

■ 論 文 ■

**교통수요예측시 O/D존 및
네트워크 집계수준에 따른 영향 분석**

Impacts of number of O/D zone and Network aggregation level
in Transportation Demand Forecast

임 용 택

강 민 구

이 창 훈

(전남대학교 교통물류학부 부교수) (전남대학교 교통물류학과 석사과정) (전남대학교 교통물류학과 석사과정)

목 차

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 수요추정 오차발생 원인 분석</p> <p>1. 분석모형에 적용되는 파라메타의 불확실성</p> <p>2. 기초자료(O/D 및 NETWORK)의 상세성</p> <p>3. 정산(Calibration) 수준</p> <p>4. 통행배정 방법</p> | <p>III. 집계수준별 영향분석</p> <p>1. 분석 조건</p> <p>2. 검증 척도</p> <p>3. 분석 결과</p> <p>IV. 결론 및 향후과제</p> <p>참고문헌</p> <p>부록</p> |
|---|---|

Key Words : 네트워크 집계, O/D존 수준, RMSE, F-검정, 교통수요오차
Network aggregation, Level of O/D zone, RMSE, F-test, Travel demand error

요 약

교통수요분석시 기종점(O/D) 존의 집계수준과 네트워크의 구축수준이 어느 정도 균형(balance)이 이루어져야 하는데, 실제로는 불균형을 이루고 있는 경우가 있어 실제교통량과 예측교통량간의 차이가 발생하는 원인중의 하나로 간주되고 있다. 본 연구에서는 소규모 네트워크를 대상으로 O/D존 수와 네트워크의 구축수준에 따른 통행수요의 변화를 살펴보고, 이를 통하여 O/D존수와 네트워크간의 균형(balance)문제를 검토해 보았다. 분석방법은 Sioux-Falls network를 대상으로 네트워크를 추가/삭제시키고, 그에 따라 O/D존의 수도 일정비율로 변화시켜 분석하였다.

분석된 자료를 검증척도인 RMSE와 F-검정을 통해 비교·분석한 결과, 네트워크 증가시에는 예상과는 달리, 네트워크 상세화에 대하여 O/D존수의 증가/감소가 민감하게 반응하지 않는 것으로 나타났으나, 네트워크 집계(삭제)시에는 O/D존의 수도 역시 함께 감소시켜야 오차를 줄일 수 있는 것으로 나타나 이들 간에는 밀접한 관계가 있음을 보여주었다. 이는 교통수요분석을 위하여 네트워크를 구축할 때, O/D존수(존의 크기)도 함께 고려해야 하며, 이들간에 균형(balance)이 이루어지도록 설계해야 함을 의미한다.

It has been widely known that there are so many factors making travel demand errors in transportation forecasting steps. One of the reasons may stem from the level of aggregation of zone and network in analysis process. This paper investigates the effect of level of aggregation considering with number of zones in travel demand forecasting by expanding or reducing the zone and network gradually. Numerical results show that the aggregation could not make a significant impact on the travel demand, while disaggregation does. These results imply that a careful manipulation is required to add or to reduce zones and links in transportation planning process.

1. 서론

최근에 개통된 도로들의 실제교통량과 예측교통량 사이에 많은 차이가 발생하여, 교통시설 투자를 위한 타당성 분석과정중 교통수요추정에 대한 문제점들이 제기되고 있으며 이를 해결하기 위하여 교통수요추정의 신뢰도를 제고하기 위한 다양한 방법들이 연구중에 있다. 일반적으로 통행수요예측 4단계별로 현실재현성을 검증하는데, 통행배정단계의 경우, 통행배정모형검토, 기종점 통행량(O/D), Network검증, 통행비용함수의 파라미터 추정, 구간 용량조정 등을 통하여 좀 더 신뢰성있는 결과를 도출하고자 노력하고 있다.

통행행태를 적절하게 반영하기 위해서는 하나의 존에서 발생하는 통행은 통행특성이 공간적으로 유사해야 한다. 이러한 전제가 충족되어야만 모든 통행이 존 센트로이드나 몇 개의 센트로이드 커넥터에서 시작되었다고 가정할 수 있게 된다. 현재 지역간 기종점통행량의 기반이 되는 전국 존 체계는 이러한 공간적 동질성을 담보하기 어려울 정도로 존 크기가 균질하지 않으며 대부분의 경우 개별존의 크기가 매우 크다. 따라서 사업구간이 짧아 기존의 존체계로는 분석하기 어려운 경우에는 존세분화 작업을 거쳐 분석을 수행하게 되며, 이런 과정에서 내부통행량이 총통행량에 추가 된다. 존 세분화 과정에서는 O/D의 세분화 정도에 상응하여 네트워크도 상세화하여 존과 네트워크간의 불일치 문제가 발생하지 않도록 해야 한다. 즉, O/D의 수준과 네트워크의 구축수준이 어느 정도 균형(balance)이 이루어져야 하는데, 현재 이에 대한 구체적인 연구 없이 통행수요예측이 이루어지고 있다. 이에 대해 본 연구는 O/D의 구축수준과 네트워크 상세수준이 교통수요에 미치는 영향을 살펴보는 것이 연구의 목적이며, 간단한 예제 교통망을 통해 O/D존 크기와 네트워크의 상세화 및 집계화에 따른 교통수요예측결과를 평균제곱근오차(Root mean squared error, RMSE)와 F-검정을 통하여 비교분석하였다.

II. 수요추정 오차발생 원인 분석¹⁾

Flyvbjerg(2005)은 1969년부터 1998년까지 지난 30년간 14개국에서 수행된 210건의 도로 및 철도사업

에 대하여 과거에 예측했던 교통수요와 실제교통수요의 차이를 통계적인 방법에 의해 예측 교통량과 실제 교통량의 차이를 살펴본 결과, 도로사업의 경우 예측값 대비 관측값이 평균 9.5% 높게 나타났으며, 철도는 약 51.4% 낮게 나타났다고 제시하고 있다. 이처럼 교통수요추정결과와 실제 관측치 사이에서 차이가 발생하는 여러 가지 이유가 있는데, 기존 연구결과들을 살펴보면 다음과 같은 원인들을 지적할 수 있다.

