

작업공간과 자원의 여유시간 최소화를 통한 반복작업 공정계획기법

Network Compression by Saving Idle Time of Resources and Spaces for Repetitive Activities

이 규 진*

Yi, Kyoo Jin

요 약

공간의 분할이 많은 건축공사에서는 반복적 특성으로 인해 공정계획상에 다수의 대안이 존재한다. 공사기간은 각 액티비티의 기간뿐 아니라 반복되는 액티비티의 배열방법에 의해서도 많은 영향을 받는다. 본 연구는 각 액티비티에 적절한 선행 액티비티를 할당함으로써 여유시간을 최소화하는 공정계획기법을 제시하는 것을 목적으로 진행되었다. Line of Balance 기법을 기본으로 하는 기존연구와는 달리 본 연구에서는 AON방식의 네트워크 기법을 기본으로 하여 공간과 자원의 두 축 사이에 액티비티를 배열하였다. 각 액티비티별로 자원과 공간의 양방향으로 가장 적절한 선행 액티비티를 검색하여 여유시간을 최소화한다. 본 연구에서 제시한 액티비티 배열방법을 공동주택공사 건설공사를 대상으로 적용한 결과, 액티비티 배열을 달리함에 따라서 다수의 대안이 존재함을 확인할 수 있었으며 그중 적정대안을 찾아낼 수 있었다. 본 기법은 공동주택공사와 같은 다수의 유사공간으로 구성된 건설공사의 공정계획에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

키워드 : 공정계획, 공정관리, 자원, 작업공간, 공기단축

1. 서론

건설공사에서는 불확실한 요소가 다수 존재하므로 공정계획과 실제공정이 완전히 일치하기는 어려우나, 실제에 최대한 근접한 계획을 위한 노력이 필요하다. 계획된 공정과 실제공정과 차이를 감소시키기 위해서는 경험적 요소가 많이 요구되지만, 기법적인 해결도 병행되어야 보다 합리적인 공정계획이 가능할 것이다.

PERT/CPM을 비롯한 공정계획기법들은 공정표의 작성보다는 작성된 공정표의 해석에 더 많은 비중을 두고 있다. 그러나 건설공사에서는 공정계획상의 다수의 대안이 존재하는 경우가 많으며, 액티비티 상호간의 연결방법에 의해서도 주공정선과 전체공사기간이 변할 수 있다. 특히 공사구획(공간)의 분할이 많고 다양한 종류의 자원이 투입되는 경우일수록 공간과 자원 상호간의 연관성에 의해 반복작업이 많이 발생하여 공정계획상의 여러 대안이 가능하게 된다. 이 경우 가장 합리적인 안을 도출하기 위해서는 반복작업이 발생하게 되는 주요원인에 해당하는 공간과 자원에 대한 이해가 필요하다.

반복작업의 공정계획 합리화와 관련된 모델로는 "Line of

Balance"(O'Brien 1969), "Planning Repetitive Units"(Carr 1974), "Vertical Production Method"(O'Brien 1975), "Construction Planning"(Selinger 1980), "Time Space Scheduling"(Stradal 1982), "Space-Constrained Resource-Constrained Scheduling"(Thabet 1992) 등을 비롯한 많은 연구가 있었고, Harris(1998)는 위 모델들의 통합한 RSM(Repetitive Scheduling Method) Diagram을 제안하였다.

기존 연구들은 시간과 공간(혹은 구획)을 xy축으로 하는 LOB(line of balance)기법을 기본으로 하고 있어 PERT/CPM으로 구현하는데 어려움이 있고 세부공정을 네트워크로 표현하는데 한계가 있다. 특히 시각적 이해도를 높이기 위해 시간과 공간축으로 구성된 도표를 사용하다보니 각 액티비티간의 연결방법에 대해 구체적으로 다루기 어렵다. 또한 하나의 공종을 하나의 작업조가 수행할 경우에 대해서만 다루고 있으므로, 같은 공종에 대해 복수의 작업조가 구역을 나누어 작업할 경우에 대한 고려가 어렵다는 점도 기존연구들에서 고려하지 못한 점 중의 하나이다.

