

도로 건설 공사의 총 프로젝트 생산성 측정 및 분석 기법

The Measurement and Analysis Techniques of Total Project Productivity on Transportation Projects

이 승 현*

Lee, Seung-Hyun

요약

본 논문은 도로 건설 공사 프로젝트들의 전 공정에 걸쳐 수행되는 모든 작업들을 대상으로 총 프로젝트 생산성 (Total Project Productivity)을 측정하고 분석하기 위한 방법을 소개한다. 측정 방법의 주안점은 복합적으로 병행되는 작업들의 생산량을 통합하여, 프로젝트 전체에 대한 포괄적인 생산성 값들을 구하는 방법을 개발하는데 두고 있다. 이 방법을 통해 Florida Department of Transportation (FDOT)로부터 발주된 세 개의 실제 고속도로 건설 공사 프로젝트들로부터 수천 개의 총 프로젝트 생산성 데이터 값들이 얻어졌으며, 이를 바탕으로 프로젝트 생산성을 분석하기 위한 방법의 타당성 검증이 이루어졌다. 그 결과로, 프로젝트 레벨에서의 총 생산성은 건설 작업들에 관한 현장 자료를 바탕으로 측정과 분석이 이루어질 수 있음이 입증되었다.

Keywords: 총 프로젝트 생산성, Equivalent Work Unit, 도로 건설 공사, 계약 지불 내역서

1. 서론

건설 산업에서 생산성과 관련된 연구들은 다년간 활발하게 이루어져 왔으며, 그 결과 생산성을 측정하기 위한 다양한 접근 방법들이 제시되었다. 그렇지만 건설 산업에는 빌딩, 도로, 항만, 공항, 발전소, 교각, 기타 건설 등과 같은 다양한 분야가 존재하고 있으며 이들 각 분야는 각기 다른 특성을 갖고 있기 때문에, 기존에 제시된 정량적인 생산성 측정방법들이 건설 산업의 모든 분야에 일률적으로 적용될 수 없음은 당연하다 하겠다. 따라서 각 산업의 특성을 고려한 적합한 생산성 측정방법에 관한 연구가 필요하다. 실제로 생산성 관련 연구가 부족한 도로 건설 공사 분야도 그중 하나라 하겠다.

또한, 기존의 연구들은 콘크리트 블록 쌓기나 거푸집 설치 공사와 같은 개별적인 작업 공중에 연관된 생산성의 측정과 이해에 초점을 맞추었다. 그 결과, Thomas (1990) 나 다른 연구자들은 작업조의 생산성과 연계된 문제점들을 측정하고 분석하는 데 있어 많은 기여를 하였다. 예를 들어, 작업 생산성에 부정적인 영향을 미치는 작업 지연 요소들의 파급 효과에

관한 연구도 그 중 하나라 하겠다.

그렇지만 프로젝트의 성과는 프로젝트와 관련된 모든 작업 공중들의 생산성에 의해 결정된다. 그러므로 몇 개의 작업 공중들을 대상으로 생산성을 측정하는 것은 프로젝트의 총 생산성을 파악하는데 충분하지 못하다. 더욱이 하나의 건설 프로젝트는 일반적으로 다양한 작업들이 유기적으로 병행되며 진행되는 복잡한 절차로 구성되기 때문에, 하나의 작업 지연 요소가 발생했을 경우에 많은 작업에 영향을 미칠 수 있으며 전체 프로젝트 성과에도 영향을 줄 수 있다. 총 프로젝트 생산성(Total Project Productivity)을 측정하고 분석할 수 있는 능력은 이러한 복잡한 절차를 이해하는데 있어 또 다른 기회를 제공할 수 있다.

이에 본 논문은 도로 건설 공사 프로젝트들의 TPP를 정량적으로 측정하고 평가하기 위한 방법을 개발하고 제시하는데 그 목적을 두고 있다. 개발된 방법의 타당성은 세 개의 사례연구들을 통해 검증되었으며, 각 프로젝트를 대상으로 일일 TPP 값들이 프로젝트 진행기간 동안 측정되었다. 본 논문에서는 그 측정 방법과 결과에 대해 자세히 설명하고 있으며, 또한 TPP에 영향을 미치는 요소에 관한 사전적인 분석과 앞으로의 연구 방향에 대해서 제안하고 있

* 일반회원, 중앙대학교 건설산업기술연구소, 전임 연구원, 공학박사

다.

