니다. 이것은 이미지의 비정방형(nonsquare) "압축된" 픽셀을 초래합니다. 반면, 인코더 및 렌즈 배율 등의 제한으로 인해 웹 속도가 카메라의 스캔 속도보다 느릴 수 있습니다. 이것은 이미지의 비정방형(nonsquare) "늘어진" 픽셀을 초래합니다. 비정방형(nonsquare) 픽셀 샘플링에서 정수 3의 공간 보정은 컬러 앨리어싱의 결과로 이어집니다. (그림 6b)

아티팩트 보정

서브 픽셀 공간 보정은 N:1 화면 비율 샘플링에서와 같은 아티팩트를 보정하기 위해 라인 지연의 일부분으로 보상할 수 있습니다. 그림 6b는 서로 다른 샘플링 시나리오의 흑백 바 이미지를 나타냅니다. 여기서, 스캔은 세로 방향으로 이루어졌습니다. 정방향 픽셀의 경우, 공간 보정 매개변수 sc 5.3을 사용하여 이미지를 재구성하였습니다. 비정방향 픽셀 샘플링의 경우, 아티팩트를 보정하기 위해 각각 sc 5.4.3 및 1.73 등과 같은 단편적인 라인 지연이 필요합니다. 서브 픽셀 공간 보정은 또한 카메라에 웹 표면에 수직 각도로 설치되어 있지 않은 곳에서 캡처된 이미지를 보정하고 재구성하는 데 사용될 수 있습니다.

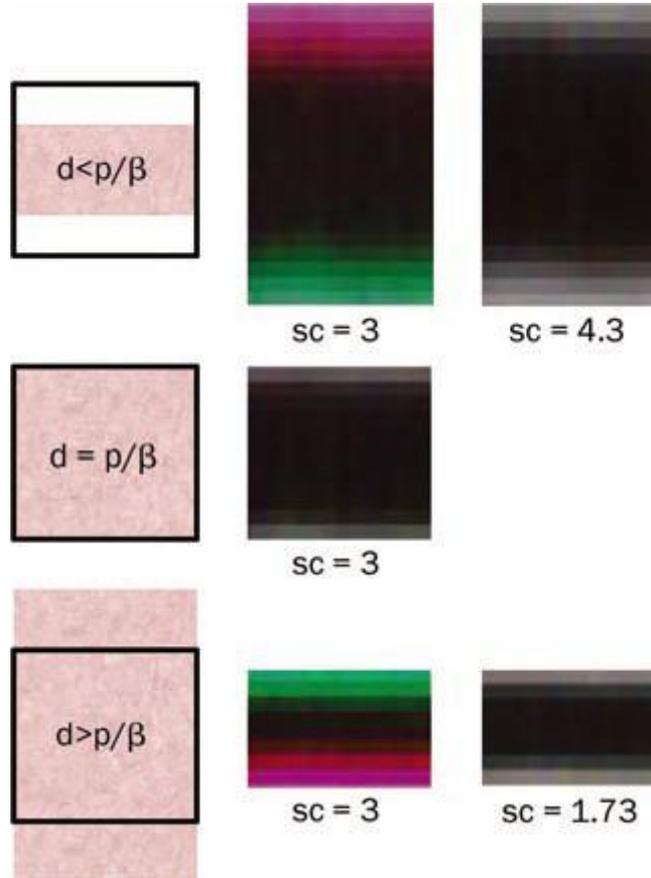


그림 6b. 다양한 샘플링 시나리오 및 공간 보정 매개변수 (sc)와 함께 PIRANHA4 COLOR TRILINEAR 카메라로 촬영된 흑백 바 단편적인 라인 지연은 비정방향 픽셀 샘플링에서 컬러 프린지(COLOR FRINGE)를 보정합니다. 여기서 d 는 p/β 입니다.

렌즈 음영 보정을 하는 동안 고해상도 카메라는 대상의 너무 많은 세부 정보들을 찾아낼 수 있습니다. 예를 들어, 곡물페이퍼에서 문제가 될 수 있습니다. 물리적으로 운영자가 렌즈를 디포커싱하거나 대상을 움직여 이를 방지할 수 있습니다. 하지만 불편할 수 있습니다. 렌즈 또는 대상을 건드리지 않고 "디포커스"할 수 있는 필터로 이 문제를 해결할 수 있습니다. 더 정확한 컬러를 얻기 위해 화이트 밸런스 작업은 대부분 애플리케이션에서 필요합니다. 컬러 보정은 Gretag-Macbeth 차트를 사용하여 수행될 수 있습니다.

