

# 생산성을 고려한 공기지연 분석방법

## Delay Analysis Method Considering Productivity

구 자 민\* 오 이 재 섭\*\*  
Koo, Ja-Min Lee, Jae-Seob

### 요 약

건설 산업 대부분의 프로젝트에서 공기지연의 발생은 매우 일반적이나 CPM, Bar Chart와 같은 지연분석 기법들로서는 분석하기 매우 어렵다. CPM과 Bar chart를 이용하는 분석기법들은 동시발생과 생산성 손실 지연을 분석하기에 불충분하기 때문이다. 생산성 손실 지연은 동시발생 지연 분석 및 지연 일수 산정에서 중단으로 인한 지연과 다르게 분석되어야 한다.

본 논문에서는 동시발생 공기지연 분석을 포함하여 생산성을 고려한 공기지연 분석방법에 대하여 논하였다.

키워드 : 동시발생 공기지연, 생산성, 공정관리, 클레임, 공기지연 분석

## 1. 서론

공기지연 클레임은 다른 유형의 클레임에 비해 발생 빈도가 급증하고 있으며(Adrian, 1993) 최근 국내 건설업계도 증가 양상을 보이고 있다. 건설 주체들이 불필요한 손해를 입지 않기 위해서는 상호 인정될 수 있는 방법으로 논리적이며, 객관적으로 분석되어야만 한다.

공기지연은 작업의 생산성을 저해하는 방식으로 나타날 수도 있으나, 현재 공기지연 분석 방법에서는 생산성 손실로 인한 공기지연을 일반적인 작업 중단 지연사건으로 간주하여 분석하고 있다. 이는 건설 주체 어느 한쪽에 책임을 과중시킬 수 있다는 문제점을 내포하고 있다.

따라서, 현행 공기지연 분석방법의 한계점이라 인식되어진 생산성 손실로 인한 지연일수 산출방법과 지연 발생 시점을 정확히 분석할 수 있는 동시발생 공기지연 분석방법을 제시하고자 한다.

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 공기지연 유형 분류

건설 공사에서 공기지연(delay)이란 예기치 못한 환경으로 인하여 전체 프로젝트의 일부분이 확장되거나 실행되지 않은 시간을 의미한다(Callahan, 1992). 공기지연은 발생 형태가 복잡하여 분석하기 매우 어려우며, 이를 분석하기 위해서는 공기지연의 유형 분류가 체계화 되어야 하고 효과적인 공기지연 분석방법을 사용해야만 한다.

#### ① 일반적인 유형분류

공기지연은 일반적으로 공기연장 권한의 유무에 따라 수

용 가능 및 수용 불가능 공기지연으로 나뉘며, 수용 가능 공기지연은 보상 가능성에 따라 보상 가능 및 불가능 공기지연으로 구분된다.

#### ② 발생시점별 유형분류

지연발생 시점에 따라서 독립적인 공기지연과 동시발생 공기지연으로 분류할 수 있다. 독립적인 공기지연이란 당 작업의 지연이 시점별 또는 원인별로 타 작업과 아무런 연관이 없는 것을 말하며, 동시발생 공기지연은 동일 시점에서 발생하는 동시적인 동시발생 공기지연과 선행 작업들의 지연 요인의 누적에 의해 발생하는 연속적인 동시발생 공기지연으로 구분할 수 있다.

### 2.2 공기지연 분석방법

공기지연 분석방법에는 Bar Chart를 이용한 방법과 CPM을 이용한 방법으로 구분할 수 있다.

Bar Chart를 이용하는 총영향 평가방법과 순영향 평가방법은 작업의 연관 관계를 알 수 없고, 생산성을 고려할 수 없으며 동시발생 공기지연을 분석할 수 없기 때문에 정밀한 공기지연 분석방법으로 사용될 수 없다.

CPM을 이용하는 계획공정표에 의한 방법, 완료 공정표에 의한 방법 및 시간경과에 따른 공기지연 분석방법은 동시발생 공기지연에 대해 분석할 수 있으나, 생산성 손실로 인한 지연일수를 분석할 수 없다.

### 2.3 생산성의 측정방법

생산성은 어떠한 생산체계(Production System)를 통해 일련의 생산품을 일정기간 동안 생산해 낼 때 투입된 자원(Input)의 양과 그로 인해 발생된 결과물 또는 산출물(Output)의 비로 표현할 수 있다.

