

린 건설 원리에 기초한 건설 생산 공정 분석 모델에 관한 연구

Development of CPAM(Construction Process Analysis Model) based on Lean Construction Principles

김 찬 현* · 김 창 덕**

Kim, Chan Hun · Kim, Chang Duk

요 약

본 연구에서는 작업 신뢰도 향상의 한 방안으로 기존 공정 관리 기법 상의 한계점을 분석하여 이를 보완하고자 하였다. 그 결과로써 린 생산 원리를 적용한 건설 생산 공정 개선 모델인 CPAM(Construction Process Analysis Model)을 제시하였다. CPAM의 변이 관리 기법을 통해 작업 변이를 최소화시켜 공정계획의 신뢰도 향상 및 생산 효율을 증대시킬 수 있도록 하였고 CPAM에서 제시된 세부작업 일정 계획과 주간작업계획을 통해 건설 현장의 작업 흐름에서 나타날 수 있는 자재, 장비, 인력 등의 재고(Inventory or Work In Process, WIP)를 감소시킬 수 있도록 하였다. 또한 본 연구는 건설 생산을 작업 흐름의 관점으로 분석함으로써 기존의 분석에서 놓치기 쉬운 작업 흐름상에서의 불확실성을 최소화시키고 작업 처리량을 최대화시킬 수 있는 대안을 제시하는 데 그 의의가 있다.

키워드 : 린 건설, 흐름 생산, 작업 신뢰도, 세부작업 일정 계획, 주간작업계획

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

건설시장 개방으로 인하여 우리 건설업체는 선진 기술력과 관리능력을 갖춘 세계 우수 건설업체와 치열한 경쟁이 불가피하다. 그러나 김창덕(2000)A, B 등에서 보여 주듯이 우리 건설 경쟁력은 미국·영국 등 건설 선진국에 비해서 뒤떨어지고 있는 것으로 조사되고 있다. 우리와 유사한 상황에 처해 있던 영국의 경우 린 제조시스템을 건설산업에 응용하여 상당한 성과를 거두고 있다.

적용 사례로써 영국의 세계적 유통회사인 Tesco社가 自社의 건설 프로젝트에 린 제조시스템을 시범적으로 실시해 본 결과 공사비의 40% 절감이라는 놀라운 효과를 거둘 수 있었고 이에 영국 건설교통부에서는 그 후속사업으로 시범 프로젝트를 선정하여 린 건설의 활용을 적극 추진 중이다(DETR 1999).

영국에서의 린 건설 추진 현황을 고려해 볼 때 건설 산업이

전체 산업에 대해 차지하는 비중이 영국의 2배 이상인 우리나라에서 린 건설을 통해 건설 생산의 효율을 높일 수 있다면 그 효과는 대단할 것이다. 그러나 린 건설은 그 이론과 실재가 아직 초기 단계이고 국가마다의 건설산업환경¹⁾에 많은 영향을 받기 때문에 우리 건설산업 환경에 맞는 기법을 개발하는 데 본 논문의 목적이 있다.

1.2 연구 범위 및 방법

건설 프로젝트가 대형화 될수록 공정계획은 점점 더 복잡해지며 부적절한 공정계획 시 자원의 낭비와 공사기간의 연장을 초래하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 공정계획의 신뢰도를 향상시키는 것이 무엇보다 중요한 것으로 나타나고 있다(Ballard, 1999). 공정 계획의 신뢰도 향상은 안정적인 작업 흐름, 높은 생산성 향상과 더불어 생산 품질의 향상에 있어서 매우 중요하며 이를 위해서 린 원리의 적용이 효율적이나 우리나라에서 이 기법에 관한 연구는 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존 건설 생산 시스템의 문제점을 분석

* 학생회원, 광운대 대학원 석사

** 종신회원, 광운대 건축학부 정교수, 공학박사

† 이 논문은 2001년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

1) 예를 들면, 계약·구매·외주·안전의식·조직문화(culture)·품질의식·수행방식·기능인력 기능도·신뢰도 등

하고 그 중에서도 공정 관리 기법 상에서의 한계점을 해결하기 위한 방안으로써 린 원리를 적용한 세부작업 일정 계획 방안에 대해 제시하고자 한다. 본 연구에서는 전술한 연구목적을 달성하기 위해 <그림 1>과 같은 절차와 방법을 이용하였다.

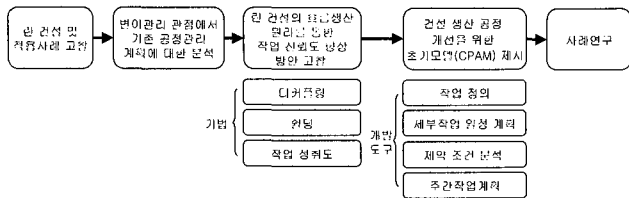


그림 1. 연구의 흐름도

2. 예비적 고찰

2.1 린 생산 시스템(Lean Production System)

LPS 개념은 1973년 1차 오일 쇼크 이후 많은 기업들이 도입한 생산 방식인 JIT(Just-In-Time) 생산방식을 바탕으로 하고 있다. JIT는 1991년 자동차 산업분야에서 가장 혁신적인 생산성 향상을 보여준 일본의 토요타 생산 시스템²을 성공 모델로 한 생산 철학이라고 할 수 있다. 이러한 일본의 토요타 생산 시스템을 James Womack 등이 성공 모델로 제시하였고 이 모델을 개념적으로 분류하여 소개한 것이 LPS이다(Womack et al., 1991).

다음 <그림 2>는 생산 활동에서 생산 효율과 재고 수준의 함수관계를 보여 주는 비유적 그림으로써 배의 이동은 생산 활동의 움직임, 수면의 깊이는 재고량을, 그리고 압초는 생산활동의 각종 문제점들을 나타낸다. 여기서 수면의 깊이는 예기치 못한 일에 대한 완충 작용의 역할을 하는 재고 수준을 상징한다. 그림 <가>의 경우 여유로운 수면 깊이, 즉 높은 재고량을 가지고 생산활동 관리를 하게 되면 표면적으로는 별다른 문제점이 없이 생산활동을 하는 것처럼 보이지만 실제로는 이러한 높은 재고량으로 인해 수많은 생산활동 상의 문제점들을 인식하지 못하고 그대로 지나치게 된다. 즉, 이로 인한 높은 재고비용 부담은 물론이고 생산활동에서의 많은 문제점은 그대로 존재하게 되며 이는 곧 생산의 비효율성으로 귀결된다.

반면에 그림 <나>의 경우 재고량을 줄이면, 즉 수면 깊이를 낮게 하면 약간의 문제점이 발생할 경우에도 (즉, 압초가 조금

만 더 돌출 될 경우에도) 곧 그 문제점을 인식하게되므로 이러한 문제점을 더욱더 효과적으로 관리할 수 있게 되고 재고비용 또한 줄이게 된다. 따라서 이 그림은 재고량을 점차 낮추면서 문제점을 해결하고 최소한의 재고량으로 생산 효율의 극대화를 이룬다는 생산관리 접근 방식을 비유적으로 나타낸 그림이다.

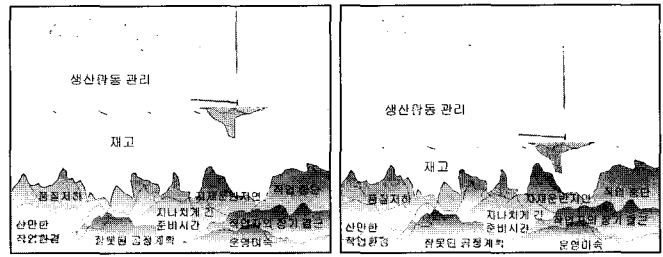


그림 2. 재고량과 생산 효율성의 상관 관계

이와 같은 개념³을 바탕으로 한 LPS는 수공생산(craft production)과 대량생산(mass production)의 장점만을 발취하여 포드 생산개념인 흐름 생산(flow production) 모델을 모체로 한 새로운 개념의 시스템을 의미한다.

2.2 린 건설(Lean Construction)

LPS 개념을 건설산업에 적용하고자 하는 움직임은 1992년 핀란드의 학자인 코스켈라(Koskela) 등에 의해 구체화되기 시작하였다. Koskela(1992)는 건설 생산시스템의 효율성을 끌어올리기 위해서는 기존의 변환생산(conversion production)을 새로운 개념의 흐름생산(flow production system)으로 바꿔야 한다고 주장하였다. 여기서 흐름생산이란 생산 시스템의 불확실성으로 인한 변이를 줄이면서 프로세스의 지속적인 개선을 이루어 궁극적으로 전체 프로세스의 효율을 향상시킨다는 원리를 말한다.

또한 Koskela(1992, 1999)는 건설 생산 과정에서의 작업(activity)은 이동(moving), 대기(waiting), 처리(processing), 검사(inspection) 등 4가지 형태로 구분하고 이러한 작업 중 처리(processing)를 건설생산에서 부가가치를 창출하는 유일한 작업으로 정의하였다.

2.3 국외의 린 건설 적용 사례

<표 1>은 건설 공사 프로세스 상에 발생하는 낭비 요인을 확

2) 일본 토요타 자동차의 엔지니어인 다이치 오노(Taiichi Ohno)와 시게오 신고(Shigeo Shingo)가 토요타 자동차 생산 시스템에 1950년대부터 적용하기 시작한 생산 시스템으로 1980년대부터 미국의 자동차 제조 산업을 비롯한 각종 제조 산업 분야에서 이상적인 생산 시스템으로 선정하여 많은 연구를 하고 있다.