2. 관련된 기존 생산성 연구의 고찰

건설 산업계에서는 많은 연구자들이 생산성에 관한 연구를 수행해왔다. 일반적으로, 기존에 연구된 방법들은 작업 단위에서의 생산성 평가에 초점을 맞추고 있다. 그렇지만 기존의 어떤 방법도 작업과 관련된 정보를 가지고 프로젝트 레벨에서의 총 생산성을 측정하기 위해 적용된 적이 없다.

더불어, 현재 사용 중인 방법들이 건설 산업의 모든 분야에서의 생산성을 측정을 하는 데 적합하다고 할 수도 없다. 이와 관련해, Mohammadian과 Waugh는 “산업계 전반의 생산성에 대해서 어떤 하나의 측정 방법이, 비록 정확하다 할지라도, 건설과 같이 다양한 산업의 경우에는 불충분하다”라고 주장했다(1997). 그럼에도 불구하고, 건설 산업계의 몇몇 분야에서는 생산성에 관한 연구가 거의 이루어지지 않았으며, 도로 건설 분야는 그 중 하나로 생산성을 측정하기 위한 데이터가 거의 없는 실정이다. 다만 본 장에서는 기존에 건설업계에서 생산성을 묘사하고 측정하기 위해 개발된 몇 가지 관련 모델 및 방법에 대해 간략하게 소개함으로써 건설 생산성의 측정과 분석에 관한 이해를 돕고자 한다.

Thomas (1999)는 그림 1에서 보는 바와 같이 작업 단위에서의 생산성을 묘사하고 측정하기 위한 Factor-Resource 모델을 소개하였다. 이 모델은 어떠한 전환 기술 혹은 작업 방법을 사용해 투입 자원들을 산출 수량으로 전환하는 과정을 묘사한다. 여기서 각각의 투입자원들은 적당한 시기에 적당량으로 투입되어야만, 생산 과정이 효율적으로 진행될 수 있음을 보여준다. 다만, 이 과정은 여러 가지 작업 지연요소들의 발생으로 인해 비효율적이 될 수도 있다.

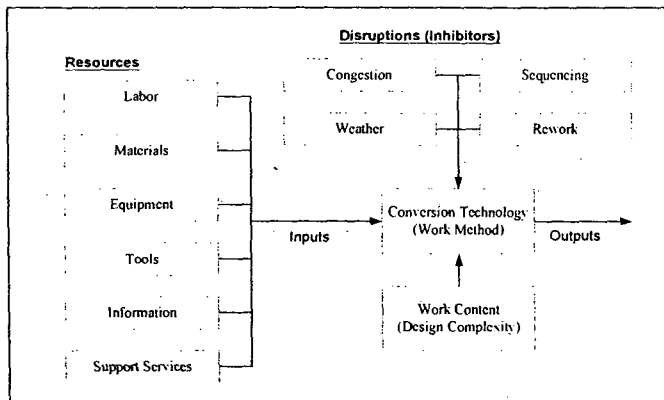


그림 1. Factor-Resource Model (Thomas 1999)

Alarcón과 Ahsley는 그림 2에서 보이는 것처럼 General Performance 모델(GPM)을 제안하였다. 이 모델은 전문가로부터의 경험과 프로젝트 팀으로부터의 평가를 종합하여, 개개의 프로젝트 성과를 예측하기 위해 개발되었다. 이 모델은 개념적인 모델 구조와

계측 모델 구조의 두 구조로 구성되어 있으며, 이 구조들은 프로젝트 진행시 여러 대안들과 예상되는 비용, 공기 및 다른 성과와 관련된 요소들과의 여러 조합들을 테스트하여 프로젝트 성과를 예측하는데 적용된다.

