

■ 論 文 ■

## Downs-Thomson의 역설은 존재하는가?

(수도권을 중심으로)

The Equilibrium Between Public and Private Transports in Seoul Metropolitan Area

김 강 수

(한국교통연구원 연구위원)

육 동 형

(한국교통연구원 연구위원)

조 혜 진

(한국건설기술연구원 수석연구원)

### 목 차

- |                        |                  |
|------------------------|------------------|
| I. 서론                  | V. 수도권의 수단분담율 변화 |
| II. 이론적 고찰             | IV. 결론           |
| III. 실증적 사례 및 기존 연구 고찰 | 참고문헌             |
| IV. 수도권 of 수단별 통행시간 비교 |                  |

Key Words : 수단간 균형, Downs-Thomson paradox, 승용차 억제수요, 통행시간비율, 수단분담율

### 요 약

Thomson(1977)은 수단간 균형상태가 여러 교통 수단간에도 존재할 수 있음을 주장하였다. 즉, 특정 기·종점 간의 개인교통수단과 대중교통수단의 매력도(attractiveness)가 이용자 균형상태의 각 경로들의 통행시간 균형처럼 각 수단간에도 균형이 존재 할 수 있음을 제안하였으며, Mogridge(1985)는 이를 실제로 통행시간의 측면에서 런던과 파리의 예를 들어 균형상태가 존재함을 증명해 보았다.

본 연구에서는 각 수단간의 균형상태가 존재하는가에 대한 실증적 예를 수도권을 대상으로 파악해보고 교통 정책적 관점에서 이를 어떻게 해석할 수 있는가에 대한 시사점을 알아보았다. 결론적으로 서울을 기점으로 거리별로 대중교통수단과 승용차의 통행시간 비율과 수단분담율을 분석한 결과 균형이론의 밑바탕이 되는 승용차 억제수요의 행태변화가 이론과 실재가 상이하여 현실에서는 Thomson의 균형이론이 성립하기 어려운 것으로 판명되었다.

Thomson(1977) proposed that the equilibrium status can exist among modes when each mode's attractivenesses are equal. His theories' key point is that when the equilibrium status is achieved the additional investment for individual car user such as constructing more roads or widening the existing roads, can lead to more congestion. That's the so called 'Downs-Thomson's Paradox.

This paper is intended to demonstrate that the paradox is applicable to Seoul Metropolitan area. Before doing that job, we reviewed Downs-Thomson's paradoxes related papers such as Mogridge's (1985) research for London case, and Seung Jea-Lee's(2004) research for Seoul.

In conclusion, the equilibrium status that Thomson proposed can't be applied to Seoul Metropolitan area, because the suppressed demand's behaviour is different from real situation and that of in the theory.

### 1. 서론

4단계 교통수요추정의 마지막 단계인 통행배정단계에서 가장 많이 사용되는 통행배정 이론은 이용자 균형 (User Equilibrium) 모형이다. 이 이론의 기본적인 가정은 '기·중점간의 이용된 경로는 이용되지 않은 경로보다 더 작거나 같은 통행시간을 보인다.'라는 Wordrop의 제1원칙에 바탕을 두고 있다. 이용자 균형모형은 일반적으로 개인교통수단을 대상으로 기·중점간의 통행시간을 이용한 다양한 경로들의 균형상태를 가정하는데, 교통망 내에서 이용자 균형통행배정을 통해 누구도 더 이상 통행시간을 줄일 수 없는 다양한 경로간의 균형을 이룩하는 것을 말한다. Thomson(1977)은 이러한 균형상태가 여러 교통 수단간에도 존재할 수 있음을 주장하였다. 즉, 특정 기·중점간의 개인교통수단과 대중교통수단의 매력(attractiveness)이 이용자 균형상태의 각 경로들의 통행시간 균형처럼, 수단간에도 매력이 같아지는 방향으로 이용자들의 수단간 전환이 일어나다가 균형이 이루어진다는 것이다.

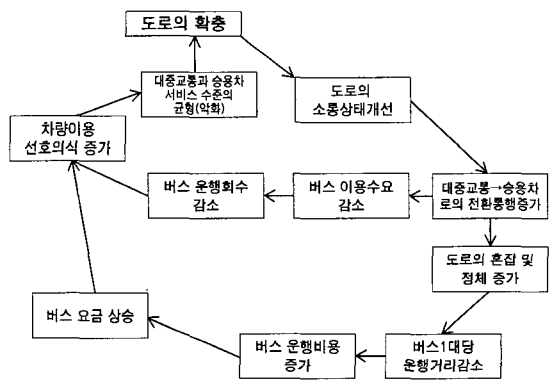
Downs-Thomson은 균형이론을 바탕으로 수단간 균형이 이루어진 상태에서는 개인교통수단을 위한 도로망 확충은 오히려 교통 혼잡을 초래하여 시스템 전체의 통행비용을 상승시킬 수 있다고 주장하였다. 즉, 도로망의 확충은 도로의 용량을 증가시키므로 도로 이용자들의 통행시간 절감을 가져올 것이나, 그와 반대로 통행비용의 상승이 유발되는 비합리적인 결과를 초래한다는 것이다. 상식이 어긋나면서 실제로는 존재하는 현상을 우리는 역설(paradox)이라고 일컫는다는 점에서 이를 Downs-Thomson의 역설<sup>1)</sup>이라고 한다.

본 논문의 목적은 이러한 Thomson (1977)의 교통수단간 균형이론을 구체적으로 설명하고, 이 이론이 시사하는 바를 해석한 후, 우리나라의 수도권을 사례로

Downs-Thomson 역설이 실제로 존재하는가에 대해 다년간의 인구 센서스 자료를 이용하여 검증한다. 또한 교통 정책적 관점에서 이를 어떻게 해석하고 반영해야 하는가에 대한 시사점을 제시 하고자 한다.

