

교환/전송 기술진화에 따른 전화교환망 구조변화 - 시뮬레이션 모형에 의한 사례 분석 - Estimating Telephone Network Structure and Investment Cost Changes

송석재*, 장석권**, 전용수**

* 한국전자통신연구원 정보통신표준연구센터 책임연구원

** 한양대학교 상경대학 경영학과 교수, 박사과정

Abstract

In this study, a simulation model is developed to analyze the effects of routing and scale-economy of transmission facilities on the traffic network topology and investment cost changes in a metropolitan telephone network.

Computational experiments showed that the wide deployment of bifurcated routing in a dual-homing configuration reduces significantly the traffic network connectivity and the investment cost. Its enhanced version, when combined with the subscriber network cost model, can be used as a prototype cost proxy model for figuring out the access charges in a multi-operator environment.

1. 서론

전화망은 교환기를 중심으로 볼 때, 가입자와 연결되는 가입자망과 다른 교환기와 연결을 위한 교환/전송망으로 나눌 수 있다. 교환/전송망은 트래픽을 전송하는 방법, 즉 루팅방식에 따라서 다르게 구성될 수 있는데, 우리나라 대도시에서는 아날로그 교환기중에 대해서는 착신텐덤 방식을, 디지털 교환기에 대해서는 이중발신텐덤 방식을 적용하고 있다.

본 연구의 목적은 전화망에서 교환/전송망 구축에 소요되는 비용을 추정하는 모형을 개발하여 루팅방식에 따른 망구성 비용의 차이를 분석하려는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 교환/전송망 구축비용 추정을 위한 시뮬레이션 모형을 개발하였으며, 이 모형을 이용하여 착신텐덤 또는 이중발신텐덤 방식을 각각 적용할 경우 망의 구조변화와 망구성 비용의 차이를 모의실험 예제를 통하여 보이고 있다.

2. 루팅방식에 따른 교환/전송망 비용 구성

통신망의 소통능력은 이용자의 욕구충족이라는 서비스개선 차원뿐만 아니라 사업자의 수익증대에도 직접적인 관계가 있다. 전화회선의 통화에 의한 수입은 통화완료율¹⁾ 1% 증가시 약 270억원의 수입증대 효과를 가져온다고 분석되고 있다.

한국통신의 경우에 통화완료율을 높이기 위하여 국간중계회선의 트래픽 측정을 월1회 실시하고 국간호에 대한 정밀진단을 반기 1회 실시하여 회선이 부족한 구간이 없도록 노력하고 있다 [4].

트래픽을 처리하는 방법인 루팅방식이 변경될 경우 중계회선의 트래픽도 변경되어 망 전체의 회선구성 및 비용에도 변화를 주게 된다.

2.1 교환 관련 비용

교환과 관련된 비용은 교환장비, 국사, 전원설비, 부지 등이 있다. 이중 교환장비의 비용은 회선수, 전송중단장치(junction termination), 트래픽 수요 등의 함수로 표현될 수 있다. 국사와 전원설비, 부지 등의 비용과 더불어 교환장비의 비용은 교환기종에 따라서 달라지게 되는데 교환관련 비용은 전체 네트워크 비용의 약 20% 내외를 차지한다.

2.2 전송 관련 비용

전송과 관련된 비용은 교환기의 위치, 각 교환기쌍 사이의 전송 수요, 전송장비의 가격의 함수로 결정된다. 전송장비의 가격은 전송회선의 길이와 용량의 함수로 나타나게 된다.

3. 모형의 개발

3.1 교환/전송 비용 모형

교환에 소요되는 비용은 교환기의 설치와 전송망을 연결하는데 필요한 비용만 고려하였으며, 가입자망을 구성하는데 소요되는 비용은 제외하였다.²⁾ 따라서 교환 관련 비용의 모형은 다음과 같이 표현된다.

$$Cost_{EX} = \text{교환시스템의 고정비} + \text{전송중단장치당 비용} \times \text{전송중단장치 수}$$

전송에 관련된 비용은 전송로 양측의 시스템에

- 1) 전자교환기에서 처리된 호를 대상으로 통화를 시도한 총 발신호(첫번째 디지털을 인정한 호)에 대한 상대방 가입자의 응답호의 비율
- 2) 가입자망 구성에 관련된 비용은 별도의 모형을 구성하여 처리할 계획임.