자동 광학 검사(AOI: Automatic optical inspection)

가장 까다로운 애플리케이션 중 하나는 100% 인쇄 검사입니다. 지폐, 수표, 화장품 등의 Line scan 검사 및 식약품 포장 검사 등 시스템 대부분은 애플리케이션의 요구 사항에 따라 250 μm 에서부터 50 μm 에 이르기까지의 개체 해상도로 높은 속도를 처리할 수 있도록 설계됩니다. 15 - 50 kHz Line rate 의 4k 해상도는 가장 합당한 선택일 수 있습니다.

그림 7 은 독일 함부르크에 위치한 EyeC GmbH 이 개발한 ProofRunner 450 Press 검사 시스템을 보여줍니다. 이 시스템에서 112 m/min 의 웹 속도와 함께 Teledyne DALSA 의 Piranha Color 4k/10- μm Trilinear 카메라가 17 kHz 속도로 실행되고 450 mm 의 FOV 를 지원합니다. ProofRunner 450 Press 검사 시스템은 라벨, 리플렛, 호일, 패키지, 지폐 등을 위한 100% 인쇄 검사에서 풀 컬러 110 μm 의 개체 해상도로 결함을 검출할 수 있습니다. ProofRunner 450 Press 검사 시스템은 flexo, offset, screen, gravure 등과 같은 인쇄 기계, 변환 기계, 화장품 분류 기계 등과 같은 시스템에 적합합니다. 이 카메라는 또한 대형 인쇄 시스템을 모니터링하고 제어할 수 있습니다.