### II. 이론적 고찰

영국의 Downs(1962)와 Thomson(1977)은 개인교통을 위한 도로용량의 증가는 대도시 교통혼잡을 감소시키는게 아니라 오히려 대도시 전체의 통행비용을 상승시킨다고 주장하였다. 즉, 대도시의 승용차와 대중교통의 서비스 수준은 서로 "균형"<sup>2)</sup> 상태에 존재하며, 개인교통수단의 통행여건 개선을 위한 도로의 확충과 같은 도로 용량증대 노력은 오히려 전체적인 교통망내 통행비용을 증가시킨다고 주장하였다. <그림 1>이 이러한 주장을 도식적으로 표현한 것이다. 예를 들어, 도시부 도로의 확충은 단기적으로는 도로의 소통을 개선시키나, 이는 곧 대중교통이용자들을 승용차로 전환하도록 유도하는 결과를 초래한다. 대중교통수단에서 승용차로의 전환은 두 가지 악영향을 유발하는데, 첫째는



<그림 1> Thomson 균형이론에 따른 도로확충의 악순환

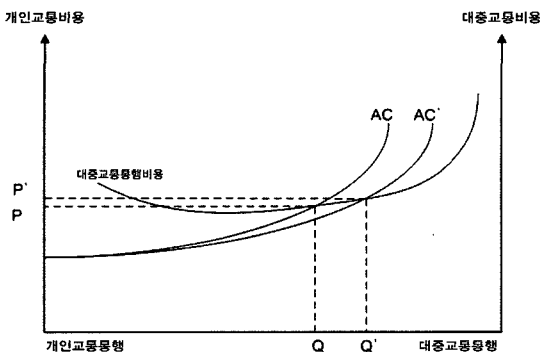
1) Downs-Thomson의 역설이외에도 승용차와 대중교통수단간의 균형이론에 바탕을 둔 이론으로써 Mogridge(1995)가 주장한 Edgeworth 역설이 있다. Edgeworth 역설 또한 Downs-Thomson의 역설과 마찬가지로 승용차의 통행비용 곡선이 대중교통수단의 통행비용곡선과 다름으로 인해 발생하는 현상이지만, 도로의 확충이 아닌 통행료나 세금을 부과하여 승용차 이용자의 통행비용을 증가시킨다는 데 Downs-Thomson의 역설과 차이가 있다. 한편, Brassess의 역설은 교통혼잡을 완화하기 위해 신설된 도로가 오히려 교통혼잡을 증가시킨다는 모순이다. 즉, 도로 신설 후 총 통행시간의 증가현상이 나타나는데, 이는 각각의 운전자가 그 자신의 통행시간을 최소화하지, 다른 네트워크 이용자에게 미치는 영향을 고려하지 않는 이유에서 출발한다. Brassess의 역설이나 Downs-Thomson의 역설 모두 혼잡완화를 목적으로 하는 도로확충사업은 교통체계내에서의 교통수단 이용자들의 특성으로 인해 오히려 혼잡을 일으킬수 있다는 데에 공통점이 있다. 그러나 Brassess의 역설인 경우, 이용자 최적과 체계최적간의 바라보는 관점에서의 차이에서 비롯되는 총통행비용의 증가이므로 이론적 시각을 어느 하나의 목적합수를 기준으로 본다면 역설이라고 보기 어려운 측면이 존재하며, 이에 대한 실증적인 연구도 거의 존재하지 않는다.

2) Thomson(1997)은 "Great Cities and their Traffic"이라는 책에서 Wordrop(1952)이 제안한 경로통행시간의 균형이론을 확장시켜 교통수단들 사이의 균형이론을 제시하였다. 다시 말해, 도로망에서 특정한 기·중점을 연결하는 다양한 경로들의 통행시간은 서로 같아진다는 Wordrop의 균형이론과 비슷하게, 교통수단 측면에서 대중교통과 승용차의 서비스 수준(통행시간, 속도 등)은 서로 비슷해지려는 경향이 있다고 주장하였다.

승용차 이용자의 증가로 도로의 혼잡 및 정체가 증가한다는 것이고, 둘째는 버스 이용자의 감소로 버스의 대중교통 서비스 수준(요금, 운행회수)이 악화된다는 것이다. 두 가지 모두 결과적으로는 승용차와 대중교통수단 모두의 통행비용을 상승시킨다.

〈그림 2〉는 Downs-Thomson 역설의 경제적 해석이다. 교통량이 고정적일 때 개인교통과 대중교통의 공급곡선을 서로 반대편 y축을 기준으로 나타내면 곡선 교차점은 결정적 사용자 균형(deterministic user equilibrium)을 의미하게 된다. 이때 개인 교통수단을 위해 도로용량을 증가시키면 개인교통의 공급곡선은 오른쪽으로 전이( $AC \rightarrow AC'$ )하게 되는데, 이때 새로운 교차점은( $P \rightarrow P'$ ) 더 높은 균형통행비용을 형성한다. 즉, 승용차의 통행이 많아지면 승용차 평균비용이 증가되고, 이러한 상황에서 도로용량이 확장됨에 따라 수단간의 상호 통행비용이 서로 같아지는 방향으로 사람들의 교통수단이용 행태가 바뀐다는 것이다. 따라서 이 이론에 의하면, 대도시권 등에서 나타나고 있는 승용차에서 대중교통으로의 교통수단 전환은 도로교통과 대중교통의 서비스 수준이 동일한 균형을 이룰 때까지 계속된다는 것이다.

이러한 Downs-Thomson의 역설에 바탕을 이루는 Thomson의 이론의 출발점은 승용차 억제수요(suppressed demand)<sup>3)</sup>의 행태 변화에 대한 가정에 있다. 즉, Downs-Thomson의 역설에서는 대중교통수단의 서비스 수준이 승용차보다 높은 경우, 승용차 억제수요가 발생하



〈그림 2〉 Downs-Thomson's Paradox

여 승용차에서 대중교통수단으로 전환이 발생하고, 승용차의 서비스 수준이 대중교통수단의 서비스 수준보다 높은 경우는 새로운 통행발생량의 수요가 승용차로 전환하게 되어 승용차의 서비스 수준이 떨어져, 결국 대중교통수단의 서비스 수준에서 균형을 이루게 된다고 가정한다<sup>4)</sup>.

