

# 다(多)공구 도로 공사 현장 장비들의 운영 실태 파악을 위한 생산성 지표 정립에 관한 연구

## Formalization of Productivity Metrics for Equipment in Multi-sectioned Road Construction Projects

김 홍 열\*  
Kim, Hong-Yeul

구 본 상\*\*  
Koo, Bonsang

### Abstract

Large road construction projects are typically partitioned into sections that are then contracted individually to contractors. Each section requires using similar heavy equipment including excavators, dump trucks and pavers, which constitute the highest cost. Normally the equipment is not shared between them, as each contractor wishes to have their equipment readily available. However, such practices result in very low utilization of these equipment. The goal of this research is to develop a programmatic resource sharing system in which contractors can share equipment depending on the changing needs of a multi-sectioned road project. This paper introduces the results of a survey performed to investigate how contractors currently manage the supply and demand of equipment and the equipment that are practical for sharing across a project. More importantly, the paper describes a set of metrics (DPR, nDPR, SDI) needed to quantify the amount of supply/demand variance occurring in each section. The metrics were used on an actual road construction project, and the results show that each section suffers from an imbalance between its monthly planned and actual utilization of equipment. The results also indicate that the sharing of the equipment can lead to potentially large savings as equipment requirements can be met within a project as to short leasing from outside vendors.

**Keywords :** road construction, resource sharing system, nDPR(normalized deviation from planned resource), SDI(supply demand imbalance)

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

도로건설사업은 주로 선형(線形)계획에 의해 인접하게 늘어선 공사구간을 공구별(工區別)로 분리하여 발주한다. 각 공구는 다수의 개별사업자에게 의해 시공되며 이는 도급자들 간의 균등한

기회와 경쟁을 통한 기술의 향상 및 높은 성과를 기대하기 위함이다.

그러나 이런 분리 발주는 장비의 생산성을 저해하는 요인으로도 작용한다. 도로 건설 특성상 공구별 시공사들이 쓰는 장비는 유사함에도 불구하고 공구 간 자원을 공유하는 경우는 드물거나 비체계적으로 이뤄져 효율적인 자원의 운영이 안 되는 것이다. 이런 “칸막이식” 운영으로 인해 바로 인접한 공구에서 필요로

\* 일반회원, 서울과학기술대학교 건설공학부 석사과정, kenyajoon@naver.com

\*\* 종신회원, 서울과학기술대학교 건설공학부 조교수, 공학박사(교신저자), bonsang@seoultech.ac.kr

하는 장비가 며칠 혹은 몇 주 동안 가동이 안 되고 있는 것을 자주 목격하게 된다. 실제로 본 연구에서 실시한 사전조사에서 페이퍼(paver)와 같은 고가 장비들의 평균 가동률이 10~20%에 그치는 것으로 드러났다. 반면에 인접한 다수의 공구를 단일 시공자가 운영할 경우, 자체적으로 여러 공구에 걸쳐서 자원을 적절하게 배분하면서 활용하기에 더 적은 비용으로 효과적으로 운영된다는 사실이 이를 반증해 준다(한국건설기술연구원 2010).

본 연구는 이런 점들에 착안하여 다(多)공구 도로 건설 현장의 자원 공유를 통한 생산성 향상 방안을 모색하는 데에 목적을 두고 있다. 즉, 단일시공자가 자신의 다공구현장을 효율적으로 운영하듯이 발주자 또는 Program Manager(PgM)가 다공구에서 발생하는 유휴 자원을 필요 공구에 적시적소에 투입할 수 있게 하여 전체 사업의 자원 가동률을 높이고 이에 따라 총비용의 절감을 도모하는 것이다.

이런 관점은 사업의 생산성을 높이기 위해서 사업 참여자들 간 유기적인 연동 작업을 통해 신뢰도 향상을 강조하는 린 건설(Lean Construction) 이론과 그 맥락을 같이 한다(구본상, 2008). 또한 다수의 개별 Project를 전체론적(holistic) 관점에서 효과적으로 관리하여 사업의 총비용 및 리스크를 감축할 수 있다는 프로그램 매니지먼트(Program Management)방식과도 일맥상통한다(PMI 2008).

그러나, 현실적으로 각 공구를 책임지는 개별 시공자들이 자신의 장비를 공유하기를 꺼려할 수 있다. 이는 타 공구의 시공사를 경쟁자로 인식하고 자신의 장비를 계속 보유하여 공정의 차질을 피하고 싶기 때문이다. 그러므로 본 연구에서는 유휴장비가 발생할 경우에만 장비를 다공구간 공유하는 것을 전제로 한다. 이와 더불어 유휴 장비의 발생 정도를 파악하고 이를 계량화하는 방법을 제시한다. 유휴장비의 정도가 크면 클수록 장비를 공유할 수 있는 개연성과 그 당위성이 동시에 증가하기 때문이다.

그러므로 본 논문은 먼저 단일 현장에 맞춰져 있는 기존의 장비 활용도 측정방법을 프로그램(즉, 다공구)차원에 맞추어 정립하고, 이를 적용하여 현행 다공구 현장들의 자원 수급불균형이 어느 정도인지 파악할 수 있는 일련의 지표(metrics)들을 개발하는 데에 그 목적을 두었다. 이를 통해 현 운영상의 미흡한 점을 파악하고, 어떤 자원이 리소스공유에 적합한 지 도출하였다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 한국도로공사 및 도로교통연구원의 데이터를 기반으로 <그림 1>에서와 같이 다 공구간에 흩어진 자원의 부족분과 잉여분을 파악하여 가장 비용효율적으로 자원의 수급을

“matching”해 주는 리소스 공유 시스템(resource sharing system)의 구축을 목적으로 한다..

이러한 시스템의 구축에 앞서 현행 운영 실태를 계량적으로 파악할 수 있는 모델이 필요하며 이를 위해서 이론적 고찰에서는 다공구 현장관리(Multiple Project Management), 린 건설 및 프로그램 매니지먼트에서 주장하는 생산성 향상 방안에 관한 연구 문헌을 조사하였다.

두 번째는 현재 운영 실태를 파악하고자 도로 시공 전문가들에게 설문과 인터뷰를 진행하였다. 구체적으로 도로건설 생산성에 대한 인식 및 향상 방안, 그리고 다공구 현장에서 장비가 부족하거나 남을 때 그에 따른 현재의 대처 방안을 알아보았다. 마지막으로 도로 사업현장에서 사용되는 자원의 개별 특성과 제약 조건들을 설문하여 공구간 공유에 적합한 장비자원을 선별하는 작업을 진행하였다.

