

# 건설 생산성 제한요인 분석을 통한 생산성달성율 산정 모델

## Productivity Achievement Ratio Model through Construction Productivity Reduction Factor Analysis

김 태 완\*      유 정 호\*\*      백 태 룡\*\*      이 현 수\*\*\*  
Kim, Tae-Wan    Yu, Jung-Ho    Baek, Tae-Ryong    Lee, Hyun-Soo

### Abstract

Productivity reduction factors(RF) have an important role in calculating productivity achievement ratio(PAR), an indicator for productivity evaluation. However, it lacks a detailed analysis for RFs and causes these three problems: (1) objectiveness of RF classification, (2) assumption of RFs as discrete variable, (3) dimness in RF controllability. This study aims to analyze RFs using delphi method. In the process, 10 experts in construction industry participated in the delphi inquiries. Likewise, coefficient of controllability(CC), which is the coefficient indicating to what extends each RF could be controlled, is proposed to establish an improved PAR model. A case study is performed to show the implications of the model. This research may contribute to calculating more practical and precise PAR value.

키워드 : 건설 생산성, 생산성달성율, 제한요인, 델파이 방법, 통제가능성, 변동성

Keywords : Construction Productivity, Productivity Achievement Ratio, Reduction Factor, Delphi Method, Controllability, Variability

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

건설시장의 경쟁이 치열해짐에 따라, 건설 생산성을 증대시키는 것은 기업의 경쟁력 확보라는 차원에서 더욱 중요한 것이 되었다. 또한, 건설산업이 국가 경제에서 차지하는 비중을 고려하더라도, 건설 생산성 향상을 통한 건설 효율화 증대는 큰 가치가 있다고 할 수 있다.

생산성 관리와 관련한 기존의 연구들은 생산성의 측정에 초점이 맞추어져 있을 뿐, 평가에 관해 고려하지 않고 있다. 하지만, 생산성 관리에 있어 생산성의 측정값이 바로 평가의 잣대가 되는 것은 아니다. 생산성은 단순히 산출량(Output)과 투입량(Input)의 비로 정의되는 개념으로서, 환경적 요소와 공중 그 자체의 특성 등 여러 요인들의 영향을 받고 있기 때문이다. 따라서, 이러한 요인들을 고려하여 생산성 관리의 수준을 평가하여야만 올바른 생산성 관리를 이끌어낼 수 있다. 이러한 영향요인들을 고려하여, 잠재된 생산성 개선 효과를 고려한 평가지표로서 생산성달성율(Productivity Achievement Ratio, 이하 PAR)이 제시된 바 있다(김태완 외, 2003).

그러나, PAR의 중요한 부분을 구성하고 있는 제한요인(Reduction Factor, 이하 RF)<sup>1)</sup>에 대해서는 개념적 설명만을 하였을 뿐, 구체적인 분류가 없었다. 이로 인해, 실제로 PAR값을 산출하는 데에 있어 다음과 같은 문제가 있다.

첫째, PAR 산출을 위해 RF를 통제가능 여부, 변동 여부에 따라 네 가지로 구분하고 이를 그림 1과 같이 2×2 매트릭스로 표현하였다. 하지만, 각각의 RF가 어느 영역에 속하는지에 대한 언급이 없었으므로, 이에 대한 분류가 필요하다.

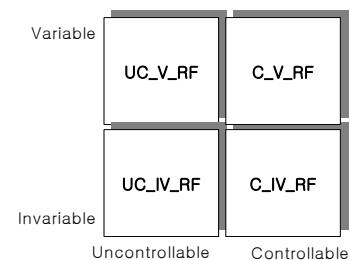


그림 1. RF의 구분 매트릭스

둘째, 현실적으로 각 RF들은 그림 1에 나타난 네 가지 영역으로 완벽히 구분되지 않는다. 예를 들어 '작업자의 책임감 부족'을 하나의 RF로 가정할 경우, 이러한 RF는

1) 생산성 값이 이상적 생산성에 이르지 못하도록 막고 있는 상황을 발생시키는 요인(김태완 외, 2003)

\* 서울대 대학원 석사과정

\*\* 서울대 대학원 박사과정

\*\*\* 서울대 건축학과 교수, 공학박사

본 연구는 2003년도 과학기술부의 국가지정연구실 사업에 의하여 지원되었음. (과제번호 : M10318000274-03J000010510)

100% 통제가능하지도 않고, 100% 통제불가능하지도 않을 것이다. 또한, 각기 다른 RF 통제주체가 건설 프로젝트 과정에 존재하기 때문에, PAR의 개념에 혼동을 주고 있다. 따라서 PAR 산출결과가 현실성을 확보하기 위해서는, 이러한 점을 고려한 PAR 산출 모델이 필요하다.

따라서, 본 연구는 건설생산성에 영향을 미치는 RF들을 분석함으로써 보다 현실적이고 정확한 PAR을 산출하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 전문가의 의견 수집도구로서 델파이 방법을 사용하였다. 이러한 개념은 다음 그림에 표현되어 있다.

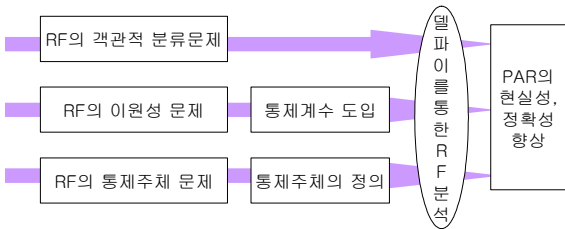


그림 2. 델파이 방법을 통한 제한요인 분석의 필요성

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 일반적인 건설공사에서의 RF들로 범위를 한정한다. 물론 특정 공종에서 건설 생산성에 높은 영향을 끼치는 RF들이 존재하지만, 이러한 RF들은 개별적으로 다루어져야 한다. 또한, RF 매트릭스의 형태는 계약 방식, 현장의 조직도와 책임소재에 따라 다를 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 일반적인 도급계약방식을 따르는 것으로 하였으며, 현장의 조직도는 일반적인 형태로서 다음 그림 3과 같이 가정하였다.

