KJCEM 20. 6. 098~106
November 30, 2019
www.kicem.or.kr (pISSN 2005-6095 / eISSN 2465-9703)
http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2019.20.6.098

국내 건설공사에서 공기지연 분석방법 적용 사례 분석

김선규* · 권순욱[1]
[1]성균관대학교 건축공학과

Case Analysis on Application of Project Delay Analysis Method in Domestic Construction Project

Kim, Seon-Gyoo*, Kwon, Soonwook[1]
[1]Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University

Abstract : Recently, the number of project delay-related claims and disputes in Korean construction projects has been increasing rapidly. This suggests that the domestic construction contract practice, which has traditionally been superior to the client, is changing into a mutually balanced relationship among the contracting parties. The project delay analysis selects the application method according to the type of schedule approved at the start of the construction and how the schedule management was performed during the construction. The most important prerequisite for project delay analysis is that a complete CPM schedule agreed at the beginning of the construction is prepared and the actual progress of such schedule is well documented. This study is about applying the project delay analysis methodology of a case where a contractor claims damages to a client while constructing a large new private building construction project. In this study, it is determined whether the application of the as-planned analysis method is appropriate to the incomplete CPM schedule and then proposes the as-planned vs. as-built analysis method based on the new standard as an alternative. Next, apply the as-planned vs. as-built analysis method to the schedule in the case project, and then compare it with the result of the as-planned analysis method. The purpose of this study is to suggest a project delay analysis method suitable for the domestic schedule management practices, so that it can be used as a meaningful reference in project delay disputes and litigations of domestic construction projects.

Keywords : Project Delay, CPM Schedule, As-Planned Analysis Method, As-Planned vs. As-Built Analysis Method

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내 건설공사에서 공기관련 클레임(Claim)과 분쟁(Dispute)은 발생건수와 규모면에서 급격한 증가세를 보이고 있다. 이러한 현상은 전통적으로 발주자 우위의 국내 건설 계약관행이 계약당사자간 상호적이며 균형적인 관계로 변화하고 있음을 시사하는 것이다.

건설공사에서 계약공기는 투자자관점에서 건설사업의 수익성에 직접적으로 영향을 끼친다(Majid & MaCaffer, 1998). 그리고 건설공사의 계약조항은 발주자에게 시공사가 계약공기를 준수하지 못했을 경우 손실을 보상을 받을 수 있도록 하지만, 시공사에게도 자신이 통제할 수 없는 범위에서 발생한 손실에 대해 보상을 받을 수 있도록 명시하고 있다. 따라서 발주자와 시공사는 계약적 보상을 증명하기 위해 다양한 공기지연 분석방법을 활용해야 한다(Lovejoy, 2004).

건설공사 착공시 승인된 공정표의 종류, 공사진행 과정에서 공정표 실적관리를 어떻게 했는지에 따라 적합한 공기지연 분석방법을 선정하고 적용하게 된다. 공기지연 분석에서 가장 중요한 전제조건은 공사초기에 합의된 완전한 CPM공정표가 준비되어 있고, 그러한 공정표의 실적관리가 제대로 기록되어 있는 것이다. 여기서 완전한 CPM공정표란 네트워크(Network)상에 빠지거나 생략된 작업(Activity)이 없고, 네트워크상 모든 작업들은 논리적으로 연결되어 있는 공정표이다. 또한 CPM공정표에 작업의 실제착수일과 실제완료

* Corresponding author: Kim, Seon-Gyoo, Department of Architectural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwondo 24341, Korea
E-mail: sg1208@kangwon.ac.kr
Received September 25, 2019: revised -
accepted October 25, 2019

일을 표시하는 것과 함께, 작업일보에도 작업별 실적이 정확히 기록되어 있어야 한다.

본 연구는 국내 민간 발주자인 A사의 대형신축건물[1]을 공사하는 과정에서 시공자인 B사가 손해를 보았다며 발주자 A사를 상대로 손해배상을 청구한 사건에 관한 것이다. 시공사 B사는 손해배상 청구에 앞서 공정관리전문기관 C사를 통해 공기지연분석 보고서를 작성하도록 하였다. C사는 공기지연분석방법으로 계획공정 분석법을 적용하였다. 그러나 공기지연분석 대상 CPM공정표에는 다수의 시작과 종료 작업들(Open end), 후속공정과의 강제적 연결관계(Constraints), 선 · 후행 연결관계의 가변성 등이 존재하여 완전한 공정표가 아니었다. 이에 더해 C사는 정상적인 계획공정 분석법을 적용하지 않고 잘못된 기준의 계획공정 분석법을 적용하였다. 그 결과 발주자 A사는 C사의 공기지연분석결과에 문제가 많다며 받아들이지 않았다.

본 연구에서는 불완전한 CPM공정표에 계획공정 분석법 적용이 적절한 지 판단하고, 이에 대한 대안으로 새로운 기준의 계획공정 대비 완료공정법을 제안한다. 그리고 사례 프로젝트에 계획공정 대비 완료공정법을 적용한 다음, 그 결과를 C사의 계획공정 분석법 결과와 비교분석한다. 본 연구의 목적은 국내 건설공사의 공정관리 현실에 적합한 공기지연 분석방법을 제시함으로써, 향후 국내 건설공사의 공기지연관련 분쟁과 소송에서 의미 있는 참고자료로 활용될 수 있도록 하는 것이다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 다음과 같은 방법과 순서로 진행하였다.

첫째, 공정관리 실무에서 활용되는 주요 공기지연 분석방법론에 대해 이론적으로 고찰한다.

둘째, 계획공정 분석법의 올바른 적용 기준을 살펴보고, 사례 프로젝트에 적용된 계획공정 분석법의 적합성을 검토한다.

셋째, 계획공정 분석법의 대안으로 계획공정 대비 완료공정 분석법의 적용 가능성을 확인하고, 계획공정 대비 완료공정 분석법의 적용기준을 수립한다.

넷째, 본 연구에서 제시한 계획공정 대비 완료공정 분석법의 적용기준을 공기지연 분석항목에 적용한다.

다섯째, 계획공정 분석법과 계획공정 대비 완료공정 분석법 적용 결과를 비교분석한다.

