

SRT 전송의 구조와 운용 최적화

ProSRT4 기반의 운용 구조 분석

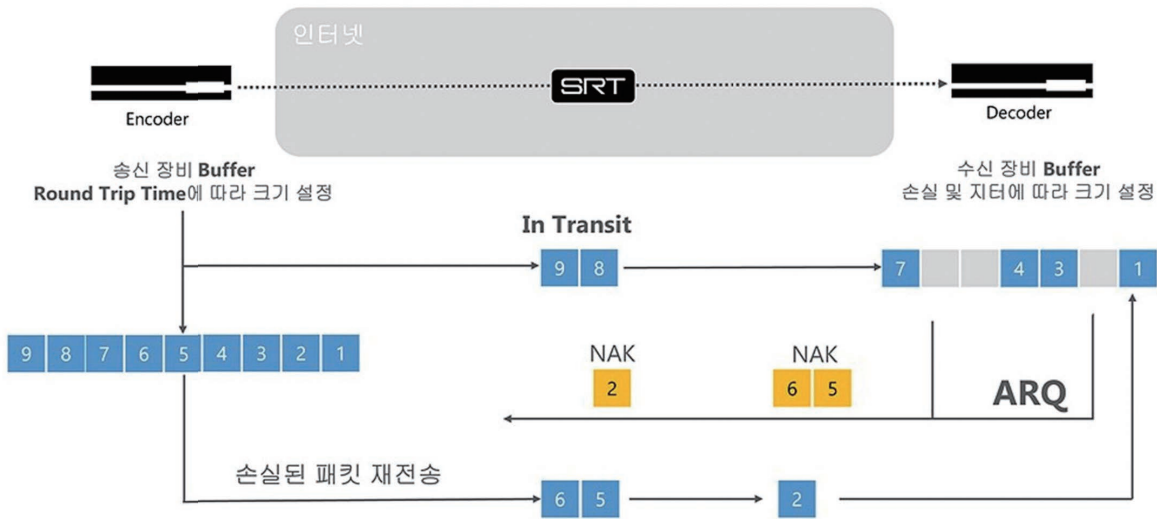


글. 이승미 디브이네스트 대리



방송 제작과 송출 환경이 IP 기반으로 전환되면서, 공용 네트워크상에서도 실시간 품질을 유지할 수 있는 전송 기술의 중요성이 높아지고 있습니다. 이러한 흐름 속에서 SRT(Secure Reliable Transport) 프로토콜은 낮은 지연, 패킷 손실에 대한 복원력, 그리고 구간 암호화를 하나의 전송 계층 안에서 동시에 제공하는 방식으로 방송 제작 환경에서의 활용 범위를 빠르게 넓혀가고 있습니다. SRT는 네트워크 품질 변동이 존재하는 외부망 위에서도 복구와 지연 제어를 내부적으로 처리할 수 있도록 설계되어 있다는 점에서 분산 제작·원격 중계·클라우드 연계 워크플로우에 적합한 실무용 프로토콜로 평가됩니다. 즉, SRT는 현재 방송 전송이 요구하는 조건을 구조적으로 충족한다는 이유로 선택되는 방식이라고 할 수 있습니다.

SRT는 UDP 기반 전송 위에 신뢰성 보정 계층과 보안 계층을 결합한 구조로 설계되어 있습니다. 기본 전송은 TCP처럼 흐름 제어를 중심에 두지 않고, UDP의 낮은 지연 특성을 유지한 상태에서 손실 복구와 지연 보정을 별도의 메커니즘으로 처리합니다. 손실 복구는 수신 측에서 누락 패킷을 감지하면 필요한 구간만 선택적으로 요청하는 NACK(Negative Acknowledgment, 부정 확인 응답) 방식을 사용하며, 동일한 목적을 위해 필요 시 FEC(Forward Error Correction, 순방향 오류 정정)를 병행해 재전송 없는 복구를 수행할 수도 있습니다. 지연값은 네트워크 상태를 외부 조건으로 간주하지 않고 장비 설정에서 직접 지정하도록 되어 있으며, 실제 적용되는 값은 송신부와 수신부 중 큰 값이 채택되는 방식으로 운영됩니다.