3) 재고의 최소화라는 관점에서 JIT(Just-In-Time, 적시생산)와 유사하나, 린 생산은 가치(value)의 규명과 그 흐름을 연구 및 개선 대상으로 확대한다.

인하고 정량화 하는 기법을 적용한 작업 개선 결과이다. 여기에서는 건설 프로세스 분석 모델(Construction Process Analysis)이라는 도구를 이용하여 철골 공사 중 발생하는 낭비, 즉 작업 대기 시간, 불필요한 작업 이동 거리, 재고 등을 파악 후 이를 제거하여 얻은 개선결과를 보여주고 있다.

표 1. 철골 공사에서 린 건설 원리의 적용 전·후의 개선 사항 비교 (Lee et al.,1999)

작업 단계	작업 단계의 수		작업 시간(min)		작업 비용(\$)		작업 이동 거리(feet)	
	개선전	개선후	개선전	개선후	개선전	개선후	개선전	개선후
처리작업	9	9	13.43	8.33	72.79	45.15	0	0
검사작업	13	13	2.32	1.54	12.57	8.35	0	0
운반작업	5	3	7.58	4.4	41.08	23.85	191.7	128
합계	27	25	23.33	14.27	126.45	77.34	191.7	128

〈표 2〉는 생산과정 중 발생하는 변이(variation) 관리를 통해 작업 신뢰도를 높인 결과를 보여준다. Ballard(1999)는 변이 관리의 효용성을 평가하기 위해서 작업성취도⁴⁾(Percentage of Plan Completed, PPC)를 사용하였는데, 일반적인 건설 현장의 경우 PPC는 30%~ 80% 정도인데 70% 이상이면 평균 이상의 수준으로 평가된다고 한다.

표 2. PPC 측정 사례 (Glenn Ballard,1999)

	적용 전	적용 후
작업 능력 (Capacity)	50 unit/day	65 unit/day
순수 작업 시간	전체의 50%	전체의 65%
작업성취도 (PPC)	50%	70%

이 표는 변이관리 전과 후에 작업 능력, 순수 작업 시간, 작업 성취도가 향상 된 것을 보여준다.

이 외에도 건설 산업의 여러 분야에 린 건설 원리가 적용되어 지고 있으나 아직은 초기 단계에 불과하다.

2.4 기존 공정관리 기법에 대한 고찰

현재 일반적으로 사용되고 있는 공정관리 기법인 CPM은 다음과 같은 한계점이 있다.

(1) 변이(variation)에 대한 고려가 없다.

건설 프로젝트는 불확정성과 상호의존도가 높다. 이에 따라 생산성이 심각하게 차이가 나는 것으로 나타나고 있다 (Temmelein et al., 1999). 그러나 CPM은 변이에 대해서 고려하지 않는다.

4) 작업성취도(%) = (완성된 작업 수/계획된 작업 수)×100%이며 다음 3.2.3절에서 상세히 설명한다.

(2) 장기간의 계획 수립은 가능하지만 실 작업자 수준에서의 상세한 계획을 수립하는데 한계가 있다.

실제 작업을 수행하기 위해서는 선후 작업의 연계뿐 아니라 많은 종류의 자원 그리고 제약조건이 필요하다. 그러나 CPM은 실 작업자 수준의 상세한 작업계획을 하기에 적절치 않다.

따라서 이러한 CPM의 한계점을 극복하기 위한 방안으로 다음에는 흐름 생산 원리를 적용한 공정 계획 개선 방안을 제시한다.

3. 흐름 생산 원리를 적용한 공정 개선 방안

앞서 언급한 바와 같이 흐름 생산 원리란 생산 시스템의 불확실성으로 인한 변이를 줄이면서 프로세스의 지속적인 개선을 이루어 궁극적으로 전체 프로세스의 효율을 향상시킨다는 원리를 말한다. 이와 같은 흐름생산을 이루기 위해서는 변이를 관리하는 것이 무엇보다 중요한데 그 내용을 살펴보면 다음과 같다.

3.1 변이

린 건설의 핵심 개념 중 하나가 생산 프로세스의 변이를 관리해서 생산 신뢰도를 높이는 것이다. 변이란 시스템에 내재(implicit) 또는 외재(explicit)되어 있는 불확실성으로 인하여 목적물의 성과치가 일정한 값으로 나타나지 않고 변하는 현상을 의미한다. 즉, 변이는 불확실성이라는 상태로 인하여 발생하는 현상이다.

다음 〈그림 3〉은 변이가 생산 시스템 전체에 미치는 영향을 보여주기 위한 사례이다.

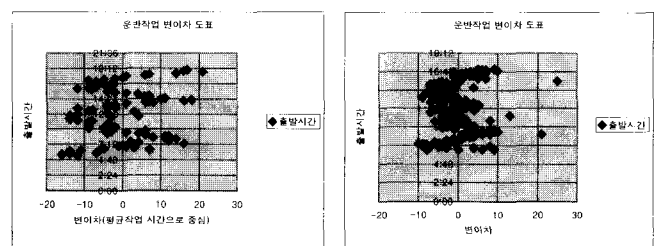


그림 3. 타설 공사의 변이 차 비교(유용규, 2001)

기존 관리 방식의 타설 작업에서는 레미콘의 운반 시 출발 시간 편차가 8.66으로 나타나 그로 인한 작업 지연 및 대기 시간, 즉 낭비되는 시간이 발생하게 된다. 반면에 이러한 출발 시간의 변이를 관리하여 흐름 생산을 한 결과 레미콘의 운반 시 출발 시간 편차가 4.96으로 대략 43% 이상 감소한 것을 확인할 수 있다.

3.2 변이 관리

이와 같이 생산 시스템에 영향을 미치는 변이에 대한 대책으로 그 직접적인 원인인 변이를 줄이는 방법이 효과적이겠지만 제조업 보다 불확실성이 많은 건설 생산의 특성상 각기 다른 상황에 따라 변이를 줄이는 것이 비현실적이거나 경제적이지 않을 수 있다. 그러므로 이러한 건설 생산의 경우 용량버퍼(capacity buffer), 여유버퍼(safety buffer), 프로세스 통합 등 간접적인 방법을 사용하는 것이 더욱 경제적이고 효율적일 수 있다(김창덕, 2000). 따라서 이와 같은 일련의 과정의 체계적인 계획 및 관리가 필요한데 이를 변이 관리라 한다.

변이관리는 프로세스 내부 변이 관리와 프로세스간 변이 관리로 구분할 수 있다. 프로세스 내부 변이 관리란 프로세스 생산에 영향을 미치는 프로세스 내부 요인에 대해서 관리하는 것이며 프로세스간 변이 관리란 해당 프로세스에 영향을 미치는 다른 프로세스와의 관계, 즉 상호 의존도⁵⁾를 관리하는 것이다.

프로세스 내부 변이 관리는 변이 발생 원인을 특성에 따라 분류하고 분류된 원인별로 특성에 적절한 관리 방법을 수립하여 변이를 분석하고 대응책을 제시하는 절차로 구성된다.

프로세스간 변이 관리는 실딩(shielding)과 디커플링(decoupling) 두 가지 방법으로 이루어진다. 실딩은 선행 프로세스에서의 변이 요인을 색출해서 후행 프로세스로의 전이를 방지하는 기법이며 디커플링은 다른 프로세스에 가장 많은 영향을 주는 프로세스를 찾아내서 복수개의 프로세스로 병행 대체함으로써 해당 프로세스의 변이 전이로 인한 후행 프로세스로의 파급 효과를 줄이는 기법이다.

이에 본 논문에서는 위에서 언급한 변이 관리 개념과 실딩 및 디커플링 등의 기법을 활용하고 그 효율성을 측정할 수 있는 작업성취도를 적용할 것을 제안하고자 한다.

3.2.1 실딩(shielding)

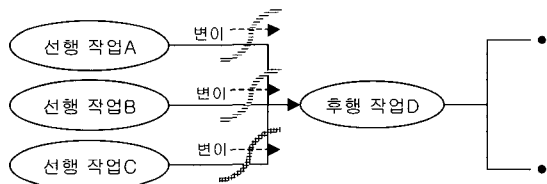


그림 4. 실딩

실딩은 제품의 생산에 있어서 변이(variation)와 불확실성

(uncertainty)을 막아주는 역할을 한다. 실딩은 모든 사전작업과 모든 자재준비가 완벽히 된 세부작업을 가려내는 것에서 시작할 수 있다.

다음 <그림 5>는 주간 작업 수준에서의 실딩 과정을 보여주는 것이다. 실딩은 작업 환경에 확실성(certainty), 신뢰성(reliability), 투명성(transparency)을 주입시키는 과정이다. 실딩은 관리 측면과 실 작업 측면에서 중요한 역할을 하게 된다. 관리측면에 대해 실딩은 불확실성을 고려하게 해주며 실 작업 측면에 대해서는 작업에 방해가 되는 장애물을 제거해 주는 역할을 한다.

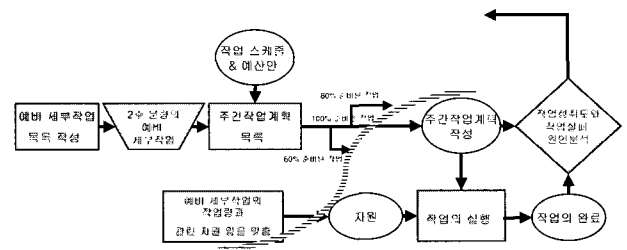


그림 5. 건설 생산 프로세스 상에서의 실딩(Ballard, 1999)

그러한 결과는 작업 환경을 보다 더 안정적으로 만들어 주며 계획 시스템의 결점을 확인시켜주기 때문에 작업에 대한 부분적인 조절을 가능하게 하고 이러한 조절 기능을 향상시켜주게 된다.