결론적으로 Downs-Thomson의 역설은 기본적으로 승용차와 대중교통수단간의 통행비용 곡선이 다르고 통행량 변화에 따른 비용의 증감에 승용차 이용자들이 더욱 민감하게 반응하여 결국 대중교통수단의 서비스 수준에서 균형이 이루어진다는 것이다. 이는 곧, 수단간 균형을 설명하는 수단별 통행시간이나 속도의 균형의 원인은 통행수요의 수단간 전환을 통해 이루어진다는 것을 시사하고 있다.

따라서, 서비스 수준 변화에 따른 수단간의 실제적이고 확연한 전환여부가 Downs-Thomson의 역설의 성립을 위한 가장 근본적인 가정이며 따라서 본 연구에서도 이를 중심으로 Downs-Thomson의 역설을 검증한다.

### III. 실증적 사례 및 기존 연구 고찰

Downs-Thomson의 역설에 기저를 깔고 있는 Thomson(1977)의 균형이론에 대한 실증적 사례를 충실하게 분석한 사례는 Mogridge(1985)가 유일하다.

Mogridge(1985)는 1971년 런던대도시 교통조사(GLTS, Great London Transport Survey) 자료를 이용하여 외곽에서 도심으로 진입할 때의 승용차와 지하철의 통행시간 및 속도를 비교 분석하였다. 도심의 중심을 통행의 기점으로 2km씩 동심원으로 확장시켜가며 도심으로부터의 거리를 구분하였으며, 종점의 경우에는 도심반경 6km 이내로 한정하였다. 시간적인 측면에서는, 통근통행을 대상으로 한 오전첨두(8시~10시)와 전일 통행을 대상으로 분석하였다. 〈표 1〉과 〈표 2〉에서 조사된 교통수단별 통행시간, 속도 및 서비스 수준을 보여주고 있다.

〈표 1, 2〉에서 제시된 바와 같이 평균 통행시간인 경우 승용차와 지하철의 통행시간비가 전일기준 1.21~2.10, 첨두시인 경우 1.02~1.93에 위치해 비교적 차

3) 승용차 억제수요란 대중교통수단보다는 승용차를 더 선호하지만 도로 사정에 따라 승용차 이용을 포기하고 대중교통수단으로 전환하는 성격을 지닌 교통수요를 말한다.  
 4) 이렇게 시스템내의 서비스 수준이 대중교통수단에 의해 결정된다는 것은 두 수단의 통행비용곡선이 통행수요 증가에 대해 서로 다른 반응을 보이고 있기 때문인데, 통행량 증감에 대해 승용차보다는 대중교통수단의 서비스 수준이 더 비탄력적이기 때문이다. 즉, 통행량 증감에 대해 승용차 이용자는 승용차 억제수요에 의해 민감하게 반응하는데 반해 대중교통 통행비용 곡선은 거의 고정되어 있으므로 결국 대중교통 통행비용곡선에서 균형 통행량이 결정된다는 것이다.

〈표 1〉 런던의 교통수단별 서비스 수준(오전 첨두)

가점 (반경, km)	승용차			지하철			비교		
	평균통 행시간 (A) (분)	통행 거리 (B) (km)	평균 속도 (C) (km/h)	평균통 행시간 (A') (분)	통행 거리 (B') (km)	평균 속도 (C') (km/h)	A'/A	B'/B	C'/C
0-2	21.77	2.53	6.97	27.67	3.32	7.21	1.27	1.31	1.03
2-4	15.81	2.24	8.49	29.06	3.93	8.12	1.84	1.75	0.96
4-6	18.41	3.14	10.24	35.46	5.15	8.71	1.93	1.64	0.85
6-8	27.25	5.13	11.29	39.51	6.87	10.43	1.45	1.34	0.92
8-10	30.10	6.88	13.72	47.04	8.59	10.96	1.56	1.25	0.80
10-12	40.88	9.58	14.05	47.55	9.95	12.55	1.16	1.04	0.89
12-14	46.12	11.21	14.59	51.65	12.09	14.05	1.12	1.08	0.96
14-16	48.87	13.51	16.59	55.35	14.45	15.66	1.13	1.07	0.94
16-18	53.97	15.31	17.02	58.79	16.17	16.5	1.09	1.06	0.97
18+	63.22	20.78	19.72	64.57	20.61	19.16	1.02	0.99	0.97

〈표 2〉 런던의 교통수단별 서비스 수준(전일)

가점 (반경, km)	승용차			지하철			비교		
	평균통 행시간 (A) (분)	통행 거리 (B) (km)	평균 속도 (C) (km/h)	평균통 행시간 (A') (분)	통행 거리 (B') (km)	평균 속도 (C') (km/h)	A'/A	B'/B	C'/C
0-2	22.72	2.86	7.54	32.68	3.85	7.07	1.44	1.35	0.94
2-4	17.80	2.42	8.17	32.33	4.11	7.62	1.82	1.70	0.93
4-6	17.18	2.57	8.97	36.03	4.84	8.05	2.10	1.88	0.90
6-8	22.15	4.41	11.92	40.83	6.72	9.87	1.84	1.52	0.83
8-10	29.05	6.82	14.09	47.24	8.31	10.56	1.63	1.22	0.75
10-12	35.99	8.98	14.96	49.51	10.05	12.18	1.38	1.12	0.81
12-14	42.93	11.11	15.51	53.07	12.12	13.70	1.24	1.09	0.88
14-16	45.50	13.51	17.82	57.14	14.35	15.06	1.26	1.06	0.85
16-18	49.16	15.43	18.83	59.54	16.09	16.21	1.21	1.04	0.86
18+	62.06	22.35	25.48	65.60	20.50	18.75	1.06	0.92	0.74

이가 있으나 제시된 오전첨두시의 통행속도를 비교하면, 두 교통수단의 통행속도가 거의 비슷하다고 주장하였다. Mogridge(1995)는 이러한 분석을 통해 Thomson의 균형이론이 실증적으로 존재하고 있음을 주장 하고 Downs-Thomson의 역설이 존재함을 입증하고자 하였다.

