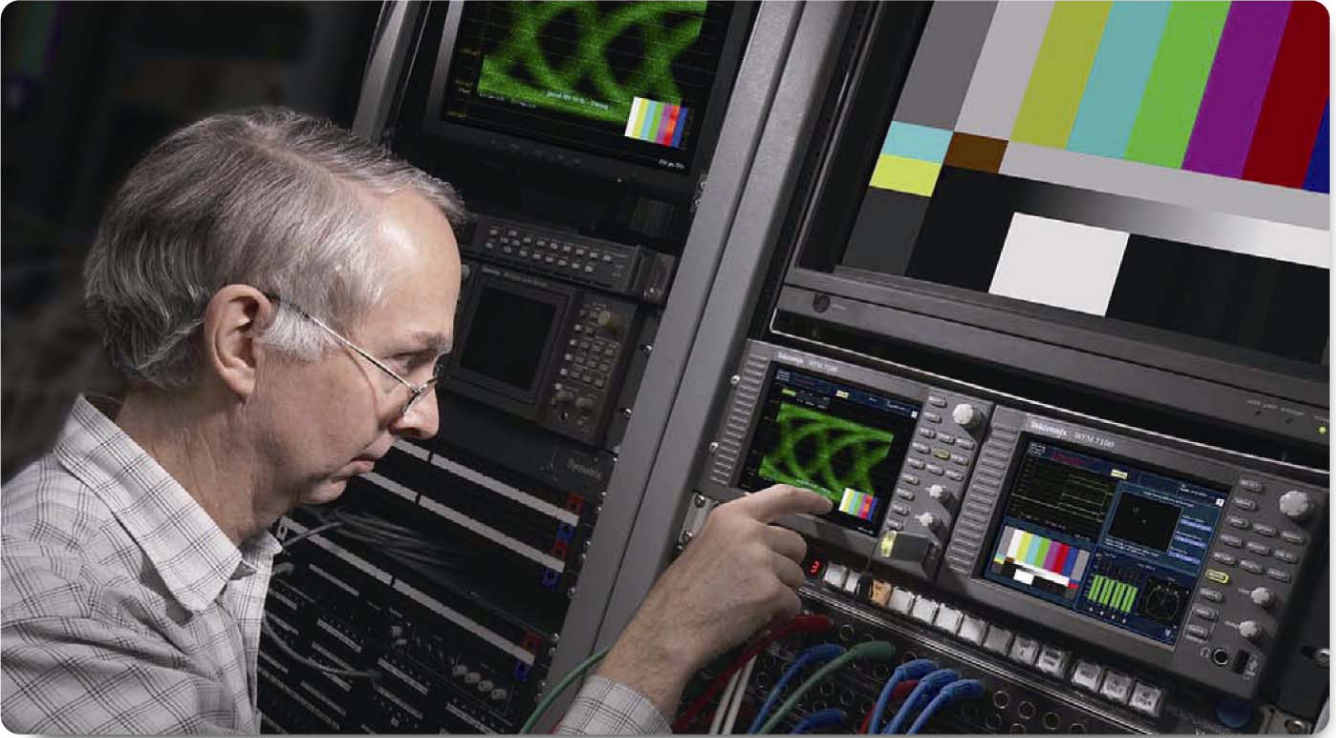


## 직렬 디지털 신호의 물리적 계층 테스트



고해상도(HD)로의 전환 작업은 설비 계획의 초기 단계에서 주의 깊은 기술적 작업이 뒤따를 때 원활하게 진행될 수 있습니다. HD 신호의 높은 데이터 전송 속도에 적합한 올바른 케이블을 선택하는 것은 설비 품질 확보에 중요한 사안입니다. 접힘, 꼬임, 굽힘과 같은 스트레스를 피하도록 주의 깊게 설치된 케이블을 사용하면 HD신호가 A지점에서 B지점으로 쉽게 전송됩니다. 설치 도중의 간단한 테스트와 측정 과정을 통해 각 링크의 성능과, 장비 각 부분의 성능을 보장할 수 있습니다. 이와 같이 아이 및 지터 측정 성능을 갖춘 파형 모니터는 SDI 신호의 물리적 계층 문제를 탐구하는 데 있어 매우 중요한 역할을 하는 도구입니다.

### 케이블

케이블 형식마다 케이블의 특정한 길이를 통과해 디지털 신호를 전파시키는 물리적 속성이 다릅니다. 케이블 생산업체는 케이블을 통한 HD 및 SD-SDI 신호 전송 시 사용되는 최대 권장 거리의 사양을

제공할 수 있습니다. SD(270Mb/s) 및 HD(1.5Gb/s) 데이터 전송속도에 모두 사용되는 공통 케이블 형식과 권장되는 전송 거리 중 몇 가지가 표 1에 나와 있습니다.

케이블 형식	HD-SDI		SD-SDI	
	피트	미터	피트	미터
Belden 8281	260	79	1000	305
Belden 1694A	370	113	1360	415
Belden1855A	210	64	750	229
Belden 1505A	300	91	1110	338
Image 1000	384	117	1325	404
Canare L-5CFB			1210(최대)	368

▶ 표1. 공통 케이블 형식 및 권장 케이블 길이

사용할 케이블 형식의 선택과 케이블의 올바른 설치에 영향을 미치는 요소에는 다음과 같은 것이 있습니다.

- ▶ 케이블이 사용될 환경에 적합한 케이블의 온도 등급
- ▶ 설치 시 사용되는 BNC 커넥터 형식의 선택에 영향을 미치는 케이블의 물리적 치수
- ▶ 설치 중 허용되는 구부림 반경 및 인장력에 영향을 미치는 케이블의 굵기
- ▶ 설치 후, 케이블에 스트레스가 가해질 수 있기 때문에 고려해야 하는 케이블과 여러 케이블 묶음의 무게
- ▶ 케이블 가닥에서 케이블을 지지하는 데 사용되며 케이블을 충분히 지지할 수 있는 기계적 부착물

시스템의 상태를 양호하게 유지하기 위해서는 케이블 설치 때에 케이블을 주의 깊게 취급하는 것이 중요합니다. HD는 SD-SDI 신호보다 훨씬 더 까다롭기 때문에, 물리적으로는 눈에 보이지 않더라도 설치 과정 도중 시스템의 신호 품질 폭에 영향을 미칠 수 있는 케이블 스트레스가 발생할 수 있습니다. 만약 누군가 케이블을 밟거나 장비 카트를 케이블 위로 지나가게 하면, 케이블의 외형이 왜곡될 수 있으며 비록 눈에 보이는 손상이 없더라도 케이블의 전송 속성에 영향을 줄 수 있습니다. 케이블을 드럼에서 풀 때는 꼬임이 없도록 하는 것이 중요합니다. 꼬임은 신호의 전송 시에 반사를 일으킬 수 있기 때문입니다.

케이블 설치란 흔히 케이블을 다양한 덕트 및 가닥들 사이로 밀어 넣는 것을 의미합니다. 케이블은 천천히 안정적으로 밀어 넣어야 합니다. 케이블을 급하게 다루거나 최대 인장력을 초과하면 케이블이 늘어나거나 왜곡됩니다. 아무런 시각적 손상이 나타나지 않더라도,

케이블의 물리적 속성이 변하여 성능 저하를 초래할 수 있습니다. 많은 가닥 사이로 여러 개의 케이블을 밀어 넣을 때는 케이블 피복 물질과 호환되는 마찰 방지용 윤활제를 사용해야 합니다.

케이블의 경로를 변경하기 위하여 특정한 물체 주위로 케이블을 구부려야 할 때도 있습니다. 케이블 형식마다 최소 구부림 반경이 다른데, 일반적으로는 케이블 직경의 10배입니다. 이 구부림 반경을 초과하면 케이블에 스트레스를 가하면서 스트레스 및 케이블의 속성에 대한 물리적 변화가 일어날 수 있습니다. 케이블을 90° 구부리는 것은 신호의 물리적 경로에 30ft. 길이의 케이블을 추가하는 것과 같다는 것에 주의하십시오.

많은 케이블이 랙으로 묶여 있거나 케이블 지지 트레이에 담겨 있습니다. 케이블의 묶음이 크면 중량이 커지면서 각 케이블이 서로에게 큰 스트레스로 작용하여 왜곡을 초래할 수 있습니다. 설치 시 케이블의 늘어짐은 8인치를 넘어서는 안 되며 그 이상은 케이블의 왜곡을 일으킬 수 있습니다. 케이블을 그룹화할 때 시스템 통합자는 J축이나 케이블 타이를 사용할 때가 많습니다. 묶음 속에서 케이블을 움직일 수 없다면 케이블이 너무 단단하게 묶였다고 보면 됩니다. 케이블 타이나 J축의 간격도 중요합니다. 균형과 깔끔한 외관을 위해 대부분의 사람들은 케이블 타이 또는 J 축을 동일한 간격으로 위치시키는데, 이렇게 하면 주어진 파장의 변형으로 이어져 시스템 내에서 반사 손실의 저하가 누적될 수 있습니다.

따라서 케이블 타이는 임의의 거리를 두고 위치시키며 묶음 내에서 케이블의 움직임이 허용되어야 합니다.

케이블을 장비에 연결할 때는 케이블 그룹화와, 장비의 지정된 입력에 도달하기 위해 케이블을 구부리는 행동이 케이블에 스트레스를 가할 수 있다는 사실에 주의해야 합니다. 시간이 갈수록 커넥터가 커넥터와 커넥터 사이에 적합하지 않은 접촉을 일으킬 수 있다는 사실도 기억해야 합니다. 케이블을 장비에 연결할 때 다시 한번 주의를 기울여야 합니다. 시스템 통합자는 구부림 반지름과 다른 케이블의 무게가 케이블이나 커넥터에 스트레스를 주지 않는지 확인해야 합니다. 이러한 모든 측정 작업은 케이블 본래의 물리적 외형을 유지시켜 주고, 최적의 성능을 보장하는 케이블의 속성을 유지하는 데 도움이 됩니다.

### 스트레스 테스트(Stress Testing)

비교적 완만하게 점차적으로 누화되는 아날로그 시스템과는 달리, 디지털 시스템은 장애가 발생할 때까지 아무런 오류 없이 작동할 때가 많습니다. 현재까지는 SDI 신호의 헤드룸을 측정하는 작동 중 테스트가 존재하지 않습니다. 시스템 작동을 평가하기 위해서는 작동 중지 스트레스 테스트를 수행해야 합니다. 스트레스 테스트는 오류가 발생할 때까지 디지털 신호의 매개변수를 한 개 이상 변경하는 식으로 수행됩니다. 오류 발생에 필요한 변경사항의 총계로 시스템의 헤드룸을 측정할 수 있습니다.

시스템에 스트레스를 가하는 가장 쉬운 방법은 오류가 시작될 때까지 적절한 직렬 디지털 비디오 표준(SMPTE 259M 또는 SMPTE292M)내의 사양부터 시작하여 케이블을 하나씩 추가하는 것입니다. 비디오를 디지털 데이터 스트림으로 인코딩했더라도, SDI 신호 자체는 아직 아날로그 성질을 띠므로 감쇠 및 위상 변화와 같은 아날로그 왜곡의 형식으로 손상을 입는다는 사실에 주의하십시오.

이러한 왜곡을 보상하기 위하여 적응형 케이블 이퀄라이저를 수신 장비의 부품들 내에 사용합니다. 이 장치는 감쇠 및 케이블의 주파수 응답 성능 손실로 인한 신호 손실 및 신호의 위상 변화를 보상합니다. 시스템의 케이블 길이를 늘이는 방법으로 수신기 특성, 특히 자동 이퀄라이저 범위 및 노이즈 성능을 평가할 수 있습니다.

이러한 시험 결과는 케이블 길이 테스트이지만, 실제 작동을 나타내므로 특히 다음 단락에서 설명하는 SDI 검사 필드 신호와 연계되어 사용되는 경우 가장 의미 있는 스트레스 시험이 됩니다.

다른 테스트로는 진폭이나 상승 시간의 변경, 노이즈나 지터를 신호에 추가하는 방법도 있습니다. 증폭 변경 및 지터 추가를 처리하는 수신기 성능을 측정하는 스트레스 테스트는 장비를 평가하고 채택하는 데 유용하지만 시스템 작동 면에서 큰 의미를 지니지는 않습니다. (송신기에서의 신호 진폭 측정 및 시스템 내 다양한 지점에서의 지터 측정은 작동 테스트에서는 중요하지만 스트레스 테스트에서는 그렇지 않습니다.) 적정 범위 내에서의 노이즈 추가나 상승 시간 변경이 디지털 시스템에서 미치는 영향은 미미하여 스트레스 테스트에서는 중요하지 않습니다.

