

ATM 망의 가상경로 루팅 최적화*

박구현**

Virtual Path Routing Optimization in ATM Network*

Koohyun Park**

Abstract

Routing in ATM network is set up by combination of both virtual path routing and virtual channel routing. While virtual channel is similar concept to virtual circuit of data networks, virtual path is a special concept which is not used in traditional data networks. Virtual path can rearrange in structure and in size by simply changing virtual path routing tables and giving the network the capability to easy allocate network resources according to the demand needs.

This paper provides reconfiguration models of virtual path network which give the bandwidth of link and the routing path for each traffic class. The reconfiguration models are network optimization problems of multicommodity network flow type. The numerical examples are also included.

* 본 연구는 과학재단(941-1000-032-2) 및 한국전자통신연구소 지원에 의하여 이루어졌음

** 홍익대학교 산업공학과 조교수

1. 서론 : ATM 망에서의 루팅 제어

통신망에서의 루팅방식 연구는 회선교환망(전화망)과 패킷교환망(데이터망)에 대한 루팅방식으로 나누어져 이미 오래전 부터 많은 연구가 되어 왔다. 회선교환망의 루팅은 실시간 내에 이루어져야 하고 blocking probability를 최소화 하는데 비해 패킷교환망에서는 전송품질이 보장되면서(패킷의 손실없이) 전송지연을 최소화하는 방식으로 연구가 이루어져 왔다. 각 루팅방식 및 성능은 Girard[9], Kelly[16, 17], Bertsekas & Gallager[5] 및 Schwarz[27]를 참고할 수 있다.

광대역 종합정보통신망(Broadband ISDN, BISDN)은 음성 중심의 회선교환망 및 데이터 중심의 패킷교환망에서는 함께 제공될 수 없었던 다양한 서비스 들, 즉 음성-데이터-영상의 멀티미디어서비스는 물론 다양한 전송속도(수백 Mbit/s 까지)의 서비스, 다양한 버스트(burstness=peak bit rate/average bit rate) 타입의 서비스, 정보 손실이 있어서는 안되는 서비스(loss sensitive service)는 물론 실시간 전송을 요구하는 서비스(delay sensitive service) 등을 제공할 수 있도록 요구된다. 이와같이 앞으로 제공될 다양한 서비스를 효율적이고 융통성있게 통합, 수용하기 위해서 협대역 종합정보 통신망(Narrowband ISDN)으로는 충분치 않기 때문에 선진 각국은 물론 우리나라에서도 BISDN의 개발을 추진하고 있다. BISDN에서 수용하게 될 다양한 서비스의 상이한 특성의 트래픽을 효율적으로 전송 및 교환하기 위한 해결책으로 새로운 전송모드인 비 동기 전달모드(Asynchronous Transfer Mode,

ATM)가 제시되었다.

ATM은 53 octet의 고정된 셀(cell)로 전송하는 패킷 방식이나 전송 프로토콜을 단순화하기 위하여 시분할 회선모드의 특성을 가지고 있다. ATM 셀을 통한 전송은 통신 채널에 논리적 번호를 부여하여 이를 이용하여 멀티플렉서나 교환기에서 인지되어 전송 및 교환이 이루어 진다. 이와같은 통신채널의 논리적 인지번호에는 가상경로식별자(Virtual Path Identifier, VPI)와 가상채널식별자(Virtual Channel Identifier, VCI)가 있어 이들의 조합을 이용하여 망 종단간의 통신 경로를 설정하고 통신을 가능케 한다. [1,2]

ATM셀은 셀헤더와 정보영역으로 구분되어 셀 헤더의 가상경로식별자 및 가상채널식별자를 따라 정보를 목적지까지 전송하게 된다. 가상경로(Virtual Path, VP)는 논리적으로 미리 연결해 놓은 일련의 교환기들의 경로로서 셀 경로제어는 물론 호(call)의 연결수락제어(Connection Admission Control)를 보다 쉽게 제어할 수 있도록 해준다. 사실 상위 레벨에서의 모든 망자원을 종합적으로 제어 및 관리하는 일은 매우 복잡하고 많은 처리를 요구하나 가상경로 구조를 이용하면 지연 및 처리를 줄일 수 있다. 가상경로는 비교적 긴 기간(수시간에서 수개월) 동안 유지되며 서비스 트래픽 수에 근거하여 설정 및 재구성된다. 가상채널(Virtual Channel, VC)은 사용자 단말간의 경로로 호 단위로 설정 및 해지되며 하나의 가상 경로에는 여러 가상채널이 포함되어 ATM 셀을 전송한다.

ATM 망에서의 가상경로 체계는 트래픽 클래스별 물리적 전송망이 논리적 가상경로망으로 나누어진다. 각 트래픽 클래스별 가상경로망은 물리적 전송망의 링크에서 할당된 대역폭

을 갖는 가상경로로 구성되며, 각 가상경로망에서의 루팅은 루팅 테이블로 이루어진다. 이와같은 가상경로 체계는 논리적으로 구성되기 때문에 트래픽 수요변화에 따라 ATM 노드의 제어모듈에 들어있는 가상경로 루팅 테이블을 바꿈으로 그 구조나 대역폭을 쉽게 변화시켜 망자원을 쉽고 경제적으로 관리할 수 있다.

서비스 클래스는 실시간성, 비트발생율(고정/변동), 연결모드에 따라 CCITT 권고안 I.362에서는 클래스 A,B,C,D로 나누고 있다. 이러한 클래스에 해당되는 서비스 들의 예는 다음과 같다.

- 클래스 A : 회선를 요하는 서비스(circuit emulation), 고정비트 발생율의 비디오 서비스
- 클래스 B : 변동비트 발생율의 비디오 및 오디오 서비스
- 클래스 C : 연결성의 데이터 전송서비스
- 클래스 D: 비연결성의 데이터전송서비스

이 들 4가지의 서비스 클래스는 AAL(ATM Adatation Layer)의 구현을 위해 구분된 것으로 서비스별 각기 다른 프로토콜을 표준화하여 전송 중의 망노드에서 즉 ATM Layer 이하에서는 서비스에 독립적으로 전송되게 하기 위함이다. 그러나 연결수락 제어와 루팅제어를 효과적으로 하기 위해서는 서비스 트래픽을 더 세분화하여 나눌 필요가 있다. 연결수락제어 모형에서는 트래픽 클래스의 요구대역폭이, 가상경로망 구조모형에서는 트래픽 클래스의 요구대역폭 및 평균 유지시간(holding time)이 중요한 인자가 되기 때문이다. 트래픽 클래스의 수가 적으면 관리상의 잇점이 있으나 통계적 다중화의 이익은 적어진다. 따라서 서비스 트래픽을 적절한 수의 클래스로 나눔은 망의 효율적인 이용에 중요하다.

본 연구에서는 서비스 트래픽 클래스가 주어지고, 클래스별로 트래픽의 망 종단간의 수요가 변화할 때, 연결수락 및 루팅을 효과적으로 제어하고 망자원을 효율적으로 이용하며 주어진 서비스 트래픽의 품질을 유지하기 위한 최적 가상경로망 재구성 설계모형을 개발한다.

제 2 장에서는 ATM 망에서의 가상경로 및 가상경로 루팅에 대한 기존 연구와 모형수립을 위해 가상경로망의 개념을 정리하고, 제 3 장에서는 가상경로망 재구성 설계모형을 제시한다. 제 4 장에서는 가상경로망 재구성 설계모형을 적용한 수치 예를 소개하고, 제 5 장에서는 제시한 가상경로 재구성 설계모형 문제의 효율적인 해법에 대해 논의한다.

