

통화량을 이용한 중계선의 경제성 평가에 관한 연구

유 태열, 김 재열, 이 상일
한국전기통신공사 사업지원본부

A study on the Economic Evaluation of Trunk using Teletraffic

YOO TAEYOL, KIM JAEYEOL, LEE SANGIL
KOREA TELECOMMUNICATION AUTHORITY RESEARCH CENTER

ABSTRACT

This paper suggests a model for the economic evaluation and the selection of alternatives using teletraffic.

Economic evaluation is analyzed by the comparison of revenue loss which happens without trunk extension and additional revenue which results from trunk extension.

Simulation technique is used as a methodology to apply economic evaluation to telephone system.

The study results will provide a support in a optimal decision about investment strategies.

1. 서 론

통신망을 운용하는데 있어서 흔히 발생하는 문제중의 하나는 갑작스러운 통화량증가에 따른 중계선의 증설문제이다. 이러한 통화량 증가는 어느 지역의 급격한 팽창(특수지역의 급격한 인구증가 등) 및 야간과 공휴일의 시의 및 국제 요금 할인제도에 따른 시간대 폭주 등 여러 현상에 의해 발생할 수가 있다. 이때 중계선을 기존회선수로 유지할 것인가 아니면 증설할 것인가에 대한 문제와 또한 증설할 경우 어느 만큼의 회선수가 최적의 투자를 보장해 주는가 하는 문제가 발생하게 된다.

이러한 의사결정은 가입자에게 양질의 서비스(Grade of Service)를 제공해야 한다는 면과 최적의 투자로 인한 경영의 합리화를 기해야 하는 공사측면에서 상호 불가분의 관계를 제공해준다.

또한 PCM처럼 중계선이 모듈화되고 그에 대한 투자 비용이 커지는 경우 이러한 문제에 대한 합리적인 기준이 제시되어야 한다.

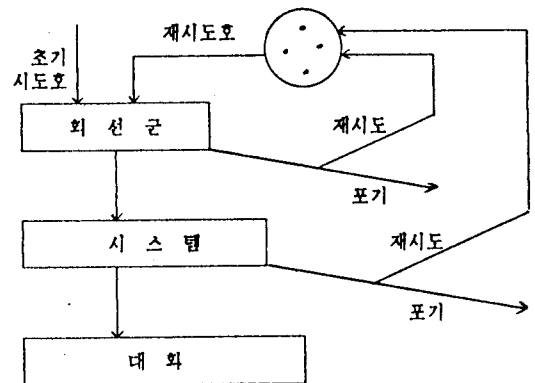
따라서 이 논고는 이러한 문제에 대하여 최적의 대안을 세울 수 있는 경제성 평가 모형에 대해서 고찰해 보고자 한다. 이러한 경제성 평가는 중계선을 증설하지 않은 상태에서 발생하는 손실과 중계선 증설로 인하여 발생하는 투자비 및 평가기간동안 발생하는 부가수익과의 비교에 의해서 분석되어 진다.

경제성 평가를 전화시스템(Telephone System)에 적용하기 위한 모델로서 의제모형(Simulation) 기법이 사용되어진다. 즉 호(Call)의 생성에서부터 호의 처리, 손실, 포기 과정을 진행시키기 위하여 난수(Random Number)를 발생시켜 현상의 상황을 그대로 묘사하는 의제모형기법은 전화시스템에서 가장 많이 사용하는 기법이다.

이러한 경제성 평가의 연구 결과는 현사업을 집행하는 관련부서에서 합리적인 투자결정을 내리는데 있어서 참고점이 될것이다.

2. 모델의 전개

하나의 호가 처리되어지는 과정은 다음과 같다.



