

연쇄통행행태분석과 통행분포모형

김 형 진
국토개발연구원

連鎖通行行態分析과 通行分布模型

(Trip-Chaining Behavior and Trip Distribution Model)

김 형 진

(국토개발연구원)

目 次

I. 서론

II. 연쇄통행행태 비교 : 1970-1990

III. 연쇄통행행태의 실증적 분석

IV. 연쇄통행분포모형

V. 결론

ABSTRACT

This study provided an empirical analysis of trip-chaining behavior and its application to transportation planning. In the empirical analysis, changes in trip-chaining patterns since 1970 have been examined and details of current trip-chaining behavior as they describe shopping trip-chaining patterns have been analyzed. During the last two decades, individual trip-chaining behavior has changed. Individual trip-chaining has become longer and complex. It appears that the average number of trips per chains has substantially increased over the past 20 years. An increased number of trips in chains means fewer home-based trips.

Changes in trip-chaining behavior have several consequences. Important consequences are for transportation and land-use planning. Up to now trips have been treated as if they are independent clusters of home-to-destination-to-home; this approach has not usually taken into account the trip-chaining behavior of individuals. This calls for a different approach to at least the trip generation and trip distribution part of transportation planning. In this study, application of trip-chaining behavior to trip distribution model formulation is proposed and its calibration results are presented.

I. 서론

지금까지 교통계획 및 토지이용계획분야에서 널리 사용되어온 이론 및 모형들은 대부분의 통행이 가정(home)에서 출발한다는 가정에 근거하고 있다. 다시 말하면 개인의 통행은 가정→목적지 →가정(home-to-destination-to-home)이라는 단순하고 독립적인 단위(cluster)로 취급되어 연구되어 왔다. 그러나 1970년대 이후 고용인구의 증가로 인한 가계수입의 증가와 가구(家口)당 차량보유대수의 증가, 개인사회활동의 증가와 탈 도시화 등으로 개인의 통행행태는 더욱 복잡한 양상을 나타내고 있다. 개인의 통행들이 가정에서 출발하여 하나의 목적지에 도달한 후 귀가(歸家)하는 단순한 통행행태로부터 개인의 통행이 가정에서 출발하여 여러곳의 목적지를 순차적으로 도달한 후 귀가하는 복잡한 양상으로 급격히 바뀌고 있다. 따라서 단순한 통행행태에 근거한 도시교통계획과 토지이용계획분야는 새로운 이론적인 접근 방법을 필요로 하고있다.

본 연구의 목적은 1970년대이래 연쇄통행행태(trip-chaining behavior)의 변화를 실증적인 방법에 의하여 1990년대와 비교분석하고 그 결과를 도시교통계획의 통행분포모형과 지역간 상호이동모형에 적용하는 방안을 모색하고자 한다. 주 분석대상은 가장 현저한 연쇄통행행태의 변화를 나타낸 쇼핑연쇄통행(shopping trip-chaining behavior)을 대상으로 하였다.

II. 연쇄통행행태 비교 : 1970 - 1990

1. 연구대상지

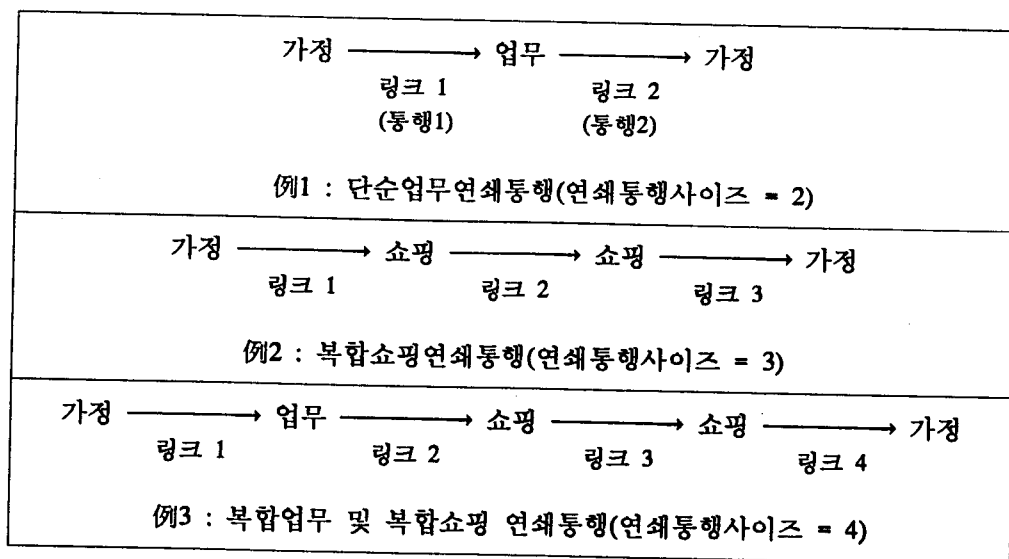
본 연구에서는 미국 일리노이주(Illinois) 시카고(Chicago)시 남서쪽에 위치한 듀페이지 카운티(DuPage County)를 연구대상지로 하였다. 듀페이지 카운티는 면적이 약 680km²으로 인구는 1970년 491,882명으로 그 중 고용인구는 199,352명이었으나 1990년에는 781,666명으로 59%증가하였으며 고용인구는 425,284명으로 113%가 증가하였다. 그러나 가구당 구성원수는 3.4명에서 2.7명으로 감소하였으며 가구당 고용인구는 1.4명에서 1.5명으로 증가하였다. 위의 20년동안 변화결과는 듀페이지 카운티가 전형적인 대도시 근교의 발전하는 지역으로 핵가족화 하는 양상을 나타내고 있으며 가구원수의 감소를 고려할 때 가구당 경제활동인구도 급격히 증가하는 현상을 보이고 있다.

2. 용어의 정의

현재 개인의 연쇄통행행태가 교통계획분야에서 많은 관심을 끌고 있지만 아직까지는 문제점과 해결방안이 충분히 정립되지 않은 초보적 연구수준에 머물고 있다. 비록 본 논문에서 사용된 연쇄통행행태 관련 용어들이 다른 연구논문에서도 동일한 의미로 사용되고 있지만 본 논문의 이해를 돕고자 여기서 다시 정의하고자 한다.

