컴퓨터 시뮤레이숀에 의한 利用客의 流通에 관한 硏究

論 文
27~1~1

Computer Simulation of Passenger Flow

車 均 鉉*
(Kyun Hyon Tcha)

Abstract

In this paper the best way of servicing to the waiting guests at the Express Bus Terminal, is to determined by the computer simulation.

The mathematical model for the waiting guests is formulated with the statistics data by researching the waiting lines of the guests at the guests at the specified Express Bus Terminal.

The waiting phenomena is simulated using Monte Carlo method to decide the proper number of window and the time for servicing.

Finally it present the way of the improvement of service with the good results of simulation.

1. 緖 論

시뮤레이숀(Simulation)은 工學的 設計問題의 해결을 위하여 오래 前부터 使用되어 온 手法의 하나이다.

모형 선박이나 모형비행기를 制作하여 띄워 본다든지 크기를 縮小시킨 모형기계들을 가지고 공장 배치문제를 분석하는 것 등이 그 좋은 例이다. 그러나 現代의 시뮤레이숀은 여기서 한걸음 나아가 數學的이고 統計學的인 背景을 갖추고 있으며 더우기 電子計算機(Computer)를 使用하는 技法으로서 特性을 갖는다. 이것이 現代的 技法으로서 開發되기 시작한 것은 1940年代末이며 당시 "Los Alamos Scientific Laboratory"의 物理學者들이 中性子 擴散問類에 대한 연구방법을 찾지 못하고 있을때 "John Von Neumann"과 "Stanislaw ulam"씨 등이 몬테칼로法(Monte Carlo Method)을 개발하여 推薦함으로써 좋은 成果를 거둔 바 있다.

시뮤레이숀이란 不確定的 狀況下의 실제문제를 分析하기 위하여 使用되는 計量的 모의실험적 試行의 技法이며 사실과 假定들을 根據로 하고 적절한 수학적 모형이 利用되는데 이때의 수학적 모형이라고 하는 것은 Computer로 계산하여 多數回 試行을 해나가기에 적합한 형식을 뜻한다.

* 正會員：崇田大學校 工科大學敎授(工博)
接受日字：1977年 10月 6日

시뮤레이숀은 보통 그 手法別로 시스템시뮤레이숀(System Simulation), 게이밍(Gaming 또는 Operational Gaming) 및 몬테칼로法의 세가지로 分類된다. 시스템시뮤레이숀은 시스템의 동작 내지는 운영을 실제의 환경의 재현을 통하여 檢討하는 것으로서 시스템 全體를 對象으로 하는 것이며 亂數(Random Number)에 의한 標本軸出(Sampling or Survey)이 아니고 실제의 母集團(Population) 自體를 직접다루는 方法으로 주로 OR(Operation Research) 경영연구)의 手法으로서의 시뮤레이숀이다. 게이밍은 경쟁하는 상대가 있어 그의 정책에 의해서 조직이 놓여진 환경이 변하는 경우 2개 以上의 會社에 의해 모델上에서 그들의 政策을 實施하여 이것에 의해서 보다 효율적인 정책을 알아내려는 方法으로 訓鍊用으로 使用되는 것이며 비지네스 게이밍(Business Gaming)이 전형적인 例이다. 몬테칼로法은 亂數를 使用하여 통계적인 방법으로 해를 얻어내는 것이 몬테칼로法의 特徵이다.

本 論文은 高速버스 터어미날(Express Bus Terminal)의 서어비스 窓口에서 발생하는 客의 待期行列에서 서어비스의 개선을 위한 해를 求하기 위해 콤퓨터를 利用하여 시뮤레이숀을 하는 방법과 그 결과를 실제조사한 재료와 比較檢討함으로서 理論的 모델의 해와 실제의 問類가 一致함을 보이고자 한다.

제 2절에서는 客의 유통에 대한 통계조사 방법과 待

期行列의 수학적 모델의 요건을 제시하고 본 논문에서 使用한 用語를 定義하였고 제 3절에서는 실제조사한 資料에 의하여 客의 流通 모델을 만들고 서어비스 分布를 作成한 후 待期行列 모델을 시뮤레이숀 하기 위하여 몬테칼로法을 利用하는 방법을 論하였으며 제 4절에서는 東大門 高速버스 터미날에서 調査한 資料를 가지고 客의分布와 流通을 콤퓨터에 의해 시뮤레이숀하고 실제 조사한 데이터(Data)와 비교 檢討하였다. 끝으로 本 시뮤레이숀의 適用範圍와 結論을 제 5절에 提示하였다.