2. 가상경로망

ATM 망에서의 가상경로의 개념은 Sato[4, 28]에 의해 제안되었고 CCITT에서 권고하고 있으며 그 효율성에 대해서는 많은 연구가 있다. [4, 14, 26, 28] 하나의 가상경로연결(VPC: Virtual Path Connection)은 셀 헤더에 포함되는 VPI 및 망노드인 DCS(Digital Cross-connect System)나 ATM Switch에서 간직하는 루팅테이블에 의해 설정된다. ATM에서의 가상경로는 STM(Synchronous Transfer Mode)에서의 디지털 경로와 비교할 때 논리적 경로로서 실제 경로와 실제 용량에 독립적이라는 것이 가장 큰 차이점이다. STM망과 ATM 망을 비교하여 망구조 및 망관리 측면에서의 가상경로의 장점에 대해서는 Aoyama[4]에서 잘 정리하고 있다. ATM 망에서의 트래픽제어와 관련하여 연결수락제어시에 가상경로 개념을

이용하면 효율적으로 가상경로 대역폭을 동적으로 할당할 수 있다. [11, 23, 29] 또한 망의 신뢰도(network reliability)를 향상시키기 위해서 가상경로의 대역폭을 관리할 수 있다. [13, 21, 25] ATM 망에서 가상경로를 이용하는 이유를 요약하면 다음과 같다. [6]

- 구조적인 복잡성과 교환노드의 부하를 줄이기 위해서
- 노드에서 루팅 셀에 대한 처리를 줄여 빨리 이루어지게 하기 위해서
- 호의 수락 과정을 단순화 시키기 위해서
- 동적인 자원관리 시스템을 쉽게 제공하기 위해서
- 물리적인 망의 구현을 보다 경제적이고 논리적인 망구조에 독립적으로 하기 위해서

가상경로 루팅에 대한 개념은 ATM 연결 즉, 가상채널연결 및 가상경로연결 (CCITT I.150)로서 표현되며 이에 대한 효율성은 이미 언급한 바와 같고 이에 대한 트래픽 제어시의 활용은 CCITT I.371을 참조할 수 있다. 그러나 구체적인 가상경로 루팅방식에 대한 연구는 다른 분야의 트래픽제어 연구에 비해 현저히 적은 편이다. 이는 가상경로 루팅연구가 ATM 망에서 트래픽제어 분야의 연구라기 보다는 망 관리차원의 연구로서 첫째는 트래픽 수요에 영향을 받고, 둘째는 트래픽제어 결과 나타난 망 상태를 반영하여야 하며, 셋째는 전체 망관리 시스템의 구조와 밀접하게 연관되는 전체적인 문제(global problem)로서 전체 망자원(채널 및 교환노드)을 고려해야 하는 복잡한 문제이기 때문인 것으로 판단된다.

ATM 망에서 가상경로 루팅과 연관이 있는 연구로는 Gupta[10], Yoshida[30], Kawamura[15], Chlamtac[7]와 Gerla[8] 등이 있다. Gupta는 가상경로를 이용한 연결수락제어와

가상경로망을 기초로한 가상채널 루팅에 대한 방안을 제시하였다. Yoshida는 ATM 망 계획 차원에서 DCS노드에 의한 가상경로 루팅과 ATM Switch에 의한 가상채널 루팅을 비교하였다. Kawamura는 ATM 망요소가 고장났을 때 이를 회복하는 방법을 가상경로를 이용하는 self-healing technique를 소개하고 있다. Chlamtac은 ATM 망에서의 가상경로 루팅을 3가지 NP-complete 문제인 Clustering problem, Capacity assignment problem 및 Virtual path routing problem으로 나누고 각 문제에 대한 근사해를 구하는 polynomial time algorithm을 제시하고 있다. Gerla는 주어진 물리망(그의 표현으로 backbone network)에 대해 논리적인 가상경로망(그의 표현으로 embedded network)의 토폴로지와 대역폭을 결정하는 수리계획문제 및 해법을 제시하고 있다.

Chlamtac의 연구는 독창적인 모형에 의해 이론적으로 의미는 있으나 모형에 나오는 거리, 비용 및 혼잡도(congestion) 등의 정의가 복잡하고 주관적인 요소가 포함되어 있으며 목적함수식이 간단하지 않아 실제 적용하기 어려우며 구현(implementation) 및 적용 예가 전혀 없어 적합성 연구가 요구된다. Gerla의 연구는 전통적인 데이터 네트워크의 디자인 설계 모형인 Multicommodity network flow problem의 형태로 모형화하였다. 본 연구와 비교하여 볼 때 Gerla의 연구는 하나의 트래픽 클래스에 대한 가상경로망 설계모형에 해당되나 주어진 물리망에서 논리망을 구성하는 설계모형을 처음으로 제시하였다고 하겠다. Gerla는 목적함수인 평균 셀지연을 최소화하며 링크 및 노드의 용량조건을 제약조건으로 수립하였다. 하나의 트래픽 클래스에 대해서만 모형을 수립하였기 때문에 하나의 물리적 채널에 클래스별

로 트래픽이 걸려 상호 작용하여 생기는 지연의 문제를 고려하지 못하기 때문에 실제 ATM 망에 그대로 적용할 수 없다.

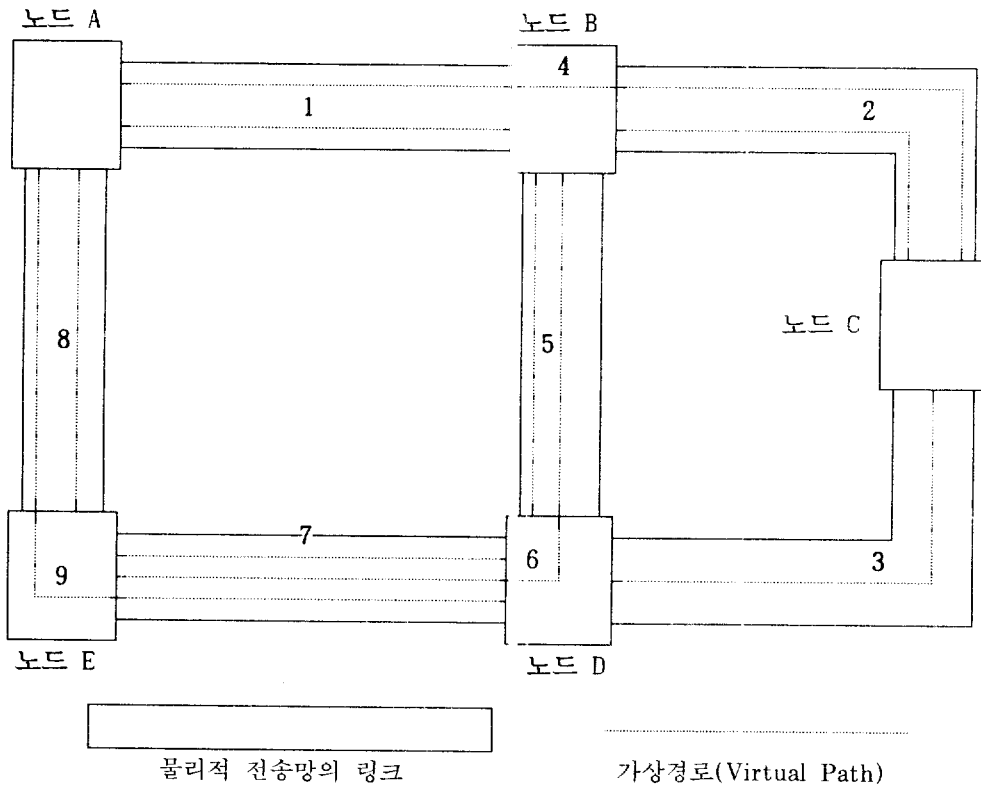
본 연구에서는 전통적인 데이터망의 설계모형이며 Gerlar가 처음으로 ATM 망에 적용한 Multicommodity network flow problem 형태의 모형을 수립하였다. 본 연구에서는 다양한 광대역 서비스 트래픽 클래스를 고려하므로 트래픽 클래스간의 상호작용이 고려되고 모형에 따라 호거질확률 및 셀손실율(버퍼용량)도 함께 고려된다. 본 연구와 Gerla 연구의 모형에 있어서의 또하나의 차이점은 본 연구에서는 가상경로에 대한 후보집합이 주어지지 않는다는 것이다. Gerla 연구에서는 셀지연을 계산하기 위해 가상경로 후보 들을 주고 그것이 선택될 때 각 링크에서 발생하는 지연을 계산하였으나 본 연구에서는 여러 종류의 트래픽 클래스를 함께 고려하므로 이러한 가상경로 후보를 준다고 해도 각 링크에서의 셀 지연제한은 매우 복잡한 문제이다. 그러나 데이터망 virtual circuit 루팅 설계시에 흔히 적용하는 Jackson Network으로 근사화시켜 셀의 평균지연을 계산하였다. 즉, 망요소의 독립성과 셀의 도착 및 처리를 M/M/1 queue로 가정하고 셀의 루팅을 Markovian이라고 가정하여 평균 셀지연을 계산하였다. 데이터망에서의 Jackson Network에 의한 루팅설계 모형은 Zhang & Hartmann[31] 등에서 찾아볼 수 있다. 이 밖에 데이터망의 망설계 및 루팅설계에 대한 대해서는 Bertsekas & Gallager[5]와 여기서 소개되는 참고문헌을 참조할 수 있다.