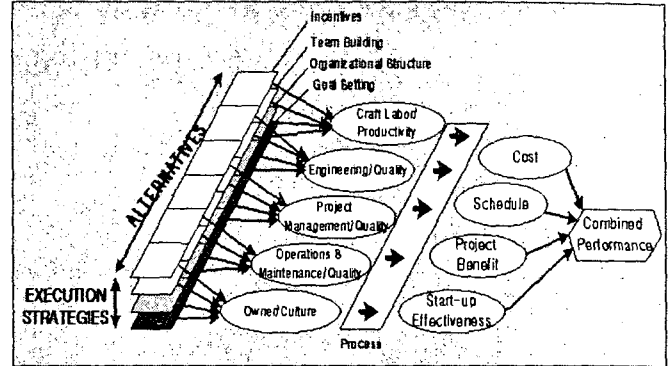


그림 2. General Performance Model (Alarcón, Ahsley 1992)

Thomas 와 Završki는 건설 노동 생산성을 측정하고, 벤치마킹을 하기 위한 이론적인 모델을 연구하였다(1999). 이 연구에서, 생산성 측정의 기본 데이터가 되는 한 작업 조에 의해 진행된 총 작업 수량들은 전환 계수들 (conversion factors)에 의해 계산된다. 이 계수들은 몇 가지 작업 공종으로부터 측정된 수량들을 하나의 표준 작업 공종에 상응하여 동등한 수량으로 전환하여 통합된 산출량을 구하는데 사용된다. 예를 들어, 치수가 다른 벽돌이나 블록을 쌓는 작업에서 주로 시공되는 치수의 벽돌이나 블록에 대한 작업을 표준으로 하여, 다른 치수의 벽돌이나 블록 쌓기 작업을 끝마친 경우에 그 기성 수량들을 표준 치수의 조적 작업을 했을 때 가능한 생산 수량으로 전환할 때, 이 계수를 적용해 하나의 치수로 나타난 총 산출수량을 산출하게 된다. 또한 이 연구는 “하나의 프로젝트나 데이터베이스에 대해 가장 좋으며 안정적인 생산성”을 기준생산성으로 정의하여 생산성을 분석하는 방법을 보여준다.

본 장에서 소개된 생산성 관련 연구들에서 보듯이, 건설 작업을 대상으로 생산성을 예측하는 데 있어서는 어떤 표준 방법이 따로 정해져 있는 것이 아니다. 다시 말해서, 이는 많은 생산성 추정 방법들이 결국은 각기 다른 조건들을 설명하기 위한 안내서 역할을 한다는 것을 의미한다(Alarcón, 1997).

3. TPP 측정 및 분석 방법의 개발

하나의 프로젝트에 대한 총 프로젝트 생산성(TPP)은 모든 작업들을 수행하기 위해 투입된 총 노동 수량과 모든 작업을 통해 생산된 총 산출 수량을 고려하여 구해진다(이승현, 2004). 따라서 TPP를 정량적으로 계산하기 위해서는 모든 투입 수량과 모든 산출 수량을 측정하기 위한 적절한 방법을 필요로 한다.

이 방법은 기본적으로 다음 두 가지 기능을 효과적

으로 수행할 수 있어야 한다. 첫 번째 기능은 도로 건설 공사 프로젝트들을 대상으로 TPP 값들을 산정하는 것이다. 매일 현장에서는 여러 가지 다양한 공종들이 진행되기 때문에, TPP 값들을 정량적으로 계산하기 위해서는 다양한 작업들로부터 상이한 단위를 가지고 측정된 기성 수량들을 하나의 값으로 통합한 총 산출 수량을 추정할 필요가 있다. 두 번째 기능은 프로젝트의 전 공정에 걸쳐 TPP의 변화를 파악하고 분석하는 것이다. 이는 도로 건설 작업들의 진행 상태를 효과적으로 관찰하고 관리하기 위해 필요하다.

