

CPM Bar Chart 기법을 활용한 일정계획

CPM Bar Chart Technique for Construction Scheduling

김경환* · 김수유** · 김재준***

Kim, Kyung-Hwan · Kim, Soo-Yoo · Kim, Jae-Jun

요 약

본 연구에서는 바차트(bar chart) 기법과 CPM 기법의 장점을 결합한 CPM bar chart(CBC) 기법을 제시한다. CBC는 기존의 fenced bar chart(FBC)의 장점을 유지하면서 단점을 보완한 것으로, 작업 관계를 나타내는 fence에 방향성을 부여함으로써, 기존 FBC에서 상당한 혼란을 유발하는 fence의 분리과정 없이 작업들의 관계를 표현할 수 있다. 또한, fence의 분리를 파악하기 위해 더미작업(dummy activity)을 확인하는 과정이 생략되어 보다 손쉽게 작성할 수 있는 장점도 있다. 바차트의 간결성을 유지하면서 CPM의 네트워크 논리 표현이 가능해짐에 따라, CBC는 다양한 프로젝트 참여자들 간의 원활한 의사소통에 기여하리라 예상된다. 또한, resource constrained scheduling, resource leveling, 작업 분리가 고려된 일정 조정, 공기 지연 분석 등의 CPM 기법에 기초한 다양한 일정 계획 및 관리에도 적용이 용이하여, 실무뿐만 아니라 공정관리 교육과정에서도 활용성이 높으리라 기대된다.

키워드 : CPM, 바차트(bar chart), 일정계획(scheduling), 자원 평준화(resource leveling)

1. 연구 배경 및 목적

건설 프로젝트는 다양한 조직과 인원들이 참여하는 특성을 가지고 있다. 대표적인 프로젝트 참여자로는 발주자, 건축가/엔지니어, 감리, 원도급자, 하도급자 등이 있고, 프로젝트의 상황에 따라 시행사, CMr, 금융기관, 관공서 등이 포함될 수 있다. 성공적인 프로젝트 수행을 위해서는 이들 상호간의 원활한 의사소통이 요구된다. 하지만, 효과적인 프로젝트 계획 및 관리를 위해 이용되는 다양한 관리기법들에 대한 참여자들의 이해 정도에는 차이가 있다(Clough 외 2000). 일정 계획 및 관리 분야도 예외가 아니어서, 네트워크 기법을 이용한 CPM(critical path method)의 효용성이 다수의 건설 프로젝트에서 증명되었음에도 불구하고(Liberatore 외 2001), CMr 혹은 일부 원도급자의 공정관리 전문가 이외의 다른 프로젝트 참여자들은 CPM의 사용과 이해에 어려움을 가지고 있다(Clough 외 2000).

또한, CPM 일정에 기초한 자원 평준화(resource leveling), 자원 제약을 고려하는 일정계획(resource constrained

scheduling), 다양한 작업들 간의 관계 적용이 가능한 PDM(precedence diagramming method), PDM 기법에 기초한 작업 분할(activity split)을 이용한 일정 개선 등의 영역에서는 그 어려움이 특히 가중된다. 이에 따라, 적절한 이론을 습득한 공정관리 전문가가 아니면 이러한 기법들의 효과적인 적용이 어렵고, 또한 이들을 이용하여 생성된 일정 네트워크를 이해하기에도 어려움이 따르게 된다.

한편, 바차트(bar chart)를 이용한 일정 계획과 관리는 작성과 이해가 상대적으로 쉽다는 장점으로 인해, 많은 건설 업체들이 선호하고 있다(이재섭 2001). 하지만, CPM이 제공하는 작업들 간의 상호관계가 명확히 표현되지 않고, 프로젝트 관리의 중요 기준이 되는 각 작업의 여유시간이 제공되지 않는 단점이 있다. 또한, 예기치 못한 공기지연이 발생할 경우, 작업들 간의 선후 관계가 불명확함에 따라 바차트 일정계획에 기초하여서는 공기지연 클레임을 적절히 분석, 조정, 해결하기에는 한계가 있다(Hinze 2004).

이러한 문제점을 극복하기위해 Melin(1981)은 fenced bar chart(FBC) 기법을 제시하였다. 이 기법은 fence를 이용하여 작업들 간의 관계가 설정된 바차트의 형태를 이용함으로써, 보다 쉽게 CPM 형태의 일정을 표현한다. 이러한 장점으로 다양한 프로젝트 참여자들 간의 공사 일정과 관련하여 상호간의 의사소통을 보다 원활하게 할 수 있다. 또한, 교육적 측면에서도

* 일반회원, 한양대학교 건설연구소 연구원, 공학박사

** 학생회원, 한양대학교 대학원 건축공학과 석사과정

*** 종신회원, 한양대 건축공학부 부교수, 공학박사

CPM 결과를 바탕으로 한 앞서 언급된 다양한 일정 개선 기법들의 효과적인 설명을 가능하게 한다. 이 기법의 교육적 효과는 다수의 건설 실무 경험자가 포함된 여러 공정관리 수업과정을 통해 파악되었다.