1. 분석모형에 적용되는 파라메타의 불확실성

Zhao(2002)에 따르면 4단계 교통수요분석모형의 각 단계별로 존재하는 파라메타의 불확실성은 각 단계를 거치며 확대·전파되는 것으로 제시하였다. Pell(1984)은 통계적 방법에 의해 교통수요분석 모형에 존재하는 불확실성을 측정하기 위한 절차를 제시하고 사례분석을 수행하였다. 예를 들어, 통행발생의 경우 모형보다는 신뢰할 수 있는 사회·경제지표 예측자료 확보(다중회귀방법의 설명변수)가 필수적이나, 장래 사회경제지표 예측치가 잘못 추정된 경우가 많아 모형식의 파라메타가 잘못 추정되고 있다.

2. 기초자료의 상세성

사업의 시행효과가 교통수요 분석에 사용되는 교통존의 크기와 네트워크의 상세성에 의해 결과가 달라질 수 있는 것으로 알려져 있다.

교통수요분석시 링크단위의 관측교통량과 추정교통량 간 차이는 기종점 통행량 자체의 오류일 가능성도 있지만, ① 네트워크 자료의 오류(링크길이, 자유속도, 차로수, 통행저항함수 등 링크 속성 자료의 오류)나 ② 누락 링크의 존재, 연결성 등 위상관계(topology) 오류, 혹은 ③ 기종점 O/D와 네트워크 간의 정도(resolution)의 불일치 등 여러 요인으로 인해 발생할 수도 있다. 기본적으로 링크 속성자료의 오류로 대표되는 ①과 ②의 오류는 수요분석 과정의 정산단계에서 많은 부분이 해소되지만 ③의 경우에는 자료의 근원적 한계로부터 기인하는 것으로서 기종점통행량의 정확도만을 높임으로써 해결될 수 없다. 기종점통행량 자료의 신뢰도에 대한 평가는 기

1) 본 내용은 한국교통연구원(2007)의 『도로사업의 수요추정 오차발생 원인 및 영향분석』연구보고서와 기존 연구들을 정리한 것임.

종점통행량 자료가 도로에 통행배정된 후 관측통행량과의 비교를 통해 이루어지게 되는데 도로망의 정도와 기종점통행량 자료의 정도가 서로 크게 차이가 나면 각각의 자료가 정확하다 하더라도 배정된 통행량과 관측통행량과의 차이가 크게 날 가능성이 존재한다. Bovy (1983)는 네덜란드의 Eindhoven(인구 20만)는 지역 자료를 이용한 사례분석을 수행하였다. 균형배정방법과 전량배정방법 각각에 대하여 네트워크의 상세성을 높음(detail), 보통(medium), 낮음(coarse)의 세가지 수준으로 나누어 분석을 수행한 결과, 네트워크의 상세성이 통행배정 결과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 어느 수준 이상에서는 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

3. 정산(Calibration) 수준

교통량 정산, 속도 정산, 경로 정산 등과 같이 어떤 항목을 정산할 것인가와 각 항목별 정산수준 및 정산지점에 따라 통행배정 결과에 차이가 발생할 수 있다. 현재, 속도 정산은 현실을 반영할 수 없으므로 고려하지 않고, 『도로·철도 부문의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제4판), 한국개발연구원』에 의거하여 교통량 정산만 하고 있다. 도로 등급별로 주요도로 구간의 관측교통량과 배정교통량의 차이를 나타내는 허용범위보다 작아야 한다고 정의하고 있다. 오차율의 허용범위는 사업대상구간과 인접도로의 경우 15%이하, 기타 주요도로는 30% 이하로 설정한다.

영국 및 호주에서는 GEH 방법을 적용하여 정산을 수행하고 있다. 이는 관측교통량값과 배정된 교통량 값의 비율뿐만 아니라, 그 차이를 고려하는 방법으로 GEH라는 경험식 개발을 통해 정산기준을 적용하고 있다. <표 1>에서 보듯이 GEH통계치도 제시하고 있는데, GEH통계치는 1970년대 Geoffrey E. Havers에 의해 개발되어 교통공학이나 통행량예측 등에 주로 사용되고 있으며, 다음과 같이 표현된다.

$$GEH = \sqrt{\frac{(M - C)^2}{0.5 \times (M + C)}}$$

여기서, M은 모형에서 도출된 추정 교통량이며, C는 관측교통량이다.

교통량이 700~2,700(대/시)인 경우, 관측치와 추정치의 차이가 15%이내에 있어야 하며, 700대/시 보다

작은 경우는 오차가 100대/시 이하, 그리고 2,700대/시 이상인 교통상황에서는 400대/시 이하여야 한다. 또한, 이 3가지 조건을 만족할 비율이 85%이상이어야 한다고 규정짓고 있다.

또한, 통행시간에 대해서도 관측치와 추정치의 차이가 15%이내에 6회 이상 만족되어야하며, 경로의 85% 이상이 이 조건을 만족해야 한다.

<표 1> 영국의 검증기준 (GEH 방법)

Criteria and Measures	Acceptability measures
Assigned Hourly flows compared with observed flows	> 85% of cases > 85% of cases > 85% of cases > 85% of cases > 85% of cases
1. Individual flows within 15% for flows 700-2,700vph	
2. Individual flows 100vph for flows < 700vph	
3. Individual flows 400vph for flows > 2,700vph	
4. Total screenline flows (normally > 5links) to be within 5%	
5. GEH statistic	> 85% of cases All (or nearly all) screenlines
① Individual flows : GEH < 5	
② Screenline totals : GEH < 4	
Modelled Journey times compared with observed times	> 85% of routes
6 Times within 15% (of 1 minute, if higher)	

자료 : 1) Design manual for roads and bridges, Traffic Appraisal of Roads Schemes (Volume 12), 1997.11.
2) User-friendly multi-stage modelling advice item 9.2: Modelling parameters, Calibration and Validation, TRL, 2001.