본 연구의 범위는 사례 건설공사에서 시공사가 제기한 공기지연 사유중 두 항목만을 공기지연 분석 및 결과 비교대상으로 제한한다.

1) A사의 건물은 K빌딩, B센터, F시설로 이루어진 복합건축물임

2. 공기지연 분석방법 이론적 고찰

현재 건설공사 실무에서 활용되고 있는 주요 공기지연 분석방법들에 대한 학술자료들을 살펴보면, 연구자에 따라 표현상 약간의 차이는 있으나, 대체적으로 다음과 같은 공기지연 분석기법들로 대분류할 수 있다.

첫 번째는 계획공정 분석법(Impacted As-Planned Analysis)이다. 계획공정 분석법은 계약당사자간 합의된 계획공정표(As-Planned Schedule)를 토대로 지연을 측정하는 방법이다. 발생된 지연요소를 순차적으로 계획공정표에 추가하는 방식으로 재계산된 '예상 완료일자'가 '계약 완료일자'보다 지연된 경우에만 지연일수로 산정된다. 공사의 지연이 발생중이거나 공사완료 후에 분석이 가능한 기법이며, 최초에 계획하였거나 의도한 작업으로만 분석하기 때문에 실제 작업수행에 의한 영향은 반영되지 않는다. CPM기법을 사용하는 가장 간단한 공기지연 분석방법으로, 완료공정표가 확실치 않을 경우에 적용하기 좋다(SCL, 2002). 바차트 공정표와 CPM공정표 둘 다 사용가능하며, 계획공정표만을 이용하여 명쾌한 분석이 가능한 장점이 있다. 반면 공사가 진행되는 동안 공사 내용의 변경 가능성이 존재하기 때문에, 실적공정이 계획공정과 상당 부분 다르게 진행되었을 경우, 실제 공사의 내용을 반영하지 못한다는 단점이 있다(Zafa QZ., 1996).

두 번째는 계획공정 대비 완료공정 분석법(As-Planned vs. As-Built Analysis)이다. 계획공정 대비 완료공정 분석법은 계획공정과 실적공정을 비교 분석하는 방법이다. 이 방법에 의하면 공기연장일수는 개별적인 지연사건의 합이 아니라, 계획완료일과 실제완료일의 차이이다. 단순히 실적공정 정보만 존재한다면 책임 일수 산정이 매우 간단하므로 구체적인 분석방법이 개발되기 전에 많이 활용되었다. 즉 완료공정표와 계획공정표를 비교하는 방법으로, 지연요소의 영향을 중복 산정하는 것을 배제하는 장점이 있다. 반면 계획공정이 부정확할 경우 완료공정과 비교의 의미가 약해지기 때문에 분석 결과의 신뢰성이 떨어지며, 각각의 개별 지연요소가 전체공사에 직접적인 영향을 주었는지 검토할 수 없다(Gothand KD., 2003).

세 번째는 지연제거 분석법(As-Built But for Analysis)이다. 지연제거 분석법은 실적공정을 지연분석의 기본으로 설정하고, 발주자 및 시공자의 지연사유를 제거한 후 각각의 책임일수를 산정하는 방식이다. 실제 공정을 중심으로 지연 영향력을 분석하기 때문에 실제 발생한 지연 영향력을 사실적으로 분석할 수 있으며, 분석 방법의 절차도 비교적 간단하다. 실적공정표에서 지연사유를 제거했을 때, 줄어드는 일수를 공기연장일로 산정한다. 실적공정은 프로젝트의

Table 1. Comparison of Project Delay Analysis Methods

No	Delay Analysis Method	Advantages	Disadvantages
1	Impacted As-Planned	- Easy to understand - No completion schedule - Available after construction or completion	- Does not take into account changes in logic or duration of planned activities. - Concurrent delay analysis of the succeeding activity due to the delay of the preceeding activity is impossble. - The more contents changed during the construction, the more it is impossible to reflect the actual construction.
2	As-Planned vs As-Built	- Easy to understand - Quick results can be derived - Available after construction or completion	- Inaccurate as-planned schedules weaken the comparison. - Concurrent delay analysis is not possible. - It is impossible to determine whether each delay factor affected the whole construction.
3	As-Built But for Analysis	- Analyze only as-built schedule. - Simple analysis results can be derived depending on the situation. - Based on simple and easy to understand principles. - It is possible to Identify the intention and the responsible party for each delay.	- Concurrent delay analysis is not possible. - It is impossible to identify significant delays. - Subjective assumptions are required.
4	Time Impact Analysis	- It is possible to perform simultaneously during constructions. - CPM change can be checked in real time. - It is possible to identify the intention and the responsible party for each delay. - An approximation of concurrent delays can be identified. - Detailed analysis by section is possible.	- In the analysis, subjective assumptions are needed according to the section selection. - It takes a long time and a lot of money. - The data recorded during the construction will affect the results of the delay analysis.

실제 발생 지연과 일치하기 때문에 유용한 방법론으로 판단되고 있다. 완료공정이 없거나 지속적인 갱신이 미비한 경우 매월 작업일보와 같은 기록으로부터 갱신된 일정을 사용할 수 있다. 다만 실적공정의 모든 작업들이 여유시간이 없는 작업이므로, 실적공정의 일부를 제거하고 일정을 재계산해야 하는 이론적 모순이 발생하는 단점이 있다(Zack Jr J., 2001).

네 번째는 시간영향 분석법 (Time Impact Analysis)이다. 이 방법은 지연사건의 영향력과 그 책임일수를 분석함에 있어 가장 효과적인 분석방법으로 평가받고 있다. 공정표상 여러 분석시점을 설정하여 단계별로 계획공정에 실적공정을 반영하여 분석하는 방법이다. 지연사유와 실적공정의 순차별 갱신을 통해 지연에 대한 영향력을 분석한다. 먼저 각각의 지연사건이 발생하기 바로 전까지 갱신된 공정표를 작성하고, 지연사건에 의한 영향 정도를 산정한 후 각각의 영향은 작업들로 공정표에 입력되어 일정을 재계산한다. 이때 준공일의 변경이 있는 경우, 이를 지연일수로 산정한다. 다른 분석기법에 비하여 비교적 절차가 복잡하고 요구되는 기초자료가 많다는 단점이 있다. 또한 지연분석구간을 설정하는 뚜렷한 기준이 없어, 분석자의 주관에 따른 신뢰성의 문제가 발생할 수 있다(Baram GE. 1994).