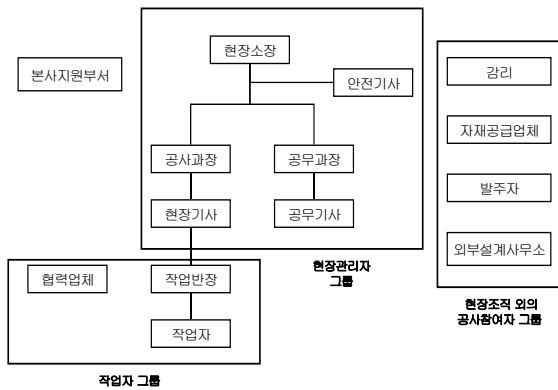


그림 3. 현장조직 설정

방법과 절차는 다음과 같다.

첫째, PAR에 관한 이론적 고찰을 통해 PAR 산출의 문제점을 고찰하고, 연구에 필요한 RF들을 문헌연구를 통해 정리한다.

둘째, PAR 산출의 문제점을 해결할 수 있는 방안을 모색하고, PAR 이론을 강화한다.

셋째, 델파이 방법을 이용하여 PAR 산출에 적용할 수 있는 RF들의 특성을 규명한다. 이를 2×2 좌표평면에 배열하여 RF 매트릭스를 완성한다.

넷째, RF 매트릭스를 통해 개선된 PAR을 산출하는 과정을 사례연구를 통해 보여준다. 이러한 사례연구를 통해 기존의 방법보다 개선된 점을 확인한다.

2. 예비적 고찰

2.1 기존 생산성달성율 모델의 문제점 및 개선방향

생산성달성율(Productivity Achievement Ratio, 이하 PAR)은 현재생산성(Actual Productivity, 이하 AP)과 획득가능생산성(Obtainable Productivity, 이하 OP)의 비로 정의된다(김태완, 2003). 이 값은 잠재된 생산성 개선효과를 고려한 것으로서, 생산성 관리에 있어 주요관리공종을 결정하기 위한 생산성 평가지표로 활용될 수 있다. 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$FAR = \frac{AP}{OP} \quad (\text{단}, 0 \leq FAR \leq 1) \quad (1)$$

한편, RF들은 통제가능성(Controllability)와 변동성(Variability)에 따라 구분될 수 있으며, 그림 1과 같은 RF 매트릭스로 표현될 수 있다.

주기적으로 측정된 생산성과 RF들과의 관계를 이용한 선형중다회귀분석을 통하여 AP와 OP는 다음 식과 같이 표현될 수 있고, 이들의 비를 통해 PAR 값을 산출할 수 있다.

$$AP = A - \sum_n B_{1,n} \cdot C\_V\_RF_n - \sum_l B_{2,l} \cdot UC\_V\_RF_l \quad (2)$$

$$OP = A - \sum_l B_{2,l} \cdot UC\_V\_RF_l \quad (3)$$

이때, A는 y-절편값, B<sub>1,n</sub>은 C\_V\_RF<sub>n</sub>의 회귀계수를 나타내며 B<sub>2,l</sub>은 UC\_V\_RF<sub>l</sub>의 회귀계수를 나타낸다. 즉, OP는 우리가 통제할 수 있는, 프로젝트 기간동안 자주 변하는 RF들(C\_V\_RF들)이 일어나지 않았을 경우의 생산성 값이라 할 수 있다.

하지만, 이러한 PAR 산출 방법은 다음 몇 가지 문제점을 포함하고 있다.

(1) RF의 객관적 분류 문제 : 어떠한 RF가 매트릭스 상에서 어느 영역에 속하는지, 또 어떻게 분류할 것인가에 관한 문제이다. 물론, 각 프로젝트의 발주 방식 등에 따라 차이가 있을 수 있지만, 보편적인 상황을 가정한 RF들의 매트릭스 상의 분류는 PAR 산출의 객관성 확보에 도움을 줄 수 있다.

(2) RF의 이원성 문제 : 각 RF의 통제가능 여부가 확고하게 구분되지 않는 경우가 많다. 예를 들어, '작업자의 책임 부족'은 완전히 통제가능하지도 않고, 그렇다고 통제불가능하지도 않다. PAR 산출과정에서 RF를 C\_V\_RF로 정의하느냐, 혹은 UC\_V\_RF로 정의하느냐는 큰 영향을 미치므로, 이런 이원성을 해결하는 것은 PAR의 적용성에 큰 기여를 할 수 있다.

(3) RF의 통제주체 문제 : RF가 통제가능한가, 그렇지 않은가는 그 주체에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, '비합리적인 현장배치 계획'은 작업자 그룹에 있어서는 통제가 불가능한 요인이 되지만, 현장관리자 그룹에 있어서는

상대적으로 통제 가능한 요인이다. 또, ‘작업자의 책임감 부족’은 현장관리자 그룹과 반대로 작업자가 통제할 수 있는 부분이 더 크다고 할 수 있다. 따라서, PAR의 설명력을 높이기 위해서는 통제의 주체가 고려되어야 한다.

2.2 델파이 방법

델파이 방법은 예측하려는 문제에 관하여 전문가들의 견해를 유도하고 종합하여, 집단적 판단으로 정리하는 일련의 절차라고 정의할 수 있다. 이 방법은 미국의 랜드연구소(Rand Corporation)에서 개발하였으며, 대면토의에서 나타나는 제한점을 제거하고 긴급한 국방문제에 관하여 전문가의 합의를 도출하기 위해 1950년대에 최초로 사용되었다(이종성, 2001).

