



# 엔터프라이즈 프라이빗 WAN VS 매니지드 네트워크 서비스 TCO 비교

Dr Peter Fetterolf

# 핵심 개요

프라이빗 엔터프라이즈 네트워크에는 일반적으로 MPLS, SD-WAN 또는 캐리어 이더넷 서비스가 사용됩니다. 매니지드 네트워크 서비스가 유비쿼터스하고 구축하기 쉽지만, 다크 파이버(Dark Fiber)를 기반으로 한 프라이빗 네트워크 구축이 적합한 경우도 있습니다. 특히 다음 중 하나 이상의 요구 사항을 갖는 기업은 다크 파이버를 사용한 프라이빗 WAN을 고려해야 합니다.

- 70Gbps 이상의 링크 속도
- 초저지연
- 고가용성 네트워크 토플로지

다크 파이버를 활용한 WAN을 통해 기업에서는 확장성과 가용성이 뛰어난 저지연 네트워크를 구축할 수 있습니다. 매니지드 네트워크 서비스의 비용은 대개 포트 속도와 보장 연결 대역폭을 기반으로 하는 한편, 다크 파이버 비용은 파이버 위치와 엔드포인트 간 거리를 기반으로 합니다. 즉, 매니지드 네트워크 서비스의 비용은 대역폭 증가에 따라 계속 증가하지만, 다크 파이버 기반의 프라이빗 WAN은 대역폭이 증가해도 비교적 일정한 수준으로 유지됩니다. 따라서 이러한 프라이빗 네트워크는 급격한 비용 증가 없이 매우 높은 대역폭으로 확장할 수 있습니다. 또한 다크 파이버를 사용하면 지연이 매우 짧아질 수 있습니다. 엔터프라이즈 엔드포인트 간 캐리어 장비가 없고 기업이 파이버 라우팅을 사용해 지연을 최소화할 수 있기 때문입니다. 아울러 기업에서는 링 또는 메시 토플로지로 파이버 네트워크를 설계해 고가용성 네트워크를 구축할 수 있습니다. 이 문서의 재무 분석에서는 북미 가격 데이터가 사용되었지만 결과는 전 세계적으로 적용될 수 있습니다. 네트워크 수요와 요구 사항에 따라 다크 파이버의 사용이 타당할 경우 기업은 해당 지역 및 도시에서 파이버를 이용할 수 있는지 여부와 가격을 확인해 보아야 합니다.

다크 파이버 기반의 프라이빗 WAN이 적합할 수 있는 기업 유형은 다음과 같습니다.

- 금융 서비스 및 프로그램 트레이딩 회사
- 하이퍼스케일러 및 대규모 웹 서비스 회사
- 정부 조직

이 문서에서는 프라이빗 WAN에 대해 개괄적으로 설명하고, 다크 파이버를 사용한 프라이빗 WAN과 매니지드 네트워크 서비스(캐리어 이더넷)를 비교한 TCO(Total Cost of Ownership) 모델 결과를 제시합니다. 캐리어 이더넷이 비교 대상으로 사용됩니다. 매우 높은 대역폭(10Gbps 이상)이 필요한 사이트를 위한 가장 비용 효과적인 네트워크 서비스이기 때문입니다.

## 엔터프라이즈 네트워크에 대한 배경 정보

기업에서는 오래 전부터 프라이빗 네트워크를 구축했습니다. 프라이빗 네트워크는 1990년대에 리스 T1 회선과 프레임 릴레이 가상 서킷으로 시작되었으며 MPLS, SD-WAN 및 캐리어 이더넷 서비스로 전환되었습니다. 엔터프라이즈 네트워크 요구 사항은 조직의 유형 및 규모와 구체적인 애플리케이션 및 사용 사례 요구에 따라 달라집니다. 엔터프라이즈 네트워크 요구 사항은 크게 다음 세 가지 범주로 나뉩니다.

- 보안
- 보장 대역폭, 지터(jitter), 지연(latency)
- 네트워크 가용성

다양한 네트워크 서비스의 상대적인 대역폭 및 보안 수준이 그림 1에 나와 있습니다. 가정 및 소규모 기업용 서비스의 광대역 인터넷은 가장 저렴하며 보안 수준이 가장 낮은 서비스로서 낮거나 중간 수준의 대역폭(1Gbps 이하)으로 운영됩니다. 다이렉트 인터넷 액세스는 고속 상용 인터넷 오퍼링으로서 보다 높은 대역폭(최대 10Gbps)과 베스트 에포트 트래픽, 낮은 수준의 보안을 제공합니다. 기존 MPLS 및 SD-WAN 서비스는 낮거나 중간 수준의 대역폭과 높은 수준의 보안을 제공합니다. 캐리어 이더넷 서비스는 중간 수준의 보안을 제공하며 보다 높은 대역폭으로 확장할 수 있습니다. 대역폭 또는 보안 요구 사항이 매우 높은 기업에서는 다크 파이버를 사용한 프라이빗 WAN을 고려할 수 있습니다. 다크 파이버를 사용하면 하나 이상의 서비스 프로바이더에서 임대한 기존 파이버를 기반으로 프라이빗 네트워크를 구축할 수 있습니다.