세 번째는 다공구 현장의 자원의 수급불균형정도를 파악하기 위한 ‘자원활용도’ 측정 방안을 구상하였다. 현장에서 각 공구마다 의무적으로 작성하는 일일작업일지의 데이터를 기반으로 일정기간동안 다공구의 장비의 활용도를 측정할 수 있는 방안을 마련하였다. 지금까지의 건설생산성측정방안은 개별 장비의 단일 현장에서 국한되었고, 다공구 현장에서의 측정 방법은 정립된 것이 없기 때문이다. 마지막으로 본 측정 방법을 실제 진행 중인 다공구 현장을 선정하고 활용되고 있는 3개 장비의 활용도를 3개월간의 작업일지를 근거로 하여 개별 장비의 활용도와 자원 수급 불균형 정도를 분석해 보았다.

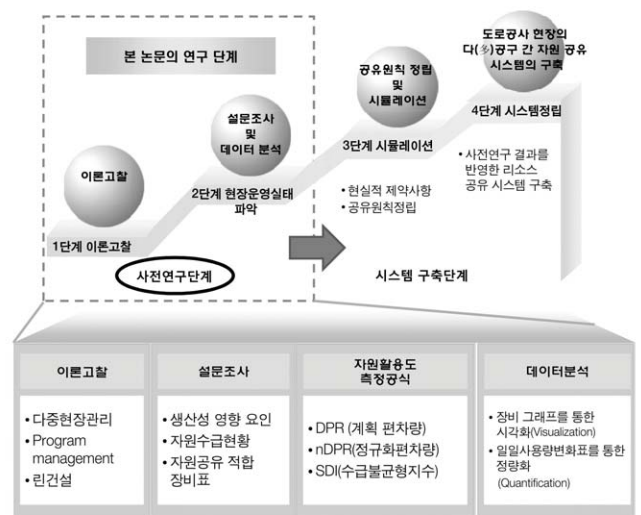


그림 1. 연구진행 흐름도

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 린 건설(Lean Construction)

본 연구는 린 건설(Lean Construction)의 이론과 그 맥락을 같이 하고 있다. 린 건설에서는 사업참여자들의 작업간 유기적 연동 작업을 중시한다. 즉, 선 후행 작업간 대기(idle time)나 재작업(rework) 없이 연속흐름(continuous flow)를 이루기 위해서는 후행작업이 필요로 하는 자원을 제때에 제공(release)해 줘야 한다고 한다(Ballard 1994). 여기서 자원이라 하면 인력, 장비뿐만 아니라 외부에서 조달되는 자재 및 설계 정보도 모두 포함된다. 각종 자원이 적시 적소에 투입되면 각 사업주체들의 작업 신뢰도가 개선되고 전체 사업의 비용 및 공기가 향상된다는 것이다(Koskela 1992, Ballard 외 1인 1994, Tommelein 외 1인 1997).

그러나 일반 건설현장에서는 연동 작업이 거의 이뤄지지 않고 사업참여자들은 각각 칸막이 식으로 지엽적인 운영을 하는 경우가 많다. 더불어 각자의 성과, 즉 기성을 맞추는 데에 급급해 전체 사업은 자연스럽게 지연되기 마련이다(Kim and Ballard 2000).

본 연구의 초점이 되는 다 공구의 도로건설 현장에서도 역시 공구간 정보나 자원의 공유가 이뤄지지 않는 문제점이 있다. 오히려 공구 별로 개별 자원을 '매점'(買占)(hoarding)하는 것이 더 일반적이다. 이는 개별 공구에게는 유리할지 모르나 전체 사업 측면에서는 손해인 것을 보지 못하는 근시안적 사업관리 방식이라 할 수 있겠다. 결국, 유용하게 활용될 수 있는 자원이 이러한 행태로 인해 현장에 방치되는 것을 볼 수 있다.

더불어, 본 연구에서 제시하는 공유 모델은 발주자뿐 아니라 개별 시공사들에게 득이 되도록 하기 위한 모델이다. 즉, 장비를 공유해 주는 입장에서는 유희장비일 때 제공하는 것이며 장비를 공유 받는 입장에서는 추가임대 대신 가까운 공구에서 장비를 공급받을 수 있게 된다. 공사가 진행되면서 각각의 입장은 바뀔 수 있으며 상호 장비의 가동률을 높일 수 있고 기회비용을 줄일 수 있는 모델이다. 더불어 앞서 언급한대로 유희장비의 정도를 정량적으로 파악하는 것이 중요한데, 정도의 차이에 따라 그 당위성이 증대되기 때문이다. 예를 들어, 전체 사업에서 10대의 고가장비(예, 굴삭기)가 1개월간 일일평균 7-8대가 가동된다면 공유의 필요성이 낮을 수 있으나, 만약 2-3대 정도로 가동이 된다면 그 만큼 유희 자원이 많다는 것을 알 수 있고 이에 따라 공유의 기회가 많다는 것을 의미하기 때문이다.

이는 린 건설에서 작업의 신뢰도를 측정하고 이를 기반으로 개선방안을 구축하는 방법에 기인하는 것이다.

그러므로 본 연구는 린 건설 이론을 도로 건설 다공구 현장 특

성에 맞게 적용하는 방안을 구축하는 것을 그 시발점으로 한다. 기존 린 건설 관련 연구는 주로 대규모 또는 복합화된 건축물에 집중하였고(김창덕 외 1인 2006, 임철우 외 2인 2006, 구본상 외 3인 2006, 구본상 2008), 특히 다공구 현장에 적용한 사례는 드물기에 기존 연구와는 차별화된다.

### 2.2 다중현장관리 및 프로그램 매니지먼트(Multiple Site Project Management and Program Management)

다수의 프로젝트 관리와 연관된 연구는 크게 '다중현장관리'(Multi-Site Project Management; MSPM) 및 프로그램매니지먼트(Program Management; PgM)로 구분된다.

다중현장관리는 단일 건설회사가 다수의 현장에 자원을 투입할 경우 이를 어떻게 관리할 것인가에 초점을 두고 있다(Pennypacker 외 1인 2002, 한국건설교통기술평가원 2003, 정성림 외 3인 2004, 한주연 외 3인 2004). 즉, 여러 현장의 여건(사업 참여자, 계약조건, 공정 진행률, 현장 리스크, 등)에 따라 회사 자원의 적정 배분을 통한 효율의 극대화 방안을 제시한다. 그러나 본 연구는 하나의 사업에 여러 건설회사가 참여할 때 이들의 자원을 공유하는 방안의 구축이므로 다중현장관리와는 그 개념이나 접근방식이 다르다.