SRT는 프로토콜 차원에서 손실 복구·지연 제어·보안을 처리할 수 있도록 설계되어 있지만, 이러한 기능은 설정값이 실제 장비에서 어떻게 구현되느냐에 따라 성능 차이가 크게 벌어집니다. 특히 방송 환경에서는 단순히 SRT를 지원하는지 여부가 아니라, 지연과 대역폭, 재전송 정책, 버퍼 운영, 암호화 같은 변수들을 장비 내부에서 일관된 구조로 제어할 수 있어야 안정적인 운용이 가능합니다.

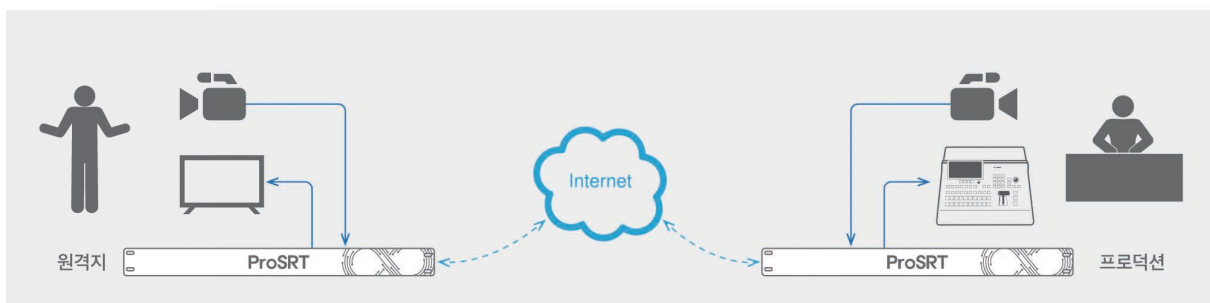


UDP와 SRT 전송 비교, SRT를 사용할 경우 패킷 손실 없이 실시간 비디오전송이 가능합니다

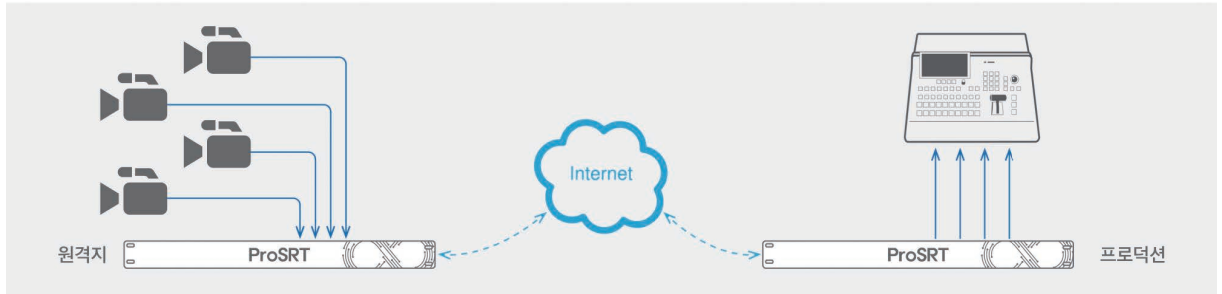
ProSRT4는 이러한 전제 위에서 구성된 장비로, SRT 운용에서 핵심이 되는 송신부와 수신부의 설정 항목을 현업 운영 수준에서 직접 관리할 수 있도록 설계되어 있습니다.

ProSRT4는 인코더 모듈과 디코더 모듈을 조합하여 최대 네 채널의 SRT 기반 전송 환경을 하나의 하드웨어 내부에서 구성할 수 있도록 설계된 장비입니다. 각 모듈은 SDI 및 HDMI 신호를 입력 또는 출력 단위로 처리할 수 있으며, 채널 단위로 인코딩과 디코딩 설정을 독립적으로 지정할 수 있어 동일한 장비 내에서 서로 다른 운용 목적을 가진 SRT 스트림을 병행 운용할 수 있습니다. 인코더 모듈을 복수 장착하여 다채널 송출 전용으로 구성하거나, 인코더와 디코더 모듈을 함께 조합해 특정 채널은 실시간 송출, 다른 채널은 수신 모니터링 또는 릴레이용으로 지정하는 구성 역시 동일 장비 내부에서 가능합니다. 이러한 구조는 SRT 전송이 단일 링크 중심에서 다회선 병행·백업 회선 구성·현장·본사 간 분배형 설계로 확장되는 환경에서도 별도의 외부 장비 추가 없이 단일 새시에서 운용 단위를 유지할 수 있도록 합니다.