한편, Downs-Thomson의 역설에 대한 국내연구는 한상진·김경철(2002)과 이승재(2005)를 들 수 있다.

한상진·김경철(2002)은 서울 대도시권을 대상으로 대중교통수단과 승용차의 통행시간을 비교하여 Thomson의 균형이론이 서울 대도시권에서도 성립하고 있음을 보여 주고자 하였다. 그러나 수도권에서 Thomson의 균형이론이 성립하는지를 파악하기 위해서는 여러 기·종점을 연결 하는 교통수단별 통행속도와 시간 등의 기초적인 자료 분석이 필요하나, 신뢰성 있는 자료를 획득하기 어려워, 단편 적이고 제한적인 조사결과를 이용하여 승용차와 대중교통 사이의 통행시간이 균형을 이룬다고 주장하였다. 〈표 3〉은

〈표 3〉 도시철도와 승용차의 통행시간 비교 (첨두시, 분)

교통축	기점	종점	승용차(A)	도시철도(A')	A'/A
일산	주엽	시청	67.0	85.2	1.27
분당	서현	역삼	42.1	77.4	1.84
과천	법계	시청	58.6	72.1	1.23
안산	상록수	영등포	61.5	64.2	1.04
경원	의정부	시청	65.1	74.5	1.14
경인	부평	영등포	60.5	56.5	0.93
경수	수원	영등포	63.4	74.5	1.17
평균			59.7	72.1	1.23

자료: 서울시정개발연구원(2001), 기존선 개량을 통한 도시철도 속도 향상방안 기초연구. 지하철의 경우 지하철역까지 13분, 도착역에서 목적지까지 10분 소요로 가정

한상진·김경철(2002)이 분석한 수단별 통행시간 자료이며 이를 통해 수도권 통행수단간 통행시간 균형을 주장 하였다.

이승재외(2005)는 Downs-Thomson의 역설을 가 정하고 2004년 7월에 시행된 서울시 중앙버스전용차 로제의 시행효과를 분석하였다. 이승재외(2005)는 승 용차와 대중교통수단간의 균형을 3단계로 설명하였는 데, 1단계는 대중교통우선정책 시행전으로써 승용차의 속도가 대중교통수단인 버스보다 높은 상황이고, 2단계 는 대중교통우선정책이 시행된지 얼마 안되어 버스의 속도가 승용차의 속도보다 높은 기간이며, 마지막 3단 계는 수단간 균형상태로써 승용차와 버스의 속도가 같 아지는 단계로 설정하였다. 특히, 3단계에서 1단계로 돌아가는 현상이 나타날 수 있으며 이를 Rebound effect라 하였다.

이승재외(2005)는 중앙버스전용차로제가 실시된 서 울시 주요 축을 대상으로 사업시행 직후부터 약 5개월 간의 통행속도 자료를 바탕으로 t-검정을 실시하여 승 용차와 버스의 통행속도에 대해 통계적 일치여부에 대

〈표 4〉 각 축별 버스과 승용차의 속도비교 및 균형단계

구분	구간	평균속도		균형단계	귀무가설 채택여부
		승용차	버스		
강남대로	6월	18.0	13.0	1단계	기각
	7월 3주~9월4주	20.11	23.41	2단계	기각
	9월4주~12월4주	17.89	24.66	2단계	기각
도봉·미아로	6월	18.5	11.0	1단계	기각
	7월3주~12월4주	15.24	17.25	2단계	기각
수색·성안로	6월	20.3	13.1	1단계	기각
	7월3주~8월3주	25.61	19.31	1단계	기각
	8월4주~9월3주	17.68	16.96	3단계	채택
	10월1주~12월4주	15.79	18.75	2단계	기각

주: 귀무가설은 '승용차와 버스의 통행속도가 같다.'이다.  
자료: 이승재외, Downs-Thomson Paradox를 이용한 중앙버스전 용 차로 운행실태분석, 대한교통학회 2005년 8월호

한 가설검정을 하고 위에서 제시한 단계별 균형상태로의 전이 상황이 순차적으로 발생하는지를 파악하기 위해 기간을 2~4구간으로 나누어 분석하고 기본적으로 Thomson의 균형이론의 성립함을 주장하였다.

그러나 Mogridge(1995), 한상진·김경철(2002), 이승재외(2005)의 연구 모두 교통혼잡으로 인한 수단간 전환 현상에 대해서는 분석결과를 제시하지 않고, 수단별 통행시간 균형만을 분석하였다. 특히, 한상진·김경철(2002)의 연구는 자료가 불충분한 가운데, 지엽적인 분석에 그쳤지만, 대중교통수단과 승용차의 통행시간이 수도권내에서 균형을 이룬다는 성급한 결론을 이끌고 있다. 이승재외(2005)의 연구도 링크의 속도를 바탕으로 Downs-Thomson의 역설의 바탕을 둔 Thomson의 균형이론이 성립한다고 주장하나, 링크만의 속도균형은, 수단간 전환 이외에, 승용차 이용자의 경로선택 변경으로 인해 발생할 수도 있는 점을 간과하고 있다. 또한, 수단간의 통행속도 분석도 충분한 자료를 통해 실증적인 분석은 이루어 지지 않은 아쉬움이 존재한다.

따라서 본 연구에서는 시계열적인 실증적인 분석 자료를 통해 우리나라 수도권의 수단별 통행시간이 기·중점별로 균형상태에 도달하고 있는지를 살펴보고, 또한 Thomson의 균형이론에 근거를 두고 있는 서비스 수준 변화에 따른 교통수단간의 전이 현상이 확연하고 유연하게 발생하는 지를 분석함으로써 Downs-Thomson의 역설이 실제로 존재하는지를 검증하고자 한다.