이상과 같은 공기지연 분석방법들의 장 · 단점을 정리하면 〈Table 1〉과 같다.

3. 계획공정 분석법 적용 사례

3.1 사례 개요

본 연구의 사례는 A사의 건물[2)]신축과정에서 시공자 B사가 손해를 보았다며 발주자 A사를 상대로 손해배상 청구한 사건이다. 시공사 B사는 손해배상 청구에 앞서 공정관리전문기관 C사를 통해 공기지연분석 보고서를 작성하였다.

이 사건에서 시공사는 계약서에 따라 공사초기에 CPM공정표를 작성한 다음 발주자의 승인을 받았고, 공사중 2차례에 걸쳐 CPM공정표를 수정하였다. 그리고 C사는 공기지연 분석방법으로 계획공정 분석법을 채택하였는데, 그 이유로 공기지연 요소를 입력하여 주공정선(Critical Path)의 변화를 파악하는 것이 가장 용이하기 때문이라고 했다. 다만 C사의 보고서에 계획공정 분석법을 적용하더라도, 불완전한 CPM공정표[3)]로 인해 한계점이 있음을 전제조건으로 밝히고 있다.

3.2 계획공정 분석법 적용기준

계획공정 분석법에는 두 종류의 접근방법이 있다. 첫 번째는 계획공정표(As-Planned Schedule)에서 지연이 발생

2) A사의 건물은 K빌딩, B센터, F시설로 이루어진 복합건축물임
3) CPM공정표가 불완전한 원인은 Open end의 존재, 후속공정과 강제적 연결관계(Constraints, 강제지정일), 건축 위주의 공정표 작성, 실제 공사종료일과 관리기준 공정표 공사종료일의 불일치, 신규 Activity 선 · 후행 연결관계의 가변성이 존재하기 때문임

된 작업의 계획공기(Original Duration)에 실제공기(Actual Duration)를 대입시켜 공기지연 효과를 분석하는 방법이고, 두 번째는 계획공정표에 지연을 초래했던 요인들을 신규 작업(New Activity)들로 생성해서 추가한 다음 공기지연 효과를 분석하는 방법이다. 단 계획공정 분석법에서 계획일정과 논리를 수정이나 변형시켜서는 안 된다. 계획공정 분석법을 올바르게 적용하는 과정을 설명하면 다음과 같다.

〈Fig. 1〉은 작업 A, B, C, D가 FS0[4]로 연결된 예이다. 각 작업의 공기가 10일이라고 가정하면, 공정선(Path) A-B-C-D의 계획공기의 합(Schedule Period, SP)은 40일이다.

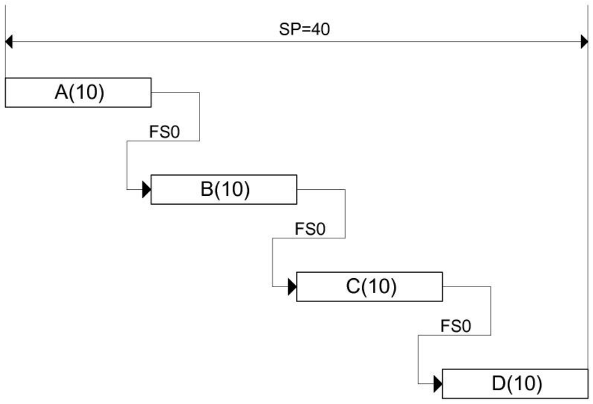

Fig. 1. Sample Path A-B-C-D

3.2.1 영향 받은 작업의 계획공기 변경

계획공정 분석법을 적용하는 첫 번째 방법은 영향 받은 작업의 계획공기를 실제공기로 변경시키는 것이다. 즉 계획일정과 논리는 그대로 유지하면서 영향 받은 작업의 공기를 변경시켜 공정선의 변화를 분석한다. 예를 들어 〈Fig. 1〉에서 작업 C가 영향을 받아 계획공기 10일에서 실제공기 13일로 변경되었다면, 〈Fig. 2〉와 같이 작업 C의 공기를 10일에서 13일로 대입시킨다. 이렇게 되면 공정선 A-B-C-D 공기의 합은 43일로 늘어나게 되므로, 공기는 3일 지연된다.

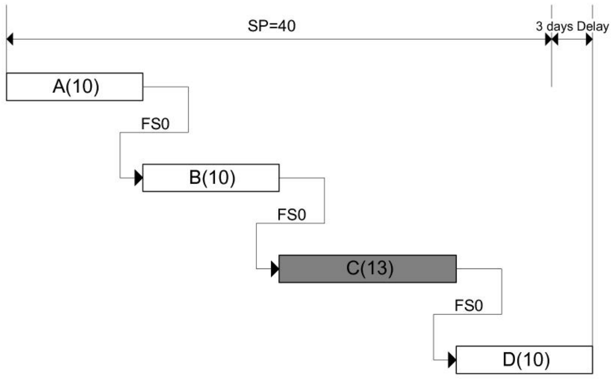

Fig. 2. Correct Application(1) of Impacted As-Planned

3.2.2 영향 요인을 새로운 작업으로 추가

계획공정 분석법을 적용하는 두 번째 방법은 영향을 미친 요인을 새로운 작업으로 생성해서, 영향을 받은 작업의 선행에 추가시키는 것이다.

즉 계획일정과 논리는 그대로 유지하면서 영향을 미친 요인을 신규 작업으로 추가시켜 공정선의 변화를 분석한다. 예를 들어 〈Fig. 3〉에서 작업 C에 영향을 미친 요인이 있다면 이것을 새로운 작업 X(공기 3일)로 만들어, 영향을 받은 작업 C의 선행에 위치시킨다. 이렇게 되면 공정선 A-B-X-C-D 공기의 합은 43일로 늘어나게 되므로, 공기는 3일 지연된다.