실딩을 용이하게 하기 위해서는 최종 작업관리자 수준에서 작업 수행에 대한 많은 권한이 부여되어야만 한다. 또한 이러한 실딩을 가능하게 하기 위해 수행 가능한 세부작업을 선택하여야만 하는데 Ballard(1999)는 예비 세부작업(backlog)⁶⁾ 목록을 작성할 것을 제안하고 있다.

3.2.2 디커플링(Decoupling)

디커플링이란 작업 프로세스 상에서 변이로 인한 병목 구간 발생 시 이를 복수개의 프로세스로 병행 대체하여 변이의 전이를 방지하는 기법을 말한다. 즉, 디커플링은 작업 프로세스 상에서 작업 흐름이 원활히 일어날 수 없을 때 필요하게 된다. 예를 들어 처리(operation) 또는 조달과정에서 변이가 존재할 때, 작업 진도율에 차이가 있을 때, 작업이 하나의 생산 그룹에서 다음 생산 그룹까지 이동이나 변환을 위해 일괄 처리될 때 디커플링 방식을 활용한다.

5) 상호의존도는 작업과 작업 상호간의 의존도를 의미한다. 즉 후행 작업의 선행작업에서 발생한 변이에 대한 영향정도를 나타내거나 선행작업의 후행 작업에 미치는 영향의 정도를 나타낸다.

6) 예비 세부작업(backlog)은 본 연구에서 제시할 세부작업 일정 계획의 작업 목록에 기록 될 세부작업 중에서 실제 작업에 필요한 2주정도 분량의 세부작업 목록을 의미한다.

따라서 본 연구에서는 다음 <그림 6>에서와 같이 기존 공중별 상세 공정을 변이가 큰 일괄처리 작업으로 보고 이를 세부작업으로 디커플링하였다.

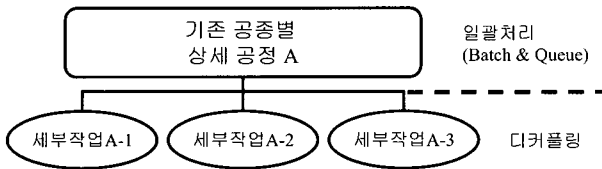


그림 6. 본 연구의 디커플링

3.2.3 작업성취도와 작업수행 성능평가

작업성취도는 간편한 측정기준으로서 작업 수행팀이 매주 초수행 계획한 작업에 대한 수행 완료한 작업의 백분율을 말한다. 즉, 7월 마지막 주에 8월 첫째 주 동안 10개의 작업을 수행하기로 했는데 8월 첫째 주말에 평가해보니 그 중 6개를 수행하였다고 하면 작업성취도는 60%가 되는 것이다.

이와 같이 작업성취도를 평가기준으로 사용하는 목적은 프로세스의 신뢰도를 제고하기 위함이다. 지속적으로 작업성취도를 측정하게 됨에 따라 수행완료에 실패한 원인을 분석하게 되고 이에 대한 개선책이 강구된다. 그리고 점진적이며 지속적인 작업성취도 향상을 통해서 궁극적으로는 작업수행을 저해하는 요인을 제거하게 됨에 따라 프로세스 신뢰도는 제고된다.

Ballard(1997)에 의하면 작업성취도 측정 초기의 평균 작업성취도가 50%에서 60% 사이로 측정되었으나 지속적인 측정과 작업 개선을 한 이후 작업 후반부에서는 평균 작업성취도가 거의 70%까지 향상되어진 것을 확인할 수 있다.

작업성취도를 측정한 후에는 작업 수행을 100% 달성하지 못한 작업에 대하여 반드시 작업 성취 실패의 원인을 분석하여야 하는데, Ballard는 '5 why's' 라는 기법을 사용 할 것을 제시하고 있다. '5 why's' 기법이란 토요타 생산 시스템 개념의 필수요소로서 문제의 근본 원인을 파악하기 위한 품질관리 기법을 말한다. 즉, '왜(why)' 라는 질문을 반복하여 계통도 형태로 계속 전개해 나가는 진인(眞因)추구의 방법이다.

4. 건설 생산 공정 분석 모델화

본 연구에서 제시하는 건설 생산 공정 분석 모델은 앞서 언급한 설딩과 디커플링 기법의 적용을 통한 변이 관리 및 신뢰도 제고와 작업성취도 측정을 통한 성능평가 등을 고려하여 체계적으로 구성되어졌다. 이 논문에서는 건설 생산 공정 분석 모델을 CPAM(Construction Process Analysis Model)이라 한다.

CPAM은 세부작업 일정 계획, 작업 정의, 제약조건 분석, 주간 작업계획으로 구성되어 있다.

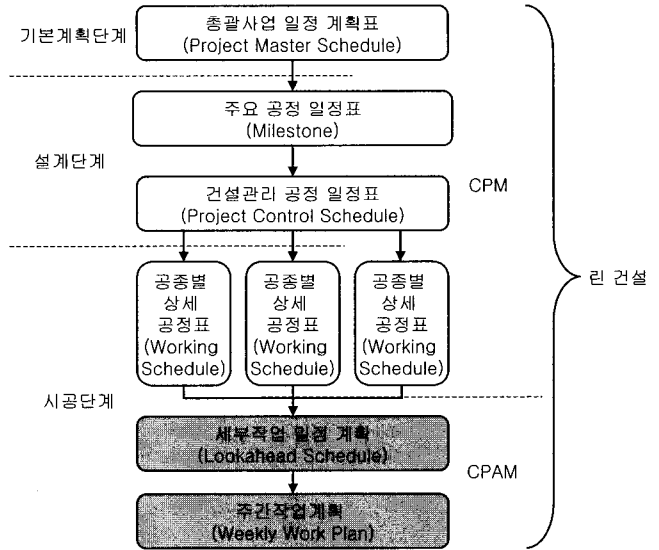


그림 7. 공정계획표의 계층적 관계도

위의 <그림 7>은 CPAM이 공정계획표의 계층적 관계에서 차지하는 위치를 보여주고 있다. 위 공정계획의 계층적 관계도에서 보는 바와 같이 CPAM은 시공단계의 공중 별 상세 공정표 아래에 세부작업 일정 계획과 주간작업계획을 수립하게 하여 CPM을 보완하게 하였다.

다음 <그림 8>는 설딩과 디커플링에 의해 세부작업을 정의하는 CPAM 절차를 나타낸다. 먼저 6주 분량의 마스터 스케줄 상의 작업을 입력하고 이를 세부작업으로 세분하며 이를 일정 기간 동안 유지하고 수행가능성을 검토한다.

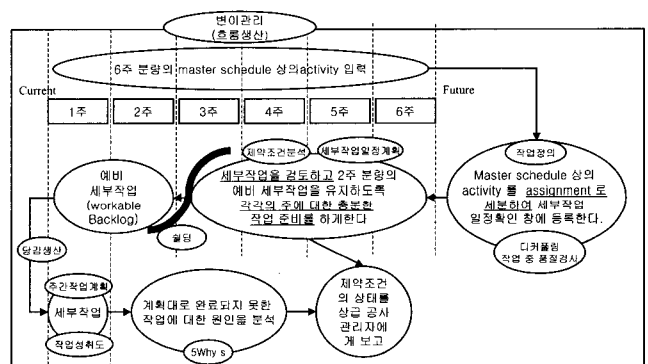


그림 8. CPAM의 적용 절차

또한 제약조건분석을 이용하여 2주 분량의 예비세부작업 목록에 기록될 세부작업을 준비시키는데 여기에 사용되어지는 기법은 설딩이다. 그리고 주간작업계획에 필요한 세부작업은 앞서 언급한 대로 준비한 예비세부작업 목록에서 당김 생산의 원

리를 이용하여 필요한 양만큼의 작업만을 가져와 계획하게 된다. 주간작업계획에서는 이와 같은 방법으로 계획되어지고 수행된 작업에 대해서 작업성취도를 측정하여 작업 실패에 대한 원인 분석 및 작업의 신뢰도를 향상시키기 위한 지속적인 개선 작업을 수행하게 된다.

이와 같이 CPAM은 변이 관리를 통하여 작업의 신뢰도 향상 및 흐름 생산을 가능하게 해준다. CPAM의 적용 도구는 현장 및 협력업체의 작업관리자의 자문에 의해 개발되었다.

4.1 작업 정의

세부작업 일정 계획 창을 통해 세부작업을 기록하기 전에 마스터 스케줄 상에서의 작업(activity)은 좀 더 상세한 과업(assignment)들로 분해되어 진다. 그 이유는 마스터 스케줄 상의 작업들을 주간작업계획에 기록될 세부작업으로 표현하기 위한 것이다. 일단, 작업 그룹 단위로 세부작업이 분해되면 다음과 같은 사항을 검토한다.

- (1) 고객 요구를 만족시키기 위해서 확인해야만 하는 작업자 자신의 프로세스, 입력 사항, 작업 결과의 품질기준은 어떤 것인가?
- (2) 다른 작업들과 상호 의존성을 가지는 입력 사항으로서 작업자 자신에게 필요한 항목은 무엇인가?
- (3) 해당 세부작업에 기록될 자원은 어떤 것이 있는가?

또한, 작업결과를 다음 단계로 진행시키기 전에 작업을 수행하여야 할 작업 그룹이 위의 항목에 대한 확인을 하지 않았다면 그 작업은 품질 기준에 부합하지 않는 것으로 평가하고 재검토되어지게 한다 (Ballard,1999).