본 연구는 이 보다는 프로그램 매니지먼트와 그 맥락을 같이 한다. 프로젝트매니지먼트협회(Project Management Institute, PMI)의 의하면 "프로그램 매니지먼트는 개별 관리를 통해 얻을 수 없는 효과를 얻기 위해 서로 연관된 프로젝트를 조직적으로 관리하는 것이다"로 정의된다(PMI 2008).

즉, 프로젝트 매니지먼트(Project Management)는 하나의 프로젝트를 주어진 비용, 공기, 품질에 맞게 관리하는 것이지만, 프로그램 매니지먼트는 다수 프로젝트 관리를 위한 별도의 거버넌스(governance)을 구축하여, 다수 프로젝트간의 관계를 융합(integrate) 및 일치(alignment)시키는 데에 주안점을 두어 전체 프로그램의 비용 및 리스크를 관리하는 것이다(Prieto, 2009). 더불어, 프로그램 매니지먼트의 목적 중에는 다수 프로젝트에 투입된 자원의 우선순위와 조율을 통해 운영의 효과를 극대화시키는 것에 있다(Kini 2000, Nokes 2007).

본 연구가 다공구 도로 건설 현장의 자원 공유 및 운영을 도모하는 바, 이는 단일 건설회사가 수행하는 데에는 한계가 있으며, 도로공사와 같은 발주자가 프로그램 관리자(Program Manager)로서 역할을 수행해야 할 것이다. 특히 그 역할이 다수 프로젝트에 투입된 자원의 우선순위 및 조율이라는 점에서 프로그램 매니지먼트와 그 맥락을 같이 한다고 판단된다. 그러므로 본 연구는 다공구 도로건설사업에서 프로그램 매니지먼트를 수

행하는 방안을 구축 및 정립하는 데에서 그 연구적 의미를 둔다.

### 2.3 건설 생산성 측정 방안 및 가동률

본 연구의 목적 중 하나는 다공구 현장에서 사용되는 장비의 생산성을 정량적으로 측정하는 데에 있다.

일반적으로 생산성은 투입된 자원의 양과 그로 인해 발생된 결과물 또는 산출물의 비율로 표현된다(건산연 1997). 연구 측면에서는 건설업의 총산출을 총투입으로 나누어 생산성을 측정하는 거시적인 연구와 특정 프로젝트에 있어서의 구체적인 투입-산출 간의 관계를 규명하는 데 목적을 둔 미시적인 연구가 이루어져 왔다(이승현 외 1인 2005).

미시적 연구의 경우 생산성은 일반적으로 단위 생산성(Unit Production Rate), 즉, 해당 인력이나 장비의 시간당 작업량(물량/시간)으로 표현한다. 이때 물량은 대상 공종의 물량으로, 시간은 노무 및 장비의 단위 투입 시간으로 ton/hour, 또는 m<sup>3</sup>/hour 등으로 표현하게 된다.

그러나 미시적인 측정은 전체 프로젝트 레벨에서의 생산성을 반영 못하는 점이 있다(이승현 외 1인 2005). 이에 따라 건설 사업의 총 생산성을 거시적 측면에서 파악하고자 한 연구가 있으며(권오현 외 1인 1999, 김준한 2004), 특히 이승현(2004)은 하나의 건설 프로젝트가 진행되면서 수행되는 모든 공종들을 대상으로 총 프로젝트 생산성(Total Project Productivity, TPP)을 측정해 낼 수 있는 방법을 제시하였다. TPP의 값들은 시간당이 아닌 단일 생산량과 단일 투입량의 비로서 계산되었으며 이를 도로 건설 프로젝트에 적용하여 EWU(Equivalent Work Unit)라는 새로운 공통 측정단위를 도입하였다.

본 연구에서는 도로 사업의 각 공구별 인력 및 장비의 '활용 정도'를 정량적으로 파악하고자 한다. 즉, 보유하고 있는 인력이나 장비가 실제 일일 단위로 얼마나 사용 또는 유휴(遊休)되고 있는지 측정함으로써 공구간 자원 공유의 개연성을 논할 수 있기 때문이다. 그런 측면에서 상기 언급한 기존 생산성 측정 방식 보다는 가동률(operation ratio)의 개념이 더 맞는다. 가동률은 생산 설비에 제공한 시간(설비시간) 중에서 사용시간과 유휴시간이 어느 정도의 비율을 차지하고 있는가를 나타내는 것이다. 즉, 시간의 비율로 측정단위를 삼는다. 더불어, 거시적인 측면에 맞춰 전체 프로젝트 관점에서 일정기간(3주 내지 1개월)동안 측정하기에 단위 시간(hour)당 측정은 의미가 없어 일일 단위로 측정단위를 정의한다.

## 3. 도로시공전문가 설문조사

### 3.1 설문조사 개요

이론고찰에서 도출된 내용을 검증하고 현장의 운영 실태를 분석하기 위하여 한국도로공사(주)의 사업을 관리 감독하는 도로 시공전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하였다.

설문결과는 크게 세 가지 항목으로 분류하였다. 첫 번째로 도로공사 현장에서 인식하는 생산성영향요인과 조정 가능한 요인을 설문하였으며, 두 번째로 장비 수급의 현장 운영 실태를 설문하였다. 마지막으로 도로사업현장에서 사용되는 자원의 개별 특성과 제약조건들을 설문하여 공구간 공유에 적합한 자원을 도출하였다.

설문은 2011년 4월에 실시되었다. 회수된 15개 설문지의 응답자들 경력은 5년 미만에서 15-20년의 경력자까지 두루 분포되어 있었으며, 현장 감독 이외에 품질, 감리, 설계의 감독이 포함되어 있어 도로건설사업 현장 내 전문가들이 고루 분포된 의견을 수렴할 수 있었다.

### 3.2 설문 결과

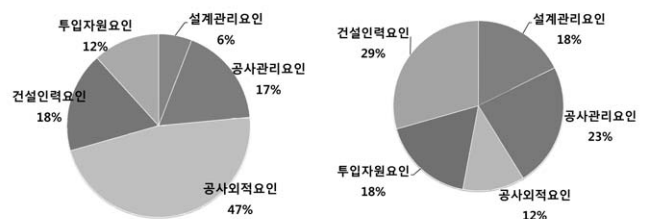
#### 3.2.1 도로사업현장의 생산성요인 및 조정가능요인

첫 번째 설문결과는 도로시공전문가들의 생산성 영향 요인과 조정가능한 요인에 대한 인식이었다.