이제 본 연구의 가상경로망 설계모형 수립을 위해 먼저 가상경로연결과 가상경로망의 개념을 명확히 할 필요가 있다. <그림 1>와 같이 BISDN의 실제 물리적 전송망이 있다고 가정

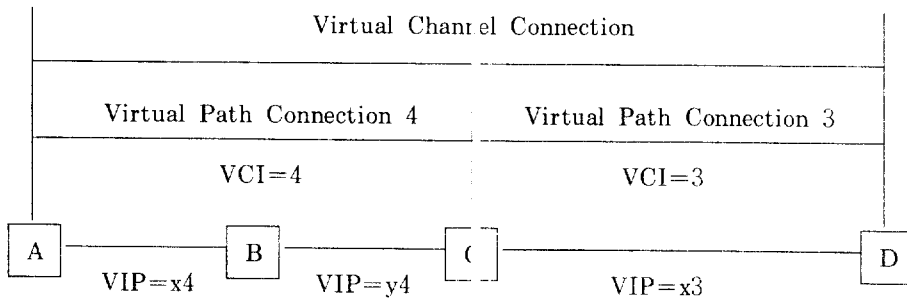
한다. 어느 트래픽 클래스의 가상경로연결이 점선으로 표현된 경로라고 가정한다. 이와같은 가상경로연결의 경로와 대역폭은 해당 트래픽 클래스의 각 노드간의 수요에 의해 결정된다.

- 가상경로연결 1 = A-B
- 가상경로연결 2 = B-C
- 가상경로연결 3 = C-D
- 가상경로연결 4 = A-B-C
- 가상경로연결 5 = B-D
- 가상경로연결 6 = B-D-E
- 가상경로연결 7 = D-E
- 가상경로연결 8 = A-E
- 가상경로연결 9 = A-E-D

<그림 1>의 물리적 전송망에는 주어진 트래픽 클래스에 대해 9개의 가상경로연결(VPC)을 갖는다. 각 가상경로연결 번호는 하나의 연결을 의미한다. 따라서 하나의 가상채널 연결(Virtual Channel Connection : VCC)이 아래의 어느 가상경로연결을 점유하면 그 가상경로연결 내에서는 가상채널 식별자가 변하지 않고 연결된다. 예를 들어 하나의 가상채널연결이 노드 A와 노드 D를 (가상경로연결 4)...(가상경로연결 3)을 통해 연결된다고 할 때 셀 헤더에는 <그림 2>와 같은 VPI와 VCI 값이 할당된다.

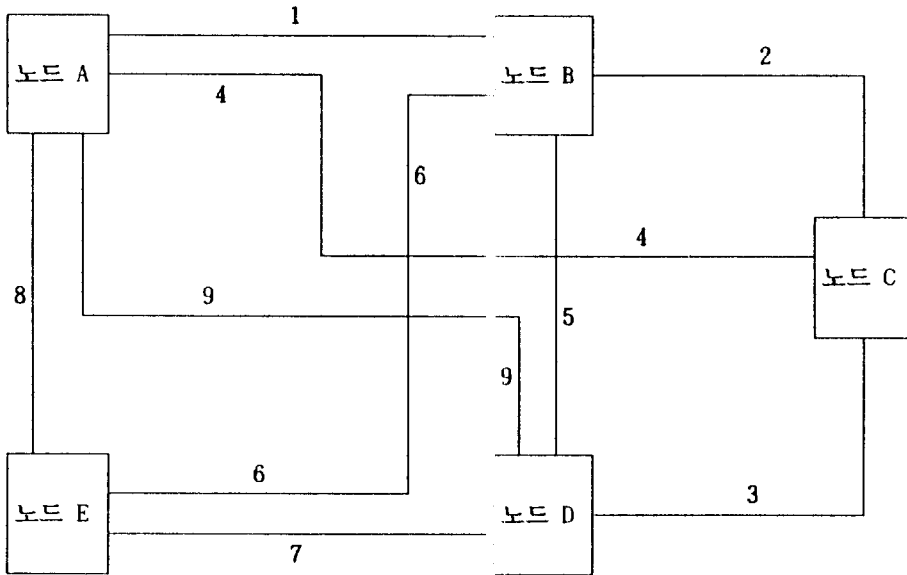


[그림 1] 가상경로 및 가상경로 루팅



[그림 2] 가상경로 연결 및 가상채널 연결

위의 트래픽 클래스에 대한 가상경로연결로 구성된 가상경로망(Virtual Path Network)은 <그림 3>과 같이 된다.



[그림 3] 가상경로연결로 구성된 가상경로망

실시간으로 처리되는 가상채널 루팅은 <그림 3>의 가상경로망을 기본으로 하여 결정될 수 있다. 예를 들어 Two-Link Alternate Routing 방식에 의한 A → D 노드간의 가상채널연결은 4가지의 가상경로연결의 패스가 있고 이에 대한 실제 물리망에서의 패스를 나타내면 다음과 같다.

가상채널연결 (1)=(가상경로연결 9)=(A → E → D)

가상채널연결 (2)=(가상경로연결 1)→(가상경로연결 5)=(A → B → B → D)

가상채널연결 (3)=(가상경로연결 4)→(가상경로연결 3)=(A → B → C → D)

가상채널연결 (4)=(가상경로연결 8)→(가상경로연결 7) = (A → E → E → D)

<그림 3>의 가상경로망의 노드는 ATM 교환

기가 되고 가상경로연결 중에 거치게 되는 노드는 DCS가 가능하다. 예를 들어 <그림 2>에서 노드 B는 DCS가 가능하나 노드 C는 ATM 교환기이어야 한다.

본 연구는 트래픽 클래스별로 물리적 전송망의 용량을 트래픽의 망 종단간 수요에 따라 트래픽 클래스별로 적절히 할당하는 가상경로망 재구성 설계모형을 제시하는 것이다.

3. 가상경로망 재구성 설계모형

가상경로망 재구성 설계는 물리적 전송망(토폴로지, 링크용량, 노드용량) 및 가상경로망의 토폴로지, 서비스 트래픽 클래스 종류, 트래픽

클래스별 시작노드-끝노드별 트래픽 수요, 서비스 등급(호 거절확률), 서비스 품질(QOS : 셀 손실율 및 셀 지연), 교환노드 및 전송장치의 Buffer 용량, 우선순위 제어 (셀 손실 및 셀 지연 시), 통계적 다중화 등을 고려하여 설계되어야 한다.

가상경로망은 물리적 전송망 위에 있는 서비스 클래스별 논리망이므로 실제 물리적 전송망의 교환기의 종류(DCS 또는 ATM switch) 및 성능, 전송시스템의 종류 및 링크의 용량(대역폭), 전송망의 교환노드와 전송링크간의 토폴로지 등이 고려되어야 한다. 물리적 전송망이 기간망일 때의 가상경로망의 토폴로지는 트래픽 수요가 적은 초기에는 full-mesh 형태일 수 있으나 장차 일반적인 토폴로지일 것으로 기대되며 대화형 TV 서비스를 위한 가입자망을 물리적 전송망으로 가정할 때 가상경로망은 가상성형구조(virtual star topology)를 갖도록 구성되어야 한다.