2. 問題設定 및 定義

콤퓨터 시뮤레이숀(Computer Simulation)에 의한 客의 流通 過程을 硏究分析하기 위해서는 우선 客의 待期行列 모델(Model)을 必要로 한다. 待期行列의 理論의 硏究는 1908年 화란(Netherland)의 電話會社 技師인 에리앙(A.K. Eriang)이 電話의 回線에 대해서 行한 硏究가 最初이며 1945年 까지는 電話의 通話回線에 限定되었다가 제 2차 대전의 前後부터 理論的으로 급속한 진보를 보게되어 그 應用範圍도 넓어져 오늘에 이르렀다. 客의 待期行列 모델을 構成하기 위해서 資料의 調査對象을 東大門 速速버스 터미날로 선정했다. 東大門 高速버스 터미날은 비교적 客의 1日 流通量이 많을 뿐만 아니라 有形無形의 名種 待期 現象 中 실제로 行列을 지어서 기다리기 때문에 理象이 뚜렷하므로 客의 흐름을 正確하게 計算할 수 있어서 資料의 正確性을 期할 수 있었다. 그래서 많은 서어비스 窓口中에서도 비교적 客의 利用度가 높은 光州, 釜山, 大邱의 세 창구를 선정했다. 客의 흐름의 統計調査를 정확히 하기 위해서 한 窓口에 대해 平日, 週末, 休日등으로 나누어 調査했으며 또한 測定時間의 $\frac{1}{10}$초 까지의 정확성을 기하기 위해 砂時計(Stop watch)를 휴대한 人員을 各 窓口마다 2名씩 配置하여 다음과 같은 資料를 調査했다.

① 客의 到着時間 間隔의 分布

② 客의 到着單位數의 分布

③ 서어비스 時間의 分布

그리고 本 論文에서 使用한 用語는 다음과 같다.

(i) 客의 待期行列; 高速버스 터미날의 서어비스 窓口에서 客이 원하는 행선지의 票를 사기 위하여 列을 지어 기다리는 現象

(ii) 客의 到着時間 間隔; 한 客이 서어비스 窓口에서 서어비스를 받기 위하여 到着한 후 다음 客이 到着할 때까지의 時間 間隔

(iii) 客의 到着單位 數; 서어비스를 받기 위하여 一定한 單位時間 동안에 서어비스 窓口에 도착하는 객의 수

(iv) 서어비스 時間; 서어비스 窓口에 到着한 客이 표를 사기 위하여 돈을 支拂하고 표를 받기까지 소요되는 時間

3. 客의 流通모델

(A) 客의 流通分布

客의 流通分布는 到着時間 間隔의 分布로 나눌 수 있다.

① 到着時間 間隔의 分布

客의 흐름 類型을 고찰할 때 제일 먼저 생각해야 할 問題는 客이 들어오는 흐름을 어떻게 잡는가 하는 것이다. 客의 到着時間 間隔 τ로 密度

$$p(x)=\partial e^{-ax} \quad (0\leq x<\infty) \tag{1}$$

을 가지고 區間$(0,\infty)$에 分布하는 確率度數와 같은 客의 흐름이 가장 간단한 흐름이며 이를 포아손 흐름(Poisson flow)이라고 한다. 또한 式(1)에 의해서 나타나는 客의 分布를 指數分希(The Exponential Distribution)라고 한다.

客의 到着時間 間隔分布는 서어비스 창구수에 따라서 지수분포형 단일창구 모형과 지수분포형 복수창구 모형으로 分類하는데 本 論文의 作成을 위해서 調査한 統計資料에 의한 度數分布는 後者이므로 이에 대해서 設明하기로 한다.

그림 1은 $a=1$일때와 $a=2$일때의 밀도함수이다.

τ의 數學的 期待值는 다음과 같이 計算하여 구할 수 있다.

$$Et=\int_0^\infty xp(x)dx=\int_0^\infty xae^{-ax}dx \tag{2}$$

部分積分($u=x$, $dv=ae^{-ax}dx$)을 해서

$$Et=-xe^{-ax}\Big|_0^\infty+\int_0^\infty e^{-ax}dx$$

$$=-\frac{e^{-ax}}{a}\Big|_0^\infty$$

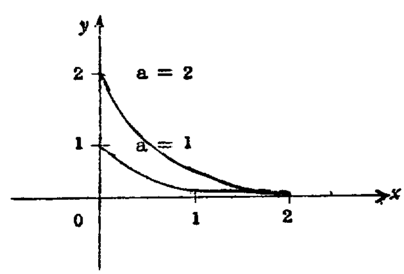

그림 1. $a=1$ $a=2$일때의 지수분포
Fig. 1. Exponential distribution with parameter $a=1$ and $a=2$

$$=\frac{1}{a} \tag{3}$$

이 된다. 여기서 매개변수(Parameter) a를 客의 流通密度라 한다.

τ를 구하는 式은 確率密度函數 $p(x)$를 가지고 區間 (a,b)에 分布하는 確率變數 ξ의 값을 구하는 方程式

$$\int_0^{\xi} p(x)dx=r \tag{4}$$

을 이용하여 구할 수 있다.

즉 式(1)을 (4)에 代入하고 確率變數를 時間間隔 τ로 하면

$$\int_0^{\tau} ae^{-ax}dx=r \tag{5}$$

을 얻는다. 여기서 r은 〔0,1〕의 ㊀様亂數이다. 左邊을 積立하면

$$1-e^{-ax}=r \tag{6}$$

을 얻는다.

그러므로 式(6)으로 부터

$$\tau=-\frac{1}{a}l_n(1-r) \tag{7}$$

이 된다. 量 $1-r$는 r와 같이 分布하기 때문에 τ을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\tau=-\frac{1\,l}{a}{}_n r \tag{8}$$

실제 調査한 到着時間 間隔의 分布는 表 1(a)(b)(c)와 같이 되며 그에 따른 度數分布曲線은 그림 2와 같다. 表를 作成하기 위하여 1인의 객이 도착하는데 요하는 시간을 급간격 5초로 하는 階級(Class)으로 구분했으며 각 階級의 中央의 값을 계급치(Class Mark)로, 各 계급에 속하는 통계단위의 수효를 度數(Frequency)로 表示하였다.