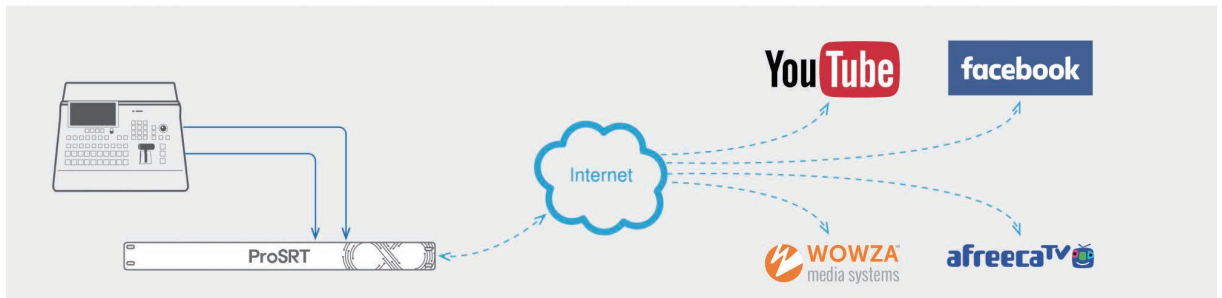
SNG 대응 라이브 비디오 전송 워크플로우



리모트 라이브 프로덕션 워크플로우

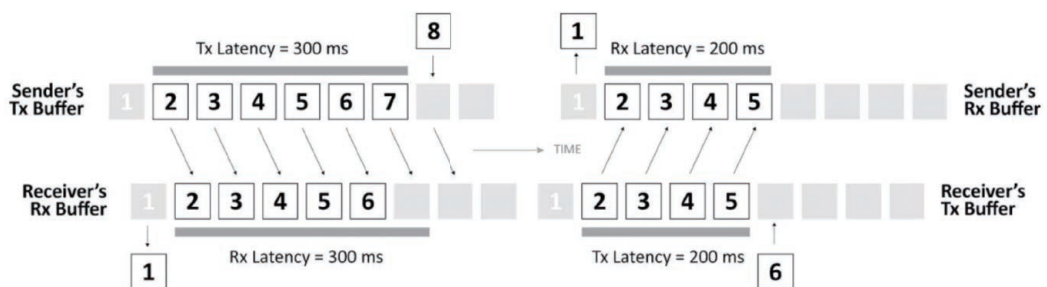


멀티 포인트 라이브 스트리밍 워크플로우



SRT는 운용 목적에 따라 설정값의 우선순위가 달라집니다. 가장 대표적인 구분은 '지연을 최소화하는 환경'과 '품질 무결성을 우선하는 환경'입니다. 저지연 목적의 운용에서는 전송 왕복 시간을 기준으로 전체 지연을 최소 수준으로 제한하고, 재전송에 따른 지연 누적을 줄이기 위해 FEC를 비활성화하는 구성이 일반적입니다. 이러한 방식을 적용하면 패킷 손실이 발생했을 때 즉시 복구되지 않을 가능성이 존재하지만, 인터컴, 리턴 영상, 원격 제어와 같이 반응성이 품질보다 우선되는 작업에서는 지연 최소화가 결과적 안정성으로 이어집니다. 이 경우 인코딩 비트레이트 역시 가용 대역폭 대비 여유를 두고 설정하여 재전송이 발생하더라도 지연이 급격히 증가하지 않도록 합니다.

