

# VIAVI Solutions의 TrueSpeed를 활용한 RFC 6349 테스트 - 최종 사용자와 동일한 네트워크 경험

RFC 6349는 VIAVI와 Bell Canada 및 Deutsche Telecom과 협력하여 공동으로 개발한 전송 제어 프로토콜(TCP) 처리량 테스트 방법론입니다. IETF(Internet Engineering Task Force) 조직에서 발표한 RFC 6349는 네트워크와 서버 성능을 최적화하는 체계적 프로세스, 지표 및 가이드라인을 사용하여 TCP 처리량 분석을 위한 반복 가능한 테스트 방법을 제공합니다.

이 애플리케이션 노트에서는 RFC 6349, 'TCP 처리량 테스트용 프레임워크'에 대한 요약을 제공하고, 현재 MTS-5800 핸드헬드 네트워크 테스터, MTS 5800-100G, MAP-2100 및 가상 네트워크 테스트 및 보증 시스템인 VIAVI Fusion에서 사용할 수 있으며 완벽히 자동화된 VIAVI RFC 6349 준수 구현인 TrueSpeed™를 소개합니다.

이 애플리케이션 노트에서는 TrueSpeed RFC 6349와 ITU Y.1564 이더넷 서비스 활성화 표준의 통합에 대한 설명도 제공합니다. 이 강력한 테스트 조합은 다중 서비스(예: 트리플 플레이) 환경에서 최적화된 최종 고객 경험을 보장하는 포괄적인 방법을 제공합니다.

## RFC 6349 TCP 테스트 방법론

RFC 6349는 사용자 경험을 더 잘 파악하기 위한 목적으로 IP 네트워크에서 중단 간 TCP 처리량을 측정하는 실용적인 방법입니다. RFC 6349 프레임워크에서는 TCP 처리량을 최적화하기 위해 TCP 및 IP 파라미터도 지정됩니다.

RFC 6349는 TCP 테스트 전에 항상 레이어 2/3 턴업 테스트를 수행하도록 권장합니다. RFC 6349에서는 또한 레이어 2/3에서 네트워크를 검증한 후 다음 세 단계의 테스트를 수행하도록 하고 있습니다.

- TCP 페이로드가 분할되지 않은 채 유지되도록 TCP 세그먼트 크기 테스트와 함께 네트워크 MTU(Maximum Transmission Unit)를 검증하는 경로 MTU 감지(RFC 4821 준수)
- TCP BDP의 자동 계산을 위해 최적의 TCP 윈도우 크기를 예측하는 베이스라인 라운드 트립 지연 및 대역폭
- 자동화된 '풀 파이프' TCP 테스트가 가능한 TCP 윈도우 크기 예측을 검증하는 단일 및 다중 TCP 연결 처리량 테스트

다음 하위 섹션에서는 각 RFC 6349 테스트 단계에 대해 자세히 설명합니다.

## 경로 MTU 검색(RFC 4821 준수)

TCP 구현은 ICMP(Internet Control Message Protocol) 'need to frag' 메시지를 사용하여 경로 MTU를 인식하는 경로 MTU 검색 기술(PMTUD)을 사용해야 합니다. 장치에서 전송할 패킷의 IP 헤더 세트에 DF(don't fragment) 비트가 있고 패킷이 다음 홉의 MTU보다 큰 경우에는 해당 패킷이 삭제되고 장치는 ICMP need to frag 메시지를 원래 패킷이 발생했던 호스트로 돌려보냅니다. ICMP need to frag 메시지는 다음 홉 MTU가 포함됩니다. MTU는 PMTUD가 자체를 조정하는 데 사용됩니다. 불행히도 많은 네트워크 관리자들이 ICMP를 완전히 비활성화하기 때문에 이 기술은 다소 불안정할 수 있습니다.

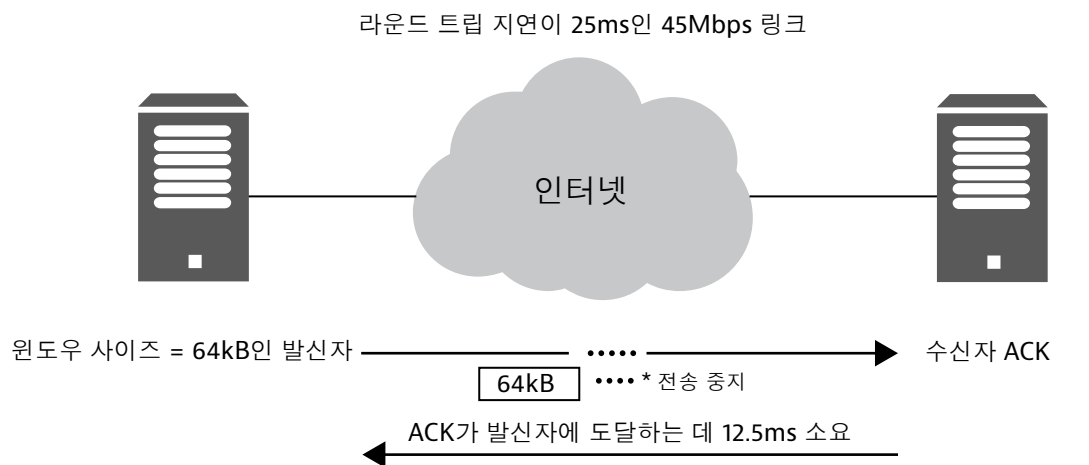
따라서 RFC 6349는 RFC 4821에 따른 패킷화 레이어 경로 MTU 검색(PLPMTUD)을 수행하여 네트워크 경로 MTU를 검증할 것을 제안합니다. 그 이유는 ICMP가 있는지와 관계없이 사용이 가능하기 때문입니다. PLPMTUD는 실시간 TCP 트래픽을 사용하여 MTU에 대한 트래픽을 폴링하도록 지정합니다. IP 패킷의 DF 비트를 설정하는 것과 동일한 기술이 구현되었지만, 이 기술은 실시간 TCP 세션을 사용하므로 ICMP를 사용하지 않습니다. 이 알고리즘은 TCP 재전송 조건을 사용하여 MTU를 검색하는데, 이는 모든 후속 단계에서 단편화를 방지하기 위해 사용됩니다.