본 연구에서는 FBC 기법을 소개하고, 이 기법의 장·단점을 고찰한다. 이를 바탕으로 FBC의 장점을 유지하면서, 단점을 보완한 CPM bar chart(CBC)기법을 제시한다. 제시된 CBC를 예제 일정에 적용하여 그 효과를 검증한다.

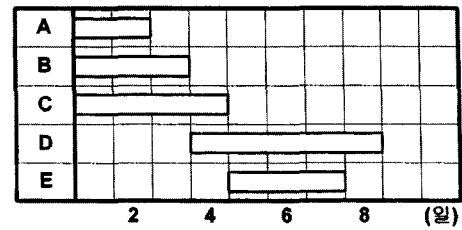
2. Fenced Bar Chart

2.1 Fenced Bar Chart 소개

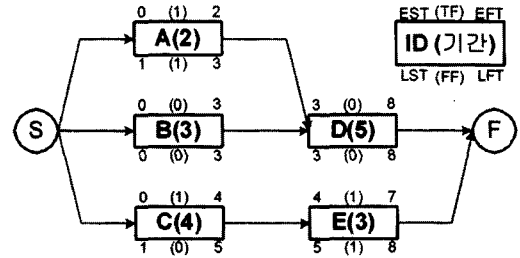
FBC(fenced bar chart)는 바차트와 CPM 네트워크가 결합된 형태를 가진다. 먼저, 그림 1(a)는 바차트 일정계획의 예를 보여준다. 각 작업들의 시작과 종료 시기를 “시간 표기형 바(time-scaled bar)”로 표현하여, 각 작업의 일정을 전문 지식이 없더라도 손쉽게 이해할 수 있다. 하지만, 작업들 간의 선후 관계가 명확하게 표현되지 않아, 프로젝트 진행 중에 발생할 수 있는 특정 작업의 일정 변경(계획 대비 지연 혹은 빠른 종결)이 발생할 경우, 다른 작업들과 전체 프로젝트 일정에 대한 영향을 예측, 평가하기가 어려운 단점이 있다. 예를 들어, 작업 A의 종료 시기가 2일 연장되어야 하는 상황이 발생할 경우, 다른 작업들의 일정과 프로젝트의 종료 시점에 미치는 영향을 현재의 차트로 평가하기 어렵다.

동일한 일정을 CPM에 적용하면 그림 1(b)와 같다. 작업들 간의 선후 관계가 명확해지고, 각 작업들의 일정 정보가 되는 EST(early start time), EFT(early finish time), LST(late start time), LFT(late finish time), TF(total float), FF(free float) 등의 계산이 가능하고, 전체 프로젝트의 기간과 주공정선(critical path)을 알 수 있다. 만약 특정 작업의 일정이 변경 될 경우 이에 따른 다른 작업과 전체 프로젝트에 대한 영향을 각 작업의 일정 정보와 네트워크에 표현된 작업들의 논리를 이용하여 정확한 예측이 가능하다. 예를 들어 작업 C가 추가적으로 2일을 더 요구하게 될 경우 다음과 같다. 작업 C는 0일의 FF와 1일의 TF를 가진다. 따라서 작업 C의 종료 시간을 2일 연기되면, 후속하는 작업(작업 E)의 시작 시점을 2일 연장하게 되고, 전체 프로젝트는 1일 연장될 것임을 알 수 있다.

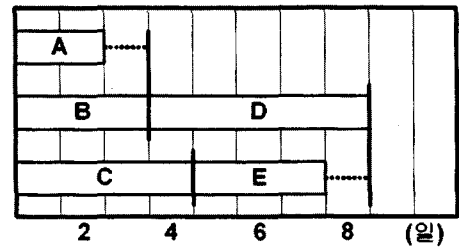
그림 1(c)는 동일 일정을 바차트의 형태와 fence(수직 연결선)를 이용하여 네트워크로 표현한 FBC를 보여준다. 이 차트에서 작업 D는 작업 A와 B의 종료 후에 시작할 수 있고, 작업 E는 작업 C의 종료 후에 시작할 수 있다. 수평으로 표현된 연결점선(이하 수평연결점선)은 선행 작업의 종료가 후속작업의



(a) 바차트 일정계획



(b) CPM 일정계획



(c) fenced bar chart 일정계획

그림1. 바차트, CPM, fenced bar chart 비교

시작으로 fence를 이용해 직접 연결되지 않을 경우에 작업들의 관계를 표현하기 위해 사용된다. 예를 들어, 작업 D는 작업 A의 후속작업이다. 하지만, 작업 D의 시작은 작업 B와의 관계 때문에 작업 A의 종료 즉시 시작되지 않는다. 그래서 작업 A, D간의 관계를 표현하기 위해 수평연결점선이 사용되었다.