언급한 바와 같이 AAL layer에서는 광대역 서비스를 실시간성, 비트발생율 및 연결모드에 따라 따라 4종으로 구분하고 있다. 그러나 이와같은 구분으로 가상경로망을 구성하기는 곤란하다. 왜냐하면 같은 고정비트 발생율이라도 대역폭에 따라 또 호 연결 지속시간에 따라 하나의 호에 대해서도 망에 걸리는 부하에는 현격한 차이가 있다. 따라서 평균 대역폭과 평균 지속시간 등의 트래픽 특성을 고려하여 트래픽 클래스를 세분화하여야 한다. 트래픽 클래스의 수가 적으면 관리상의 잇점이 있으나 통계적 다중화의 이익은 적어진다. 따라서 서비스 트래픽을 적절한 수의 클래스로 나눈은 망의 효율적인 이용에 중요하다.

서비스 트래픽 클래스별 수요를 알기 위해서는 구현되는 광대역 서비스별로 시작-끝 노드

간의 시간대별 서비스 호의 수요가 제시되어야 하며 고려하는 기간의 최번시의 시작-끝 노드간의 서비스 호의 수요를 알 수 있어야 한다. 그리고 서비스 호 발생에 대한 확률분포와 트래픽 소스모형을 고려하여 최종적인 트래픽 클래스별 수요가 집계되어야 한다.

위에서 언급한 고려사항의 조합으로 다양한 설계모형을 생각할 수 있다. <표 1>은 고려사항에 의한 가상경로 재구성 설계모형의 종류를 나타낸다.

가상경로망의 설계는 Multicommodity Network Flow 문제[3]와 비슷한 문제로 모형화될 수 있다. 먼저 K 종류의 트래픽 클래스를 $k = 1, 2, \dots, K$ 라고 하고 물리적 전송망의 노드(ATM 교환기, CCS)집합을 V , 링크집합을 directed arc set E , 반대방향의 흐름을 표시하기 위해 반대방향의 링크집합을 $E' = \{(i, j) | (j, i) \in E\}$ 로 표시한다. 노드 $i \in V$ 의 용량을 초당 교환시킬 수 있는 비트로 표시하여 μ (bits/s)라고 하고 링크 용량을 대역폭으로 표시하여 양방향으로 할당되는 대역폭의 합계로 u_{ij} (bits/s)라고 한다.

또한 최번시(busy hour)에서의 시작노드(origin node) o 에서 끝노드(destination node) d 까지의 k 번째 트래픽 클래스의 수요를 평균 비트 발생율(bits per second)로 나타내어 $t_{o,d}^k$ 로 표시한다. 물론 최대비트 발생율을 $t_{o,d}^{k,max}$ 로 할 수도 있으며 평균비트 발생율과 최대비트 발생율을 함께 고려한 값을 $t_{o,d}^k$ 로 할 수 있겠다.

결정변수 $x_{o,d}^k(i, j)$ 는 k 번째 트래픽 클래스의 루팅패스 $o-d$ 가 경유하는 링크 (i, j) 에 대해서 물리적 전송망 링크 (i, j) 의 대역폭 u_{ij} 중 이 트래픽에 할당되는 값이고, $y_{o,d}^k(i)$ 는 k 번째 트래픽 클래스의 루팅패스 $o-d$ 가 경유하는 노

〈표 1〉 가상경로 재구성 설계모형 종류

모	형	모형 A	모형 B	모형 C
가 상 경 로 망 도 료 로 지	일 반	○	○	○
	Star			
호 거 절 확 률	전체확률	○		
	클래스별 확률		○	
	클래스/o-d별			○
셀 손 실 (buffer)	무한 buffer	○	○	
	유한 buffer			○
셀 지 연	고려안함	○		
	고려함		○	○
우 선 순 위	없음	○	○	
	있음 (0 or 1)			○
통 계 적 다 중 화	고려안함	○	○	
	고려함			○

드 i 가 교환시켜야 하는 트래픽의 양이며, $z^{k_{i,o,d}}$ 는 k 번째 트래픽 클래스의 시작과 끝이 $o-d$ 인 트래픽의 시작노드 o 에서 연결수락이 거절되는 트래픽의 양이다.

3.1 트래픽 균형등식(balance equation)

ATM 교환기는 가입자 회선이 연결되는 Local 교환기의 역할과 Tandem 교환기의 역할이 가능하다고 가정한다. 그러면 트래픽 수요 즉 망에 도착하는 트래픽의 양과 도착한 트래픽이 링크에서 흐르는 양 및 트래픽이 노드에서 교환되는 양은 서로 관련되어 다음과 같은 관계식이 성립된다. 각 노드에서의 다음의 트래픽

균형등식은 minimum cost flow problem 등의 network flow problem의 균형등식에서 거절되는 트래픽 만이 특별히 고려되었다.

시작노드 o 에서 (교환되는 트래픽양)+(연결 거절된 트래픽양)=(트래픽 수요) 및 (전송되는 트래픽양)=(교환되는 트래픽양) 이므로 다음의 균형등식이 성립된다.

$$y^{k_{(o,d)}}(o) + z^{k_{(o,d)}} = t^{k_{(o,d)}}, \forall k \forall (o, d) \quad (1)$$

$$\sum_{(i,j) \in EUE} x^{k_{(o,d)}}(o,j) = y^{k_{(o,d)}}(o,d)(o), \forall k \forall (o,d) \quad (2)$$

경유 노드 i 에서 (전송되어 온 트래픽양)=(교환되는 트래픽양)=(전송되는 트래픽양) 이므로 다음의 균형등식이 성립된다.

$$\sum_{(i,j) \in E \cup E'} x_{(o,d)}^k(j,i) = y_{(o,d)}^k(i) = \sum_{(i,j) \in E \cup E'} x_{(o,d)}^k(i,j), \quad \forall k \quad \forall (o,d) \quad \forall i \in V - \{o,d\} \quad (3)$$

끝노드 d 에서 (전송되어 온 트래픽양) = (교환되는 트래픽양) 및 (교환되는 트래픽양) + (연결거절된 트래픽양) = (트래픽 수요)이므로 다음의 균형등식이 성립된다.

$$y_{(o,d)}^k(d) + z_{(o,d)}^k = t_{(o,d)}^k, \quad \forall k \quad \forall (o,d) \quad (4)$$

$$\sum_{(i,j) \in E \cup E'} x_{(o,d)}^k(i,d) = y_{(o,d)}^k(d), \quad \forall k \quad \forall (o,d) \quad (5)$$

3.2 용량제한(capacity constraints)

노드 $i \in V$ 에 대해서 교환되는 트래픽의 양은 노드의 용량을 넘어설 수 없으므로

$$\sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} y_{(o,d)}^k(i) \leq \mu_o, \quad \forall i \in V \quad (6)$$

$$y_{(o,d)}^k(i) \geq 0, \quad \forall k \quad \forall (o,d) \quad \forall i \in V \quad (7)$$

가 성립되어야 하고 가상경로에 할당된 대역폭의 합은 전송망의 링크의 대역폭보다 클 수 없으므로 모든 링크 (i,j) 에 대해

$$\sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} \{x_{(o,d)}^k(i,j) + x_{(o,d)}^k(j,i)\} \leq u_{(i,j)}, \quad \forall (i,j) \in E \quad (8)$$

$$x_{(o,d)}^k(i,j) \geq 0, \quad \forall k \quad \forall (o,d) \quad \forall (i,j) \in E \cup E' \quad (9)$$

가 성립되어야 한다. 비음(nonnegativity) 조건은 교환되는 트래픽의 양 및 대역폭의 할당이 실질적인 의미를 갖기 위한 조건이다.