4. 통행배정 방법

통행배정에 사용되는 기본원리, 지체함수, 수렴정도 등에 따라라도 결과값이 달라질 수 있다. Boyce(1981)는 통행배정방법과 링크지체함수의 차이에 따른 통행배정 결과의 차이를 살펴보았는데, 전량배정법(All-or-Nothing)과 균형배정법에 대해서 링크지체함수로 Davidson식을 적용하였을 때와 FHWA식을 적용하였을 때의 경우에 대해 관측교통량과 배정교통량의 비교, 경로간 통행시간과 거리의 변동계수 등을 살펴본 결과 통행배정방법과 링크지체함수에 따라 결과가 서로 달라질수 있는 것으로 나타났다. 또한, Boyce(2003)의 연구에서는 OBA(Origin-Based Assignment) 알고리즘을 이용하여 참값을 추정 한 바 있으며, 김재영(2006)은 통행배정단계에서 적용하

고 있는 이용자 균형의 종료조건에 따른 편익산정 결과의 안정성을 사례분석을 통하여 검토하였다. 결과적으로 교통량은 사업노선과 주변 도로의 혼잡도에 따라 수렴되는 정도가 다르게 나타났으며, 통행시간비용과 차량운행비용은 종료조건에 따라 편차의 규모가 비슷한 것으로 나타났다. 통행시간비용 편익이 50억 미만인 소규모 사업의 경우에는 Relative Gap = 0.01이라는 엄격한 종료조건을 적용하여도 변동률이 10% 이상 나타나는 경우가 발생하고 있다. 이는 현재의 수렴기준인 Relative Gap=0.05가 사업에 따라서는 매우 불안정한 수렴값을 제시할 가능성이 있다고 시사하였다.

〈표 2〉는 한국교통연구원(2007)에서 4단계 추정시 단계별로 발생할 수 있는 오차를 측정오차, 모형의 구조적 오차, 그리고 외생오차 등 3가지로 나누어 제시한 내용이다.

〈표 2〉 수요추정 단계별 오차유형

구분	유형별 오차요인		
	측정 오차	구조적 오차	외생 오차
교통수요추정 4단계 과정	주요 원인 편익(biases), 실수(blunders)	오류(mistakes), 불확실성(uncertainties)	불확실성(uncertainties)
	통행 발생 • 표본조사 자료의 대표성 문제 • Double Counting 문제 • 노측면접조사의 한계 • 표본조사 지점의 대표성 문제 • 주말·여가통행 반영문제 • 표본율 및 표본의 임의성 확보문제 • 현행화과정의 문제	-	• 관련계획의 불확실성
	통행 배분 • 통과교통비용 산정문제 • 167개 존 자료를 247개 존으로 변환 과정에서 발생하는 문제	• 24시간 교통량 전 환 문제 • 프라타모형의 적용상 문제 • 전수화 보정계수 및 재료셀 보정문제	• 사회·경제지표의 불확실성 (기종점 통행량 보정시)
	수단 선택 -	• 단일지역간 모형의 문제 • 고속철도 및 항공 미고려	-
통행 배정 • 퍼크,비퍼크 통행량 환산과정에서 발생하는 문제 • 존세분화 및 내부 통행량 산정의 부정확성 문제 • O/D와 네트워크 상세도 불일치 문제	• 평균제차인원 및 승용차 환산계수 산정 문제 • VDF적용 과정의 문제 • 오차허용범위의 비합리적인 기준 • 모형의 수렴조건에 따른 오차 • 교통량위주의 정산으로 인한 문제 • 정산지점 및 개수의 임의적 산정 문제	-	

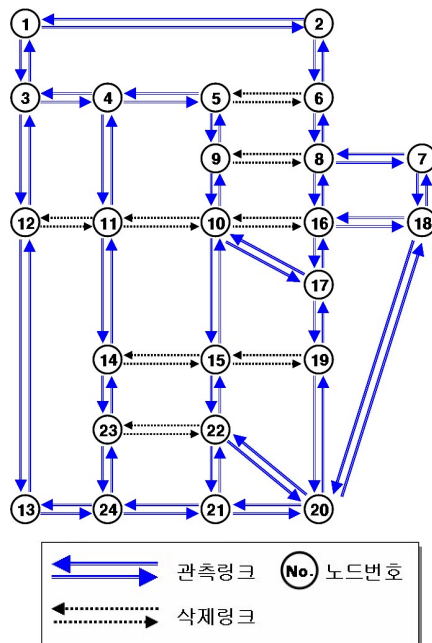
자료 : 도로사업의 수요추정 오차발생원인 및 영향분석(한국교통연구원, 2007)

III. 집계수준별 영향 분석

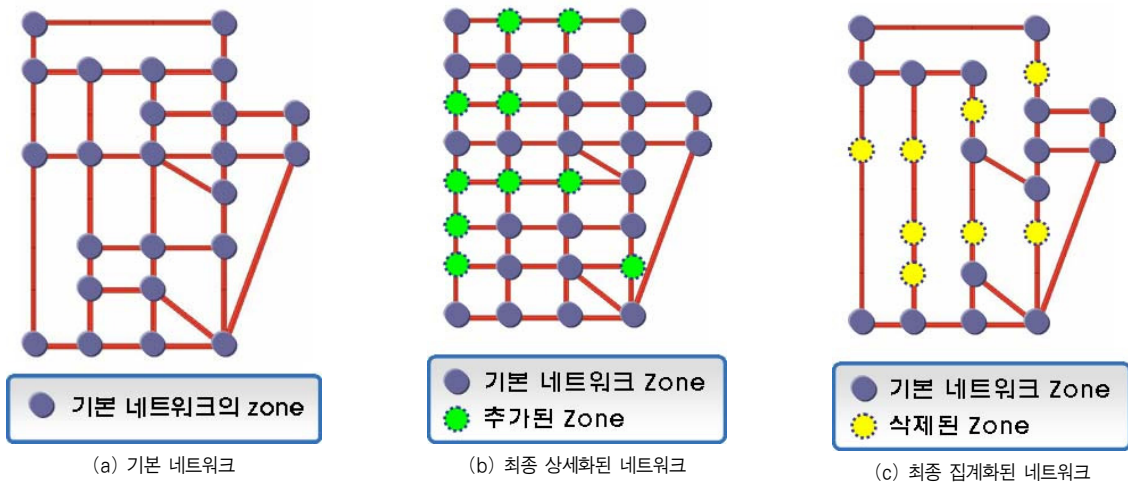
앞에서 제시한 수요추정 오차발생 원인중에서 본 연구에서는 기초자료의 상세성에 관하여 분석하는데, 분석 내용은 O/D존과 네트워크의 집계수준에 따라 RMSE와 F-검정을 통하여 서로 비교한다. 본 연구에서는 도로교통만을 대상으로 분석하며, 대중교통이나 교통수단간의 전이를 고려하지 않는 것을 기본전제로 한다.