생산성은 건설인력, 설계관리, 공사관리, 투입자원, 공사성격 등에 관련된 요인에 의해 저하 또는 손실될 수 있으

\* 학생회원, 동국대학교 대학원 건축공학과 석사과정

\*\* 일반회원, 동국대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

며, 아래의 표1과 같이 생산성 측정법은 무엇을, 어떻게 투입자원으로 또는 산출물로 정의할 것인가에 따라 여러 가지 측정방법이 있을 수 있다.

표1. 생산성 측정방법의 비교

측정법	투입자원	특징
부분 생산성 측정법 (Partial Productivity Measure)	비중이 높은 자원	• 계산하기 쉽다. • 다른 투입자원의 영향을 알기 어렵다.
부가가치 생산성 측정법 (Value-Added Measure)	생산을 위해 구매된 자재, 노동력 등의 부가가치	• 생산과정이 긴 생산 체계에 알맞다. • 실질적인 생산능력을 평가가 어렵다.
조합 생산성 측정법 (Aggregation Measure)	생산활동의 주요 기능요소별로 중요도에 따라 가중치를 적용	• 서비스직종 또는 연구직종을 대상으로 할 때 적합하다.
종합 생산성 측정법 (Total Productivity Measure)	모든 투입자원	• 자료의 수집 및 처리에 어려움이 따른다. • 서비스업 보다는 제조업의 생산성 측정에 적합하다.

본 논문에서는 가장 정확하며 제조업의 생산성 측정에 적합한 종합생산성 측정법을 사용하여 생산성을 측정한다.

### 3. 공기지연 분석방법의 문제점 및 개선방향

공기지연 분석방의 문제점은 대부분 작업 생산성을 고려하지 못하는데 그 근본 이유가 있었으며 파생된 문제점들을 표2 에서 분석하였다.

표2. 공기지연 문제점 분석

문제점	개선 방향
공기지연 유형분류	생산성 손실로 인한 공기지연을 포함한 발생형태별 공기지연 유형 분류
지연 시점의 배치	공기지연 사건이 발생한 정확한 시점에서 지연 분석
동시발생 지연일수 산정	생산성 손실로 인한 공기지연 사건은 동시 발생하는 구간 안에서만 지연일수 산정

공기지연은 일반적으로 작업 중단에 의한 지연으로 나타나지만, 노무생산성의 손실로 인한 지연을 포함한다. 본 논문에서는 그림1과 같이 생산성을 고려하여 발생 형태별로 공기지연을 분류하였다.

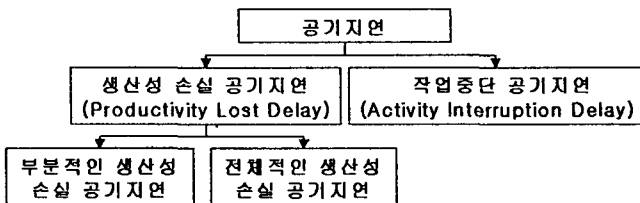


그림1. 발생형태별 공기지연 유형분류

현행 공기지연 분석방법에서는 생산성 손실로 인한 지연을 중단에 의한 지연으로 가정한 후 공기지연 분석하여 시공자 또는 발주자 어느 한쪽에 책임을 과중 시킬 수 있다는

문제점이 있으나 이는 생산성을 나타낼 수 있는 그래프 (Linear Schedule)를 사용하여 계획 대비 실행 공정률로써 일정 기간 동안의 지연 일수를 파악 할 수 있다.

### 4. 생산성을 고려한 공기지연 분석방법

#### 4.1 생산성 손실 지연일수 산정

Linear Schedule 상에서 A작업이 작업일수에 비례하여 전체적으로 생산성이 손실되었다고 가정했을 때, 그림 2에서 보듯이 A작업의 6일 시점 까지 지연일수는 CPM상에서의 지연일수와 생산성을 고려한 Linear Schedule 공정표 상에서의 지연일수가 차이가 나는 것을 알 수 있다. A작업의 실제 지연일수는 동일한 작업 진척률을 갖는 계획 공정과 실행공정의 작업일수 차이로 나타낼 수 있다.