3.3 서비스 등급(GoS) 및 서비스 품질(QoS)

서비스 등급은 서비스 호가 거절될 확률로 표현되는데 호가 거절될 확률은 망에 도착한 트래픽양에 대한 연결거절된 트래픽양의 비율로 볼 수 있다. <표 2>는 트래픽 클래스별 및 $o-d$ 별 트래픽 연결거절 확률을 나타낸다.

<표 2> 호 거절확률 및 허용한계치

구 분	호 거절확률	허용한계치
트래픽 클래스별 $o-d$ 별	$\frac{z_{(o,d)}^k}{t_{(o,d)}^k}$	$\alpha_{(o,d)}^k$
트래픽 클래스별	$\frac{\sum_{o \in V} \sum_{d \in V} z_{(o,d)}^k}{\sum_{o \in V} \sum_{d \in V} t_{(o,d)}^k}$	α^k
전 체	$\frac{\sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} z_{(o,d)}^k}{\sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} t_{(o,d)}^k}$	α

서비스 품질을 나타내는 척도로 셀지연과 셀 손실이 있다. 셀지연에는 링크에서의 대기지연 및 전송지연이 있고 망노드에서의 대기지연과 처리지연이 있다. 링크 및 교환 노드에서의 셀 지연과 셀손실을 계산하기 위해 M/M/1 대기행렬 모형을 적용한다. 물론 소스 트래픽 모형에 따라, 링크의 연결 채널수에 따라, 버퍼크기에 따라, 노드에서는 교환기 구조에 따라 보다 정교하고 다양한 지연모형을 적용할 수 있다.[12] 망내에서 Markovian routing을 가정하여 Jackson Queueing Network 모형[18]을 적용하면 망에서의 평균 셀지연은

$$\frac{1}{t-z} \left\{ \sum_{(i,j) \in E} \frac{x(i,j)+x(j,i)}{u_{ij}-x(i,j)-x(j,i)} + \sum_{i \in V} \frac{y(i)}{\mu_i-y(i)} \right\} \quad (10)$$

이 되며 여기서 t 는 모든 트래픽 클래스의 총 수요를, z 는 연결거절되는 트래픽의 총량을, $x(i,j)+x(j,i)$ 는 링크 (i,j) 를 지나는 트래픽의 총양을, $y(i)$ 는 노드 i 에서 교환되는 트래픽의 총양을 나타낸다. 이와같은 평균 셀지연은 데이터망에서 가상회선(virtual circuit) 루팅설계 연구[31] 등에서 참고할 수 있다. 다만 식(10)은 트래픽 수요 중 연결거절된 트래픽을 고려한 식이며 이러한 차이는 추후 해법 연구에 큰 차이점을 가져온다.

노드 i 의 버퍼크기를 $b(i)$ (bits), 링크 (i,j) 의 버퍼크기를 $b(i,j)$ (bits) 라고 가정한다. 그러면 평균 셀손실율은 입력되는 트래픽에 대한 전송 및 교환중 손실되는 트래픽의 비율이므로

$$\frac{1}{t-z} \left\{ \sum_{(i,j) \in E} \left[\frac{x(i,j)+x(j,i)}{u_{ij}-x(i,j)-x(j,i)} - b(i,j) \right]^+ + \sum_{i \in V} \left[\frac{y(i)}{\mu_i-y(i)} - b(i) \right]^+ \right\} \quad (11)$$

이 된다. 여기서 $[x]^+$ 는 x 가 양수일 때는 x 값을 음수일 때는 0의 값을 뜻한다.

3.4 우선순위 제어

우선순위 제어에 의해 우선순위를 갖는 셀(셀 헤더의 우선순위를 나타내는 하나의 비트가 있으며 이를 CLP로 표시하고 CLP=0은 우선순위 셀을 의미함)은 우선적으로 전송 및 교환되고, 대기 셀이 버퍼크기를 넘어서게 되면 우선순위를 갖지 않는 셀(CLP=1)이 먼저 선택적으로 포기(손실)된다. 트래픽 클래스별로 우선순위 트래픽의 비율을 p^k 라고 가정한다. 그러면 망에서 손실되는 트래픽의 양을 무시하고 우선순위를 갖는 셀의 평균 셀지연은

$$\frac{1}{t^p} \left\{ \sum_{(i,j) \in E} \frac{x_p(i,j)+x_p(j,i)}{u_{ij}-x_p(i,j)-x_p(j,i)} + \sum_{i \in V} \frac{y_p(i)}{\mu_i-y_p(i)} \right\} \quad (12)$$

이 되며 여기서 t_p 는 우선순위를 갖는 트래픽 클래스의 총 수요를, $x_p(i,j)+x_p(j,i)$ 는 링크 (i,j) 를 지나는 우선순위 트래픽의 총양을, $y_p(i)$ 는 노드 i 에서 교환되는 우선순위 트래픽의 총양을 나타낸다. 또한 우선순위 트래픽의 평균 셀 손실율은 다음과 같다.

$$\frac{1}{t^p} \left\{ \sum_{(i,j) \in E} \left[\frac{x_p(i,j)+x_p(j,i)}{u_{ij}-x_p(i,j)-x_p(j,i)} - b(i,j) \right]^+ + \sum_{i \in V} \left[\frac{y_p(i)}{\mu_i-y_p(i)} - b(i) \right]^+ \right\} \quad (13)$$

3.5 통계적 다중화(Statistical Multiplexing)

ATM 망에서의 통계적 다중화는 물리적 전송링크내에서 가상경로 레벨에서의 다중화와

가상경로내에서 가상채널 레벨의 다중화가 있다. 가상채널 레벨의 다중화 효과는 가상채널 루팅시 발생하기 때문에 본 모형에서는 고려하지 않는다. 가상경로 레벨의 다중화 효과를 정확히 고려하기 위해서는 트래픽 소스모형에 의한 트래픽 흐름의 확률적 분포를 고려하여야 한다. 그러나 본 가상경로 재구성 설계모형에서는 주어진 시간의 평균 흐름량을 갖고 모형화하기 때문에 통계적 다중화의 효과를 고려하기에는 정보가 미흡하다. 다만 본 모형에서는 트래픽 클래스의 수와 가상경로 허용용량 상한값을 가지고 통계적 다중화의 효과를 고려할 수 있다. 트래픽 클래스의 수를 증가시키거나 가상경로 허용용량의 상한값을 낮추면 하나의 물리적 링크에 걸리는 가상경로의 수가 많아져 통계적 다중화의 이익은 증가한다. 그러나 망 관리 측면에서 이를 관리하는 관리비용은 증가하게 될 것이다. 각 물리적 전송망 링크 (i, j)의 상한값을 m_{ij} (bits/s)라고 가정한다. 그러면 각 트래픽 클래스별 $o-d$ 별 가상경로 링크 (i, j)에 할당되는 대역폭은 $x_{(o,d)}^k \leq m_{ij}$ 이므로 전송 트래픽의 양이 많을 때 (heavy traffic) 최소한 u_{ij}/m_{ij} 개 가상경로의 다중화 효과를 기대할 수 있겠다.

3.6 가상경로망 재구성 설계모형

〈표 1〉에서 구분한 세가지 가상경로 재구성 설계모형의 최적화 문제를 수립한다. 주어진 물리적 전송망의 노드 수를 $|V|=n$, 링크 수를 $|E|=m$, 트래픽 클래스의 수를 K 및 $o-d$ 경우 수를 L 이라고 가정한다.