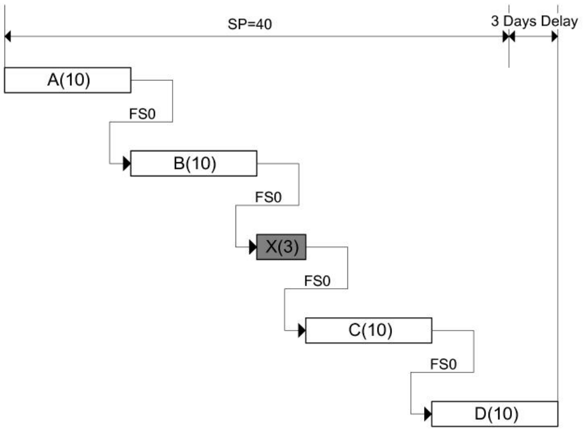

Fig. 3. Correct Application(2) of Impacted As-Planned

3.3 사례에 적용된 기준 및 결과

3.3.1 계획공정 분석법의 잘못된 적용 기준

그러나 C사의 보고서에는 계획공정 분석법을 적용하면서 공기지연요소를 새로운 작업으로 생성하고, 그 결과에 영향을 받은 작업을 분석하는 방식으로 진행하였다. 또한 후행 작업의 시작일자는 작업일보에서 확인한 해당 작업의 실제 시작일로 하였다. 이는 후속작업들의 계획일정을 실제일정으로 변경시켰다는 의미로서, 계획공정 분석법에서 계획일정과 논리를 수정이나 변형시키지 않아야 한다는 기본 원칙을 위배한 것이다.

이에 더해 보고서에서는 후행 작업의 시작일자를 실제 시작일로 변경하기 위해, 새롭게 추가시킨 작업의 시작일을 강제지정일(Constraints)로 설정하였다. 이렇게 시작일을 강제지정일로 못 박은 것을 도식적으로 표현하면 〈Fig. 4〉와 같다.

〈Fig. 4〉에서 작업 C에 영향을 미친 요인을 새로운 작업

4) FS0는 Finish-to-Start의 연결관계를 나타내고, 0은 연결관계의 lead-time(또는 lag-time)을 표시함

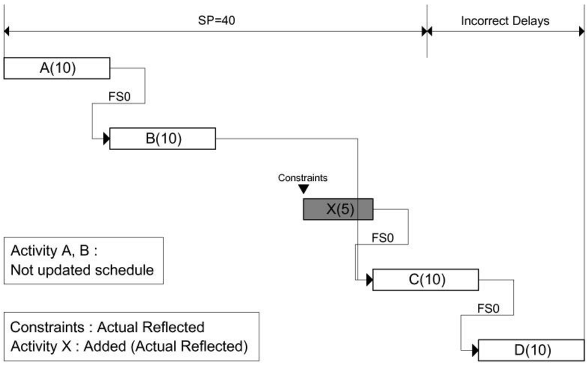

Fig. 4. Incorrect Application of Impacted As-Planned

X(공기 5일)로 만들어 추가시키고, 작업 X와 작업 C를 연결하고, 작업 C의 시작일을 실제 시작일에 맞추기 위해 작업 X의 시작일을 강제로 지정한 것이다. 이렇게 되면 작업 A, B는 계획일정을 그대로 유지하지만, 작업 C, D는 계획일정이 아닌 실적일정이 된다. 이는 계획공정 분석법에서 계획일정과 논리를 수정 또는 변형시키지 않아야 한다는 기본원칙을 위배한 것이다.

또한 〈Fig. 4〉와 같이 동일한 공정선에서 일부 작업은 계획일정을 그대로 유지하고, 추가되는 작업과 연결되는 작업들만 실적일정을 반영한다면, 공정선 내의 작업들간 비교 기준이 달라지는 모순이 발생한다. 만약 추가되는 작업에 실적일정을 반영하고자 한다면, 그 이전의 계획공정도 실적을 반영해야만 공정선상의 모든 작업들간 비교기준이 동일해 지는 것이다. 그런데 추가되는 작업 이전은 계획대로 유지하고, 추가되는 작업과 영향 받은 작업만 실적을 반영한다면, 추가된 작업 이후의 공기는 한없이 지연될 수밖에 없으므로, C사 보고서에 적용한 계획공정 분석법은 잘못된 것이다.

3.3.2 계획공정 분석법의 잘못된 기준 적용 결과

본 연구에서는 C사가 계획공정 분석법의 잘못된 기준을 적용한 사례로서 전체 공기지연 분석항목중 '[항목1] F시설 설계도서 오류로 인한 공기지연'과 '[항목2] B빌딩 오수배관 보간섭으로 인한 공기지연'을 선정하였다. 〈Fig. 5〉과 〈Fig. 6〉은 각각 [항목1]과 [항목2]가 포함된 공정표[5]의 일부를 보여주고 있다.

〈Fig. 5〉에서 [항목1]의 공기지연 분석을 위해 'F시설 설계변경 승인'이라는 마일스톤 작업을 추가하고, 강제지정일을 '2012-10-30'로 지정하였다.(Fig. 5 화살표 참조) 그리고 후속 Activity인 'F시설 1F 철골세우기'와 FS0로 연결한 다음 일정계산을 실시한 결과, 전체여유(TF)는 '−90'으로 변경되었다.(Fig. 5 원 표시 내부 참조)

〈Fig. 6〉에서 [항목2]의 공기지연 분석을 위해 'B빌딩 화장실 오수배관관련 보간섭 검토 요청'이라는 마일스톤 작업을 추가하며, 강제지정일을 '2011-12-15'로 지정하였다〈Fig. 6 화살표 참조〉. 그리고 후속 Activity인 'B빌딩 1F 철골세우기'와 FS0로 연결한 다음 일정계산을 실시한 결과, 전체여유(TF)는 '−55'로 변경되었다〈Fig. 6 원 표시 내부 참조〉.

4. 계획공정 대비 완료공정 분석법 적용

앞서 기술한 바와 같이, C사는 보고서에서 공기지연 분석방법중 계획공정 분석법을 채택하며 한계점이 있다고 전제하였다. 따라서 본 연구에서는 계획공정 분석법이 아닌 다른 공기지연 분석방법들을 대안으로 검토하였다. 그 결과 시공사가 승인받은 CPM공정표에 매월 실적을 입력한 기록을 확인하였고, 이러한 실적입력기록은 공기지연 분석방법중 계획공정 대비 완료공정 분석법(As-Planned vs. As-Built)을 적용할 수 있는 근거로 판단하였다.