이상과 같이 표현되는 FBC는 바차트의 단순성을 활용하면서, CPM의 세부적인 지식이 없이도 CPM 기법으로부터 얻을 수 있는 유용한 정보가 되는 작업들 간의 순서, 각 작업의 여유 시간(float), 주공정선 등을 도식적으로 이해·적용할 수 있는 장점이 있다. FBC의 장점은 다음과 같이 정리된다.

- 1) fence와 수평연결점선을 통해 전체 작업들은 네트워크를 구성하여 작업들의 선·후 관계를 표현한다.
- 2) 시간 표기형 바(time-scaled bar)는 각 작업의 시작과 종료 시점을 다른 작업들의 일정과 손쉽게 도식적으로 비교가 가능하다.
- 3) 선행 작업에서 시작되는 수평연결점선은 별도의 계산 과정 없이 후행 작업 (혹은 프로젝트 종료)에 대한 free float가 된다. 예를 들어 그림 1(c)의 작업 A와 E는 각각 1일의 free float를 가진다.

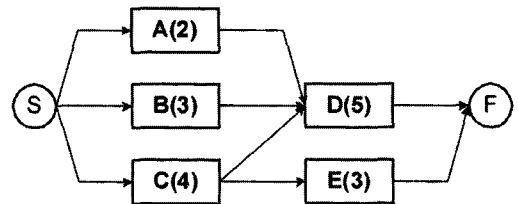
- 4) total float는 프로젝트 “종료”로부터 “시작” 방향으로 작업 경로(path)를 따라 누적된 free float의 량으로 결정된다. 예를 들어 그림 1(c)의 작업 A, C, E는 각각 1일의 total float를 가진다.
- 5) 수평연결점선(free float 선)이 존재하지 않는 경로는 주 공정선에 해당된다. 예를 들어 그림 1(c)의 작업 B와 D를 거치는 경로가 주공정선에 해당한다.
- 6) 프로젝트 진행 중에 흔히 발생하는 특정 작업들의 일정 변경에 의한 영향을 손쉽게 이해·적용 할 수 있다. 예를 들어 그림 1(c)의 작업 A의 종료가 2일 연기될 경우, 작업 D를 1일 연기, 전체 프로젝트 종료를 1일 연기하게 됨을 도식적으로 파악 가능하다.
- 7) 차트 가로축의 시간 단위별 해당 액티비티들의 자원 요구 량의 표현이 가능하여 resource constrained scheduling이나 resource leveling 개념을 적용하기에 용이하다.
- 8) 바차트와 비교하여 상대적으로 작은 공간에 많은 작업들의 표현이 가능하다. 그림 1(a)와 같은 바차트 표현에서는 일반적으로 하나의 작업을 하나의 행에 표현하여 작업의 수에 비례하여 표현 공간을 요구한다. 하지만, FBC에서는 작업 시간대가 다를 경우에 하나의 행에 여러 작업들을 표현할 수 있기 때문에 차트 공간이 상대적으로 적게 요구된다.

2.2 Fence 분리

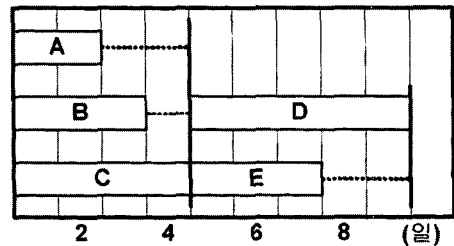
FBC는 이상에서 언급한 바와 같이 많은 장점이 있음에도 불구하고, 상황에 따라서 fence를 분리해야 하는 경우가 흔히 발생한다. fence 분리는 이 기법의 이용자들에게 있어 가장 혼란스러운 과정임이 FBC가 소개된 여러 공정관리 교육과정을 통해 파악되었다.

먼저 fence의 분리가 필요한 상황의 한 예로 그림 2의 경우에 해당한다. 그림 2(a)의 작업간의 논리를 갖는 일정을 FBC로 표현할 때, 적지 않은 경우에 그림 2(b)의 형태로 잘못 그려진다. 이 차트에서 잘못된 점은 작업 A에서 E와 작업 B에서 E로 연결된 fence이다. 현재 이 상황에서는 작업 A가 3일 이상 혹은 작업 B가 2일 이상 연기될 경우, 작업 E의 시작이 하루 이상 연기되어야 한다. 하지만, 그림 2(a)에서 보는 바와 같이 작업 A, B와 E는 아무런 연관성이 존재하지 않는다.