설계모형 A : 설계모형 A는 일반적인 토폴로지의 가상경로망을 재구성하는 설계모형으로

전체 호거절확률을 목적함수로 하고 트래픽 균형등식과 용량제한의 제한조건식을 갖는 최적화 문제가 된다. 서비스품질(셀지연 및 셀손실) 및 우선순위는 고려하지 않은 단순한 모형이다. 이에 대한 최적화문제는 (Model A)로 선형 목적함수를 갖는 Multi-commodity network flow problem이 된다. (Model A)의 최적화 문제는 $2KL(n+m)$ 개의 비음(nonnegative)변수와 $KL(2n+4)$ 개의 등식과 $(m+n)$ 개의 부등식으로 구성된다.

$$\text{(Model A) Minimize } Z_A = \left[\sum_{1 \leq k < K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} z_{(o,d)}^k \right] \\ / \left[\sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} t_{(o,d)}^k \right]$$

Subject to 식(1) - 식(9)

설계모형 B : 설계모형 B는 일반적인 토폴로지의 가상경로망을 재구성하는 설계모형으로 평균 셀지연을 목적함수로 하고 트래픽 균형등식, 용량제한의 제한조건식 및 트래픽 클래스별호 거절확률 조건을 갖는 최적화 문제가 된다. 무한 버퍼용량을 가정하여 셀손실이 없고 우선순위를 고려하지 않은 모형이다. 이에 대한 최적화문제는 (Model B)와 같다. (Model B)의 최적화 문제는 식(15)에서 식(18)을 목적함수에 포함시킬 때 (Model A)에 비해 부등식 K 개가 추가되어 $2KL(n+m)$ 개의 비음(nonnegative)변수와 $KL(2n+4)$ 개의 등식과 $(K+m+n)$ 개의 부등식으로 구성된다.

$$\text{(Model B) Minimize } Z_B = \frac{1}{t-z} \\ \left\{ \sum_{(i,j) \in E} \frac{x(i,j)+x(j,i)}{u_{ij}-x(i,j)-x(j,i)} + \sum_{i \in V} \frac{y(i)}{u_i - y(i)} \right\}$$

Subject to 식(1)-식(9)와

$$[\sum_{o \in V} \sum_{d \in V} z^k_{(o,d)}] / [\sum_{o \in V} \sum_{d \in V} t^k_{(o,d)}] \leq \alpha_k, \forall k \quad (14)$$

$$x(i,j) = \sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} x^k_{(o,d)}(i,j), \quad \forall (i,j) \in EUE' \quad (15)$$

$$y(i) = \sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} y^k_{(o,d)}(i), \quad \forall i \in V \quad (16)$$

$$t = \sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} t^k_{(o,d)} \quad (17)$$

$$z = \sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} z^k_{(o,d)} \quad (18)$$

설계모형 C : 설계모형 C는 일반적인 토폴로지의 기상경로망을 재구성하는 설계모형으로 서비스 품질에 위반되는 셀손실율과 셀지연을 목적함수에 포함하고 있다. 여기서 평균 셀손실율의 허용치는 우선순위 트래픽의 경우 β_p , 일반트래픽의 경우 β_i 이고 평균 셀지연의 허용치는 우선순위 트래픽의 경우 γ_p , 일반트래픽의 경우 γ_i 라고 가정하였다. 제약조건식은 트래픽 균형등식, 용량제한의 제한조건식 및 트래픽 클래스별 및 o-d별 호 거절확률 조건으로 구성된다. 따라서 설계모형 C는 버퍼용량과 우선순위를 고려한 일반적인 모형이고 이에 대한 최적화문제는 다음과 같다. 목적함수의 w_1, w_2, w_3, w_4 는 우선순위 트래픽 및 일반트래픽의 셀손실율과 셀지연 간에 주어진 가중치이다. (Model C)의 최적화 문제는 식(15)–식(18) 및 식(20)–식(26)을 목적함수에 포함시키면 $2KL(n+m)$ 개의 비음(nonnegative)변수와 그중 KLm 개의 상한값을 갖는 변수가 있고 $KL(2n+4)$ 개의 등식과 $(KL+m+n)$ 개의 부등식으로 구성된다.

(Model C) Minimize $Z_c = w_1 [L_p - \beta_p]^+ + w_2 [L - \beta]^+ + w_3 [D_p - \gamma_p]^+ + w_4 [D - \gamma]^+$
 Subject to 식(1)–식(9)와 식(15)–식(18)
 $z^k_{(o,d)} / t^k_{(o,d)} \leq \alpha_k, \forall k \forall (o, d) \quad (19)$

$$x_p(i,j) = \sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} p^k x^k_{(o,d)}(i,j), \quad \forall (i,j) \in EUE' \quad (20)$$

$$y_p(i) = \sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} p^k y^k_{(o,d)}(i), \quad \forall i \in V \quad (21)$$

$$t_p(i) = \sum_{1 \leq k \leq K} \sum_{o \in V} \sum_{d \in V} p^k t^k_{(o,d)}, \quad (22)$$

$$L_p = \frac{1}{t_p} \left\{ \sum_{(i,j) \in E} \left[\frac{x_p(i,j) + x_p(j,i)}{u_{ij} - x_p(i,j) - x_p(j,i)} - b(i,j) \right]^+ + \sum_{i \in V} \left[\frac{y_p(i)}{\mu_i - y_p(i)} - b(i) \right]^+ \right\}, \quad (23)$$

$$L = \frac{1}{t-z} \left\{ \sum_{(i,j) \in E} \left[\frac{x(i,j) + x(j,i)}{u_{ij} - x(i,j) - x(j,i)} - b(i,j) \right]^+ + \sum_{i \in V} \left[\frac{y(i)}{\mu_i - y(i)} - b(i) \right]^+ \right\}, \quad (24)$$

$$D_p = \frac{1}{t_p} \left\{ \sum_{(i,j) \in E} \frac{x_p(i,j) + x_p(j,i)}{u_{ij} - x_p(i,j) - x_p(j,i)} + \sum_{i \in V} \frac{y_p(i)}{\mu_i - y_p(i)} \right\}, \quad (25)$$

$$D = \frac{1}{t-z} \left\{ \sum_{(i,j) \in E} \frac{x(i,j) + x(j,i)}{u_{ij} - x(i,j) - x(j,i)} + \sum_{i \in V} \frac{y(i)}{\mu_i - y(i)} \right\}, \quad (26)$$

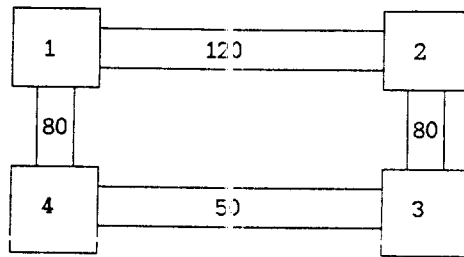
$$0 \leq x^k_{(o,d)}(i,j) \leq m_{ij}, \forall k \forall (o,d) \forall (i,j) \in EUE' \quad (27)$$

4. 설계모형의 적용

물리적 전송망이 <그림 4>와 같이 4개의 교환노드(용량 모두 150 Mbps)와 4개의 전송링크(용량 그림에 표시, 단위는 Mbps)로 구성되어 있다고 가정한다.

트래픽 클래스는 2가지로 클래스별 o-d별 트래픽 수요는 최변시에 <표 3>과 같이 주어졌다. 단위는 Mbps이다.

각 모형별 최적화 문제의 해는 월드뱅크에서 개발한 GAME 2.0을 사용하였다.