### 케이블 길이 스트레스 테스트

시스템에 헤드룸을 제공하는 가장 좋은 방법은 시스템의 각 링크에서 케이블의 길이를 늘린 후 그 작동을 검증하는 방법입니다. 케이블 길이 스트레스 테스트는 실제 동축 케이블, 또는 케이블 시뮬레이터를 이용하여 수행될 수 있습니다. SD-SDI 시스템용 텍트로닉스 TSG601은 50m 케이블 시뮬레이터를, HD-SDI 애플리케이션용 TG2000 HDST1 모듈은 다양한 HD-SDI 스트레스 테스트 매개변수(진폭, 지터 및 듀티 사이클)에 따른 20m 및 100m 케이블 시뮬레이터를 모두 제공합니다.

적절한 헤드룸을 제공하기 위해 시스템에 추가하는 케이블의 길이 결정은 다소 임의적입니다. SD-SDI 시스템에서, 일본의 ARIB 표준은 자체 기관에 의해 수행된 테스트에 근거하여 케이블 길이를 40m로 정의하고 있습니다. TSG601을 사용하면 50m 케이블 시뮬레이터가 SD 애플리케이션에 사용됩니다. 현재로서는 HD시스템에 대한 권장 표준은 없으므로, 가장 좋은 방법은 HD시스템에 대해서는 링크마다 케이블을 20m 늘리고 SD(Standard Definition)에서는 링크마다 50m 늘려 링크 시스템마다 헤드룸을 추가하는 것입니다.

계측해야 할 핵심 매개변수는 총돌 지점을 알려주는 오류 발생입니다. 오류 측정 방법을 사용하는 경우, 계측 품질은 오류 곡선의 굴곡부가 갖는 분리도에 의해 결정됩니다. 이 때, 아이 및 지터 디스플레이를 모니터하는 계측 장비를 사용하면 신호의 물리적 계측 품질을 결정할 수 있습니다.

## 임상 시험 신호

### 인코더 스크램블

#### ▶ 그림 1. SDI 검사 필드 "임상 시험 신호"

### SDI 검사 필드

SDI 검사 필드("임상 신호")는 전체 필드 테스트 신호이므로 작동 중지 상태로 수행되어야 합니다. 이것은 직렬 디지털 시스템에서는 다루기 어려운 신호로서, 반드시 테스트를 실시해야 합니다. SDI 검사 필드는 스크램블된 후, 필드의 분리된 두 개 부분에서 저주파 에너지에 대한 가장 불량한 패턴 데이터를 생성하도록 지정됩니다. 통계적으로, 이러한 간격은 프레임당 한번 발생합니다.

SDI 검사 필드는 19개의 0과 한 개의 1(또는 19개의 1과 한 개의 0)으로 이루어진 스크램블된 NRZI(Non-Return to Zero Inverted) 시퀀스를 생성함으로써 이퀄라이저 작동을 테스트합니다. 이는 필드당 대략 한번, 주파수 변환기가 요구되는 시작 조건에 도달하는 형식으로 발생하며 발생시 전체 라인에 대해 지속되고 EAV 패킷에 의해 종단됩니다. 이 시퀀스는 신호를 처리하는 장비 및 변환 시스템의 아날로그 성능에 스트레스를 가하는 높은 DC 컴포넌트를 만들어 냅니다. 테스트 신호의 이 부분은 그림 표시의 맨 아랫부분에 회색의 형식으로 나타날 수 있으며 110h까지의 Luma 세트와 200h까지의 양쪽 Chroma 채널 세트를 갖습니다.

SDI 검사 필드 신호의 다른 부분은 위상 잠금 루프 성능을 검사하기 위한 것입니다. 이 검사는 20개의 0과 20개의 1로 구성된 스크램블 NRZI로 구성된 임시 라인으로 수행됩니다. 여기서 클럭 추출을 위한 제로 교차점의 개수가 최소입니다. 테스트 신호의 이 부분은 그림 표시의 맨 아랫부분에 회색의 형식으로 나타날 수 있으며 110h까지의 Luma 세트와 200h까지의 양쪽 Chroma 채널 세트를 갖습니다.

몇몇 테스트 신호 생성기는 서로 다른 디지털 값 순서를 사용하기도 하며, 마젠타 색상 대신 녹색의 음영을 갖는 그림 표시를 사용하기도 합니다. 수신

장치들은 SDI 검사 필드 테스트 신호를 오류없이 처리할 수 있어야 합니다. SDI 검사 필드는 컴포넌트 디지털에 대해서는 완전하게 적절한 신호이지만 컴포지트 영역에서는 그렇지 않습니다. SDI 검사 필드는 SD에 대해서는 SMPTE 권장 실행 RP178, HD에 대해서는 RP198으로 정의되어 있습니다.

### CRC 오류 테스트

주기적 중복 검사(CRC: Cyclic Redundancy Check)는 조작자에게 정보를 제공하거나 데이터가 제대로 도착하지 않았을 때 외부에 알려주는 용도로 사용될 수 있습니다. HD 형식에서 Chroma와 Luma 컴포넌트에 대해 분리된 값을 갖는 고유의 CRC 쌍이 각 비디오 라인 내에 존재하며 표준 해상도 형식에서는 각 필드에 선택적으로 삽입될 수 있습니다. 하나의 CRC가 계산되고 데이터 신호에 삽입되어 수신 종단 시 새롭게 계산된 CRC와 비교됩니다.

표준 해상도 형식에서는 스위치 포인트 후에 수직 간격 안으로 CRC값이 삽입됩니다. SMPTE RP165는 SD 비디오 형식에서의 선택적인 감지 및 데이터 오류 처리를 위한 방법을 정의합니다. 전체 필드 및 Active Picture 데이터는 개별적으로 검사되어 16비트의 CRC워드가 각 필드마다 생성됩니다. 전체 필드 검사는 수직 간격 스위칭을 위해 유보된 라인(525라인 표준에서 라인 9-11, 625라인 표준에서 5-7라인)을 제외한 모든 데이터 전송에 적용됩니다. Active Picture 검사는 SAV 및 EAV 사이의 활성 비디오 데이터 워드에만 적용됩니다(자체는 포함하지 않음). 활성 비디오의 절반 라인(half-line)은 Active Picture 검사에 포함되지 않습니다. 디지털 모니터는 CRC 값 및 CRC 오류 경고를 모두 표시할 수 있습니다.



▶ 그림 2. HD SDI 신호의 CRC오류를 보여주는 표준 디스플레이



▶ 그림 3. 아이 디스플레이를 보여주는 WFM7100 파형 모니터

HD 형식을 위한 CRC는 EAV 및 라인 번호 워드를 따르도록 SMPTE 292M에 정의되어 있습니다. 따라서 CRC 검사는 기본적으로 라인별로 적용됩니다. WVR 시리즈 또는 WFM6100/WFM7000 시리즈와 같은 파형 모니터는 그림 2와 같이 비디오 세션 상태 디스플레이 안에서 이 데이터를 표시하며 필드마다 필드 상의 오류 숫자를 보고합니다. 따라서 사용자는 전송 경로를 따라 수신된 오류 개수를 모니터링할 수 있습니다.

이론적으로, 장비는 무오류 전송 경로를 표시하기 위해 오류 숫자 0을 표시합니다. 오류 개수가 증가하기 시작하면, 증가하는 오류에 주의를 기울이게 됩니다. 오류가 한 시간 또는 일 분마다 증가한다면 시스템이 디지털 클리프(Digital Cliff)에 가까워지고 있다는 표시이므로 엔지니어는 시스템이 디지털 클리프에 도달하기 전에 오류의 원인을 알아내고자 전송 경로를 검사해야 합니다. 시스템이 디지털 클리프에 도달하면 문제를 해결하기 더 어려워지기 때문입니다.



▶ 그림 4. 아이 디스플레이의 전개

시각적인 오류는 픽처 모니터에서 먼저 감지되는데, 수신기가 데이터를 정확하게 회복시킬 수 없을 때 검정 및 흰색 픽셀의 드롭아웃이 밝게 빛나는 효과로 나타납니다. 신호가 누화되면 라인들의 전체, 또는 일부가 픽처 디스플레이로부터 누락되기 시작하다가 픽처가 멈추거나 검은화면으로 전환됩니다. 이 지점에서는 신호의 전송이 디지털 클리프를 넘은 것입니다. 이러한 상황을 방지하기 위해서는 물리적 계층의 건전성을 모니터링해야 합니다.

### 아이 및 지터의 모니터링

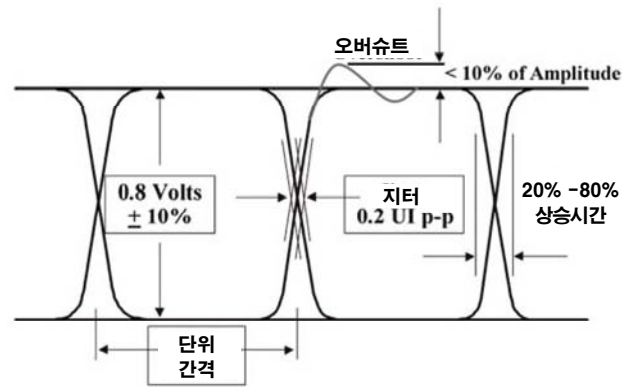
WFM7100(그림 3) 및 WFM6100 파형 모니터는 SDI 신호의 물리적 계층을 모니터링할 수 있는 텍트로닉스의 최신 계측 장비입니다. WFM7100 플랫폼으로는 HD 및 SD 디지털 신호를, WFM6100 플랫폼으로는 SD 신호를 모니터링할 수 있습니다. 이 2개 장비에는 모두 사용자가 SDI 신호의 아이 디스플레이를 볼 수 있는 아이(EYE) 옵션을 추가할 수 있습니다. 엔지니어는 직렬 데이터를 분석하고 문제를 진단하기 위해 일반적으로 이 아이 도표를 사용하는데, 아이 디스플레이의 특징과 친숙해지면 SDI신호의 경로 내에서 문제가 무엇인지 결정하는 데 도움이 될 수 있습니다.

아이 패턴은 데이터를 전송하는 아날로그 신호를 오실로스코프에 표시한 것입니다. 오류 없이 클럭 및 실시간 데이터를 생성하기 위해서는 수신기로 신호의 High와 Low를 신뢰성 있게 감지해야 합니다.

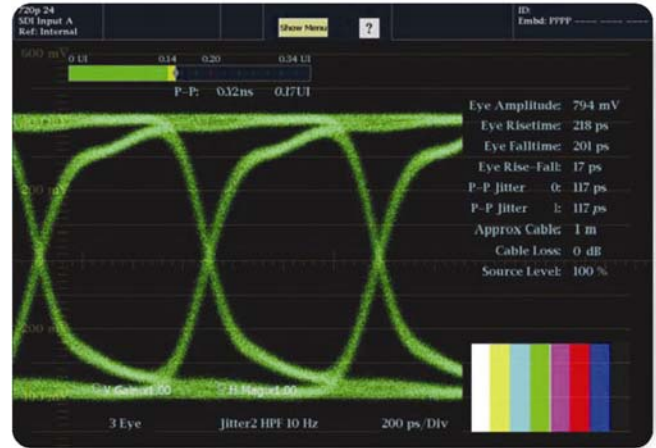
아이 도표를 만들려면, 장비로 참조 클럭 신호를 사용하는 동시에 샘플링된 구획을 정렬합니다. 이 참조 클럭은 파형 모니터 내의 데이터 신호로부터 추출됩니다. 계측 장비는 이 데이터 스트림을 동시 샘플링하고 이 샘플들의 구획을 취하여 아이 도표를 재구성합니다. 샘플 데이터의 이러한 세그먼트는 충분히 계층화되며, 그림 4에 보여지는 바와 같이 아이 디스플레이가 구성됩니다.