따라서 다르게 계산되어야 하는데, 이는 같은 전송 수단(ex. 광케이블)을 사용한다고 하여도 시스템에 따라서 다른 장비를 이용하여 구성이 되기 때문이다. 이때에도 비용함수는 전송시스템 설치의 고정비와 전송단위당 발생하는 변동비의 형태로 표현될 수 있다.

$$Cost_{TR} = \text{전송시스템의 고정비} + \text{전송장치 단위당 비용} \times \text{전송장치 수}$$

따라서 교환/전송망 구성에 소요되는 비용은 다음과 같이 계산된다.

$$Cost_{Total} = Cost_{EX} + Cost_{TR}$$

3.2 트래픽의 처리

각 교환기쌍에 대하여 트래픽의 처리는 루팅방법에 따라서 다르게 이루어진다. 착신텐덤 방식의 경우 단국간 직통루트(HUR)에서 거부된 호(overflow traffic)는 텐덤국을 경유하는 우회루트(AR)를 통하여 연결되게 되는데, 이때 AR에서의 blocking rate가 GOS(grade of service)가 된다. 이중발신텐덤 방식의 경우 단국간 직통루트가 존재하지 않으며, 모든 트래픽은 두 개의 텐덤국으로 분산된 다음 텐덤국에서 착신국으로 연결된 루트를 통하여 전달된다.

GOS를 보장하기 위한 회선수는 Erlang-B 공식에 의하여 계산될 수 있으며, 텐덤국은 가입자를 수용하지 않는 것으로 가정하여 자체적인 트래픽이 없다. 즉, 텐덤국의 트래픽은 단국에서 overflow된 트래픽의 합이 된다.

3.3 연결도(Connectivity)의 계산

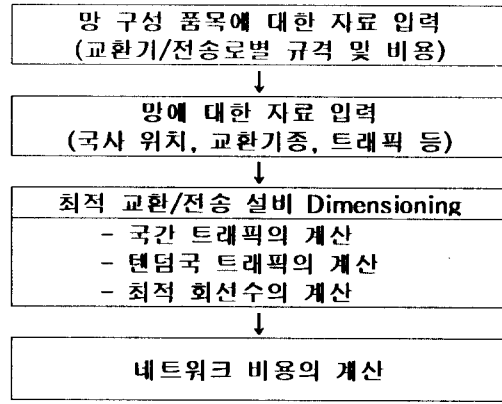
네트워크의 연결도는 네트워크의 신뢰성(reliability) 또는 안정성(stability)의 척도가 되며, 이는 node connectivity와 arc connectivity로 정의될 수 있다 [3].

그러나 본 연구에서는 시뮬레이션의 설정이 변화함에 따라 네트워크의 구성에 어떤 변화가 생기는지를 단순히 살펴보고자 한다. 이를 위하여 전체 네트워크에 대하여 논리적 전송루트의 수를 교환기의 수와 비교하는 방법을 사용한다. 본 연구에서는 네트워크 연결도를 다음과 같이 단순하게 정의한다.

$$Con = \frac{\text{네트워크 내의 링크 수} \times 2}{\text{네트워크 내의 교환기 수}}$$

3.4 시뮬레이션 모형의 구성

모의실험을 위한 프로그램은 자료를 입력하는 부분과 교환/전송 설비의 최적화를 위한 계산 부분 및 결과를 출력하는 부분으로 구성되어 있다. 각 모듈의 명칭 및 실행순서는 <그림 1>과 같다. 앞의 모듈의 결과가 다음 모듈의 입력이 되므로 각 모듈은 순서대로 실행되어야 하며, 입력된 자료는 별도의 file로 저장할 수 있다.



<그림 1> 모형의 구성

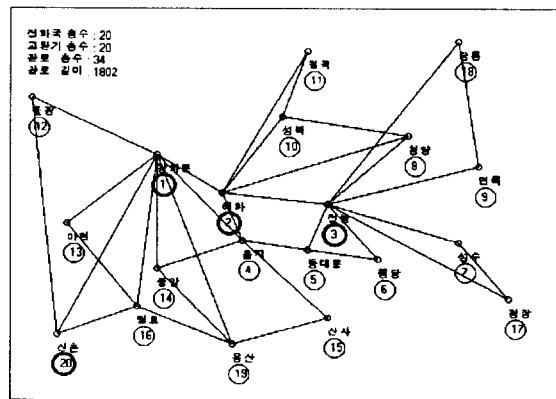
4. 모형 실행의 결과 및 해석

4.1 모형의 가정

전화망을 재구성할 경우 구조와 비용의 변화를 분석하기 위하여 다음과 같은 가정을 둔다.