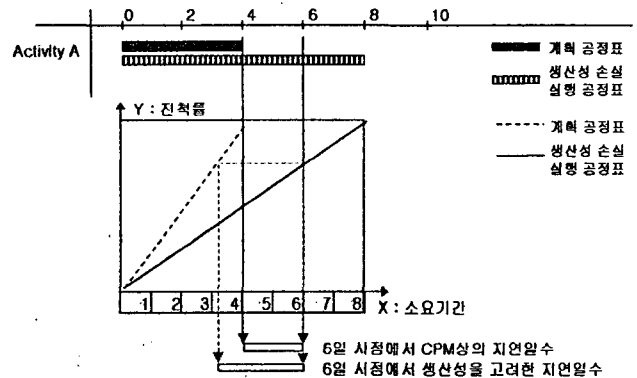


그림2. 지연일수 산정방법의 비교

이를 수식으로 풀기위한 절차는 아래와 같다.

① A작업의 계획 생산성을 갖는 공정의 함수를 구한다.  

$$Y_P = aX_P + b$$
 -----식 (1)  
 (a = 계획생산성 기울기, b = 계획 작업진척률 0일때의 일수)

② A작업의 실행 생산성을 갖는 공정의 함수를 구한다.  

$$Y_B = a'X_B + b'$$
 -----식 (2)  
 (a' = 구하고자 하는 일자의 실행생산성 기울기, b' = 실행 작업진척률 0일때의 일수)

생산성이 변화 되었을 때에는 구하고자 하는 일자의 공정 함수를 원점으로 평행 이동하여 공정 함수를 산출한다.

③ 구하고자 하는 지연일자( $X_B$ )에 대한 A작업의 실행 작업진척률( $Y_B$ )을 구한다.

④ 실행 작업진척률( $Y_B$ )과 동일한 값인 계획 작업진척률( $Y_P$ )을 식 (1)에 대입하여 계획 작업 일자( $X_P$ ) 구한다.

⑤  $X_B$  와  $X_P$ 의 차이  $\Delta X$ 가 A작업의 지연일수이다.

$$\Delta X = X_B - X_P$$
 -----식 (3)

#### 4.2 생산성 손실 동시발생 공기지연 일수산정

공기지연이 독립적으로 발생할 때에는 굳이 본 논문에서 제시한 방법으로 지연일수를 산정할 필요는 없다. 그러나

생산성 손실로 인한 공기지연과 함께 동시발생 될 경우는 일정기간에 대한 누적지연일수를 산정하여야 하므로 본 논문에서 제시된 방법으로 지연일수를 산정하여야만 하며, 동시발생 값을 비교하여 결과를 도출한다.

## 5. 사례 연구

### 5.1 대상사례

본 논문에서는 1987년 Kraiem 과 Diekmann의 연구에서 사용되고, 1999년 김동진의 연구에서 사용된 사례를 대상으로 연구를 진행 하였다.

대상 사례의 지연에 대한 일반적인 유형과 지연 시점, 지연 기간 등 기본적인 사항들은 변경하지 않고 그대로 적용하였으나, 일부 지연에 대해서는 지연 유형을 생산성 손실로 인한 지연으로 가정하였다. 이는 생산성 손실로 인한 지연이 동시발생되는 상황을 만들기 위해 필요하기 때문이다. 대상 사례는 아래 Arrow Diagram으로 표현된 그림 3과 같다.

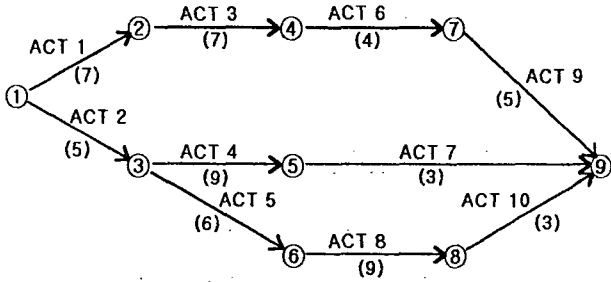


그림3. 대상 사례

### 5.2 기본일정표의 작성

#### (1) 계획 공정표의 작성

그림 3의 대상 사례에 대해 공기지연 분석하기 위하여 계획공정표를 작성하였으며, 계획 공정표에 의하면 총 공기는 23일이며, Critical Path는 1)Activity1/3/6/9, 2)Activity2/5/8/10 두개로 나뉘어 졌다.