## 직렬 디지털 신호의 물리적 계층 테스트

### ▶ 애플리케이션 노트



▶ 그림 5. 아이 계측 사양



▶ 그림 6. 자동화된 아이 계측

	SD	HD
진폭	800mv +/- 10%	800mv +/- 10%
오버슈트	진폭의 10%	진폭의 10%
상승/하강 시간	0.4ns이상 1.50ns이하. 0.5ns 이상 차이가 나면 안 됨	270ps미만, 100ps이상 차이가 나면 안 됨.
지터 타이밍(10Hz)	0.2UI (740ps)	1.0UI(1.485Gb/s에서 673.4ps)(1.4835Gb/s에서 674ps)
지터 정렬	1kHz에서 0.2UI(740ps)	100kHz에서 0.2UI(135ps)

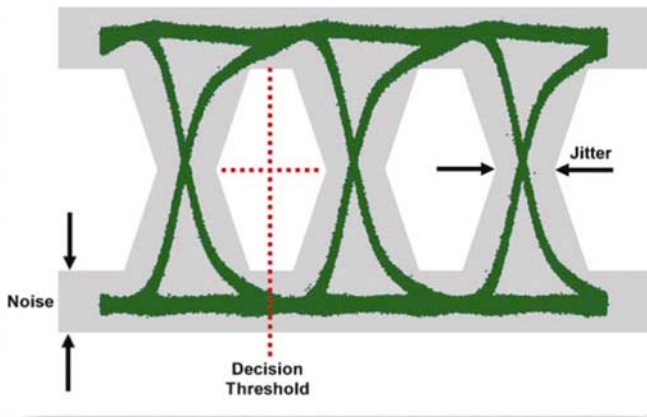
▶ 표 2. 아이(Eye) 사양

아이 패턴 디스플레이 사용시 계측되는 기본 변수로는 신호 진폭, 오버슈트, 상승시간 및 하강시간이 있습니다. 클럭 복구 대역폭을 신중하게 지정한 경우에는 아이 패턴 디스플레이를 사용하여 지터를 계측할 수도 있습니다. SMPTE 표준(SMPTE 259M, 292M 및 RP184)은 이러한 변수 및 장비의 탑재 진폭에 대한 사양을 정의합니다. 이러한 사양은 표 2 및 그림 5에 요약되어 있습니다. 시험 장치 및 계측 장비 사이에는 고품질의 짧은 케이블(일반적으로 1m/3ft.)을 사용하는 것이 좋습니다. 이러한 경우에는 노이즈 효과 및 주파수 롤오프를 무시할 수 있습니다. 장치는 스트레스 없는 테스트 신호인 컬러 바 신호 패턴을 생성해야 합니다.

두 개의 인접한 전이 사이의 시간 간격은 클럭 주파수의 역수인 유닛 간격(UI)로 참조됩니다. 유닛 간격은 디지털 컴포넌트 525/625에서 3.7ns (SMPTE 259M) 및 673.4ps (1.485Gb/s), 또는 디지털 고해상도 형식에서 674ps(1.4835Gb/s) (SMPTE 292M)입니다.

파형 모니터에서 아이 디스플레이를 볼 때, 커서를 사용하여 장비에서 이러한 계측을 수행할 수 있습니다.

한가지 어려운 점은 사용자가 이러한 계측을 약간 다른 지점에서 수행할 수 있다는 점인데, 이는 샘플링 과정 및 신호내의 노이즈로 인해 실제 계측 위치를 결정하는 것이 어렵기 때문입니다. 이 때 일관성을 유지하기 위해 파형 모니터는 해당 계측을 자동으로 수행하여 정밀한 반복 계측을 제공할 수 있습니다. WFM6100 및 WFM7100의 옵션(PHY)이 이러한 성능을 자랑합니다(그림 6).



▶ 그림 7. 아이 결정 임계값

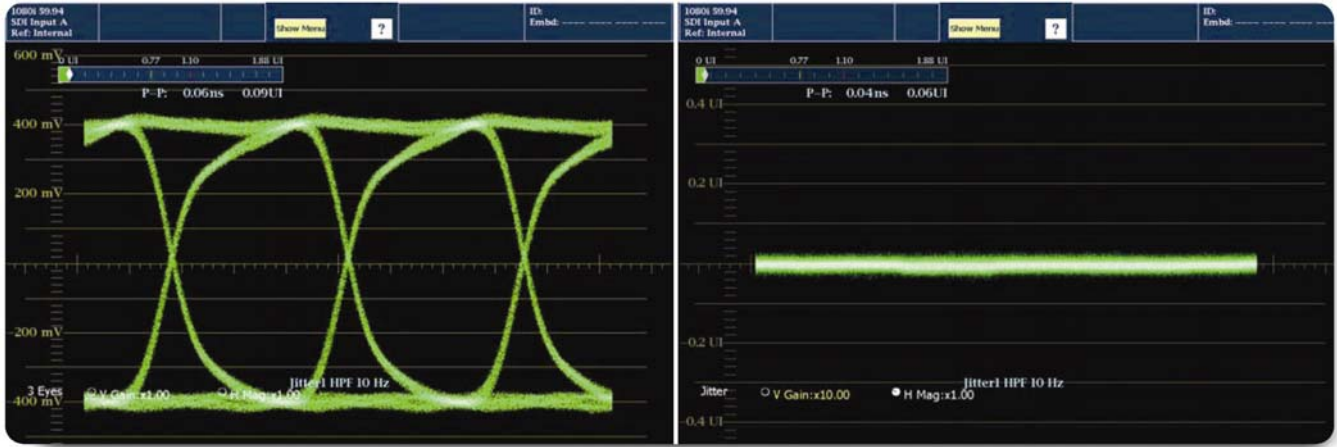
직렬 수신기는 결정 임계값(그림 7)에서 신호가 각 아이의 중심보다 "높은지", "낮은지"를 결정하고 이에 따라 전송되는 직렬 데이터 비트를 감지합니다. 전송 장치의 수신기 연결에 짧은 케이블을 사용할 때, 적응형 케이블 이퀄라이저는 시스템에 별 영향을 미치지 않습니다. 아이 디스플레이는 크로스오버 포인트에서 전이 사이의 거리가 최대일 때 "열렸다"라고 불리게 됩니다. 신호내의 노이즈 및 지터가 전송 채널을 따라 증가할 때, 열린 아이는 좁아지게 됩니다. SDI 신호의 이동에 따라 증가한 케이블 길이는 신호의 왜곡 및 주파수 롤오프를 초래하고, 이러한 손실을 보상하기 위하여 수신기 내에 적응형 케이블 이퀄라이저가 필요하게 됩니다.

각 전이 지점 이후 고정된 시간에 지점을 선택하는 수신기도 있지만, 일반적으로는 클럭 및 데이터의 복구를 위해 아이의 중앙에서 최적의 결정 임계값을 선택합니다. 아이를 닫는 모든 효과는 수신된 신호의 유용성을 감소시킵니다. 전방 오류 교정을 사용하는 일반 통신 시스템에서 균등화 및 오류 교정 양쪽의 사용에 의해 거의 감겨진 아이를 사용하면 데이터를 정확하게 복구할 수 있습니다. 그렇지만, 전방 오류 교정이 없고 직렬 디지털 비디오의 전송 교정에 필요한 오류율이 매우 낮은 경우에는 수신기의 균등화 이후 크고 깨끗한 아이 열기가 필요합니다. 이는 아이를 닫는 과정의 특성 상 "테일(tail)"이 발생하기 때문입니다. 이 "테일"은 경우에 따라 받아들이지 않는 오류를 발생시킵니다. 또한 SDI 이퀄라이저는 동축케이블 손실에 대해서만 조정되었으므로 선형 왜곡에 대해서는 작동하지 않습니다.

## 지터 측정

이론적으로, SDI 신호 내 전이 사이의 시간 간격은 유닛 간격의 정수 배와 같아야 합니다. 그렇지만, 실제 시스템에서 SDI 신호내 전이는 시간내의 이론적 위치와 다를 수 있습니다. 이러한 차이는 시간 간격 오류(TIE)라고 불리며 공통적으로 지터로서 참조됩니다. 이 시간 차이는 다양한 주파수, 진폭, 및 위상 관련 효과에 의해 일어날 수 있습니다.(지터에 대한 보다 자세한 정보는 텍트로닉스 비디오 입문서인 "직렬 디지털 신호를 위한 지터 측정의 이해"에서 찾아볼 수 있습니다.)

텍트로닉스 파형 모니터는 HD 및 SD-SDI 신호상의 첨두치(P2P) 비디오 지터를 자동으로 계측하기 위해 위상 복조 방법을 사용합니다. 파형 모니터는 균등화된 SDI신호 내의 지터를 측정합니다. 이 신호는 SDI 수신기가 디코딩하는 신호와 밀접하게 대응합니다. 비디오 데이터와 함께 제공되는 분리된 클럭이 없으면, 샘플링 클럭은 감지된 데이터 전이에 의해 복구되어야 합니다. 이는 입력 신호와 함께 실시간으로 고정된 고 대역폭 오실레이터를 구동하기 위해 기대되는 클럭 주파수 주변의 직접 복구 에너지에 의해 이루어집니다. 그 후, 이 오실레이터가 크게 평균되고 저 대역폭 위상으로 고정된 오실레이터를 구동하고, 이러한 오실레이터는 위상 복조에서 비교됩니다. 이제 장비 내의 위상 감지기가 복조된 지터 신호를 실시간으로 생성하며 지터 파형을 표시합니다. 이 파형 디스플레이는 비디오 신호의 라인 또는 필드 주파수와 상호 연관되어, 사용자는 고 패스 필터링 복조 디스플레이를 위해 대역폭을 선택할 수 있습니다.



▶ 그림 8. 짧은 1m 길이의 케이블을 사용하는 (a) HD SDI 아이 및 (b) 지터 파형 디스플레이

SMPTE RP 184에는 두 가지 형식의 지터가 있습니다.

### 타이밍 지터

일반적으로 10Hz 이하로 지정된 주파수보다 큰 비율로 발생하는 신호의 전이 포지션 변화로서, 이 지정된 주파수 미만으로 발생하는 변화를 원더(Wander)라고 합니다.

### 지터 정렬

신호로부터 추출된 클럭의 전이와 연관된 신호의 전이 위치 변화로서, 클럭 추출 과정의 대역폭이 지터 정렬의 저 주파수 한계를 결정합니다. SD시스템에서 이 주파수 한계는 1kHz이며 HD시스템에서는 100kHz입니다.

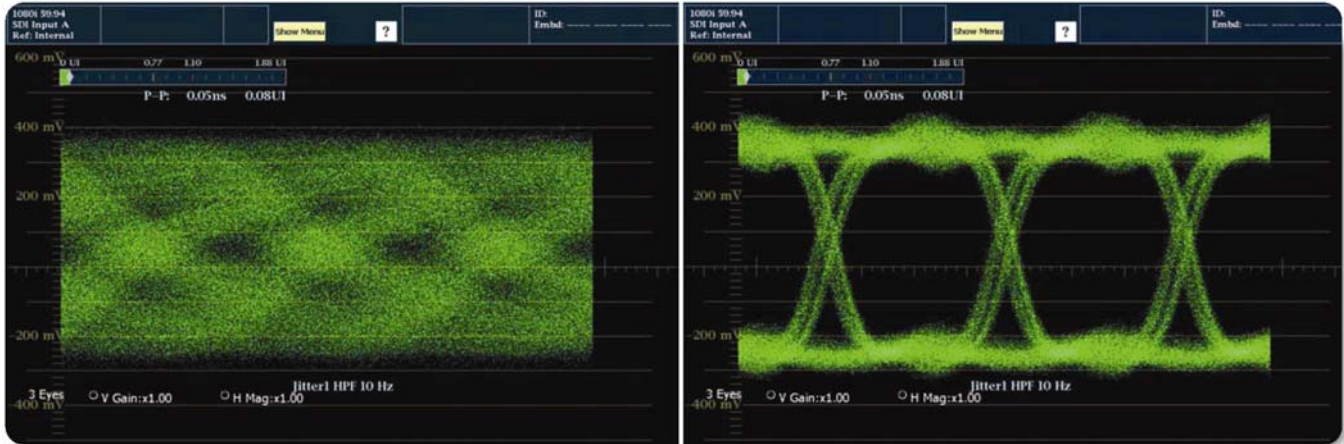
허용된 타이밍 지터는 SD 신호에 대해서는 0.2UI(디지털 컴포넌트 525 및 625에 대해 740ps)로, 디지털 고 해상도 형식에 대해서는 0.1UI(673.4 또는 674ps)로 지정되어 있습니다. 지터 정렬에 있어 사양은 0.2UI를 SD 시스템에서는 1kHz 주파수까지, HD에서는 100kHz의 주파수까지 허용합니다.

디지털 시스템은 이 사양 밖에서도 작동하지만 작동이 중단되는 지점이 있을 수 있습니다. 안타깝게도 이 작동 실패 지점이 언제 발생할지 파악하는 것이 힘들기 때문에 디지털 SDI 신호의 건전성을 유지하고 지터에 의해 시스템이 클리프의 경계로 떨어지는 상황을 방지하는 것이 대단히 중요합니다.