본 연구에서는 LOB기법이 아닌 네트워크기법을 기본모델로 하여 공간과 자원간의 관계를 분석하고 공정계획상의 최적대안을 도출하는 기법을 제시하고자 한다. 기존의 LOB기법은 시간과 공간을 좌표축으로 구성하고 있는 반면, 본 연구에서 제시할 기법

* 정희원, 한경대학교 안전공학과 전임강사

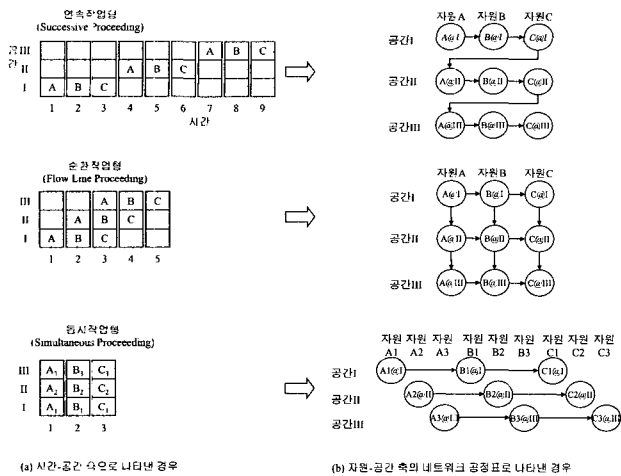


그림 1. Stradal(1982)의 작업진행방식의 분류

은 수평과 수직방향으로 각각 자원과 공간을 나열하고 각각의 교점에 액티비티가 할당되는 일종의 AON방식의 네트워크 공정표를 사용한다. 이러한 공정표를 이용하여 반복작업의 발생패턴을 분석하고 액티비티의 연결을 최적화하여 공사기간을 단축시키는 기법을 제시한다. 본 연구에서 제시할 기법은 공동주택과 같이 유사한 공간이 많고 다양한 자원이 반복적으로 투입되는 건설공사의 공정계획에 유용할 것으로 기대된다.

본 연구는 다음과 같은 방법으로 수행한다.

- (1) 기존연구에서 제시한 공간-시간축의 LOB공정표를 네트워크공정표로 변환하기 위하여 자원-공간축으로 구성된 AON방식의 공정표를 구축한다.
- (2) 공정표의 분석을 위하여 반복작업에서의 자원과 공간과 관련된 기본 개념을 정립한다.
- (3) 자원과 공사구획간의 관계로부터 반복작업의 특성을 도출한다.
- (4) 정립된 개념을 반복작업의 특성에 적용하여 공사기간을 단축시키는 방법을 고찰하고 반복작업의 공정계획시의 액티비티 연결의 합리화기법을 제시한다.
- (5) 제시한 기법을 사례적용하여 공사기간의 단축 가능성을 비교한다.

2. 반복작업 공정계획의 기본개념

건설공사는 공정계획상에 다수의 대안이 가능하다. 그림1(a)에 나타난 Stradal(1982)의 작업진행방식의 분류는 액티비티 연결 방법에 의해 어떻게 공사기간이 변할 수 있는가를 보여주는 한 예이다. Stradal은 시간과 공간을 각각 x축과 y축으로 나타내고, A, B, C 등의 작업조를 투입하여 작업을 진행하는 방식을 예로 들어 연속작업형(successive proceeding), 순환작업형(flow line proceeding), 동시작업형(simultaneous proceeding) 등

으로 분류하였다. 여기서 Stradal의 모델은 작업진행방식의 분류만을 보여주고, 공사기간의 합리화를 위한 각 액티비티 연계방법을 제시하지는 않았다. 본 연구에서는 이러한 반복작업의 공정계획의 합리화를 위해 필요한 개념들을 다음과 같이 정립한다.

(1) 액티비티의 호칭 및 배치

Stradal이 제안한 작업진행방식의 분류를 AON방식의 네트워크 공정표(precedence diagram)로 나타낸다면, 각각 그림1(b)와 같은 형태로 표현할 수 있다. 이러한 공정표는 수평방향으로는 자원의 순에 따라, 수직방향으로는 공간의 순에 따라 나열된 두 개의 축의 교차점에 각각의 액티비티를 배치한 형태이다. 여기서 각 액티비티의 명칭은 “자원@공간”의 형태로 정하였다. 예를 들어 자원A가 공간I에서 수행하는 액티비티는 “A@I”로 정한다.