## 베이스라인 라운드 트립 지연 및 대역폭

TCP 테스트를 시작하려면 먼저 베이스라인 라운드 트립 시간(RTT, Round-Trip Time) 또는 비혼잡 내재 지연(noncongested inherent delay)과 종단 간 네트워크의 병목 대역폭(BB)을 결정하는 것이 중요합니다. 이러한 베이스라인 측정은 BDP를 계산하고 TCP 수신 윈도우(RWND)와 전송 패킷 버퍼(후속 테스트 단계에서 사용)의 크기를 예상하는 데 사용됩니다.

WAN 링크에서, 발신자가 수신자로부터 ACK(acknowledgment)를 받기 전에 전송할 수 있는 바이트 수를 조정하도록 TCP를 올바르게 구성해야 합니다. 이 '처리 중' 바이트 수는 일반적으로 TCP 윈도우라고 칭하는데, 실제로는 여러 개의 TCP 윈도우 메커니즘이 사용됩니다.

그림 1은 RTD(Round-Trip Delay) 또는 대기 시간이 25ms인 45Mbps WAN 링크에서의 TCP 처리 중 데이터 바이트 개념을 보여줍니다.



1107.0422

그림 1. RTD가 25ms인 45Mbps WAN 링크에서의 TCP 처리 중 데이터 바이트 그림

그림 1에서, TCP 윈도우는 잘못 조정되어 있고 ACK가 필요해지기 전에 64kB만 발신자로부터 전송됩니다.

RFC 6349에 설명된 것처럼 BDP는 최적의 TCP 윈도우로, 다음과 같이 계산됩니다.

$$BDP = \frac{\text{링크 병목 대역폭} \times \text{지연(Round trip) 시간}}{8}$$

이 예에서 BDP는 140kB인데, 이 값은 발신자의 64kB 윈도우 크기의 2배가 넘으며 발신자는 약 20Mbps 처리량만 성공하게 됩니다.

RFC 6349는 다음과 같이 RTT 측정 메커니즘을 정의합니다.

- 레이어 2/3에서 활성 트래픽 생성 및 한 말단에서 다른 말단으로 루프백
- 패킷 캡처
- 네트워크 장치의 확장 MIB(Management Information Base)(RFC 4898)
- ICMP 핑

BDP는 RTT와 BB 모두에 독립적이므로 BB도 측정해야 필요합니다. 운영 네트워크용으로 채택되는 RFC 2544와 같은 레이어 2/3 테스트는 BB 측정을 위한 하나의 수단으로 지정됩니다. RTT와 BB 모두 알려져 있으면 RFC 6349를 사용하여 후속 TCP 처리량 테스트를 위한 예상 TCP 성능을 계산할 수 있습니다.

### 단일 및 다중 TCP 연결 처리량 테스트

단일 TCP 연결 테스트를 수행할지, 다중 TCP 연결 테스트를 수행할지는 최종 사용자 환경에 구성된 TCP RWND와 관련한 BDP 크기에 따라 결정됩니다. 예와 같이 LFN(Long Fat Network)의 BDP가 2MB이면 다중 연결을 사용하여 이 네트워크 경로를 테스트하는 것이 바람직합니다. 일반적인 호스트 TCP RWND 크기가 64kB(예: Windows XP)라고 가정할 경우 32개의 TCP 연결을 사용하여 소규모 사무실 시나리오를 에뮬레이션합니다.

RFC 6349가 여러 연결을 테스트하도록 강제하지는 않지만, 가장 현실적인 TCP 처리량 검증 수단으로 다중 연결 테스트를 권장합니다. RFC 6349는 또한 TCP 처리량 테스트 도중 측정할 구체적인 지표도 정의합니다. 이에 대해서는 다음에 알아보겠습니다.

## RFC 6349 지표

다음은 TCP 성능이 떨어지는 원인을 진단하는 데 사용할 수 있도록 몇 가지 예와 함께 RFC 6349 TCP 지표를 소개합니다.

### TCP 전송 시간

최초의 RFC 6349 TCP 지표는 TCP 전송 시간으로, 동시 TCP 연결들에서 데이터 블록을 전송하는 데 걸리는 시간을 측정합니다. 이상적인 TCP 전송 시간은 네트워크 경로 BB 및 네트워크 경로와 연관된 다양한 레이어 1/2/3 오버헤드로부터 산출합니다. 예와 같이 500Mbps 이더넷 서비스 사용 중 5개의 동시 TCP 연결에서 100MB를 대량 전송(각 연결이 100MB 업로드)하는 경우를 들 수 있습니다. 각 연결은 테스트 도중 처리량이 달라질 수 있으므로, 전체 처리량 비율을 결정하는 일이 항상 쉽지만은 않으며, 특히 연결 개수가 클수록 더 어려워집니다.

이상적인 TCP 전송 시간은 약 8초이지만, 이 예에서 실제 TCP 전송 시간은 12초입니다. TCP 전송 지수는  $12 \div 8 = 1.5$ 로, 이 수치는 모든 연결에서의 전송에 이상적인 시간보다 1.5배 더 소요된다는 것을 나타냅니다.

## TCP 효율성

TCP 재전송은 TCP/IP 네트워크 통신에서 일반적인 현상입니다. 단순히 숫자 자체를 사용한다면 성능에 영향을 주는 재전송 횟수를 결정하기가 어렵습니다. RFC 6349는 페이로드 재전송 때문에 사용한 네트워크 전송의 상대적 비율을 파악할 수 있는 새로운 지표를 정의합니다.

이 지표는 TCP 효율 지표(재전송되지 않은 바이트의 비율)로, 다음과 같이 정의됩니다.

$$\frac{\text{전송된 바이트} - \text{재전송된 바이트}}{\text{전송된 바이트}} \times 100$$

전송된 바이트는 원래 바이트와 재전송된 바이트를 포함하여 전송된 TCP 페이로드 바이트의 총수입니다. 이 지표를 사용하면 트래픽 관리, 혼잡 회피 등 다양한 QoS(Quality of Service) 메커니즘과 Reno, Vegas 등의 다양한 TCP 구현들 간 비교가 가능합니다.