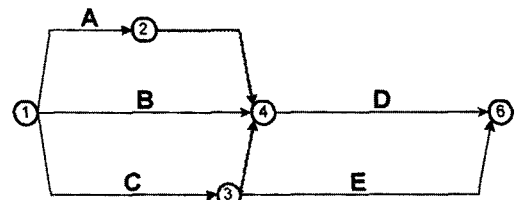
이러한 상황에 대처하기위해 Melin(1981)은 AOA(activity on arrow)기법에서 사용하는 “논리더미(logical dummy activity)”가 존재할 경우에 fence를 분리해야 한다고 제시하고 있다. 그림 2(c)는 동일 일정을 AOA로 표현한 것으로, 두개



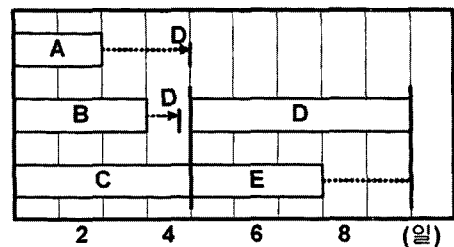
(a) CPM 네트워크



(b) 잘못된 fenced bar chart 일정



(c) AOA 네트워크



(d) 분리된 fence가 적용된 fenced bar chart

그림 2. Fence의 분리

의 더미작업이 존재함을 알 수 있다. 이 중 하나는 이름을 붙이기 위한 더미(naming dummy)로 각 작업들이 유일한 ID를 가지게 하기위해 사용 되는 더미 작업이다. 그림 2(c)에서는 더미 2-4가 해당되는데, 이는 작업 1-2를 작업 1-4와 다른 ID를 가지게 하기위한 더미작업이다. 또 다른 종류의 더미는 작업들 간의 논리를 표현하기 위해 사용되는 논리더미이다. 작업 3-4의 경우에 해당하고, 이 더미 작업은 올바른 작업들 간의 관계를 표현하기위해 반드시 필요하다. fence의 분리는 이 논리 더미가 존재할 경우에 요구되는데, 논리 더미에 후속하는 작업(작업 4-6)의 선행하는 모든 실제 작업들(작업 1-2, 1-4, 1-3) 중에서 일정 상황에 따라 fence가 분리된다. 그리고 분리된 fence에 레이블(label)을 이용하여 작업 관계의 연속성을 부여한다.

그림 2(d)는 그림 2(a) (또는 2(c))의 일정을 FBC로 표현한

것이다. 작업 D는 논리 터미의 후속 작업이 되고, 작업 D의 선행 작업들은 작업 A, B, C가된다. 이들 중 종료 시간이 작업 D의 시작 시간과 일치하는 작업 C를 제외한 나머지 작업 A, B로부터의 fence는 분리되었다. 즉, 수평연결점선(또는 작업 D에 대한 free float)을 가진 fence가 분리된 것이다. 분리된 fence는 레이블을 이용하여 작업 관계의 연속성이 부여되었다.

이렇게 fence를 분리하고 레이블을 이용하여 작업들 간의 관계를 표현하게 되면, 작업의 수가 증가함에 따라 그 관계가 복잡해지게 되고, FBC 역시 상당히 복잡해진다. 또한 fence 분리를 파악하기위해 AOA 네트워크를 다시 그려야 한다는 부담도 생긴다. AOA 네트워크 이용의 가장 큰 어려움은 작업들의 논리를 표현하기 위해 터미 작업을 이용하는데 있다(Callahan 외 1992). 이에 본 연구에서는 이러한 문제점들을 개선한 CPM bar chart 기법을 제시한다.

3. CPM Bar Chart

CBC(CPM bar chart)는 기존의 FBC(fenced bar chart)와 비교하여 두 가지 특징을 가진다. 첫째, fence의 분리가 필요할 경우를 AOA 네트워크의 논리터미를 이용하는 것이 아니고, 터미 작업이 존재하지 않는 그림 2(a)와 같은 AON(activity on node) 네트워크를 이용하여 파악할 수 있다. 한 작업("현재작업")이 둘 이상의 선행 작업을 가지고, 이들 선행 작업 중 하나 이상이 "현재작업" 이외의 다른 후행 작업을 가질 때, 해당 선행 작업으로부터 "현재작업"으로의 fence는 분리가 필요하다.

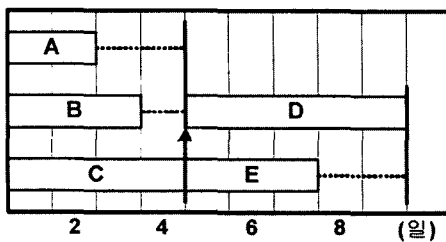


그림 3. CPM bar chart

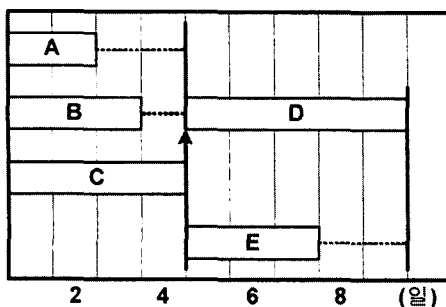
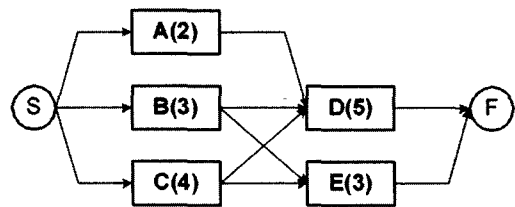


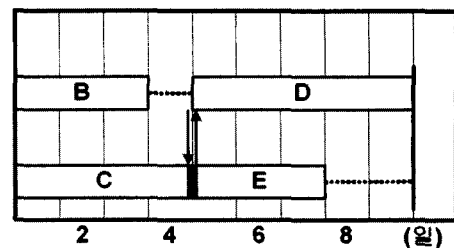
그림 4. Fence 내에서의 방향성

그림 2(a)에서 작업 D("현재작업")의 경우 3개의 선행 작업(작업 A, B, C)을 가지고, 이 중 작업 C가 D 이외의 다른 후행작업(작업 E)을 가지므로, 작업 C에서 D로의 fence는 분리가 필요하다.