#### (2) 완료 공정표의 작성

그림 4와 같이 프로젝트는 18일 지연되어 전체공기 41일 만에 완성되었다. 일부 지연들이 생산성 손실로 인한 지연으로 변경되었으며, 나머지 지연사건들은 보상 가능한 지연, 수용 가능한 지연(보상 불가능 지연)으로 분석되었다.

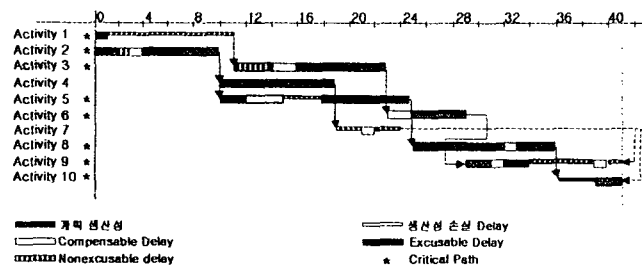


그림4. As-Built Schedule

## 5.3 분석모형의 적용

### 5.3.1 공기지연일수 산정

생산성 손실로 인한 지연일수를 먼저 산정한 후 동시발생 지연을 제외한 타 지연유형들에 대한 지연일수를 산정한다.

완료 공정표상에서 동시발생 공기지연은 총 6개로 아래 그림 5와 같이 나타났으며, 분석결과는 표3과 같다.

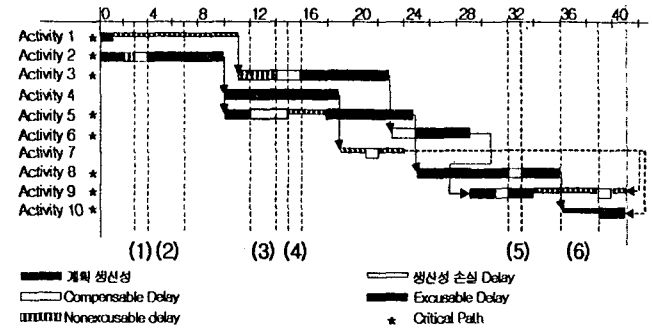


그림5. 동시발생 공기지연

(1) 보상 가능한 공기지연과 수용 불가능한 공기지연의 동시발생(Concurrent Compensable and Nonexcusable Delay : 이하 CCN)

완료 공정표상에서 CCN은 (1), (3), (4) 총 3차례 발생하였다. (3)은 중단에 의한 지연이 동시발생 되어 단순 동시발생 지연일수를 비교하고, (1)과 (4)는생산성 손실로 인한 지연과 함께 동시발생 되어 제시된 방법을 사용하여 생산성 손실로 인한 지연 일수를 산정한다. 각 작업의 산정된 지연일수를 비교하여 동시발생 지연 일수를 산출한다.

(2) 수용 가능한 공기지연(보상 불가능)과 함께 동시발생(Concurrent With Excusable delay : 이하 CWE)

완료 공정표상에서 CWE는 (2), (5), (6) 총 3차례 발생하였다. (5)는 중단에 의한 지연이 동시발생 되어 단순 동시발생 지연일수를 비교하고, (2)와 (6)은 생산성 손실로 인한 지연과 함께 동시발생 되어 제시된 방법을 사용하여 생산성 손실로 인한 지연 일수를 산정한다. 각 작업의 산정된 지연일수를 비교하여 동시발생 지연 일수를 산출한다.

표3. 동시발생 공기지연 분석결과

동시발생 공기지연	지연구분	지연 구간	지연 작업	동시발생 지연일수(단위:일)
(1)	CCN	4 - 7	1, 2	0.9
(2)	CWE	3 - 4	1, 2	0.3
(3)	CCN	32 - 33	8, 9	1
(4)	CCN	36 - 39	9, 10	1.5
(5)	CWE	12 - 14	3, 5	2
(6)	CWE	15 - 16	3, 5	0.3

#### (3) 공기지연 유형별 지연일수의 산정

완료 공정표상에서 동시발생을 제외한 각 지연유형의 지

연일수를 공개하여 수정 공정표를 작성한다. 완료 공정표상의 프로젝트 완료일과 비교하여 각 지연 유형에 해당하는 지연 일수를 산출한다. 결과는 표4와 같다.