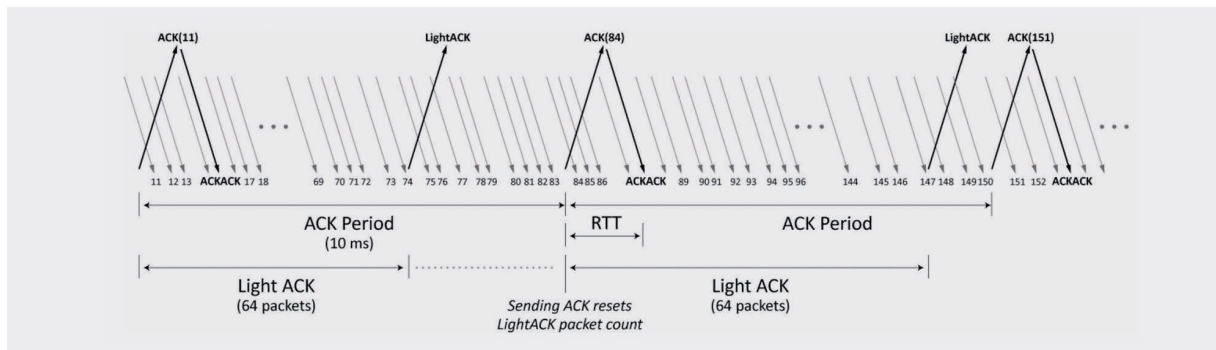
반대로 고신뢰 환경에서는 지연을 일정 수준 이상 허용하는 대신 복구 실패 가능성을 최대한 낮추는 구성이 적용됩니다. 이 구조에서는 패킷 손실에 대비해 FEC를 활성화하거나, 재전송 허용 횟수 및 RTO(Retransmission Timeout, 재전송 타임아웃)를 충분한 범위로 확보해 누락 구간을 복구하는 데 집중합니다. 전송 지연은 네트워크 변동을 흡수할 만큼 여유 있게 설정하며, 지터로 인한 도착 편차를 흡수하기 위해 수신부의 재생 캐시를 확장해 사용합니다. 이러한 구성은 본방송 송출이나 해외 중계, 녹화 송출 등 단 한 번의 전송 실패도 허용되기 어려운 환경에서 적용됩니다. 결국 SRT의 운용은 절대적인 정답이 아니라 네트워크 환경 및 장면 특성에 따라 어느 항목을 지연보다 위에 두거나, 어느 항목을 안정성보다 위에 두느냐에 따라 조합 구조가 달라지는 방식이라고 할 수 있습니다.



양방향 전송 대기열 동작 원리 / Haivision SRT white paper 참조

SRT 전송은 단순히 지연을 낮추거나 비트레이트를 지정하는 차원이 아니라 대역폭, 복원 정책, 지연 설계, 버퍼 운영을 상호 연동된 상태로 구성해야 안정적인 결과를 얻을 수 있습니다. 따라서 각 항목은 독립적으로 결정되기보다 “어떤 조건을 유지하기 위해 왜 그 값을 사용해야 하는가”라는 근거를 전제로 설정되어야 합니다. 다음에 서술하는 권고치는 SRT 프로토콜의 동작 원리와 전송 복구 메커니즘에 근거하여 일반화된 방식으로 도출된 값이며, ProSRT4 장비 설정에서 해당 항목들을 직접 제어하는 방법에 대해 설명합니다.

SRT 전송에서는 손실 복구 패킷이 본 스트림과 동일 경로를 공유하기 때문에, 사용 가능한 네트워크 대역폭(Network Bandwidth, 네트워크에서 실제로 보장되는 전송 용량)이 인코딩 비트레이트와 동일한 수준일 경우 복구 여유가 부족할 수 있습니다. SRT는 전체 재전송이 아닌 NACK 방식으로 누락 구간만 회수하므로, 원본 스트림과 재전송 스트림이 충돌하지 않도록 비트레이트 대비 최소 3~5배 수준의 사용 가능 대역폭 확보가 안정적 운용의 기본 조건이 됩니다.