예와 같이 100,000바이트가 전송되고 2,000바이트를 재전송해야 하는 경우 TCP 효율은 다음과 같이 계산됩니다.

$$\frac{102,000 - 2,000}{102,000} \times 100 = 98.03\%$$

패킷 손실 분포가 TCP의 재전송 방식에 다양하게 영향을 미칠 수 있으므로, 레이어 2/3에서의 패킷 손실 비율이 바이트 재전송 비율과 직접적인 연관이 있는 것은 아니라는 점에 주목하십시오.

## 버퍼 지연 비율

RFC 6349는 또한 TCP 처리량 테스트 도중 베이스라인 RTT를 기준으로 한 RTT 증가분을 나타내는 버퍼 지연 비율도 정의합니다. 베이스라인 RTT는 혼잡 없는 네트워크 경로의 고유 RTT입니다.

버퍼 지연 비율은 다음과 같이 정의됩니다.

$$\frac{\text{전송 도중 평균 RTT} - \text{베이스라인 RTT}}{\text{베이스라인 RTT}} \times 100$$

예와 같이 다음 공식을 사용하여 베이스라인 RTT(지연) 경로가 25ms이고 평균 RTT TCP 전송 도중 32ms로 증가하는 네트워크의 버퍼 지연 비율을 계산합니다.

$$\frac{32 - 25}{25} \times 100 = 28\%$$

즉, TCP 전송에서 28%의 추가 RTD(혼잡)가 발생했는데, 이로 인해 전체 TCP 처리량이 일정 비율로 감소해 결국 최종 사용자 입장에서는 더 오랜 지연 시간을 경험하게 됩니다.

## RFC 6349 TCP 튜닝 가이드라인

TCP 성능이 기대치를 충족시키지 못하는 경우에 참고할 수 있도록 RFC 6349는 가능한 원인에 대한 가이드라인을 제공합니다.

- 중개 네트워크 장비가 TCP 연결을 활발하게 재생성하고 TCP RWND 크기, MTU 및 기타 요소를 변경시킬 수 있습니다.
- shaping(정형화) 대신 policing(감시) 방식으로 비율을 제한하면 테일 드롭 때문에 과도한 TCP 재전송이 발생하게 됩니다.

- 최대 TCP 버퍼 공간

모든 운영 체제는 TCP 연결에 의해 사용된 시스템 메모리 크기를 제한하는 글로벌 메커니즘을 가지고 있습니다. 일부 시스템에서는 입력 데이터, 출력 데이터 및 제어에 사용된 총 메모리에 적용되는 메모리 제한이 각 연결에 영향을 미칩니다. 또 일부 시스템에서는 연결당 입력 및 출력 버퍼 공간에 대한 별도의 제한이 존재합니다. 클라이언트/서버 IP 호스트는 최대 TCP 버퍼 공간 제한을 사용하여 구성할 수 있는데, 이 제한은 고성능 네트워크에 적용하기에는 너무 작은 값입니다.

- 소켓 버퍼 크기

대부분의 운영 체제는 최대 메모리 제한 내에서 조정할 수 있는 별도의 단위 연결 전송-수신 버퍼 제한을 지원합니다. 이러한 소켓 버퍼는 충분히 크기 때문에 전체 BDP의 TCP 바이트와 오버헤드를 처리할 수 있습니다. 소켓 버퍼 크기를 조정하기 위해 여러 가지 방법을 사용할 수 있지만 TCP 성능과 메모리 사용량 간 균형을 최적으로 유지하기 위해 필요에 따라 TCP 자동 튜닝이 자동으로 조정합니다.

전체 네트워크/호스트 문제 목록과 권장되는 솔루션은 RFC 6349를 참조하십시오.

## RFC 6349의 VIAVI 구현

VIAVI는 RFC 6349 테스트 방법을 여러 휴대용 네트워크 테스트 장치, 랙 장착 테스트 장치 및 소프트웨어 기반 네트워크 테스트 시스템에 통합했습니다. TrueSpeed는 기술진이 간단히 테스트 구성을 로드해서 '실행'한 후 결과와 함께 테스트 보고서를 게시할 수 있도록 테스트 구성 파일을 활용합니다.

그림 2는 VIAVI TrueSpeed 테스트 기능 사용의 예를 보여줍니다.

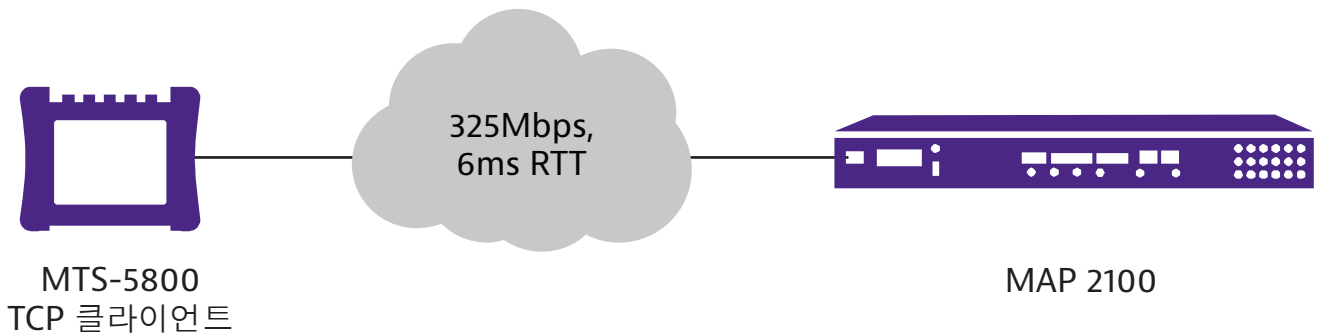


그림 2. TrueSpeed 처리량 테스트 시나리오

1106.0422

이것은 고객 CIR(Committed Information Rate)이 325Mbps이고 RTT가 6ms 이하, BDP가 250kB 이하인 LFN입니다. 이 예에서 MTS-5800은 처리량을 TCP 서버(MTS-6000A)에 업로드하는 TCP 클라이언트로 동작합니다.

그런 다음 테스트가 자동으로 실행되며 권장되는 기본 설정을 사용하여 평균 3분 내에 완료됩니다. 각 테스트 단계는 그래픽 결과를 제공합니다.