일반적으로, 생산성은 산출량과 그 산출량을 만들기 위해 투입한 투입량의 비율로서 정의된다. 따라서 한 프로젝트의 TPP를 정량적하여 추정하기 위해서는, 기본적으로 그 프로젝트의 대표적인 단일 총 투입량과 단일 총 산출량을 규정할 필요가 있다. 건설 공사에서 대표적인 투입량으로는 주로 작업조의 노무 시간을 고려한다. 실제로 대부분 공사비의 많은 부분을 노무비가 차지하므로, TPP 측정을 위해 모든 작업 원들의 총 노무 시간(Worker-Hours)을 투입요소로 활용하는 것에는 별무리가 없다. 하지만, 단일 산출량을 구하는 것은 그리 간단하지가 않다. 그 이유는 공종별 기성수량들이 다양한 작업들을 통해 얻어지므로, 그 수량들의 측정 또한 각각의 공정에 적합한 다양한 측정단위를 적용해 구해진다는 것이다. 따라서 TPP 측정을 위한 총 산출량을 계산하기 위해서는 이러한 기성수량들을 합리적으로 통합하는 방법이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 Equivalent Work Unit (EWU)이라는 하나의 공통 단위를 개발하여 사용하였다. 여기서 1 EWU는 8시간의 노무를 투입하여 얻어질 수 있는 동등한 일의 양으로 정의된다.

그림 3은 TPP 측정을 용이하게 하기 위해 여러 기성수량들을 단일 산출량으로 통합하는 과정을 단계별로 설명하고 있다. 또한, 이 통합 과정에 따라 두 개의 다른 공종 작업들로부터 얻어진 기성 수량들을 단일화하기 위한 계산 과정을 예시하고 있다.

이 과정의 첫 단계는 프로젝트의 모든 작업과 작업 구성원들에 관한 정보를 포함하는 데이터베이스를 구축하는 것이다. 일반적으로 도로 건설 공사 프로젝트들은 계약 내역에 따라 공종별로 단가 계약을 하고 기성을 지불하게 된다. 여기서 구분된 공종들은 작업 현장에서 편리하게 작업들을 구성하고 기성고를 측정하는데 사용될 수 있다. 두 번째 단계는 위 공종별 각 작업에 대한 평균 단위 생산성(Unit Production Rate)을 구하는 것이다. 이를 위해 기본적인 작업 구성원으로 이루어진 작업 조들의 평균 UPR들이 각 작업에 부여될 수 있다. 일반적으로 UPR은 다음 세 가지 형태의 자료를 바탕으로 추정될 수 있다. 즉, 표준 품셈 자료 간행물, 건설 회사의 축적자료, 및 경험을 바탕으로 얻어진 자료 등이다. 본 논문에서 UPR과 표준 작업 조들은 “RS Means Heavy Construction Cost”와 “National/Florida Heavy Construction Cost”과 같은 표준 품셈 자료 간행물들을 바탕으로 계산되었다.

다만 몇몇 공종별 작업들에 적용된 표준 품셈 자료의 단위 생산성 값들은 그 작업들의 일의 범위와 표준 품셈 자료가 제시하는 일의 범위를 고려하여 보정되었다. 각 공종별 작업들에 대한 일의 내용, 범위 및 시공방법 등은 FDOT의 Design Standard (2002), Specifications (2002), 그리고 Estimate Handbook (2003)에 명시된 내용을 토대로 규명하였다. 마지막 단계에서는 그림 3에서 보이는 계산방법에 따라, 다른 측정 단위로 기록된 각 공종별 작업들의 기성 수량들을 공통 단위인 EWU를 적용한 작업 수량들로 전환한다. 전환된 수량들은 같은 측정 단위를 사용하기 때문에, TPP 산정을 위한 단일 총 산출량을 구하는 것이 가능해진다.

TPP는 이렇게 EWU에 의해 산정된 단일 총 산출량과 이 산출량을 이루기 위해 투입된 총 노무 시간을 가지고 계산된다. TPP 측정 주기는 작업 관리자의 편의에 따라 매일, 매주, 혹은 다른 시간 간격에 따라 이루어지며, 기본적인 TPP 함수는 수식 (1)과