ACK는 RTT를 측정하기 위해 해당 ACKACK 풍과 함께 핑 역할을 합니다. / 출처 : Haivision SRT white paper 참조

회선 변동성이 큰 환경에서는 Adaptive Bandwidth(적응형 대역폭 제어)를 병행하고, MAXBW(Maximum Bandwidth, 최대 허용 대역폭 상한)을 비트레이트의 2~3배 범위로 설정하면 불안정한 회선에서도 재전송 패킷이 안정적으로 통과할 수 있는 여유폭이 확보됩니다. 또한 복구 동작의 반응성은 RTO 및 재전송 시도 횟수 등의 내부 기준에 의해 결정되며, 일반적으로는 RTO 100~300ms, 재전송 횟수 5~10회 범위가 안정 동작 영역입니다.

ProSRT4는 이러한 복구 메커니즘을 전제로 동작하며, 이를 위해 ProSRT4는 재접속 속도를 설정하는 ‘Response Speed(재접속 응답 속도)’, 수신 경로 변동을 흡수하는 ‘Playback Buffer(패킷 재생 전 지연 버퍼)’와 손실 보정을 위한 지연 완충값인 ‘Latency(수신 지연 설정)’, 그리고 ‘Payload Size(페이로드 크기)’ 설정 등을 제공합니다.

ProSRT4 인코더 모듈 - 인코딩 설정

ProSRT4 인코더 모듈 - SRT 설정

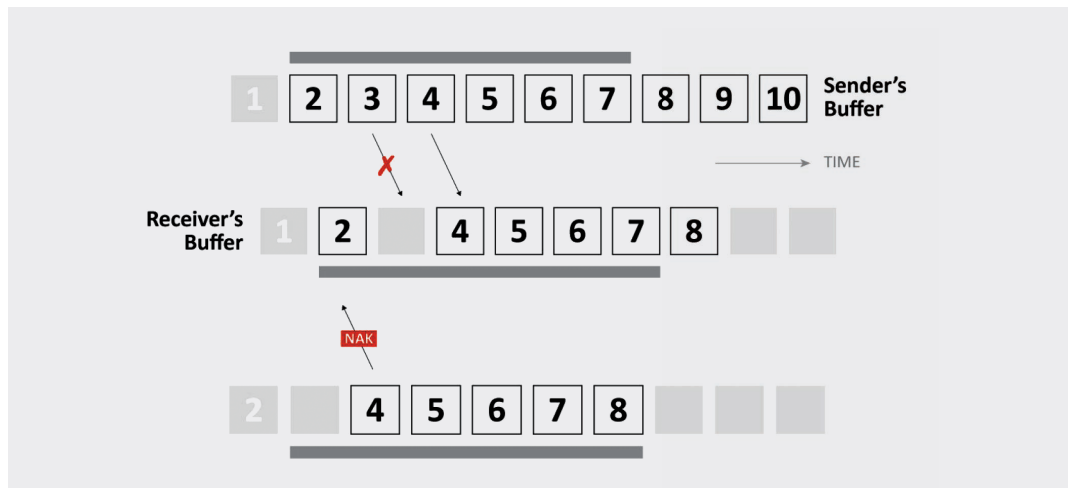
ProSRT4 디코더 모듈 - SRT 설정

🔴 레이턴시 및 버퍼 설정 (Latency & Buffer)

SRT에서의 지연 시간은 임의로 설정하는 값이 아니라, RTT(Round-Trip Time, 왕복 지연 시간)을 기준으로 산정된 완충 시간으로 이해됩니다. 전송 경로에서 손실 복구와 패킷 재정렬이 완료되기까지는 왕복 지연의 여러 배수가 필요하므로, 일반적으로 총 지연값을 RTT의 약 4배 수준으로 구성하면 복구와 재생 사이의 균형이 확보됩니다. 예를 들어 RTT가 200ms인 경우 전체 지연은 약 800ms 내외가 합리적인 범위인 것입니다.

ProSRT4는 이러한 SRT의 지연 운영 원리를 반영하여 'Latency' 설정을 통해 완충 시간을 지정합니다. 이 값은 전송 지연을 추가하는 기능이 아니라, 복구가 완료되기 전에 재생이 시작되는 것을 방지하기 위한 보호 구간으로 작동합니다. 수신부의 RECVLATENCY(수신 지연 설정)는 이 값의 약 80% 수준으로 지정하는 구성이 일반적이며, 지터(Jitter)에 따른 도착 편차를 수신 측에서 우선적으로 상쇄함으로써 재생 안정성을 확보하는 역할을 수행합니다.