그림 1: 다양한 대역폭 및 보안 수준의 네트워크 서비스

다크 파이버를 사용한 프라이빗 WAN을 구축하는 것은 비용이 많이 들며 다음 중 하나 이상의 네트워크 요구 사항을 갖는 기업에만 적합합니다.

- 매우 높은 대역폭
- 초저지연
- 고가용성(HA)

다크 파이버를 사용한 프라이빗 WAN을 구축하는 조직의 몇 가지 예가 표 1에 나와 있습니다.

조직	네트워크 요구 사항
프로그램 트레이딩 회사	프로그램 트레이딩의 프로그램 알고리즘이 효과적으로 작동하기 위해서는 지연이 매우 짧아야 합니다. 따라서 이러한 회사는 지연을 최소화하기 위해 프라이빗 파이버 네트워크를 구축했습니다. 금융 네트워크에서는 정밀한 기록과 정확한 시간의 타임스탬프를 유지해야 합니다.
금융 서비스	금융 서비스 회사는 Moody's 같은 파트너사에 연결할 때를 비롯하여 매우 큰 대역폭과 높은 보안이 필요할 수 있습니다. 일부 회사는 다크 파이버 기반의 프라이빗 WAN을 구축하여 매우 높은 대역폭 연결 시 네트워크 비용을 낮추면서 이러한 요구 사항을 해결했습니다.
하이퍼스케일러	하이퍼스케일러는 막대한 대역폭 요구 사항을 가지며, 급증하는 대역폭을 수용할 수 있도록 오래 전부터 다크 파이버를 사용한 프라이빗 네트워크를 구축했습니다.
미 국방부	국방부의 일부 조직은 높은 보안, 짧은 지연, 높은 대역폭 요구 사항을 갖습니다.
정보 기관	정보 기관의 일부 조직은 높은 보안, 짧은 지연, 높은 대역폭 요구 사항을 갖습니다.

표 1. 다크 파이버가 필요한 조직의 예

네트워크 서비스에 관한 의사 결정은 조직 유형, 사용 사례 및 애플리케이션 요구 사항에 크게 좌우됩니다. 이어지는 섹션에서는 다크 파이버 기반의 프라이빗 WAN을 개괄적으로 설명하고, 고려할 주요 이점을 소개하며, 경제적 측면에서 프라이빗 WAN과 매니지드 캐리어 이더넷 서비스의 비교를 제시합니다.

## 다크 파이버 기반의 WAN

매우 높은 대역폭, 짧은 지연 및 보안이 필요한 기업은 다크 파이버를 기반으로 프라이빗 네트워크를 구축하는 것을 고려해야 합니다. 다크 파이버는 사용되지 않는 광섬유 심선을 전송 매체 그대로 임대해 주는 서비스를 말합니다. 다크 파이버가 경제적인 이유는 파이버 네트워크를 구축하는 비용의 대부분이 시공 비용이며, 케이블의 파이버 페어 비용은 트렌치와 전선관을 매설하고 파이버 케이블을 설치하는 비용보다 훨씬 저렴하기 때문입니다. 파이버 케이블은 케이블당 최대 864개의 파이버 스트랜드를 가질 수 있습니다. 각 파이버 페어(두 스트랜드)는 최대 96개의 파장을 갖고 각 파장은 최대 400Gbps의 전송 용량을 제공할 수 있습니다. 각 파이버 페어의 대역폭은 38.4Tbps로, 사실상 무제한입니다. 선진국과 개발도상국의 많은 네트워크 오퍼레이터는 일반적으로 미사용 파이버 스트랜드가 상당히 많기 때문에 대개 프라이빗 파이버 네트워크가 필요한 기업이나 다른 오퍼레이터에게 파이버 페어를 리스하기를 원합니다.

다크 파이버를 리스하는 네트워크 오퍼레이터의 예는 다음과 같습니다.

- 광범위한 파이버 네트워크를 갖춘 대규모 국내 및 다국적 서비스 프로바이더(예: AT&T, Telefonica, Eurofiber, euNetworks)
- 도매 서비스 프로바이더(Wholesale service provider)
- 선로 점유권을 갖고 파이버 네트워크를 구축한 전기, 가스 및 수도 공급 회사
- 특정 지역에 파이버를 구축한 지방 및 주 정부 조직
- 일부 지역에서 파이버 네트워크를 소유하고 있는 지역 서비스 프로바이더
- 철도 점유권을 통해 철도 옆에 파이버를 놓은 철도 기관

다크 파이버의 주요 이점이 표 2에 제시되어 있습니다.