(2) 자원진행선 및 공간진행선

그림2는 네 개의 작업구획(공간)에 세 종류의 작업조(자원)가 투입되는 순환작업형 공정표이다. 작성된 공정표에서 작업조 A, B, C의 기간을 각각 5, 10, 6일로 가정하여 일정계산을 하였다. 그림2의 공정표에서 수평방향으로는 각 공간에 투입되는 자원을 알 수 있으며, 수직방향으로는 각 자원이 거쳐야할 공간을 알 수 있다. 본 연구에서는 특정자원이 거쳐야할 공간의 나열, 즉 그림2의 수직방향선을 “자원진행선”이라 정의하고, 특정공간에 투입될 자원의 나열, 즉 그림2의 수평방향선을 “공간진행선”이라 정의한다. 더불어, 자원진행선상의 연속된 두 액티비티에서 선행액티비티와 관련된 공간을 “선행공간”으로 후속액티비티와 관련된 공간을 “후속공간”으로 정의한다. 공간진행선상에서도 같은 개념에 의해 “선행자원”과 “후속자원”으로 구분한다.

(3) 자원의 여유시간, 공간의 여유시간

그림2에서 자원B가 수행하는 공정, 즉 자원B의 진행선은 모두 주공정선에 해당한다. 반면 자원A와 자원C는 각각 하나씩의 공정만 제외하면 모두 여유시간을 갖는다. 예를 들어 자원C의 경우 공간III에서의 작업을 끝내고 공간IV로 이동하고자 할 경우, 선행자원B의 작업이 끝나지 않아 4일간의 여유시간이 발생한다. 이를 본 연구에서는 “자원의 여유시간(idle resource)”이라 칭한다. 공간의 경우도 여유시간이 발생한다.

예를 들어 공간II의 경우 자원A의 작업이 끝난 후로부터 자원B가 작업을 시작하기까지 5일간의 여유시간이 발생한다. 즉 공간II는 5일간 작업이 없는 상태로 지속된다. 본 연구에서는 이를 “공간의 여유시간(idle space)”라 칭한다. 공기단축의 최종목표는 이러한 자원과 공간의 여유를 최소화하여 전공간에서 모든 자원의 연속성을 확보하는 것이다.

(4) 주공정자원 및 주공정공간

본연구에서는 여유시간이 발생하지 않는 공간과 자원을 각각 “주공정공간(critical space),” 및 “주공정자원(critical resource)”으로 정의한다. 그림2의 공정표에서는 자원B가 주공정자원에 해당하며 주공정공간은 발생하지 않는다.

(5) 동종자원

공사기간의 단축을 위해 하나의 공종에 대해 둘 이상의 작업조를 투입, 서로 다른 구역에서 작업을 진행시키는 방법을 택하는 경우가 있다. 이와 같이 서로 다른 구역에서 동일한 공종을 수행하는 자원을 본 연구에서는 “동종자원”이라 칭한다.

3. 공간과 자원의 여유시간의 최소화를 통한 공기 단축

그림2의 공정표에서 공사기간을 단축하기 위해서는 주공정공간에 해당하는 자원B의 기간을 단축시키는 방법을 고려할 필요가 있다. 생산성이 일정할 경우 공사기간의 단축방법에는 돌판작업과 같이 작업시간 자체를 늘이는 방법과 동종자원을 추가투입하는 방법을 고려할 수 있다. 여기서는 동종자원을 추가투입하는 방법으로서 자원B를 두 배로 늘려 그림3과 같이 자원B1과 자원B2의 2개조로 나누어 투입하는 방법을 고려해본다. 여기서 자원B1은 공간I과 II를 자원B2는 공간III과 IV를 각각 담당한다. 자원B1과 자원B2는 서로 다른 구역에서 공사를 수행하지만 동종자원으로서 동일한 내용의 작업을 수행한다. 전체공사기간은 51일에서 43일로 감소되었다.

그러나 그림3의 공정표에서는 합리적이지 못한 부분을 발견할 수 있으며 공기단축의 여지가 있다.

