DBpia

논문 99-24-5A-4 한국통신학회논문지 '99-5 Vol.24 No.5A

다항로짓모형을 이용한 무선통신망에 대한 AVL 수요 분할 분석

정회원 오 종 태*, 이 봉 석**, 진 용 옥***

AVL Demand Split for the Wireless Communication Network Design Using Multinomial Logit Model

Jong-Tae Oh*, Bong-Seok Lee**, Yong-Ohk Chin*** *Regular Members*

요 약

본 논문은 지능형교통시스템(Intelligent Transportation System)에서 정보수집체계로서 중요한 역할을 하고 있는 AVL(Automatic Vehicle Location)에 있어 무선통신수단에 대한 통신수요를 판단하는데 목적을 두고 있다. 이를 위해 본 논문에서는 설문조사를 통해 얻은 선호의식자료(Preference data)를 토대로 계량경제모형인 다항로짓모형(Multinomial Logit Model)을 이용하여 수요를 분할하는 방법을 제시하였고, 각 개인의 무선통신서비스 선택에 관한 행태를 분석하였다.

분석 결과, 월평균 이용료 및 핸드폰 사용여부가 무선통신서비스의 선택에 유효한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 또한 핸드폰 이용자들의 TRS 서비스에 대한 선택확률이 핸드폰 미이용자들의 선택확률보다 작은 것으로 나타났다.

ABSTRACT

A study on the demand split for wireless communication in AVL, which plays the important role in the information collect systems of ITS, is carried out in this paper. The Multinomial Logit model is used in the analysis for the demand split. The preference data collected by interviews are used as the independent variables.

It is proved that only the monthly average cost and usage of Personal Comm. Equipments effect significantly on the choice of wireless communication and the choice probability of the user of Personal Comm. Equipments for TRS is smaller than that of the other.

Ⅰ. 서 론

급속한 정보통신 분야의 발달은 사회 전 부문에 많은 변화를 촉진시키고 있다. 최근 수요가 폭발적 증가 세에 있는 무선통신 분야의 발달은 이동 중인 차량과의 통신을 가능케 함에 따라 교통문제 해결에 그 기능성을 제시하고 있다.

교통문제의 해결을 위해서는 교통시설의 확충이 시급한 과제이나, 고속도로 및 국도 건설에 많은 재원이 소요된다. 따라서 장기적으로 도로건설사업의 확충과 아울러 단기적으로 교통체계를 효율적으로 운영할 수 있는 기술개발의 필요성이 대두되고 있다. 최근 교통분야에 전자/통신/정보 기술을 응용한 지능형 교통시스템이 개발되고 있다. 본 논문에서는 지능형교통체계에서 정보수집체계로서 핵심적 역할을 하고 있는 AVL(Automatic Vehicle Location)에 가장 적합한 무선통신수단에 초점을 둔다.

AVL은 이동중인 차량이 실시간으로 현 위치정보 및 간단한 메시지 정보를 무선망을 통해 지상센타에 전달하여, 지상센타에 GIS(Geographic Informa-

* 한국통신기술 정보통신사업팀(five@kti.ca.kr) ** 한국통신기술 연구소
*** 경희대학교 전파공학과 교수
논문번호 : 98231-0521, 접수일자 : 1998년 5월 21일

www.dbpia.co.kr

tion System)를 통해 위치 및 차량상태를 표시하여 관제를 가능케 한다. 따라서 AVL은 크게 차량에서 위치계산을 위한 GPS(Global Positioning System), 차량과 센타간의 무선통신, 위치 및 상황 표시를 위한 GIS 세부분으로 나누어진다.

AVL에 있어 무선통신망은 필수요소로서 무선통신망의 수요를 예측함으로써 각 무선통신망별 사업을 전문화하고, 무선사업자의 투자계획에 반영하여 국가자원을 효율적으로 관리하며 또한 사업자간 중복투자를 방지 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 AVL의 기술특성과 현재 무선통신 기술수준, 그리고 각 AVL이용자의 다양한 선택기준을 반영하여 AVL 서비스에 적합한 무선통신망을 무선데이타통신망, TRS(Trunked Radio System)통신망, 위성통신망으로 선정하고 가장 적합한 무선통신 수단을 예측할 수 있는 모형의 도출 및 수요 분석을 한다.

