

미시적 교통 시뮬레이션 모형 정산 개요

양충현, 손영태

1. 서론

미시적 시뮬레이션 모형은 도로망을 이용하는 차량의 개별적인 움직임을 실제적으로 묘사하고, 이를 통해 교통 시스템의 성능을 평가할 목적으로 교통공학과 교통계획 분야에서 널리 사용되어져 왔고, 그 역할 또한 확대되면서, 모형의 정교성에 있어서도 많은 발전을 거듭해오고 있다. 미시적 모형 사용에 있어서 가장 중요한 단계는 바로 모형 정산일 것이다. 실제로 이 단계에서 사용자들은 많은 시간과 노력이 필요하고, 정산 결과는 곧 시뮬레이션 결과의 신뢰성에 매우 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 특정 모형이나 software가 아닌 전반적이고 올바른 미시적 시뮬레이션 모형 정산 개요에 대한 설명을 목적으로 한다. 미시적 시뮬레이션 모형은 크게 3 단계에 걸쳐 개발되고, 사용된다. 가장 중요한 점으로는 이용자가 분석하고자 하는 특정 지역의 현재 조건을 시뮬레이션 모형이 일관성 있게, 그리고 합리적으로 묘사가 가능한가 하는 점이다.

1단계) 시뮬레이션 모형 안에 포함된 이론 확인

교통공학이나 계획 분야에서 모형 개발과 관련한 연구자들은 먼저, 운전자 행태와 차량 성능에 관한 합리적인 모형을 현실적으로 구체화하고, 이를 바탕으로 본격적인 연구를 수행하게 된다. 이러한 연구의 목적은 주로 구체화된 모형들이 실제 현상을 제대로 묘사할 수 있는가에 대한 타당성을 검증하게 된다. 이에 대한 연구 결과로 논문발표 등의 형식을 통해 최종 검토를 받게 된다.

2단계) 모형 Software 검증

전문적인 프로그래머들은 이론적으로 검증된 여러 가지 모형을 하나의 software에 삽입하는 과정을 수행한다. 이것이 바로 두 번째 단계인 Software 검증이다. 프로그래머들은 software에 대한 잠재적인 고객과 사용자들을 위해 모든 검증 과정과 그 결과뿐만 아니라 삽입된 이론들이 software 안에서 얼마나 잘 조화를 이루고 있는가에 대한 문서화하여 제공한다.

3단계) 모형 정산

Software 개발 시 개발자들은 일반적으로 이용자들이 software를 더 쉽게 배우고 더 쉽게 사용할 수 있도록 하기 위해 많은 수의 모형 계수(parameters) 들을 위한 defaults 값을 제공한다. 그러나 software 사용자들은 연구지점에 대해 더 나은 결과를 얻기 위해서 기본적으로 제공된 default 값들을 연구지점 특성에 맞게 수정해야 한다. 이러한 절차를 “모형 정산” 이라고 한다.

II. 본론

모형 정산의 목적은 미시적 시뮬레이션 모형에 삽입되어 있는 기본 모형들의 계수 값들을 보정해서 분석구간에 대해 좀 더 실제와 유사한 통행 행태를 묘사하기 위함이다. 모형 정산은 시뮬레이션 결과에 영향을 줄 수 있는 매우 다양한 모형 계수들과 밀접한 관련이 있다. 따라서 분석자 입장에서 어느 수준에서 정산을 완료할 것인가에 대한 한계 또는 수준을 정하는 기준이 필요하다. 정산의 기본 가정은 시뮬레이션 모형 안에 삽입된 통행 행태 모형은 견고하다고 가정한다. 그러므로 링크의 용량과 자유류 속도 같은 입력 자료가 정확하다면, 시뮬레이션 결과로 나오는 지체, 통행시간, 그리고 밀도를 따로 검증할 필요는 없다. 단지 사용자가 고려해야 할 부분은 연구지점의 특성을 더 상세히 묘사하기 위해 몇 가지 계수들을 수정하는 것이다. FHWA에서 미시적 시뮬레이션 모형 정산에 대한 중요성을 강조한 연구가 있다. 6개의 다른 상용 미시적 시뮬레이션 모형에 대한 평가를 위해 동일한 고속도로 구간을 대상으로 장래 속도를 예측하였는데, 약 69% 정

도의 예측오차가 발생하였고, 현재 속도 예측에 대해서도 대략 13%의 오차가 발생된다는 점을 확인하였다. 정산이 필수적인 이유는 그 어떠한 모형도 모든 가능한 교통 상태에 대해 동일하게 정확하다고 기대할 수 없기 때문이다. 가장 정밀하다고 알려진 미시적 교통시뮬레이션 모형조차도 실제 교통상태를 묘사하기 위해 포함되어야 할 여러 가지 변수들 중 단지 일부를 포함하고 있다. 정산은 무수히 많은 모형의 계수들을 보정하고 검토하는 것과 관련이 있기 때문에 이용자들은 쉽게 함정에 빠질 수가 있는데, 예를 들어 하나의 계수를 보정했을 때, 또 다른 문제가 발생하는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 일종의 “전략”, 즉 논리적이고 연속적인 단계를 통해 정산을 수행하는 것이다. 일반적으로 받아들여지는 정산의 단계는 4가지로 요약된다.

