

손실생산성을 고려한 공기지연일수 산정방법

A Method of Calculating Schedule Delay Considering Lost Productivity

○ 류한국* 유정호** 이현수***
Ryu, Hanguk Yu, Jung-ho Lee, Hyun-soo

Abstract

A contractor can finish timely the construction project in the condition which is supposed to complete the construction project before constructing the structure. But, because many construction trades participate in an uncertain and complex construction industry, it is hard to complete a construction project in a timely manner. There are several reasons that can contribute to delaying a project. Many studies or methodologies on analyzing the delay have been focused on the reasons. The delay reasons are conceived of activities in a project schedule and the impacted activities are analyzed like an activity which has an unimpacted productivity. The established calculating method of delay related to lost productivity is limited to the study of converting lost productivities into cost. But, if some variables impacted the next work in the sequence, the impacted work may become a lost productivity work. It can be concluded that there are few studies of converting lost productivity into the delay. So, the purpose of this study is to analyze construction delay by considering loss of productivity.

키워드 : 클레임, 공기지연, 손실생산성, 손실생산일수, 지연요인

Keywords : Claim, Delay, Loss of Productivity, Lost Productivity Duration, Impact Factor

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

건설공사 계약에 있어서 공사기간은 품질, 공사비 사항과 마찬가지로 가장 기본적 내용이며 중요하게 관리해야 할 항목이다. 그러나 어느 산업보다도 변수가 많은 건설산업은 작업을 계획된 공사기간 내에 완료하는 데 어려움이 많다. 최종 공사완료일과 계약완료일간의 차이로 인해 클레임이 발생하였을 경우, 공가지연일수의 확정 책임할당에 대한 기본적인 정보이며, 여러 가지 연속적, 복합적 지연요인과 생산성이 관련된 경우에는 복잡한 문제가 야기된다.

그러나 기존의 공기지연일수 산정은 각 지연요소들을 파악하여 귀책사항을 분석하는 과정에서 손실 생산성을 감안하여 비용으로 환산하는 방법에 관한 연구만 있을 뿐 공기지연일수 산정에 대한 연구가 부족하였다고 판단된다.

따라서, 공기지연으로 인한 지체보상금산정에 있어 시공사 또는 발주자에게 편익이 발생하지 않도록 공정하게

공기지연일수 산정문제를 해결하기 위해서는, 여러 지연요인과 생산성을 고려한 공기지연분석방법이 필요하며, 본 연구의 목적은 손실생산성을 고려한 공기지연일수 산정방법의 제안이다.

1.2. 연구의 범위

공사완료시 지연일수에 대한 클레임이 발생하였을 때 제3자가 지연원인 분석이 가능한 방법을 제시하기 위하여 계약시 승인된 CPM 계획공정표(As-Planned Schedule)를 근거로 상세 공정표를 바차트로 갱신(updating)한 자료와 완료공정표(As-Built Schedule)가 있는 프로젝트를 대상으로 한다.

1.3. 연구의 방법

본 연구의 방법은 예비적 고찰로 발생원인에 따른 공기지연 구분과 발생시점에 따른 공기지연 유형을 살펴보고 기존 연구의 문제점을 도출한다. 손실생산성을 고려한 공기지연을 분석하기 위하여 손실생산성과 손실생산일수의 개념과 분석과정을 제안하고 사례연구를 통하여 시공사의 손실생산일수를 산출함으로써 본 연구의 타당성을 검증한다.

2. 예비적 고찰

2.1. 발생원인에 따른 공기지연 구분

* 정회원, 서울대 대학원 석사과정

** 정회원, 서울대 대학원 박사과정

*** 정회원, 서울대 건축학과 교수, 공학박사

본 연구는 2001년도 과학기술부의 국가지정 연구실 사업에 의하여 지원되었음.

(과제번호: M10104000274-01J000012100)

지연에는 크게 수용가능 공기지연(excusable delay)과 수용불가능 공기지연(non-excusable delay)²⁾으로 나눌 수 있다.

수용가능 공기지연(excusable delay)은 발주자의 설계 변경으로 인한 추가공사, 발주자의 의사결정 지연, 발주자의 장애, 방해 등으로 시공자의 책임이 아닌 경우에는 보상을 받을 수 있으나, 천재지변, 예기치 못한 경제적·사회적으로 인한 지연 등 발주자나 시공자가 제공한 원인이 아닌 계약서에서 정의된 범위는 보상받을 수 없다.

수용불가능 공기지연(non-excusable delay)은 시공자의 운영자금 부족, 부적합한 시공계획, 비효율적인 인력 등으로 시공자에 의해 야기된 지연이다.

2.2. 발생시점에 따른 공기지연 유형 구분

공기지연이 일어난 시점을 기준으로 그 작업 자체만이 지연요인으로 작용하는 독립적인 공기지연(independent delay)과 두 개 이상의 작업이 지연요인으로 작용하는 동시발생 공기지연(concurrent delay)으로 구분된다.

동시발생 공기지연(concurrent delay)은 동시적인 동시발생 공기지연(simultaneous concurrent delay 또는 concurrent delay)과 연속적인 동시발생 공기지연(consecutive concurrent delay 또는 serial delay)으로 구분된다.³⁾

동시적인 동시발생 공기지연(simultaneous concurrent delay)은 두 가지 이상의 지연이 각 작업에 동일한 시점 혹은 비슷한 시점에 발생한 것이다.

연속적인 동시발생 공기지연(consecutive concurrent delay)은 지연된 한 작업의 지연요인이 그 자체 작업에 해당된 원인이 아니라 선행작업들의 지연요인들에 기인하여 누적된 결과를 말한다.

2.3. 기존 연구의 문제점

기존의 공기지연 측정방법은 지연작업이 계획 당시의 작업 생산성을 그대로 유지하고 작업이 지속적으로 진행된 것으로 보았으나, 실제로는 그 생산성을 유지하지 못하는 경우가 많다. 예를 들어, 어떤 작업이 진행되다가 도중에 예상하지 못했던 악천후 등의 날씨관계로 인해서 작업이 2일간 중단되었다면 그 작업이 본래의 생산성으로 돌아오기 위해서는 복구작업, 준비작업, 작업습득시간 등 상당한 시간이 소요될 수 있다.