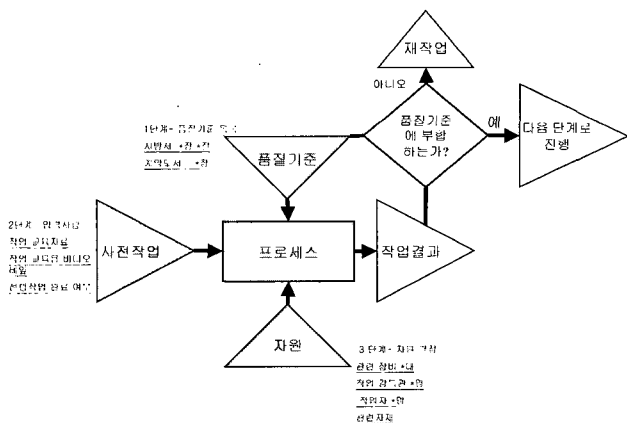


그림 9. 작업 정의 모델

위 <그림 9>는 위와 같은 방식에 의하여 만들어진 작업 정의 모델을 나타내고 있다. 여기서 사전작업이란 선행작업의 진행 사항 평가, 작업관련 교육 등의 내용을 의미하며 품질기준은 작

업에 요구되어지는 정확도, 작업결과에 요구되어지는 시방서나 계약도서 등의 품질 기준을 의미한다. 또한 자원⁷⁾은 인력, 장비, 작업공간, 자재, 관련정보를 의미하며 작업결과는 작업 정의 모델을 통해 생산된 세부작업이나 계획했던 작업이 수행되었을 때 완료된 작업을 의미한다.

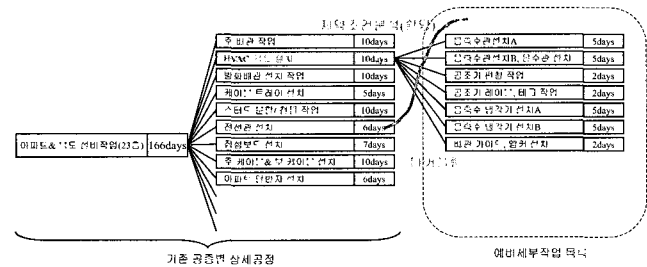


그림 10. 예비 세부작업 목록의 실례 (출처: K사 공정계획표)

위 <그림 10>은 실제 현장에서 사용하고 있는 공종 별 공정계획을 작업 정의 기법을 이용하여 세부작업을 도출하는 과정을 보여주고 있다. 여기서 'HVAC 덕트 설치' 작업을 작업 지연 등의 많은 문제가 발생하는 즉, 변이가 높은 작업으로 가정한다면 이에 대한 적절한 원인 분석과 작업 정의 및 디커플링 기법을 통해 확실한 작업 준비를 시켜 작업의 불확실성 및 변이를 감소 시키게 한다.

이렇게 작업 정의 된 세부작업은 예비세부작업 목록에 기록해 놓고 이를 주간 단위의 작업계획 시 이용하게된다

4.2 세부작업 일정계획(Lookahead Schedule)

세부작업 일정 계획은 작업 흐름을 조절하는 역할을 한다. 일반적으로 기존 현장에서도 기능적인 면에서 이와 유사한 월간

월간 공정 작업 Item	협력 업체 작업 Item
23F	23F
Main plumbing works	Main plumbing works
HVAC ductwork installations	Sanitary plumbing (cold/hot water)
Fire protection plumbing works installation	Drainage plumbing
	HVAC plumbing
	Chimney plumbing
	HVAC ductwork installations
	FCU ductwork
	Kitchen ductwork
	Fire protection plumbing works installation
	Indoor hydrant
	Sprinkler plumbing

출처: K사 현장

표 3. 월간공정계획 작업과 협력업체 공정계획 작업 비교

7) 발라드에 의하면 자재와 관련정보의 흐름은 작업 신뢰도 조절에 있어 매우 중요한 요소이기 때문에 자원의 내용에서 분리시켜 계획하여야 한다고 역설하고 있다. 즉 인력이나 장비 그리고 작업공간 등의 내용으로 자원 계획을 하고 자재의 조달 및 공급망 계획과 작업관련 정보의 흐름 계획을 상호 보완하여 계획하여야 한다고 한다.

공정 계획 업무가 존재 하지만 작업을 전체적인 생산 흐름의 관점으로 보지 않고 국부적이고 단속적으로 계획하고 있어 실 작업자 위주의 세부작업과 계획적인 연계성이 떨어지는 것으로 나타났다.

위 <표 3>은 K사 현장 마스터 스케줄 상에서 발췌한 설비작업의 일부 공정 계획을 협력업체 공정 계획과 비교한 것이다. 보는 바와 같이 기존 마스터 스케줄에서 발췌한 월간공정계획의 작업 분할 수준은 실 작업자 즉, 협력업체의 작업을 고려해 볼 때 그 분할 수준이 미흡하며 그로 인해 세부작업에 대한 관리가 월간 공정계획과 연계되어 이루어지기 어렵게 되어 있다. 즉, 작업에 대한 불확실성과 번이를 줄이기 위해서는 최소한 월 단위의 공정계획에서부터 세부작업에 대한 고려가 이루어져야 하는데 기존의 계획 방식으로는 그러한 고려를 하기 어렵게 된다.

반면에 다음 <표 4>에서와 같이 개발되어진 세부작업일정계획에 기록된 세부작업 항목은 실제 작업을 수행할 협력업체의 주간 단위의 공정계획 작업 아이테과 같은 항목을 사용함으로써 월 단위의 공정계획 시 계획의 신뢰도를 높은 수준으로 끌어 올릴 수 있게 된다. 따라서 세부작업 일정 계획에서는 위에서 언급한 결점을 보완하기 위한 다양한 기능을 제공하게되고 다음과 같은 역할을 수행하게 된다.

- (1) 전체적인 생산 흐름을 고려하면서 작업 흐름을 조절하는 역할을 한다.
- (2) 당김 생산에 의한 작업계획을 하게 한다. 선행 공정의 작업 그룹으로부터 확인해야 할 상급 관리자의 임무, 일반 작업자에 대한 세부작업, 설계 정보와 자재 정보의 검토,

표 4. 세부작업일정계획과 주간작업계획 작업 비교

◁가> 세부작업 일정 계획 작업 아이테		▷나> 주간작업 계획 작업 아이테	
Project : 로OO 인O 프로젝트 공종명 : 설비 공사 작업명 : HVAC 공사 위치 : 24층, 23층, 22층		Project : 로OO 인O 프로젝트 공종명 : 설비 공사 작업명 : HVAC 공사	
세부작업		세부작업	작업자
작업자명 : 박경철(대기)	24층 공조기 - 응축수 10, 온수 2	24층, 가스/연료 라인 overhead hanger 설치	남기훈 이한철 이종원
공조기에 편칭, 레이블, 태그		24층, 가스/연료 riser 설치	남기훈 이한철 이종원
작업자명 : 김정문(영풍)	가습기 설치, 시운전	24층, 공조기 - 응축수 10, 온수12	박경철 양시영 최근수
스팀 시운전		24층, 응축수 냉각기 설치, 시운전(13)	김영우 김정문 최근수
응축수 냉각기 설치, 시운전(13)		23층, 온수 overhead hanger 설치	박성조 김화진
작업자명 : 이진섭(대전)	23층, 94℃ 온수관 1	22층, 94℃ 온수관 1	이진섭
22층, 94℃ 온수관 1		21층, 응축수 펌프헤더 용접	차기범
22층, 23층, 94℃ 온수관 가이드, 앵커		24층 편칭, 레이블, 태그	박성조
작업자명 : 박성조(삼대)	24층 온수관2, 응축수관2		
편칭, 레이블, 태그			

사전 작업의 완료 여부 등에 대한 예비 세부작업 (backlog)을 생산하고 유지한다.

- (3) 구체적이고 상세한 작업 프로세스를 결정하게 한다. 마스터 스케줄 상의 작업을 워크 패키지과 세부작업 (assignment)으로 나누어주는 역할을 한다.
- (4) 작업의 흐름 분석을 통하여 실 작업자 수준에서 작업량과 작업능력을 맞추어 주는 기능을 한다.
- (5) 작업 흐름의 전체를 보는 시각으로 작업 방법이 계획되어 지게 하기 위해서 상호 의존성이 높은 작업은 함께 그룹핑

표 5. 세부작업 일정 계획표의 예

Project : 로담코 인사 프로젝트 공종명 : 설비 공사 작업명 : HVAC 공사 위치 : 24층, 23층, 22층																						작성 자 : 임재상 작성 날짜 : 01. 02. 26
세부작업	01-03-05					01-03-12					01-03-19					01-03-26					작업준비사항	
	월	화	수	목	금	월	화	수	목	금	월	화	수	목	금	월	화	수	목	금		
작업자명 : 박경철																					응축수 공조기: 01-02-28 (수)에서 01-03-05 (월)까지 조달. 온수 공조기: 01-03-12 까지 조달	
24층 공조기 - 응축수 10, 온수 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	현장에 자재 반입	
공조기에 편칭, 레이블, 태그																					현장에 자재 반입	
작업자명 : 김정문																					현장에 자재 반입	
가습기 설치, 시운전			√	√	√																자재 확인	
스팀 시운전	√	√																			현장에 자재 반입	
응축수 냉각기 설치, 시운전(13)						√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	01-02-28 (수) 까지 자재 조달	
작업자명 : 이진섭																					01-03-08 (목) 자재 방출	
23층, 94℃ 온수관 1	√	√	√	√							√	√	√	√	√						현장에 자재 반입	
22층, 94℃ 온수관 1						√	√	√	√	√	√	√	√	√	√						밸브 조절.	
23층, 22층, 94℃ 온수관 가이드, 앵커	√	√	√	√	√						√	√	√	√	√						자재 결정 및 주문	
작업자명 : 박성조																						
24층 온수관2, 응축수관2	√	√	√	√	√																	
편칭, 레이블, 태그						√	√	√	√	√	√	√	√	√	√							

하게 한다.