#### IV. 수도권외 수단별 통행시간 비교

본 연구에서는 10년간의 인구센서스 조사자료<sup>5)</sup>를 이용하여 교통수단간의 통행시간 균형을 살펴보고 그 원인으로 작용할 수 있는 수단 분담율의 변화에 대한 분석을 수행한다. 분석의 방법은 Mogridge(1985)의 연구에서처럼, 여러 기·중점을 연결하는 교통수단별

통행시간<sup>6)</sup> 및 그에 따른 수단 분담율을 산출하였으며, 통행의 기점은 서울 도심(시청)을 중심으로 5km씩 동심원으로 확장시켜 구분하였다. 도심유입방향의 통행을 대상으로 승용차와 버스 및 지하철의 통행시간을 서로 비교·분석하였다.

<표 5, 6, 7, 8>은 1990년부터 2000년 사이에 5년마다 조사된 인구 센서스 조사자료를 분석한 수도권 연도별 수단별 통행시간<sup>7)</sup>의 변화 및 연도별 수단별 통근시간 비율이다. 수도권의 중심도시인 서울시로의 유·출입 통행을 대상으로 침투시 통근 통행에 대해 분석하였다.

<표 5> 수도권 수단별 통행시간 (통근, 서울시 유입 통행)

기점 (반경, km)	승용차 평균통행시간(분)			버스 평균통행시간(분)			지하철 평균통행시간(분)		
	'90	'95	'00	'90	'95	'00	'90	'95	'00
0-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-15	57.61	46.49	56.08	60.07	52.65	65.72	71.50	61.80	67.13
15-20	60.65	56.57	65.13	66.82	65.08	73.47	66.01	63.04	73.98
20-25	61.75	57.28	64.20	69.54	61.24	77.93	69.49	65.89	73.01
25-30	63.52	74.32	74.24	90.02	85.08	86.32	83.00	78.10	84.16
30-35	77.74	67.07	71.13	92.04	79.79	85.67	89.87	76.73	84.27
35-40	120.00	90.00	89.38	108.70	96.09	110.21	94.17	123.0	88.33
40-45	60.00	57.24	65.34	88.18	70.33	79.00	180.0	90.00	78.42
45-50	72.22	82.92	80.79	97.81	96.00	101.03	103.3	80.00	95.56
50-55	62.50	68.75	76.25	88.18	87.50	93.53	-	-	-
55-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-65	88.00	77.02	88.93	99.76	90.00	100.00	86.67	97.11	120.00
평균	65.53	59.45	67.53	71.16	67.41	77.61	74.38	68.77	77.40

주: 각 변경별 해당도시는 다음과 같음.

- 10~15km: 구리시, 광명시
- 15~20km: 성남시, 과천시, 안양시, 부천시, 고양시, 의정부시
- 20~25km: 하남시, 의왕시, 남양주시, 군포시
- 25~30km: 인천광역시, 광주시, 시흥시, 양주군
- 30~35km: 수원시, 안산시, 김포시, 파주시
- 35~40km: 동두천시
- 40~45km: 용인시
- 45~50km: 가평군, 양평군, 오산시, 화성시
- 50~55km: 포천군, 이천시
- 55~60km: -
- 60~65km: 연천군, 평택시

자료: 교통개발연구원, 인구주택총조사를 이용한 대도시 통근·통학 특성 분석, 2004.

5) 본 논문에서는 1990년, 1995년, 2000년 인구주택총조사 자료 중 2% 통근·통학 표본조사를 사용한다. 1990년 이전의 인구주택총조사 자료도 존재하나 1990년 이전에는 통근시간에 대한 조사항목이 누락된 관계로 분석에서 제외한다. 본 논문에 포함되어지는 공간적 분석 범위는 서울시, 인천시, 경기도를 포함하는 수도권이다. 한편, 이러한 공간적 범위에서 분석 단위는 '시·군' 단위이다. 즉, 본 연구에서 다루어지는 통근 통행은 기본적으로 시·군간 통행을 의미하는 지역간 통행, 또는 시·군의 유출입 통행을 의미한다. 분석 단위의 시계열적인 일치성을 확보하기 위해 1990년대 이후의 변화된 행정구역을 중심으로 분석 목적에 따라 1995년, 2000년도인 경우 1990년도의 행정구역으로 조정/통합한다.

6) 통행시간은 평소 집에서 출발하여 직장 또는 학교에 도착할 때까지 평균적으로 걸리는 시간을 의미해 접근시간, 대기시간 등을 모두 포함한 총 소요시간을 의미한다. 통근소요시간은 1995년 자료인 경우 1990년, 2000년 자료와는 달리 정확한 시간을 기입하지 않고 (분 단위) 15분 단위로 총 7개로 구별된 통행시간(15분 미만, 15~30분, 30~45분, ..., 120분 이상)을 선택하게 되어 있으므로 각 그룹별 중간값을 통행시간으로 가정한다. 즉 15분 미만은 7.5분을 사용하고 15~22.5분은 사용한다. 한편, 120분 이상은 135분으로 가정하여 비교 분석한다. 또한, 지하철 통행시간인 경우 수도권에는 지하철 통행시간에 전철 및 국철의 통행시간이 포함되어 있다.

7) 권역별 통행시간이나 분담율의 계산은 통행량을 고려한 가중평균이다.

〈표 6〉 수도권 수단별 통근시간 비율 (통근, 서울시 유입 통행)

기점 (반경.km)	승용차 평균통행시간(분)			버스 평균통행시간(분)		
	'90	'95	'00	'90	'95	'00
0-10	-	-	-	-	-	-
10-15	1.04	1.13	1.17	1.24	1.33	1.20
15-20	1.10	1.15	1.13	1.09	1.11	1.14
20-25	1.13	1.07	1.21	1.13	1.15	1.14
25-30	1.08	1.14	1.16	0.99	1.05	1.13
30-35	1.18	1.19	1.20	1.16	1.14	1.18
35-40	0.91	1.07	1.23	0.78	1.37	0.99
40-45	1.47	1.23	1.21	3.00	1.57	1.20
45-50	1.35	1.16	1.25	1.43	0.96	1.18
50-55	1.41	1.27	1.23	0.00	0.00	0.00
55-60	-	-	-	-	-	-
60-65	1.13	1.17	1.12	0.98	1.26	1.35
평균	1.09	1.13	1.15	1.13	1.16	1.15

〈표 8〉 수도권 수단별 통근시간 비율 (통근, 서울시 유출 통행)