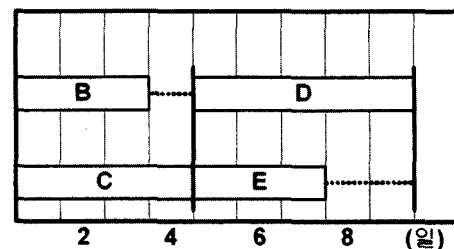
둘째, fence의 분리가 필요하다고 파악되었을 경우, fence를 분리하는 것이 아니라 해당 fence에 화살표로 방향성을 부여하여 그 역방향으로의 작업 논리 흐름을 방지한다. 그림 2(a)로부터 파악된 분리가 요구되는 작업 C에서 D로의 fence는 그림 3에서와 같이 방향성이 부여되어 작업 C에서 D로의 작업흐름은 유지되면서, 작업 A, B에서 E로의 작업흐름이 차단되었다. 이에 따라 그림 2(d)에서와 같은 fence 분리와 분리에 따른 레이블이 필요 없게 된다.



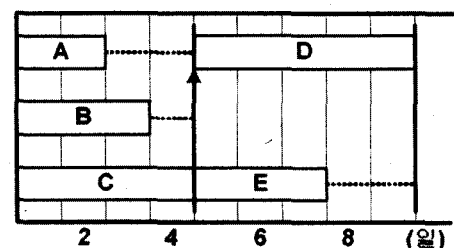
(a) CPM 네트워크



(b) 양방향 fence



(c) CPM bar chart에서의 양방향 fence



(d) 일방향 및 양방향 fence

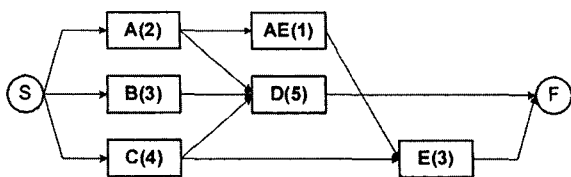
그림 5. Fence의 양방향성

이 과정에서 주의하여야 할 점은, 외부에서 fence 역방향으로의 작업 흐름은 불가능해지지만, fence 내부에서는 fence의 방향성 유무와 상관없이 양방향으로 작업의 흐름이 가능하다는 것이다. 예를 들어, 그림 4는 그림 3의 차트와 동일한 일정을 나타내는데, fence의 방향성이 부여되어도, fence 내부에서는 그 방향성과 상관없이 작업 C에서 E로의 흐름이 유지된다.

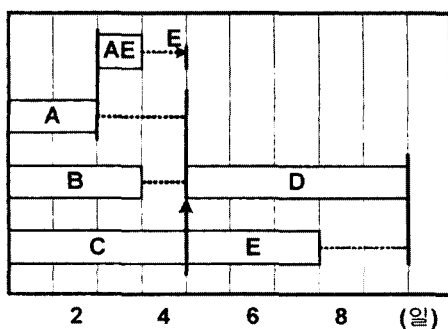
또 다른 예를 들면, 그림 5에서는 (일)방향성과 양방향의 fence가 동시에 표현된 상황을 보여준다. 먼저 그림 5(a)는 그림 2(a)에서 작업 B와 E간의 관계가 추가된 일정이다. 우선, 작업 A를 고려하지 않을 경우, 그림 5(b)에서와 같이 동일한 시점에서 양방향의 fence가 필요하게 되고, 이 경우에는 그림 5(c)에서처럼 화살표를 없애고 양방향으로 작업들의 논리를 표현할 수 있다. 하지만, 작업 A를 고려할 경우에는 작업 B, C로부터의 방향성이 필요하게 되어, 그림 5(a)의 일정은 5(d)와 같이 일방향과 양방향성을 동시에 가지는 fence로 표현이 된다.

한편, CBC에서 FBC에서처럼 fence의 분리에 의한 레이블을 사용할 필요가 없으나, 네트워크의 상황에 따라 fence가 교차 할 경우에는 적절한 fence를 분리하고 레이블을 사용한다. 그림 6에서와 같이 작업 AE에서 E로의 관계는 fence의 분리 없이는 표현이 어렵게 되고, 이 경우에는 기존의 분리와 레이블을 사용하는 방법을 그대로 이용한다.