일반적으로 각 대안에 대한 개인의 선택행위는 개별행태모형을 통해 분석되는데 여기에는 로짓모형(Logit Model), 프로빗모형(Probit Model), 중첩로짓모형(Nested Logit Model) 등이 있다. 프로빗 모형은 정산하는 과정이 너무 복잡하여 잘 사용되지 않고, 중첩로짓모형은 대안의 성격이 서로 비슷한 경우 순차적으로 정산해 나가는 모형으로서, 순차적인 정산이 필요없는 본 논문의 수요분할 분석도구로는 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 정산하기 쉬운 다항로짓모형을 분석도구로 사용하였다.

Ⅱ. 다항로짓모형(Multinomial Logit Model: MNL) 고찰

1. 모형 정의

다항로짓(이하 MNL)은 개인의 선택 행위를 확률적으로 모형화한 것으로 수학적 모형은 다음과 같다. 이 식(1)은 선택 가능한 대안이 2개인 경우(즉, J_n=2)에는 이항로짓모형(Binary Logit Model)이 된다.

$$P_n(i) = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_{jn}}} \tag{1}$$

$$0 \le P_n(i) \le 1, \ \forall i \in C_n$$

$$\sum_{i \in C_n} P_n(i) = 1$$

MNL은 개별선택모형(discrete choice model)으로서 『각 개인이 주어진 대안을 선택할 확률은 대안의 상대적인 매력 및 개인의 사회경제적 특성의 함수』라는 것을 전제로 한다.[1]

2. 이론적 배경

MNL은 개인의 효용이론에 기반을 둔 모형으로서, 『각 개인은 그들의 효용을 최대로 해주는 대안을 선택한다』라는 것을 전제로 한다.[2] 즉,

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \tag{2}$$

$$V_{in} = \sum_k \beta_{ik} x_{ink} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} P_n(i) &= \Pr(U_{in} \ge U_{jn}, \ \forall j \in C_n, \ j \ne i) \\ &= \Pr(V_{in} + \varepsilon_{in} \ge V_{jn} + \varepsilon_{jn}, \ \forall j \in C_n, \ j \ne i) \\ &= \Pr(\varepsilon_{jn} \le V_{in} - V_{jn} + \varepsilon_{in}, \ \forall j \in C_n, \ j \ne i) \end{aligned} \tag{4}$$

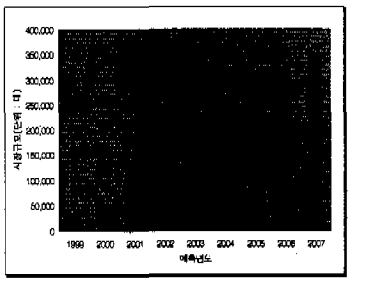
위 식에서 무작위 효용(혹은 잔차, ε_{in})이 서로 독립적으로 분포되어 있고(independently distributed), 모두 동일한 분포를 따른다고(identically distributed) 가정하면 분석적인 모형을 도출해낼 수 있으며, 특히 이 분포가 Weibull 분포일 경우에는 MNL 모형을[3], 다변량 정규분포일 경우에는 다항 프로빗(Multinomial Probit) 모형을[4][5][6][7] 얻을 수 있다.