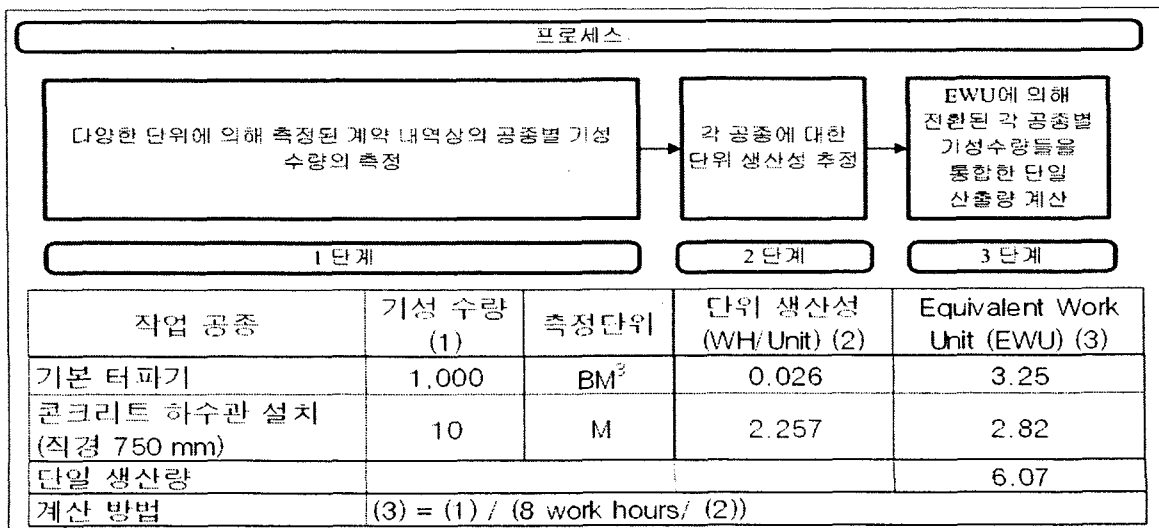


그림 3. 통합된 단일 산출량 계산과정 및 예제

표 1. 사례 연구 프로젝트의 공사 개요

	공사내용	공사위치	공사비용	공사기간
사례 연구 A	차선 확장 공사	State Road 121 McClenny, Florida	\$4,470,086	400 days
사례 연구 B	기존 4차선 도로 개량 공사	State Road A1A/Collins Avenue Miami Beach, Florida	\$6,885,005	550 days
사례 연구 C	차선 확장 공사	State Road 90 Miami Florida	\$6,528,349	550 days

같이 표현된다.

$$TPP = \frac{\text{Total Worker-Hours}}{\text{Total Equivalent Work Units}} \quad (1)$$

TPP의 측정 방법에 대한 검증은 세 개의 사례 연구 프로젝트들을 통해 이루어졌다. 표 1은 각 사례 연구 프로젝트의 공사 개요를 간략히 소개하고 있다.

세 개의 사례 연구 프로젝트들을 대상으로 일일 투입량과 산출량을 포함하는 데이터베이스들이 일일 TPP의 측정을 목적으로 구축되었다. 매일 완료된 기성 수량들이 측정되어 EWU 값들로 전환되어졌고, 하루 동안 전환된 총 EWU 값이 일일 TPP를 계산하기 위한 단일 산출량으로 사용되었다. 총 일일 노무 시간들은 총 일일 EWU를 생산하기 위해 사용된 모든 작업 원들 개개의 노무 시간들을 합하여 계산하였다. TPP 값들은 프로젝트들이 진행되는 동안 매일 측정되었으며, 이에 따라 자연스럽게 초기 분석이 이루어졌다.

4. 연구 결과 및 논의

기본적인 연구 목적은 프로젝트 레벨에서의 생산성 지표로서 TPP 데이터를 측정하고 그 변화를 분석하는 것이다. 세 개의 사례 연구 프로젝트들을 대상으로 측정된 일일 TPP 값들은 기존 연구에서 보인 일일 작업 생산성과 마찬가지로 상대적으로 높은 변화성을 보여주었다. 그림 4는 사례 연구 프로젝트들 가운데 하나로, 프로젝트가 시작되고 최초 60일 동안 측정된 일일 TPP 값들을 대표적인 예로서 보여주고 있다. 그림에서 보듯이, 일일 TPP 값들은 변동 폭이 현저하게 크고 잦음을 보이고 있다.