또한 各 계급의 도수를 集團(度數의 統計, 으로 나눈 몫을 %(Percent)로 表示하여 相對度數(Relative Frequency)로 나타내고 各 階級에 있어서 그 以前에 있는 모든 계급의 度數의 合計를 累積度數(Cumulative Frequency)로 나타냈다.

相對 累積度數(Relative Cumulative Frequency)는 各 階級의 累積度數를 度數의 總計로 나눈 몫을 %로 表示하였다.

本 論文에서는 客의 到着時間 間隔分布를 使用하여 問題를 풀었다.

② 客의 到着單位數의 分布

到着時間 間隔 τ내지에 x의 客이 도착하는 確率은

$$g(x)=e^{-a\tau}\frac{(a\tau)^x}{x^1},\ x=,1,2, \tag{9}$$

이 된다. 式(1)과 (9)에서 $a=1$이면 客의 도착 시간간격이 평균 1의 指數分布를 따른다는 것은 時間間隔 τ내에 도착하는 客의 數 x는 평균 τ의 포아손 분포 따

表 1. 客의 到着時間 間隔의 分布

Table 1 Distribution of people's arrival time

(a) 광주행

행선지	계 급 (Class)	계 급 치 (Class mark)	도 수 (frequency)	상대도수(%) relative frequency	(계급치 × 도수)	누적도수 Cumulative frequency	상대누적도수
	(sec)	(sec)	(명)			(명)	%
光州行 (209명)	0.0～ 5.0	2.5	43	20.57	107.5	43	20.57
	5.1～10.0	7.5	40	19.12	300.0	83	39.71
	10.1～15.0	12.5	28	13.40	350.0	111	53.11
	15.1～20.0	17.5	31	14.83	542.5	142	67.94
	20.1～25.0	22.5	19	9.09	427.5	161	77.03
	25.1～30.0	27.5	13	6.22	357.5	174	83.25
	30.1～35.0	32.5	5	2.40	162.5	179	85.65
	35.1～40.0	37.5	8	3.83	300.0	187	89.47
	40.1～45.0	42.5	7	3.35	297.5	194	92.82
	45.1～50.0	47.5	3	1.44	142.5	197	94.26
	50.1～55.0	52.5	3	1.44	157.5	200	95.69
	55.1～60.0	57.5	2	0.96	115.0	202	96.65
	60.1～65.0	62.5	4	1.91	250.0	206	98.56
	65.1～70.0	67.5	2	0.96	135.0	208	99.52
	85.1～90.0	87.5	1	0.48	87.5	209	100.00
計			209	100.00	3732.51		

(b) 부산행

행선지	계 급 (Class)	계 급 치 (Class mark)	도 수 frequency	상대도수(%) relative frequency	(계급치 ÷도수)	누적도수 Cumulative frequency	상대누적도수
	(sec)	(sec)	(명)			(명)	(%)
釜山行 (102명)	0.0～5.0	2.5	15	14.71	37.5	15	14.71
	5.1～10.0	7.5	9	8.82	67.5	24	23.53
	10.1～15.0	12.5	5	4.90	62.5	29	28.43
	15.1～20.0	17.5	6	5.88	105.0	35	34.31
	20.1～25.5	22.5	12	11.76	270.0	47	46.08
	25.1～30.0	27.5	7	6.86	192.5	54	52.94
	30.1～35.0	32.5	10	9.80	325.0	64	62.75
	35.1～40.0	37.5	4	3.92	150.0	68	66.67
	40.1～45.0	42.5	4	3.92	170.0	72	70.59
	45.1～50.0	47.5	7	6.86	332.5	79	77.45
	50.1～55.0	52.5	2	1.96	105.0	81	79.41
	55.1～60.0	57.5	1	0.98	57.5	82	80.39
	60.1～65.0	62.5	7	6.86	437.5	89	87.25
	65.1～70.0	67.5	4	3.92	270.0	93	91.18
	70.1～100.0	85.0	7	6.86	595.0	100	98.04
	100.1～217.3	158.5	2	1.96	317.0	102	100.00
계			102	999.7	3494.5		

(c) 대구행

행선지	계 급 (Class)	계 급 치 (Class makrk)	도 수 frequency	상대도수(%) relative frequency	(계급치 ÷도수)	누적도수 Cumulative frequency	상대누적도수
	(sec)	(sec)	(명)			(명)	(%)
大邱行 (151명)	0.0～5.0	2.5	30	19.87	75.0	30	19.87
	5.1～10.0	7.5	18	11.92	135.0	48	31.79
	10.1～15.0	12.5	19	12.58	237.5	67	44.38
	15.1～20.0	17.5	18	11.92	315.0	85	56.29
	20.1～25.0	22.5	11	7.28	247.5	96	63.58
	25.1～30.0	27.5	12	7.95	330.0	108	71.52
	30.1～35.0	32.5	11	7.28	357.5	119	78.81
	35.1～40.0	37.5	8	5.30	300.0	127	84.11
	40.1～45.0	42.5	3	1.99	127.5	130	86.09
	45.1～50.0	47.5	4	2.65	190.0	134	88.74
	50.1～55.0	52.5	3	1.99	157.5	137	90.73
	55.1～60.0	57.5	5	3.31	287.5	142	94.04
	60.1～65.0	62.5	3	1.99	187.5	145	96.03
	65.1～70.0	67.5	1	0.66	67.5	146	96.69
	70.1～100.0	85.0	5	3.31	425.0	151	100.00
계			151	100.00	3440.0		

른다는 것이다. 실제조사한 到着單位數의 分布는 설정한 단위시간에 대해 表 2와 같이 되며 度數分布는 그림 3과 같이, 表 2는 단위시간을 1분으로 하여 60회 측정한 결과이다.