## 다크 파이버의 이점

### 설명

#### 확장성

단일 파이버 페어를 매우 높은 데이터 전송 속도로 확장할 수 있습니다. 100Gbps 또는 400Gbps로 파이버 페어에 라우터를 연결할 수 있습니다. 추가 대역폭이 필요한 경우, 사실상 무제한 확장성을 제공하는 고집적 파장 분할 멀티플렉싱(DWDM)을 사용할 수 있습니다. C-Band DWDM은 파이버 페어에서 최대 96개의 파장을 지원하며, 각 파장은 최대 400Gbps를 전송할 수 있습니다. 이는 파이버 페어당 38.4Tbps에 해당합니다. 파이버 페어의 리스 비용은 네트워크 전송에 필요한 대역폭과 관계없이 동일한 가격입니다.

#### 네트워크 대역폭 증가 시 예측 가능한 비용 구조

다크 파이버 페어를 리스하는 데 드는 기본 비용은 파이버 위치와 연결할 엔드포인트 간 거리에 좌우됩니다. 파이버 페어의 리스 비용은 네트워크 전송에 필요한 대역폭과 관계없이 동일한 가격입니다. 대역폭이 증가하면 네트워크 장비 비용이 추가로 발생하지만 파이버 리스 비용 및 유사한 캐리어 이더넷 또는 MPLS 서비스 비용에 비하면 꽤 적은 수준입니다.

#### 저지연

MPLS, 인터넷 또는 캐리어 이더넷 같은 매니지드 네트워크 서비스를 통한 모든 연결은 라우터, 스위치, DWDM ROADM 같은 활성 네트워크 장비를 사용하여 여러 흡을 이동합니다. 이에 반해, 다크 파이버 연결에는 활성 네트워크 장비가 없어 지연이 감소합니다. 다크 파이버를 기반으로 프라이빗 Private WAN을 구축하는 기업은 파이버 라우터를 선택하여 네트워크 거리와 지연을 최소화할 수 있습니다.

#### 보안

다크 파이버 기반의 네트워크는 본질적으로 보안 수준이 높습니다. 기업의 엔드포인트 사이에 서비스 프로바이더의 라우터나 스위치가 설치되지 않기 때문입니다. 기업에서는 자체 라우터를 제어하며, 파이버는 절단하지 않는 한 모니터링될 수 없고, 절단 시 기업의 네트워크 운영자에게 알림이 제공됩니다.

#### 이중화 및 안정성

기업은 다크 파이버를 통해 다양한 경로에서 서로 다른 전선관의 파이버를 사용할 수 있으므로 네트워크 이중화와 안정성을 개선할 수 있습니다. 또한 기업은 파이버 절단 시에도 내결함성(fault tolerant)을 갖는 링 및 메시 네트워크를 설계할 수 있습니다. 아울러 네트워크에 서비스 프로바이더의 장비가 없기 때문에 서비스 프로바이더의 장비가 고장 나서 서비스가 중단될까 봐 우려하지 않아도 됩니다. 기업에서는 자체 장비를 관리해야 하지만 더 높은 가시성과 제어력을 갖게 됩니다.

표 2. 다크 파이버 기반 프라이빗 WAN의 이점

## 다크 파이버 기반 프라이빗 WAN과 캐리어 이더넷의 TCO 비교

이 섹션에서는 프라이빗 WAN 다크 파이버 네트워크와 캐리어 이더넷 서비스의 TCO(Total Cost of Ownership)를 비교합니다. 대역폭 수준이 높은 경우 캐리어 이더넷 서비스가 MPLS 또는 SD-WAN보다 비용 효과적으로 캐리어 이더넷이 다크 파이버의 비교 대상으로 사용됩니다. 캐리어 이더넷과 프라이빗 WAN 다크 파이버의 가격은 해당 지역 및 서비스 프로바이더에 따라 크게 달라질 수 있습니다. 여기서는 이러한 서비스의 북미 평균 비용이 사용됩니다. 기업들은 캐리어 이더넷과 프라이빗 WAN 다크 파이버 서비스에 연결하는 데 모두 고속 라우터를 사용합니다. 라우터는 동일하더라도 라우터의 구성과 비용은 네트워크 아키텍처에 따라 달라집니다.

캐리어 이더넷 서비스 가격은 포트 속도 및 CIR(Committed Information Rate)을 기반으로 합니다. 고대역폭 연결의 비용을 비교하고 있으므로 캐리어 이더넷이 10GE 포트와 10Gbps CIR을 사용한다고 가정합니다. 이는 대부분의 캐리어 이더넷 서비스에서 최대 포트 속도 및 최대 CIR입니다. 또한 10GE 포트 수가 증가함에 따라 캐리어 이더넷 서비스에 할인이 적용된다고 가정합니다. 이는 볼륨 디스카운트입니다. 다크 파이버 가격은 메트로 네트워크와 장거리 네트워크 간에 서로 다릅니다. 다크 파이버 페어 가격은 대개 마일 단위로 부과됩니다. 북미 업계 평균을 사용할 때 서비스 가격 가정이 표 3에 제시되어 있습니다.