따라서, 어떤 영향요인에 의한 작업영향을 비작업일 즉 액티비티로 규정하고 CPM분석을 통하여 공기지연일수를 산정하였다. 또한 손실 생산성의 고려는 비용으로 산정하는 접근방법은 있지만 지연일수로 환산하여 접근하는 방법이 부족하였다고 판단된다.

2) 귀책사항에 관련하여 지연은 일반적으로 수용가능·보상가능, 수용가능·보상불가능, 수용불가능으로 나눌 수 있다.(Kraiem and Diekmann 1987; Arditi and Robinson 1995)

3) Bramble과 Callahan, Arditi와 Patel의 구분방법

3. 손실생산성을 고려한 공기지연 분석 방법

3.1. 손실생산성(LP)과 손실생산일수(LPD)

계획과 다른 변수들에 의한 생산성 저하를 손실 생산성(Lost Productivity)이라 한다.[그림1]

시작지연일수(VSD;Variance of Start Duration)는 작업이 시작될 수 있었는데 어떤 지연요인으로 시작하지 못한 기간이며, 완료지연일수(VFD;Variance of Finish Duration)는 계획작업기간 동안에 지연요인의 발생으로 작업을 완료하지 못하고 지연된 기간이다.

손실생산일수(Lost Productivity Duration)란 지연원인의 영향을 받지 않았을 때의 작업 생산성과 지연원인의 영향을 받았을 때의 작업 생산성을 비교하여, 손실생산성이 없는 기간에 작업할 수 있었던 기회 일수를 손실생산일수라고 정의한다.

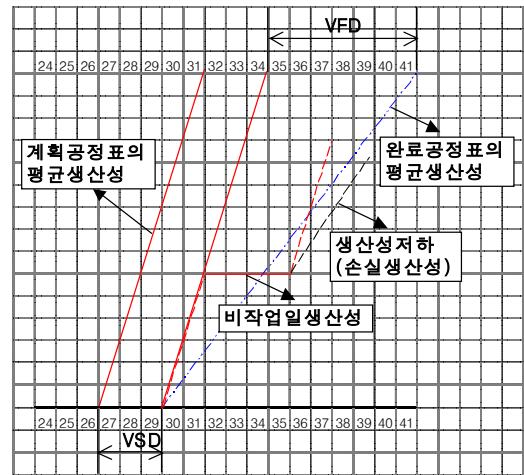


그림 1. 손실생산성(Lost Productivity)

3.2. 공기지연 분석과정

건설공사는 계획된 공정과는 다르게 시시각각 변하는 작업 상황에 따라 공사가 진행된다. 작업들 중에는 최종적인 공기지연일수에 영향을 미친 새로운 주공정선 상의 작업과 그렇지 않은 작업이 있다. 따라서, 어떤 작업이 최종적인 공기지연에 영향을 미쳤으며 그 영향도는 어느 정도인지 파악하여 귀책사항을 할당한다.[그림 2]

3.2.1. 주공정작업 분석

실제 작업의 시작일과 작업기간을 반영하여 완료공정표⁴⁾를 작성한다. 완료공정표상의 주공정 작업 지연만이 궁극적으로 최종 공사완료일에 영향을 미치므로 완료공정표상의 주공정작업들을 선택하여 지연원인을 분석한다.

3.2.2. VSD와 VFD의 계산

최종 공사기간의 지연일수는 지연에 영향을 미친 영향들의 축적된 합이라 할 수 있다. 계획공정표와 완료공정표의 작업들을 비교하여 문제의 작업에 대한 시작 지연일수(VSD)와 완료지연일수(VFD)를 분석한다.

표 2. 변수표

	물량(m ³)	생산성(m ³ /man · day)	일일평균출역인원(man)	기간(day)
계획	Q ₀	P ₀	L ₀	D ₀
영향받지 않은 기간의 작업	Q _u	P _u	L _u	D _u
영향받은 기간의 작업	Q _i	P _i	L _i	D _i

영향일수를 산정한다.

VFD의 원인을 증빙할 수 있는 문서나 근거자료가 없을 경우는 시공자의 책임이다.

3.2.5. 손실생산일수 산정

어떤 작업의 계획대비 실행의 작업기간의 차이는 계획 또는 관리소홀로 인한 시공자의 작업지연일수와 손실생산성에서 비롯한 손실생산일수로 나타난다.

어떤 작업의 생산성에 관련된 변수[표 1]를 이용하여 손실생산성(Lost Productivity : LP)을 구할 수 있으며, 손실생산량(Lost Productivity Quantity : LPQ)은 손실생산성과 지연영향을 받은 기간동안의 투입노무량의 곱으로 나타낼 수 있다.[식 (1)]

$$LP = (P_u - P_i)$$

$$LPQ = (P_u - P_i) \times L_i \times D_i \quad \text{----- (1)}$$

손실생산일수(Lost Productivity Duration:LPD)는 손실생산량(LPQ)을 지연영향을 받은 기간동안의 노무량과 지연영향을 받지 않은 기간동안의 일일생산성의 곱(L_iP_u)으로 나누면 구할 수 있다.[식 (2)]

$$LPD = \frac{LPQ}{L_i P_u} = \frac{(P_u - P_i) \times L_i \times D_i}{L_i P_u} \quad \text{----- (2)}$$