1. Error-Checking

정산을 시작하기 전에 모형 입력 자료들이 정확하게 준비되었는지 확인하는 것이 중요하다. Error-Checking은 구축된 교통망, 교통수요, 그리고 default parameter의 다양한 검토와 연관된다. Error-Checking과 관련된 항목은 다음과 같다.

- ① 차량관련 계수 (차종구성, 차량 성능특성, 차량 제원 등)
- ② 링크 속성 검토
- ③ 교차로 속성 검토
- ④ 수요 입력 검토
- ⑤ Error를 확인하기 위해 매우 낮은 교통량에서 시뮬레이션 수행
- ⑥ 주행하는 특정 차량 추적

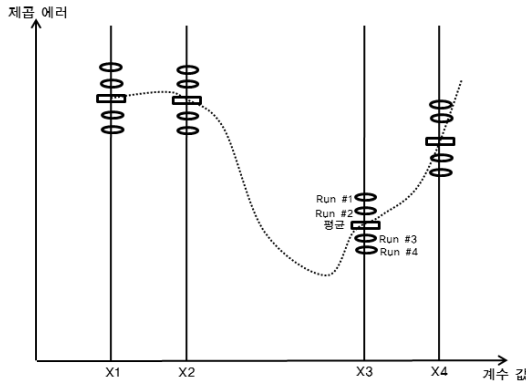
2. 용량 정산

모형의 계수는 일반적으로 크게 두 가지로 분류된다. 첫 번째는 분석가가 판단했을 때 보정이 필요 없는 계수들의 집합이다. 이러한 경우, 분석가들

은 계수들에 대한 합리적인 의미나 구체적인 값들에 대한 정보를 가지고 있지 않을 때 보정을 피하는 것이 좋다. 두 번째로는 분석가가 판단했을 때 보정이 필요한 계수의 집합이다. 이는 다시 용량에 영향을 미치는 계수들과 경로 선택에 영향을 미치는 계수들, 두 가지로 구분한다. 이 중 먼저 용량에 영향을 미치는 계수들에 대한 보정이 필요하다. 분석대상이 연속류 시설인 경우, 적어도 15분 동안 대기행렬이 유지되는 지점들을 선택해야 한다. 그리고 대기가 풀리는 지점에서 교통류율을 측정한다. 관측 교통류율은 상류부에 대기행렬이 존재하는 동안에만 측정된다. 모든 차로에 걸쳐 교통류율이 합해지고 동일한 시간당 교통류율로 변환한다. 이것이 바로 현장에서 측정된 시설의 측정 용량이 된다. 분석대상이 단속류 시설, 특히 신호교차로인 경우에 HCM 절차에 따라 차로 당 시간당 포화 교통류율을 현장에서 측정하고, 차로 당 적어도 대기 차량 수가 10대 이상인 교차로의 접근로를 선택한다. 이상적으로는 적어도 3개 또는 4개의 비신호교차로에 대한 용량을 측정하는 것이 바람직하다. 마찬가지로, 3개 또는 4개의 신호교차로에서 포화교통류율을 측정하는 것이 바람직하다. 만약 현장에서 직접 용량 측정이 어렵다면, HCM 방법이 대신 사용될 수 있으나, 이러한 방법은 현장에서 직접 측정한 결과보다 정확하지 않다는 점을 고려해야 한다.

1) 용량 추정

미시적 시뮬레이션 모형은 “용량”이라는 구체적인 값을 직접적으로 산출하지 않고, 대신 특정 지점을 통과한 차량의 수를 산출하기 때문에 분석가는 정산해야 할 도로구간 상류부에 대기 행렬을 형성할 수 있도록 수요를 조절한다. 고속도로나 지방부 도로와 같은 연속류 시설에 대해서는 모사된 대기행렬 (simulated queue)이 모사 시간(simulated time) 동안에 모든 차로와 분석구간 링크에 걸쳐 적어도 15분 동안 지속되어야 한다. 모사된 용량은 모든 차로에 대해 합하고 분석 구간에 설치된 검지기에서 측정된 평균 교통류율이다. 다시 말하면, 이것은 대기 행렬이 존재했을 때의 15분 또는 그 이상 기간 동안 평균된 값이다. 이 값을 차로 수로 나누어 시간당 교통류율로 변환하면 된다. 신호교차로에서 입력된 수요는 녹색신호가 시작되었을 때 대기해 있는 차량이 적어도 10대가 되어야 한다. 검지기는 각 차