그림3의 공정표의 액티비티 연결순서를 그림4와 같이 변경할 경우, 즉 자원B1이 공간I, III을, 자원B2가 공간II, IV를 각각 담당하는 것으로 변경할 경우 공사기간은 43일에서 39일로 단축되었다. 그림 4에서는 공간I가 주공정공간이 되고 자원C가 주공정 자원이 된다.

따라서 더 이상의 공기단축을 위해서는 자원C의 추가투입이나 공간I에서의 작업방식의 변경 등을 고려해볼 수 있다. 만약 공간I에서 자원B와 자원C의 병행작업이 최소 1일간 가능하다면 공정표는 그림5와 같이 변경할 수 있고 공사기간은 38일로 단축된다. 자원B와 자원C의 병행작업을 그림6과 같이 3일간으로 연장시킬 수 있다면 모든 공간과 자원이 주공정화되고 공간과 자원의 여유시간이 모두 0가 된다.

즉 전공간에서의 자원의 연속성이 확보되고 모든 공간에서 작업이 중단 없이 지속되는 수준에 도달한다.

그림3과 그림4의 공정표를 비교하면 동일한 양의 자원을 각 공

간별로 동일한 순서에 의해 투입하더라도 액티비티 연결방식에 따라 공사기간에 차이가 발생함을 알 수 있다. 그림4의 경우는 간단한 경우이므로 직관에 의해서도 액티비티 순서 조정이 가능하나 보다 복잡한 공정표에서는 체계적인 방법이 필요하다. 즉 작업 가능한 공간에 먼저 자원을 투입할 수 있도록 액티비티 연결을 조정해주는 기법이 요구된다.