- 전화국의 위치는 변경되지 않으며, 새로운 전화국의 건설이나 기존 전화국의 폐쇄는 없다.
- 기존의 관로망을 이용하여 망을 재구성하며, 국간 관로의 새로운 건설은 없다.
- 단국간 직통루트에 사용되는 전송로와 텐덤국을 거쳐가는 전송로 사이에는 고속전송 시스템의 사용에 따른 규모의 경제 효과가 나타난다.
- 전화국의 건설이나 관로망의 구성시에 소요된 토목공사 비용은 분석의 대상에서 제외한다.

본 연구에서는 가상의 전화망을 이용하여 분석을 실시하였다. 이 망의 구조는 16개의 단국과 4개의 텐덤국이 34개의 관로로 연결되어 있는 형태이며, 서울의 시내전화망 자료를 이용하여 <그림 2>와 같이 구성하였다.



<그림 2> 모의실험용 네트워크

4.2 모형의 실행을 위한 모수의 추정

본 연구에서는 모형의 유용성을 검증하기 위하여 단국간 통화량이 모두 10 Erlang으로 일정한 경우를 가정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이 경우 통화량의 분포가 네트워크 구조에 미치는 영향을 배제할 수 있으므로, 루팅방식의 변경에 따른 네트워

크 구조의 변화와 네트워크 구성 비용의 변화를 비교하는 것이 가능하다.

단국간 직통루트(HUR)와 텐덤국을 경유하는 우회루트(AR)와의 가격차이를 지수화 한 규모의 경제계수(e)의 값은 본 연구에서 다음과 같이 계산하여 산출하였다.

모형에 사용된 서울시내 20개 전화국 가운데서 텐덤국을 제외한 16개 단국을 상호 연결하는 직통루트 240개의 평균거리를 구한 결과 13.5 Km가 나왔다. 본 연구에서는 HUR이 PCM 방식의 T1 회선으로 구성되고, AR에는 45Mbps single mode 방식의 6 core 광전송 회선을 사용한다고 가정하였으므로, HUR과 AR간의 용량차이는 84배가 된다.

이 경우 HUR과 AR의 비용차이를 계산하기 위하여 회선비용을 추정하면 다음과 같다. 1988년에 한국통신에서 실시한 연구결과에 의하면 84개의 T1 회선을 13.5 Km에 구성하는 비용은 약699,629,100 원이며, 같은 길이의 45Mbps single mode 방식의 6 core 광전송 회선을 구성하는 비용은 약 151,367,700원이다. T1 회선은 음성채널 24 회선에 해당하므로 각 계산 결과를 채널수로 나누면 회선당 비용은 HUR이 약347,038원, AR이 약75,083원이다.

그러나 AR을 구성할 때 소요되는 비용에는 텐덤교환기의 회선당 비용을 추가하여야 하므로 텐덤교환기의 종류에 따라 회선당 비용을 추정하여야 한다. 교환기의 회선당 비용은 1993년에 한국통신에서 추정된 자료를 사용하였는데, 본 연구에서 텐덤교환기로 가정한 TDX-10 교환기의 경우 회선당 물자비는 193,710원이고, 공사비는 물자비의 약10%로 추정할 수 있으므로 회선당 투자비는 213,081원이 된다. 결과적으로 AR 1회선의 비용은 288,164원이 된다. 따라서, e 계수는 347,038원/288,164원 = 1.203이 된다.

네트워크 전체의 GOS는 0.01로 정의하고 모의실험을 실시하였으며, 모의실험을 위하여 모형에 입력한 교환기와 전송로 관련 자료는 <표 1>에 요약하였다.

<표 1> 모형에 입력된 자료 (단위: 천원)

교환기 관련 자료		
기종명	M10CN	TDX-10
루팅방식	착신텐덤	이중발신텐덤
설치시 고정비	287,366	637,064
중계회선 증설단위	24 Ch	120 Ch
증설단위당 비용	206	170
전송로 관련 자료		
전송로명	T1	6Core(45M)
구성시 고정비	3,305	39,328
100m당 비용	704	830
기본 회선 단위	24 Ch	2016 Ch

3) 이 값은 1988년에 추정된 전송로시설 투자비모형과 1993년에 추정된 교환기의 회선당 비용을 이용하여 작성되었으므로 실제 자료를 이용하여 계산할 경우에는 차이가 날 수 있음.