SRT 전송에서는 패킷 도착 간격이 일정하지 않은 상황을 고려해야 하며, 이 변동 폭을 시간적으로 흡수하는 계층이 지터 버퍼(Jitter Buffer, 도착 변동 흡수 버퍼)입니다. 지터 버퍼는 전송 딜레이를 추가하기 위한 장치라 아니라, 도착 편차로 인해 디코더가 입력 데이터를 연속적으로 확보하지 못하는 상황을 방지하는 완충 계층으로 작동합니다. 일반적으로는 지터 버퍼를 RTT의 약 4배 수준으로 확보하면 전송 변동이 재생 품질에 영향을 미치지 않는 범위가 확보됩니다. 이 설정은 단순 저장 영역이 아니라 현재 파라미터 구성이 전송 환경과 합치하는지를 판단할 수 있는 상태 지표로 기능합니다.



특정 패킷을 선택한 다음 도착할 것으로 예상되는 순서를 변경하면 일종의 지터가 발생합니다. / 출처 : Haivision SRT white paper 참조

ProSRT4는 이러한 기능을 'Playback Buffer(플레이백 버퍼)' 설정으로 제공하며, 이 영역에 수집된 패킷을 기반으로 디코딩 및 출력 타이밍이 결정됩니다. Playback Buffer의 잔량이 주기적으로 10% 이하로 떨어지는 경우는 네트워크 변동이나 비트레이트 과부하로 인해 수신이 복구를 따라가지 못하는 상태로 해석할 수 있으며, 이 상황에서는 실제 전송 조건(비트레이트/대역폭/지연) 중 하나가 현재 네트워크의 수용 범위를 초과했음을 의미합니다. 이때 'Response Speed' 설정값을 높여 데이터 손실을 방지합니다.

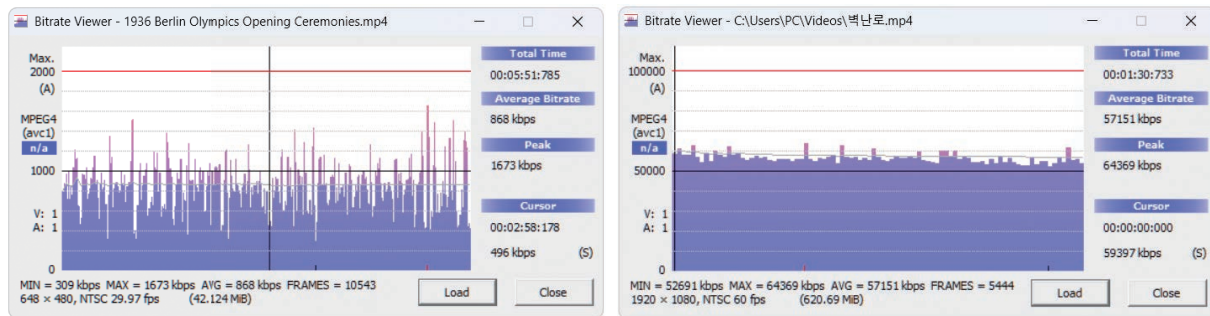
'Payload Size'는 SRT가 한 번에 전송하는 단일 패킷의 데이터 적재량을 정의하는 값입니다. 이 값은 전송 효율과 복구 효율 사이의 균형점으로 동작합니다. 페이로드가 커지면 동일한 데이터량을 더 적은 패킷 수로 운반할 수 있어 오버헤드가 줄어들지만, 하나의 패킷 손실 시 복구 단위가 커지기 때문에 손실 영향이 확대됩니다. 반대로 페이로드가 작으면 손실 영향 범위는 줄

어дна 패킷 수가 증가하면서 오버헤드 비중이 커질 수 있습니다.

또한 SRT에서는 송신·수신 장비의 페이로드 크기가 일치할 때 최적 동작을 보이므로, 디코더 모듈은 송신측과 동일 값을 유지하는 것을 기본 전제로 합니다. 일반적으로 사용되는 1316 bytes는 MPEG-TS 기반 전송 환경에서 효율성과 복구 단위의 균형이 검증된 표준값으로, 특별한 네트워크 사유가 없는 한 변경 없이 운용하는 것이 합리적입니다.