전송 기술	가격
월별 캐리어 이더넷 10Gbps CIR 및 10GE 포트(3년 기간)	1,300
추가 10GE 포트에 대한 포트당 캐리어 이더넷 할인	2%
마일당 다크 파이버당 월별 가격: Long-Haul	9
마일당 다크 파이버당 월별 가격: Metro	29

표 3. 서비스 가격 추산

캐리어 이더넷과 다크 파이버의 가격은 북미와 전 세계의 지역 및 도시에 따라 달라집니다. 이 문서의 재무 분석에서는 북미의 가격 데이터를 사용하지만 결과는 전 세계적으로 적용할 수 있습니다(다크 파이버는 유럽, 일본, 한국에 많이 있음). 네트워크 수요와 요구 사항에 따라 다크 파이버의 사용이 타당할 경우 기업은 해당 지역 및 도시에서 파이버를 이용할 수 있는지 여부와 가격을 확인해 보아야 합니다.

TCO 분석의 또 다른 중요한 구성 요소는 네트워크 토플로지와 링크 데이터 전송 속도입니다. 분석을 단순화 및 정규화하기 위해 간단한 3노드 네트워크를 고려하고 모든 노드 간 트래픽이 동일하다고 가정합니다. 캐리어 이더넷과 다크 파이버의 토플로지가 그림 2와 그림 3에 각각 나와 있습니다. 캐리어 이더넷 네트워크에서는 각 라우터가 하나 이상의 10GE 포트를 사용하여 캐리어 이더넷 서비스에 연결되어 있다고 가정합니다. 3개의 노드 모두 10Gbps의 CIR을 사용하여 이더넷 가상 서킷에 연결되어 있습니다. 물리적 파이버 링을 사용하는 다크 파이버 네트워크는 3개의 노드에서 각각 라우터를 연결합니다.



그림 2. 캐리어 이더넷 네트워크 토플로지

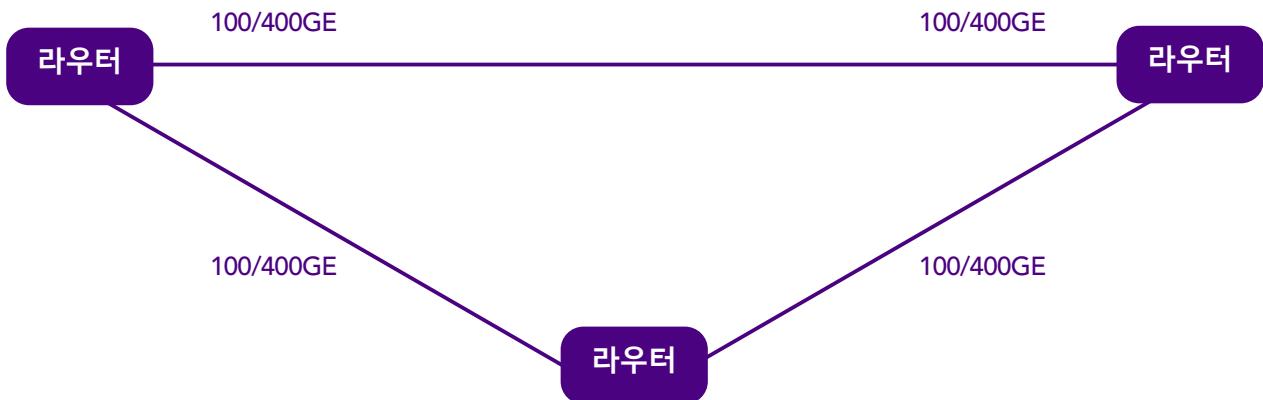


그림 3. 다크 파이버 네트워크 토플로지

이 TCO 모델에서는 또한 라우터 비용을 고려합니다. 주니퍼 MX 240 라우터가 분석에 사용됩니다. 캐리어 이더넷 네트워크의 경우 MX240에서 여러 10GE 포트를 사용하고, 다크 파이버 네트워크의 경우 링크에 필요한 데이터 전송 속도에 따라 100GE 또는 400GE 포트를 사용합니다. 또한 MPLS 소프트웨어 라이선스 비용을 고려합니다.

TCO 분석의 또 다른 구성 요소는 OpEx(Operation Expense)입니다. 캐리어 이더넷 네트워크 관리보다 다크 파이버 네트워크 관리에 인건비가 더 많이 드는 것으로 가정합니다. 이 예의 소규모 3노드 네트워크에 대한 인건비 가정이 표 4에 제시되어 있습니다.