테스트는 RFC 6349에 지정된 순서로 실행되며, 첫 번째는 경로 MTU 테스트입니다. 그림 11은 경로 MTU가 1500 바이트인 예제 네트워크를 사용해서 얻은 이 테스트에 대한 결과를 보여줍니다.

TrueSpeed 테스트의 두 가지 워크플로는 다음과 같습니다.

- 설치 테스트 모드: 사용자는 주소 및 CIR 값만 입력하면 됩니다. MTS가 RFC 6349에 따라 모든 TCP 파라미터를 자동으로 입력합니다.
- 문제 해결 테스트 모드: 고급 사용자는 TCP 테스트의 여러 측면을 통제하여 고급 트래픽 셰이핑 테스트 등의 집중 분석을 수행할 수 있습니다.

두 가지 다른 테스트 모드를 요약하는 항목은 다음과 같습니다.

### 설치 테스트 모드

이 모드에서는 새로운 최종 고객 서비스를 프로비저닝/설치하기 위해 기술진이 파견되며 RFC 2544 또는 Y:1564 Layer2/3 테스트가 먼저 실행됩니다. 그런 다음 동일한 MTS 주소 정보(예: IP 주소, VLAN, QoS)를 모두 사용하여 자동화된 TrueSpeed 설치 테스트를 수행합니다.

모든 테스트에서는 IP 주소로 구성된 원격 MTS를 사용하여 로컬 MTS(1인 수행 RFC 6349 테스트)에서 수행됩니다. 개략적인 테스트 순서는 다음과 같습니다.

기술진이 CIR 및 테스트 시간을 입력합니다.

- MTS가 자동으로 TCP 창 크기 및 연결 수에 대한 모든 필드를 채웁니다.
- MTS가 로컬 장치에서 업로드를 실행한 후 다운로드(속도 테스트)를 실행합니다.
- 통과/실패를 단순하게 보고하고 로컬 MTS에 보고합니다.

더 자세한 단계별 안내는 MTS 참조 스크린샷과 함께 아래에서 제공됩니다.

1. 기술진이 로컬 및 원격 MTS에 대한 IP 주소(사용되는 경우 VLAN)를 구성한 후 핑을 실행하여 레이어 3에 대한 연결을 확인할 수도 있습니다.

로컬 MTS는 원격 MTS에 연결하고 모든 테스트 구성 및 결과 검색에서 TCP 포트 3000을 사용합니다.

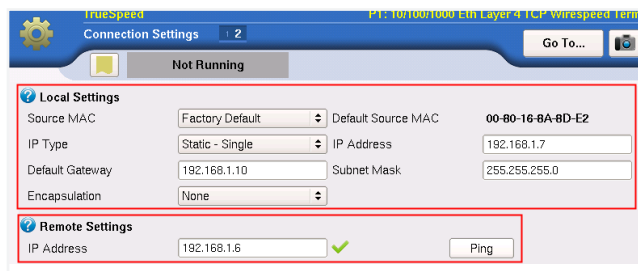


그림 3. IP 주소 구성

2. 기술진이 1개의 화면을 구성하여 아래와 같이 레이어 4에서 SLA를 테스트합니다.



그림 4. SLA 테스트 구성

1. 모든 TCP 테스트의 총 테스트 시간(최소 30초).
2. 로컬 및 원격 QoS/VLAN 설정(VLAN은 표시되지 않음).
3. 테스트할 서비스에 대한 레이어 1/2 CIR입니다.

구성할 복잡한 TCP 창 크기 또는 연결 수가 없습니다. MTS에서는 RFC 6349를 사용하여 사용자를 위해 이러한 값을 자동으로 계산합니다.

3. 기술진이 **테스트 실행**을 클릭합니다.

로컬 MTS는 업스트림 및 다운스트림 방향 모두(속도 테스트와 같이 순차적으로)에서 RFC 6349 테스트를 자동으로 실행합니다.

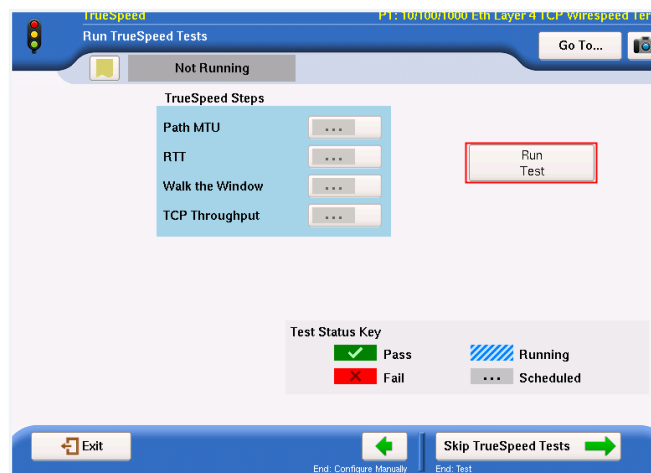


그림 5. RFC 6349 테스트 실행

다음 테스트는 아래의 간략한 설명과 함께 RFC 6349에 따라 실행되며, 자세한 설명은 다음 문제 해결 테스트 모드 항목에서 제공됩니다.

- 경로 MTU 감지(RFC 4821 준수) - 활성 TCP 세그먼트 크기 테스트를 통해 네트워크 MTU를 확인하여 TCP 페이로드가 조각화되지 않도록 합니다.
- RTT 테스트 - 서비스의 RTT를 측정하고 최적의 TCP 창 크기를 예측하여 TCP BDP를 자동으로 계산합니다.
- WtW(Walk-the-Window) - 4가지 다른 TCP 창 크기 테스트를 수행하고 처리량을 레이어 4 CIR의 25%에서 100%로 증가시킵니다.
- TCP 처리량 - CIR에서 더 자세한 처리량 테스트를 수행하고 통과/실패 판정, RFC 6349 지표 및 자세한 그래프를 제공합니다.

WtW 테스트의 결과가 표시되며 결과 옆에 있는 상자를 클릭하여 액세스할 수 있습니다.

테스트를 위한 업스트림 및 다운스트림 버튼이 있음에 유의하십시오. 이 예에서 업스트림에는 40Mbps 폴리서가 있었고 모든 창 설정에는 극적인 성능 문제가 있었습니다. CIR 창 설정은 항상 4번째로 테스트된 창이며 이 경우 40Mbps의 결과가 제공되어야 합니다.

