시스템 다이내믹스를 이용한 터널공사비 예측 모델 개발

A tunnel construction cost estimation model using system dynamics

박용우, 박희성*
한밭대학교

Park Yong-Woo, Park Hee-Sung*
Hanbat National University

요약

도로건설에 있어 계획단계에서 초기공사비의 정확한 예측을 위해 아직 연구가 미흡한 터널공사비 예측 모델을 시스템 다이내믹스를 이용하여 개발함으로써 합리적인 터널공사비 예측을 위한 토대를 마련하여 올바른 의사결정을 돕고 예산 낭비를 방지하기 위함을 목적으로 하였다.

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

근래 이후 자동차 문명의 발달로 급격하게 늘어나는 도로 건설에 있어서 다양한 요구를 수용하기 위해 도로의 본래 기능을 충실히 할 수 있도록 도로 사업을 효과적으로 추진하는 것이 중요하다. 즉 도로사업의 효율적 계획과 사업추진을 위해 투입된 비용 변화의 주요 요인을 규명하여 예산의 적정성을 도모하고 비용결정 의사결정의 합리성을 재고할 필요가 있다. 이런 시대적 요구에 부응하고 적절한 투자를 위해 초기단계에서의 정확한 공사비 예측이 필요하다. 특히 우리 나라와 같이 산악지형이 많은 경우 터널이 도로의 많은 비중을 차지하고 있어 터널공사비 예측이 중요하다. 그러나 터널공사비 계산 시 단순히 단위 길이 당 공사비를 계산하는 수준에 있어 정확한 공사비 예측이 어렵다. 따라서 초기 도로 공사비 예측에 있어서 비중이 큰 토공공사비와 구조물 공사비 중 공사비 예측에 많은 영향을 미치는 구조물 공사비의 터널공사비 예측에 주안을 두었다. 본 논문에서는 터널의 주류공법인 NATM 터널을 대상으로 하였다.

* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2009-0073838)

2. 연구 동향

본 논문은 시스템 다이내믹스를 이용하여 터널공사비에 영향을 미치는 요인을 분석하고 그에 따른 예측을 제시하기 위해 기존 연구들을 고찰하였다. 시뮬레이션 모델링을 통한 NATM 터널공정 생산성 향상 분석[3], 표준단면을 이용한 터널 공사비 예측모델 개발[4], 터널공사비에 미치는 영향요인 분석에 관한 연구[5] 등이 있다. 국내의 터널공사는 아직 확정적인 시뮬레이션 모델이나 결과 지표가 없어서 지속적인 노력이 필요하다. 따라서 상당한 물량과 시간, 기술을 필요로 하는 작업을 수행할 경우 이것을 최적화하기 위한 도구로 시뮬레이션 함으로써 많은 이득을 가져올 것이라고 기대된다.

3. 시스템 다이내믹스(System dynamics)

시스템 다이내믹스는 1961년 Forrester가 산업체 재고량과 노동력의 불안정한 변화, 시장점유율의 감소문제들을 다룬 산업동태론을 발표한 후 기업경영, 공공정

책, 공학, 그리고 각종 인간의 의사결정행위에 대한 이해와 문제 해결을 위한 독특한 시각과 방법으로 광범위하게 응용되어 왔다. 즉, 현상을 이해하고 설명하거나 이러한 이해에 기초한 모델을 구축하여 복잡한 인과관계로 구성된 현상이 어떻게 동태적으로 변해 나가는지를 시험해 보는 방법론이다[1].

Ⅱ. 터널공사비 인과지도

NATM 터널은 국내의 대다수 터널공사에서 쓰이고 있다. 기존 연구 문헌 분석을 통해 영향 요인들을 분석하였다.

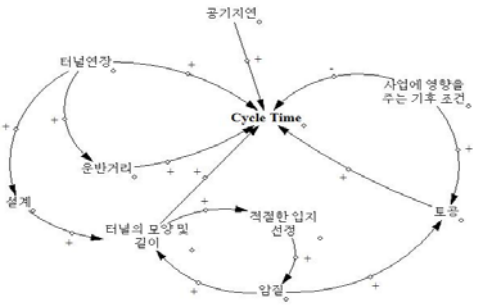
표1. 터널공사비 영향요인

구분	영향요인
터널 공사비	Cycle Time, 노무비, 자재비, 장비 임대비, 물가상승, 용지보상비용, 토공, 안전사고, 공사관리팀의 경험/기술, 암질, 공기지연
Cycle Time	토공, 터널연장, 터널의 모양/길이, 기후조건, 적절한 입지 선정, 암질, 터널의 모양 및 길이, 설계, 운반거리
토공	굴착공법/방법, 발파방식, 천공방법, 버력 상차용 로우더의 장비 용량, 버력의 단위중량, 토량환산계수, 기폭장치, 덤프트럭 적재용량, 지하수위, 사토장 및 부대시설물 위치, 지장물, 현장 조건, 기후 조건, 작업자 기술, 공사관리팀의 경험/기술, 보조공법, 지반 조사, 생산성, 안정성, 경제성, 시공성, 굴착단면의 크기와 형상, 주변 환경영향, 막장의 자립성 등

기존 연구들은 생산성과 적용성에 대한 연구와 세부적인 공종에 따른 연구가 많았다. 따라서 터널공사의 전체적인 흐름에서 터널공사비에 영향을 미치는 모든 부분에서의 영향요인들에 대한 분석이 필요하다. 본 논문은 모든 요인들을 포함하여 그 중 비중이 가장 큰 토공과 Cycle Time, 터널공사비로 나누어 인과지도를 작성하였다.