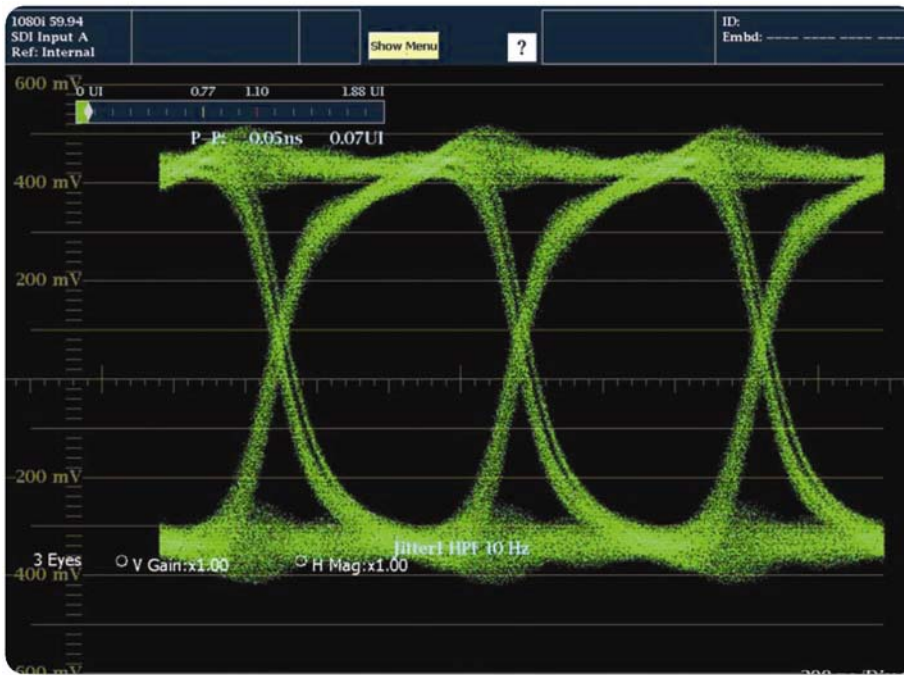
### SDI 물리적 계층 문제 진단

신호 진폭은 노이즈와의 연관성 때문에, 또한 수신기가 신호 도착 시 남아있는 반 클럭 주파수 에너지에 기반해 필요한 고 주파 보상(균등화)을 산출한다는 점에서 중요합니다. 송신단에서의 정확하지 않은 진폭은 수신단에서 적용되는 정확하지 않은 균등화를 야기하며 신호 왜곡으로 이어집니다. 상승 시간 측정은 ECL 논리 장치에 따라 20% 에서 80% 포인트로 이루어 집니다. 정확하지 않은 상승 시간은 올림이나 오버슈트와 같은 신호 왜곡을 야기하거나, 너무 느릴 경우 아이 내의 샘플링에 대해 사용가능한 시간을 감소시킬 수 있습니다. 오버슈트는 상승시간이 정확하지 않을 때도 발생할 수 있지만, 임피던스의 비연속성 또는 수신이나 송신 종단사의 약한 반사 손실에 의해 주로 발생합니다.

엔지니어는 파형 모니터의 아이 및 지터 디스플레이를 분석함으로써 SDI 신호의 전송과 관련되어 가능한 문제점들을 파악할 수 있습니다. 그림 8a는 짧은 1m 길이의 케이블에서 테스트 신호 발생기로부터 연결된 HD-SDI 신호입니다. 전압 및 시간 측정 커서가 아이 디스플레이상에 위치할 수 있으며 수동으로 측정할 수 있습니다. 반면, 자동 측정은 장비 자체로 이루어질 수도 있습니다. 이 경우, 아이 디스플레이는 넓게 열려야 하고 신호는 SMPTE 292의 탑재 진폭 사양 내에 있어야 합니다. 지터 디스플레이는 수평선으로, 허용 범위의 최대치로 확대되었을 때 수평 라인 디스플레이를 가로지르는 랜덤 노이즈를 표시합니다. 이는 기본적으로 그림 8b와 같은 시스템의 노이즈 플로어입니다.



▶ 그림 9. 아이가 감긴 아이 디스플레이(a) 및 같은 신호의 균등화된 아이 디스플레이(b)



▶ 그림 10. 정확하지 않게 종단된 아이 디스플레이

발생기와 장비 사이에 40m Belden 8281케이블을 추가하면 신호의 상승 및 하강 시간이 더 길어져 고 주파수에서 진폭의 왜곡이 일어납니다. 케이블에 의한 손실은 아이를 좁게 만들고 그림 9a와 같이 더 이상 선명한 아이 디스플레이를 볼 수 없습니다. 그렇지만 이 신호는 아직 정확하게 디코딩될 수 있습니다. 이 경우, WFM7100/6100상의 균등화된 아이 모드에서 아이를 관찰할 수 있습니다(그림 9b). 균등화된 아이 디스플레이는 적응형 케이블 이퀄라이저를 갖춘 수신기가 디코딩할 신호를 표시합니다.

HD-SDI 시스템내에서의 적절한 종단은 신호의 높은

클럭 비율 때문에 더욱 중요합니다. 적절하지 않은 종단은 수신 종단, 또는 장치에 의해 모든 에너지가 흡수되지 않는다는 것을 의미합니다. 이 잔여 에너지는 왜곡된 파형을 만들어내는 케이블을 따라 재반사됩니다. 이러한 반사는 신호내의 울림을 만들어내며 사용자는 그림 10과 같이 아이 디스플레이 상에서 오버슈트와 언더슈트를 확인하게 됩니다.



▶ 그림 11. 아이 결정 임계값

이 경우 SDI 소스 장치의 출력은 2개로 약하게 분리되어 있습니다. 하나는 적절하게 중단되더라도 모니터되는 다른 출력 신호상에 반사를 일으키며 중단되지 않고 남습니다. 이 편차는 연결되지 않은 출력을 적절하게 중단함으로써 교정될 수 있습니다. 이 중단 오류는 신호가 수신되는 동안 문제를 일으키지 않는다는 점에 주의하십시오. 그렇지만 이러한 왜곡은 아이 열기를 더 빨리 좁히는 신호 경로에 따라 또 다른 왜곡을 추가하고, 신호로부터 클럭 및 데이터를 복구해내는 수신기의 능력을 감소시킵니다.

따라서, 케이블 및 적절하지 않은 종단으로 인해 발생하는 일반적인 결함을 겪게 됩니다. 이는 사용자가 설치의 적합성을 검사할 때 일어날 수 있는 문제입니다. 일반적으로 물리적 케이블에 의해 발생하는 신호의 왜곡은 시스템의 지터에 의미를 가질 만큼 더해지지 않습니다. 오히려 활성 장치가 시스템 내에서 지터 및 아이 디스플레이에 대한 다른 결함을 더 자주 발생시킵니다.

#### 지터의 두 가지 유형

랜덤 지터는 모든 시스템에서 기본적으로 어느 정도 어쩔 수 없는 속성으로, 장치의 온도, 또는 단락 노이즈에 의해 발생합니다. 이 유형의 지터는 일반적으로 크게 한정되지 않은 가우스 확률 분포에 의해 특성화 됩니다. 따라서 지터의 RMS(Root Mean Squared)값은 지터 진폭의 일반적인 측정에 사용되는 것이 가장 좋습니다. 그렇지만 오류를 일으키는 것이 지터 피크이고 가우스 분포의 속성에 의해 낮은 확률로 발생한다면, 피크 또는 첨두치(P2P) 지터는 여전히 중요하므로 측정되어야 합니다.

결정성 지터는 흔히 주기적 성질을 갖지만 주로 최대 첨두치(P2P) 지터와 함께 한정되는 것으로 특성화됩니다. 일반적으로 측정 시간에 의존하지 않는다면 결정성 지터는 시스템 내에서 랜덤 지터 보다 쉽게 특성화됩니다. 결정성 지터는 활성 장치에 의해 발생할 수 있으며 다음과 같은 조건들에 의해 시스템 내에서 발생할 수 있습니다.

- ▶ 스위칭 전원 장치는 스위칭 주파수와 관련되거나 50/60Hz의 본선 주파수와 관련된 주기적 결정성 지터를 발생시킬 수 있습니다.
- ▶ 장치로부터 오는 전이의 상승 및 하강 시간 차이는 시스템 내에서 듀티 사이클 지터를 발생시킬 수 있습니다.
- ▶ 비디오 신호 처리과정 중의 장치는 라인 및 필드 레이트와 관련된 주기적 지터를 발생시킬 수 있습니다. 예를 들어, 비디오 참조에 동기 결합된 장치는 마스터 클럭의 변화를 일으킬 수 있습니다. 라인 및 필드 주파수와 관련된 지터의 이러한 성분은 SDI 출력으로 전송될 수 있습니다.
- ▶ 장치내의 병렬에서 직렬로의 전환 과정은 워드 연관 지터를 SDI 출력에 발생시킬 수 있습니다.
- ▶ 케이블의 주파수 응답은 케이블에 따른 데이터의 전송에 의존하여 지터를 발생시킬 수도 있습니다.

SDI 신호내의 지터는 전이가 일어날 때 시간을 변화시키며 대략적인 전이 포인트를 넓게 만듭니다(그림 7). 이 지터는 아이 디스플레이를 좁게 하거나 닫을 수 있어 결정 임계값의 확정이 더욱 어려워집니다. 아이 디스플레이 내에서 수동으로 커서를 사용하는 경우, 또는 아이 디스플레이에 기반하여 자동 측정을 하는 경우, 지터의 유닛 간격 중 하나만 측정될 수 있습니다. 지터 이벤트의 강도는 SDI 신호 내의 일반적인 반복 전이에 비교하여 관찰하기 어렵기 때문에 자주 발생하지 않는 지터 이벤트를 결정하는 것은 어려울 수 있습니다.



▶ 그림 12. 60Hz 본선 주파수 지터

WFM7100 및 WFM6100의 아이(EYE) 옵션을 통해 아이 디스플레이 내의 지터를 판독할 수 있습니다. 이 판독값을 통해 유닛 간격 및 등가 시간 측정이 모두 가능합니다. 작동 환경에서, 지터 온도계 막대 디스플레이는 지터 임계값을 초과하는 SDI 신호에 대한 간단한 경고를 제공하는데, 이 임계값은 사용자에게 의해 선택 가능합니다. 디스플레이는 사용자 선택 가능한 임계값 주변의 범위를 보여주도록 설정됩니다. 전체 막대 디스플레이는 사용자 선택 가능한 값의 170%를 의미하며 그림 11에 보여지는 바와 같이 지터의 증가 값에 따라 녹색 바에서 노란색으로, 노란색에서 적색으로 변합니다. 임계값의 70%에서 막대 디스플레이는 녹색에서 노란색으로 변하며, 100%에서는 노란색에서 적색으로 변합니다. 이를 통해 사용자는 SDI 신호내의 잠재적인 문제를 시각적으로 쉽게 볼 수 있을 뿐 아니라 시스템의 지터 성능에 대한 변화를 신속하게 파악할 수 있습니다. 지터 판독값은 사용되는 지터 필터의 선택에 의해 영향을 받기 때문에 적절한 필터를 선택해야 타이밍 및 지터 정렬을 측정할 수 있습니다.

서로 다른 지터를 특성화하기 위해 WFM6100 및 WFM7100의 PHY 옵션을 사용하는 지터 파형 디스플레이가 제공되므로 아이 디스플레이 및 지터 판독에 비하여 신호내의 지터 문제를 조사하는 월등한 도구를 사용할 수 있습니다. 지터 파형은 비디오 비율과 관련하여 1개 라인, 2개 라인, 1개의 필드 디스플레이,

2개의 디스플레이로 표시될 수 있습니다. 시스템 내의 지터를 조사할 때는 2개의 필드 디스플레이를 선택하고 디스플레이의 게인을 증가시키는 것이 유용합니다. 작은 양의 지터는 모든 시스템 내에 존재하지만 트레이스는 수평 라인이어야 합니다. 게인을 10배로 증가시키면 그림 8b와 같이 측정 시스템내의 고유 노이즈, 또는 노이즈 플로어를 확인할 수 있습니다. 이는 임의적인 속성을 띠므로 비디오 신호와는 무관합니다. 그렇지 않은 경우에는 신호 내에 지터의 결정성 컴포넌트가 존재하는 것입니다.