(B) 서어비스 時間의 分布

서어비스 시간이 安定的일 경우으는 그 사소한 變化를 正規 分布(Normal Distribution)로 생각할 수 있으나 待期行列에서는 서어비스 시간이 짧은 시간에 끝

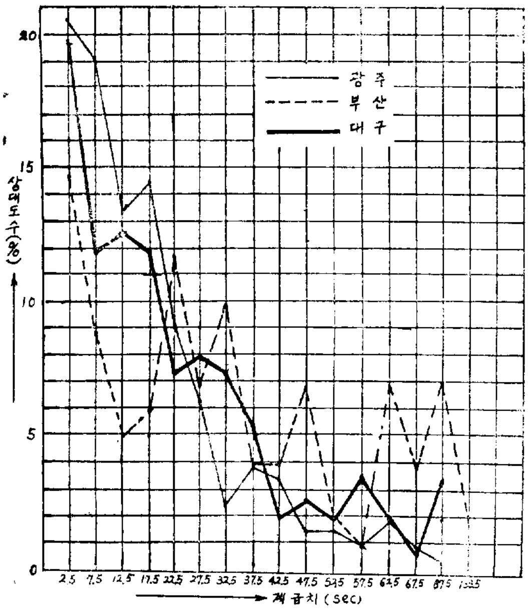

그림 2. 客의 到着時間 間隔分布曲線
Fig. 2. Distribution of pepole's arrival time

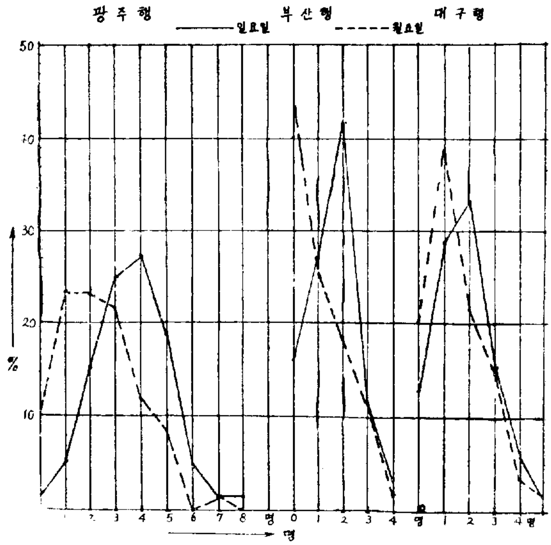

그림 3. 도착단위수의 분포곡선(1분단위)
Fig. 3. People arrivals per-1 minute intervals

나는 것이 긴 시간에 끝나는 것보다 一般的으로 많으며 또한 서어비스 時間의 分布를 客의 到着時間 間隔과 마찬가지로 指數分布로 設定하면 待期行列의 理論이 數理的으로 대단히 간단하게 되기 때문이다.

本 論文에서는 客에 對한 서어비스 時間의 測定資料로 부터 平均 時間을 구하여 서어비스 시간으로 한 것과 指數分布로 나타내어 서어비스 時間이 各 客에 따라 랜돔(Random)하게 選擇된 경우의 두가지에 對하여 풀었다. 실제 調査한 서어비스 時間의 度數分布를 表 3(a)(b)(c)에 나타냈으며 이에 대한 分布曲線을 그

表 2. 到着單位數의 分布(1분 單位)
Table 2. Distrifution of people arrivals per minute

행선지	요일	동일 客의 發生횟수									계 (%)	Service 받은客의 總數
		0명	1명	2명	3명	4명	5명	6명	7명	8명		
광주행	일요일	1	3	9	15	16	11	3	1	1	60	218(명)
		1.667	5.0	15.0	25.0	26.667	18.333	5.0	1.667	1.667	100.001	
	월요일	6	14	14	13	7	5		1		60	141〃
		10.0	23.333	23.333	21.667	11.667	8.333		1.667		100.00	
부산행	일요일	10	16	25	7	2					60	95〃
		16.667	26.667	41.667	11.667	3.333					1000.001	
	월요일	26	15	11	7	1					60	62〃
		43.333	25.0	18.333	11.667	1.667					100.00	
대구행	일요일	8	17	20	10	4	1				60	108〃
		13.333	28.333	33.333	16.667	6.667	1.667				100.00	
	월요일	12	23	13	9	2	1				60	89〃
		20.0	38.333	21.667	15.0	3.333	1.667				100.00	