1) 용어의정의

- 연쇄통행은 가정(home)에서 출발하여 가정으로 돌아오는 개인의 순차적 목적지(sequential destination) 방문을 위한 통행으로 구성된다.
- 연쇄통행은 일련의 순차적인 목적지를 포함하며 이 목적지들은 어떠한 통행목적도 가능하다.
- 링크(link)는 연쇄통행내에서 각각의 통행을 나타내며 연속적인 링크의 집합 역시 연쇄통행으로 정의된다.
- 연쇄통행의 사이즈(size)는 연쇄통행내의 링크갯수로 표시된다.
- 연쇄통행에서 최소한 하나이상의 링크가 업무목적통행(work trip)일때 업무연쇄통행(work trip-chain)으로 정의되며 또한 최소한 하나이상의 링크가 쇼핑목적통행(shopping trip)일때 쇼핑연쇄통행(shopping trip-chain)으로 정의한다.
- 單純연쇄통행(simple trip-chain)은 귀가통행을 포함하여 2개의 통행(링크)으로 구성된 연쇄통행이다(그림1의 단순업무연쇄통행 참조).
- 複合연쇄통행(complex trip-chain)은 귀가통행을 포함하여 최소한 3개이상의 통행(링크)으로 구성된 연쇄통행이다(그림1의 두번째, 세번째 예 참조).



<그림1> 단순 및 복합연쇄통행의 예

3. 연쇄통행 행태비교

1) 서론

과거 20년동안 개인의 통행행태는 급격히 변화여 왔다. 일리노이주 듀페이지 카운티의 1970년과 1990년 통행행태를 비교하여 보면 개인의 1일 통행량은 변하지 않은 반면 개인의 연쇄통행량은 감소하고 있으며 가구당 통행량도 감소하고 있다. 이러한 경향은 대부분의 미국의 대도시지역에서 관찰되고 있으며 가장 현저한 통행행태의 변화는 개인의 연쇄통행행태의 변화에서 찾아볼 수 있다. 현재의 연쇄통행행태는 1970년에 비해 더욱 복잡화(complex)하고 있으며 이러한 결과는 가구구성, 고용상태 그리고 교통관련인자(예 : 승용차보유대수, 교통기반시설 등)등의 변화에 기인한다고 분석되고 있다. 과거 20년동안 가구당 인원수는 감소하였으며 여성의 고용증가로 인하여 가구당 근로자 비율은 급격히 증가하는 추세를 나타내고 있다. 이러한 결과로 1970년대와 비교하여 1990년대에는 가구당 근로자 비율의 증가로 개인의 비업무활동을 위한 시간은 줄어들고 있다. 따라서 개인의 비업무목적통행(nonwork trip)을 업무목적통행(work trip)과 유기적으로 연결하므로서 통행량을 감소시켜 개인의 비업무활동을 능률적으로 행하려고 하는 경향을 보이고 있다. 이러한 통행행태는 우리나라에서는 이미 보편화된 통행행태로 지금까지 서구에서 연구되어 널리 사용되어온 독립적인 목적통행행태에 근거한 교통계획은 최소한 통행발생(Trip Generation)과 통행분포(Trip Distribution) 연구분야에서 새로운 이론적인 접근방법을 필요로하고 있다.

2) 연쇄통행행태 비교 : 1970-1990

1990년 인구의 증가로 인하여 총 통행량은 1.5백만에서 2.2백만 통행으로 증가 하였다. 그러나 이러한 통행량의 증가가 다른 교통관련 인자들에 같은 비율의 증가로 나타나지 않았다. <표1>에 나타난 바와 같이 개인당 연쇄통행량과 가구당 연쇄통행량, 그리고 가구당 통행량은 오히려 감소하였다. 단 20년동안 변하지 않은 인자는 일일 개인당 통행량이다.

<표1> 듀페이지 카운티 1일 통행량 비교 : 1970-1990

구 분	1970년	1990년
총 통행량(백만통행)	1.5	2.2
통행량/인	4.3	4.2
통행량/가구	10.3	9.1
연쇄통행량/인	1.8	1.3
연쇄통행량/가구	4.3	2.8
통행량/연쇄통행	2.3	2.9

가구당 통행량과 연쇄통행량의 감소는 1990년 가구당 가구원 수의 감소(1970년 3.4인/가구, 1990년 2.7인/가구)에서 기인한다고 설명되어질 수 있다. 그러나 1970년대와 비교하여 개인의 활동성(mobility) 증가에도 불구하고 20년 동안 변하지 않은 개인의 일일 통행량과 개인의 연쇄통행량의 감소는 통행행태변화 분석의 관점에서 충분히 주목하여야 할 가치가 있다.

3) 연쇄통행량의 변화

<표2>는 1970년과 1990년의 연쇄통행량을 연쇄통행사이즈별로 비교한 것이다. 평균적으로 연쇄통행량은 1990년에 약 28%증가하였다. 그러나 단순연쇄통행의 경우 그 증가량이 평균보다 낮은 현상을 보이고 있다. 단순연쇄통행이 3.7% 증가한 반면 복합연쇄통행은 평균 114% 증가함을 나타내고 있다. 또한 단순연쇄통행량은 1970년 전체 연쇄통행량의 77.7%이었으나 1990년에는 63.0%로 14.7%가 감소하였다. 이러한 현상은 업무연쇄통행량의 비교에서 더욱 현저히 나타나고 있다(표3 참조).

<표2> 사이즈별 연쇄통행량의 변화

구 분	연쇄통행 사 이 즈	1970		1990		변화율(%)
		연쇄통행량	%	연쇄통행량	%	
단 순 연쇄통행	2	482,582	77.7	499,216	63.0	+3.7
복 합 연쇄통행	3	85,200	13.8	137,905	17.4	+61.9
	4	32,828	5.3	83,910	10.6	+155.6
	5	10,491	1.7	33,857	4.3	+222.7
	6+	9,299	1.5	37,168	4.7	+299.7
계		619,400	100.0	792,056	100.0	+27.9

업무연쇄통행량의 비교에서는 단순업무연쇄통행량의 증가가 1990년 평균증가량의 약 절반(51%)인 반면 복합업무연쇄통행량은 1990년 평균증가량의 2.5배(245%) 증가하였다. 그리고 단순업무통행량이 1970년에는 전체 업무연쇄통행량의 73.5%이었으나 1990년에는 55.0%로 18.5% 감소하였다. 이러한 현상은 업무연쇄통행이 더욱 복잡한 통행행태로 변화하고 있으며 비업무목적통행이 업무목적통행과 연결되어 행하여 짐을 나타내고 있다. 따라서 복합업무연쇄통행량이 증가함에 따라 비가정기반(nonhome-base) 비업무목적통행량도 증가하는 것으로 분석되고 있다.