이 그림에서 Y축상의 TPP 값들은 높으면 높을수록 생산성이 저하되었음을 나타내며, 생산성 저하를 보여주는 기간들은 대체로 프로젝트 진행 중에 발생한 다양한 작업 지연 요소의 영향을 받은 결과들이다. 이 사례연구의 경우는 프로젝트 전체 공정에 걸쳐 TPP 측정이 이루어졌다.

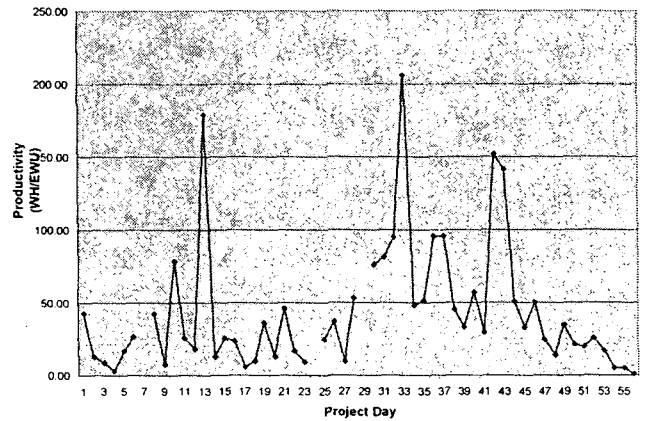


그림 4. 60일 동안 측정된 일일 TPP의 변화 (사례 연구 프로젝트 A)

주간 평균 TPP 값들의 사용은 크게 변동하는 일일 TPP 측정 결과에 대한 유용한 평균 효과를 보여준다. 예를 들면, 세 개의 사례 연구에서 측정된 주간 평균 TPP 값들은 사례 연구 프로젝트들 간에 프로젝트 생산성을 비교 분석하는데 있어 편의성을 제공한다. 그림 5는 사례 연구 프로젝트 A와 B에 대한 주간 평균 TPP 값들의 변화를 보여준다.

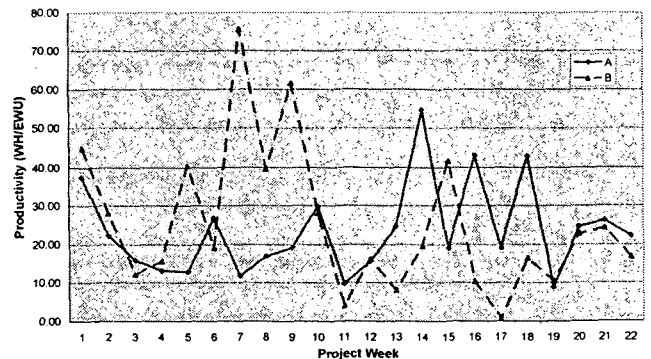


그림 5. 22주 동안 측정된 주간 TPP의 변화 (사례 연구 프로젝트 A와 B)

이 그림에서 두 프로젝트들은 주간 TPP 값들이 상대적으로 크게 변동하는 부분과 생산성 저하를 보이는 기간이 유사한 형태로 나타남을 보이고 있다.

그림 6은 이와는 다른 사례 연구 프로젝트 C의 주간 TPP의 변화를 보여준다.

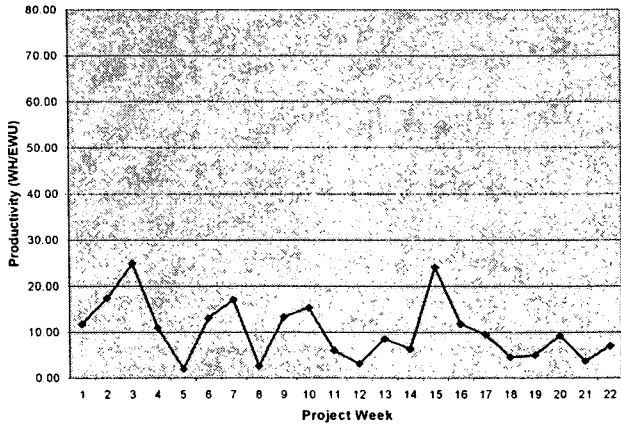


그림 6. 22주 동안 측정된 주간 TPP의 변화 (사례 연구 프로젝트 C)