신호 내에 본선의 울림이 있는 경우에는 본선 주파수의 지터 트레이스에 주파수 원더가 더해집니다. 이는 그림 12와 같이 본선 주파수에 관련된 지터 트레이스에 주기적 수직 교란을 발생시킵니다. 장치 안에는 다양한 대역 통과 필터들이 존재하므로 신호 내에 존재하는 지터 주파수를 분리할 수 있습니다. 장비 내 100Hz 필터의 선택은 지터 디스플레이 내의 본선 주파수 성분의 효과를 상호 연관된 수평 라인 및 더 높은 주파수 성분의 감쇠 없이 감소시켜 줍니다.

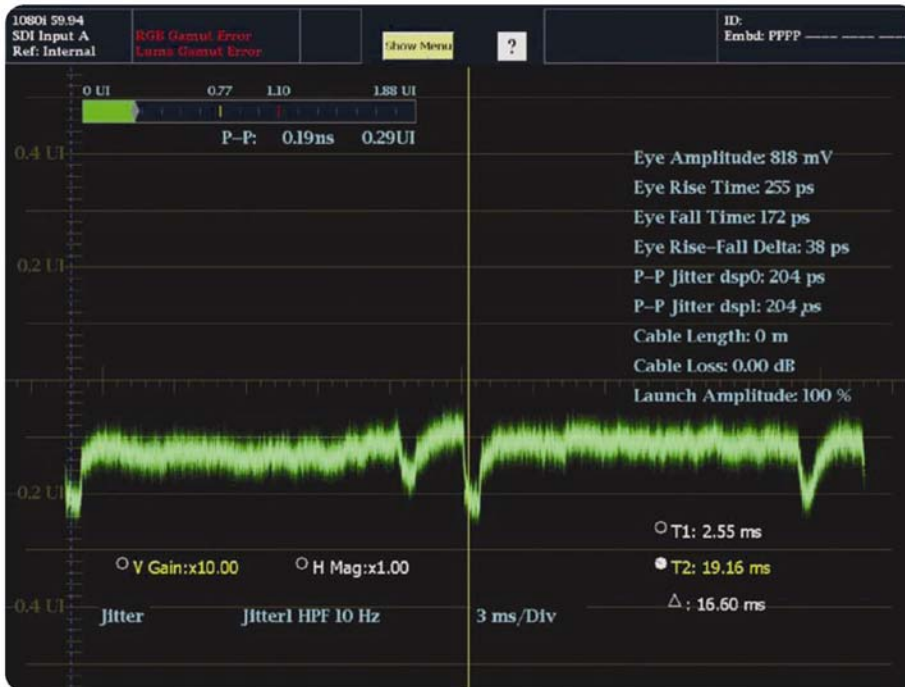
이 판독값으로 유닛 간격과 시간을 모두 측정할 수 있습니다. 장비 내에서 선택 가능한 임계값이 초과되면 지터 온도계가 적색으로 변합니다. 이 경고 상태는 유닛의 오류 로그 안에 보고될 수도 있으며, 오류 종류 및 시스템 내의 오류 발생 시기를 파악하기 위해 장기간 모니터링할 수 있습니다.

## 직렬 디지털 신호의 물리적 계층 테스트

### ▶ 애플리케이션 노트



▶ 그림 13. 타이밍 및 지터 정렬의 동시 측정



▶ 그림 14. PHY 옵션을 갖는 WFM7100의 지터 디스플레이

WFM7100 및 WFM6100 내에서는 두 개의 서로 다른 지터 설정으로 지터를 동시에 측정할 수 있습니다. 예를 들어, 타이밍 지터 측정 및 지터 정렬 측정을 위해 각각 다른 필터를 선택할 수 있습니다. 그림 13과 같이 타일 1 및 2는 지터 1 측정과, 타일 3 및

4는 지터 2 측정과 연관된다는 것에 주의하십시오. 이러한 경우, 타이밍(타일 1 및 2)과 지터 정렬(타일 4)을 선택하여 2개의 지터 고역 필터 대역폭 사이에서 지터의 비교가 가능합니다.



10Hz 필터의 지터 디스플레이



100kHz 필터의 지터 디스플레이



1kHz 필터의 지터 디스플레이



100Hz 필터의 지터 디스플레이

#### ▶ 그림 15. 서로 다른 필터를 선택한 지터 디스플레이

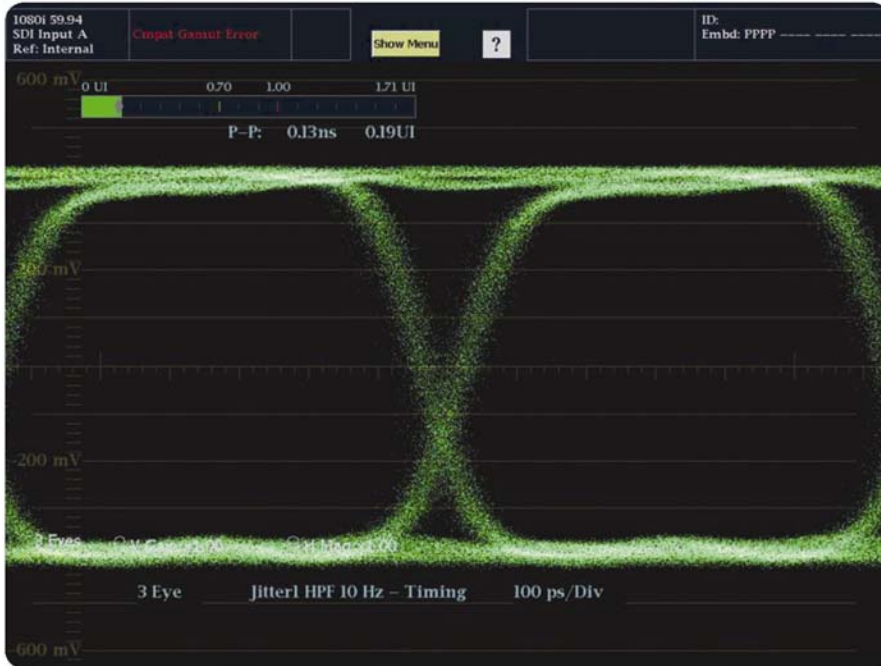
그림 12의 간단한 예제는 60Hz에서 지터의 독립적인 성분을 보여줍니다. 그렇지만, 그림 13과 같이 신호 내에 지터의 주파수 성분이 여러 개 존재하는 경우가 많으므로 SDI 신호에서 지터의 모든 독립적인 주파수 성분을 분리하는 것이 어려울 수 있습니다. 이러한 성분을 분리하는 간단한 방법은 장비 내의 대역 통과 필터를 사용하는 것입니다.

그림 14의 신호로부터 분리 가능한 주파수 성분을 자세히 보겠습니다. 10Hz로 설정된 저대역 통과 필터에서(타이밍 지터) 2필드 모드의 지터 파형을 살펴보면 신호 내에 다양한 주파수 성분이 존재하는 것을 볼 수 있습니다. 독립적인 주파수 성분을 분리하는 것이 어렵더라도 지터 대역 통과 필터를 사용하면 지터 주파수 범위에서 지터 사이의 침두치로 분산되어 있는 대부분의 성분을 볼 수 있습니다.

이 때 장비의 메뉴에서 디스플레이에 10Hz, 100Hz, 1kHz, 10kHz 및 100kHz 필터를 적용할 수 있습니다. 그림 15에서는 서로 다른 필터가 사용되었을 때 직접적인 지터 판독값 및 지터 파형 디스플레이가 표시됩니다. 10Hz로 설정된 필터를 사용하면 지터의 측정값은 0.3UI이며 필드 레이트에서 트레이스에 대한 교란이 발생합니다. 또한 파형 디스플레이에 보여지는 트레이스에 수직 변경이 존재할 때가 있습니다(그림 14의 이미지 스냅샷으로 보여지지 않음). 이는 더 큰 침두치(P2P) 측정 값을 상승시키고 실제로 디스플레이 자체로부터 시각적으로 측정됩니다. 신호 내에는 지터의 원더 성분이 잠재적으로 존재할 수 있습니다.

## 직렬 디지털 신호의 물리적 계층 테스트

### ▶ 애플리케이션 노트



▶ 그림 16. 서로 다른 상승/하강 시간의 아이 디스플레이

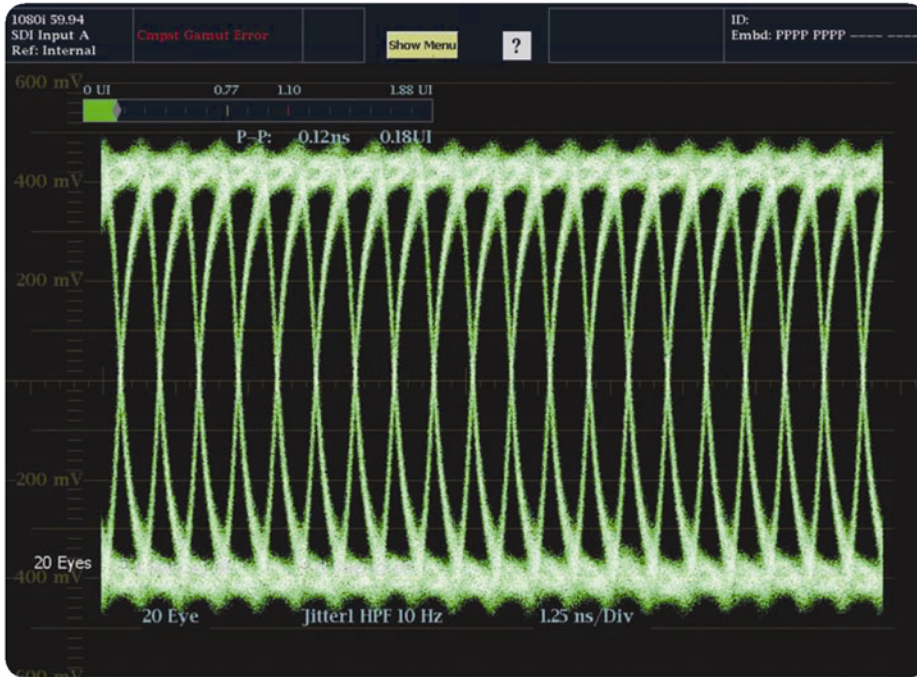
100Hz 필터를 적용하면, 지터의 몇 가지 성분은 축소되고 트레이스의 수직 점프가 사라집니다. 이로써 디스플레이가 더욱 안정되고, 측정값은 0.17UI를 가리킵니다. 필드 레이트의 교란은 아직도 존재합니다. 이 때 1kHz를 적용하면 지터의 성분이 추가적으로 축소되고 트레이스는 보다 더 평평하게 됩니다. 필드 레이트 교란은 아직도 관찰될 수 있지만, 지터 판독값은 100Hz 및 1kHz 필터(0.17UI에서 0.14UI) 사이에서 심각하게 떨어지지 않습니다. 100kHz 필터를 적용하면 디스플레이는 이제 평평한 트레이스를 보여주고 지터 판독값은 0.07UI보다 현저히 낮아집니다. 이러한 경우, 장치의 출력은 이 유닛에 대한 변수 내에 존재하면서 물리적 계층의 디코딩을 위해 적합한 신호를 제공합니다.

일반적으로 대역 통과가 좁아지고 필터 선택값이 증가하면 이와 같이 지터 측정값이 적어질 것으로 기대하게 되지만, 필터 값이 증가하고 대역 통과 대역폭이 좁아지면 지터 판독값은 늘어난다고 생각하면 됩니다. 이러한 일이 SDI신호 내에서 일어나는 이유는 무엇일까요? 이러한 결과는 지터의 펄스가 신호 안에 존재하고 이 지터 펄스가 필터 선택 중 하나의 대역 통과 경계 안에 있다는 것으로 설명될 수 있습니다. 펄스의 RMS값이 더 높은 대역폭의 필터에 의해 축소되어도 필터의 선택에 의해 이러한 성분이 제거되는 대신 실제로는 분리되면서 펄스의 상승 및 하강 전이에서 울림을 만들어내어

첨두치(P2P) 지터가 더욱 커집니다.

장비의 이러한 특성은 장치, 또는 시스템 내의 지터 문제 파악을 위해 사용됩니다. 장치에는 매우 낮은 주파수의 지터가 일부 존재하여 케이블 가닥의 길이를 늘리거나 컴포지트 아날로그로 전환할 때 문제를 발생시킵니다. 신호 내의 매우 낮은 주파수의 지터(일반적으로 10Hz미만)는 원더(wander)로 불리며 지터 측정에서 일반적으로 고려되는 부분은 아닙니다. 원더는 시스템 내에서 자체의 고유한 문제들을 일으킬 수 있습니다.