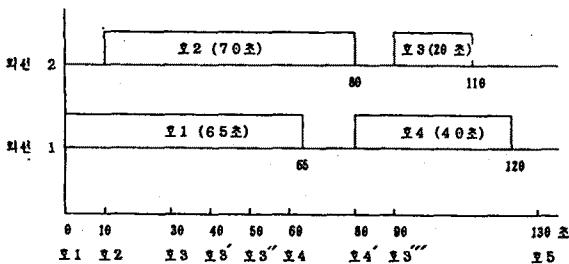
첫째로 호는 점유되어 있지 않은 회선을 점유하기 위하여 가입자로부터 발생하여 일정한 시간동안 하나의 회선을 점유한다. 그러나 만약에 폭주현상(CONGESTION)이 발생하여 회선이 모두 점유되어 있거나 또는 착신 가입자가 통화중이나 부재중으로 인하여 호가 완료되지 못하면 두가지 상황이 발생한다. 즉 호가 포기(Abandoned) 되든지 그렇지 않으면 일정한 시간이 경과한 후에 다시 재시도가 이루어질 것이다.

이러한 호처리 과정에서 고려되어지는 가정은 다음과 같다.

- 1) 이용도는 완전 이용도(Full Availability)이다.
- 2) 회선의 점유는 순차적으로 탐색되어 진다.
- 3) 연속적인 호는 지수 분포(Exponential Dist.)에 의하여 발생한다.
- 4) 폭주 및 불완료로 인한 재시도호의 시간 간격은 지수분포에 따른다.
- 6) 폭주나 불완료호로 인한 재시도율은 일정하다.
- 7) 완료호의 회선 점유시간은 교환시간(Constant)과 대기시간(Exp. Dist.)의 합이다.
- 8) 불완료가 발생한 호는 교환시간(Exp. Dist.)동안만 회선을 점유한다.

위의 모델에서 보는 바와 같이 제한된 회선으로 인하여 폭주현상이 발생할수가 있고 이러한 폭주가 많을수록 가입자는 재시도를 하게 되므로 좋은 서비스를 받을수 없을 뿐만 아니라 불완료호에 따른 수익의 기대손실도 상대적으로 커지게 된다. 따라서 폭주현상을 최소로 줄이면서 회선을 적정수준으로 관리하는것이 통화량 설계의 최대 관심사가 될 것이다.

이해를 돕기 위해 다음과 같은 간단한 경우, 즉 2개의 회선만이 운용될 때의 호처리과정(Call Processing)을 살펴보자.



여기서 설명의 편의를 위해 착신자 통화중이나 부재중은 고려하지 않았다. 첫번째호와 두번째호는 각각 65초와 70초동안의 점유 시간을 갖고 회선 1 과 2를 점유한다. 그러나 세번째 호가 30초에 도달했을때 회선 1 과 2는 Busy상태로 이용할수 없게되어 40초, 50초 및 90초에 재시도한다고 가정하면 마침내 90초에서 회선 2를 20초간 점유하는 현상이 발생하게 된다. 또한 60초에 네번째호가 도달하게되나 회선을 점유할 수 없게되어 80초에 시도하여 40초동안 회선 1을 점유하며, 마지막으로 5번째 호가 130초에 도착하였을때에는 회선 1, 2가 모두 이용 가능하나 순차적 탐색에 의해 회선 1을 점유하게 된다.

위의 경우에서 볼때 폭주 및 재시도호의 발생회수는 4번이며, 초기 시도호는 5번이다. 즉 CALL CONGESTION (Bc) 과 TIME CONGESTION

(Bt) 는 다음과 같이 산출되어 질수 있다.

$$B_c = \frac{\text{폭주호}}{\text{초기시도호+재시도호}} = \frac{4}{5+4} = .444$$

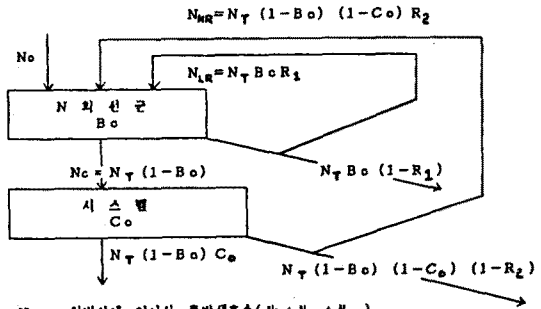
$$B_t = \frac{\text{모든 회선이 점유된 시간}}{\text{총관찰시간}} = \frac{(65-10)+(110-90)}{130} = .577$$

이러한 간단한 모형은 발생하는 호의 수와 관찰시간을 늘려감에 따라 Bc 와 Bt 는 근사치로 접근 (Bc = Bt) 하게되어 보다 더 현실문제에 정확하게 접근할수 있으며 이는 의제모형기법을 통하여 분석되어 질수 있다.