<표3> 사이즈별 업무연쇄통행량의 변화

구 분	연쇄통행 사 이 즈	1970		1990		변화율(%)
		연쇄통행량	%	연쇄통행량	%	
단순업무 연쇄통행	2	120,684	73.5	181,827	55.0	+50.7
복합업무 연쇄통행	3	22,931	14.0	54,702	16.5	+138.6
	4	13,425	8.1	47,303	14.3	+252.4
	5	3,823	2.3	22,300	6.7	+483.3
	6+	3,386	2.1	24,483	7.4	+623.1
계		164,249	100.0	330,615	100.0	+101.3

4) 연쇄통행량의 변화요인 분석

가) 사회경제적 변화요인

가구구성의 특성은 연쇄통행의 복합화정도에 매우 중요한 영향을 미친다고 분석된다. 20여년동안 인구는 58.8% 증가한 반면 가구수는 96.2% 증가하였고 고용자수는 113.3%가 증가하였다. 이러한 변화의 결과로 평균가구원수는 3.4명에서 2.7명으로 감소하였다. 1970년에는 가구당 2명이상의 부양가족을 가진 남성근로자가 대부분이었으며 낮은 여성취업율(34%) 때문 대부분의 취업가능 여성들이 가사(家事)일을 책임지고 있었다. 그러므로 대부분의 비업무관련 통행들(예 : 쇼핑, 은행, 통학)은 비취업여성에 의하여 행하여졌으며 이러한 비업무관련통행들은 비교적 여유있는(flexible) 시간적 제약조건하에서 행하여 졌다. 따라서 비취업여성에 의하여 발생하는 비업무목적통행들은 업무목적통행과는 별도로 또는 독립적으로 발생되었다.

그러나 1990년대에는 여성취업율의 급격한 향상으로 가구당 필요한 비업무관련 통행을 위한 시간적 여유는 급격히 감소하였다. 따라서 비업무목적통행을 업무목적통행과 연계시킴으로서 귀가통행량을 감소시켜 효율적으로 비업무일들을 수행할 수 있었다. 연구논문들에 의하면 취업여성들은 비업무목적통행을 위해 비취업여성들 보다 더욱 복합화된 연쇄통행행태를 취한다고 분석되고 있다.

나) 교통관련인자 변화요인

자동차 보유대수의 증가로 인한 자동차 평균 승차율의 감소는 비업무목적통행을 업무목적통행과 연계시키도록 유도함을 알 수 있다. 예를들면 카풀(carpool)은 동승한 사람때문에 운전자가 자신의 비업무목적통행을 귀가하는 중에 업무목적통행과 연계하여 수행하는데 방해를 받을 수 있다. 따라서 가구수입의 증가에 따른 가구당 차량보유대수의 증가에 의한 평균승차율의 감소는 개인이 복합화된 연쇄통행행태를 취할 수 있도록 유도함을 알 수 있

다. 이와는 반대로 개인이 필요에 의하여 복합연쇄통행행태를 취함으로써 인하여 이를 위한 가구당 차량보유대수의 증가와 평균승차율의 감소 효과도 고려될 수 있다. 따라서 복합연쇄통행행태는 자동차 평균 승차율의 감소와 차량보유대수의 증가에 상호영향을 미침을 알 수 있다.

다) 교통경제적 요인

<그림2>는 개인의 복합연쇄통행이 가져다주는 경제적통행행태의 일예를 나타내고 있다. A형 통행행태는 3개의 단순연쇄통행에 의하여 3곳의 목적지를 방문할 수 있는 반면 B형 통행행태는 1개의 복합연쇄통행에 의해 4곳의 목적지를 방문할 수 있음을 알 수 있다. 더 우기 전체 통행량과 통행거리도 B형 통행행태가 적음을 알 수 있다. 다시 말하면 B형 통행행태는 더 적은 통행량과 통행거리로 A형 통행행태보다 더 많은 목적지를 방문할 수 있는 효율적인 통행행태임을 보여주고 있다. 이러한 결과는 B형 통행행태가 목적지통행들을 유기적으로 연결하여 귀가통행량을 감소시킴으로써 얻어진 결과이다. 이러한 현상은 과거 20여년동안 듀페이지 카운티에서 일어난 통행행태의 변화로 개인의 1일통행량에서는 20년동안 변화가 거의 없지만 사회, 경제활동의 증가로 인한 비주거지 방문횟수는 증가할 수 있음을 나타내고 있다.

연쇄통행행태 A		연쇄통행행태 B	
목적지방문수	3	목적지방문수	4
통행수	6	통행수	5
연쇄통행수	3	연쇄통행수	1

<그림 2> 2가지형태의 가상연쇄통행 행태분석의 예

4. 쇼핑연쇄통행행태 비교

1) 쇼핑연쇄통행량과의 변화

<표4>는 과거 20년동안 쇼핑연쇄통행행태의 현저한 변화를 나타내고 있다. <표3>에서 분석된 바와 같이 단순업무연쇄통행량은 1990년 전체통행량의 증가에 의해 적은 비율이나마 1970년보다 증가한 반면 단순쇼핑연쇄통행량은 전체통행량의 증가에도 불구하고 오히려 감소하고 있다(30% 감소). 또한 단순쇼핑연쇄통행이 1970년 총 쇼핑연쇄통행량의 60.1%인 반면 1990년에는 38.6%로 21.5% 감소하고 있다. 따라서 단순히 가정→쇼핑→가정과 같은 통행행태는 더이상 현재의 쇼핑통행행태를 대변하지 않음을 알 수 있다.

그리고 쇼핑통행량의 증가와 쇼핑연쇄통행량의 증가는 20년동안 인구증가와 쇼핑시설의 증가를 충분히 반영하지 못하고 있다. 20년 동안 인구는 59%증가한 반면 쇼핑통행량은 8% 증가하고 있다. 적은 쇼핑통행량의 증가는 1970년대에 비해 1990년대의 개인의 시간가치의 증가로 인한 효율적인 쇼핑행태로 설명되어질 수 있다.

<표4> 쇼핑연쇄통행량의 변화

구 분	연쇄통행 사 이 즈	1970		1990		변화율(%)
		연쇄통행량	%	연쇄통행량	%	
단순쇼핑 연쇄통행	2	102,986	60.1	71,484	38.6	-30.6
복합쇼핑 연쇄통행	3	47,573	27.8	53,381	28.9	+12.2
	4	12,815	7.5	28,122	15.2	+119.4
	5	4,443	2.6	15,349	8.3	+245.5
	6+	3,453	2.0	16,653	9.0	+382.3
계		171,270	100.0	184,989	100.0	+8.0
총쇼핑통행량		209,574		226,399		+8.0

2) 쇼핑시간의 변화

인구의 급격한 증가와 적은 쇼핑통행량의 증가에 의해 개인당 쇼핑통행량이 감소하였으므로 개인이나 가구에 필요한 양의 쇼핑물량을 충족하기위하여 1회 쇼핑당 쇼핑시간의 증가는 논리적으로 타당하다고 생각된다. 그러나 <표5>에서 나타난 바와 같이 개인의 1회쇼핑에 소모한 평균시간은 49분에서 42분으로 감소하였다.