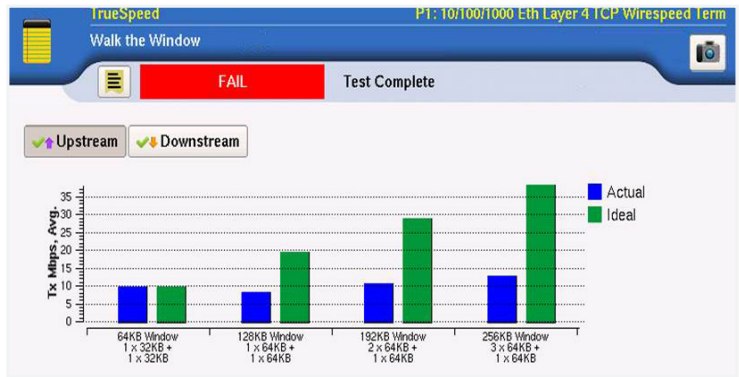


그림 6. Walk-the-Window 테스트 화면 - 업스트림

그림 7의 경우 다운스트림 방향에는 폴리서가 없었고 처리량은 4번째 창 크기(CIR 창 크기와 동일) 등 모든 경우에 이상적인 결과를 충족했습니다.

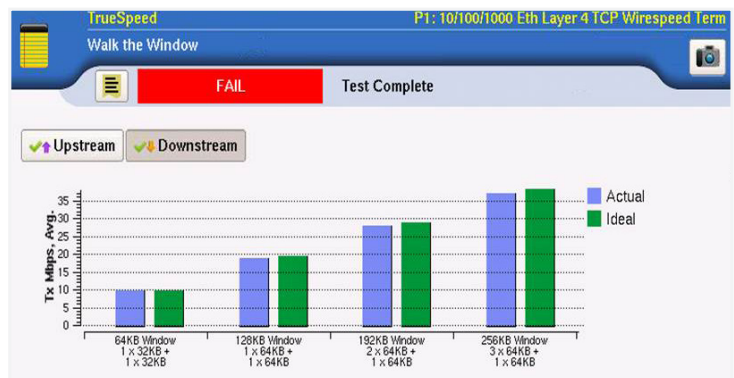


그림 7. Walk-the-Window 테스트 화면 - 다운스트림



앞서 설명한 것과 같이, TCP 처리량 테스트는 CIR 창 크기(WtW 시리즈의 4번째)에서 수행되며 더 자세하고 긴 테스트를 제공합니다.

테스트가 완료되면 간단한 통과/실패 판정(그림 8) 및 상세한 처리량 테스트 결과 화면(그림 9)이 사용자에게 표시되며, 이 예에서는 40Mbps 폴리서로 인해 업스트림 방향에서 테스트가 실패했습니다. 이 조건에서 실제 고객 처리량은 12.3Mbps에 불과했습니다. 또한, TCP 효율성 및 버퍼 지연 지표를 사용하면 TCP 성능 저하의 원인을 진단할 수 있습니다. 이 예에서는 폴리서가 패킷을 삭제합니다.

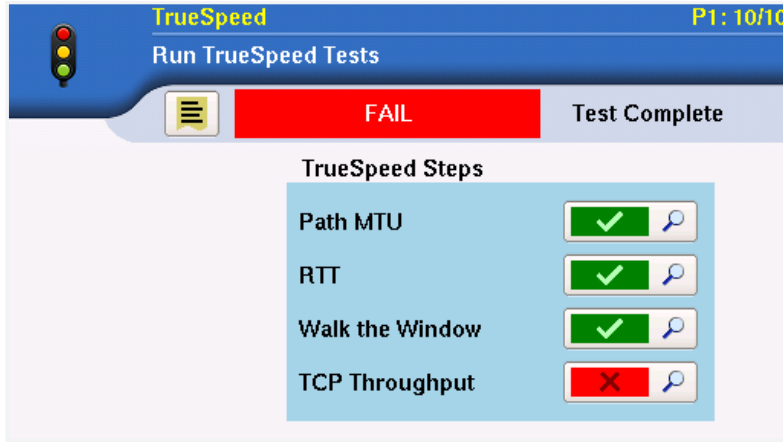


그림 8. 통과/실패 테스트 화면

테스트가 완료된 후에는 그래픽 테스트 보고서가 생성되고 테스트 구성도 저장할 수 있습니다.

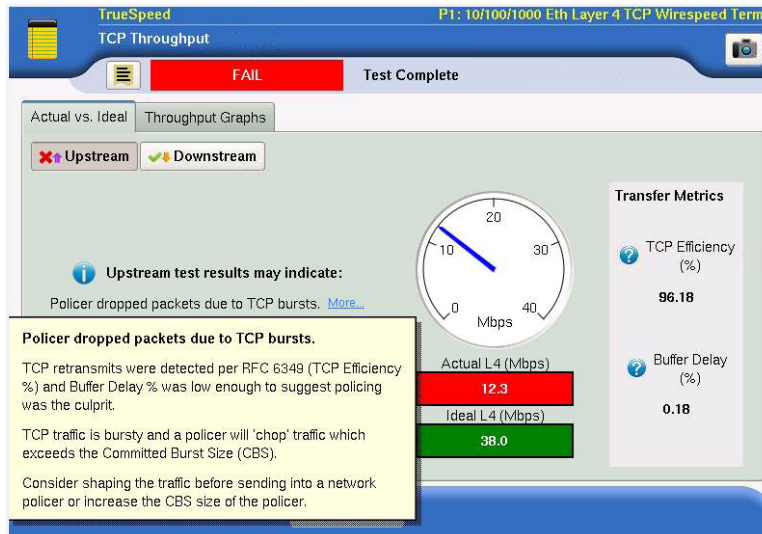


그림 9. 세부 TCP 처리량 테스트 결과

## 문제 해결 테스트 모드

이 모드에서 사용자는 테스트 구성을 로드하거나 수동으로 테스트를 구성할 수 있습니다. 이 모드는 고급 현장 기술진을 위해 세부적으로 구성할 수 있으며 TCP 이론 및 RFC 6349 결과에 대한 자세한 설명과 함께 더 자세한 테스트 시나리오를 살펴볼 수 있습니다.