Ⅲ. AVL 무선통신 수요패턴 분석

본 논문에서는 1997년 한국통신이 종합물류정보 전산망 서비스 및 사업발전방안 연구의 일환으로 운송업체, 화주 등 29개 일반업체 그리고 연구소, 협회 등 관련기관 32개소의 총 61개 업체를 대상으로 설문조사후 도출된 AVL 수요(표 1 참조)를 기반으로 각 무선통신망에 대한 수요를 예측하였다.[8]

표 1. AVL 서비스 수요 예측 결과 (단위 : 대)

년 도	수 요
1999	33,470
2000	51,552
2001	93,188
2002	148,391
2003	214,180
2004	252,328
2005	283,512
2006	316,982
2007	352,879



www.dbpia.co.kr

1. 설문조사 및 자료처리

각 무선통신망 서비스에 대한 수요 분할을 위한 기초자료인 선호의식자료(stated preference data)를 얻기 위하여 화물차량 운전자, 운송/알선업체 직원, 일반인 등을 대상으로 설문조사를 수행하였다. 설문조사시 제시된 설문의 항목은 크게 개인의 특성을 묻는 항목과 무선통신망서비스의 특성에 관련된 항목들로 구성되었으며, 자세한 조사항목은 다음과 같다.

1) 직업
2) 현재 사용하는 무선통신수단
3) 통화 상대방의 주 단말기
4) 무선통신서비스 선택 여부
5) 선택한 무선통신서비스에 대한 보조통신수단
6) 무선통신서비스에 대한 적정 월사용료
7) 무선통신서비스의 적정 통신성공율
8) 무선통신서비스의 부가기능 필요 여부

조사결과 얻은 자료의 수는 총 87개이며 이중 3개의 자료는 설문에 부적절하게 응답하거나 전혀 응답하지 않은 관계로 분석에서 제외하였다.

2. 모형의 설정

일반적으로 각 개인의 선택에 미치는 변수로는 대안의 매력도(attractiveness) 및 개인의 사회경제적인 특성(socioeconomic characteristics)으로 크게 구분할 수 있다.[9] 본 논문의 연구대상인 3개의 무선통신망서비스의 매력도의 경우, 공통적으로 제공되고 있는 기능은 개인의 선택에 동일한 영향을 미칠 것으로 판단되어 고려대상에서 제외하였으며, 단지 각 서비스의 월평균사용료 및 음성통화가능여부만을 분석 대상변수로 설정하였다. 또 개인의 사회경제적인 특성에 관련되는 변수로는 현재 사용하고 있는 무선통신수단(혹은 핸드폰 이용여부)과 각 개인이 생각하는 적정 월사용료(혹은 지불용의금액)를 분석 대상변수로 설정하였다.

위에서 설정된 변수를 토대로 본 논문에서는 다음과 같이 5개의 서로 다른 모형을 구성하여 분석에 임하였다.

[모형 1]

$$V = \beta_0 + \beta_1(\text{월평균사용료}) \quad (5)$$

[모형 2]

$$V = \beta_0 + \beta_1(\text{월평균사용료}) + \beta_2(\text{핸드폰이용여부}) \quad (6)$$

[모형 3]

$$V = \beta_1(\text{월평균사용료}) + \beta_2(\text{핸드폰이용여부}) \quad (7)$$

[모형 4]

$$V = \beta_1(\text{월평균사용료}) + \beta_2(\text{무선데이타통신서비스 선택시 핸드폰이용여부}) + \beta_3(TRS\text{통신서비스 선택시 핸드폰이용여부}) + \beta_4(\text{위성통신서비스 선택시 핸드폰이용여부}) \quad (8)$$

[모형 5]

$$V = \beta_0 + \beta_1(\text{월평균사용료}) + \beta_2(\text{핸드폰이용여부}) + \beta_3(\text{지불용의금액과 월평균사용료와의차액}) \quad (9)$$

주) V는 무선통신서비스 효용함수

3. 모형의 계수추정

MNL 모형의 정산시 사용되는 방법으로는 최대우도법 및 최소자승법이 있으나 후자는 거의 사용되지 않는다. 최대우도법은 실험결과를 가장 잘 설명해주는 모형의 파라메타를 추정할때 사용하며[2], 본 논문에서는 이 방법을 사용하여 전절에서 설정한 5가지 모형의 계수를 추정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