<표5>쇼핑시간분포의 변화

쇼핑시간(분)	1970(%)	1990(%)
0-15	20.6	23.3
15-30	21.8	25.1
30-45	17.1	17.8
45-60	13.9	11.7
60-90	11.8	13.3
90+	14.8	8.8
계	100.0	100.0
평균	49분	42분

1회 평균쇼핑시간을 쇼핑연쇄통행의 사이즈별로 분석한 결과 쇼핑시간의 감소는 1990년 단순쇼핑연쇄통행량의 현저한 감소에서 기인함을 알 수 있다. <표6>에서 나타난 결과에 의하면 단순쇼핑연쇄통행에서의 평균쇼핑시간은 49.8분임에 반해 복합쇼핑연쇄통행에서는 평균쇼핑시간이 37분 정도임을 알 수 있다. 이러한 결과는 연쇄통행행태가 복합화함에 따라 개인의 쇼핑행태는 더욱 시간적 제약조건의 영향을 받음으로서 쇼핑에 할애할 수 있는 시간의 감소로 인하여 나타나는 결과로 분석되고 있다.

<표6> 쇼핑연쇄통행 사이즈별 쇼핑시간(1990)

구분	연쇄통행사이즈	쇼핑시간
단순쇼핑연쇄통행	2	49.8
복합쇼핑연쇄통행	3	38.6
	4	45.2
	5	34.9
	6	34.5
	7+	30.9

3) 쇼핑통행거리

<표7>에서 분석된 바와같이 쇼핑통행거리는 근본적 변화가 없음을 알 수 있다. 20년 동안 쇼핑연쇄통행량의 변화와 쇼핑센타 분포의 변화를 고려할 때 그 동안 변화가 거의 없는 쇼핑통행거리를 위하여 최소한 아래와 같은 2개의 경쟁적인 힘이 상호작용함을 알 수 있다.

첫째, 20년동안 쇼핑센타의 양적증가는 개인으로 하여금 더욱 가까운 거리에서 쇼핑을 가능하게 하므로 쇼핑통행 거리를 감소시키는 역할을 하였다.

둘째, 1990년 가장 가까운 거리의 쇼핑통행은 대부분 단순쇼핑연쇄통행이었으나

이 단순쇼핑연쇄통행량이 1970년 이래 급격히 감소하였다(표4 참조).

따라서 1990년 단순쇼핑연쇄통행량이 감소함에 따라 평균쇼핑통행거리는 증가하였으나 이 증가분이 쇼핑센터의 양적증가로 인한 평균 쇼핑거리의 감소로 상쇄되어 1970년 이래 평균쇼핑통행거리는 큰 변화가 없는 것으로 분석되었다.

<표7> 거리 구분에 의한 쇼핑통행거리 비교

쇼핑통행거리 구분(마일)	1970		1990	
	쇼핑통행량	%	쇼핑통행량	%
0-2.5	131,068	62.3	134,594	59.5
2.5-5.0	42,335	20.1	52,836	23.3
5.0-10.0	27,214	12.9	28,282	12.5
10.0+	9,786	4.7	10,678	4.7
계	210,403	100.0	226,399	100.0
평균	3.0마일		3.11마일	

III. 연쇄통행행태의 실증적 분석

1. 서론

제 2장에서 살펴본 바와 같이 1970년 이래 개인의 연쇄통행행태에 많은 변화가 있었다. 그 중 가장 큰 변화는 쇼핑연쇄통행행태의 변화에서 찾아볼 수 있다. 쇼핑연쇄통행은 더욱 복잡화 하고 있으며 따라서 비가정기반 쇼핑통행량이 급격히 증가하고 있다. 분석결과에 의하면 듀페이지 카운티의 전체 쇼핑통행량 중 58.7%가 비가정기반 쇼핑통행으로서 다른 목적통행(업무, 업무관련통행, 은행, 외식, 학교 등)과 연결되어 발생함을 알 수 있다. 따라서 제 3장에서는 실증적 분석에 의하여 쇼핑연쇄통행행태를 통행특성별로 분석하였다.

2. 쇼핑연쇄통행의 사회경제적 특성

제 2장에서 언급한 바와같이 복합쇼핑연쇄통행행태는 고용자에게 많이 나타나고 있다(표8 참조). 이러한 현상은 고용자들이 비고용자들보다 쇼핑을 위한 여유시간의 부족으로 인하여 쇼핑통행을 그들의 업무통행과 연계시켜 더욱 효율적인 쇼핑행위를 하려는데 기인한다.

<표8> 사회경제적 특성과 연쇄통행사이즈에 의한 쇼핑연쇄통행량

쇼핑연 쇄통행 사이즈	고 용 상 태		성 별		나이	가구당 승용차 보유대수	가구당 수입**	가구원 수
	고용	비고용	남자	여자				
2	36,341 (33.8)	34,561 (44.6)	28,545 (42.8)	42,357 (35.8)	49.9	2.0	5.0	3.1
3	30,183 (28.1)	22,247 (28.7)	18,187 (27.2)	34,243 (29.0)	48.0	2.2	5.1	3.0
4	16,545 (15.4)	11,332 (14.6)	7,875 (11.8)	20,002 (16.9)	46.6	2.0	4.9	3.0
5	10,450 (9.7)	4,648 (6.0)	5,127 (7.7)	9,971 (8.4)	44.0	2.0	4.8	2.9
6	5,138 (4.8)	2,453 (3.2)	2,603 (3.9)	4,988 (4.2)	43.4	2.2	5.2	3.0
7+	8,854 (8.2)	2,237 (2.9)	4,399 (6.6)	6,692 (5.7)	42.4	2.0	5.1	2.7
계	107,511 (100.0)	77,478 (100.0)	66,736 (100.0)	118,253 (100.0)				
평균	3.6*	3.0*	3.3*	3.5*	47.7	2.1	5.0	3.0

괄호안은 세로퍼센트

* 표는 평균 쇼핑연쇄통행 사이즈

** 가구당 수입분류

4 : \$ 40,000- \$ 59,999

5 : \$ 60,000- \$ 74,999

6 : \$ 75,000- \$ 99,999

남자와 여자의 통행행태를 비교하면 평균연쇄통행 사이즈는 차이가 크지 않으나 여성이 중간사이즈의 쇼핑연쇄통행행태를 취하는 반면 남자는 단순한 연쇄통행행태를 취하려는 경향이 있음을 알 수 있다. 전통적으로 남자에 비해 여자는 가사일에 많은 시간을 소비하여 왔으므로 여자 고용인구 증가에도 불구하고 여자들이 복합연쇄통행행태를 취함으로써 가사일을 위한 시간을 마련할 수 있음을 나타내고 있다. 그리고 단순연쇄통행행태는 복합연쇄통행행태보다 나이가 많은 사람들에게 나타남을 알 수 있다.