지연영향을 받지 않고 작업을 했을 시의 작업기간(Could Be Duration:CBD)은 전체 작업량(Q₀)을 지연영향을 받지 않은 기간동안의 일일생산량(L_uP_u)으로 나누면 구할 수 있다.[식 (3)]

$$CBD = \frac{Q_0}{L_u P_u} = \frac{Q_u + Q_i}{L_u P_u} \quad \text{----- (3)}$$

시공자의 계획대비 실행의 작업일수차이(Contractor's Duration Difference:CDD)는 계획상태의 작업기간(D₀)과 지연영향을 받지 않고 작업을 했을 시의 작업기간(CBD)의 차이로 나타난다.[식 (4)]

$$CDD = CBD - D_0 = \frac{Q_0}{L_u P_u} - D_0 \quad \text{----- (4)}$$

어떤 작업의 지연일수(Work Delay : WD)는 시공자의 계획잘못으로 인한 지연일수(CDD)와 손실생산성으로 인한 지연일수(LPД)와 증빙하지 못한 지연일수(ε)⁶⁾의 합으로 나타난다. CDD와 LPD는 독립변수이고 ε은 WD에서 CDD와 LPD를 뺀 종속변수이다.[식 (5)]

$$WD = CDD + LPD + \epsilon$$

$$= \frac{Q_0}{L_u P_u} - D_0 + \frac{(P_u - P_i) \times L_i \times D_i}{L_i P_u} + \epsilon$$

있다.

6) 증빙하지 못하는 지연일수는 시공자의 책임이다.

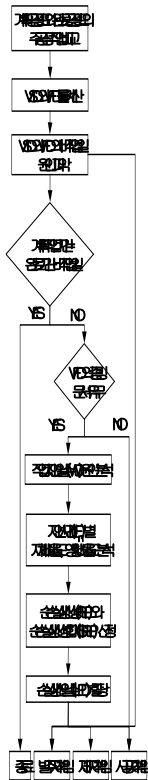


그림 2. 공기지연 분석과정

관련 식은 다음과 같다.

VSD = 완료공정표상의 후행작업 시작점 - 완료공정표상의 선행작업 완료점

VFD = 완료공정표상의 작업기간 - 계획공정표상의 작업기간

3.2.3. VSD와 VFD의 비작업일 원인 파악

계획공정표와 완료공정표의 작업 비교를 통하여 VSD와 VFD를 계산한 후, 계약서, 도면, 시방서, 작업일보, 기타 관련 문서를 근거로 VSD와 VFD의 비작업일의 원인과 원인 제공자를 파악한다.

3.2.4. VFD의 증빙 문서 유무파악

비작업일을 제한 VFD분석을 통하여 지연원인 파악을 하지 못하였을 경우, 실제 작업된 완료공정표상의 지연요인을 증빙자료⁵⁾를 바탕으로 손실 생산성 분석으로 지연

4) 완료공정표에 의하여 공기지연을 분석하는 방법은 널리 인정된 방법으로, 기본적으로 계획된 공정과 실제 현장에서 수행된 공정을 비교하는 것이다.[이재섭] 프로젝트의 관련 자료의 수준이 충분하지 못한 경우에 많이 사용된다. 즉, 기존의 완료공정표의 단점은 각 주요한 지연 시점에 발생한 상황을 고려하지 못한 것이다. 본 논문은 완료공정표에서 충분한 영향요인과 영향발생기간을 파악할 수 있는 자료를 근거로 분석방법을 제시한 것이다.

5) 생산성데이터베이스로부터 생산성 변화자료를 얻을 수

3.2.6. 작업지연일수(WD)의 원인 분석

손실작업일수를 산정한 후 원인을 분석하기 위해서는 계획 작업기간과의 비교로 가능하다.

작업지연일수(WD)의 원인은 CDD에 따라 3가지의 경우가 있다.

(1) 시공자 잘못과 손실생산성 모두 포함된 경우
지연일수가 시공자의 잘못으로 인한 작업지연일수와 지연영향을 받은 기간동안의 생산성 손실일수를 모두 포함하는 경우이다.[그림 3]

$$CDD = CBD - D_o = \frac{Q_o}{L_u P_u} - D_o > 0 \quad \text{----- (6)}$$

CDD가 0보다 큰 경우로 계획공정표보다 적은 생산성과 노무량이 적용되는 이유 등으로 시공자가 계획 잘못으로 인한 지연일수이다.[식 (6)]

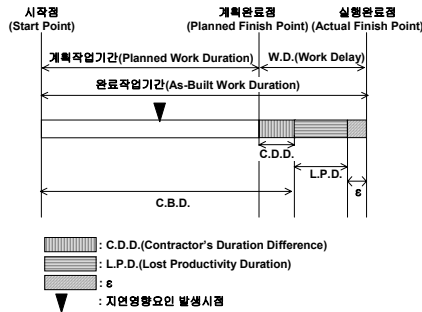


그림 3. 시공자 잘못과 손실생산성 모두 포함된 경우

(2) 손실생산일수만이 포함

계획공정표상의 작업기간과 완료공정표상의 작업기간이 같은 경우이다.[그림 4] 즉, 계획시 예상생산성과 실작업시의 영향받지 않은 기간동안의 생산성이 같으므로 시공자의 잘못은 없고 손실생산일수에 대한 원인만이 전체 작업의 지연일수에 영향을 미친다.

$$CDD = CBD - D_o = \frac{Q_o}{L_u P_u} - D_o = 0 \quad \text{----- (7)}$$

CDD가 0으로 계획공정표와 같은 생산성과 노무량이 적용된 경우로 시공자의 잘못으로 인한 지연일수가 없고

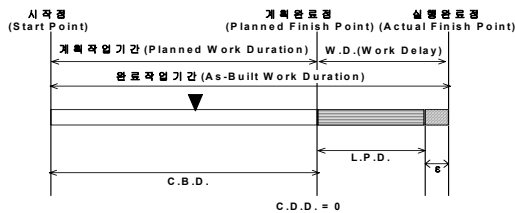


그림 4. 손실생산일수만 포함된 경우

손실작업일수에 대한 원인제공자만 해당된다.[식 (7)]

(3) 손실생산일수에서 단축기간을 뺀 경우

계획공정표상의 작업기간 보다 완료공정표상의 작업기간이 더 짧게 걸린 경우이다.[그림5] 즉, 시공자의 촉진공사 등으로 작업기간이 단축된 경우이다. 그러나, 촉진공사의 노력으로 공사기간은 단축되지만 전체 작업지연일수산정에서는 해당되지 않는다.