3. 의제모형의 전개

1) 변수의 정의

모델의 분석에 들어가기에 앞서 앞에서 고려된 과정은 CCITT 권고안 (1985, RED BOOK, VOL II.3, E501) 에 따라 다음과 같이 수식화될수 있다.



- N_T : 회선시에 있어서 총발생호수 ($N_0 + N_{NR} + N_{LR}$)
- N_0 : 초기시도호
- N_{LR} : 폭주로 인한 재시도호
- N_{NR} : 불완료로 인한 재시도호
- N_c : 운반호 (Carried Calls)
- N_L : 손실호 (Lost Calls)
- B_c : 회선시에 있어서 호손실율 (N_L / N_T , CALL CONGESTION)
- C_c : 모반료율
- R_1 : 폭주로 인한 재시도율 (N_{LR} / N_T)
- R_2 : 통화중 및 부재중으로 인한 재시도율 (N_{NR} / N_T)

여기서 운반통화량 (Ac : Carried Traffic)과 발생통화량 (Ao : Offered Traffic)과의 관계는

$A_o = A_c (1 - B_c R_1) / (1 - B_c)$ 이며 도출과정은 다음과 같다.

$$N_T = N_0 + N_{NR} + N_{LR}$$

$$N_0 + N_{NR} = N_T - N_{LR} = (N_T - N_{LR}) N_0 / N_c$$

$$= N_c (N_T - N_{LR}) / (N_T - N_L)$$

$$= N_c (1 - B_c R_1) / (1 - B_c)$$

$$\therefore A_o = A_c (1 - B_c R_1) / (1 - B_c)$$

2) 수익 손실 (Revenue Loss)

호손실율은 폭주현상 및 불완료로 인하여 호가 손실됨으로 발생하는 손실비율으로 하루중 최번시를 기준으로 하여 호손실율을 다음과 같이 구할수있다.

$$\text{호손실율} = \frac{\text{최번시 호손실}}{\text{최번시 호시도}}$$

$$= \frac{B_o (1-R_1) + (1-B_o) (1-C_o) (1-R_2)}{(1-B_o) C_o}$$

그리고 최번시 예상수익은 총운반통회량중 실제대회시간이 점유하는 비율에 시간당 수익을 곱한것으로서 다음처럼 산출된다.

$$\text{예상수익} = \text{총운반통회량} \times \text{대회점유율} \times \text{시간당수익}$$

$$= \frac{A_o (1-B_t)}{(1-B_t R_1)} \times \frac{T_c C_o}{(T_x + T_c C_o)} \times \text{REV}$$

- Bt : Time Congestion
- Tx : 평균 교환시간
- Tc : 평균 대회시간
- REV : 시간당 수익

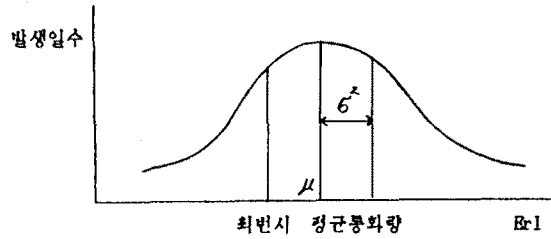
여기서 대회점유율은 총점유시간에 대한 대회시간의 비율로서 실질적인 수익을 얻는 점유율을 의미한다. 그러므로 하루중 최번시에 발생하는 예상수익손실은 다음과 같다.

$$\text{수익손실 (RL)} = \text{호손실율} \times \text{예상수익}$$

$$= \frac{(1-R_1) B_o + (1-B_o)(1-C_o)(1-R_2)}{(1-B_o) C_o} \times \frac{A_o (1-B_t) C_o T_c \text{REV}}{(1-B_t R_1) (T_x + T_c C_o)}$$

위에서 산출된 수익손실은 일년중 어느 1일의 최번시 (Busy Hour)를 기준으로 하여 분석한것으로서 실제 경제성 평가는 최소한 몇년간의 분석기간을 대상으로 하는것이므로 매년 발생하는 총수익손실을 산출해야 할 필요가 있다.