흥미롭게도 3가지 중요한 영향인자인 가구당 승용차보유대수, 가구당수입 그리고 가구원 수는 쇼핑연쇄통행사이즈별로 큰 차이를 나타내지 않았다. 그 원인은 위의 3가지 영향인자들이 이미 한계범위(saturation level)에 이르렀거나 혹은 연구대상지의 가구들의 사회경제적 인자들이 비교적 균일하게 분포함에 기인한다고 분석된다.

3. 연쇄통행사이즈별 쇼핑통행거리

<표9>에 나타난바와같이 평균쇼핑통행거리를 쇼핑연쇄통행 사이즈별 그리고 링크별로 분석한 결과가 다음과 같은 분석결과를 얻었다.

첫째, 단순연쇄통행에서의 최초 링크통행거리는 2.5마일이며 복합연쇄통행에서는 평균 3.0마일로 이러한 결과는 쇼핑이 단순연쇄통행에서 더욱 지역적(localized)임을 나타낸다.

둘째, 귀가통행바로전의 쇼핑통행거리가 대부분 가장 긴 것으로 나타났다. 이러한 결과는 개인이 마지막 단계의 쇼핑을 주거지 가까운 곳에서 하려는 경향에서 기인한다고 분석되며 이러한 결과는 마지막 쇼핑위치의 주거지 近接性 분석에서 증명되고 있다.

셋째, 귀가통행거리는 연쇄통행 사이즈가 증가함에 따라 증가하고 있으나 연쇄통행 사이즈별 평균통행거리의 차이(5.0마일)만큼 증가하지 않는다. 따라서 통행자의 연쇄통행내의 목적지 선정이 항상 주거지에서 멀어지지는 않는다고 결론지을 수 있다.

위의 분석결과를 토대로 가정한다면 만약 통행거리나 통행시간이 목적지 선정의 효용을 위한 유일한 판단 기준이라면 통행거리나 통행시간에 의한 저항(impedance)은 연쇄통행사이즈별 그리고 링크별로 서로 다를 것이다. 따라서 통행거리나 통행시간에 의한 저항은 최초의 링크에서 가장 클 것이고 마지막 링크에서 가장 작을 것이다. 이러한 관점에서 연쇄통행행태를 통행분포모형에 적용할 수 있는 하나의 대안은 연쇄통행 사이즈별, 링크별로 서로 다른 모형을 정립하는 것이다.

<표9> 쇼핑연쇄통행 사이즈별, 링크별 쇼핑통행거리

(단위 : 마일)

연쇄통행사이즈	링크1	링크2	링크3	링크4	링크5	링크6
2	2.51	2.51*				
3	2.76	3.75	2.73*			
4	3.09	3.41	3.63	3.71*		
5	2.81	2.65	3.62	3.81	4.00*	
6	5.44	3.55	2.97	3.34	4.73	4.21*

*는 귀가통행거리

4. 순차적 목적지 선정

초기의 대부분 연쇄통행행태 분석에 대한 연구들은 개인의 목적통행들이 연쇄통행 내에서 어떻게 유기적으로 연계되고 있는가를 규명하기 위해 통행순서(trip sequence)의 연구에 초

점을 맞추었다. 듀페이지 카운티의 통행행태분석에서도 통행순서에 의한 통행들간의 뚜렷한 연계성들 발견할 수 있다. 예를들면 일반적으로 업무통행이 쇼핑연쇄통행내에 포함되어 있으면 업무통행은 대부분 쇼핑통행보다 앞서 발생하는 경향이 있다.

<표10>은 쇼핑연쇄통행 사이즈 3 과 4에서의 발생가능한 모든 통행순서의 조합과 쇼핑연쇄통행 사이즈 5 와 6에서 극단(최대,최소)의 발생가능한 조합을 분석하였다. <표10>에서 나타난바와 같이 대부분의 쇼핑통행은 귀가전 마지막 목적지 선정에서 발생하였다. 쇼핑연쇄통행별 평균쇼핑통행량이 1.2임을 고려한다면 연속적인 쇼핑통행연계는 매우 적은 비율임을 알 수 있다.

<표10> 쇼핑통행순서

체인사이즈	통행순서별 유형	퍼센트
3	H-S-S-H	22.3
	H-S-X-H	19.2
	H-X-S-H	58.5
4	H-S-X-X-H	9.2
	H-S-S-X-H	6.0
	H-S-S-S-H	6.5
	H-X-S-S-H	14.4
	H-X-X-S-H	32.1
	H-S-X-S-H	4.8
	H-X-S-X-H	26.9
5	H-S-S-S-S-H	2.0
	H-S-X-X-X-H	6.1
	H-X-X-S-X-H	19.1
	H-X-X-X-S-H	31.7
6	H-X-X-X-X-S-H	21.0