우선 한 문제에 대해 일정한 수의 전문가들에게 의견요구서를 발송하여 그들의 독자적인 의견을 수집한다. 그리고 이 의견들을 모아서 모든 전문가들의 의견을 대표할 수 있는 형태 -예를 들어 수치인 경우 평균이거나 선택형의 경우 빈도의 분포- 로 분류, 합성, 요약하여 다시 전문가들에게 배부하여 의견을 수렴한다. 이때, 재차 발송대상은 초기에 선정된 전문가들 중 의견서를 회송한 집단과 동일한 집단이 되어야 하며, 2차 의견요구서에는 각각의 전문가들의 1차 의견과 함께 모든 전문가들의 의견을 대표할 수 있는 형태의 수치 또는 요약서가 첨부되어야 한다. 이런 방법으로 일반적인 합의가 이루어질 때까지 서로의 아이디어에 대하여 논평하고 자기의 의견이 대표치와 비교해 볼 때 어떤 차이가 나며 그것이 특정한 환경적 요소나 자기의 독특한 가치관에 의해 왜곡되지 않았는가를 생각하게 된다(예정현, 1991). 한편, 델파이 방법의 참가자(Participants) 수는 적게는 4명 내지 11명이 일반적이며, 작은 그룹일수록 효과적으로 알려져 있다(송성진 외, 1992).

델파이 방법이 본 연구에서 RF의 분석에 사용되는 근거는 다음과 같다.

첫째, RF들의 성격을 분석하기 위하여 전문가의 의견을 수렴해야 할 필요성이 있다. 전문가는 자신의 경험을 근거로 판단하기 때문에, 의견 수렴시 왜곡이 일어날 수 있다. 동일한 집단에 의한 반복적 의견 수렴의 특징을 가지고 있는 델파이 방법은 이러한 왜곡을 줄일 수 있다.

둘째, 델파이 방법은 패널의 익명성을 갖는다는 점이다. 이는 패널의 익명성을 통해 편승효과(Band-wagon effect), 집단소음(Group noise), 후광효과(Halo effect)와 같은 심리적 효과를 피하는 데에 효과적이다(이종성, 2001). 따라서, 건설 전문가들 각각의 정확한 의견을 반영하여 RF들의 특징을 정의하는 데에 사용될 수 있다.

셋째, 일반적 설문조사의 경우에는 적절한 신뢰구간의 확보를 위해 많은 수의 샘플이 필요하다. 또한, 전문적인 내용의 경우 많은 수의 전문가를 확보해야 한다는 어려움이 있다. 델파이 방법은 표본집단의 수에 크게 영향받지 않으므로, 전문적인 내용의 의견 수렴에 효과적으로 사용될 수 있다.

본 연구에서의 RF의 분석 절차는 다음 그림 4와 같다.

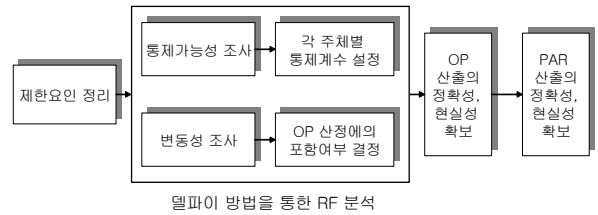


그림 4. 델파이 방법을 통한 RF 분석의 절차와 의의

2.3 생산성에 영향을 미치는 요인

생산성에 영향을 미치는 요인을 정리하고자 하는 시도는 지금까지 많이 이루어져 왔다. 본 연구에서는 여러 연구들이 제시한 생산성에 영향을 미치는 요인들을 정리(listing)하고, 이들을 RF로 재구성하였다. 정리를 위한 카테고리를 건설인력 관련요인, 설계관리 관련요인, 공사관리 관련요인, 투입자원 관련요인, 공사성격 및 공사의외적요인으로 구분하였다.

이들 자료를 통해 본 연구에 포함시킨 RF들의 목록은 다음 표 1과 같다.2)

표 1. 연구에 포함된 RF 목록

분류	RF명	RF기호
건설인력 관련요인	작업자의 책임감 부족(불성실)	F1_1
	작업자의 숙련도(기능) 부족	F1_2
	빈번한 전업	F1_3
	무리한 작업진행에 따른 작업자의 피로	F1_4
	작업자 상호간, 상하간 갈등	F1_5
	작업자 수급량 부족	F1_6
설계관리 관련요인	설계도서의 미완성, 양적 부족	F2_1
	시공성을 무시한 설계	F2_2
공사관리 관련요인	상황에 맞지 않는 공법선택	F3_1
	지나치게 높은 품질기준	F3_2
	비합리적인 현장배치계획	F3_3
	작업간 순서계획 잘못	F3_4
	작업 일정계획 잘못	F3_5
	협력업체, 부서간 의사소통 미흡	F3_6
	잘못된 안전관리	F3_7
투입자원 관련요인	자재조달계획 잘못	F4_1
	기준 미달의 자재	F4_2
	장비조달계획 잘못	F4_3
	성능 부족의 장비	F4_4
공사성격 및 공사 외적 요 인	기온과 습도의 기후조건 열악	F5_1
	눈, 바람, 비의 기후조건 열악	F5_2
	현장의 입지조건 불리	F5_3
	소음, 분진, 진동 등 열악한 작업환경	F5_4
	주민들의 적대적 분위기	F5_5
	지나친 법적 규제	F5_6
	본사의 지원 미비	F5_7

이렇게 정리된 RF들은 통제가능성과 변동성에 따라

2) 가장 최근에 발표된 연구인 손창백 외(2002)의 논문을 기반으로, 김예상(1994), 노재욱(1998), Adrian(1987), Borcharding(1986), Oglesby(1989) 등의 문헌연구를 통해 필요한 부분을 수정하고 보완하는 형식으로 정리하였다.

PAR 산출에 유의미한 자료로 제정리된다. 하지만, 이러한 RF들은 일반적인 공사를 가정한 것으로, 개별 작업에 대한 PAR 산출시에는 작업에 알맞은 RF를 추출하여 적용하여야 할 것이다.

### 3. 생산성달성을 산출 모델의 개선 방안

#### 3.1 RF의 객관적 분류

PAR에 영향을 주는 RF는 제어가능여부, 변동여부에 따른 2×2 RF 매트릭스 상에서 어느 영역에 속하느냐에 따라 활용방법이 달라진다. 따라서 RF들의 분류를 객관적으로 하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 이를 위해 델파이 방법을 사용하였다.