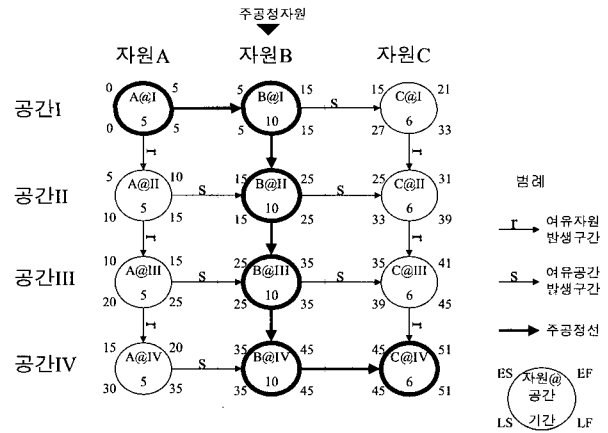


그림 2. 공간과 자원의 여유시간

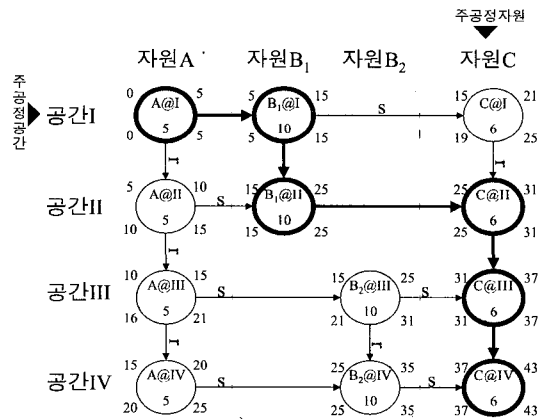


그림 3. 자원B를 추가투입한 경우의 공정표

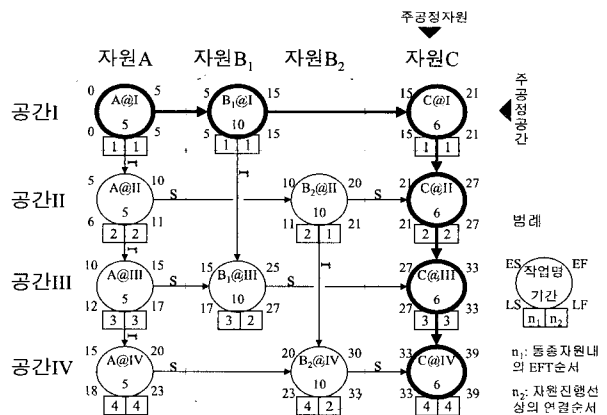


그림 4. 액티비티 연결순서의 변경

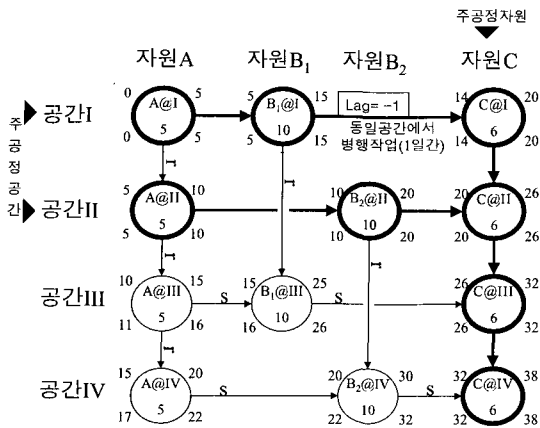


그림 5. 동일공간에서의 병행작업을 통한 공기단축

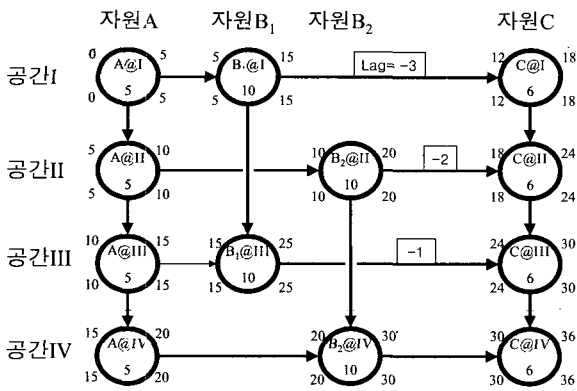


그림 6. 모든 자원과 공간의 주공정화

4. 액티비티 연결의 최적화기법

본 연구에서는 액티비티 합리적 연결을 체계화하기 위한 기법으로서 그림7과 같은 방식을 제시한다. 그림7은 6개의 공간에 자원 i 1개조, 자원 j 2개조를 i-j의 순으로 진행할 경우(i는 j의 선행자원)의 액티비티 연결방법을 예시한 것이다. 기법의 세부적인 절차는 다음과 같다.

(1) EFT 순서에 따른 번호부여

선행자원의 각 액티비티별 EFT를 계산하여 빠른 것으로부터 순서를 부여한다. 그림4와 그림7에서 각 액티비티하단의 좌측에 표시된 번호는 동종자원내의 EFT순서를 나타낸 것이다.

(2) 공간진행선상의 후속자원의 결정

자원 i의 EFT가 빠른 것부터 순서에 따라 후속자원 j를 j_1, j_2, j_3 의 순으로 교대로 연결한다. 그림7의 경우 액티비티 i@I가 가장 EFT가 빠르므로 자원 j_1 를 연결하였고 다음으로 EFT가 빠른 i@III에 자원 j_2 를 연결하였다. 이러한 원칙에 따라 그림 4에서도

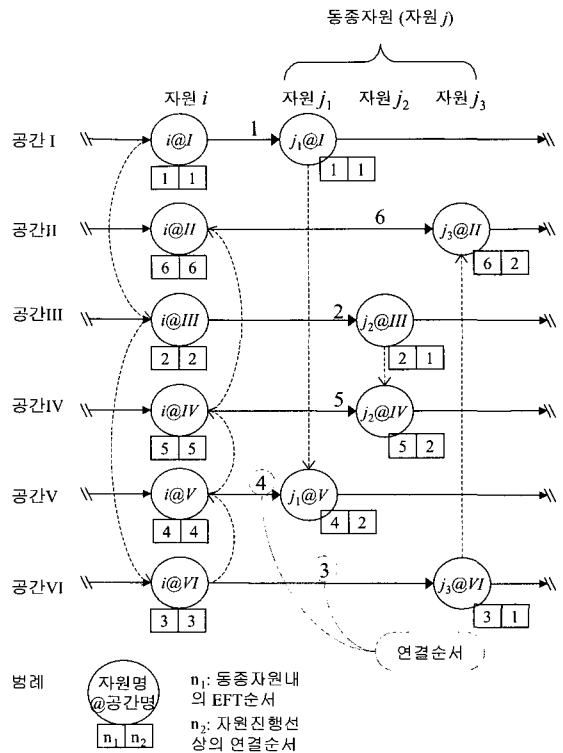


그림 7. 복수 작업조에서의 액티비티 연결

A@I가 EFT가 5일로서 가장 빠르므로 자원 B1을 연결하였으며, EFT가 10일로 두 번째로 빠른 A@II에 자원 B2를 연결하였다.