表　3. Service 時間의 分布

Table 3. Distnibution of service time

(a) 광주행

행선지	계　급 (Class)	계급치 (Class mark)	도　수 frequency	상대도수)%) relative frequency	(계급치 × 도　수)	누적도수 (Cumulative frequency)	상대누적 도　수
	(sec)	(sec)	(名)				
光	0.0～ 5.0	2.5	11	5.05	27.5	11	5.05%
	5.1～10.0	7.5	76	34.86	57.0	87	39.91
	10.1～15.0	12.5	69	31.65	862.5	156	71.56
	15.1～20.0	17.5	25	11.47	437.5	181	83.02
	20.1～25.0	22.5	15	6.88	337.5	196	89.91
州	25.1～30.0	27.5	8	3.67	220.0	204	93.58
	30.1～35.0	32.5	3	1.38	97.5	207	94.95
	35.1～40.0	37.5	3	1.38	112.5	210	96.33
行	20.1～45.0	42.5				210	96.33
	45.1～50.0	47.5	4	1.83	190.0	214	98.17
(218名)	50.1～55.0	52.5	1	0.46	52.5	215	98.62
	55.1～60.0	57.5	2	0.92	115.0	217	99.54
	60.1～65.0	62.5	1	0.46	62.5	218	100.00
計			218	100.01	2572.0		

(b) 부산행

행선지	계　급 (Class)	계급치 (Class mark)	도　수 frequency	상대도수(%) relative frequency	(계급치 × 도　수)	누적도수 (Cumlative frequency)	상대누적 도　수
	(sec)	(sec)	(名)	(%)		(名)	(%)
	0.0～ 5.0	2.5					
	5.1～10.0	7.5	13	13.88	97.5	13	13.68
釜	10.1～15.0	12.5	21	22.11	262.5	34	35.79
	15.1～20.0	17.5	11	11.58	192.5	45	47.37
	20.1～25.0	22.5	15	15.79	337.5	60	63.16
山	25.1～30.0	27.5	6	6.32	165.0	66	69.47
	30.1～35.0	32.5	6	6.32	105.0	72	75.79
	35.1～40.0	37.5	6	6.32	225.0	78	82.11
	40.1～45.0	42.5	6	6.32	225.0	84	88.42
行	45.1～50.0	47.5	2	2.11	8.0	86	90.53
	50.1～55.0	52.5	1	1.05	52.5	87	91.58
(95名)	55.1～60.0	57.5	5	5.26	287.5	92	96.84
	60.1～65.0	62.5	2	2.11	125.0	94	98.95
	65.1～129.2	97.2	1	1.05	87.2	95	100.00
計			95	100.02	2387.2		

림 4에 보였다.

(C) 몬테칼로 法

몬테칼로란 名稱은 노이만(J.V. Neumann)에 의해서 붙여진 것으로 賭博으로 有名한 모나코(MonAco)의 首都의 이름을 따서 붙인 것이다. 여러개의 確率變數가 各各의 確率分布를 가지고 複合的으로 作用할 때 이러한 問題를 數式化하기란 대단히 어렵다. 그러나 各 事件의 發生을 標本軸出의 形式으로 얻고 실제로 그렇게 發生하였다는 假定아래 시스템의 狀態를 分析하는 것은 비교적 容易한 일이다. 이때의 표본추출은 실제의 모집단을 對象으로 하지 않고 理論的인 또는 경험적인 確率分布를 使用하여 亂數를 가지고 試行된다. 그러므로 몬테칼로 法을 一名 "모의표본 추출법(Simulated Sampling Techniqe)"이라고도 부른다.

(c) 대구행

행선지	계급 (Class)	계급치 (Class mark)	도수 frequency	상대도수(%) relative freqnency	(계급치 × 도수)	누적도수 (Cumulative frequency)	상대누적 도수
	(sec)	(sec)	(名)			(名)	(%)
大邱行 (108名)	0.0～5.0	2.5	3	2.78	7.5	3	2.78
	5.1～10.0	7.5	31	28.70	232.5	34	31.48
	10.1～15.0	12.5	30	27.78	375.0	64	59.26
	15.1～20.0	17.5	13	12.08	227.5	77	71.30
	20.1～25.5	22.5	11	10.19	247.5	88	81.48
	25.1～30.0	27.5	5	4.63	137.5	93	86.11
	30.1～35.2	32.5	5	4.63	162.5	98	90.74
	35.1～40.0	37.5	1	0.93	37.5	99	91.67
	40.1～45.5	42.5	3	2.78	127.5	102	94.44
	45.1～50.0	47.5	6	5.56	285.0	108	100.00
計			108	100..6	1840.0		