계획공정 대비 완료공정 분석법에 대해, Zafa (1996)와 Fruchtman (2000)은 공기지연 영향을 평가하기 위해 계획공정(As-Planned)과 완료공정(As-Built)으로부터 피고와 원고의 지연일수를 인지하고 계량화할 수 있으며,

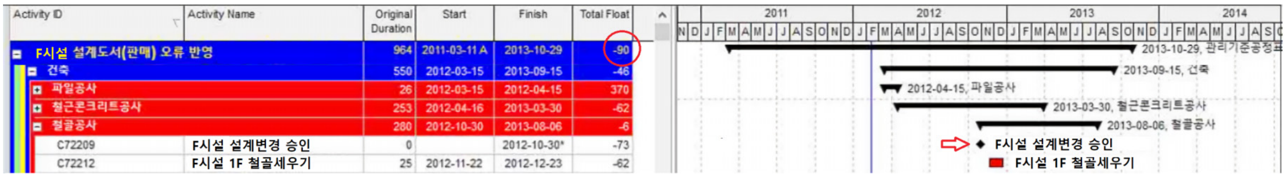

Fig. 5. Incorrect Application Result of Impacted As-Planned at [Item 1]

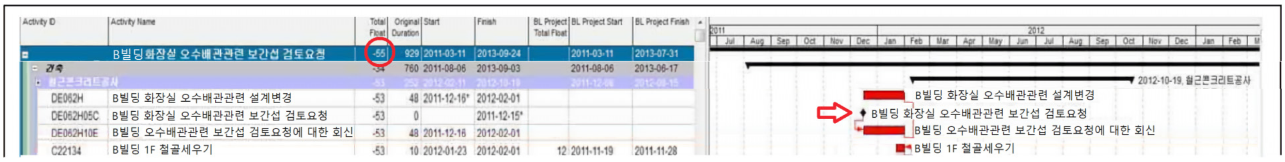

Fig. 6. Incorrect Application Result of Impacted As-Planned at [Item 2]

5) Primavera(P6)로 작성된 공정표임

Sgarlata and Brasco (2004)는 계획공정 대비 완료공정 분석법이 법정(Court)에서 동시성(concurrency)과 보상성(compensability)을 갖춘 가치 있는 분석방법으로 받아들여진다고 했다. Arditi and Pattanakitchamroon (2005)은 계획공정 대비 완료공정 분석법의 가장 큰 장점은 공기분석 시 일반 행정절차(administrative procedures)와 관련된 기존 자료들과 계획공정표(As-Planned)와 완료공정표(As-Built)만을 요구하며, 일반상식과 지연사건의 전 · 후를 비교해서 분석하므로, 편리하고 융통성이 많다고 했다. 또한 Zack (2001)는 계획공정 대비 완료공정 분석법이 기준공정표(baselines) 또는 계획공정표(As-Planned)와 최종(Final) 또는 완료공정표(As-Built)를 단순히 비교한 다음, 실제기간으로부터 계획기간을 공제해서 지연된 기간을 판정한다고 했다. 즉 계획공정표와 실적공정표가 존재하는 경우, 계획공정 대비 완료공정 분석법 적용이 가능함을 확인할 수 있다.

4.1 계획공정 대비 완료공정 분석법 적용 기준

C사 보고서에서 대부분의 감정항목들은 복수의 작업들에 영향을 주고 있다. 따라서 본 연구에서는 복수의 작업들이 영향을 받을 경우 계획공정 대비 완료공정 분석법을 정확하게 적용하기 위한 기준을 새롭게 수립하였다.

4.1.1 영향 받은 작업이 하나일 경우

분석 대상항목에서 영향 받은 작업이 하나일 경우, 영향 받은 작업의 계획일정과 실적일정을 단순하게 비교한다. 〈Fig. 7〉은 영향 받은 작업인 A의 계획공기 10일, 실적공기(A.Act) 12일인 예를 보여주고 있다. 이 경우 작업 A의 계획기간(Schedule Period, SP)은 10일이고, 실적기간(Actual Period, AP)은 12일이다.

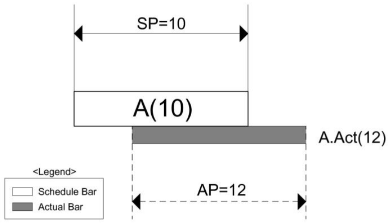

Fig. 7. One Affected Activity

계획기간과 실적기간의 기간차이(Period Difference, PD)는 '기간차이(PD)=계획기간(SP)—실제기간(AP)'으로 계산한다. 기간차이(PD)가 양수(+)이면 실제기간이 계획기간보다 짧아진 것이고, 음수(−)이면 실제기간이 계획기간보다 늘어났음을 의미한다. 〈Fig. 7〉의 경우 기간차이(PD)는 −2일이다. 따라서 실적기간이 계획기간보다 2일 증가했음을 의미한다.

4.1.2 영향 받은 작업들이 복수이며, 작업간 선 · 후행 관계가 분명한 경우

분석 대상항목에서 영향 받은 작업들이 복수이며, 작업간 선 · 후행 연결관계가 분명해서 중복작업이 불가능한 경우, 영향 받은 작업들의 계획일정과 실적일정을 독립적으로 비교한다.

〈Fig. 8〉은 〈Fig. 1〉의 계획Bar 하부에 작업 A, B, C, D의 실적공기를 실적Bar로 표시한 예를 보여주고 있다. 각 작업들의 실제착수일과 실제완료일은 상호 중복되지 않으며 선 · 후행 연결관계가 분명하다. 건축공사중 골조공사 등과 같이 선 · 후행관계가 당연논리(Must Logic)[6]인 경우 빈번하게 발생되는 매우 자연스러운 현상이다.