이상과 같이 CBC 작성에는 fence 분리 유무를 파악하기 위해 상당한 시간과 혼란을 초래할 수 있는 더미 작업의 확인 과정이 필요 없다. 또한, 작업 관계가 교차하지 않을 경우에는 fence의 분리와 레이블이 아닌, 방향성으로 작업들 간의 관계를 표현하여 차트의 단순성을 높일 수 있는 장점을 가지고 있다.



(a) CPM 일정



(b) 작업 AE에서 E로의 fence 분리

그림 6. CPM bar chart에서의 fence 분리

4. 예제 적용

본 절에서는 CBC(CPM bar chart) 기법을 두개의 일정 예제에 적용하여 그 효과를 검증한다. 첫 번째 일정 예제는 24개의 작업으로 구성된 CPM 네트워크를 기존의 FBC(fenced bar chart)와 CBC에 적용하여 그 결과를 비교한다. 두 번째 일정 예제에서는 CBC의 용이성을 확인하기 위해 resource leveling 기법을 적용한다.

4.1 Fenced Bar Chart와의 비교

그림 7은 FBC와 CBC의 비교를 보여준다. 그림 7(a)의 CPM 일정에서는 각 작업의 EST, EFT, LST, LFT 등이 계산되었고, 이를 기초로 주공정선이 파악되었다. FBC를 작성하기에 앞서, fence의 분리가 요구되는 작업간의 관계를 파악하기 위해, 그림 7(b)와 같이 AOA 네트워크가 이용되었다. 이 과정에서 총 6개의 “논리 더미”가 파악되었고, 이에 근거하여 그림 7(c)의 FBC에서 해당 fence가 분리되었고, 분리에 따른 레이블이 추가되었다. 예를 들어, 그림 7(b)에서 작업 14는 논리 더미 d1과 작업 9와 10을 선행 작업으로 가지고 있으며, 이에 따라 그림 7(c)에서처럼 작업 14에 대한 free float를 가지는 작업 10으로부터의 fence가 분리되었다.

이에 반하여 CBC에서는 fence의 방향성 부여를 파악하기 위해 그림 7(a)의 네트워크가 직접 이용되었다. 작업 13, 14, 17, 19, 20, 22의 경우 두개 이상의 선행 작업을 가지고, 이들 선행 작업이 다른 작업을 후행작업으로 가지기 때문에 fence의 방향성이 요구됨이 파악되었다. 예를 들어 그림 7(a)에서 작업 14는 작업 9와 10을 선행작업으로 가지고, 작업 9가 작업 12 역시 후행 작업으로 가지므로, 그림 7(d)에서처럼 작업 9에서 14로의 fence는 방향성을 가지게 된다. fence가 방향성을 가짐으로써 추가적인 레이블은 필요 없게 되었지만, fence의 중첩으로 인해 작업 8과 19의 관계가 분리되었고 레이블이 추가되었다. 이상과 같이 CBC는 별도의 AOA 네트워크 작성이 필요 없고, fence의 방향성 부여로 fence의 분리가 필요 없게 되었다.

4.2 Resource Leveling 적용

본 절에서는 CBC를 이용하여 Minimum moment algorithm(Callahan 외 1992)이 적용되는 resource leveling”

1) 이 기법은 일일 자원 요구량의 표현이 필요하고, 일정조정에 따라 변화하는 free float의 계산이 빈번히 요구되기 때문에 CBC의 효과를 입증하기에 적절한 예제라 판단되어 선택되었다. 이 외에도 “자원계약이 고려된 일정계획”, “작업 분리가 적용되는 일정계획”, “복수의 calendar가 고려되는 일정 계획”, “공기지연 분석” 등의 일정과 관련되는 다양한 이론들을 설명하는데 CBC는 상당히 효과적이라 판단된다.

과정을 설명한다. 이 기법은 x축(혹은 시간 축)에 대한 시간 단위별 자원 사용량의 모멘트를 최소화하여 프로젝트 수행 기간 동안 전체 자원사용의 균등화를 시도한다. 이 과정에서는 다음과 같은 모멘트 “개선 효과” (Improvement Factor, 이하 IF) 식이 사용된다.