[모형 1]

$$V = -0.194534 + (-0.074594)(\text{월평균사용료})$$

[모형 2]

$$V = 0.126190 + (-0.084814)(\text{월평균사용료}) + 7.444921(\text{핸드폰이용여부})$$

[모형 3]

$$V = -0.084376(\text{월평균사용료}) + 6.235771(\text{핸드폰이용여부})$$

[모형 4]

$$V = -0.081974(\text{월평균사용료}) + 6.871173(\text{무선데이타통신서비스선택시 핸드폰이용여부}) + 6.463679(TRS\text{통신서비스 선택시 핸드폰이용여부}) + 6.833189(\text{위성통신서비스 선택시 핸드폰이용여부})$$

[모형 5]

$$V = 0.124388 + (-0.084314)(\text{월평균사용료}) + 7.280562(\text{핸드폰이용여부}) + (-0.000257)(\text{지불용의금액과 월평균사용료와의차액})$$

www.dbpia.co.kr

표 2. 정산결과 (상관계수 및 계수에 대한 t 값)

구분		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	상관계수
t 값	모형 1	-0.824	-3.051	-	-	-	0.887
	모형 2	0.398	-2.267	1.731	-	-	0.933
	모형 3	-	-2.324	2.599	-	-	0.931
	모형 4	-	-2.234	2.102	2.091	3.434	0.958
	모형 5	0.392	-0.002	1.836	-0.001	-	0.933

4. 결과 분석

검정통계량 -2(L(0)-L($\hat{\beta}$))는 모형에 포함되는 모든 변수의 값이 0인지 아닌지를 검정하는데 사용되며, 이 검정통계량은 점근적으로 자유도 K(모형에 포함되는 파라메타의 개수)인 χ^2 분포를 따른다.[2] 다음의 표3은 유의수준 1%에서 『모형에 포함되는 모든 파라메타는 0이다($\hat{\beta} = 0$)』 귀무가설을 검정한 결과를 나타내며, 5가지 모형 모두 귀무가설을 기각하는 것으로 분석되어 유의한 것으로 분석되었다.

표 3. 귀무가설 『$\beta = 0$』 검정결과

구 분	-2(L(0)-L($\hat{\beta}$))	$\chi^2_{[0.01]}(K)$	기각여부
모형 1	10.452	9.21	기 각
모형 2	98.348	11.35	기 각
모형 3	97.952	9.21	기 각
모형 4	91.884	13.28	기 각
모형 5	98.328	13.28	기 각

주) L(0) : 모든 계수가 0이라고 가정할 때의 우도값
L($\hat{\beta}$) : 추정된 계수값을 사용할 때의 우도값

모형에 포함되는 각 파라메타의 값이 유의한지 유의하지 않는지에 대한 검정은 t 검정통계량 값(t-값)을 이용하여 수행되며, 이때 t 검정통계량은 자유도 N-1 (본 연구의 경우 84)인 t 분포를 따른다. 이를 바탕으로 각 모형에 포함되는 계수의 유의성 여부를 살펴보면 다음 표4 와 같다.

표 4. 각 모형에 포함된 변수의 유의성 여부

구분	유의수준	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	검정통계량 (t-값)
모형 1	1%	X	O	-	-	-	±2.377
	5%	X	O	-	-	-	±1.992
모형 2	1%	X	O	X	-	-	±2.377
	5%	X	O	X	-	-	±1.992
모형 3	1%	-	X	O	-	-	±2.377
	5%	-	O	O	-	-	±1.992
모형 4	1%	-	X	X	X	O	±2.377
	5%	-	O	O	O	O	±1.992
모형 5	1%	X	X	X	X	-	±2.377
	5%	X	X	X	X	-	±1.992