가격	
정규 직원당 연간 전체 비용	\$150,000
캐리어 이더넷 서비스에 필요한 정규 직원 수	0.25
다크 파이버 서비스에 필요한 정규 직원 수	1

표 4. 인건비 운영 비용 추산

물론, 대부분의 기업 네트워크는 TCO 모델에 사용된 단순한 네트워크보다 훨씬 복잡합니다. 하지만 다크 파이버의 이점은 높은 대역폭 또는 짧은 지연 요구 사항을 갖는 특정 링크에서 발현되기 때문에 더 크고 복잡한 네트워크에도 분석 결과가 적용될 수 있습니다. 많은 네트워크는 일부 링크에 다크 파이버를 사용하고 다른 연결에 캐리어 이더넷 또는 기존 MPLS 같은 매니지드 네트워크 서비스를 사용하는 하이브리드 아키텍처일 수 있습니다.

## TCO 결과

TCO에는 다음 구성 요소가 포함되어 있습니다.

- 전송 비용(캐리어 이더넷 또는 다크 파이버)
- 라우터 비용
- 인건비(OpEx)

3년에 걸쳐 두 시나리오를 비교했습니다.

- 링크 거리가 75마일인 메트로 네트워크
- 링크 거리가 500마일인 Long-Haul 네트워크

메트로 네트워크의 3년간 누적 TCO가 그림 4에 제시되어 있습니다. 이 분석은 다양한 수준의 링크 대역폭에서 다크 파이버와 캐리어 이더넷 시나리오의 TCO를 보여줍니다. 링크 대역폭 범위는 5Gbps ~ 400Gbps입니다. 이 모델에서는 이것이 세 라우터 모두 간에 필요한 대역폭이라고 가정합니다. 이 TCO 모델에서 네트워크의 각 링크는 70Gbps 지점에서 교차합니다. 이는 대역폭이 70Gbps를 초과하는 메트로 네트워크 링크의 경우 다크 파이버 네트워크에서 운영하는 것이 더 비용 효과적임을 의미합니다. 항목별 전송 비용과 라우팅 비용이 각각 그림 5와 그림 6에 나와 있습니다. 캐리어 이더넷과 다크 파이버 전송 비용(라우터 비용 또는 인건비 제외)은 20Gbps 지점에서 교차합니다. 라우터 비용은 5Gbps 초과부터 캐리어 이더넷 네트워크가 더 많이 들지만, 대역폭이 75Gbps를 넘을 때까지는 차이가 근소합니다. 또한 TCO 분석에는 인건비 차이도 포함되어 있습니다. 인건비 차이는 차트에 나와 있지 않지만 TCO 교차점은 전송 비용 교차점보다 더 높은 대역폭에서 발생합니다.