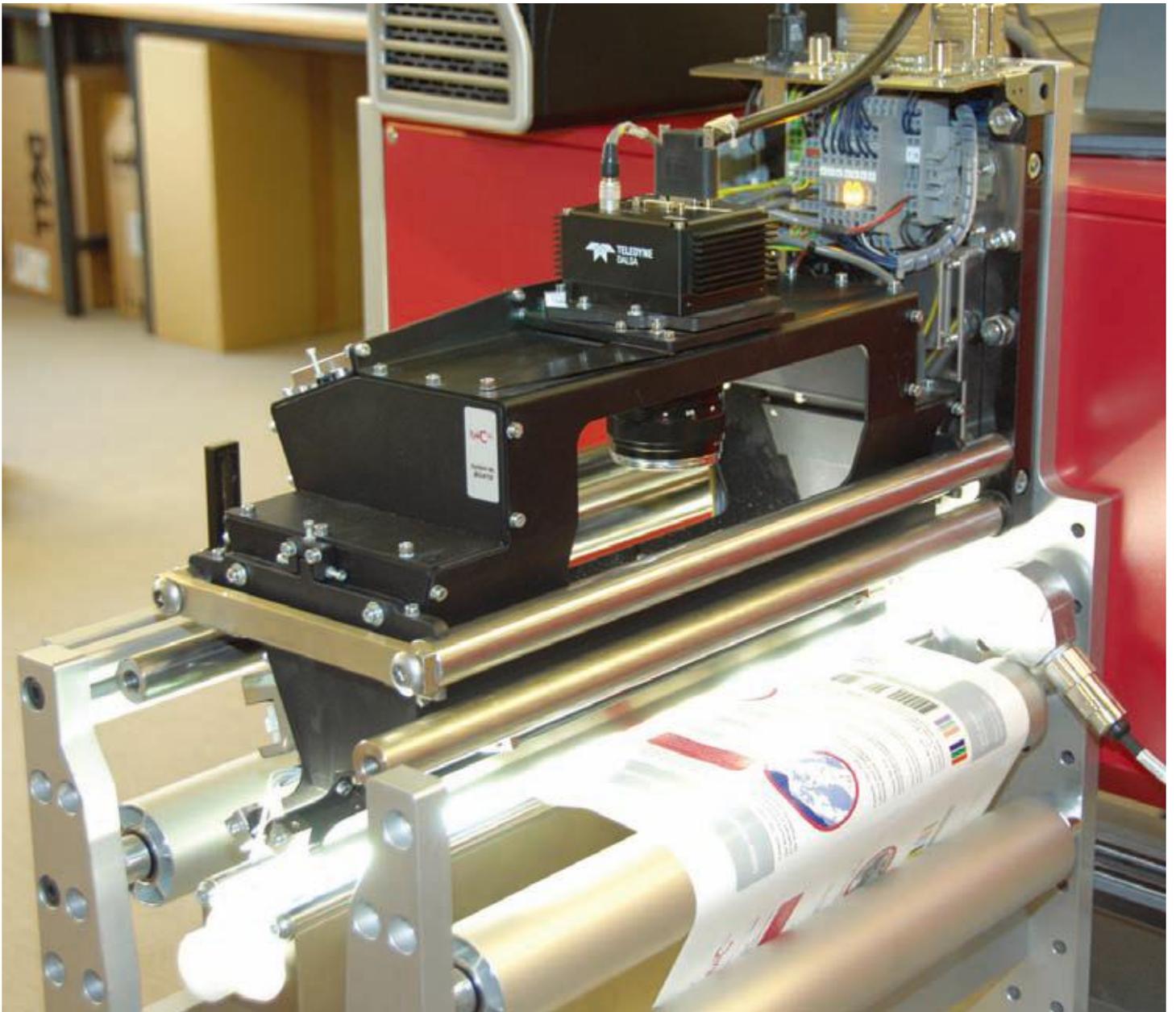


그림 7. 독일의 함부르크에 위치한 EYEC 가 개발한 PROOFRUNNER 450 PRESS 검사 시스템은 풀 컬러로 그래픽 및 텍스트를 100% 인쇄 검사하기 위해 앤비전의 협력사인 TELEDYNE DALSA 의 PIRANHA COLOR 4K/10-MM TRILINEAR 카메라를 사용합니다.



그림 8. 독일의 뷔르프부르크에 위치한 KOENIG & BAUER AG 가 개발한 RAPIDA 145 Press 는 인라인에서 컬러 강도를 측정하고 제어하는 QUALTRONIC COLORCONTROL 장치에서 PIRANHA COLOR 4K 카메라를 사용합니다.

그림 8은 독일 뷔르프부르크에 위치한 Koenig & Bauer AG 의 Rapida 145 press 를 보여줍니다. Rapida 145 press 는 시간당 17,000 매의 속도로 1050 - 1450 mm 의 시트를 인쇄합니다. 동일한 카메라가 인라인에서 컬러 강도를 측정하고 제어하는 QualTronic ColorControl 장치에서 사용됩니다. 카메라가 각 시트를 스캔하고, 이 결과를 10 매마다 한 번씩 ColorTronic 잉크 덕트로 피드백됩니다. 이를 통해, 전반적인 인쇄 과정 중 균일한 이미지 품질을 보장합니다.

미래 동향

시스템 처리량 향상과 같은 요구 사항 때문에 Line scan 카메라의 속도 역시 향상될 것입니다. 최대 70 kHz의 Line rate 및 responsivity 향상 등을 제공하는 Trilinear 카메라는 현재 요구 사항을 가장 잘 충족하는 최신 제품입니다. TDI(time delay integration) 기술¹을 사용하는 컬러 채널당 멀티 라인을 사용하는 카메라는 결국 더 높은 속도의 이미지 센서의 감도를 향상하기 위해 필요할 것입니다.

컬러 TDI 카메라는 가까운 장래에 표준 제품이 될 것으로 예상합니다. 동시에 일반 RGB 채널 사이의 파장, 근적외선 파장 등과 같은 멀티 스펙트럼 이미징 및 가시 스펙트럼을 뛰어넘는 등 컬러 이미징 솔루션은 더 복잡한 디자인으로 진화하고 있어 AOI(automatic optical inspection)에서 검출 능력을 향상할 것입니다. RGB 채널 및 근적외선 채널을 포함하는 단일 칩 기반의 멀티 스펙트럼 카메라가 미래에 훨씬 더 까다로운 요구 사항을 충족할 수 있는 비용 효율적인 솔루션이 될 수 있습니다. 진정으로 독립적인 멀티 스펙트럼 채널을 가지려면 모든 필터가 웨이퍼 레벨에서 코팅되어야 합니다.

더 자세한 내용 또는 문의가 필요하시면 앤비전으로 문의하세요.