$$IF_{n,3} = r \left(\sum x_i - \sum u_i - m \right) \quad (1)$$

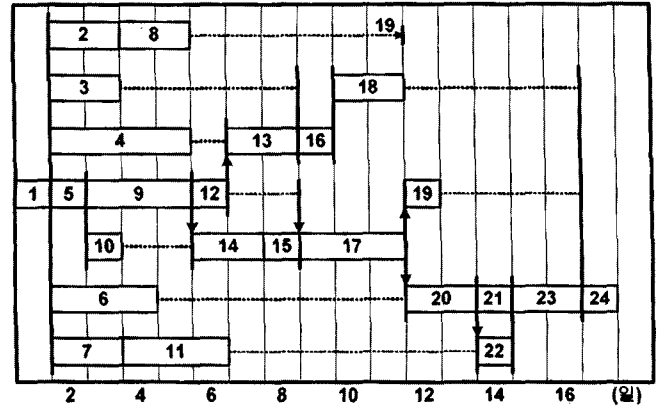
$IF_{n,3}$ = 작업 n을 3일 이동할 경우의 개선효과

r = 해당 작업의 자원 요구량

m = 해당 작업의 이동일 혹은 작업기간 중 최소 값

x_i = 자원요구가 줄어드는 기간동안의 현재 자원소요량

w_i = 자원요구가 늘어나는 기간동안의 현재 자원소요량



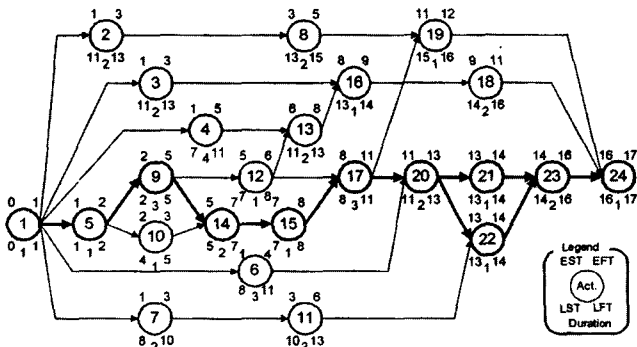
(d) CPM bar chart

그림 7. Fenced bar chart와 CPM bar chart의 비교

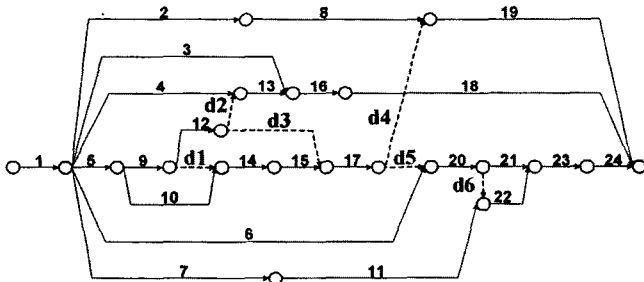
각 작업은 free float의 범위에서 이동될 수 있는데, 이동하였을 때, IF값이 0 보다 클 경우 모멘트의 개선효과가 있게 된다. 이 기법의 전체 과정은 먼저, 각 작업들의 leveling 순위를 네트워크의 논리에 따라 정한다. “네트워크에서 첫 번째 수행될 수 있는 모든 작업들이 1순위, 1순위 작업 이후에 수행될 수 있는 모든 작업들이 2순위, 2순위 작업 이후에 수행될 수 있는 모든 작업들이 3순위, ...”와 같은 과정으로 전체 작업들의 순위를 정한다. 순위가 결정되면, 순위 값이 가장 높은 작업들에서 낮은 순위로, 각 순위에 속해있는 작업들의 IF를 계산하여, 0 이상 최대 값이 나타나는 기간만큼 해당 작업을 이동한다. 이 과정은 한 순위에 속하는 전체 작업들의 IF가 음수가 될 때까지, 혹은 더 이상의 작업들이 유효한 free float를 가지지 않을 때까지 계속된다. 한 순위에 대한 모든 과정이 끝나면, 다음 순위로 넘어가서 동일한 과정을 거친다. 이 과정은 1순위의 모든 작업들이 확인될 때까지 반복되어, 전체 일일 자원 요구량의 시간에 대한 모멘트의 최소화를 시도한다.

그림 8은 resource leveling의 과정을 보여준다. 먼저, 그림 8(a)는 예제 일정을 나타내는데, 네트워크의 논리에 따라 작업들의 순위가 파악되었다. 이 일정을 CBC로 표현하면 그림 8(b)와 같다. 이 차트에서 각 작업의 자원 요구량, 일당 전체 자원 요구량, 일당 자원 요구량 히스토그램 등을 보여준다.

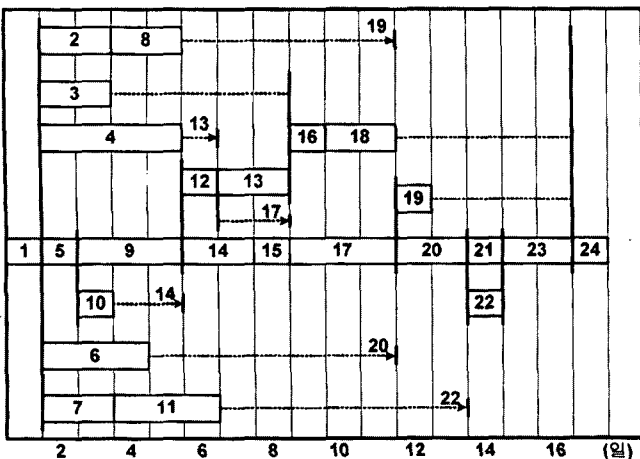
먼저 우선순위가 가장 큰 5순위에 해당하는 작업은 90과 100이 있으며, 90이 free float를 가지므로, 이 기간 동안의 이동 가능성을 IF값을 통해 점검한다. $IF_{90,1} = 2(5-3-1 \times 2) = 0$ 으로 계산되고, 0 이상이므로 작업 90을 1일 이동 시킨다. 이 결과는 그림 8(c)와 같다. 작업 90의 하루 이동으로 작업 40과 50은 각각 하루의 free float가 증가되었음을 도식적으로 쉽게 알 수 있다. 작업 90의 이동 이후, 더 이상의 free float를 가지는 작업이 존재하지 않으므로 5순위에 대한 과정을 마치고, 4순위의 작업으로 넘어간다. 4순위에는 작업 80이 있지만,