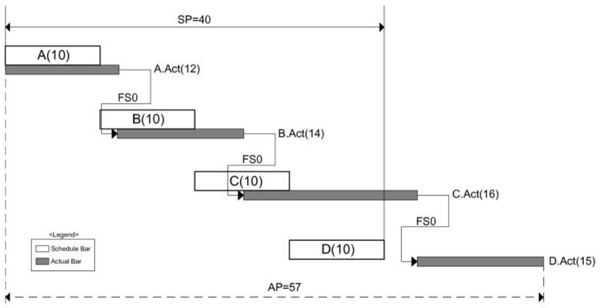

Fig. 8. Actual Representation of Multiple Affected Activities with Must Logics

이러한 경우, 각 작업의 계획기간(SP)과 실적기간(AP)을 독립적으로 비교한다. 예를 들어 〈Fig. 8〉에서 작업 A와 C가 영향을 받았는데 선 · 후행 연결관계가 분명하다. 이 경우 작업 A의 SP는 10일, AP는 12일이므로, PD는 −2일이되며, 작업 C의 SP는 10일, AP는 16일이므로, PD는 −6일이다. 따라서 작업 A와 C의 PD는 총 −8일로 계산된다.

4.1.3 영향 받은 작업들이 복수이며, 작업들이 중복되며 진행되는 경우

분석 대상항목에서 영향 받은 작업들이 복수이고 각각의 작업들이 중복되면서 진행되는 경우, 영향 받은 작업들을 하나의 그룹으로 묶어, 그룹의 기간차이를 평가한다. 〈Fig. 9〉는 〈Fig. 1〉의 계획Bar 하부에 작업 A, B, C, D의 실적공기를 실적Bar로 표시한 예를 보여주고 있다. 〈Fig. 9〉에서 작업들은 중복되면서 진행되었다. 건축공사중 마감공사, 전기공사, 기계설비공사 등과 같이 선 · 후행관계가 선택논리(Want Logic)[7]인 경우 빈번하게 발생되는 매우 자연스러운 현상이다.

6) 당연논리는 하드로직(Hard Logic)이라고도 하며, 반드시 그렇게 되어야만 하는 논리이다. 예를 들어 골조공종에서 1층 골조공사가 완료되어야 2층 골조공사가 착수될 수 있는 경우와 같다.

7) 선택논리는 소프트로직(Soft Logic)이라고도 하며, 중복작업이 가능한 경우이다. 예를 들어 전기공사에서 1층 배선공사와 함께 2층 배선공사가 중복해서 진행되는 경우와 같다.

이러한 경우, 그룹내 작업들은 계획논리와 달리 중복되면서 진행되었으므로, 이들의 실적공기를 독립적으로 평가하여 단순하게 합산한다면, 중복되는 일수만큼 실적공기가 늘어나게 된다. 따라서 실제 작업이 중복되며 진행된 경우 중복되는 일수를 공제해야 한다. 이를 위해 영향 받은 작업들을 하나의 그룹으로 묶어 그룹 내 가장 빠른 계획착수일(Earliest Schedule Start, ESS)과 가장 늦은 계획완료일(Latest Schedule Finish, LSF) 차이를 계획기간(Schedule Period, SP)으로 정의하고, 가장 빠른 실제착수일(Earliest Actual Start, EAS)과 가장 늦은 실제완료일(Latest Actual Finish, LAF) 차이를 실적기간(Actual Period, AP)으로 정의해서, 그룹의 기간차이(PD)를 평가한다.

예를 들어 〈Fig. 9〉에서 영향 받은 작업 A, B, C, D의 실적은 중복되면서 진행되었다. 이러한 경우 작업 A, B, C, D를 하나의 그룹으로 묶어 평가하면 다음과 같다. 그룹의 작업들 중 가장 빠른 계획착수일(ESS)과 가장 늦은 계획완료일(LSF)의 차이가 계획기간(SP)은 40일이고, 가장 빠른 실제착수일(EAS)과 가장 늦은 실제완료일(LAF)의 차이가 실적기간(AP)은 44일이므로, 기간차이(PD)는 –4일로 계산된다.

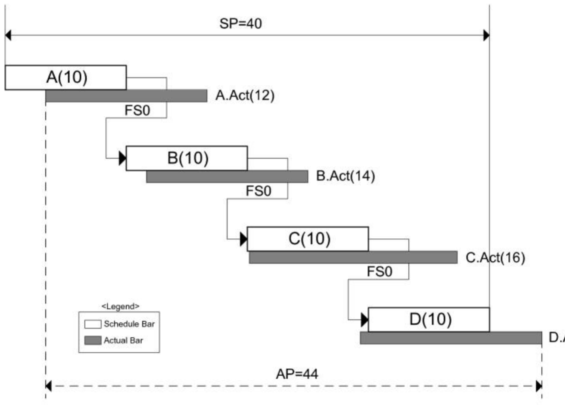

Fig. 9. Actual Representation of Multiple Affected Activities with Want Logics

4.2 계획공정 대비 완료공정 분석법 적용 예

[항목1] F시설 설계도서 오류로 인한 공기지연

[항목1]에서 영향 받은 작업의 계획 및 실적일정은 〈Table 2〉와 같다. [항목1]에서 영향 받은 작업은 하나인데, 가장 빠른 계획착수일(ESS)은 2012년 06월 16일, 가장 늦은 계획완료일(LSF)은 2012년 07월 12일이므로, 계획기간(SP)은 25일이다. 또한 가장 빠른 실제착수일(EAS)은 2012년 11월 28일, 가장 늦은 실제완료일(LAF)은 2013년 1월 4일이므로, 실제기간(AP)은 25일이다. 따라서 기간차이(PD)는 0일이다. 따라서 [항목1]로 인한 공기지연은 없었다.

[항목2] B빌딩 오수 배관 보간섭으로 인한 공기지연

[항목2]에서 영향 받은 작업들의 계획 및 실적일정은 표 〈Table 3〉와 같다. [항목2]에서 영향 받은 작업들은 총 5개인데, 각각은 철골세우기와 벽돌공사이다. K센터, B빌딩, P시설은 각각 독립된 건물이다. 따라서 철골세우기 공사는 다른 건물들에서 중복되며 진행될 수 있다. 따라서 철골세우기는 하나의 그룹으로 묶어 평가한다. 벽돌공사는 골조공사의 후속공종이므로 선 · 후행 연결관계가 분명하다. 다만 B빌딩과 P시설은 독립된 건물이므로 벽돌공사 역시 중복되며 진행될 수 있다. 따라서 벽돌공사도 독립된 하나의 그룹으로 묶어 평가한다.