각 RF의 변동성(Variability)을 묻는 질문에는 일반적인 건설공사 프로젝트 기간동안 ‘매우 변한다’(5점), ‘조금 변한다’(4점), ‘거의 변하지 않는다’(2점), ‘완전히 변하지 않는다’(1점)의 네 가지 값으로 구분하였으며, 응답자들이 깊은 생각 없이 ‘보통이다’를 선택하는 경우를 막기 위해 ‘보통이다’의 응답지를 삭제하였다.<sup>3)</sup> 또한, 통제가능성(Controllability)을 묻는 질문에는 각 RF에 대해 응답자가 직접 값을 기입하는 방식을 택하였으며, 그림 2에 나타난 건설주체들 - ‘현장관리자 그룹’, ‘작업자 그룹’, ‘현장조직 외의 공사참여자 그룹’, ‘본사지원부서’ - 과 ‘아무도 통제할 수 없다’에 합해서 100(%)이 되는 값을 각각 기입해줄 것을 요구하였다.

이러한 결과를 기 제시된 2×2 매트릭스에 표현함으로써, 건설 생산성에 영향을 미치는 RF들을 통제가능성, 변동성에 따라 객관적으로 분류할 수 있다.

#### 3.2 RF의 통제계수

기존의 PAR 산출식에서는 UC\_V\_RF와 C\_V\_RF가 명확히 구분이 됨을 전제하고 있다. 즉, 통제가 가능하였던 RF인 C\_V\_RF가 일어나지 않았을 경우의 AP 값을 OP로 가정하고 있는 것이다. 이러한 문제는 다음 식 2\*, 3\*에서 표현되어 있다.

$$AP = A - \sum_n B_{1,n} \cdot C\_V\_RF_n - \sum_l B_{2,l} \cdot UC\_V\_RF_l \quad (2^*)$$

$$OP = A - \sum_l B_{2,l} \cdot UC\_V\_RF_l \quad (3^*)$$

RF의 이원성 문제는 다음과 같은 의미를 가진다. 생산성 값이 시간이 흐름에 따라 변하고 있을 때, 개념적으로 이러한 값들을 하나의 RF 값의 크기에 따라 재배치할 수 있을 것이다. 이때, RF 값의 크기와 생산성과의 관계를 UC\_V\_RF와 C\_V\_RF의 두 경우로 나누어 살펴볼 수 있다.

#### (1) UC\_V\_RF의 경우

3) Rosenberg(1965)의 자아존중감척도는 상당수의 응답자들이 생각없이 3을 선택하는 경향을 보이기 때문에 척도제작에서 미리 제거해버렸다. 이는 응답자의 의견을 의도적으로 몰고 가는 경향이 있지만, 생각없이 마구 응답하는 것보다 더 효과적이다(홍성열, 2001).

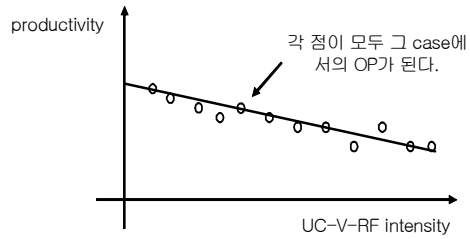


그림 5. UC\_V\_RF와 생산성과의 관계

그림 5와 같이 UC\_V\_RF가 커짐에 따라 생산성은 감소하며, 이때의 RF는 통제가 불가능하므로, 노력에 의해 감소시킬 수 없다. 따라서, 각각의 AP 값들이 모두 그 경우의 OP 값이 된다.

#### (2) C\_V\_RF의 경우

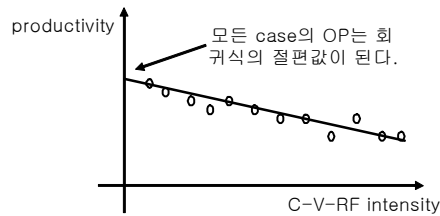


그림 6. C\_V\_RF와 생산성과의 관계

그림 6에서도 생산성은 C\_V\_RF가 커짐에 따라 작아지지만, 이 경우의 RF는 통제가 가능하므로 노력에 의해 일어나지 않도록 할 수 있다. 따라서, OP는 C\_V\_RF가 0인 경우의 값이 된다. 즉, OP는 C-V\_RF를 독립변수로, 생산성 값을 종속변수로 하여 구해지는 회귀식의 y-절편 값이 된다.

하지만, 실제로 RF들은 반드시 이렇게 이원적으로 구분되지 않으며, 따라서 통제계수(Coefficient of Controllability, 이하 CC)를 통해 좀더 현실적인 PAR 모델을 만들 수 있다. CC는 각 RF가 얼마나 통제가능한가를 나타내는 계수이며, 0에서 1의 값을 지닌다. 즉, CC가 1이라면 완벽한 C\_V\_RF(Perfect C\_V\_RF)를 의미하고, CC가 0이라면 완벽한 UC\_V\_RF(Perfect UC\_V\_RF)를 의미한다. 본 연구에서는 델파이 방법을 통해 각 RF의 CC를 설정하게 된다.

이러한 계수를 적용한 AP와 OP는 다음과 같다.

$$AP = A - \sum_n B_k \cdot V\_RF_k \quad (4)$$

$$OP = A - \sum_n B_k \cdot (1 - CC_k) \cdot V\_RF_k \quad (5)$$

위 식 5에서 완벽한 C\_V\_RF의 CC는 1의 값을 지니므로, 종전의 방법과 마찬가지로 OP 산정시에 C\_V\_RF로 기능한다. 또한, 완벽한 UC\_V\_RF의 CC는 0의 값을 지니므로, OP 산정시에 UC\_V\_RF로 기능한다. 또한, 0과 1 사이의 CC값을 지니는 RF들은 비례적으로 위의 두 경우

의 OP 사이값을 가지게 될 것이다. 이를 그림으로 표현하면 다음 그림 7과 같다.