(3) 자원진행선상의 순서의 결정

자원진행선상의 후속공간은 각 자원별로 (2)항에서의 공간진행선상의 선행자원이 결정된 순서에 따라 자원진행선상의 순서를 정한다. 즉 공간진행선상의 선행액티비티의 EFT가 빠른 것 순으로 자원진행선상의 액티비티간의 순서가 정해진다. 그림7에서 자원 j_1 과 관련된 두 액티비티 중 $j_1@I$ 의 공간진행선상 선행 액티비티 i@I가 $j_1@V$ 의 i@V보다 EFT가 빠르므로 $j_1@I$ 가 $j_1@V$ 의 자원진행선상의 선행액티비티가 된다. 같은 원칙에 따라 그림4에서도 자원 B1의 진행선상의 두 액티비티 B1@I와 B1@III간의 순서는 공간진행선상의 선행액티비티의 EFT가 각각 5일과 15일이므로 B1@I가 B1@III의 선행액티비티로 정해진다. 그림4와 그림7에서 액티비티 하단의 우측에 표시된 번호는 자원진행선상의 순서를 나타낸 것이다.

5. 사례적용

본 연구에서는 전장에서 제시한 액티비티 연결의 합리화를 통한 공기단축기법을 사례적용을 통해 예시한다. 사례현장은 18층 12개동으로 구성된 공동주택단지로서 각 동마다 6개층씩 공사구획을 나누어 진행한다. 본 사례연구에서는 관련공정 중 대표적인

로 여섯 종류의 작업과 공사구획 중 일부만을 대상으로 하여 사례 적용을 한다. 각 작업의 구획별 소요기간 및 투입작업조수는 표1과 같다. 공사구획을 표2와 같이 나누고 표3과 같이 작업조를 할당하였다.

액티비티를 공간과 자원에 대하여 그림8과 같이 단순하게 정렬한 경우 전체 공사기간은 166일이 된다. 그러나 이러한 경우 액티비티의 연결방법에는 그림8 외에도 여러 대안이 존재한다. 예를 들어 창호 2조는 구획 04의 조적이 완료될 때까지 대기하지 않고, 작업이 가능한 구획, 즉 조적작업이 끝난 구획 05에서 먼저 창호작업을 시작할 것이다. 따라서 작업 가능한 공간에 먼저 자원을 투입할 수 있도록 액티비티 연결의 조정이 필요하다.

표 1. 작업별 소요기간 및 투입작업조수

순서	작업명	소요기간	작업조수
1	조적	10	3
2	창호	12	4
3	방수	10	3
4	미장	6	2
5	수장	8	3
6	타일	10	3

표 2. 공사구획의 분할

구획	동	층	구획	동	층	구획	동	층
01	1	1-6	13	1	7-12	25	1	13-18
02	2	1-6	14	2	7-12	26	2	13-18
03	3	1-6	15	3	7-12	27	3	13-18
04	4	1-6	16	4	7-12	28	4	13-18
05	5	1-6	17	5	7-12	29	5	13-18
06	6	1-6	18	6	7-12	30	6	13-18
07	7	1-6	19	7	7-12	31	7	13-18
08	8	1-6	20	8	7-12	32	8	13-18
09	9	1-6	21	9	7-12	33	9	13-18
10	10	1-6	22	10	7-12	34	10	13-18
11	11	1-6	23	11	7-12	35	11	13-18
12	12	1-6	24	12	7-12	36	12	13-18

표 3. 구획별 작업조의 할당

구획	조적	창호	방수	미장	수장	타일
01	1조	1조	1조	1조	1조	1조
02	1조	1조	1조	1조	1조	1조
03	1조	1조	1조	1조	1조	1조
04	1조	2조	1조	1조	1조	1조
05	2조	2조	2조	1조	2조	2조
06	2조	2조	2조	1조	2조	2조
07	2조	3조	2조	2조	2조	2조
08	2조	3조	2조	2조	2조	2조
09	3조	3조	3조	2조	3조	3조
10	3조	4조	3조	2조	3조	3조
11	3조	4조	3조	2조	3조	3조
12	3조	4조	3조	2조	3조	3조