도로시공전문가들은 '생산성에 영향을 주는 요인' 대하여 47%가 공사 외적요인(즉, 지역적 특성, 현장 조건, 민원 등)이 가장 크다고 인식하고 있어 외부 요인에 의해 생산성이 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.(그림 2.(a))

또한 '현장에서 생산성향상을 위해 조정가능한 요인'에 대해서는 공사 관리(23%)와 건설인력(29%) 및 투입장비(18%)등의 요인이 큰 것으로 드러났다(그림 2.(b)).

설문결과를 분석하면 도로사업에서 생산성에는 공사외적요인의 영향이 크지만 이는 현장의 노력만으로는 해결이 힘들고 현



(a) 생산성에 영향을 주는 요인

(b) 조정 가능한 생산성 요인

그림 2. 도로사업의 생산성중요도 인식 및 영향요인 설문결과

장의 조절을 통하여 생산성을 향상시킬 수 있는 방안으로 인력 및 장비의 효율적 관리인 것으로 드러났다.

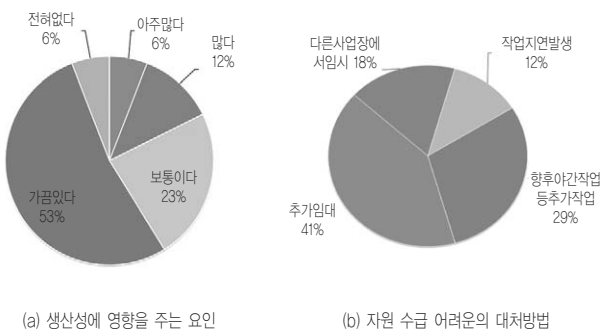
### 3.2.2 현장의 인력 및 장비 자원 수급현황

두 번째 설문결과는 현장의 자원수급현황에 대한 내용이었다. 일반적으로 도로사업현장은 공기(工期)를 최우선함으로써 자원을 구하지 못해 공사가 중단되는 경우는 없다. 따라서 사업 중 자원이 부족하거나 남았을 때 각각의 대처방안에 대해서 파악하였다.

우선 현장에서는 부족한 자원의 수급에 어려움이 많은 것으로 드러났으며<그림 3.(a)>, 수급을 위해서 추가임대를 가장 많이 하고 이와 더불어 다른 사업장에서도 임시적으로 대여하는 것으로 드러났다<그림 3.(b)>. 즉, 공구간 비공식적인 공유도 부분적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다.

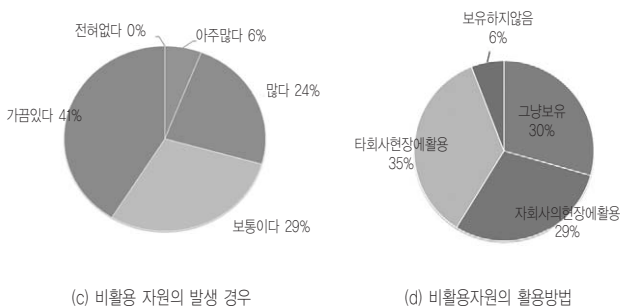
반면에 남는 경우에는 이들 자원이 활용되지 못하는 경우도 빈번하며<그림 3.(c)> 부분적으로 자회사 및 다른 회사의 현장에서 임시로 활용하고자 하나 30% 경우 여의치 않아 그냥 보유하고 있는 것으로 드러났다<그림 3.(d)>.

요약컨대, 도로사업에서 자원이 부족한 경우에는 추가임대를 하며 자원이 남을 경우에는 제대로 활용을 못하는 것으로 드러나 공구별로 수급의 균형을 이루기가 쉽지 않은 것으로 파악되었다.



(a) 생산성에 영향을 주는 요인

(b) 자원 수급 어려움의 대처방법



(c) 비활용 자원의 발생 경우

(d) 비활용자원의 활용방법

그림 3. 현장에서의 자원 운영 현황 설문결과

### 3.2.3 자원공유 적합 자원표

마지막 설문의 목적은 실제 도로건설현장의 자원공유 시스템 정립 시 적합한 장비자원을 도출하는 것이다.

장비의 경우 자원공유의 목적에 맞추어보면 생산성 효율이 낮으며 이동성이 좋고, 사용빈도가 높은 반면 단가가 높고 조달난이도가 높은 것을 적합한 자원의 기준으로 볼 수 있다.

이 중 자원을 공유하기 위한 특성상 이동성과 사용빈도는 공유 시스템의 효율에 영향이 매우 크므로 중요도에 가중치를 두어 평가하였다. 자원공유에 적합한 장비자원은 <표 1>의 설문결과 장비종합평가결과에서 이동성이 좋고 사용빈도가 높은 덤프트럭과 굴삭기였다.

표 1. 장비의 설문 종합평가표

종류	생산성효율	단가	조달	이동성	사용빈도	점수	종합순위
덤프트럭	4	5	3	1	1	56	1
보링머신	1	2	1	5	5	29	5
굴삭기	5	2	5	2	2	45	2
크레인	2	1	2	3	4	45	2
로울러	3	4	4	3	3	34	4
중요도	10	15	15	30	30	100	-

주 : 점수는 각 설문 항목을 중요도만큼 가중하여 합한 점수임.

### 3.2.4 설문조사 결과분석

이상의 설문결과는 다음과 같이 정리 할 수 있다. 도로사업현장에서 생산성을 향상시키기 위한 방안으로 장비자원의 효율적 관리를 통한 방안이 필요하다. 또한 이론고찰에서 도출된 것처럼 칸막이식 운영으로 공구별 자원의 수급이 균형을 이루지 못하고 있음을 알 수 있고, 이를 해결하기 위하여 체계적이지 않게 공구간 자원공유가 이루어지고 있는 것으로 드러났다.

설문결과들은 본 논문에서 제안하는 공구간 자원공유시스템의 필요성을 뒷받침하는 것으로 판단되며, 자원공유적합자원표는 실제 작업일지를 이용한 케이스스터디의 결과와 종합하여 합리적인 시스템구축의 기본자료로 사용할 수 있다.

## 4. 다 공구 도로 사업의 자원 활용도 측정방안 정립

2장에서 언급한 대로 도로사업의 다공구 현장에서 자원 운영 실태의 파악을 위해서는 장비의 활용도를 계량화할 수 있는 측정방법이 필요하다.