철골세우기의 경우, 가장 빠른 계획착수일(ESS)은 2013년 01월 11일, 가장 늦은 계획완료일(LSF)은 2013년 05월 30일이므로, 계획기간(SP)은 139일이다. 그리고 가장 빠른 실제착수일(EAS)은 2012년 02월 04일이고, 가장 늦은 실제완료일(LAF)은 2012년 07월 04일이므로, 실제기간(AP)은 151일이다. 따라서 기간차이(PD)가 –12일이므로, [항목2]로 인한 철골세우기의 공기지연은 12일이다.

벽돌공사의 경우, 가장 빠른 계획착수일(ESS)은 2013년 05월 24일, 가장 늦은 계획완료일(LSF)은 2013년 07월 25일이므로, 계획기간(SP)은 62일이다. 그리고 가장 빠른 실제착수일(EAS)은 2012년 11월 21일이고, 가장 늦은 실제완

Table 2. [Item 1] Difference of Schedule & Actual and PD of Affected Activity

Affected Activity		Schedule				Actual				PD
ID	Activity Description	Dur.	Start	Finish	SP	Dur.	Start	Finish	AP	
C72212	1F Steel Str. Election of F Facility	25	12–06–16	12–07–12	25	25	12–11–28	13–01–04	25	0

Table 3. [Item 2] Difference of Schedule & Actual and PD of Affected Activities

Affected Activity		Schedule				Actual				PD
ID	Activity Description	Dur.	Start	Finish	SP	Dur.	Start	Finish	AP	
C22146	7F Steel Str. Election of K Center	12	13–01–25	13–02–05		25	*12–02–04*	12–03–06		
C32130	1F Steel Str. Election of B Bldg	16	*13–01–11*	13–02–06	139	25	12–02–13	12–03–15	151	–12
C72214	1F Steel Str. Election of F Facility	23	13–05–04	*13–05–30*		160	12–11–28	*12–07–04*		
C52216	1F Cement Brick of B Bldg	10	*13–05–24*	13–06–03	62	11	*12–11–21*	12–12–01	24	38
C62144	1F Cement Brick of F Facility	15	13–07–02	*13–07–25*		4	12–12–12	*12–12–15*		

료일(LAF)은 2012년 12월 15일이므로, 실제기간(AP)은 24일이다. 따라서 기간차이(PD)가 38일이므로, 벽돌공사는 38일 공기단축 되었다.

결과적으로 [항목2]로 인해 철골세우기에서 공기지연 12일, 벽돌공사에서 공기단축 38일이므로, 이들을 합하면 총 26일 공기단축 되었다.

5. 공기지연 분석 방법별 적용 결과 분석

공기지연 분석방법별 적용 결과를 요약 정리하면 〈Table 4〉와 같다. 3.3절에서 기술한 바와 같이 사례 프로젝트에 잘못된 기준의 계획공정 분석법을 적용하면 [항목1]은 90일 지연, [항목2]는 55일 지연된 것으로 분석되었다. 반면 4.1절의 계획공정 대비 완료공정 분석 기준을 적용하면 [항목1]은 공기지연이 없었고, [항목2]는 오히려 공기가 26일 단축된 것으로 분석되었다.

이와 같이 계획공정 분석법과 계획공정 대비 완료공정 분석법을 적용한 결과에서 차이가 발생하였는데, 그 원인은 다음과 같다.

첫째, 공기지연 분석방법의 차이 때문이다. 계획공정 분석법은 공기지연이 발생했다고 추정되는 작업들을 새롭게 만들어 승인된 CPM공정표에 추가하면서 강제지정일(Constraints)을 지정하였다. 이러한 경우 영향 받는 작업이 주공정(Critical Path, CP) 상에 있을 경우, 전체공사 완공시점은 추가된 작업의 기간으로 인해 지연될 수밖에 없다. 반면, 계획공정 대비 완료공정 분석법은 승인된 CPM공정표에 어떠한 작업을 추가시키지 않고, 영향 받은 작업의 계획공기와 실적공기만을 단순 비교하였다. 영향 받은 작업의 실제공기가 계획공기보다 늘어났으면 공기가 지연된 것이고, 줄어들었으면 공기가 단축된 것이다.

둘째, 영향 받은 작업들이 복수일 경우에 대한 평가의 차이 때문이다. 계획공정 분석법은 공기지연을 유발시킨 작업을 추가하면서, 추가된 작업에 복수의 후행 작업들을 개별적으로 연결시킨 다음, 전체공사의 완공시점을 추정하였다. 이러한 경우 복수의 후행작업들 중 어느 한 작업이 주공정 상에 있다면, 추가된 작업의 공기로 인해 전체 공기가 지연될 수밖에 없다. 반면에 계획공정 대비 완료공정 분석법은 영향 받은 작업이 복수일 경우 이들을 그룹화시켜, 그룹의 계획기간과 실적기간을 단순 비교하였다. 영향 받은 그룹화된 작업들의 실적기간이 계획기간보다 늘어났으면 공기지연이고, 줄어들었으면 공기단축된 것이다.

결과적으로 계획공정 분석법을 적용한 [항목1]의 공기지연 90일은 첫 번째 원인인 잘못된 강제지정일로 인해 왜곡된 결과이고, [항목2]의 공기지연 55일은 첫 번째 원인인 잘못된 강제지정일과 두 번째 원인인 추가된 작업과 복수의 영향 받은 작업들을 개별적으로 연결시킨 것으로 인해 왜곡된 결과이다. 반면 본 연구에서 제안한 계획공정 대비 완료공정 분석법은 계획과 실적을 단순 비교하고, 복수의 영향 받은 작업들을 그룹화시켜 평가함으로써, 공기지연 분석의 왜곡 가능성을 사전에 방지하였다.

6. 결론

국내 건설공사에서 공정관리의 대부분은 바차트 공정표로 수행된다. 바차트 공정표는 작업간 논리가 표현되지 않기 때문에 공기지연분석이 매우 어렵고, 법정에서도 거의 받아들여지지 않는다.