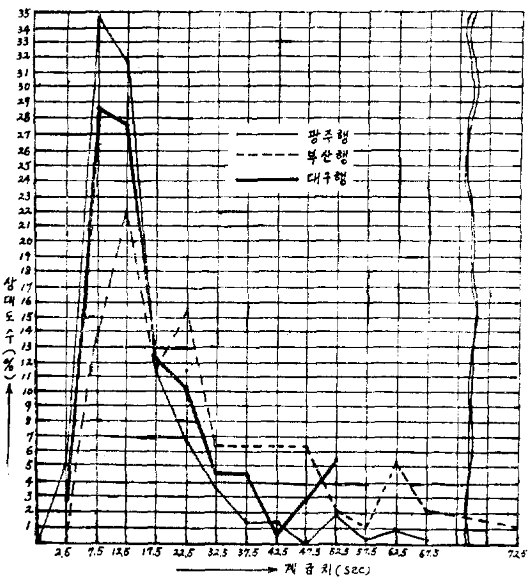

그림 4. 서어비스 시간의 분포곡선
Fig. 4. Distribution of service time

이제 몬테칼로법을 利用하여 待期行列系를 시뮤레이숀하는 방법을 設明한다. 客에게 서어비스를 하는 n개의 窓口(線)가 있고 이 系에 客이 들어온다고 할때 客이 들어오는 시간은 랜돔이다. 客이 모두 窓口 1의 선에 들어 온다고 하고 k번째 客이 들어오는 時刻(T_k)에 이 線이 비어 있으면 客은 時間 t_s간의 서어비스를 받는다. 그러나 만약 時刻 T_k에 있어서 窓口 1의 線이 비어있지 아니하면 客은 당장 다음 차례인 창구 2의 線으로 넘어간다. 또한 T_k에 있어서 n개의 窓口 모두가 비어있지 아니하면 이 系는 거절을 表明한다. 時間 T에 있어서 平均 몇명의 客이 系의 서어비스를 받고 또한 拒絕되는 가를 정하는 問題를 생각하여 본다. 客窓口가 이루는 線을 전자계산기의 記憶裝置에(Memory Device) 기억시키고 선이비는 時刻을 기록한다.

제 i번의 窓口가 비는 時刻을 t_i로 나타낸다. 맨 처음 計算 時刻으로 窓口 1번에 客이 들어오는 時刻을 $T_1=0$로 한다. 이 時刻에 모든 t_i는 T_1과 對等하다고 볼 수 있기 때문에 모든 線은 비어있다.

計算의 完了時刻은

$$T_E = T_1 + T \tag{10}$$

이다. 첫번째의 客이 窓口 1의 線에 들어온다. 時間 t_s 사이에는 이선은 비어있지 않기 때문에 t_1을 새로운 값 $(t_1)N = T_1 + t_s$로 바꾸어 서어비스를 받은 客의 計數機(accumulator)에 1을 더해서 두번째의 客으로 넘긴다. k번째의 客이 이미 計數되었다고 假定할 때 (k+1)번째의 客이 들어오는 時刻을 찾아내기 위하여 順次 r의 값을 찾아 式(8)에 의하여 逐次値 $\tau = \tau_k$를 計算한다. 이 結果 客이 들어오는 時刻

$$T'_{k+1} = T_k + \tau_k \tag{11}$$

을 계산한다. 이 時刻에 窓口 1번의 線이 비어있는지의 與否를 確認하기 위해서는 條件

$$t_1 \leq T_{k+1} \tag{12}$$

을 찾아 보아야 한다. 만약 이 조건이 滿足된다면 T_{k+1}의 時刻에 선은 비어 있고 따라서 宣은 서어비스를 받을 수 있게 된다. 이때에 t_1을 $T_{k+1}+t_s$로 바꾸어 서어비스를 받은 宣을 計算하는 계수기에 1을 더해 다음의 客으로 넘어간다. 만약 조건 式(12)를 滿足하지 못한다면 窓口 1번의 線은 T_{k+1}의 時刻에는 꽉차 있음을

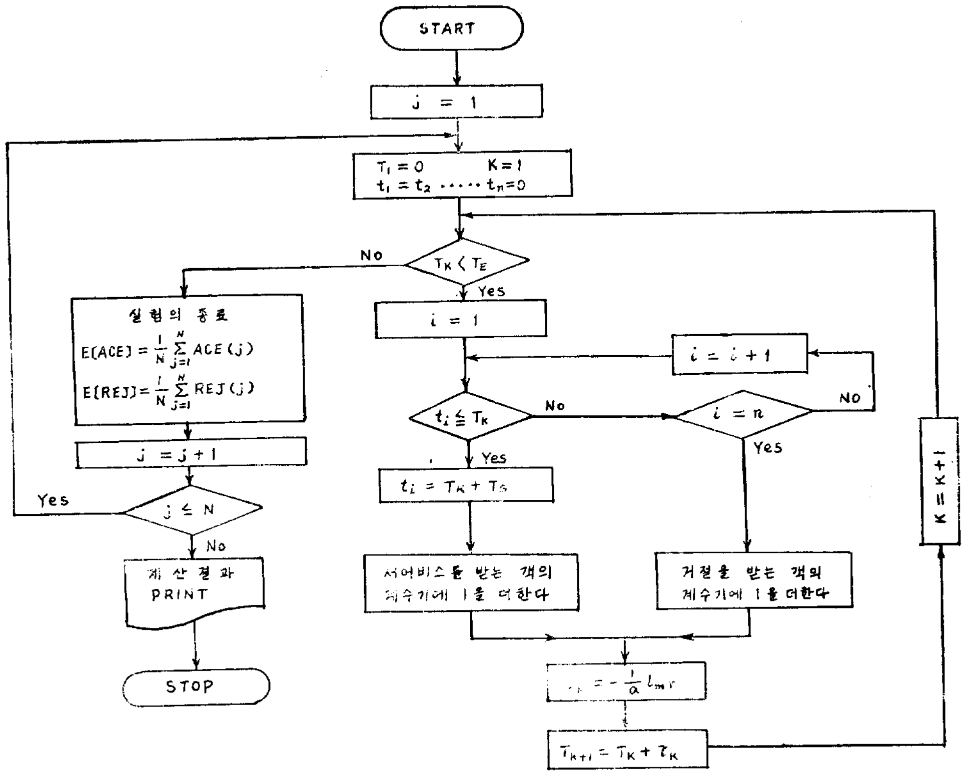

그림 5. 객의 유통 시뮤레이숀을 위한 컴퓨터 유통도
Fig. 5. Flow chart for computer simulations of waiting line