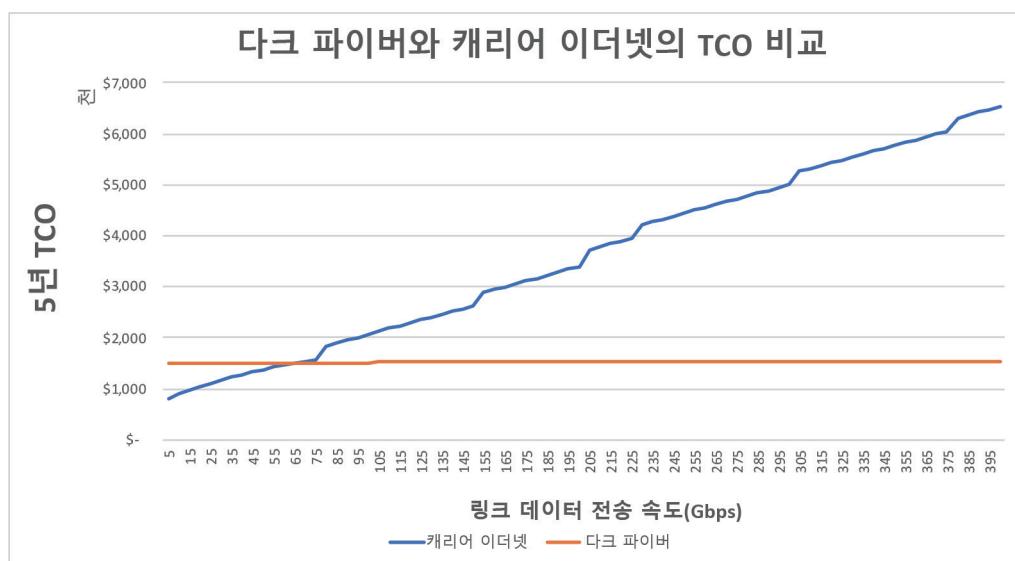


그림 4. 다크 파이버와 캐리어 이더넷의 3년간 메트로 네트워크 TCO 비교

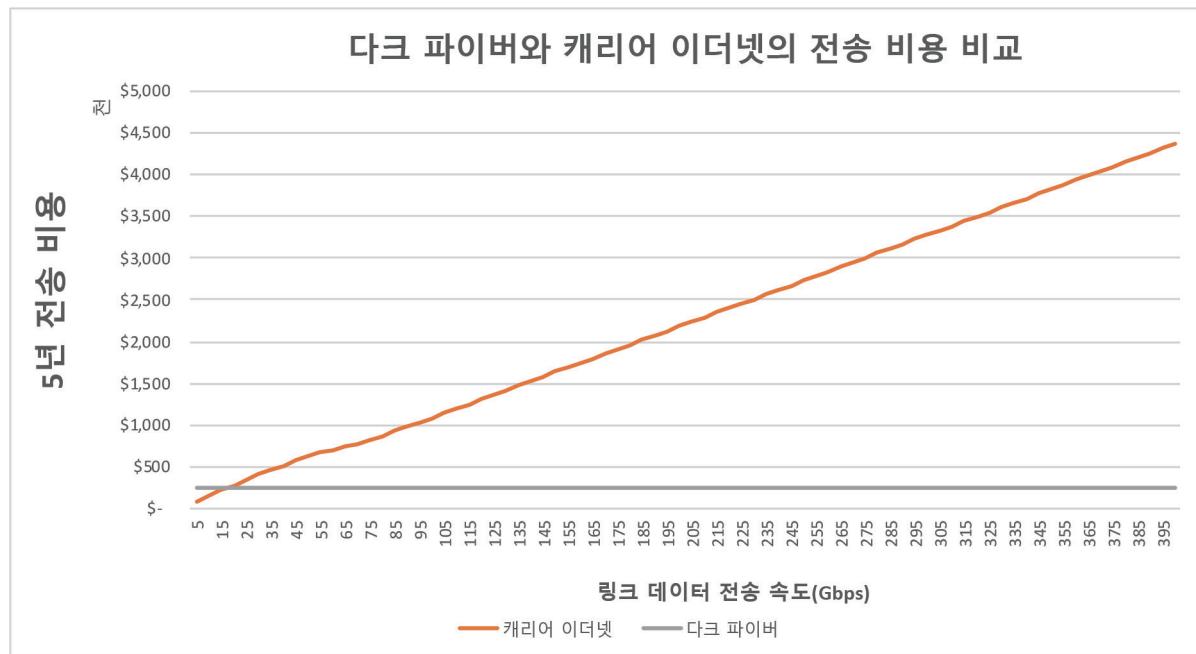


그림 5. 다크 파이버와 캐리어 이더넷의 3년간 메트로 네트워크 전송 비용 비교

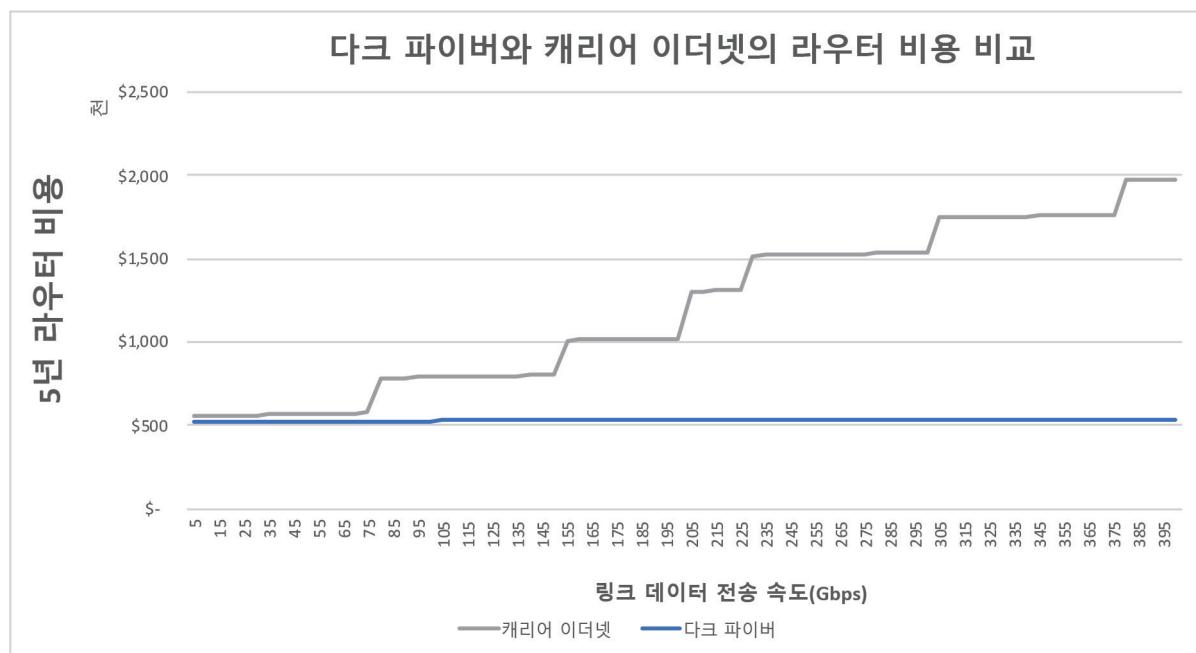


그림 6. 다크 파이버와 캐리어 이더넷의 3년간 메트로 네트워크 라우터 비용 비교

Long-Haul 네트워크의 3년간 누적 TCO는 그림 7에 나와 있습니다. 결과는 메트로 네트워크와 큰 차이가 없습니다. 75Gbps가 교차점으로, 이 지점부터 다크 파이버가 캐리어 이더넷보다 더 비용 효과적입니다. 전송 비용과 라우터 비용의 3년간 TCO는 각각 그림 8과 그림 9에 나와 있습니다.