정확한 계획공정 분석법의 결과를 도출하기 위해서는 승인된 CPM공정표가 완전해야 한다. 완전한 공정표란 빠지거나 생략된 작업이 없어야 하며, 공정표 내 모든 작업들은 논리적으로 연결되어 있어야 한다. 그런데 본 연구의 사례 건설공사에서 승인된 CPM공정표는 완전하지 않았다. 따라서 불완전한 공정표에 적용된 계획공정 분석법의 공기지연분석 결과는 부정확할 수밖에 없었다. 더욱이 공정관리전문기관 C사는 계획공정 분석법의 잘못된 기준을 불완전한 공정표에 적용함으로서 공기지연분석 결과를 왜곡시켰다.

본 연구에서는 사례 건설공사의 공정표에 실적이 입력된 자료를 발견하고, 불완전한 CPM공정표의 경우 계획과 실적을 단순 비교하는 계획공정 대비 완료공정 분석법이 오히려 적합하다고 판단하였다. 다만 영향 받은 작업들이 복수일 경우, 선 · 후행 연결관계가 당연논리 또는 선택논리인지 여부에 따라 계획공정 대비 완료공정 분석법을 적용하는 기준을 새롭게 수립할 필요가 있었으며, 새롭게 수립된 기준을 사례 건설공사 공기지연 분석항목에 적용하였다.

본 연구에서 수립한 새로운 기준을 적용한 계획공정 대비 완료공정 분석법의 결과와 C사가 적용한 계획공정 분석법의 결과에 차이가 발생하였다. 이러한 차이는 사례에 적용된 공기지연 분석방법이 다르고, C사의 계획공정 분석법에

Table 4. Comparison of Delay Days of Project Delay Analysis Methods

Project Delay Analysis Items		Delay Days of Project Delay Analysis Methods	
		Impacted As-Planned	As-Planned vs As-Built
Item 1	Delay due to Design Error of F Facility	-90	0
Item 2	Delay due to Sewage Pipe Beam Interference of B	-55	26

잘못된 기준을 적용에서 비롯되었다. 결과적으로 본 연구에서 제안한 계획공정 대비 완료공정법의 결과가 C사가 계획공정 분석법의 잘못된 기준 적용보다 적합한 것으로 분석되었다.

국내 건설공사에서 공기지연관련 분쟁과 소송은 급증하는 추세로서, 체계적이며 합리적인 공기지연분석이 절실하게 필요한 시점이다. 계약당사자간 동의할 수 있거나 법정에서 받아들여지는 공기지연 분석을 위해 국내 건설공사의 공정관리 관행은 반드시 선진화되어야 한다. 본 연구에서 제안한 공기지연분석방법이 불완전한 공정표를 극복하는 방법론중 하나이지만, 국내 공정관리가 한 단계 발전하는데 이바지하고, 향후 국내 건설공사 공기지연관련 분쟁과 소송에 좋은 참고자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

References

Baram, G.E. (1994). “Delay analysis - issue not for granted.” *Transportation AACE International*, DCL.5.1-.DCL.5.9.

Majid, McCaffer (1998). “R. Factor of non-excusable delays that influence contractors.”*Journal of Construction Engineering and Management*, 14, pp. 42-49.

David Arditi, Thanat Pattanakitchamroom (2005). “Selecting a Delay Analysis Method in Resolving Construction Claims.” *International Journal of Project Management*, pp. 145-155.

Fruchtman E. (2000). “Delay Analysis-Eliminating the Smoke and Mirrors.” *Trans AACE Int 2000: CDR.6.1-CDR.6.4*

Gothand, K.D. (2003). “Schedule delay analysis: modified windows approach.” *Cost Engineering*, AACE, 45(9), pp. 18-23.

James G. Zack Jr. (2001). “But-For Schedules-Analysis and Defense.” *Cost Engineering*, 43(8), pp. 13-17.

Lovejoy, V.A. (2004). “Claims schedule development and analysis: Collapsed as-built scheduling for beginners.” *Journal of Cost Engineering*, 46, pp. 27-30.

SCL (2002). Society of Construction Law. Delay and disruption protocol.

Sgarlata M.A., and Brasco C.J. (2004). “Successful Claims Resolution through an Understanding of the Law Governing Allocation of Risk for Delay and Disruption.” *CM ejournal*, CMAA.

Zafa, Q.Z. (1996). “Construction Project Delay Analysis” *Cost Engineering*, AACE, 38(3), p. 23.

요약 : 최근 국내 건설공사에서 공기관련 클레임과 분쟁의 발생건수가 급격한 증가세를 보이고 있다. 이러한 현상은 전통적으로 발주자 우위의 국내 건설 계약관행이 계약당사자간 상호적이며 균형적인 관계로 변화되고 있음을 시사하는 것이다. 공기지연 분석은 건설공사 착공시 승인된 공정표의 종류, 공사진행 과정에서 공정표 실적관리를 어떻게 했는지에 따라 적용 방법을 선정하게 된다. 그리고 공기지연 분석에서 가장 중요한 전제조건은 공사초기에 합의된 완전한 CPM공정표가 준비되어 있고, 그러한 공정표의 실적관리가 제대로 기록되어 있는 것이다. 본 연구는 국내 민간 발주자의 대형신축건물을 공사하는 과정에서 시공자가 손해를 보았다며 발주자를 상대로 손해배상을 청구한 사건의 공기지연 분석 방법론을 적용에 관한 것이다. 본 연구에서는 불완전한 CPM공정표에 계획공정 분석법 적용이 적절한 지 판단하고, 이에 대한 대안으로 새로운 기준의 계획공정 대비 완료공정법을 제안한다. 그리고 사례 프로젝트에 계획공정 대비 완료공정법을 적용한 다음, 계획공정 분석법 결과와 비교분석한다. 본 연구의 목적은 국내 건설공사의 공정관리 현실에 적합한 공기지연 분석방법을 제시함으로써, 향후 국내 건설공사의 공기지연관련 분쟁과 소송에서 의미 있는 참고자료로 활용될 수 있도록 하는 것이다.

키워드 : 공기지연, CPM 공정표, 계획공정 분석법, 계획공정 대비 완료공정 분석법