예를 들어, SDI신호를 운반하는 ATM 스위칭 네트워크, 또는 MPEG 전송 시스템은 시스템에 원더 성분(순간적인 주파수 변형)을 일으킬 수 있습니다. 신호의 디코딩시에는 SDI 전송 내에서 아무런 영향도 관찰되지 않을 수 있습니다. 아이 디스플레이 자체 내에서, 사용자는 아이 디스플레이의 앞뒤로 약간의 진동을 관찰 할 수 있습니다. 만약 이러한 SDI 신호가 컴포지트 인코더에 적용된다면, 원더 성분은 복합 신호의 색상 신호에 약간의 주파수 변동을 가져올 수 있습니다. 이 인코딩된 컴포지트 신호가 참조와 젠록(genlock)할 때, 사용자가 벡터스코프로 보면 이상적인 위치에서 약간 이동한 버스트 위치를 관찰할 수 있습니다. 일부 구식 컴포지트 레코더는 비디오 신호안에 영구적인 컬러 변동을 기록하는 원더 추적 작업에서 어려움을 자주 겪습니다.



▶ 그림 17. HD 신호의 20 아이 디스플레이

교란이 심각하고 컬러 버스트의 비고정을 유발하는 경우 픽처 모니터에서 색상 플래시를 관찰할 수 있을 때가 있습니다. 이러한 경우, 이러한 원더 성분을 만들어내는 장비의 특정한 부분을 찾아내기 위해서는 시스템을 전체적으로 점검해야 합니다.

이러한 SDI 시스템의 설계단계에서, 위상 복조된 출력이나 EYE, 또는 PHY 옵션을 장착한 WFM6100이나 WFM7100으로 부터의 클럭 출력을 사용하면 독립적인 지터 성분을 보다 특성화하는 것이 가능합니다. 이 출력 신호는 FFT 스펙트럼 디스플레이를 갖는 오실로스코프에 적용될 수도 있고, 지터 주파수 성분의 존재에 대한 보다 상세한 분석을 위해 스펙트럼 분석기에 적용될 수도 있습니다.

그림 8a와 같이, 일반적으로는 아이 디스플레이의 50% 지점에서 아이 디스플레이의 중간에 전이 교차점이 발생합니다. 신호 전이의 상승 시간이나 하강 시간이 다른 경우, 아이 디스플레이는 전이 사이의 비동일성 정도에 따라 50% 지점으로부터 멀어집니다. 장치 내의 AC 결합은 높은 신호 레벨을 고정된 결정 임계값 가까이로 이동시키고 노이즈 폭을 감소시킵니다. 일반적으로 SDI 신호의 상승 및 하강 시간은 대칭되지만, 비대칭적인 라인 드라이버 및 광학적 신호 소스(레이저)는 그림 16과 같은 비대칭적 전이를 일으킬 수 있습니다. 잠재적으로는 심각하더라도, 이러한 소스의 비대칭성이 신호의 상승

및 하강 시간에 특별히 큰 영향을 끼치지 않습니다. 오히려 케이블 감쇠가 신호 전이 시간에 일반적으로 더 큰 영향을 미칩니다. 적절한 보상이나 다른 조정작업을 수행하지 않는 경우, SDI 신호 내의 비대칭성은 디코딩에 사용되는 결정 임계값과 관련된 노이즈 폭을 만들어 내거나 디코딩 오류를 발생시킬 수 있습니다.

지금까지는 대부분의 장비에서 공통적으로 쓰이는 전형적인 3-아이 디스플레이를 사용해 왔습니다. 이 3-아이 디스플레이는 SDI 신호의 데이터 구조와 상호 연관되지 않습니다. SDI 신호를 병렬 데이터 스트림에서 직렬 신호로 변환하는 과정에서, 많은 처리과정이 발생합니다. SD에서 Cb, Y, Cr, Y\* 데이터 스트림의 10비트 데이터는 변동 레지스터 및 출력에 직렬 NRZ 형식으로 적용되었습니다. 병렬 정보의 직렬화에 따라, 데이터 스트림은 다음의 수학적 함수에 따라 스크램블(분리)됩니다.

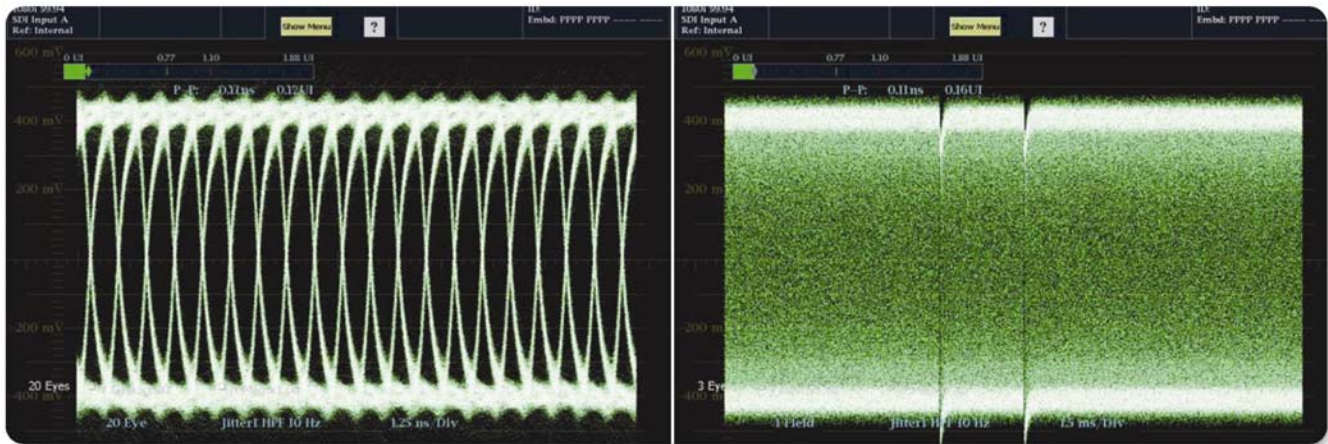
$$G1(X) = X^9 + X^4 + 1$$

지수가 클럭 지연을 의미하고, 플러스 표시는 2진법 덧셈(배타적 논리합)을 의미합니다. 이는 다시 다음 함수의 연속에 의해 NRZI(역 비제로 복귀)로 인코딩됩니다.

$$G2(X) = X + 1$$

## 직렬 디지털 신호의 물리적 계층 테스트

### ▶ 애플리케이션 노트



▶ 그림 18. 20 아이 및 필드 디스플레이를 위한 영상 이퀄라이저 테스트 신호

신호를 스캔하면, 통계적으로 봤을 때 처리하기 쉽게 DC 콘텐츠가 낮아지고 클럭 복구가 쉽도록 전이가 많아집니다. NRZI 형식은 논리 레벨 1이 이전 비트 간격(hi/lo 또는 lo/hi)으로부터의 변화 및 변화 없는 논리 0에 의해 전달되어 질 때 신호를 극성에 무관하게 만듭니다. HD의 경우, 병렬 데이터 스트림은 SD에서의 10비트 배가 아니라 20비트 워드에서도 처리됩니다. 직렬화 과정의 나머지 부분은 SD와 동일합니다. 병렬에서 직렬로의 전환 과정에서, 변동 레지스터 또는 지정된 비디오 데이터 패턴으로부터 오는 데이터의 클럭 다양성은 1/10 또는 1/20번째 클럭 주파수에서 워드에 상호 연관된 지터를 발생시킬 수 있습니다.

SDI 출력 내에서 워드에 상호 연관된 지터를 파악하기 위해, 엔지니어는 워드에 상호 연관된 디스플레이에서 10 아이(SD에 대해), 또는 20 아이(HD에 대해) 표시를 볼 수 있습니다. 이 표시는 SDI 신호의 데이터 워드와 상호 연관됩니다. 그림 17과 같이 HD신호에 있어 각 데이터 비트에 대해 동일한 아이 열기를 만들어 내야 합니다. 비디오 신호의 특정 데이터 구조, 또는 병렬에서 직렬로의 잘못된 전환은 10/20 아이 디스플레이의 구조에 영향을 미칠 수 있습니다.

그림 18에서 이퀄라이저 테스트 신호는 스캔블러가 필요한 초기 상태에 도달했을 때 전송된 신호 내에서 지정된 모든 비트 패턴을 만들어 내는 유닛에 적용됩니다. 비트 패턴은 20 아이 디스플레이의 위, 아래에서 희미하게 관찰될 수 있습니다.

뿐만 아니라, 아이 디스플레이를 필드 모드에 둬으로써 그림 18의 오른쪽에 보여지는 것과 같이 신호내의 글리치를 볼 수 있습니다.

신호가 전송되는 케이블의 길이를 알면 시스템을 검사하는 데 유용합니다. WFM7100 또는 WFM6100 및 WVR 시리즈는 SDI 상태 디스플레이 내에 사용된 케이블의 형식에 따라 케이블 길이를 측정합니다. WFM7100 및 WFM6100내에서 사용 가능한 몇 가지 공통적인 케이블 형식이 존재합니다.(Belden 8281, 1505, 1695A, Image 1000 및 Canare L5-CFB) 동등한 케이블 측정은 지정된 케이블 길이의 측정이나 문제의 검토 시 유용합니다. 그렇지만 장비가 다른 케이블 형식을 사용하는 것을 고려하고 있다면, 해당 케이블이 이 선택사항 안에서 제공되지 못하므로 이 측정을 사용할 수 없습니다. 이는 드문 경우로, 대부분의 제조업체들은 해당사 장치가 신호를 전송할 케이블의 길이를 이들 공통적인 케이블 형식을 사용하여 지정하고 있습니다. 이런 경우, 케이블 형식을 선택하고 장치를 평가하여 케이블 길이 사양을 초과하지 않았는지 확인하십시오.

케이블 형식을 선택하고 나면, 장비에 적용되는 SDI 신호가 케이블 손실, 케이블 길이 및 예측되는 소스 신호 레벨을 측정합니다.

- ▶ 케이블 손실은 케이블의 길이에 따른 신호 손실을 dB(데시벨)로 표시합니다. 0dB값은 양호한 800mV신호를, -3dB값은 0.707의 예측되는 진폭을 갖는 소스를 나타냅니다.
- ▶ 케이블 길이는 소스 신호 및 파형 모니터 사이의 케이블 길이를 나타냅니다. 장비는 출력에서의 신호 스펙트럼 롤오프에 근거하여 케이블의 길이를 계산하고, 소스 신호 진폭에 대해 독립적입니다. 실제로는 다른 형식의 케이블이나 여러 형식이 연결되어 사용되더라도, 사용자에게 의해 선택된 케이블 형식은 그 케이블 형식의 물리적 길이나 해당 형식에 대해 대응하는 길이를 계산하는 데 사용됩니다.
- ▶ 소스 레벨은 케이블의 가닥이 연속적이라고 가정하고, 사용자가 선택한 케이블의 지정된 형식에 근거하여 계산된 신호 소스의 탑재 진폭을 보여줍니다.

이러한 형식의 측정은 시스템 점검 및 성능 증명에 부분적으로 유용할 수 있습니다. 시스템 통합자가 설치 시 사용되고 제조업체에서 제공하는 케이블 형식의 성능 사양을 인지하게 되면 시스템 내의 각 링크가 최대 케이블 길이에서 제조업체가 권장하는 작동 성능내에 있는지 검증하는 것은 간단합니다. 예를 들어, 표 1에서는 HD신호에 대한 Belden 1505A의 권장 최대 거리가 300ft.(91m)임을 알 수 있습니다. 만약 SDI 상태 표시에 HD신호에 대한 측정이 89m로 나온다면 시스템 통합자는 시스템 내에 케이블 헤드룸이 겨우 2m 밖에 없음을 알 수 있습니다.

시스템 엔지니어는 이것이 해당 애플리케이션에 적합한지 결정해야 합니다. 이 측정은 케이블 선이 연속적이라는 가정 하에 유효합니다. 일부 경우, 이 측정은 신호 경로내에 몇 개의 활성 장치를 사용하여 수행될 수 있습니다. 이런 경우, 각 링크는 테스트 신호 소스가 한쪽 끝에, 그리고 측정 장치가 다른 쪽 끝에 오도록 하여 개별 측정되어야 합니다. 이는 시스템의 각 부분에서 케이블 길이의 측정을 보다 신뢰할 수 있게 표시하며 시스템이 각 신호 경로 사이의 헤드룸이 충분하도록 보장합니다. 전송된 신호 거리가 케이블 제조업체에 의해 지정된 최대 길이를 초과하는 경우에는, 신호 경로 내에 추가적인 활성 장치를 삽입해야 합니다. 엔지니어는 다양한 디지털 분산 증폭기중 하나를 선택할 수 있습니다.