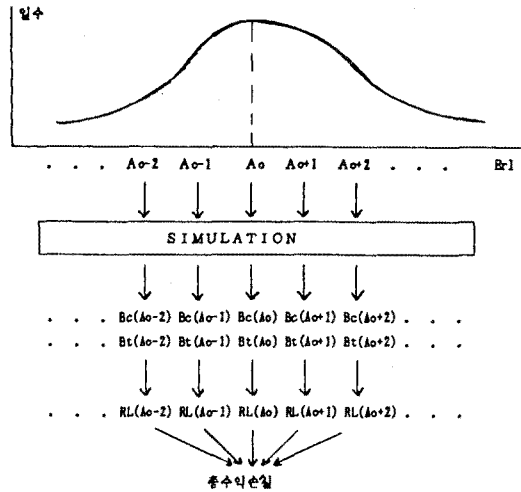
년간 총수익손실을 계산하기위하여 고려해야할 사항은 최번시에 있어서 발생하는 통회량의 분포이다. 즉 1년 동안의 모든 일수에 동일한 통회량이 발생한다는 가정은 현실적으로 매우 불합리하다 하겠다. 통회량 발생의 현상은 가입자들에 의하여 요구되는 호에 의한 자연적인 현상이므로 우리는 통회량 분포를 평균과 분산을 갖는 정규분포 (Normal Dist.) 에 따른다고 가정할수 있다.



결국 연간 총수익손실은 각 발생통회량에 발생일수를 곱하여 모두 누적한 값으로 표시할수 있다.

$$\text{총수익손실} = \sum \text{발생통회량} \times \text{발생일수}$$

따라서 지금까지의 흐름을 개략적으로 정리하면 다음 그림처럼 표시될수 있다.

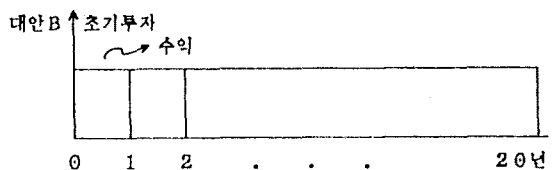
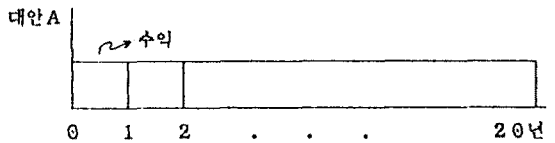


3) 대안의 설정

여기서 우리가 고려하고자 하는 대안을 대안A 와 대안B로 설정하자.

대안A : 기존중계선 (N회선) 을 그대로 유지하는 것

대안B : K회선 더 증설 (N+K회선) 하여 운영하는 것



위의 그림에서 보논바와 같이 대안B는 대안A보다 더 높은 수익을 올릴수 있는 반면에 초기부자를 요한다.

여기서 우리는 중계선의 수명을 20년이라 가정하고 분석의 편의를 위하여 다른 조건 (유지비, 기타부자수익, 다른의부요인 등) 은 모두 동일하다고 본다.

또한, 기존 사용되고 있는 교환기 및 중계선은 과거에 투자된 매몰비용(Sunk Cost) 으로서 우리의 경제성평가에서 제외되어진다.