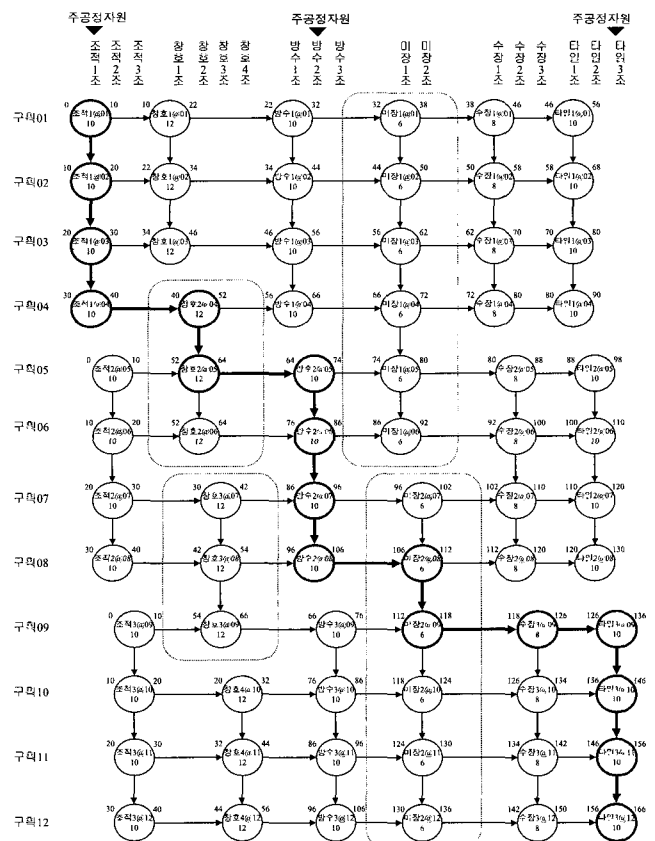


그림 8. 제1안 : 조정전

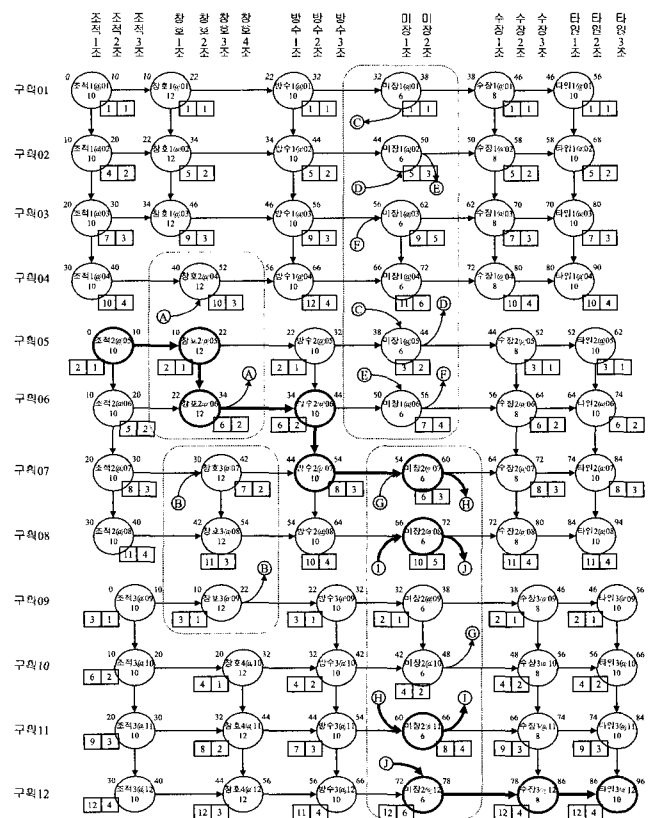


그림 9. 제2안 : 액티비티 연결순서의 조정후

그림8의 공정표에서 점선으로 표시된 부분(창호2, 창호3, 미장 1, 미장2)의 자원진행선상의 순서를 본 연구에서 제시한 액티비티연결방법에 의거하여 그림9와 같이 조정하면 전체공사기간은 96일로서 그림8의 공정표보다 70일이 단축된다. 이러한 결과는 각 공종별 진행순서는 같더라도 작업구획(공간)의 순서를 조정함으로써 공사기간이 크게 변할 수 있음을 보여주는 것이다. 즉 공사구획의 분할이 많을 수록 공정계획에서 자원뿐만 아니라 공간의 순서 역시 공사기간에 중요한 영향을 미치는 요소임을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 반복작업의 공정계획에서 공간과 자원으로 인해 반복작업이 발생하는 패턴을 분석하고 액티비티의 순서결정을 합리화하는 기법을 제시하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

본 연구에서는 반복작업의 공정계획과 관련하여 공간과 자원의 두 개의 축으로 구성된 AON방식의 공정표를 제시하고 공정표 분석을 위한 주요개념을 정립하였다.

정립된 개념에 의거하여 공정표로부터 공간과 자원의 여유시간을 계산하고 공정계획의 적정대안을 도출하는 기법을 제시하였다.

제시된 기법을 사례적용한 결과 반복작업에서는 액티비티의 연결순서에 여러 대안이 존재함을 확인하였고, 각 대안별로 공사기간에 액티비티의 연결방법이 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 각 공종별 진행순서가 같더라도 작업구획(공간)의 순서를 조정함으로써 동일 액티비티하에 공사기간이 최소화된 대안을 제시할 수 있었다.

반복작업의 공정계획시 자원뿐만 아니라 공간의 순서 역시 공사기간에 중요한 영향을 미친다. 따라서 공정계획에서 비용 및 자원과 더불어 공사구획의 분할, 자원의 공간이동 순서에 대해서

도 충분한 고려를 해야할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 기법은 네트워크 기법을 기본으로 한 것이므로 Line of Balance 기법을 기본으로 하는 기존의 연구와의 접목 및 학습곡선(Learning Curve)의 고려 등에 대한 후속연구를 통하여 실용성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 이규진 (1993) "가용공사공간의 개념을 고려한 스케줄링기법에 관한 기초적 연구," 대한건축학회논문집(구조계) 제14권 8호.
2. Carr, R. I., and Meyer, W. L. (1974), "Planning construction of repetitive building units," J. Constr. Div., ASCE, 100(3), 403-412.
3. Harris, R. B., et al. (1998), "Scheduling projects with repeating activities," J. Constr. Enginrg. and Mgmt., ASCE, 124(4), 269-278.
4. O'Brien, J. J., (1969), Scheduling handbook, McGraw-Hill Inc., New York, N.Y.