$$CDD = CBD - D_o = \frac{Q_o}{L_u P_u} - D_o < 0 \quad \text{----- (8)}$$

CDD가 0보다 작은 경우(식8)로 계획공정표보다 높은 생산성과 노무량이 적용된 경우로 시공자의 노력으로는 인정되거나 지연일수와는 상관이 없다.[식 (8)]

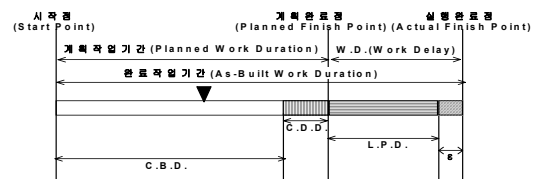


그림 5. 손실생산일수에서 단축기간을 뺀 경우

4. 손실생산일수의 할당

4.1. 영향요인 특성

손실생산일수를 산정하고 난 뒤에 원인을 파악하여 책임을 할당하는 것이 필요하다.

표 3. 변수표

기간	D _{n-1}	D _n	D _{n+1}
생산성 (m ³ /man · day)	P _{n-1}	P _n	P _{n+1}
영향 요인 (IF : Impact Factor)	IF _{n-1}	IF _n	IF _{n+1}
누적 손실생산성 (m ³ /man · day)	CLP _{n-1}	CLP _n	CLP _{n+1}
손실생산성 (m ³ /man · day)	LP _{n-1}	LP _n	LP _{n+1}
순손실생산성 (m ³ /man · day)	RLP _{n-1}	RLP _n	RLP _{n+1}

LPD에 영향을 미치는 경우는 독립적 영향요인 (Independent Impact Factor)으로 인한 특성과 연속적 영향요인(Serial Impact Factor)으로 인한 특성으로 2가지 경우가 있다.

여기서, LP_n은 n번째의 누적손실생산성과 n-1번째의 누적손실생산성의 차이를 말하며, RLP_n은 n번째의 영향요인에 의해서만 생성된 순손실생산성을 말한다.

LP_n은 어떤 영향 요인 또는 사건(IF_n)을 통하여 선행작

업기간의 순손실생산성 RLP_{n-1} 이 영향을 받은 $RLP_{n-1}(IF_n)$ 과 본 작업기간의 순손실생산성 RLP_n 이 영향을 받은 새로운 $RLP_n(IF_n)$ 으로 구성된다. $RLP_{n-1}(IF_{n-1})$ 은 IF_n 의 영향에 상관없이 학습효과 등으로 시간이 경과됨에 따라 변하게 되는 데 IF_n 의 영향이 미친 이후 동안에 자체적으로 변한 정도, 즉, 자체비율도($\alpha\%$)의 적용으로 구할 수 있다. 또한, $RLP_{n-1}(IF_n)$ 과 새로운 $RLP_n(IF_n)$ 의 교집합이 생성되는 데, 이는 $RLP_{n-1}(IF_{n-1})$ 이 새로운 $RLP_n(IF_n)$ 에 영향을 미치는 정도, 즉, 영향비율도($\beta\%$)의 적용으로 구할 수 있다.[그림 6]

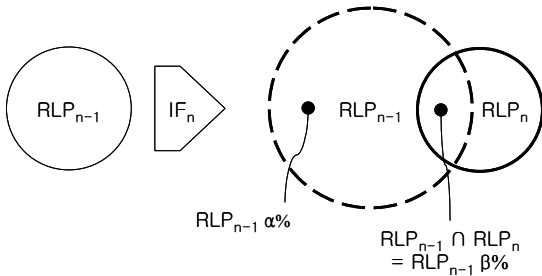


그림 6. IF_n 을 통한 $RLP_{n-1}(IF_n)$ 의 변화

(1) 독립적 특성

독립적 영향요인은 후행(n 차) 작업기간에 대한 영향도가 없는 요인으로($\beta = 0\%$) 선행($n-1$ 차) 작업기간의 손실생산성이 그대로 이어지거나, 없어지는 경우 또는 비율적으로 증가하거나 감소하는 경우에 따라 3가지로 구분할 수 있다.[그림 7]

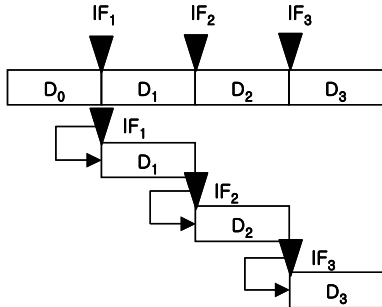
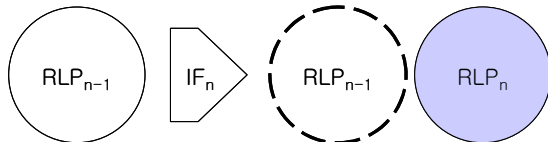


그림 7. 독립적 특성

① RLP_{n-1} 이 그대로 유지되는 경우($\alpha=100\%$, $\beta=0\%$)

$$RLP_{n-1}(IF_n) = RLP_{n-1} \quad \text{----- (9)}$$

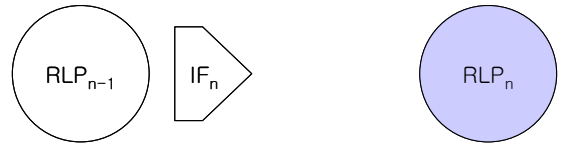
$$RLP_n(IF_n) = RLP_n = LP_n \quad \text{----- (10)}$$