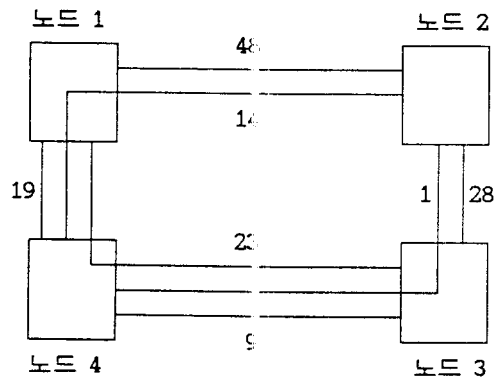


〈그림 4〉 물리적 전송망 토폴로지 및 용량

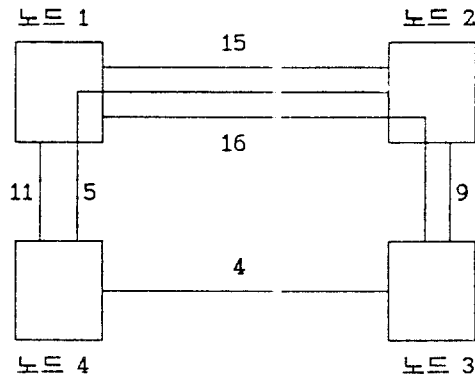
〈표 3〉 클래스 별 트래픽 수요

트래픽 클래스	트래픽 클래스 1				트래픽 클래스 2			
끝노드 / 시작노드	노드 1	노드 2	노드 3	노드 4	노드 1	노드 2	노드 3	노드 4
노드 1		48	23			15	16	
노드 2				15				5
노드 3		28		9		9		4
노드 4	19				11			

모형 A 적용 결과 : 트래픽 클래스별로 가상경로 루팅 및 할당 대역폭은 〈그림 5〉 및 〈그림 6〉과 같다.



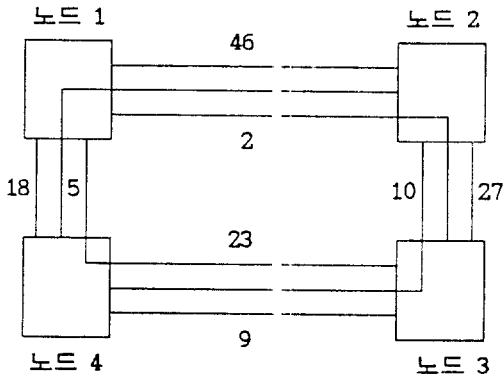
〈그림 5〉 트래픽 클래스 1에 대한 가상경로의 용량 및 경로



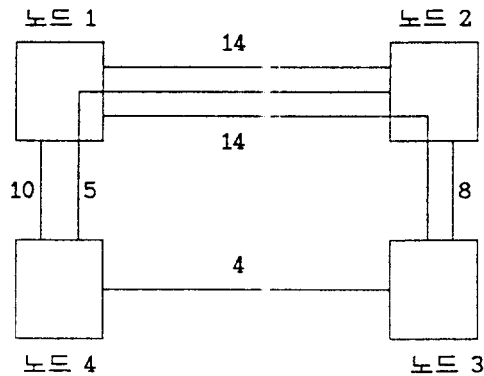
<그림 6> 트래픽 클래스 2에 대한 가상경로의 용량 및 경로

모형 B 적용 결과 : 평균 호 거절확률의 허용치는 클래스 1의 경우 0.05로, 클래스 2의 경우는 0.1로 가정하였다. 모형 B를 적용한 결과

평균 셀지연은 $1.5E-7$ sec로 나왔으며 트래픽 클래스별로 가상경로 루팅 및 할당 대역폭은 <그림 7> 및 <그림 8>과 같다.



<그림 7> 트래픽 클래스 1에 대한 가상경로의 용량 및 경로



<그림 8> 트래픽 클래스 2에 대한 가상경로의 용량 및 경로

위에서 보여주는 (Model A) 및 (Model B)의 적용결과는 본 연구의 가상경로망 재구성 설계모형이 모형으로서의 구현 가능성과 의미 있는 해를 제공한다는 정도에서 올바름(Validity)을 보여준다고 하겠다. 제시한 문제 크기 정도의 수치 예의 결과를 갖고 모형의 특성이나 실제 문제의 적용상의 문제점 등에 대해서 논의하기는 미흡하다 하겠다. 추후 모형에 대

한 효율적인 해법 개발이 이루어진 후에 보다 적절한 크기의 문제와 다양한 형태의 토폴로지를 갖는 문제에 대해 적용한 후에 일반적인 네트워크 문제 해법의 특성(Complexity, ease of implementation, sensitivity, flexibility 등)에 대해 연구가 이루어질 것이다. 다만 (Model A)의 결과와 (Model B)를 비교하면 <표 4>와 같다.

<표 4> 설계모형 A와 설계모형 B의 적용결과 비교

모형종류		망요소	노드	노드	노드	노드	링크	링크	링크	링크	VP수
			1	2	3	4	(1, 2)	(2, 3)	(3, 4)	(1, 4)	
Model A	용량		150	150	150	150	120	80	50	80	13
	부하		128	136	90	86	98	54	37	72	
	이용도(%)		85.3	90.7	60.0	57.3	81.7	67.5	74.0	90.0	
Model B	용량		150	150	150	150	120	80	50	80	14
	부하		114	131	97	84	86	61	46	61	
	이용도(%)		76.0	87.3	64.6	56.0	71.6	76.3	92	76.3	

<표 4>에서 Model B의 경우 Model A의 경우보다 부하가 많이 걸리는 노드나 링크에 대해 이용도를 균형화(balancing)시켜 전체 평균 셀지연을 적게 하고자 하는 목적함수의 효과를 알 수 있다.

5. 가상경로 재구성 설계모형 해법

노드수 $|V|=n$, 링크수 $|E|=m$, 트래픽 클래스의 수 K 및 $o-d$ 경우수 L 이 커지면 가상

경로망 재구성 설계모형의 최적화 문제는 대규모 문제(Large-scale optimization problem)가 된다. 따라서 ATM 망에서 가상경로 재구성을 위한 망관리를 구현하기 위해서는 이에 대한 효율적인 해법을 요구하게 된다.

각 모형의 결정변수를 트래픽 클래스의 수와 $o-d$ 경우수의 곱인 $N(=K \times L)$ 가지로 나누어 다음과 같은 벡터의 변수를 정의한다:

$$\begin{aligned}
 X_1 &= (x^1_{(o(1),d(1))}(i,j), \dots, y^1_{(o(1),d(1))}(i), \dots, z^1_{(o(1),d(1))}) \\
 X_2 &= (x^2_{(o(2),d(2))}(i,j), \dots, y^2_{(o(2),d(2))}(i), \dots, z^2_{(o(2),d(2))}) \\
 &\vdots \\
 X_N &= (x^N_{(o(L),d(L))}(i,j), \dots, y^N_{(o(L),d(L))}(i), \dots, z^N_{(o(L),d(L))})
 \end{aligned}$$

그러면 모형 A의 최적화 문제는 다음과 같은 Block angular linear programming problem가 되며 이에 대한 효율적인 해법은 Dantzig-Wolfe decomposition과 Rosen's partitioning method[19]이 잘 알려져 있다.

모형 A의 최적화 문제:

$$\text{Minimize } c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_NX_N$$

Subject to

$$B_1X_1 = b_1$$

$$B_2X_2 = b_2$$

$$B_NX_N = b_N$$

$$A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_NX_N \leq a$$

$$A_1 \geq 0, X_2 \geq 0 \dots X_N \geq 0$$

모형 B의 최적화 문제는 식(15) - 식(18)을 목적함수에 포함시키면 모형 A와 같은 형태의 Block-angular linear constraints를 갖고 목적함수는 비선형인 최적화 문제로 모형 B의 목적함수는 미분가능(smooth)하고 각 결정변수에 대해서 convex 인 함수이다. Coupling되는 부등식에는 식(14)를 포함하기 때문에 부등식의 수가 증가하게 된다.

모형 C의 최적화 문제는 식(15) - 식(18) 및 식(20) - 식(26)을 목적함수 식에 포함시키면 모형 B와 비슷한 형태의 Block-angular linear constraints를 갖는 문제가 되나 일부 변수가 다중화의 효과를 주기 위해 주어진 상한값을 갖고 목적함수는 모형 B의 목적함수와는 달리 미분불가능(nonsmooth)하다. 각 결정변수에 대해서는 역시 convex 인 함수이다.