1. 분석 조건

먼저, 앞에서 기술한 O/D존수의 감소 및 증가와 네트워크 추가(상세화) 및 삭제(집계화)에 따른 영향 분석을 위하여 LeBlanc et al.(1975)이 제시한 Sioux-Falls network에 적용시켰다. 이 네트워크는 24개의 노드와 76개의 링크로 구성되어 있으며, 모든 노드가 존이 되는 형태로 〈그림 1〉과 같다. OD자료는 총 528개의 대칭적인 OD쌍으로 이루어져 있으며, 총 통행수는 721,200통행이다. 링크의 비용함수는 BPR식을 사용하였고, 링크의 속성은 링크길이를 제외한 나머지(용량(2,200), 속도(80), 통행비용함수, 차로수(2) 등)는 동일하게 설정하였다. 주어진 기종점통행은 사용자 균형 통행배정(User



〈그림 1〉 Sioux-Falls Network



〈그림 2〉 네트워크 상세화 및 집계화 후 최종 네트워크

equilibrium traffic assignment)을 이용하여 네트워크에 배정하였다.

분석을 위하여 기준이 되는 관측지점을 설정하는데, 전체 38개의 조사지점(방향별 76개) 중에서 삭제되는 링크(방향별 16개)를 제외한 30개(방향별 60개)의 지점을 조사지점으로 설정하였다. 따라서, 전체 링크의 약 79%(30/38)가 조사지점이 된다. 네트워크 추가(상세화)를 위하여 양방향 링크 2개부터 최대 양방향 링크 20개를 단계적으로 추가시켰고, 네트워크 삭제(집계화)를 위해서는 최대 양방향 링크 16개를 삭제해 가면서 분석을 실시하였다(〈그림 2〉 참조). O/D존수의 경우는 현 24개 존을 기준으로 5%씩 감소 또는 증가시켜 최소 0.5배 감소, 최대 1.5배까지 증가시켜, 네트워크 추가/삭제에 대한 영향을 분석토록 하였다.

2. 검증척도

관측치와 O/D비율 및 네트워크 추가/삭제에 따라서 변화된 결과치를 비교하기 위해서는 다양한 검증척도가 필요하다. 본 연구에서는 획득된 자료를 통하여 추정치와 관측치간의 오차의 정도를 평가하기 위해서 통계적인 기준인 RMSE를 통해 분석을 한다. 여기서, 관측치는 O/D존과 네트워크의 추가/삭제가 없는 초기상태에서 통행배정한 결과를 관측치로 간주하였다.

$$RMSE = \sqrt{\sum_i \left[\frac{(e_i - o_i)^2}{n} \right]}$$

여기서, e_i : 링크 i 의 추정 교통량
 o_i : 링크 i 의 관측 교통량
 n : 관측지점의 수

또한, 관측자료와 결과자료간의 유의성 검정(Significant test)을 위하여 통계적인 검정방법인 F-검정을 실시하여 분석을 하였다.

3. 분석결과

1) 통계적 기준 : RMSE

(1) 네트워크 추가에 따른 영향분석

기존의 Sioux-falls network에 단계적으로 링크를 추가시켜 분석을 하고, 동시에 O/D존수를 감소/증가시켜 나온 RMSE 결과는 〈표 3〉과 같다. O/D존수의 감소/증가없이 기준 O/D존수(1배)를 입력시키고 네트워크를 증가시킨 경우, RMSE값은 기준 0에서 최종 링크 20개를 추가시키면 38.5로 증가하였다.

반면, 최종 링크 20개를 증가시킨 후, O/D존수를 0.5배로 감소시켰을 경우는 71.5, O/D존수를 1.5배 증가시켰을 경우 64.6로서, O/D존수의 감소보다는 증가시에 RMSE값이 약간 작게 나왔다. 즉, O/D존수를 증가시켰을 경우, 네트워크도 추가되어야 하며, O/D존수를 감소시키면서 네트워크를 추가하면 오차가 커짐을 알 수 있다.

또한, 〈그림 3〉을 보면 대부분 O/D존비율 1배를 기

〈표 3〉 네트워크 추가에 따른 RMSE값

링크 추가수 OD 존비율	기본	2 추가	4 추가	6 추가	8 추가	10 추가	12 추가	14 추가	16 추가	18 추가	20 추가
0.5	61.4	61.4	65.0	67.4	67.7	68.1	68.6	70.2	70.6	70.5	71.5
0.55	55.3	55.3	59.4	62.1	62.5	62.9	63.5	65.3	65.8	65.6	66.8
0.6	49.1	49.2	53.8	57.0	57.4	57.9	58.5	60.6	61.1	60.9	62.3
0.65	43.0	43.0	48.3	52.1	52.5	53.1	53.7	56.0	56.6	56.4	58.0
0.7	36.8	36.9	42.9	47.3	47.7	48.4	49.1	51.6	52.4	52.1	53.9
0.75	30.7	30.8	37.7	42.8	43.3	44.0	44.7	47.6	48.4	48.1	50.1
0.8	24.6	24.7	32.7	38.7	39.2	40.0	40.7	43.9	44.8	44.4	46.6
0.85	18.4	18.5	28.1	35.1	35.6	36.5	37.2	40.6	41.7	41.2	43.7
0.9	12.3	12.4	24.1	32.2	32.7	33.6	34.2	38.0	39.2	38.5	41.3
0.95	6.1	6.4	20.9	30.1	30.5	31.6	32.1	36.0	37.3	36.6	39.5
1	0.0	1.4	19.2	29.1	29.5	30.5	30.9	34.9	36.2	35.4	38.5
1.05	6.1	6.2	19.1	29.2	29.5	30.5	30.7	34.6	36.0	35.2	38.3
1.1	12.3	12.3	20.9	30.5	30.7	31.5	31.6	35.3	36.7	35.8	38.9
1.15	18.4	18.4	23.9	32.8	32.8	33.6	33.5	36.9	38.3	37.3	40.3
1.2	24.6	24.5	28.0	35.9	35.9	36.5	36.2	39.2	40.5	39.6	42.4
1.25	30.7	30.6	32.6	39.7	39.5	40.0	39.6	42.1	43.4	42.5	45.1
1.3	36.8	36.8	37.5	43.9	43.6	44.0	43.4	45.6	46.8	45.9	48.3
1.35	43.0	42.9	42.8	48.4	48.1	48.4	47.7	49.5	50.6	49.7	52.0
1.4	49.1	49.0	48.1	53.2	52.8	53.0	52.2	53.7	54.8	53.8	55.9
1.45	55.3	55.2	53.6	58.2	57.8	57.9	57.0	58.2	59.2	58.2	60.2
1.5	61.4	61.3	59.2	63.3	62.8	62.9	61.9	62.8	63.7	62.9	64.6