〈그림 1〉 MSE 최소화 과정

로에 설치되어 이것을 통과하는 10대의 차량에 대한 배출 차두시간을 측정하기 위해 정지선에 설치된다. 차로 당 차두시간은 각 차로에 대해 평균되고 다시 차로에 걸쳐서 평균된다. 결과는 그 때 차로당 시간당 교통류율로 변환된다.

정산의 목적은 시뮬레이션을 수행을 통해 현장 용량 값을 재생산하는 것이기 때문에 차량 추종이론, 차로 변경, 그리고 간격수락 모형의 유기적 관계로부터 나온 최대교통류율에 영향을 미치는 계수들이 정산되어야 한다. 수요와 경로선택, 통행 발생을, 친속도, 비용함수, 등에 영향을 미치는 계수들은 이 단계에서는 고려하지 않는다. 대부분의 미시적 시뮬레이션 모형들에서 산출되는 평균 차두시간과 평균 반응시간 등은 용량 정산 계수들로써, 사용된다. 분석가들은 모형에 의해 추정된 최대 가능 교통류율과 용량의 현장 값 사이의 평균 제곱 에러 (MSE)를 최소화하는 것이 필요하다. 그러나 어떤 연구자들은 하나의 척도가 나타내는 에러가 다른 척도성능과 혼합될 때 (교통량 vs 통행시간) 분석가가 의도하지 않은 가중효과를 피하기 위해 percent mean square error 를 사용해서 모형을 정산해왔다. percent MSE는 각 제곱에러를 현장관측 값에 의해 나눠서 구할 수 있다.

분석가들은 제곱에러(squared error)를 최소화하기 위한 최적 계수 조합을 검토하는데 탐색 전략 (search strategy)을 반드시 사용해야만 한다. 이를 위해 다양한 software 와 heuristic search 방법을 이용 할 수 있다. 분석을 위한 최적의 global 용량 정산 계수 값들이 산출되더라도, 여전히 분석구간

내 특정 구간에서 실제 현장 값과 모사 값 (simulated results)이 큰 차이를 보일 수 있다. 다음 단계는 예측된 용량 값이 실제 용량의 구체적인 측정값의 차이를 근소하게 만들기 위한 (1% 이내) 미세 조정 작업 (fine-tune)이 필요하다. 링크 특성을 나타내는 용량의 보정 값들은 용량에 영향을 미치는 거리 주차 유무, 이면도로, 좁은 길어깨 등과 같은 도로부 요인들을 설명한다. 이러한 요인들은 실제로 시뮬레이션 네트워크의 입력자료 집합에 포함되어 있지 않다. 링크 특성을 나타내는 보정계수들은 운전행태를 근거로 만들어진 것이 아니기 때문에 사용에 있어서 신중하게 고려되어야 한다.

3. 수요 정산

용량정산이 성공적으로 완료되면, 그 다음 단계로서, 수요와 관련된 모형 계수들을 정산해야 한다. 이는 관측된 수요 수준과 경로 선택을 일치시키는 작업이다. 정산의 두 번째 단계의 목적이 운영 상태를 분석하는 것이 아니라, 관측된 교통량을 재생산하는 것이기 때문에 통행발생율, 침두시 수요, 운전자 친숙도 (familiarity), 링크 비용함수, 링크 자유류속도 등과 같이 교통수요와 경로선택에 영향을 미치는 계수들은 이 단계에서 정산되어야 한다. 이 단계에서 모형 정산을 위한 현장 측정값은 간단하게 교통량이 사용된다. 따라서 분석가들은 분석 도로망 안에 서로 다른 지점에서 예측된 링크 교통량 또는 지점 교통량을 현장 관측 값과 일치시키기 위한 노력이 필요하다. 이 단계에서는 이전 단계와 마찬가지로 관측된 교통량과 추정된 교통량 사이의 MSE를 최소화하는 것이 중요하다. 미세조정 작업 (fine-tuning)은 각 링크에 배정된 수요 비율에 영향을 미치는 링크 특성 경로 선택 요인에 대한 적용으로 구성된다. 이러한 요소들은 자유류 속도 그리고 경로 선택 시 사용되는 링크 특성 통행비용 등을 포함 할 수 있다.