② RLP_{n-1} 이 없어지는 경우($\alpha=0\%$, $\beta=0\%$)

$$RLP_{n-1}(IF_n) = 0 \quad \text{----- (11)}$$

$$RLP_n(IF_n) = CLP_n = CLP_{n-1} + LP_n \quad \text{----- (12)}$$

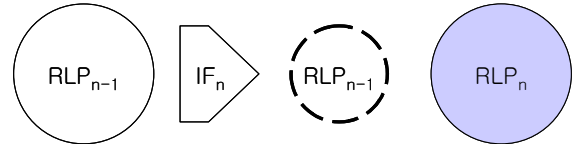


③ RLP_{n-1} 이 감소하는 경우 ($0\% < \alpha < 100\%$, $\beta=0\%$)

$$RLP_{n-1}(IF_n) = RLP_{n-1} \times \alpha \% \quad \text{----- (13)}$$

$$RLP_n(IF_n) = CLP_n - RLP_{n-1} \times \alpha \% \quad \text{----- (14)}$$

$$= (CLP_{n-1} + LP_n) - RLP_{n-1} \times \alpha \%$$



(2) 연속적 특성

연속적 영향요인은 후행(n 차) 작업기간에 대한 영향도가 증가 또는 감소하는 요인으로($\beta \neq 0\%$) 선행($n-1$ 차) 작업기간의 손실생산성이 그대로 이어지거나, 없어지는 경우 또는 비율적으로 증가하거나 감소하는 경우에 따라 3가지로 구분할 수 있다.[그림 8]

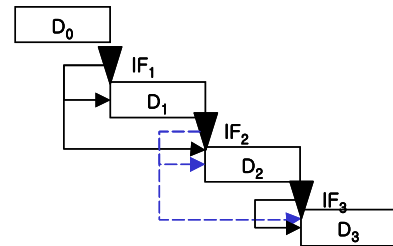


그림 8. 연속적 특성

① RLP_{n-1} 이 그대로인 경우 ($\alpha=100\%$, $\beta \neq 0\%$)

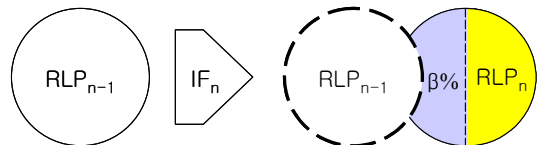
$$RLP_{n-1}(IF_n) = RLP_{n-1} + RLP_{n-1} \times \beta \% \quad \text{---- (15)}$$

$RLP_{n-1}(IF_n)$ 은 $RLP_{n-1}(IF_{n-1})$ 과 후행 작업기간에 대한 비율영향도에 따른 손실생산성 변화량을 포함한다.

$$RLP_n(IF_n) = CLP_n - (RLP_{n-1} + RLP_{n-1} \times \beta \%) \quad \text{---- (16)}$$

$$= (RLP_{n-1} + LP_n) - (RLP_{n-1} + RLP_{n-1} \times \beta \%)$$

$$= LP_n - RLP_{n-1} \times \beta \%$$



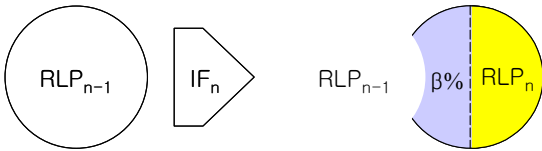
② RLP_{n-1} 이 없어지는 경우 ($\alpha=0\%$, $\beta \neq 0\%$)

$$RLP_{n-1}(IF_n) = RLP_{n-1} \times \beta \% \quad \text{----- (17)}$$

$RLP_{n-1}(IF_n)$ 은 후행 작업기간에 대한 비율영향도에 따른 손실생산성 변화량을 포함한다.

$$RLP_n(IF_n) = CLP_n - RLP_{n-1} \times \beta \% \quad \text{----- (18)}$$

$$= (CLP_{n-1} + LP_n) - RLP_{n-1} \times \beta \%$$



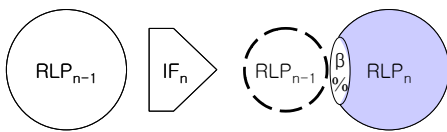
③ RLP_{n-1} 이 감소하는 경우 (0% < α < 100%, β ≠ 0%)

$$RLP_{n-1}(IF_n) = RLP_{n-1} \times \alpha \% + RLP_{n-1} \times \beta \% \quad (19)$$

RLP_{n-1}(IF_n)은 RLP_{n-1}(IF_{n-1})의 자체영향도와 후행작업 기간에 대한 비율영향도에 따른 손실생산성 변화량을 포함한다.

$$RLP_n(IF_n) = CLP_n - (RLP_{n-1} \times \alpha \% + RLP_{n-1} \times \beta \%) \quad (20)$$

$$= (CLP_{n-1} + LP_n) - (RLP_{n-1} \times \alpha \% + RLP_{n-1} \times \beta \%)$$



4.2. RLP의 계산

후행기간(n차)의 손실생산성은 선행기간(n-1차)의 영향요인의 자체적인 변화, 후행기간(n차)에 비율적으로 미치는 영향과 새로운 영향요인의 3가지 요소에 의하여 구성된다. 3가지 요소 중에 선행기간(n-1차)의 영향요인의 변화와 후행기간(n차)에 미치는 영향은 시간과 공간에 따라 통합적, 단일적으로 또는 통합과 단일이 합쳐진 복합적으로 전체 작업의 손실생산성을 구성하게 된다.

이와 같이, 각 영향 요인들의 생산성에 미치는 영향들은 공간적인 관점과 시간적인 관점에서 2X2 행렬의 네 범주로 구분할 수 있다.[표3]

표 4. 시간과 공간에 의한 통합·단일·복합 영향 범주

		시간	
		동일	상이
장소	동일	통합영향	복합영향 (통합영향 + 단일영향)
	상이	복합영향 (통합영향 + 단일영향)	단일영향

(1) 통합영향

통합 영향도(X_k%)란 선행기간의 손실생산성 영향 요인들 모두가 똑같은 비율로서 후행기간의 손실생산성에 영향을 미치는 정도이고 통합 영향도의 특성을 지닌 영향요인을 통합 영향요인으로 정의한다. 또한, 통합영향요인이 후행기간에 통합영향도로 영향을 미치는 행위를 통합영향이라 한다.[그림 9]

장소와 시간이 동일한 영향요인이 작업에 영향을 미칠 때 통합영향을 받는다. 예를 들어, 계약과 다른 지반상태와 계측기설치의 미비로 인한 흠막이 붕괴의 통합영향으로 작업이 지연되었다면 후행기간에 미치는 영향은 요인별 일정비율로 영향을 미치게 된다.