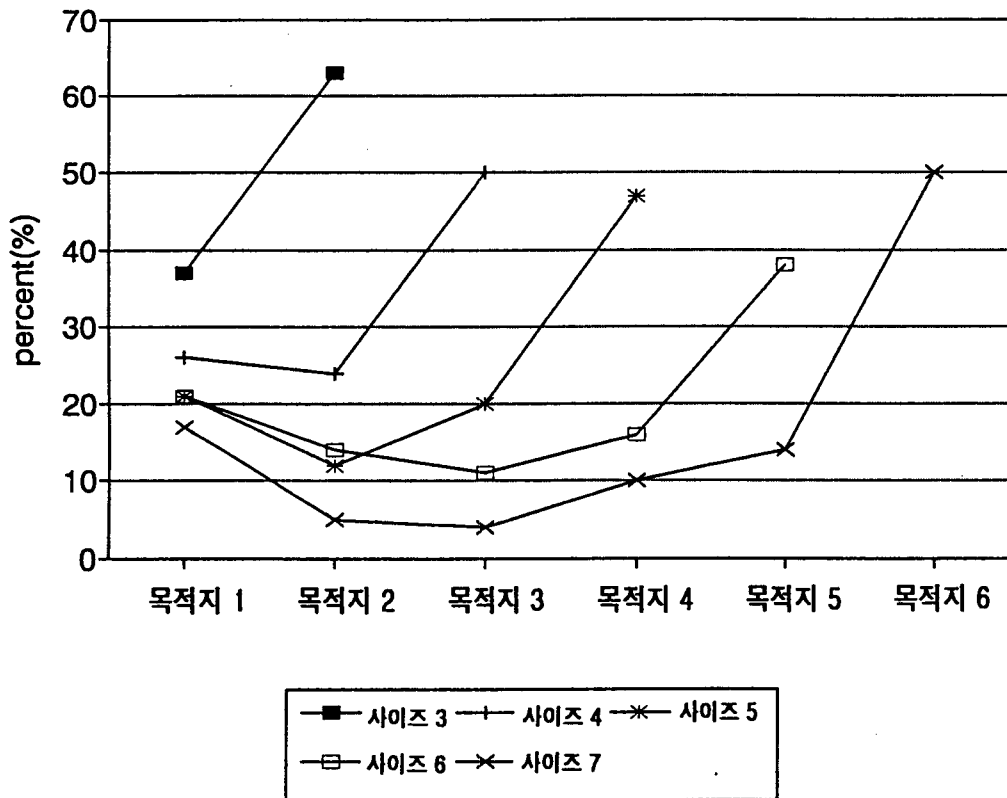
H=가정 S=쇼핑 H≠X≠S

5. 목적지의 주거지 近接性

<그림3>은 연쇄통행내에서 선정된 목적지들의 주거지 근접성정도를 나타내고 있다. 목적지들의 주거지 근접성 판단은 주거지에서 연쇄통행내의 선정된 목적지들 까지 각각의 거리를 계산하여 주거지로부터 최근거리에 있는 목적지중에서 몇 퍼센트가 각각의 목적지(첫번째, 두번째, ...)인가를 분석하였다. 예를 들면 연쇄통행사이즈4에서 주거지로부터 최근거리의 목적지들은 첫번째 목적지가 26%, 두번째 목적지가 24% 그리고 세번째 목적지가

50%로 나타났다(26+24+50=100%). 여기서 네번째 목적지는 주거지(home)이므로 고려되지 않았다.

<그림3>에서 나타난 바와같이 개인이 목적지 선정과정에서 귀가전 마지막 목적지선정이 주거지와 가장 근접한 거리에 있음을 알 수 있다. 이러한 분석결과는 귀가전 마지막 쇼핑통행거리가 주거지에서 근접한 위치에서 쇼핑하기 위해 길어진다는 앞의 결론을 뒷받침하고 있다.



<그림3> 연쇄통행 목적지의 주거지 근접성

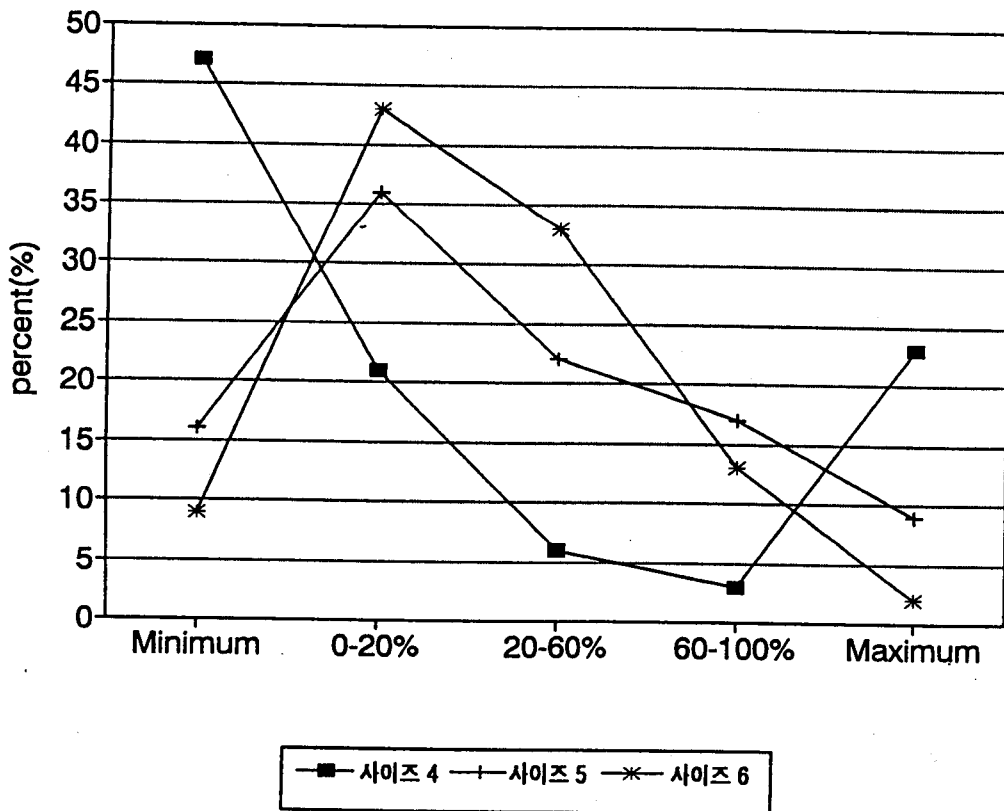
6. 연쇄통행 노선선택행태

<그림4>는 쇼핑연쇄통행내에서 개인의 순차적목적지선정이 총 통행거리(쇼핑연쇄통행거리를 최소화하려는 경향이 있는지에 대해서 분석하였다. 본 논문의 분석결과는 이미 몇몇 학자들에 의해 분석된 결과와 같이 개인이 목적지 선정에 있어서 총 연쇄통행거리를 최소화하지 못한다는 결론을 얻었다.

<그림4>에서 분석된 바와같이 쇼핑연쇄통행이 더욱 복잡화할수록 최소통행거리를 선택하

는 비율이 낮아짐을 알수있다. 예를 들면 쇼핑연쇄통행 사이즈4에서는 총연쇄통행량의 47%가 최소통행거리를 선택한 반면 연쇄통행사이즈 5와6에서는 각각 16%와 9%만이 최소통행거리를 선택하였다. 이러한 결과는 연쇄통행이 복잡화 할수록 통행이 더욱 많은 제약조건(목적지 선정순서, 노선정보의 부족 등)의 영향을 받고 있음을 의미한다. 예를 들면 쇼핑연쇄통행에 업무통행이 포함되어 있으면 다른 목적통행들은 목적지선정순서나 목적지위치 선정 등에서 업무통행의 영향을 받고 있다. 세부 분석에 의하면 업무목적통행은 대부분 다른 목적통행에 선행하며 업무목적통행 때문에 최소통행거리를 위한 목적지 선정에 많은 애로가 있다고 분석되고 있다.