이와 같은 세부작업 일정 계획을 하기 위해서는 일정하게 정해진 기간을 세부작업 일정 계획 창이란 용어를 사용하여 정의하게 된다. 세부작업 일정 계획을 하기 위한 주 단위의 계획기간 산정은 프로젝트의 특징, 계획 체계의 신뢰정도, 그리고 자재, 장비, 노동력, 관련정보를 획득하는데 소요되는 리드타임(lead time)을 근거로 결정하게 된다.

또한 세부작업 일정 계획 창 내부로 작업목록을 기록하기 전에 마스터 스케줄 상의 작업(activity)이 주간작업계획에 적용될 세부작업으로 상세한 수준에서 분해되는 과정을 거치게 된다.

각각의 세부작업은 작업 수행이 가능하도록 검토되는데 세부작업의 수행 가능 결정 여부는 제약조건 분석을 통하여 이루어지게 된다. 여기서 일반적으로 적용되는 규칙은 일정에 맞게 완료 될 수 있는 세부작업만이 세부작업 일정 계획 창 내부에서 진척되어 계획되는 것을 허용하게 된다. 만일 계획자가 제약조건이 제거될 수 있다는 확신이 없다면 향후의 잠재적인 세부작업은 지연되는 것이다. 만일 이와 같은 상황이 발생했을 시에는 신속한 대응을 통해 계획기간 내에 세부작업이 진행되도록 조치하여야 한다.

다음 <표 5>는 위의 절차를 거쳐 만들어진 세부작업 일정 계획의 예를 보여주고 있다.

4.3 제약조건분석

제약조건분석은 앞서 언급한 작업의 번이를 막아주기 위한 기법인 실당을 하는데 필요한 체크리스트 역할을 하게되며 협력업체가 공사현장의 관리자에게 자원조달 계획을 세우는데 충분한 리드타임(lead time)을 갖게 하면서 발생한 문제점에 대한 조기 경고를 제공하는 역할도 하게된다.

먼저 기존 공정계획 방식에서 작업 준비를 시키기 위한 체크리스트나 제약조건 분석에 대해 살펴보면 이와 유사한 작업 준비 및 작업 검토 항목이 존재하기는 하지만 검토 내용이 자원에 국한되어 있다. 실제로 작업은 그 유형에 따라 자원뿐만 아니라 사전작업, 품질기준 등의 여러 제약조건과 맞물려있기 때문에 충분한 작업준비를 시키기 위해서는 이에 대한 고려를 해주어야만 한다.

다음 <표 6>은 이러한 무제한의 제약조건을 고려한 세부작업 제약조건분석의 예를 보여주고 있다. 이와 같은 제약조건 분석을 하기 위해서는 우선, 작업 정의에 의해 정의된 세부작업을 제약조건분석 단계로 이동시킨다.

그리고 각각 다른 유형의 세부작업은 각기 다른 제약조건으로 분석하게된다. 예를 들어 건설공사에 있어서 이러한 제약조건 분석 내용은 계약, 설계, 제출 서류, 사전작업, 작업공간, 장비, 인력 등의 무제한의 모든 제약조건을 포함 할 수 있다.

한편 자재 및 용역 협력업체가 능동적으로 그들 자신의 생산

표 6. 세부작업 제약조건분석 표의 예

세부작업 제약조건분석 표														
프로젝트명 : 로담코 인사 프로젝트										작성자 : 임 채 상				
공 종 명 : 설비공사										작성일자 : 01 .03. 06				
작 업 명 : HVAC 공사														
ID	세부작업	작업 개시일	사전작업		품질기준				자원				승인	
			선행작업	작업교육	계약	시방서	상세도면	제출서류	자재	작업공간	장비	인력		
260	24층, 공조기 - 응축수 10, 온수 2	01-03-05	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	승인
317	공조기에 편칭, 레이블, 태그	01-03-21	○	○	○	○	×	○	×	○	○	○	○	확인요망
545	가습기 설치, 시운전	01-03-07	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
560	스팀 시운전	01-03-05	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
700	응축수 냉각기 설치, 시운전(13)	01-03-12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
780	23층, 94℃ 온수관 1	01-03-05	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
852	22층, 94℃ 온수관 1	01-03-12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
880	23층, 22층, 94℃ 온수관 가이드, 앵커	01-03-05	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
920	24층, 온수관2, 응축수관2	01-03-05	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
910	C-E-G 터널에 응축수관	01-03-05	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1130	편칭, 레이블, 태그	01-03-12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

과 조달 관리를 해주어야만 제약조건 분석이 효과적일 수 있게 된다.

4.4 주간작업계획(Weekly Work Plan)

주간작업계획은 실 작업자 중심의 작업계획으로써 작업의 변이 및 작업의 성능을 평가하는 역할을 수행하게 된다. 기존의 공정 관리에서는 주간 단위의 작업 관리는 하고 있으나 체계적이고 정형화된 주간작업계획이 존재하지 않으며 이를 임의의 공정회의로 대신하고 있다. 따라서 이러한 기존 공정계획 방식의 문제점을 보완하고 앞서 언급한 건 건설 원리의 내용, 즉 작업의 변이 관리 및 성능평가를 충실히 이행할 수 있는 실 작업자 중심의 주간작업계획이 개발되어 졌다.

위 <표 7>은 이와 같은 내용으로 구성되어진 주간작업계획의 예이다. 주간작업계획은 세부작업 일정 계획 절차에서의 작업 결과인 예비 세부작업(workable backlog)으로부터 세부작업을 선택하여 만들어지게 된다. 어떤 경우에 있어서는 그러한 세부작업이 더욱 세분화되어질 수 있고 세부작업 일정 계획 절차에서 제시하는 세부작업의 정의보다 더 많은 세부작업의 정의를 필요로 할 수도 있다.

주의하여 정의 해야될 단어는 세부작업이다. 세부작업은 요

구되어지는 작업이 무엇이고 누가 어디에서 무엇을 가지고 작업을 해야하는지 정확히 정의되어 저야만 진다.

주간작업계획에는 상세한 세부작업의 정의, 각각의 작업자에 해당하는 세부작업의 확인, 각각의 세부작업에 대한 일정, 완료되지 않은 선행 세부작업의 예비 세부작업(backlog) 등의 내용이 기입된다.

또한 주말에는 각각의 세부작업에 대해서 작업 완료 여부를 표기하여야만 한다. 이는 작업성취도를 보여주게 되는데 앞서 언급한 바와 유사한 의미로써 작업성취도 측정의 의미는 작업 흐름의 신뢰도(work flow reliability)를 향상시키기 위함이다.

또한 작업성취도가 100% 달성되지 않은 세부작업에 대해서는 작업성취 실패의 원인을 기입하게 된다. 상급 관리자는 “왜(Why)?”(‘5 why’s’)라는 질문과 대답을 반복적으로 던져서 표출된 작업성취 실패의 원인에 대해서 분석해야만 한다.

문제가 발생한 항목에서는 수정 사항이 주간 작업계획에 기록되어야 한다. 또한 세부작업의 작업준비를 위하여 작업준비사항을 기입하게된다. 주간 작업의 내용 기입은 현장 기사나 작업반장 등 세부작업을 수행하기 위한 상급 작업관리자가 하게 한다.

표 7. 주간작업계획

주간작업계획													
Project : 로당코 인사 프로젝트						작업책임자 : 임재상							
공종명 : 설비 공사						Date : 2001.03.03							
작업명 : HVAC 공사						소요인원 : 15 (명)							
세부작업	작업자	작업준비사항	예상	실행	월	화	수	목	금	토	일	작업완료 여부	작업 지연 및 단축 원인
24층, 가스/연료 라인 overhead hanger 설치	남기훈 이한철 이중원	현장에 overhead hanger 48개 준비			√	√						×	발주자에 의한 작업 금지 (elevation 변경)로 지연.
24층, 가스/연료 riser 설치	남기훈 이한철 이중원	현장에 riser 3개 준비					√	√	√	√		×	위 항목의 작업 영향으로 지연.
24층, 냉각수관 설치	김영우 양시영 최근순	현장에 자재 반입			√	√	√					○	임여 인력 투입으로 1일 단축.
24층, 응축수관 riser 설치	김영우 양시영 최근순	현장에 riser 2개 준비						√	√	√		○	
23층, 운수 overhead hanger 설치	박성조 강화진	현장에 자재 반입			√	√	√	√	√	√		○	
22층, 응축수 펌프헤더 용접	오상철	용접 수 18			√	√	√	√	√	√		○	임여 인력 투입으로 2일 단축.
21층, 응축수 펌프헤더 용접	차기범	12기			√	√	√	√	√	√		×	작업자 눈 부상, 용접작업 2일 지연.
F.R.P 배관 결속	성시연 김민상 권호영	9기			√	√	√	√	√	√		○	
예비 세부작업											작업성취도 PPC(%)	자재 조달 및 설계변경으로 8개 작업 항목 중 3개 작업 지연	
보일러 가스 배출구 작업 - 절삭날, 22층, 가스/연료 라인 overhead hanger 설치, 20층, 응축수 펌프헤더 용접, 22층, 응축수관 riser 설치											63%		

5. 사례연구

5.1 사례연구의 배경 및 목적

사례 연구의 목적은 실제 공사 현장에서 수행하고 있는 세부 작업의 관리 실태를 조사한 후, 작업의 불확실성과 변이를 줄이기 위한 철저한 세부작업 관리를 하는 계획과 그렇지 않은 계획의 비교 분석을 통해 본 연구에서 제시한 모델의 적용성을 검증하는데 있다.