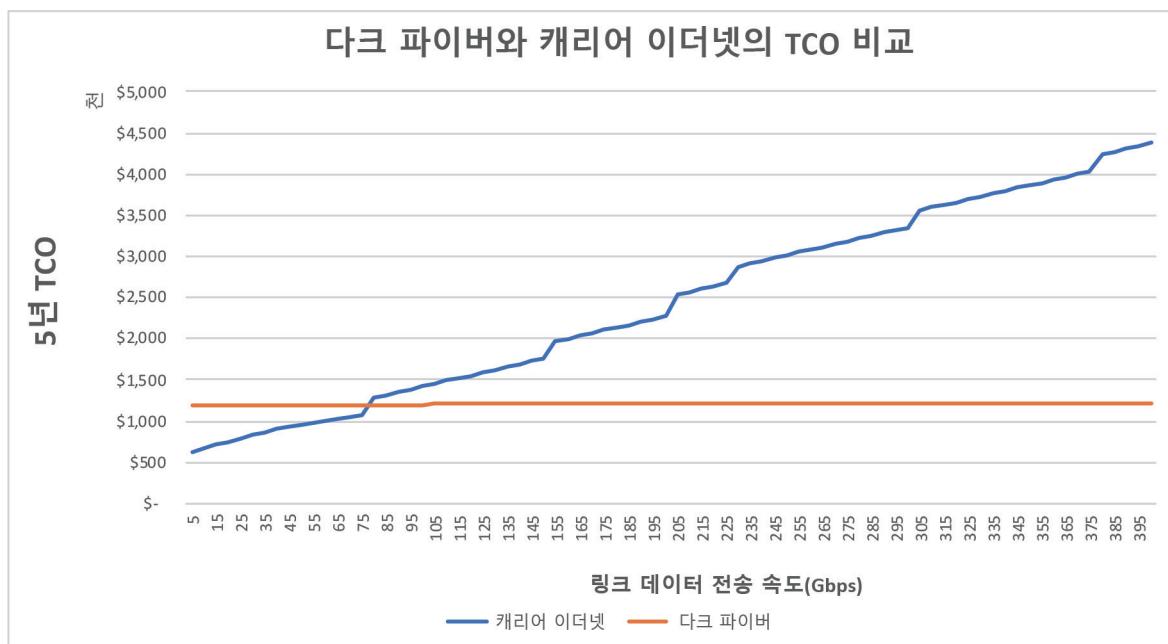


그림 7. 다크 파이버와 캐리어 이더넷의 3년간 Long-Haul 네트워크 TCO 비교

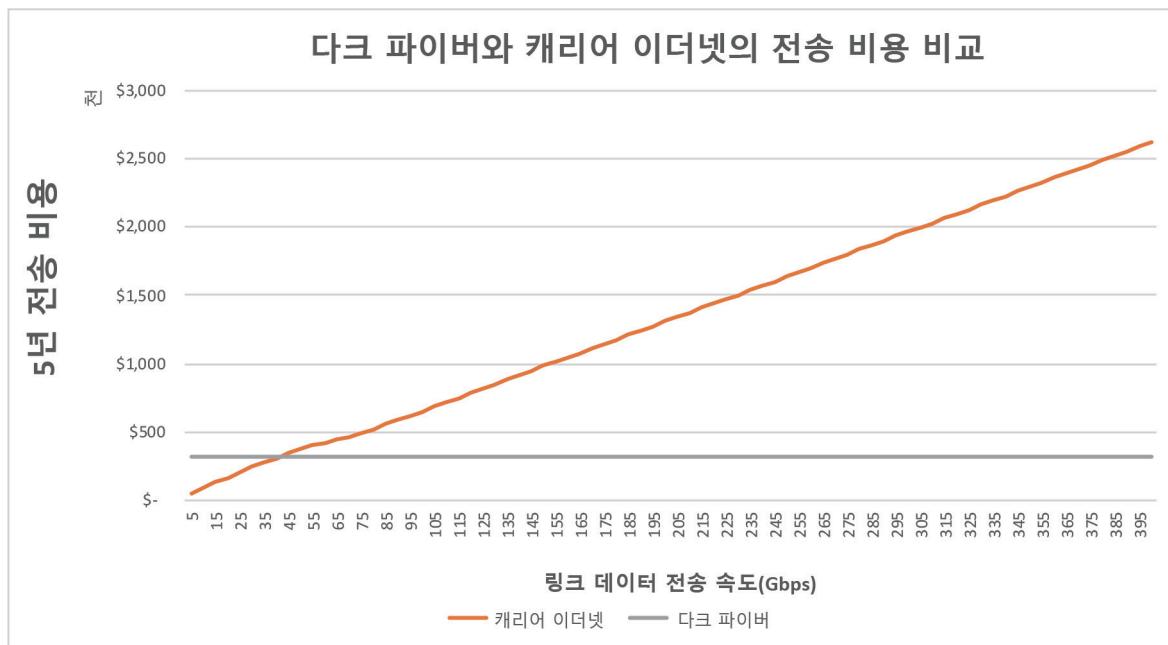


그림 8. 다크 파이버와 캐리어 이더넷의 3년간 Long-Haul 네트워크 전송 비용 비교

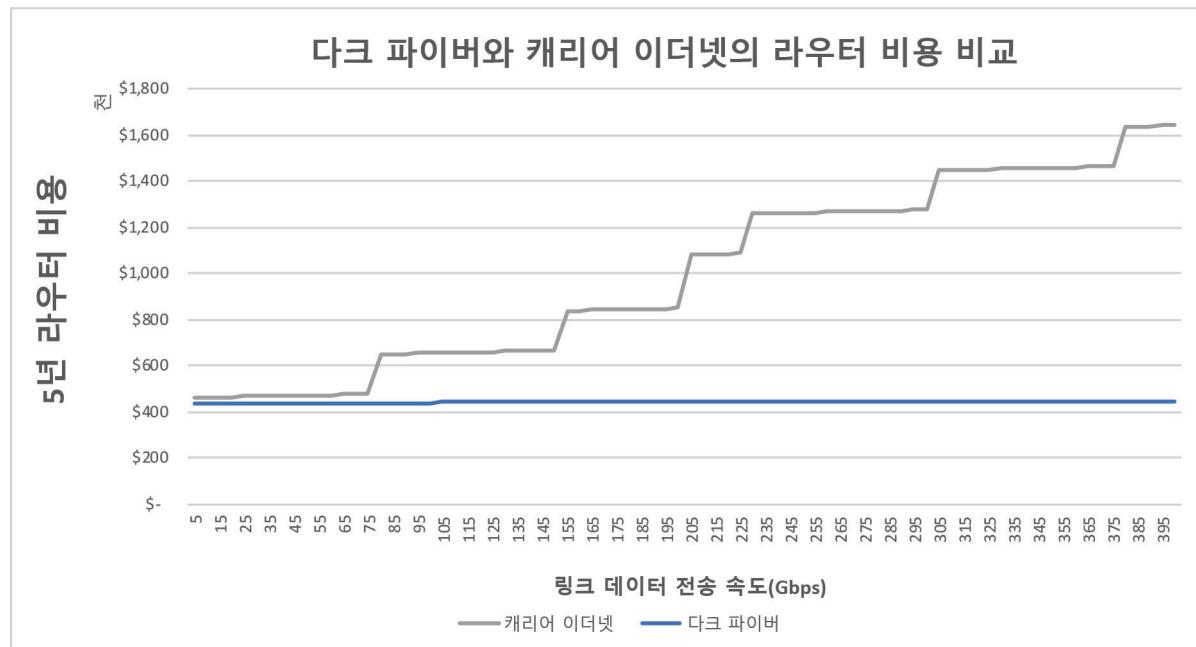


그림 9. 다크 파이버와 캐리어 이더넷의 3년간 Long-Haul 네트워크 라우터 비용 비교

## 결론 및 요약

대부분의 기업 네트워크에는 MPLS, SD-WAN, 캐리어 이더넷 같은 표준 네트워크 서비스가 적합하지만 특정 요구 사항을 갖는 기업 네트워크에서는 다크 파이버를 기반으로 프라이빗 네트워크를 구축하는 것이 타당할 수 있습니다. 다음 중 하나 이상에 해당하는 경우 프라이빗 다크 파이버 네트워크가 적합합니다.

- 70Gbps 이상의 링크 속도
- 초저지연
- 고가용성 네트워크 토플로지