n번째 통합영향요인(IF_n)에 의한 k번째 순손실생산성 RLP_k(IF_n)은 n-1번째 영향요인(IF_{n-1})에 의한 k번째 순손

실생산성의 영향요인(IF_k)의 자체비율도(RLP_k(IF_{n-1})α_{n-1}%)와 n-1번째 영향요인(IF_{n-1})에 의한 k번째 순손실생산성의 영향요인(IF_k)의 영향비율도(RLP_k(IF_{n-1})β_{n-1}%)의 합으로 구성되고 통합영향요인(IF_n)에 의한 n번째 순손실생산성 RLP_n(IF_n)은 CLP_n에서 $\sum_{i=1}^{n-1} RLP_i(IF_n)$ 을 뺀 값과 같다. 단, RLP₁(IF₁)=CLP₁이다.

$$RLP_1(IF_n) = RLP_1(IF_{n-1})\alpha_1\% + RLP_1(IF_{n-1})\beta_1\% \quad (21)$$

$$RLP_2(IF_n) = RLP_2(IF_{n-1})\alpha_2\% + RLP_2(IF_{n-1})\beta_2\%$$

⋮

$$RLP_k(IF_n) = RLP_k(IF_{n-1})\alpha_k\% + RLP_k(IF_{n-1})\beta_k\% \quad (22)$$

⋮

$$RLP_n(IF_n) = CLP_n - \sum_{i=1}^{n-1} RLP_i(IF_n) \quad (23)$$

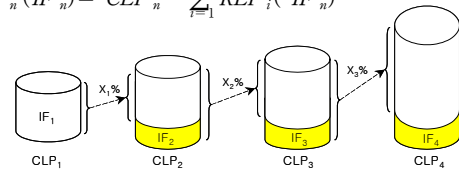


그림 9. 통합영향

(2) 단일영향

단일 영향도((n-1)'X_k%)란 선행기간의 손실생산성 영향 요인들 각각의 비율로서 후행기간의 손실생산성에 영향을 미치는 정도를 말하고 단일 영향도의 특성을 지닌 요인을 단일영향요인이라 한다. 또한, 단일영향요인이 후행기간에 단일영향도로 영향을 미치는 행위를 단일영향이라 한다.[그림 10]

장소와 시간이 상이한 영향요인이 작업에 영향을 미치는 경우에 단일영향이 발생한다. 예를 들어, 5층 외벽 석공사의 작업 중, 설계변경으로 인해 일정기간 지연되고 난 뒤 일정부분 작업 후 외부 곤도라 고장으로 7층에서 일정기간 지연되었다면 설계변경에 따른 생산성손실영향 정도와 곤도라 고장의 생산성손실영향 정도는 각 생산성 단일영향요인의 특성에 따라 상이하다.

n번째 단일영향요인(IF_n)에 의한 k번째 순손실생산성(RLP_k(IF_n))은 n-1번째 영향요인(IF_{n-1})에 의한 k번째 순손실생산성의 자체비율도(RLP_k(IF_{n-1})(n-1)'α_{n-1}%)와 n-1번째 영향요인(IF_{n-1})의 k번째 순손실생산성의 영향비율도(RLP_k(IF_{n-1})(n-1)'β_{n-1}%)의 합으로 구성되고 단일영향요인(IF_n)에 의한 n번째 순손실생산성(RLP_n(IF_n))은 CLP_n에서 $\sum_{i=1}^{n-1} RLP_i(IF_n)$ 을 뺀 값과 같다.

단, RLP₁(IF₁)=CLP₁이다.

$$RLP_1(IF_n) = RLP_1(IF_{n-1})(n-1)'\alpha_1\% + RLP_1(IF_{n-1})(n-1)'\beta_1\% \quad (24)$$

$$RLP_2(IF_n) = RLP_2(IF_{n-1})(n-1)'\alpha_2\% + RLP_2(IF_{n-1})(n-1)'\beta_2\%$$

⋮

$$RLP_k(IF_n) = RLP_k(IF_{n-1})(n-1)'\alpha_k\% + RLP_k(IF_{n-1})(n-1)'\beta_k\% \quad (25)$$

⋮

$$RLP_n(IF_n) = CLP_n - \sum_{i=1}^{n-1} RLP_i(IF_n) \quad (23)$$

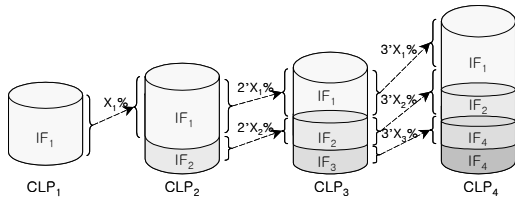


그림 10 . 단일영향

(3) 복합영향

복합영향은 어떤 작업기간의 지연일수산정에 있어서 통합 영향요인과 단일 영향요인이 복합적으로 영향을 미친 경우를 말한다.[그림 11] 이는 각 영향요소들을 통합영향요소들과 단일영향요소들로 분류할 수 있으며 각 요소의 특성에 따라 각각의 SRLP(Sum of RLP)를 정량적으로 계산할 수 있다.

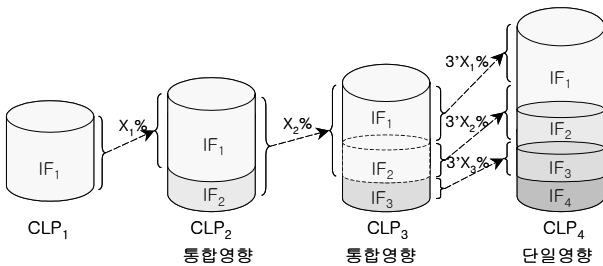


그림 11 . 복합영향

i) n=a,b=1

$$RLP_1(IF_1) = CLP_1 \quad \text{----- (26)}$$

단, $A \cap B = \emptyset, A \cup B = N$ 이고 $a \in A, b \in B, n \in N$ 이다. A는 통합영향요소들의 집합이고, B는 단일영향요소들의 집합이고 N은 전체 영향요소들의 수이다.