인코딩 (Encoding)

SRT 전송에서 인코딩 비트레이트는 네트워크 품질과 전송 안정성의 균형점을 결정하는 요소입니다. 변동성이 있는 회선에서는 트래픽 변동을 흡수할 수 있는 VBR(Variable Bitrate, 가변 비트레이트)이 유리하며, 실시간성이 우선되는 환경에서는 CBR(Constant Bitrate, 고정 비트레이트)이 지연 변동을 억제합니다.

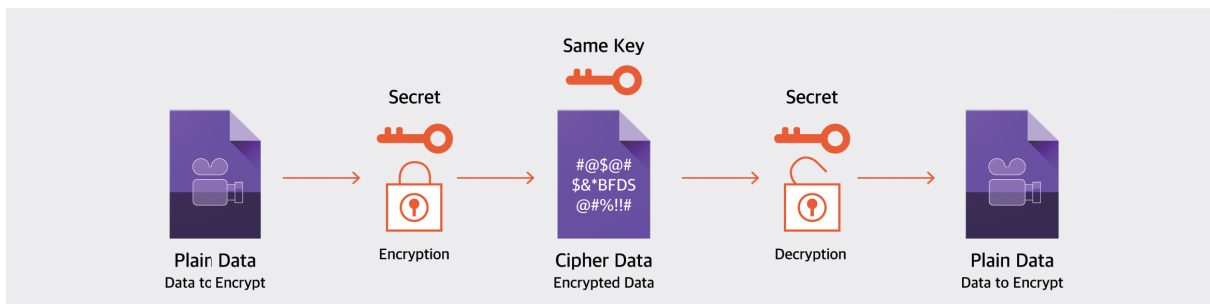


VBR과 CBR의 비트레이트 구성

또한 Keyframe Interval(키프레임 주기)는 손실 이후 화면 복구의 기점이 되므로, 1초 수준으로 짧게 구성할수록 손실 발생 시 복구 시간이 짧아집니다. 예를 들어 CBR 환경이 요구되는 원격 방송, 화상회의와 같은 실시간 응답성이 중요한 시나리오에서는 전송 지연 변동을 줄이는 대신, 전체 대역폭의 약 30%를 여유분으로 남겨 두어 재전송 트래픽이 충돌하지 않도록 구성하는 방식이 일반적으로 사용됩니다.

보안 설정 (Encryption)

SRT는 공용망 또는 방화벽, NAT 환경에서도 안정적인 접속과 무결성을 확보하도록 설계되어 있습니다. 연결 측면에서는 송신과 수신 중 어느 한쪽이 접속을 개시하는 Caller/Listener 방식 외에도, 양측이 동시에 연결을 시도하는 Rendezvous(랜데부) 모드를 제공하여 별도의 포트 포워딩 없이도 NAT를 통과할 수 있는 구조를 갖습니다. 이 방식은 네트워크 엔지니어링 개입 없이도 장비 단에서 직접 경로를 성립시킬 수 있다는 점에서 실무 배포의 부담을 줄이는 역할을 합니다.