이 그림은 현저한 작업 지연 요소들의 발생 없이, TPP가 안정적으로 향상되고 있음을 보이고 있다. 이러한 차이점은 특정한 작업 지연 요소들이 TPP 값들의 변화와 상관관계가 있음을 암시하며, 이에 관한 연구의 필요성을 시사한다. 예를 들면, 그림 7은 사례 연구 프로젝트 B에서 측정된 주간 TPP 값들과 프로젝트에서 발생한 작업 지연 요소들과의 상관관계를 간략하게 표시한다.

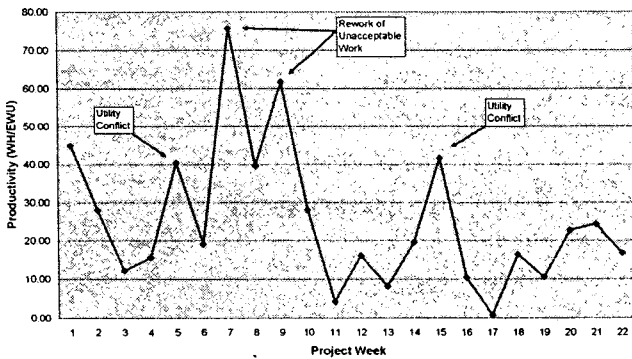


그림 7. 작업 지연 요소와 TPP의 상관 관계 (사례 연구 프로젝트 B)

측정된 TPP 데이터의 또 다른 의미 있는 분석은 생산성 저하가 TPP 값들의 변동과 관련이 있다는 것이다. 생산성 향상은 일반적으로 매일 측정되는 TPP 값들이 좀 더 안정적으로 변화할 때, 즉 건설 작업들이 좀 더 안정적으로 지속적인 생산을 이루었을 때 발생했다. 이 사실은 TPP의 변동이 프로젝트 관리 효과의 지표로 활용될 수 있다는 것이다. 즉, 프로젝트 관리의 향상은 TPP의 잦은 변동을 줄이고 생산성 향상의 결과로 이어진다는 것이다. 그림 8은 표준 편차로 나타낸 TPP의 변동 정도와 TPP 측정치와의 상관관계를 보여준다.

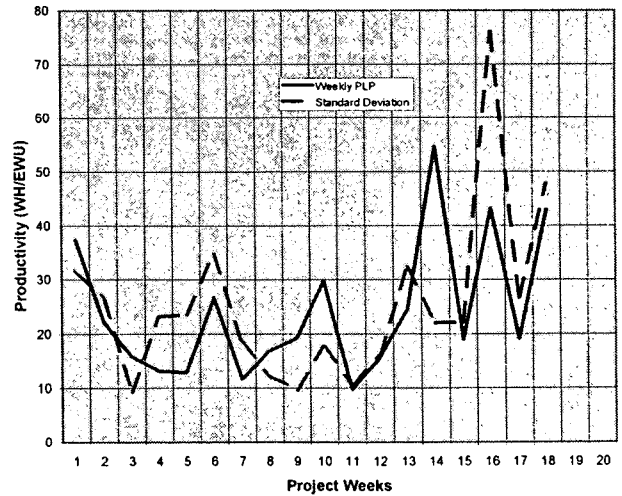


그림 8. TPP의 변동과 TPP의 상관 관계

5. 향후 연구 방향 및 결론

프로젝트 레벨에서 생산성을 측정하기 위한 TPP 측정 방법은 건설 생산 과정을 연구하기 위한 또 하나의 도구를 제공한다. 이는 전체 프로젝트를 이루기 위한 노력에 대한 생산성의 측정 가능성이 결국은 건설 생산 과정 자체를 좀 더 배울 수 있는 기회의 장을 열어주기 때문이다. 예를 들면, 다음과 같은 주제들이 TPP의 측정으로 인해 가능한 잠재적 연구 분야가 될 수 있다.