나타낸다. 그래서 窓口 2번의 선이 비어 있는지의 與否를 調査해 보아야 한다.

$$t_2 \leqq_{k+1} \tag{13}$$

條件 式(13)을 滿足한다면 t_2를 $T_{k+1}+t_s$로 바꾸어 서어비스를 받은 客을 計算하는 計算機에 1을 더해 다음의 客으로 넘어간다. 그러나 第件 式(13)이 滿足되지 못하면 다른 條件

$$t_3 \leqq T_{k+1} \tag{14}$$

을 조사해야 한다. 1에서 n까지의 모두에 대해서 $t_i > T_{k+1}$이라고 하면 T_{k+1}時刻에는 모든 窓口의 線은 꽉차 있음을 알 수 있다. 이때 서어비스 받지 못한 宣을 세는 計算機에 1을 더해서 다음의 客으로 넘어가게 된다. 各 回마다 T_{k+1}을 計算해서 실험의 終了條件

$$T_{k+1} > T_E \tag{15}$$

을 조사한다.

이 條件을 만족하면 똑같은 實驗을 N回 反復하여 서어비스 받은 客의 數와 拒絶당한 客의 數의 平均値를 求한다. 서어비스 받은 客의 數와 받지 못한 室의 數를 各各 ACE와 REJ이라 하면 그 平均値는

$$E[\mathrm{ACE}] = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} \mathrm{ACE}(j) \tag{16}$$

$$E[\mathrm{REJ}] = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} \mathrm{REJ}(j) \tag{17}$$

이 된다. 以上의 理論을 根據로 한 컴퓨터 流通圖(Flow chart)는 그림 5와 같다.

4. 計算 및 檢討

① 到着時間 間隔의 平均値 및 客의 흐름의 密度: 表 1(a)(b)(c)에서 階級値를 $x_i(x_1, x_2, x_3, \cdots x_i, \cdots x_k)$ 度數를 $f_i(f_1, f_2, f_3 \cdots f_i \cdots f_k)$라고 할때 平均 E_τ를 구하는 式은

$$E_\tau = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{k} f_i x_i \ (\text{단 } N=\sum_{i=1}^{k} f_i) \tag{18}$$

로 주어진다.

表 1(a)(b)(c)의 資料를 式(18)에 代入하여 求하면

광주행 E_r=17,856(sec), 부산행 E_r=34,260(sec) 대구행 E_r=22,781(sec)가 된다.

② 客의 흐름의 密度

式(3)에서 客의 흐름密度는 $a=\frac{1}{E}$이므로 광주행 a=0.0560, 부산행 a=0.0292, 대구행 a=0.0439가 된다.

③ 서어비스 時間의 平均値

1(인)의 客을 서어비스 하는데 요하는 平均 서어비스 時間 M_{ts}도 式(18)을 利用하여 表 3(a)(b)(c)에서 求하면 광주행은 M_{ts}=11,798(sec), 부산행은 M_{ts}=25,128(sec), 대구행은 M_{ts}=17,037(sec)이 된다.

調査한 資料에 의해서 나타난 宣의 待期行列에서의 서어비스 改善을 위한 解를 구하기 위한 시뮤레이숀을 IBM 1130型 콤퓨터를 利用해서 實施했다. 各 行先地別로 窓口數는 셋으로 했으며 實驗의 最終時間(T_E)은 20분(1,200초)으로 그리고 반복회수(N)을 50회로 하였다. 시뮤레이숀에 의한 프로그래밍(Programming) 결과를 付錄에 실었다. 광주행은 서어비스 時間(t_s)을 평균치로 取한것과 랜돔하게 取한 두가지 경우를 시뮤레이숀 했으며 표 4와 같다. 그리고 表 5는 과제 조사한 資料와 시뮤레이숀한 結果値를 비교한 것이다. 東大門高速버스 터미날에서 실제 발생한 待期行列現象을 시뮤레이숀한 결과 光州行은 時間當 4.92(名), 1日 12時間(오전 6시부터 오후 6시까지로 하면) 59.04(名)이 서어비스를 받지 못하고, 大邱는 時間當 1.2(名) 1日 14.4(名), 釜山, 時間當 0.3(名)으로 1日 3.6(名)이 서어비스를 받지 못함을 알수 있다.

表 4. 서어비스 時間을 平均値와 랜돔하게 取했을 때의 비교

Table 4. Number of people why received sewiee and not

區 分	EμR	EμR	Mts
ts-平均値	71.9명	1.64명	11.798(초)
ts-random	73.54명	0.00명	

表 5. 實際調査値와 시뮤레이숀한 値의 比較

Table 5. Actual and simulated number of pepole

項目 \ 行先地 \ 區分		實際調査資料値	시뮤레이숀의 結果値	
			서어비스 받은수	서어비스받지 못한수
室의數	光 州	218(名)	215.7(名)	4.92(名)
	釜 山	62(名)	62.7(名)	0.3(名)
	大 邱	108(名)	106.68(名)	1.2)名)

5. 結 論

本 論文의 主要한 結論은 다음과 같다.