5. O'Brien, J. J., (1975), "VPM scheduling for high-rise buildings," J. Constr. Div., ASCE, 101(4), 895-905.
6. Selinger, S. (1980), "Construction planning for linear projects," J. Constr. Div., ASCE, 106(2), 195-205.
7. Stradal, O., and Cacha, J. (1982), "Time space scheduling method," J. Constr. Div., ASCE, 108(3), 445-457.
8. Thabet, W. Y. (1992), "A space-constrained resource-constrained scheduling system for multi-story buildings," PhD Dissertation, Virginia Tech, Blacksburg, Va.

Abstract

In scheduling multi-unit projects, several alternatives can exist in network construction due to repetitiveness of their activities. Project duration is affected not only by the duration of each activity but also by the arrangement of repeating activities in such projects. This paper provides a network compression method that assigns predecessors to each activity to minimize its float time. Different to the previous efforts that utilized line of balance as the base scheduling-model, this research adopts precedence diagram arranged in two coordinates, the space axis and the resource one. This method seeks the most appropriate predecessors for each activity in each direction of the two coordinates for the purpose of minimizing the idle resource and space. This activity arrangement method was applied to a multi-unit apartment-construction project, to prove its capability of network compression. The result shows that the method successfully sought room for saving construction duration by changing the activity arrangement. The network compression method presented in this research can be utilized in multi-unit construction projects such as apartment complex projects.

Keywords : Scheduling, Schedule Control, Resource, Work Space, Schedule Compression