사용자는 모든 RFC 6349 테스트 단계를 실행하거나 그림 10과 같이 이러한 테스트의 일부만 실행할 수도 있습니다. 이 예에서 CIR은 325Mbps이고 RTT는 6.5ms입니다.

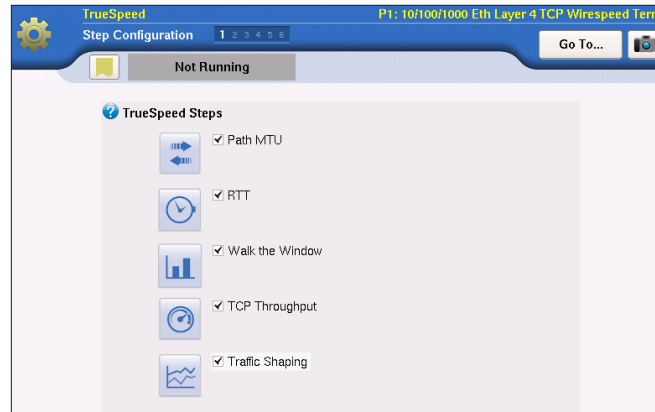


그림 10. TrueSpeed 테스트 구성 설정

그런 다음 테스트가 자동으로 실행되며 권장되는 기본 설정을 사용하여 평균 3분 내에 완료됩니다. 각 테스트 단계는 그래픽 결과를 제공합니다.

테스트는 RFC 6349에 지정된 순서로 실행되며, 첫 번째는 경로 MTU 테스트입니다. 그림 11은 경로 MTU가 1500 바이트인 예제 네트워크를 사용해서 얻은 이 테스트에 대한 결과를 보여줍니다.

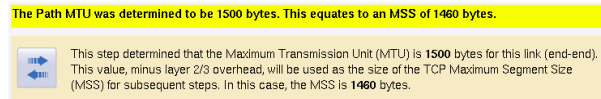


그림 11. 경로 MTU 테스트 결과

경로 MTU 테스트를 완료한 후, TrueSpeed는 필수 절차인 RTT 테스트로 진행합니다. 그 이유는 BDP가 이상적인 TCP 창을 알리고 있기 때문입니다. BDP는 이상적인 TCP 처리량을 예측하기 위해 후속 테스트 단계에서 사용됩니다.

그림 12는 RTT가 6.5ms인 이 예의 RTT 테스트 결과를 보여줍니다.

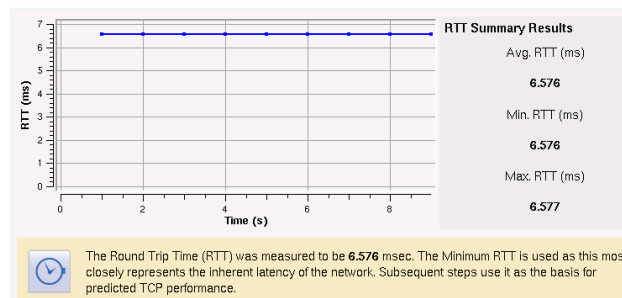


그림 12. RTT 테스트 결과

Walk the Window 테스트는 테스트한 창 크기 결과와 예산 결과에 대한 유용한 특성 해석을 제공합니다. Walk the Window 테스트는 경로 MTU 및 RTT(지연) 테스트에서 얻은 파라미터를 사용하여 창 크기 처리량 테스트를 수행합니다. 그림 13은 Walk the Window 테스트 결과를 보여줍니다.

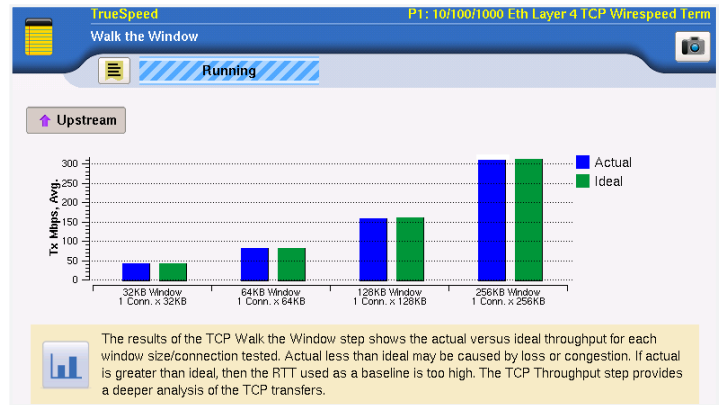


그림 13, Walk the Window 테스트 결과

그림 13의 예에서, 실제 TCP 처리량은 TCP 창 크기가 256kB로 구성된 325Mbps의 CIR만 포화시킵니다. 많은 경우 최종 호스트 컴퓨터는 훨씬 작은 창(예: 64kB)을 사용하므로 처리량이 예상보다 훨씬 더 적어집니다. 여기서 64kB인 창 크기는 80Mbps 미만의 결과를 생성합니다.

그다음, TCP 처리량 테스트가 문제가 있는 창 크기를 상세하게 분석하며 진단을 돕기 위해 RFC 6349 지표 결과를 제공합니다. 그림 10에서 TCP 창 크기가 384kB(크기가 128kB인 연결 3개 사용)로 증가했는데, 이는 325Mbps CIR을 상당히 초과하는 수치입니다. 최종 사용자는 종종 '창이 클수록 더 좋다'는 극단적인 생각을 하곤 합니다. 그러나 그림 14의 이 WAN 환경에서 네트워크 policing(감시)이 325Mbps CIR에서 활성화되어 TCP 성능이 상당히 저하되었습니다.