우선 측정 자료는 현장에서 각 공구마다 의무적으로 작성하는 일일작업일지의 데이터를 기반으로 삼았다. 일일작업일지에는 향후 기성보고를 위해 당일 사용된 장비를 반드시 기록하고 있으며, 공구별로 3주 또는 1개월 단위로 향후 필요한 장비의 개수를 기록하고 있기 때문이다. 단, 하루에 몇 시간을 실제 사용하는지 기록을 하지 않기 때문에, 사용된 것은 시간량에 상관없이 당일 사용한 것으로 데이터를 설정했다.

1개 공구에서 사용된 자원량을 작업 일지를 토대로 도식화하면 <그림 4>와 같이 그래프로 표현이 가능하다. 그림에서 보는 것처럼 작업하면서 생기는 여러 불확실성으로 인해 일일변동량이 생기게 된다. 일일변동량이 커지면 계획된 자원과의 차이가 커지고, 유희되거나 부족한 자원이 많이 발생해 자원의 운영은 비효율적이 된다. 따라서 일일변동량을 통해 공구의 자원운영의 비효율정도를 정량적으로 표현하는 것이 목적이다.

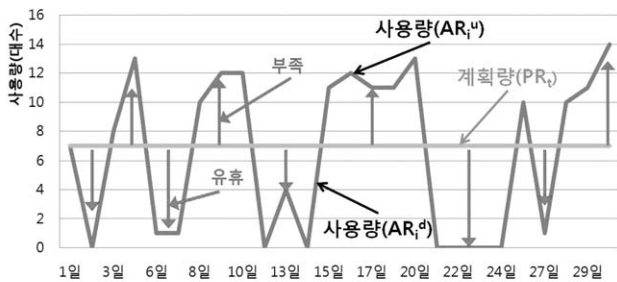


그림 4. 한 달 동안 1개 공구의 자원 운영그래프

이는 간단히 계획량(Planned resource, PRt)과 계획편차(deviation from planned resource, DPRt)로 표현이 가능하다. 우선 계획편차는 계획과 사용자원의 차이를 의미하며 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$DPR_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^t (AR_i - PR_t)^2}{t}} \quad \dots (식1)$$

DPR = deviation from planned resource

여기서, DPRt = 실제일일사용량(ARi)을 계획자원량(PRt)기준으로 기간 t 동안 산출한 편차

공구의 자원운영상태를 비교하기 위해서는 계획편차와 계획량의 대비값을 이용한다. 계획편차(DPRt)는 데이터가 산포된 정

도를 나타낸다. 이를 기준인 계획량의 비로 나타내면 다음과 같이 공구의 정규화계획편차량(nDPR, normalized deviation from planned resource)을 구할 수 있다.

$$nDPR_t = \frac{DPR_t}{PR_t} \quad \dots (식2)$$

nDPR = normalized deviation from planned resource

여기서, nDPRt = 공구 자원운영의 기간 t 동안의 비효율률

nDPR는 일정기간 동안 공구의 자원운영의 효율성을 비교할 수 있는 근거가 된다. 예를 들어, A공구의 1개월간 계획(보유)장비 5대 대비 계획 편차량이 3대 라면 nDPR은 0.6이 된다. 이때 B공구의 1개월간 계획장비가 10대이고 계획 편차량이 3대 라면 자원 비효율률은 0.3이 된다. nDPR 값이 작을수록 자원의 비효율적 사용이 줄고 운영이 잘 된 것으로 볼 수 있다. 따라서 이 경우 B공구의 운영이 더 효율적임을 알 수 있다.

마지막으로 공구에서 주어진 기간 동안 특정자원이 부족내지 유희되는지 구분하기 위해서 다음과 같이 수급불균형지수를 정의한다.

$$SDI = DPR_u - DPR_d \quad \dots (식3)$$

SDI = supply demand imbalance

여기서, SDIt = 기간 t동안의 공구 자원운영상태(즉, 계획대비 실제 사용량의 초과·미달상태)를 나타내는 자원상태지수.

$$DPR_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^t (AR_i^u - PR_t)^2}{t}} \quad \dots (식4)$$

DPRu = upward partial deviation of planned resource (단, ARi-PRt > 0, 그림 4의 부족 부분)

여기서, DPRu = 계획량(PRt)을 초과하는 사용량만으로 계산된 부분편차

표 2. 자원 활용도 측정 공식 설명

용어	풀이	정의	단위	비고
PR	planned resource	계획 자원량	대	
MAX	maximum of Actual Resource	최대 사용자원량	대	기간 t 동안의 최대량
MIN	minimum of Actual Resource	최소 사용자원량	대	기간 t 동안의 최소량
DPR	deviation of planned resource	계획 편차량	대	
nDPR	nomalized deviation from planned resource	정규화 계획편차량	지수	작을수록 효율이 높음, 공구간 비교가능
DPRu	upward partial deviation of planned resource	부족자원 부분편차량	대	사용량>계획량, 부족자원을 추가임대하게 됨.
DPRd	downward partial deviation of planned resource	유희자원 부분편차량	대	사용량<계획량, 유희자원이 발생.
SDI	supply demand imbalance	수급불균형지수	지수	1. SDI > 0 경우 부족, 추가임대 발생 2. SDI < 0 경우 유희, 남는 장비 발생

$$DPR_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^t (AR_i^d - PR_t)^2}{t}} \quad \dots (식5)$$

DPRd = downward partial deviation of planned resource (단,  $AR_i - PR_t < 0$ , 그림 4의 유희 부분)

여기서, DPRd = 계획량(PRT)을 미달하는 사용량만으로 계산된 부분편차

식에서 보듯이 수급불균형 값은 자원이 초과(부족, 유희)되는 날들의 계획(보유) 대비 편차에서 자원이 모자라는 날들의 계획(보유) 대비 편차를 뺀 값이다.

이는 일정 기간 동안 1개 공구에서 수급불균형을 계량적으로 표현하게 해준다. 즉, SDI가 0보다 크다는 것은 그만큼 단위 기간 동안 자원사용량이 계획량을 초과하여 추가임대가 필요했음을 말하고 0보다 작을 때는 반대로 사용량이 계획량에 미달해 유희자원이 발생해 비효율적인 운영임을 알 수 있다. <표 2>는 고안된 자원 활용도 측정 공식을 정리한 표이다.

### 5. 사례 연구

상기 제안한 측정방안을 한국도로공사(주)에서 실제 사업 중인 강원도 동해-삼척 구간의 4개 공구에 적용하였다.