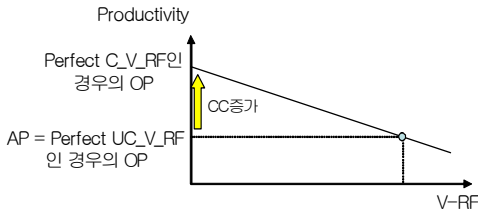


그림 7. 통제계수와 생산성과의 관계

### 3.3 RF의 통제주체 구분

RF가 통제가능한가, 그렇지 않은가의 여부는 통제주체에 따라 달라질 수 있다. 따라서 RF들은 각 통제주체마다 다른 CC값을 가져야 한다. 본 연구에서 통제주체는 ‘현장관리자 그룹’, ‘작업자 그룹’, ‘현장조직 외의 공사참여 자 그룹’, ‘본사지원부서’ 등으로 구분된다. 델파이 조사에서 네 가지 주체의 CC 값을 모두 더한 값은 0에서 1 사이의 값을 지나며,  $(1 - \sum \text{각 주체의 CC값})$ 은 해당 RF에 있어 아무도 통제할 수 없는 부분을 의미하도록 설정하였다. 따라서, 이들 통제주체에 따라 OP는 표 2와 같이 구분할 수 있다. 각 주체의 CC값을 알게 되면, 이러한 구분에 의해 우리는 필요한 범위의 OP값을 구하고, 이를 측정·비교할 수 있다.

표 2. 통제주체에 따른 OP의 구분

구분	설명	CC
개별 주체의 OP	각 개별 주체가 획득 가능한 생산성 최대치	개별 주체의 CC
좁은 의미의 OP	현장에서 획득가능한 생산성 최대치	현장관리자그룹의 CC + 작업자그룹의 CC
넓은 의미의 OP	모든 건설 참여주체의 노력에 의해 획득가능한 생산성 최대치	현장관리자그룹의 CC + 작업자그룹의 CC + 현장조직외의 공사참여 자 그룹의 CC + 본사지원 부서의 CC

이때, 좁은 의미의 OP란 통제주체를 현장으로 한정한 개념으로, 현장의 노력에 의해 획득가능한 생산성의 최대치를 의미한다. 따라서 여기에는 현장관리자 그룹과 작업자 그룹이 통제주체로 고려된다. 반면, 넓은 의미의 OP는 현장조직 외의 공사참여 자 그룹과 본사지원부서 등 모든 건설 참여주체를 통제주체로 생각한다. 즉, 넓은 의미의 OP는 모든 건설 참여주체들의 노력에 의해 획득가능한 생산성의 최대치를 의미한다.

이러한 개념에 따라, AP와 OP의 비로 이루어지는 PAR 값도 개별 주체의 PAR, 좁은 의미의 PAR, 그리고 넓은 의미의 PAR로 구분될 수 있다.

## 4. 건설 생산성 제한요인 분석

### 4.1 델파이 방법의 적용절차

건설 전문가 10인을 대상으로 델파이 방법을 실시하였

다. 전문가 선정의 기준은 건설분야 경력 10년 이상의 대형건설업체 종사자로 하였으며, 전문가의 통계치는 표 3과 같다.

표 3. 델파이 설문에 응한 전문가의 통계치

구분	통계치(평균)
학력	전원 대졸 이상
본사근무년수	5.6년
현장근무년수	8.1년
경험현장개수	4.6개소

예비조사를 거쳐 총 3차에 걸쳐 의견수렴을 하였으며, 우편조사방법과 이메일조사방법을 혼용하였다. 1차 설문 결과의 결과를 바탕으로 2차 설문을 제작, 배포하고 또 2차 설문 결과를 바탕으로 3차 설문을 제작, 배포하였다. 이때, 변동성(Variability)에 대해서는 2차 설문 이후 이미 상당한 일치를 보였으므로, 3차 설문에는 포함시키지 않았다. 응답률 조사에 있어서는, 전문가들의 동의를 얻은 후에 델파이 조사를 실시하였으므로 응답률이 매회 100%였다. 델파이 방법의 적용 절차는 표 4와 같다.

표 4. 델파이 방법 적용절차

회수	조사 기간	내용
1차	2003. 9. 15 ~ 2003. 9. 24	· 각 RF들의 통제가능성, 변동성을 알기 위한 폐쇄형 델파이 설문조사 실시 · 응답자의 신원에 관한 질문 포함
2차	2003. 9. 27 ~ 2003. 10. 19	· 1차 응답의 중앙값과 사분점간 범위(interquartile range)를 표기한 후, 피드백을 위한 2차 설문조사 실시 · 2차 응답이 사분점간 범위를 벗어난 경우 의견란을 통해 이유를 수집
3차	2003. 10. 24 ~ 2003. 11. 5	· 변동성은 충분히 수렴되었으므로, 통제가능성에 대해서만 3차 설문조사 실시 · 2차 조사때 수집된 소수의견을 첨부하여 참조가능하도록 작성

### 4.2 델파이 설문 결과

3차에 걸친 델파이 설문의 결과는 다음과 같다.

표 5는 각 RF의 건설주체별 통제가능성 점수평균을 나타낸 것으로<sup>4)</sup>, 통제계수(CC)의 값을 의미한다. 예를 들어, F1\_1에 해당하는 RF인 ‘작업자의 책임감 부족(불성실)’의 경우, 작업자 그룹의 CC값은 0.55이다. 이는 ‘작업자의 책임감 부족’의 55%를 작업자 그룹이 통제할 수 있고, 따라서 55%의 책임은 작업자 그룹에 있음을 뜻한다. 그리고 좁은 의미의 CC는 현장관리자 그룹과 작업자 그룹의 값을 합한 것이 되고, 넓은 의미의 CC는 좁은 의미의 CC값에 현장조직 외의 공사참여 자, 본사지원부서의 CC값을 더한 것이 된다. 예를 들어, F1\_1에 해당하는 ‘작

4) 표준편차와 중앙값의 크기 차이가 0.05를 넘지 않는 것으로 보아, 이상점에 의한 평균값의 왜곡은 크지 않은 것으로 생각된다. 또한, F1\_1, F1\_2 등의 기호의 의미는 표 1에 설명되어 있다.

업자의 책임감 부족' 요인은 좁은 의미의 CC 값으로 0.78을, 넓은 의미의 CC값으로 0.90을 갖게 된다. 이는 현장 스스로의 노력으로 해당 요인의 78%를 통제할 수 있으며, 건설 참여주체 모두의 노력으로 해당 요인의 90%를 통제할 수 있음을 의미한다.