본 연구에서는 보다 실용적인 공정 분석 모델 개발을 위하여 K사 건설현장의 공정 계획을 중심으로 계획상의 문제점 및 개선 사항을 분석하였다. 또한 중점 분석 사항으로는 일반 시공자가 사용하는 마스터 스케줄 상의 작업성취도와 본 연구의 대상인 협력업체 작업 위주의 작업성취도를 측정하여 두 계획 사이의 계획 신뢰도를 비교 분석하였다.

표 8. 현장 개요

구 분	내 용
공사명	00프로젝트
위 치	서울특별시 00구 △△동 283-2
발 주 자	R사
공사금액	32,545,450,000원정
공사기간	2000. 9. 22 - 2002. 2. 21
시 공	K사
설 계	Y건축 사무소
감 리	H사
공사규모	· 대지 면적: 3,284M ² · 건축 면적: 1,618M ² · 연면적: 45,510M ² · 건폐율: 49.26%
총별 용도	· B6= plant room · B2~B2= 주차구역 · B1= Retail & office · L1~L2= Retail & public area · L3~L14= 오피스텔 · L15~L23= Apartment

5.2 절차 및 범위

본 사례연구의 절차는 <그림 11>과 같다.

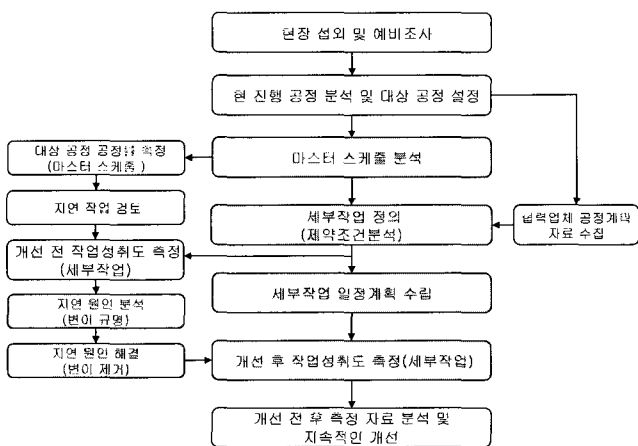


그림 11. 사례연구 절차

본 사례 연구에서 마스터 스케줄 분석 및 작업성취도 측정 대상 공정은 현재 진행 중인 설비공사의 배관작업으로 하였으며 CPM 공정계획을 중심으로 이루어 졌다. 또한 분석기간은 2001년 4월에서 2001년 6월까지로 하였으며 진도율 측정 및 작업성취도 측정기간은 2001년 5월에서 2001년 6월까지로 한정하여 실시하였다. 또한 본 사례연구는 현장의 협조 문제로 인하여 CPAM의 원리 및 기법 중 일부분만을 적용하여 실시하였다.

먼저 대상 공정의 마스터 스케줄을 검토 한 후 마스터 스케줄 상의 작업을 대상으로 공정률을 측정하였다. 그리고 측정 된 작업 중 작업의 지연이 장기화된 작업을 중심으로 그 원인에 대한 분석 및 문제점의 해결책을 신속히 모색하여 작업 개선에 반영하도록 하였다. 이러한 과정은 CPAM의 작업 정의에 의해 구성되었으며 세부작업을 중심으로 이루어 졌다. 여기서 세부작업의 정의는 배관 작업을 실시하는 D사, T사, Y사, S사 즉, 협력업체의 세부일정에 맞추어 이루어졌다.

마지막으로 세부작업 일정 계획 전·후의 작업성취도 측정 자료를 분석하여 지속적인 개선 작업을 할 수 있도록 도출된 결과를 정리하였다.

5.3 기존 마스터 스케줄 분석

다음 <표 9>와 <표 10>은 앞서 분석한 설비작업 마스터 스케줄에서 23층부터 20까지의 배관작업만을 발췌하여 약 2주에 걸쳐 공정률 및 지연된 작업을 측정한 표이다. 두 표에서 보는 바와 같이 '23층 HVAC덕트 설치작업'과 '21층 주배관작업'의 경우 한 주가 지났음에도 불구하고 공정률의 변화가 없고 한달 이상 지연된 작업으로써 내재하는 변이가 상당히 높을 것으로 예상되었으며 이에 대한 신속한 개선 또한 이루어지지 않고 있는 실정이었다. 이러한 영향으로 후속작업인 20층 배관작업들의 공정률 또한 저조하게 나타났다.

그러므로 이러한 분석 결과를 통해 설비공사의 배관작업에 많은 변이 요인이 있는 것으로 간주하고 변이의 원인 분석 및

표 9. 배관작업의 마스터 스케줄(측정-1)

세부 작업명	Duration	Start	Finish	공정률	비고
23층 주배관작업	10days	01.4.23	01.05.4	100%	○
HVAC덕트 설치작업	10days	01.4.23	01.05.4	65%	장기간 작업 지연. 작업 개선 요망
소방배관 작업	10days	01.4.23	01.05.4	100%	○
22층 주배관작업	10days	01.5.7	01.5.18	100%	○
HVAC덕트 설치작업	10days	01.5.7	01.5.18	100%	○
소방배관 작업	10days	01.5.7	01.5.18	100%	○
21층 주배관작업	10days	01.5.21	01.6.1	65%	장기간 작업 지연. 작업 개선 요망
HVAC덕트 설치작업	10days	01.5.21	01.6.1	100%	○
소방배관 작업	10days	01.5.21	01.6.1	100%	○
20층 주배관작업	10days	01.6.4	01.6.15	33%	선행 작업의 영향으로 작업 지연
HVAC덕트 설치작업	10days	01.6.4	01.6.15	25%	선행 작업의 영향으로 작업 지연
소방배관 작업	10days	01.6.4	01.6.15	25%	선행 작업의 영향으로 작업 지연

표 10. 배관작업의 마스터 스케줄(측정-II)

세부 작업명		Duration	Start	Finish	공정률	비고
23층	주배관작업	10days	01.4.23	01.05.4	100%	○
	HVAC덕트 설치작업	10days	01.4.23	01.05.4	65%	장기간 작업 지연, 작업 개선 요망
	소방배관 작업	10days	01.4.23	01.05.4	100%	○
22층	주배관작업	10days	01.5.7	01.5.18	100%	○
	HVAC덕트 설치작업	10days	01.5.7	01.5.18	100%	○
	소방배관 작업	10days	01.5.7	01.5.18	100%	○
21층	주배관작업	10days	01.5.21	01.6.1	65%	장기간 작업 지연, 작업 개선 요망
	HVAC덕트 설치작업	10days	01.5.21	01.6.1	100%	○
	소방배관 작업	10days	01.5.21	01.6.1	100%	○
20층	주배관작업	10days	01.6.4	01.6.15	70%	선행 작업의 영향으로 작업 지연
	HVAC덕트 설치작업	10days	01.6.4	01.6.15	55%	선행 작업의 영향으로 작업 지연
	소방배관 작업	10days	01.6.4	01.6.15	40%	선행 작업의 영향으로 작업 지연

제거 과정에서 변이를 줄이고 작업 정의를 이용하여 충분히 준비된 작업을 만들도록 하였다.

이와 같은 CPAM의 적용 과정에서 현장의 협조 문제로 인하여 작업 정의 절차 및 방법 그리고 세부작업 일정 계획과 주간 작업계획의 일부 내용만을 적용하여 실시하였다.

5.4 작업 정의

작업 정의 내용 중 작업준비와 제약조건분석은 현장의 권한 문제로 인해 협력업체에 의해 이루어 졌으며 이번 시범 적용에

표 11. 세부작업 정의

〈가〉 세부작업 정의 전		〈나〉 세부작업 정의 후	
프로젝트명: 로OO 인O 공종명: 설비 작업 작업명: 아파트와 복도 배관작업 세부 작업명		프로젝트명: 로OO 인O 공종명: 설비 작업 작업명: 아파트와 복도 배관작업 세부 작업명	
23층	주배관작업	23층	주배관작업
	HVAC덕트 설치작업		급수 수직관 설치
	소방배관 작업		급수 지관 설치
22층	주배관작업		배수 수직관 설치
	HVAC덕트 설치작업		배수 지관 설치
	소방배관 작업		HVAC 수직관 설치
21층	주배관작업		배수 수직관 설치
	HVAC덕트 설치작업		HVAC 지관 설치
	소방배관 작업		배연관 설치
20층	주배관작업		HVAC덕트 설치작업
	HVAC덕트 설치작업		FCU 덕트 설치
	소방배관 작업		주방 덕트 설치
			소방배관 작업
			실내 소화전 설치
			스프링클러 배관 작업
		22층	주배관작업
			급수 수직관 설치
			급수 지관 설치
			배수 수직관 설치
			배수 지관 설치
			HVAC 수직관 설치
			HVAC 지관 설치
			배연관 설치
			HVAC덕트 설치작업
			FCU 덕트 설치
			주방 덕트 설치
			소방배관 작업
			실내 소화전 설치
			스프링클러 배관 작업

서는 협력업에 의해 작업 정의 된 세부작업으로 디커플링 원리를 적용하는데 초점을 맞추었다.