작업일지 데이터는 2010년 8월-10월 3개월 동안의 약 360여 개(약 90일\*4공구=360)를 분석하였고 이들 공구의 현재 자원 운영 실태를 파악하여 문제점과 개선사항을 도출하였다.

분석대상은 자원운영의 변화를 파악할 수 있는 만큼의 사용량이 있어야 함으로 분석 기간 동안 4개 공구에서 총 사용량이 5(대 또는 명)가 넘고, 다수의 공구에서 공통적으로 활용되고 있는 것으로 선정하였다.

해당 조건의 장비자원은 덤프트럭, 무한궤도식 굴삭기, 타이 어식 굴삭기 (이상 3종)이었으며, 설문 의 적합자원표의 결과(1위 덤프트럭, 2위 굴삭기)와 일치하는 것을 알 수 있다.

장비의 일일활용도 분석은 다음의 두 단계로 구성하였다. 첫 번째 작업일지데이터를 토대로 자원의 활용 실적을 그래프로 나타내 시각화(visualization)하고 변화추세를 분석하였다. 두 번째 4장에서 고안된 공식들을 활용하여 자원의 일일 사용량 변화표를 작성해 자원의 활용을 정량화(Quantification)하고 각 자원별 수급불균형상태를 알아보았다. 작성된 자원운영그래프와 일일사용량 변화표의 비교분석을 통해서 제안된 공식의 검증할 수 있고 추후 연구에서는 공유를 통한 개선정도를 시각적, 수치적으로 확인할 수 있을 것으로 판단된다.

### 5.1. 장비의 일일활용도 분석

<그림 5>과 <그림 6>는 3공구의 8월 덤프트럭과 무한궤도굴삭기의 운영 그래프이다. 그래프를 통해 일반적인 장비운영의 특성을 알 수 있다. 장비들의 일일활용도변화와 편차는 매우 심하다.

또한 계속적으로 사용량은 계획량을 크게 벗어나 추가임대 및 유희가 발생하는 비효율적인 운영으로 판단된다. 특이점은 장비들은 그 사용량의 증가와 감소가 일치함이다. 그러나 공구의 자원상태가 부족(사용량>계획량)및 유희(사용량<계획량)상태로 변하는 것은 일정치 않음을 알 수 있다.

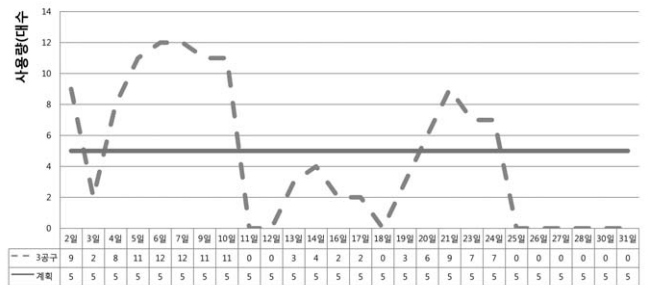


그림 5. 3공구 8월 덤프트럭 운영 그래프

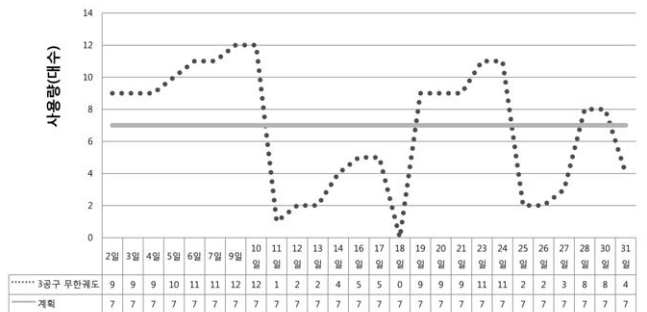


그림 6. 3공구 8월 무한궤도굴삭기 운영 그래프

<그림 7>은 전체공구의 8월 덤프트럭 운영 그래프이다. 전체 공구의 일일활용도 그래프 분석결과 각 공구별 특징이 있지만 전체적으로 비슷한 양상을 나타내었다.

장비들은 전 공구에 걸쳐 일일활용도는 변화가 매우 심하다.

<표 3>은 8월 한 달 3공구의 장비자원 일일 사용량변화표이다. 덤프트럭은 MAX값과 MIN값이 12와 0으로 매우 차이가 크며 또한 DPR값도 4.55로 큰 비효율적인 운영 상태이다. 무한궤

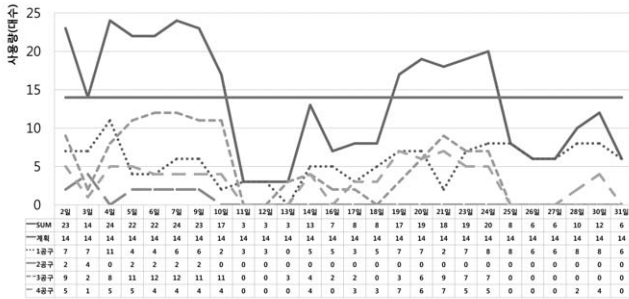


그림 7. 덤프트럭의 8월 자원운영 그래프

도식 굴삭기 또한 MAX값, MIN값 그리고 DPR값이 12, 0, 3.88로 큰 비효율적인 운영 상태이다.

그러나 두 장비의 nDPR값은 0.91과 0.55로 덤프트럭의 운영이 더 비효율적임을 알 수 있다. 또한 기간 동안 자원의 수급불균형값을 나타내는 SDI값은 덤프트럭은 0.43대의 부족자원이 발생하는데 반해 무한궤도식 굴삭기는 -1.41대의 유휴자원이 발생하였음을 알 수 있다. 따라서 3공구는 비효율적으로 운영되고 있고 장비별로 운영방식에 따라 부족한 장비와 유휴되는 장비가 모두 있음을 알 수 있다.

이와 같이 장비의 일일사용량 변화표는 그래프에서 도출된 결과를 정량적으로 나타내 그 의미를 파악할 수 있다.

표 3. 8월 1공구의 장비자원 일일사용량 변화표

3공구	덤프트럭	무한궤도식굴삭기	타이어식굴삭기
PR	5	7	2
MAX	12	12	3
MIN	0	0	0
DPR	4.55	3.88	1.13
nDPR	0.91	0.55	0.56
DPRu	4.36	2.87	1.00
DPRd	-3.93	-4.27	-1.21
SDI	0.43	-1.41	-0.21

〈표 4〉은 전체공구의 8월 덤프트럭 일일사용량 변화표이다. 각 공구의 계획량과 계획편차는 달랐다. 이는 곧 장비의 운영방법이 공구별로 차이를 보이는 것으로 판단된다.