주) O : 유의함 , X : 유의하지 않음

위의 분석결과를 종합해 볼 때, 각 서비스의 월평균사용료와 핸드폰 이용여부만이 개인의 무선통신망 서비스 선택에 영향을 주는 것으로 판단되고, 핸드폰 이용여부가 각 서비스의 효용에 서로 다른 영향을 미치는 것으로 판단되어 모형 4를 본 연구의 최적 대안모형으로 선정하였다. 모형 4의 결과를 좀더 자세히 살펴보면, 월평균사용료관련 파라메타 값이 -0.082로 월평균사용료 값이 클수록 서비스에 대한 효용이 감소함을 알 수 있다. 또, 핸드폰 이용여부 관련 파라메타값이 무선데이타통신서비스의 경우 6.871, TRS통신서비스의 경우 6.464, 위성통신서비스의 경우 6.833으로 현재 핸드폰을 이용하고 있는 사람의 경우 무선데이타통신서비스의 효용을 가장 많이 증가시키는 것으로 나타났다.

5. 최적모형의 해석

전 절에서 선정한 최적모형을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P(i) = \frac{e^{V_i}}{e^{V_W} + e^{V_T} + e^{V_S}} \qquad (10)$$

여기서, $P(i)$: 서비스 i를 선택할 확률

$i = W, T, S$

W : 무선데이타통신서비스

T : TRS통신서비스

S : 위성통신서비스

$0 \le P(i) \le 1, \; i = W, T, S$

$P(W) + P(T) + P(S) = 1$

위식에 포함되는 각 서비스의 효용함수(V_i)는 현재

www.dbpia.co.kr

핸드폰 이용여부에 따라 다르며, 각각 다음과 같다.

핸드폰을 이용하지 않는 경우

$V_i = -0.081974 \times$(월평균사용료), $i = W, T, S$

핸드폰을 이용하는 경우

$V_W = -0.081974 \times$(월평균사용료) $+ 6.871173$

$V_T = -0.081974 \times$(월평균사용료) $+ 6.463679$

$V_S = -0.081974 \times$(월평균사용료) $+ 6.833189$

위의 모형을 사용하여 각 무선망 서비스를 선택할 확률을 구하면 다음과 같다.

핸드폰을 이용하지 않는 경우

$P(W) = 0.4693$, $P(T) = 0.3523$, $P(S) = 0.1784$

핸드폰을 이용하는 경우

$P(W) = 0.5361$, $P(T) = 0.2677$, $P(S) = 0.1962$

6. 수요분할

위의 모형을 적용하여 AVL 서비스에 대한 총수요 (표 1)를 각 무선망서비스 수요로 분할하면 다음 표 5와 같다.

표 5. AVL 수요의 각 무선통신서비스에 대한 분할

년 도	총수요	무선데이타통신	TRS통신	위성통신
1999	33,470	16,825	10,376	6,269
2000	51,552	25,915	15,981	9,656
2001	93,188	46,846	28,888	17,454
2002	148,391	74,596	46,001	27,794
2003	214,180	107,668	66,396	40,116
2004	252,328	126,845	78,222	47,261
2005	283,512	142,521	87,889	53,102
2006	316,982	159,347	98,264	59,371
2007	352,879	177,392	109,392	66,094

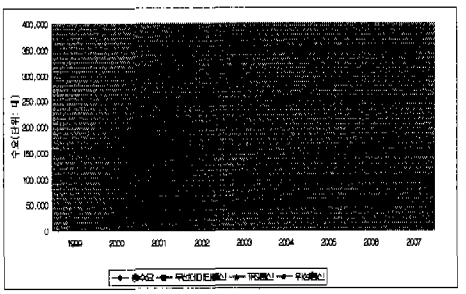


그림 1. 각 서비스에 대한 연도별 수요추이

7. 수요의 탄력성 분석

무선망서비스의 월평균 사용료 및 핸드폰 이용율에 따른 수요의 변화를 살펴보기 위해 본 논문에서는 무선데이타통신서비스를 기준으로 모형의 탄력성을 분석하였다. TRS통신서비스 및 위성통신서비스의 월평균사용료를 각각 107,000원, 190,000원으로 고정시키고 무선데이타통신서비스의 월평균사용료를 5천원 단위로 변화시켰을 때의 각 서비스에 대한 선택확률의 변화 및 그에 따른 1998년의 수요 변화를 나타낸다.