이러한 CC값은 OP를 산출하는 식 5에 적용되어, RF들의 이원성에 따른 문제를 해결해 준다.

표 5. 건설주체별 통제계수

RF		주체별 통제계수(CC)의 값				
		현장관리자 그룹	작업자 그룹	현장조직 외의 공사 참여자	본사지원 부서	아무도 통제할 수 없다
건설인력 관련요인	F1_1	0.23	<b>0.55</b>	0.06	0.06	0.10
	F1_2	0.16	<b>0.57</b>	0.08	0.07	0.12
	F1_3	0.18	<b>0.52</b>	0.05	0.06	0.19
	F1_4	0.35	<b>0.40</b>	0.16	0.05	0.04
	F1_5	0.20	<b>0.60</b>	0.04	0.01	0.15
	F1_6	0.17	<b>0.38</b>	0.11	0.06	0.28
설계관리 관련요인	F2_1	0.26	0.08	<b>0.48</b>	0.17	0.01
	F2_2	0.26	0.06	<b>0.51</b>	0.13	0.04
공사관리 관련요인	F3_1	<b>0.45</b>	0.22	0.23	0.10	0
	F3_2	0.30	0.09	<b>0.45</b>	0.14	0.02
	F3_3	<b>0.59</b>	0.19	0.16	0.06	0
	F3_4	<b>0.55</b>	0.28	0.16	0	0.01
	F3_5	<b>0.56</b>	0.27	0.11	0.04	0.02
	F3_6	<b>0.52</b>	0.28	0.08	0.12	0
	F3_7	<b>0.50</b>	0.33	0.08	0.07	0.02
투입자원 관련요인	F4_1	<b>0.47</b>	0.29	0.14	0.10	0
	F4_2	<b>0.42</b>	0.23	0.22	0.13	0
	F4_3	<b>0.49</b>	0.28	0.15	0.08	0
	F4_4	<b>0.44</b>	0.35	0.17	0.04	0
공사성격 및 공사 외적 요 인	F5_1	0.12	0.05	0.05	0.01	<b>0.77</b>
	F5_2	0.12	0.05	0.05	0.01	<b>0.77</b>
	F5_3	0.03	0.04	0.13	0.32	<b>0.48</b>
	F5_4	<b>0.37</b>	0.27	0.08	0.07	0.21
	F5_5	<b>0.43</b>	0.24	0.09	0.08	0.16
	F5_6	0.03	0	0.07	0.14	<b>0.76</b>
	F5_7	0.20	0	0.04	<b>0.72</b>	0.04

\* 굵은 값은 각 RF의 CC 값들 중 가장 큰 값들을 의미한다.

또한, 그림 8은 이러한 점수평균의 표준편차가 전체적으로 델파이 설문 차수에 따라 수렴되는 과정을 보여준다.

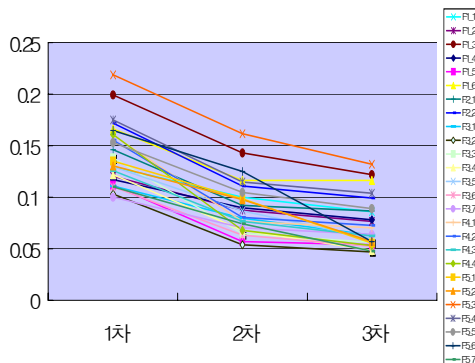


그림 8. 델파이 설문에 따른 표준편차의 변화추이

변동성에 관해서는 일반적인 프로젝트 기간동안 '거의 매일 변한다'를 뜻하는 5점에서 '거의 변하지 않는다'를 뜻하는 1점까지 기입하게 하였다. 이러한 결과를 바탕으로 평균 3점 미만인 RF들은 공사 기간동안 변하지 않는 RF(IV\_RF)로, 평균 3점 이상인 RF들은 공사 기간동안 변하는 RF(V\_RF)로 구분하였다. 결과는 다음 표 6과 같다.

표 6. RF들의 변동성 평가

구분	RF명
V-RF	작업자의 책임감 부족(불성실)
	빈번한 전업
	무리한 작업진행에 따른 작업자의 피로
	작업자 상호간, 상하간 갈등
	작업자 수급량 부족
	설계도서의 미완성, 양적 부족
	상황에 맞지 않는 공법선택
	지나치게 높은 품질기준
	작업간 순서계획 잘못
	작업 일정계획 잘못
	협력업체, 부서간 의사소통 미흡
	잘못된 안전관리
	자재조달계획 잘못
	기준 미달의 자재
장비조달계획 잘못	
IV-RF	성능 부족의 장비
	기온과 습도의 기후조건 열악
	눈, 바람, 비의 기후조건 열악
	소음, 분진, 진동 등 열악한 작업환경
	주민들의 적대적 분위기
	본사의 지원 미비
	작업자의 숙련도(기능) 부족
시공성을 무시한 설계	
비합리적인 현장배치계획	
현장의 입지조건 불리	
지나친 법적 규제	

### 4.3 제한요인 2×2 매트릭스

위의 분석결과를 바탕으로 이를 2×2 좌표평면 상에 표현하면 RF 매트릭스가 완성된다. 이를 통해 PAR 산출에 필요한 정보인 각 RF의 통제가능성, 변동성을 한 눈에 살펴볼 수 있다. 완성된 RF 2×2 매트릭스는 다음 그림 9, 그림 10과 같다.

그림 9는 통제주체의 의미를 좁은 의미인 현장관리자 그룹과 작업자 그룹으로 파악한 RF 매트릭스이다. 따라서, 그림 9를 통해 건설현장이라는 통제주체의 관점에서 통제가능여부와 변동여부에 따른 각 RF들의 위치를 확인할 수 있다.