표에서 5대로 같은 계획량의 1공구와 3공구의 경우 nDPR값이 큰 3공구가 더 비효율적운영이 되고 있음을 알 수 있다. 또한 2공구의 경우 DPR값은 타 공구에 비해 작았지만 nDPR값이 1.17로 가장 커 자원운영상태가 가장 안 좋은 것을 알 수 있다. 이는 상대적으로 운영하는 자원의 양이 적을수록 현장에서의 자원운영관리가 더 어려움을 나타낸다.

부분편차값(DPRu, DPRd)은 공구의 부족과 유휴 자원의 발생량을 나타낸다. 공구들은 자원운영에 따라 수급불균형지수(SDI)

가 부족상태(+)와 유휴상태(-)가 모두 존재하는 것을 알 수 있다.

특히 공구에서 발생하는 유휴장비량의 총합은 10대로(DPRd, 10.00) 계획량 14대 대비 유휴율 71%의 큰 값이다( $PR/DPRd = 10/14 * 100 = 71%$ ). 설문결과와 같이 현장에서는 부족자원의 추가임대보다 유휴자원발생에 대한 처리가 부족하므로 발생하는 유휴장비에 대한 대응책이 필요할 것으로 판단된다(표 2 (a),(d)).

표 4. 8월 덤프트럭의 일일사용량 변화표

	1공구	2공구	3공구	4공구	총합
PR	5	1	5	3	14
MAX	11	4	12	7	34
MIN	0	0	0	0	0
DPR	2.48	1.17	4.55	2.4	10.6
nDPR	0.5	1.17	0.91	0.8	3.37
DPRu	2.2	1.33	4.36	1.93	9.83
DPRd	-2.38	-1	-3.93	-2.7	-10
SDI	-0.18	0.33	0.43	-0.77	-0.18

〈표 5〉은 4개 공구의 3개월간 장비자원 일일사용량변화 종합표이다. 분석기간동안 장비의 nDPR값은 계속 변화하였으나 그 값의 크기는 장비별로 달랐다. 수급불균형지수(SDI)는 전체적으로 (-)값으로 장비자원의 경우 그 양의 차이는 있지만 계획량이 사용량보다 많아 유휴장비가 지속적으로 발생하고 있는 상황으로 판단된다. 또한 월별로 운영에 따라서 발생하는 유휴장비량(PR / DPRd)의 값은 27~87의 큰 차이를 보였다.

표 5. 8,9,10월 장비자원 일일사용량변화 종합표

	덤프트럭			무한궤도식굴삭기			타이어식굴삭기		
	8월	9월	10월	8월	9월	10월	8월	9월	10월
PR	14	14	23	16	11	23	6	7	7
nDPR	3.37	3.08	1.61	1.51	2.93	0.67	1.78	1.67	0.82
DPRd	-10	-12.28	-11.25	-9.67	-9.61	-6.33	-5.15	-5.11	-2.33
SDI	-0.18	-1.49	-4.17	-4.1	-0.07	-3.33	-1.51	-1.66	0
PR / DPRd	71	87	48	60	87	27	85	73	31

이와 같이 장비의 일일사용량 변화표를 통해서 그래프에서 도출한 비효율적 운영 상태를 사용량의 변화량, 편차의 정량적인 평가를 통해 그 값의 크기와 의미를 파악할 수 있었다.

## 5.2. 데이터 분석결과 및 시사점

한국도로공사(주)의 정보와 작업일지데이터를 토대로 한 데이터 분석을 통해 고안한 공식의 적용성을 검토해 보고 실제 도로 사업현장의 자원 운영실태를 파악해 보았다.

고안한 nDPR값을 통해서 단위기간동안의 공구의 비효율적 운영의 정도를 정량적으로 산출하고 비교할 수 있었다. 또한 수급불균형지수(SDI)를 통해서 공구의 자원 운영이 부족상태인지



유휴상태인지를 판단하고 그 양을 산출할 수 있었다.

데이터 분석결과 장비자원은 유휴자원이 지속적으로 발생하고 있는 비효율적인 운영 상태인 것으로 판단된다.

그러나 공구별 운영방식의 차이에 따라 수급불균형지수(SDI)는 부족상태와 유휴상태가 골고루 발생하는 것을 알 수 있었다.

따라서 이를 이용하여 부족상태(+)와 유휴상태(-)의 개별공구들을 전체적으로 운영할 경우 수급불균형지수가 상쇄효과를 통해 개선 될 것을 예상할 수 있고, 이는 표 3의 덤프트럭의 수급 불균형지수(SDI) 절대값이 개별 공구의 값보다 공구를 종합 평가한 값이 작아지는 것으로 미루어 짐작 할수 있다.

## 6. 결론

최근 우리사회는 정보 통신 인프라의 발달로 소셜 협업(social collaboration)과 사회적 네트워크(social network)등의 연구가 지속적으로 활발히 수행되고 있다. 건설분야 또한 이러한 사회적 패러다임의 변화를 활용한 생산성 향상 방안에 대한 제고가 필요한 시점이다. 따라서 본 연구에서는 이론고찰을 통해 기존 도로사업현장의 '간막이식' 운영의 문제점을 도출하고 그 해결 방안으로 도로사업현장의 생산성 효율화를 위한 자원공유시스템 구축을 제안한다.

본 논문은 자원공유시스템 구축을 위한 선행 연구로써 설문과 작업일지 데이터 분석을 통해 도로사업현장의 자원운영실태를 분석하여 자원공유시스템의 정립을 위한 기초 데이터를 구축하였다.

자원운영실태 분석을 위해 기존의 생산성 공식에서 다룰수 없었던 다공구현장에서의 장비자원의 운영 실태를 파악하기 위하여 계획편차(DPR), 정규화계획편차(nDPR) 및 수급불균형지수(SDI)등의 공식을 고안하였다. 고안된 공식은 실제 작업일지 데이터를 이용한 데이터 분석을 통해서 검증해 보았고 다공구현장의 공구별 자원운영실태를 정량적으로 비교, 평가 할 수 있었다.

데이터 분석 결과 도로사업현장에서 사용하고 있는 장비 자원들은 운영시 큰 편차가 발생하고 있었고 이를 통해 자원의 운영은 매우 비효율적이고 현장에서는 지속적으로 유휴자원이 발생하고 있는 것으로 분석되었다.