1. Cycle Time 인과지도

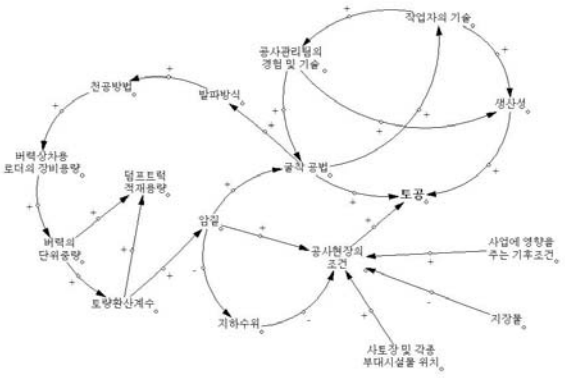
그림 1과 같이 Cycle time에 영향을 미치는 요소들을 결정하여 상관관계를 분석하여 인과지도를 나타내었다. Cycle time에 영향을 주는 대표적인 요소들은 공기지연과 기후조건, 토공, 터널의 모양 및 길이, 터널 연장으로 규정하였다.



▶▶ 그림 1. Cycle time 인과지도

2. 토공의 인과지도

터널공사에서 토공의 비중이 가장 크다는 것으로 규정하였고 그에 따른 영향 요인들도 많았다. 토공에 공사비의 비중이 가장 크고 토공에 따라서 공기도 영향을 받는다는 것을 통하여 사전에 많은 조사와 연구가 필요하다는걸 알 수 있었다. 기존 연구 문헌 등을 조사 및 분석하여 그림 2와 같은 인과지도를 제시하였다.



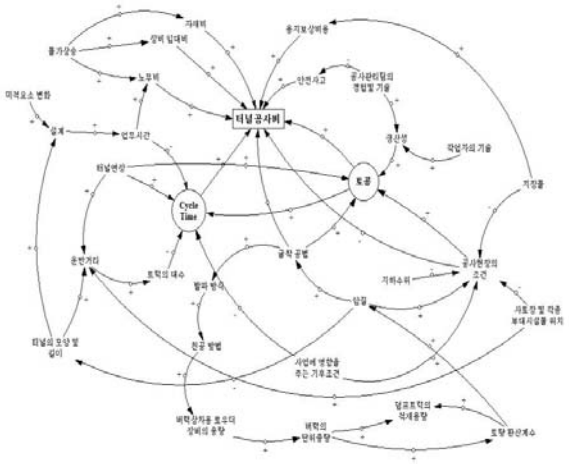
▶▶ 그림 2. 토공의 인과지도

토공의 모든 요소를 조사한 결과 각 공종별 영향요소들은 그에 따른 장, 단점을 모두 가지고 있기 때문에 무엇이 더 효율적이고 경제적이라는 규정을 하기 힘들다. 따라서 현장의 여건 및 모든 요소들을 고려하여 상황에 적합한 방법을 적용하는 것이 필요하다. 또한 정성적인 부분에 대해서 정량적으로 규정하는 것이 향후

더 보완되어야 할 것이다.

3. 터널공사비 인과지도

위의 요인들을 종합하여 그림 3과 같은 인과지도를 제시하였다. 지금까지 터널에 적용되는 공법 및 조건 등에 따라 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구가 미흡하고 관련 자료의 부족으로 각 단계에서의 공사비 및 공기에 미치는 영향을 예측하는데 어려움이 많았다. 토공과 Cycle time 의 각각의 영향요인들은 여러 단계로 영향을 미치고 서로 연관관계를 가진다.



▶▶ 그림 3. 터널공사비 인과지도

Ⅲ. 결론

본 연구에서 터널공사비에 영향을 미치는 요인들을 분석하여 영향요인들의 상관관계를 제시하였다. 각 영향요인들을 분석한 결과 이 요인들이 각각의 연관뿐 아니라 다른 과정에 있어서도 영향을 미친다는 것을 볼 수 있었다. 이로 인해 어느 한 가지 요인만을 고려하여 나중의 요인을 결정하는 데에는 여러 가지 한계가 있다. 또한 영향 요인들 중 정성적 요인을 정량적으로 변환하기 위한 기준 수립이 필요하다. 따라서 각 과정별로 영향요인들에 대한 상호관계를 파악하고 이 연구를 기초로 하여 인과지도를 정량적인 모델로 개발하여 시뮬레이션을 통해 조사한다면 터널 공사비 예측에 대한 객관성과 기준 확립에 이바지 할 것으로 기대된다.

■ 참 고 문 헌 ■

[1] 원서경, “시스템 다이내믹스를 활용한 토공장비의 조합 모형 연구” 한국건설관리학회 논문집, 제8권, 제2호, pp. 194-202, 2007.
[2] 터널의 이론과 실무, 한국터널공학회, 구미서관.
[3] 천진용, “시뮬레이션 모델링을 통한 NATM 터널공정 생산성 향상 분석”, 대한토목학회논문집, 제25권, 3D호, pp. 457-462, 2005.
[4] 조정연, “표준단면을 이용한 터널 공사비 예측모델 개발-공사비 영향요인 분석”, 대한토목학회논문집, 제28권, 5D호, pp.665-675, 2008.
[5] 조정연, “터널 공사비에 미치는 영향요인 분석에 관한 연구”, 중앙대학교 건설대학원, 2007.