영향요소 IF1에 의한 첫 번째의 순손실생산성인 $RLP_1(IF_1)$ 은 첫 번째 누적손실생산성인 CLP_1 과 같다.

ii) n>a,b>1

$$RLP_a(IF_n) = RLP_a(IF_{n-1}) \times (\alpha_a\% + \beta_a\%) \quad \text{----- (22')}$$

$$RLP_b(IF_n) = RLP_b(IF_{n-1}) \times ((n-1)\alpha_b\% + (n-1)\beta_b\%) \quad \text{----- (25')}$$

[식 22']와 같이 통합영향요인은 n번째의 통합영향요소인(IFn)에 의한 a번째 순손실생산성인 $RLP_a(IF_n)$ 은 n-1번째의 영향요소(IFn-1)에 의한 a번째 순손실생산성인 $RLP_a(IF_{n-1})$ 에 n-1번째 자체비율도($\alpha_a\%$)와 영향비율도($\beta_a\%$)의 곱으로 구할 수 있다.

[식 25']와 같이 단일영향요인은 n번째의 단일영향요소인(IFn)에 의한 b번째 순손실생산성인 $RLP_b(IF_n)$ 은 n-1번째의 영향요소(IFn-1)에 의한 b번째 순손실생산성인 $RLP_b(IF_{n-1})$ 에 n-1번째 자체비율도($(n-1)\alpha_b\%$)와 영향비율도($(n-1)\beta_b\%$)의 합의 곱으로 구할 수 있다.

iii) a 또는 b = n

$$RLP_n(IF_n) = CLP_n - \sum_{i=1}^{n-1} RLP_i(IF_i) \quad \text{----- (23)}$$

n번째 영향요소(IFn)에 의한 n번째 순손실생산성인

$RLP_n(IF_n)$ 은 CLP_n 에서 $\sum_{i=1}^{n-1} RLP_i(IF_i)$ 을 뺀 값과 같다.

4.3. SRLP의 계산

RLP_k 는 영향요소 IFk로부터 IFn까지의 각 영향요소 성격에 따라 변하며, $RLP_k(IF_i)(i=0,1, \dots, n)$ 의 순손실생산성의 합인 SRLP(Sum of Real Lost Productivity)를 구할 수 있다.[식27]

$$\begin{aligned} SRLP_1(IF_1, IF_2, \dots, IF_n) &= \sum_{i=1}^n RLP_1(IF_i) \\ SRLP_2(IF_2, IF_3, \dots, IF_n) &= \sum_{i=2}^n RLP_2(IF_i) \\ &\vdots \\ SRLP_k(IF_k, IF_{k+1}, \dots, IF_n) &= \sum_{i=k}^n RLP_k(IF_i) \quad \text{----- (27)} \\ &\vdots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SRLP_{n-1}(IF_{n-1}, IF_n) &= \sum_{i=n-1}^n RLP_{n-1}(IF_i) \\ SRLP_n(IF_n) &= RLP_n(IF_n) = CLP_n - \sum_{i=1}^{n-1} RLP_i(IF_i) \end{aligned}$$

즉, 영향요소별 손실생산성의 합을 구함으로 통합·단일·복합 영향요인의 영향을 받은 작업의 지연일수를 [식 2]를 통하여 정량적으로 구할 수 있다.

5.. 사례연구

5.1. 대상 사례

- ACT27) 계획공기 : 1999.6.23 ~ 1999.08.21

표 5. 생산성 측정치

기간	작업부위	영향	작업인원 누계	시공물량 누계(m ²)	평균생 산성	영향요소(IFn)
6/23~ 6/24	콘도라설치		40			
6/25~ 7/8	8층 2,3단~12층 6단		249	1725.75	6.93	
7/9~ 7/10	자체운반		19			7/9일 1차 변경사항
7/11~ 7/27	13층 1단~19층 5단	*	456.5	2880.35	6.31	
7/28~ 7/29	자체운반		9			우천 7/29일 2차 변경사항
7/30~ 7/31	19층~20층 4단	**	52	221.62	4.26	
8/1~8/3	약천후					제 3차 책임
8/4~8/6	20층 4단~7단	***	80	272.57	3.4	8/4일 : 약천후로 인한 정리작업
8/7~8/8	옥상과라켓		44	280.46	6.3	
8/9~9/5	콘도라 이동~저층 부, 마무리		258	1726.87	6.69	

- ACT27완료공기 : 1999.6.23 ~ 1999.09.05

- 공기지연일수 : 15일

5.2. 손실작업일수 산정(ACT27)

ACT27은 발주자의 설계변경과 천재지변(약천후)의 영향으로 생산성 손실이 발생한 작업이다.

생산성 데이터베이스로부터 자료를 추출하여 공기지연일수를 산정한다.[표4]

7) 외벽 커튼월의 석재공사(anchor 간결 공법)

평균생산성 : m²/man · day * : 1차 변경사항의 영향 기간
 ** : 2차 변경사항의 영향 기간 *** : 악천후의 영향 기간

5.3. 작업지연일수(WD)의 원인 분석

1,2차의 변경사항과 천재지변에 따른 작업 생산성의 손실정도가 점차 증가됨을 알 수 있으며 이는 영향요인의 누적으로 인한 결과로 판단되고 비작업일을 제외한 계획작업일수를 산정하면 54일이다.

$$CDD = CBD - D_0 = \frac{Q_0}{L_u P_u} - D_0 \quad \text{----- (6)}$$

$$= \frac{6827.16}{17.8 \times 6.93} - 54 = 1.34 > 0$$

따라서, 시공자 잘못과 손실생산성 모두를 포함하는 경우이다.[그림 3], [식 6]