모형 C의 최적화 문제:

$$\text{Minimize } f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

Subject to

$$B_1X_1 = b_1$$

$$B_2X_2 = b_2$$

$$B_NX_N = b_N$$

$$A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_NX_N \leq a$$

$$X_1 \leq u_1, X_2 \leq u_2, \dots, X_N \leq u_N$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, \dots, X_N \geq 0$$

모형 B 및 모형 C의 최적화 문제에 대한 효율적인 해법에 대해서는 잘 알려져 있지 않으나 이와 관련하여 모형 B의 최적화 문제와 같은 linear block-angular constraints를 갖고 미분가능한 convex seperable한 목적함수에 대해서는 Robinson의 Bundle-based decomposition method[22, 24]가 매우 효과적이며 모형 C와 같은 대규모 문제는 아니지만 선형제약 조건식에 미분불가능한 convex 함수의 목적함수를 갖는 문제에 대해서는 Lemarechal[20]의 Bundle algorithm이 효율적이다.

6. 결 론

본 연구에서는 ATM 망에서의 가상경로를 위한 가상경로망 재구성 설계모형을 제시하였다. 가상경로는 가상채널과 함께 ATM 망에서의 루팅을 결정한다. 관리적 차원에서의 망의 효율적 이용을 위해서는 트래픽 수요에 적합하게 물리적 전송망을 트래픽 클래스별로 대역폭을 재할당하는 가상경로망을 설계하고 이에 의해 실시간으로 들어오는 서비스 호를 가상채널 루팅에 의해 패스를 결정하게 된다. 따라서 가상경로망은 트래픽 클래스별로 수요는 물론 서

비스 품질을 고려하여 결정해야 한다.

본 연구에서는 물리적 전송망, 호 거절확률, 서비스 품질(전송지연 및 교환지연), 우선순위 트래픽, 다중화 효과 등의 고려사항을 조합한 세가지의 가상경로망 재구성 설계모형을 제시하였다. 4개의 노드, 4개의 링크 및 2가지 트래픽 클래스에 대한 작은 규모의 문제에 대해 적용한 결과는 본 연구에서 제시한 모형들이 실제 규모의 문제에 적용할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 또한 본 연구에서 제시한 가상경로망 재구성 설계모형 들은 실제 망에서는 대규모의 최적화 문제로 선형의 block-angular 제약조건식 구조를 갖는다. 목적함수는 모형에 따라 선형, 미분가능한 비선형 함수 및 미분불가능한 비선형 함수가 된다. 선형의 목적함수를 갖는 모형에 대해서는 효율적인 해법이 알려져 있으나 비선형 목적함수를 갖는 경우의 효율적인 해법은 추후 연구가 요구된다. 그러나 모형 B 및 C의 최적화 문제는 목적함수의 특성상 해법개발이 가능하다고 본다. 물론 목적함수를 약간 근사화시키면 킬선 문제 해법의 가능성이 높아질 것으로 기대한다.

감사의 글 : 본 연구의 제 4 장 설계모형의 적용을 위해 홍익대학교 산업공학과 대학원생 신용식군의 도움을 받았음.

참 고 문 헌

- [1] 광대역종합정보통신망 핵심기술연구, 한국 전자통신연구소, 1991.
- [2] 광대역종합정보통신망 구성기술연구, 한국 전자통신연구소, 1992.
- [3] Ahuja,R. K., Magnanti,T. L. & Orlin,J. B., *Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications*, Prentice-Hall, 1993.
- [4] Aoyama,T., Tokizawa,I. & Sato,K., "Introduction Strategy and Technologies for ATM VP-Based Broadband Networks", *IEEE JSAC*, Vol. 10, No. 9, 1992.
- [5] Bertsekas,D. & Gallager,R., *Data Networks*, Prentice-Hall, 1992.
- [6] Cavallero,E., Mocci,U., Scoglio,C. & Tonietti,A., "Optimization of Virtual Path/Virtual-Circuit Management in ATM Networks", *Networks 92, Proceedings of 5th International Network Planning Symposium*, Kobe, Japan, 1992.
- [7] Chlamtac,I., Farago,A. & Zhang,T., "How to Establish and Utilize Virtual Paths in ATM Networks", *IEEE*, 1993.
- [8] Gerla,M., Monteiro,J. & Pazos,R., "Topology Design and Bandwidth Allocation in ATM Nets", *IEEE JSAC*, Vol. 7, No. 8, 1989.
- [9] Girard,A. *Routing and Dimensioning in Circuit-Switched Networks*, Addison-Wesley Publishing Co., 1990.
- [10] Gupta,S., Ross,K. W & Zarki,M. E., "Routing in Virtual Path Based ATM Networks", *Globecom*, 1992.
- [11] Herzberg,M. & Pitsillides,A., "A Hierarchical Approach for the Bandwidth Allocation, Management and Control in B-ISDN", *IEEE*, 1993.
- [12] Hui,J. Y., *Switching and Traffic Theory for Integrated Broadband Networks*, Kluwer Academic Publishers, 1990.

- [13] Jones, C. K. & Henry, R. R., "A Fast ATM Rerouting Algorithm for Networks with Unreliable Links", IEEE, 1994.
- [14] Kanayama, Y., Maeda, Y. & Ueda, H., "Virtual Path Management Functions for Broad-band ATM Networks", Globecom, IEEE, 1991.
- [15] Kawamura, R., Sato, K. & Tokizawa, I., "Self-healing ATM Network Techniques Utilizing Virtual Paths", *Networks 92, Proceedings of 5th International Network Planning Symposium*, Kobe, Japan, 1992.
- [16] Kelly, F. P., "Blocking Probabilities in Large Circuit-Switched Networks", *Advances in Applied Probability*, Vol. 18, 1986.
- [17] Kelly, F. P., "Routing and Capacity Allocation in Networks with Trunk Reservation", *Mathematics of Operations Research*, Vol. 15, No. 4, 1990.
- [18] Kleinrock, L., *Queueing Systems Volume II: Computer Applications*, John Wiley & Sons, 1976.
- [19] Lasdon, L. S., *Optimization Theory for Large Systems*, Macmillan, 1970.
- [20] Lemarechal, C., "Bundle Methods in Nonsmooth Optimization", *Nonsmooth Optimization*, Ed. by Lemarechal & Robert Mifflin, IIASA V3, Pergamon, 1978.
- [21] Logothetis, M., Shioda, S. & Kokkinakis, G., "Optimal Virtual Path Bandwidth Management Assuring Network Reliability", IEEE, 1993.
- [22] Medhi, D., Decomposition of Large-Scale Structured Optimization Problems and Parallel Computing, Dissertation of Ph. D., Department of Industrial Engineering, University of Wisconsin-Madison, 1987.
- [23] Ohta, S. & Sato, K., "Dynamic Bandwidth Control of the Virtual Path in an Asynchronous Transfer Mode Network", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 40, No. 7, 1992.
- [24] Robinson, S. M. "Bundle-based Decomposition: Theory and Computational Result", Fourth French-German Conference on Optimization, Irsee, West Germany, 1986.
- [25] Sato, K., Hadama, H. & Tokizawa, I., "Network Reliability Enhancement with Virtual Path Strategy", IEEE, 1990.
- [26] Sato, K., Ohta, S. & Tokizawa, I., "Broad-Band ATM Network Architecture Based on Virtual Paths", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 38, No. 8, 1990.
- [27] Schwartz, M., *Telecommunication Networks: Protocols, Modelling and Analysis*, Addison-Wesley, 1987.
- [28] Tokizawa, I. & Sato, K., "Broadband Transport Techniques Based on Virtual Paths", IEEE, 1990.
- [29] Tsai, Z., Wang, W. & Chang, J. -F., "A Dynamic Bandwidth Allocation Scheme for ATM Networks", IEEE, 1993.
- [30] Yoshida, M. & Okazaki, H., "A Study on ATM Network Planning Based on Evaluation of Design Items", *Networks*

92, *Proceedings of 5th International Network Planning Symposium*, Kobe, Japan, 1992.

- [31] Zhang, Z. & Hartmann, H. L., "Optimal Routing in Virtual Circuit Communication Networks", *Teletraffic and Data-traffic, ITC-13*, A. Jensen and V. B. Iversen (Editors), IAC, 1991.