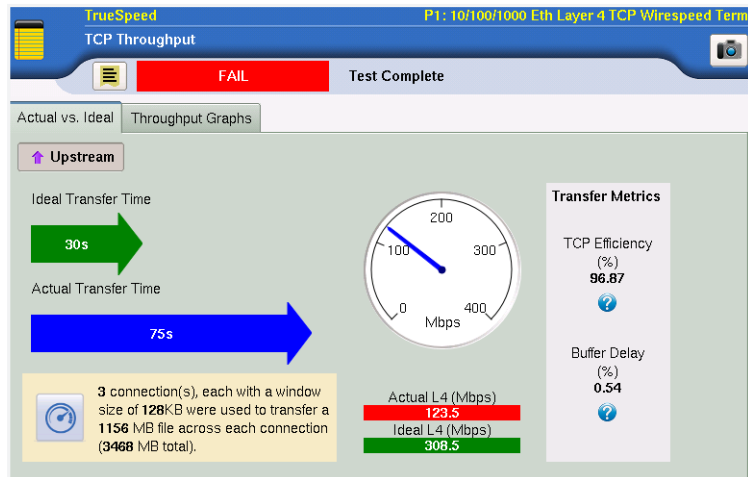


그림 14, TCP 처리량 테스트 결과(기본 보기)

여기서 TCP 효율 지표는 96.87%이고 버퍼 지연 비율은 0.54%에 불과해 버퍼링 지연보다는 손실이 성능 저하에 더 큰 원인이라는 점을 알 수 있습니다. 그림 15는 자세한 처리량 그래프를 보여줍니다.

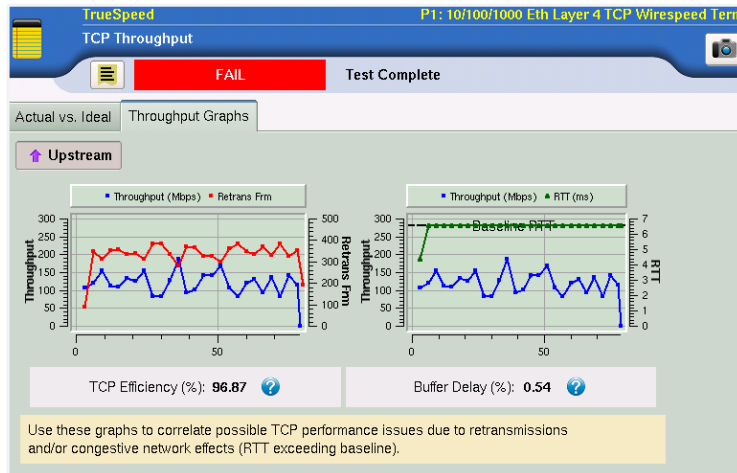


그림 15. TCP 처리량 테스트 그래프

VIAVI는 RFC 6349 테스트를 확장하여 Traffic Shaping(트래픽 셰이핑) 테스트를 제공합니다. Traffic Shaping은 지능적 네트워크 버퍼링으로, 네트워크 장치가 CIR에 따라 트래픽을 다듬습니다. Traffic Shaping은 CPE(Customer Premises Equipment) 쪽 장치에서 수행해야 하지만, 네트워크 공급자는 또한 트래픽을 shaping(정형화)하여 TCP 성능과 최종 고객 만족도를 상당히 높일 수 있습니다.

고속 인터페이스에서 저속 인터페이스로 바뀌기 때문에 TCP 트래픽을 셰이핑하지 않아 네트워크 폴리서가 TCP 성능에 악영향을 미치게 될 수 있습니다. 정형화와 반대로, 감시는 CIR을 초과하는 과도한 트래픽을 잘라내 TCP 재전송을 유발하며, 그 결과 최종 사용자가 경험하는 성능이 크게 저하되는 문제가 생깁니다. 그림 16은 트래픽 셰이퍼 대 폴리서의 함수 관계를 보여줍니다.

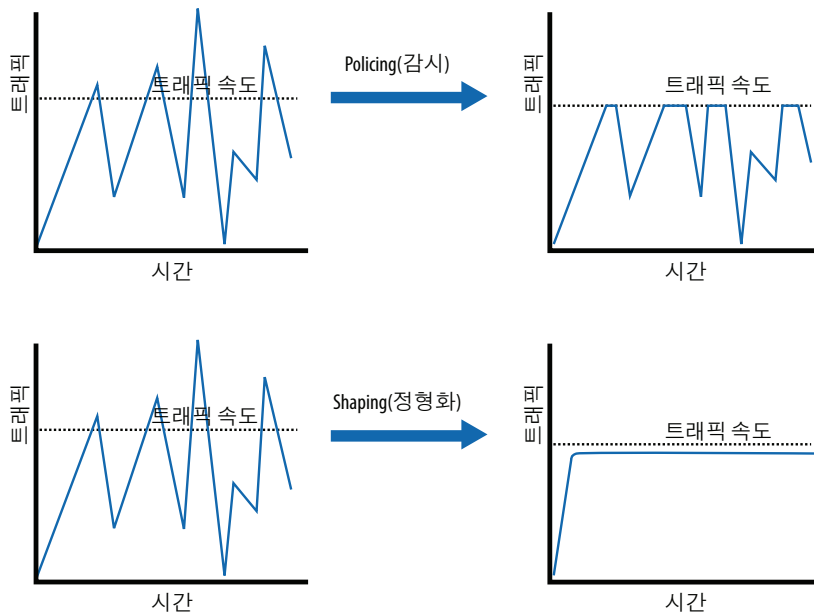


그림 16. 트래픽 셰이퍼 대 폴리서의 함수 관계

TrueSpeed는 셰이핑 및 정책 적용이 수행되는 트래픽을 명확하게 보여 주는 트래픽 셰이핑 테스트 결과를 제공합니다. 그림 17은 정책이 적용되는 트래픽이 나타나 있는데, 4개의 TCP 연결에서 대역폭이 상당히 '지그재그한' 형태의 분포를 보이고 있습니다.

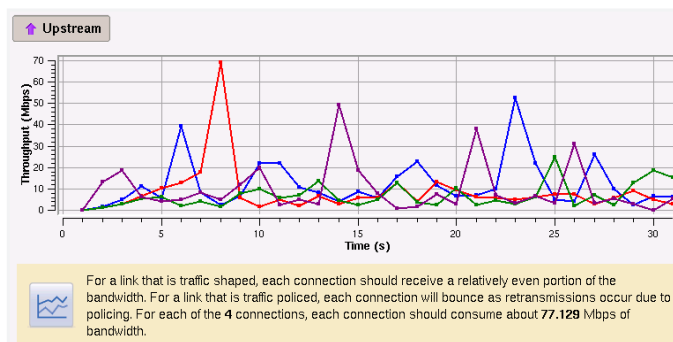


그림 17. TrueSpeed Traffic Shaping 결과(트래픽이 감시되는 경우)

그림 18은 4개의 TCP 연결에서 대역폭이 매우 고른 분포를 보이는 트래픽 셰이핑을 보여줍니다.