준으로 좌우 대칭을 이루고 있지만, 네트워크가 추가될 수록 O/D존비율 1과 1.1배 사이에서 최소의 RMSE값이 나타나고 있다. 이는 네트워크 상세화에 대해서는 O/D존의 감소/증가가 대체로 민감하게 나타나지 않는다는 점을 보여주고 있다. 그러나, 오차는 네트워크가 상세화되면 O/D존도 함께 증가시켜야 RMSE값이 감소하게 된다.

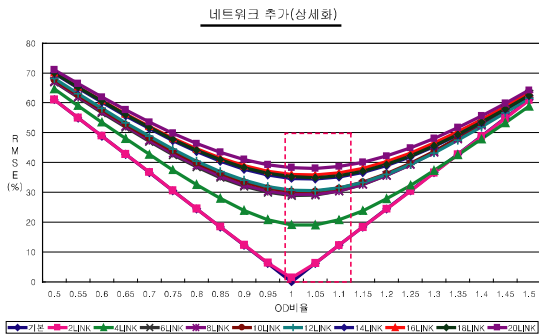
〈그림 4〉는 추가 링크간의 RMSE 차이를 나타낸 것으로 4개와 6개의 링크를 추가한 경우를 제외한 나머지는 네트워크 추가와 O/D존의 감소/증가가 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 즉, 소수의 네트워크 추가이후에는 네트워크 추가를 해도 그 영향이 미비하다는 걸 의미한다.

(2) 네트워크 삭제에 따른 영향분석

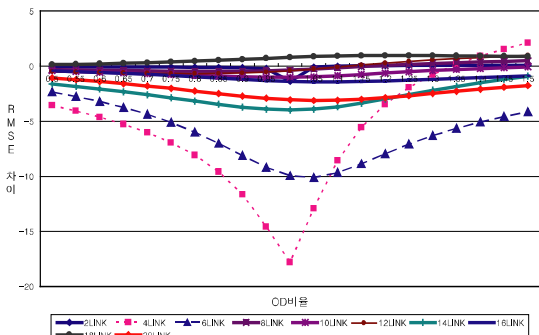
위에서 분석한 네트워크 추가와는 반대로, Sioux-falls network에서 단계적으로 링크를 삭제시키며, 동시에 O/D존수를 감소/증가시켜 나온 RMSE 결과가 〈표 4〉에 나와 있다. O/D존수의 감소/증가없이 기준 O/D존수(1배)를 입력시키고 네트워크를 삭제시킨 경우, RMSE값은 기준 0에서 최종 링크 16개를 삭제시킨 뒤 97.2로 RMSE값이 증가하였다. 네트워크 추가시인 38.5와 비교하면 많은 차이를 보이며, 현실을 제대로 반영하지 못하는 것으로 나타났다.

최종 16개의 링크 삭제시, O/D존수를 0.5배 감소시켰을 경우는 61.9, O/D존수를 1.5배 증가시켰을 경우 178.6로서, O/D존을 감소시켰을 경우 네트워크도 함께 삭제되어야 배경교통량과 관측교통량의 차이가 좁혀지는걸 알 수 있다. 또한, 링크를 6개 삭제하는 경우부터 RMSE값이 15이상 차이가 나고 있는데, 이는 링크 4개를 삭제할때까지는 영향이 미비하다가 어느 수준부터는 영향을 크게 받는다는 것으로 나타났다. 그러나, 표에서 보듯이 네트워크를 계속 집계화한다 하더라도, 일정한 범위내에 머물러 있어 그 영향이 한정되어 있음을 알 수 있다.

또한, 〈그림 5〉에서 보듯이 네트워크 추가시 모양인 좌우 대칭과는 달리, O/D존이 감소되면 네트워크 삭제수와 상관없이 동일한 패턴을 이루면서, O/D존의 비율이 0.5배 감소시에는 분석된 단계별 삭제 링크 RMSE값이 60에 근접했다. 반면, O/D존수를 증가시키면 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 특히 네트워크가 삭제될수록(8개이상 삭제되는 경우), O/D존비율이 1배가 아닌 해당 O/D존비율에서 RMSE값이 최소가 된다. 이는 네트워크 집계화에 대해서는 O/D존의 감소/증가가 오차에