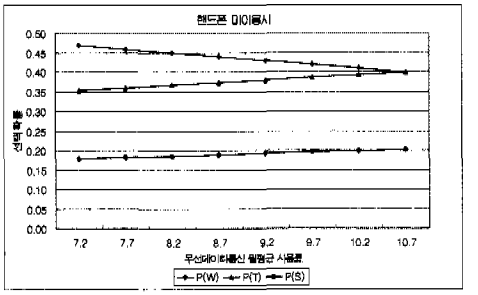


그림 2. 무선데이타통신서비스 요금변화에 따른 무선망서비스 선택확률의 변화 (핸드폰 미이용자의 경우)

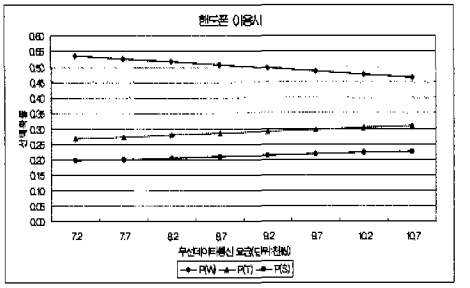


그림 3. 무선데이타통신서비스 요금변화에 따른 무선망서비스 선택확률의 변화 (핸드폰 이용자의 경우)

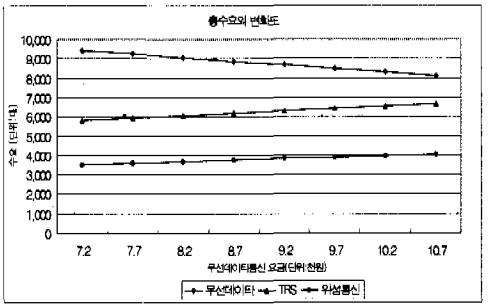


그림 4. 무선데이타통신서비스 요금변화에 따른 수요의 변화

아래 그림은 핸드폰 이용율의 변화에 따른 각 무선망 서비스에 대한 수요의 변화를 나타낸 것으로, 핸드폰 이용율이 높아질수록 무선데이타통신서비스

www.dbpia.co.kr

수요는 증가하고, TRS통신서비스의 수요는 감소하며, 위성통신서비스의 수요는 소폭으로 증가한다는 것을 알 수 있다.

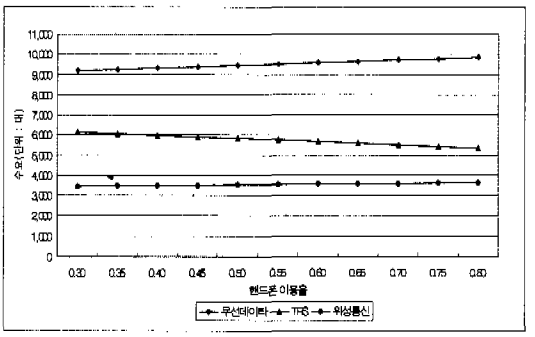


그림 5. 핸드폰 이용율의 변화에 따른 수요의 변화

Ⅳ. 결 론

AVL이용자의 다양한 선택기준을 모형화하고 최적모형으로 무선통신망을 수요분할 하였다. 분석·평가 결과를 간략하게 제시하면 다음과 같다.

첫째, 다항로짓모형의 특성인 IIA성질과 최대우도법을 활용하여 모형을 정산하였다. 분석결과 각 서비스의 월평균사용료와 핸드폰 이용여부만이 개인의 무선통신망 서비스 선택에 영향을 주는 것으로 나타났다.

둘째, 본 논문에서 선정한 각 무선망서비스에 대한 효용함수를 살펴볼 때, 핸드폰이용여부 관련 파라메타 값은 무선데이타통신 서비스의 경우 6.871, TRS통신 서비스의 경우 6.464, 위성통신 서비스의 경우 6.833으로 핸드폰을 이용하고 경우 무선데이타통신서비스의 효용이 가장 많이 증가됨을 알 수 있고, 월평균사용료에 대한 계수가 모두 음수로 나타나 월평균사용료 값이 클수록 각 서비스에 대한 효용이 감소하는 것을 알 수 있다. 또, TRS통신서비스 선택확률을 살펴볼 때, 핸드폰을 이용하는 사람의 TRS통신서비스 선택확률(0.27)이 그렇지 않는 사람의 선택확률(0.35)보다 작은 것을 알 수 있다.