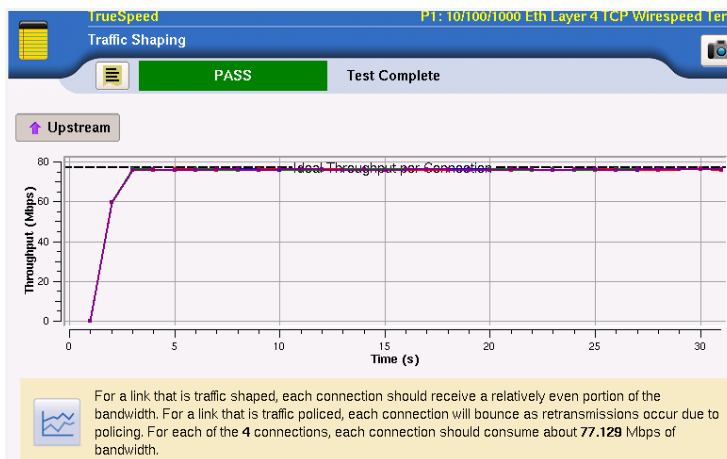


그림 18. TrueSpeed Traffic Shaping 결과(트래픽이 정형화되는 경우)

## TrueSpeed RFC 6349와 Y.1564 통합

ITU Y.1564는 이더넷 서비스 활성화를 위한 ITU 표준입니다. 주요 사항은 다음과 같습니다.

- 고객 SLA를 충족하기 위한 여러 서비스 현장 향상 및 설치 테스트
- 말단에서 루프백을 사용한 종단 간 다중 이더넷/IP 서비스 테스트 자동화
- LTE/4G IP 서비스 및 트리플 플레이 테스트에 이상적입니다.

Y.1564에서 식별된 문제는 다음과 같습니다.

- 잘못된 네트워크 구성 - VLAN ID 및 우선 순위, IP TOS, 최대 처리량
- 낮은 서비스 품질 - 너무 높은 대기 시간, 지터 또는 손실
- 로드 조건에서 동일한 네트워크에서 서비스가 제대로 작동하지 않습니다.

Y.1564는 레이어 2(이더넷) 및 레이어 3(IP) 성능을 검증하기 위해서만 정의되기 때문에 TCP 계층의 테스트 간격은 테스트되지 않았습니다. 최종적인 결과는 Y.1564가 '통과' 결과를 제공할 수 있지만, 이전 섹션에서 설명한 TCP 관련 성능 문제로 인해 최종 고객에게 제공되는 성능이 여전히 좋지 않을 수 있다는 것입니다.

이 테스트 결함에 대한 해결책은 서비스 활성화 중에 TrueSpeed RFC 6349 테스트를 Y.1564와 통합하는 것입니다. 그림 19는 TrueSpeed를 Y.1564 서비스 성능 테스트와 통합하는 방법을 보여줍니다.

그림 19에서는 음성 및 비디오 서비스에 대한 고정 비트 전송률, UDP 기반 스트림 테스트가 수행되었습니다. 그러나 데이터 서비스는 버스트 특성의 TCP 기반 TrueSpeed RFC 6349 호환 트래픽으로 테스트됩니다. TCP 애플리케이션의 버스트 특성은 네트워크 QoS에 스트레스를 주고 순수 Y.1564 테스트를 실행할 때 감지되지 않은 상태로 유지되는 성능 문제가 발생할 수 있습니다.



그림 19. 통합 TrueSpeed 서비스를 사용한 Y.1564 성능 테스트 단계

이 통합 방식의 VIAVI 구현을 SAMComplete라고 하며 RFC 6349를 Y.1564와 통합하는 업계 유일의 서비스 활성화 방법론입니다. SAMComplete는 TrueSpeed 서비스의 자동화된 구성을 제공합니다. 사용자가 CIR을 지정하면 SAMComplete가 네트워크 조건에 적합한 TCP 세션 수를 자동으로 구성합니다. 이 통합 테스트가 완료되면, 그림 20과 같이 기존 Y.1564 서비스와 마찬가지로 TrueSpeed 서비스에 대한 간단한 통과/실패 상태가 사용자에게 제공됩니다.

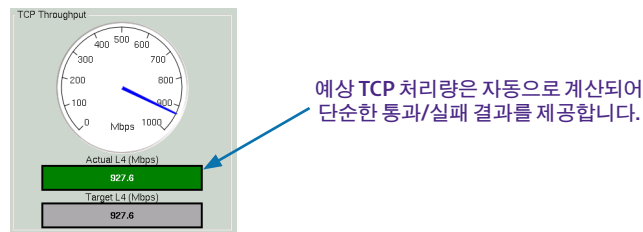


그림 20. TrueSpeed RFC 6349 테스트에 대한 단순 통과/실패 판정

## 결론

이 애플리케이션 노트에서는 RFC 6349에 명시된 TCP 테스트 방법을 간략하게 알아보았습니다. 이 방법은 TCP 처리량 테스트에 대한 단계별 모범 사례 접근 방식을 통해 TCP 테스트 방법의 변동성을 상당 부분 없앨 수 있습니다. RFC 6349 내에 지정된 TCP 지표는 네트워크 문제(손실 및 지연)와 그러한 문제가 전반적인 TCP 성능에 영향을 미치는 방식에 대한 객관적인 조치를 제공합니다.

실제 TCP 처리량이 이상적인 처리량과 동일하지 않을 경우 RFC 6349에서 제공하는 네트워크 및/또는 최종 호스트를 튜닝하는 유용한 가이드라인을 활용할 수 있습니다.

VIAMI TrueSpeed 테스트는 완벽히 자동화된 RFC 6349 준수 구현으로, 단순한 푸시 버튼 실행 및 자동 보고서 생성 기능이 있어 경험이 부족한 기술진도 5분 정도면 테스트를 수행할 수 있으며 경험이 많은 네트워크 엔지니어는 서비스 수준 계약(SLA)을 검증 및 구현하는 데 이러한 기능을 사용할 수 있습니다.