그러나 데이터 분석결과 개별공구에서의 수급불균형지수는 부족상태와 유휴상태가 산발적으로 발생하고 있었다. 따라서 전체공구를 종합하여 운영할 경우 공구간 부족자원과 유휴자원의 상쇄효과로 자원의 사용량의 변동을 줄여 효율적인 운영효율 될 것임을 분석을 통해 정량적으로 확인할 수 있었다.

본 논문의 결과를 통해 전체 도로사업현장에서 자원의 초과상태와 부족상태의 불균형을 파악을 위한 기본을 정립하였다. 추

후연구에서는 본 논문에서 도출된 자원 운영실태와 자원공유 적합 자원에 기반을 하여 도로사업현장간의 유기적 자원운영을 위한 공구간 공유기회의 원칙과 현실적 제안사항을 도출하고 그 효과를 시뮬레이션을 통해 측정하고자 한다. 이를 통해 전체 도로사업현장의 유기적인 자원운영을 통해 초과상태와 부족상태의 불균형을 공구간 공유기회를 통해 상쇄 시킬 수 있는 자원공유시스템의 정립이 가능할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다. This study was financially supported by Seoul National University of Science & Technology.

## 참고문헌

- 구분상 (2008), "린 건설에 기초한 국내 건설 공사의 시공 계획 신뢰도 평가 및 분석", 대한 토목학회 논문집, 제28권 제5D호, pp.655~664.
- 구분상 · 박희성 · 장철기 · 김대영 (2006), "린 건설과 해외 대규모 건설 공사 적용 사례: 런던 히드로 공항", 대한건축학회 논문집(구조계), 대한건축학회, 제22권, 제7호, pp.141~148.
- 권오현 · 변재현 (1999), "건설업 총요소생산성에 관한 연구", 한국건설산업연구원, 방문사 제16권, 1149호.
- 김준한(2004), "건설경제론", 박영사.
- 김창덕 · 이상혁 (2006), "VSM기법을 활용한 커튼월 공사의 설계프로세스 개선", 한국건설관리학회논문집, 한국건설관리학회, 제7권 제5호, pp.128~137.
- 이승현 · 홍성호 (2005), "총 프로젝트 생산성 개념을 활용한 도로 건설공사 작업지연요소의 영향도 평가기법", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제25권, 제5D호, pp.747~756.
- 이승현 (2004), "Equivalent Work Unit의 적용을 통한 도로 건설공사의 총 프로젝트 생산성 측정 방법", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제24권, 제5D호, pp.787~794.
- 임철우 · 유정호 · 김창덕 (2006), "작업성취율 측정을 위한 공정 관리절차의 개선 방안", 대한건축학회 논문집(구조계), 대한건축학회, 제22권, 제11호, pp.722~726.
- 정성림 · 한주연 · 김경래 · 신동우 (2004), "중견건설업체의 다중현장관리를 위한 자재조달계획 지원 모델", 한국건설관리학회 논문집, 제5권, 제2호, pp.106~114.
- 한국건설기술연구원(2010), "저탄소 도로 미래경쟁력 확충방안

- 연구”, 연구보고서. pp82~102.
- 한국건설교통기술평가원 (2003), “다중 현장관리 및 현장간 협업체계 구축을 위한 멀티미디어형 지식관리 시스템 개발” 연구보고서. pp84~112.
- 한국건설산업연구원(건설연) (1997), “건설관리 및 경영”, 보성각.
- 한주연 · 홍영수 · 김경래 · 신동우 (2004), “다중현장관리를 위한 자원조달 지원 모델”, 대한건축학회논문집, 제20권, 제11호, pp133~142.
- Ballard, G. (1994), “The Last Planner”, Lean Construction Institute, Northern California Construction Institute Spring Conference, Monterey, CA, April 22~24.
- Kim, Y. · Ballard G. (2000), “Is Earned Value Method an Enemy of WorkFlow”, Proceedings Eighth Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-6, Brighton, UK, July 17~19.
- Kini, D. U. (2000), “Global Program Management – Not Business as Usual”, Journal of Management in Engineering, Vol. 16, No. 6, November/December 2000, pp.29~33.
- Koskela, L. (1992), “Application of the New Production Theory to Construction”, Technical Report #72, Stanford University, Santa Clara, CA, US.
- James S, Pennypacker · Lowell D, Dye (2002), “Managing Multiple Projects”, New York, Marcel Dekker Inc.
- Prieto, Robert (2009), “How Program Management Differs from Project Management”, PM Hut. Accessed 17. Oct 2009.
- Project Management Institute(PMI) (2008), “The Standard for Program Management”, 2nd Ed, Project Management Institute.

논문제출일: 2012.03.30  
 논문심사일: 2012.04.06  
 심사완료일: 2012.05.21

## 요 약

도로사업현장의 특징은 인접 공구간 비슷한 공종과 공기를 가지고 유사한 장비 자원을 사용하는 다(多)공구 현장이라는 것이다. 그러나 현재 도로현장들은 각 공구의 개별 기성에 취중한 ‘칸막이식’ 운영에 의해 지속적으로 수급불균형상태가 발생하여 고가의 장비들이 비효율적으로 운영되는 것으로 드러났다. 본 연구에서는 다공구현장 내의 장비들을 적시적소에 공구간 공유하여 전체 사업의 자원 활용도를 높일 수 있는 자원공유시스템을 정립하고자 한다. 본 논문은 그 첫 단계로써 도로사업현장에서 장비의 생산성과 그 운영 실태에 대한 연구내용을 중점적으로 소개한다. 현장의 자원운영실태 파악을 위한 설문을 통해서 다공구 도로현장의 자원공유시스템 도입에 필요한 공유적합자원표를 얻었으며, 다공구 현장의 자원활용도 측정을 위해서는 계획편차(DPR), 정규화계획편차(nDPR), 수급불균형지수(SDI)등의 공식을 새롭게 고안하였다. 이들 공식을 실제 도로현장의 작업일지 데이터에 적용하였으며, 그 결과 각 공구별 nDPR값과 SDI값을 얻었다. 분석결과 도로사업현장의 자원운영은 추가임대와 유희자원이 계속적으로 발생하는 비효율적인 운영임을 파악하였다. 또한 공구별로 부족/유희 상태가 골고루 발생하여 공구간 장비를 공유할 경우 상쇄효과를 통해 장비의 생산성이 높아질 것을 간접적으로 파악할 수 있었다. 본 논문에서 도출된 결과들은 추후 자원공유시스템 정립의 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

**키워드** : 도로건설, 생산성, 다공구 현장, 자원공유시스템, 정규화계획편차, 수급불균형지수