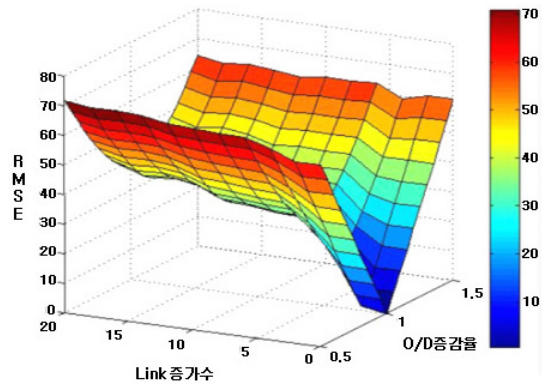
〈그림 3〉 네트워크 추가에 따른 RMSE 변화추이



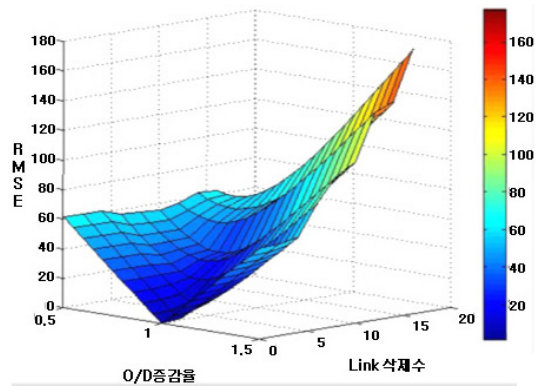
〈그림 4〉 네트워크 추가별 RMSE 차이

〈표 4〉 네트워크 삭제에 따른 RMSE값

링크 삭제수 OD 존비율	기본	2 삭제	4 삭제	6 삭제	8 삭제	10 삭제	12 삭제	14 삭제	16 삭제
0.5	61.4	61.2	61.0	57.2	56.1	55.3	58.2	62.8	61.9
0.55	55.3	55.1	54.8	51.0	50.2	49.6	54.3	59.6	60.3
0.6	49.1	48.9	48.7	44.9	44.6	44.4	51.3	57.4	60.1
0.65	43.0	42.7	42.6	39.1	39.7	39.8	49.6	56.3	61.2
0.7	36.8	36.6	36.5	33.6	35.5	36.3	49.1	56.3	63.7
0.75	30.7	30.4	30.5	28.6	32.3	34.0	50.0	57.5	67.3
0.8	24.6	24.3	24.6	24.5	30.6	33.2	52.2	59.7	72.0
0.85	18.4	18.1	18.9	21.8	30.5	34.1	55.5	63.0	77.4
0.9	12.3	12.0	13.6	21.1	32.0	36.5	59.7	67.0	83.5
0.95	6.1	6.0	9.5	22.4	35.0	40.1	64.7	71.8	90.1
1	0.0	1.8	8.5	25.6	39.1	44.6	70.2	77.1	97.2
1.05	6.1	6.8	11.5	30.0	44.0	49.9	76.3	82.8	104.6
1.1	12.3	12.9	16.4	35.1	49.4	55.6	82.6	89.0	112.2
1.15	18.4	19.0	22.0	40.7	55.3	61.7	89.3	95.4	120.1
1.2	24.6	25.1	27.8	46.7	61.4	68.1	96.2	102.1	128.1
1.25	30.7	31.3	33.8	52.8	67.7	74.6	103.3	108.9	136.3
1.3	36.8	37.4	39.8	59.1	74.2	81.3	110.5	116.0	144.6
1.35	43.0	43.6	45.9	65.4	80.8	88.1	117.9	123.1	153.0
1.4	49.1	49.7	52.0	71.9	87.5	95.0	125.3	130.4	161.4
1.45	55.3	55.9	58.2	78.4	94.3	102.0	132.8	137.7	170.0
1.5	61.4	62.0	64.3	84.9	101.1	109.0	140.4	145.2	178.6



(a) 네트워크 추가별 RMSE

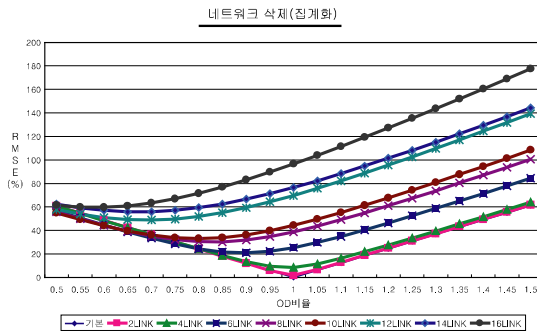


(b) 네트워크 삭제별 RMSE

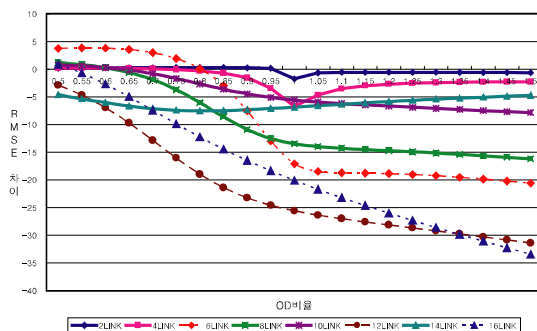
〈그림 7〉 O/D 증감과 네트워크 집계수준에 따른 RMSE 변화

민감하게 영향을 미친다는 것을 나타내며, 관측교통량과 배정교통량의 오차는 삭제(집계화)될 경우, O/D존수가 감소하면 RMSE값도 감소한다는 점을 보여준다.

링크를 2개 삭제한 경우를 제외한 나머지 링크 삭제들에 대하여 민감하게 반응하는 현상들이 〈그림 6〉에 나타나 있다.



〈그림 5〉 네트워크 삭제에 따른 RMSE 변화추이



〈그림 6〉 네트워크 삭제별 RMSE 차이

2) 통계적 검증 : F-검정

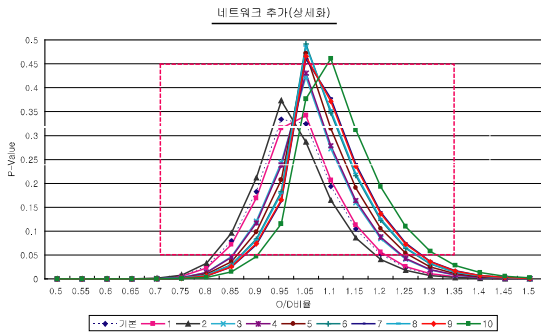
O/D존의 감소 및 증가와 네트워크 집계화수준에 따른 영향을 분석하기 위하여 통계적 검증을 수행하였다. O/D존과 네트워크의 변화가 없는 기본집단과 변화를 준 대안집단간의 유의성을 검토하기 위하여 F-검정을 실시한 결과는 다음과 같다(유의수준 0.05).