그러나 연쇄통행이 더욱 복잡화 할 경우(연쇄통행 사이즈 5와6) 증가되는 제약조건에도 불구하고 최소통행거리와 최대통행거리의 차이가 크므로 최대통행거리를 선택하는 비율은 급격히 낮아지며 최소,최대 통행거리 차이의 20%내의 노선을 선택하는 비율이 급격히 증가함을 볼때 통행자들이 비교적 통행거리를 최소화하는 방향으로 순차적목적지를 선정함을 알수있다. 그리고 세부 분석에 의하면 최대통행거리를 선택하는 통행자들은 최소통행거리를 선택하는 통행자들보다는 젊고, 남성보다는 여성이 그리고 고용자로 분석되고 있다.



<그림4> 쇼핑연쇄통행의 노선선택 행태

IV. 연쇄통행분포모형

1. 서론

연쇄통행행태를 통행분포모형에 적용하기 위하여는 2가지의 대표적인 접근방법이 고려될 수 있다. 개인이 주어진 목적지들을 방문함에 있어서 최초 출발점에서 전체 방문 목적지들의 총 효용(통행비용, 시간, 방문순서 등)을 고려한 일괄 목적지선정 접근방법(simultaneous approach)과 개인이 각각의 목적지에서 다음 목적지를 선정하는 순차적 목적지 선정방법(sequential approach)이 있다. 본 논문에서는 모형의 복잡성 및 모형정산의 용이성 등을 고려하여 순차적 목적지선정방법에 의하여 모형을 정립하였다.

2. 모 형

연쇄통행행태를 고려한 통행분포모형은 현재 가장 널리 사용되고 있는 중력모형을 이용하여 연쇄통행의 사이즈별 링크별로 순차적으로 적용하였다. 본 연구에서 적용하고 있는 모형은 윌슨(Wilson)의 모형을 일반화한 중력모형이다. 일반화 중력모형(Generalized Gravity Model)에서 링크 S의 기점(origin)과 종점(destination)의 관측통행량의 예측치는 아래와 같이 정의 할 수 있다.

$$E[N_{ij}(s)] = T_{ij}(s) = A_i(s)B_j(s)F_{ij}(s) = A_i(s)B_j(s)\exp\left[\sum_{k=1}^K \theta_s^k c_{ij}^{(k)}\right] \quad (1)$$

$T_{ij}(s)$: 링크 s에서 기점 i와 종점 j간 관측통행량의 예측치

$A_i(s)$: 링크 s의 기점 i인자

$B_j(s)$: 링크 s의 종점 j인자

$F_{ij}(s)$: 링크 s에서 기점 i와 종점 j간의 저항인자

$c_{ij}^{(k)}$: 기점 i와 종점 j간의 k통행비용

θ_s^k : 링크 s에서의 k통행비용 파라메타

식(1)에 나타난 바와 같이 기·종점간의 통행비용 $c_{ij}^{(k)}$ 은 링크와 관계없이 기·종점에 따라 서로 같으나 통행비용 파라메타는 링크별로 서로 틀린값을 가질 수 있다. 본 연구에서는 모형의 정산을 위하여 연쇄통행 사이즈별로 모형은 정립하였다. 모형정산을 위하여 사용한 자료는 앞에서 기술한 바 있는 미국 시카고지역 듀페이지 카운티의 쇼핑연쇄통행 자료를 사용하였으며 모형정산 결과는 <표11>과 같다.

3. 모형정산 결과

<표9>에서 나타난 바와같이 쇼핑통행 거리는 첫번째 링크에서 짧은 경향이 있으며 마지막 링크에서 길어지는 경향이 있다. 따라서 위에서 언급한 쇼핑통행행태를 고려할 때 연쇄통행 사이즈별로 첫번째 링크에서 통행시간의 저항계수가 가장크며 마지막 링크에서 저항계수가 가장 적다는 가정을 세울수 가 있으며 <표11>에서 나타난 모형정산결과가 이를 잘 반영한다고 할 수 있다.

<표11> 연쇄통행분포모형 파라메타(θ_s^k) 정산치

구 분	연 쇠 통 행 사 이 즈				
	2	3	4	5	6
링 크 1	-1.1307 (0.0204)	-1.1983 (0.0459)	-1.2221 (0.0931)	-2.1122 (0.3226)	-2.3070 (0.7482)
링 크 2		-0.8811 (0.0228)	-1.0545 (0.0482)	-1.1630 (0.1137)	-1.0634 (0.2214)
링 크 3			-0.8573 (0.0411)	-1.0133 (0.0812)	-1.4718 (0.2214)
링 크 4				-1.1188 (0.0764)	-1.0866 (0.1742)
링 크 5					-0.9926 (0.1381)

괄호안은 표준편차

모형의 적합도 검증을 위하여 카이스퀘어 검증(Chi-square test)방법을 사용하였으며 검증 결과는 <표12>와 같다.

<표12> 연쇄통행분포모형 정산결과의 카이스퀘어 비율

구 분	연 쇠 통 행 사 이 즈				
	2	3	4	5	6
링 크 1	0.68 (0.1857)	0.71 (0.2851)	0.67 (0.3135)	1.46 (0.8429)	0.48 (1.9991)
링 크 2		0.60 (0.1153)	0.65 (0.2420)	0.64 (0.3887)	0.79 (0.5152)
링 크 3			0.58 (0.1479)	0.72 (0.2563)	0.59 (0.8924)
링 크 4				0.97 (0.2969)	0.84 (0.6173)
링 크 5					0.69 (0.4004)

괄호안은 카이스퀘어의 표준편차

<표12>에서 나타난 바와같이 연쇄통행행태를 고려한 통행분포모형의 정산결과는 모형이 관측치를 잘 반영한다고 결론지을 수 있다. 연쇄통행 사이즈 2, 3 을 제외하고는 표준편차가 비교적 큰편이지만 유의수준 10%의 범위에서 연쇄통행분포모형이 연쇄통행 사이즈별 링크별로 서로 다른 모형임을 알 수 있다.

연쇄통행의 순차적 목적지 선정순서를 모형화하기 위하여 조건확률모형을 정립하였다. 통행이 링크에서 기점 i 를 출발하여 종점 j 로 갈 조건확률 $x_{ij}(s)$ 는 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$x_{ij}(s) = \frac{T_{ij}(s) / \sum_i \sum_j T_{ij}(s)}{\sum_j (s) / \sum_i \sum_j T_{ij}(s)} = T_{ij}(s) / \sum_j T_{ij}(s). \quad (2)$$

따라서 기점 i 에서 s_1, s_2, \dots, s_n 링크를 통과하여 종점 j 까지 도달하는 총 연쇄통행 사이즈를 고려한 조건확률 P_{ij} 는 아래와 같다.

$$P_{ij} = x_{ij}(1) + \sum_{k=1}^n x_{ik}(1) x_{kj}(2) + \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n x_{ik}(1) x_{kl}(2) x_{lj}(3) + \dots \\ \dots + \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \sum_{o=1}^n x_{ik}(1) x_{kl}(2) \dots x_{oj}(n). \quad (3)$$

위의 식(3)을 매트릭스 기호로 표시하면

$$P = X(1) + X(1)X(2) + X(1)X(2)X(3) + \dots \\ \dots + X(1)X(2)X(3) \dots X(n). \quad (4)$$

위의 식(3)에서 주목하여야할 점은 P_{ij} 가 모든 가능한 조합의 경로와 연쇄통행 사이즈를 고려하였으며 이 모형은 통행목적별로 세분화된 모형을 정립할 수 있다.