4.3 모의실험의 결과

16개의 단국교환기와 4개의 텐덤교환기를 가지는 전화망을 가정하여 모의실험을 실시한 결과는 다음과 같다. 결과의 비교를 위하여 단국교환기를 전부 아날로그 방식의 M10CN 교환기로 설치하고, 텐덤교환기를 디지털 방식의 TDX-10으로 설치한 경우를 기준으로 설정하였다.

단국의 M10CN 교환기를 TDX-10으로 대체하면 서 차이를 비교한 결과는 <표 2>와 같다. 이 경우 e 값은 모두 1.2이다.

<표 2> TDX-10 설치 수 변화 결과 (단위: 백만원)

TDX-10 설치 수 (비율)	0 (0%)	4 (25%)	8 (50%)	12 (75%)	16 (100%)
연결도	27.4	26.5	21.2	15.8	9.6
교환비용	7,181	8,574	9,966	11,359	12,752
전송비용	28,487	31,679	27,449	20,584	11,688
총비용	35,668	40,253	37,415	31,943	24,440
비용비율	100	113	105	90	69

HUR과 AR의 규모의 경제효과를 나타내는 e 값에 변화가 있을 경우 차이를 비교한 결과는 <표 3>과 같다. e 값이 높을수록 AR을 구성하는 고속전송로의 규모의 경제효과가 큰 것을 의미한다.

이중발신텐덤 방식의 경우 AR을 사용하지 않으므로 모의실험에 사용된 망은 모든 단국교환기를 착신텐덤방식을 사용하는 M10CN으로 설정하였다.

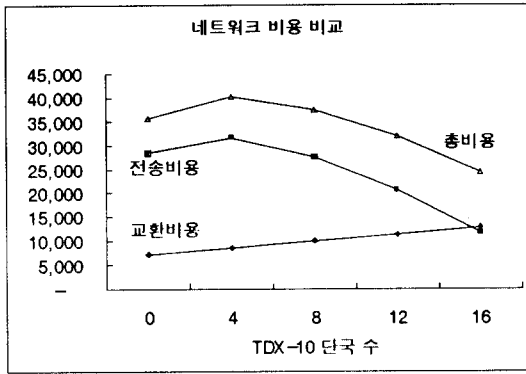
<표 3> e 값 변화의 결과 (단위: 백만원)

e 값	0.5	1.2	2.0	3.0	4.0
연결도	32.0	27.4	15.4	10.1	8.7
교환비용	7,186	7,181	7,180	7,180	7,180
전송비용	33,445	28,487	14,428	10,641	10,096
총비용	40,631	35,668	21,608	17,821	17,276
비용비율	114	100	61	50	48

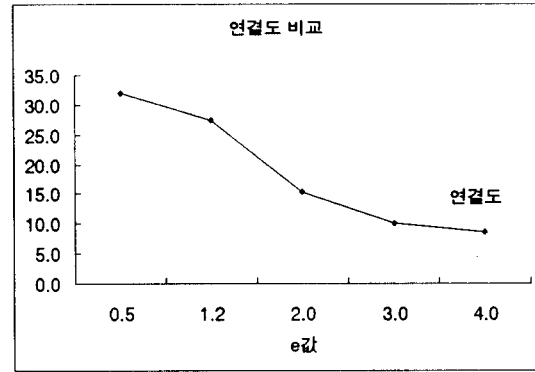
4.4 결과의 해석

모의실험 결과 착신텐덤 방식을 사용하는 교환기가 이중발신텐덤 방식의 교환기로 바뀌어감에 따라서 일시적으로 총비용의 증가가 있지만, 이중발신텐덤 방식의 교환기로 완전히 대체될 경우 네트워크 구성비용이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이는 단국간 직통루트인 HUR이 텐덤을 통하는 AR로 대체됨에 따라서 전송비용이 급격히 감소하는 것에 기인하는 것으로 분석된다.