(1) 네트워크 추가에 따른 영향분석

기본 네트워크와 O/D존 비율이 1인 경우와 비교하여, 네트워크를 점차적으로 추가시키면서 O/D비율을 증

가/감소시켜 F-검정한 결과값들이 <부록표 1>에 나타나 있으며, F-검정 변화추이는 <그림 8>에서 보여주고 있다. 표에서 음영부분은 F-검정시 $p > 0.05$ 인 경우를 나타내고 있다.

네트워크 추가 및 추가되기 전의 기본 네트워크를 대상으로 F-검정을 살펴보면, O/D비율이 0.85배일 때, 0.7538807이고, 1.2배일 때, 0.053594로 0.85배와 1.2배로써, 그 범위내의 값들이 0.05이상으로써 유의성이 없는 것으로 나타났다. 2~4개 링크를 증가시켰을 때 역시 기본과 동일하게 0.85배와 1.2배 범위내에서 유의성이 없는 것으로 나타났으며, 6~8개 링크 증가시에는 0.9배와 1.2배 범위내에서, 10~18개 링크 증가시에는 0.9배와 1.25배 범위내에서, 마지막으로 20개 링크증가시에는 0.95배($F = 0.11512979$) 와 1.3배($F = 0.05781334$) 범위내에서 유의성이 없는 것으로 나타났다. 즉, 20개 링크를 추가했을 시에는 O/D존 비율을 최소 0.95배에서 최대 1.3배까지는 감소 및 증가시켜도 적절하다는 것을 의미한다. 네트워크 증가에 따라서 유의성이 없어 보이는 O/D존 비율은 1.05배와 1.1배였으며, F-검정 또한, 상세화에 따라 O/D존 증가율이 민감하게 반응하지 않았던 RMSE값과 비슷한 결과를 보이고 있다.



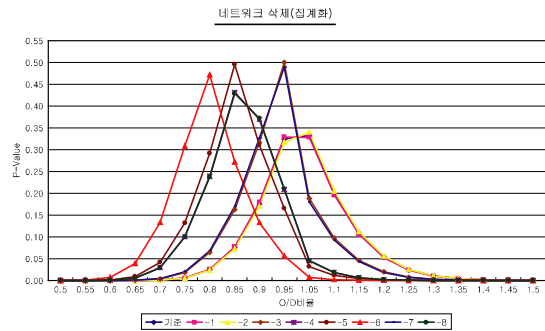
<그림 8> 네트워크 추가에 따른 F-검정 변화

(2) 네트워크 삭제에 따른 영향분석

네트워크를 점차적으로 삭제시켜 F-검정한 결과가 <부록표 2>에 나와 있으며, F-검정 변화추이는 <그림 9>와 같다.

F-검정값을 살펴보면, 2~4개 링크를 삭제시켰을 때는 기본과 동일하게 0.85배(2개 삭제시 : 0.07716)와 1.2배(2개 삭제시 : 0.05225) 범위내에서 유의하지 않은 것으로 나타났으며, 6개 링크 삭제시에는 0.8배와

1.1배 범위내에서 8~16개 삭제 시에는 0.75배와 0.95배 범위내에서 유의하지 않았다. 네트워크 감소에 따라서 유의성이 없는 구간이 네트워크 추가(0.9~1.25배)와는 달리 0.75배~0.95배 사이에서 나타나, RMSE값과 비슷한 패턴으로 유의성이 판단되었다.



<그림 9> 네트워크 삭제에 따른 F-검정 변화

IV. 결론 및 향후과제

교통수요예측을 하는데 기초가 되는 O/D존과 네트워크간의 균형관계는 중요함에도 불구하고, O/D존과 네트워크를 독립적으로 분리하여 구축해온 경향이 있다. 본 연구에서는 소규모 네트워크를 대상으로 O/D존수와 네트워크의 구축정도에 따른 통행수요의 변화를 살펴보고, 이를 통하여 O/D존과 네트워크간의 균형(balance)을 살펴보았다.

O/D존 크기와 네트워크 집계수준에 따른 영향을 분석하기 위해 Sioux-Falls network에 단계적으로 네트워크를 추가 및 삭제하였고, 그에 따라서 O/D존을 5%씩 감소/증가시켜 결과를 살펴보았다.

네트워크를 추가(상세화)시킬 경우, O/D존수 역시 증가시켜야 오차율이 작아짐을 알 수 있었는데, 예상과는 달리, 네트워크 상세화에 따라서 O/D존수 증가/감소에 민감하게 반응하지 않는 것으로 나타났다. 반대로, 네트워크를 삭제(집계화)시킬 경우, O/D존수 역시 적절히 감소시켜야 오차율이 작아짐을 알 수 있었는데, 이는 O/D존의 크기와 네트워크 삭제간에는 밀접한 관계가 있음을 보여주는 것이다. 이런 결과들은 네트워크 구축시 O/D존의 크기도 이에 상응하게 적절히 설계되어야 오차를 줄일 수 있으며, 이들간에 균형이 이루어지도록 계획해야함을 의미한다.

[부록]