기점 (반경.km)	승용차 평균통행시간(분)			버스 평균통행시간(분)		
	'90	'95	'00	'90	'95	'00
0-10	-	-	-	-	-	-
10-15	1.16	1.11	1.04	1.93	1.34	1.10
15-20	1.25	1.19	1.10	1.34	1.22	1.13
20-25	1.18	1.30	1.02	1.36	1.32	1.09
25-30	1.15	1.17	1.12	1.16	1.14	1.12
30-35	1.14	1.21	1.15	1.19	1.26	1.20
35-40	1.18	1.30	1.18	1.00	1.18	1.12
40-45	1.23	1.01	1.12	1.46	1.45	1.17
45-50	1.13	1.11	1.13	1.26	1.33	1.24
50-55	1.31	1.09	1.19	1.24	1.35	1.12
55-60	-	-	-	-	-	-
60-65	1.20	1.23	1.18	1.25	1.35	1.07
평균	1.17	1.14	1.11	1.27	1.23	1.13

〈표 7〉 수도권 수단별 통행시간 (통근, 서울시 유출 통행)

기점 (반경.km)	승용차 평균통행시간(분)			버스 평균통행시간(분)			지하철 평균통행시간(분)		
	'90	'95	'00	'90	'95	'00	'90	'95	'00
0-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-15	47.50	44.85	74.44	55.32	49.99	77.26	91.88	60.00	81.90
15-20	55.61	53.26	72.69	69.43	63.13	80.21	74.31	65.14	82.44
20-25	60.10	51.14	72.53	70.66	66.55	73.95	81.85	67.32	78.75
25-30	73.17	70.32	78.48	84.31	82.50	87.99	84.66	80.13	87.78
30-35	79.14	70.58	77.94	90.21	85.59	89.98	93.80	89.23	93.45
35-40	73.64	75.00	81.79	87.00	97.50	96.67	73.33	88.50	91.67
40-45	82.00	70.30	79.94	100.71	71.08	89.88	120.00	101.67	93.75
45-50	87.04	81.14	81.53	98.52	90.13	92.16	110.00	107.88	101.33
50-55	72.43	83.72	82.45	95.14	91.47	97.99	90.00	113.18	92.22
55-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-65	80.83	81.47	83.79	97.33	100.26	98.93	101.25	110.00	90.00
평균	64.93	61.60	76.89	75.92	70.30	85.53	82.49	75.47	86.63

자료 : 교통개발연구원, 인구주택총조사를 이용한 대도시 통근·통학 특성 분석, 2004.

〈표 9〉 버스과 지하철의 평균통행시간비율

기점 (반경.km)	서울시 유입통행			서울시 유출통행		
	'90	'95	'00	'90	'95	'00
0-10	-	-	-	-	-	-
10-15	1.19	1.17	1.02	1.66	1.20	1.06
15-20	0.99	0.97	1.01	1.07	1.03	1.03
20-25	1.00	1.08	0.94	1.16	1.01	1.06
25-30	0.92	0.92	0.97	1.00	0.97	1.00
30-35	0.98	0.96	0.98	1.04	1.04	1.04
35-40	0.87	1.28	0.80	0.84	0.91	0.95
40-45	2.04	1.28	0.99	1.19	1.43	1.04
45-50	1.06	0.83	0.95	1.12	1.20	1.10
50-55	-	-	-	0.95	1.24	0.94
55-60	-	-	-	-	-	-
60-65	0.87	1.08	1.20	1.04	1.10	0.91
평균	1.05	1.02	1.00	1.09	1.07	1.01

자료 : 교통개발연구원, 인구주택총조사를 이용한 대도시 통근·통학 특성 분석, 2004.

도로를 이용하는 승용차와 버스의 통행시간을 보면, 대체적으로 버스의 통행시간이 더 크며 반경 40km에 위치한 동두천시까지의 집차 서울로의 통근시간이 증가하고 있다.

용인시의 경우 더 먼 거리에 위치했음에도 불구하고 통근시간이 짧은 것으로 분석되었다. 서울을 기점으로 먼 거리에 위치한 도시일수록 통행시간이 일률적으로 증가하지 않는 것은 지역별로 서울시로의 접근성이 다르기 때문이며 특히, 혼잡에 의한 영향이 큰 것으로 판단된다. 지하철인 경우 혼잡보다는 지하철로의 접근성이 통행시간에 큰 영향을 미치므로 도로교통수단보다는

다소 다른 양상의 통행시간 패턴을 보인다.

서울시 유입통행인 경우 연도에 관계없이 승용차의 평균 통행시간이 가장 짧다. '90년도 승용차의 평균통행시간은 65.53분에서 '00년도 67.53분으로 증가했으나 버스인 경우 동기간 71.16분에서 77.61분으로, 지하철인 경우 동기간 74.38분에서 77.40분으로 증가하였다. 그 결과 버스 및 지하철과 승용차의 통행시간 비는 점차적으로 증가하는 것으로 분석되었다.

따라서 서울시 유입통행인 경우, '90년도 이래로 평균 통행시간이 균형 상태에 도달한 적이 없으며 통행시간의 비율도 점차로 증가해 수단별 통행시간이 균형상태에도

달하고 있다는 주장도 받아들이기 힘들어 Downs-Thomson의 역설의 적용은 현실적으로 어려운 것으로 나타났다.

그러나 버스와 지하철의 평균통행시간 비율은 점차로 1과 가까워지고 있음을 알 수 있다. 즉, 서울시 유입통행인 경우 '90년도 버스과 지하철의 통근통행시간 비율은 0.96에서 '95년 0.98, '00년 1.00으로 점차 1과 가까워 짐을 알 수 있다.