#### 균등화 분산 증폭기(DA)

이 형식의 장치는 케이블 길이로 인한 신호 손실을 보상하는 내장 이퀄라이저를 가지고 있으며 신호 진폭을 재 확립하나 신호내에 존재할 수 있는 고유 지터, 또는 노이즈를 제거하지는 않습니다. 이 형식의 균등화 DA는 신호의 다중 출력이 필요한 장치로부터 짧은 케이블 가닥에 대해 사용되어야 합니다. 그렇지만 이 형식의 장치를 신호 경로 내에 여러 개 직렬로 연결하는 것은 권장되지 않습니다. 지터가 전체 신호 경로에 걸쳐 누적되기 때문입니다.

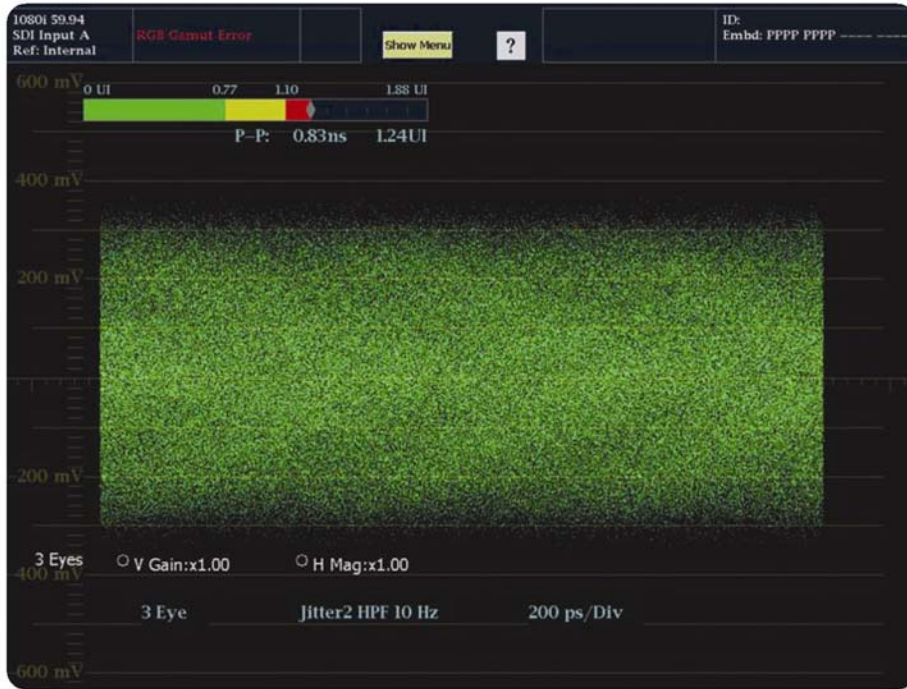
#### 리클러킹 분산 증폭기(DA)

이 형식의 장치는 내장 이퀄라이저를 가지고 있을 뿐 아니라 데이터 스트림에 포함된 클럭을 추출합니다. 테이터 스트림은 이 안정적으로 추출된 클럭으로 리클러킹됩니다. 이 형식의 DA는 클럭 추출 회로의 위상 잠금 루프 대역폭 바깥의 지터를 감소시킵니다. 그렇지만 루프 대역폭 내의 지터는 재생산되고 각 세대에 걸쳐 심각하게 누적될 수 있으므로 시스템 내에 서로 직렬 연결될 수 있는 이러한 장치의 수에는 분명 제한이 따릅니다. 이 제한은 자체의 루프 대역폭을 사용하는 오실레이터 및 시스템내에 사용되는 케이블 및 커넥터의 형식 등과 같이, 사용되는 장치의 형식에 의존합니다.

사용될 DA 형식을 올바르게 선택하는 것은 시스템의 오류 없는 작동 보장을 위해 중요합니다. 특히, 제공되는 다양한 장치들 사이의 차이점 및 각 제조업체의 장비 사양을 이해하는 것이 중요합니다.

## 직렬 디지털 신호의 물리적 계층 테스트

### ▶ 애플리케이션 노트

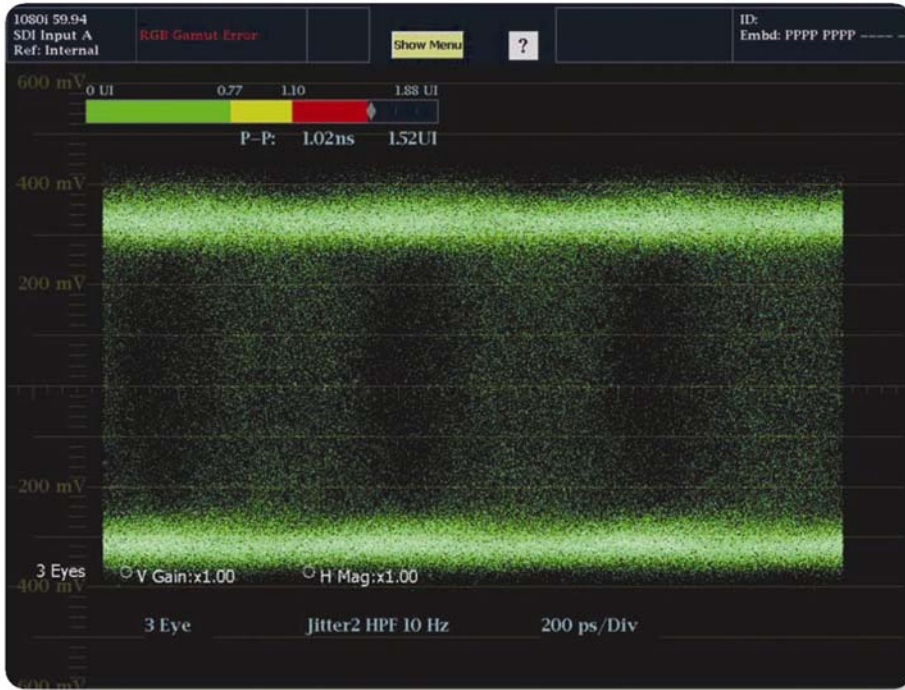


▶ 그림 19. SDI 신호의 감긴 아이

### HD-SDI 설비의 작동

SDI 설비의 설치 및 작동 중에 있어, 설비의 각 부분이 작동중인 시스템을 검증하고 문제를 해결하는데 여기에 나온 다양한 도구를 사용될 수 있습니다. 초기에는 각 링크는 링크의 한 쪽 단에서 컬러 바 및 임상 테스트 패턴 양쪽의 알려진 테스트 신호 소스를 적용하고, 다른 쪽 단에서 WFM7100 및 WFM6100과 같은 파형 모니터를 사용하여 모니터링함으로써 각 링크를 검증해야 합니다. 이러한 장치의 FlexVu 디스플레이에서는 신호의 몇 가지 상이한 표시를 동시에 확인할 수 있습니다. 예를 들어, 아이, SDI

상태, 픽처 및 비디오 세션이 장비 안에서 동시에 표시될 수 있으며 엔지니어가 수신된 아이 디스플레이 및 얻어진 SDI 지터 측정과 SDI 상태 디스플레이내의 케이블 길이를 한눈에 볼 수 있습니다. 또한, 엔지니어는 이탈이나 픽처 교란이 존재하지 않음을 확인할 수 있도록 시각적 검사를 제공하는 픽처 디스플레이를 볼 수 있습니다. 비디오 세션 스크린 디스플레이는 디코딩된 비디오 신호 내에 존재하는 CRC값에 대한 검사를 제공하고 오류 없는 작동을 보장합니다.



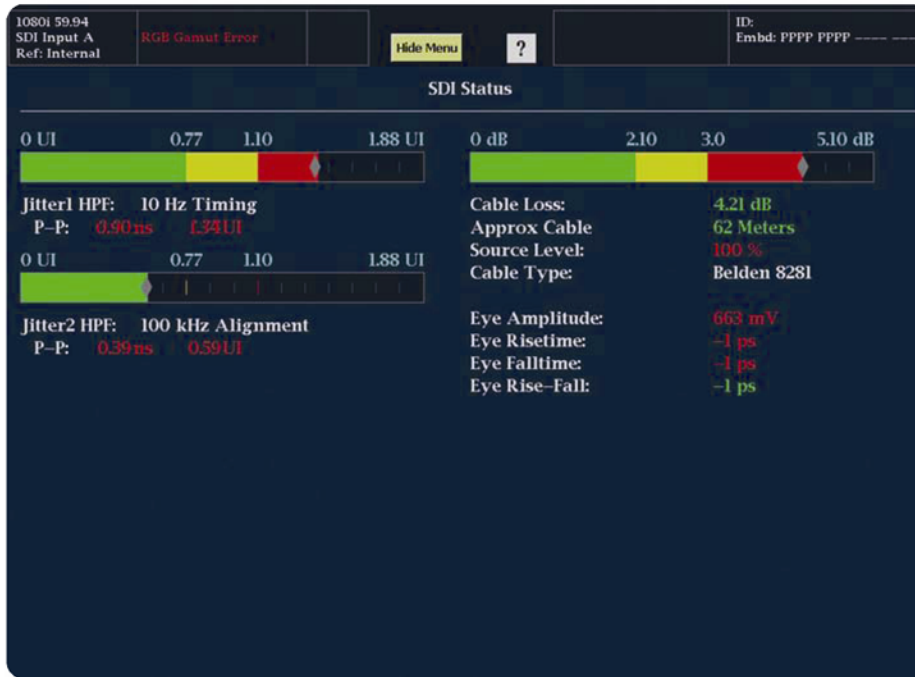
▶ 그림 20. 아이 열기가 한정된 균등화 아이 디스플레이

케이블 시스템의 검사가 완료되면, 다양한 비디오 장비가 작동에 들어갈 수 있습니다. 이론적으로, 이는 시스템의 각 부분이 작동에 들어갈 때 테스트를 허용하는 단계적이고 질서 있는 방법으로 수행되어야 합니다. 장비 각 부분의 출력은 자체의 사양 내에서의 정상적인 작동을 보장하기 위하여 테스트되어야 합니다. 장비의 많은 부분들은 장치를 통해 SDI 신호가 통과할 때 장치 출력이 테스트되고 검증될 수 있도록 허용하는 자체의 내장 테스트 생성기를 가지고 있습니다. 이는 또한 입력 및 출력 장치를 분리하고 시스템의 신호 경로를 통해 발생할 수 있는 문제의 해결을 도와줄 수 있습니다. 물리적 계층 특성을 보기 위해 파형 모니터를 다시 사용하는 것은 설비내의 핵심 지점에서 시스템의 품질을 검증하고 유지하는 데 도움이 됩니다.

설비의 작동 중 어떤 단계에서 문제가 발생하면, 문제의 발생 원인을 구분해 내는 것이 중요합니다. 만약 섬광 효과, 라인 이탈, 또는 정지 이미지가 관찰된다면, 경로의 끝에 있는 수신기가 SDI 신호로부터 클럭 및 데이터를 추출하는 데 문제가 있다고 볼 수 있습니다. 신호를 파형 모니터에 적용시키고 아이 디스플레이를 확인하면 보다 복잡한 문제를 탐구할 수 있습니다. 그림 19와 같이 아이가 감기는 경우에는 신호에 어떤 일이 일어났는지 결정하는 것이 어렵기 때문에 엔지니어는 파형 모니터상에서 균등화된 아이 디스플레이를 선택해야 합니다. 만약 장비내의 이퀄라이저가 데이터를 복구할 수 있다면, 아이 디스플레이는 그림 9b와 같을 것입니다. 그렇지만 만약 균등화된 아이 디스플레이가 그림 20과 유사하다면, 수신기가 클럭 및 데이터를 복구하기 위해 무리한 작동을 수행할 것입니다. 이런 경우에 데이터 오류의 발생 확률이 높습니다.