셋째, 모형의 탄력성 분석결과 무선데이타통신서비스의 월평균사용료를 증가 시켰을 때, 핸드폰 미이용시는 TRS통신서비스 및 위성통신서비스의 선택확률은 높아지고 무선데이타통신서비스의 선택확률은 작아진다. 핸드폰 이용시는 무선데이타통신서비스와 TRS통신서비스의 월평균사용료가 같아지더라도 여전히 무선데이타통신서비스 선택확률(0.47)이 TRS통신서비스 선택확률(0.31)보다 크다는 것을 알 수 있다.

또, 핸드폰이용율이 높아질수록 무선데이타통신서비스의 수요는 증가하고, TRS통신서비스의 수요는 감소하며, 위성통신서비스의 수요는 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다. 이는 핸드폰이 TRS통신서비스에서 제공되는 음성서비스를 대신하기 때문에 핸드폰 이용율이 높아질수록 월평균사용료가 저렴한 무선데이타통신서비스를 선택하려는 경향이 커지기 때문이다.

참 고 문 헌

[1] Williams, H.C.W.L, "Travel Demand Forcasting: An Overview of Theoretical Developments", *Transport and Public Policy Planning*, 1981

[2] Moshe Ben Akiva, Steven R. Lerman, Discrete Choice Analysis: Theory and Applications to Travel Demand, *The MIT Press*, 2nd Print, 1987

[3] McFadden, D. and Reid, F.A, "Aggregate Travel Demand Forcasting from Disaggregate Behavioural Models", *Transportation Research Record*, 1975

[4] Thurston, L., "A Law of Comparative Judgement.", *Psychological Rev.* 34, 1927

[5] Dutt, J., "Numerical Aspects of Multivariate Normal Probabilities in Econometric Models", *Ann. Econ. Social Mesurement* 5., 1967

[6] Hausman, J., and Wise, "A Conditional Probit Model for Qualitative Choice: Discrete Decisions Recognizing Interdependence and Heterogeneous Preferences", *Econometrica* 52, 1978

[7] Daganzo, C., F.Bouthelier, and Y.Sheffi, "Multinomial Probit and Qualitative Choice: A Computationally Efficient Algorithm", *Trans. Sci.* 11, 1977

[8] 한국통신, "종합물류정보전산망 서비스 및 사업 발전방안 연구", 1997

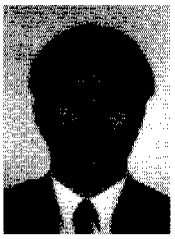
[9] Juan De Dios, Ortúzar, and Luis G, Williumsen, Modeling Transport, *John Willey & Sons*, 1990

www.dbpia.co.kr

오 종 태(Jong Tae Oh) 정회원

1989년 경기대학교 전자계산학과 (이학사)
1998년 경희대학교 산업정보대학원 전자공학과(공학석사)
1989~1994 ㈜태평양 정보서비스 센타
1994~현재 : 한국통신기술(주) 정보통신사업팀
<주관심 분야> 이동통신, 패턴인식, 그룹웨어 등

이 봉 석(Bong Seok Lee) 정회원



1980년 광운대학교 통신공학과 (공학사)
1991년 경희대학교 산업정보대학원 전자공학과(공학석사)
1980~1982 동아건설산업(주) 통신주임
1983~1986 Ericsson System Manager
1986~현재 한국통신기술㈜ NI 사업부장
<주관심 분야> 이동통신, 마이크로파, GIS 등

진 용 옥(Yong Ohk Chin) 정회원

경희대학교 전파공학과 교수

www.dbpia.co.kr