따라서 위 <표 11>과 같은 작업 정의 및 디커플링 원리를 배관작업의 세부작업 정의에 적용한 목적은 작업 지연이 일어난 작업에 이를 적용할 경우 작업이 지연된 원인을 규명하는 것이 용이하게 되며 이렇게 규명된 원인을 제거하여 후행 작업으로 전이되는 것을 방지할 수 있기 때문이다. 또한 이러한 절차를 이행함으로써 보다 철저한 세부작업을 준비시킬 수 있는 토대가 될 수 있다.

본 사례연구에서는 작업 정의 이후에 다음 <표 12>에서 보는 바와 같이 <표 9>와 <표 10>에서 작업 지연이 일어난 작업을 중심으로 앞서 측정된 작업 완료 여부 이외에 작성성취도와 작업 지연의 원인 등을 기입하게 하였다.

여기에 사용되어진 CPAM의 내용으로는 주간작업계획 중 작업완료 여부를 기입하게 함으로써 그에 따른 작성성취도 측정을 통해 작업의 신뢰도를 확인 할 수 있도록 하는 것과 작업 지연의 원인을 기입하게 하여 신속한 조치를 취할 수 있도록 하는 것이 있다. 이는 변이의 원인을 색출하고 이를 제거하여 작업의 신뢰도가 향상되는 것을 보여 주기 위함이다. 그리고 변이의 원인을 색출하는 과정은 본 논문에서 앞서 언급한 '5why's' 기법을 사용하는 것을 기본으로 하였다.

표 12. 세부작업 일정 계획 전 작업성취도

세부 작업명		Duration	Start	Finish	작업 완료 여부	작업지연 원인
23층	HVAC덕트 설치작업	10days	01.4.23	01.5.4		
	FCU 덕트 설치				x	평면 설계 변경, 자재 조달 지연
	주방 덕트 설치				x	실내지 설계 변경, 자재 조달 지연
21층	주배관작업	10days	01.5.21	01.6.1		
	급수 수직관 설치				x	천장고 설계 변경, 자재 조달 지연
	급수 지관 설치				x	천장고 설계 변경, 자재 조달 지연
	배수 수직관 설치				x	선행작업의 지연, 천장고 설계 변경
	배수 지관 설치				x	천장고 설계 변경
	HVAC 수직관 설치				○	
	HVAC 지관 설치				○	
	배연관 설치				○	
20층	주배관작업	10days	01.6.4	01.6.15		
	급수 수직관 설치				x	선행작업의 영향, 인력 미확보
	급수 지관 설치				x	선행작업의 영향, 인력 미확보
	배수 수직관 설치				x	선행작업의 영향, 인력 미확보
	배수 지관 설치				x	선행작업의 영향, 인력 미확보
	HVAC 수직관 설치				x	선행작업의 영향, 인력 미확보
	HVAC 지관 설치				○	
	배연관 설치				○	
	HVAC덕트 설치작업	10days	01.6.4	01.6.15		
	FCU 덕트 설치				x	실내지 설계 변경, 자재 조달 지연
	주방 덕트 설치				x	선행작업의 영향
	소방배관 작업	10days	01.6.4	01.6.15		
	실내 소화전 설치				x	선행작업의 영향
	스프링클러 배관 작업				x	선행작업의 영향
					PPC=67%	

위 <표 12>는 상세한 세부일정을 수립하지 않은 상태에서 변이의 원인만을 분석한 결과를 보여주는 것으로서 측정 결과에서 나타난 바와 같이 현재 배관작업의 지연 원인 중 평면 설계

변경 및 자재 조달 지연의 문제가 가장 큰 것으로 나타났으며 그로 인해 영향을 받는 후행 작업의 지연이 계속적으로 악순환 되는 것을 발견하였다.

이러한 작업의 지연은 설계 변경이라는 의도되지 않은 원인으로 인해 나타난 결과도 존재하지만 자재 조달 지연 문제의 경우, 이를 협력업체와 일반 시공자가 사전에 인지하고 그에 대한 적절한 조치를 취했다더라면 무려 한달 이상이라는 작업의 지연은 발생하지 않았을 것이다. 예를 들어 지연 기간 동안 배관작업의 자원을 효율적으로 이용하기 위하여 세부작업 일정을 다시 수립하고 이를 적절히 운영하였다면 유휴 인력 등의 자원을 타 공정으로 효율적으로 활용할 수 있었을 것이다.

한편 위 <표 12>에서 측정된 세부작업의 작업성취도는 25%로 나타났으며 이는 발라드가 언급한 산업 평균 작업성취도인 30%에서 80%사이에도 들지 못하는 평균이하의 값으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 이러한 배관작업의 신뢰도를 향상시키기 위해 앞서 나타난 작업 지연의 원인을 상부에 보고하게 하여 신속한 조치를 취할 수 있게 하였으며 배관작업에 대한 공정계획을 협력업체의 세부작업 아이템에 맞추어 작업하도록 하였다.

5.5 세부작업 일정 계획

본 사례연구의 세부작업 일정 계획의 내용은 다음과 같다. 먼저 CPAM 모델이 제시한 내용 중 작업준비 사항과 예비세

표 13. 세부작업 일정 계획 후 작업성취도

세부 작업명		Duration	Start	Finish	작업 완료 여부	작업지연 원인
23층	HVAC덕트 설치작업	10days	01.4.23	01.5.4		
	FCU 덕트 설치	10days	01.6.12	01.6.22	○	
	주방 덕트 설치	3days	01.6.18	01.6.20	○	
21층	주배관작업	10days	01.5.21	01.6.1		
	급수 수직관 설치	5days	01.6.25	01.6.29	×	천장고 설계 변경, 자재 조달 지연
	급수 지관 설치	5days	01.6.25	01.6.29	×	천장고 설계 변경, 자재 조달 지연
	배수 수직관 설치	7days	01.6.15	01.6.22	○	
	배수 지관 설치	7days	01.6.15	01.6.22	○	
	배수 수직관 설치	7days	01.6.15	01.6.22	○	
20층	주배관작업	10days	01.6.4	01.6.15		
	급수 수직관 설치	7days	01.6.15	01.6.22	○	
	급수 지관 설치	8days	01.6.14	01.6.22	○	
	배수 수직관 설치	8days	01.6.14	01.6.22	×	선행작업의 영향, 인력 미확보
	배수 지관 설치	7days	01.6.15	01.6.22	×	선행작업의 영향, 인력 미확보
	HVAC 수직관 설치	8days	01.6.14	01.6.22	×	선행작업의 영향, 인력 미확보
HVAC덕트 설치작업	HVAC덕트 설치작업	10days	01.6.4	01.6.15		
	FCU 덕트 설치	10days	01.6.12	01.6.22	○	
	주방 덕트 설치	5days	01.6.16	01.6.21	○	
소방배관 작업	소방배관 작업	10days	01.6.4	01.6.15		
	신내 소화전 설치	5days	01.7.3	01.7.7	×	선행작업의 영향
	스프링클러 배관 작업	5days	01.7.3	01.7.7	×	선행작업의 영향
19층	주배관작업	10days	01.6.18	01.6.29		
	급수 수직관 설치	5days	01.6.18	01.6.22	○	
	급수 지관 설치	5days	01.6.18	01.6.22	×	선행작업 미완료
	배수 수직관 설치	5days	01.6.18	01.6.22	×	선행작업 미완료
	배수 지관 설치	5days	01.6.18	01.6.22	×	선행작업 미완료
	HVAC 수직관 설치	5days	01.6.18	01.6.22	×	선행작업 미완료
HVAC 지관 설치	HVAC 지관 설치	5days	01.6.18	01.6.22	○	
	배연관 설치	5days	01.6.18	01.6.22	○	
	HVAC덕트 설치작업	10days	01.6.18	01.6.29		
FCU 덕트 설치	FCU 덕트 설치	5days	01.6.18	01.6.22	○	
	주방 덕트 설치	5days	01.6.18	01.6.22	○	
	소방배관 작업	10days	01.6.18	01.6.29		
신내 소화전 설치	신내 소화전 설치	10days	01.6.18	01.6.29	×	협력사의 작업내용 파악 문제
	스프링클러 배관 작업	5days	01.6.18	01.6.22	○	
					PPC=54%	

부작업 목록은 협력업체의 계획에 맞추어 적용하였으며 주간작업계획표를 만들어 사용하는 것 대신에 기존 공정표 형식을 이용하여 세부일정을 계획하였다.

따라서 앞서 적용한 작업의 변이 분석 및 신속한 조치와 상세한 작업 정의를 통해 위 <표 13>와 같은 세부작업 일정 계획이 도출되었다. 이에 대한 결과로써 <표 13>에서 보는 바와 같이 그 동안 미완료 되어있던 작업들의 변이가 해결되었고 세부작업의 관리를 통해서 작업성취도가 25%에서 54%로 향상되었다.

따라서 작업 지연의 원인이 되었던 자재 조달 지연 문제 등을 조속히 마무리하여 각 배관작업계획에 적용케 하였으며 천장고 높이의 결정 등과 같은 갖가지 미결정 사항의 의사결정을 신속히 결정하게 하여 이를 반영한 결과 그 동안에 지연되었던 작업이 완료되었다. 또한 이러한 변이의 원인이 제거됨으로써 후행 작업 즉, 19층 배관작업의 지연을 개선 할 수 있었으며 그로 인해 작업의 병목 구간을 상당한 수준에서 해결 할 수 있어 흐름 생산을 가능하게 할 수 있었다.

다음 <표 14>는 <표 12>의 본 모델을 적용하기 전 상태인 결과와 <표 13>의 모델 적용 후 개선 결과를 보여주고 있다.