5.4. ■%와 ■%의 분석과 RLP, SRLP의 산정

영향요인이 공간과 시간이 상이하므로 단일영향을 미치는 것을 알 수 있다.[식25] 1차, 2차, 3차의 영향요인을 분석한 결과, 독립적 특성으로 RLP_{n-1}이 없어지는 경우(■ = 0%)인 것으로 판명되었다.[식 11, 식12] 따라서, IF₁~IF₃까지의 영향요인에 의한 SRLP_k를 구하면 다음과 같다.[식 27]

$$SRLP_1(IF_1, IF_2, IF_3) = \sum_{i=1}^3 RLP_1(IF_i) = RLP_1(IF_1) = 0.63$$

$$SRLP_2(IF_2, IF_3) = \sum_{i=2}^3 RLP_1(IF_i) = RLP_2(IF_2) = 2.67$$

$$SRLP_3(IF_3) = RLP_3(IF_3) = CLP_3 - \sum_{i=1}^2 RLP_i(IF_i) = 6.83 - (0.63 + 2.67) = 3.53$$

5.5. LPD의 할당

표 6. 손실작업일수 산정

구분	Q(IF _i)	P(IF _i)	L(IF _i)	D(IF _i)	LPQ(IF _i)	LPDi
영향받지 않은 기간	1725.75	6.93	17.8	14	.	.
1차영향 받은 기간	2880.35	6.31	28.5	16	31.92	1.43
2차영향 받은기간	221.62	4.26	26	2	15.6	1.83
3차영향 받은기간	272.57	3.4	26.7	3	31.24	4.67

LPQ[식 1]와 LPD[식 2]를 [표5]와 같이 산정할 수 있다. 각 손실생산성 요인별 귀책일수를 산정하면, 1,2차 변경사항은 발주자가 제공한 원인이므로 수용가능·보상가능 지연일수이고 악천후의 경우는 수용가능·보상불가능 일수이다.

공기연장 수용가능·보상가능 지연일수
 = 1.43일 + 1.83일 = 3.26일

공기연장 수용가능·보상불가능 지연일수
 = 3일 + 4.67일 = 7.67일

공기연장 수용불가능·보상불가능 지연일수
 = 75일 - (60일+7.67일+3.26일) = 4.07일

시공자 잘못으로 인한 4.07일에 해당되는 지연일수는 시공자가 계획공정표를 잘못 작성했거나 작업과정 중에

증빙할 수 있는 문서화가 되어 있지 않고, 빈번한 재작업, 수정작업, 관리소홀 등에 있었다고 판단되며 이는 공기연장 수용불가능 지연일수로 산정된다.

6.. 결론

다양한 업체들이 참여하고 수많은 변수가 존재하는 건설현장의 특성 때문에 계획된 작업들을 지연하지 않고 예정된 작업기간 내에 완료하는 것은 매우 어려운 일이다. 시공자는 공사초기에 예상했던 조건에서 작업을 한다면 정확히 공사기간 내에 완료할 수 있을 것이다. 그러나, 현실적으로 예상했던 조건들과 공사 진행과정 동안의 조건들은 변화하기 마련이다. 이러한 변수들은 생산성 변화에 영향을 미치게 된다.

외국은 생산성 계수에 대한 자료를 관련 협회별로 출간하여 클레임 문제 해결에 사용하고 있으나, 국내는 생산성 계수에 대한 자료가 전무한 상태이므로 해당 프로젝트의 작업에 기준하여 영향받은 기간과 영향받지 않은 기간의 비교를 통한 손실작업일수 산정방법을 제시하였다. 즉, 프로젝트의 관련자료들을 통하여 시작지연일수(VSD)를 파악하고 난 후, 완료지연일수(VFD)를 파악하기 위해서 생산성 변화요인을 색출하고 그 영향요인별 순수손실생산성과 통합·단일·복합 영향요인의 영향을 받은 작업의 지연일수의 합(SRLP)을 정량적으로 계산할 수 있다. 지연요인들이 생산성에 영향을 미치게 되고 이러한 손실 생산성을 지연일수로 환산하는 방법을 본고에서 제안하였다.

추후 연구로 충분한 자료를 축적한 데이터베이스를 바탕으로 프로젝트 공정상의 생산성 변화 자료들과 자체비율도와 영향비율도를 통계적으로 산정할 수 있는 데이터베이스의 구축과 활용에 관한 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

1. 김동진. “건설공사 공기지연일수 분석방법-동시발생 공기지연 분석을 중심으로-”서울대학교 대학원 석사학위논문, 1999
2. 박준기, 신 건설계약론, 대한건설협회, 2001. p354~p355.
3. 이재섭. “건설공사 지연일수로 인한 공기지연 클레임의 분석 방법”서울대학교 대학원 박사학위논문, 1998
4. 이재섭, “건설공사의 공기연장분석기준-CPM공정표에 의한 공기지연 분석을 중심으로”, 한국건설산업연구원, 1999.2
5. Bramble,B.B., and Callahan,M.T., Construction Delay Claims.2th Ed., John Wiley & Sons, 1992
6. Bramble,B.B., and D’Onfrio, M.F., and Stetson,IV, J.B., Avoiding & Resolving Construction Claims.R.S.Means Company, 1990
7. Bubshait, A.A. and Cunningham,M.J., “Comparison of Delay Analysis Methodologies.”J.Constr.Engrg. and Mgmt.,ASCE, 1998, 124(4),pp.315-322
8. Charles A. Leonard “the effects of change orders on productivity” Master of engineering(building), Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, 1988
9. David D. Reichard, PE, and Cheryl L.norwood “Analyzing the Cumulative Impact of Changes” 2001 AACE International Transactions

10. Knoke,J.R.,and Jentzen,G.H.,"Facilitate Delay Claim Analysis with As-Built Schedule Databases." Computing in Civil Engineering, ASCE, 1994, pp.2104-2111
11. Kraiem,Z.M.,and Diekmann,J.E."Concurrent Delays in Construction Projects" J.Constr.Engrg. and Mgmt.,ASCE, 1987, 113(4),pp.591-602
12. William Schwartzkopf, Calculating Lost Labor Productivity In Construction Claims, Wiley Law Publication, 1995
(接受 : 2002. 7. 4)