(a) CPM 일정



(b) AOA 네트워크



(c) fenced bar chart

이상의 예제에서와 같이 CBC를 이용하면, 네트워크의 논리를 그대로 유지하면서, 자원의 일일 사용량을 표현하기가 용이하고, fence의 상황에 따라 free float의 변화를 즉각적으로 알 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점으로 resource leveling, resource constrained scheduling, 작업 분할에 따른 일정 갱신 등 다양한 일정계획 및 관리에 대한 교육적 효과를 높일 수 있으리라 기대된다. 또한 실무에서도 다양한 프로젝트 참여자들 간의 공사 일정과 관련한 원활한 의사소통에도 상당한 기여가 가능할 것이다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 바차트와 CPM 네트워크를 결합한 CBC(CPM bar chart) 기법을 제시하였다. 이 기법은 기존의 FBC(fenced bar chart)의 장점을 유지하면서 fence의 분리에 따른 문제점들을 보완하였다. CBC에서는 fence의 분리 유무를 파악하기 위한 더미 작업을 확인하는 과정이 필요 없다. 또한, fence의 분리와 레이블의 사용 대신, fence에 방향성을 부여하여 레이블의 사용 없이 작업 논리의 연속성을 가능하게 한다. 두개의 예제 일정을 통해 소개되었듯이 CBC는 적용과 이해가 용이함으로써 상호간의 원활한 의사소통이 요구되는 공정관리 관련 실무 및 교육적 활용에 가치가 있으리라 기대된다.

본 연구에서 소개된 CBC는 작업들 간의 관계가 “종료 후 즉시 시작 (0의 lag 시간을 가지는 finish-to-start)”에 한정되어 사용될 수 있다. 향후 연구에서는 다양한 작업들 간의 관계를 효과적으로 표현하기 위해 PDM에서 표현 가능한 관계, 즉, 특정 lag 시간을 가지는 start-to-start, start-to-finish, finish-to-start, finish-to-finish 관계의 고려가 필요하다. 이 작업들 간의 관계는 현재 대부분의 공정관리 시스템에서 구현되고 있고, 각 작업들은 다른 작업들과의 관계가 표시되면서

바차트의 형태로 나타난다. 하지만, 이들 차트는 작업의 수가 증가하면, 작업들 간의 관계가 서로 중첩되어 이 관계를 명확히 파악하기 힘든 실정이다. 따라서 PDM 관계가 적용 가능한 CBC 기법에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

또한, 능률적인 실무 활용을 위해 작업들의 데이터만으로 CBC를 자동적으로 작성하는 컴퓨터 프로그램의 지원 역시 필요할 것으로 판단된다. 그리고 이 프로그램은 기존의 공정관리 시스템과 통합되어 데이터 이중 입력의 추가적인 시간과 입력 과정에서 발생할 수 있는 오류의 가능성을 제거 하여야 할 것이다.

참고문헌

1. Callahan, M. T., Quackenbush, D. G., and Rowings, J. E. Construction Project Scheduling, McGraw-Hill, NY, 1992.
2. Clough, R. H., Sears, G. A. and Sears S. K., Construction project management 4th Ed, Wiley & Sons, NY, 2000.
3. Hinze, Jimmie M. Construction Planning and Scheduling 2/E, Prentice Hall, NJ, 2004.
4. Liberatore, M. J., Pollack-Johnson, B., and Smith, C. A. "Project management in construction: software use and research directions" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 127, No. 2, 2001.
5. Melin, J. W. and Witeaker, B., "Fencing a Bar Chart," Journal of Construction Division, ASCE Vol. 107, No. 3, 1981.
6. 이재섭 “바차트를 이용한 건설공사의 공기지연 분석방법,” 대한건축학회 논문집 제17권 제1호, 2001

Abstract

This paper proposes the CPM bar chart (CBC), a hybrid of the bar chart and the critical path method (CPM). The CBC overcomes shortages of the fenced bar chart, while still keeping advantages. The fence with direction is applied instead of the broken fence, which triggers considerable problems to identify and apply in the fenced bar chart. In addition, the notorious task to find dummy activities is no longer required. Upon the benefits of simplicity in the bar chart and logical work sequence in the CPM network, the CBC provides a relatively easy way to create and understand a schedule, thus improving communication quality between project participants. With the advantages, the CBC can also be effectively applied to various scheduling techniques such as resource constrained scheduling, resource leveling, scheduling with activity split, delay impact analysis, etc.

Keywords : CPM, bar chart, scheduling, resource leveling.