V. 결론

1970년과 1990년 개인의 통행행태의 변화 분석에서 연쇄통행행태의 현저한 변화가 나타났다. 1970년 이래 개인의 일일 통행량에는 변화가 없는 반면 1990년의 연쇄통행행태는 1970년에 비해 더욱 복잡해지고 있다. 이러한 결과는 고용인구의 급격한 증가와 차량보유대수의 증가에 기인한다고 분석되고 있다. 가구당 고용자비율의 증가와 그에 따른 비업무목적 활동을 위한 시간의 제약은 복합연쇄통행행태에 의한 효율적인 통행횟수 감소로 극복하려는 경향이 나타나고 있다.

이러한 연쇄통행행태의 변화를 토대로 쇼핑연쇄통행의 통행행태를 실증적으로 분석한 바 단순쇼핑연쇄통행량은 절대량에서 감소하였으며 복합쇼핑연쇄통행량은 반대로 급격히 증가하였다. 다시 말하면 개인의 가정기반 쇼핑통행량은 급격히 감소하였고 이에 반하여 비가정기반 쇼핑통행량은 증가하였다. 따라서 대부분의 쇼핑통행이 비가정기반이므로 가정기반 통행에 근거한 교통계획 및 토지이용분야의 연구들은 아래와 같은 새로운 접근방법을 필요로 하고 있다.

첫째, 쇼핑연쇄통행행태의 세부 실증적분석결과 연쇄통행내에서의 목적통행(링크)들은 서로 유기적으로 연계되어 있으며 각기 다른 통행특성을 나타내고 있다. 따라서 전통적인 통행발생 및 통행분포모형에서 연쇄통행행태를 고려한 새로운 모형정립이 요구된다.

둘째, 1990년대의 토지이용패턴(pattern)은 1970년대와 비교하여 많은 점에서 서로 다를 것이다. 예를들면 대부분의 쇼핑통행이 업무통행과 귀가통행사이에서 발생하기 때문 쇼핑센타입지선정에 있어서 직장의 위치와 함께 가정의 위치가 중요한 입지선정 결정인자로 고려되어야 할 것이다.

셋째, 연쇄통행행태가 더욱 복잡화함에 따라 비업무목적통행이 업무목적통행에 연계되어 발생하므로 혼잡시 비업무목적통행량이 증가할 것이다. 그 결과로 전반적인 혼잡시간대의 연장과 혼잡비율의 증가가 예상되므로 이에 대한 심도있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

본 논문에서는 연쇄통행행태를 통행분포 모형에 적용하는 방안을 모색하였다. 모형정립을 위하여 일반화 중력모형을 연쇄통행 링크별, 사이즈별 순차적 적용방법이 고려되었다. 이러한 접근방법은 기존의 모형구조를 크게 변형시키지 않고 연쇄통행행태를 모형에 반영할 수 있는 장점을 가지고 있으며 모형정산결과 매우 유용한 방법임이 입증되었다.

參考文獻

Borgers, A. and Timmermans, H., (1986), "A Model of Pedestrian Route Choice and Demand for Retail Facilities within Inner-City Shopping Areas", Geographical Analysis, Vol. 18, pp. 115-128.

Chicago Area Transportation Study, (1992), CATS Household Travel Surveys, Vol. 4, Documentation for the DuPage County Areas, Chicago Area Transportation Study, Chicago, Illinois, August.

Clarke, M.I., Dix, M.C., Jones, P.M., and Heggie, I.G., (1981), "Some Recent Development in Activity-Travel Analysis", Transportation Research Record, Vol. 794, pp. 1-8.

Exter, T.G., (1992), "Middle-Aging Households", American Demographics, Vol. 14(July), pp. 63, 1992a.

Exter, T.G., (1992), "Home Alone in 2000", American Demographics, Vol. 14(September), pp. 67, 1992b.

Goulias K.G. and Kitamura, R., (1989), "Recursive Model System for Trip Generation and Trip Chaining", Transportation Research Record, Vol. 1236, pp. 59-66.

Hanson, S., (1979), Urban Travel Linkage. A Review, In Behavioral Travel Modeling, eds. D. Hensher and P. Stopher, pp. 81-100, London, Croom Helm.

Hu, P. and Young, J., (1992), "Summary of Travel Trends", 1990 National Personal Transportation Survey, Federal Highway Administration, pp. 43.

Kim, H.J., Sen, A., and Soot, S., (1993), The Changing Nature of Shopping Trips and Their Contribution to Increasing Travel Demand and Highway Congestion, Presented at the 40th North American Meetings of Regional Science Association International, Houston, Texas.

Kitamura, R., (1988), "An Evaluation of Activity-based Travel Analysis", Transportation,

Vol. 15, pp. 9-34.

Nishii, K., Kondo, K., and Kitamura, R., (1988), "Empirical Analysis of Trip Chaining", Transportation Research Record, Vol. 1203, pp. 48-59.

O'Kelly, M. and Miller, E., (1984), "Characteristics of Multistop, Multipurpose Travel, An Empirical Study of Trip Length", Transportation Research Record, Vol. 976, pp. 33-39.

Oster, C., (1979), "Second Role of the Work Trip: Visiting Non-Work Destinations", Transportation Research Record, Vol. 728, pp. 79-82.

Pas, E.I., (1984), "The Effect of Selected Sociodemographic Characteristics on Daily Travel-Activity Behavior", Environment and Planning A, Vol. 16, pp. 571-581.

Strathman, J.G., Dueker, K.J., and Davis, J.S., (1993), Effects of Travel Conditions and Household Structure on Trip Chaining, Paper Presented at the 72nd Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C.

Thill, J. and Thomas, (1987), I., "Toward Conceptualizing Trip-chaining Behavior, A Review", Geographical Analysis, Vol. 19, pp. 1-17.

Tomlinson, J., Bullock, N., Dickens, P., Steadman P., and Taylor, E., (1993), "A Model of Students' Daily Activity Patterns", Environment and Planning A, Vol. 5, pp. 231-266.

Wheeler, J., (1972), "Trip Purposes and Urban Activity Linkages", Annals, Association of American Geographers, Vol. 62, pp. 641-654.