## 직렬 디지털 신호의 물리적 계층 테스트

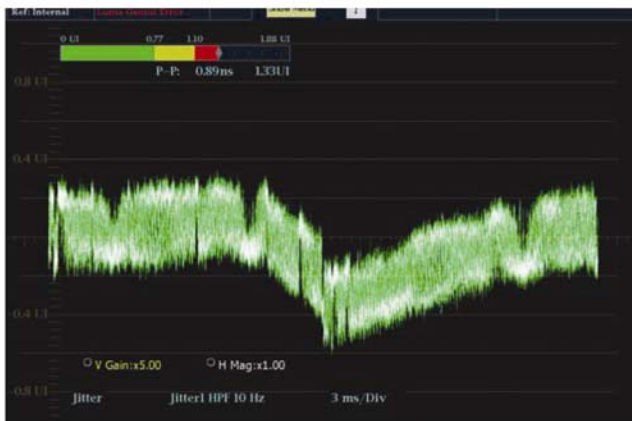
### ▶ 애플리케이션 노트



▶ 그림 21. 케이블 길이 측정을 보여주는 SDI 상태 디스플레이

이 경우, 아이 열기가 식별될 수 없고 케이블 길이가 너무 길거나 전송 장치 또는 직렬 연결된 장치들에 문제가 있을 수 있습니다. 이제 문제를 확인하기 위한 제거 과정에 들어갑니다. 경로의 케이블 길이를 확인하고, 설비 내에 사용된 케이블의 형식에 대해 올바른 케이블 형식이 선택되었는지 확인하기 위해 장비를 사용합니다. 이 경우, 그림 21은 소스 및 목표지점 사이에 62m의 케이블이 사용되었다는 계산된 측정을 보여줍니다. 이 때는 소스와 목표지점 사이에 케이블이 연속적인 가닥으로 되어 있다고 가정하고 장치들의 직렬 연결을 고려하지 않는다는 점에 주의하십시오. Belden 8281 및 HD-SDI 신호에 대한 최대 한계는 79m이므로 신호도 케이블의 이 사양 내에 있습니다. 따라서, 문제는 시스템의 케이블 길이와 직접적으로 연관되어 있지 않습니다.

이 예시에서도 몇 개의 상호 직렬 연결된 활성 장치들이 존재하므로 시스템 내에서 다음 활성 장치까지 경로를 거슬러 올라가며 추적하고 그 작동을 검증하는 것이 필수적입니다. 문제가 여전히 존재한다면 오류가 없는 신호가 관찰될 때까지 시스템의 경로를 되짚어 추적할 필요가 있습니다. 엔지니어가 SDI신호가 오류없이 작동하는 지점을 파악하면 이 지점에서 역방향으로 장비를 검증해야 합니다. 이 검증 과정은 알려진 SDI 테스트 신호 소스를 적용하는 식으로 수행하여 장비의 작동 및 신호 경로를 검증해야 합니다. 케이블 문제로 나타나지 않았으므로 문제를 보다 확실하게 구분하기 위해 아이 및 지터 디스플레이를 사용하였습니다. 이 경우, 장치 중 하나가 심각한 지터의 존재를 보여주고 있으므로 장치의 작동을 중지하고 다른 장치로 교체해야 합니다.



10Hz 대역 통과 필터가 선택된 지터 파형 디스플레이. 지터 판독값이 신호내에 존재하는 1.33UI 지터를 표시하며 필드 레이트에서 심각한 지터 이동을 보여줍니다.



100Hz의 대역 통과 필터를 사용한 트레이스는 보다 수평적이며 지터 판독값은 0.75UI입니다. 이는 100Hz 미만의 심각한 지터 성분이 존재함을 가리키며 본선에서 발생할 확률이 높습니다.



1kHz를 선택한 지터 판독값은 이제 0.88UI가 됩니다. 이 값은 신호내에서 지터가 약간 증가한 것을 보여주며 이 필터가 적용된 필드 레이트에서 발생한 차등화를 관찰 할 수 있습니다. 이는 대역 통과 경계상에 존재하는 지터의 성분을 가리킵니다.



10kHz 필터가 신호에 적용되면, 지터 판독값은 0.75UI가 됩니다. 지터 파형의 트레이스가 보다 수평에 가까워집니다.



100kHz 필터가 적용되면, 지터 판독값은 0.57UI가 됩니다.

▶ 그림 22. 서로 다른 대역 통과 필터를 선택했을 때의 지터 디스플레이

엔지니어는 지터 대역 통과 필터를 사용하여 2개 필드 모드로 지터를 표시함으로써 신호 내에 존재하는 개별적인 지터 성분을 파악할 수 있습니다.

이 시스템에서, 엔지니어는 시스템에 리클러킹 분산 증폭기를 추가하거나 문제를 일으키는 지터 성분을 보다 잘 제거할 수 있는 장치를 선택하려고 할 수 있습니다. 시스템이 설치되고 잘 작동하더라도 엔지니어링 기술로 시스템을 주의 깊게 모니터링해야 합니다. 시제품 및 방송 설비의 속도가 빠르다면 최종 제품 출시 기간이 단축될 수 있습니다. 하지만 이는 설비의 오염을 초래할 수 있습니다. 오늘날 대부분의 설비는 설비 주위로 전송되는 아날로그, SD 디지털 및 HD 신호로 이루어진 복합적인 조작으로 작동합니다. 시스템 내의 이러한 다양성 및 복잡성으로 인하여, 시스템 내에는 서로 다른 형식의 케이블 및 종단기가 조합되어 있습니다.

예를 들어, 우리는 올바르게 않은 종단이 SDI 신호 경로를 따라 반사를 일으킬 수 있다는 점을 짚어 보았습니다. 만약 누군가가 HD 시스템 내에서 사용되기에 적합한지 검사해 보지 않은채 손에 잡히는 대로 종단기를 사용한다면 올바르게 않은 형식의 종단기 사용으로 인해 SDI 신호가 오염될 수 있습니다. 예를 들어, 연결을 통한 통과 로프는 WVR7100 레스터라이저에서 유효합니다. 종단기가 박스에서 실행되고 아날로그 콤포지트 신호에 대해 정상적인 종단이 일어나는 경우에는 HD-SDI 신호가 손상될 수 있습니다. 따라서 이러한 잠재적인 오염이 일어나지 않도록 보장하고 시스템 내에서 재빨리 분리될 수 있도록 시스템의 작동 모니터링을 하는 것이 중요합니다.

## SDI 작동 모니터링

조작자는 몇 가지 간단한 도구를 사용해 HD SDI 신호를 연속적으로 모니터링할 수 있습니다. HD신호의 각 라인에는 Luma 및 Chroma 컴포넌트에 대한 CRC를 모두 포함하고 있습니다. 그림 2와 같은 비디오 세션 디스플레이를 사용함으로써, 이 간단한 접근은 시스템 내의 문제를 감지하는 첫 번째 방어선이 될 수 있습니다. 측정 장비는 신호 경로를 관찰하고 이 형식의 오류가 발생할 때 경고를 제공하도록 설정될 수 있습니다. 만약 장비가 데이터 스트림 내에서 발생하는 CRC 오류를 보고하기 시작하면, 신호가 디지털 클리프에 가까워지고 있다는 표시가 될 수 있습니다. 오류 기록은 이러한 CRC 오류가 발생한 시점을 목록으로 제공하고, 가능한 신호 경로 및 장치 문제를 구분하는 데 사용될 수 있습니다.

뿐만 아니라 파형 모니터가 아이 디스플레이를 갖추고 있다면 엔지니어는 신호의 물리적 계층이 유지될 수 있는 허용 범위의 한계를 설정할 수 있습니다. 신호가 이러한 한계 밖에 있는 경우에는 오류 기록에 유닛의 내부 클럭 또는 타임코드와 관련되어 발생한 이들 오류의 발생시간이 목록으로 정리됩니다. 이러한 오류가 발생할 때, 조작자는 아이 디스플레이를 선택하고 아이 열기 및 지터 바 디스플레이를 모니터할 수 있습니다. 만약 지터 바 디스플레이에 그림 12와 같이 적색으로 나타나면, 이는 신호에 문제가 있을 수 있다는 경고일 수 있으므로 엔지니어는 시스템을 오염시킬 수 있는 문제를 추가로 조사할 수 있습니다.

예를 들어, 편집자가 프로그램의 편집을 마치기 위한 장치를 추가하기 위해 시스템의 일부에 추가적인 케이블이 더해졌다고 가정해 보겠습니다. 이는 이 성분의 방송에 대한 빠른 속도의 요구에 부합하기 위해 재빠르게 수행됩니다. 그렇지만 사용된 케이블은 아날로그 콤포지트 신호 전송에 더 적합한 RG59 케이블의 일부입니다. HD-SDI 설치에 대해 이 형식의 케이블을 사용하는 것은 일반적으로 권장되지 않으며 이 형식의 오염은 주파수 응답 및 시스템의 헤드를 초과할 일으킬 수 있습니다. 이 때 아이 알람 및 CRC 검사는 시스템을 부지런히 모니터링 하면서 시스템이 자체의 정상 한계를 초과했고 시스템 내에 가능한 문제나 변화가 있다는 정보를 제공할 수 있습니다. 이를 통해 엔지니어는 문제를 보다 더 조사하고 오류의 원인을 구분해 낼 수 있습니다.

## 결론

설치 중 적절한 엔지니어링 기술을 사용하고, HD-SDI 신호의 전송에 적합한 케이블을 사용하는 것은 SDI 데이터 스트림의 물리적 계층을 오류 없이 전송하는 데 있어 매우 중요합니다. 아이 및 지터 측정 기능이 있는 파형 모니터 및 디지털 테스트 신호 생성기와 같은 측정 장비를 사용하면 시스템이 작동하기 시작한 이후 설비의 성능을 연속적으로 모니터링할 수 있는 것은 물론 설치 시 시스템 성능을 검증할 수도 있습니다. 아이 디스플레이를 통해 SDI 물리적 계층의 건전성에 대한 시각적 검사가 가능하며, 수신 장치에 적합하도록 아이를 넓게 열어 클럭 및 데이터를 복구할 수 있습니다. 또한 지터 파형 및 자동 아이 측정을 통해 물리적 계층에 대한 심층적인 조사 및 신호를 연속적으로 모니터링하는 것도 가능합니다. 이러한 도구는 SDI 신호 또는 장치 문제 해결 시 매우 유용합니다. WFM6100 및 WFM7100은 WVR 시리즈와 더불어 물리적 계층상에서 이루어지는 아이 및 지터 측정을 허용하는 옵션을 갖추고 있습니다.

## 텍트로닉스 연락처:

동남아시아/대양주 (65) 6356 3900  
오스트리아 +41 52 675 3777  
발칸, 이스라엘, 남아프리카 및 다른 ISE 국가들 +41 52 675 3777  
벨기에 07 81 60166  
브라질 및 남미 55 (11) 3741-8360  
캐나다 1 (800) 661-5625  
중앙동유럽, 우크라이나 및 발트해 연안 +41 52 675 3777  
중앙 유럽 및 그리스 +41 52 675 3777  
덴마크 +45 80 88 1401  
핀란드 +41 52 675 3777  
프랑스 및 북아프리카 +33 (0) 1 69 86 81 81  
독일 +49 (221) 94 77 400  
홍콩 (852) 2585-6688  
인도 (91) 80-22275577  
이태리 +39 (02) 25086 1  
일본 81 (3) 6714-3010  
룩셈부르크 +44(0) 1344 392400  
멕시코, 중앙아메리카 및 카리브해 52 (55) 56666-333  
중동, 아시아 및 북아프리카 +41 52 675 3777  
네덜란드 090 02 021797  
노르웨이 800 16098  
중국 86 (10) 6235 1230  
폴란드 +41 52 675 3777  
포르투갈 80 08 12370  
대한민국 82 (2) 528-5299  
러시아 및 CIS +7 (495) 7484900  
남아프리카 +27 11 254 8360  
스페인(+34) 901 988 054  
스웨덴 020 08 80371  
스위스 +41 52 675 3777  
대만 886 (2) 2722-9622  
영국 및 아일랜드 +44 (0) 1344 392400  
미국 1(800) 426-2200  
기타 지역: 1 (503) 627-7111  
최종 업데이트 일자 2006년 2월 23일

## 추가 정보

텍트로닉스는 최첨단 기술을 다루는 엔지니어를 지원하기 위해 애플리케이션 노트, 기술 문서 및 기타 리소스 등을 총 망라한 방대한 자료를 보유 관리하고 있으며 이를 계속 확장하고 있습니다.  
[www.tektronix.com](http://www.tektronix.com)을 방문해 보십시오.



Copyright © 2006, Tektronix. All rights reserved. 텍트로닉스 제품은 현재 등록되어 있거나 출원중인 미국 및 국제 특허의 보호를 받고 있습니다. 이 문서에 포함되어 있는 정보는 이전에 발행된 모든 자료에 실린 내용에 우선합니다. 사양이나 가격 정보는 예고 없이 변경될 수 있습니다. 텍트로닉스 및 TEK은 텍트로닉스, Inc.의 등록 상표입니다. 본 문서에 인용된 다른 모든 상표는 해당 회사의 서비스 마크, 상표 또는 등록 상표입니다.  
05/06 EAWOW 25K-19525-0