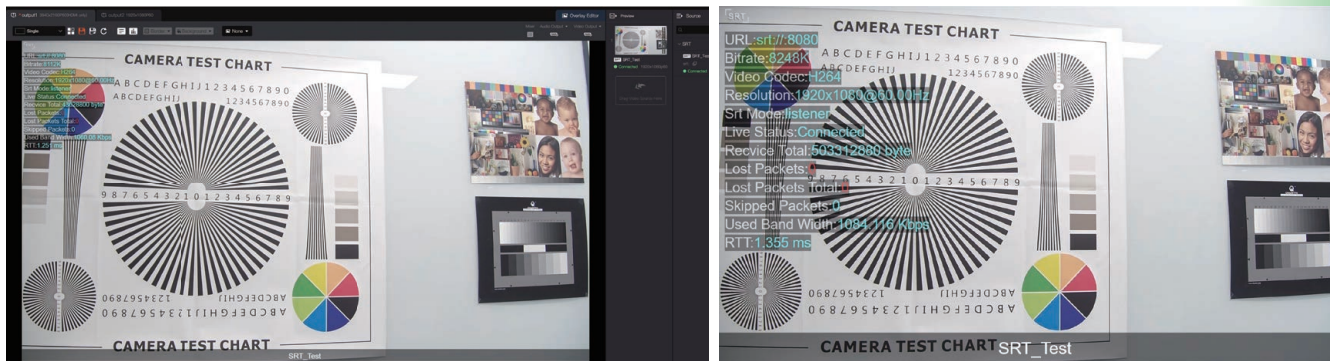


AES 256 암호화 과정

보안 측면에서 SRT는 전송 구간 전체를 암호화할 수 있도록 AES(Advanced Encryption Standard) 기반 대칭키 암호화를 제공하며, 실무에서는 AES-256이 일반적으로 사용됩니다. ProSRT4 역시 동일한 방식으로 암호화 키를 설정하여 외부망 경우 환경에서도 콘텐츠 무결성과 접근 제어를 유지합니다. 암호화는 복구나 지연과 달리 전송 품질 자체에는 영향을 주지 않지만, 무결성·배포 환경·규제 환경 등 외부 조건을 만족시키기 위한 필수적 전제 조건으로 기능합니다.

모니터링

SRT 전송의 상태 평가는 신호 품질 자체보다 전송이 어떤 조건으로 유지되고 있는가를 판단하는 값들을 통해 이루어집니다. ProSRT4 디코더 모듈의 Web UI에서는 운용자가 참조할 수 있는 지표로 Receive total bytes(총 바이트 수)와 Packet Loss(패킷 손실) 데이터, RTT 시간, Used Band Width(사용 대역폭) 등의 정보가 제공됩니다.



ProSRT4 디코더 모듈 Web UI 내 모니터링 화면

이 지표는 단순 상태 정보가 아니라, 상위 설정값의 적합 여부를 역추론하는 기준으로 기능합니다. 예를 들어 Lost Packet 값이 지속해서 높은 경우는 복구 능력의 문제가 아니라 네트워크 여유폭 또는 인코딩 비트레이트가 현재 회선 조건을 초과했음을 의미하며, 이 경우에는 비트레이트를 하향 조정하거나 네트워크 대역폭을 확장하는 방향이 정당한 대응으로 해석됩니다.

SRT 전송의 최적화 방안은 개별 파라미터를 독립적으로 조정하는 행위가 아니라, 전송 경로에서 발생하는 손실과 변동을 일정 범위 안에서 흡수하도록 네트워크 자원과 복구 메커니즘을 정렬하는 과정으로 정의됩니다. 이 과정에서 핵심 변수는 대역폭, 지연, 버퍼, 복구 로직, 그리고 암호화를 포함한 연결 구조이며 각각은 SRT 프로토콜 내부에서 이미 동작 원리가 정립되어 있습니다. ProSRT4는 이러한 원리를 전제로 설계된 장비로, 사용자가 장비 UI를 통해 접근 가능한 항목들을 조정함으로써 SRT의 언더레이어가 안정적으로 동작할 수 있는 운용 환경을 확보하도록 구성되어 있습니다.

SRT의 실질적 장점은 전송을 위해 별도의 전용망을 새로 확보하지 않아도 된다는 점에 있습니다. 기존에 확보된 ISP 회선, 공공망, 사내망을 그대로 활용하면서도 방송 운용에 필요한 신뢰도를 달성할 수 있으므로 전용망 구축, 전송 회선 임대, 전용 라우팅 설계와 같은 사전 비용 요소가 제외됩니다. 이는 곧 IP 기반 인프라가 이미 존재하는 조직에서는 추가 투자 없이 바로 실시간 전송 체계를 구성할 수 있다는 의미로 해석됩니다.

이러한 구조적 장점을 장비 수준에서 바로 활용 가능한 형태로 제공하는 것이 ProSRT4이며, ProSRT4와 같은 전문 SRT 장비는 SRT의 구조적 안정성을 방송 실무자가 즉시 배치 가능한 형태로 확보해 주는 장비라 할 수 있습니다. 