서울시 유출통행인 경우 앞서 분석했던 유입통행과 다른 양상을 보여 준다. 유출통행인 경우에도 연도에 관계없이 승용차의 평균 통행시간이 가장 짧으나 버스 및 지하철과 승용차의 평균통행시간 비는 점차로 1과 가까워 짐을 알 수 있다. 즉, '90년 버스/승용차 평균 통행시간인 경우 1.17이었으나 '00년 1.11로 줄어들었고, 지하철/승용차 평균통행시간인 경우 '90년 1.27이었으나 '00년 1.13으로 1과 가까워짐을 알 수 있다. 그러나 여전히 버스 및 지하철과 승용차의 통행시간 비율이 여전히 "1"보다 상대적으로 커 각 수단별 통행시간이 균형 상태에 도달하고 있는지는 명확치 않다. 확실한 것은, 각 연도별로 수단별 통행시간이 차이가 난다는 점이다.

종합해 볼때 Downs-Thomson의 역설의 기본적인 가정인 각 수단별 통행시간의 균형은 서울시를 중심으로 한 수도권 통행인 경우, 과거에도 균형 상태에 존재하지 않았고, 균형 상태로 도달하고 있는지에 대한 주장도 받아들이기가 힘든 것으로 분석되어 Downs-Thomson의 역설의 현실적인 적용은 어려운 것으로 나타났다.

### V. 수도권의 수단분담율 변화

앞 절에서는 서울을 중심으로 한 수도권 통행 수단별 통행시간을 시계열적으로 분석하였다. 수단별 통행시간의 균형이 과거에도 존재하지도 않았고, 균형상태로의 진행도 확인되지 않았다.

본 절에서는 Downs-Thomson의 역설이 성립하기 위한 또 하나의 중요한 가정의 하나인 서비스 수준 변화에 따른 수단간 전환현상을 분석한다. 즉, Downs-Thomson의 주장한대로, 서비스 수준 변화에 따른 승용차와 대중교통수단 사이의 전환이 용이하게, 유연하게 일어나는가를 시계열적으로 분석한다.

<표 10>은 수도권 각 도시에서 서울시로의 출근 통행시 수단 분담율을 보여주고 있다. 승용차인 경우

<표 10> 수단 분담율의 변화 (통근, 서울시 유입 통행)

기정 (반경, km)	승용차 수단 분담율			버스 수단 분담율			지하철 수단 분담율			대중교통 수단 분담율		
	'90	'95	'00	'90	'95	'00	'90	'95	'00	'90	'95	'00
0-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-15	18.9	39.0	30.0	74.1	52.9	47.8	7.0	8.1	22.2	81.1	61.0	70.0
15-20	18.1	43.2	32.7	60.0	37.0	33.3	21.9	19.8	33.9	81.9	56.8	67.3
20-25	20.5	42.1	39.8	67.3	37.5	39.4	12.1	20.4	20.8	79.5	57.9	60.2
25-30	17.6	35.5	33.9	47.1	34.6	27.0	35.3	29.9	39.1	82.4	64.5	66.1
30-35	18.2	42.1	38.5	52.2	30.2	31.3	29.6	27.7	30.2	81.8	57.9	61.5
35-40	2.8	36.4	21.1	63.9	48.5	63.2	33.3	15.2	15.8	97.2	63.6	78.9
40-45	22.7	64.9	47.7	75.0	33.6	46.1	2.3	1.5	6.3	77.3	35.1	52.3
45-50	14.5	51.4	44.2	51.6	35.7	45.3	33.9	12.9	10.5	85.5	48.6	55.8
50-55	15.4	54.5	66.7	84.6	45.5	31.5	0.0	0.0	1.9	84.6	45.5	33.3
55-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-65	22.1	33.3	52.8	60.3	42.3	24.5	17.6	24.4	22.6	77.9	66.7	47.2
평균	17.9	40.4	35.0	59.0	37.0	34.0	23.1	22.6	31.0	82.1	59.6	65.0

1995년 40.4%로 1990년 17.9%에서 급격히 증가하였다. 이는 동 기간의 경제호황으로 인해 승용차 수요가 대폭적으로 증가한 것으로 판단된다. 즉, 새로운 통행 수요와 버스를 이용하던 승용차 억제수요가 경제 호황과 함께 승용차로 전환했기 때문이다.

그러나 1995년과 2000년 사이의 수단 분담율 변화를 살펴보면 Downs-Thomson 역설이 가정하는 수단간 균형이론이 적용되지 않는다. Downs-Thomson 역설에 의하면 동 기간, 승용차와 버스의 통행시간이 모두 증가하였고 버스의 수단 분담율이 감소하는 것으로 보아 버스 이용자 감소로 인한 악순환이 발생한 결과로 해석될 수 있다. 즉, 버스 수요의 감소가 버스 운영자의 수입을 감소시켜 버스 서비스 수준이 악화되므로 상대적으로 서비스 수준이 향상된 승용차로의 수단전환이 일어나 전체적인 시스템의 혼잡이 더 증가된다는 것이다.

그러나 본 연구에서의 버스 이용자 감소의 원인은 승용차로의 전환보다는 지하철로의 전환 때문이다. 예를 들어, 동기간에 걸친 지하철 5호선, 6호선, 7호선, 8호선, 안산선, 분당선의 개통으로 인한 지하철 노선의 증가는 지하철의 수단 분담율을 1990년의 23.1%에서 2000년에는 31.1%까지 끌어올렸고 동기간 중 승용차와 버스 모두 수단 분담율이 하락하고 있기 때문이다.

다시 말해서, 버스의 수단 분담율 감소는 승용차 억제 수요의 전환이라기 보다는 지하철 투자 확대에 의한 지하철로의 전환에 기인하는 것으로 분석되어 기존 Thomson이 주장한 '악순환'이 성립되지 않은 것으로 분석된다. 또한, 1995년과 2000년 사이에는 여러 지하철 노선의 대규모 신설로 인해 승용차와 버스의 수단 분담

율이 모두 감소하고 대신 지하철의 수단 부담율이 증가했으나, 평균통행시간이 모두 증가한 것도 Thomson의 균형이론으로는 설명되지 않는 것이다. 이는 5년간의 도로교통의 통행수요증가가 지하철로의 수단전환량을 넘어섰기 때문이라고 판단되며, 지하철의 서비스 개선이 이루어졌으나 그 효과는 승용차의 수단 부담율이 약 -5%의 하락 밖에는 영향을 미치지 않고 있는 것을 의미한다.