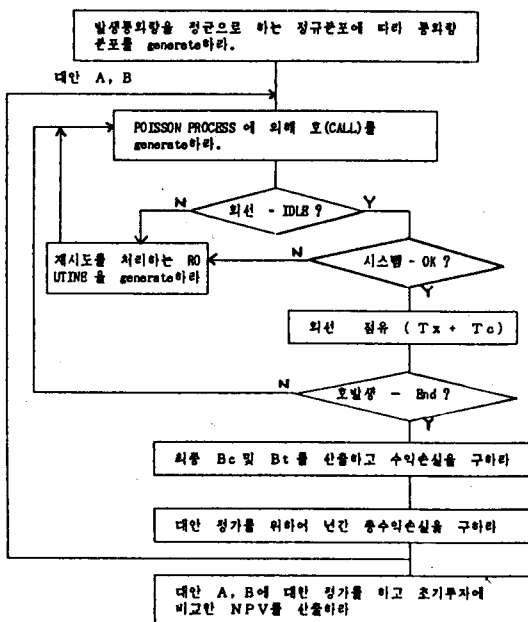
각 년도별 수익은 앞에서 고려한 모델의 의제모형기법을 통하여 산출되어지며 경제성평가를 위한 기준(Economic Evaluator)으로는 순현재가법 (NPV : Net Present Value) 이 사용된다.

또한 매년 산출되는 현금의 흐름을 할인 (Discount) 하기 위한 자본비용(Capital Cost) 은 통신공사의 평균 자본비용 (자기자본비용+타인자본비용) 으로 하며, 인플레이션에 의한 요인도 감안한다.

실제로 대안B - 대안A의 증분분석(Incremental analysis)에서 사용되는 수익 (Revenue)항목은 K회선 증설함으로서 줄어드는 수익손실의 차가 될것이다. K회선을 증설함으로서 폭주 (Congestion) 를 줄일수 있고 보다 나은 서비스를 제공함으로서 부가수익 (Additional Revenue) 를 올릴수 있기 때문이다. 또한 K회선을 증설하기 위하여 지출한 비용은 초기지출(Capital Expenditure) 로 처리되어 초기지출과 평가기간동안의 누적된 부가수익을 할인함으로서 경제성평가를 시행할수있다.

4) 흐름도

지금까지 고려한 모델로서 의제모형 기법을 통하여 분석하기 위한 흐름도는 다음과 같다.



첫번째로 고려해야 할 사항은 통화량 분포로서 1년 365일중에서 300일로 분석기간을 가정했다. 이는 공휴일 및 국경일은 통화량이 정일에 비하여 적게 발생하므로 분석일수에서 제외시켰기 때문이다.

또한 시뮬레이션을 위한 고정 입력자료는 다음과 같다.

- 연구 기간 (Study Period) : 20년
- 평균대화시간 (Tc) : 120초 (시외), 150초 (시내)
- 평균교환시간 (Tx) : 20초
- 폭주에 의한 정군재시도시간 : 20초
- 불완료에 의한 정군재시도시간 : 30초
- 폭주에 의한 재시도율 (R1) : 82%
- 불완료에 의한 재시도율 (R2) : 72%
- 호환료율 (Co) : 55%
- 분당 수익 (REV) : 600원 (시외), 10원 (시내)

여기서 정군대화시간은 시내통화의 1 통화물 기준으로 하였으며 정군교환시간 (En block 방식) 은 통화중 (10초) 과 부재중 (30초) 의 단순평균으로 하였다.

이외에 호발생과정은 포아송 프로세스에 따르므로 도착 시간은 다음값을 평균으로 하는 지수분포에 따른다.

$$(TcCo + Tx) / (A0(1 - R2(1 - Co)))$$

마지막으로 고려해야 할 중요한 문제는 난수(Random Number) 의 발생이다. 이는 난수의 반복성(Cycling) 및 불규칙성(Non-uniformness) 를 어떻게 제거해야 하는가하는 문제로서 B.WICHMANN and D.HILL(4)는 다음과 같은 변형된 배수법(Multiplicative Method) 를 제시했다.

$$X = (171 \times X) \text{ Mod } 30269$$

$$Y = (172 \times Y) \text{ Mod } 30367$$

$$Z = (170 \times Z) \text{ Mod } 30323$$

$$\therefore \text{난수} = \text{Trunc}(X/30269. + Y/30307. + Z/30323.)$$

초기치 (1100, 28000, 14000) 의 값으로서 이 방법을 검정 해본 결과 $\chi^2 = 33.74$ 의 값을 얻었다. 이는 가설치의 값 47 ($\alpha = 5\%$, $n = 30$) 의 값을 기각함으로써 이 방법은 난수의 균등분포(Uniformness) 를 보장하며 우리는 이방법을 난수발생기(Generator) 로서 사용하였다.