표4. 공기지연 유형별 지연일수 산정

지연 유형	지연 일수(단위:일)
수용 불가능 공기지연	3.7
보상 가능 공기지연	1
보상가능 지연과 수용 불가능 지연을 포함한 동시발생 공기지연	2.6
수용가능 지연을 포함하는 동시발생 공기지연	3.4

### 5.4 공기지연 분석결과 검토

대상 사례에 대한 공기지연 분석 수행 후 산출된 지연일수에 대한 타당성을 검증하기 위하여 Kraiem과 Diekmann의 분석결과와 김동진의 분석결과를 표5에서 비교하였다.

표5. 지연일수 분석결과 비교

유형	지연 기간(단위:일)		
	본연구의 분석결과	Kraiem과 Diekmann의 분석 결과	김동진의 분석결과
총 지연일수	18	18	18
공기연장만이 가능한 지연일수	17.6	15	12.33
공기연장 및 비용보상이 가능한 지연일수	1	2	2.56
지체보상금을 지불하여야 하는 지연일수	3.7	1	3.11

본 연구의 결과와 다른 연구의 결과가 차이가 나는 근본적인 이유는 생산성의 손실로 인한 지연의 고려유무에 있으며, 그 외 연속적인 동시발생의 고려 및 공기지연 분석방법의 차이에서도 그 이유를 찾을 수 있다.

### 6. 결론

지연사건은 사건이 발생한 시점에서 분석됨이 보다 정확

한 공기지연 분석의 방법이라 할 수 있으나, 현행 공기지연 분석방법에서는 생산성 손실로 인한 공기지연에 대해 지연 시점 및 일정구간 지연일수를 산정할 수 없었다.

(1) 본 논문에서는 지연사건을 작업중단 공기지연 및 생산성 손실 공기지연으로 구분하였다.

(2) 각 작업의 생산성을 고려하여 지연사건을 발생한 시점에서 분석할 수 있게 Linear Schedule을 이용한 지연일수 산출 방법 및 동시발생 공기지연 분석방법을 제안하였다.

(3) 사례연구를 통하여 본 논문에서 제시한 공기지연 분석방법의 타당성을 확인 할 수 있었다.

본 논문에서 제시된 방법은 공기지연 클레임 발생시 특히, 동시발생 공기지연에 대한 객관적인 결론을 도출하여 클레임을 해결하기 위한 합리적인 수단이 될 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. 권정민, 계층적 계획프로세스를 이용한 공기지연 분석방법, 대한건축학회논문집, 2003
2. 김동진, 건설공사 공기지연일수 분석방법, 대한건축학회 논문집, 1999
3. 박경수, 경제성 공학, 연민사, 1989
4. 손창백, 건축공사의 생산성 저하요인 분석, 대한건축학회 논문집, 2002
5. 한국건설산업연구원, 건설관리 및 경영, 보성각, 1997
6. Adrian J.J., Construction Claims - AQuantitative Approach, Reston Book, Prentice-Hall, 1993
7. Barry B. Bramble and Micheal T. Callahan. Construction Delay Claims, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc, 1992
8. David J. Harmelink, Linear Scheduling Model : Float Characteristics, J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE 2001
9. Callahan, M. T., Quackenbush, D. G., and Rowings, J. E. Construction Project Scheduling. Mcgraw-Hill, 1992
10. Gregerman. Ira B., Productivity Improvement : A Guide for Small Business, Van Nostrand Reinhold Company, 1984
11. Kraiem, Z. M., and Diekmann, J. E. Concurrent Delays in Construction Projects, J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 1987

### Abstract

Construction delays are a common occurrence of most construction projects and difficult to analyze. there are some techniques to analyze delays, such as using CPM, Bar Chart. but they are not enough to analyze concurrent and productivity lost delays. Productivity lost delays are different to interruption delays in computing the number of delays and analyzing concurrent delay.

This paper describes the delay analysis method considering productivity including concurrent delay analysis.

Keywords : Concurrent Delay, Productivity, Time Management, Claims, Delay Analysis Technique