① 몬테칼로 法을 利用하여 客의 待期行列 모델에서의 서어비스 改善을 위한 解를 구하기 위하여 콤퓨터를 使用해서 시뮤레이숀하는 方法과 算法을 提示하였다.

② 客에 對한 서어비스 時間(t_s)를 平均値로 하는 方法과 랜돔하게 취하는 方法을 提示하였으며 平均 서어비스 時間이 釜山行이 25,128(초)로서 光州行 11,798(초)보다 2배 以上 길게 나타난다는 것은 매표원의 당해 업무에 對한 숙련도에 의해서 나타난 결과임을 알 수 있었다.

③ 시뮤레이숀한 결과 客에 對한 서어비스 면으로 볼때 완벽한 서어비스를 위해서는 窓口의 증설이 필요하나 경제적인 面을 고려해서 結定해야 할 것이다.

④ 본 시뮤레이숀은 銀行窓口의 待期行列, 콘베어(Corveyer)시스템의 工程 라인(Line)등에 適用할 수 있다.

參 考 文 獻

1. 車均鉉 "漂流信頼度를 고려한 經濟的 回路設計에 대한 몬테칼로法의 適用" 大韓電氣學會誌 第24卷 第5號 pp. 482~491 Sep 1975.
2. 律田孝夫, "モソラカロ法と シミユレ|シヨゾ" 培風館, 1969.
3. C.W. Churchman, R.L. Ackoff and E.L. Arnoff "Introduction to Operations Research" John Wiley & Sons Inc. 1972
4. Hansun, M.H. and Others, Sampling Suney Method and Theory" John Wiley, 1956.
5. R.L. Ackoff and M.W. Sasiem, "Fundamentals of Operation Research" John wiley & Sons, 1968
6. Martin, F.F. "Computer Modiling and Simulation" John Wiley & Sons, 1968

附 錄

〔1〕 Programming

① 서어비스時間을 平均値를 취했을 때.

```
//FOR
*LIST ALL
*ONE WORD INTEGERS
*EXTENDED PRECISION
*ICCS(2501 READER, 1403 PRINTER)
      DIMƎNSION TI(1C), LA(100), UR(100)
      READ(8,10) N,NN,TS,TE,A
   10 FCRMAT(215, 3F13.7)
      DC 12 J=1.NN
```

```
      UA(J)=0
   12 UR(J)=0
      EUA=0.
      EUR=0.
      J=1
      IX=23769
   15 TK=0.
      DC17 I=I.N
   17 TI(I)=0.
   18 IF(TK-TE)20,125,125
   20 I=1
   25 IF(TI(I)-TK) 30,30,35
   30 TI(I)=TK+TS
      UA(J)=UA(J)+I
      GC TC 50
   35 IF(I.N) 40,45,40
   40 I=I+1
      GC TC 25
   45 UR(J)=UR(J)+1.
   50 CALL RANDU (IX,IY,R)
      IX=IY
      TAU=1/A•ALOG(R)
      TK=TK+TAU
      GC TC 18
  125 EUA=EUA+UA(J)
      EUR=EUR+UR(J)
      WRITE(5,520) UA(J), UR(J), TAU,TK
      J=J+1
      IF(J-NN)15,15,130
  130 AN=NN
      EUA=EUA/AN
      EUR=EUR/AN
      WRITE(5,135) EUA, EUR
  135 FORMAT(215, 3E13.6)
      WBITE(5.136) N.NN, TS, TE, A
  136 FORMAT (215, 3E, 3.6)
  520 FORMAT(3X, 4E13.6)
      CALL E×IT
```

② 서어비스時間을 랜돔하게 취 했을 때.

```
//FOR
*LIST ALL
*ONE WORD INTEGERS
*EXTENDED PRECISION
*ICCS(2501 READER, 1403 PRINTER)
      DIMENSION TI(10), LA(100), LR(100)
      READ(8,10) N,NN,AD,TE,A
   10 FCRMAT(215,3F13.7)
      CO12 J=I,NN
      UA(J)=C.
   12 UR(J)=C.
      EUA=0.
      EUR=0.
      J=1
      IX=23769
   15 TK=0.
      DC 17 I=1,N
   17 TI(I)=0.
   18 IF(TK-TE) 20,125,125
   20 I=1
   25 IF(TI(I)•TK) 30,30,35
   30 CALL RANDU)IX,IY,R)
      IX=IY
      TS=1/AD*ALOG(R)
      TI(I)=TK+TS
      UA(J)=UA(J)+1.
      GC TC 50
   35 IF(I+N) 40,45,40
   40 I=I+1
      GC TC 25
   45 UR(J)=UR(J)+1.
   50 TAU=-1/A*ALOG(R)
      TK=TK+TAU
      GC TC 18
  125 EUA=EUA+UA(J)
      EUR=EUR+UR(J)
      WRITE(5,520) UA(J),UR(J), TAU,TK
      J=J+1
      IF(J-NN)15,15,130
  130 AN=NN
      EUA=EUA/AN
      EUR=EUR/AN
      WRITE(5,135) EUA,EUR
  135 FORMAT (2E13.6)
      WRITE(5,136) N,NN,AD,TE,A
  136 FORMAT(215, 3E13.6)
  520 FORMAT(3X, 4E13.6)
      CALL EXIT
      END
```