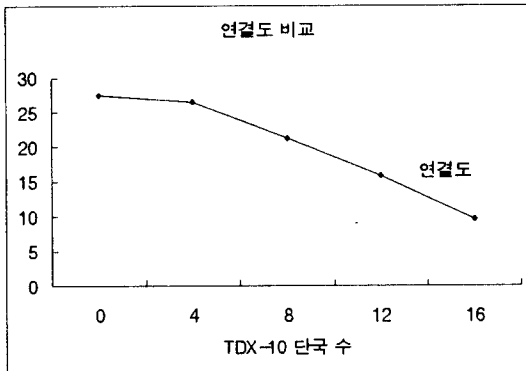
그러나, 네트워크의 연결도는 이중발신텐덤 방식의 교환기가 증가할수록 감소하였다. 본 연구에서는 물리적인 관로망의 변화는 없는 것을 가정하였으므로 연결도의 감소는 논리적인 망의 단순화를 의미한다. 따라서, 이중발신텐덤 방식의 적용이 망관리의 단순화에도 기여함을 알 수 있다.



<그림 3> TDX-10 단국 수 증가시 네트워크 비용



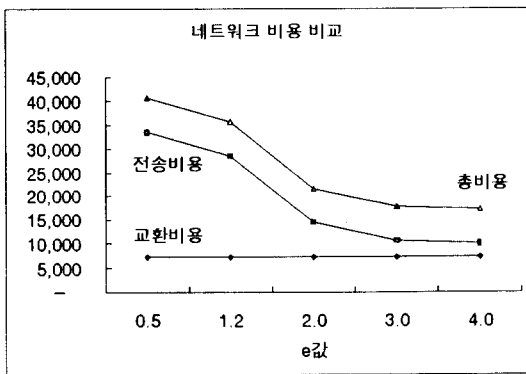
<그림 6> e 값 변화시 연결도



<그림 4> TDX-10 단국 수 증가시 연결도

e 값에 변화를 준 경우 네트워크의 비용과 연결도에 많은 영향을 주는 것으로 나타났는데, 이는 e 값이 클수록 트래픽을 AR을 통하여 보내는 것이 경제적이어서, HUR의 회선수가 감소하기 때문이다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 전화망에서 교환/전송에 소요되는 비용은 루팅방식의 변경에 따라서 크게 영향을 받으며, 고속 전송로 사용에 따른 규모의 경제효과가 클수록 망 구축에 소요되는 비용이 현격히 작아지는 것으로 나타났다. 또한 두 경우 모두 비용의 감소와 더불어 연결도가 작아지는 결과를 보임으로써 고속전송로의 사용이 망의 구성을 단순화 시키는데 기여함을 보이고 있다.



<그림 5> e 값 변화시 네트워크 비용

5. 모형의 응용가능성 및 한계

5.1 모형의 응용가능성

본 연구에서 제시한 모형을 확장하면, 망을 구성하는 각종 요소의 변경이나, 망 구성요소의 가격 변화가 전체 네트워크의 구조와 비용에 미치는 영향을 분석할 수 있을 것이다. 또한, 교환기간 트래픽의 변화가 전체 네트워크의 구조와 비용에 미치는 영향도 분석할 수 있으므로, 다사업자 환경에서 접속료 산정의 근거로 활용할 수 있을 것이다.

5.2 연구의 한계

모의실험에 사용된 자료는 실제 자료 또는 기존 연구에서 추정된 자료에 근거하도록 노력하였으나, 자료조사의 어려움으로 인하여 동일한 시점에서 조사한 자료를 적용하지 못하였다. 그러나 분석결과 는 입력 자료의 신뢰도 범위 내에서는 교환시설 대체나 광전송 시스템의 도입이 망구조와 투자비에 미치는 영향을 잘 보여주고 있다. 개발된 모형이 향후 정확한 투자비 산정 모형으로 활용되기 위해서는 모형의 정교화 작업과 함께, 입력 자료를 정확히 추정하는 절차를 개발할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] CCITT, "General Network Planning," ITU, Geneva, 1983, Chapter X. Network Dimensioning and Optimization, pp.259-333.
- [2] James Harry Green, "Handbook of Telecommunications Management," The Business One Irwin, 1989.
- [3] Ahuja, Magnanti & Orlin, "Network Flows - Theory, Algorithms, and Applications," Prentice-Hall, 1993.
- [4] 전자신문사, "정보통신연감 1995", 1995.
- [5] 한국통신, "반전자 교환시설 최적대체방안 연구," 1993.
- [6] 한국통신 사업지원단, "통신설비 비용조사분석 기술지원," 1988.
- [7] 한국통신, "설계기준 (TDX-10)," 1995.
- [8] 한국통신기술, "통신망계획 및 설계기법," 발표자료, 1997.