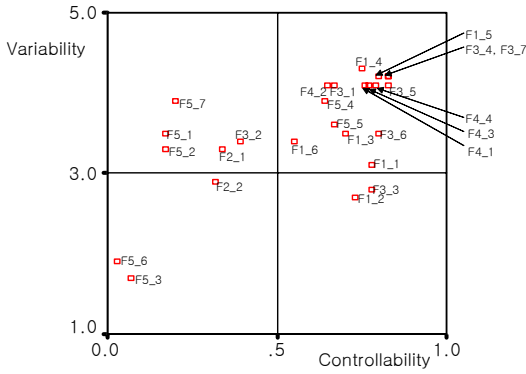


그림 9. 좁은 의미의 CC로 구성된 RF 매트릭스

또한, 그림 10은 통제주체의 의미를 건설에 참여하는 모든 통제주체로 확장하여 파악한 RF 매트릭스이다.

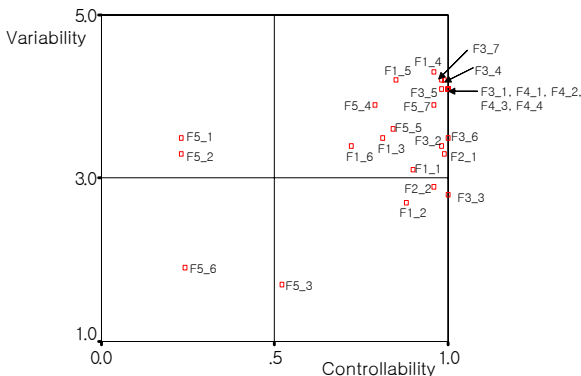


그림 10. 넓은 의미의 CC로 구성된 RF 매트릭스

통제주체의 범위를 넓히면 많은 RF들의 통제가능성이 높아짐을 확인할 수 있다. 또한, F2\_2에 해당하는 ‘시공성을 무시한 설계’ 요인은 변동성이 낮고, 통제주체의 범위에 따른 값의 변화가 크다. 이는 건설 프로젝트 초기부터 모든 프로젝트 주체가 협력해야 컨스트럭터빌리티(Constructability)를 높일 수 있음을 의미한다.

5. 제한요인 분석에 의한 생산성달성율 산출 사례

5.1 사례연구 개요

사례연구는 서울시 D동 아파트 프로젝트를 대상으로 하였으며, 측정 공종은 내부 조적벽 공사이다. 사례연구의 개요는 다음 표 7과 같다.

표 7. 사례연구의 개요

구분	내용
측정대상	서울시 D동 아파트 프로젝트
측정공종	기준층 내부 조적벽 쌓기
측정기간	2003. 10. 1 ~ 2003. 10. 31(31일)
측정내용	투입된 조적공 수, 작업시간, 조적 작업량, 각 V-RF의 값, 기타 생산성을 감소시킨 요인들

투입된 조적공 수와 작업시간, 조적 작업량은 작업 생산성을 측정하기 위해 조사하였다. 또한 조적벽 쌓기 작업의 절차를 고찰하고, 현장 관리자, 작업자와의 면담을 통하여 작업에 영향을 미친 것으로 판단되는 RF들을 도출하였다. 정의된 RF에 대한 설명은 다음 표 8과 같다.

표 8. 사례연구를 위한 RF의 명명과 정의

No.	V-RF	정의	측정방법 (계량화 방법)
RF1	전일 작업 중단 유무	전날에 어떠한 사유로 인해 작업이 중단되었는가?	전날 작업이 중단되었으면 1의 값을, 그렇지 않으면 0의 값을 갖는다.
RF2	작업난이도	작업난이도는 어떠한가? (개구부, 날개벽에 따라 달라짐)	리커트 척도(0:매우 쉬웠다, 1:조금 쉬웠다, 2:보통이었다, 3:조금 어려웠다, 4:매우 어려웠다)
RF3	작업간 순서계획 잘못	작업간 순서계획으로 인해 작업이 방해 받았는가?	선행공종으로 인한 작업 지연이 일어난 시간
RF4	작업 일정계획 잘못	작업 일정계획이 잘못 되어 작업에 방해 받았는가?	다른 작업과의 작업간섭이 일어난 시간
RF5	자재조달 지연	자재가 필요한 시점에 적절히 투입이 되었는가?	자재조달문제로 일어난 대기시간

측정된 결과는 다음 표 9와 같다.

표 9. 내부 조적벽 공사 측정결과

no.	생산성 (장/Manhour)	전일작업 중단유무	작업난이 도	작업간 순 서계획 잘못	작업 일정 계획 잘못	자재조달 지연
1	155.56	0	2	0	0	0
2	142.11	0	3	0	0.5	0
3	155.56	0	2	0	0	0
4	145	0	1	1	0	0
5	150	0	2	0	0	0
6	123.53	0	3	0	0	1
7	136.36	1	2	0	0	0
8	150	0	2	0	2	0
9	156.25	1	1	0	0	0
10	152.63	0	3	0	0	0
11	162.5	0	1	0.5	0	0
12	144.44	1	3	0	0	0
13	142.11	0	2	0	1	0
14	150	0	1	0	0	0
15	147.06	0	3	0	0.5	0
16	161.11	0	1	0	0	0
17	136.84	0	3	1	0	0
18	107.41	1	3	0	0	0.5
19	155	0	2	0	0	0
20	131.25	1	2	0.5	0	0
21	150	0	2	0.5	0.5	0

5.2 내부 조적벽 공사의 PAR 산출

표 9의 내용을 바탕으로 RF들을 독립변수로, 생산성 값을 종속변수로 하여 중선형회귀분석을 실시하였다. 그 결과는 다음 식 6과 같다.<sup>5)</sup>

5) R<sup>2</sup> 값은 0.700이고, 수정된 R<sup>2</sup> 값은 0.648 이었다. 또한, 입력된 5개의 RF 중 회귀분석을 통해 자재조달지연, 전일작업중단, 작업난이도가 유의한 변수로 나타났다.

$$\text{생산성(장/ManHour)} = 162.33 - 27.51 \cdot \text{자재조달지연} - 11.72 \cdot \text{전일작업중단유무} - 5.78 \cdot \text{작업난이도} \quad (6)$$

이 때, 유의한 RF들의 CC값은 각각 다음 표 10과 같다.

표 10. 사례연구에서 쓰이는 CC값 정리

RF명	좁은 의미의 CC	넓은 의미의 CC	비고
자재조달지연	0.76	1.00	표 5의 F4_1에 해당한다.
전일작업중단유무	0	0	이미 일어난 일이므로 통제할 수 없다.
작업난이도	0.30	0.50	현장에서 30%를, 그리고 다른 참여주체가 20%를 통제할 수 있다고 가정한다.