표 14. CPAM 적용 전 · 후 결과 비교

	적용 전	적용 후
미완료작업(개)	15/20	12/26
완료작업(개)	5/20	14/26
작업성취도(%)	25	54

이번 사례연구의 한계점 중 하나로서 측정 시점이 단기간이었다는 점이 있으나 그럼에도 불구하고 이러한 작업성취도의 개선은 단지 수치상의 향상 이상의 의미를 갖는다. 이와 같은 작업성취도 향상은 해당 작업 그룹 즉, 배관 작업 팀의 생산 신뢰도의 제고를 의미하고 이의 영향을 받는 후행 작업의 작업 그룹의 생산 신뢰도 역시 향상 될 것이라는 것과 사이클 타임 단축 및 자원의 재고량을 감소시키는 효과를 기대할 수 있어 흐름 생산을 가능하게 하는 기반이 될 수 있다는 점이다.

이러한 향상은 궁극적으로 총체적인 생산 효율성의 제고를 의미한다.

6. 결론 및 향후 과제

앞의 사례연구에서 나타나듯이 CPAM을 적용한 결과 작업성취도가 현저히 향상되었다. 이러한 결과는 단순히 시간 경과에 따른 공정률 상승과는 차별적인 의의를 갖는다. 기존 공정계획에서의 단순 공정률 상승은 시스템에 변이가 여전히 내재되어

있는 상태에서 작업을 수행하기 때문에 후행 작업으로 변이가 전이 될 뿐만 아니라 후행 작업의 생산성 향상과는 상관없이 작업이 진행되게 된다.

따라서 기존 공정계획에서 공정률이 상승했다고 해서 지속적으로 안정적인 생산을 기대하기 어렵다. 반면에 흐름 생산 원리를 적용한 CPAM의 작업성취도 상승의 의의는 시스템에 내재 또는 외재 되어있는 변이 요인을 감소함으로써 후행 작업으로의 전이를 막아주어서 작업 신뢰도를 향상 시켜줄 뿐만 아니라 후행 작업의 생산성 향상이라는 파급효과를 갖는다.

따라서 작업성취도의 향상은 생산 시스템이 지속적이고 안정적인 흐름 생산을 하고 있다는 것을 보여주기 때문에 기존의 단순 공정률 상승과는 차별적인 의의를 갖는다.

또한 본 사례 연구는 측정기간이 단기간에 이루어졌으므로 좀 더 장기간의 세부작업에 대한 작업성취도 측정이 있을 경우 작업의 개선 사항은 본 연구에서 제시한 결과 보다 훨씬 높게 나타날 것으로 예상되는 바 이에 대한 적용이 절실한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 제시한 CPAM 모델의 적용이 명확한 마스터 스케줄의 분석에서부터 철저한 주간작업계획에 이르기까지 전반적으로 적용될 필요가 있고 보다 효율적인 적용을 위하여 프로젝트와 관련된 각 주체들의 적극적인 참여가 요구된다.

이상 본 논문에서는 작업 신뢰도 향상을 목적으로 기존 공정관리 기법 상의 한계점을 분석하여 이를 보완하고자 하였으며 그 결과로써 린 건설 원리를 적용한 건설 생산 공정 분석 모델인 CPAM을 제시하였다. 또한 본 모델의 사례 적용을 통하여 작업의 신뢰도를 향상시킬 수 있었으며 이는 곧 흐름 생산의 토대를 마련한 것이라 할 수 있다.

다음은 본 연구의 주요 결과이다.

- (1) 본 연구에서 제시하는 건설 생산 공정 분석 모델은 앞서 언급한 실딩과 디커플링 기법의 적용을 통해 사례 연구 현장의 작업 지연 즉, 설비작업 배관공사의 작업지연의 변이를 효율적으로 관리할 수 있도록 하였다. 이와 더불어 작업 신뢰도 제고와 작업성취도 측정을 통해 미완료 작업이 20개 중 15개에서 26개 중 12개로 감소하였고 작업성취도(PPC)는 25%에서 54%로 증가하여 작업의 성능을 향상시킬 수 있도록 하였다.
- (2) CPAM에서 제시된 작업 정의 절차를 통해 충분히 준비된 세부작업을 만들 수 있도록 하였다. 즉, 투명성이 확보된 세부작업 목록을 통하여 실 작업자가 직접 자신의 작업을 언제, 어디서, 무엇을 가지고, 어떠한 방식으로 수행해야 하는지를 이해하기 쉽고 보기 쉽게 해주었다. 또한 작업 정의 원리인 작업 중 품질검사(in-process inspection)의

개념을 통해 제품의 결함을 감소시켜 효율적으로 품질을 향상시킬 수 있도록 하였다.

- (3) CPAM에서 제시된 세부작업 일정 계획과 주간작업계획을 통하여 전체 작업 흐름과 세부작업 흐름을 보다 효과적으로 검토하게 하면서 작업 흐름을 조절 할 수 있게 하였다. 그리고 이러한 작업 흐름 분석을 통해 실 작업자 수준에서 작업량과 작업능력을 맞추어 효율적인 생산을 가능하게 하였다. 따라서 건설 현장의 작업 흐름에서 나타날 수 있는 자재, 장비, 인력 등의 재고(inventory or work in process, WIP) 및 사이클 타임을 감소할 수 있도록 하여 흐름 생산을 가능하게 하였다.
- (4) CPAM에서 작업의 실딩 도구로써 사용된 「제약조건분석」을 통하여 협력업체가 공사현장의 관리자에게 자원 조달 계획을 세우는데 필요한 충분한 리드타임을 확보할 수 있도록 하였다. 또한 작업에 발생한 문제점에 대한 조기 경고의 역할을 수행하게 하여 신속한 조치를 취할 수 있게 하였으며 그로 인해 변이를 최소화할 수 있었다.
- (5) 사례 연구를 통해 실제 현장의 계획 신뢰도를 분석하였으며 분석 결과 중 계획 신뢰도가 낮은 작업에 대해 CPAM을 적용하여 작업성취도와 계획 신뢰도를 향상시킬 수 있었다.

본 연구의 결과를 바탕으로 CPAM을 건설 생산 공정 분석에 적용했을 시 기대 효과는 다음과 같다.

- (1) 작업 변이 최소화 및 관리: 공정 계획의 신뢰도 향상 및 자재, 장비, 인력 등의 재고 감소가 가능하다.
- (2) 투명성 확보: 작업에 대한 품질기준, 사전 작업, 자원 등의 내용을 구체적으로 명확하게 확인시켜주고 눈에 보이는 곳에 일하기 쉽게 위치시킴으로써 프로세스 상에서 발생할 수 있는 문제점 및 변이의 파악이 용이하게 되어 신속한 처리가 가능하게 된다.
- (3) 자재정보와 작업정보의 체계적인 관리에 의한 능동적인 작업준비: 신속한 진단 및 대책 수립과 신속한 협조가 가능하다.
- (4) 지속적이고 체계적인 프로세스 개선 작업: 작업자 스스로의 자기 개발이 가능하게 되며 이는 린 건설의 궁극적인 목표인 완벽성의 추구를 가능하게 할 수 있다.

앞으로 수행하여야 할 향후 과제로는 다양한 현장 적용을 통하여 CPAM의 세부작업 일정 계획의 내용과 절차를 보다 상세화 시킬 필요가 있고 이를 전산화하여 효율성을 배가시킬 수 있는 전산망 구축 작업이 필요하다고 할 수 있다. 예를 들어 건설 현장과 자재 공급업자 간의 정보 공유의 수단으로써 인터넷을 이용한 공급망(supply chain)을 구축하는 것인데 이 또한 당김

생산(pull system)에 기반을 두고 이루어져야 한다.

또한 이러한 계획 절차 및 정보의 흐름이 원활하게 이루어지기 위하여 건설 관련 주체들의 긴밀한 협조와 새로운 건설 원리에 대한 교육이 필요하다.

마지막으로 새로운 개념인 린 건설 기법을 국내 건설 현장에 적용하기 위해서는 궁극적으로 프로젝트에 참여하는 발주자, 시공자, 협력업체의 신 개념으로의 사고 전환 및 적극 참여가 절실하다고 하겠다.

참고문헌

1. 김창덕(2000)A. 건설생산시스템의 새지평, 건축 3월호, 대한건축학회, 2000.3.
2. 김창덕(2000)B. A New Construction Production Paradigm, 광운대학교 건설관리연구실, 2000.2.
3. 김창덕(2000)C. 린 건설, 건설관리 9월호, 한국건설관리학회, 2000.9.
4. 극동건설(2001). 서울특별시 종로구 낙원동 Rodamco Insa Project 시공계획서, 공정계획서.
5. 서상욱(1994). 건축공사의 최적화 공정계획에 관한 연구, 대한건축학회, 1996.3.
6. Ballard(1999). "Improving Work Flow Reliability," Proceedings 7th Conference of the International Group for Lean Construction, University of California at Berkely, California, USA, 26-28 July 1999.
7. Ballard(1994). "The Last Planner," Proceedings 2nd Conference of the International Group for Lean Construction, Pontificia University Catolica de Chile, Santiago, September 1994.

Abstract

This study aims at improving work reliability. It proposes a way to overcome the limitations of current scheduling methods by providing a new framework, CPAM(Construction Process Analysis Model) based on the lean principles. It suggests methods which improve work reliability and production effectiveness with variability control methods. Also it suggests methods which reduce inventories of materials and equipment and WIP(Work In Process) using two techniques; Lookahead Schedule and Weekly Work Plan. The contribution of this research also includes that it assumes planning as a process of reducing uncertainty and maximizing throughput, counter-posing plan reliability to resource redundancy as alternative strategies for managing in conditions of uncertain work flow.

Keywords : Lean construction, Pull, Flow, Work reliability, Lookahead Schedule, Weekly Work Plan