4. 사례 연구

여기서 고려할 문제는 시내(Local) 와 시외(Toll)의 두 경우로서 시내는 서울의 정군 구간중계 통화량을 선택하였고, 시외는 서울-부산의 시외통화량을 기준으로 하였다.

구 분	시 내	시 외
통 화 량	30 Erl	50 Erl
대 안 A	28 회선	47 회선
대 안 B	32 회선	53 회선
부 자 비	190 만원	1308 만원

시내의 경우 28회선이 운용이 되며 평균 통화량이 30Erlang 발생하였을 경우 4회선을 추가로 증설해야 하는지에 대한 문제를 고려해보자. 마찬가지로 시외에 있어서 47회선이 운용이 되며 통화량이 50Erlang 발생하였을 때 6회선을 더 증설해야 하는가에 대한 경제성 평가를 행하여 보자. 또한 시내의 4회선, 시외의 6회선을 증설할 경우 부자비는 각각 190만원, 1,308만원 소요되는 것으로 조사되었다. 이는 시내의 경우 PCM을 기준으로, 시외인 경우 동축 CABLE을 기준으로 산정한 것이다.

프로그램 수행 결과 다음과 같은 결과가 도출되었다.

구 분	시 내	시 외
발생통화량	30 Erl	50 Erl
자본비용	10 %	10 %
인플레이션	5 %	5 %
부 자 비	1,900,000원 (20km 기준)	13,080,000원 (500km 기준)
년부가수익	173,270원	5,239,630원
총부가수익	1,366,750원	41,330,260원
N P V	-543,250원	28,250,260원

위에서 볼 수 있는바와 같이 시내의 경우 4회선을 증설하는 경우 초기부자에 비해 약 54만원의 손실을 가져오며, 시외는 6회선 증설에 있어서 약 2,825만원의 수익을 올릴수 있는것으로 분석되었다. 달리 말하면 현재의 시내요금으로는 중계선에 대한 투자비용을 회수할수 없는 반면에 시외요금은 (서울-부산의 경우) 투자비의 2배에 해당하는 수익을 올릴수 있다.

물론 위의 분석은 기초 공사비, 일반관리비 및 기타 부대비용을 전혀 고려하지 않은 상태에서 이루어진 결론이다.

5. 결 론

지금까지 이 논문은 통화량을 이용하여 중계선에 대한 경제성 분석을 시도해보았다.

이 연구는 여러 면에서 응용성을 가지고 있다.

첫째, 단위 회선당의 대안 설정을 통하여 한계(Marginal) 투자비용 대 한계부가수익과의 관계를 파악해볼수가 있다. 둘째로 PCM처럼 모듈단위의 증설에 대한 대안 비교를 통하여 시스템단위의 경제성평가를 행할수 있다.

마지막으로 요금을 변동시켜 봄으로서 경제적인 측면에서 시내 대 시외 요금구조의 균형점을 파악해볼 수가 있다.

이 논문은 의제모형기법을 이용하여 통화량과 요금수익과의 관계를 고찰해 봤다는 점에서 그 의의를 찾아볼수 있다. 또한 요금정책의 차원에서도 요금구조에 대한 방향을 제시할 수 있을 것이다.

이러한 분석자료는 실제 사업을 집행하는 부서에 있어서 하나의 기준점을 제시하여 줄것이다.

물론 이 연구는 비용의 보다 더 정확한 산출을 위해서 입력자료들에 대한 타당성 검토 및 보완이 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

1. Tite CERASOLI, " Traffic Engineering in Defferentiated Rate Period ", ITC 11,4.1b1-5,1985.
2. TELETRAFFIC ENGINEERING - VOL VI , ITU, May 1985.
3. Geoffrey Gordon, SYSTEM SIMULATION - 2nd Ed. , Prentice-Hall, 1978.
4. B.Wichmann and D.Mill, "Building a Random-Number Generator ". Mar 1987. BYTR. 127-128.
5. CCITT Recommendations E501 Series.
6. 전자교환기 설계기준, 한국전기통신공사, 1985.