따라서 21일째의 OP는 식 5에 따라 다음과 같이 구할 수 있다.

(1) 좁은 의미의 OP

$$= 162.33 - 27.51 \cdot (1-0.76) \cdot 0 - 11.72 \cdot (1-0) \cdot 0 - 5.78 \cdot (1-0.30) \cdot 2 = 154.24 \text{ 장/ManHour}$$

(2) 넓은 의미의 OP

$$= 162.33 - 27.51 \cdot (1-1) \cdot 0 - 11.72 \cdot (1-0) \cdot 0 - 5.78 \cdot (1-0.50) \cdot 2 = 156.55 \text{ 장/ManHour}$$

이를 통해 좁은 의미의 PAR은  $150/154.24 = 0.973$  이고, 넓은 의미의 PAR은  $150/156.55 = 0.958$  임을 알 수 있다. 즉, 이 현장의 조적쌓기 작업은 이 날 97.3%의 생산성달성율을 보였다고 할 수 있다.

사례 연구를 통해, RF 분석이 기존의 생산성달성율 산출 모델을 다음과 같이 개선하였음을 알 수 있다.

(1) 델파이 방법을 통해 각 RF들의 통제가능성과 변동성에 대한 객관적 기준을 제시함으로써, 산출된 PAR 값의 신뢰성을 증가시켰다.

(2) 본 사례연구에서 자재조달지연 RF의 좁은 의미의 통제계수는 0.76이다. 이는 현장에서 자재조달지연 문제의 76%를 통제할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서, RF들의 통제계수를 0 또는 1로 구분하여 적용하던 기존 PAR 산출 모델에 비해 현실성과 정확성이 향상되었음을 알 수 있다.

(3) 기존의 PAR 산출 모델에서는 통제 주체에 대한 정의가 명확하지 않아서, PAR의 적용성에 문제가 있었다. 하지만, RF 분석을 통해서 각 주체별, 그리고 좁은 의미와 넓은 의미의 PAR을 각각 계산할 수 있게 되었다. 예를 들어, 본 사례연구에서 21일째 좁은 의미의 PAR은 0.973이고, 넓은 의미의 PAR은 0.958임을 확인할 수 있다.

## 6. 결론

본 연구는 기 제시된 생산성 평가지표인 생산성달성율(PAR)을 개선하고자 진행되었다. 생산성달성율의 핵심 개념인 제한요인(RF)에 대한 정확한 분석이 없어서, 생산성달성율은 다음 세 가지 문제점 - (1) RF의 객관적 분

류 문제, (2) RF의 이원성 문제, (3) RF의 통제주체 문제 - 이 있었음을 지적하였다. 이에 본 연구에서는 델파이 방법을 사용하여 RF의 통제가능성, 변동성을 객관적으로 분석하였다. 또한, 각 RF의 주체별 통제계수(CC)를 구하고 이를 PAR 산출에 이용함으로써, 이원성 문제와 통제주체 문제를 해결하였다. 이를 바탕으로 좁은 의미의 건설 주체(현장 단위)와 넓은 의미의 건설 주체(모든 건설 참여자)에 대한 RF 2×2 매트릭스를 구축하였다. D동 아파트 프로젝트의 내부 조적벽 쌓기 작업을 대상으로 사례연구를 실시하였으며, 이를 통해 본 연구가 PAR 산출에 기여하는 바는 다음과 같다.

(1) 델파이 방법을 통해 RF들의 통제가능성과 변동성을 객관적으로 정의함으로써, PAR 산출 모델의 신뢰성을 증가시켰다.

(2) 통제계수를 도입하고 각 RF들의 통제계수 값을 구함으로써, RF의 이원성 문제를 해결하고 PAR 산출 모델의 현실성과 정확성을 증가시켰다.

(3) 통제 주체를 명확히 구분하고 각 주체별 PAR을 산출함으로써, PAR의 의미를 좀더 명확하게 설명하였다.

현실성과 정확성이 향상된 PAR 모델은 생산성 관리 수준의 평가에 기여할 수 있다. 하지만, 본 연구의 기반을 이루는 RF의 분류와 정리에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 김예상, "건설 생산성에 영향을 미치는 요인 분석에 관한 연구", 대한건축학회논문집 구조계, 10권 10호, 1994.
2. 김태완, 유정호, 이현수, "생산성달성율을 이용한 생산성 관리 방안", 대한건축학회논문집(구조계), 19권 9호, 2003.
3. 노재욱, "건설생산성에 영향을 미치는 정성적 인자의 측정방안", 중앙대학교 석사학위논문, 1998.
4. 손창백, 이덕찬, "건축공사의 생산성 저하요인 분석", 대한건축학회논문집 구조계, 18권 12호, 2002.
5. 송성진, 윤도근, "델파이 기법을 적용한 노인요양시설의 수급 전망에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 8권 7호, 1992.
6. 예정현, "델파이법에 의한 한국기업의 정보기술 당면과제에 관한 연구", 서울대학교 박사학위논문, 1991.
7. 이종성, 델파이 방법, 교육과학사, 2001.
8. 홍성열, 사회과학도를 위한 연구방법론, 시그마프레스, 2001.
9. Adrian, J.J., Construction Productivity Improvement. New York: Elsevier, 1987.
10. Alarcon, L., Lean Construction. Rotterdam: Balkema, 1997.
11. Alfeld, L.E., Construction Productivity, McGraw-Hill Book Company, 1988.
12. Heap, A., Improving Site Productivity in the Construction Industry, International Labour Office, 1987.
13. Oglesby, C.H., Parker, H.W., Howell, G.A., Productivity Improvement in Construction, McGraw-Hill Book Company, 1989.
14. Kim, T.W., Yu, J.H., Lee, H.S., "On-site Productivity Evaluation Through Productivity Achievement Ratio", 19th Annual ARCOM conference, 3-5 September 2003, University of Brighton, UK.

(接受: 2003. 12. 3)