<부록표 1> 네트워크 추가에 따른 F-검정

O/D	기본	2중가	4중가	6중가	8중가	10중가	12중가	14중가	16중가	18중가	20중가
0.5	1.6129E-09	1.4028E-09	3.2867E-09	4.3148E-10	3.8625E-10	2.1434E-10	1.2794E-10	8.0817E-11	1.1858E-10	8.8243E-11	2.3065E-11
0.55	1.2944E-07	1.1417E-07	2.4529E-07	3.9391E-08	3.5635E-08	2.0894E-08	1.3074E-08	8.6057E-09	1.2201E-08	9.3233E-09	2.7379E-09
0.6	4.6414E-06	4.1512E-06	8.1801E-06	1.607E-06	1.4691E-06	9.104E-07	5.9738E-07	4.0987E-07	5.6136E-07	4.4056E-07	1.4553E-07
0.65	8.486E-05	7.6952E-05	0.00013926	3.3375E-05	3.0832E-05	2.0183E-05	1.3883E-05	9.9266E-06	1.3136E-05	1.0586E-05	3.9321E-06
0.7	0.00088088	0.00080956	0.00134884	0.00039229	0.00036612	0.00025289	0.00018218	0.00013565	0.00017354	0.00014356	5.9851E-05
0.75	0.00567569	0.00528372	0.00813275	0.00284886	0.00268512	0.00195349	0.00147177	0.00113991	0.0014112	0.00119733	0.00055864
0.8	0.02447714	0.02306588	0.03294279	0.01376434	0.01309569	0.01001168	0.00787351	0.006333	0.00759699	0.00660425	0.00343395
0.85	0.0753881	0.0718518	0.0957269	0.04714581	0.04525324	0.03624967	0.02968715	0.02474872	0.02881509	0.02563317	0.01477499
0.9	0.175501	0.1690097	0.2113704	0.1209971	0.1170907	0.097939	0.0832897	0.0717928	0.0812916	0.0738856	0.04691046
0.95	0.324783	0.3156641	0.3732934	0.2443684	0.2382276	0.2072333	0.1824013	0.1621095	0.1789288	0.1658612	0.1151298
1.05	0.3327977	0.3421126	0.2865872	0.4230596	0.4307961	0.4720505	0.4919064	0.4601374	0.4866272	0.4661836	0.3764816
1.1	0.1993842	0.2065735	0.1648387	0.2722516	0.2788327	0.3148424	0.3475957	0.3775006	0.3524969	0.3717326	0.4612028
1.15	0.1081724	0.1129638	0.0858302	0.1588865	0.1636963	0.1906709	0.2161627	0.2402309	0.2200554	0.2355297	0.3116683
1.2	0.053594	0.0564086	0.04083435	0.0846534	0.0877369	0.1054405	0.1227891	0.1396985	0.1254895	0.1363559	0.1927946
1.25	0.02447714	0.02596065	0.01792743	0.0415163	0.04328157	0.0536461	0.0641579	0.0747175	0.065824	0.0726065	0.1097118
1.3	0.01040299	0.01111549	0.00733441	0.01890638	0.0198231	0.02532121	0.0310817	0.03703619	0.03201045	0.03583309	0.0578133
1.35	0.0041519	0.00446792	0.00282217	0.00806435	0.00850208	0.01118106	0.01407552	0.01714951	0.01454975	0.01652216	0.02841685
1.4	0.00156924	0.00170021	0.00103009	0.00324838	0.00344286	0.0046562	0.00600577	0.00747621	0.00623027	0.00717327	0.01312498
1.45	0.00056603	0.00061725	0.00035941	0.0012451	0.00132634	0.00184246	0.00243251	0.00309116	0.00253208	0.00295426	0.00573713
1.5	0.0001962	0.00021528	0.00012071	0.00045729	0.00048948	0.00069756	0.0009417	0.00122052	0.00098345	0.00116208	0.00238935

<부록표 2> 네트워크 삭제에 따른 F-검정

O/D	기본	2삭제	4삭제	6삭제	8삭제	10삭제	12삭제	14삭제	16삭제
0.5	1.6129E-09	1.72675E-09	1.44124E-09	1.80633E-08	9.69775E-07	2.02192E-06	2.85209E-05	2.09838E-08	9.45566E-07
0.55	1.2944E-07	1.37631E-07	1.16977E-07	1.12219E-06	3.68818E-05	6.94461E-05	0.000653737	1.28189E-06	3.60849E-05
0.6	4.64136E-06	4.90124E-06	4.24196E-06	3.11887E-05	0.000633103	0.001079793	0.006892477	3.50389E-05	0.000621497
0.65	8.486E-05	8.90081E-05	7.84242E-05	0.000444168	0.00565979	0.00878387	0.038894844	0.000490958	0.005573816
0.7	0.000880877	0.000917885	0.000822919	0.003620735	0.029634952	0.042107175	0.13319604	0.003940107	0.02927243
0.75	0.005675694	0.005876981	0.005357571	0.0185265	0.10030937	0.13147975	0.30802905	0.019864579	0.09935535
0.8	0.024477137	0.025194491	0.023333278	0.06434925	0.2389101	0.29153192	0.47200134	0.06805359	0.23721948
0.85	0.075388074	0.07716793	0.0725255	0.16235734	0.43130808	0.49523317	0.27187754	0.16956497	0.42915905
0.9	0.175501039	0.17873742	0.17025275	0.3158697	0.36943868	0.31052839	0.13299293	0.32625295	0.37150458
0.95	0.324783039	0.32928834	0.31741896	0.4998584	0.20843744	0.16538875	0.05607454	0.48856735	0.21000755
1.05	0.332797703	0.32827291	0.34030349	0.18790026	0.045130431	0.031903363	0.006874613	0.18020023	0.045647926
1.1	0.199384164	0.19591917	0.20517133	0.09744256	0.017798095	0.011904146	0.002073336	0.0925655	0.018036006
1.15	0.108172416	0.10588028	0.11202555	0.045770139	0.006407892	0.004064858	0.000578631	0.043073729	0.006505244
1.2	0.053594002	0.05225699	0.05585536	0.019688116	0.002134804	0.0012878	0.000151559	0.018360264	0.00217095
1.25	0.024477137	0.023777113	0.025668005	0.007841015	0.000666242	0.000383244	3.77183E-05	0.007248364	0.000678622
1.3	0.010402987	0.01006889	0.010974463	0.002921424	0.000196921	0.000108312	9.01404E-06	0.002678069	0.000200887
1.35	0.004151898	0.004004591	0.004405173	0.001028064	5.56579E-05	2.93499E-05	2.08753E-06	0.000934936	5.68607E-05
1.4	0.001569244	0.00150854	0.001674126	0.000344669	1.51705E-05	7.68926E-06	4.72136E-07	0.000311081	1.55193E-05
1.45	0.000566025	0.000542407	0.000607019	0.000110941	4.01693E-06	1.96174E-06	1.04977E-07	9.94145E-05	4.11452E-06
1.5	0.000196201	0.000187449	0.000211459	3.45199E-05	1.03985E-06	4.9043E-07	2.30755E-08	3.07242E-05	1.06639E-06