- (1) 작업 지연 요소들과 총 프로젝트 생산성과의 관계 (이는 프로젝트 레벨에서의 기준 생산성을 결정하고 비효율적인 작업 시간을 정량적으로 산정해 낼 수 있는 가능성을 제공한다.)
- (2) 총 프로젝트 생산성에 영향을 미치는 관리방식의 효과
- (3) 서로 다른 형태의 프로젝트들을 대상으로 전체 공사 기간 동안에 변화하는 총 프로젝트 생산성의 파악 및 비교 분석

위와 같은 질문에 대한 해답을 구하기 위해서는 좀 더 많은 프로젝트들의 분석을 필요로 할 수 있다. 또한 본 논문에서 구해진 TPP 값들은 절대적인 측정치라기보다는, 노동 생산성에 관련된 지수로서 활용하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 그리고 본 연구는 단가 계약과 지분 형태의 전형적인 행정 절차에 따라 진행되는 미국의 도로 건설 프로젝트에 국한되어 이루어졌기 때문에, TPP 측정을 위한 데이터수집이 비교적 용이하였다. 따라서 TPP의 측정은 접근이 가능한 데이터를 갖고 있는 다른 어떤 형태의 프로젝트에도 적용될 수 있음을 감안하여 지속적인 연구를 할 필요가 있다.

생산성은 프로젝트 성과를 파악하기 위한 중요한 지표로서, 생산성의 향상은 프로젝트의 공사 비용과 기간의 감소로 이어진다. 하지만 생산성 향상의 전체

조건은 생산성을 측정할 수 있는 능력에 달려있다. 다른 연구자들은 본 연구와 같은 노력을 통해 개발된 측정 방법들을 좀 더 새로운 시각에서 논의하고 발전시켜 나갈 것이라 믿는다. 이는 실무자들로 하여금 프로젝트 레벨에서의 생산성을 추적하고, 그들의 프로젝트 관리 시스템을 진보시키는 역할을 담당할 것이다.

참고문헌

1. 이승현(2004) Equivalent Work Unit의 적용을 통한 도로 건설 공사의 총 프로젝트 생산성 측정 방법. 大韓土木學會論文集, 대한토목학회, 제 24권, 제 5D호, pp. 787-794.
2. Alarcón, L. F. & Ahsley, D. B.(1992). *Project performance modeling: A methodology for evaluating project execution strategies*. Report to the Construction Industry Institute, University of Texas, Austin.
3. Alarcón, L. F.(1997) Modeling waste and performance in construction. *Lean Construction*, A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands, Editor Alarcón, L. F, pp. 51-66.
4. FDOT State Estimates Office(2003). 2004 Basis of estimates handbook. Retrieved October 2003, from <http://www.dot.state.fl.us/estimates/BOE/04BOEonline.htm>
5. FDOT State Roadway Design Office(2002). 2002 Design standards. Retrieved October 2002, from http://www.dot.state.fl.us/rddesign/rd/RTDS/02/2002_Standards.htm
6. FDOT State Specifications Office(2000). Standard specifications for road and bridge construction 2000. Retrieved October 2002, from <http://www.dot.state.fl.us/specificationsoffice/v2kBook/loc.htm>
7. Mohammadian, R. & Waugh, L.(1997). Productivity adjustment in construction prices indexes (Catalogue No. 62F0014MPB). Analytical series, Canada: Prices Division, Statistics Canada, and University of New Brunswick, pp. 1-10.
8. Thomas, H. R., Maloney, W. F., Horner, R. M. W., Smith, G. R., Handa, V. K., & Sanders, S. R.(1990). Modeling construction labor productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 116(4), pp. 705-726.
9. Thomas, H. R. & Završki, I.(1999). *Theoretical model for international benchmarking of labor productivity*. Final report prepared for Pennsylvania Transportation Institute, Pennsylvania State University, University Park. (PTI 9913)
10. Thomas, H. R. & Završki, I.(1999). Construction baseline productivity: Theory and practice. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125 (5), pp. 295-303.

부록 I. 용어설명

TPP = Total Project Productivity Index
(총 프로젝트 생산성 지표)

EWU = Equivalent Work Unit

UPR = Unit Production Rate
(단위 생산성)