4. 포괄적인 검토

이 단계에서는 모형에 의해 예측된 전반적인 교통 성능을 대기시간, 대기 길이, 통행시간과 같은 현장 측정값들과 비교한다. 이용자들은 분석구간 링

크 자유류 속도나 링크 용량을 현장 조건과 더 잘 일치시키기 위해 매우 신중하게 수정해야 한다. 이 단계에서의 어떠한 변화는 이전 두 단계 정산 결과를 손상시킬 수 있기 때문에 매우 조심스럽게 진행해야 한다. 모형정산 목적은 모형 성능 추정 값들과 현장 값들을 가능한 한 잘 일치 시키는 것이다. 그러나 모형 안의 에러 (error)를 모두 제거하는 데에는 너무나 많은 시간과 노력이 들어가기 때문에 어느 정도 한계가 있는 것은 당연한 것이다. 모형 수행 결과의 정확성을 조금 향상시키기 위해 너무나 많은 시간과 노력이 필요한 시점이 있는데 이것은 “한계효용체감법칙”의 원리에 비유할 수 있다. 따라서 이용자들은 언제 정산을 완료해야 하는지 알아야 할 필요가 있다. 다음 식은 GEH 통계 치로써 일반적으로 미시적 교통 시뮬레이션 모형 값과 현장 값을 비교할 때 사용되는 계산 방법이다.

$$GEH = \sqrt{\frac{(V-C)^2}{(V+C)/2}}$$

여기서, GEH : 통계치

V : 모형에 의해 산출된 특정 지점에서의 일 방향 시간당 교통량

C : 모형과 동일한 지점에서의 실제 관측 교통량

GEH 값을 이용하면, 두 개의 서로 다른 교통량 집합을 비교할 때 간단히 백분율을 사용할 때 경험할 수 있는 단점을 보완할 수 있다. 이것은 실제 교통망의 교통량은 매우 넓은 구간에 대해 다양하기 때문이다. 일반적으로 GEH 값이 5 이하인 지점이 전체 지점의 85% 이상인 경우, 그 예측 값은 관측 값과 일치하여 사용하기에 타당하다고 판단한다.

III. 결론

모형 정산 절차를 모두 완료한 뒤, 실제 시뮬레이션이 돌아가는 화면 (screen)을 보며, 마지막으로 검토를 할 수 있다. 만약 시뮬레이션 상의 차량 주행 행태가 비현실적으로 나타나면, 다음과 같은 절차를 통해 반드시 원인을 규명해야 한다.

1. 분석가 기대에 대한 에러

시뮬레이션 화면에서 확인된 것을 “차량의 비정상적인 행태”로 결론짓기 전에 현장에 가서 실제로 그러한 행태가 발생하는 지를 검토할 필요가 있다. 이는 실제 분석가들이 예상치 못한 비정상적인 차량 행태가 실제 도로 망에서 많이 관측되고 있기 때문이다.

2. 분석 자료 입력 에러

분석가들은 시뮬레이션을 위한 자료 입력이 제대로 수행되었는지 확인해 볼 필요가 있다. 매우 미묘한 자료 입력에 있어서의 에러는 기존의 상용 시뮬레이션 모형에서 비정상적인 차량 주행 행태를 나타내는 주요 원인으로 알려져 왔기 때문이다.

3. 화면 에러

실제 시뮬레이션 모형이나 정산에는 아무런 문제가 없으나 단지 화면에서 보이는 시각적인 부분의 오류로 인해 마치 차량이 비정상적인 행태를 보이는 것으로 착각하게 만들 수 있다. 이런 문제가 발생했을 경우, software 제작사에 의뢰해서 해결해야 한다.

미시적 교통 시뮬레이션 모형은 수년간 교통정책대안 평가나 ITS 효과 평가, 새로운 전략 시행에 따른 영향 분석 등 교통공학과 교통계획 분야에서 널리 사용되고 있는 실정이다. 이용자나 분석가가 사용하기 편리한 만큼 합리적이고 타당한 결과를 얻기까지 많은 시간과 노력이 필요하다. 이러한 시간과 노력의 감소를 최대한 줄이고 시뮬레이션 이용 효과를 극대화하기 위해서는 올바른 정산과정이 필수적이다. 기존 상용 미시적 시뮬레이션 모형이나 장래사용 될 모형에서 이러한 정산과정은 필수적으로 고려되어야 할 것이기에 이에 대한 바른 이해는 매우 중요하다고 볼 수 있다.

참고문헌

1. Dowling, R., Skabardoinis, A, Halkias, J, McHale, G, Zammit, G (2004). Guidelines for Calibration of Microsimulation Models: Framework and Applications. TRB 1876, 2004.
2. UK Highway Agency's Design Manual for Roads & Bridges (DMRB)
3. US-HCM (2000)



양충현



손영태