결과적으로, 균형이론에서는 대중교통수단에서 승용차로, 승용차에서 대중교통수단으로의 전환의 유연성을 가정하지만 한번 승용차로 수단 전환했던 이용객은 좀처럼 대중교통수단으로 옮겨오지 않는 것으로 분석되었다.

〈표 11〉은 수도권 출근 통행 중 서울시에서 다른 도시로 통행하는 경우의 수단 부담율을 보여주고 있다. 서울시를 중심으로 한 유출통행인 경우에도, 유입통행과 마찬가지로 버스의 수단 부담율이 지속적으로 감소하고 지하철 수단 부담율의 가파른 증가를 보여주고 있고, 버스와 지하철의 통행시간이 점차 균형을 이루고 있다는 점에서 대중교통수단에서 승용차로 전환은 쉽게 이루어지지만 한번 승용차로 수단 전환했던 이용객은 좀처럼 대중교통수단으로 옮겨오지 않는 것으로 수단간의 전환 불일치 현상이 나타나는 것으로 분석되었다.

〈표 11〉 수단 부담율의 변화 (통근, 서울시 유출 통행)

거리 (반경, km)	승용차 수단 부담율			버스 수단 부담율			지하철 수단 부담율			대중교통 수단 부담율		
	'90	'95	'00	'90	'95	'00	'90	'95	'00	'90	'95	'00
0-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-15	21.1	45.6	30.3	74.9	50.4	52.1	4.0	3.9	17.6	78.9	54.4	69.7
15-20	27.4	45.8	33.9	58.6	38.7	32.7	14.0	15.5	33.4	72.6	54.2	66.1
20-25	29.2	46.9	43.4	62.8	44.6	35.5	8.0	8.5	21.1	70.8	53.1	56.6
25-30	28.8	50.9	44.9	47.7	28.4	24.5	23.5	20.8	30.6	71.2	49.1	55.1
30-35	29.8	49.7	43.2	57.8	32.8	31.0	12.4	17.6	25.9	70.2	50.3	56.8
35-40	32.4	59.3	53.8	58.8	32.2	23.1	8.8	8.5	23.1	67.6	40.7	46.2
40-45	31.0	54.6	44.0	65.9	41.9	47.3	3.1	3.5	8.8	69.0	45.4	56.0
45-50	29.3	51.3	54.4	58.7	40.0	32.5	12.0	8.7	13.2	70.7	48.7	45.6
50-55	33.0	62.0	54.7	64.3	33.7	40.2	0.0	0.0	5.0	67.0	38.0	45.3
55-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-65	34.3	50.5	46.8	42.9	37.6	45.2	22.9	11.9	8.1	65.7	49.5	53.2
평균	28.0	48.4	41.1	58.3	37.2	32.8	13.7	14.4	26.1	72.0	51.6	58.9

VI. 결론

본 연구에서는 Thomson이 주장한 교통수단간의 균형이 실제로 존재하는가에 대해 1990, 1995, 2000년의 인구 센서스 자료자료를 바탕으로 수도권의 교통수

단간 균형에 대한 실증적인 분석을 수행하였다.

서울을 기점으로 거리별로 대중교통수단과 승용차의 통행시간 비율과 수단 부담율을 분석한 결과 균형이론의 밀바탕이 되는 승용차 억제수요의 행태변화가 이론과 실제가 상이하여 현실에서는 Thomson의 균형이론이 성립하기 어려운 것으로 판명되었다.

먼저, 수단별 통행시간을 연도별로 시계열적으로 분석한 결과 각 수단별 통행시간의 균형은 과거에도 균형 상태에 존재하지 않았고, 향후에 균형 상태로 도달하고 있는지에 대한 사실을 확인할 수 없었다. 또한, Downs-Thomson의 역설이 성립하기 위한 또 하나의 중요한 가정의 하나인 서비스 수준 변화에 따른 수단간 전환현상을 분석한 결과, 통근시 대중교통수단을 이용했던 사람들은 승용차 수단으로의 전환이 유연하게 일어나지만, 반대로 승용차를 이용하는 사람들이 대중교통수단으로의 전환은 쉽게 발생하지 않음을 본 연구 분석에는 보여 주고 있다.

따라서 Thomson이 주장한 균형이론 및 Downs-Thomson의 역설은 적어도 우리나라 수도권 통근통행에 대해서는 성립하지 않는다는 결론을 내릴 수 있고, 이에 따라 기존의 국내연구인 경우 면밀한 분석없이 Downs-Thomson 역설을 가정하여, 도로투자는 혼잡을 더 가중시켜 시스템 전체의 통행비용을 상승시킨다는 주장은 균형이론이 적용되지 않는 현실에서 의미를 가질 수 없다.

참고문헌

1. 이승재 외(2003), "수도권 통행패턴 변화 분석을 통한 교통정책 방향 도출 연구", 국토연구원.
2. 류승규 · 이승재(2005), Downs-Thomson Paradox를 이용한 중앙버스전용차로 운행실태분석, 대한교통학회지, 제23권 제5호, 대한교통학회, pp.83~92.
3. Garrison, W.L.(2000), Ward, J.D., "Tomorrow's Transportation: Changing Cities, Economics, and Lives", Artech House, p.91.
4. Mogridge, M.J.H(1985), "How to improve journey speeds in and to the centres of conurbations", Transport Studies Group.
5. Mogridge, M.J.H(1986), "The impact of road and rail improvements on journey speeds in London", Preceeding of University Transport Studies Group Meeting.



6. Thomson, J.M.(1997), "Great Cities and their Traffic, London": Gollanz.
7. Wardrop, J.G.(1952), "Some theoretical aspects

of road traffic research", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part II (2), 325-263; discussion pp.362~378.

- ✎ 주 작 성 자 : 김강수
- ✎ 논문투고일 : 2005. 10. 29
- ✎ 논문심사일 : 2005. 11. 30 (1차)  
2005. 12. 15 (2차)
- ✎ 심사판정일 : 2005. 12. 15
- ✎ 반론접수기한 : 2006. 4. 30